

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

GLOSSAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TMP	Thermomechanical pulp	8
	Traitement sous pression : Un procédé d'imprégnation sous pression du bois à l'aide d'agent de préservation ou d'ignifugeant chimique dans une cuve sous pression	9
	INTRODUCTION GENERALE	12
	Partie I : GENERALITE SUR LE BOIS	2
I - FAMILLE DU BOIS	[4].....	2
I.1 - Constituants chimiques du bois	[1], [9].....	2
I.2 - Différentes parties du bois	[4], [1], [9], [6].....	3
II - LES FIBRES	[1], [4].....	6
II.1 - Classification des fibres	[8], [1].....	7
II.1.1 - Fibres naturelles	.....	8
II.1.2 - Fibres chimiques	.....	8
II.1.2.1 - Fibres cellulosiques régénérées	.....	8
II.1.2.2 - Fibres synthétiques	.....	9
	Partie II : FABRICATION DES PATES EN BOIS.	11
I - CONSIDERATIONS GENERALES	[10], [11].....	11
II - PROCÉDES DE FABRICATION DE PATE EN BOIS	[4], [16].....	11
II.1 - Pâte mécanique en bois	[1], [4], [11], [20], [3].....	11
II.2 - Pâte chimique en bois	[11], [14], [20], [22].....	14
II.2.1 - Procédé acide (ou procédé au bisulfite)	[1], [4], [17], [31].....	15
II.2.2 - Procédé alcalin	[1], [4], [13], [19].....	17
II.3 - Pâtes mi-chimiques en bois	[3], [11], [18], [22], [20].....	20
	Partie III : FABRICATION DES PANNEAUX DE FIBRES	24
I - ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE SUJET	[8], [11], [23].....	24
II - PROCÉDE DE FABRICATION DES PANNEAUX DE FIBRES	.....	25
II.1 - Classification des panneaux de fibres	[4], [8].....	25
II.2 - Description des panneaux fibres durs	[4], [25], [28].....	25
II.2.1 - Aspect visuel	.....	26
II.2.2 - Domaine d'utilisation	.....	26
III - NORMES DE QUALITE ET CARACTERISTIQUES LE PANNEAU DE FIBRES DURS	[24].....	26
	Partie I : MATERIELS ET METHODES	29
I - MATERIELS	.....	29

II - PROCEDE MI-CHIMIQUE	31
Partie II : RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION	36
I - RESULTATS	36
I.1 - Résultats au laboratoire.....	36
I.2 - Résultats d'essai à l'usine.....	40
I.2.1 - Procédé utilisé dans l'usine.....	40
I.2.2 – Amélioration du procédé	41
Dans cette condition de travail le poids du copeau défibré a augmenté : 900 kg par rapport à celle de l'usine : 518 kg.....	45
L'augmentation du poids de copeau défibrés nous permet de prédire que la production augmente et le temps d'utilisation du défibreux diminue en terme économique (le coup de l'énergie associé est compensé).....	45
II - INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS	45
CONCLUSION GENERALE.....	48

LISTES DES ABBREVIATIONS

APP	Alkaline Peroxide Pulp
CAN	Canadienne
CMP	ChemiMechanical Pulp
CRMP	Chemi- RefinerMechanical Pulp
CTMP	ChemiThermomechanicalPulp
HDF	High density fiberboard
HYS	High Yield Sulphite
L	Lignigne
LFCMP	Long Fiber Chemi- Mechanical Pulp
PGW	Pressure Groundwood
PRMP	PressurizedRefiner Mechanical Pulp
R	Radical Alkyle
RMP	Refiner Mechanical Pulp
SGW	Stone Groundwood
SLF	Sulphonated Long Fiber
TMP	Thermomechanical pulp

GLOSSAIRE

Angiosperme : végétal phanérogame dont les organes reproducteurs sont condensés en une fleur et dont les grains fécondés sont enfermés dans les fruits. (Plantes à fleurs)

Copeaux de bois : bois réduits en petits morceaux conformément à une norme. Les copeaux de bois sont produits à partir du bois rond ou à partir des résidus du bois de sciage.

Essence : Espèce d'arbre

Folks : ce sont des fibres coupées très court, 0,2 à 2 mm, destinées à l'obtention de type velours après collage sur un support

Gymnospermes : plante phanérogame arborescentes, dont les grains, nus, sont gènes.

Glucosidiques : c'est-à-dire un glucide contenant plusieurs unités de sucre, et dont la formule chimique est $(C_6H_{10}O_5)_n$, où n représente le nombre d'unité de sucre (degré de polymérisation).

Liqueur : Solution aqueuse

Lumen : unité de mesure de flux lumineux

Masse volumique : C'est la masse de lignocellulose renfermée entre les surfaces d'un ensemble appelé unité de volume et comprenant le bois et les vides.

Pectines : regroupent différents types de polymère acide galacturonique, rhamnose, arabinose et galactose.

Polyaddition ou **polymérisation** : réactions en chaînes, dans lesquelles un centre actif initial permet la formation de macromolécules, par réunion de molécules simples ou monomères.

Procédé à sous pression : procédé d'imprégnation du bois par des produits chimiques sous forte pression.

Revêtement : contreplaqué, des panneaux structuraux, des panneaux OSB ou des bois de sciage utilisés pour fermer les murs latéraux.

Siccité : Qualité du ce qui est sec

Thermoplastique : polymère qui se ramollit à la chaleur

Traitement sous pression : Un procédé d'imprégnation sous pression du bois à l'aide d'agent de préservation ou d'ignifugeant chimique dans une cuve sous pression.

LISTES DES FIGURES

<i>Figure 1 : Structure de la cellulose.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2 : Exemple de structure tridimensionnelle de lignine.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3 : Alcools composant la lignine.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4 : Production de fibre textile mondiale.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : Défibreur d'une extrudeuse bi-vis.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6 : Raffineur utilisé pour le défibrage dans les procédés TMP et CTMP.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 7 : Aspects des fibres traitées par les procédés mécaniques et chimiques.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 8 : Panneaux de fibres.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 9 : Schéma simplifié de l'unité de production par procédé humide.....</i>	<i>30</i>
<i>Après avoir été stockés, les copeaux sont ensuite mélangés à l'agent chimique (alcalin) et passent à la cuisson à une température plus de 100°C et une pression de 8 bars pendant 1,75h dans l'autoclave. La figure 10 montre la courbe de cuisson.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 10 : Courbe de cuisson de l'usine.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 11 : Température de cuisson dans la cocotte minute.</i>	<i>36</i>
<i>Figure 12 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 1,49% Ca(OH)₂.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 13 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,74% NaOH.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 16(P1) : Aspect du produit fini par l'utilisation de l'usine (1, 49% de Ca(OH)₂).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 17(P2) : Aspect du Panneau de fibres dur par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,18% NaOH.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 18(P3) : Aspect du produit fini par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,74% NaOH.....</i>	<i>44</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Caractéristiques des fibres de bois [4].....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 2 : Conditions de cuisson du procédé acide.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 4 : Classification des panneaux de fibres durs.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 5 : Norme de qualité des fibres CAN/CGSB-11.3-M87 ; CAN/CGSB-11.5-M87.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 6 : Propriétés physico- mécaniques de différents types de panneaux.....</i>	<i>29</i>
<i>Le tableau 7 montre les températures prises pour chaque intervalle de temps.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 7 : Températures prises pour chaque intervalle de temps.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 8 : Test de volatilité des produits par cuisson dans une cocotte.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 9 : Température de cuisson.....</i>	<i>39</i>
<i>Le tableau 10 présente les propriétés physico mécanique du panneau de fibre dur produit par l'usine.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 10 : Propriétés physico-mécanique du panneau de fibre (méthode de l'usine)....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 11 : Propriétés physico mécanique du panneau fibre de la figure 17.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 12 : Propriétés physico mécanique du panneau fibre dur de la figure 18.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 13 : Test d'absorption.....</i>	<i>45</i>
<i>Le tableau 14 présente le poids des copeaux défibrés en utilisant des produits variés.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 14 : Poids des copeaux défibrés.....</i>	<i>45</i>
<i>Electrons par niveau d'énergie.....</i>	<i>VIII</i>

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'aube des temps jusqu'à nos jours, le bois a toujours été présent dans la vie humaine. L'homme met en usage son savoir et son savoir-faire pour l'exploiter afin de satisfaire ses besoins aussi bien social (bois de chauffage, jouets, construction, etc.) qu'économique (bois ronds, planches, produits artisanaux et manufacturés). Ces besoins ne cessent de s'accroître d'année en année et varient selon l'évolution de la technologie, selon les aspirations de la population, puis, du choix politique de développement du pays.

Etant membre de la COMESA et de la SADC, Madagascar a l'obligation de se soumettre aux lois de la zone du libre échange et affronter l'afflux des produits étrangers. Sa production industrielle doit respecter la norme internationale pour parvenir à satisfaire quantitativement et qualitativement les besoins de l'ensemble de la population se regroupant dans la SADC. En d'autre terme, il s'agit de rendre compétitive notre production au risque de ne pas disparaître. D'où la raison de la présente étude intitulée « **Amélioration du procédé de fabrication de pâte en bois** ».

Les objectifs de ce travail visent non seulement à améliorer le procédé de fabrication en modifiant la formulation du produit utilisé par la cuisson, mais aussi à réduire la consommation d'énergie en usine. Ce but va permettre de rehausser la valeur de la production dans la concurrence sur le marché et à développer l'économie d'un pays.

Ce travail de mémoire comporte deux chapitres : le premier relate l'étude théorique à savoir la généralité sur le bois, fabrication de pâte en bois, fabrication de panneaux fibres durs et le second axé sur l'expérimentation développe les matériels et méthodes utilisées à ressortir les résultats, à les interpréter et à discuter.

CHAPITRE I
ETUDE THEORIQUE

Partie I : GENERALITE SUR LE BOIS

L'industrie du bois est une industrie d'exploitation des ressources naturelles très importante dans le monde. Des arbres sont abattus pour divers usages dans la plupart des pays.

I - FAMILLE DU BOIS [4]

Il existe deux familles de bois :

- Les bois de feuillus (bouleau, hêtre et châtaignier, charme, eucalyptus, etc.) à fibres courtes (0,5 à 1,5 mm).
- Les résineux ou les conifères (pins, sapins et épicéas) à fibres longues (3 à 4 mm).

Le «bois de feuillus» est le terme courant servant à désigner les arbres à larges feuilles (latifoliés), qui font partie de la catégorie des angiospermes, tandis que le «bois résineux» désigne les conifères, classés dans la catégorie des gymnospermes. De nombreux feuillus et quelques résineux originaires des régions tropicales sont généralement appelés bois tropicaux ou exotiques, bien que la majeure partie du bois récolté à l'échelle mondiale proviennent de non résineux (58% du volume total). Ce phénomène tient peut-être en partie à la répartition géographique des forêts par rapport au développement industriel.

I.1 - Constituants chimiques du bois [1], [9].

En général, le bois est un ensemble de fibres constituées par des polymères de masses moléculaires élevées. Classés par ordre d'importance, les constituants chimiques sont :

- Glucides ou hydrates de carbone ;
 - Substances phénoliques ;
 - Tanins et substances colorées ;
 - Résines ;
 - Protéines ;
 - Constituants minéraux ;
 - Constituants mineurs.
- Les glucides : Ils sont représentés par la cellulose et les hémicelluloses, ce sont les constituants majeurs dont la proportion varie de 60 à 80%. Les chaînes de ces polymères sont constituées d'oses divers tels que des pentoses ou colophanes que l'on trouve en grande quantité dans le bois feuillus, des hexoses que l'on rencontre particulièrement dans les bois résineux et des acides uroniques.
 - Les substances phénoliques : Elles se trouvent sous la forme de lignine. Ce sont des polymères dont la composition diffère suivant les espèces végétales considérées, l'âge et la nature des tissus, elles représentent 20 à 30% des constituants.

- Les tanins : Ils sont des substances polyphénoliques qui s'associent aux protéines ainsi qu'à certains polyols. Ils peuvent être divisés en deux grandes familles :
 - les tanins hydrolysables, ou gallotanins ;
 - les tanins condensés, ou tanins catéchiques.
- Les résines : Elles comprennent :

Des constituants volatils tels que la térébenthine

 - des acides résiniques qui peuvent représenter 5% du total dans les bois résineux,
 - des esters des acides gras et du glycérol ou des stérols (huile essentielle extraite de sucs oléo résineux provenant de pins et contenant divers composants tels que l' α - pinène) dont la proportion varie entre 1% et 5%,
 - des terpènes et des composés terpéniques.
- Les protéines : Elles se forment au cours du développement des tissus dans les bois jeunes et se trouvent rarement en quantités supérieures à 1% dans les bois adultes.
- Les constituants minéraux : Ils représentent 0.5% du total dans les bois des pays à climat tempéré et peuvent atteindre 5% dans les bois tropicaux.
- Les constituants mineurs : Ce sont les alcaloïdes, les aldéhydes et les acides dicarboxyliques sous la forme de leurs sels de calcium.

1.2 - Différentes parties du bois [4], [1], [9], [6].

Coupé transversalement, un arbre possède trois parties distinctes : l'écorce, l'aubier et le bois de cœur.

- L'écorce** : Elle comporte des défauts. Elle est colorée et présente beaucoup d'impuretés à la fabrication des pâtes. Elle est par conséquent éliminée par écorçage.
- L'aubier** : Il est composé de 50% de cellulose, 10 à 20% d'hémicelluloses et de 20 à 30% de lignine.

La cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n : C'est une substance qui constitue les parois des cellules de toutes les plantes. Elle est une matière solide, blanche, inodore et insipide, de densité comprise entre 1,145 et 1,25. Elle est insoluble dans les solvants usuels, comme l'eau, la solution alcaline étendue, l'alcool, l'éther, etc. Sa structure est montrée par la figure 1.

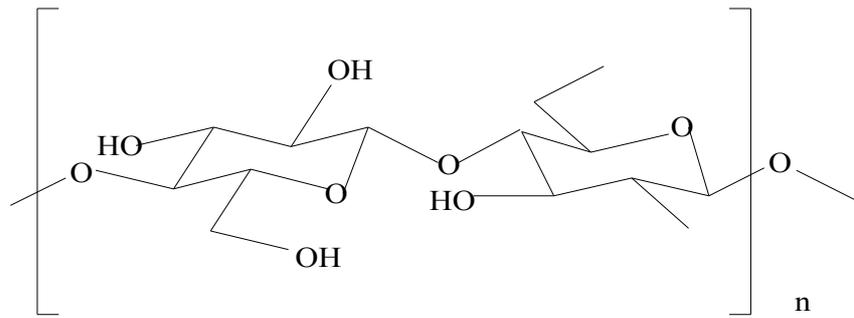


Figure 1 : Structure de la cellulose.

Les hémicelluloses : Elles assurent les liaisons des filaments dans la fibre de bois et garantissent la liaison de cellulose à la lignine. Ce sont des molécules complexes constituées de polysides à courtes chaînes composées d'hexoses, de pentoses et d'acides uroniques. Elles augmentent la résistance de la pâte en accroissant le nombre de liaisons hydrogènes inter-fibres. Ce sont des polymères se rapprochant de la cellulose mais à la chaîne plus courte et souvent ramifiée. Elles enrobent les filaments micellaires, munis d'hexosanes.

