

Thèse  
Thèse

MINISTERE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RESTRUCTURATION  
INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES MANUFACTURIERES  
BOUMERDES

IN M.C.  
بومرداس  
BOUMERDES

جامعة بومرداس  
كلية الهندسة  
- قسم الهندسة -  
رقم: T.H - 58

THESE DE MAGISTER  
en Génie Industriel  
par  
TAZROUT MANSOUR

**THEME: INFLUENCE DU COLLAPSE SUR LES PROPRIETES RHEOLOGIQUES  
DE 3 ESPECES DE BOIS D'EUCALYPTUS: E. camaldulensis Dehn;  
E. cladocalyx; E. gomphocephala, provenant de la station de BAÏNEM.**

Directeur de Thèse: Mr. NOUR Abdelkader.  
Soutenue le : 26 / 07 / 1997 à BOUMERDES.

Devant le jury composé de:  
-Président: Mr ABADLIA M., Professeur à l'INMC -BOUMERDES.  
-Rapporteur: Mr NOUR A., Maître de conférences à l' INMC - BOUMERDES.  
-Examineurs: Mr BADDARI K., Maître de conférences à l'INHC - BOUMERDES;  
Mr BENDOU M., chargé de cours à l'INIM - BOUMERDES;  
Mr ZERIZER A., chargé de cours à l'INIM - BOUMERDES.

## REMERCIEMENTS:

Le présent travail de recherche a été réalisé sous la direction de Monsieur NOUR Abdelkader.

En cette occasion, je tiens à lui témoigner toute ma reconnaissance et mes remerciements, pour ses encouragements, sa contribution et surtout pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail et sa disponibilité tout au long de sa réalisation.

Je tiens à remercier vivement Mr ABADLIA M, Professeur à l'INMC, pour m'avoir fait l'insigne honneur de présider le jury.

Je remercie également Messieurs BADDARI K, Maître de conférences à l'INHC; BENDOU M, ZERIZER A, chargés de cours à l'INIM, pour avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à la Direction Générale de l'INIM, la Direction générale de l'INRF, la Sous-direction des affaires pédagogiques, le Département de la Post - Graduation et le Département des Industries Diverses pour les moyens matériels mis à ma disposition.

Enfin, mes remerciements s'adressent également à tous mes collègues de l'Institut et tout particulièrement, les enseignants de la chaire bois pour leurs encouragements et soutien.

Je termine en remerciant vivement toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de ce travail de recherche.

## DEDICACE

Je dédie cette Thèse

à

mon défunt père , ma mère, mes soeurs , mes frères et mes grands parents,

à

ma petite famille: AMINE , SARAH , HOURIA et mes proches parents,  
ainsi qu'à tous mes amis: NOUR Israa, Rayed, Sid Ali ainsi qu'à leurs  
parents: Mr et Mme NOUR; Famille Mahdid, Benlokriche B, Benhamouda M,  
Kherfi M. A, Berranen D , Saï M, Zaïri M , Zerizer A, Aliouche D, Hamaili R, Zaoui  
M.S, Hachemi M, Bendou M, Mr et Mme Izmeur , Mme Belaid, Akchiche O, Kobbi  
B, Benaïssa A (INMC), Boureghda M (INIA), Rachid (imprimerie INMC), Messaoud  
(INMC), Rachid , Mouloud , Saïd (mécanique), Rabah , Saïd, Mokhtar, Ahmed  
( bois), Boualem , Mahfoud (DSI), Rabah (MG), Haroun (chauffeur) , Toubal  
(imprimerie) et sans oublier Mrs Nedjahi , Isaad et les techniciens de l'INRF de  
Bainem.

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Théorie du collapse.</b>	<b>4</b>
1.1.1 Le collapse.	4
1.1.2 Théorie de la tension hydrostatique.	5
1.1.3 Théorie des contraintes de retrait.	5
1.1.4 Théorie intermédiaire.	6
1.1.5 Variabilité du collapse.	6
1.1.6 L'influence des facteurs de séchage sur le collapse.	7
a) La température.	7
b) L'humidité.	7
c) La pression.	7
d) Le temps.	8
1.1.7 Récupération du collapse: Le reconditionnement.	8
<b>1.2 Rétractibilité .</b>	<b>8</b>
1.2.1 Mécanismes du retrait.	8
1.2.2 L'anisotropie du retrait.	9
1.2.3 Les facteurs influençants le retrait.	10
a) La densité.	10
b) L'humidité.	10
c) Angle des microfibrilles de cellulose.	10
d) Eléments anatomiques.	10
e) Facteurs liés aux précédents.	11
f) Facteurs externes.	11
<b>1.3 Elasticité linéaire du matériau bois idéal.</b>	<b>12</b>
a) Orthotropie.	12
b) Homogénéité.	12
c) Linéarité.	12
<b>1.3.1 Elasticité linéaire.</b>	<b>13</b>
1.3.1.1 Loi de comportement élastique.	13
a) Les modules d'élasticité.	14
b) Les modules de Poisson.	14
c) Les modules de cisaillement.	14
d) Relation entre les différentes complaisances ou grandeurs techniques.	14
<b>1.4 Mécanique de la rupture du matériau bois.</b>	<b>15</b>
1.4.1 Rupture sous contrainte ultime.	15
1.4.1.1 Définitions de la notion de contrainte ultime.	16
1.4.1.2 Les essais mécaniques de qualification des bois.	16
1.4.1.2 Les facteurs influençants les essais mécaniques:	16
a) Densité.	16
b) Humidité.	17
c) Anisotropie.	18
d) Température.	18

e) Temps.	18
f) Influence de l'orientation du chargement sur la contrainte ultime du bois.	19
<b>1.4.1.2.2. Essais mécaniques.</b>	<b>20</b>
a) Essai de traction.	20
b) Essai de compression.	20
c) Essai de flexion.	21
d) Essai de cisaillement.	23
e) Essai de dureté.	23
<b>1.4.3 Critères de rupture du matériau bois.</b>	<b>24</b>
1.4.3.1 Critère seuil.	24
1.4.3.2 Critère du cisaillement maximum.	24
1.4.3.3 Critère de la contrainte normale maximale.	25
1.4.3.4 Critère de Hill.	25
1.4.3.5 Critère de Tsai.	25
<b>1.4.3.6 Modes de ruptures.</b>	<b>26</b>
a) Rupture par compression.	26
b) Rupture par traction.	26
c) Rupture par flexion.	26
d) Analyse fractographique du bois rompu.	26
<b>1.5 Viscoélasticité du matériau bois.</b>	<b>27</b>
1.5.1 Principaux facteurs influençant la viscoélasticité du bois.	27
1.5.2 Caractérisation de la viscoélasticité du bois.	28
1.5.3 Les travaux antérieurs sur le fluage du bois.	29
<b>• CHAPITRE 2: Caractérisation physique des trois espèces d'Eucalyptus.</b>	<b>32</b>
2.1 Critères physiques retenus.	33
2.2 Choix des arbres et prélèvements des échantillons.	33
2.3 Préparation des éprouvettes.	35
2.4 Qualités requises.	35
2.5 Tolérances dimensionnelles.	36
2.6 Conditions d'humidité et de température pour les essais physiques et mécaniques sur bois avec et sans collapse.	36
2.7 Description des essais.	36
<b>2.8 Détermination du retrait .</b>	<b>37</b>
2.8.1 Matériel et méthodes.	37
2.8.2 Traitements des résultats.	40
<b>2.9 Détermination de la masse volumique.</b>	<b>42</b>
2.9.1 Matériel et méthodes.	42
2.9.2 Traitements des résultats	43
<b>2.10 Détermination de l'humidité.</b>	<b>43</b>
2.10.1 Matériel et méthodes.	43
2.10.2 Traitements des résultats	44
2.11 Etuve hygrométrique .	44

2.12 Détermination du point de saturation des fibres et du coefficient du retrait volumique de l'Eucalyptus camaldulensis.	46
2.13 Cinétique du séchage .	47
2.14 Détermination de la masse anhydre.	48
2.15 Détermination des paramètres physiques.	48
2.16 Essais de séchage.	49
2.17 Résultats et discussions.	50
2.18 Essais de reconditionnement .	52
<b>2.19 Propriétés physiques des trois espèces d'Eucalyptus.</b>	<b>55</b>
2.19.1 Résultats et discussions.	55
a) Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	55
b) Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	60
c) Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	62
d) Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	64
e) Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	65
f) Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	66
2.19.2 Conclusions.	68
<b>CHAPITRE 3: Propriétés mécanique des trois espèces d'Eucalyptus.</b>	<b>73</b>
3.1 Définition des critères mécaniques retenus.	73
3.2 Conditionnement des éprouvettes.	73
3.2.1 Essais mécaniques d'éprouvettes avec collapse.	73
3.2.2 Essais mécaniques d'éprouvettes sans collapse.	73
3.3 Essai de compression axiale.	74
3.3.1 Matériel et méthodes	74
3.3.2 Traitement des résultats.	75
3.3.3 Résultats et discussions.	75
3.3.3.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	75
3.3.3.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	79
3.3.3.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	80
3.3.3.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	81
3.3.3.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	82
3.3.3.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	83
3.3.3.7 Conclusion générale.	85
3.4 Flexion statique: Détermination du module d'élasticité longitudinal de bois d'Eucalyptus avec et sans collapse.	85
3.4.1 Matériel et méthodes.	85
3.4.2 Traitement des résultats.	88
3.4.3 Résultats et discussions.	89
3.4.3.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	89
3.4.3.2 cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	92
3.4.3.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	94
3.4.3.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	94
3.4.3.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	95
3.4.3.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	96
3.4.3.7 Conclusion générale.	97

3.5 Essai de flexion statique: Détermination de la contrainte de rupture.	97
3.5.1 Matériel et méthodes	97
3.5.2 Traitement des résultats.	98
3.5.3 Résultats et discussions.	99
3.5.3.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	99
3.5.3.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	101
3.5.3.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	101
3.5.3.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	102
3.5.3.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	103
3.5.3.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	103
3.5.3.7 Conclusions.	104
3.6 Détermination de la dureté Monnin.	104
3.6.1 Matériel et méthodes.	104
3.6.2 Traitement des résultats.	105
3.6.3 Résultats et discussions.	106
3.6.3.1 cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	106
3.6.3.2 cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	108
3.6.3.3 cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	109
3.6.3.4 cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	110
3.6.3.5 cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	110
3.6.3.6 cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	111
3.6.3.7 Conclusions.	112
3.7 Calcul des caractéristiques élastiques des trois espèces de bois d'Eucalyptus.	112
3.7.1 Modèle prévisionnel du comportement élastique tridimensionnel.	112
3.7.2 Résultats et discussions.	115
3.8. Détermination expérimentale des caractéristiques élastiques des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse.	116
3.8.1 Description de l'expérience.	116
3.8.2 Résultats et discussions.	118
<b>CHAPITRE 4: LES PROPRIETES DE RELAXATION DE TROIS ESPECES D'EUCALYPTUS SOUS L'EFFET DU COLLAPSE.</b>	<b>119</b>
4.1 Détermination des caractéristiques de fluage du matériau bois: Modélisation.	119
4.2 Matériel et méthodes	121
4.3 Traitement des résultats.	123
4.3.1 Détermination des caractéristiques mécaniques.	123
4.3.3 Détermination des paramètres de fluage.	123
4.4 Détermination des modules d'élasticité radial et tangentiel des trois espèces de bois d'Eucalyptus avec collapse.	124
4.4.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	124
4.4.2 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	125

4.4.3 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	126
<b>4.5 Détermination des coefficients caractérisant la charge.</b>	<b>126</b>
4.5.1 Résultats et discussions.	126
4.5.1.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	126
4.5.1.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	129
4.5.1.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	131
4.5.1.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	132
4.5.1.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	133
4.5.1.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	135
4.5.1.7 Conclusions.	138
<b>4.6 Détermination des paramètres de fluage.</b>	<b>139</b>
4.6.1. Résultats et discussions.	139
4.6.1.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.	139
4.6.1.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.	145
4.6.1.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.	147
4.6.1.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.	148
4.6.1.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.	149
4.6.1.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.	151
4.6.1.7 Détermination des paramètres de fluage des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse.	152
4.6.1.8 Détermination des paramètres de fluage des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.	153
4.6.1.9 Conclusions.	154
<b>CHAPITRE V: Détermination des contraintes dans les bois avec collapse par la méthode des éléments finis et caractérisation du mode de fissuration.</b>	<b>156</b>
5.1 Détermination des contraintes internes dans l'éprouvette la plus déformée du gomphocephala .	156
5.1.2 Résultats et discussions.	161
5.2 Mode de fissuration:	162
-Analyse des fissures en élasticité bidimensionnelle.	
5.3 Conclusions.	163
<b>CHAPITRE VI : Conclusion générale.</b>	<b>164</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.</b>	
<b>ANNEXES.</b>	

## INTRODUCTION

A travers notre recherche bibliographique, nous avons conclu qu'aucune étude rhéologique ou de caractérisation des bois algériens n'a été faite à nos jours à l'instar d'autres pays comme le Canada, l'Australie, la France...

Ce vide flagrant nous a mené à faire cette première étude et notre choix s'est porté sur le bois d'Eucalyptus, car celui-ci est considéré comme l'un des principaux bois algériens (chênes, peupliers, pin d'Alep, pin maritime, Cèdre etc.).

Nous rappelons qu'en fonction des conditions géoclimatiques, les caractéristiques des bois diffèrent d'un pays à un autre. Certes cet aspect a été étudié pour ces espèces dans leur aire d'origine, mais les résultats de ces études ne peuvent-être extrapolés sur les bois issus de nos reboisements, du fait de la qualité du bois qui est variable selon les conditions climatiques édaphiques et sylvicoles de la région de plantation.

Pour combler ce manque, nous nous sommes donc penchés sur certaines espèces d'Eucalyptus algériens de grande importance économique et avons effectué des essais sur des bois provenant de nos reboisements, qui ont atteint un âge normal d'exploitation pour les caractériser sur les plans des propriétés physiques et mécaniques, permettant ainsi d'entrevoir leurs possibilités d'utilisation rationnelle.

Ces trois espèces d'Eucalyptus proviennent tous de l'Arboretum de Baïnem (station de recherche forestière de l'INRF).

L'étude porte sur les espèces suivantes:

- 1-Eucalyptus camaldulensis Dehn;
- 2-Eucalyptus cladocalyx ;
- 3-Eucalyptus gomphocephala.

Les bois d'Eucalyptus comptent environ plus de 700 espèces dans leur aire d'origine (Australie). En Algérie, on compte environ une centaine introduites en quantités plus ou moins importantes. Compte tenu de leur bonne plasticité et leur croissance rapide, ces bois constituent un potentiel de ressource ligneuse non négligeable dont l'intérêt économique pour l'Algérie est certain.

Ces espèces de bois sont connues pour leur collapse. Le collapse se manifeste au cours du séchage et consiste en une contraction considérable et irrégulière du bois, distincte du retrait normalement constaté.

Les pièces de bois prennent une forme plus ou moins ondulée. Parfois, il ya apparition de fentes internes invisibles de l'extérieur. Les parois des cellules sont pissées, on dit qu'elles sont effondrées.

L'effondrement de la structure se produit au cours du départ de l'eau libre située dans les lumens des cellules, alors que le retrait normal apparaît pendant le départ de l'eau liée c'est à dire quand on passe au dessous du point de saturation des fibres.

Les deux phénomènes se cumulent pour donner le retrait qu'on observe quand on procède au séchage d'un bois susceptible d'être affecté par l'effondrement.

Une partie du retrait due au collapse (collapse récupérable) peut être récupérée par un traitement thermique à la vapeur: Le reconditionnement.

Le collapse affecte de nombreuses essences de bois et tout particulièrement le genre Eucalyptus.

Le présent travail de recherche a précisément pour but d'apprécier l'influence du phénomène du collapse sur les propriétés rhéologiques de trois espèces de bois d'Eucalyptus algériens dans le but de les caractériser en vue d'une éventuelle valorisation sur le plan industriel; en procédant comme suit:

- Par la définition des critères physiques et mécaniques les plus influants.
- Par la comparaison des critères physiques , mécaniques, de relaxation et de fluage retenus entre les bois avec et sans collapse ( bois ayant subi un traitement thermique à la vapeur): à l'intérieur d'une même espèce et entre les espèces considérées.
- Par l'étude des relations existantes entre les différents critères retenus.
- Par le classement des trois espèces d'Eucalyptus en fonction de leur aptitude au collapse .

Notre travail est structuré comme suit:

**CHAPITRE I :** Comprend l'étude bibliographique sur les trois espèces de bois d'Eucalyptus en matière de collapse et technique de récupération du collapse (reconditionnement). Les autres aspects traités séparément sont: la rétractabilité, les essais mécaniques, la mécanique de la rupture, l'élasticité et la viscoélasticité du matériau bois.

A travers cette étude bibliographique, le but recherché est de cerner les propriétés sur lesquelles, le phénomène de collapse exerce une certaine influence.

**CHAPITRE II** : L'objet y est l'étude des principales caractéristiques physiques des trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse; par le biais d'essais normalisés, ayant trait à la détermination des paramètres suivants: densité, point de saturation des fibres, retraits linéaires et volumiques. Le but recherché est tout d'abord la caractérisation de ces matériaux et leur qualification sur le plan technologique, ensuite une étude comparative sur les résultats est menée pour apprécier l'influence du phénomène du collapse sur les caractéristiques étudiées.

**CHAPITRE III** : Concerne l'étude des principales caractéristiques mécaniques des trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse, par le biais essais mécaniques normalisés de compression, flexion et dureté. Elle vise également à caractériser les matériaux étudiés et leur qualification. Enfin, une étude comparative des caractéristiques mécaniques entre les trois espèces est menée pour apprécier l'influence du collapse sur celles -ci.

**CHAPITRE IV** : Le même but que précédemment y est recherché, On étudie le processus de relaxation pour déterminer les paramètres de fluage et de relaxation de ces matériaux pour pouvoir les classer et les comparer entre -elles en tenant compte des critères physiques déterminés préalablement.

**CHAPITRE V** : On détermine les contraintes engendrées par le collapse sur des éprouvettes déformées d'eucalyptus gomphocephala (matériau le plus déformé), par la méthode des éléments finis et on définit le mode de fissuration d'éprouvettes non déformées, ayant subies le traitement de reconditionnement à la vapeur.

## CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.

### 1.1 THÉORIE DU COLLAPSE.

#### 1.1.1 Le collapse.

Le collapse [1] se produit lors du séchage et consiste en une contraction considérable et irrégulière du bois, distincte du retrait normalement constaté. Les pièces de bois prennent une forme plus ou moins ondulée (figure 1). Parfois, il ya apparition de fentes internes, invisibles de l'extérieur. Les parois des cellules sont plissées. On dit qu'elles sont effondrées. L'effondrement se produit au cours du départ de l'eau libre située dans les lumens des cellules, alors que le retrait normal apparaît pendant le départ de l'eau liée c'est-à-dire quand on passe en dessous du point de saturation des fibres.

Les 2 phénomènes se cumulent pour donner le retrait quand on procède au séchage d'un bois susceptible d'être affecté par l'effondrement.

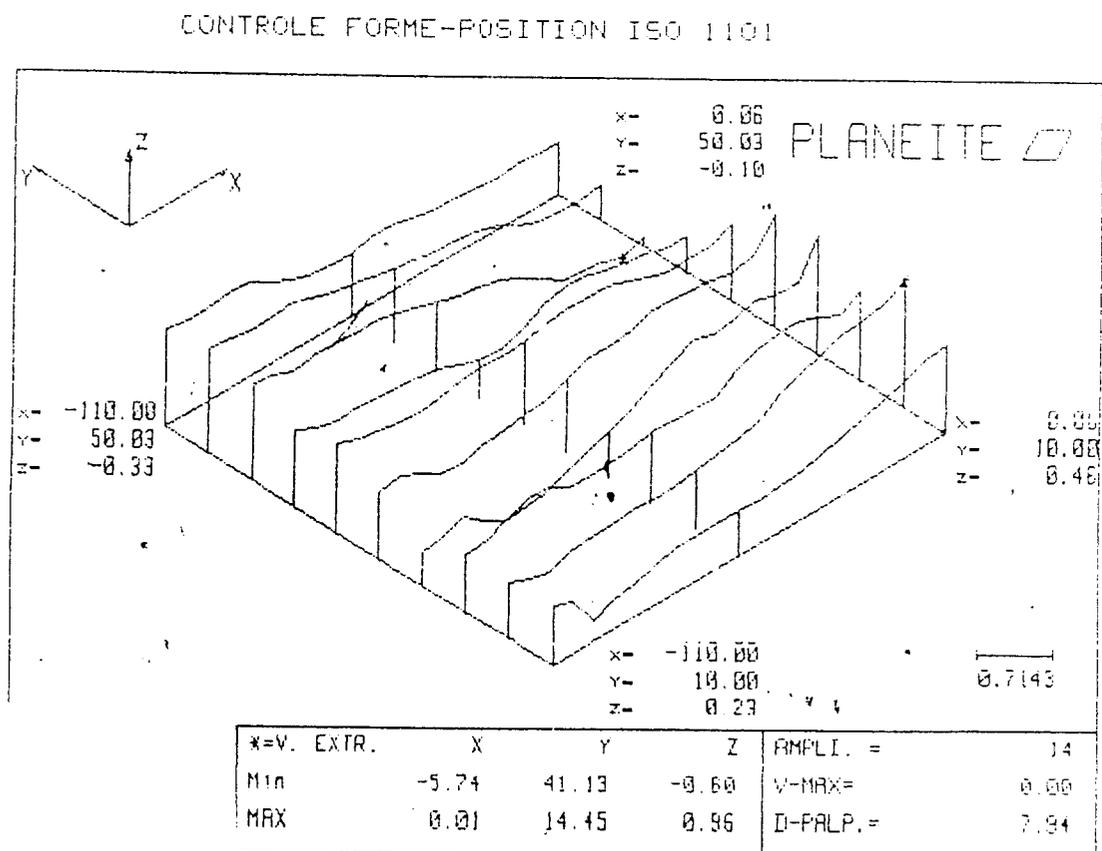


Figure 1: Etat de surface d'une pièce d'*Eucalyptus camaldulensis*, présentant des ondulations dues au collapse (SNV I- ROUIBA).

A titre d'illustrations nous aurons les schémas suivants:

----- Retrait sans collapse ---- | ----- Collapse ----- |  
 -----Retrait total ----- |

Une partie du retrait due au collapse (collapse récupérable) peut-être récupérée par un traitement: le reconditionnement.

----- Retrait sans collapse ---- | ----- Collapse ----- |  
 ----- Retrait sans collapse ----- | -- C.résiduel -- | ----- Collapse récupérable - |  
 ----- Retrait après reconditionnement ----- |

Les théories actuelles attribuent le collapse aux tensions hydrostatiques dans les lumens cellulaires et aux contraintes de séchage.

### 1.1. 2 Théorie de la tension hydrostatique:

Durant le séchage du bois au dessus du point de saturation des fibres, l'eau libre capillaire se retire à travers les pores (ponctuations) des cellules [1]. Un ménisque formé par l'interface eau-air au niveau de l'un de ces pores induit une tension hydrostatique dans l'eau à l'arrière de la face convexe (figure2). Si cette tension excède la résistance à la compression de la paroi cellulaire, cette dernière s'effondre.

Le collapse est beaucoup plus sévère dans un bois totalement saturé que dans un bois partiellement saturé [2].

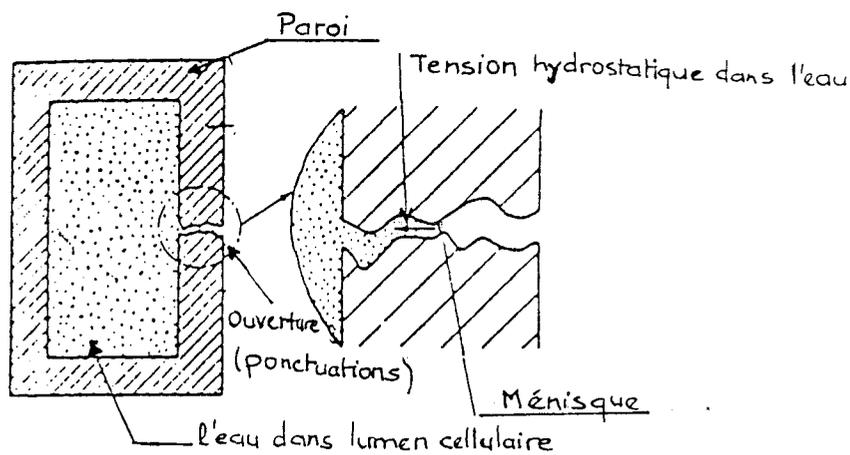


Figure 2: Formation du ménisque dans la paroi cellulaire (ponctuation) [8]

### 1.1.3 Théorie des contraintes de retrait:

Le collapse peut - être induit par une contrainte de compression engendrée durant le séchage [3]. Cette contrainte est due au retrait inégal causé par la présence du gradient d'humidité et peut comprimer la partie interne d'une planche

de manière suffisante à produire le collapse; ainsi le collapse peut se produire dans un bois séché sous tension : les différentes étapes d'apparition des déformations d'une pièce de bois susceptible de collapse sont schématisées par les schémas a, b, c, d, e et f : planche collapsée(figure3).

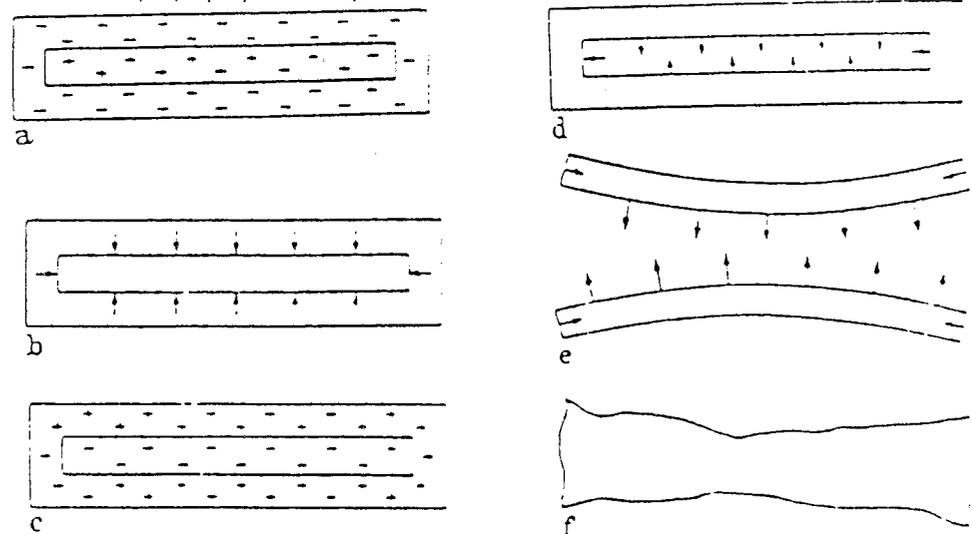


Figure3: Déformations lors du séchage[8]. (+): compression; (-): tension

#### 1.1.4 Théorie intermédiaire:

Il a été montré [4] que la tension hydrostatique, agissant dans les cavités des cellules individuelles, et les tensions de séchage, intéressant un grand nombre de cellules, contribuent ensemble à l'apparition du collapse et celui-ci, peut-être prédit à partir des données des tensions de surface et des propriétés rhéologiques et de structure du bois. Le collapse se produit quand la tension hydrostatique dépasse la contrainte provoquée dans le bois à la limite du fluage plastique.

#### 1.1.5 Variabilité du collapse:

La plupart des bois collapent légèrement durant le séchage mais un collapse plus sévère, se constate chez certains angiospermes (ou feuillus: Eucalyptus) à densité moyenne et chez des bois très humides de quelques gymnospermes (résineux).

L'effondrement possède une très grande variabilité suivant les genres, les espèces, les arbres et même suivant la position dans l'arbre. Le milieu a aussi une influence. A l'intérieur d'un même genre, son intensité varie suivant les espèces.

A l'intérieur d'une espèce, le collapse varie avec la distribution géographique. Le bois d'arbres jeunes se collapse plus que le bois d'arbres murs [5]. D'autre-part, le bois juvénile d'un arbre jeune se collapse plus que le bois juvénile d'un arbre âgé [6]. L'intensité du collapse varie avec la hauteur dans l'arbre; elle est plus importante au pied

qu'au sommet [7,8]. L'effondrement chez beaucoup d'angiospermes, se confine généralement dans le bois de coeur mais il existe des cas où le collapse affecte l'aubier [5]. A l'intérieur d'un cerne, les cellules à parois minces du bois initial ont une faible résistance à la compression et se collapsent généralement beaucoup plus que les fibres à parois plus épaisses du bois final [6]. Le collapse est généralement plus important dans le sens tangentiel que dans le sens radial (1,5 à 3 fois) . Bien que le collapse soit lié à la structure fine des parois cellulaires, les tentatives d'obtenir une corrélation avec les facteurs de structure n'ont toujours pas réussi [9].

#### **1.1.6 L'influence des facteurs de séchage sur le collapse.**

Les facteurs de séchage à savoir la température, l'humidité, la pression et le temps influencent à des degrés différents le développement du collapse dans le bois mis à sécher.

##### **a) La température:**

Le collapse augmente avec la température mais cette dernière a un double effet réversible et irréversible. La haute température rend les parois cellulaires momentanément plastiques. Il en résulte une diminution de leur résistance supérieure à celle de la tension hydrostatique, ce qui augmente les forces induisant le collapse [10]. L'effet irréversible est dû à la dégradation thermique du bois après un séchage excessif.

En pratique, la température des bois susceptibles de dégradation thermique doit être maintenue au dessous de 60°C, et parfois même 40°C pour les essences les plus difficiles, durant le séchage jusqu' à l'obtention d'une humidité inférieure au point de saturation des fibres. Ensuite, ils peuvent sans danger, être exposés à des températures supérieures à 110°C environ mais des températures élevées peuvent causer des fentes et réduire la récupération [11].

##### **b) L'humidité:**

Des basses humidités induisent des déformations de traction interne qui tendent à réduire le retrait dans la largeur des planches et à augmenter le collapse dans l'épaisseur et on a apparition de gerces. Des humidités élevées maintiennent la plasticité des surfaces et minimisent les gerces mais occasionnent un collapse dans la largeur de la planche.

##### **c) La pression:**

Elle influe peu le collapse.

#### d) Le temps:

Le temps de séchage pour atteindre le point de saturation des fibres influe peu dans les bois débités étant donné que le temps de relaxation du collapse est plus court sauf pour des températures d'environ 100°C et plus [7].

##### 1.1.7 Récupération du collapse: Le reconditionnement.

Le collapse du bois normal peut, généralement, être éliminé par le reconditionnement. Ce traitement consiste à exposer le bois dans une atmosphère saturée et chauffée à 100°C. La durée du traitement varie en fonction des dimensions des échantillons. Il a été montré que le reconditionnement d'un bois dont l'humidité est supérieure au point de saturation était inefficace et celui d'un bois dont l'humidité est inférieure à 15% était incomplet. L'optimum de récupération est obtenu à une température de 100°C quand le bois a atteint 15 à 20% d'humidité. A des humidités supérieures, le bois risque de contenir encore de l'eau libre, ce qui peut entraîner une dégradation thermique et la réapparition du collapse après le traitement. A des humidités plus basses, le bois n'est pas assez plastique pour récupérer pleinement. En utilisant des températures plus élevées (120 à 130°C), on obtient des taux de récupération supérieurs. Des températures encore plus élevées (160°C pendant 2h) donnent un faible recouvrement.

## 1.2 RETRACTIBILITE.

### 1.2.1 Mécanismes du retrait.

Le retrait apparaît dès que l'humidité du bois devient inférieure au point de saturation des fibres. Dans un bois vert saturé d'eau, cette dernière se trouve dans les parois cellulaires (eau liée) et dans leurs cavités (eau libre). Le retrait se manifeste au dessous du point de saturation des fibres quand, dans le bois soumis au séchage, l'eau libre a été évacuée. Le retrait est donc engendré par le mouvement de l'eau liée qui se trouve dans les parois cellulaires.

Il existe différents états d'eau liée. Les forces de rétention qui en sont responsables sont d'autant plus fortes que l'humidité du bois est plus faible. Tout d'abord, lorsque l'on fait sécher du bois saturé, c'est à dire qu'on le met dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est inférieure à celle à l'intérieur du bois, il y a successivement départ de l'eau libre puis de l'eau microcapillaire, de l'eau d'adsorption multimoléculaire et enfin de l'eau d'adsorption monomoléculaire. Le bois est alors dit

anhydre. Il ne reste plus que l'eau entrant dans la constitution des composés macromoléculaires du bois ( récupérable par carbonisation ).

Le retrait commence avec le départ successive de molécules d'eau qui séparent les macromolécules de cellulose et d'hémicellulose. Suivant l'intensité du séchage, il ya perte d'une ou de plusieurs couches. Dans tous les cas, les liaisons moléculaires entrant en jeu sont surtout du type hydrogène.

### 1.2.2 L'anisotropie du retrait:

Le bois est un solide orthotrope. Ses axes d'orthotropie par rapport aux directions de croissance de l'arbre sont les suivants: Longitudinal, radial et tangentiel ( figure4). Par rapport à ces axes , on distingue trois types de retrait mesurés dans les directions longitudinale, radiale et tangentielle.

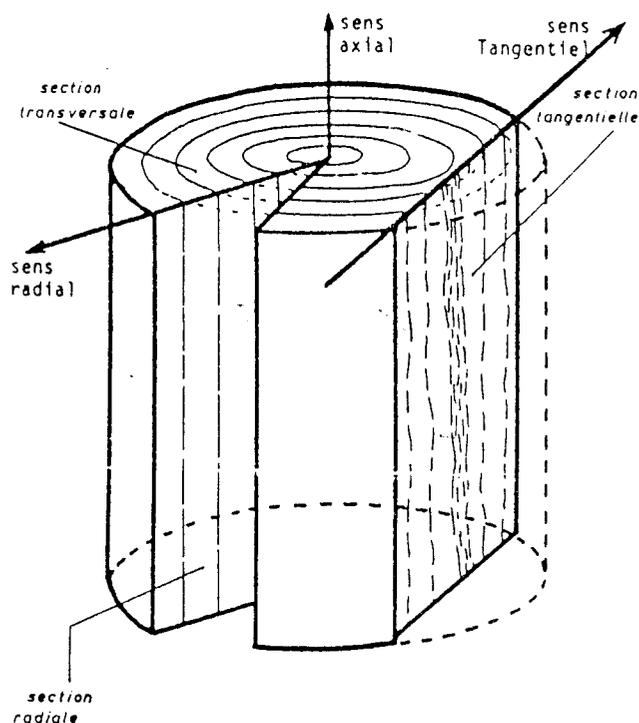


Figure n°4: Les trois axes d'orthotropie du bois.

L'orientation préférentielle des trachéides, dans ce repère, est longitudinale. L'angle d'inclinaison des microfibrilles de cellulose de la couche S2 avec l'axe des trachéides est compris entre  $5^{\circ}$  et  $30^{\circ}$  dans le bois normal [12]. Le retrait se manifestant surtout dans le sens transversal des fibres, on conçoit que les retraits du bois dans les sens radial et tangentiel soient supérieurs au retrait longitudinal. Dans la plupart des cas, un fort angle des microfibrilles s'accompagne d'un retrait longitudinal élevé. Il existe

pendant des exceptions: des retraits longitudinaux très faibles ont été parfois observés [13] malgré des angles de microfibrilles supérieurs à  $45^\circ$ .

### **1.2.3 Les facteurs influençant le retrait:**

#### **a) Densité du bois.**

La densité de la matière ligneuse est de 1.53. La densité d'un bois à une humidité donnée correspond à un pourcentage de matière ligneuse par unité de volume auquel il faut ajouter de l'eau contenue dans ce volume. Le retrait étant lié positivement à la quantité de matière ligneuse, il est par conséquent lié positivement à la densité.

#### **b) Humidité.**

Les mécanismes du retrait dépendent fortement du taux d'humidité du bois. La relation entre ces deux paramètres n'est pas tout à fait linéaire [14,15].

Le comportement du bois est différent lorsque l'on est proche soit du point de saturation des fibres ( eau capillaire peu liée ), soit de l'état anhydre ( eau très liée ).

Dans tous les cas pour mesurer un retrait, il est nécessaire de connaître l'humidité exacte du bois pour savoir à quel type de retrait on a affaire.

#### **c) Angle des microfibrilles de cellulose.**

Le retrait a lieu surtout dans le sens transversal des microfibrilles. La couche S2 étant plus épaisse et la plus riche en cellulose de la paroi cellulaire, c'est elle qui dirige le retrait. Les microfibrilles sont enroulées de façon spiralées autour de la cavité cellulaire de la trachéide. L'angle que font les microfibrilles dans cette couche par rapport à l'axe de la cellule est compris entre  $0^\circ$  et  $50^\circ$ . L'inclinaison de cet angle va avoir un effet important sur les retraits tangentiel et longitudinal [16]. Plus l'angle des microfibrilles est élevé, plus le retrait transversal des microfibrilles a de l'importance sur le retrait longitudinal de la trachéide et inversement moins il joue sur le retrait tangentiel.

#### **d) Eléments anatomiques.**

##### **1) la longueur des trachéides:**

La longueur des fibres et l'angle des microfibrilles ne sont pas des facteurs indépendants puisqu'à des angles de microfibrilles élevés sont toujours associés des longueurs de fibres faibles. Plusieurs auteurs ont montré une forte corrélation négative entre ces deux caractéristiques [17]. Donc la longueur des trachéides influence le retrait de la même façon que l'angle des microfibrilles.

## 2) Le nombre et les dimensions des rayons ligneux:

Pour les feuillus à gros rayons ligneux et quelques résineux, l'importance des rayons ligneux joue un rôle primordial sur le retrait et notamment sur l'anisotropie du retrait. De nombreux auteurs ont montré que pour certaines essences le retrait radial des rayons ligneux isolés était faible et que plus le pourcentage de rayons ligneux augmentait, plus le retrait radial était faible [18].

## 3) Composition chimique du bois :

La lignine et les extraits s'incrustent autour des fibrilles de cellulose, ce qui réduit fortement la place disponible pour l'eau, de sorte qu'une teneur élevée en molécules phénoliques de ce type diminue l'aptitude du bois au retrait [19].

### e) Facteurs liés aux précédents:

#### 1) L'âge:

Les changements anatomiques avec l'âge entraînent des variations d'un certain nombre de propriétés entre le bois adulte et le bois juvénile [20].

Les différences bois juvénile -bois adulte sont moins accentuées chez les feuillus que chez les conifères pour la longueur des fibres, l'angle des microfibrilles et le retrait longitudinal.

#### 2) Largeur de cerne:

Pour toutes les essences, et à une hauteur donnée sur la tige, la largeur de cerne décroît depuis la moelle vers l'écorce. Pour une même année, la largeur de cerne augmente depuis le bas de l'arbre vers le haut. C'est un critère de qualité qui est corrélé le plus souvent aux autres propriétés tels la densité et le retrait.

#### 3) Bois de réaction:

Le bois de réaction chez les feuillus ou de compression chez les résineux est caractérisé par une lignification plus forte, des trachéides plus courtes et un angle des microfibrilles plus élevé, une augmentation locale de densité ( jusqu'à 10% et parfois d'avantage ) un retrait tangentiel plus faible et un retrait longitudinal plus fort ( égal ou supérieur à 1% ) qu'un bois normal.

### f) Facteurs externes:

Les facteurs environnementaux: agissent directement sur la densité du bois et également ont une influence sur le retrait.

Les conditions expérimentales:

### 1) La forme des échantillons:

L'effet de la forme et des dimensions de l'échantillon est une caractéristique d'un retrait non libre [21]. Il a été montré [22] que le retrait sur cube et le retrait sur carotte de sondage étaient différents. Certains auteurs [23,24] ont trouvé que le retrait dépendait des dimensions des échantillons.

### 2) L'angle du fil du bois:

Plusieurs auteurs ont constaté que l'angle du fil du bois variait sur un rayon, de la moelle vers l'écorce [25]. Ces variations, peuvent être très importantes pour certains individus: on parle alors de fibre torse [26]. Chez les feuillus, à année calendaire donnée, l'angle du fil semble, de façon moyenne, se fermer lorsque l'on considère les parties supérieures du tronc et s'ouvrir légèrement, à hauteur fixée, on s'éloigne de la moelle.

## 1.3 ELASTICITE LINEAIRE DU MATERIAU BOIS IDEAL

Dans ce paragraphe, sont présentées les données essentielles du modèle de comportement élastique linéaire du bois idéal, considéré comme un milieu continu, élastique, homogène admettant une symétrie matérielle orthotrope cylindrique.

### a) Orthotropie:

Le bois possède naturellement trois directions de symétrie  $\vec{L}$ ,  $\vec{R}$ ,  $\vec{T}$ .

L'hypothèse d'orthotropie (existence de trois plans de symétrie droite orthogonaux entre eux) sera considérée comme vérifiée sur des échantillons issus de grumes dont les cerne ont un rayon de courbure suffisamment grand. Ainsi le repère  $\left( \begin{matrix} \vec{L} & \vec{R} & \vec{T} \end{matrix} \right)$  reste le même en tous les points de l'échantillon.

### b) Homogénéité:

En général, un bois est considéré comme homogène s'il ne comporte pas de noeuds ni d'autres défauts apparents et s'il existe peu de contraste entre le bois de printemps et le bois d'été. Un échantillon de bois est pris globalement homogène tant que la largeur des couches annuelles reste petite devant les autres dimensions de l'échantillon.

c) Linéarité: De nombreux travaux [27] affirment un comportement linéaire du bois pour des valeurs faibles et moyennes de charge, d'humidité et de température.

### 1.3.1 Elasticité linéaire:

#### 1.3.1.1 Loi de comportement élastique .

Le point matériel P est désigné dans la grume par les coordonnées cylindriques  $(r, \theta, z)$  auxquelles est associée la base naturelle orthonormée  $(R, T, L)$  ( radial, tangentielle, longitudinale ). Désignons par :

$\epsilon_{ij}$  les composantes du tenseur des déformations linéarisé  $\epsilon$  dans  $(R, T, L)$ ,

et par  $\sigma_{ij}$  les composantes du tenseur des contraintes  $\sigma$ . Le comportement élastique est caractérisé par le tenseur matériel S des complaisances élastiques qui relie l'état des déformations à l'état des contraintes , dont les composantes sont notées  $S_{ijkl}$  dans la base  $(R, T, L)$ . En notation tensorielle, la loi de comportement élastique s'écrit:

$$\epsilon_{ij} = S_{ijkl} \sigma_{kl} \quad \text{où } i, j, k, l \in (1,2,3). \quad (1)$$

Le cas de l'orthotropie cylindrique permet de réduire à neuf le nombre de complaisances linéairement indépendantes.

La loi de comportement ( 1 ) s'écrit alors, sous forme matricielle dans le repère  $(R, T, L)$ :

$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \epsilon_4 \\ \epsilon_5 \\ \epsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} \quad (2)$$

avec la symétrie:  $S_{12} = S_{21}$  ,  $S_{23} = S_{32}$  ,  $S_{31} = S_{13}$  La loi de comportement (2) exprimée en terme de complaisances élastiques peut être transposée directement en termes de grandeurs techniques (3) :

$$\begin{array}{c} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \\ \gamma_6 \end{array} = \begin{array}{cccccc} \frac{1}{E_R} & -\nu_{TR} & -\nu_{LR} & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{RT} & \frac{1}{E_T} & -\nu_{LT} & 0 & 0 & 0 \\ E_L & E_T & E_L & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{RL} & -\nu_{TL} & \frac{1}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ E_R & E_T & E_L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} \end{array} \begin{array}{c} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{array} \quad (3)$$

avec les trois conditions:

$$\frac{\nu_{RT}}{E_R} = \frac{\nu_{TR}}{E_T}, \quad \frac{\nu_{TL}}{E_T} = \frac{\nu_{LT}}{E_L}, \quad \frac{\nu_{LR}}{E_L} = \frac{\nu_{RL}}{E_R} \quad (4)$$

#### a) Les modules d'élasticité:

Le module d'élasticité  $E_i$  est le rapport entre la composante  $\sigma_i$  du tenseur des contraintes à la composante  $\varepsilon_i$  du tenseur des déformations ( $i$  correspondants respectivement aux axes R, T, L.

Le module  $E_i$  est l'inverse de la complaisance  $S_{ij}$ .

$$E_R = \frac{1}{S_{11}}, \quad E_T = \frac{1}{S_{22}}, \quad E_L = \frac{1}{S_{33}} \quad (5)$$

#### b) Les coefficients de Poisson:

Le coefficient:  $\nu_{ij}$  avec  $(i, j) \in (R, T, L)^2$  représente un rapport de valeurs absolues d'élongations.

Le premier indice  $i$  fait référence à la contrainte  $\sigma_i$  et le second indice  $j$  fait référence à l'élongation transversale considérée. Compte tenu de la symétrie de la matrice, on obtient:

$$\begin{aligned} \nu_{RT} &= -\frac{S_{21}}{S_{11}}; \quad \nu_{TL} = -\frac{S_{32}}{S_{22}}; \quad \nu_{LR} = -\frac{S_{13}}{S_{33}} \\ \nu_{TR} &= -\frac{S_{12}}{S_{22}}; \quad \nu_{LT} = -\frac{S_{23}}{S_{33}}; \quad \nu_{RL} = -\frac{S_{31}}{S_{11}} \end{aligned} \quad (6)$$

#### c) Modules de cisaillement :

Le module de cisaillement  $G_{ij}$  est l'inverse de la complaisance  $S_k$  avec  $k = 9 - (i+j)$ .

$$G_{RT} = \frac{1}{S_{66}}; \quad G_{TL} = \frac{1}{S_{44}}; \quad G_{LR} = \frac{1}{S_{55}} \quad (7)$$

#### d) Relations entre les différentes complaisances ou grandeurs techniques:

### a) Complaisances axiales , modules de Young:

Les complaisances  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , et par conséquent  $E_R$ ,  $E_T$  et  $E_L$  vérifient les relations suivantes:

$$S_{33} \ll S_{11} < S_{22} \quad (8)$$

$$\text{où: } E_L \gg E_R > E_T$$

La rigidité dans la direction des fibres ( longitudinales ) est d'un ordre de grandeur plus grand que la rigidité radiale, elle-même supérieure à la rigidité tangentielle.

### b) Les complaisances transverses - coefficients de Poisson:

Les complaisances transverses  $S_{12}$ ,  $S_{23}$  et  $S_{31}$  vérifient les relations suivantes:

$$-S_{12} \gg -S_{23} > -S_{31} \quad (9)$$

Le couplage radial-tangentielle est donc plus grand que les couplages longitudinal-radial ou longitudinal-tangentielle. En termes de coefficients de Poisson, on obtient:

$$\nu_{RT} > \nu_{TL} \equiv \nu_{LT} \equiv \nu_{LR} \gg \nu_{TL} \equiv \nu_{RL} \quad (10)$$

### c) Complaisances et modules de cisaillement:

$$S_{55} < S_{44} < S_{66} \quad (11)$$

$$G_{LR} > G_{TL} \gg G_{RT} \quad (12)$$

La souplesse au cisaillement élastique est grande dans le plan radial-tangentielle.

### REMARQUE:

Il n'existe pas de méthodes normalisées pour la détermination expérimentale de la matrice des complaisances élastiques du matériau bois, mais seulement certaines approches ayant été pratiquées par différents laboratoires [28].

## 1.4 MECANIQUE DE LA RUPTURE DU MATERIAU BOIS

### 1.4.1 Rupture sous contrainte ultime.

La résistance à la rupture d'un matériau est une des propriétés mécaniques les plus significatives à prendre en considération lors de la conception des ouvrages en bois.

En pratique, pour le dimensionnement on se base sur la contrainte admissible égale à la contrainte ultime divisée par un coefficient de sécurité ( 2,75 pour le bois).

La résistance à la rupture peut être affectée par la présence de défauts tels que : gerces, fentes, noeuds... rendant la contrainte critique parfois inférieure à la contrainte admissible.

#### 1.4.1.1 Définitions de la notion de contrainte ultime :

L'essai de traction sur une planche de bois permet de faire apparaître plusieurs types de diagrammes auxquels correspondent plusieurs définitions de la charge critique.

- Dans le cas d'un bois sec, le diagramme charge déplacement est pratiquement linéaire la rupture partielle de l'éprouvette intervient et la contrainte au moment de la rupture est identifiée à la contrainte ultime du matériau.

- Dans le cas d'un bois sec présentant des points de faiblesse, une rupture locale peut se produire bien avant la rupture finale. Dans ce cas on considérera que la contrainte ultime du matériau est la contrainte qui provoque la première décharge.

- Dans le cas d'un bois humide ou dans le cas d'un essai de compression, la charge passe par un maximum avant rupture. Dans ce dernier cas la contrainte ultime du matériau est identifiée à la contrainte maximale.

#### 1.4.1.2 Les essais mécaniques de qualification des bois:

Pour pouvoir comparer les différentes espèces de bois, nous allons présenter ci-dessous les divers essais mécaniques normalisés ainsi que les facteurs influençant le comportement mécanique du bois lorsqu'il est soumis aux sollicitations.

Ces essais sont menés afin de disposer de valeurs moyennes de résistances ou de modules d'élasticité pour servir aux calculs des structures. Pour cela et compte tenu que le bois est un matériau anisotrope, nous allons définir des essais de qualification sur des éprouvettes normalisées et sans défauts.

##### 1.4.1.2.1 Facteurs influençant les essais mécaniques:

- La densité; L'humidité; L'anisotropie; La température; Le temps; L'orientation des fibres.

##### a) Densité:

Elle est corrélée à la plupart des modules d'élasticité (Guitard) [28].

Le module d'élasticité longitudinal est sensiblement une fonction croissante de la densité [29]. Par contre, la corrélation est plus délicate à établir entre la densité et les modules de cisaillement. Une relation linéaire entre la contrainte de rupture  $\sigma_r$  et la densité est observée par différents chercheurs [28]. La dispersion des résultats est importante. Celle-ci peut être réduite en rapportant  $\sigma_r$  à la masse volumique  $\rho$  et on définit les cotes de qualité suivantes:

-Cote statique :  $S_t = \frac{\sigma_{r12}}{P_{12}}$  ; permet de caractériser les matériaux à poids égal et les bois entre eux .

-Cote dynamique:  $\frac{k}{P_{15}^2}$  ; où k coefficient de résilience;  $P_{15}$  masse volumique à H =15%; permet de comparer les bois lors d'essais de choc.

**b) Humidité:**

Au dessus du point de saturation des fibres( En général situé à  $H_s = 30\%$  pour la plupart des essences de bois ) l'humidité ne modifie pas les propriétés mécaniques (résistance mécanique et propriétés élastiques) . Par contre en dessous, l'humidité influe fortement les propriétés mécaniques qui augmentent lorsque l'humidité diminue (figure5) . Aussi tous les résultats d'essai sont ramenés à une même humidité de référence ( ou humidité standard  $H = 12\%$  ) pour pouvoir comparer ces derniers.

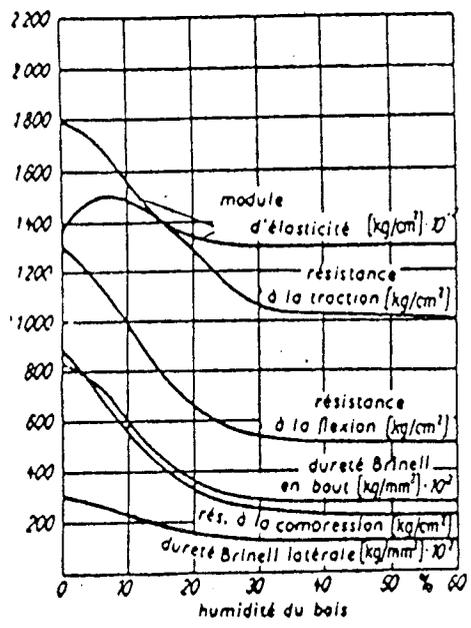


Figure n°5: Variations des propriétés mécaniques du bois avec l'humidité [29].

Une approximation logarithmique de la courbe a été proposée [29] mais on utilise en général une relation linéaire entre 8 à 22% d'humidité , qui s'écrit sous forme:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{b - H_2}{b - H_1} ;$$

où b est l'abscisse du point d'intersection de la droite avec l'axe horizontal (b =32% en compression, 42% en flexion).

La relation suivante est aussi employée (normes AFNOR), la pente  $c$  dépend du type de sollicitation:

$$\sigma_{rH1} = \sigma_{rH2}(1 - c(H_1 - H_2))$$

Le comportement mécanique du bois dépend de l'humidité du bois. En compression axiale anhydre il sera élastique linéaire puis fragile, à l'état saturé il présentera un comportement d'élasticité non linéaire suivie de plasticité.

### c) Anisotropie:

Dans le repère associé aux directions naturelles du bois, l'orthotropie est générée par l'existence de trois plans de symétrie (TR, LT, LR). Les propriétés mécaniques ne sont donc pas identiques selon les orientations relatives des sollicitations dans le repère ainsi défini.

### d) Température.

Les propriétés mécaniques sont influencées par la température et ce à divers états:

-Lorsque la température augmente de  $-20^{\circ}\text{C}$  et plus de  $100^{\circ}\text{C}$ : Le module d'élasticité et la contrainte à la rupture diminuent. Au delà le bois commence à se décomposer. De plus le facteur humidité intervient également et il faut distinguer le comportement d'un bois humide, et celui d'un bois sec. En général la résistance augmente toujours lorsque la température baisse, sauf pour la résilience où l'effet est inversé pour des humidités supérieures à 70%.

Entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $50^{\circ}\text{C}$  le module d'élasticité diminue avec la température selon la relation:

$$E_2 = E_1(1 - \alpha(\theta_2 - \theta_1)).$$

Cette décroissance est d'autant moins importante que la densité est grande.

La contrainte de rupture est liée à la température par la relation linéaire suivante:

$$\sigma_2 = \sigma_1 - n(\theta_2 - \theta_1).$$

Où  $n$  coefficient proportionnel à la densité.

### e) Temps:

Le facteur temps influe sur les résultats d'essais d'échantillons de bois suivant que ceux-ci sont soumis à des sollicitations très rapides ou quasi statiques.

La résistance obtenue est plus importante dans le premier cas que dans le second ( rapport de 1,5 à 2 ). De plus la déformation est supérieure à celle trouvée dans les essais ordinaires.

Lorsque le bois est soumis à une sollicitation de longue durée , sous une charge constante , il se produit une rupture pour un effort inférieur de 25% à 40% à la charge maximum. C'est le phénomène de fluage du bois qui est en la cause; il caractérise le comportement viscoélastique du bois . Son processus est proportionnel au logarithme du temps [29].

\*) Influence de l'orientation du chargement sur la contrainte ultime du bois:

Influence de l'orientation des fibres sur la contrainte ultime en traction ( formule d'Ankinson )

Dans un essai de traction, compression, ou cisaillement réalisé selon les directions naturelles, la résistance ultime est une caractéristique de l'essence.

Dans le cas d'essai de compression dans le plan LT en fonction de l'orientation  $\theta$  des fibres par rapport à la direction de chargement  $\sigma_{u,L}$  pour  $\theta = 0^\circ$  à la valeur  $\sigma_{u,T}$  pour  $\theta = 90^\circ$ ; l'évolution a été modélisée dès 1921 par une relation empirique due à Ankinson [30]:

$$\sigma_{u,\theta} = \frac{\sigma_{u,L} \sigma_{u,T}}{\sigma_{u,L} \cdot (\sin \theta)^{n'} + \sigma_{u,T} (\cos \theta)^{n'}}$$

où :  $n'$  coefficient voisin de 2.

Les constantes élastiques suivant une direction quelconque sont déterminées à partir des contraintes principales selon la relation suivante:

Au cas où on se limite à une rotation  $\varphi$  autour d'un seul axe T ( par exemple), on aura :

$$E_\varphi = \frac{E_0 E_{90}}{E_{90} \cos \varphi^n + E_0 \sin \varphi^n}$$

Où  $E_0$  et  $E_{90}$  sont les modules d'élasticité longitudinal et radial:  $n = 3$  (évalué expérimentalement).

### 1.4.1.2.2 Essais mécaniques:

#### a) Essai de traction:

Deux types d'éprouvettes sont utilisées, l'un pour obtenir la résistance à la traction dans la direction longitudinale, l'autre pour obtenir la résistance à la traction dans les deux autres directions naturelles du bois (radiale et tangentielle : éprouvettes Monnin).

Le diagramme contrainte - déformation présente une partie linéaire relativement importante et un domaine réduit où apparaît de la non linéarité. Celle-ci peut être attribuée à de l'endommagement et plus particulièrement à des fissurations des parois cellulaires. La fin du comportement proportionnel peut être assimilé à une véritable limite d'élasticité.

La contrainte en traction longitudinale est 2 à 3 fois supérieure à celle obtenue en compression axiale.

La résistance ultime en traction est influencée par l'espèce, la direction de sollicitation, l'humidité, la densité du bois ainsi que la vitesse de sollicitation.

L'accroissement d'humidité diminue généralement la contrainte ultime en traction jusqu'à une valeur asymptotique pour un taux d'humidité variant entre 30 et 40 % taux d'humidité correspondant au point de saturation des fibres. Des faibles taux d'humidité peuvent cependant diminuer la résistance ultime du bois à cause de l'apparition de microfissurations lors d'un séchage trop poussé.

La contrainte ultime en traction est une fonction linéaire de la densité  $D$  comme l'a montré Monnin en 1932 où  $C_1$  est une constante:

$$\sigma_u^t = C_1 D$$

L'influence de la vitesse de sollicitation n'apparaît que pour des vitesses très élevées, supérieures à  $10s^{-1}$ .

La cote de qualité en compression axiale est comprise entre  $150 \cdot 10^3$  et  $200 \cdot 10^3$ .

Le coefficient  $c$  de variation de la résistance avec l'humidité vaut 0,03.

La cote de qualité (ou d'adhérence) varie de  $3 \cdot 10^3$  pour les résineux, à  $6 \cdot 10^3$  pour les bois de travail.

#### b) Essais de compression:

Les essais de compression axiale sont le plus souvent faits sur des éprouvettes de 50 mm de hauteur et de 20 mm de côté . Le taux d'élancement est suffisamment petit ( égal à 3 ) pour éviter le phénomène de flambage. Le diagramme charge déplacement présente une courte période de comportement élastique et ensuite un domaine non linéaire relativement important. Le point critique est considéré comme le maximum de la courbe et intervient après une déformation importante.

On constate que la résistance à la rupture en compression axiale est de l'ordre de la moitié de celle de la résistance à la rupture en traction pour une même direction de sollicitation. Les essais de compression selon les directions tangentiels et radiales sont plus délicats à réaliser car le bois va se densifier et augmenter ainsi sa résistance. La résistance à la rupture est alors plus difficile à définir. Elle est alors prise conventionnellement au palier de la courbe contrainte allongement .

La résistance ultime en compression est nettement plus faible que la traction Cette moindre résistance à la rupture en compression est généralement expliquée par un mécanisme de flambement ou pliage des fibres .

Les contraintes ultimes de compression selon les sens radial et tangentiel sont nettement inférieures à celles obtenues par compression longitudinale.

Ces caractéristiques sont influencées de façon similaire à celles obtenues en traction par la densité et le taux d'humidité.

Pour le bois humide on observe en général un écrasement latéral, lorsqu'il est sec à l'air on a rupture par cisaillement selon un plan oblique à  $45^\circ$  , s'il est très sec la rupture est brutale par fendage longitudinal.

La rupture est expliquée par le flambage des fibres des feuillus ou par le pliage des membranes des trachéides.

La cote de qualité est de  $70 \cdot 10^3$  pour les feuillus et  $90 \cdot 10^3$  pour les résineux .

L'influence de l'humidité sur la résistance est importante (  $c = 0,04$  ).

### c) Essais de flexion:

La différence entre les contraintes ultimes en traction et en compression va conduire à une distribution dissymétrique des contraintes.

Compte tenu du fait que la déformation ultime en traction est plus faible que la déformation ultime en compression  $\varepsilon_U^c$ , la rupture s'amorcera sur la fibre externe en

traction. La contrainte ultime en flexion  $\sigma_{u,f}$  est reliée à la contrainte ultime longitudinale  $\sigma_{u,L}^t$  en traction selon une relation qui dépend des hypothèses prises sur la distribution des contraintes mais dont la forme générale est:

$$\sigma_{u,f} = C_2 \sigma_{u,L}^t$$

où  $C_2$  est une constante.

### 1) Hypothèse d'une distribution trapézoïdale des contraintes :

La distribution des contraintes en fonction des déformations [31] est triangulaire en traction, trapézoïdale en compression (figure6).

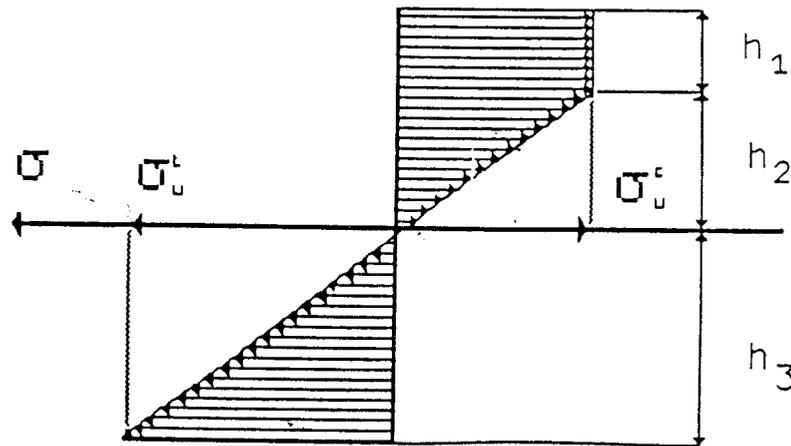


Figure n°6: Distribution des contraintes trapézoïdales en flexion d'une poutre en bois.

La position de l'axe neutre dépend du rapport  $\frac{\sigma_{u,L}^t}{\sigma_{u,L}^c}$  selon :

$$\frac{h_3}{2h} = \frac{1+(m')^2}{2m'} \quad \text{avec } 2h = h_1 + h_2 + h_3 ;$$

Généralement on trouve :

$$\sigma_{u,f} = c_2 \sigma_{u,L}^c = \frac{C_2}{m'} \sigma_{u,L}^c \quad \text{avec } m' = \frac{\sigma_{u,L}^c}{\sigma_{u,L}^t} ;$$

Où :

$\sigma_{u,L}^t$  contrainte ultime en traction longitudinale;  $\sigma_{u,L}^c$  contrainte ultime en compression.

### 2) Hypothèse d'une distribution parabolique des contraintes :

Cette distribution [31] est représentée sur la figure7. Dans ce cas on trouve :

$$\frac{h_2}{2h} = \frac{3}{(4m' + 3)} \quad (\text{position de l'axe neutre}).$$

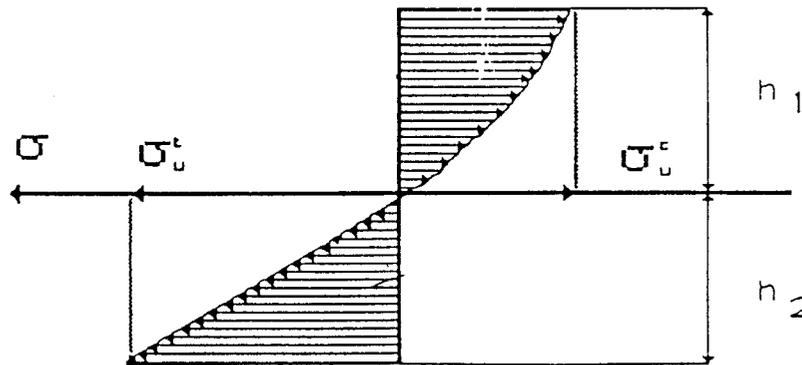


Figure 7: Distribution de contraintes paraboliques, en flexion d'une poutre de bois.

### 3) Interprétation:

Sur le côté comprimé les contraintes tendent vers un palier et pour équilibrer ces contraintes la zone tendue s'accroît par abaissement de l'axe neutre. A l'approche de la rupture on constate l'apparition des plissements de compression avant que la rupture se produisent finalement dans la zone tendue.

### d) Essais de cisaillement:

Les essais de cisaillement sont difficiles à réaliser. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour réaliser le cisaillement : par traction diagonale; par torsion; par compression; par traction longitudinale.

### e) Essais de dureté:

La notion de dureté étant liée à l'effort de pénétration de l'outil.

Elle a été reliée linéairement à la contrainte de compression par Janka [32]:

$$H_j = 2\sigma_{rc} - 500 \quad (\text{daN} / \text{cm}^2);$$

qui a aussi défini une méthode de mesure par enfoncement d'une bille de 11,3 mm.

La dureté Brinell est également utilisée mais le diamètre de la bille (10 mm) est faible par rapport aux cernes d'accroissement. Les normes françaises préconisent la pénétration d'un cylindre de 30 mm de diamètre sur une largeur de 20 mm, la dureté N est l'inverse de l'inverse de la profondeur celle ci est évaluée par la largeur a de l'empreinte:

$$t = 15 - \frac{1}{2} \sqrt{900 - a^2}$$

La dureté dépend de la densité, Janka [32] a proposé la relation:

$$H_j = k \rho^{9/4} ;$$

et Ylinen [32] a montré que pratiquement la relation était linéaire:

$$H_B = \beta \rho_0 + \alpha$$

De plus, lorsque l'humidité augmente l'humidité augmente, le bois devient moins dur ( $c = 0,02$ ).

### 1.4.3 CRITERES DE RUPTURE DU MATERIAU BOIS:

La représentation par un critère de résistance ultime du bois nécessite de faire appel à des critères utilisés pour les matériaux composites. Le processus de rupture obéit à l'un des critères simples suivants:

- La rupture se produit dans la direction normale à la contrainte la plus grande (mécanisme de rupture des fibres),
- Ou la rupture se fait dans la direction parallèle à la cission la plus importante (mécanisme de glissement des fibres les unes par rapport aux autres).

Dans le cas d'un matériau anisotrope, on représente l'état limite par le seuil atteint par une fonction de toutes ou de certaines contraintes.

#### 1.4.3.1 Critère seuil :

La condition seuil (critère de rupture) est donnée par l'équation (T: valeur seuil):

$$\sigma_{ij} = T .$$

#### 1.4.3.2 Critère du cisaillement maximum:

Ce critère est une généralisation du critère de Tresca très utilisé pour les matériaux isotropes. Le critère suppose que le mécanisme de rupture consiste en :

- Soit un glissement et une rupture des fibres dans un plan parallèle à celles-ci;
- Soit en un mécanisme de cisaillement des fibres dans un plan à  $45^\circ$  de la contrainte principale;
- Soit une direction normale au plan de cisaillement maximum.

Ce critère qui traduit l'existence de plans de glissement privilégiés ne permet pas de représenter la dissymétrie de comportement suivant que la sollicitation est de traction ou de compression. Trois formes du critère peuvent être données, correspondant à des directions différentes des cissions:

- a) La cisssion critique apparaît sur un plan parallèle aux fibres et est dirigée dans une direction parallèle à celle-ci. Elle atteint la valeur  $\tau_a^*$ .
- b) La cisssion critique apparaît sur un plan parallèle aux fibres mais dirigée dans une direction perpendiculaire aux fibres. Elle a pour valeur  $\tau_a^*$ .
- c) La cisssion critique apparaît sur des plans orientés à  $45^\circ$  de la direction des fibres, les fibres sont alors suffisamment ductiles pour se cisailer sous la contrainte  $\tau_a^*$ .

#### 1.4.3.3 Critère de la contrainte normale maximale:

Ce critère suppose que les conditions de rupture sont atteintes lorsque la contrainte normale à l'une des directions principales d'orthotropie atteint sa valeur limite, que ce soit en traction ou en compression. Le plan de rupture est alors normal à la direction de cette contrainte.

Le critère seuil [31] s'écrit:

$$\left(\frac{\sigma_{RR} - \sigma_{u,R}^t}{\sigma_{u,R}^c}\right) \left(\frac{\sigma_{RR} - \sigma_{u,R}^c}{\sigma_{u,R}^c}\right) + \left(\frac{\sigma_{LL} - \sigma_{u,L}^t}{\sigma_{u,L}^c}\right) \left(\frac{\sigma_{LL} - \sigma_{u,L}^c}{\sigma_{u,L}^c}\right) + \dots \leq 1$$

#### 1.4.3.4 Critère de Hill :

Hill [33] a proposé un critère pour les matériaux anisotropes qui est une généralisation du critère de Von Misés utilisés pour les matériaux isotropes. La fonction seuil qui le caractérise est une fonction quadratique des contraintes. Il permet de prendre en compte une éventuelle dissymétrie entre les contraintes ultimes en traction et en compression et suppose en outre que la pression hydrostatique n'a pas d'influence sur ces contraintes.

$$F_H(\sigma_{TT} - \sigma_{LL})^2 + G_H(\sigma_{LL} - \sigma_{RR})^2 + H_H(\sigma_{RR} - \sigma_{TT})^2 + 2L_H\sigma_{TL}^2 + 2M_H\sigma_{LR}^2 + 2N_H\sigma_{RT}^2 \leq 1$$

Les coefficients  $F_H$ ,  $G_H$ ,  $H_H$ ,  $M_H$  et  $N_H$  sont identifiés à partir d'essais de traction et de cisaillement.

#### 1.4.3.5 Le critère de Tsai:

Ce critère [34] utilise les valeurs des contraintes principales est employé pour le bois. Sa fonction seuil s'écrit :

$$\left(F_i \sigma_i\right)^{\alpha'} + \left(F_{ij} \sigma_j \sigma_j\right)^{\beta'} + \left(F_{ijk} \sigma_i \sigma_j \sigma_k\right)^{\gamma'} = 1$$

$i, j, k$  peuvent prendre les valeurs de 1 à 6 avec  $i = 9 - (i+j)$ . Il nécessite au départ 27 coefficients et peut se présenter sous forme simplifiée en tenant compte de l'hypothèse d'orthotropie du matériau bois. On réduit alors le nombre de coefficients de 27 à 12. Le critère s'écrit alors sous la forme:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_3\sigma_3 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{33}\sigma_3^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + 2F_{13}\sigma_1\sigma_3 + 2F_{31}\sigma_3\sigma_1 + F_{44}\sigma_4^2 + F_{55}\sigma_5^2 + F_{66}\sigma_6^2 = 1$$

#### 1.4.3.6 MODES DE RUPTURE :

L'analyse morphologique des ruptures du bois révèle de nombreux modes de ruine qui sont fonction du type de sollicitation et la présence de défauts ou de plans de faiblesse du bois. On distingue généralement les types de rupture suivants :

**a) Rupture par compression :** Dans ce cas, on distingue :

-rupture transverse par écrasement de fibres ; fendage en biseau identifiable par la forme en Y du plan de rupture ; fendage simple ; fendage et rupture transverses ; cisaillement associé à des plans de faiblesse ; écrasement des extrémités souvent en raison d'un taux d'humidité important.

**b) Rupture par traction :**

rupture en biseau ; rupture combinée traction-cisaillement ; rupture par cisaillement ; rupture fragile.

**c) Rupture par flexion :**

par simple traction ; en biseau ; par traction des fibres ; en compression ; cisaillement longitudinal.

Rupture en flexion en présence de noeuds : traction diagonale ; compression près d'un noeud ; traction localisée près d'un noeud.

**d) Analyse fractographique du bois rompu :**

La structure anatomique du bois va conditionner le faciès de la rupture, toutefois celui-ci sera déterminé d'une façon prépondérante par le système de sollicitation. Ainsi la compression des fibres entraîne chez celles-ci des phénomènes de flambage ou de pliage. La rupture en traction peut généralement se présenter comme une rupture intracellulaire, la rupture par traction du bois d'été peut se présenter comme une rupture intercellulaire.

## 1.5.1 VISCOELASTICITE DU MATERIAU BOIS

### 1.5.1 Principaux facteurs influençants la viscoélasticité du bois:

Le bois a des caractéristiques viscoélastiques marquées, dont la manifestation la plus courante est le fluage : sous contraintes constantes les déformations évoluent dans le temps de manière monotone. En pratique le fluage conduit à une augmentation de la déformation du matériau dont il faut tenir compte lors de la conception des structures en bois. La ruine totale ou partielle de ces derniers peut survenir par instabilité différée.

Le bois est constitué pour l'essentiel de polymères amorphes et cristallins. Son comportement a un caractère viscoélastique sur lesquels les paramètres température et humidité exercent une très grande influence.

Chaque polymère possède une température de transition en deçà de laquelle il est dans un état vitreux caractérisé par un module d'élasticité élevé et par un écoulement lent. Largement au delà de cette température le polymère est dans un état caoutchoutique pour lequel son module élastique est beaucoup plus réduit et à très long terme son comportement peut-être celui d'un liquide à haute viscosité .

Les polymères du bois sont plus ou moins hygroscopiques c'est -à -dire qu'ils ont une capacité à absorber des molécules d'eau en plus ou moins grandes quantités. Dans le bois l'hygroscopicité maximale se rencontre dans les hémicelluloses et dans la cellulose amorphe à un moindre degré dans la lignine, enfin la cellulose cristalline est pratiquement hydrophobe.

L'eau joue un rôle de plastifiant et donc accélère la vitesse de déformation différée. Température et humidité ont un effet couplé car la température de transition des polymères hygroscopiques diminue fortement lorsque leur humidité augmente. C'est ainsi qu'une augmentation donnée de la température accroît plus le fluage d'un bois humide que celui d'un bois sec.

Le matériau bois est composé de 3 polymères: il est constitué de cellulose ( 50% ) , hémicelluloses ( 25% ) et lignine ( 25% ). Pour ces constituants du bois à l'état anhydre , les températures de transition apparaissent à de relativement hautes températures [28] .

Température de transition vitreuse	Cellulose anhydre	Hémicellulose anhydre	Lignine anhydre
	220 -225°C	150 -220°C	130 -195°C

Néanmoins, ces températures sont à pondérer selon la teneur en eau dans le bois: L'augmentation du taux d'humidité a pour effet une plastification des constituants en abaissant leur température de transition vitreuse jusqu'à la température ambiante.

**a) Pour les hémicelluloses:**

Une quantité d'eau absorbée abaisse la température de transition vitreuse jusqu'à la température ambiante.

**b) Pour la lignine:**

Une très faible quantité d'eau abaisse la température de transition jusqu'à environ 115 °C. Au - delà un taux d'humidité supérieur n'affecte plus cette température.

**c) La cellulose:**

Est susceptible d'absorber de l'eau en phase amorphe . Le " ramollissement" sera d'autant moins sensible que le taux de cristallinité est élevé. un taux de 20% d'humidité peut abaisser la température de transition de la cellulose jusqu'à la température ambiante.

### 1.5.2 Caractérisation de la viscoélasticité du bois.

La déformation des poutres de bois au cours du temps sous une sollicitation constante est un phénomène connu. La réponse différée du matériau bois est influencée par les paramètres suivants: Humidité; température; Niveau de charge.

L'amplitude du comportement viscoélastique pour des conditions d'essai donnés , peut varier d'un endroit à l'autre d'un même échantillon, selon sa géométrie.

Une manifestation viscoélastique globale du matériau, peut être mise en évidence par: -Une fermeture de la courbe charge - décharge d'un échantillon ( absence de plasticité au niveau maximum atteint ).

-La non recouvrance de la courbe charge-décharge ( comportement visqueux ).

Le comportement viscoélastique d'un matériau est mis en évidence par un essai de fluage ou de relaxation. Pour un matériau viscoélastique linéaire, la connaissance de son module instantané  $E_0$  ( $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_0}$ ) et de sa formule de fluage  $\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t) - \sigma_0}{\sigma_0}$  appelée aussi

complaisance de fluage est suffisante pour déterminer la réponse du matériau sous un régime de chargement quelconque. Si  $\sigma(\tau)$  décrit l'évolution de la contrainte entre le temps  $\tau = 0$  et  $\tau = t$ . Sa déformation au temps  $t$  est égale à :

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E_0} - \int_0^t \frac{d\sigma(\tau)}{G(\tau)} d\tau \quad (1)$$

L'expression (1) peut - être généralisée aux états de contraintes - déformations tridimensionnelles.

### 1.5.3 Les travaux antérieurs sur le fluage du bois:

Le fluage du bois , a fait l'objet de nombreux travaux [27]. Ceux-ci concernent plusieurs types de sollicitations : traction, compression, flexion et suivant les différents axes d'orthotropie du matériau bois. Les principaux aspects analysés sont :

#### 1.5.3.1 La linéarité de la relation contrainte - déformation différé:

Il a montré [35] que le domaine de linéarité de cette relation, dépend de l'humidité et de la température du bois. En général, le niveau de contrainte est évalué en pourcentage de la contrainte de rupture statique déterminée par un essai standard.

Cette limite de linéarité à température et humidité d'emploi est située à un niveau situé entre 35% et 85% de la contrainte de rupture suivant l'essence considérée [36].

Certains auteurs [37] la situent à 50% et d'autres [38] à la contrainte limite de proportionnalité de l'essai standard de chargement.

#### 1.5.3.2 L'influence des paramètres température et humidité sur le fluage:

En général, on constate une diminution de la résistance et de la rigidité lorsque la température augmente de même que lorsque l'humidité augmente. De ces 2 variables la plus importante est l'humidité du bois . En effet le phénomène de fluage est de plus en plus marqué lorsque l'humidité augmente. Une humidité plus importante a plus d'influence sur la déformation différée que sur la déformation instantanée.

L'influence de la température est très différente suivant que la température reste constante ou varie par cycles. dans le deuxième cas et pour des raisons incomplètement étudiées le fluage est considérablement accéléré. La suite de l'étude ne concerne que le cas où la température est maintenue constante. En flexion et pour une humidité supérieure au point de saturation ,il a été proposé [39] une fonction exponentielle de la température entre 5% et 70% pour décrire la croissance de la déformation en fluage.

De même qu'il a été mis en évidence une croissance qui reste modérée entre 20 et 50% et devient très importante entre 50°C et 60°C [40]. Une humidité plus élevée a plus d'influence sur la déformation différée que sur la déformation instantanée. Les cycles d'humidification et de dessiccation ont un pouvoir d'amplification de la vitesse de fluage. La réponse différée du bois est très sensible, non seulement à la teneur en eau, mais aussi aux variations de cette teneur en eau : c'est l'effet de couplage mécanosorptif.

L'interprétation des courbes de fluage à l'aide des séries de fonctions exponentielles est très classique en rhéologie. Elle a été souvent utilisée pour le bois et les matériaux

dérivés du bois [41] :  $\epsilon(t) = \sigma_0 \left[ \frac{1}{E_0} + \sum_i \frac{1}{E_i} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\sigma_i} + \frac{t}{\eta}\right) \right) \right]$

Les travaux sur le bois et dérivés ont abouti à définir des modèles rhéologiques à 3, 4 et 5 paramètres [42,43] pour caractériser le comportement viscoélastique de ces matériaux.

### 1) Modèle à 3 éléments:

Le modèle est donné par l'équation suivante [41,43] :

$$Y = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} \left[ 1 - \exp\left(-t \frac{E_2}{\eta_2}\right) \right]$$

schématisé par la figure 8. En posant :

$$\beta_1 = \frac{\sigma}{E_1}; \beta_2 = \frac{\sigma}{E_2}; \beta_3 = \frac{E_2}{\eta_2}, \text{ il vient : } y = \beta_1 + \beta_2 \left[ 1 - \exp(-t\beta_3) \right]$$

où :

$Y$  déformation totale au temps  $t$  (en mm);

$\beta_1$  déformation élastique (en mm);

$\beta_2 \left[ 1 - \exp(-t\beta_3) \right]$  déformation viscoélastique (en mm);

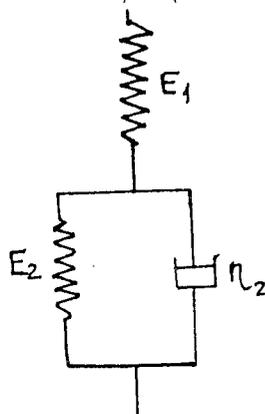


Figure 8: Modèle à 3 éléments [41,43].

## 2) Modèle à 4 éléments :

Le modèle est donné par l'équation suivante [41,43] :

$$Y = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} \left[ 1 - \exp\left(-t \frac{E_2}{\eta_2}\right) \right] + \frac{\sigma t}{\eta_3}$$

schématisé par la figure 9. En posant :

$$\beta_1 = \frac{\sigma}{E_1}; \beta_2 = \frac{\sigma}{E_2}; \beta_3 = \frac{E_2}{\eta_2}, \beta_4 = \frac{\sigma}{\eta_3} \text{ il vient : } y = \beta_1 + \beta_2 [1 - \exp(-t\beta_3)] + t\beta_4$$

où :

$Y$  - déformation totale au temps  $t$  ( en mm );

$\beta_1$  - déformation élastique ( en mm );

$\beta_2 [1 - \exp(-t\beta_3)]$  - déformation viscoélastique ( en mm );

$\beta_4$  - déformation visqueuse ( en mm ).

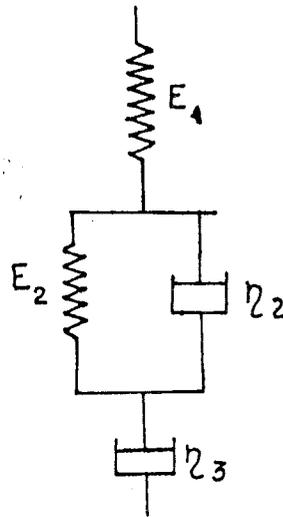


Figure 9: Modèle à 4 éléments [41,43].

## 2) Modèle à 5 éléments :

Le modèle est donné par l'équation suivante [41,43] :

$$Y = \beta_1 + \beta_2 [1 - \exp(-t\beta_3)] + \beta_4 t^{\beta_5} \text{ avec } 0 < \beta_5 < 1$$

## CHAPITRE 2 : CARACTERISATION PHYSIQUE DES TROIS ESPECES D'EUCALYPTUS.

### Introduction:

Les valeurs moyennes des caractéristiques physiques et mécaniques ont été déterminées , en tenant compte des valeurs moyennes des coefficients de variation des propriétés du bois donnés par la norme ISO 3129-1975 [51] dans le tableau suivant:

Valeurs moyennes des coefficients de variation (cv %) des propriétés du bois.

Propriétés du bois	CV (%)
Masse volumique	10
Humidité d'équilibre	5
Coefficient de retrait linéaire	28
Coefficient de retrait volumique	16
Résistance à la compression axiale	13
Résistance à la flexion statique	15
Module d'élasticité longitudinal en flexion	20
Dureté	17

Pour l'étude des corrélations entre les différentes caractéristiques , nous avons déterminé les seuils de signification des coefficients de corrélation R calculés à partir desquels nous avons basé notre travail ; ils sont donnés par le tableau ci-dessous.

Détermination des seuils de signification des coefficients de corrélation (R) .

Critères	Essais	R*	R**	R***
Module d'élasticité	10	0,6319	0,7646	0,8721
Contrainte de rupture en flexion	15	0,5139	0,6411	0,7604
Contrainte de rupture en compression	22	0,4227	0,5368	0,6524
Dureté Monnin	22	0,4227	0,5368	0,6524
Rétractibilité	17	0,4821	0,6055	0,7247

NS : Corrélation non significative

\* : corrélation significative au seuil de 0,95%.

\*\* : corrélation significative au seuil de 0,99%.

\*\*\* : corrélation significative au seuil de 0,999%.

Les dispersions des valeurs observées par rapport à la valeur moyenne ( $y_{\text{moy}}$ ) sont caractérisées par les paramètres statistiques suivants: écart-type ( $s$ ) et coefficient de variation ( $cv$ , en%) . Ce dernier est défini comme étant le rapport de l'écart-type de la moyenne divisé par la valeur moyenne de la caractéristique mesurée soit:  $cv (\%) = S \times 100 / y_{\text{moy}}$ ; ce paramètre nous renseigne sur la variabilité des propriétés du matériau bois et sur l'homogénéité des séries des valeurs observées. Pour l'ensemble des essais physiques et mécaniques nous avons étudié les corrélations entre densité - critères physiques ou mécaniques, d'une part et entre humidité et critères physiques ou mécaniques d'autre part. Compte-tenu de l'ampleur du travail, nous nous sommes limités à la représentation graphique des principales corrélations pour le cas d'une seule espèce (l'eucalyptus camaldulensis) et déterminés pour les autres cas étudiés les équations des courbes ainsi que les coefficients de corrélation correspondants. Par ailleurs, nous avons synthétisé les résultats d'expériences obtenus sous forme de tableaux donnant les valeurs moyennes des critères étudiés, accompagnées des paramètres statistiques (écart-type et coefficients de variation). Les résultats détaillés sont donnés en annexes.

### 2.1 Critères physiques retenus:

Les essais physiques sont conduits sur des bois avec et sans collapse pour les 3 espèces d'Eucalyptus en tenant compte des spécifications de la norme française NFB51-003 septembre 1985: Conditions générales d'essais [44]. Ils ont été réalisés au sein des laboratoires et ateliers de l'INIM et l'INMC.

Les essais physiques retenus portent sur la détermination de :

- La densité,
- L'humidité
- La rétractabilité,
- Le taux du point de saturation des fibres.
- Les essais de séchage.
- Les essais de reconditionnement.

### 2.2 Choix des arbres et prélèvements des échantillons:

Compte tenu de l'influence des facteurs écologiques et édaphiques sur les caractéristiques physiques, nous avons prélevé les échantillons des trois espèces

d'Eucalyptus appartenant à une même classe d'âge ( source INRF), de bonne conformation générale et situés dans une même station sise à l'Arboretum de l'INRF de Bainem (tableau N°2.1). Pour la totalité de nos essais, nous disposons de 3 billons par espèce.

Les éprouvettes destinées aux essais physiques sont issues de ces 3 billons appartenant aux 3 espèces de bois d'eucalyptus objet de notre étude à savoir :

- Eucalyptus Camaldulensis.
- Eucalyptus Cladocalyx.
- Eucalyptus Gomphocephala.

Ces billons sont débités en forêt en plusieurs rondelles d'environ 800 mm à 1000 mm et marquées soigneusement par un code alphanumérique , permettant ainsi de les repérer facilement.

Ce premier débitage en rondelles est nécessaire pour permettre leur manutention et leur conservation dans des conditions humides (stockage par immersion dans des bassins remplis d'eau pour éviter leur dessiccation et l'apparition de fentes radiales).

La première rondelle ( longueur environ 800 mm) issue de la base de l'arbre ( à environ 500mm de la souche de régénération) est destinée aux essais physiques , car c'est dans cette partie où l'intensité du collapse est la plus importante .

L'âge de l'arbre est compté sur une assiette d'environ 20mm d'épaisseur à la base de l'arbre. Pour chaque espèce de bois considérée, découper 2 planches de coeur suivant 2 diamètres perpendiculaires. Ces planches ont une épaisseur de 50mm environ.

Tableau N°2.1. Caractéristiques de la station de prélèvement ( source INRF)

Lieu géographique	Forêt domaniale de Bâinem.
Description du peuplement:	
-Superficie de la parcelle:	10,04 ha
-Issu d'un reboisement:	peuplement artificiel
- Composition:	E. camaldulensis, E. cladocalyx, E. Gomphocephala.
- Structure:	équiène.
-Hauteur moyenne : 15m	15m
-Diamètre moyen ( 3 billons)	
-240mm	-E. camaldulensis,
-220mm	-E. cladocalyx,
-290mm	-E. Gomphocephala.
- Espacement entre 2 arbres:	2,5 à 3m
-Age moyen:	35 ans (année de reboisement 1959)
-Traitement actuel:	néant
Description de la station:	
Topographie:	pente très faible
Exposition :	sud-ouest
Altitude:	165m.

### 2.3 PREPARATION DES EPROUVETTES:

Découper dans chaque ébauche préparée et conditionnée, une éprouvette de chaque type d'essai ( voir tableau n°2.2).

### 2.4 QUALITES REQUISES :

Les éprouvettes doivent être de droit fil sans noeud, ni défaut, à faces rigoureusement perpendiculaires entre - elles. L'axe longitudinal doit-être parallèle au fil du bois.Les éprouvettes sont prélevées de telle manière que les portions des couches d'accroissement aient une courbure négligeable ( flèche de 1mm pour une épaisseur dans le sens tangentiel de 20mm ) et soient perpendiculaire à 2 faces opposées de l'éprouvette.De plus, le plan de symétrie des éprouvettes doit-être confondu avec le plan radial du bois .

## 2.5 TOLERANCES DIMENSIONNELLES:

Les écarts par rapport aux dimensions nominales ne doivent pas dépasser  $\pm 0,5\text{mm}$ . Les dimensions qui n'entrent pas en jeu dans les formules de calcul des caractéristiques doivent -être respectées à  $\pm 1\text{mm}$ .

## 2.6 CONDITIONS D'HUMIDITE ET DE TEMPERATURE POUR LES ESSAIS PHYSIQUES ET MECANIQUES SUR BOIS AVEC ET SANS COLLAPSE:

Les essais sont effectués sur des éprouvettes stabilisées jusqu'à masse constante. Les conditions de l'air dans le laboratoire doivent-être aussi voisines que possible des conditions normales: de température:  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et humidité relative de l'air  $65\% \pm 5\%$ .

### Humidité:

Aussitôt après les essais, déterminer l'humidité des éprouvettes selon la norme NFB51-004, soit sur les éprouvettes entières, soit sur des portions de celles- ci.

Les éprouvettes utilisées dans les différents essais physiques et mécaniques des bois ont des dimensions normalisées:

**TABLEAU N° 2.2 . Dimensions des éprouvettes d'essais.**

Dimensions BxH (mm)	Longueur l direction axiale ( mm)	Essais correspondants	Normes correspondantes
20x20	20	Humidité, Masse volumique Rétractibilité.	NFB51-004 Septembre 1985 NFB51-005 Février 1942 NFB51-006 Septembre 1985
20x20	60	Compression axiale	NFB51-007 Septembre 1985
20x20	360	Fexion statique Module d'élasticité.	NFB51-008 Novembre 1987 NFB51-016 Décembre 1987
20x20	100	Dureté.	NFB51-013 Septembre 1985

NB: B: largeur direction radiale; H: épaisseur direction tangentielle.

Pour les essais de fluage et relaxation on choisit des éprouvettes constituées de cubes de 30mm de côté .

**2.7 DESCRIPTION DES ESSAIS:** Les essais physiques portent sur la détermination des critères physiques suivants:

- Retraits avec collapse: calculés entre les états saturé et anhydre d'une- part et les états saturé et sec à l'air d'autre-part:

-Linéaires(longitudinal, radial, tangentiel); retrait volumique; point de saturation des fibres; coefficients de rétractabilité;

Retrait sans collapse: Porte sur les mêmes critères énoncés ci-dessus et sur l'anisotropie du retrait; rapports de reconditionnement; densité; humidité. Ces critères physiques seront examinés ci-dessous.

## **2.8 DETERMINATION DU RETRAIT :**

### **2.8.1 MATERIEL ET METHODES.**

L'essai consiste dans la mesure des variations dimensionnelles dans les sens axial, radial et tangentiel d'un lot d'éprouvettes sous divers états : saturé, sec à l'air, anhydre, degré d'humidité de l'expérience en vue de la détermination des grandeurs suivantes: retraits linéaires: axial, radial, tangentiel, retrait volumique de bois avec et sans collapse. Cet essai est réalisé conformément à la norme française NFB51-006 SEPTEMBRE 1985 [45].

#### **a) MATERIEL UTILISE:**

-Balance précise à 0,01g près.

-Comparateur pour déterminer les variations dimensionnelles à 1/100mm près.

- 2 cales étalon de 10mm d'épaisseur chacun pour l'étalonnage du comparateur ( cote nominale = 20 mm).

- Etuve ventilée permettant de maintenir la température à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

- Etuve hygrothermique réglée à 72 % d'humidité relative de l'air (température sèche  $t_s = 50^{\circ}\text{C}$  ; température humide  $t_h = 44^{\circ}\text{C}$  ) permettant de déterminer l'état sec à l'air.

- Dessiccateur contenant une matière absorbante ( chlorure de calcium ) assurant la dessiccation de l'air .

#### **b) EPROUVETTES:**

Elles sont constituées par des cubes de 20mm de côté(  $20\text{mm} \pm 0,5\text{mm}$  pour  $H=12\%$  ) (photo n°1). Le mode de prélèvement, la préparation et le conditionnement des éprouvettes sont spécifiées dans la norme NFB51-003.

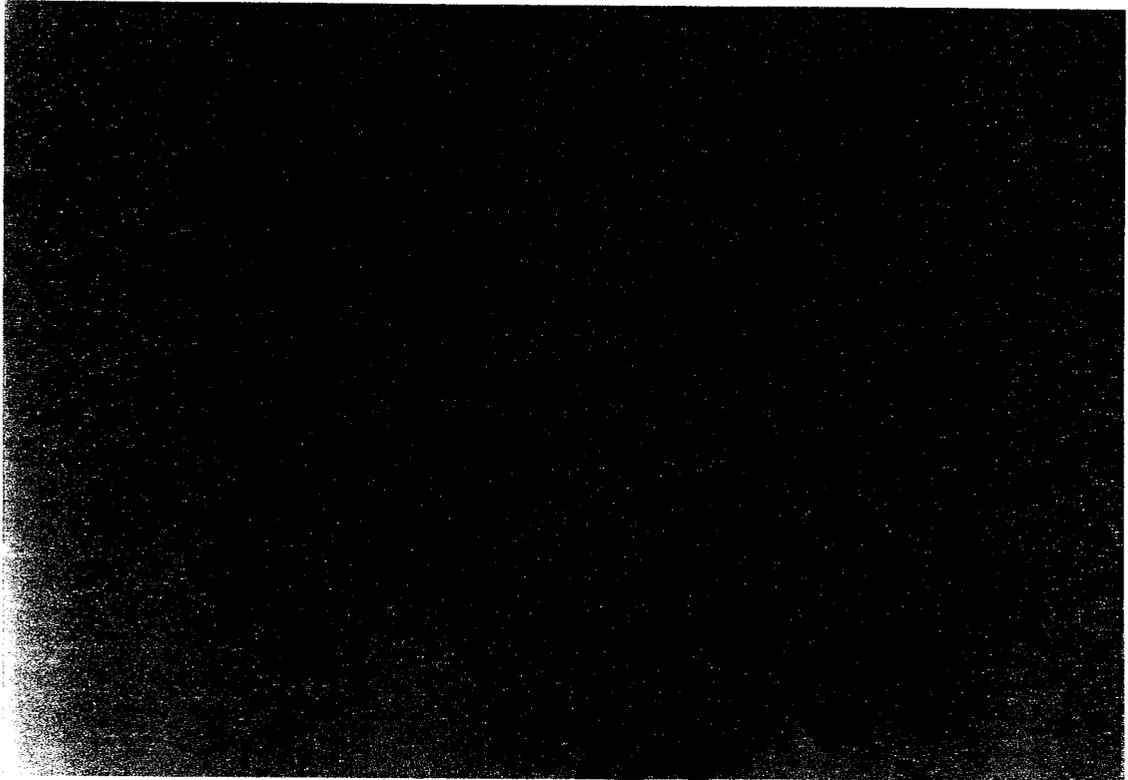


Photo n°1: Eprouvettes normalisées (retraits, masse volumique, humidité)

**c) METHODE:**

**1) Détermination des dimensions saturées ( ou volume saturé ) :**

Plonger les éprouvettes dans l'eau maintenue à la température ambiante ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à saturation totale. Celle-ci est considérée comme atteinte lorsque l'augmentation des dimensions constatées entre 2 mesures successives effectuées à 4h d'intervalle est inférieure à l'imprécision de mesure de l'appareil de mesure ( comparateur ).

Déterminer les dimensions saturées dans les sens axial, radial et tangentiel de chaque éprouvette à 0,01mm près.

**2) Détermination des dimensions anhydres:**

-Procéder à la dessiccation des éprouvettes jusqu'à masse constante dans l'étuve en augmentant lentement la température jusqu'à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

La masse est considérée constante lorsque la perte de masse constatée entre 2 pesées successives effectuées à 24h d'intervalle est inférieure ou égale à 0,5% de la masse de l'éprouvette.

-Peser alors les éprouvettes après refroidissement dans le dessiccateur.

-Déterminer leurs dimensions au moyen du comparateur.

### 3) Détermination des dimensions " sec à l'air " :

L'état " sec à l'air " (humidité finale  $H=12\%$ ) est obtenu en séchant les éprouvettes dans une étuve hygothermique réglée à 72% d'humidité de l'air (  $t_s=50^\circ\text{C}$  ;  $t_h= 44^\circ\text{C}$  ) pendant au moins 48 heures.

#### 4°) Méthode des mesures de retraits:

Les variations dimensionnelles sont déterminées par la méthode des 6 points de mesure , pour prendre en compte les différences de retraits à plusieurs endroits, qui ne sont pas uniformes (retraits irréguliers) (figure 1 et photo n°2).

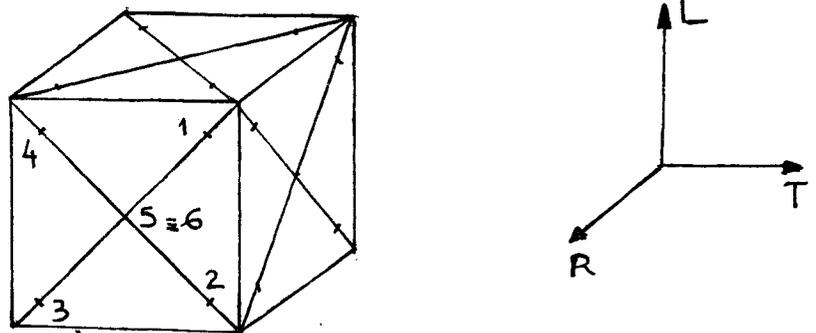


Figure 1: Méthode de mesure du retrait : 6 points de mesure dans les 3 directions (L, R, T)

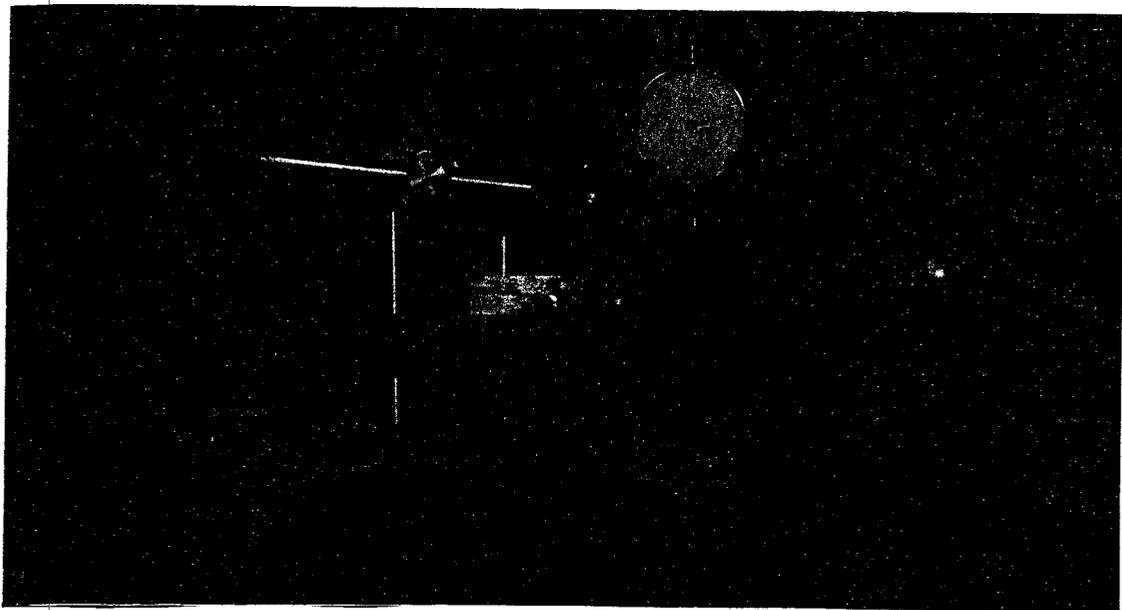


Photo n°2: Méthode de mesure des retraits (6 points de mesure)

## 2.8.2 Traitement des résultats:

Retraits avec et sans collapse:

### 1) Retraits linéaires:

1.1 Etat saturé - état "sec à l'air". On utilise la formule suivante:

$$RL(\%) = (L_{100} - L_{12})100 / L_{100}$$

Où RL: retrait linéaire. Pour les 3 directions d'anisotropie du bois on aura:

-RL= RLS :retrait linéaire longitudinal; RL= RRS : retrait linéaire radial; RL = RTS :retrait linéaire tangentiel; L<sub>100</sub> : dimension saturée; L<sub>12</sub> : dimension "sec à l'air".

1.2 Etat saturé - état anhydre. On utilise la formule suivante:

$$RL(\%) = (L_{100} - L_0)100 / L_{100}$$

Où RL = RLT : retrait linéaire longitudinal entre l'état saturé et anhydre; RL = RRT : retrait linéaire radial entre l'état saturé et anhydre; RL = RTT : retrait linéaire tangentiel entre l'état saturé et anhydre; L<sub>100</sub> : dimension saturée; L<sub>0</sub>: dimension anhydre.

2) Retrait volumique: Il se calcule à partir des 3 retraits par la formule suivante

2.1 Retrait volumique état saturé - état "sec à l'air ":

$$RVS(\%) = [1 - (1 - 0,01RLS)(1 - 0,01RRS)(1 - 0,01RTS)]100.$$

2.2 Retrait volumique total :

$$RVT(\%) = [1 - (1 - 0,01RLT)(1 - 0,01RRT)(1 - 0,01RTT)]100.$$

3) Calculer les coefficients de retrait : longitudinal, radial, tangentiel, volumique.

3.1 Coefficients de retraits linéaire et volumique: état saturé- état sec à l'air : CRLS = RLS/(H<sub>s</sub>-H<sub>12</sub>) Coefficient du retrait longitudinal ;CRRS = RRS/(H<sub>s</sub>- H<sub>12</sub>):

Coefficient du retrait radial; CRTS = RTS/(H<sub>s</sub>- H<sub>12</sub>) : Coefficient du retrait tangentiel;

CRVS = RVT/(H<sub>s</sub>- H<sub>12</sub>): Coefficient du retrait volumique.

3.2 Coefficients de retraits linéaire et volumique: état saturé- état anhydre: CRLT = RLT/(H<sub>s</sub>-H<sub>0</sub>) : Coefficient du retrait longitudinal; CRRT = RRT/(H<sub>s</sub>-

H<sub>0</sub>) : Coefficient du retrait radial; CRTT = RTT/(H<sub>s</sub>- H<sub>0</sub>) : Coefficient du retrait tangentiel; CRVT = RVT/(H<sub>s</sub>- H<sub>0</sub>): Coefficient du retrait volumique.

Où H<sub>s</sub> : Humidité du point de saturation : est obtenue en traçant la courbe de retrait par rapport à l'humidité. Les coefficients de retrait sont exprimés, pour 1% d'humidité à 0,01% près .