Les lignines : Elles lient les fibres de bois entre elles et confèrent à l'arbre leur rigidité. C'est l'élément principal à éliminer, lequel joue le rôle d'obstacle à la libération des fibres entre elles. En général, la lignine est composée de trois alcools phénylpropénoïques : l'alcool coumarique, l'alcool ciniférylique et l'alcool sinapylique. La figure 2 montre la structure de la lignine et les formules de ces alcools présentées par la figure 3. Ce corps cyclique est constitué d'un noyau benzénique en C₆, de groupements méthoxyles OCH₃, hydroxyles OH et carbonyles CO. C'est une matière plastique naturelle, assez instable à cause des liaisons insaturées de sa formule subissant l'action de la lumière et se dissolvant dans les matières alcalines.

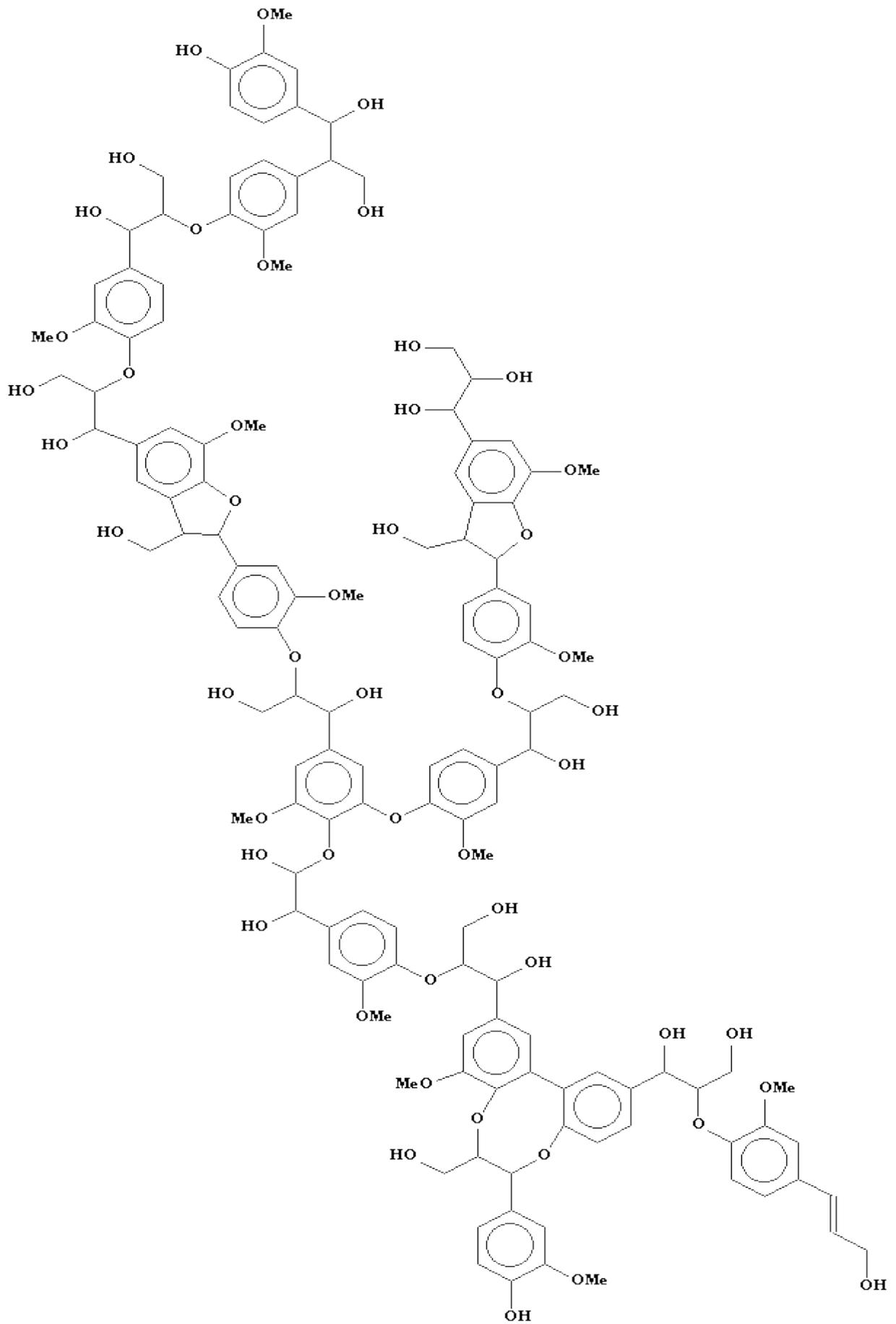


Figure 2 : Exemple de structure tridimensionnelle de lignine.

Ces alcools précurseurs polyfonctionnels sont copolymérisés et forment des structures hétérogènes vastes et amorphes. La figure 3 représente les trois unités composant la lignine. La teneur de ces composants est différente, selon l'origine des lignines.

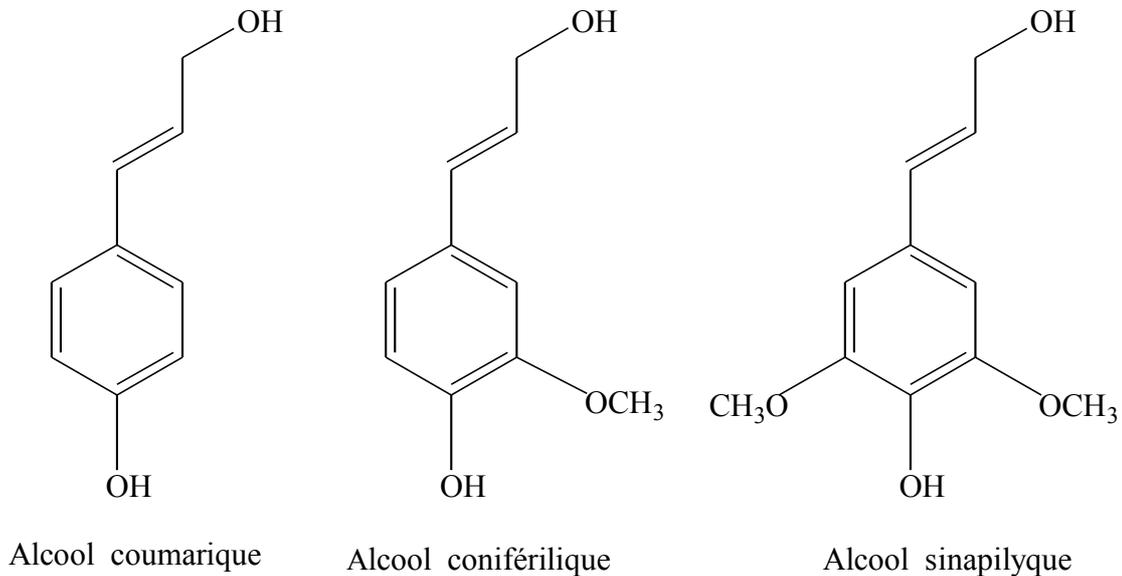


Figure 3 : Alcools composant la lignine

- c. **Le bois de cœur** : Il représente la fraction centrale majoritaire du tronc. Il est constitué de vaisseaux qui ne sont pas actifs, vides et obturés par des substances divers (polyphénols), il apporte le principal soutien mécanique de l'arbre.

Lorsque le bois est défibré, les liens entre les fibres sont rompus et ne peuvent se reformer naturellement sauf si trois éléments spécifiques sont réunis.

II - LES FIBRES [1], [4].

D'une manière générale, le terme fibre désigne des matériaux se présentant sous forme de filaments ou brins larges et fins. Les fibres sont généralement constituées de filaments ayant un diamètre compris entre quelques μm et quelques dizaines de μm , possédant des valeurs du rapport de longueur/diamètre supérieures à 100 et pouvant atteindre des valeurs pratiquement infinies dans le cas de fibres continues. Dans le cas d'une fibre monofilament, le diamètre peut être de l'ordre du millimètre

Dans l'industrie textile, les appellations suivantes sont utilisées : *un brin* est le résultat de l'extrusion d'un polymère : *un fil* continu est la réunion de plusieurs brins de très grande longueur, *une fibre* est un ensemble de brins coupés en quelques centimètre de longueur, la longueur de coupe rend possible le mélange avec des produits naturels tels que le coton ou la laine qui sont eux- mêmes, constitués de fibres courtes.

II.1 - Classification des fibres [8], [1].

Les fibres peuvent être classées en deux catégories: les fibres naturelles, les fibres chimiques.

On peut également distinguer les fibres organiques et les fibres minérales.

Les fibres minérales d'origine naturelle, telles que l'amiante ou les fibres synthétiques comme celles des céramiques, sont utilisées essentiellement pour leurs propriétés mécaniques. Ce sont des fibres de renfort dans les composites, à cause de leurs propriétés réfractaires (isolement thermique), pour obtenir des fibres optiques et des filaments incandescents, pour la filtration de gaz ou de liquide ; etc.

Les fibres organiques sont souvent utilisées dans les industries textiles comme fibres textiles

Les fibres totalement synthétiques ne se développèrent qu'à la veille de la 2^{ème} guerre mondiale avec, notamment, *le nylon ou polyamide 6.6 découvert en 1935* par **Wallace Carothers** pour la firme *Du Pont de Nemours et le perlon ou polyamide 6 en 1938* par le **Dr. Paul Schlak** de **I.G. Farben**. Ces inventions marquèrent le début des prodigieux développements, puisqu'il existe actuellement sur le marché mondial, plus de cinq mille noms commerciaux de fibres, bien que celles-ci ne concernent en fait qu'une dizaine de familles chimiques. La répartition de la production de fibre textile mondiale est montrée par la figure 4

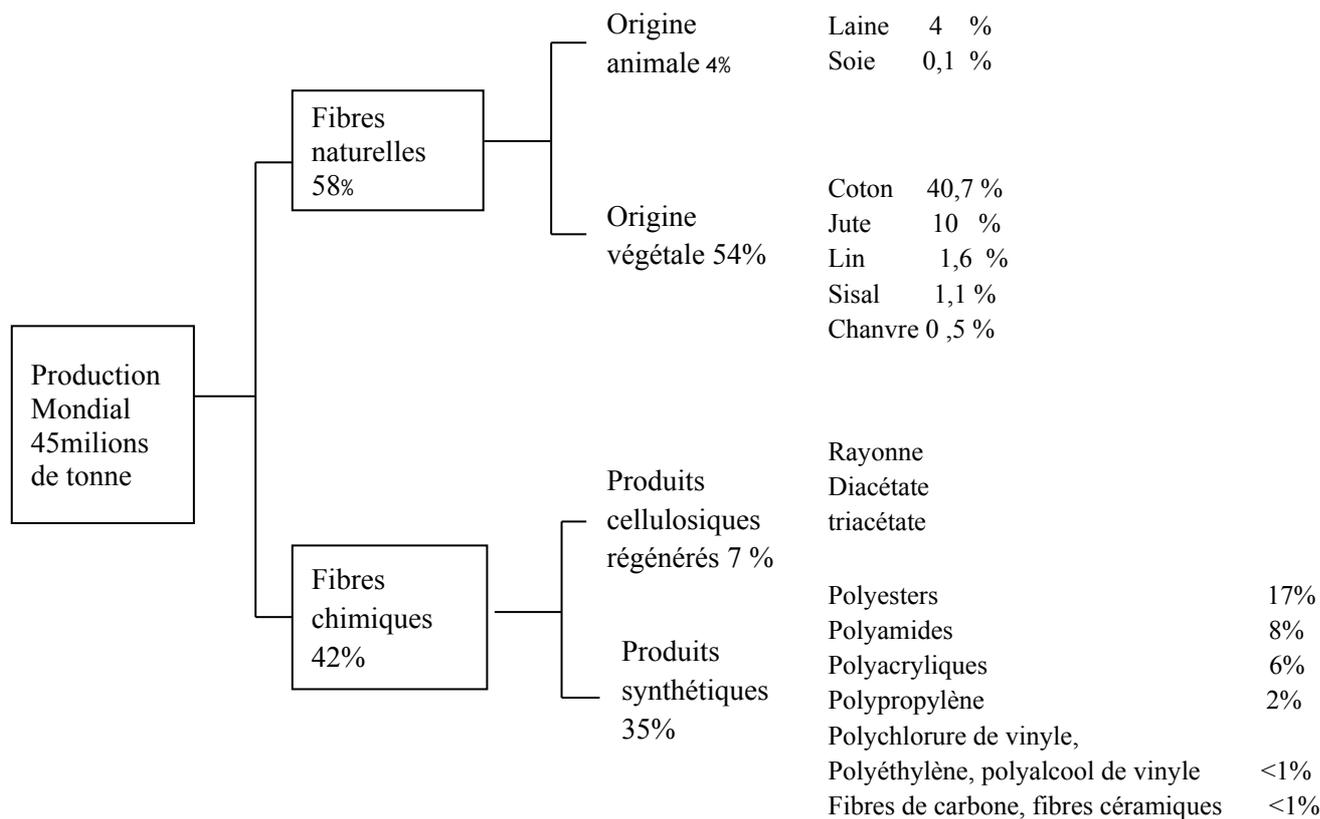


Figure 4 : Production de fibre textile mondiale

II.1.1 - Fibres naturelles

Pour leur élaboration, les fibres naturelles classiques d'origine végétale (fibres celluloseux) ou animale (poils et soie) nécessitent peu de traitements relevant de la chimie industrielle.

II.1.2 - Fibres chimiques

Les procédés et les technologies de mise en forme des fibres chimiques sont très variables, selon les polymères utilisés et les produits à obtenir. A titre d'exemple, dans le domaine des fibres chimiques, les conformations recherchées peuvent être des mono filaments, des fils continus, des fibres coupées, des non-tissés, des folks, etc.

II.1.2.1 - Fibres celluloseux régénérées

Les anciens procédés, utilisant de la nitrocellulose ou en dissolvant la cellulose en milieu basique dans la liqueur de Schweitzer $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ pour conduire aux fibres cupro, ont été supplantés par les procédés aux rayonnées viscosse et acétate.

II.1.2.2 - Fibres synthétiques

- Fibres organiques

Dans la plupart des cas, l'obtention des fibres organiques est due aux réactions de polymérisation des monomères (éthylènes, propylènes, etc.) mono fibre. Voici quelques types de ces fibres : polytéréphtalate d'éthylène, nylons, aramide ou kevlar, polyacrylonitrile, polypropylène, polyéthylène.

- Fibres minérales

Les fibres minérales se divisent en 5 grandes parties, comme les fibres de verre, les fibres optiques, les fibres de carbone, les fibres de bore et les fibres céramiques.

Les caractéristiques des fibres de bois sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des fibres de bois [4].

Type de fibres	Longueur (mm) maximum	Diamètre (mm)	Rapport épaisseur de la paroi sur diamètre du lumen	Contrainte à rupture (MPa)	Allongement à rupture	Cellulose %	Lignines %	Hémicelluloses %
<i>Fibres de bois</i>								
Résineux	3	35	2,5	200-400	9-13	40-55	15-35	25-40
Feuillus	1,2	30	2			38-49	23-30	19-26

Ce tableau montre la différence de caractère entre les deux fibres de bois. Les bois résineux à une fibre longue, un diamètre élevé et un haut pourcentage de cellulose, lignine, héli cellulose élevés par rapport à ceux du bois feuillus.