**NB:** Les formules énoncées ci - dessus sont appliquées aux calculs des retraits sur bois avec et sans collapse. Dans le cas du bois sans collapse on utilise les désignations suivantes:

**Retraits sans collapse :**

**Etats saturé-anhydre:**-Retraits: RLTC , RRTC, RTTC, RVTC -Coefficients de rétractabilité: CRLTC , CRRTC, CRTTC, CRVTC.

**Etats saturé-sec à l'air:** RLC , RRC, RTC, RVC -Coefficients de rétractabilité: CRLC , CRRC, CRTC, CRVC.

**4. Anisotropie transversale:** L'anisotropie étant le rapport du retrait radial sur le retrait tangentiel:  $RR / RT$  . Le retrait radial étant inférieur au retrait tangentiel , ce rapport étant pratiquement toujours inférieur à 1 mais plus l'anisotropie transversale est faible plus il tend vers 1. Ce rapport mesure le risque de déformation et de fentes. Quand il tend vers 1 les risques sont faibles; quand le rapport est supérieur à 0,5 le séchage d'un bois s'accompagne généralement de fentes.

**5. Mesure du retrait sans collapse:**

Avant le début des essais, les éprouvettes destinées au reconditionnement sont conservées en l'état, dans une chambre froide à +4°C dans l'attente d'être essayées. Après avoir été reconditionnées: traitement à la vapeur à 110°C environ pendant 20 minutes dans une autoclave, les éprouvettes sont placées dans une étuve pour obtenir l'état sec à l'air. Le traitement à la vapeur entraîne une augmentation du taux d'humidité du bois qu'il faut ramener à l'état sec à l'air, ce qui permet de faire la comparaison du retrait avant et après reconditionnement . On a refait les mesures à l'état sec dans les 3 directions et pour les mêmes longueurs mesurées avant reconditionnement; on a appliqué les mêmes formules pour calculer les retraits tangentiel, longitudinal, radial et volumétrique ainsi que l'anisotropie transversale.

**6. Calcul des rapports de reconditionnements:**

Le rapport de reconditionnement, dans un échantillon, est défini comme étant le rapport du retrait avec collapse sur le retrait sans collapse. Il est toujours supérieur à 1 et plus il est important plus la récupération est importante.

**7. Point saturation de la fibre ( $H_s$  %):**

C'est l'humidité limite du bois contenant le maximum d'eau d'imbibition mais sans eau libre. Au dessous de ce point caractéristique, les propriétés vont se modifier:

les tissus du bois vont diminuer de volume, leur dureté et leur résistance mécanique vont croître. La connaissance de ce point est importante. Il est déterminé par les mesures de rétractabilité.

#### **8. Coefficient de rétractabilité volumétrique $r_v$ (%):**

C'est la variation du volume du bois sec à l'air, exprimé en %, pour une variation de son taux d'humidité de 1%. Ce coefficient traduit la "nervosité" du bois.

Ces données physiques caractérisent le comportement du bois au séchage.

**9. Mesure de densité:** La densité est le rapport entre la masse de l'échantillon à l'humidité  $H$  donnée et le volume de l'échantillon à la même humidité. Elle est déterminée à l'humidité de référence  $H=12\%$ .

### **2.9 DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE.**

#### **2.9.1 MATERIEL ET METHODES**

L'essai consiste à effectuer la mesure du volume (méthode stéréométrique) et la pesée d'une éprouvette dont l'humidité a été déterminée préalablement, en vue de calculer sa masse volumique. Cet essai est réalisé conformément à la norme française NFB51-005 FEVRIER 1942 [46].

##### **a) MATERIEL UTILISE:**

- Balance précise à 0,01g près .
- Comparateur pour déterminer les variations dimensionnelles au 1/100mm près.
- 2 cales étalons de 10mm d'épaisseur chacune.
- Etuve ventilée permettant de maintenir la température à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Dessiccateur contenant une matière absorbante ( chlorure de calcium) assurant la dessiccation de l'air.

**b) EPROUVETTES:** Elles sont constituées par des cubes de 20mm de côté ou des fragments d'éprouvettes utilisées pour les essais physiques et mécaniques.

##### **c) PRECISION DES MESURES :**

Dimensions  $\pm 0,5$  mm; volume  $\pm 0,003\text{cm}^3$ ; masse  $\pm 0,01\text{g}$ .

Les mesures effectuées sur les éprouvettes sont:

- 1) Dimensions saturées ( volume à l'état saturé  $V_s$  );
- 2) Masse à l'état anhydre  $m_o$ .
- 3) Dimensions à l'état anhydre ( volume à l'état anhydre  $V_o$  ).

##### **d) METHODE:**

- 1) Masse volumique correspondant à l'humidité au moment de l'essai:

-Peser chaque éprouvette à 0,01g près; déterminer leurs dimensions au 1/100mm près au moyen du comparateur et enfin, déterminer l'humidité de chaque éprouvette selon NFB51-004.

2) Détermination de la masse anhydre  $m_0$  : Procéder à la dessiccation des éprouvettes jusqu'à masse constante en étuve, en augmentant lentement la température jusqu'à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

3) Immédiatement après pesée de chaque éprouvette anhydre, déterminer leurs dimensions ( volume) au moyen du comparateur.

### 2.9.2 Traitements des résultats:

4.1 Masse volumique  $m_{VH}$  correspondant à l'humidité de l'essai de chaque éprouvette

Calculer  $m_{VH}$  à l'aide de la formule suivante:  $m_{VH} = m_H / V_H$

Où  $m_H$ : est la masse, en grammes, de l'éprouvette à l'humidité H;  $V_H$ : est le volume, en centimètres cubes (  $\text{cm}^3$ ) de l'éprouvette à l'humidité H. Si les éprouvettes, pour cette détermination, ne sont pas stabilisées à 12% d'humidité, et si leur humidité est inférieure au point de saturation, ramener la masse volumique à l'aide de la formule

suivante:  $m_{V12} = m_{VH} [ 112/100+H ] [ 100-r_V ( H_s-H ) / 100- r_V ( H_s -12 ) ]$ .

Où H: est l'humidité, en pourcentage, au moment de la mesure ;  $H_s$  est l'humidité, en pourcentage, correspondant au point de saturation; elle est obtenue en traçant la courbe de retrait par rapport à l'humidité;  $r_V$  est le coefficient de retrait volumique, en pourcentage, pour une variation d'humidité de 1% ( voir norme NFB51-006 ).

## 2.10 DETERMINATION DE L'HUMIDITE

### 2.10.1 MATERIEL ET METHODES

L'essai consiste à mesurer par pesée la variation de la masse d'une éprouvette entre son état actuel et son état anhydre, en vue de déterminer son humidité. Cet essai est réalisé conformément à la norme française NFB51-004 SEPTEMBRE 1985 [47].

#### a) PRINCIPE:

Détermination par pesées, de la diminution de masse d'un lot d'éprouvettes après dessiccation et calcul en pourcentage du rapport entre la diminution de masse constatée et de la masse du lot d'éprouvettes anhydre.

#### b) MATERIEL UTILISE:

-Balance précise à 0,01g permettant de peser à 0,5% près.

-Etuve ventilée permettant de maintenir la température à  $103^{\circ}\text{C} (\pm 2^{\circ}\text{C})$ .

-Dessiccateur contenant une matière absorbante (chlorure de calcium) assurant la dessiccation de l'air.

c) **PRECISION DES MESURES** : Masse à 0,5% près; Température  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

d) **EPROUVETTES**: Reprendre les éprouvettes utilisées pour d'autres essais physiques (cubes de 20mm de côté) et mécaniques ou des fragments, de forme quelconque après rupture.

e) **METHODE**:

-Peser l'éprouvette à 0,5% de sa masse; déshydrater l'éprouvette dans l'étuve jusqu'à masse constante, ensuite peser l'éprouvette anhydre à 0,5% de sa masse après refroidissement dans le dessiccateur tout en évitant une reprise d'humidité supérieure à 0,1%.

### 2.10.2 TRAITEMENTS DES RESULTATS.

-Humidité: Calculer l'humidité de chaque éprouvette exprimée en pour cent (%) à l'aide de la formule suivante:  $H = (m_H - m_o) \cdot 100 / m_o$  (résultat à 0,1% près).

Où  $m_H$  : est la masse, en gramme, de l'éprouvette avant dessiccation;  $m_o$ : est la masse, en gramme, de l'éprouvette anhydre.

### 2.11 ETUVE HYGROTHERMIQUE (enceinte climatique).

-Elle fonctionne en enceinte chaud froid dans les limites demandées. Elle fonctionne en étuve à humidité entre  $+5^{\circ}\text{C}$  et  $+95^{\circ}\text{C}$ , donnant une humidité relative réglable donnée par la table psychrométrique (photo n°3).

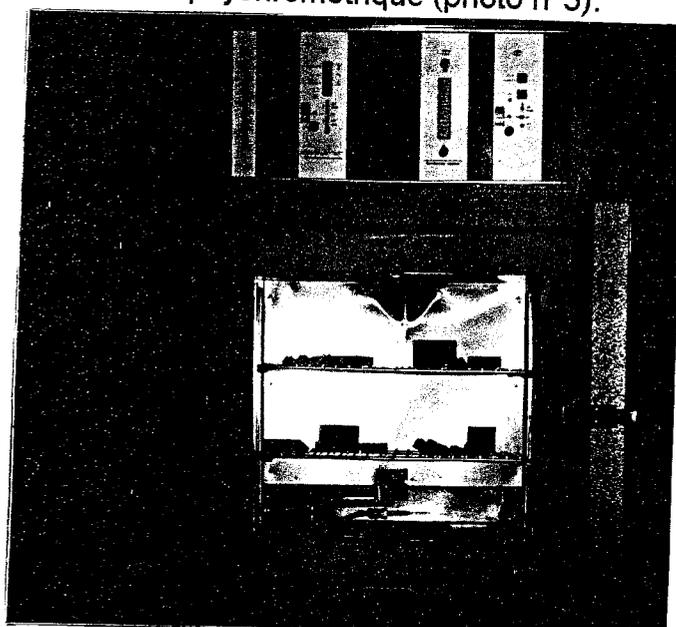


Photo n°3: Etuve hygrothermique.

a) **Fonctionnement:** Il est basé sur le principe du séchage des bois par déshumidification de l'air, à basse température, en circuit fermé. C'est -à -dire que le taux d'humidité de l'air n'est pas abaissé par entrée d'air non saturé extérieur, mais par déshumidification par condensation de la vapeur de l'air recyclé. En outre cette enceinte est équipée d'un système de ventilation forcée. Ce mode de séchage est conseillé pour les essences de bois nerveux, susceptibles de: graves déformations, fentes internes, collapse, etc...

b) **Le matériel:**

Le séchage par déshumidification se fait dans une cellule thermiquement isolée et étanche. L'élément actif est constitué par un appareil de déshumidification. L'appareil comprend: Un groupe frigorifique, constitué par un compresseur de fluide réfrigérant; un évaporateur, élément froid, qui refroidit l'air chaud et humide après passage sur le bois, et provoque la condensation de l'eau de cet air; une batterie de chauffe qui réchauffe l'air refroidi et asséché après son passage sur l'évaporateur; un écoulement d'eau; un ventilateur. De plus, cette enceinte climatique est accompagnée d'un enregistreur des températures sèche et humide qui règnent à l'intérieur (mesure indirecte de l'état hygrométrique dans la cellule). La méthode utilisée pour la mesure et la régulation de l'humidité relative est la méthode dite psychrométrique.

**2.12 Détermination du taux d'humidité moyen du point de saturation des fibres  $H_s$  ( % ) et du coefficient de retrait volumique total  $r_v$  ( % ) de l'Eucalyptus Camaldulensis:**

La détermination du taux du point de saturation moyen des fibres  $H_s$  ( % ) est faite expérimentalement en traçant la courbe du retrait volumique  $RV$  ( % ) en fonction de l'humidité du bois  $H$  ( % ) et en considérant que le retrait est sensiblement linéaire en dessous du point de saturation (pris égal à 30%). Le point d'intersection avec l'axe des abscisses pour lequel on a  $RV$  ( % ) = 0 donne la valeur expérimentale du taux d'humidité du point de saturation de l'échantillon soit  $H_s$  ( % ). Les mesures portent sur un ensemble de 10 échantillons. On détermine ainsi le taux d'humidité moyen de l'espèce. Nous donnons en annexe I, les résultats des mesures portant sur la détermination de ce point de saturation. On utilise la méthode des moindres carrés pour la détermination de l'équation de la droite de régression linéaire et des coefficients de corrélation  $R$ . Pour le cas de l'eucalyptus camaldulensis les résultats

sont donnés par le tableau n° 2.1. Ainsi, le taux du point de saturation moyen des fibres  $H_s$  (%) est égal à environ 39% avec un retrait volumique moyen de  $r_v = 0,43\%$ .

La courbe ayant permis de déterminer ce taux moyen est représentée par le graphique n°2.8 . Pour avoir un aperçu sur l'allure de la cinétique de séchage nous avons tracé les courbes de chacun des échantillons sur un même graphique n°2.11 ainsi que le graphe de l'échantillon moyen sur le graphique n°2.12 en comparaison avec les autres échantillons. Les équations des courbes sont déterminées en fonction de la précision souhaitée ( passage des courbes par le maximum des points expérimentaux ) . L'équation retenue pour expliquer la cinétique du séchage est du type exponentiel.

Tableau n°2.1: Détermination du taux d'humidité du point de saturation moyen des fibres  $H_s$  (%) et du coefficient de retrait volumique total moyen  $r_v$  (%) de l'*Eucalyptus Camaldulensis*.

Echantillons	$H_s$ (%)	$r_v$ (%)
<b>N=10</b>		
<b><math>H_s</math> (%)</b>	38,80	0,43
<b>S</b>	4,85	0,05
<b>CV(%)</b>	12,50	10,90

Les équations ayant servi à la détermination de ce point de saturation sont les suivantes:

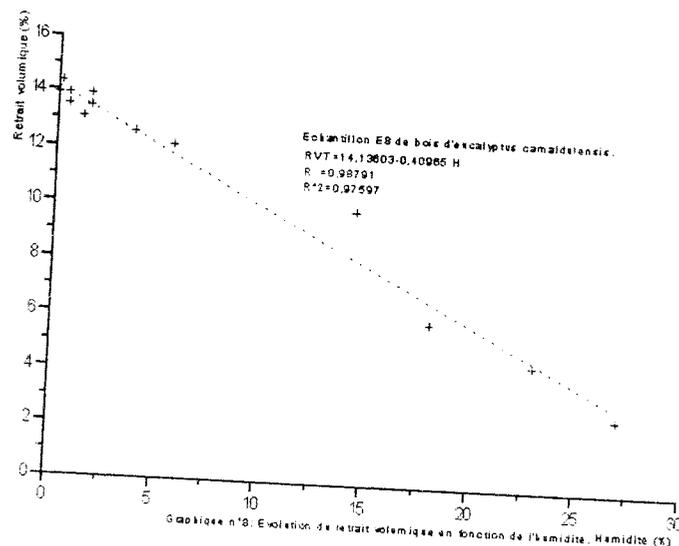
$$RV1 = 19,21 - 0,40H \quad R = -0,966^{***}; \quad RV2 = 17,49 - 0,45H \quad R = -0,966^{***};$$

$$RV3 = 18,15 - 0,45H \quad R = -0,966^{***}; \quad RV4 = 20,97 - 0,48H \quad R = -0,976^{***};$$

$$RV5 = 17,52 - 0,51H \quad R = -0,983^{***}; \quad RV6 = 15,33 - 0,42H \quad R = -0,973^{***};$$

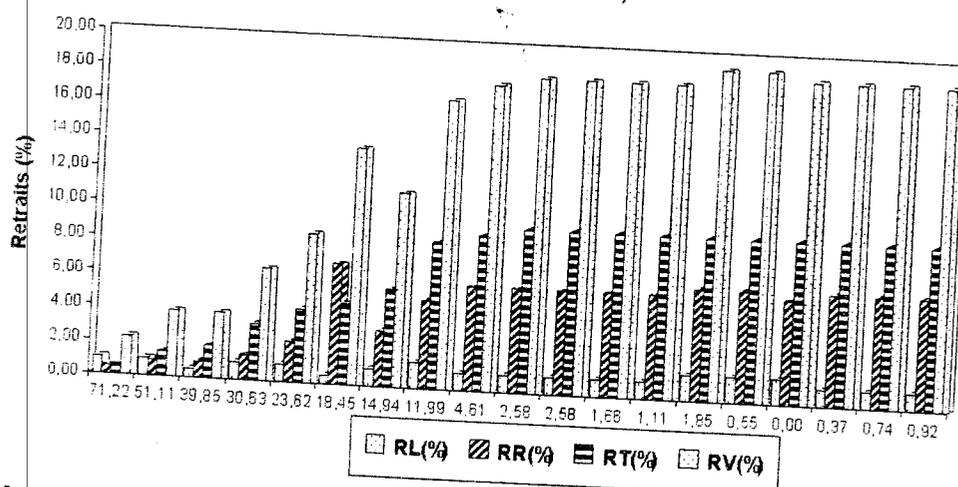
$$RV7 = 14,81 - 0,345H \quad R = -0,892^{***}; \quad RV8 = 14,34 - 0,41H \quad R = -0,987^{***};$$

$$RV9 = 13,44 - 0,38H \quad R = -0,752^{***}; \quad RV10 = 14,68 - 0,39H \quad R = -0,955^{***}.$$



Pour avoir un aperçu sur l'évolution de la rétractabilité en fonction de l'humidité, nous avons représenté sur l'histogramme ci-dessous, cette évolution, en remarquant que plus l'humidité diminue, plus le retrait augmente.

Histogramme de l'évolution des retraits en fonction de l'humidité (échantillon 1 du bois d'Eucalyptus camaldulensis).



### 2.13 Cinétique de séchage d'échantillons de bois d'eucalyptus camaldulensis avec collapse:

Les graphiques 2.11 et 2.12 permettent de mettre en évidence les différentes phases de séchage subies par les échantillons de bois (N=10) d'E. camaldulensis ainsi que par l'échantillon moyen. Ainsi nous pouvons voir que l'allure des courbes est identique, et peut-être décrite par une décroissance de type exponentielle, car cette dernière expliquant au mieux le processus de séchage. Par ailleurs, nous pouvons diviser le cycle de séchage en trois phases distinctes, comprenant:

- Une courte période : Qui commence à partir de l'humidité initiale jusqu'au point critique dont l'humidité est légèrement supérieure à celle du point de saturation moyen des fibres  $H_s = 39\%$ . Elle correspond à l'évacuation de l'eau libre qui part la première du bois. D'où l'on observe une décroissance linéaire de l'humidité en fonction du temps; une seconde période : allant du point critique au point de saturation moyen des fibres, où l'on observe un changement d'allure de la courbe qui prend une forme incurvée correspondant à un ralentissement du processus de séchage : ceci correspond à l'évacuation de l'eau liée dont l'extraction est plus difficile. Enfin une période de stabilisation correspond à des variations très faibles de l'humidité en fonction du temps : la courbe s'approche de l'axe des abscisses (asymptote horizontale = axe des temps) : Le bois a atteint son humidité d'équilibre proche de celui de l'état anhydre.

#### **2.14 Détermination de la masse anhydre moyenne du bois d'eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

La détermination de la masse anhydre moyenne constitue un préalable en vue de la poursuite des autres essais tels que le séchage sec à l'air ( $H=12\%$ ). Nous l'avons déterminé sur un lot de  $N=18$  échantillons Elle est égale à 5,01g avec un coefficient de variation de 7,23%. La durée moyenne du cycle de séchage (de l'état saturé à l'état anhydre) est égale à 1620mn soit 27heures.

#### **2.15 Détermination des paramètres physiques:**

La connaissance préalable des paramètres physiques tels: taux d'humidité moyen du point de saturation des fibres, retrait volumique moyen, anisotropie du retrait, densité, permet de caractériser le matériau d'une part et d'avoir une idée sur son comportement au séchage d'autre part.

Les premiers résultats: Proviennent des essais préliminaires réalisés sur les échantillons de type A, B, C. Les échantillons ayant servi à la détermination du taux moyen du point de saturation des fibres (HPSF): annexe n° I. L'ensemble de ces résultats est résumé dans le tableau suivant:

**Tableau n°2.2 Résultats des essais préliminaires sur l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

Echantillons	N	Hs (%)	$m_0$	$r_v$ (%)	RR / RT	D12%
A	17	39	5,01	0,44	0,59	0,75
B	17	39	5,01	0,52	0,64	0,77
C	18	39	5,01	-	-	-
	10	39	5,01	0,43	0,68	0,72
MOYENNES		39	5,01	0,46	0,64	0,75

Au vu de ces résultats préliminaires le bois d'eucalyptus camaldulensis avec collapse est qualifié comme suit: c'est un bois dur ( D12%=0,75) , nerveux, à fort retrait (  $r_v$ =0,46%) et à taux d'humidité de saturation élevé.

### 2.16 Essais de séchage préliminaires sur échantillons de 20x20 à l'humidité sec à l'air ( H=12%).

Ces essais sont réalisés en vue de déterminer les paramètres de séchage optimums ( température et état hygrométrique de l'air , durée de séchage minimale) pour sécher correctement les échantillons sans risques d'apparition des défauts tels que fentes et collapse. Ils se sont déroulés dans une enceinte climatique permettant de sécher le bois artificiellement , connaissant les paramètres de séchage. Ces derniers étant inconnus, pour cela nous avons pris en considération trois conditions de réalisation des essais:

#### -a) Conditions minimales:

Température =30°C et humidité relative de l'air  $\phi$  =65% ( proches des conditions normales). Elles sont déterminées en partant du fait que : Certains auteurs ( Kanagawa, 1977 , Villière 1966) [9] ont montré que le phénomène de collapse se manifeste même dans les conditions normales.

#### -b) Conditions maximales:

Température = 60°C et humidité relative de l'air  $\phi$  =62%( Villière1966) [49].

#### -c) Conditions intermédiaires:

Température =50°C et humidité relative de l'air  $\phi$  =62%. Ces conditions sont péconisées pour les bois nerveux ,susceptibles de déformations, fentes et collapse. Il est alors tenu compte des paramètres retrait volumique (  $r_v$ %) et anisotropie du retrait ( A =RR / RT ) qui caractérisent la nervosité du bois et son aptitude au séchage.

**a) Essais en conditions minimales:** Pour vérifier ces conditions minimales, nous avons effectué sur un lot de 17 échantillons ( type A) des essais de séchage pour: valider les données de base , avoir un aperçu sur la cinétique du séchage et enfin faire des observations sur la qualité des bois séchés au cours du séchage ( apparition de défauts résultants d'un mauvais séchage tels fentes , gerces , déformations et collapse). Pour la conduite du séchage , nous nous sommes référés aux tables de séchage de KOLLMANN [48]. Au départ de l'opération du séchage l'humidité moyenne calculée sur le lot d'échantillons était de  $H_{moy} = (9,16 - 5,01) \times 100 / 5,01 = 82,83\% = 83\%$ . Avec  $m_o = 5,01g$ : masse anhydre moyenne et  $m_H = 9,16g$ : masse humide à l'état saturé . Sachant  $m_o$ , on détermine  $m_{12\%moy} = m_o \times 1,12 = 5,01 \times 1,12 = 5,61 g$ . On détermine ensuite la masse anhydre de chaque échantillon en partant de la formule suivante:  $m_{sec} = m_H / 1,83$  avec  $m_{sec}$ : masse anhydre de l'échantillon ( ou masse sèche) et  $m_H$  masse humide de l'échantillon à l'état saturé. connaissant cette dernière on peut déterminer à tout instant l'humidité de l'échantillon au cours du séchage en utilisant la formule suivante  $H_{bois} = (m_H - m_{sec}) \times 100 / m_{sec}$ .

## 2.17 Résultats et discussions:

### -a) Conditions d'essais minimales:

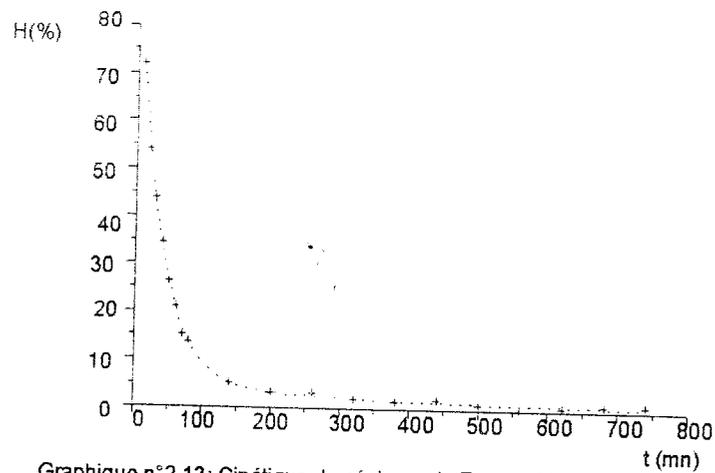
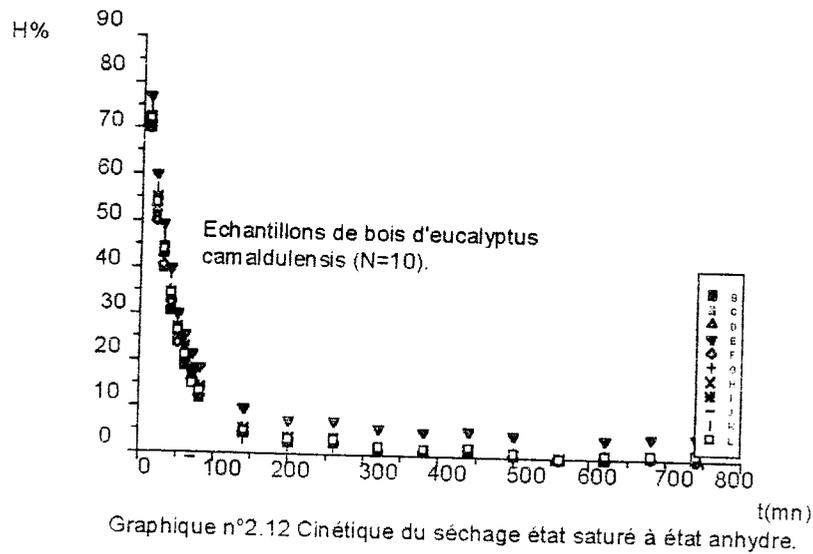
Nous constatons qu'au bout d'un temps  $t = 440mn$  (environ 7h) le séchage est arrêté à cause de la reprise de l'humidité par les échantillons qui est due à un taux d'humidité de l'air élevé (65%). Le bois ayant atteint une humidité moyenne de 27,29% d'humidité , il est nécessaire de changer les conditions de l'air pour pouvoir atteindre l'humidité d'équilibre désirée ( $H = 12\%$ ). Les nouvelles conditions de séchage sont les suivantes: température =  $30^\circ c$  et humidité relative de l'air  $\phi = 55\%$ . La durée moyenne du cycle de séchage est égale à  $520mn$  ( $8H40mn$ ) pour effectuer le séchage des bois d'eucalyptus camaldulensis sec à l'air ( $H = 12\%$ ). Ainsi le séchage se faisant par palier en fonction de l'humidité atteinte par le bois : on doit modifier constamment les conditions pour d'une part atteindre l'humidité finale du bois désirée, réduire la durée du cycle de séchage et d'autre part obtenir un bois séché de bonne qualité , exempt de défauts. C'est cette méthode là qui est utilisée en pratique pour sécher les bois de dimensions commerciales. Elle est longue et devient souvent accaparante. Sur la base des résultats acquis en matière de séchage , il est nécessaire de fixer les conditions de séchage définitivement et les maintenir

constantes durant tout le cycle de séchage pour que les résultats de nos essais soient comparables entre - eux .

Observations sur la qualité des bois séchés: Sur un lot de 17 éprouvettes séchées nous avons observé après 260mn ( 2H20mn) de séchage l'apparition de déformations dues au collapse : ondulations pononcées en surface dans le plan tangentiel : les deux faces prennent une forme incurvée (cuvette) au centre. Cette déformation est due à un retrait tangentiel excessif. De plus, sur 3 éprouvettes, nous avons observé un défaut de forme : les éprouvettes de forme cubique au départ du séchage, prennent une forme en losange au cours de celui-ci.

#### **b) Conditions d'essais maximales:**

Nous avons pris une quinzaine d'éprouvettes des trois espèces étudiées ( N=5 éprouvettes par espèce) et testées ces dernières afin de valider les conditions d'essais en tenant compte de l'aspect qualitatif abordé ci-dessus. Nous avons observé l'apparition de fissures sur le éprouvettes de bois d'eucalyptus gomphocephala, alors que les espèces camaldulensis et cladocalyx ne sont nullement affectés. Ceci peut-être attribué soit à l'influence de la température: température admissible atteinte pour le bois d'E. gomphocephala soit à une humidité relative de l'air insuffisante. Nous avons abandonner ces conditions sévères et opter pour des conditions plus douces: par la réduction de la température à 50 °c, qui reste valable pour les bois susceptibles de collapser et se fissurer. Nous avons alors réalisé une autre série d'essai avec les nouvelles conditions à savoir: Température = 50 °c et  $\varphi = 72\%$  ce qui correspond à une humidité d'équilibre du bois de H=12%. Les résultats sur le plan qualitatif sont satisfaisants: car il ya absence de fissurations pour les trois espèces de bois étudiés. Par contre l'aptitude au collapse demeure toujours : observations de défauts de forme dû au phénomène de collapse. Ces dernières conditions constituent alors les conditions intermédiaires à appliquer pour le séchage des trois espèces sans risque d'apparition de fissuration et sont donc utilisées lors de nos essais pour le conditionnement d'éprouvettes destinées aux essais physiques et mécaniques des bois.



### 2.18 Essais de reconditionnement des bois.

Les essais préliminaires ont consisté à déterminer les conditions optimales d'étuvage du bois ( température, pression et durée d'étuvage) des trois espèces, traitées en même temps et dans des conditions identiques. Ces essais sont menés , en se référant aux données bibliographiques et en opérant des essais à plusieurs niveaux :

- Niveau de charge maximal : Température: 130°C( A.SESBOU)[9] , durées d'étuvage: 10, 15, 20,30mn : Les échantillons obtenus des 3 espèces mis en autoclave et ayant subis le même traitement présentent des fissures radiales plus ou moins importantes selon les espèces et à des degrés différents, dues à une dégradation thermique ( début de carbonisation du bois) . On peut les classer selon leur état de dégradation croissante dans l'ordre suivant : E. camaldulensis, E. cladocalyx et E. gomphocephala.

- **a) Niveau de charge minimal** : Température: 100° C( Villière 1977, Kauman ) [9], durées d'étuvage: 10, 15, 20,30mn. Les trois espèces présentent un bon état : pas de dégradation thermique et pas de fissures apparentes. Nous avons alors, fait d'autres investigations pour les températures intermédiaires de 110°C et de 120°C. Finalement, la température convenant le mieux est celle de 110°C avec un temps d'étuvage de 20 mn (pression 1bar) . Aucune espèce n'ayant présentée de défauts apparents pour ce niveau de charge . Les risques de fissuration et de dégradation thermique ( carbonisation du bois dû à un surétuvage de ce dernier ) étant les 2 seuls critères ayant guidé le choix des paramètres d'étuvage. A notre avis ils constituent de bons critères d'appréciation de la qualité des bois traités.

**a)Essais préliminaires sur bois d'E. camaldulensis:**

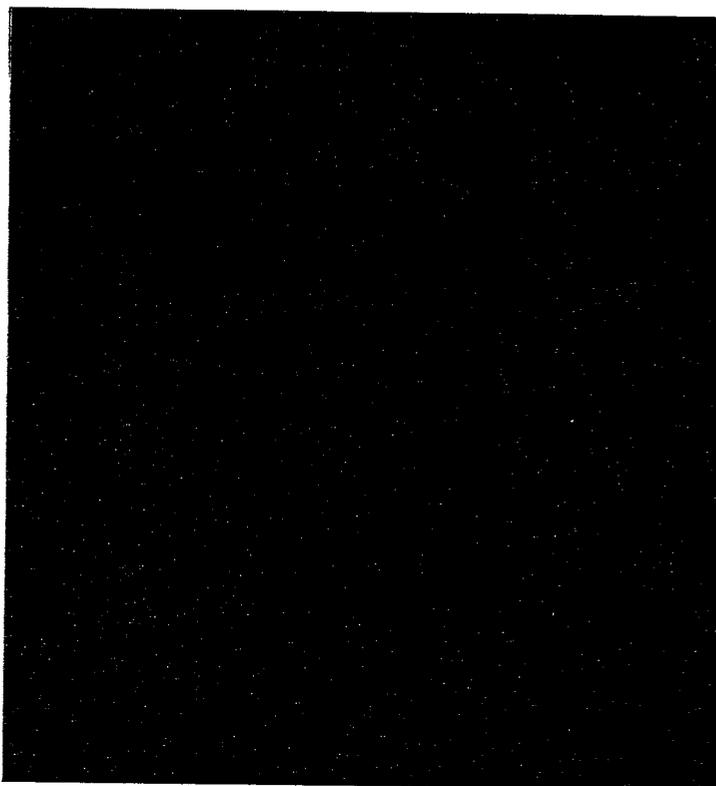
Le but de ces essais est de permettre d'avoir une idée au préalable sur le déroulement de l'opération de reconditionnement des bois :préparation des échantillons avant le traitement en autoclave(photo n°4), réglages de l'autoclave , examen visuel de la qualité ( contrôle d'aspect) des bois reconditionnées ( traitement à la vapeur dans une atmosphère saturée) et enfin séchage à H=12%.

**b) Préparation des échantillons:**

Les échantillons sont au préalable séchés soit à l'air libre soit dans l'étuve hygrothermique afin de ramener leur humidité dans la plage d'humidité de H = 15 à 20%, compatible avec les essais de reconditionnement.

**c) Réglages et mise au point de l'autoclave:**

Une première mise au point est nécessaire pour connaître le comportement de l'autoclave (photo n°4) à plusieurs niveaux de charge : La montée en température et son maintien (constante) est assurée en agissant sur la vanne d'ouverture ( marche manuelle) pour réguler les paramètres température et pression de service( montée et descente) .



**Photo n°4: L'autoclave ( essai de reconditionnement des bois)**

Les positions sur le rhéostat de réglage indiquent des tensions d'alimentation ( en volts) qu'il faudra étalonner en marche à vide ( l'autoclave contenant une certaine quantité d'eau suffisante pour l'essai d'étalonnage) pour pouvoir connaître les niveaux de température et pression correspondantes . L'autoclave est munie d'un manomètre indiquant la pression ( en  $\text{kgf} / \text{cm}^2$  ) et d'un thermomètre (  $\pm 2^\circ \text{c}$  ) indiquant la température régnants à l'intérieur de l'enceinte. Lors des essais en charge , le cylindre de l'autoclave est remplie d'une certaine quantité d'eau nécessaire à l'évaporation ( 1/2litre à 1litre) et pour assurer l'étuvage du bois. Les échantillons de bois sont déposés sur une grille métallique avec support surplombant le niveau d'eau. L'autoclave est hermétiquement fermée par l'intermédiaire d'un couvercle en acier ( serrage par boulons) et joint cellulosique pour éliminer les déperditions de vapeur . De plus lors de nos essais nous avons remarqué que les échantillons en contact direct avec les parois du cylindre subissent des dégradations thermiques importantes , nous avons pallier à cela en interposant à l'intérieur même du cylindre sur les surfaces latérales de celui-ci du papier cellulose mouillé à l'eau ( pour réduire les transferts de chaleur par conduction). Des

changements fréquents sont faits pour remplacer ce papier qui se détériore au bout d'un certain nombre essais.

d) **Essai à vide:** On remplit l'autoclave avec de l'eau ( 1 litre ) et on commence le préchauffage en prenant la position 180 sur le rhéostat et on note la montée en température toutes les 5°C pour suivre la cinétique de la variation de la température ( °C) en fonction du temps( mn) . Le temps de maintien de la température à 130°C est fixé à 10mn. Le temps du cycle est de 47mn 25s.

## 2.19 PROPRIETES PHYSIQUES DES 3 ESPECES D' EUCALYPTUS.

### 2.19.1 RESULTATS ET DISCUSSIONS.

#### a) Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

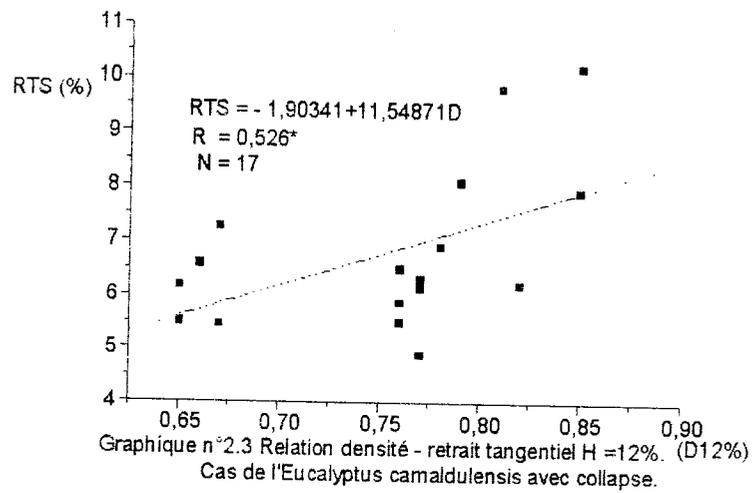
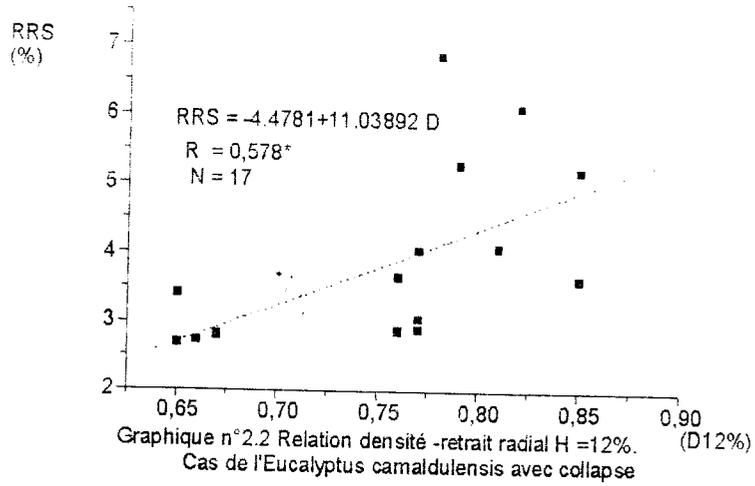
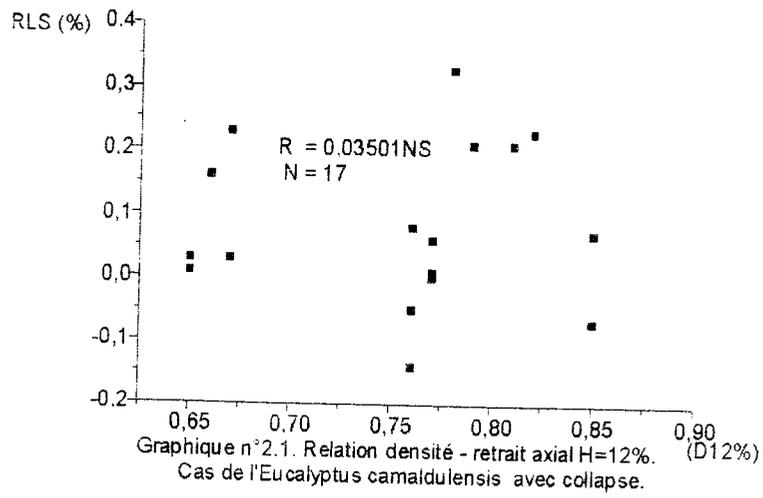
Les résultats des mesures (valeurs moyennes) portant sur la rétractabilité sont donnés par les tableaux n°2.1 et 2.2. Les corrélations entre retraits et densité sont représentées par les graphiques n°2.1,2.2,2.3,2.4. Les résultats des calculs portant sur la détermination du point de saturation des fibres et les variations dimensionnelles, sont donnés en annexes n° I et II.

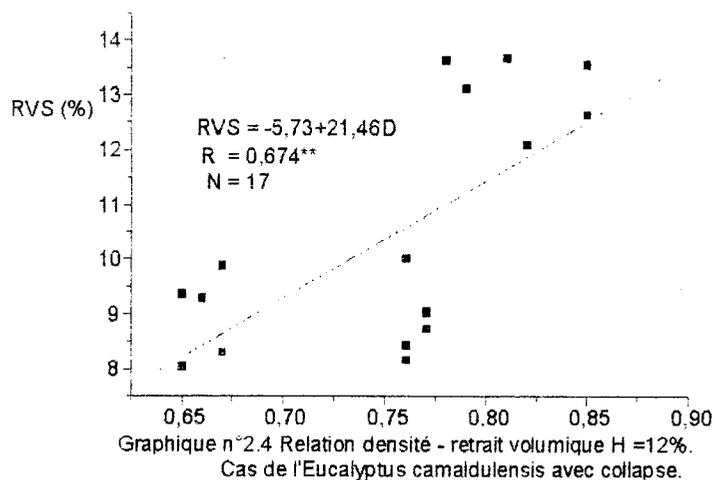
Tableau n°2.1. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse ( entre états saturé à sec à l'air).

N=17	RLS (%)	RRS (%)	RTS (%)	RVS (%)	AS	CRLS (%)	CRRS (%)	CRTS (%)	CRVS (%)	D12%
Moy	0,08	3,83	6,78	10,42	0,58	0,00	0,14	0,25	0,38	0,75
S	0,13	1,30	1,49	2,16	0,20	0,00	0,05	0,06	0,08	0,07
CV(%)	155,37	33,97	21,96	20,71	34,20	150,98	33,55	22,44	20,73	8,92

Tableau n°2.2. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse ( entre états saturé à anhydre).

N=17	AT	RLT (%)	RRT (%)	RTT (%)	RVT (%)	CRLT (%)	CRRT (%)	CRTT (%)	CRVT (%)
Moy	0,61	0,29	5,99	9,89	15,52	0,01	0,15	0,25	0,40
S	0,12	0,10	1,43	1,55	2,44	0,00	0,04	0,04	0,06
CV(%)	19,72	34,10	23,90	15,70	15,74	34,10	23,90	15,70	15,74





Les résultats obtenus sont comparés à la norme NF B51-002; qui donne d'après la valeur de la rétractabilité totale, la qualification des bois comme suit:

Rétractabilité totale	Qualification	Observations
20 à 15%.....	Fort retrait	Grumes à grandes fentes de dessiccation à débiter rapidement.
15 à 10%.....	Moyen retrait	Grumes à fentes moyennes pouvant être conservées en bois ronds.
10 à 5%.....	Faible retrait	Grumes à petites fentes, aptes à la menuiserie et au déroulage.

Par ailleurs les bois sont également qualifiés d'après le coefficient de retrait volumique : C'est la variation du volume pour chaque variation de 1% d'humidité. D'après sa valeur, les bois sont qualifiés comme suit:

valeur du coefficient de rétractabilité	Qualification	Observations
0,55 à 1%.....	Très nerveux	- 0,55 à 0,75%: bois à débiter sur mailles; - 0,75 à 1%: bois difficilement utilisables.
0,35 à 0,55%.....	Nerveux	-Bois de service et de construction.
0,15 à 0,35%.....	Peu nerveux	-Bois de menuiserie et d'ébénisterie

D'autre -part, les bois sont également qualifiés selon leur point de saturation des fibres : Hs (%) et selon les indications de la norme précitée comme suit:

Point de saturation de la fibre Hs (%)	Qualification
< 25%	Bas
25 à 35%	Normal
> 35%	Elevé

Les critères physiques de qualification, retenus sont:

- 1°) Le retrait volumique total :  $RVT = 15,52\%$  : le bois est qualifié à fort retrait . Ce retrait étant chez les différents auteurs le plus utilisé, bien qu'il ne corresponde pas exactement au séchage naturel entre l'état vert ( ou saturé) et l'état sec à l'air.
- 2°) Le coefficient de rétractabilité volumétrique:  $CRVT = 0,42\%$  : le bois est qualifié de nerveux .
- 3°) Le taux d'humidité du point de saturation des fibres:  $Hs = 39\%$  : Point de saturation élevé.
- 4°) La densité :  $D_{12\%} = 0,75$ : Le bois est qualifié de mi - lourd.
- 5°) Entre l'état saturé et l'état sec à l'air ( $H = 12\%$ ), le retrait volumique trouvé  $RVS = 10,42\%$  est inférieur à celui d'un bois commercialisé en Australie: E. Diversicolor ( $RVS = 12,5\%$ : qui possède le retrait le plus important) [9].
- 6°) L'anisotropie trouvée :  $AS = 0,58$  , est proche de celle observée par Keylwerth [9], sur les espèces européennes ( $AS = 0,61$ ). L'anisotropie observée en moyenne sur les Eucalyptus est de 0,50. En comparaison des feuillus en général, l'Eucalyptus camaldulensis possède une anisotropie transversale moyenne, sachant que les Eucalyptus sont plutôt nerveux, cette anisotropie est assez bonne par rapport à celle des autres espèces d'Eucalyptus, d'où un assez bon comportement au séchage.
- 6°) Retrait axial: La valeur trouvée  $RLS = 0,08\%$ ; indique qu'il est faible par rapport aux 2 autres retraits: radial et tangentiel. Il est souvent négligé par les auteurs. La plupart des études faites sur le collapse, à l'exception de Kelsey (1963) [9], n'ont pas abordé le retrait axial et sa liaison avec la densité. Selon Boyd (1974) [9], la densité , à elle seule ne peut pas expliquer le retrait axial. Une forte densité peut être associée à un bois final normal qui a un retrait longitudinal faible et un retrait transversal élevé ou avec un bois de tension qui présente longitudinalement un retrait exceptionnellement élevé et transversalement , un retrait plus faible que celui du bois normal (Kollman et Côté, 1968) [29].

La corrélation entre la densité et le retrait que nous avons trouvé, indique que le retrait axial, augmente avec la densité ; mais elle n'est pas significative au seuil de 5 pour cent ( $R = 0,035$  NS). On constate par ailleurs, qu'entre l'état saturé et l'état sec à l'air, il n'y a pas de retrait longitudinal mais un gonflement ; le coefficient de variation en est un bon indicateur :  $CV = 155,37\%$ . Ceci caractérise un retrait non libre. Le comportement mécanique au cours du séchage est le facteur dominant de ce gonflement. Les causes des déformations et gonflement longitudinal : Classiquement, ce phénomène est appelé dans la littérature "effet coquille", (KELSEY 1957)[15] : le cube de bois va se comporter au cours du séchage comme une boîte rigide qui va s'opposer au retrait et subir une déformation comparable à l'effet Poisson. On peut considérer, la déformation totale de retrait comme la combinaison de deux types de déformations: Une déformation élastique responsable de l'effet Poisson; une déformation plastique non réversible, que l'on observe lorsque l'on fait subir au bois des cycles hydratation - déshydratation, ou encore lorsqu'il apparaît du collapse au cours du séchage.

7°) Retraits radial , tangentiels et volumique: Les retraits radial , tangentiel et volumique trouvés sont pour le radial:  $RRS = 3,83\%$ ;  $RTS = 6,78\%$  pour le tangentiel et  $RVS = 10,42\%$  pour le retrait volumique. Ces valeurs demeurent en deçà de ceux indiqués dans la bibliographie (in SESBOU, 1981) [9]: D'après les travaux de A. SESBOU:  $RLS = 0,7\%$ ;  $RTS: 28\%$  ;  $RR = 7,8\%$  et  $RV = 39,3\%$ : ces études ont porté sur des arbres âgés de 9 ans dans 2 stations : Calabre et Sicile (Italie). Sur des échantillons Australiens âgés de plus de 20 ans, Kingston et Riston (1961) [9], ont déterminé les valeurs suivantes:  $RTS = 8,9\%$  et  $RRS = 4,4\%$ . Chudnoff (1961)[9] a déterminé sur des rejets âgés de 18 à 20 ans un retrait tangentiel élevé de  $RTS = 30\%$ . A l'Institut de technologie de Sao-Paulo (1961) du Brésil [9]; les valeurs déterminées sont les suivantes:  $RTS = 15,5\%$ ;  $RR = 6,8\%$  et  $RVS = 25,9\%$ .

Les corrélations que nous avons déterminé sont toutes positives et indiquent que le retrait avec collapse augmente avec la densité pour le camaldulensis:

$$RRS = -4,48 + 11,04D \quad (R = 0,58^*); \quad RTS = -1,90 + 11,55 D \quad (R = 0,526^*);$$

$RVS = -5,730 + 21,46D \quad (R = 0,674)$ . Ces corrélations entre la densité et les retraits sont en général admises dans la bibliographie; toutefois pour le cas de l'Eucalyptus camaldulensis étudié par A.SESBOU [9]; les corrélations trouvées sont plutôt négatives: le retrait avec collapse diminue lorsque la densité augmente. Toutefois,

pour le retrait longitudinal avec collapse la relation trouvée est positive dans les 2 stations (Calabre et Sicile). Les explications avancées sont le retrait axial augmente avec la densité à cause de la combinaison de 2 phénomènes inverses: il ya diminution du retrait normal et augmentation du collapse; celui -ci étant prépondérant, entraîne une augmentation globale du retrait. La densité à elle seule ne peut expliquer le le retrait longitudinal (Boyd,1974) [9]. Une forte densité peut être associée à un bois final normal qui a un retrait longitudinal faible et un retrait transversal élevé ou avec un bois de tension qui présente longitudinalement un retrait élevé et transversalement, un retrait plus faible que celui du bois normal (Kollman et Côté, 1968) [29]. Les valeurs moyennes atteintes par les retraits avec collapse sont considérables [9]: 0,72% pour le retrait longitudinal, 28% pour le retrait tangentiel, 7,8% pour le retrait radial et 39% pour le retrait volumétrique. Le reconditionnement permet de récupérer une grande partie du collapse: Les valeurs de retrait sans collapse sont plus faibles: 0,31% pour le retrait longitudinal, 10% pour le retrait tangentiel, 3% pour le retrait radial et 14% pour le retrait volumétrique.

#### b) Cas de l'*Eucalyptus camaldulensis* sans collapse:

Les résultats des mesures (valeurs moyennes) portant sur la rétractabilité sont donnés par les tableaux n°2.3.1 et 2.3.2. Les corrélations entre retraits et densité, retraits et humidité sont donnés sous formes d'équations avec les coefficients de corrélations. Les résultats des calculs portant sur la détermination du point de saturation des fibres et les variations dimensionnelles sont donnés en annexe n° II.

Tableau n°2.3.1. Détermination des paramètres du retrait de l'*Eucalyptus camaldulensis* sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

N=17	RLC (%)	RRC (%)	RTC (%)	RVC (%)	AC	CRLC (%)	CRRC (%)	CRTC (%)	CRVC (%)	DC
Moy	0,03	2,56	5,12	7,74	0,52	0,01	0,09	0,19	0,29	0,73
S	0,15	1,12	1,53	2,03	0,19	0,03	0,04	0,06	0,08	0,03
CV(%)	600,87	43,66	29,91	26,26	36,79	396,27	43,66	29,91	26,28	4,32

Tableau n°2.3.2. Détermination des rapports de reconditionnement de l'eucalyptus camaldulensis.

Echant. N=17	RLS/RLC	RRS/RRC	RTS/RTC	RVS/RVC
Moy	-4,32	1,66	1,42	1,28
S	6,39	0,59	0,42	0,64
CV(%)	-147,99	35,80	29,79	49,80

Pour l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse, les critères physiques retenus sont:

1°) La densité :  $D_{12\%} = 0,73$ : Le bois est qualifié de mi - lourd. On constate que la densité moyenne est plus faible.

2°) L'anisotropie trouvée :  $AS = 0,52$ ; diminue: ce qui veut dire que le taux de récupération du retrait radial (1,66) est supérieur à celui du retrait tangentiel (1,42). SESBOU [9] a trouvé une anisotropie presque inchangée:  $AS = 0,31$  (avant reconditionnement) contre  $AC = 0,32$  (après reconditionnement).

6°) Retrait axial: La valeur trouvée  $RLS = 0,03\%$ : valeur faible par rapport au bois avec collapse. La corrélation entre la densité et le retrait, indique que le retrait axial, augmente avec la densité ; mais elle n'est pas significative au seuil de 5 pour cent ( $R = 0,296NS$ ). Le phénomène de gonflement est identique à celui décrit pour le bois avec collapse.

7°) Retraits radial , tangentiels et volumique: après reconditionnement: le retrait volumique trouvé  $RVC = 7,74\%$  , devient inférieur au retrait volumique d'un bois avec collapse. La valeur de ce retrait est proche de celle observée par Chudnoff (1961) [9]:  $RVC = 7,70\%$ . Les retraits radial  $RRC = 3,83\%$ ; tangentiel  $6,78\%$ , sont également inférieurs aux retraits d'un bois avec collapse. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles observées par SESBOU (1981) [9] pour deux stations en Italie (Calabre et Sicile) :  $RLC = 0,31\%$ ;  $RTC = 10,1\%$ ;  $RRC = 3,1\%$ ;  $RVC = 13,9\%$ . Chudnoff (1961)[9] a observé les valeurs plus faibles :  $RTC = 4,6\%$ ;  $RRC = 3\%$  et  $RVC = 7,7\%$ . Kingston et Risdon (1961)[37] ont observé les valeurs suivantes :  $RTC = 4,8\%$ ;  $RRC = 2,7\%$ . Les corrélations que nous avons déterminé sont toutes positives et indiquent que le retrait sans collapse augmente avec la densité pour le camaldulensis sans collapse:  $RRC = -10 + 17,09D$  ( $R = 0,555^*$ );  $RTC = -14,67 + 26,95 D$  ( $R = 0,637^{**}$ );  $RVC = -21,66 + 40,01D$  ( $R = 0,713^{**}$ ). Ces corrélations entre la densité et les retraits

ans collapse sont concordantes avec les résultats de la bibliographie : le retrait sans collapse augmente avec la densité.

8°) Rapports de reconditionnement :

RRS/RRC = 1,66: le rapport est supérieur à 1: on a une bonne récupération dans la direction radiale; RTS/RTC = 1,42: la récupération tangentielle est inférieure à la récupération radiale; RVS/RVC = 1,28: on a une bonne récupération du collapse par le biais du retrait volumique. On voit donc que le reconditionnement est bénéfique pour les bois susceptibles de collapse. Le reconditionnement diminue le retrait volumique de 26%; le retrait radial de 33,16% retrait radial et 24,48% le retrait tangential.

c) Cas de l'*Eucalyptus cladocalyx* avec collapse:

Le taux moyen de l'humidité du point de saturation des fibres du bois d'*Eucalyptus cladocalyx* est déterminé sur 10 échantillons (annexe III). Le taux moyen est de 32,4% avec un coefficient de retrait volumique moyen  $r_v = 0,49\%$ ; d'après le tableau ci-dessous:

Echantillons	$r_v$ (%)	$H_s$ (%)
<b>N=10</b>	0,49	32,4
<b>S</b>	0,05	5,76
<b>CV (%)</b>	10,56	17,77

Les équations ayant servi à sa détermination sont les suivantes:

$RV = 16,43 - 0,38H$   $R = -0,971^{***}$ ;  $RV = 14,15 - 0,50H$   $R = -0,963^{***}$ ;  $RV = 15,09 - 0,54H$   $R = -0,947^{***}$ ;  $RV = 14,97 - 0,49H$   $R = -0,915^{***}$ ;  $RV = 13,94 - 0,50H$   $R = -0,950^{***}$ ;  $RV = 17,20 - 0,50H$   $R = -0,959^{***}$ ;  $RV = 15,84 - 0,48H$   $R = -0,919^{***}$ ;  $RV = 12,81 - 0,49H$   $R = -0,958^{***}$ ;  $RV = 15,16 - 0,40H$   $R = -0,910^{***}$ ;  $RV = 19,14 - 0,51H$   $R = -0,980^{***}$ . Les résultats des mesures portant sur la rétractibilité sont donnés par les tableaux n°2.4 et n°2.5. Les corrélations entre retraits et densité et retraits et humidité sont donnés par les équations de régression linéaire avec leurs coefficients de corrélations. De plus, nous donnons en annexe III : Les résultats sur la détermination du point de saturation des fibres et en annexe IV, : les résultats sur les variations dimensionnelles.

Tableau n°2.4. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à sec à l'air).

N=17	RLS	RRS	RTS	RVS	CRLS	CRRS	CRTS	CRVS	AS	D12%
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
<b>Moy</b>	0,26	4,92	7,91	12,55	0,01	0,25	0,40	0,63	0,64	0,99
<b>S</b>	0,13	1,06	1,65	1,95	0,01	0,05	0,08	0,10	0,17	0,03
<b>CV(%)</b>	50,65	21,64	20,84	15,52	50,65	21,64	20,84	15,52	27,02	3,51

Tableau n°2.5. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à anhydre).

Echant	RLT	RRT	RTT	RVT	CRLT	CRRT	CRTT	CRVT	AT
N=17	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
<b>Moy</b>	0,47	7,71	11,55	18,75	0,01	0,24	0,36	0,59	0,68
<b>S</b>	0,17	1,11	1,79	1,98	0,01	0,03	0,06	0,06	0,14
<b>CV(%)</b>	35,38	14,44	15,50	10,56	35,38	14,44	15,50	10,56	20,00

Les résultats obtenus sont les suivants:

- 1°) Retrait volumique RVT = 18,75% : Bois à fort retrait;
- 2°) Coefficient de retrait volumique = 0,59%: Bois très nerveux.
- 3°) Densité D12% =0,99 : Bois lourd.
- 4°) Taux d'humidité du point de saturation des fibres Hs =32%: Normal.
- 5°) Retrait volumique à l'état sec à l'air RVS =12,55% ; retrait identique à celui de l'eucalyptus diversicolor (RVS =12,50%), commercialisé en Australie.

Le retrait axial déterminé est RLS = 0,26% : il est non négligeable et peut être un bon indicateur de bois de tension. La présence de ce type de retrait a été étudiée par SALES chez les bois tropicaux [9].

6°) Anisotropie AS =0,64: supérieure à celle observée sur les Eucalyptus (Wright) [9]: 0,50 et sur celle observée par Keylwerth (1951) [9]. Donc c'est un bois d'assez bon comportement au séchage.

7°) Les corrélations trouvées entre la densité et les différents retraits sont positives: La corrélation retrait longitudinal (R =0,07 NS) est non significative au seuil de 5 %.

Les corrélations pour les autres retraits sont les suivantes:

$$\text{RRS} = -19,02 + 24,09 \text{ D} \quad (\text{R} = 0,506^*); \quad \text{RTS} = -30,59 + 38,75 \text{ D} \quad (\text{R} = 0,525^*);$$

$$\text{RVS} = -48,19 + 61,14 \text{ D} \quad (\text{R} = 0,701^{**}).$$

Tableau n°2.4. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à sec à l'air).

N=17	RLS	RRS	RTS	RVS	CRLS	CRRS	CRTS	CRVS	AS	D12%
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Moy	0,26	4,92	7,91	12,55	0,01	0,25	0,40	0,63	0,64	0,99
S	0,13	1,06	1,65	1,95	0,01	0,05	0,08	0,10	0,17	0,03
CV(%)	50,65	21,64	20,84	15,52	50,65	21,64	20,84	15,52	27,02	3,51

Tableau n°2.5. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à anhydre).

Echant	RLT	RRT	RTT	RVT	CRLT	CRRT	CRTT	CRVT	AT
N=17	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Moy	0,47	7,71	11,55	18,75	0,01	0,24	0,36	0,59	0,68
S	0,17	1,11	1,79	1,98	0,01	0,03	0,06	0,06	0,14
CV(%)	35,38	14,44	15,50	10,56	35,38	14,44	15,50	10,56	20,00

Les résultats obtenus sont les suivants:

- 1°) Retrait volumique RVT = 18,75% : Bois à fort retrait;
- 2°) Coefficient de retrait volumique = 0,59%: Bois très nerveux.
- 3°) Densité D12% =0,99 : Bois lourd.
- 4°) Taux d'humidité du point de saturation des fibres Hs =32%: Normal.
- 5°) Retrait volumique à l'état sec à l'air RVS =12,55% ; retrait identique à celui de l'eucalyptus diversicolor (RVS =12,50%), commercialisé en Australie.

Le retrait axial déterminé est RLS = 0,26% : il est non négligeable et peut être un bon indicateur de bois de tension. La présence de ce type de retrait a été étudiée par SALES chez les bois tropicaux [9].

6°) Anisotropie AS =0,64: supérieure à celle observée sur les Eucalyptus (Wright) [9]: 0,50 et sur celle observée par Keylwerth (1951) [9]. Donc c'est un bois d'assez bon comportement au séchage.

7°) Les corrélations trouvées entre la densité et les différents retraits sont positives: La corrélation retrait longitudinal (R =0,07 NS) est non significative au seuil de 5 %.

Les corrélations pour les autres retraits sont les suivantes:

$$RRS = -19,02 + 24,09 D (R = 0,506^*); \quad RTS = -30,59 + 38,75 D (R =0,525^*);$$

$$RVS = -48,19 + 81,14D (R =0,701^{**}).$$

d) Cas de l'*Eucalyptus cladocalyx* sans collapse:

Les résultats des mesures portant sur la rétractabilité sont donnés par les tableaux n°2.6.1 et 2.6.2. Les corrélations entre retraits et densité, retraits et humidité sont donnés par les équations de régression linéaires avec leurs coefficients de corrélations. De plus, nous donnons en annexe IV : Les résultats sur les variations dimensionnelles.

Tableau n°2.6.1. Détermination des paramètres du retrait de l'*Eucalyptus cladocalyx* sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

N=17	RLC	RRC	RTC	RVC	CRLC	CRRC	CRTC	CRVC	AC	DC
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Moy	-0,06	2,88	5,81	8,46	0,00	0,14	0,29	0,42	0,49	0,95
S	0,15	0,71	1,01	1,48	0,01	0,04	0,05	0,07	0,11	0,04
CV(%)	-	24,66	17,40	17,51	-	24,66	17,40	17,51	21,67	4,05
	243,08				243,08					

Tableau n°2.6.2 Détermination des rapports de reconditionnement de l'*Eucalyptus cladocalyx* sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

Echant.	RLS/RLC	RRS/RRC	RTS/RTC	RVS/RVC
N=17				
Moy	-13,68	1,92	1,46	1,60
S	46,24	1,14	0,70	0,77
CV(%)	-337,94	59,28	47,85	48,08

Les résultats obtenus sont les suivants:

1°) Densité D12% =0,95 : Bois lourd. Celle ci est inférieure à celle du bois avec collapse .

2°) Retrait volumique à l'état sec à l'air RVS =8,46% ; retrait inférieur à celui de l'*Eucalyptus diversicolor* (RVS =12,50%), commercialisé en Australie.

Le retrait axial est RLS = -0,06% : il s'agit d'un gonflement dont l'explication a été donnée à propos de l'*E. camaldulensis*. Les valeurs moyennes des retraits après reconditionnement sont en nette baisse par rapport aux retraits avec collapse:

RRC =2,88%;RTC =5,81%;RVC = 8,46%.

3°) Anisotropie AC =0,49: après le traitement ; elle diminue. Elle est identique à celle observée sur les *Eucalyptus* en général. De plus la rétractabilité diminue aussi ,

on a: CRVC = 0,42%.

7°) Les corrélations trouvées entre la densité et les différents retraits sont toutes positives: cela veut dire que plus la densité augmente, plus le retrait avec collapsé augmente. Ceci est en accord avec les résultats de la bibliographie. La corrélation retrait longitudinal ( $R = 0,054$  NS) est non significative au seuil de 5 %. Les corrélations trouvées pour les autres retraits sont les suivantes:  $RRC = -14,01 + 17,83D$  ( $R = 0,781^{***}$ );  $RTC = -20,10 + 27,35D$  ( $R = 0,841^{***}$ );  $RVC = 0,78 + 0,02D$  ( $R = 0,918^{***}$ ).

### 2.12.9 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapsé:

#### 2.19.9.1 Détermination du point de saturation des fibres.

Le taux moyen du point de saturation, ainsi que le coefficient de retrait volumique sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Echantillon N=17	H <sub>s</sub> (%)	r <sub>v</sub> (%)
Moy	32,00	0,41
S	32,81	0,40
CV (%)	3,76	0,08

Les résultats des mesures (valeurs moyennes) portant sur la rétractabilité sont donnés par le tableau n°2.7 et n°2.8. Les corrélations entre retraits et densité, retraits et humidité sont données par les équations de régression linéaires avec leurs coefficients de corrélations. De plus, nous donnons en annexe V : Les résultats sur la détermination du point de saturation des fibres et en annexe VI: sur les variations dimensionnelles. Les équations ayant servi à la détermination du point de saturation sont les suivantes:  $RV = 13,96 - 0,48H$   $R = -0,987^{***}$ ;  $RV = 13,17 - 0,45H$   $R = -0,974^{***}$ ;  $RV = 7,22 - 0,25H$   $R = -0,981^{***}$ ;  $RV = 15,28 - 0,39H$   $R = -0,969^{***}$ ;  $RV = 12,25 - 0,46H$   $R = -0,929^{***}$ ;  $RV = 16,29 - 0,60H$   $R = -0,980^{***}$ ;  $RV = 14,78 - 0,46H$   $R = -0,984^{***}$ ;  $RV = 13,97 - 0,47H$ ;  $R = -0,935^{***}$ ;  $RV = 14,08 - 0,54H$   $R = -0,985^{***}$ .

Tableau n°2.7. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapsé (entre états saturé à sec à l'air).

N=17	RLS (%)	RRS (%)	RTS (%)	RVS (%)	CRLS (%)	CRRS (%)	CRTS (%)	CRVS (%)	AS	D12%
Moy	0,13	2,64	6,06	9,11	0,01	0,19	0,38	0,57	0,53	1,01
S	0,08	0,55	0,65	0,58	0,01	0,04	0,04	0,04	0,18	0,02
CV(%)	62,14	20,75	10,73	6,41	62,14	22,43	10,73	6,41	33,76	2,14

Tableau n°2.8. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse ( entre états saturé à anhydre ).

N=17	RLT (%)	RRT (%)	RTT (%)	RVT (%)	CRLT (%)	CRRT (%)	CRTT (%)	CRVT (%)	AT
Moy	0,35	5,92	9,95	15,58	0,01	0,21	0,36	0,56	0,61
S	0,13	0,88	1,08	1,05	0,00	0,03	0,04	0,04	0,14
CV(%)	38,00	14,90	10,90	6,73	38,00	14,90	10,90	6,73	23,76

Les résultats obtenus sont les suivants:

- 1°) Retrait volumique RVT = 15,58% : Bois à fort retrait;
- 2°) Coefficient de retrait volumique = 0,56%: Bois très nerveux.
- 3°) Densité D12% =1,01 : Bois très lourd.
- 4°) Taux d'humidité du point de saturation des fibres Hs =28%: Normal.
- 5°) Retrait volumique à l'état sec à l'air RVS =9,11% ; Ce retrait est plus faible que celui de l'Eucalyptus diversicolor (RVS =12,50%), commercialisé en Australie.

Le retrait axial déterminé est RLS = 0,13% : il est non négligeable et peut être un bon indicateur de bois de tension. La présence de ce type de retrait a été étudiée par SALES chez les bois tropicaux.

6°) Anisotropie AS =0,53: supérieure à celle observée sur les Eucalyptus (Wright)[9]: 0,50 . Donc c'est un bois d'assez bon comportement au séchage.

7°) Les corrélations trouvées entre la densité et les différents retraits sont positives: La corrélation retrait longitudinal (R =0,365 NS) est non significative au seuil de 5 %.

Les corrélations pour les autres retraits sont les suivantes:

$$RRS = -18,15 + 20,66 D (R = 0,741^{***}); \quad RTS = -19,63 + 25,53 D (R = 0,769^{***});$$

$$RVS = -5,69 + 14,71D (R = 0,495^*).$$

#### e) Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse:

Les résultats des mesures (valeurs moyennes) portant sur la rétractabilité sont donnés par le tableau n°2.9.1 et n°2.9.2. Les corrélations entre retraits et densité sont données par les équations de régression linéaires avec leurs coefficients de corrélation. De plus, nous donnons en annexe VI: les résultats des mesures sur les variations dimensionnelles.

Tableau n°2.9.1. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

N=17	RLC	RRC	RTC	RVC	CRLC	CRRC	CRTC	CRVC	AC	DC
	(%)	(%)	C(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Moy	-0,04	2,23	3,68	5,78	0,00	0,14	0,23	0,36	0,60	0,96
S	0,20	0,72	0,85	1,47	0,01	0,05	0,05	0,09	0,15	0,03
CV(%)	-487,54	32,28	23,16	25,49	-487,54	32,28	23,16	25,49	24,05	2,70

Tableau n°2.9.2. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

Echant.	RLS/RLC	RRS/RRC	RTS/RTC	RVS/RVC
Moy	-0,49	1,33	1,76	1,69
S	3,05	0,56	0,53	0,50
CV(%)	-627,24	42,30	30,47	29,80

Les résultats obtenus sont les suivants:

1°) Coefficient de retrait volumique = 0,56%: Bois très nerveux.

2°) Densité D12% =0,96 : Bois lourd.

3°) Retrait volumique à l'état sec à l'air RVS =5,78% ; Ce retrait est plus faible que celui du bois avec collapse et celui de l'Eucalyptus diversicolor (RVS =12,50%), commercialisé en Australie.

Le retrait axial déterminé est RLS =- 0,04% : il est négligeable . Il s'agit d'un gonflement .

5°) Anisotropie AC =0,60: supérieure à celle observée sur les Eucalyptus (Wright) [9]: 0,50 . Donc c'est un bois qui a un bon comportement au séchage.

6°) Les corrélations trouvées entre la densité et les différents retraits est positive:

La corrélation retrait longitudinal (R =0,044 NS) et densité est non significative au seuil de 5%. Les corrélations pour les autres retraits sont les suivantes:

RRC= -16,02 +18,92 D (R = 0,693\*\*); RTC = -17,61 +22,07D (R =0,0,673\*\*);

RVC= -32,84 + 40,04D (R =0,706\*\*). Le traitement des bois par reconditionnement à la vapeur a donné des résultats positifs; puisque les rapports de reconditionnement sont tous supérieurs à 1: La récupération dans le sens tangentiel est supérieure à celle radiale; le taux de récupération volumétrique est voisin de celui tangentiel.

Les résultats trouvés sur les 3 espèces d'Eucalyptus sont résumées dans le tableau n°2.10.

Tableau n°2.10. Caractérisation physique des 3 espèces de bois d'Eucalyptus .

Critères physiques	E. camal avec collapse	E. camal sans collapse	E. Clad avec collapse	E. Clad sans collapse	E. gomp avec collapse	E. gomp sans collapse
Hs (%)	39	-	32	-	28	-
RLT (%)	0,29	-	0,47	-	0,35	-
RVT (%)	15,52	-	18,75	-	15,58	-
CRVT (%)	0,40	-	0,59	-	0,56	-
AT	0,61	-	0,68	-	0,61	-
OS (12%)	0,75	0,73	0,99	0,95	1,01	0,96
RLS (%)	0,08	0,03	0,26	-0,06	0,13	-0,04
RRS (%)	3,83	2,56	4,92	2,88	2,64	2,23
RTS (%)	6,78	5,12	7,91	5,81	6,06	3,68
RVS (%)	10,42	7,74	12,55	8,46	9,11	5,78
CRVS (%)	0,38	0,29	0,63	0,42	0,57	0,36
AS	0,58	0,52	0,64	0,49	0,53	0,60
RLS/RLC	-4,32	-	-13,68	-	-0,49	-
RRS/RRC	1,66	-	1,92	-	1,33	-
RTS/RTC	1,42	-	1,46	-	1,76	-
RVS/RVC	1,28	-	1,60	-	1,69	-

### 2.19.2 Conclusions:

Compte- tenu des résultats obtenus sur les trois espèces d'Eucalyptus, et des principaux critères physiques retenus, on classe et on qualifie les bois comme suit:

1°) d'après leur taux d'humidité du point de saturation des fibres (Hs%):

L'Eucalyptus camaldulensis possède un taux d'humidité le plus élevé (H.S. =39%: élevé), par rapport à l'Eucalyptus cladocalyx (Hs =32% = normal) et à l'Eucalyptus gomphocephala (Hs =28%: normal). La connaissance de ce point de saturation est très importante ; car en dessous de ce point toutes les propriétés vont être modifiées: Les tissus du bois vont diminuer de volume, leur dureté et leur résistance mécanique vont croître , etc. Il est voisin de 30%. Mais certains bois ont un point de saturation

très bas, 18 à 20% seulement, d'autres au contraire, assez rares, ont un point de saturation élevé: 35 à 40%. Les bois à point de saturation bas auront leurs propriétés stabilisées s'ils sont utilisés en atmosphère humide. En étant employés à des humidités plus basses (12%, par exemple); ils se déformeront beaucoup sous l'influence de l'humidité. Ils sont dits nerveux. Les bois à point de saturation élevé, sont presque utilisés à un taux d'humidité très inférieur au point de saturation de la fibre. Ils joueront toujours sous l'influence des variations d'humidité. Mais ils sont en général peu nerveux.

2°) D'après leur retrait volumétrique total RVT (%): Les 3 espèces sont qualifiés tous de bois à fort retrait car leur retrait volumétrique est supérieur à 15% ( Norme NF B51 -006). Ils se classent dans l'ordre croissant de leur retrait total: *E. camaldulensis*, *E. gomphocephala* et *E. cladocalyx*.

3°) D'après leur coefficient de retractabilité volumique CRVT(%), en: Bois nerveux : *E. camaldulensis*; Bois très nerveux : *E. cladocalyx* et *E. gomphocephala*.

Ce coefficient permet de caractériser le bois sous l'influence des variations de l'humidité aux environs de l'humidité normale ( en général, voisine de l'humidité d'utilisation). Pour la comparaison des trois espèces avec et sans collapse nous avons introduits les critères suivants:

1°) La densité sec à l'air (DS à H =12%): En fonction de ce critère, les bois avec collapse se classent comme suit: *E. camaldulensis* : bois mi-lourd; *E. cladocalyx* : bois lourd; *E. gomphocephala*: bois très lourd. Par contre, on constate pour les bois sans collapse, une densité inférieure par rapport à celle trouvée pour les bois avec collapse; ceci peut être attribué à l'augmentation du volume de l'échantillon du bois (recupération du collapse), au cours de l'opération de reconditionnement. Les bois se classent dans le même ordre que celui défini pour les bois sans collapse.

2°) Leur retrait longitudinal à H =12%: ce paramètre constitue un bon indicateur de la présence des bois de tension ou juvénile qui possèdent des caractéristiques singulières par rapport à un bois normal; notamment: retrait longitudinal élevé (plus de 1%) ,des déformations des pièces, résistances mécaniques plus faibles et une structure anatomique différente. Selon le cas, le retrait axial trouvé est négligeable pour le *camaldulensis* ( bois avec et sans collapse); important pour le *cladocalyx* et le *gomphocephala* avec collapse et négligeable pour le *cladocalyx* et *gomphocephala* sans collapse : ce dernier cas est un gonflement constaté par plusieurs auteurs sur

le comportement du bois entre l'état saturé et l'état sec à l'air dans deux cas : lorsque le matériau subit des cycles d'humidification et déshumidification successifs ; un phénomène de mécanosorption, peu connu, est actuellement à l'étude. Le second cas, est observé sur les bois au cours du collapse.

3°) Leurs retraits radial et tangentiel: Les valeurs de ces retraits linéaires sont:

L'Eucalyptus camaldulensis avec collapse: RRS = 3,83% ; RTS = 6,78%;

" " " sans collapse: RRS = 2,56% ; RTS = 5,12%;

L'Eucalyptus cladocalyx avec collapse: RRS = 4,92 ; RTS = 7,91%;

" " " sans collapse: RRS = 2,88% ; RTS = 5,81%;

L'Eucalyptus gomphocephala avec collapse: RRS = 2,64% ; RTS = 6,06%;

" " " sans collapse: RRS = 2,23% ; RTS = 3,68%;

On voit que c'est le retrait tangentiel qui est le plus prédominant. Il est en moyenne 1,5 à 2 fois plus fort que le retrait radial. C'est cette différence qui explique les déformations au séchage. En comparant les 3 espèces entre elles, on constate que le retrait sans collapse augmente avec la densité pour le cladocalyx et au contraire diminue pour le gomphocephala. Ce qui nous amène à penser comme certains auteurs ; à dire: que le collapse affecte beaucoup plus les bois de moyenne densité et qu'en général, les bois plus denses sont peu affectés par le phénomène de collapse.

4°) Leur retrait volumique à l'état sec à l'air : Il rend compte du comportement réel au séchage des trois espèces de bois. Les bois avec collapse se classent dans le même ordre que celui défini à propos du retrait volumétrique total. Les valeurs du retrait volumique trouvées sont inférieures ou égales, à celles d'un bois commercialisé en Australie : E. diversicolor avec RVS = 12,50% et D12% = 0,90 à 1,01. Les bois sans collapse ont leur retrait toujours inférieur à celui du bois avec collapse; ceci atteste d'une bonne récupération du collapse. Ils se classent aussi dans le même ordre que ces derniers.

5°) Leur coefficient de rétractabilité à H = 12%: On constate aussi que les 3 espèces (avec et sans collapse) se rangent pratiquement dans l'ordre de leur retrait volumique : E. camaldulensis ; E. gomphocephala et E. cladocalyx. Ces coefficients de rétractabilité sont en nette diminution pour les bois sans collapse; résultant d'une bonne récupération du collapse.

6°) Leur anisotropie transversale; AS (à H = 12%): L'anisotropie du retrait est le rapport du retrait radial sur le retrait tangentiel; plus ce rapport tend vers 1, plus le

6°) Leur anisotropie transversale; AS (à H =12%): L'anisotropie du retrait est le rapport du retrait radial sur le retrait tangentiel; plus ce rapport tend vers 1, plus le matériau aura un bon comportement au séchage.

Dans le sens tangentiel, la rétractabilité est en général 1,5 à 2 fois plus forte que dans le sens radial. C'est cette différence qui explique les déformations des bois au séchage. Mais certaines échantillons de bois ont un retrait tangentiel à peine supérieur et parfois égal au retrait radial. Ces bois séchés avec précaution, ne se déformeront pas, même si leur retrait volumétrique est assez fort (par exemple les Acajous).

On voit que, malgré son retrait volumétrique élevé, par rapport aux deux autres espèces, le cladocalyx avec collapse, possède une faible anisotropie, d'où un bon comportement au séchage. La valeur trouvée  $AS = 0,64$  est meilleure que celle indiquée par la bibliographie pour les Eucalyptus en général  $AS = 0,50$ .

Les bois avec collapse se classent dans l'ordre croissant de leur anisotropie comme suit:

*E. cladocalyx*, *E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*. Le gomphocephala étant le plus anisotrope par rapport aux deux autres espèces.

Le camaldulensis et le gomphocephala ont un assez bon comportement au séchage.

Après traitement des bois par la technique du reconditionnement, on constate, que l'anisotropie a été modifiée. Ceci peut être attribué à la récupération du collapse, qui ne s'est pas faite de la même manière chez les 3 espèces d'Eucalyptus et suivant les directions d'anisotropie du bois.

Pour le camaldulensis et le cladocalyx: c'est dans la direction tangentielle (retrait tangentiel) que la récupération du collapse est la plus importante.

La valeur moyenne des 2 espèces est à la limite de celle trouvée pour les Eucalyptus en général.

Par contre pour le gomphocephala c'est l'inverse: la récupération du collapse la plus importante est radiale, avec un bon comportement au séchage.

7°) Leurs rapports de reconditionnement (radial, tangentiel et volumique):

En faisant le rapport du retrait avec collapse sur le retrait sans collapse, on obtient le rapport de reconditionnement. Plus la récupération est importante plus ce rapport est supérieur à 1. On constate que tous les rapports de reconditionnement sont

supérieurs à 1, ce qui indique que la récupération du collapse s'est opérée pour les 3 espèces et que le traitement en question est positif. Les valeurs trouvées sont:

Pour le *camaldulensis*:

La récupération du collapse dans la direction radiale est plus importante que dans la direction tangentielle, la récupération volumique totale est la plus faible par rapport aux deux autres espèces.

Pour le *cladocalyx* : la récupération du collapse est toujours radiale; elle est la plus importante que pour les 2 autres espèces .

Pour le *gomphocephala*: la récupération la plus importante du collapse est cette fois tangentielle. On voit donc que la récupération du collapse s'effectue dans l'ordre décroissant suivant:

Le *gomphocephala*; le *cladocalyx*; le *camaldulensis* .

## CHAPITRE 3 : PROPRIETES MECANIQUES DES TROIS ESPECES D'EUCALYPTUS.

### 3.1 Définition des critères mécaniques retenus:

Les essais mécaniques portent sur la détermination:de la contrainte de rupture en compression axiale; du module d'élasticité longitudinal; de la contrainte de rupture en flexion statique et la dureté Monnin.

### 3.2 Conditionnement des éprouvettes.

**3.2.1 Essais mécaniques d'éprouvettes avec collapse.** Les essais mécaniques ne sont effectués, qu'après conditionnement des éprouvettes jusqu'à stabilisation à l'humidité de référence prévue (  $H = 12\%$  ). Pour cela, les échantillons sont , après avoir subi un séchage artificiel dans une étuve hygrothermique réglée à  $72\%$  (  $t_s = 50^\circ\text{C}$  ;  $t_h = 44^\circ\text{C}$  ) , débités en ébauches de  $25 \times 25 \text{mm}$  de section ( essais de dureté,compression axiale, flexion statique) et de  $800$  à  $1000 \text{mm}$  de longueur environ. Les éprouvettes ne sont préparées qu'à l'issue de cette stabilisation et stockées dans les conditions normales de laboratoire afin de réduire au maximum le gradient d'humidité existant sur les faces des éprouvettes jusqu'au moment des essais .

**3.2.2 Essais mécaniques d'éprouvettes sans collapse:** Avant le début des essais, les éprouvettes destinées au reconditionnement sont conservées en l'état, dans une chambre froide à  $+4^\circ\text{C}$  dans l'attente d'être essayées.

Après avoir été reconditionnées: traitement à la vapeur à  $110^\circ\text{C}$  environ pendant 20 minutes ( voir annexe VIII, tableau 3.24) dans une autoclave (éprouvettes normalisées de section  $20 \times 20$ ), les éprouvettes sont placées dans une étuve pour obtenir l'état sec a l'air ( $H = 12\%$ ). Les coefficients de tenue à l'humidité utilisés lors des calculs sont donnés par le tableau n°3.1.

Tableau n°3.1 Coefficients de tenue à l'humidité pour les essais mécaniques

Essais	Coefficient de tenue: c	observations
Compression	0,04	Norme NFB51-007Septembre 1987[50].
Dureté	0,02	Martin [32].
Flexion	0,02	Norme NFB51-008 Novembre 1987 [54].
Module d'élasticité	0,01	GUITARD [56].

### 3.3 ESSAI DE COMPRESSION AXIALE.

#### 3.3.1 MATERIEL ET METHODE.

Détermination de la contrainte de rupture sous un effort de compression, progressivement croissant, exercé parallèlement au fil d'éprouvettes de bois sans défaut. L'essai est réalisé selon la norme NFB51-007 Septembre 1987 [50].

##### a) MATERIEL UTILISE :

-Une machine d'essai de 10 tonnes assurant une vitesse constante soit d'augmentation de l'effort ( 11,5 kgf / s), soit de déplacement de la tête mobile ( valeur d'une division: 20kgf ) (photo n°5).



Photo n°5: Machine d'essai de compression.

-Palmer permettant de mesurer les dimensions de la section transversale à  $\pm 0,05\text{mm}$ .  
-Appareillage pour la détermination de l'humidité composé d' une étuve thermostatée réglée à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  et d'une balance selon la norme NFB-51004.

##### b) EPROUVETTES:

Les éprouvettes doivent avoir la forme d'un prisme droit à section carrée de 20mm de côté et une longueur parallèle au fil du bois de 60mm. Le mode de prélèvement, la préparation et le conditionnement des éprouvettes sont spécifiés dans la norme NFB-51-003.

c) **METHODE** : Mesurer, à mi longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale ( précision de 0,05mm ).

-Placer l'éprouvette au centre du dispositif d'application de la charge (composé de 2 plateaux dont l'un est muni d'une rotule) et exercer l'effort de façon continue à vitesse constante ( $v = 11,5 \text{ kgf /s}$ ) jusqu'à rupture de l'éprouvette. La durée de l'essai est de 1,5 à 2 min. Déterminer la charge maximale P. L'essai terminé , déterminer l'humidité des éprouvettes selon NFB51-004.

### 3.3.2 TRAITEMENT DES RESULTATS:

Calculer la contrainte de rupture en compression axiale  $C_H$  de chaque éprouvette à l'humidité H au moment de l'essai en MPa :  $C_H = P / ab$  ; où P charge maximale en N; a et b dimensions , en mm, de la section de l'éprouvette. Calculer la contrainte de rupture en compression axiale à H=12% à l'aide de la formule:  $C_{12} = C_H [ 1 + c (H-12)]$  Le coefficient c est déterminé sur un lot d'éprouvette entre 18% et 7% d'humidité ou pris par défaut =0,04.

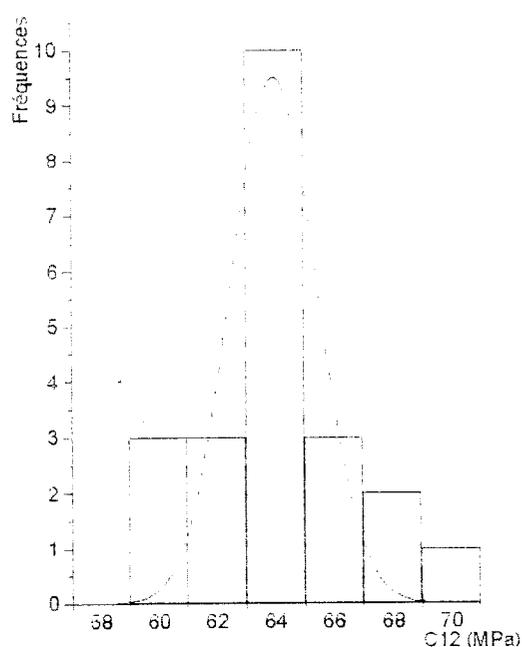
### 3.3.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS:

Pour l'interprétation de nos résultats, nous nous sommes référés soit aux résultats des travaux de recherche, donnés par la bibliographie, soit aux normes.

**3.3.3.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.** Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau n°3.4, où sont indiqués la charge à la rupture P (N), la contrainte de rupture à l'humidité de l'expérience, la contrainte de rupture à l'humidité de H =12% ainsi que la densité correspondante D12%. Enfin , on indique également le mode de rupture observé lors de la rupture de l'échantillon. Les valeurs de la contrainte de rupture en compression axiale sont représentées graphiquement et se distribuent selon une loi normale ( courbe en cloche : graphique n°3.1). Pour le cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse le coefficient de variation trouvé ( $cv = 3,86\%$ ), est meilleur que celui donné par la norme ISO 3129-1975, ( $cv = 13 \%$ ) et la série des valeurs mesurées sur la contrainte de rupture en compression axiale peut être considérée comme homogène. Les faibles dispersions enregistrées sont liées aussi à l'endroit de prélèvement des échantillons, la densité moyenne est déterminée avec un coefficient de variation  $cv=7,41\%$  , qui reste faible par rapport à celui donné par la norme ISO 3129-1975 ( $cv=10\%$ ). De plus, nous avons tracé sur le même graphe et à titre de comparaison, la courbe de Gauss théorique et l'histogramme des valeurs observées (graphique n°3.1)

TABLEAU N°3.4 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Ech.	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	24454.55	20.46	20X20	61.21	13.13	63.82	0.85
S	1826.25	1.73	-	4.40	1.01	2.46	0.06
CV (%)	7.47	8.47	-	7.19	7.70	3.86	7.41

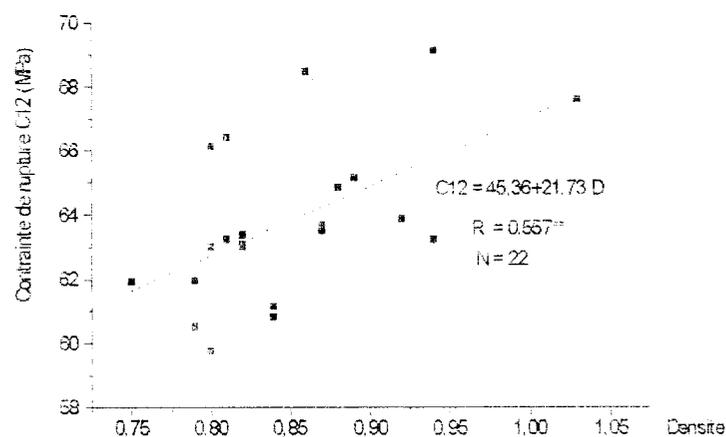


Graphique n°3 1 Contrainte de rupture en compression axiale à H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

a) Etude des corrélations densité - contrainte à la rupture en compression axiale: La densité est un critère de qualité très important, elle est liée aux propriétés mécaniques du matériau bois. Une simple mesure de densité peut souvent donner un excellent renseignement sur les propriétés mécaniques. De plus que ce soit en traction, compression, flexion statique ou cisaillement, une relation linéaire entre la contrainte de rupture est généralement observée par différents chercheurs [32]. Pour le cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse,, l'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:

$C_{12} = 45,36 + 21,73 D$ , avec un coefficient de corrélation  $R = 0,557^{**}$  significatif au seuil de probabilité de 99%. Le résultat est obtenu avec une précision supérieure à

belle fixée par la norme ISO 3129-1975 ( seuil de 95%). La relation est représentée sur le graphique n°3.2.

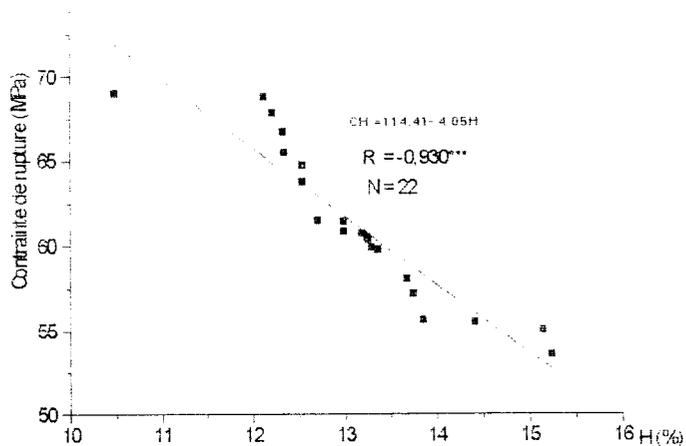


Graphique n°3.2 Relation entre densité et contrainte de rupture en compression axiale à H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

### c) Etude des corrélations humidité - contrainte à la rupture en compression

axiale: Le critère humidité influe considérablement sur les propriétés mécaniques du bois. Au dessous du point de saturation des fibres , les modules d'élasticité et les résistances mécaniques augmentent; une relation linéaire est utilisée entre H = 8 et 22% [29]. L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:

$C_H = 114,41 - 4,05 H$  avec  $R = -0,930^{***}$  , la corrélation est hautement significative (graphique n°3.3).



Graphique n°3.3 Relation entre humidité et contrainte de rupture en compression axiale. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

La dispersion des résultats est réduite, en rapportant la contrainte de rupture  $C_{15}$  à la masse volumique  $\rho_{15}$ , on définit la cote de qualité statique  $S_t = C_{15} / 100 \rho_{15}$ , qui permet de caractériser les matériaux à poids égal et les bois entre-eux. De même , on définit la cote de qualité spécifique  $S_p = C_{15} / 100 (\rho_{15})^2$  , à peu près constante pour

une essence donnée et caractérisant celle-ci. Le tableau n°3.5, indique la qualification des feuillus en fonction de ces 2 facteurs, selon la norme NF B51-002.

**Tableau n°3.5 Qualification bois feuillus en fonction de leur résistance à la rupture et cotes de qualité à H =15%.**

Catégorie	Tendres		Mi -durs		Durs		Très durs	
	$C_{15}$ (bar)	$S_t$						
Feuillus:								
Inférieur	200-300	$S_t \leq 7$	275-375	$S_t \leq 6$	400-500	$S_t \leq 6$	500-600	$S_t \leq 7$
Moyen	300-400	$7 < S_t \leq 8$	375-475	$6 < S_t \leq 7$	500-700	$6 < S_t \leq 7$	600-800	$7 < S_t \leq 8$
Supérieur	400-600	$S_t \geq 8$	475-600	$S_t \geq 7$	700-800	$S_t \geq 7$	800-1000	$S_t \geq 6$
Cote	$S_o$	$30 > S_o$	$12,5 > S_o$		$19 > S_o > 8$		$S_o > 8$	
spécifique		12,5		>9				

D'après les valeurs calculées, on trouve  $S_t = 6,53$ ;  $S_o = 7,59$  avec  $C_{15} = 561,61$  bars et  $\rho_{15} = 0,66$  ( $\rho_{12} = 0,85$  g / cm<sup>3</sup>); l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse est qualifié de feuillu inférieur très dur et lourd. La masse volumique (ou densité) intervient également pour qualifier ce type de bois selon le tableau n°3.6, donné par la même norme. L'Eucalyptus camaldulensis avec collapse est qualifié de bois lourd.

**Tableau n°3.6 Qualification des bois de feuillus en fonction de leurs masses volumiques à H =15%.**

Masse volumique à 15% (g / cm <sup>3</sup> )	Qualification
Au dessous de 0,5	Très légers
0,5 à 0,65	Légers
0,65 à 0,80	Mi-lourds
0,80 à 1	Lourds
Au dessus de 1	Très lourds

c) Mode de rupture: Le faciès de rupture observé montre que la rupture s'est produite pour l'ensemble des éprouvettes testées, par une rupture par cisaillement selon un plan oblique à 45°; plan contenant le plan de faiblesse LR (rayons ligneux du matériau bois). Cette rupture est due au flambage des fibres.

d) **Conclusion:** L'Eucalyptus camaldulensis avec collapse est qualifié de feuillu inférieur très dur et lourd. La rupture se produit selon un plan orienté à 45°, contenant le plan de faiblesse LR (rayons ligneux).

### 3.3.3.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse:

Les résultats d'essais sur la détermination de la contrainte de rupture moyenne en compression axiale sont donnés par le tableau n°3.7. La contrainte est calculée avec un coefficient de variation  $cv = 4,07\%$ ; très inférieur à celui donné par la norme ISO :  $cv = 13\%$ . Donc la série des valeurs mesurées est homogène. Il en est de même pour la densité, on trouve un  $cv = 5,19\%$ , qui reste inférieur à celui de la norme ISO :  $cv = 10\%$ . Les valeurs de la contrainte de rupture  $C_{12}$  se distribuent suivant une loi normale (courbe en cloche).

**TABLEAU N°3.7 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité  $H = 12\%$ . Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

Ech.	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	20500,00	17,25	20x20	54,70	12,48	55,62	0,77
S	1357,81	0,94	-	3,43	1,30	2,26	0,04
CV(%)	6,62	5,43	-	6,27	10,44	4,07	5,19

a) **Relation densité - contrainte de rupture:** L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_{12} = 30,16 + 33,46 D$  avec  $R = 0,638^{***}$ .

b) **Relation humidité - contrainte de rupture:** L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_H = 79,94 - 2,02 H$  avec  $R = -0,768^{***}$ .

#### Conclusions:

a) **Mode de rupture:** Le faciès de rupture observé sur l'ensemble des éprouvettes est une rupture par cisaillement selon un plan orienté à 45°.

b) **Qualification:** Avec une cote statique calculée  $S_t = 6,27$ , une cote spécifique  $S_p = 8,04$ , une contrainte à la rupture  $C_{15} = 489,45$  bars et une densité moyenne de  $\rho_{15} = 0,78$  (cm<sup>3</sup>), le bois d'Eucalyptus camaldulensis sans collapse est qualifié comme un feuillu moyen dur et mi-lourd.

#### c) Comparaison de l'Eucalyptus camaldulensis avec et sans collapse:

L'Eucalyptus camaldulensis avec collapse possède une densité et une résistance à la rupture en compression axiale supérieures (soit une augmentation de plus de

10,38% pour la densité et plus de 14,74% pour la résistance à la rupture) à celui du bois sans collapse. La résistance à la rupture dans les 2 cas est corrélée positivement à la densité avec des coefficients de corrélation supérieurs aux seuils de signification fixes par la norme ISO (95% contre 99% calculé). Le mode de rupture observé dans les 2 cas est identique: rupture selon un plan incliné à 45°. Le bois d'Eucalyptus camadulensis avec collapse est qualifié de feuillu inférieur très dur et lourd; alors que le bois sans collapse de feuillu moyen dur et mi-lourd.

### 3.3.3.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:

Les résultats d'essais sur la contrainte de rupture sont donnés dans le tableau n°3.8.

**TABLEAU N°3.8 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

Ech.	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	23336,36	20,86	20x20	62,66	11,91	62,24	0,93
S	1646,22	1,08	-	4,28	0,91	2,30	0,04
CV(%)	7,05	5,18	-	6,83	7,63	3,69	4,81

#### a) Valeurs moyennes des contrainte à la rupture et densité moyennes:

Elles ont été déterminées avec un coefficient de variation cv =3,69% contre un cv = 13% (norme ISO) pour la contrainte à la rupture moyenne et un cv =4,81% pour la densité, contre 10% (norme ISO). Donc les 2 séries de valeurs sont homogènes.

Les valeurs de la contrainte de rupture C<sub>12</sub> se distribuent suivant une loi normale (courbe en cloche). Elle est légèrement assymétrique à gauche. Ceci montre la variabilité du matériau au sein d'une même espèce et au même lieu de prélèvement des éprouvettes.

b) Relation densité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_{12} = 23,29 + 41,69 D$  avec  $R = 0,778^{***}$ .

c) Relation humidité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_H = 115,01 - 4,39 H$  avec  $R = - 0,932^{***}$ .

#### Conclusions:

a) Mode de rupture: Le faciès de rupture observé sur l'ensemble des éprouvettes est une rupture par cisaillement selon un plan orienté à 45°.

b) Qualification: Avec une cote statique calculée  $S_t = 5,83$ , une cote spécifique  $S_b = 6,19$ , une contrainte à la rupture  $C_{15} = 547,71$  bars et une densité moyenne de  $\rho_{15}$

$\rho_{12} = 0,94 \text{ (g/cm}^3\text{)}$  , ( $\rho_{12} = 0,93 \text{ g/cm}^3$ ), le bois d'Eucalyptus cladocalyx avec collapse est qualifié comme un feuillu inférieur très dur et lourd.

### 3.3.3.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse:

Les résultats d'essais sur la contrainte de rupture sont donnés dans le tableau n°3.9

**TABLEAU N°3.9 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

N=22	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (Mpa)	D12% (g/cm3)
Moy	23045,45	22,88	20x20	55,82	14,80	61,90	0,91
S	1397,31	1,24	-	4,09	1,18	2,57	0,04
CV(%)	6,06	5,41	-	7,33	8,00	4,16	4,93

a) Valeurs moyennes des contrainte à la rupture et densité:

Elles sont été déterminées avec un coefficient de variation cv =4,16% contre cv = 4,93% (norme ISO) pour la contrainte à la rupture moyenne et un cv =4,93% pour la densité, contre 10% (norme ISO). Donc les 2 séries de valeurs sont homogènes.

Les valeurs de la contrainte de rupture C<sub>12</sub> se distribuent suivant une loi normale (courbe en cloche).

b) Relation densité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_{12} = 34,23 + 30,52D$  avec  $R = 0,526^*$ .

c) Relation humidité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_H = 100,86 - 3,04 H$  avec  $R = - 0,880^{***}$ .

Conclusions:

a) Mode de rupture: Le faciés de rupture observé sur éprouvettes est une rupture par cisaillement selon un plan orienté à 45° (BB) , par fendage longitudinal (FL) et mixte (M).

b) Qualification: Avec une cote statique calculée  $S_t = 5,92$  , une cote spécifique  $S_p = 6,43$  , une contrainte à la rupture  $C_{15} = 544,72$  bars et une densité moyenne de  $\rho_{15} = 0,92 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{12} = 0,91 \text{ g/cm}^3$ ), le bois d'Eucalyptus cladocalyx sans collapse est qualifié comme un feuillu inférieur très dur et lourd.

c) Comparaison de l'Eucalyptus cladocalyx avec et sans collapse:L'Eucalyptus cladocalyx avec collapse possède une densité et une résistance à la rupture en compression axiale supérieures ( plus de 2,17% pour la densité et plus de 0,55%

pour la résistance à la rupture) à celui du bois sans collapse. La résistance à la rupture dans les 2 cas est corrélée positivement à la densité avec des coefficients de corrélation supérieurs aux seuils de signification fixés par la norme ISO (95% contre 99% calculé). Le mode de rupture observé pour les éprouvettes sélectionnées: dans le cas du bois avec collapse est une rupture selon un plan incliné à 45°; alors que dans le cas du bois sans collapse des modes de rupture différents: par cisaillement à 45° (BB); par fendage longitudinal (FL) et par rupture mixte (M). Ces observations se limitent uniquement à l'échantillonnage sélectionné (N =22); toutefois, dans le lot d'échantillons testés avant sélection (Plus de 50 éprouvettes); il n'ya pas de différences notables entre les modes de rupture pour le cas de bois avec collapse et sans collapse. Les 2 types de bois sont qualifiés de feuillus inférieurs très durs et lourds compte tenu de leurs cotes de qualités , résistances mécaniques et densités .

3.3.5 Cas de l'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse: Les résultats d'essais sur la contrainte de rupture sont donnés dans le tableau n°3.10.

**TABLEAU N°3.10 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse.**

N°	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (Mpa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	22781,82	23,86	20x20	61,46	12,65	63,00	1,07
S	1012,48	0,53	-	2,85	0,58	1,80	0,03
CV (%)	4,44	2,23	-	4,63	4,58	2,86	2,59

a) valeurs moyennes des contrainte à la rupture et densité moyenne:

Elles sont déterminées avec un coefficient de variation cv =2,86% contre cv = 13% (norme ISO) pour la contrainte à la rupture moyenne et un cv =2,59% pour la densité, contre 10% (norme ISO). Donc les 2 séries de valeurs sont homogènes. Les valeurs de la contrainte de rupture C<sub>12</sub> se distribuent suivant une loi normale (courbe en cloche).

b) Relation densité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_{12} = 8,57+50,76 D$  avec  $R = 0,758^{***}$  .

c) Relation humidité - contrainte de rupture: L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_H = 115,63- 4,28 H$  avec  $R = - 0,871^{***}$  .