Partie II : FABRICATION DES PATES EN BOIS.

I - CONSIDERATIONS GENERALES [10], [11].

La pâte des résineux se caractérise par sa solidité et sa résistance, alors que celle des feuillus présente des avantages d'opacité et d'imperméabilité.

Les pâtes par le présent chapitre sont des pâtes fibreuses cellulosiques, obtenues en partant de divers produits végétaux riches en cellulose ou de certains déchets textiles d'origine végétale. La pâte est une masse molle humide de fibres de bois utilisée dans la fabrication du papier ou autre.

Dans le domaine du commerce international, les pâtes les plus importantes sont les pâtes de bois, dites pâtes mécaniques, pâtes chimiques, pâtes mi-chimiques ou chimico-mécaniques. Parmi les résineux les plus utilisés sont le pin, le sapin, l'épicéa, le peuplier et le tremble. Les bois durs tels que le hêtre, le châtaignier, l'eucalyptus sont utilisés.

La pâte de bois peut être brune ou blanche. Elle peut être mi-blanchie ou blanchie à l'aide de produits chimiques ou encore laissée en l'état. Une pâte est à considérer comme mi-blanchie ou blanchie lorsque, après sa fabrication, elle a subi un traitement destiné à en accroître la blancheur (réfléctance).

En dehors de l'industrie du papier, certaines catégories de pâtes, particulièrement les pâtes blanchies, constituent la matière première cellulosique de diverses productions très importantes : matières plastiques, vernis, explosifs, panneaux de fibre, aliments pour le bétail, etc.

La production de fibres végétales est principalement dédiée aux industries de papeteries, 180 millions de tonnes en 2002 contre 26 millions de tonnes pour l'industrie de panneau de fibre et 25 millions de tonnes dans le textile (FAO, 2002).

II - PROCEDES DE FABRICATION DE PATE EN BOIS [4], [16].

La préparation de la pâte est l'étape précédant toute fabrication de panneaux fibres. La pâte désigne la matière constituée de fibres cellulosiques en suspension fluide. Toutes les opérations sont effectuées en milieu aqueux, pour assurer l'adhésion des fibres entre elles.

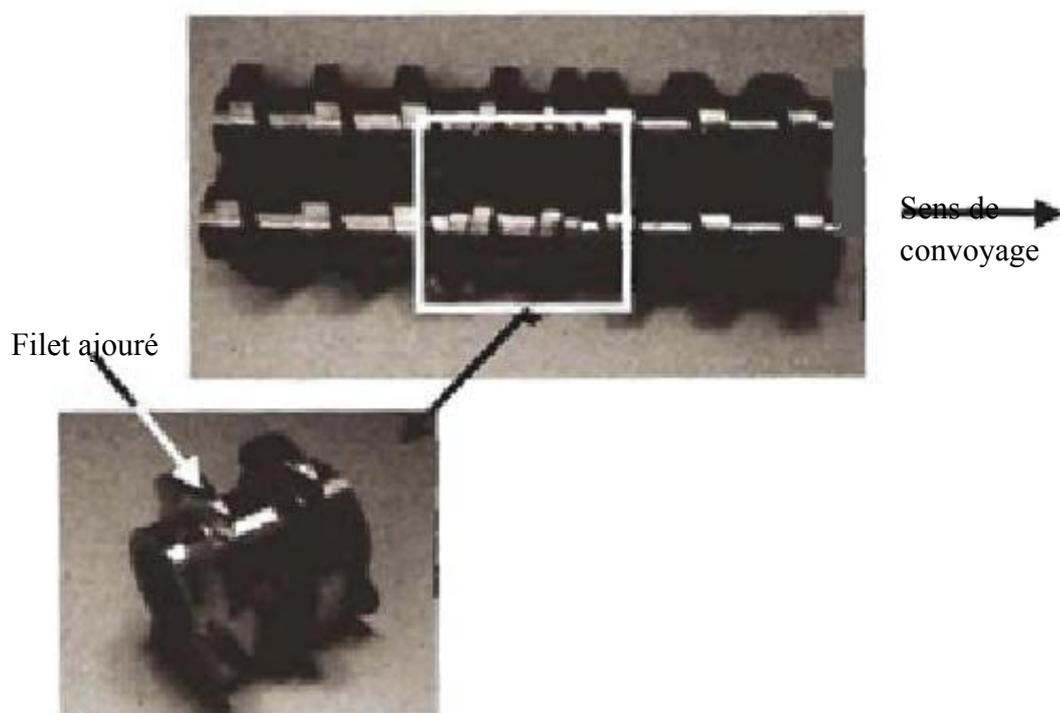
Ces procédés sont très nombreux et peuvent différer les uns des autres, uniquement par l'utilisation d'un produit différent ou par la variation de la valeur d'un paramètre. Sont ci-présents les procédés les plus couramment utilisés

II.1 - Pâte mécanique en bois [1], [4], [11], [20], [3]

Par son mode de fabrication, la pâte mécanique contient tous les éléments du bois : la cellulose, mais également les hémicelluloses et la lignine. Le procédé repose sur le passage forcé de la

matière entre des disques rotatifs rainurés qui constituent le défibreur. La figure 5 montre l'élément de défibrage d'une extrudeuse. Les différentes contraintes de cisaillement, de torsion, de flexion et d'élongation aboutissent soit à une rupture entre les parois des fibres (lamelle moyenne), soit dans l'épaisseur de la paroi de pâte elle-même (figure 6) Les échauffements, liés aux frottements de la matière sur les disques, permettent d'atteindre localement des températures de l'ordre de 150°C. La combinaison chaleur/eau a pour conséquence un ramollissement des constituants amorphes, notamment les lignines, ce qui va favoriser une séparation entre les fibres, limitant ainsi leur casse.

Un raffineur pour le défibrage est montré dans la figure 6.



Élément de la zone de défibrage (vis de pas inverse)

Figure 5 : Défibreur d'une extrudeuse bi-vis

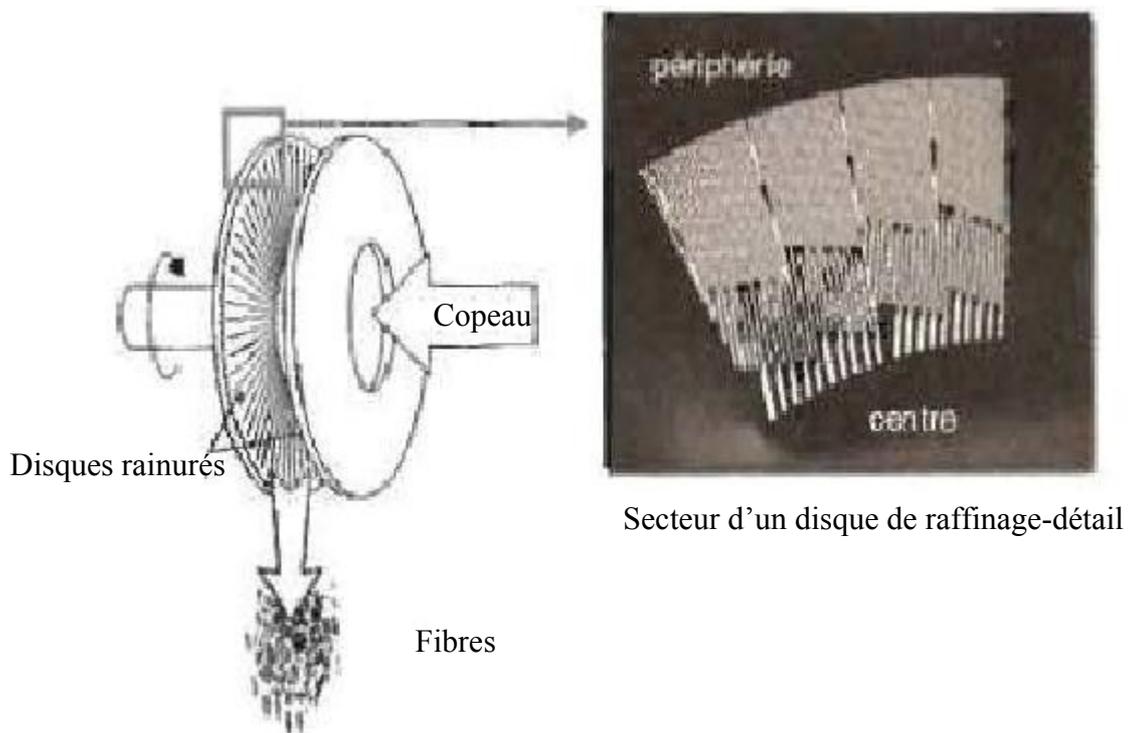


Figure 1. Raffinement réalisé pour le défilage dans les procédés TMP et CTMP.

La production de pâtes mécaniques de qualité se réalise toujours en deux étapes : une étape de défibrage où les fibres sont séparées, et une étape de raffinage où le même travail mécanique est poursuivie à l'aide de disques rainurés sur les structures individualisées et ce, de manière contrôlée. La même opération réalisée sur des rondins préalablement soumis à une cuisson à la vapeur donne une pâte plus foncée dite mécanique brune. Ainsi, un certain nombre de pâtes sont regroupés dont le procédé de fabrication est majoritairement mécanique.

- **Pâte de meule (SGW)** est caractérisée par des rondins râpés sur une meule abrasive ou défibreur. La chaleur dégagée aide au ramollissement de la lignine,
- **Pâte de meule sous pression (PGW)** est une des pâtes obtenues par amélioration du procédé précédent, qui sous l'effet de la température et de la pression permet d'obtenir une proportion plus importante de fibres longues,
- **Pâte mécanique raffineur (RMP)** est basée au défibrage des copeaux à l'aide de raffineurs en une ou plusieurs étapes à pression atmosphérique,
- **Pâte thermomécanique (TMP)** est un procédé qui utilise le bois des résineux sous forme de copeaux. Ces copeaux sont étuvés à la vapeur, ce qui facilite la séparation des fibres. Le défibrage a ensuite lieu dans un défibreur sous pression. Enfin, un raffinage à pression atmosphérique améliore la cohésion des fibres cellulósiques. Les pâtes ainsi préparées ont une proportion de fibres longues importantes.

II.2 - Pâte chimique en bois [11], [14], [20], [22]

L'objectif du procédé chimique consiste à séparer la fibre pure du bois, en éliminant tous les éléments indésirables tels que : la lignine, les composés minéraux (la silice dans la pâte), et les impuretés (poussières, terres etc.). C'est pourquoi les copeaux de bois sont bouillis dans une solution chimique. La préparation de la pâte s'effectue dans de grands lessiveurs, à température élevée de 100 à 180°C. Le bois est cuit sous pression, en présence des composés chimiques pendant 2 à 8 h. Les fibres en sortent souples et individualisées. Les produits actifs sont déversés dans des lessiveurs et dissolvent les éléments indésirables lors de la cuisson. Le principe de base de ces procédés est la dissolution par cuisson des liants qui maintiennent ensemble les structures cellulaires et assurent la cohésion des tissus dans les plantes. Les procédés chimiques sont souvent les plus utilisés pour les industries de fabrication de pâte à papier. On distingue la pâte chimique : au sulfate, au bisulfite, à la soude, à la chaux selon les produits chimiques utilisés.

Les produits chimiques utilisés habituellement sont : la soude caustique (procédé à la soude), un mélange de soude caustique et de sulfate de sodium (procédé au sulfate), et le bisulfite de calcium ou de magnésium ou d'hydrogénosulfite de calcium ou de magnésium (traitement au bisulfite).

Deux grands procédés existent selon les réactifs chimiques utilisés : le procédé acide et le procédé alcalin.

II.2.1 - Procédé acide (ou procédé au bisulfite) [1], [4], [17], [31].

Le procédé acide au bisulfite a pris un grand essor dès son industrialisation en 1874. Son élément actif est l'**anhydride sulfureux** (SO₂) qui sulfone à chaud la lignine et la transforme en **acides lignosulfoniques** solubles dans l'eau. Ces acides sont ensuite éliminés en même temps qu'une partie des hémicelluloses. Sur le tableau 2 se trouvent les conditions de cuisson dans le procédé acide.

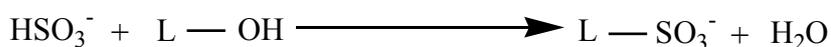
Tableau 2 : Conditions de cuisson du procédé acide.

Procédé	pH	Base correspondant	Réactif actif	Température de cuisson °C
(Bi) sulfite acide	1-2	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺	SO ₂ *H ₂ O, H ⁺ , HSO ₃ ⁻	125-143
Bisulfite (bisulfite de magnésium)	3-5	Mg ²⁺ , Na ⁺	HSO ₃ ⁻ , H ⁺	150-170
Sulfite neutre	5-7	Na ⁺ , NH ₄ ⁺	HSO ₃ ⁻ , SO ₃ ²⁻	160-180

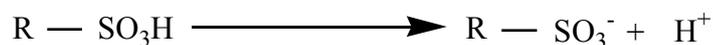
Réaction chimique : (Cas général)

Sous l'action de SO₂, la lignine donne naissance à des acides ligno-sulfoniques. L'agent de cuisson peut être une solution soit : de bisulfite de sodium (NaHSO₃), soit de bisulfite de magnésium Mg(HSO₃).

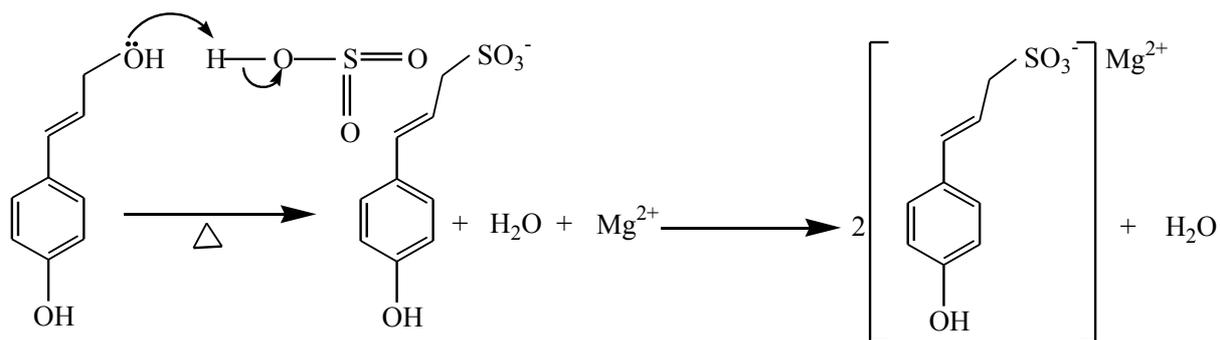
Réaction (cas général) :



Au cours de la réaction, il se forme des acides sulfoniques entièrement dissociés.



Mécanisme réactionnel



Alcool coumarique

Para (propènyle sulfonate de magnésium) phenol

Les bases correspondantes : jouent un rôle sur l'adhérence de la fibre et sur sa qualité (couleur, opacité)

Les réactifs : jouent aussi un rôle très important pour l'activation de la réaction.

Les pâtes au bisulfite, pures ou en mélange avec d'autres pâtes, entrent dans la composition des papiers divers d'écriture, d'édition, etc. Le procédé acide (2 < pH < 4) est relativement peu utilisé

en raison des rejets de gaz sulfurés difficiles à contrôler. Il permet la production de fibres aux propriétés mécaniques intermédiaires entre pâtes kraft et mécaniques, faciles à raffiner et à blanchir. Le procédé bisulfite est utilisé pour traiter le sapin, l'épicéa.

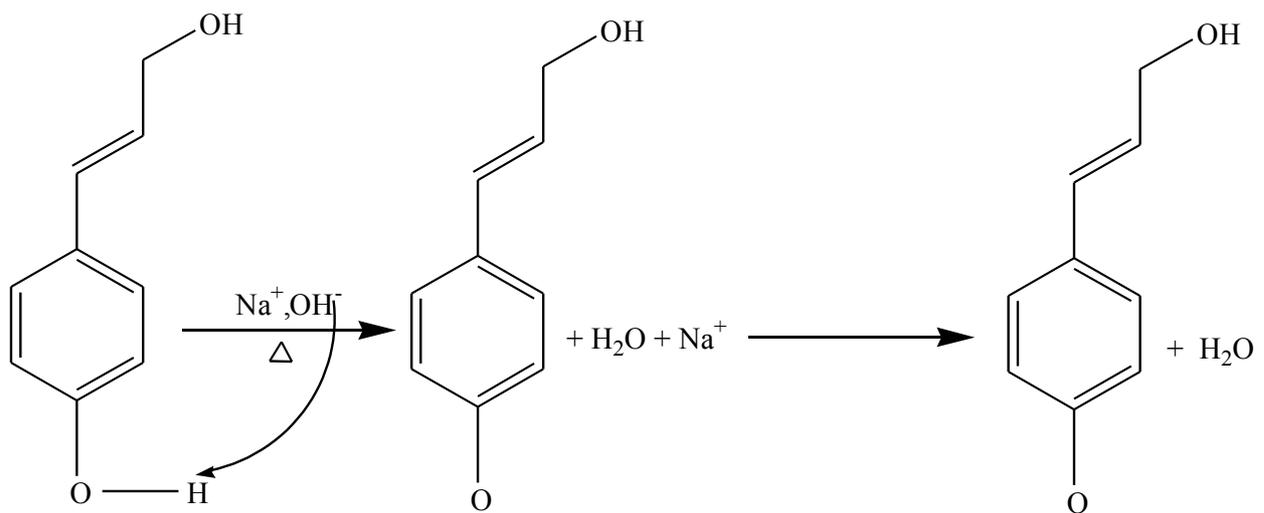
II.2.2 - Procédé alcalin [1], [4], [13], [19].

Réaction chimique : (cas général)

Sous l'action d'une base OH^- l'alcool (lignine) se transforme en ion para (3-hydroxypropényle) phénate et donne naissance l'eau.



Mécanisme réactionnel



Alcool coumarique

Para (3-hydroxypropényle) phénate de sodium

- **Processus de fabrication de la pâte kraft (pâte au sulfate)**

C'est la méthode de production la plus employée parmi les procédés de fabrication de pâtes chimiques. Dans le procédé de fabrication des pâtes chimiques, les fibres chimiques sont libérées de la matrice du bois, lorsqu'on enlève la lignine pour la pâte par dissolution dans une solution chimique de cuisson à haute température. L'hémicellulose est également dissoute lors de cette opération de cuisson. Dans le procédé kraft, les produits chimiques actifs de cuisson (liqueur blanche) sont l'hydroxyde de sodium (NaOH) et le sulfure de sodium (Na_2S). Le sulfure de sodium est un réducteur, il protège la cellulose de l'oxydation. En raison de l'importante quantité d'hydroxyde de sodium utilisée, au début de la cuisson, la valeur du pH est très élevée. Elle baisse progressivement pendant la cuisson, du fait de la libération d'acides organiques contenus

dans la lignine et dans les hydrates de carbone au cours de la réaction. La liqueur blanche utilisée dans l'industrie, peut varier de 15 à 20 % par rapport au bois sec. La température s'élève jusqu'à 180°C, en temps normal de 5 à 6 h. Ce temps peut être réduit à 3 h dans certaines usines. Ce procédé est adaptable à tout type de plantes à fibres.

- **Processus de fabrication de pâte à la soude**

Cette technique utilise une cuisson alcaline de copeaux de bois et conduit à l'obtention d'une pâte écrue de couleur marron. Ces processus de fabrication s'effectuent en deux méthodes ; à froid et à chaud. Le pourcentage de soude tient beaucoup pour séparer les fibres cellulosiques et pour éliminer une des parties de la lignine et d'hémicellulose, celles-ci servent de colle dans le bois sur presse chauffante. Le procédé à la soude est employé pour traiter les bois durs, en vue de la préparation d'une pâte de bonne qualité. Souvent, l'industrie de pâte emploie 0,5 à 10% de NaOH (par rapport au bois sec), l'expérience est relativement courte, car on opère à température élevée. Les conditions habituelles demandent une température de cuisson de 150 à 180°C, atteinte après 1 à 2 h de chauffage. La température est ensuite maintenue entre 2 à 8 h. Les bois durs exigent moins de temps (environ 4 h) et moins d'alcalin que les conifères. Pour le procédé à froid, les copeaux de bois sont traités à la soude avant le raffinage. Le produit NaOH sous le nom de soude caustique est un produit très basique, très soluble dans l'eau.

Les caractéristiques de Na⁺ et de NaOH sont en annexe IV

- **Processus de fabrication de pâte à soude anthraquinone et kraft anthraquinone**

Ce procédé a été publié en 1977, par le chercheur canadien H.H.Holton qui a mis en évidence l'effet catalytique des composés anthraquinones sur la délignification en milieu alcalin. En utilisant l'anthraquinone comme agent de cuisson dans le procédé kraft ou soude, il est possible de réduire le temps de cuisson et d'augmenter le rendement en pâte. Les propriétés mécaniques des pâtes kraft-anthraquinones sont équivalentes à celles des pâtes kraft, à même indice de délignification. Ce procédé est employé pour accélérer la délignification de la matière fibreuse.

- **Processus de fabrication de pâte à chaux éteinte (hydrate de calcium)**

L'utilisation de Ca(OH)₂ (*chaux éteinte*) dans un lessiveur à haute pression avec une température assez élevée, supérieure à 100°C délignifie les fibres entre eux. C'est aussi un procédé alcalin avec un pH >10 au début de la cuisson. Le temps de cuisson dure entre 2 h à 5 h. La qualité de la pâte obtenue est employée dans la fabrication d'emballage, de papier à carton et dans les fabrications de panneau fibre. La coloration de la pâte produite est foncée par rapport aux autres procédés. Le Ca(OH)₂ est une base composée de deux ions différentes : Ca²⁺(cation) et OH⁻(anion).

Les caractéristiques de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et de Ca_2^+ en annexe IV

- **Processus de fabrication à l'hydroxyde d'ammonium**

Ce procédé à l'hydroxyde d'ammonium est difficile car cette liqueur blanche de NH_4OH est volatile. Des recherches sur les procédés nitro-sodiques ont été très poussées en Allemagne (sur le hêtre), au Japon (sur la paille et le bois) et aux Etats-Unis. Ces collaborateurs ont approfondi les recherches pour l'emploi de ce procédé sur les résidus agricoles.

Autre procédés :

- **Procédés organosolves**

Ils sont souvent présentés, comme une alternative au défilage industriel. Ces procédés visent à valoriser l'ensemble des constituants de la plante, aussi bien fibreux que non fibreux.

- **Procédé pomilio, au chlore**

L'utilisation du procédé, s'était spécialement développée en Italie, en Afrique du Sud, aux Philippines et en Argentine. Dans ces pays, le procédé au chlore était surtout utilisé pour la transformation de matériaux cellulosiques autres que le bois. Une usine, travaillant avec un procédé au chlore, est actuellement projetée au Mexique. Le procédé est basé sur la solvolysé des lignines en présence d'un catalyseur. Les réactifs utilisés sont des solvants des lignines (alcools et acides organiques) le plus souvent additionnés d'eau et/ou de catalyseurs, accélérant le processus de dépolymérisation pour les solubiliser.

II.3 - Pâtes mi-chimiques en bois [3], [11], [18], [22], [20]

Elles sont réalisées par traitement chimique doux, suivi de désintégration mécanique. La pâte est obtenue par cuisson de copeaux (résineux ou feuillus). Après cuisson, les copeaux sont désintégrés dans des raffineurs à disques. La mise en pâte mi-chimique est une combinaison d'un léger traitement chimique lequel affaiblit les liens intercellulaires en dissolvant une partie de la lignine et de l'hémicellulose, et est suivie d'un traitement mécanique qui sépare individuellement les fibres. Ces pâtes contiennent une grande quantité d'impuretés et de matières ligneuses. La délignification permet d'éliminer 50 % de la lignine du bois. Les bois de feuillus sont abondantes et peu coûteux pour fabriquer des pâtes à très haut rendement possédant des propriétés intermédiaires entre les pâtes mécaniques et chimiques.

- **Pâte chimico-mécanique (CMP)** : il s'agit d'une technique d'imprégnation de produit chimique aux copeaux (soude, sulfite de sodium) puis raffinés à pression atmosphérique.
- **Pâte chimicothermomécanique (CTMP)** : il s'agit d'une technique combinant imprégnation (mélange avec un produit chimique), cuisson et raffinage. Ce procédé contient toujours de la lignine.

La figure 7 montre les aspects des fibres traitées par les procédés mécaniques et chimiques.

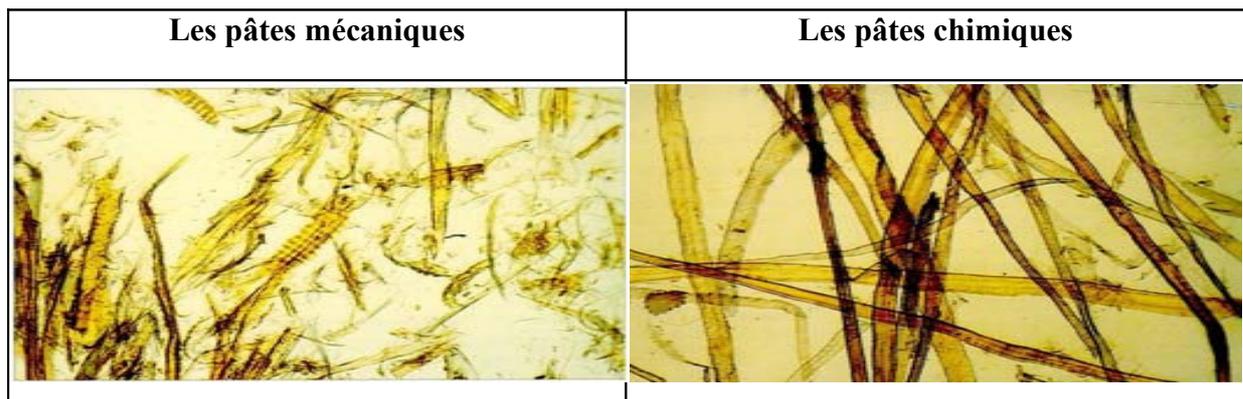


Figure 7 : Aspects des fibres traitées par les procédés mécaniques et chimiques.

L'inconvénient de pâte mécanique réside dans le fait que les fibres sont fortement endommagées et contiennent encore de nombreuses impuretés. Elle est jaune et moins résistante. Obtenue à froid, la pâte dite mécanique blanche est de teinte assez claire, mais de faible ténacité, les fibres étant brisées. Les fibres produites par des moyens mécaniques sont relativement rigides puisqu'elles n'ont rien perdu de sa matière. Cependant, elles consomment tellement d'énergie. Quant à la fibre produite par procédé chimique, celle présente une bonne surface lisse souvent plus souple. Les fibres sont longues et claires et ne représentent aucune impureté.

Les procédés de mise en pâte, sont résumés dans le tableau 3. Dans certains cas, les acronymes anglais (en italique) ont été retenus en l'absence d'équivalent français reconnu. Ces procédés sont les mieux connus et présentent le meilleur potentiel de croissance, car ils permettent d'obtenir économiquement des produits de qualité.

Tableau 3 : Procédés de mise en pâte

ACRONYME	TYPE DE PATE	ESSENCES UTILISEES	PROCEDE
<i>LFCMP</i>	Pâte de fibres longues chimico-mécaniques	Résineux	La fraction des fibres longues est traitée avec des produits chimiques avant le raffinage.
<i>SLF</i>	Pâte de fibres	Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • La fraction des fibres longues est sulfonée traitée avec du sulfite de sodium avant d'être raffinée.
<i>HYS</i>	Pâte sulfite à haut rendement	Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont imprégnés sous pression et raffinés à pression atmosphérique
Solvant	Pâte aux solvants	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont cuits dans des solvants organiques (éthanol) ou dans un mélange de solvants organiques et de produits chimiques inorganiques.
Sulphite	Pâte au sulfite	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Cuisson en milieu acide avec des ions SO₂, libres et combinés
Soude	Pâte à la soude	Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont cuits dans une solution de NaOH.
<i>SGWI</i>	Pâte de meule	Résineux Feuillus	<ul style="list-style-type: none"> • Défibrage des billes à l'aide de meules à pression atmosphérique
<i>PGW</i>	Pâte de meule pressurisée	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé identique à celui de la pâte de meule, mais appliqué sous pression
<i>RMP</i>	Pâte mécanique raffinée à pression atmosphérique	Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont défibrés à l'aide de raffineurs en une ou plusieurs étapes à pression atmosphérique.
<i>PRMP</i>	Pâte mécanique raffinée sous pression	Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont défibrés à l'aide de raffineurs en une ou plusieurs étapes sous pression.
<i>TMP</i>	Pâte thermomécanique	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont d'abord chauffés à la vapeur, à plus de 100 °C, puis défibrés en une ou plusieurs étapes de raffinage. • Le raffinage peut être soit effectué sous pression, soit combiné à une étape sous pression suivie d'une étape à pression atmosphérique.
<i>CTMP</i>	Pâte chimico-thermomécanique	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé similaire à celui de la PTM, mais les copeaux sont imprégnés de produits chimiques. • contient encore quelques lignines.
<i>APP</i>	Pâte alcaline au peroxyde	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont soumis à de multiples imprégnations successives de peroxyde et d'autres produits chimiques, puis à deux étapes de raffinages à pression atmosphérique.
<i>CMP</i>	Pâte chimico-mécanique	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none"> • Les copeaux sont imprégnés (de soude, sulfite de sodium) puis raffinés à pression atmosphérique.
ACRONYME	TYPE DE PATE	ESSENCES UTILISEES	PROCEDE

<i>CRMP</i>	Pâte chimico-mécanique de raffineur atmosphérique	Feuillus Résineux	<ul style="list-style-type: none">• Les copeaux sont d'abord traités avec des produits chimiques, puis raffinés à pression atmosphérique.
Soude froid	Pâte à la soude à froid	Feuillus	<ul style="list-style-type: none">• Les copeaux sont traités à la NaOH avant raffinage.