### Conclusions:

a) **Mode de rupture:** Le faciés de rupture observé sur éprouvettes sélectionnées (N =22) est une rupture par cisaillement selon un plan orienté à 45° (BB). Toutefois, on a aussi observé sur le lot d'échantillons avant sélection (N =50), les trois modes de rupture: par cisaillement à 45° (BB), par fendage longitudinal (FL) et mixte (M).

b) **Qualification:** Avec une cote statique calculée  $S_t = 5,09$ , une cote spécifique  $S_p = 4,67$ , une contrainte à la rupture  $C_{15} = 554,4$  bars et une densité moyenne de  $\rho_{15} = 1,09$  g/cm<sup>3</sup> ( $\rho_{12} = 1,07$  g/cm<sup>3</sup>), le bois d'Eucalyptus gomphocephala avec collapse est qualifié comme un feuillu inférieur très dur et lourd.

3.3.3.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse: Les résultats d'essais sur la contrainte de rupture sont donnés dans le tableau n°3.11.

**TABLEAU N°3.11 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=22	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION a x b (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (Mpa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	22336,36	23,71	20x20	55,23	14,78	61,29	0,96
S	2135,76	1,13	-	6,04	0,68	6,04	0,05
CV (%)	9,56	4,76	-	10,93	4,59	9,86	5,60

a) **valeurs moyennes des contrainte à la rupture et densité moyennes:**

Elles sont été déterminées avec un coefficient de variation cv =9,86% contre cv = 13% (norme ISO) pour la contrainte à la rupture moyenne et un cv =5,59% pour la densité, contre 10% (norme ISO). Donc les 2 séries de valeurs sont homogènes.

Les valeurs de la contrainte de rupture C<sub>12</sub> se distribuent suivant une loi normale (courbe en cloche).

b) **Relation densité - contrainte de rupture:** L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_{12} = -14,58 + 78,43 D$  avec  $R = 0,734^{***}$ .

c) **Relation humidité - contrainte de rupture:** L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne l'équation suivante:  $C_H = 127,90 - 4,91 H$  avec  $R = -0,550^{**}$ .

### Conclusions:

a) **Mode de rupture:** Le faciés de rupture observé sur éprouvettes sélectionnées (N =22) est une rupture qui est représentée par les trois modes de rupture: par cisaillement à 45° (BB), par fendage longitudinal (FL) et mixte (M).

b) **Qualification:** Avec une cote statique calculée  $S_t = 5,50$ , une cote spécifique  $S_p = 5,61$ , une contrainte à la rupture  $C_{15} = 539,35$  bars et une densité moyenne de  $\rho_{15} = 0,96 \text{ cm}^3$  ( $\rho_{12} = 0,96 \text{ g/cm}^3$ ), le bois d'*Eucalyptus gomphocephala* sans collapse est qualifié comme un feuillu inférieur très dur et lourd.

c) **Comparaison de l'*Eucalyptus gomphocephala* avec et sans collapse:**

L'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse possède une densité et une résistance à la rupture en compression axiale supérieures ( plus de 11,46% pour la densité et plus de 2,79% pour la résistance à la rupture) à celui du bois sans collapse. La résistance à la rupture dans les 2 cas est corrélée positivement à la densité avec des coefficients de corrélation supérieurs aux seuils de signification fixés par la norme ISO (95% contre 99% calculé). Le modes de rupture observés pour les 2 types de bois sont identiques: rupture par cisaillement à 45°; par fendage longitudinal (FL) et par rupture mixte (M). Les 2 types de bois sont qualifiés de feuillus inférieurs très durs et lourds compte tenu de leurs cotes de qualités, résistances mécaniques et densités.

La synthèse des résultats obtenus est donnée par le tableau n°3.12.

**Tableau n°3.12 Comparaison des 3 espèces d'*Eucalyptus* avec et sans collapse.**

MATERIAUX	$D_{12\%}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$C_{12}$ (MPa)	$C_{15}$ (bar)	$S_t$	$S_p$	Qualification
<b>E. camaldulensis avec collapse</b>	0,85	63,82	561,61	6,53	7,59	Feuillu inférieur très dur et lourd
<b>E. camaldulensis sans collapse</b>	0,77	55,62	489,45	6,27	8,04	Feuillu moyen dur et mi-lourd
<b>E. cladocalyx avec collapse</b>	0,93	62,24	547,71	5,83	6,19	Feuillu inférieur très dur et lourd
<b>E. cladocalyx sans collapse</b>	0,91	61,90	544,72	5,92	6,43	Feuillu inférieur très dur et lourd
<b>E. gomphocephala avec collapse</b>	1,07	63,38	554,4	5,09	4,67	Feuillu inférieur très dur et lourd
<b>E. gomphocephala sans collapse</b>	0,96	61,29	539,35	5,50	5,61	Feuillu inférieur très dur et lourd

**3.3.3.7 CONCLUSION GENERALE:** D'après les résultats obtenus (tableau n°3.12) on constate que : les 3 types de bois possèdent des caractéristiques différentes: Le bois avec collapse est toujours plus dense que celui sans collapse; quelque soit l'espèce considérée. La résistance à la rupture en compression axiale d'un bois avec collapse est toujours supérieure à celle d'un bois sans collapse. Les bois des 3 espèces se classent d'après:

-Leurs densités: Les bois avec et sans collapse augmentent dans l'ordre suivant ( du moins dense au plus dense): *E.camaldulensis* , *E. cladocalyx* et *E.gomphocephala*.

-Leurs résistances: Les bois avec collapse , augmentent dans l'ordre suivant (moins résistant au plus résistant): *E. cladocalyx*, *E.gomphocephala* et *E.camaldulensis* : la résistance à la rupture moyenne devait augmenter en fonction de la densité , mais ce n'est pas le cas: car c'est le *camaldulensis* qui a la densité inférieure , qui possède la plus grande résistance, suivi par le *gomphocephala* de densité la plus élevée et enfin du *cladocalyx* de densité intermédiaire. Cette moindre résistance est due à l'influence du collapse sur la structure du *cladocalyx* et du *gomphocephala* . Par contre, c'est le *camaldulensis* qui est le moins affecté par le phénomène du collapse.

De plus, on constate que c'est aussi le *camaldulensis* qui possède une bonne cote de qualité, suivi en cela par le *cladocalyx* et du *gomphocephala*.

- Pour les bois sans collapse: leurs résistances augmentent dans l'ordre suivant (moins résistant au plus résistant): - *E.camaldulensis*, *E.gomphocephala*, *E. cladocalyx*. C'est l'ordre inverse du classement effectué pour le cas des bois avec collapse. Mais, d'après leurs cotes de qualité ; ils se rangent dans l'ordre suivant: *E.gomphocephala*, *E. cladocalyx*, *E.camaldulensis*. C'est le *camaldulensis* qui a la meilleure cote de qualité. Les bois avec et sans collapse sont classés , d'après leurs cotes de qualité en: feuillus inférieurs, très durs et lourds ; à l'exception de l'*Eucalyptus camaldulensis*(bois sans collapse) ; qui est un feuillu moyen dur et mi-lourd.

**3.4 FLEXION STATIQUE: Détermination du module d'élasticité longitudinal (bois avec et sans collapse) .**

#### **3.4.1 MATERIEL ET METHODE.**

L'essai consiste à déterminer le module d'élasticité en flexion statique, dans la direction parallèle au fil , d'éprouvettes de bois de petites dimensions, de droit fil, sans

noeud ni défaut. L'essai est réalisé conformément à la norme NFB51-016 Décembre 1987 [52].

a) **PRINCIPE:** Détermination du module d'élasticité dans la zone de flexion pure en déformation élastique, d'une éprouvette soumise à une charge progressivement croissante exercée perpendiculairement au fil du bois .

b) **MATERIEL UTILISE:** Machine d'essai de compression (10T ) assurant une vitesse constante soit de l'augmentation de la charge, soit du déplacement de la tête mobile et permettant de mesurer la charge exercée à 1% au moins (photo n°6).

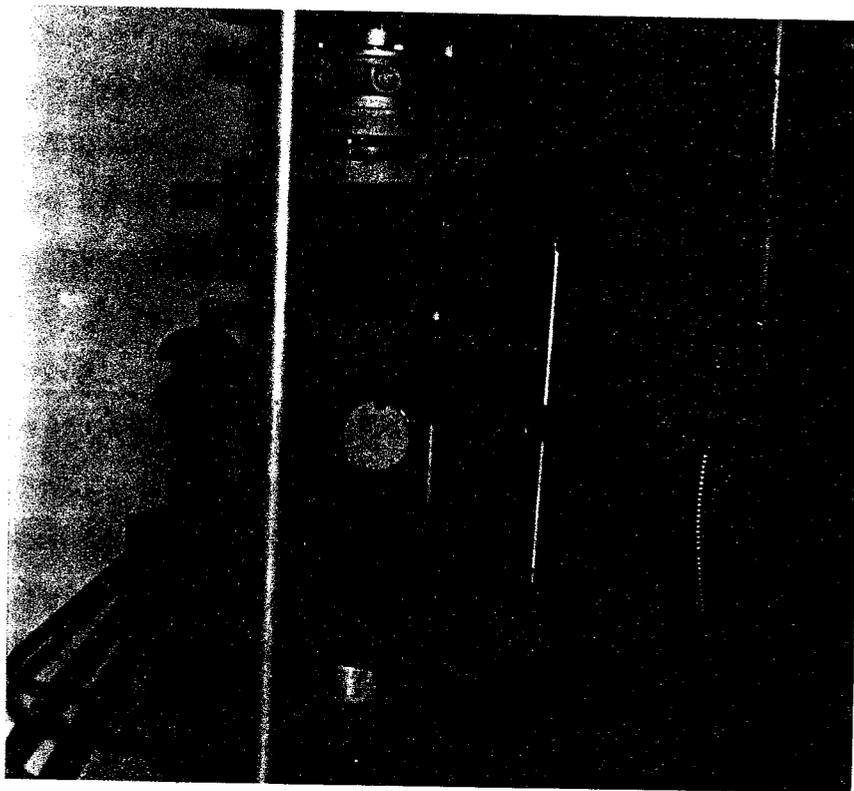


Photo n°6: Essai de flexion: banc d'essai pour la détermination du module d'élasticité.

-dispositif assurant la flexion de l'éprouvette par application de la charge; il est composé : D'un banc de flexion (photo n°6) constitué de 2 appuis cylindriques horizontaux libres en rotation, d'un diamètre de 60mm et distants entre axes d'une valeur  $l$ ; d'un plateau avec rotule ; d'un système de chargement comportant 2 têtes cylindriques horizontales de mêmes diamètres que les appuis(60mm) et distants entre axes d'une valeur  $a$  ; l'une de ces têtes est libre en rotation . Elle répartit symétriquement la charge totale de flexion en 2 charges égales, à équidistance des appuis du banc de flexion.

-Appareil pour mesurer la flèche de l'éprouvette soumise à la flexion pure, composé des éléments suivants:

a) un support reposant, par l'intermédiaire de 2 appuis cylindriques de 10mm de diamètre espacés entre axes de 120mm, sur la face inférieure de l'éprouvette, symétriquement par rapport aux têtes de chargement et aux appuis,

b) un comparateur de mesurage des déplacements verticaux du point central de la face inférieure de l'éprouvette ( précision de  $\pm 0,01\text{mm}$ ).

-Règle pour le mesurage des dimensions de la section de l'éprouvette avec une précision de 0,05 mm près.

-Appareil pour la détermination de l'humidité selon la norme NFB51-004.

**c) PRECISION DE MESURAGE:**

Dimensions  $\pm 0,5\text{mm}$ ; Flèche  $\pm 0,01\text{mm}$ ; Charge  $\pm 1\%$ .

**d) EPROUVETTES:** Constituées d'un prisme droit à section carrée de  $20 \pm 0,2\text{mm}$  de côté et une longueur parallèle au fil du bois de  $360 \pm 4\text{mm}$ .

**e) METHODE:**

-Mesurer à mi- longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale et la longueur et peser l'éprouvette avant l'essai.

-Placer l'éprouvette en appui sur le banc d'essai de façon que la charge soit appliquée parallèlement aux cernes , selon les indications de la figure1, où  $a=160\text{mm}$ ,  $l=320\text{mm}$ .

-Placer le support muni de l'instrument de mesure ( comparateur )de la flèche sous la face inférieure de l'éprouvette, à égale distance des têtes de chargement et des appuis (figure 2).

-Effectuer un essai préalable et vérifier que, dans l'intervalle des charges appliquées, la courbe " charge- flèche" est linéaire; dans le cas contraire modifier les charges minimale et maximale afin d'effectuer les mesurages dans la partie rectiligne de la courbe.

-Placer les 2 têtes cylindriques de chargement en contact avec la face supérieure; charger jusqu'à  $P1=600\text{N}$  en  $30 \pm 10\text{s}$  à vitesse constante ( $11,5\text{kgf /s}$ ) d'application de la charge ou du déplacement relatif du plateau rotulé par rapport au banc de flexion, puis décharger dans les mêmes conditions jusqu'à  $P2=200\text{N}$ ; répéter 2 fois le même cycle de chargement et de déchargement .

Lorsque la charge est ramenée à 200N, mesurer la flèche en moins de 10s puis recharger sous 600N dans les mêmes conditions que précédemment et répéter la même mesure de flèche. Mesurer la flèche maximale  $f_1$  et minimale  $f_2$ , sous 3 cycles de chargement et de déchargement successifs. Dans les 2 cas où, au cours d'un essai, la limite de linéarité est dépassée, les mesures correspondantes doivent être éliminées de la détermination du module d'élasticité en flexion. A l'issue de l'essai, déterminer l'humidité des éprouvettes selon la norme NFB51-004.

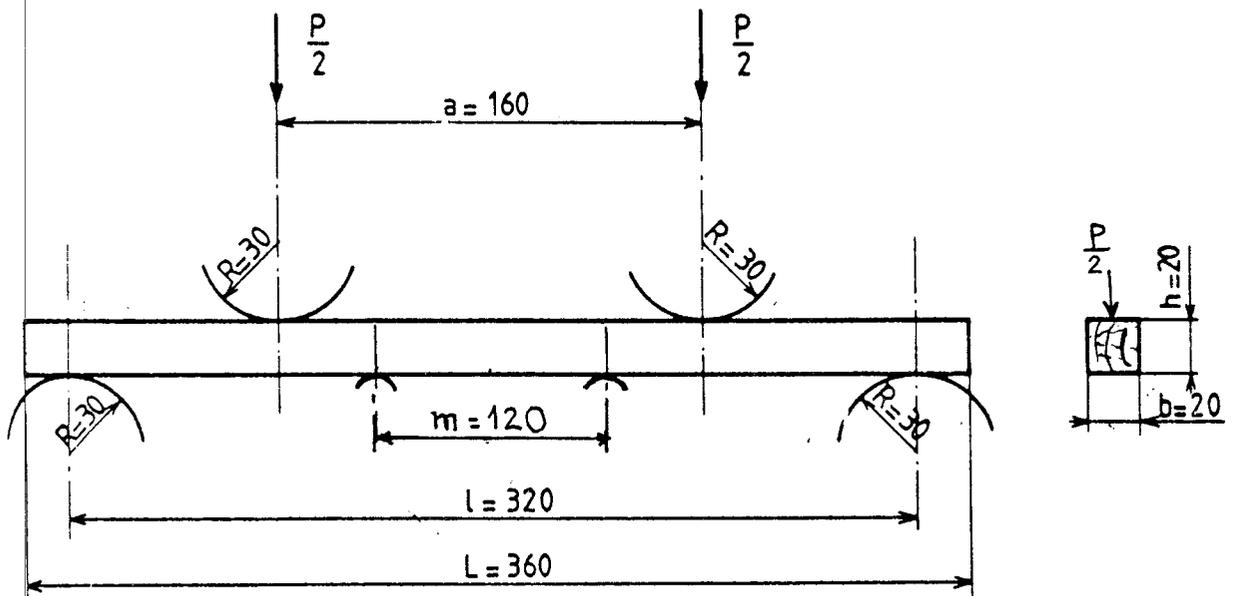


Figure n°1: Schéma de principe: éprouvette posée sur appuis cylindriques.

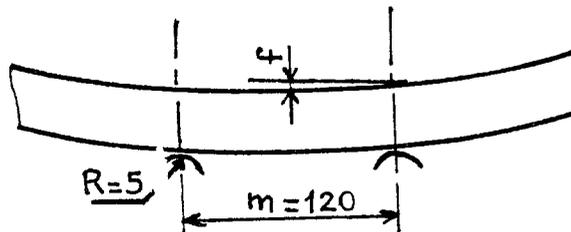


Figure n°2: Eprouvette fléchie en partie centrale (zone de flexion pure).

**3.4.2 TRAITEMENTS DES RESULTATS:** Calculer le module d'élasticité en flexion parallèle aux fibres du bois  $E_{LH}$  de chaque éprouvette à l'humidité  $H$  au moment de l'essai à l'aide de la formule suivante:  $E_{LH} = 3P(l-a)m^2 / 8bh^3 f$  Où  $P$  est la charge totale en flexion en newtons ( N ), égale à la moyenne des différences entre les charges maximale  $P_1$  et minimale  $P_2$  appliquées au cours des trois cycles,

est la distance , en millimètres ( mm ), entre les axes des appuis cylindriques,  
 a est la distance , en millimètres (mm), entre les axes des têtes de chargement , m  
 est la distance , mesurée en millimètres, entre les axes des cylindres du support de  
 l'instrument de mesurage de la flèche, b est la largeur mesurée en mm, de  
 l'éprouvette, h est la hauteur , mesurée en mm, de l'éprouvette, f est la flèche , en mm,  
 de l'éprouvette dans la zone de flexion pure égale à la moyenne des différences entre  
 les flèches maximale  $f_1$  et minimale  $f_2$  relevées au cours des 3 cycles .

Si l'humidité de l'éprouvette, au moment de l'essai diffère de 12%, tout en restant  
 dans les valeurs comprises entre 10% et 14%, on ramène le module d'élasticité  
 parallèlement aux fibres du bois  $E_{LH}$  à l'humidité de 12% à l'aide de la formule:

$E_{L2} = E_{LH} [1 + c_L(H-12)]$  Où  $c_L$  est le coefficient de correction du module d'élasticité en  
 flexion en fonction de l'humidité pour l'essence considérée. Le coefficient  $c_L$  est  
 déterminé sur un lot d'éprouvettes de même bois , essayées à des humidités allant  
 de 7% à 18%.

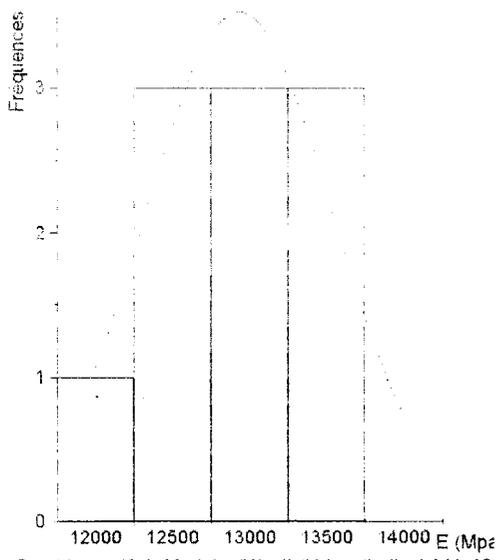
**3.4.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS:** Les essais portent sur la détermination  
 expérimentale du module d'élasticité longitudinal des 3 espèces d'Eucalyptus avec et  
 sans collapse:

**3.4.3.1 Module d' élasticité moyen de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse:**

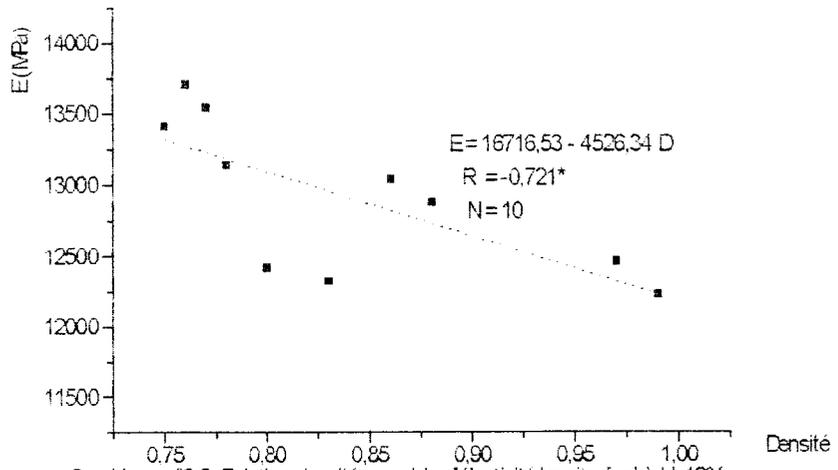
Les flèches mesurées au cours de l'essai, sont désignés par les couplets (F1, F2);  
 (F3, F4); (F5; F6) ; représentant les 3 répétitions du cycle d' essais avec F1,F3,F5:  
 flèches maximales obtenues avec la charge maximale (P=600N); F2, F4,F6: flèches  
 minimales obtenues avec la charge minimale (P=200N);les différences sont  
 désignées respectivement par DF1, DF2, DF3; et la moyenne des différences des  
 mesures des flèches, par f : flèche moyenne (mm). Ces résultats sont accompagnés  
 de l'humidité et la densité du bois (tableau n°3.1). Les valeurs moyennes sont  
 déterminées en tenant compte des coefficients de variation moyens donnés par la  
 norme ISO. Les valeurs du module d'élasticité longitudinal en fonction des  
 fréquences observées , ainsi que les corrélations module d'élasticité - densité;  
 module d'élasticité - humidité ; sont représentées par les graphiques n°3.1, 3.2, 3.3.

TABLEAU N°3.1 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

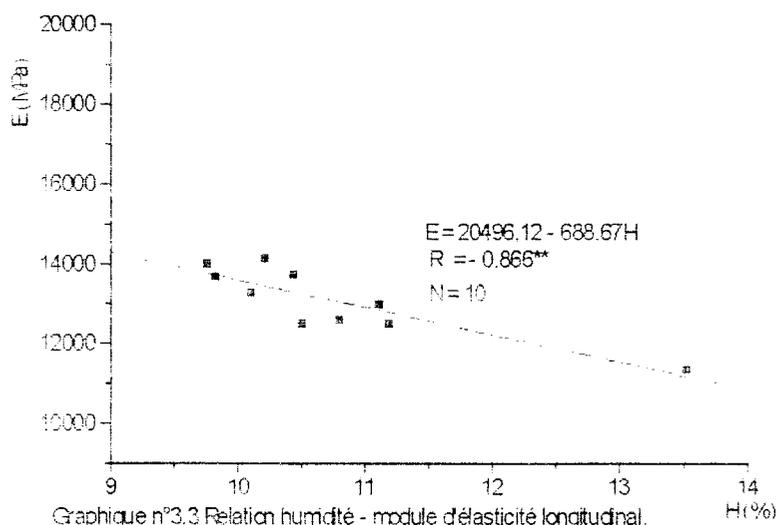
N=10	DF1 (mm)	DF2 (mm)	DF3 (mm)	f (mm)	$\bar{E}_H$ (MPa)	H (%)	$E_{12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,19	0,18	0,19	0,19	13085,30	10,74	12918,93	0,84
S	0,06	0,05	0,06	0,05	583,50	1,09	537,78	0,09
CV	29,74	27,90	29,85	28,10	4,46	10,17	4,16	10,36



Graphique n°3.1. Module d'élasticité longitudinal à H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.



Graphique n°3.2. Relation densité - module d'élasticité longitudinal à H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.



Graphique n°3.3 Relation humidité - module d'élasticité longitudinal.

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Les résultats obtenus sont les suivants: Le module d'élasticité de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse est calculé avec un  $cv = 4,16\%$  (Norme ISO:  $cv = 20\%$ ); la densité = 0,84 est calculée avec un  $cv = 10,36\%$  (norme ISO:  $cv = 10\%$ ). La valeur moyenne trouvée de 12918,93 MPa est d'un ordre de grandeur comparable aux valeurs moyennes trouvées par certains auteurs [53]; qui se situent dans la plage de 6700 à 11000 MPa. Les écarts sont dus à l'influence des facteurs écologiques et édaphiques du lieu où l'arbre est planté. La corrélation trouvée entre le module d'élasticité et la densité est très importante:  $E = 16716,53 - 4526,34 D$  ( $R = -0,721^*$ ); cette corrélation nous indique que la densité est corrélée négativement au module d'élasticité; plus la densité augmente plus le module d'élasticité du matériau avec collapse, diminue. Donc son comportement mécanique n'obéit plus à la théorie de Guitard [56]; où la densité est liée positivement aux constantes élastiques du matériau bois. Le bois collapsé a acquis donc une autre structure, il s'est densifié (densité = 0,84; qualification: bois lourd), suite à sa transformation lors de son séchage: forte rétractibilité due au phénomène du collapse; les fibres de bois se sont alors entassées et le bois est devenu dense. Il a consommé un peu de son élasticité et se comporte comme un matériau élasto-visco-plastique. L'influence de l'humidité sur le module d'élasticité est importante, l'équation trouvée est une relation linéaire (admise par plusieurs auteurs [29]):

$$E = 20496,12 - 688,67H \quad (R = -0,867^{***}).$$

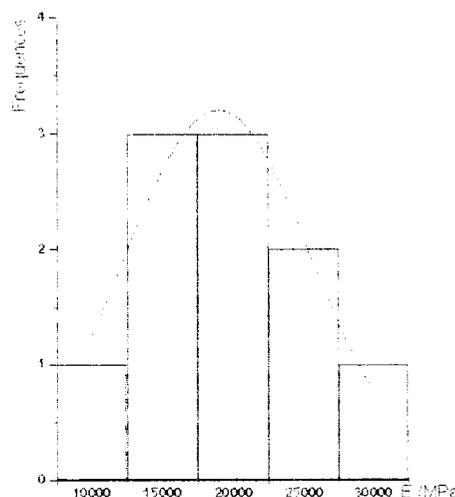
3.4.3.2 Module d'élasticité moyen de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapsé:  
 Les résultats des mesures des modules d'élasticité sont donnés par le tableau n°3.2 et suite. Les valeurs du module d'élasticité longitudinal en fonction des fréquences observées, ainsi que les corrélations module d'élasticité - densité: module d'élasticité - humidité : sont représentées par les graphiques n°3.4, 3.5, 3.6.

TABLEAU N°3.2 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapsé.

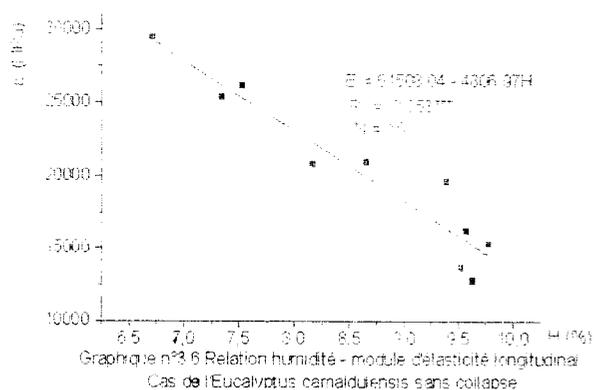
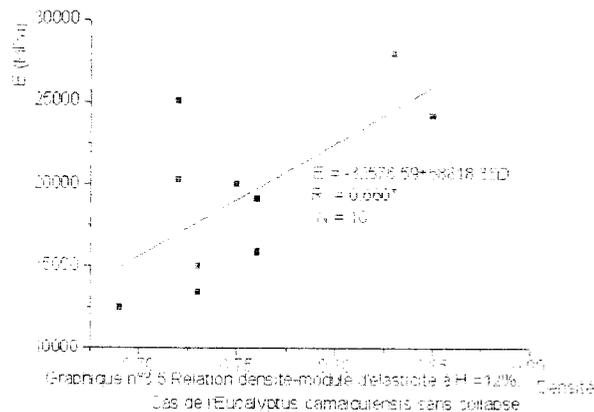
ECH	F1 (mm)	F2 (mm)	F3 (mm)	F4 (mm)	F5 (mm)	F6 (mm)	HXB (mm)	M <sub>H</sub> (g)
Moy	0,13	0,05	0,12	0,02	0,12	0,01	20x20	113,39
S	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	-	10,36
CV(%)	41,28	67,23	21,01	95,25	25,44	163,73	-	9,14

TABLEAU N°3.2 (suite) : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapsé.

ECH	DF1 (mm)	DF2 (mm)	DF3 (mm)	f (mm)	E <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	E <sub>12</sub> (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,08	0,11	0,11	0,10	20043,07	8,63	19312,44	0,75
S	0,06	0,03	0,03	0,02	5653,31	1,12	5225,15	0,05
CV (%)	67,49	30,66	29,82	24,44	28,21	13,00	27,06	6,67



Graphique n°3.4 Module d'élasticité longitudinal à H = 12% Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapsé



Les résultats obtenus sont les suivants:

Le module d'élasticité de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse est calculé avec un  $cv = 27,06\%$  (Norme ISO:  $cv = 20\%$ ); la densité ( $D_{12\%} = 0,75$ ) est calculée avec un  $cv = 6,67\%$  (norme ISO:  $cv = 10\%$ ). La valeur moyenne trouvée de 19312 MPa est supérieure à celle du bois avec collapse. D'où le bois sans collapse est plus élastique. La corrélation trouvée entre le module d'élasticité et la densité du bois sans collapse est tout à fait, le contraire de celle trouvée pour le bois avec collapse:

$E = -32576,56 + 68818,31D$  ( $R = 0,660^*$ ); cette corrélation nous indique que la densité est corrélée positivement au module d'élasticité; plus la densité augmente plus le module d'élasticité du matériau sans collapse, augmente. Donc son comportement mécanique obéit dans ce cas à la théorie de Guitard [56]; la densité est liée positivement aux constantes élastiques du matériau bois. Le bois sans collapse a gardé son élasticité, sa structure initiale n'a pas été fondamentalement modifiée après le traitement par reconditionnement. Les fibres du bois ont gardé leur forme initiale après séchage, sans déformation appréciable (densité = 0,75 : mi -

lourd). L'influence du facteur humidité sur le module d'élasticité, demeure la même : la relation trouvée est la suivante:  $E = 61508,04 + 4806,97H$  ( $R = -0,953^{***}$ ).

#### 3.4.3.3 Module d' élasticité moyen de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:

Les résultats des mesures des modules d'élasticité sont donnés par le tableau n°3.3 .

**TABLEAU N°3.3 : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

N=10	F1	F2	F3	F4	F5	F6	HXB	M <sub>H</sub>
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)
Moy	0,15	0,03	0,14	0,01	0,13	0,00	20x20	123,90
S	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	-	2,86
CV(%)	7,78	43,74	8,97	68,64	12,23	60,38	-	2,31

**TABLEAU N°3.3 : (suite) . Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

N=10	DF1	DF2	DF3	f	E <sub>H</sub>	H	E <sub>12</sub>	D12%
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,12	0,13	0,13	0,13	21241,08	11,63	21156,12	0,94
S	0,01	0,01	0,02	0,01	1739,50	0,51	1659,68	0,03
CV(%)	11,13	9,96	12,33	8,97	8,19	4,36	7,84	2,86

Les résultats obtenus sont les suivants: Le module d'élasticité de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse est calculé avec un cv =7,84% (Norme ISO: cv =20%); la densité (D12% =0,94: matériau lourd) est calculée avec un cv = 2,86% (norme ISO: cv = 10%). La valeur moyenne trouvée est de 21156,12 MPa. La corrélation trouvée est la suivante:  $E = 12440,66 - 108529,38D$  ( $R = -0,631^*$ ) . La corrélation étant négative, le matériau avec collapse obéit donc, à la même loi de comportement mécanique (élasto-visco--plastique) . La relation entre l'humidité et le module d'élasticité est la suivante:  $E = 50175,43 - 2488,55H$  ( $R = -0,725^{***}$ ).

#### 3.4.3.4 Module d' élasticité moyen de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse :

Les résultats des mesures des modules d'élasticité sont donnés par le tableau n°3.4 et suite. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII .

**TABLEAU N°3.4 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H = 12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

N=10	F1 (mm)	F2 (mm)	F3 (mm)	F4 (mm)	F5 (mm)	F6 (mm)	HXB (mm)	M <sub>H</sub> (g)
Moy	0,12	0,06	0,09	0,01	0,08	0,00	20x20	131,08
S	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	-	5,83
CV(%)	30,43	75,71	30,01	159,05	13,97	37,16	-	4,45

**TABLEAU N°3.4 (suite) Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H = 12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

N=10	DF1 (mm)	DF2 (mm)	DF3 (mm)	f (mm)	E <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	E <sub>12</sub> (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,06	0,08	0,08	0,07	29757,33	10,14	29199,54	0,91
S	0,01	0,01	0,01	0,01	1883,62	0,35	1785,03	0,04
CV(%)	18,20	11,69	15,46	6,94	6,33	3,41	6,11	4,08

Les résultats obtenus sont les suivants: Le module d'élasticité de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse est calculé avec un cv = 6,11% (Norme ISO: cv = 20%); la densité (D12% = 0,91: matériau lourd) est calculée avec un cv = 4,08% (norme ISO: cv = 10%). La valeur moyenne trouvée est de 29199,54 MPa. Elle est supérieure à celle trouvée pour le bois avec collapse. Le bois sans collapse est moins dense que le bois avec collapse. La corrélation trouvée est la suivante:  $E = 8033,74 + 40742,09D$  (  $R = 0,806^{* **}$  ). La corrélation étant positive, le matériau sans collapse obéit donc, à la Loi de Guitard [56]. La relation entre l'humidité et le module d'élasticité est la suivante:  $E = 64506,41 - 3437,47H$  (  $R = -0,631^{*}$  ).

**3.4.3.5 Module d'élasticité moyen de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:** Les résultats des mesures des modules d'élasticité sont donnés par le tableau n°3.5 Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII.

**TABLEAU N°3.5 : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=10	F1 (mm)	F2 (mm)	F3 (mm)	F4 (mm)	F5 (mm)	F6 (mm)	HXB (mm)	M <sub>H</sub> (g)
Moy	0,11	0,03	0,09	0,01	0,09	0,01	20x20	141,98
S	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	7,64
CV	19,91	34,60	13,36	102,07	14,06	117,67	-	5,38

**TABLEAU N°3.5 : (suite) Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=10	DF1	DF2	DF3	f	E <sub>H</sub>	H	E <sub>12</sub>	D12%
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,08	0,08	0,08	0,08	32037,45	13,16	32400,67	1,05
S	0,01	0,01	0,01	0,01	2022,67	0,48	1905,90	0,04
CV(%)	18,82	15,56	16,29	7,13	6,31	3,62	5,88	3,86

Les résultats obtenus sont les suivants: Le module d'élasticité de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse est calculé avec un cv =5,86% (Norme ISO: cv =20%); la densité (D12% =1,05: matériau très lourd) est calculée avec un cv = 3,86% (norme ISO: cv = 10%). La valeur moyenne trouvée est de 32400.67 Mpa. La corrélation trouvée est la suivante:  $E = 81591,65 - 46715,08D$  ( $R = -0,967^{***}$ ). La corrélation étant négative, le matériau avec collapse obéit donc, à une Loi de comportement elasto-visco-plastique. La relation trouvée, entre l'humidité et le module d'élasticité est la suivante:  $E = 82070,27 - 3802,46H$  ( $R = -0,896^{***}$ ).

**3.4.3.6 Module d'élasticité moyen de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse:** Les résultats des mesures des modules d'élasticité sont donnés par le tableau n°3.6. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII.

**TABLEAU N°3.6 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=10	F1	F2	F3	F4	F5	F6	HXB	M <sub>H</sub>
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)
Moy	0,09	0,04	0,07	0,01	0,07	0,01	20x20	148,69
S	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	-	5,20
CV(%)	31,18	65,17	20,41	94,56	13,62	124,98	-	3,50

**TABLEAU N°3.6 : (suite). Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=10	DF1	DF2	DF3	f	E <sub>H</sub>	H	E <sub>12</sub>	D12%
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	0,06	0,06	0,07	0,06	34300,89	10,71	33847,58	1,04
S	0,01	0,01	0,01	0,00	1687,08	0,65	1450,25	0,03
CV(%)	23,31	9,41	13,32	7,13	4,92	6,10	4,28	3,28

Les résultats obtenus sont les suivants: Le module d'élasticité de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse est calculé avec un cv =3,28% (Norme ISO: cv =20%); la densité (D12% =1,04: matériau très lourd) est calculée avec un cv = 3,86% (norme ISO: cv = 10%). La valeur moyenne trouvée est de 33847,58 MPa. La corrélation trouvée est la suivante:  $E = -6251,48 + 38556,79D$  (  $R = 0,936^{***}$  ). La corrélation étant positive, le matériau sans collapse obéit donc, à une Loi de comportement élastique, telle que celle formulée par Guitard [56] . La relation trouvée, entre l'humidité et le module d'élasticité est la suivante:  $E = 60609,24 - 2456,66H$  ( $R = -0,951^{***}$ ).

4.3.7 Conclusion générale: Cette étude a permis de mettre en évidence le comportement mécanique de 2 types de bois: avec et sans collapse. Dans le cas du bois avec collapse, pour les trois espèces, le module d'élasticité diminue avec l'augmentation de la densité, du à un changement de structure par déformation: plus la densité augmente la zone plastique augmente et l'élasticité diminue. Pour le cas du bois sans collapse, nous avons trouvé que le matériau se comportait suivant une loi de comportement élastique , formulée dans la théorie de Guitard[56]. Cette loi de comportement donne une corrélation positive entre la densité et le module d'élasticité. Les modules d' élasticité avec et sans collapse, augmentent dans l'ordre suivant: E. camaldulensis, E. cladocalyx , E. gomphocephala.

## 3.5 ESSAI DE FLEXION STATIQUE :

Détermination de la résistance à la flexion statique d'éprouvettes sans défaut.

### 3.5.1 MATERIEL ET METHODE

Détermination de la résistance à la flexion statique d'éprouvettes de bois de petites dimensions, de droit fil, sans noeud ni défaut.

#### a) PRINCIPE:

Détermination de la contrainte de rupture sous une charge progressivement croissante, exercée perpendiculairement au fil du bois. L'essai est réalisé conformément à la norme NFB 51-008 Novembre 1987 [54].

#### b) MATERIEL UTILISE:

On utilisera les mêmes banc d'essai et appareillage pour la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique que ceux utilisés pour la détermination du module d'élasticité en flexion statique.

c) **PRECISION DE MESURAGE** : Dimensions  $\pm 0,5\text{mm}$ ; charge  $\pm 1\%$ .

d) **EPROUVETTES**: Constituees d'un prisme droit à section carrée de  $20 \pm 0,2\text{mm}$  de côté et une longueur parallèle au fil du bois de  $360 \pm 4\text{mm}$ .

e) **METHODE**:

-Peser l'éprouvette avant l'essai; mesurer à mi-longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale et la longueur avec une précision de

$\pm 0,05\text{mm}$ ; placer l'éprouvette en appui sur le banc de flexion de façon que la charge soit appliquée parallèlement aux bernes avec  $a = 160\text{mm}$ ,  $l = 320\text{mm}$  (figure3).

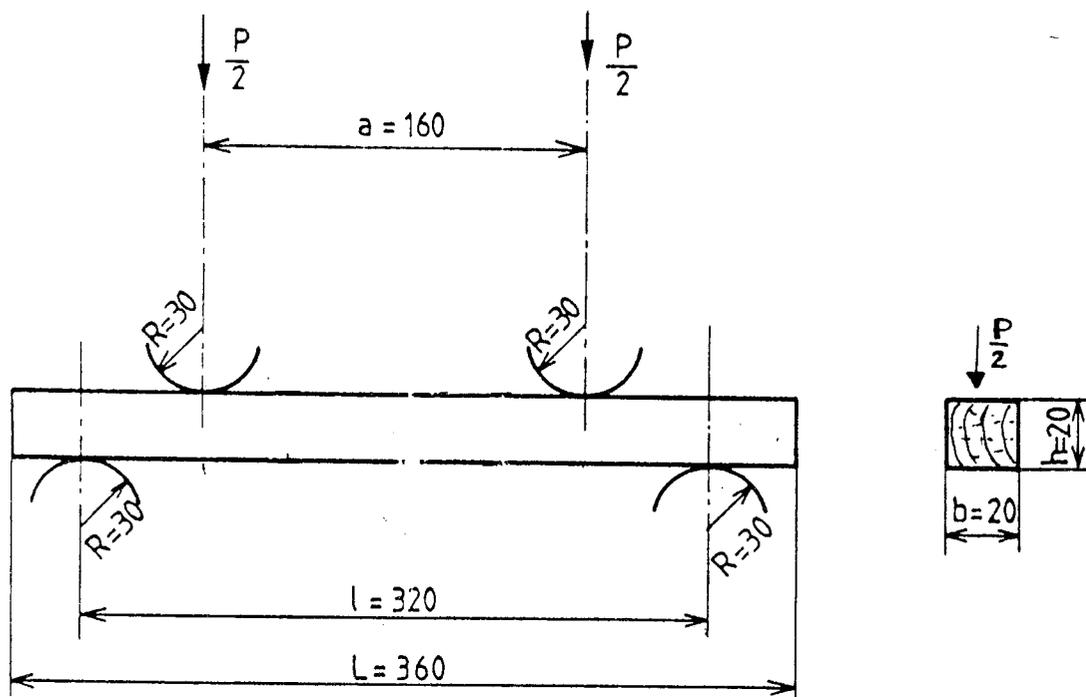


Figure3: Schéma de principe de l'essai de flexion.

-Amener les deux têtes cylindriques de chargement en contact avec la face supérieure, ensuite augmenter la charge de flexion à vitesse constante de chargement ou de déplacement relatif de la traverse par rapport au banc de flexion jusqu'à atteindre la rupture. La durée de l'essai doit-être de  $1,5 \pm 0,5\text{min}$ . Déterminer la charge totale appliquée à la rupture  $P$ . A l'issue de l'essai, déterminer l'humidité de chaque éprouvette selon la norme NFB51-004.

### 3.5.2 TRAITEMENTS DES RESULTATS:

Calculer la contrainte conventionnelle de rupture en flexion statique  $\sigma_{FH}$  de l'éprouvette à l'humidité  $H$  au moment de l'essai en mégapascals (MPa) à l'aide de la formule suivante:  $\sigma_{FH} = 3P(l-a) / 2bh^2$  Où  $P$  est la charge totale appliquée à la rupture

en flexion en newtons (N), l est la distance, en mm, entre les axes des appuis cylindriques, a est la distance mesurée en mm entre les axes des têtes de chargement, b est la largeur mesurée en mm de l'éprouvette, h est la hauteur mesurée en mm de l'éprouvette. Si l'humidité H de l'éprouvette au moment de l'essai diffère de 12%, tout en restant dans les limites des valeurs comprises entre 10% et 14%, ramener la contrainte conventionnelle de rupture en flexion statique  $\sigma_{FH}$  à l'humidité de 12%, à l'aide de la formule :  $\sigma_{F12} = \sigma_{FH} [1+c_F(H-12)]$  Où  $c_F$  est le coefficient de correction de l'humidité pour l'essence considérée. Celui-ci est déterminé sur un lot d'éprouvettes de même bois entre 7% et 18% d'humidité.

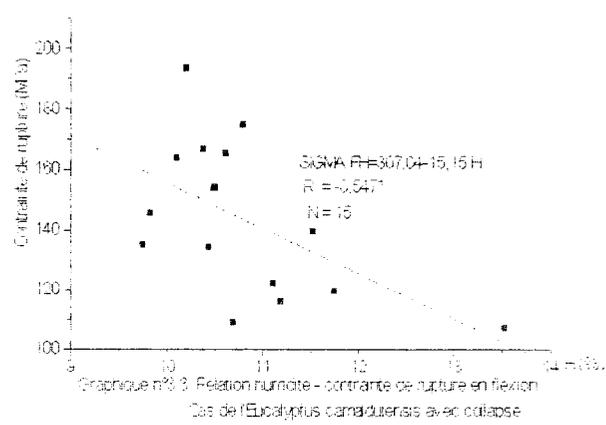
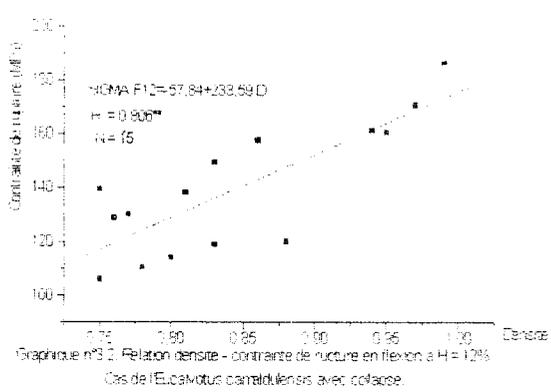
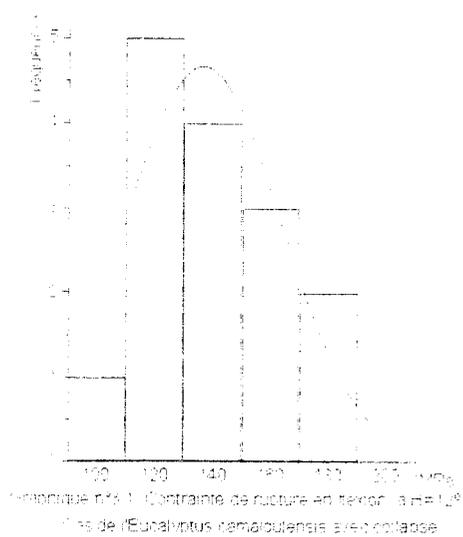
### 3.5.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS:

#### 3.5.3.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°3.1. Ou: P : charge de rupture ;H%: humidité de l'essai; a et b: dimensions de la section de l'éprouvette;  $\sigma_{FH}$  : contrainte de rupture à l'humidité de l'expérience;  $\sigma_{F12}$  : contrainte de rupture à H =12%; D12%: densité à H =12%. Ces contraintes sont représentées par les graphiques n°3.1: Contrainte à H =12%; n°3.2: contrainte - densité et n°3.3: contrainte - humidité. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII .

**TABLEAU N°3.1: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

N=15	P	H	b	h	$\sigma_{FH}$	$\sigma_{F12}$	D12%
	(KGF)	(%)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	433,33	10,83	19,82	19,29	143,07	139,46	0,85
S	47,84	0,91	0,98	1,23	25,15	23,31	0,08
CV(%)	11,04	8,40	4,97	6,35	17,58	16,71	9,53



Le bois d'Eucalyptus camaldulensis avec collapse a une contrainte de rupture de 139,46 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =16,71% (norme 15%).

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:

$$\sigma_{F12} = -57,84 + 233,59D \quad (R = 0,806^{**}); \quad \sigma_{FH} = 307,04 - 15,15 H \quad (R = -0,547^*)$$

### 3.5.3.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse:

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°2. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII .

**TABLEAU N°3.2: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	400,00	8,37	20,59	20,51	142,66	131,82	0,76
S	104,50	1,31	0,63	0,99	31,81	27,02	0,05
CV(%)	26,13	15,63	3,08	4,85	22,29	20,50	6,04

Les résultats obtenus sont les suivants:

Le bois d'Eucalyptus camaldulensis sans collapse a une contrainte de rupture de 131,82 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =27,02% (norme 15%). On constate que le matériau sans collapse possède une contrainte à la rupture inférieure à celle trouvée pour celui avec collapse. Dans ce cas, la cohésion transversale du matériau sans collapse , est réduite dans le sens tangentiel aux cernes d'accroissements. L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:

$$\sigma_{F12} = 203,25 + 439,34D \quad (R = 0,748^{**}); \quad \sigma_{FH} = 267,78 - 14,96 H \quad (R = -0,614^*)$$

### 3.5.3.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°3.3. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII.

**TABLEAU N°3.3: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Moy</b>	489,33	11,71	19,21	18,92	171,01	169,91	0,95
<b>S</b>	59,82	0,44	0,13	0,22	22,56	21,38	0,02
<b>CV(%)</b>	12,22	3,74	0,67	1,15	13,19	12,59	2,29

Les résultats obtenus sont les suivants: Le bois d'Eucalyptus cladocalyx avec collapse a une contrainte de rupture de 169,91 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =12,59% (norme 15%). L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:  $\sigma_{F12} = -359,43 + 557,97 (R = 0,574^*)$ ;  $\sigma_{FH} = 560,24 - 33,23 H (R = -0,646^{**})$ .

#### 3.5.3.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse:

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°3.4. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII .

**TABLEAU N°3.4: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Moy</b>	372,67	10,21	20,61	19,77	111,21	107,01	0,91
<b>S</b>	111,51	0,36	0,26	0,47	34,19	32,30	0,04
<b>CV(%)</b>	29,92	3,51	1,27	2,37	30,74	30,18	4,56

Les résultats obtenus sont les suivants: Le bois d'Eucalyptus cladocalyx sans collapse a une contrainte de rupture de 107,01 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =30,18% (norme 15%). On constate que la résistance à la rupture en flexion pour le matériau sans collapse est inférieure à celle trouvée pour le matériau avec collapse. Cette moindre résistance s'explique par l'augmentation de la densité du matériau avec collapse suite à sa déformation lors du collapse, d'où une cohésion transversale des fibres plus grande. L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:  $\sigma_{F12} = 627,99 + 809,47D (R = 0,924^{***})$ ;  $\sigma_{FH} = 1055,62 - 92,49 H (R = -0,969^{**})$ .

### 3.5.3.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°3.5. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII .

**TABLEAU N°3.5: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (cm <sup>3</sup> )
Moy	381,33	13,31	19,61	19,07	128,54	131,73	0,97
S	63,68	0,50	0,49	0,32	22,14	21,67	0,04
CV(%)	16,70	37,00	25,00	17,00	17,20	16,50	4,00

Les résultats obtenus sont les suivants: Le bois d'Eucalyptus gomphocephala avec collapse a une contrainte de rupture de 131,73 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =16,5% (norme 15%). L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:  $\sigma_{F12} = -401,48 + 504,93D$  ( R = 0,906\*\*\*);  $\sigma_{FH} = 659.66 - 39.90 H$  ( R = -0.895\*\*\*).

### 3.5.3.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse:

La synthèse des résultats portant sur la détermination de la contrainte de rupture en flexion statique sont portés par le tableau n°3.6. Les résultats détaillés sont donnés en annexe n°VIII.

**TABLEAU N°3.6: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	436,00	10,73	20,13	20,37	125,61	122,21	0,96
S	58,40	0,60	0,32	0,38	18,03	16,18	0,04
CV(%)	13,39	5,58	1,61	1,84	14,35	13,24	4,35

Les résultats obtenus sont les suivants: Le bois d'Eucalyptus gomphocephala sans collapse a une contrainte de rupture de 125,61 MPa , calculée avec un coefficient de variation cv =14,35 (norme 15%). La résistance à la rupture du matériau sans collapse est inférieure à celle obtenue pour le cas du matériau sans collapse , d'où une cohésion transversale accrue du matériau avec collapse, suite à l'augmentation de sa densité lors de son séchage ( entassement des fibres du bois dans la direction

transversale du bois).L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les relations suivantes:

$$\sigma_{F12} = 166,43 + 299,42 (R = 0,776^{***}); \quad \sigma_{FH} = 432,85 - 28,64 H (R = -0,920^{***}).$$

### 3.5.3.7 Conclusions:

Pour les 3 espèces de bois d'Eucalyptus ,on obtient une contrainte à la rupture pour le bois avec collapse toujours supérieure à celle du bois sans collapse. En examinant à la fois les courbes de répartition des contraintes à la rupture en flexion et les valeurs des coefficients de variation calculés sur les trois espèces; on constate que :

D'une manière générale, le matériau avec collapse présente des valeurs moins dispersées que le matériau sans collapse. Dans le cas des bois avec collapse: La résistance à la rupture augmente dans l'ordre suivant: E. gomphocephala, E. camaldulensis. E. cladocalyx: Le gomphocephala étant le matériau le plus affecté par le collapse, malgré qu'il possède la plus grande densité par rapport aux autres matériaux.