Partie III : FABRICATION DES PANNEAUX DE FIBRES

I - ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE SUJET [8], [11], [23].

L'essence forestière utilisée et le processus de fabrication déterminent les qualités spécifiques de la pâte et son utilisation finale.

Cette partie est principalement consacrée à la transformation du bois, en vue de la fabrication de panneaux manufacturés dans les scieries et autres établissements du même type. Le terme panneau manufacturé désigne une plaque de bois débité composée d'éléments de dimensions variées, des placages jusqu'aux fibres. Ces éléments sont agglomérés au moyen d'adhésifs liquides ou de liaisons chimiques naturelles. En raison du grand nombre de procédés de fabrication et des risques correspondants, les panneaux manufacturés sont subdivisés en trois catégories : contreplaqué, panneaux de particules et panneaux de fibres. Les contreplaqués sont constitués par plusieurs feuilles de placages superposées et collées entre elles. On entend par panneau de particules, tout panneau fabriqué à partir de petits morceaux de bois tels que copeaux, fragments, éclats ou lambeaux. Le terme panneau de fibres désigne tous les panneaux produits à partir de fibres de bois, à savoir les panneaux durs, les panneaux de moyenne densité et les panneaux isolants. Il est possible de produire des panneaux manufacturés, à partir de toute une série d'essences forestières. Celles-ci sont choisies en fonction de la forme, de la taille de l'arbre, des caractéristiques physiques du bois proprement dit, comme sa robustesse ou sa résistance à la décomposition, et de ses qualités esthétiques.

Le panneau fibre est constitué de fibres de bois ou d'autres matières lignocellulosiques, d'une épaisseur supérieure ou égale à 1,5 mm, avec application de chaleur et/ou de pression. Le panneau de fibres de bois se reconnaît visuellement et tactilement : une face du panneau est lisse et l'autre est tramée.

II - PROCEDE DE FABRICATION DES PANNEAUX DE FIBRES

Le panneau de fibres est un terme générique désignant les matériaux de densités très diverses, fabriqués par pressage de fibres de bois, en forme de panneaux. La figure 8 donne schématiquement un panneau de fibres.



Figure 8 : Panneaux de fibres

II.1 - Classification des panneaux de fibres [4], [8]

Ils sont classés, selon la norme, et selon leur procédé de fabrication.

- Panneaux de fibres obtenus par procédé humide. On distingue plusieurs types selon leur masse volumique :
 - Panneaux isolants (masse volumique $\leq 400 \text{ kg.m}^{-3}$). Ces panneaux possèdent des propriétés de base thermique et phonique.
 - Panneaux mi-durs (masse volumique > 400 et $\leq 800 \text{ kg.m}^{-3}$).
On distingue les panneaux mi-durs de faible masse volumique (400 kg.m^{-3} à 560 kg.m^{-3}), et les panneaux mi-durs de forte masse volumique (560 à 800 kg.m^{-3})
 - Panneaux durs (masse volumique 800 à 1100 kg.m^{-3})
- Panneaux de fibres obtenues par procédé sec: Ce sont les panneaux de densité moyens qui ont une masse volumique égale à 600 kg.m^{-3} .

Les étapes de fabrication des panneaux de fibres durs sont en annexe I.

II.2 - Description des panneaux fibres durs [4], [25], [28]

Le panneau de fibres dur (HDF) est un panneau constitué des fibres de bois entremêlées et consolidées à la presse chauffante. Le procédé humide est utilisé pour la fabrication du panneau dur. L'agglomération des fibres est obtenue par estérification de la lignine du bois. Les panneaux de fibres durs, minces et denses sont obtenus sans colle par réactivation à chaud et sous forte pression de la lignine du bois.

Ils sont caractérisés par une masse volumique supérieure à 800 kg.m^{-3} et leur épaisseur variée selon la demande de l'utilisateur. Ce sont les plus anciens des panneaux de fibres.

II.2.1 - Aspect visuel

Un panneau dur et brun foncé. L'une des deux faces est lisse et l'autre est rugueuse de trame normale ou fine.

II.2.2 - Domaine d'utilisation

Revêtement extérieur (un revêtement textile, linoléum, parquet, chape sèche sur un sol neuf ou ancien, revêtement de toiture et de sol, porte de garage, coffrage de construction, de surface d'usure d'une plateforme de camion, fond de tiroir ou de meuble, parement de porte, etc.)

III - NORMES DE QUALITE ET CARACTERISTIQUES LE PANNEAU DE FIBRES DURS [24].

La classification selon la norme Canadienne CAN/CGSB-11.3-M87 ou CAN/CGSB-11.5-M87, des panneaux de fibres durs est montrée dans le tableau 5.

La norme exige que les produits fabriqués dans l'usine aient de qualité égale ou supérieure à celle donnée dans le tableau 5. Cette norme est appliquée aux panneaux de type 1, 2 et 5 énumérés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Classification des panneaux de fibres durs

Types	Catégories	Epaisseurs nominales minimales (mm)	Applications
1	Standard	6,0	Murs avec revêtement intermédiaire
		7,5	Murs sans revêtement intermédiaire
2	Recuit	6,0	Murs avec revêtement intermédiaire
		7,5	Murs sans revêtement intermédiaire
5	Revêtement extérieur	9,0	Murs avec revêtement intermédiaire offrant un support continu. Eléments d'ossature ou fourrures ayant un espacement maximum entre axes de 400 mm.

Tableau 5 : Norme de qualité des fibres CAN/CGSB-11.3-M87 ; CAN/CGSB-11.5-M87

Essais	Unités	Exigences
Dimensions	mm	0 à 3,2
Propriétés physiques		<i>Voir tableau 6</i>
Equerrage	mm.m ⁻¹	La tolérance à l'équerrage des angles ne doit pas dépasser à 1,3 mm/m par rapport à son angle droit
Résistance aux chocs	mm	Min 350 ⁽¹⁾ (<i>Annexe III</i>)
Dureté	N	Min. 2600
Traversée d'une tête de clou	N	Min. 750 ⁽²⁾ (<i>Annexe III</i>)
Résistance latérale du clou	N	Min. 750 ⁽³⁾ (<i>Annexe III</i>)
Vieillessement accéléré (après 6 cycles)		
Module de rupture résiduel	%	Min 50 ⁽⁴⁾ (<i>Annexe III</i>)
Gonflement permanent	%	Max. 15 ⁽⁴⁾ (<i>Annexe III</i>)
Aspect		Aucun défaut grave sur la surface ou les rives, c'est-à-dire aucun décollement ni effritement

(Suite tableau 5)

Essais	Unités	Exigences
Essais supplémentaires pour les panneaux revêtus et finis appliqués en usine		
Aspect du revêtement		La couche de revêtement doit présenter un aspect lisse et uniforme correspondant à la qualité commerciale et être exempte de faïençage, de craquelage, de piquage et de cloquage. La couleur doit être uniforme, conformément aux normes commerciales, et assez bien assortie à la couleur prescrite.
Réflexion spéculaire		La tolérance maximale doit être $\pm 5\%$ par rapport à la réflexion convenue, lorsque déterminée sur un échantillon ordinaire à 60°C.
Durabilité		Les échantillons ne doivent pas présenter plus d'une légère altération de couleur à l'inspection, ni de farinage, ni aucun signe de faïençage, de craquelage ou d'éclatement important des fibres.
Résistance à l'eau	%	Absorption maximale d'eau : 14 Gonflement maximal en épaisseur : 5
Teneur en eau	%	3 à 9 à l'expédition

Selon la même norme, les propriétés physico-mécaniques des trois types de panneaux sont montrées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Propriétés physico- mécaniques de différents types de panneaux

			Exigences								
			Type 1 Standard			Type 2 Recuit			Type 5 Revêtement exté		
Epaisseurs nominales (mm)			6,0	7,5	9,0	6,0	7,5	9,0	9,0	10,5	12,7
propriétés		unités									
Epaisseur	Minimum	mm	5,4	6,9	8,3	5,4	6,9	8,3	8,3	9,5	11,4
	Maximum		6,6	8,1	9,7	6,6	8,1	9,7	9,7	11,2	13,3
Module de rupture minimal		MPa	30	30	30	45	45	45	13	13	13
Résistance minimale à la traction	Parallèlement	MPa	16	16	16	20	20	20	7,0	7,0	7,0
	Perpendiculairement		0,70	0,70	0,70	1,00	1,00	1,00	0,17	0,17	0,17
Résistance maximale à l'eau (après 24h)	Absorption d'eau	%	16	14	12	12	8	8	20	20	20
	Gonflement en épaisseur		12	10	10	8	8	8	8	8	8
Masse volumique minimale		kg.m ⁻³	880	880	880	910	910	910	600	600	600



CHAPITRE II
EXPERIMENTATION

Partie I : MATERIELS ET METHODES

I – MATERIELS

Il s'agit d'une étude d'amélioration de fabrication de la pâte de bois, compte tenu de la qualité et la résistance du produit fini.

L'eucalyptus est le bois utilisé pour l'essai au laboratoire et dans l'usine. La raison d'utilisation de ce bois vient non seulement de sa qualité mais aussi de son abondance dans l'île. C'est un bois dur ayant de bonnes propriétés optiques (opaque) et une surface à aspect lisse.

1. Essaie au laboratoire :

Trois expériences ont été réalisées au laboratoire.

- La première expérience consiste au repérage de la température de cuisson des copeaux sur une plaque chauffante.
- Pour la deuxième expérience est consacrée à l'étude de la volatilité des réactifs à savoir le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et le NaOH lors de la cuisson.
- La troisième expérience présente les aspects et les qualités du bois lorsqu'on varie la quantité de NaOH durant la cuisson.

Le mode opératoire est en annexe II.

2. Essaie en usine :

Le procédé mi-chimique est opté pour l'étude. Le principe repose sur l'élimination la lignine. Les lignines restant servent de colle de cohésion de la pâte qui sont réactivées à la presse chauffante.

Les intrants utilisés sont également le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et le NaOH .

Le procédé de fabrication de panneau de fibres dur appliqué dans l'usine, est montré par la figure 9.

Schéma du principe

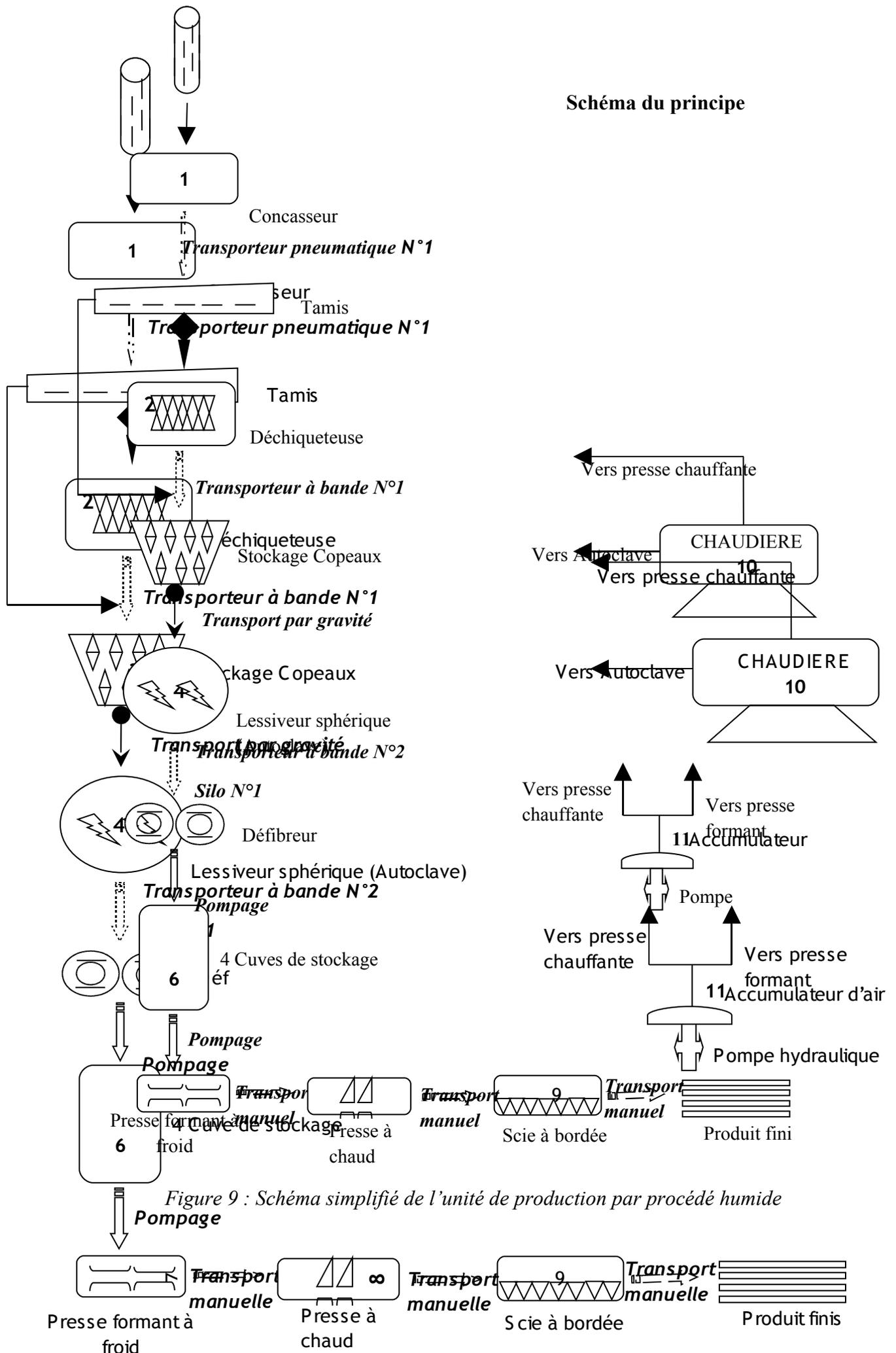


Figure 9 : Schéma simplifié de l'unité de production par procédé humide

II - PROCEDE MI-CHIMIQUE

- **Ecorçage**

Les bois d'eucalyptus sont d'abord écorcés. Ils ont un diamètre entre 4 et 17cm



Eucalyptus

- **Concassage**

Les bois écorcés passent d'abord dans un concasseur pour être réduits en copeaux. Puis ils sont triés sur un tamis à différentes dimensions. Ceux qui ne passent pas sur le tamis sont déchiquetés dans la déchiqueteuse. Les copeaux sont ensuite stockés en silos.



Concasseur



Copeaux

- **Cuisson**

Après avoir été stockés, les copeaux sont ensuite mélangés à l'agent chimique (alcalin) et passent à la cuisson à une température plus de 100°C et une pression de 8 bars pendant 1,75h dans l'autoclave. La figure 10 montre la courbe de cuisson.

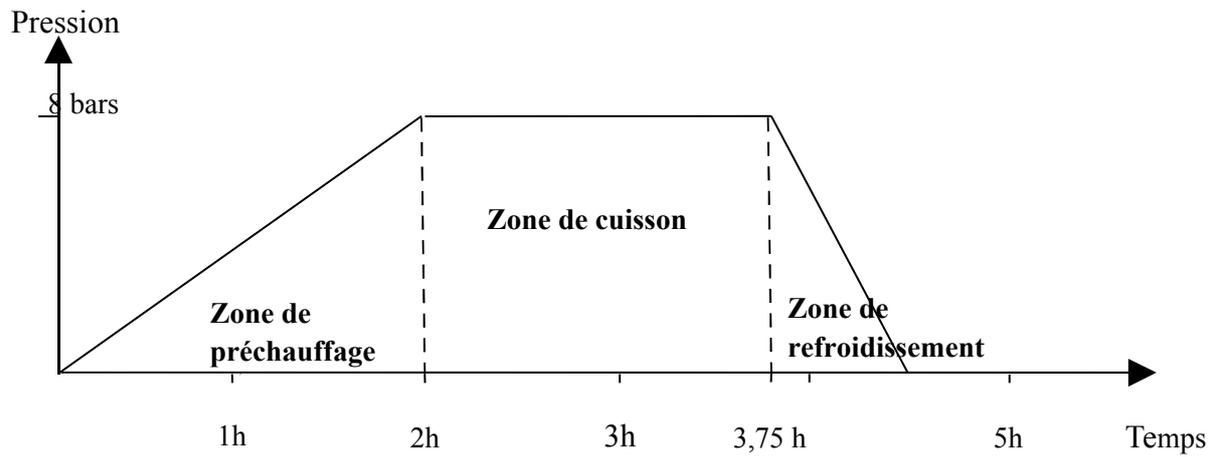


Figure 10 : Courbe de cuisson de l'usine



Lessiveur sphérique (Autoclave)

- **Défilage**

Les copeaux sont passés au raffineur pour le défilage (séparation mécanique des liens de fibre). Un défilage est une machine à mouler le bois, comportant un disque fixe et un disque mobile, tournant à très grande vitesse, pourvu de rainures radiales de plus en plus fines et serrées vers la périphérie. Les copeaux s'écoulent avec de l'eau dans la machine. Ils s'enchevêtrent et se tassent pour former un "gâteau" humide tandis que l'eau est épanchée vers le bas par gravité.



Machine à raffineur



Mâchoire du raffineur

- **Stockage**

Passés à la presse formant à froid, les gâteaux sont ensuite remontés par le pompage dans la presse constituée de treillis métallique facilitent le passage de l'eau à éliminer.

Les gâteaux avec une certaine quantité d'eau sont stockés dans les quatre cuves avant d'être transformés.



Cuve de stockage

- **Presse au froid**

Après essorage de l'eau dans le gâteau, les gâteaux ou pâtes sont compressés sur le compresseur pour réduire l'épaisseur de la pâte. Pour éviter le collage dans la presse lors du pressage des panneaux durs, un minimum d'agent démoulant (huile) est pulvérisé, par douche légère sur l'une de la surface des gâteaux avant leur entrée dans la presse, pour être découpés suivant la dimension de presse.



Presse formant à froid



Agent démoulant

- **Presse à chaud**

Le passage à la presse chauffante s'effectue manuellement avec des rouleurs métalliques. A l'intérieur de cette presse, la température monte à plus de 100°C et la pression est de 8 bars. La presse, pièce maîtresse d'une ligne de fabrication de panneaux de fibres durs, est une machine imposante de plusieurs milliers de tonnes. Elle comporte plusieurs plateaux étages (7 sur les presses) parcourus par des conduites d'eau surchauffée. Les gâteaux sont pressés, sous haute pression, pendant quelques minutes, entre une plaque d'acier inoxydable polie qui assure le lissage de la face supérieure du panneau, et un treillis métallique qui permet l'évacuation de l'eau et qui laisse son empreinte sur la face inférieure du panneau. La lignine, colle naturelle du bois, est activée dans la presse sous l'effet des températures et des pressions élevées, en présence de vapeur d'eau fournie par la chaudière.

Presse HPL à ouvertures multiples

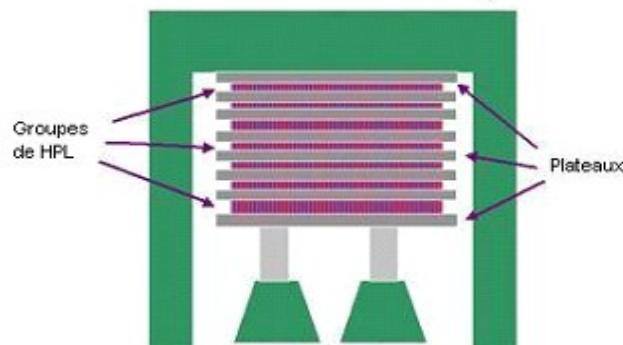


Schéma de la presse chauffante

- **Mise au format**

Les panneaux sont découpés sur des unités de sciage aux formats demandés par la clientèle puis conditionnés.



Panneau brut

Scie à bordée



- **Contrôle de la qualité**

La qualité des panneaux est contrôlée régulièrement par deux essais (résistances et absorption d'humidité) en laboratoire de l'usine sur des échantillons prélevés à chaque étape clé de la fabrication.

Les quantités des intrants utilisées sont dans l'annexe II

Partie II : RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSION

I - RESULTATS

I.1 - Résultats au laboratoire

- 1^{ère} expérience

Les résultats des variations de la température d'ébullition de l'eau de robinet en fonction du temps :

Le tableau 7 montre les températures prises pour chaque intervalle de temps

Tableau 7 : Températures prises pour chaque intervalle de temps.

a. Chauffage avec soupape

temps (mn)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
θ en °C	95	96	98	100	102	103	104	105	106	107	109	110

b. Chauffage sans soupape

Temps (mn)	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
θ en °C	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	114

c. Arrêt du chauffage et sans soupape

temps (mn)	11,5	12	12,5	13	13,5
θ en °C	111	111	111	110	109

La figure 11 montre la variation de la température de l'eau en fonction du temps.



Figure 11 : Température de cuisson dans la cocotte minute.

Interprétations :

- **De 0 à 6,5 minutes** : quand on chauffe en présence de la soupape de sécurité, la température augmente. A t égale à 3,5 mn, la soupape commence à siffler, la température atteint son maximum : Θ égale à 115 °C.
 - **De 6,5 minutes à 11,5 minutes** (*chauffage sans soupape*) ; la température baisse bien que le chauffage ne soit pas encore arrêté.
 - **De 11,5 à 13 minutes** : (arrêt du chauffage, pas de soupape), la température baisse plus rapidement.
- **2^{ème} expérience** (Test de volatilité des produits de cuisson)

Les résultats de cuisson des 40g de chaque produit pendant une heure dans un même volume d'eau. Le test de volatilité des produits est présenté au tableau 8.

Tableau 8 : Test de volatilité des produits par cuisson dans une cocotte

Produits	Masse de produits (g)	Volume d'eaux utilisées (ml)	Durée de cuisson (h)	Volume restant (ml)
1,49% Ca(OH) ₂	40	1500	1	158
0,7% Ca(OH) ₂ + 1,74% NaOH	40	1500	1	0
0,7% Ca(OH) ₂ + 1,18% NaOH	40	1500	1	75
0,7%. Ca(OH) ₂ + 0,88% NaOH	40	1500	1	90

La composition du 0,7% Ca(OH)₂ + x% NaOH se tarit beaucoup plus vite au fur et a mesuré que le pourcentage de ce dernier augmente.

- **3^{ème} expérience**

Cette expérience relève les résultats de cuisson des copeaux avec les réactifs Ca(OH)₂ et NaOH aux différents pourcentages. La figure 12 montre l'aspect de copeaux cuits par l'utilisation de 1,49% de Ca(OH)₂ par rapport au poids du bois sec. En suite la figure 13 présente l'aspect des copeaux par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,74% NaOH par rapport au poids du bois sec. Par suite la figure 14 montre l'aspect des copeaux par l'utilisation du mélange de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,18% NaOH par rapport au poids du bois sec. En fin la figure 15 présente l'aspect des copeaux par l'utilisation du mélange de 0,7%. Ca(OH)₂+ 0,88% NaOH par rapport au poids du bois sec

Utilisation de 1,49% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, par rapport au poids de bois sec



Figure 12 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 1,49% $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Utilisation du mélange de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74% NaOH par rapport au poids du bois sec



Figure 13 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74% NaOH

Utilisation de mélange de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,18% NaOH par rapport au poids du bois sec



Figure 14 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,18% NaOH

Utilisation du mélange de 0,7%. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 0,88% NaOH par rapport au poids du bois sec



Figure 15 : Aspect des copeaux cuits par l'utilisation de 0,7%. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 0,88% NaOH

Coloration

Les copeaux cuits avec la 1,49 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ présentent une couleur foncée marron.

Tandis que les copeaux cuits avec la composition de 0,7 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + (x)% NaOH présentent une variation de couleurs en fonction du taux de NaOH utilisé.

Plus le pourcentage du NaOH est élevé plus la couleur des copeaux devient plus claire par rapport à la coloration des copeaux cuits uniquement à la 1,49 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Le tableau 9 présente les variations de température de cuisson de copeaux avec la composition de 0,7 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + (x)% NaOH pour une même durée de 3,75 h

Tableau 9 : Température de cuisson

PRODUITS CHIMIQUES UTILISES	TEMPERATURE DE CUISSON (°C)
Pour 1,49 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$	105
0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74% NaOH	106
0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,18% NaOH	106
0,7%. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 0,88% NaOH	106

Des copeaux cuits avec de la $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ont connu une température d'ébullition, qui fait soulever la soupape du couvercle d'une cocotte minute, à 105°C, tandis qu'avec l'utilisation de mélange 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + (x)% NaOH la température est de 106°C. Cela s'explique par le fait que dans cette dernière, une formation mousseuse engendrée par la présence de NaOH ralentit l'ébullition et le soulèvement de la soupape du couvercle.

I.2 - Résultats d'essai à l'usine

I.2.1 - Procédé utilisé dans l'usine

L'usine applique le procédé mi-chimique (application de processus CTMP) pour la fabrication de pâte en bois, avec l'utilisation de 1,49 % de Ca(OH)_2 comme liqueur de cuisson par rapport au poids de bois sec utilisé. Ce type de procédé contient encore de la lignine et d'autres substances dures dans la pâte. Au début de la cuisson le pH est égale à 11,6. Avec une durée de cuisson pendant 3,75h

Réaction chimique :



La figure 16 montre l'aspect du produit fini par l'utilisation de 1,49% de Ca(OH)_2



Figure 16(P) : Aspect du produit fini par l'utilisation de l'usine (1,49% de Ca(OH)_2)

Le tableau 10 présente les propriétés physico mécanique du panneau de fibre dur produit par l'usine.

Tableau 10 : Propriétés physico-mécanique du panneau de fibre (méthode de l'usine)

			P₁	
Epaisseurs (mm)			2,4	3,2
Propriétés		Unité		
Epaisseur	Minimale	mm	2,2	2,9
	Maximale		2,6	3,5
Module de rupture		MPa	30	30
Résistance à la traction	Parallèlement	MPa	17	17
	Perpendiculairement		0,75	0,75
Résistance à l'eau (après 24 heures)	Absorption d'eau	%	20,5	20,5
	Gonflement en épaisseur		11	11
Masse volumique		kg.m ⁻³	800	800

1.2.2 – Amélioration du procédé

L'utilisation du mélange de NaOH et de Ca(OH)₂ est optée pour l'amélioration.

Réaction chimique :



Deux essais ont été réalisés dans l'usine.

- Première expérience

Le mélange de 0,7% Ca(OH)_2 + 1,18% NaOH par rapport au poids du bois sec donne l'aspect de panneau de fibre durs montré par la figure 17. Avec un pH est égal à 12,9 au début de la cuisson et un même temps de cuisson qu'à la précédente.



Figure 17(P₂) : Aspect du Panneau de fibres dur par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)_2 + 1,18% NaOH

Le tableau 11 présente les propriétés physico-mécanique du panneau fibre obtenu par le mélange 0,7% Ca(OH)_2 + 1,18% NaOH

Tableau 11 : Propriétés physico mécanique du panneau fibre de la figure 17.

			P ₂	
Epaisseurs (mm)			2,4	3,2
Propriétés		Unité		
Epaisseur	Minimale	mm	2,2	2,9
	Maximale		2,6	3,5
Module de rupture		MPa	38	38
Résistance à la traction	Parallèlement	MPa	19	19
	Perpendiculairement		0,78	0,78
Résistance à l'eau (après 24 heures)	Absorption d'eau	%	16	16
	Gonflement en épaisseur		8,3	8,3
Masse volumique		kg.m ⁻³	810	810

Deuxième expérience

Le mélange de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74% NaOH par rapport au poids de bois sec donne le panneau de fibre dur montré par la figure 18, et dont les propriétés physico-mécaniques sont données dans le tableau 12. La cuisson s'opère pendant 3,75 h avec un pH égal à 13,6 au début de la cuisson.



Figure 18(P₃) : Aspect du produit fini par l'utilisation de 0,7% Ca(OH)₂ + 1,74% NaOH

Tableau 12 : Propriétés physico mécanique du panneau fibre dur de la figure 18.

			P₃	
Epaisseurs (mm)			2,4	3,2
Propriétés		Unité		
Epaisseur	Minimale	mm	2,2	2,9
	Maximale		2,6	3,5
Module de rupture		MPa	45	45
Résistance à la traction	Parallèlement	MPa	26	26
	Perpendiculairement		1,2	1,2
Résistance à l'eau (après 24 heures)	Absorption d'eau	%	9,7	9,7
	Gonflement en épaisseur		4,1	5,2
Masse volumique		kg.m ⁻³	900	900

Le tableau 13 montre les tests d'absorption de chaque type de panneau sur une surface de 100 cm² (10cm x 10cm)

Tableau 13 : Test d'absorption

Produits fini	Poids du panneau à sec	Poids du panneau humide après 24h	Epaisseur humide après 24h
Pour le panneau 2,4 mm			
P ₁	19,25 g	23,19 g	2,8 mm
P ₂	19,50g	22,72g	2,7 mm
P ₃	21,61g	23,72g	2,6 mm
Pour le panneau 3,2 mm			
P ₁	25,82 g	30,90g	3,8mm
P ₂	26,20 g	30,39 g	3,7 mm
P ₃	29,01 g	31,84 g	3,5 mm

Le tableau 14 présente le poids des copeaux défibrés en utilisant des produits variés.

Tableau 14 : Poids des copeaux défibrés

Produits chimiques utilisés	Heure de marche de raffineur	Poids (kg) de copeaux défibré
1,49% Ca(OH) ₂	1	518
0,7% Ca(OH) ₂ + 1,18% NaOH	1	518
0,7% Ca(OH) ₂ + 1,74 % NaOH	1	900

Dans cette condition de travail le poids du copeau défibré a augmenté : 900 kg par rapport à celle de l'usine : 518 kg.

L'augmentation du poids de copeau défibrés nous permet de prédire que la production augmente et le temps d'utilisation du défibreur diminue en terme économique (le coup de l'énergie associé est compensé).

II - INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

Si la norme canadienne repose sur l'étude des revêtements extérieurs en panneaux de fibres dures appartenant à la catégorie standard, l'intérêt de notre choix à visée économique met en exergue la primauté de la qualité.