## 3.6 DETERMINATION DE LA DURETE MONNIN

### 3.6.1 MATERIEL ET METHODES.

#### a) PRINCIPE:

Détermination à la pénétration radiale du bois d'un cylindre de rayon donné, appliqué suivant une génératrice, sous un effort connu. L'essai est réalisé conformément à la norme NF B51-013 Septembre 1985 [55].

#### b) MATERIEL UTILISE:

Machine d'essai (photo n°7) permettant d'exercer un effort de 1960N (précision de  $\pm 1\%$ ) et munie d'un plateau en acier parfaitement plan monté sur une rotule; Cylindre d'empreinte en acier ayant un diamètre de 30mm  $\pm 0,1$ mm et une longueur supérieure à 20mm; Loupe micrométrique permettant d'effectuer une mesure de l'empreinte à 0,05mm près; Palmer pour déterminer les dimensions de la section transversale avec une précision de 0,05mm près.

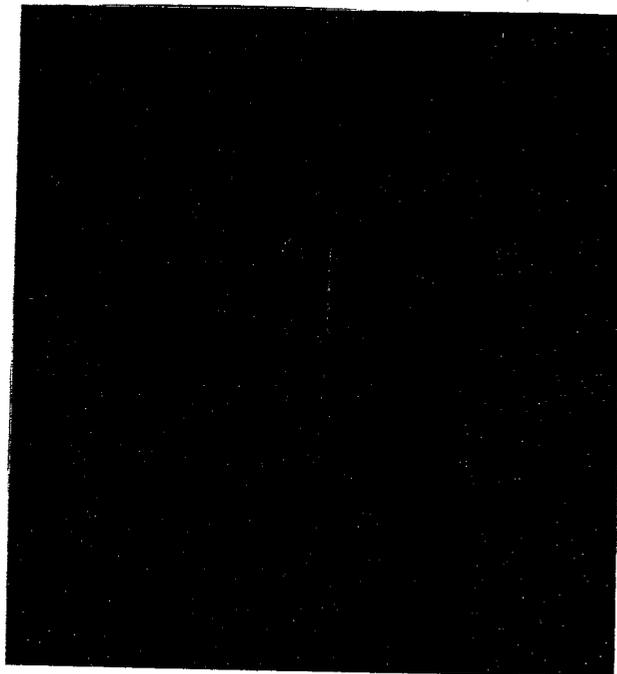


Photo n°7: Essai de dureté Monnin.

**c) PRECISION DE MESURAGE:**

Largeur de l'éprouvette  $\pm 0,5\text{mm}$ ; Largeur d'empreinte  $\pm 0,05\text{mm}$ ; Effort  $\pm 1\%$ ( N )

**d) EPROUVETTES:** Possèdent une forme de prisme droit de section carrée de 20mm de côté et de longueur parallèle au sens du fil de 100mm au minimum.

**e) METHODE:**

- Vérifier la largeur de chaque éprouvette au moyen du palmer; placer l'éprouvette à plat au milieu du plateau à rotule; amener la face radiale en contact avec une génératrice du cylindre d'empreinte, l'axe de celui-ci étant disposé perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'éprouvette.

- Charger le cylindre d'empreinte jusqu'à la charge maximale de 1960N ( 980N par centimètre de largeur de l'éprouvette ). Mesurer la largeur d'empreinte au moyen de la loupe micrométrique et déterminer l'humidité des éprouvettes selon la norme NFB 51-004.

**3.6.2 TRAITEMENTS DES RESULTATS:**

Calculer pour chaque éprouvette , la flèche de pénétration  $t$  , en mm, à l'aide de la

formule suivante :  $t = 15 - \frac{1}{2} \sqrt{900 - a^2}$  Où  $a$  est la largeur d'empreinte, en mm.

Le chiffre de dureté « MONNIN »  $N$  est égal à l'inverse de la flèche de pénétration :

$$N = \frac{1}{t}$$

Le chiffre de dureté N est soit calculé à partir des formules données ci-dessus, soit obtenu directement à partir du tableau : chiffres de dureté MONNIN et flèches de pénétration ( Norme de dureté Monnin) .

### 3.6.3 Résultats et Discussions:

#### 3.6.3.1 Dureté de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.1. Les résultats détaillés sont donnés en annexe I X .

**TABLEAU N°3.1: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L45 (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	4,01	12,49	43,08	20X20	10,11	0,13	7,48	7,18	0,79
S	0,20	1,45	2,48	-	1,01	0,01	0,73	0,56	0,07
CV(%)	5,00	11,65	5,76	-	10,02	10,14	9,73	7,84	8,75

Les valeurs de la dureté Monnin, permettent de classer le bois selon les prescriptions de la norme NF B51 - 013 et suivant les indications du tableau n°3.1.1.

Tableau n°3.1.1. Qualification des bois de feuillus selon le chiffre de dureté Monnin (N) à H =15%.

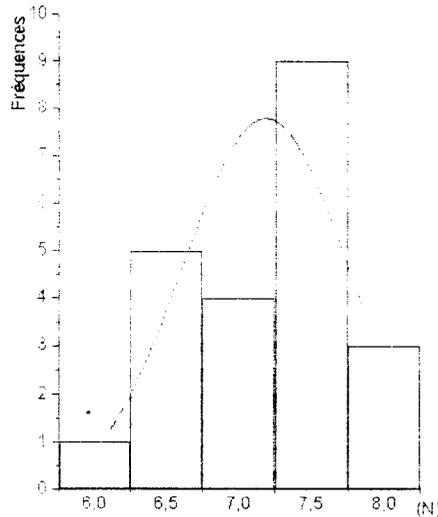
Nature du bois	Chiffre de dureté (N)	Qualification
Feuillu	0,2 à 1,5.....	Très tendres
	1,5 à 3.....	Tendres
	3 à 6.....	Mi - durs
	6 à 9.....	Durs,
	9 à 20.....	Très durs

En rapportant le chiffre de dureté (N12%) au carré de la masse volumique (ou densité); on obtient la cote de dureté:  $N / D^2$  qui met en évidence des bois présentant des duretés exceptionnelles par rapport à leur masse. Les résultats sont alors comparés aux indications du tableau de classement n°3.1.2 , selon la norme précitée.

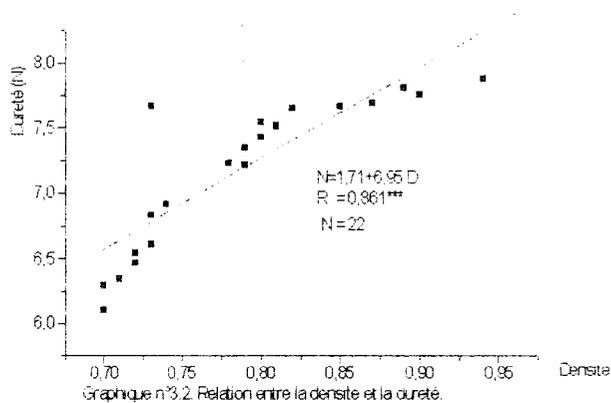
Tableau n°3.1.2 . Qualification des bois des feuillus selon leur cote de dureté ( H =15%).

Valeur de la cote de dureté	Qualification	Echelle de comparaison
3 à 6 .....	Faible	Bois de menuiserie
6 à 9 .....	Normale	Bois de travail
9 à 12 .....	Forte	Bois pour emplois spéciaux

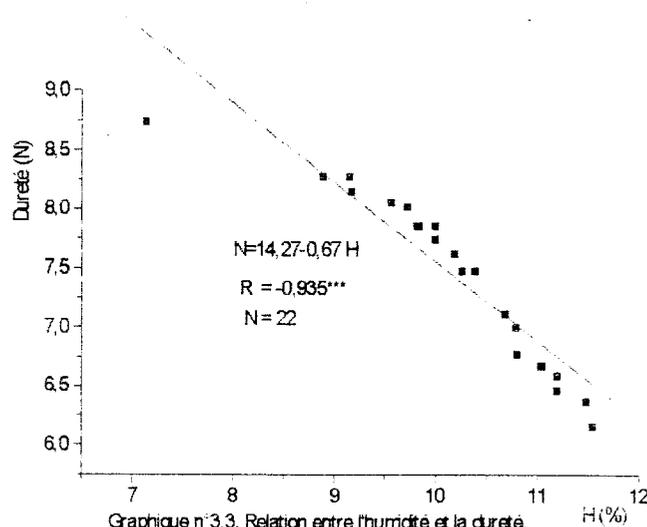
On a représenté par les graphiques n°3.1 : La dureté à H =12%; n°3.2: La dureté en fonction de la densité et par n°3.3: La dureté en fonction de l'humidité.



Graphique n°3.1 Dureté à l'humidité H=12%.  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.



Graphique n°3.2. Relation entre la densité et la dureté.  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.



Graphique n°3.3. Relation entre l'humidité et la dureté.  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Les résultats obtenus sont les suivants:

- Dureté moyenne N (12%) = 7,18 et N (15%) = 6,74;
- Densité moyenne D12% = 0,79 et D15% = 0,80;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 11,50$  (H = 12%) et  $N / D^2 = 10,53$  (H = 15%).
- Coefficient de variation cv = 7,84 (norme : cv = 17%).

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes:

Corrélation densité - dureté :  $N = 1,71 + 6,95 D$  ( $R = 0,861^{***}$ );

Corrélation humidité - dureté :  $N = 14,27 - 0,67 H$  ( $R = 0,935^{***}$ ).

D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme NF B51 - 013 (Tableaux n°3.1.1 et n°3.1.2) ; le bois d'Eucalyptus camaldulensis avec collapse est qualifié de bois dur ( $N > 6$ ), avec une cote de dureté forte ( $N / D^2 > 9$ ) : bois pour emplois spéciaux.

### 3.6.3.2 Dureté de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.2. Les résultats détaillés sont donnés en annexe I X.

**TABLEAU N°3.2: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L45 (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Moy</b>	4,59	12,86	45,00	20x20	11,71	0,17	6,14	6,08	0,77
<b>S</b>	0,54	0,99	0,00	-	0,88	0,04	1,36	1,25	0,04
<b>CV(%)</b>	11,83	7,67	0,00	-	7,48	22,08	22,21	20,60	4,88

Les résultats obtenus sont les suivants:

- Dureté moyenne N (12%) = 6,08 et N (15%) = 5,72;
- Densité moyenne D12% = 0,77 et D15% = 0,78;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 10,25$  (H = 12%) et  $N / D^2 = 9,39$  (H = 15%).
- Coefficient de variation cv = 20% (norme : cv = 17%).

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes:

Corrélation densité - dureté :  $N = 7,83 + 18,13 D$  (R = 0,547\*\*);

Corrélation humidité - dureté :  $N = 20,95 - 1,26 H$  (R = -0,813\*\*).

D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme

NF B51- 013 (Tableaux n°3.1.1 et n°3.1.2) ; le bois d'Eucalyptus camaldulensis sans collapse est qualifié de bois mi - dur (  $N < 6$  ), avec une cote de dureté forte (  $N / D^2 > 9$  ) : bois pour emplois spéciaux. On constate que le bois avec collapse possède une densité et une dureté supérieures à celles obtenues avec le bois sans collapse.

### 3.6.3.3 Dureté de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.3. Les résultats détaillés sont donnés en annexe I X .

**TABLEAU N°3.3: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Moy</b>	2,50	34,64	100,00	20x20	11,65	0,05	21,44	21,26	0,97
<b>S</b>	0,49	1,83	-	-	1,17	0,02	7,61	7,28	0,05
<b>CV(%)</b>	19,40	5,29	-	-	10,04	36,32	35,48	34,23	5,11

-Les résultats obtenus sont:

- Dureté moyenne N (12%) = 21,26 et N (15%) = 19,98;
- Densité moyenne D12% = 0,97 et D15% = 0,98;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 22,59$  (H = 12%) et  $N / D^2 = 20,80$  (H = 15%).
- Coefficient de variation cv = 34,23% (norme : cv = 17%) .

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes: Corrélation densité - dureté :  $N = 57,89 + 81,33 D$  (R = 0,552\*\*); Corrélation humidité - dureté :  $N = 94,62 - 6,28 H$  (R = -0,964\*\*). D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme NF B51 - 013 (Tableaux n°31.1 et n°31.2) ; le bois

d'Eucalyptus cladocalyx avec collapse est qualifié de bois très dur ( $N > 9$ ), avec une cote de dureté forte ( $N / D^2 > 9$ ): bois pour emplois spéciaux.

#### 3.6.3.4 Dureté de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.4. Les résultats détaillés sont donnés en annexe I X.

**TABLEAU N°3.4: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
Moy	3,77	38,44	100,00	20x20	12,62	0,12	8,55	8,64	0,94
S	0,30	2,34	0,00	-	1,42	0,02	1,36	1,29	0,05
CV(%)	7,82	6,09	0,00	-	11,23	15,61	15,92	14,91	5,30

Les résultats obtenus sont:

- Dureté moyenne N (12%) = 8,64 et N (15%) = 8,12;
- Densité moyenne D12% = 0,94 et D15% = 0,95;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 9,78$  (H = 12%) et  $N / D^2 = 8,99$  (H = 15%).
- Coefficient de variation cv = 14,91% (norme : cv = 17%).

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes:

Corrélation densité - dureté :  $N = 1,95 + 11,28 D$  (R = 0,439\*);

Corrélation humidité - dureté:  $N = 14,09 - 0,44 H$  (R = -0,457\*).

D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme NF B51 - 013 (Tableaux n°31.1 et n°3.1.2); le bois d'Eucalyptus cladocalyx sans collapse est qualifié de bois dur ( $N < 9$ ), avec une cote de dureté normale ( $N / D^2 < 9$ ): bois de travail.

#### 3.6.3.5 Dureté de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.5. Les résultats détaillés, sont donnés en annexe I X.

**TABLEAU N°3.5: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.  
Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=22	a	M <sub>H</sub>	L	HXB	H	t	N = 1/t	N12%	D(12%)
	(mm)	(g)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)			(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	3,16	39,31	100,00	20x20	12,36	0,09	13,20	13,22	1,04
S	0,62	2,45	0,00	-	0,94	0,04	4,48	4,26	0,05
CV(%)	19,72	6,23	0,00	-	7,61	43,33	33,97	32,20	4,86

Les résultats obtenus sont:

- Dureté moyenne N (12%) =13,22 et N (15%) =12,43;
- Densité moyenne D12% = 1,04 et D15% = 1,05;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 12,22$  (H =12%) et  $N / D^2 = 11,27$  (H=15%).
- Coefficient de variation cv =32,20% (norme : cv =17%) .

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes:

Corrélation densité - dureté :  $N = -68,90 + 79,0,6 D$  (R =0,939\*\*\*);

Corrélation humidité - dureté:  $N = 70,48 -4,63 H$  (R = -0,971\*\*\*).

D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme NF B51 - 013 (Tableaux n°3.1.1 et n°3.1.2) ;le bois d'Eucalyptus gomphocephala avec collapse est qualifié de bois très dur (  $N > 9$  ) , avec une cote de dureté forte (  $N / D^2 > 9$  ) : bois pour emplois spéciaux.

### 3.6.3.6 Dureté de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse:

La synthèse des résultats est donnée dans le tableau n°3.6. Les résultats détaillés sont donnés en annexe I X .

**TABLEAU N°3.6: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.  
Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=22	a	M <sub>H</sub>	L	HXB	H	t	N = 1/t	N12%	D(12%)
	(mm)	(g)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)			(g/cm <sup>3</sup> )
Moy	3,61	40,59	100,00	20x20	12,07	0,11	9,37	9,36	1,03
S	0,34	2,33	-	-	0,85	0,02	1,55	1,42	0,05
CV(%)	9,42	5,73	-	-	7,07	19,84	16,53	15,15	4,58

Les résultats obtenus sont:

- Dureté moyenne N (12%) = 9,36 et N (15%) = 8,79;
- Densité moyenne D12% = 1,03 et D15% = 1,04;
- Cote de dureté :  $N / D^2 = 8,82$  (H = 12%) et  $N / D^2 = 8,13$  (H = 15%).
- Coefficient de variation cv = 15,15% (norme : cv = 17%) .

L'ajustement sur l'ensemble du nuage donne les équations suivantes:

Corrélation densité - dureté :  $N = -18,94 + 27,58 D$  (R = 0,916\*\*\*);

Corrélation humidité - dureté:  $N = 29,54 - 1,67 H$  (R = -0,921\*\*\*).

D'après les résultats obtenus et compte tenu des indications de la norme NF B51 - 013 (Tableaux n°3.1.1 et n°3.1.2) ; le bois d'Eucalyptus gomphocephala sans collapse est qualifié de bois dur (  $N > 9$  ) , avec une cote de dureté normale (  $N / D^2 > 9$  ) : bois de travail. Dans ce cas aussi on trouve que c'est le matériau avec collapse qui possède toujours une dureté plus grande.

**3.8.3.7 Conclusions:** Dans les 3 cas de bois étudiés ( Eucalyptus avec et sans collapse ) ; le comportement à l'essai de dureté a donné des résultats différents. Le bois avec collapse est classé toujours de dur ( E. camaldulensis) à très dur (E. cladocalyx et E. gomphocephala) avec une forte cote de qualité; ce qui prédispose ce type de bois à des emplois spéciaux. Par contre pour le bois sans collapse ; mis à part l'Eucalyptus camaldulensis ( mi-dur , pour emplois spéciaux à cause de sa forte cote de dureté); les Eucalyptus cladocalyx et gomphocephala (bois durs) ont une cote de dureté normale, sont classés comme bois de travail. Pour les trois cas examinés, le collapse augmente la dureté.

### **3.7 CALCUL DES CARACTERISTIQUES ELASTIQUES DES TROIS ESPECES DE BOIS D'EUCALYPTUS.**

#### **3.7.1 Modèle prévisionnel de comportement élastique tridimensionnel:**

Les caractéristiques élastiques du bois massif sont évalués à partir de modèles prévisionnels de comportement élastique tridimensionnels formulés par GUITARD [28]. Ces modèles permettent de donner une prévision des constantes élastiques du bois en fonction de sa masse volumique. Le choix du modèle utilisé dépend de la nature de l'essence de bois feuillu ou résineux [ 56]. Les complaisances du feuillu standard,  $S_{ij}$  correspondent à un bois de masse volumique  $\rho = 0,65 \text{ g / cm}^3$  à 12% d'humidité( humidité standard de référence ). L'adaptation du modèle à une essence

donnée est assurée par une correction en loi puissance de la masse volumique  $\rho$ , applicable sur une large plage de densité ( de 0,1 à 1,28 g / cm<sup>3</sup> ) dont la formulation, en termes de caractéristiques élastiques, est donnée en (1) :

$$S_{ij}12^{-1} = \overline{S_{ij}^{-1}} \left( \frac{\rho}{0,65} \right)^k \quad \text{avec } i, j \in (1,2,3,4,5,6)^2 \quad (1)$$

Où :

$k$  : est la pente de la droite de régression de la loi linéaire, obtenue par optimisation par les moindres carrés.

On réalise d'autre part, un ajustement linéaire, de coefficient  $a_{ij}$  des caractéristiques élastiques pour un taux d'humidité voisin de 12% ( l'humidité de l'essai est prise dans la plage de 6 à 20% ) qui s'écrit sous la forme (2).

$$S_{ij}H^{-1} = S_{ij}12^{-1} [1 - a_{ij}(H-12)] \quad \text{avec } i \in (1,2,3,4,5,6) \quad (2)$$

L'ensemble des corrections est donné dans le tableau 3.1.

L'estimation des propriétés élastiques des trois espèces de bois d'eucalyptus est réalisée à partir d'une évaluation de la masse volumique moyenne de chacune d'elle ; déterminée expérimentalement.

Les caractéristiques élastiques, obtenues pour les trois espèces de bois d'eucalyptus à partir du modèle feuillu standard, corrigées en masse volumique et en humidité conformément à (1) et (2) sont portées dans le tableau 3.2.

Tableau 3.1. Modèles prévisionnels du comportement tridimensionnel élastique d'une essence feuillue dont on connaît la masse volumique.

Constantes élastiques (MPa)	Feuille standard (MPa)	Correction en masse volumique $\rho$ (g / cm <sup>3</sup> )	Correction en humidité H (%)
$S_{11}^{-1} = E_R$	1810	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,30}$	$(1-0,03(H-12))$
$S_{22}^{-1} = E_T$	1030	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,74}$	$(1-0,03(H-12))$
$S_{33}^{-1} = E_L$	14400	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,03}$	$(1-0,01(H-12))$
$-S_{12}^{-1} = \frac{E_T}{\nu_{TR}} = \frac{E_R}{\nu_{Rt}}$	2680	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,41}$	$(1-0,03(H-12))$
$-S_{23}^{-1} = \frac{E_L}{\nu_{LT}} = \frac{E_T}{\nu_{TL}}$	31200	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,09}$	$(1-0,012(H-12))$
$-S_{31}^{-1} = \frac{E_R}{\nu_{RL}} = \frac{E_L}{\nu_{LR}}$	37300	$\times \left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{0,913}$	1
$S_{44}^{-1} = G_{TL}$	971	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,26}$	$(1-0,02(H-12))$
$S_{55}^{-1} = G_{LR}$	1260	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,14}$	$(1-0,02(H-12))$
$S_{66}^{-1} = G_{RT}$	366	$\left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,74}$	$(1-0,02(H-12))$

Tableau 3.2. Prévisions du comportement tridimensionnel élastique de trois espèces de bois sans collapse en fonction de leurs masses volumiques (densités) à une humidité de  $H = 12\%$ , à partir du modèle feuillu standard ( $\rho = 0.65$ ).

Constantes élastiques (MPa)	<i>E. camaldulensis</i> ( $\rho = 0.75$ )	<i>E. cladocalyx</i> ( $\rho = 0.91$ )	<i>E. gomphocephala</i> ( $\rho = 1.04$ )
$S_{11}^{-1} = E_R$	2180	2803	3335
$S_{22}^{-1} = E_T$	1321	1850	2333
$S_{33}^{-1} = E_L$	16687	20365	23367
$S_{12}^{-1} = \frac{E_T}{\nu_{TR}} = \frac{E_R}{\nu_{RT}}$	3279	4307	5199
$S_{23}^{-1} = \frac{E_L}{\nu_{LT}} = \frac{E_T}{\nu_{TL}}$	36467	45023	52077
$S_{31}^{-1} = \frac{E_R}{\nu_{RL}} = \frac{E_L}{\nu_{LR}}$	42506	50714	57269
$\nu_{RT}$	0,66	0,65	0,64
$\nu_{TR}$	0,40	0,43	0,45
$\nu_{TL}$	0,04	0,04	0,04
$\nu_{LT}$	0,46	0,45	0,45
$\nu_{LR}$	0,39	0,40	0,41
$\nu_{RL}$	0,05	0,06	0,06
$S_{44}^{-1} = G_{TL}$	1163	1484	1756
$S_{55}^{-1} = G_{LR}$	1483	1849	2153
$S_{66}^{-1} = G_{RT}$	469	657	829

### 3.7.2 Résultats et discussions:

1°) Les modules d'élasticité  $E_L$ ,  $E_R$ ,  $E_T$  se rangent pratiquement dans les relations d'ordre suivantes:  $E_L \gg E_R > E_T$ . La rigidité dans la direction des fibres (longitudinales) est plus grande que la rigidité radiale, elle-même supérieure à la rigidité tangentielle pour les bois avec et sans collapse. Les ordres de grandeur des modules d'élasticité longitudinaux sont comparables à ceux trouvés dans la bibliographie (travaux de W.E.HILLIS (1978)[53]) et parfois même supérieurs: cas du gomphocephala en comparaison des espèces de même densité mais de rigidité inférieure: camaldulensis, globulus, diversicolor. De plus, le camaldulensis algérien

très lourd. On voit que parmi les espèces algériennes, c'est le gomphocephala qui a la plus grande rigidité, suivi par le cladocalyx et ensuite par le camaldulensis.

2°) Les coefficients de Poisson: On trouve le plus souvent pour les bois sans collapse:

$\nu_{RT} > \nu_{TL} \cong \nu_{LT} \cong \nu_{LR} \gg \nu_{TL} \cong \nu_{RL}$ . Le couplage radial - tangentiel est donc plus grand que les couplages longitudinal-radial ou longitudinal - tangentiel. Cela veut dire que la déformation tangentielle rapportée à l'élongation radiale dans une compression radiale est importante soit  $\nu_{RT}$  est grand. La déformation radiale ainsi que la déformation tangentielle, rapportée à l'élongation longitudinale sont très faibles  $\nu_{TL} \cong \nu_{RL}$ . On constate que le coefficient de Poisson dans le plan radial - tangentiel est comparable pour les 3 espèces en question, donc le couplage dans ce plan est identique. De même pour le couplage dans le plan tangentiel - radial; il est aussi comparable pour les trois espèces. D'une façon générale, on constate que les 6 coefficients de Poisson diffèrent de très peu entre-eux.

3°) Les modules de cisaillement:

Pour le bois sans collapse, on a les relations d'ordre suivantes:

$G_{LR} > G_{TL} \gg G_{RT}$ ; cela veut dire que la souplesse au cisaillement élastique (c'est l'inverse du module de cisaillement) est grande dans le plan radial-tangentiel. On voit que c'est toujours le gomphocephala qui possède les modules de cisaillement les plus importants, suivi en cela par le cladocalyx et ensuite par le camaldulensis.

### 3.8 Détermination expérimentale des caractéristiques élastiques des 3 espèces d'Eucalyptus avec collapse:

#### 3.8.1 Description de l'expérience:

Le bois est un matériau orthotrope, qui possède 12 coefficients caractéristiques (dont 9 sont indépendants). Leur détermination repose sur l'évaluation des raideurs dans des essais statiques de compression. Les éprouvettes sont taillées dans les différentes directions d'orthotropie du matériau bois. La caractérisation des 3 espèces à la température ambiante se fait par des essais de compression uniaxiales sur éprouvettes cubiques de 30 mm de côté, conditionnées à l'humidité  $H = 12\%$ , sur lesquelles la mesure des déformations axiale et transversales est réalisée par des jauges mécaniques (précision: micron; base = 20mm) (photo n°8).

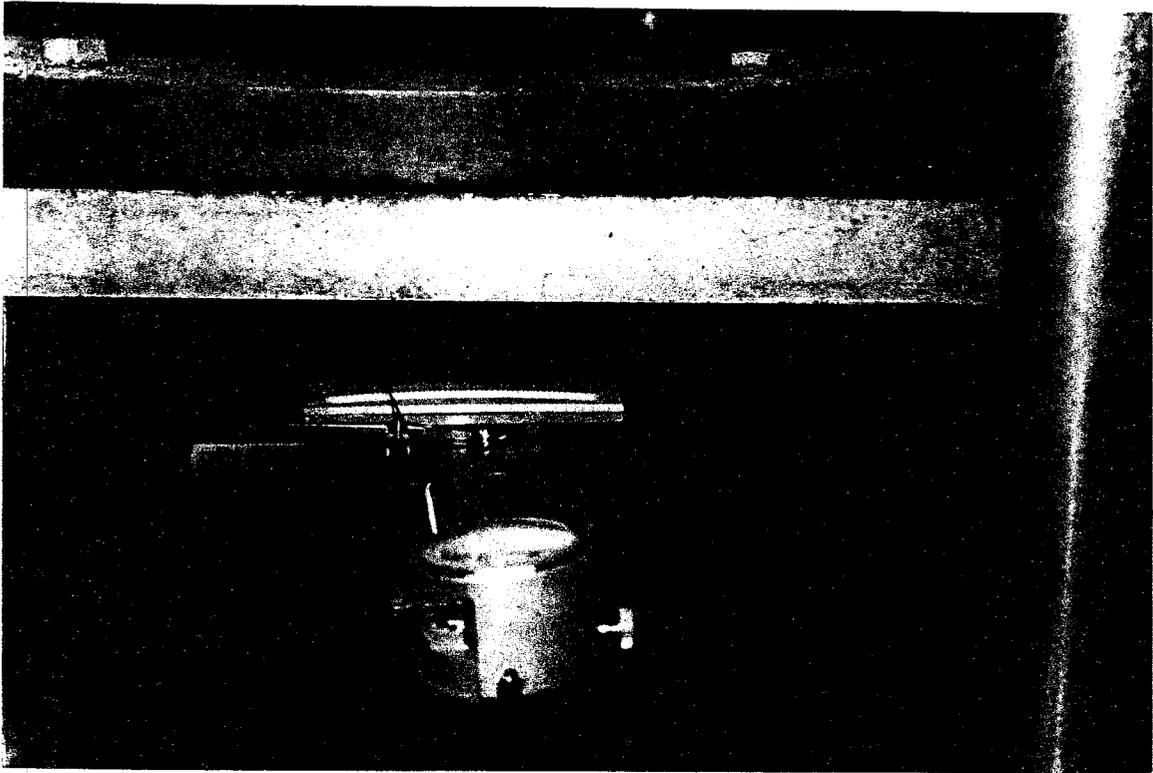


Photo n°8: Mesures des déformations par jauges mécaniques.

Le module d'élasticité longitudinal a été déterminé par un essai de flexion statique (chapitre 3.3), les modules d'élasticité dans les directions radiale et tangentielle ont été déterminés par un essai de relaxation (chapitre 4.2.6) et les 6 coefficients de Poisson sont déterminés expérimentalement ; alors que les modules de cisaillement sont déterminés par les calculs à l'aide des expressions suivantes:

$$G_{RT} = E_R / 2(1 + \nu_{RT}); G_{LR} = E_L / 2(1 + \nu_{LR}); G_{TL} = E_T / 2(1 + \nu_{TL}).$$

La charge à appliquer lors des essais est déterminée sur la base de la charge de rupture en compression axiale, multipliée par 30% (domaine élastique); elle vaut 600 kgf. La vitesse de charge est fixée à 11,5 kgf /s. Les essais sont réalisés sur 15 éprouvettes (voir annexe n°IX) et chaque essai est répété 3 fois. Les déformations résultantes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Espece	$\epsilon_L$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_R$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_T$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{RL}$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{LR}$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{TL}$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{LT}$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{RT}$ ( $\mu$ dF)	$\epsilon_{TR}$ ( $\mu$ dF)
CAMAL.	516,00	3760,00	9620,00	139,80	206,00	174,70	193,00	154,50	1425,00
CLAD.	315,00	6607,00	7636,00	125,00	151,00	182,50	115,50	862,50	1025,50
GOMPH	206,00	5367,00	6066,00	42,00	99,00	100,20	163,50	463,00	456,00

( $\mu$  dF ): microdéformation.

Les résultats des calculs des coefficients de Poisson et des modules de cisaillement, sont donnés dans le tableau suivant:

ESPECE	$E_L$ (Mpa)	$E_R$ (Mpa)	$E_T$ (Mpa)	$\nu_{RL}$	$\nu_{LR}$	$\nu_{TL}$	$\nu_{LT}$	$\nu_{RT}$	$\nu_{TR}$	$G_{TL}$ (Mpa)	$G_{LR}$ (Mpa)	$G_{RT}$ (Mpa)
CAMAL.	12919	761	693	0,02	0,40	0,25	0,37	0,02	0,15	276,74	4616,48	373,91
CLAD.	21156	1009	873	0,02	0,48	0,21	0,37	0,13	0,13	361,03	7150,36	446,25
GOMPH.	32401	1242	1099	0,01	0,48	0,09	0,79	0,09	0,08	503,59	10941,9	571,68

### 3.3.2 Résultats et discussions:

1°) Les modules d'élasticité  $E_L$ ,  $E_R$ ,  $E_T$  se rangent pratiquement dans les relations d'ordre suivantes:  $E_L \gg E_R > E_T$ . La rigidité dans la direction des fibres (longitudinales) est plus grande que la rigidité radiale, elle-même supérieure à la rigidité tangentielle pour les bois avec et sans collapse. C'est le gomphocephala qui a les plus grandes rigidités, suivi du cladocalyx et en dernier lieu du camaldulensis. Pour le camaldulensis, le module d'élasticité longitudinal trouvé pour le camaldulensis australien par W.E.HILLIS (1978) [53] est compris dans la plage: 9700 à 11000MPa avec une densité de 0,90 à 1,01 supérieure à celle que nous avons trouvé sur le camaldulensis algérien (0,75). Pour le camaldulensis étudié, il est plus grand à cause de l'influence des conditions de la station (environnement) qui ne sont pas les mêmes. Pour les autres espèces, on peut les comparer à des espèces de même densité: ainsi le gomphocephala peut être comparé au globulus de densité 0,90 à 1,01: son module d'élasticité varie dans la plage: 19400 à 21700 MPa. Le gomphocephala algérien est plus rigide.

2°) Les coefficients de Poisson:

On trouve le plus souvent pour les bois sans collapse:

$$\nu_{RT} > \nu_{TL} \cong \nu_{LT} \cong \nu_{LR} \gg \nu_{TL} \cong \nu_{RL}$$

Le couplage radial - tangential est donc plus grand que les couplages longitudinal-radial ou longitudinal - tangential. Cela veut dire que la déformation tangentielle rapportée à l'élongation radiale dans une compression radiale est importante ou  $\nu_{RT}$  est grand. La déformation radiale ainsi que la déformation tangentielle, rapportée à l'élongation longitudinale sont très faibles  $\nu_{TL} \cong \nu_{RL}$ .

Dans le cas des bois avec collapse, on constate que ces relations ont changé:

C'est le couplage longitudinal - radial qui est plus grand que les couplages longitudinal-tangentiel, qui est lui-même supérieur au couplage radial - tangentiel. L'interprétation physique est liée au phénomène du collapse lui-même qui au cours du séchage induit une déformation importante et irrégulière dans les directions: tangentielle 1,5 à 2 fois plus importante que la déformation dans la direction radiale. Cette déformation est le cumul de 2 déformations: Une déformation due au retrait normal; et une déformation due au phénomène de collapse. La déformation résultante comprend une déformation irréversible et une déformation élastique qui peut-être récupérée par le traitement de reconditionnement des bois à la vapeur. De plus, on constate que les rigidités des bois avec collapse a diminué par rapport aux bois sans collapse. Le matériau avec collapse est plus dur et moins élastique.

2°) Les modules de cisaillement:

Pour le bois sans collapse, on a les relations d'ordre suivantes:

$G_{LR} = G_{TL} \approx G_{RT}$ ; cela veut dire que la souplesse au cisaillement élastique (c'est l'inverse du module de cisaillement) est grande dans le plan radial-tangentiel.

Pour le bois avec collapse, on constate que la souplesse au cisaillement est passée dans le plan longitudinal - tangentiel où elle est la plus importante. La faible souplesse dans le plan radial - longitudinal étant par ailleurs, conservée: car, c'est aussi dans ce plan là où la rigidité est maximale: c'est aussi la direction de sollicitation axiale des fibres et rayons ligneux. Ce changement de comportement du matériau bois est la conséquence des déformations plastiques engendrées par le phénomène de collapse.

#### **CHAPITRE 4: LES PROPRIETES DE RELAXATION DE TROIS ESPECES DE BOIS D'EUCALYPTUS SOUS L'EFFET DU COLLAPSE.**

##### **4.1 Détermination des caractéristiques de fluage du matériau bois: Modélisation.**

Le matériau bois sous charge se comporte comme un système viscoélastique, comportant les propriétés de relaxation c'est à dire que le processus de ses déformations change avec le temps. Pour l'étude du processus de relaxation, nous nous basons sur l'étude faite sur les matériaux isotropes par NOUR [ 57] et utilisons la théorie de BOLTZMAN et de VOLTAIRE :

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E_0} \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau$$

$$\sigma(t) = E\epsilon(t) - E \int_0^t K(t-\tau) \epsilon(\tau) d\tau \quad (4-1) \text{ et } (4-2)$$

Où : E module d'élasticité du matériau ,  $K(t - \tau)$  fonction de l'influence au moment  $t$  à la déformation au moment  $\tau$  ,  $r(t - \tau)$  fonction correspondante , décroissante avec l'accroissement de l'argument. . Dans notre cas, le bois est un matériau anisotrope au point de vue structure , et en plus l'influence du milieu ambiant et plus particulièrement l'humidité influe beaucoup sur les propriétés mécaniques. Les modules d'élasticité longitudinal, radial et tangentiel sont déterminés expérimentalement. Nous notons que le module d'élasticité longitudinal  $E_L$  est déterminé expérimentalement par un essai standard de flexion statique (cas de bois avec et sans collapse) . Par contre les modules d'élasticité radial et tangentiel ( cas de bois sans collapse) sont calculés à partir du modèle prévisionnel donnant les constantes élastiques du matériau sur la base des densités obtenues expérimentalement ( théorie de GUITARD ) . Par ailleurs, pour le cas de bois avec collapse ( n'obéissant pas à la théorie de GUITARD) ; la détermination des modules d'élasticité radial et tangentiel est faite sur la base d'une autre expérience de relaxation décrite ci-dessous . Pour traiter ces cas, nous avons procédé à une série d'expériences des trois espèces de bois énumérés avec collapse et sans collapse sur une machine hydraulique (10T).

Pour le cas tridimensionnel , on obtient le modèle pour les matériaux orthotropes (bois avec collapse) suivant :

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_L(t_L) &= \frac{\sigma_L \max}{E_L(1-\beta_L)} \left[ 1 - \beta_L e^{-\alpha_L(1-\beta_L)t_L} \right] \\ \epsilon_R(t_R) &= \frac{\sigma_R \max}{E_R(1-\beta_R)} \left[ 1 - \beta_R e^{-\alpha_R(1-\beta_R)t_R} \right] \\ \epsilon_T(t_T) &= \frac{\sigma_T \max}{E_T(1-\beta_T)} \left[ 1 - \beta_T e^{-\alpha_T(1-\beta_T)t_T} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

On obtient le modèle applicable pour le cas du bois sans collapse , en tenant compte des facteurs densité ( $\rho$ ) et humidité ( $H$ ) en substituant dans le modèle ci-dessus, les

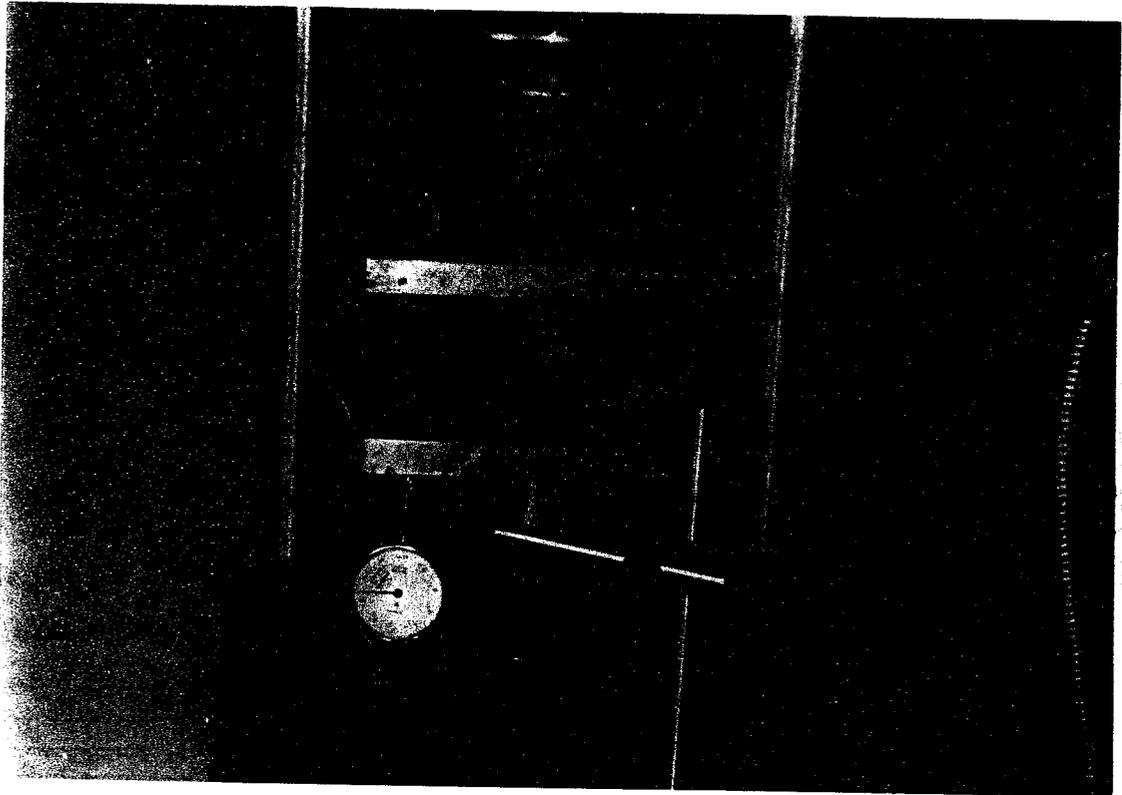
trois modules d'élasticité  $E_R$ ,  $E_T$ ,  $E_L$  par les expressions suivantes du modèle de Guitard [56]:

$$\begin{aligned} \sigma_L(t_L) &= \frac{\sigma_{L \max}}{14400 \times \left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,03} \times [1-0,01(H-12)](1-\beta_L)} \left[ 1 - \beta_L e^{-\alpha_L(1-\beta_L)t_L} \right] \\ \sigma_R(t_R) &= \frac{\sigma_{R \max}}{1810 \times \left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,30} \times [1-0,03(H-12)](1-\beta_R)} \left[ 1 - \beta_R e^{-\alpha_R(1-\beta_R)t_R} \right] \\ \sigma_T(t_T) &= \frac{\sigma_{T \max}}{1030 \times \left(\frac{\rho}{0,65}\right)^{1,74} \times [1-0,03(H-12)](1-\beta_T)} \left[ 1 - \beta_T e^{-\alpha_T(1-\beta_T)t_T} \right] \end{aligned} \quad (4-4)$$

#### 4.2 MATERIEL ET METHODES:

##### a) DESCRIPTION DE L'EXPERIENCE : ( photo 9 )

On place l'éprouvette sous forme d'un cube de bois de 30 mm de côté et on fixe la déformation à 1 mm. On mesure la charge maximale correspondante à cette déformation et le temps nécessaire pour cette dernière en prenant en considération l'humidité correspondante pour chaque matériau. Chaque espèce avec collapse et sans collapse est représentée par un nombre d'éprouvettes ( 4 par direction et 12 par espèce ). Après on supprime la charge extérieure ( arrêt de la machine ), la contrainte sous forme de réaction est prise en fonction du temps; et ce, durant 3 minutes. La déformation de 1mm ( domaine plastique: car non retour de l'aiguille du comparateur à zéro après un temps assez long . ) et le temps de 3min (la déformation subsiste au delà de ce temps environ 24 heures) ont été fixés après des essais préliminaires sur des éprouvettes de chaque espèce de bois d'Eucalyptus. La vitesse de charge est de 11,5kgf / s.



**Photo n°9: Essai de relaxation.**

b) **BUT DE L' ESSAI :** L'essai consiste à appliquer une déformation de 1mm et à observer la contrainte résultante en fonction du temps pour les trois espèces de bois d'Eucalyptus (avec et sans collapse) dans les trois directions d'anisotropie du bois; ceci en vue de la détermination des caractéristiques mécaniques ( $\sigma_{max}$  ;  $\sigma_{min}$  ;  $\alpha$  ;  $\beta$ ) et des paramètres de fluage ( $\sigma_{max} / E(1-\beta)$  ;  $\alpha(1-\beta)$  ;  $\sigma_{max} / E$ ).

c) **MATERIEL UTILISE:**

- Une machine d'essai de compression de 10 tonnes(photo 9);
- Un comparateur au 1/100mm, pour la mesure de la déformation de l'éprouvette;
- Un chronomètre pour la mesure du temps en secondes;
- Une balance au 1/100g et une étuve pour la détermination de l'humidité du bois.

d) **Eprouvettes:** Constituées de cubes de 30 mm de côté , prélevées suivant les directions axiale, radiale et tangentielle et conditionnées selon la norme NFB51 - 003. Le nombre d'éprouvettes est fixé à 4 par direction ( soit 24 par espèce).

e) **METHODE:** Durant l'essai de relaxation, on effectue les relevés des données suivantes:

a) Au chargement: La charge maximale appliquée  $F_{max}$  (kgf) ainsi que le temps maximal  $t_{max}$  mis pour atteindre la déformation fixée de 1mm.

b) Au déchargement: La charge est enregistrée en fonction du temps par: lecture de la charge sur le cadran gradué en kgf ( 1 graduation égale à 20 kgf) et par lecture simultanée du temps correspondant , donné par le chronomètre en secondes.

#### 4.3 Traitements des résultats:

##### 4.3.1 Détermination des caractéristiques mécaniques:

1°) Calculer les contraintes maximales et minimales :  $\sigma_{\max}$  ;  $\sigma_{\min}$  à l'aide des relations suivantes:  $\sigma_{\max} = F_{\max} / S$  ; contrainte maximale en Mégapascals (Mpa);  $\sigma_{\min} = F_{\min} / S$ ; contrainte minimale en Mégapascals (MPa).

Où:  $F_{\max}$  charge maximale appliquée (en newtons) ; correspondant à la déformation imposée de 1mm;  $F_{\min}$  : charge minimale à la décharge (en newtons) à  $t = 3$  minutes ( prise dans la partie de la courbe où la charge commence à se stabiliser et atteint une valeur constante) ;  $S$  : section de 30x30mm (en  $\text{mm}^2$ ).

2°)- Calculer les coefficients statique et dynamique  $\alpha$  et  $\beta$  .

$\alpha$  : coefficient statique , exprimant le taux de fluage;  $\sigma_t$  Contrainte au temps  $t$  (  $t$  pris a 30 secondes environ dans la partie où la courbe change d'allure); déterminée expérimentalement d'après les données de  $\sigma = f(t)$ .

$\beta$  : coefficient dynamique , exprimant le taux de relaxation.

4.3.2 Détermination des paramètres de fluage: Les paramètres de fluage sont déterminés à l'aide des relations suivantes:

1°)- rapport :  $\sigma_{\max} / E(1-\beta)$ ; 2°)-  $\alpha(1-\beta)$ ; 3°)- rapport :  $\sigma_{\max} / E$ .

Les paramètres  $\sigma_{\max}$  ,  $\alpha$  et  $\beta$  , définis ci-dessus sont pris égaux à leurs valeurs moyennes dans les trois directions d'anisotropie du bois. On représente graphiquement les courbes de fluage  $\varepsilon(t)$  et de relaxation  $\sigma(t)$  .

1°) Courbes de relaxation de la contrainte à déformation constante:  $\sigma(t)$ . On fait le tracé du graphique correspondant pour chaque échantillon de bois avec et sans collapse.

2°) Courbes de fluage de la déformation  $\varepsilon(t)$  . A partir des données expérimentales des tableaux des valeurs; on calcule la déformation en fonction du temps , de

l'expression du modèle ( 4-3 ) suivante:  $\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(1-\beta)} (1-\beta e^{-\alpha(1-\beta)t})$

Où  $E$ : Module d'élasticité ( axial, radial ou tangentiel). Selon le cas, on aura:

a) Pour le bois sans collapse: Le module d'élasticité axial est déterminé expérimentalement par un essai de flexion statique (chapitre 3.4); les modules d'élasticité radial et longitudinal, sont obtenus par le calcul à partir du modèle prévisionnel donnant les constantes élastiques du matériau en fonction de la densité (théorie de GUITARD; chapitre 3.7.1).

b) Pour le bois avec collapse: Le module d'élasticité axial est déterminé expérimentalement par un essai de flexion statique (Chapitre 3.4);

Les modules d'élasticité radial et tangentiel, sont déterminés expérimentalement en effectuant l'essai de relaxation suivant:

c) Description de l'essai:

Sur un cube de 30mm de côté, on impose une déformation de 0,5 mm. On décharge ensuite l'éprouvette et on enregistre les déformations et charges correspondantes (15 essais par espèce de bois). On détermine alors, par le calcul les modules d'élasticité radial et tangentiel du bois avec collapse, à partir de l'expression du

modèle ( 4-3 ) suivante: 
$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t) (1-\beta)} (1-\beta e^{-\alpha(1-\beta)t})$$
 Où  $E(t)$  : Module d'élasticité ( radial et tangentiel pour bois avec collapse);  $\alpha$  et  $\beta$  : valeurs moyennes déterminées expérimentalement;  $\sigma(t)$  : Contrainte correspondant à la charge sur la section; prise lors de la décharge et correspondant à une valeur donnée de la déformation et du temps;  $\varepsilon(t) = \Delta l / l_0$  : Déformation subie par l'éprouvette Où:  $\Delta l$  : déplacement absolu subi par l'éprouvette lors de la compression( $\Delta l = l - l_0$ );  $l_0$  : dimension initiale de l'éprouvette avant compression .

Les résultats des essais sont donnés dans les tableaux ci - dessous(4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6). Les résultats détaillés sont donnés en annexe XI

#### 4.4 Détermination des modules d'élasticité (sens radial et tangentiel).

##### 4.4.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse:

Les résultats sont donnés dans les tableaux n°4.1 et 4.2.

Tableau n°4.1. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

N=15	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (MPa)
MOY	573,33	900,00	6,37	0,4	30	1,33E-02	21	0,35	1,88	0,89728	748,02
S	65,10	0,00	0,72	0,00	0	2,49E-10	2,39	0,04	3,902 E-08	0	64,81
CV (%)	11,35	0,00	11,35	0,00	0	1,87E-06	11,38	11,38	2,075 6E-06	0	8,66

Tableau n°4.4.2. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

N=15	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>T</sub> (Mpa)
MOY	580,00	900,00	6,44	0,4	30	1,33E-02	19,93	0,33	1,59	0,88678	692,49
S	126,49	0,00	1,41	5,6E- 09	0	2,49E-10	5,39	0,09	2,25 E-08	0	107,04
CV (%)	21,81	0,00	21,8	1,40 E-06	0	1,87E-06	27,04	27,1	1,41 E-06	0	15,46

**4.4.2 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:**

Les résultats sont donnés dans les tableaux n°4.3 et 4.4.

Tableau n°4.3. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (Mpa)
MOY	836,67	900,00	9,30	0,40	30	1,34E-02	14,1	0,24	2,21	0,90467	1009,05
S	48,06	0,00	0,53	0,01	0	4,30E-04	0,99	0,02	0	1,13E-08	51,93
CV (%)	5,74	0,00	5,74	3,20	0	3,20E+00	7,00	7,01	0	1,24E-06	5,15

Tableau n°4.4. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

N=15	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>T</sub> (Mpa)
MOY	706,67	900,00	7,85	0,40	30	1,33E-02	16,6	0,28	1,986	0,903781	873,43
S	25,82	0,00	0,29	0,00	0	2,49E-10	2,92	0,05	0	0	56,03
CV (%)	3,65	0,00	3,65	0,00	0	1,87E-06	17,6	17,6	0	0	6,42

## 4.4.3 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:

Les résultats sont donnés dans les tableaux n°4.5 et 4.6.

Tableau n°4.5. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=15	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (Mpa)
MOY	946,67	900,00	10,52	0,40	30	1,33E-02	13,7	0,23	2,73	0,93835	1241,67
S	99,04	0,00	1,10	0,00	0	2,49E-10	0,96	0,02	6,37 E-08	2,25 E-08	124,15
CV (%)	10,46	0,00	10,46	0,00	0	1,87 E-06	6,99	7,00	2,33 E-06	2,4E-06	10,00

Tableau n°4.6. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t(s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>T</sub> (Mpa)
MOY	700,00	900,00	7,78	0,39	30	1,31E-02	22,2	0,37	2,59	0,93613	1099,19
S	169,03	0,00	1,88	0,04	0	1,39E-03	6,41	0,11	0	0	224,02
CV (%)	24,15	0,00	24,2	10,6	0	1,06E+01	28,9	28,9	0	0	20,38

## 4.5 Détermination des coefficients caractérisant la charge:

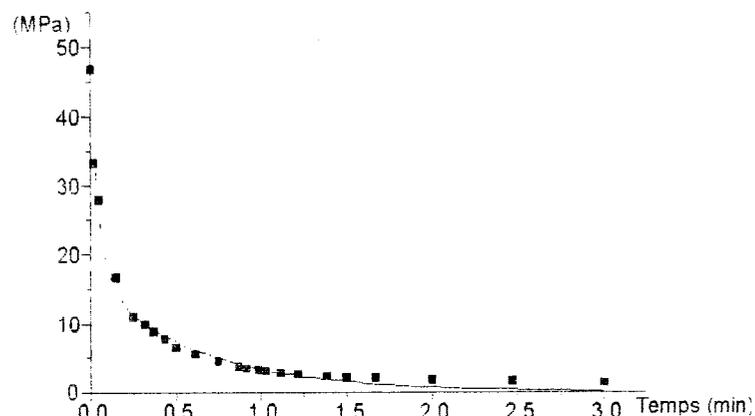
## 4.5.1 RESULTATS ET DISCUSSIONS.

## 4.5.1.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse:

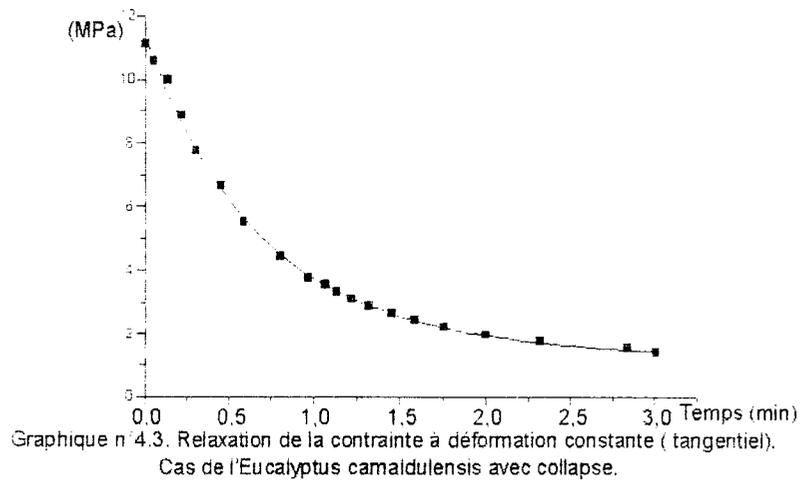
Les résultats des coefficients caractérisant la charge ( par essai et moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.7,4.8,4.9; comportant les données suivantes:  $F_{max}$ :charge maximale;  $F_{min}$ :charge minimale;  $S$ : section de l'éprouvette,  $\sigma_{max}$ : contrainte maximale;  $\sigma_{min}$ : contrainte minimale;  $\beta$  et  $\alpha$ : coefficients dynamique et statique. De plus, nous avons représenté graphiquement la courbe caractéristique moyenne de relaxation de la contrainte à déformation constante dans les 3 directions: axial, radial, tangentiel ( graphiques n°4.1,4.2,4.3). Les résultats d'essai de relaxation de la charge en fonction du temps, ainsi que le temps maximum correspondant à la charge maximale, sont donnés en annexe X (tableaux n°4.1, 4.2, 4.3).

Tableau n°4.7. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens axial). Cas de l'*Eucalyptus camaldulensis* avec collapse.

IV=4	$F_{max}$	$F_{min}$	$S$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
E.CAMIC)	6500.00	120.00	900.00	72.22	1.33	9.82E-01	4.48
AXIAL	6200.00	110.00	900.00	68.89	1.22	9.82E-01	4.36
	4200.00	120.00	900.00	46.67	1.33	9.71E-01	4.28
	6100.00	120.00	900.00	67.78	1.33	9.80E-01	5.04
MOYENNE	5750.00	117.50	900.00	63.89	1.31	9.79E-01	4.54
S	1047.22	5.00	0.00	11.64	0.06	5.04E-03	0.35
CV(%)	18,21	4,26	0,00	18,21	4,26	5,15E-01	7,63







L'essai de relaxation a donné les résultats suivants: l'Eucalyptuscamaldulensis avec collapse exprime un taux de fluage  $\alpha$  et un taux de relaxation  $\beta$ , plus grands dans le sens axial que radial, lui même ayant des taux plus grands que dans le sens tangentiel. Ceci est dû au fait que la rigidité dans la direction des fibres (longitudinales) est d'un ordre de grandeur plus grand que la rigidité radiale (rayons ligneux), elle-même supérieure à la rigidité tangentielle (cernes d'accroissement annuels):  $E_L \gg E_R > E_T$ . Ceci est illustré par les graphiques n° 4.1, 4.2, 4.3 : où l'on constate suivant l'allure des 3 courbes de relaxation de la contrainte; que c'est dans la direction axiale que le matériau se relaxe le plus; ensuite dans la direction radiale et enfin dans la direction tangentielle. La courbe caractéristique de relaxation montre que la contrainte évolue en deux temps: Tout d'abord suivant une décroissance exponentielle: C'est la mise en évidence du phénomène dynamique de la contrainte interne qui se relaxe plus ou moins rapidement suivant la direction de sollicitation considérée(axiale, radiale ou tangentielle). Ensuite, il y a changement d'allure de la courbe; celle-ci diminue graduellement au cours du temps à une valeur presque constante de la contrainte. Au delà d'un certain temps (24 heures), on constate que la contrainte relaxée subsiste toujours dans le matériau bois(contrainte résiduelle). A partir de cet essai, on déduit que le matériau bois a un comportement viscoélastique.

**4.5.1.2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse:** Les résultats des coefficients caractérisant la charge (par essai et moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n° 4.10, 4.11, 4.12. Les



Pour le cas du bois sans collapse, on constate d'après les résultats trouvés que celui-ci possède des taux de fluage et de relaxation supérieurs à ceux du bois sans collapse. En effet, le matériau sans collapse, supposé n'ayant pas subi de grande déformation due au collapse; possède des propriétés de relaxation et de fluage supérieures.

**4.5.1.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:** Les résultats des coefficients caractérisant la charge ( par essai et moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.13,4.14,4.15. Les résultats d'essai de relaxation de la charge en fonction du temps, ainsi que le temps maximum correspondant à la charge maximale, sont donnés en annexe X (tableaux n°4.7, 4.8, 4.9).

**Tableau n°4.13. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens axial). Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

E. CLAD(C)	$F_{max}$	$F_{min}$	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
AXIAL	6600,00	100,00	900,00	73,33	1,11	9,85E-01	5,26
N=4	6900,00	100,00	900,00	76,67	1,11	9,86E-01	5,90
	5860,00	120,00	900,00	65,11	1,33	9,80E-01	4,51
	5200,00	120,00	900,00	57,78	1,33	9,77E-01	4,54
MOYENNE	6140,00	110,00	900,00	68,22	1,22	9,82E-01	5,05
S	764,02	11,55	0,00	8,49	0,13	4,16E-03	0,66
CV(%)	12,44	10,50	0,00	12,44	10,50	4,24E-01	13,1 5

**Tableau n°4.14. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens radial). Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

E. CLAD(C)	$F_{max}$	$F_{min}$	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
RADIAL	1360,00	130,00	900,00	15,11	1,44	9,04E-01	2,31
N=4	1300,00	130,00	900,00	14,44	1,44	9,00E-01	2,09
	1400,00	130,00	900,00	15,56	1,44	9,07E-01	2,11
	1400,00	130,00	900,00	15,56	1,44	9,07E-01	2,33
MOYENNE	1365,00	130,00	900,00	15,17	1,44	9,05E-01	2,21
S	47,26	0,00	0,00	0,53	0,00	3,37E-03	0,12
CV(%)	3,46	0,00	0,00	3,46	0,00	3,73E-01	5,62



**Tableau n°4.17. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens radial). Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

CLAD(NC)	$F_{max}$	$F_{min}$	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
RADIAL	1400,00	140,00	900,00	15,56	1,56	9,00E-01	2,51
N=4	1460,00	130,00	900,00	16,22	1,44	9,11E-01	3,01
	1460,00	140,00	900,00	16,22	1,56	9,04E-01	2,11
	1460,00	130,00	900,00	16,22	1,44	9,11E-01	3,34
MOYENNE	1445,00	135,00	900,00	16,06	1,50	9,07E-01	2,74
S	30,00	5,77	0,00	0,33	0,06	5,41E-03	0,54
CV(%)	2,08	4,28	0,00	2,08	4,28	5,97E-01	19,8
							6

**Tableau n°4.18. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens tangentiel). Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

CLAD(NC)	$F_{max}$	$F_{min}$	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
RADIAL	1500,00	130,00	900,00	16,67	1,44	9,13E-01	3,43
N=4	1600,00	150,00	900,00	17,78	1,67	9,06E-01	2,25
	1600,00	140,00	900,00	17,78	1,56	9,13E-01	2,69
	1400,00	140,00	900,00	15,56	1,56	9,00E-01	2,14
MOYENNE	1525,00	140,00	900,00	16,94	1,56	9,08E-01	2,63
S	95,74	8,16	0,00	1,06	0,09	6,21E-03	0,59
CV(%)	6,28	5,83	0,00	6,28	5,83	6,84E-01	22,2
							5

L'essai de relaxation a permis de montrer que: L'Eucalyptus cladocalyx sans collapse possède des propriétés de relaxation et de fluage plus grandes que celles de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

#### 4.5.1.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:

Les résultats des coefficients caractérisant la charge ( par essai et moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.19,4.20,4.21. Les résultats d'essai de relaxation de la charge en fonction du temps, ainsi que le temps maximum correspondant à la charge maximale, sont donnés en annexe X (tableaux n°4.13, 4.14, 4.15).

**Tableau n°4.19. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens axial). Cas de l'Eucalyptus gomphocaphala avec collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(C)	6740,00	130,00	900,00	74,89	1,44	9,81E-01	4,13
AXIAL	5100,00	80,00	900,00	56,67	0,89	9,84E-01	5,17
	6300,00	150,00	900,00	70,00	1,67	9,76E-01	3,81
	4900,00	110,00	900,00	54,44	1,22	9,78E-01	4,75
MOYENNE	5760,00	117,50	900,00	64,00	1,31	9,80E-01	4,46
S	899,48	29,86	0,00	9,99	0,33	3,62E-03	0,61
CV(%)	15,62	25,41	0,00	15,62	25,41	3,69E-01	13,6
							9

**Tableau n°4.20. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens radial). Cas de l'Eucalyptus gomphocaphala avec collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(C)	2000,00	140,00	900,00	22,22	1,56	9,30E-01	2,83
RADIAL	2360,00	130,00	900,00	26,22	1,44	9,45E-01	2,94
	2140,00	140,00	900,00	23,78	1,56	9,35E-01	2,40
	2140,00	120,00	900,00	23,78	1,33	9,44E-01	2,76
MOYENNE	2160,00	132,50	900,00	24,00	1,47	9,38E-01	2,73
S	148,77	9,57	0,00	1,65	0,11	7,26E-03	0,23
CV(%)	6,89	7,23	0,00	6,89	7,23	7,74E-01	8,51

**Tableau n°4.21. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens tangentiel). Cas de l'Eucalyptus gomphocaphala avec collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(C)	2000,00	130,00	900,00	22,22	1,44	9,35E-01	2,42
TANG	2040,00	120,00	900,00	22,67	1,33	9,41E-01	2,95
	1720,00	120,00	900,00	19,11	1,33	9,30E-01	2,41
	2100,00	130,00	900,00	23,33	1,44	9,38E-01	2,58
MOYENNE	1965,00	125,00	900,00	21,83	1,39	9,36E-01	2,59
S	168,42	5,77	0,00	1,87	0,06	4,67E-03	0,25
CV(%)	8,57	4,62	0,00	8,57	4,62	4,99E-01	9,65

4.5.1.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse: Les résultats des coefficients caractérisant la charge ( par essai et moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.22,4.23,4.24. Les résultats d'essai de relaxation sont donnés en annexe X.

**Tableau n°4.22. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens axial). Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(NC)	6740,00	130,00	900,00	74,89	1,44	9,81E-01	4,06
AXIAL	5900,00	130,00	900,00	65,56	1,44	9,78E-01	4,03
	6340,00	140,00	900,00	70,44	1,56	9,78E-01	4,82
	6640,00	140,00	900,00	73,78	1,56	9,79E-01	5,62
MOYENNE	6405,00	135,00	900,00	71,17	1,50	9,79E-01	4,63
S	326,61	5,00	0,00	3,63	0,06	1,13E-03	0,65
CV(%)	5,10	3,70	0,00	5,10	3,70	1,16E-01	14,10

**Tableau n°4.23. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens radial). Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(NC)	2500,00	140,00	900,00	27,78	1,56	9,44E-01	3,48
RADIAL	2240,00	130,00	900,00	24,89	1,44	9,42E-01	2,89
	2160,00	140,00	900,00	24,00	1,56	9,35E-01	2,67
	2760,00	130,00	900,00	30,67	1,44	9,53E-01	3,13
MOYENNE	2415,00	135,00	900,00	26,83	1,50	9,44E-01	3,04
S	235,53	5,00	0,00	2,62	0,06	6,33E-03	0,30
CV(%)	9,75	3,70	0,00	9,75	3,70	6,70E-01	9,85

**Tableau n°4.24. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge (sens tangentiel). Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=4	F <sub>max</sub>	F <sub>min</sub>	S (mm <sup>2</sup> )	σ <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub>	β	α
GONF(NC)	2120,00	130,00	900,00	23,56	1,44	9,39E-01	2,78
TANGENT	2100,00	130,00	900,00	23,33	1,44	9,38E-01	2,29
	2100,00	130,00	900,00	23,33	1,44	9,38E-01	2,70
	1800,00	130,00	900,00	20,00	1,44	9,28E-01	2,70
MOYENNE	2030,00	130,00	900,00	22,56	1,44	9,36E-01	2,62
S	133,04	0,00	0,00	1,48	0,00	4,56E-03	0,19
CV(%)	6,55	0,00	0,00	6,55	0,00	4,87E-01	7,24

L'*Eucalyptus gomphocephala* sans collapse est celui qui possède les propriétés de fluage et de relaxation les plus importantes en comparaison avec l'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse. Les résultats des coefficients caractérisant la charge (moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.25,4.26,4.27.

**Tableau n°4.25. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens axial). Cas des trois espèces d'*Eucalyptus* avec collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
<i>E. camaldulensis</i>	5750,00	117,50	900,00	63,89	1,31	9,79E-01	4,54
<i>E. cladocalyx</i>	6140,00	110,00	900,00	68,22	1,22	9,82E-01	5,05
<i>E. gomphocephala</i>	5760,00	117,50	900,00	64,00	1,31	9,80E-01	4,46

**Tableau n°4.26. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens radial). Cas des trois espèces d'*Eucalyptus* avec collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
<i>E. camaldulensis</i>	1315,00	135,00	900,00	14,61	1,50	8,97E-01	1,88
<i>E. cladocalyx</i>	1365,00	130,00	900,00	15,17	1,44	9,05E-01	2,21
<i>E. gomphocephala</i>	2160,00	132,50	900,00	24,00	1,47	9,38E-01	2,73

**Tableau n°4.27. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens tangentiel). Cas des trois espèces d'*Eucalyptus* avec collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
<i>E. camaldulensis</i>	1215,00	135,00	900,00	13,50	1,50	8,87E-01	1,59
<i>E. cladocalyx</i>	1405,00	135,00	900,00	15,61	1,50	9,04E-01	1,99
<i>E. gomphocephala</i>	1965,00	125,00	900,00	21,83	1,39	9,36E-01	2,59

En comparant les 3 espèces de bois avec collapse , (tableau n°4.25), on constate :

Dans le sens axial: Le taux de fluage , augmente selon l'espèce dans l'ordre: *E. gomphocephala*, *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* ; alors que leur taux de relaxation est presque le même. Dans le sens radial (Tableau n°4.26): Le taux de fluage , augmente selon l'espèce dans l'ordre: *E. camaldulensis* ,*E. cladocalyx* ,*E. gomphocephala*; leur taux de relaxation varie dans le même sens. Dans le sens tangentiel (Tableau n°4.27): Le taux de fluage , augmente selon l'espèce dans l'ordre: *E. camaldulensis* , *E. cladocalyx* ,*E. gomphocephala*; leur taux de relaxation varie dans le même sens.

Les résultats des coefficients caractérisant la charge (moyenne des essais) dans les 3 sens : axial, radial et tangentiel sont donnés dans les tableaux n°4.28,4.29,4.30.

**Tableau n°4.28. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens axial). Cas des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
E. camaldulensis	6265,00	125,00	900,00	69,61	1,39	9,80E-01	5,27
E. cladocalyx	6260,00	125,00	900,00	69,56	1,39	9,80E-01	5,14
E. gomphocephala	6405,00	135,00	900,00	71,17	1,50	9,79E-01	4,63

**Tableau n°4.29. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens radial). Cas des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
E. camaldulensis	1415,00	140,00	900,00	15,72	1,56	9,00E-01	2,22
E. cladocalyx	1445,00	135,00	900,00	16,06	1,50	9,07E-01	2,74
E. gomphocephala	2415,00	135,00	900,00	26,83	1,50	9,44E-01	3,04

**Tableau n°4.30. Résultats de calcul des coefficients caractérisant la charge moyenne (sens tangentiel). Cas des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.**

Matériaux	$F_{max}$	$F_{min}$	$S (mm^2)$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
E. camaldulensis	1320,00	145,00	900,00	14,67	1,61	8,89E-01	2,08
E. cladocalyx	1525,00	140,00	900,00	16,94	1,56	9,08E-01	2,63
E. gomphocephala	2030,00	130,00	900,00	22,56	1,44	9,36E-01	2,62

On constate d'après les tableaux n°4. 28, 4.29,4.30: que la variation des taux de fluage et de relaxation s'effectue dans l'ordre suivant: Dans le sens axial: augmentation du taux de fluage : E. Gomphocephala, E. cladocalyx, E. camaldulensis alors que le taux de relaxation est presque identique. Par contre, pour les sens radial et tangentiel, les taux augmentent dans le même sens dans l'ordre: E. camaldulensis , E. cladocalyx, E. gomphocephala.

**Comparaison des moyennes des coefficients caractérisant la charge des trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse dans les trois directions (axiale, radiale et tangentielle):**

Les moyennes des coefficients caractérisant la charge des trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse dans les trois directions (axial, radial et tangentiel) sont données dans le tableau n°4.31.

Tableau 4.31. Comparaison des moyennes des coefficients caractérisant la charge moyenne des trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse dans les trois directions (axiale, radiale et tangentielle).

Espece	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\beta$	$\alpha$
e			E-01				E-01				E-01	
1	63,89	1,31	9,79	4,54	14,61	1,50	8,97	1,88	13,50	1,50	8,87	1,59
2	69,61	1,39	9,80	5,27	15,72	1,56	9,00	2,22	14,67	1,61	8,89	2,08
3	68,22	1,22	9,82	5,05	15,17	1,44	9,05	2,21	15,61	1,50	9,04	1,99
4	69,56	1,39	9,80	5,14	16,06	1,50	9,07	2,74	16,94	1,56	9,08	2,63
5	64,00	1,31	9,80	4,46	24,00	1,47	9,38	2,73	21,83	1,39	9,36	2,59
6	71,17	1,50	9,79	4,63	26,83	1,50	9,44	3,04	22,56	1,44	9,36	2,62

(1)E.camal.avec collapse ; (2)E.camal.sans collapse; (3)E. clado.avec collapse; (4)E.clado.sans collapse; (5)E.gompho.avec collapse; (6)E.gompho.sans collapse.

#### 4.5.1.7 CONCLUSIONS:

D'après le tableau n°4.31; on voit que : les 3 espèces se classent suivant leurs coefficients de fluage et relaxation .

a) Cas des bois avec collapse:

1°) Taux de fluage:

On constate, quelque - soit l'espèce considérée que:  $\alpha_L > \alpha_R > \alpha_T$  ; ce qui veut dire que le taux de fluage dans la direction axiale est grand devant le taux de fluage dans la direction radiale; lui même supérieur au taux de fluage dans la direction tangentielle. Ceci est liée à la différence des rigidités dans les 3 directions d'orthotropie du matériau bois. On trouve un taux de fluage presque équivalent pour le gomphocephala (le plus dense) et le camaldulensis (le moins dense). Ce qui peut être attribué à l'hétérogénéité du gomphocephala où les tissus sollicités sont beaucoup plus faibles. Par contre, c'est le cladocalyx, qui a le taux de fluage le plus important dans la direction axiale.

2°) Taux de relaxation:

On constate que ce taux de relaxation varie, quelque soit l'espèce considérée dans le même sens que le taux de fluage; soit:  $\beta_L > \beta_R > \beta_T$  : Le taux de relaxation est plus grand dans la direction longitudinale, que radiale, que tangentielle. Entre les espèces, le taux de relaxation augmente en fonction de leur densité.

#### b) Cas des bois sans collapse:

On retrouve les mêmes relations d'ordre que pour le bois avec collapse:  $\alpha_L > \alpha_R > \alpha_T$  et  $\beta_L > \beta_R > \beta_T$ . De plus, on observe quelque soit l'espèce considérée que le taux de fluage dans la direction axiale, diminue, lorsque la densité augmente. Ce qui rejoint ce qu'on a constaté à propos du gomphocephala. Par contre, dans les 2 autres directions, l'augmentation de la densité s'accompagne de l'augmentation des taux de fluage. Le taux de relaxation entre les 3 espèces; augmente avec la densité dans les directions radiale et tangentielle; mais cependant, reste constant dans la direction axiale: il ne varie pas avec la densité. Le matériau sans collapse possède des propriétés de fluage et de relaxation plus grandes que celles du matériau collapsé et cela quelque soit l'espèce de bois considérée. Le taux de fluage varie suivant les directions d'application de la charge: il est plus grand dans le sens axial (fibres du bois), que dans le sens radial (rayons ligneux), que dans le sens tangentiel (cernes d'accroissements). En général, on observe que c'est le gomphocephala qui possède les taux de fluage et de relaxation les plus importants, suivi en cela par le cladocalyx et ensuite, par le camaldulensis.

#### 4.6 Détermination des paramètres de fluage:

##### 4.6.1 RESULTATS ET DISCUSSIONS.

##### 4.6.1.1 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse:

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.32,4.33,4.34. Ces tableaux comportent les données suivantes:  $F(t)$  en MPa, la charge en fonction du temps ;  $\sigma(t)$  en MPa: la contrainte en fonction du temps ;  $t$  (min): le temps correspondant à celles-ci et  $E_L$  : module d'élasticité longitudinal en Mpa. Ces données sont déterminées expérimentalement à partir du graphe de  $\sigma(t)$ . Les paramètres de fluages calculés sont:  $\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$ ;  $\alpha(1-\beta)$  et  $\sigma_{max} / E_L$ . Les graphes n°4.19,4.20,4.21; correspondants à l'essai de fluage sont donnés par la déformation moyenne en fonction du temps: celle-ci étant calculée à partir des résultats de l'expérience (tableaux n°4.32.1; 4.32.2 et 4.32.3). Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

Tableau n°4.32. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
E.CAM(C)	800	8,89	0,5	12918,93	0,30	0,08	5,59E-03
AXIAL	800	8,89	0,5	12918,93	0,30	0,08	5,33E-03
	600	6,67	0,5	12918,93	0,13	0,12	3,61E-03
	600	6,67	0,5	12918,93	0,27	0,10	5,25E-03
MOYENNE	700	7,78	0,5	12918,93	0,23	0,10	4,95E-03
S	115,47	1,28	0	0	0,08	0,02	9,01E-04
OV(%)	16,49	16,50	0	0	35,62	21,22	1,82E+01

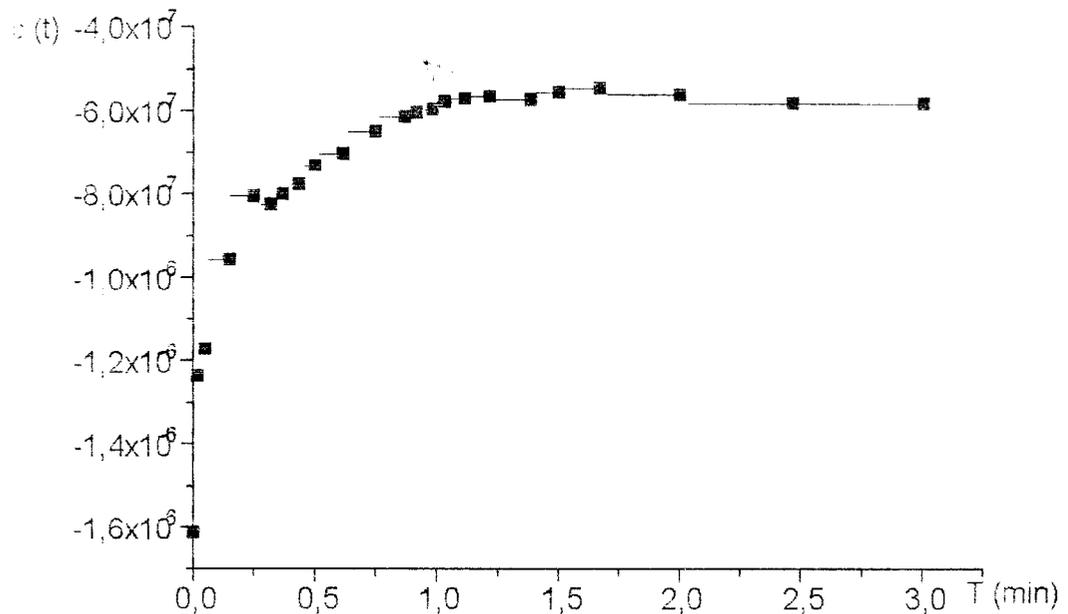
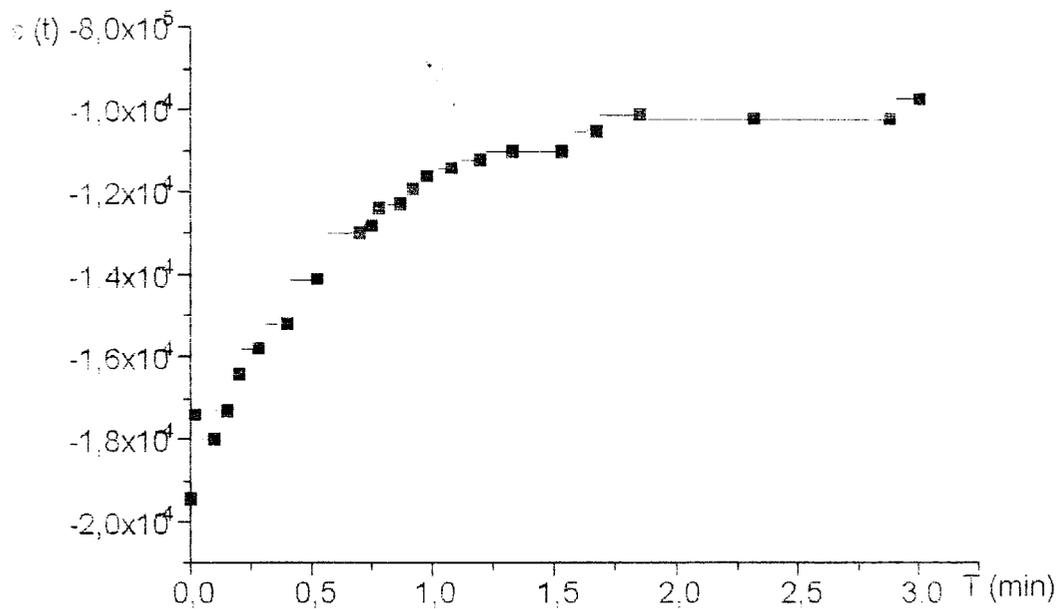


Tableau n°4.32.1. Détermination de la contrainte et déformation en fonction du temps(sens axial). Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse .

tmax= 159s	F (kgf)	t (sec)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$ (Mpa)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>L</sub>	t (min)	$\epsilon(t)$
1	4200	0,00	900	46,67	4,54	0,97888	12918,93	0,00	1,6113E-06
2	3000	1	900	33,33	4,54	0,97888	12918,93	0,02	1,2361E-06
3	2500	3	900	27,78	4,54	0,97888	12918,93	0,05	1,1717E-06
4	1500	9	900	16,67	4,54	0,97888	12918,93	0,15	9,5631E-07
5	1000	15	900	11,11	4,54	0,97888	12918,93	0,25	8,048E-07
6	900	19	900	10,00	4,54	0,97888	12918,93	0,32	8,2387E-07
7	800	22	900	8,89	4,54	0,97888	12918,93	0,37	7,9833E-07
8	700	26	900	7,78	4,54	0,97888	12918,93	0,43	7,7511E-07
9	600	30	900	6,67	4,54	0,97888	12918,93	0,50	7,2959E-07
10	500	37	900	5,56	4,54	0,97888	12918,93	0,62	7,0226E-07
11	400	45	900	4,44	4,54	0,97888	12918,93	0,75	6,4697E-07
12	340	52	900	3,78	4,54	0,97888	12918,93	0,87	6,1251E-07
13	320	55	900	3,56	4,54	0,97888	12918,93	0,92	6,0152E-07
14	300	59	900	3,33	4,54	0,97888	12918,93	0,98	5,9506E-07
15	280	62	900	3,11	4,54	0,97888	12918,93	1,03	5,7706E-07
16	260	67	900	2,89	4,54	0,97888	12918,93	1,12	5,6916E-07
17	240	73	900	2,67	4,54	0,97888	12918,93	1,22	5,6197E-07
18	220	83	900	2,44	4,54	0,97888	12918,93	1,38	5,7032E-07
19	200	90	900	2,22	4,54	0,97888	12918,93	1,50	5,5312E-07
20	180	100	900	2,00	4,54	0,97888	12918,93	1,67	5,4175E-07
21	160	120	900	1,78	4,54	0,97888	12918,93	2,00	5,5783E-07
22	140	148	900	1,56	4,54	0,97888	12918,93	2,47	5,7803E-07
23	120	180	900	1,33	4,54	0,97888	12918,93	3,00	5,7942E-07

Tableau n°4.33. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{ma} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
E.CAM(C)	600,00	6,67	0,55	760,81	0,20	0,17	1,97E-02
RADIAL	600,00	6,67	0,52	760,81	0,19	0,19	1,97E-02
	600,00	6,67	0,52	760,81	0,18	0,19	1,90E-02
	500,00	5,56	0,52	760,81	0,18	0,22	1,84E-02
MOYENNE	575,00	6,39	0,53	760,81	0,19	0,19	1,92E-02
S	50,00	0,56	0,01	0	0,01	0,02	6,37E-04
CV(%)	8,70	8,70	2,84	0	6,98	11,54	3,31E+00

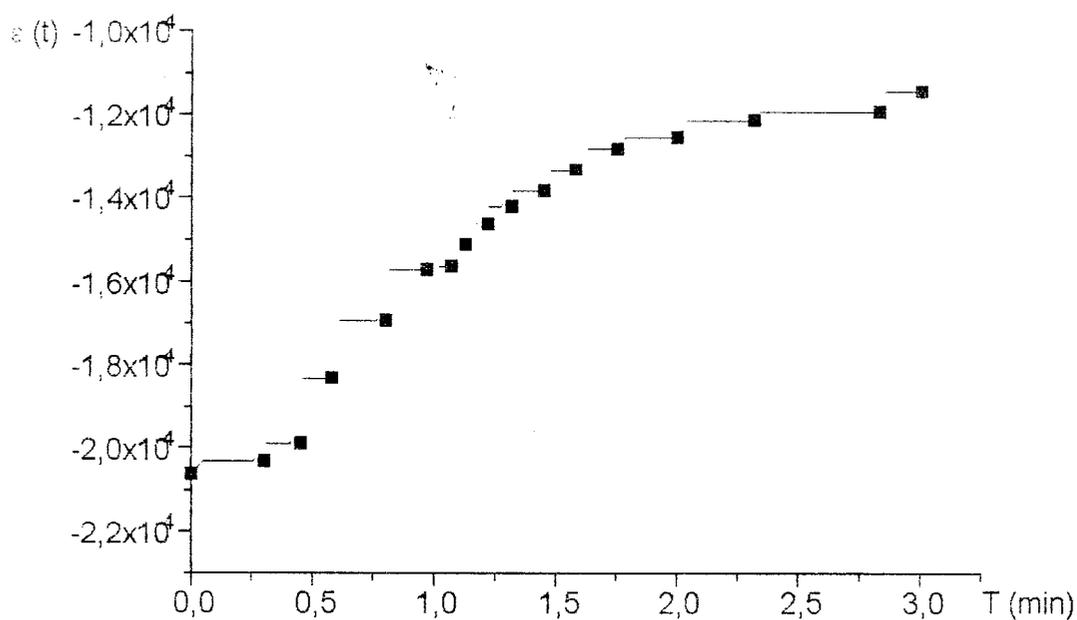


**Tableau n°4.33.1. Détermination de la contrainte et déformation en fonction du temps(sens radial). Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse .**

t <sub>max</sub> =89s	F(kgf)	t (sec)	S(mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$ (Mpa)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub>	t(min)	$\epsilon(t)$
1	1300	0,00	900	14,44	1,88	0,89728	760,81	0,00	2,00E-04
2	1100	7	900	12,22	1,88	0,89728	760,81	0,12	2,02E-04
3	1000	10	900	11,11	1,88	0,89728	760,81	0,17	1,97E-04
4	900	14	900	10,00	1,88	0,89728	760,81	0,23	1,92E-04
5	800	16	900	8,89	1,88	0,89728	760,81	0,27	1,77E-04
6	700	20	900	7,78	1,88	0,89728	760,81	0,33	1,67E-04
7	600	31	900	6,67	1,88	0,89728	760,81	0,52	1,69E-04
8	500	39	900	5,56	1,88	0,89728	760,81	0,65	1,56E-04
9	400	52	900	4,44	1,88	0,89728	760,81	0,87	1,45E-04
10	360	59	900	4,00	1,88	0,89728	760,81	0,98	1,39E-04
11	340	64	900	3,78	1,88	0,89728	760,81	1,07	1,38E-04
12	320	69	900	3,56	1,88	0,89728	760,81	1,15	1,35E-04
13	300	77	900	3,33	1,88	0,89728	760,81	1,28	1,35E-04
14	280	83	900	3,11	1,88	0,89728	760,81	1,38	1,32E-04
15	260	95	900	2,89	1,88	0,89728	760,81	1,58	1,32E-04
16	240	105	900	2,67	1,88	0,89728	760,81	1,75	1,30E-04
17	220	115	900	2,44	1,88	0,89728	760,81	1,92	1,26E-04
18	200	128	900	2,22	1,88	0,89728	760,81	2,13	1,22E-04
19	160	176	900	1,78	1,88	0,89728	760,81	2,13	1,22E-04
20	140	180	900	1,56	1,88	0,89728	760,81	3,00	1,04E-04

**Tableau n°4.34. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).  
Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
E.CAM(C)	500,00	5,56	0,48	692,49	0,23	0,24	2,18E-02
TANGENT	700,00	7,78	0,55	692,49	0,22	0,15	2,25E-02
	700,00	7,78	0,53	692,49	0,14	0,13	1,76E-02
	600,00	6,67	0,45	692,49	0,12	0,18	1,60E-02
MOYENNE	625,00	6,94	0,50	692,49	0,18	0,17	1,95E-02
S	95,74	1,06	0,05	0,00	0,06	0,05	3,14E-03
CV(%)	15,32	15,32	9,10	0,00	31,02	27,76	1,61E+01



**Tableau n°4.34.1. Détermination de la contrainte et déformation en fonction du temps(sens tangentiel). Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse**

t <sub>max</sub> =94s	F (kgf)	t (sec)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$ (Mpa)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>T</sub>	t (min)	$\varepsilon(t)$
1	1000	0	900	11,11	1,59	0,88678	692,49	0,00	2,06E-04
2	950	3	900	10,56	1,59	0,88678	692,49	0,08	2,07E-04
3	900	8	900	10,00	1,59	0,88678	692,49	0,10	1,99E-04
4	800	13	900	8,89	1,59	0,88678	692,49	0,15	1,99E-04
5	700	18	900	7,78	1,59	0,88678	692,49	0,23	2,04E-04
6	600	27	900	6,67	1,59	0,88678	692,49	0,32	2,06E-04
7	500	35	900	5,56	1,59	0,88678	692,49	0,42	2,09E-04
8	400	48	900	4,44	1,59	0,88678	692,49	0,53	2,12E-04
9	340	58	900	3,78	1,59	0,88678	692,49	0,70	2,18E-04
10	320	64	900	3,56	1,59	0,88678	692,49	0,83	2,15E-04
11	300	68	900	3,33	1,59	0,88678	692,49	1,17	2,04E-04
12	280	73	900	3,11	1,59	0,88678	692,49	1,30	1,84E-04
13	260	79	900	2,89	1,59	0,88678	692,49	1,43	1,72E-04
14	240	87	900	2,67	1,59	0,88678	692,49	1,53	1,66E-04
15	220	95	900	2,44	1,59	0,88678	692,49	1,75	1,67E-04
16	200	105	900	2,22	1,59	0,88678	692,49	1,97	1,65E-04
17	180	120	900	2,00	1,59	0,88678	692,49	2,17	1,60E-04
18	160	139	900	1,78	1,59	0,88678	692,49	2,48	1,26E-04
19	140	170	900	1,56	1,59	0,88678	692,49	3,00	1,23E-04
20	130	180	900	1,44	1,59	0,88678	692,49	3,00	1,23E-04

#### 4.6.1 .2 Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse:

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.35,4.36,4.37. Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

Tableau n°4.35. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
CAM(NC)	300,00	3,33	0,50	19312,44	0,25	0,11	3,80E-03
AXIAL	700,00	7,78	0,50	19312,44	0,12	0,12	3,05E-03
	700,00	7,78	0,47	19312,44	0,15	0,12	3,51E-03
	800,00	8,89	0,50	19312,44	0,24	0,08	4,06E-03
MOYENNE	625,00	6,94	0,49	19312,44	0,19	0,10	3,60E-03
S	192,03	2,13	0,01	0	0,06	0,02	3,75E-04
CV(%)	30,72	30,72	2,64	0	30,09	14,68	1,04E+01

Tableau n°4.36. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
CAM(NC)	600,00	6,67	0,53	2180	0,07	0,19	7,14E-03
RADIAL	500,00	5,56	0,55	2180	0,07	0,23	6,83E-03
	600,00	6,67	0,48	2180	0,10	0,21	8,26E-03
	500,00	5,56	0,50	2180	0,06	0,25	6,63E-03
MOYENNE	550,00	6,11	0,52	2180	0,07	0,22	7,21E-03
S	50,00	0,56	0,03	0	0,01	0,02	6,30E-04
CV(%)	9,09	9,09	5,23	0	18,01	10,36	8,73E+00

Tableau n°4.37. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
CAM(NC)	500,00	5,56	0,52	1321,00	0,11	0,24	1,14E-02
TANGENT	700,00	7,78	0,52	1321,00	0,12	0,16	1,18E-02
	500,00	5,56	0,48	1321,00	0,12	0,26	1,18E-02
	500,00	5,56	0,57	1321,00	0,07	0,26	9,42E-03
MOYENNE	550,00	6,11	0,52	1321,00	0,10	0,23	1,11E-02
S	86,60	0,96	0,03	0,00	0,02	0,04	9,81E-04
CV(%)	15,75	15,75	6,11	0,00	20,99	18,84	8,83E+00

#### 4.6.1.3 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse:

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.38,4.39,4.40. Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

Tableau n°4.38. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

E. CLAD(C)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
AXIAL	500,00	5,56	0,53	21156,12	0,23	0,08	3,47E-03
N=4	500,00	5,56	0,48	21156,12	0,25	0,09	3,62E-03
	600,00	6,67	0,55	21156,12	0,15	0,09	3,08E-03
	600,00	6,67	0,52	21156,12	0,12	0,10	2,73E-03
MOYENNE	550,00	6,11	0,52	21156,12	0,19	0,09	3,22E-03
S	57,74	0,64	0,03	0	0,06	0,01	4,01E-04
CV(%)	10,50	10,50	5,66	0	33,54	11,86	1,24E+01

Tableau n°4.39. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

E. CLAD(C)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{ma} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
RADIAL	500,00	5,56	0,52	1009,05	0,16	0,22	1,50E-02
N=4	500,00	5,56	0,55	1009,05	0,14	0,21	1,43E-02
	600,00	6,67	0,47	1009,05	0,17	0,20	1,54E-02
	500,00	5,56	0,53	1009,05	0,17	0,22	1,54E-02
MOYENNE	525,00	5,83	0,52	1009,05	0,16	0,21	1,50E-02
S	50,00	0,56	0,03	0	0,01	0,01	5,20E-04
CV(%)	9,52	9,52	6,58	0	6,85	5,04	3,46E+00

**Tableau n°4.40. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).**

**Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse**

E.CLAD(C)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{ma} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
TANGENT	600,00	6,67	0,50	873,43	0,20	0,20	1,88E-02
N=4	500,00	5,56	0,58	873,43	0,20	0,20	1,83E-02
	700,00	7,78	0,45	873,43	0,18	0,18	1,78E-02
	600,00	6,67	0,50	873,43	0,17	0,18	1,65E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,51	873,43	0,19	0,19	1,79E-02
S	81,65	0,91	0,05	0,00	0,02	0,01	9,83E-04
CV(%)	13,61	13,61	10,60	0,00	9,51	5,67	5,50E+00

**4.6.1.4 Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse:**

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.41,4.42,4.43. Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

**Tableau n°4.41. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).**

**Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

CLAD(NC)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
AXIAL	900,00	10,00	0,42	29199,54	0,16	0,09	2,78E-03
N=4	900,00	10,00	0,45	29199,54	0,12	0,10	2,41E-03
	900,00	10,00	0,40	29199,54	0,09	0,11	1,98E-03
	800,00	8,89	0,37	29199,54	0,12	0,11	2,36E-03
MOYENNE	875,00	9,72	0,41	29199,54	0,12	0,10	2,38E-03
S	50,00	0,56	0,03	0	0,03	0,01	3,27E-04
CV(%)	5,71	5,71	8,21	0	23,88	9,58	1,37E+01

Tableau n°4.42. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.

CLAD(NC)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
RADIAL	500,00	5,56	0,50	2803	0,06	0,25	5,55E-03
N=4	400,00	4,44	0,53	2803	0,06	0,27	5,79E-03
	600,00	6,67	0,50	2803	0,06	0,20	5,79E-03
	380,00	4,22	0,50	2803	0,06	0,30	5,79E-03
MOYENNE	470,00	5,22	0,51	2803	0,06	0,25	5,73E-03
S	101,32	1,13	0,01	0	0,00	0,04	1,19E-04
CV(%)	21,56	21,56	2,96	0	7,39	15,71	2,08E+00

Tableau n°4.43. Détermination des paramètres de fluage (sens tangential).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.

CLAD(NC)	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
AXIAL	360,00	4,00	0,52	1850,00	0,10	0,30	9,01E-03
N=4	600,00	6,67	0,52	1850,00	0,10	0,21	9,61E-03
	500,00	5,56	0,52	1850,00	0,11	0,24	9,61E-03
	600,00	6,67	0,47	1850,00	0,08	0,21	8,41E-03
MOYENNE	515,00	5,72	0,51	1850,00	0,10	0,24	9,16E-03
S	113,58	1,26	0,03	0,00	0,01	0,04	5,75E-04
CV(%)	22,05	22,05	4,93	0,00	11,12	16,72	6,28E+00

#### 4.6.1.5 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse:

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.44,4.45,4.46. Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

**Tableau n°4.44. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).****Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
GONF(C)	900,00	10,00	0,52	32400,67	0,12	0,08	2,31E-03
AXIAL	500,00	5,56	0,48	32400,67	0,11	0,08	1,75E-03
	1000,00	11,11	0,52	32400,67	0,09	0,09	2,16E-03
	600,00	6,67	0,48	32400,67	0,07	0,11	1,68E-03
MOYENNE	750,00	8,33	0,50	32400,67	0,10	0,09	1,98E-03
S	238,05	2,64	0,02	0	0,02	0,01	3,08E-04
CV(%)	31,74	31,74	4,62	0	20,50	13,84	1,56E+01

**Tableau n°4.45. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).****Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
GONF(C)	500,00	5,56	0,58	1241,67	0,26	0,20	1,79E-02
RADIAL	600,00	6,67	0,53	1241,67	0,38	0,16	2,11E-02
	700,00	7,78	0,53	1241,67	0,29	0,16	1,91E-02
	600,00	6,67	0,52	1241,67	0,34	0,15	1,91E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,54	1241,67	0,32	0,17	1,93E-02
S	81,65	0,91	0,03	0	0,06	0,02	1,33E-03
CV(%)	13,61	13,61	5,01	0	17,54	12,09	6,89E+00

**Tableau n°4.46. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).****Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
GONF(C)	600,00	6,67	0,57	1099,19	0,31	0,16	2,02E-02
TANGENT.	500,00	5,56	0,55	1099,19	0,35	0,17	2,06E-02
	600,00	6,67	0,50	1099,19	0,25	0,17	1,74E-02
	700,00	7,78	0,48	1099,19	0,34	0,16	2,12E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,53	1099,19	0,31	0,16	1,99E-02
S	81,65	0,91	0,04	0,00	0,05	0,01	1,70E-03
CV(%)	13,61	13,61	8,01	0,00	14,71	4,42	8,57E+00

Tableau n°4.44. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
GONF(C)	900,00	10,00	0,52	32400,67	0,12	0,08	2,31E-03
AXIAL	500,00	5,56	0,48	32400,67	0,11	0,08	1,75E-03
	1000,00	11,11	0,52	32400,67	0,09	0,09	2,16E-03
	600,00	6,67	0,48	32400,67	0,07	0,11	1,68E-03
MOYENNE	750,00	8,33	0,50	32400,67	0,10	0,09	1,98E-03
S	238,05	2,64	0,02	0	0,02	0,01	3,08E-04
CV(%)	31,74	31,74	4,62	0	20,50	13,84	1,56E+01

Tableau n°4.45. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
GONF(C)	500,00	5,56	0,58	1241,67	0,26	0,20	1,79E-02
RADIAL	600,00	6,67	0,53	1241,67	0,38	0,16	2,11E-02
	700,00	7,78	0,53	1241,67	0,29	0,16	1,91E-02
	600,00	6,67	0,52	1241,67	0,34	0,15	1,91E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,54	1241,67	0,32	0,17	1,93E-02
S	81,65	0,91	0,03	0	0,06	0,02	1,33E-03
CV(%)	13,61	13,61	5,01	0	17,54	12,09	6,89E+00

Tableau n°4.46. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
GONF(C)	600,00	6,67	0,57	1099,19	0,31	0,16	2,02E-02
TANGENT.	500,00	5,56	0,55	1099,19	0,35	0,17	2,06E-02
	600,00	6,67	0,50	1099,19	0,25	0,17	1,74E-02
	700,00	7,78	0,48	1099,19	0,34	0,16	2,12E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,53	1099,19	0,31	0,16	1,99E-02
S	81,65	0,91	0,04	0,00	0,05	0,01	1,70E-03
CV(%)	13,61	13,61	8,01	0,00	14,71	4,42	8,57E+00

Tableau n°4.44. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
GONF(C)	900,00	10,00	0,52	32400,67	0,12	0,08	2,31E-03
AXIAL	500,00	5,56	0,48	32400,67	0,11	0,08	1,75E-03
	1000,00	11,11	0,52	32400,67	0,09	0,09	2,16E-03
	600,00	6,67	0,48	32400,67	0,07	0,11	1,68E-03
MOYENNE	750,00	8,33	0,50	32400,67	0,10	0,09	1,98E-03
S	238,05	2,64	0,02	0	0,02	0,01	3,08E-04
CV(%)	31,74	31,74	4,62	0	20,50	13,84	1,56E+01

Tableau n°4.45. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
GONF(C)	500,00	5,56	0,58	1241,67	0,26	0,20	1,79E-02
RADIAL	600,00	6,67	0,53	1241,67	0,38	0,16	2,11E-02
	700,00	7,78	0,53	1241,67	0,29	0,16	1,91E-02
	600,00	6,67	0,52	1241,67	0,34	0,15	1,91E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,54	1241,67	0,32	0,17	1,93E-02
S	81,65	0,91	0,03	0	0,06	0,02	1,33E-03
CV(%)	13,61	13,61	5,01	0	17,54	12,09	6,89E+00

Tableau n°4.46. Détermination des paramètres de fluage (sens tangential).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
GONF(C)	600,00	6,67	0,57	1099,19	0,31	0,16	2,02E-02
TANGENT.	500,00	5,56	0,55	1099,19	0,35	0,17	2,06E-02
	600,00	6,67	0,50	1099,19	0,25	0,17	1,74E-02
	700,00	7,78	0,48	1099,19	0,34	0,16	2,12E-02
MOYENNE	600,00	6,67	0,53	1099,19	0,31	0,16	1,99E-02
S	81,65	0,91	0,04	0,00	0,05	0,01	1,70E-03
CV(%)	13,61	13,61	6,01	0,00	14,71	4,42	8,57E+00

#### 4.6.1.6 Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse:

Les résultats des calculs des paramètres de fluage dans les trois directions : axiale, radiale et tangentielle sont donnés dans les tableaux n°4.47, 4.48, 4.49. Les résultats portant sur l'ensemble des éprouvettes, sont donnés en annexe X.

Tableau n°4.47. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
GONF(NC)	1000,00	11,11	0,50	33847,58	0,11	0,08	2,21E-03
AXIAL	900,00	10,00	0,50	33847,58	0,09	0,09	1,94E-03
	1000,00	11,11	0,41	33847,58	0,09	0,11	2,08E-03
	1000,00	11,11	0,36	33847,58	0,10	0,12	2,18E-03
MOYENNE	975,00	10,83	0,44	33847,58	0,10	0,10	2,10E-03
S	43,30	0,48	0,06	0	0,01	0,02	1,07E-04
CV(%)	4,44	4,44	13,59	0	10,08	15,86	6,10E+00

Tableau n°4.48. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.

N=4	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
GONF(NC)	600,00	6,67	0,47	3335	0,15	0,19	8,33E-03
RADIAL	600,00	6,67	0,52	3335	0,13	0,17	7,46E-03
	700,00	7,78	0,48	3335	0,11	0,17	7,20E-03
	600,00	6,67	0,55	3335	0,20	0,15	9,20E-03
MOYENNE	625,00	6,94	0,51	3335	0,15	0,17	8,05E-03
S	43,30	0,48	0,03	0	0,03	0,02	7,85E-04
CV(%)	6,93	6,93	6,34	0	21,56	9,88	9,75E+00

Tableau n°4.49. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).  
Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.

N=4	F(t) (Mpa)	$\sigma(t)$ (Mpa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
GONF(NC)	700,00	7,78	0,45	2333,00	0,16	0,17	1,01E-02
TANGENT	800,00	8,89	0,47	2333,00	0,16	0,14	1,00E-02
	600,00	6,67	0,53	2333,00	0,16	0,17	1,00E-02
	600,00	6,67	0,47	2333,00	0,12	0,19	8,57E-03
MOYENNE	675,00	7,50	0,48	2333,00	0,15	0,17	9,67E-03
S	82,92	0,92	0,03	0,00	0,02	0,02	6,34E-04
CV(%)	12,28	12,28	6,25	0,00	12,56	11,08	6,55E+00

#### 4.6.1.7 Détermination des paramètres de fluage (sens axial, radial, tangentiel) des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse:

La synthèse des résultats sur la détermination des paramètres de fluage (sens axial, radial, tangentiel) est donnée par les tableaux n°4.50, 4.51, 4.52.

Tableau n°4.50. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).  
Cas des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse.

Matériaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
E. camaldulensis	700,00	7,78	0,50	12918,93	0,23	0,10	4,95E-03
E. cladocalyx	550,00	6,11	0,52	21156,12	0,19	0,09	3,22E-03
E. gomphocephala	750,00	8,33	0,50	32400,67	0,10	0,09	1,98E-03

Tableau n°4.51. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).  
Cas des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse.

Matériaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
E. camaldulensis	575,00	6,39	0,53	760,81	0,19	0,19	1,92E-02
E. cladocalyx	525,00	5,83	0,52	1009,05	0,16	0,21	1,50E-02
E. gomphocephala	600,00	6,67	0,54	1241,67	0,32	0,17	1,93E-02

Tableau n°4.52. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).

## Cas des trois espèces d'Eucalyptus avec collapse.

Materiaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_T$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
E. camaldulensis	625,00	6,94	0,50	692,49	0,18	0,17	1,95E-02
E. cladocalyx	600,00	6,67	0,51	873,43	0,19	0,19	1,79E-02
E. gomphocephala	600,00	6,67	0,53	1099,19	0,31	0,16	1,99E-02

## 4.6.1.8 Détermination des paramètres de fluage (sens axial, radial, tangentiel) des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse:

La synthèse des résultats sur la détermination des paramètres de fluage (sens axial, radial, tangentiel) est donnée par les tableaux 4.53, 4.54, 4.55.

Tableau n°4.53. Détermination des paramètres de fluage (sens axial).

## Cas des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.

Materiaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_L$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_L(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_L$
E. camaldulensis	625,00	6,94	0,49	19312,44	0,19	0,10	3,60E-03
E. cladocalyx	875,00	9,72	0,41	29199,54	0,12	0,10	2,38E-03
E. gomphocephala	975,00	10,83	0,44	33847,58	0,10	0,10	2,10E-03

Tableau n°4.54. Détermination des paramètres de fluage (sens radial).

## Cas des trois espèces d'Eucalyptus sans collapse.

Materiaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	$E_R$ (MPa)	$\sigma_{max} / E_R(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_R$
E. camaldulensis	550,00	6,11	0,52	2180	0,07	0,22	7,21E-03
E. cladocalyx	470,00	5,22	0,51	2803	0,06	0,25	5,73E-03
E. gomphocephala	625,00	6,94	0,51	3335	0,15	0,17	8,05E-03

Tableau n°4.55. Détermination des paramètres de fluage (sens tangentiel).

Cas des trois (3) espèces d'Eucalyptus sans collapse.

Matériaux	F(t) (MPa)	$\sigma(t)$ (MPa)	t (mn)	E <sub>T</sub> (MPa)	$\sigma_{max} / E_T(1-\beta)$	$\alpha(1-\beta)$	$\sigma_{max} / E_T$
E. camaldulensis	550,00	6,11	0,52	1321,00	0,10	0,23	1,11E-02
E. cladocalyx	515,00	5,72	0,51	1850,00	0,10	0,24	9,16E-03
E. gomphocephala	675,00	7,50	0,48	2333,00	0,15	0,17	9,67E-03

Tableau n°4.56. Détermination des paramètres de fluage de trois espèces d'Eucalyptus avec et sans collapse dans les trois directions (axiale, radiale et tangentielle).

Matériaux	E <sub>L</sub> (MPa)	$\sigma_{max} / E_L$ (1-β)	α (1-β)	$\sigma_{max} / E_L$ (E-03)	E <sub>R</sub> (MPa)	$\sigma_{max} / E_R$ (1-β)	α (1-β)	$\sigma_{max} / E_R$	E <sub>T</sub> (MPa)	$\sigma_{max} / E_T$ (1-β)	α (1-β)	$\sigma_{max} / E_T$
E. camal. a. collap.	12919	0,23	0,10	4,95	761	0,19	0,19	1,92	693	0,18	0,17	1,95
								E-02				E-02
E. camal. s. collap.	19312	0,19	0,10	3,60	2180	0,07	0,22	7,2	1321	0,10	0,23	1,11
								E-03				E-02
E. clad. a. collap.	21153	0,19	0,09	3,22	1009	0,16	0,21	1,50	873	0,19	0,19	1,79
								E-02				E-02
E. clad. s. collap.	29199	0,12	0,10	2,38	2803	0,06	0,25	5,73	1850	0,10	0,24	9,16
								E-03				E-03
E. gomh. a. collap.	32401	0,10	0,09	1,98	1242	0,32	0,17	1,93	1099	0,31	0,16	1,99
								E-02				E-02
E. gomh. s. collap.	33848	0,10	0,10	2,10	3335	0,15	0,17	8,05	2333	0,15	0,17	9,67
								E-03				E-03

(\*) E. camal. a. coll: Eucalyptus camaldulensis avec collapse; E. camal. s. coll: Eucalyptus camaldulensis sans collapse.

#### 4.6.1.9 CONCLUSIONS:

Les paramètres de fluage calculés dans le tableau n° 4.56, permettent de faire les observations suivantes:

1°) Les rapports  $\sigma_{\max} / E_L (1-\beta)$  ;  $\sigma_{\max} / E_R (1-\beta)$  ;  $\sigma_{\max} / E_T (1-\beta)$  calculés pour les bois avec collapse, augmentent par rapport au bois sans collapse . Avec la diminution de leurs rigidités, leurs duretés ont augmenté suite à leurs retraits excessifs (dûs au collapse). Les bois avec collapse sont devenus plastiques; d'où une augmentation de leurs contraintes maximales  $\sigma_{\max}$  .

2°) Les rapports  $\sigma_{\max} / E_L$  ;  $\sigma_{\max} / E_R$  ;  $\sigma_{\max} / E_T$  , varient dans le même sens que les rapports donnés ci-dessus. Cependant, nous remarquons que le rapport pour le gomphocephala avec collapse, diminue un peu dans le sens axial : ceci qui est dû à un manque de cohésion axiale entre les fibres (hétérogénéité du bois). On remarque que c'est le camaldulensis avec et sans collapse , suivi du gomphocephala et du diadocalyx qui donne le plus grand rapport.

3°) Les paramètres  $\alpha(1-\beta)$  : calculés dans les directions axiale, radiale et tangentielle, sont plus grands pour les bois sans collapse que pour les bois avec collapse.

## CHAPITRE V: Détermination des contraintes dans les bois avec collapse par la méthode des éléments finis et caractérisation du mode fissuration.

### 5.1 Détermination des contraintes internes dans l'éprouvette la plus déformée d'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse:

Considérons les éprouvettes de dimensions normalisées des trois matériaux (20x20x360 mm). Le maillage est fait d'une rangée. Chaque élément est cubique de 20mm de côté. Le nombre des éléments est de 19. Ces éléments sont quadratiques de la famille SERENDIP où les noeuds intérieurs de l'élément parallélépipède ne sont pas représentés; ce choix est illustré par la figure 5-1, il est basé seulement sur la possibilité de mesurer les déplacements nodaux extérieurs et les champs de déplacements sur lesquelles sont construits par interpolation de LAGRANGE [ 58 ].

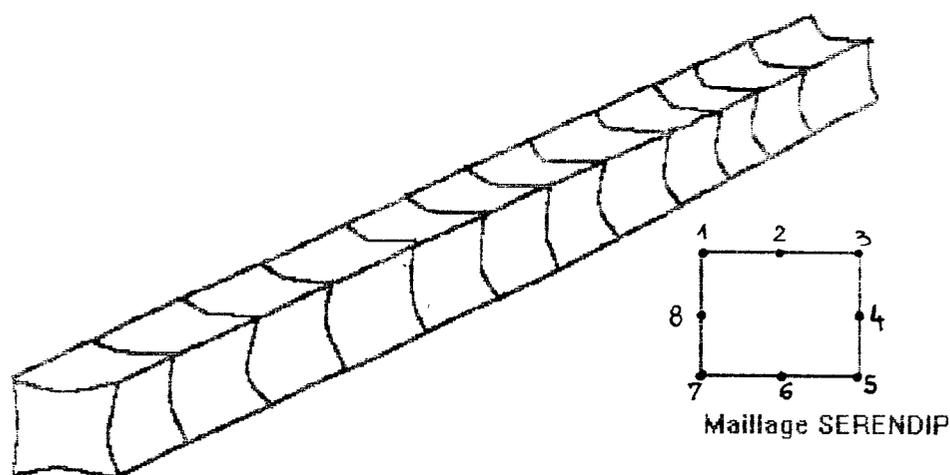


Figure n°5.1 Epreuve avec collapse.

Ce choix est fait sur la base de la forme de la maille, où il y a le plus grand déplacement. Le rectangle est de la famille de SERENDIP à noeuds frontière quadratique. L'élément parallélépipédique se généralise facilement aux ordres supérieurs à l'ordre des interpolations de LAGRANGE adéquates. Les matrices de l'équation se présentent sous la forme:

$$[N] = [n_1, \dots, n_{12}]$$

$$\{U\} = \{u_1, \dots, u_{12}\}$$

$$\{V\} = \{v_1, \dots, v_{12}\}$$

$$\{W\} = \{w_1, \dots, w_{12}\}$$

Considérons l'origine des coordonnées, placée au centre de l'élément; nous aurons en chaque sommet:

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i)(1 + \xi\xi_i + \eta\eta_i + \xi\xi_i - 2)$$

Et pour les noeuds sur les arêtes:

$$\xi_i = 0, \eta_i = \pm 1, \xi_i = 1.$$

$$N_i = \frac{1}{4}(1 - \xi^2)(1 + \eta\eta_i)(1 + \xi\xi_i)$$

Pour les déplacements nodaux, considérons l'expérience représentée sur la photo 5.1, où les déplacements sont mesurés à l'aide d'un comparateur. L'éprouvette est fixée par l'extrémité, l'aiguille du comparateur est étalonnée à l'aide de deux cales de 20mm est pris comme point de repère (dimension initiale de l'éprouvette avant le collapse). Les résultats des calculs des déformations à partir des déplacements sont donnés par les tableaux n°5.1, 5.2, 5.3 et 5.4.

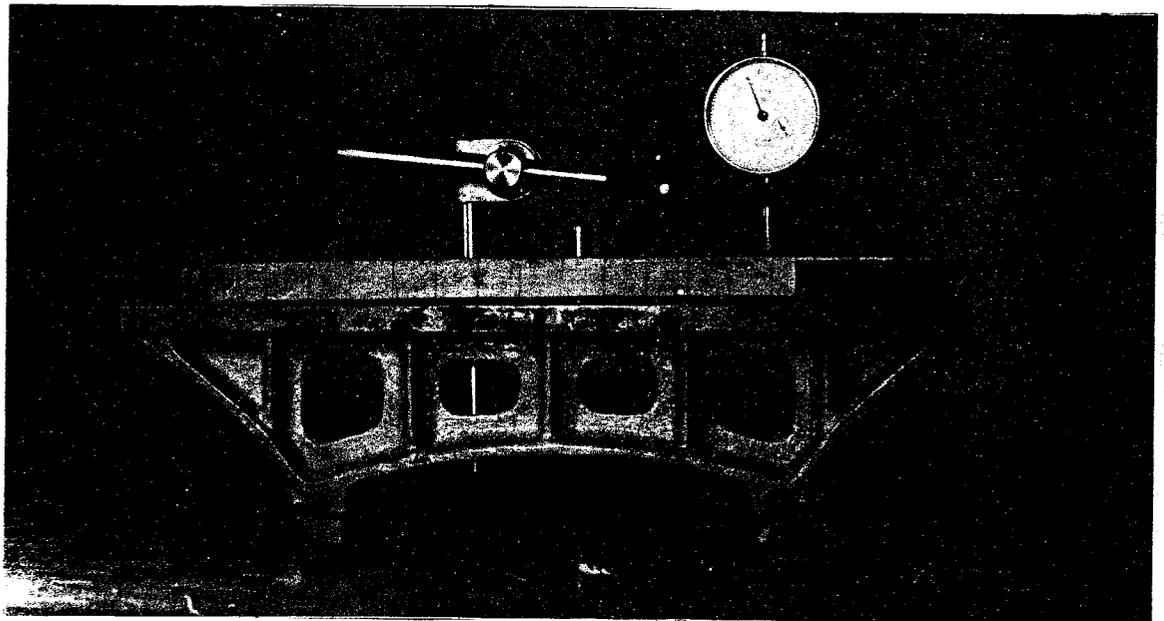


Photo n°51 Mesure des déplacements nodaux.

Tableau n° 5.1 Déformations des éléments du gomphocéphala avec collapse.

Noeud	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GOMP	0,0005	0,019	0,0365	0,0055	0,0435	0,074	0,1065	0,186	0,213
AR	0,0105	0,0245	0,035	0,041	0,065	0,0955	0,1285	0,163	0,201
	0,0325	0,029	0,0265	0,0235	0,013	0,008	0,042	0,0815	0,132
GT	0,075	0,01	0,006	0,038	0,565	0,1085	0,139	0,147	0,1105
	0,0255	0,02	0,0105	0,058	0,077	0,1105	0,133	0,151	0,154
BR	0,025	0,0295	0,0145	0,007	0,009	0,0095	0,044	0,067	0,0865
	0,0345	0,0015	0,049	0,095	0,142	0,1625	0,171	0,176	0,1765
	0,047	0,0125	0,032	0,069	0,096	0,1625	0,176	0,186	0,1975
BT	0,0475	0,0175	0,016	0,044	0,0525	0,069	0,0875	0,1015	0,121
	0,02	0,0025	0,0365	0,0605	0,088	0,0955	0,0955	0,105	0,117
	0,024	0,005	0,025	0,042	0,043	0,052	0,0975	0,065	0,1165
	0,0245	0,0025	0,017	0,0205	0,0545	0,0565	0,0625	0,0755	0,1105

Tableau n° 5.2( suite ).

Noeud	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
GOMP	0,2515	0,3065	0,3755	0,442	0,51	0,595	0,67	0,78	0,845	0,925
AR	0,286	0,334	0,3935	0,457	0,51	0,575	0,58	0,61	0,63	0,695
	0,1675	0,2065	0,2485	0,314	0,372	0,4235	0,428	0,48	0,555	0,6
GT	0,134	0,1635	0,1905	0,2365	0,256	0,33	0,3605	0,446	0,4735	0,495
	0,156	0,1635	0,1785	0,2115	0,2335	0,2615	0,283	0,358	0,4335	0,4655
BR	0,087	0,077	0,08	0,0845	0,1105	0,1585	0,1805	0,201	0,2255	0,249
	0,182	0,1935	0,193	0,1685	0,1365	0,1125	0,109	0,095	0,089	0,0615
	0,2015	0,193	0,1815	0,1525	0,1265	0,1125	0,149	0,077	0,0655	0,0605
BT	0,1225	0,1005	0,0725	0,069	0,054	0,039	0,029	0,024	0,005	0,019
	0,1435	0,1825	0,189	0,1895	0,19	0,172	0,1705	0,165	0,16	0,155
	0,14	0,1675	0,184	0,1825	0,1755	0,161	0,168	0,1705	0,0965	0,072
	0,1365	0,145	0,1305	0,1175	0,1105	0,111	0,132	0,049	0,036	0,029

Tableau n° 5.3 Déformations des éléments du gomphocéphala.

Noeud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ART	0,0755	0,029	0,0425	0,0435	0,6085	0,1825	0,2455	0,333	0,3235	0,3855
	0,036	0,0445	0,0455	0,099	0,142	0,206	0,2615	0,314	0,355	0,442
	0,0575	0,0585	0,041	0,0305	0,022	0,0175	0,086	0,1485	0,2185	0,2545

Tableau n°5.4 (suite ).

Noeud	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ART	0,472	0,566	0,6785	0,766	0,925	1,0305	1,226	1,3185	1,42
	0,4975	0,572	0,6685	0,7435	0,8365	0,863	0,968	1,0635	1,1605
	0,2835	0,3285	0,3985	0,4825	0,582	0,6085	0,681	0,7805	0,849

Dans notre cas, il est évident qu'il faut tenir compte des axes de symétrie du matériau orthotrope. Calculons d'après les résultats obtenus des tableaux ci-dessus, les

contraintes dues au collapse dans chaque élément. La loi de comportement exprimée en terme des complaisances élastiques est transposée directement en terme de grandeurs techniques de la façon suivante:

$$\begin{matrix}
 \varepsilon_{11} & \dots & \varepsilon_{1-19} \\
 \varepsilon_{2-1} & \dots & \varepsilon_{2-19} \\
 \varepsilon_{3-1} & \dots & \varepsilon_{3-19} \\
 \gamma_{4-1} & \dots & \gamma_{4-19} \\
 \gamma_{5-1} & \dots & \gamma_{5-19} \\
 \gamma_{6-1} & \dots & \gamma_{6-19}
 \end{matrix} = \begin{matrix}
 \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\
 \frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & \frac{\nu_{LT}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\
 \frac{\nu_{RL}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & \frac{1}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{BT}}
 \end{matrix} \begin{matrix}
 \sigma_{11} & \dots & \sigma_{1-19} \\
 \sigma_{2-1} & \dots & \sigma_{2-19} \\
 \sigma_{3-1} & \dots & \sigma_{3-19} \\
 \tau_{4-1} & \dots & \tau_{4-19} \\
 \tau_{5-1} & \dots & \tau_{5-19} \\
 \tau_{6-1} & \dots & \tau_{6-19}
 \end{matrix}$$

$$\sigma_{11} = s_{11}\sigma_{11} + s_{12}\sigma_{22} + s_{13}\sigma_{33}$$

$$\sigma_{22} = s_{21}\sigma_{11} + s_{22}\sigma_{22} + s_{23}\sigma_{33}$$

$$\sigma_{33} = s_{31}\sigma_{11} + s_{32}\sigma_{22} + s_{33}\sigma_{33}$$

$$\gamma_{13} = s_{44}\tau_{33}$$

$$\gamma_{13} = s_{55}\tau_{13}$$

$$\gamma_{12} = s_{66}\tau_{12}$$

Les résultats des calculs , ont montré que les contraintes dues au collapse sont les plus importantes dans le gomphocéphala ( voir exemple ci-dessous).

inv(C)

ans =

36491/33	56232/29	-132356/65	0	0	0
-9713/29	64186/15	-22055/7	0	0	0
104260/11	-883658/7	376211/3	0	0	0
0	0	0	30715/61	0	0
0	0	0	0	131291/12	0
0	0	0	0	0	28016/49

inv(C)\*A1

ans =

Columns 1 through 6

4219/29	26543/657	1629/31	46095/62	27461/24	24041/82
7381/23	1457/40	6254/471	45473/28	36044/15	64919/147
-66271/7	-57361/53	-32945/81	-335392/7	-354534/5	-91409/7
0	0	0	0	0	0

42407/51 47593/150 17407/37 2407/5 339814/51 32035/16  
 6996/161 6251/377 5753/234 4000/159 68247/196 14753/141

Columns 7 through 12

27537/71 3435/7 28849/64 24232/45 19131/29 29873/38  
 57571/103 42503/75 28253/70 14669/30 17349/29 52541/76  
 -66131/4 -134351/8 -107941/9 -58109/4 -213289/12 -184927/9  
 0 0 0 0 0 0  
 40372/15 167593/46 24814/7 152035/36 46477/9 55733/9  
 15753/112 20753/109 35753/193 9490/43 10255/38 14239/44

Columns 13 through 18

52157/55 30750/29 51913/40 33140/23 58729/34 127891/69  
 32044/37 56399/61 100658/83 48850/37 47767/29 40139/23  
 -128644/5 -109931/4 -108056/3 -313769/8 -146726/3 -259136/5  
 0 0 0 0 0 0  
 66860/9 33523/4 202407/20 124081/11 93895/7 202035/14  
 8494/9 12263/28 50243/95 14737/25 25235/36 46757/62

Column 19

45839/16  
 90125/24  
 -333473/3  
 0  
 155361/10  
 22733/28

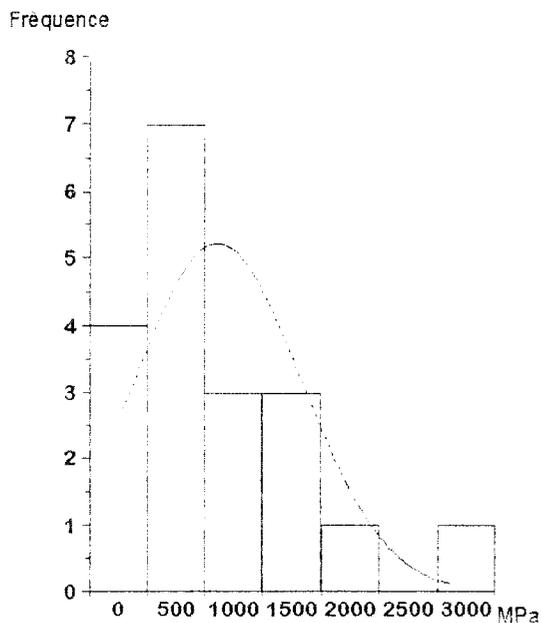


Figure 5.3 Courbe représentative des contraintes radiales de 19 éléments du gomprocephala avec collapse.

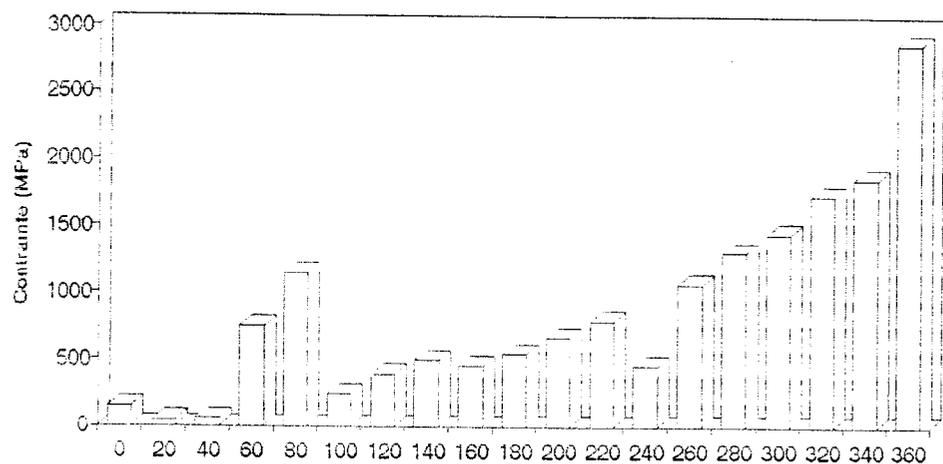


Figure n°5.3 Variation des contraintes radiales dans une rangée nodale (19 éléments) gomphocephala.

Les déformations dues au collapse, créent des contraintes internes dans le matériau bois: on se propose dans la présente étude de déterminer celles-ci, en utilisant la méthode des éléments finis. Pour cela, et tenant-compte de l'ampleur du travail, nous avons préféré nous limiter au cas de l'*Eucalyptus gomphocephala* (matériau le plus déformé) qui présente macroscopiquement les déformations les plus importantes en comparaison des 2 autres espèces; à savoir le *camaldulensis* (le moins déformé) et le *cladocalyx* (déformation intermédiaire entre les 2 autres espèces). Le calcul des contraintes internes engendrées par le collapse, s'effectue à partir des mesures de déplacements des noeuds de chaque élément, obtenus expérimentalement (photo n°5.1) sur une éprouvette normalisée (poutre réduite) d'*Eucalyptus gomphocephala* avec collapse.

### 5.1.2 Résultats et discussions:

A travers notre étude, nous sommes parvenus à déterminer les contraintes maximales qu'on peut avoir dans une éprouvette normalisée. D'après les résultats obtenus sur celles-ci, c'est le *gomphocephala* qui présente les déformations les plus importantes; ce qui justifie notre choix initial sur cette espèce (déformations les plus importantes macroscopiquement). Cette caractérisation de l'état de déformation à travers la détermination des contraintes maximales, peut -être généralisée aux cas des 2 autres espèces. Ainsi l'application de la méthode des éléments finis au cas du matériau bois avec collapse permet à partir d'une série d'essais, de faire une prédiction à l'avance sur le comportement réel du matériau bois sous l'effet du

collapse. Elle constitue donc un outil indispensable et incontournable à la poursuite de la présente étude dans le futur.

**5.2 Mode de fissuration : Analyse des fissures en élasticité linéaire bidimensionnelle.** D'après l'état des fissures ( fig.5.4 ), on peut les classer dans le premier mode, qui est engendré par un cisaillement dans le plan de la fissure et parallèle à l'axe  $ox$ , il s'apparente au déplacement produit par une dislocation rectiligne parallèle de fissure et dont le vecteur de BURGERS est considéré comme la limite d'une entaille. Une entaille de forme elliptique aiguë ( $b \ll a$ ) a un facteur de

concentration de contrainte:  $K_T \cong 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}}$   $a \ll \rho$ .



Figure 5.4 Fissures du matériau sans collapse.

**Mode 1 Etat de contrainte:**

$$\sigma_{xx} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \text{ - en déformation plane}$$

$$\sigma_{zz} = 0, \text{ en contrainte plane}$$

**Déplacement:**

$$U_x = \frac{K_1}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( K - 1 + 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)$$

$$U_y = \frac{K_1}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( K + 1 - 2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right)$$

$$K = 3 - 4\nu, \text{ en déformation plane.}$$

$$K = \frac{3 - \nu}{1 - \nu}, \text{ en contrainte plane}$$

On constate que les éprouvettes après le traitement, sont pourvues en générale de fissures elliptiques. Soit, les axes de l'ellipse d'une fissure a et b:

$$K_1(\phi) = \frac{a}{E(K)} \left( \sin^2 \phi + \frac{a^2}{b^2} \cos^2 \phi \right)^{\frac{1}{4}}$$

où E(K) est l'intégrale de l'ellipse:

$$E(K) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - K^2 \cos^2 \phi} d\phi$$

$$\text{avec } K^2 = 1 - \frac{a^2}{b^2}$$

$K_1$  est maximale au sommet du petit axe

$$K_{1\max} = \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{E(K)}$$

Le traitement de reconditionnement des bois avec collapse a permis de mettre en évidence la présence inévitable de défauts tels que fentes, engendrées par celui-ci. De façon générale, on a observé lors de nos essais que le traitement diminue les déformations au plan macroscopique (examen visuel d'aspect et calculs par la méthode des éléments finis), mais par contre il produit quelques fissures dans le bois relevant du mode I (la fissure se propageant dans le plan LR, plan de faiblesse du matériau contenant les rayons ligneux). Nous pensons que la poursuite de présente l'étude à l'avenir devra nécessairement prendre en considération l'aspect fissuration et calculs d'entailles du matériau bois lors du traitement, en appliquant les lois régissant la mécanique de la rupture.

Ces deux cas constituent des perspectives de travail à développer à l'avenir.

### 5.3 Conclusions:

Les contraintes engendrées par le collapse sont importantes et surtout pour l'Eucalyptus gomphocephala. Ces dernières sont importantes dans les sens radial et tangentiel: leur repartition le long de la poutre n'est pas uniforme. D'autre-part le reconditionnement des matériaux étudiés pour éviter le collapse présentent des fissurations du premier mode.

## CHAPITRE VI. CONCLUSION GENERALE:

Le travail que nous avons entrepris apporte une contribution importante à la caractérisation des bois algériens (retraits avec et sans collapse, propriétés mécaniques, de fluage et de relaxation, détermination des contraintes dans le bois par la méthode des éléments finis ) des trois espèces d'Eucalyptus. L'ensemble des propriétés étudiées des 3 espèces d'Eucalyptus, provenant de la station de Baïnem, sont influencées à des degrés différents par le phénomène de collapse. Les caractéristiques de leurs bois sont à peu près équivalentes à celles des bois durs de même âge. D'où l'influence peu marquée, exercée par le collapse sur ces espèces à cause de leurs densités élevées.

L'étude bibliographique sur le collapse ainsi que la récupération obtenue dans les essais de reconditionnement de nos échantillons montrent que la technique du reconditionnement mérite d'être appliquée dans notre pays, où le déficit en bois est important. Les principaux résultats obtenus et auxquels a abouti notre recherche, se situent à plusieurs niveaux:

1- Propriétés physiques: Les corrélations densité-retraits des bois avec et sans collapse trouvées pour le cas des trois espèces d'Eucalyptus algériens sont positives et répondent au cas généralement admis dans la bibliographie. Toutefois, pour le cas de l'Eucalyptus camaldulensis étudié par SESBOU, les corrélations densité - retraits avec collapse sont plutôt négatives: le retrait avec collapse diminue lorsque le densité augmente. C'est le contraire des corrélations que nous avons trouvé. Par contre, les relations densité-retraits sans collapse, sont positives et concordantes avec celles trouvées par l'auteur. L'utilisation rationnelle des 3 espèces d'eucalyptus, repose sur la connaissance au préalable des caractéristiques physiques que nous avons déterminé et qui permettent de prédire leur comportement au séchage (déformations, fentes) et au reconditionnement.

2- Propriétés mécaniques, de fluage et relaxation des bois avec et sans collapse : La plupart des corrélations trouvées entre densité et critères mécaniques (dureté, résistances mécaniques à la rupture en compression et flexion) sont positives et concordantes avec les résultats de la bibliographie. Les propriétés mécaniques du bois avec collapse sont supérieures à celles du bois sans collapse; à cause de l'augmentation de la zone plastique et de la diminution du domaine élastique, par suite de l'augmentation de la densité et dureté. Ce changement de structure est

occasionné par la déformation irréversible due au collapse lors du séchage. Par contre, deux relations antagonistes et très importantes ont été trouvées entre la densité et le module d'élasticité. D'une - part, on a une corrélation positive qui traduit le comportement élastique du matériau sans collapse et qui obéit à la loi de GUITARD. D'autre-part, une corrélation négative qui explique le comportement élasto-visco-plastique du matériau avec collapse et qui ne suit plus cette même loi . Les propriétés de fluage et de relaxation du bois sans collapse sont toujours supérieures à celles du bois avec collapse.

### 3- Sur le plan de la modélisation du comportement des matériaux étudiés:

A partir de l'étude faite sur les matériaux isotropes par NOUR et tenant compte de la théorie de BOLTZMAN et VOLTAIRE, nous sommes parvenus à déterminer deux modèles, applicables pour les matériaux orthotropes: l'un pour caractériser la loi de comportement élastique du matériau sans collapse; l'autre, pour caractériser la loi de comportement du matériau avec collapse.

4- Les contraintes engendrées par le collapse et déterminées à partir de la méthode des éléments finis sont beaucoup plus importantes pour le cas du gomphocephala et plus particulièrement dans les sens radial et tangentiel.

D'autre-part, le reconditionnement des trois matériaux pour réduire le collapse a donne le premier mode de fissuration. Ces cas de figures pourront -être considérés comme des axes de recherche en perspective.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] TIEMANN H. D. , 1915 - Principles of kiln drying.  
Lumber World Review, 15 janvier et 25 septembre.
- [2] GREENHIL W. L. , 1944 : non publié in "cell collapse in wood"  
Kauman, W. G , 1964.
- [3] CLARKE S. A. , 1927 - The seasoning of western Australian hardwoods. Forest  
Dept. . Western Australia, Bull. 40
- [4] KAUMAN W. G. , 1960a - Collapse in some eucalypts after treatment in organic  
salt solutions . For . Prod. J. 10 (9) : 461-467.
- [5] PANKEVICIUS E. R. , 1962 - Collapse intensity for two eucalypts after treatment  
with hydrochloric acid and sodium chloride solutions. For . Prod . J.  
12 (1) : 39-42
- [6] BISSET I. J. W. , and ELLWOOD E. L.. (1951) : The relation of differential  
collapse and shrinkage to anatomy in *Eucalyptus regnans* and *E.*  
*gigantea*. Aust. J. Appl. Sci. 2, 17-26.
- [7] KAUMAN W. G. , 1960b - Contributions to the théorie of cell collapse in wood :  
Investigations with *Eucalyptus regnans*.  
Aust. J. Appl. Sci. 11 (1) 122-145.
- [8] KAUMAN W. G. , 1964 - Cell collapse in wood.  
C.S.I.R.D. (Aust. ), Div. For. Pro. Technol. 566
- [9] SESBOU A., -1981: Etude de la variabilité génétique de la qualité du bois et du  
collapse chez *Eucalyptus Camaldulensis* Dehn.  
Thèse de Docteur Ingénieur.
- [10] ELLWOOD E. L. , 1953 - Properties of Beech in tension perpendiculair to the  
grain and their relation to drying. For . Prod . J . 3 (12) : 202-209
- [11] ELLWOOD E. L. ; GOTTSTEIN J.W. et KAUMAN W. G., 1961 - A laboratory  
study of the vapour drying process. III Vapour drying of timber in joinery  
and railway sleeper sizes. CSIRD ( Aust. ), Div. For . Prod . Technol .  
Paper N°14.

- [12] KELLER P., 1983 - Anatomie. In Le matériau bois, propriétés, technologie, mise en oeuvre. Ecole d'Hiver sur le Bois, ARBOLOR., A1-1 - A1-59.
- [13] BOUTELJE J. B., 1962 - The relationship of structure to transverse anisotropy in wood with reference to shrinkage and elasticity. Holzforschung, 16, (2), 33-46.
- [14] KELSEY E. K., 1956 - The shrinkage intersection point - its significance and the method of its determination. Forest products Journal, Vol. VI, N°10, 411-417, October.
- [15] KOLLMAN F., 1960 - In Etude fine des retraits dans l'arbre chez l'Epicéa (Picea abies Karst). BEAUCHENE J., - DEA Sciences du Bois 1990.
- [16] BARBER N. F., MEYLAN B. A., 1964 - The anisotropic shrinkage of wood. Holzforschung, 18, (5), 146-156.
- [17] NAGAI K., SAIKI S., HARADA H., 1984 - The radial variations in fibril angle of fibers in several hardwood species. Pacific regional wood anatomy conference, Tsukuba, Ibaraki, 94-96.
- [18] SKAAR C., 1988 - Wood water relations. Springer-Verlag, Berlin, 279p.
- [19] CHOONG E. T., 1969 - Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic properties of ten Southern pine wood. Wood and Fiber, 1, (2), 124-133.
- [20] BENDTSEN B.A., 1978 - Properties of wood from improved and intensively managed trees. Forest Products Journal, 28, (10), 61-72.
- [21] KELSEY E. K., 1963 - A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of wood. C.S.I.R.D. Australia Div. For. Prod. Tech. Pap. N° 28
- [22] POLGE H., 1980 - Relations entre retrait sur carottes de sondages et retrait sur cubes. Document Station de Recherches sur la Qualité du Bois, CNRF Nancy, 14p.
- [23] NOACK D., 1964 - Einfluss der Probenabmessungen auf die Bestimmung der Quellmasse von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, 22 (5), 174-182.
- [24] FUTO L. P., 1981 - Untersuchungen von Schwindungs- und Quellungsphänomenen im Trocknungsmikroskop. 2 Mitteilung : Konstruktive Ergänzungen am Gerät. Der gegenseitige Einfluss des Früh- und Spätholzes bei der Trocknung.

Holztechnologie, 22, (4), 206-211.

- [25] **BOULET - GERCOURT B.**, 1986- Fentes des arbres chez Abies grandis (Lindl).  
Recherche de paramètres de structure du bois pouvant expliquer la sensibilité de certains individus à ce défaut. DEA Sciences du Bois, Octobre.
- [26] **KELLER R., AZOEUF P., HOSLIN R.**, 1974- Détermination de l'angle de la fibre torse d'arbres sur pied à l'aide d'un traceur radioactif. Annales des Sciences Forestières. 31, (3), 161-169.
- [27] **SCHIEWIND A. P.**, 1968 - "Recent progress in the study of the rhéologie of wood". Wood Sciences and Techn., Vol. 2, PP. 188-206.1968.
- [28] **GUITARD D.**, 1987 - Mécanique du Matériau Bois et Composites. Collection Nabla. Cepad ues Editions.
- [29] **ROLLMAN F. F. P., COTE W. A.**, 1968 - Principles of wood Sciences and Techn. Springer - Verlag.
- [30] **ANKINSON R. L.**, 1921 - "Investigation of crushing strength of spruces at varying angles of grain".  
Air Service Information circular 3 (259) , Material Section Paper N°130.
- [31] **PLUVINAGE G.**, 1991 - Mécanique de la Rupture .  
Cours de DEA Sciences du Bois.
- [32] **MARTIN P.**, 1983 - In Mécanique du Bois. ARBOLOR.
- [33] **HILL R.**, 1971 - "The mathematical theory of plasticity".  
Oxford University Press.
- [34] **TSAI S.W., HAHN H.T.**, 1980 - "Introduction to composite Materials".  
Tecnominc Publishing Company.
- [35] **BACH L., PENTONEY R. E.**, 1968 - Non linear Mechanical Behaviour of wood.  
Forest Product Journal, Vol 18, N°3 , PP 60-66.
- [36] **KING D. G.**, 1957 - Creep and other Strain Behaviour of Woods in Tension  
Parallel to the grain. Forest Product Journal Vol 7, N°10 PP 301-307
- [37] **KINGSTON R. S. T, CLARKE L. N.**, 1961 - Some Aspects of The Rhéological Behaviour of Wood . Aust . Journal Applied Sciences, Vol 12, N°2 PP 211-226 ; II PP 227-240

- [38] OTA M., TSUBOTA Y., 1966 - Study on the Fatigue of 2-ply laminated Wood. I. General investigation on the static Visco elasticity Behaviour of Wood Subjected to Bending Test . Journal Japanese Wood research society Vol 12, N° 1, PP 26-29
- [39] KITAHARA K., OKABE N., 1959 - The influence of temperature on creep of wood by bending test. Journal Japanese Wood research society, Vol 5, N°1 PP 12-18
- [40] DAVIDSON R. W., 1962 - The influence of temperature on creep in Wood. Forest Product Journal, Vol 12, N°8 PP 337- 381
- [41] DINWOODIE J.M., 1981 - International Student Ed. Van Nostrand Reinhold Company New York, Londres, 190 pages.
- [42] PIERCE C. B., DINWOODIE J.M., 1977 - Creep in chipboard. Part 1 : Fitting 3 and 4 element response curves to creep data. Journal Of Materials Sciences 12.
- [43] DINWOODIE J.M., HIGGINS J. A., PAXTON B. H., and ROBSON D. G., 1991 - Creep in chipboard . Part 9: The effect of steady - state moisture, temperature and level of stressing on the components of creep deflection for a range of boards. Wood Sciences and Technologie 25: 397-401
- [44] AFNOR, 1985 -Conditions générales d'essais (essais physiques et mécaniques). Norme Française NF B51-003. Septembre.
- [45] AFNOR, 1985 -Détermination retrait. Norme Française NF B51 -006. Septembre.
- [46] AFNOR, 1942 -Détermination de la masse volumique. Norme Française NF B51 -005. Février.
- [47] AFNOR, 1985 -Détermination de l'humidité. Norme Française NF B51-004. Septembre.
- [48] DURAND P., Y., 1985 -Contribution à l'étude de la détermination des tables de séchage à partir des caractéristiques physiques du bois. Revue Bois et Forêts des Tropiques, N°207, 1<sup>er</sup> trimestre 1985.
- [49] VILLIERE A . , 1966 - Action de la vapeur sur le bois. Revue du bois 16(4) : 35-37.

- [50] AFNOR, 1985 -Essai de compression axiale.  
Norme Française NF B51 -007. Septembre.
- [51] ISO, 1975 - Méthodes d'échantillonnage et conditions générales pour les essais onysiques et mécaniques. Norme Internationale ISO 3129.
- [52] AFNOR, 1987 -Détermination du module d'élasticité en flexion statique de petites éprouvettes sans défaut. Norme Française NF B51 -016.  
Décembre.
- [53] HILLIS W. E., and BROWN, A.G. , 1978 - Eucalyptus for wood production.  
C.S.I.R.O. Canberra.
- [54] AFNOR, 1987 -Détermination de la résistance à la flexion statique de petites éprouvettes sans défaut. Norme Française NF B51 -008. Novembre.
- [55] AFNOR, 1985 -Détermination de la dureté Monnin.  
Norme Française NF B51 -013. Septembre.
- [56] GUITARD D., FOURNIER M.,1994 - Le Bois Matériau d'Ingénierie.  
Chapitre III.Comportement mécanique du matériau bois. ARBOLOR.
- [57] NOUR A ., 1990 - Charges dynamiques des organes des presses hydrauliques.  
Thèse de Ph. D Moscou. PP. 100 -112.
- [58] ZIENKIEWICZ O. C ., TAYLOR R. L ., 1989. La méthode des éléments finis.  
PP 127-130

## ANNEXE I

### PROPRIETES PHYSIQUES

#### DETERMINATION DU TAUX D'HUMIDITE DU POINT DE SATURATION DES FIBRES DE L'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS.

Tableau n°2.1: Détermination du taux d'humidité du point de saturation des fibres moyen de l'Eucalyptus camaldulensis: Hs ( % ):

Echantillons	Hs ( % )	CV ( % )
1	48	0.4
2	38	0.46
3	40	0.45
4	44	0.48
5	34	0.51
6	37	0.42
7	42	0.35
8	35	0.41
9	32	0.45
10	38	0.39
Hs (%)	38,80	0,43
S	4,85	0,05
CV (%)	12,50	10,90
N	10	

Tableau n°2.3.11  
Essai de reconditionnement du bois (3 espèces).

Température (°c)	Temps (H, mn,s)	Température (°c)	Temps (H, mn,s)
25	9H18mn00s	80	"37mn57s
30	" 23mn00s	85	"39mn08s
35	"26mn00s	90	"40mn56s
40	"28mn00s	95	"42mn34s
45	"30mn00s	100	"43mn58s
50	"31mn50s	105	"47mn05s
55	"32mn40s	110	"50mn00s
60	"33mn47s	115	"51mn40s
65	"34mn53s	120	"53mn14s
70	"36mn07s	125	"54mn22s
75	"36mn54s	130	"55mn25s

## ANNEXE II

### PROPRIETES PHYSIQUES

#### CAS DE L'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS AVEC ET SANS COLLAPSE

Tableau n°2.1. Variations dimensionnelles aux états: saturé-sec à l'air et anhydre de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Dimensions (mm)	SATUREES			SEC A L'AIR (H=12%)			ANHYDRES		
	N°	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amov	rmoy
1	20,42	20,11	20,55	20,41	19,50	18,69	20,36	18,86	17,80
2	20,36	20,15	20,59	20,32	19,29	18,49	20,28	19,27	18,66
3	20,48	19,82	19,93	20,50	18,79	18,35	20,43	18,22	17,56
4	20,28	20,30	20,57	20,24	19,16	18,80	20,20	18,59	18,11
5	20,70	20,28	19,39	20,71	19,69	18,31	20,65	19,36	17,81
6	20,64	20,21	19,39	20,62	19,58	18,18	20,55	19,25	17,68
7	20,18	19,91	20,30	20,16	19,24	19,09	20,15	19,04	18,72
8	20,71	20,31	19,89	20,67	19,92	19,14	20,63	19,10	17,81
9	20,55	20,28	20,20	20,50	19,35	19,35	20,48	18,44	18,02
10	20,34	20,31	20,56	20,34	19,93	19,71	20,30	19,13	18,57
11	20,47	20,20	20,25	20,42	18,81	18,85	20,40	18,81	18,46
12	20,77	20,23	19,50	20,79	19,56	18,21	20,72	19,23	17,71
13	20,17	20,09	20,22	20,16	19,45	18,83	20,10	19,11	18,31
14	20,93	19,90	19,67	20,94	19,58	18,68	20,89	18,74	17,52
15	20,45	20,10	19,80	20,46	19,78	19,17	20,42	19,00	18,02
16	20,93	19,89	19,87	20,90	19,53	18,90	20,86	18,77	17,73
17	20,52	20,20	20,39	20,51	19,20	19,16	20,48	18,86	18,77

Tableau n°2.1 (suite). Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus camaidulensis avec collapse ( entre états saturé à sec à l'air).

N°	RLS (%)	RRS (%)	RTS (%)	RVS (%)	AS	CRLS (%)	CRRS (%)	CRTS (%)	CRVS (%)	D12%
1	0,07	3,63	10,22	13,56	0,35	0,00	0,13	0,38	0,50	0,85
2	0,21	4,08	9,83	13,68	0,42	0,01	0,15	0,36	0,51	0,81
3	-0,07	5,20	7,92	12,64	0,66	0,00	0,13	0,20	0,32	0,85
4	0,21	5,29	8,09	13,12	0,65	0,01	0,20	0,30	0,49	0,79
5	-0,05	2,89	5,49	8,17	0,53	0,00	0,11	0,20	0,30	0,76
6	0,06	3,05	6,13	9,05	0,50	0,00	0,11	0,23	0,34	0,77
7	0,08	3,67	6,50	10,02	0,56	0,00	0,14	0,24	0,37	0,76
8	0,23	2,83	5,45	8,32	0,52	0,01	0,10	0,20	0,31	0,67
9	0,33	6,87	6,91	13,63	1,00	0,01	0,25	0,26	0,50	0,78
10	0,03	2,68	5,50	8,05	0,49	0,00	0,10	0,20	0,30	0,65
11	0,23	6,21	6,11	12,10	1,02	0,01	0,23	0,23	0,45	0,82
12	-0,14	2,87	5,87	8,44	0,49	-0,01	0,11	0,22	0,31	0,76
13	0,00	2,90	6,31	9,02	0,46	0,00	0,11	0,23	0,33	0,77
14	0,03	2,79	7,27	9,88	0,38	0,00	0,10	0,27	0,37	0,67
15	0,01	3,41	6,17	9,37	0,55	0,00	0,13	0,23	0,35	0,65
16	0,16	2,74	6,58	9,29	0,42	0,01	0,10	0,24	0,34	0,66
17	0,01	4,05	4,90	8,74	0,83	0,00	0,15	0,18	0,32	0,77
Moy	0,08	3,83	6,78	10,42	0,58	0,00	0,14	0,25	0,38	0,75
S	0,13	1,30	1,49	2,16	0,20	0,00	0,05	0,06	0,08	0,07
CV	155,3	33,97	21,96	20,71	34,20	150,9	33,55	22,44	20,73	8,92
(%)	7					8				

Tableau n°2.2. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse (entre états saturé à anhydre).

N°	AT	RLT (%)	RRT (%)	RTT (%)	RVT (%)	CRLT (%)	CRRT (%)	CRTT (%)	CRVT (%)
1	0,46	0,29	6,22	13,38	19,00	0,01	0,16	0,34	0,49
2	0,47	0,42	4,37	9,34	13,66	0,01	0,11	0,24	0,35
3	0,68	0,26	8,10	11,86	19,21	0,01	0,21	0,30	0,49
4	0,71	0,42	8,43	11,94	19,70	0,01	0,22	0,31	0,51
5	0,56	0,22	4,55	8,14	12,51	0,01	0,12	0,21	0,32
6	0,84	0,42	4,74	6,84	13,52	0,01	0,12	0,23	0,35
7	0,56	0,14	4,39	7,78	11,96	0,00	0,11	0,20	0,31
8	0,57	0,39	5,93	10,45	16,09	0,01	0,15	0,27	0,41
9	0,84	0,35	9,07	10,76	19,14	0,01	0,23	0,28	0,49
10	0,60	0,19	5,82	9,66	15,07	0,00	0,15	0,25	0,39
11	0,78	0,37	6,86	8,84	15,40	0,01	0,18	0,23	0,39
12	0,54	0,20	4,90	9,16	13,78	0,01	0,13	0,23	0,35
13	0,52	0,31	4,89	9,44	14,13	0,01	0,13	0,24	0,36
14	0,53	0,23	5,81	10,92	16,29	0,01	0,15	0,28	0,42
15	0,61	0,15	5,46	8,99	14,09	0,00	0,14	0,23	0,36
16	0,53	0,33	5,66	10,75	16,09	0,01	0,15	0,28	0,41
17	0,84	0,19	6,67	7,94	14,24	0,00	0,17	0,20	0,37
Moy	0,61	0,29	5,99	9,89	15,52	0,01	0,15	0,25	0,40
S	0,12	0,10	1,43	1,55	2,44	0,00	0,04	0,04	0,06
CV (%)	19,72	34,10	23,90	15,70	15,74	34,10	23,90	15,70	15,74

Tableau n°2.11. Variations dimensionnelles aux états: saturé-sec à l'air et anhydre de *E. camaldulensis* sans collapse.

Dimensions: (mm)	SATUREES			SEC A L'AIR (H=12%)			ANHYDRES		
	N°	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy
1	20,64	20,36	20,61	20,67	19,84	19,32	20,63	19,10	18,32
2	20,90	19,93	19,97	20,91	19,32	18,00	20,86	18,67	17,17
3	20,95	20,29	20,50	20,90	19,33	19,00	20,92	19,20	18,83
4	20,32	20,01	20,39	20,29	19,12	19,05	20,28	18,84	18,71
5	20,61	20,05	19,67	20,60	19,22	17,76	20,57	18,57	17,00
6	20,57	19,85	19,53	20,63	19,34	18,08	20,54	18,69	17,19
7	20,54	19,93	20,56	20,54	19,54	19,67	20,53	18,94	18,68
8	20,58	20,32	19,90	20,59	19,74	18,39	20,55	19,07	17,48
9	20,65	20,05	19,99	20,66	18,97	18,46	20,63	18,28	17,70
10	20,50	20,78	19,46	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
11	20,59	20,35	19,75	20,60	19,76	18,74	20,58	19,40	18,16
12	20,44	20,05	20,56	20,46	19,44	19,51	20,44	19,06	18,94
13	20,87	19,93	19,87	20,87	19,37	18,87	20,86	19,03	18,31
14	20,67	20,28	19,54	20,69	19,32	18,94	20,67	18,88	18,45
15	20,48	20,33	20,61	20,48	19,66	19,55	20,48	19,31	19,02
16	20,64	19,57	20,04	20,64	18,66	19,45	20,63	18,17	19,09
17	20,27	19,89	20,47	20,27	19,40	19,64	20,26	19,10	19,11

Tableau n°2.12. Détermination de la densité à l'état sec à l'air (H =12%); de l'*Eucalyptus camaldulensis* sans collapse.

N°	Mo (g)	M <sub>H</sub> (g)	H (%)	V (cm <sup>3</sup> )	D <sub>H</sub> (g / cm <sup>3</sup> )	w (%)	Hs (%)	D12% (g / cm <sup>3</sup> )
1	5,24	5,53	5,53	7,92	0,70	0,43	39,00	0,72
2	5,13	5,39	5,07	7,27	0,74	0,50	39,00	0,76
3	5,09	5,68	11,59	7,67	0,74	0,34	39,00	0,74
4	4,84	5,47	13,02	7,39	0,74	0,35	39,00	0,74
5	4,93	5,18	5,07	7,03	0,74	0,52	39,00	0,75
6	4,77	5,04	5,66	7,21	0,70	0,44	39,00	0,72
7	4,65	5,25	12,90	7,90	0,66	0,35	39,00	0,66
8	4,95	5,30	7,07	7,48	0,71	0,45	39,00	0,72
9	5,24	5,66	8,02	7,23	0,78	0,50	39,00	0,79
10	5,25	5,90	19,73	8,00	0,74	0,09	39,00	0,77
11	5,14	5,75	10,12	7,54	0,76	0,30	39,00	0,77
12	5,14	5,75	10,10	7,62	0,75	0,32	39,00	0,82
13	4,79	5,37	4,38	7,76	0,69	0,32	39,00	0,72
14	4,59	5,14	6,97	7,63	0,67	0,31	39,00	0,69
15	4,77	5,34	7,55	7,87	0,68	0,32	39,00	0,70
16	5,06	5,67	10,47	7,76	0,73	0,28	39,00