La couleur du panneau produit à l'usine est uniforme sur toute la surface. Les panneaux fibres produits par l'usine est uniquement des panneaux fibres durs à face lisse.

1) La couche de revêtement

Tous les panneaux fibres produits par l'usine présentent l'aspect correspondant à la qualité de la norme

- lisse, c'est-à-dire sans rayures,
- Uniforme, c'est-à-dire elle n'a aucun défaut grave (piquage et cloquage) sur les rives ou la surface.

2) La résistance (la dureté)

L'analyse physique sur les deux panneaux avec deux liqueurs de cuisson différentes fait ressortir que :

- Les panneaux répondent au besoin de l'utilisateur,
 - Le panneau résultant de la fabrication utilisant le produit 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74 % NaOH est plus solide, et plus résistant à la rupture par rapport à celui qui a été antérieurement utilisé dans l'usine.
- 3) Les résultats avec l'utilisation de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,18% NaOH n'atteint qu'en partie les exigences de la norme canadienne. Les résultats aux niveaux de la résistance à la traction, de la résistance à l'eau et de la masse volumique sont très éloignés de cette norme. Les panneaux produit par l'utilisation du mélange de 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74 % NaOH a pouvoir absorbant moindre par rapport aux deux autre panneaux.

4) La masse volumique

Selon la qualité de la fibre sortie du raffinage, la masse volumique du panneau augmente.

Plus la fibre est fine plus elle devient molle et facile à défibrer, ce qui signifie que la liqueur de cuisson 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74 % NaOH lui convient. Une pâte molle prend de volume à la presse pour donner un vaste panneau à l'épaisseur voulue. La masse volumique du produit fini pour les deux autres est plus faible, et n'atteint pas l'objectif de la norme. Par contre, la valeur de la masse volumique peut aussi varier selon la pression de la presse formante et chauffante. De nombreuses méthodes comme les procédés : kraft, kraft/antraquinone sont utilisées à fabriquer la pâte en bois. Notre choix, en effet, est orienté vers la composition de la chaux avec la soude, en raison de l'insuffisance des produits sur le marché et pour ne pas trop gaspiller. Le temps de cuisson dépend de l'utilisation de la pâte et de la quantité de liqueur de cuisson et surtout de l'essence du bois.

5) Le poids de copeaux à défibrer

D'après les résultats du tableau 14, l'utilisation de produit 0,7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 1,74 % NaOH conduit à l'obtention d'une pâte molle, facile à défibrer. L'augmentation du poids de copeaux défibrés nous permet de prédire que la production augmente et donc le coût de l'énergie associée est compensé. Ainsi, on peut gagner de temps pour le défibrage de tout le contenu de l'autoclave. Cela signifie aussi, en terme économique, qu'on peut gagner sur la productivité et sur l'énergie, sachant que la machine de défibrage fonctionne avec une charge de 250 kilowatts par heure.

CONCLUSION GENERALE

La fabrication de panneaux de fibres durs dépend du type et de l'essence du bois utilisé. A l'exemple de Madagascar, au sein de l'usine fabriquant de panneaux de fibres dures, le type de bois feuillus est le plus utilisé, il possède des fibres courtes et procure un bon état de surface (panneaux doux et lisses qui sont les plus demandés).

L'eucalyptus a été choisi pour son abondance dans notre île, d'autant plus qu'elle dispose un caractère plus facile à raffiner et procure des panneaux d'une grande imperméabilité. Au départ, l'utilisation de la chaux comme liqueur de cuisson afin de séparer les fibres lors de la fabrication des panneaux a été effectuée à faible dose. Par conséquent, elle ne répond pas à la norme internationale canadienne.

Plusieurs méthodes existent pour cette fabrication, mais les produits sont insuffisants ou bien s'il existe sur le marché, ils coûtent très chers. Pour cette raison, pour combler la lacune et pour répondre à la norme, l'utilisation de la composition 0,7% Ca(OH)_2 + 1,74 % NaOH a été optée pour séparer les fibres.

De cette expérience, il en découle un meilleur résultat plus proche de la norme. Du point de vue économique, l'emploi de ce produit aussi vise à réduire l'énergie consommée par l'usine. Madagascar pourra faire face à la compétitivité et s'ouvrir sur le marché international compte tenu de ce résultat.

Une stratégie économique de développement de la sauvegarde de l'environnement par l'Etat serait de rigueur et primordiale. L'effet de serre ne cessant d'augmenter, il est nécessaire d'entretenir la croissance des forêts et gérer les forêts de manière durable. Pour cela, il faut prendre en compte plusieurs éléments : la surface boisée totale, en tant que piège à carbone. L'âge des forêts, sachant qu'une jeune forêt stocke plus de CO_2 qu'une ancienne; le respect de la biodiversité végétale et animale. Pourtant la production de la pâte à fibres durs est autonome en termes d'énergie, car elle respecte le cycle du carbone. Les rejets liquides (liqueur noire) sont brûlées dans la chaudière produisant l'énergie nécessaire à l'usine et émet du CO_2 dans l'atmosphère. Ce CO_2 ne participe pas à l'effet de serre. Il est consommé par les jeunes pousses pour effectuer la photosynthèse pour renouveler la matière organique qui pourra servir à fabriquer de la pâte quelques années plus tard.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.Perin, S. Jean-pierre; « Chimie industrielle », 2^e édition, Université Claude- Bernard, Lyon.Dunod, Paris, 2002
- [2] T Hongu, GO.Phillips, « New Fibers », Edition Masson et C^{ie}, New York, 1990.
- [3] M Levin, J Preston, « Hand books of fibers science and technology », M. Dekker, New York, 1983.
- [4] P.Colonna « la chimie vert » Monique Editions TEC & DOC, Lavoisier, 2006.
- [5] Société d'études pour le développement économique et social « perspectives d'implantations d'une industrie de la pâte à papier à Madagascar » 67, Rue de Lille-paris -7, 1979.
- [6] CH.DOREE « les méthodes de la chimie de la cellulose », Dunod, 92, Rue de BONAPARTE (VI), 1949.
- [7] La société C.I.R.M.A 110, « possibilité techniques et économiques de création d'une industrie papeterie à Madagascar » centre technique forestière tropical 45 bis, avenue de la belle Gabrielle, juillet 1970.
- [8] L. Boras, P Gatenholm. « Surface composition and morphology of CTMP fibers », Genève, 1999.
- [9]. B. Monties . « Lignins. Methods in plant biochemistry ». academic , Press, 1989.
- [10] D Hon, N shiraichi, « Wood and cellosic Chemistry » M Dekkert, New York,1991.
- [11] P vallette, de Choudens, « le bois, la pâte, le papier » Grenoble , 1992.ISBN 2690657960461.
- [12] C Joly. « Greffage de fibers cellosique et localsation des agents dans la microstructure : conséquences sur les propriétés adhésives d'un composite à matrice propylène ».Thèse de Doctorat, universités Claude Bernard, Lyon 1. (1995).
- [13]G.R.E.T BIOMASSE. « Comparaison des valorisations des palles de mil, de riz et coques d'arachide », Edition du Moniteur, 17, Rue d'Uzès-75002 Paris, 1979.
- [14] AF Kaldor. Kenaf. « An alternate fiber for the pulp and paper industries in developiung contries » TAPPI J, 1992:10:141-145
- [15] SM. Kazi, MT Kortshot. « The Fracture behavior of TMP/Kraft blends ». TAPPI J, 1996; 79:197-202.
- [16] Rowell R, Young R A, Rowell JK. « Paper and composites from agro-based resources » CRS press, (1997).
- [17] RM. Rowell, Han JS,Bisen. « In fiber properties during The growing season » RM Rowell, RA young,JK rowell,Paper and composites from agrobased resources. CRS press, New York, 1997:23-37

- [18] Schoot S. « Valorization de la pâte de paille de blé obtenue le procédé d'explosion en phase vapeur pour application en papeterie. Modelisation de la résistance à compression du papier ». Doctorat, INPG, 00INPG 0030, (2000).
- [19] SchoottS, Chaussy D, Mauret E. « Utilisation of straw for the production of puplp and paper. Paper and Timber ». (2001):89:453-457
- [20] P. Valette, C .Choudens. « Le bois, la pâte, le papier.CTP »'. Edition, Grenoble ISBN 2-906579-04-1, (1992).
- [21] M. Pastoureau. « Séminaire sur la préservation des documents écrits » république démocratique de Madagascar par l'Organisation des Nations Unies pour, l'éducation, la science et la culture (UNESCO), 1980.
- [22] R Ismo. « Les pâtes chimiques blanchies » Revue ATIP, Octobre 1996.
- [23] G Renato. « La pâte d'eucalyptus : performance actuelles et avenir » conférence Grenoble (France) revue ATIP octobre 1996.

WEBOGRAPHIE

- [24] http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ccmc/registry/07/preface/07465_f.pdf
- [25] <http://www.panofrance.fr/html/produits/index.php?IdProduit=71>
- [26] http://www.le-bois.com/fiche_materiau/2005
- [27] <http://boisphile.over-blog.com>
- [28] http://www.unalit.fr/pxgeninfo_fr.htm
- [29] <http://www.uipp.fr/pres.php>
- [30] <http://www.changimmo.com/index.php?>
- [31] <http://www.internationalpaper.com>
- [32] <http://www.asiapulppaper.com>
- [33] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Calcium>
- [34] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Natri>

ANNEXE I

ETAPES DE FABRICATION DES PANNEAUX

Etapas de fabrication pour panneaux par procédé humide

- ✓ L'écorçage des billes,
- ✓ Le déchiquetage pour les transformer en plaquettes
- ✓ Le triage et le dépoussiérage des plaquettes,
- ✓ Le défibrage : les défibrages fonctionnent sur la combinaison d'une action thermique, qui ramollit le bois et d'une action mécanique. Les fibres ramollies à la vapeur à 180°C sont laminées entre des disques qui les désolidarisent.
- ✓ Formation du gâteau (caisses de tête)
- ✓ L'essorage .pour les panneaux isolant, la fabrication s'achève ici, sans pressage, après un séchage à 8% humidité.
- ✓ Le pressage
- ✓ La stabilisation

Tous ces coupeaux sont gaufrés sur une face, car un grillage spécial est interposé dans la presse pour permettre à l'eau de s'évacuer.

Etapas de fabrication pour panneaux par procédé à sec

- ✓ Le déchiquetage pour réaliser les plaquettes,
- ✓ Le triage et dépoussiérage des plaquettes (éventuellement lavage),
- ✓ Le défibrage par traitement thermomécanique,
- ✓ L'encollage des fibres
- ✓ Le séchage
- ✓ La conformation du mat
- ✓ Le pressage
- ✓ La phase de refroidissement- stabilisation
- ✓ Mise au format

ANNEXE II

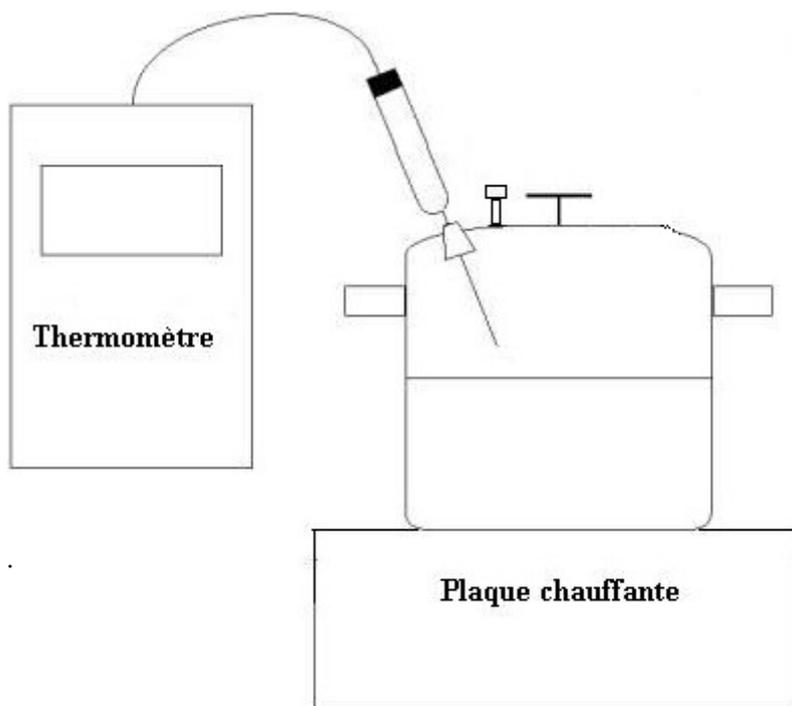
MODE OPERATOIRE

Matériels et Matériaux

Les matériels utilisés au laboratoire sont :

- Une cocotte minute dont le couvercle est percé pour y insérer une sonde thermométrique.
- Deux bouchons.
- Un thermomètre pour déterminer la température.
- Une plaque chauffante.

Etude expérimentale



Un capteur de températures est utilisé. Pour un volume d'eau d'environ 2 litres, effectuer les opérations :

- lancer l'acquisition quand la température est aux environs de 90°C,
- chauffer jusqu'à environ 6,5 mn en présence de la soupape,
- de 6,5 mn à 11,5 mn, continuer le chauffage mais enlever la soupape de sécurité,
- de 11,5 mn à 800 mn, arrêter le chauffage, la soupape étant toujours enlevée.

Cuisson des copeaux au laboratoire

Une cuisson des copeaux a besoin de :

- 250 g de copeaux de bois sec ;
- 299 ml d'eau du robinet ;
- Le pourcentage du produit utilisé par rapport au bois sec.

Premièrement, on verse de l'eau au volume indiqué dans une cocotte vide, après ajoutons le produit de composition chimique bien déterminée, en fin met le copeau à l'intérieur de la cocotte et on ferme le couvercle.

Deuxièmement, on la met sur la plaque chauffante déjà chauffé et en même temps on déclanche le chronomètre. La durée de la cuisson est de 3,75 h

A noter que le volume d'eau prescrit au dessus est conforme à la cuisson avec le Ca(OH)_2 seulement ; par contre, avec les compositions de notre choix, ce volume a été augmenté 68 ml avec l'utilisation de (0,7 Ca(OH)_2 + 0,88% NaOH) ou de 83ml avec l'utilisation de (0,7% Ca(OH)_2 + 1,18% NaOH) ou de 158 ml avec l'utilisation de (0,7% Ca(OH)_2 + 1,74 % NaOH) à cause de NaOH plus volatile que le Ca(OH)_2 . De même ce volume est appliqué aussi à l'usine lors de l'amélioration. On ajoute alors de 0,275 m³ et 0,530 m³ d'eau par rapport à la normale.

Cuisson des copeaux à l'usine (CTMP)

Le volume du lessiveur (autoclave) est de 17 m³.

Le poids du bois humide nécessaire pour remplir ce volume est de 4208 kg

Le poids du bois sec équivaut au bois poids du bois humide multiplié par des siccités réel

Le Siccité des copeaux crus déjà donnés 76,46 %.

La quantité d'eau utilisée varie selon le poids des copeaux mesuré dans un bidon de 20 l.

Si le poids varie entre 5 à 8 kg (considéré comme de bois sec), le volume d'eau correspondant sera de 4,250 m³ à 4,750 m³.

Si le poids est supérieur à 8 kg (considéré comme bois humide), le volume d'eau correspondant sera de 3,750 m³ à 4,250 m³

Pour toute cuisson des copeaux, la durée de cuisson est de 3,75 h.

ANNEXE III

LIENS AUX NORMES

- ⁽¹⁾ la résistance au choc pour une chute initiale de 350 mm.
- ⁽²⁾ L'échantillon doit mesurer 75 mm x 150 mm. Trois clous à caisse galvanisés ayant une tête de 6,75 mm de diamètre et une tige de 2,87 mm de diamètre doivent être enfoncés dans le panneau à au moins 25 mm l'un de l'autre. Le dispositif d'appui est formé d'une plaque à ouverture centrale de 40 mm de diamètre et la vitesse d'essai doit être de 3 mm/min à 4 mm/min.
- ⁽³⁾ Un clou doit avoir une tige de 3,28 mm de diamètre et une tête de 7,14 mm de diamètre, et doit être enfoncé dans l'échantillon à 9,5 mm de la rive, de sorte qu'une longueur égale de clou dépasse de chaque côté du panneau. La charge doit être appliquée perpendiculairement à l'axe du clou à la vitesse constante de 3 mm/min à 4 mm/min jusqu'à la rupture. Comme les clous à caisse galvanisés peuvent plier en cours d'essai, on peut leur substituer une aiguille à carder ou une mèche de perceuse en acier de même diamètre approximativement.
- ⁽⁴⁾ Il faut calculer le module de rupture par rapport à l'épaisseur initiale du panneau. Le gonflement permanent doit pour sa part être déterminé en calculant la différence entre l'épaisseur initiale du panneau et celle enregistrée à la fin des cycles.

ANNEXE IV

CARACTERISTIQUE DES PRODUITS

Sodium [34].

Le sodium est un élément chimique, de symbole *Na* et de numéro atomique 11. C'est un métal mou et argenté, qui appartient aux alcalins. On ne le trouve pas à l'état de corps pur dans la nature, mais il est très abondant sous forme de composés, par exemple dans le sel. Il brûle avec une flamme jaune.

Caractéristiques notables

Ce métal ne brûle dans l'air qu'à des températures supérieures à 388 K soit (115°C).

Le sodium est mis en résonance par un champ magnétique de 11 MHz.

Son rayon ionique est de l'ordre 102 pm et son rayon mécanique $R_{\text{Na}^+} = 191$ pm

Il est excellent conducteur électrique.

Application du sodium :

Le sodium sous sa forme métallique est utilisé dans la fabrication des esters ainsi que d'autres composés organiques, utilisés en particulier dans l'industrie pharmaceutique, les pesticides, etc.

Il a été longtemps utilisé, sous forme d'alliage avec le plomb, pour la production de plomb tétraéthyle, additif antidétonant pour le carburant automobile.

Autres utilisations du sodium métal :

- Pour la synthèse de l'indigo artificiel, du borohydrure de sodium ;
- Dans certains alliages, pour améliorer leur structure
- Pour purifier les métaux fondus ;
- Le sodium sous forme liquide constitue le fluide caloporteur (assurant le transfert chaleur) de certains réacteurs nucléaires à neutrons rapides.
- Le NaK est un alliage de sodium et de potassium matériau important pour les transferts thermiques.
- Le sodium est utilisé sous forme de vapeur alcaline dans les lampes à vapeur de sodium. Cette vapeur est très réactive par exemple à 1 400°C, elle réagit avec l'alumine en formant de l'aluminate.

Composés du Sodium :

Les composés chimiques dans lesquels on trouve un ion sodium Na^+ sont extrêmement nombreux. Parmi les plus simples on peut citer :

- Le sel marin ou sel, de table, qui est du chlorure de sodium NaCl ;
- La soude ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) ou hydroxyde de sodium NaOH ;
- L'eau de javel, qui contient du chlorure de sodium NaCl et l'hypochlorite de sodium NaClO .

Le chlorure de sodium NaCl est indispensable à la vie, par exemple à la transmission de l'influx nerveux, faisant intervenir des échanges inter membranaires d'ions Na^+ .

On trouve également des composés du sodium :

- Dans le savon (en combinaison avec des acides gras) ;
- Dans les chauffettes sous formes d'acétate de sodium.

Calcium [33]

Le calcium est un élément chimique, de symbole Ca et de numéro atomique 20.

Le calcium est un métal alcalino-terreux gris et mou.

Il est employé comme agent réducteur dans l'extraction du thorium, du zirconium et de l'uranium. Cet élément qu'on ne trouve jamais à l'état de corps pur dans la nature est le cinquième élément le plus abondant de la croûte terrestre et est essentiel pour la matière organique.

Caractéristiques notables

Le calcium peut être produit par électrolyse du fluorure de Calcium mais plus couramment par réduction sous vide de la chaux (CaO) par de la poudre de l'aluminium.

Il brûle avec une flamme jaune rouge ; exposé à l'air sec. Il forme une couche protectrice blanche d'oxyde et de nitrure. Il réagit violemment avec l'eau dont il déplace l'hydrogène et forme alors de l'hydroxyde de Calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Applications physiques du calcium :

- Agent conducteur dans l'extraction d'autres métaux tels que l'uranium, le zirconium, et le thorium ;
- Désoxydant, désulfurant ou décarburant pour différents alliages ferreux et non ferreux ;
- Utilisé, parfois en association avec le magnésium, pour éliminer le bismuth du plomb (débismuthage) ;
- Agent, parfois en association utilisé dans la production de l'aluminium, du béryllium, du cuivre du plomb et du magnésium.

Composés du calcium :

- Carbonate de calcium CaCO_3 , très répandu dans la nature, car c'est le composant de base des roches calcaires ; c'est par calcination du calcaire que l'on obtient la chaux vive
- Oxyde de calcium CaO (chaux vive) et hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (chaux éteinte)
- Aluminate de calcium ($\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{CaO}$) : un des composants du clinker, et utilisé pour la confection de mortiers réfractaires
- Carbure de calcium CaC_2
- Halogénures de calcium :

- Chlorure de calcium CaCl_2 parfois utilisé comme sel de déneigement en remplacement du chlorure de sodium
- Fluorure de calcium CaF_2 (fluorine)
- Iodure de calcium CaI_2
- Bromure de calcium CaBr_2
- Nitrure de calcium Ca_3N_2
- Peroxyde de calcium CaO_2
- Phosphure de calcium Ca_3P_2 (son hydrolyse génère de la phosphine PH_3)
- Sulfure de calcium CaS
- Phosphate de calcium $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- Silico-Calcium (alliage calcium silicium) utilise en sidérurgie
- Hypochlorure de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
- Alun sulfate double d'aluminium et de potassium, hydraté ; il est utilisé en teinture (pour fixer les colorants), pour la conservation des peaux, le collage de la pâte à papier, le durcissement du plâtre

CARACTERISTIQUES DU SODIUM ET DU CALCIUM

Table complète et Table étendue		
Général		
Nom, symbole, numéro	Sodium, Na, 11	Calcium, Ca, 20
Série chimique	alcalin	alcalino-terreux
Groupe, période, Bloc	1, 3, s	2(IIA), 4, s
Masse volumique	968kg / m ³	1550kg/ m ³
Couleur	Argenté Blanc	Argenté métallique
Propriétés atomiques		
Masse atomique	22,989 770 u	40,078 u
Rayon atomique	180 (190) pm	180 (194) pm
Rayon de covalence	154 pm	174 pm
Rayon de Van der Waals	227 pm	197,3 pm
Configuration électronique	[Ne] 3s ¹	[Ar] 4s ²
Electrons par niveau d'énergie	2, 8, 1	2, 8, 8, 2
Etat(s) d'oxydation	1	2
oxyde	Base forte	Base
Structure cristalline	Cubique centrée	Cubiques faces centrées
Propriété physique		
Etat ordinaire	Solide non magnétique	Solide paramagnétique
Température de fusion	370,87 K	1115 K
Température de vaporisation	1 156 K	1757 K
Energie de fusion	2,598 kJ/ mol	8,54 kJ/mol
Energie de vaporisation	96,96 kJ/ mol	153,6 kJ/ mol
Volume molaire	23,789 x 10 ⁻⁶ m ³ / mol	26,20 x 10 ⁻⁶ m ³ / mol
Pression de la vapeur	1,43 x 10 ⁻⁵ Pa à 234 K	254 Pa à 1112 K
Vélocité du son	3 200 m/ s à 20° C	3 810 m/s à 20° C
Divers		
Electronégativité (Pauling)	0,93	1,00

Chaleur massique	1 230 J/ (kg.K)	632 J/ (kg. K)
Conductivité électrique	21 x 10 ⁶ S/m	29,8 x 10 ⁶ S/m
Conductivité thermique	141 W/ (m.K)	201 W/ (m.K)
1è potentiel d'ionisation	495,8 kJ/mol	589,8 kJ/ mol
2è potentiel d'ionisation	4 362 kJ/mol	1 145,4 kJ/mol
3è potentiel d'ionisation	6 910,3kJ/mol	4 912,4 kJ/mol

SODIUM						CALCIUM					
iso	AN	période	MD	Ed	PD	iso	AN	période	MD	Ed	PD
				MeV						MeV	
²² Na	syn.	2,602 ans	ε	2,842	²² Ne	⁴⁰ Ca	96,941%	Stables avec 20 neutrons			
²³ Na	100	Stable avec 12 neutrons				⁴¹ Ca	syn.	103,000ans	ε	0,421	⁴¹ K
						⁴² Ca	0,647 %	Stables avec 22 neutrons			
						⁴³ Ca	0,135 %	Stables avec 23 neutrons			
						⁴⁴ Ca	2,086 %	Stables avec 24 neutrons			
						⁴⁶ Ca	0,004 %	Stables avec 26 neutrons			
						⁴⁸ Ca	0,187 %	>6x 10 ¹⁸ ans	Bêta ⁻	4,272	⁴⁸ Ti

CARACTERISTIQUES DE LA SOUDE CAUSTIQUE ET DE LA CHAUX ETEINTE

SOUDE CAUSTIQUE [1].

Soude caustique (NaOH) est le corps le plus caractéristique du groupe de bases. On l'obtient par l'électrolyse du chlorure de sodium dissous

Propriétés physiques.

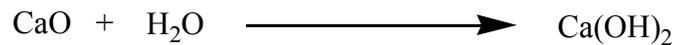
- a) La soude caustique est un corps solide blanc, fondant au rouge, et livré au commencement sous formes de plaques, de petits cylindres ou de pastilles.
- b) Elle est très soluble dans l'eau, et la dissolution est accompagnée d'un dégagement de chaleur. Exposée à l'air humide, elle absorbe de la vapeur d'eau et se liquéfie peu à peu ; elle est donc déliquescente et peut être utilisée pour dessécher les gaz.
- c) Elle est très caustique : elle perce les muqueuses et détruit les tissus. Sa solution (ou lessive) possède la propriété de dissoudre les graisses.

Propriétés chimiques : la soude caustique est une base puissante.

- a) La soude agit sur les réactifs colorés. Ainsi :
 - Elle bleuit le tournesol rougi par un acide ;
 - Elle jaunit l'hélianthine orange, ou rougit par un acide ;
 - Elle colore en rouge violacé la phtaléine du phénol incolore
- b) La soude se combine aux acides pour donner des sels de sodium avec production d'eau et dégagement de chaleur :
$$\text{Soude} + \text{Acide} \longrightarrow \text{Sel de sodium} + \text{eau} + \text{Chaleur}$$
- c) La soude est électrolysable.

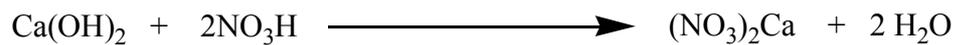
CHAUX ÉTEINTE [1].

On obtient la chaux éteinte par l'hydrolyse de l'oxyde de calcium ou de chaux vive (CaO)



Propriétés de la chaux éteinte

1. Propriétés physiques.- la chaux éteinte est une poudre blanche se délayant facilement dans l'eau pour donner une bouillie claire appelée lait de chaux. Celui-ci par filtration, fournit un liquide limpide, l'eau de chaux : c'est une solution saturée de chaux, n'en renfermant guère que 1,3 g par litre.
2. La chaux éteinte est une base.
 - L'eau de chaux ramène au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide et rougit la phtaléine du phénol.
 - La chaux se combine aux acides pour donner des sels de calcium, avec élimination d'eau et production de chaleur. Prenons l'exemple avec l'acide nitrique.



- La chaux libère de leurs sels les autres bases c'est ainsi que la chaux déplace le gaz ammoniac (NH_3) des sels ammoniacaux et de même la *potasse* (KOH) et de la soude (NaOH) de leurs sel

Titre : AMELOIRATION DU PROCEDE DE FABRICATION DE PATE EN BOIS

Nombre de pages : 47

Nombre de figures : 18

Nombre de tableaux : 14

NOM et PRENOMS : RAMBELOSON Rado Andry Nirina

ADRESSE : LOT VT 85 NE à ANDOHANIMANDROSEZA, Antananarivo 101

E-mail : radoboy1@yahoo.fr

Tél : 032 48 435 77

RESUME

La fabrication de pâte de bois est une étape précédente de la fabrication des panneaux fibres durs. La qualité de pâte de bois dépend surtout du type et de l'essence de bois utilisés qui permet de fournir la qualité essentiellement requise sur le marché. Le choix de l'expérimentation est orienté vers l'usage de l'eucalyptus en raison de son abondance à Madagascar.

A travers la fabrication améliorée, l'utilisation de l'eucalyptus a permis d'aboutir, à un résultat encourageant, respectant la norme internationale et de contribuer à la réduction de l'énergie consommée par l'unité de fabrication. De ce fait, les panneaux de fibres durs produits par Madagascar pourraient se faire une place à la compétitivité sur le marché international.

Ce procédé de fabrication de pâte offre une autre opportunité. C'est la stratégie de sauvegarde de l'environnement qui pérennise la forêt. Par conséquent, il faudrait pallier l'effet de serre à travers l'absorption de CO₂ par les jeunes pousses d'arbres.

Mots clés : Eucalyptus, essence forestière, pâte en bois, panneaux fibres dur, panneaux manufacturés.

ABSTRACT

The manufacture of wood pulp is a preceding stage of the manufacture of the hard panels' fibers. The quality of wood pulp depends especially on the type and the wood turpentine used which makes it possible to provide primarily necessary quality on the market. The choice of the experimentation is directed towards the use of the eucalyptus because of its abundance in Madagascar.

Through improved manufacture, the use of the eucalyptus made it possible to succeed, with an encouraging result, respecting the international standard and to contribute to the reduction of the power consumption by the manufacturing unit. So, the hard fiberboards produced by Madagascar could be made a place with competitiveness on the international market.

This manufacturing process of paste offers another opportunity. Is the strategy of safeguard of the environment which perennializing the forest. Consequently, it would be necessary to mitigate the effect of greenhouse through the absorption of CO₂ by the young growths of trees.

Key words: Eucalyptus, forest gasoline, paste out of wooden, panels' fibers hard, panels manufactured.

Encadre

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS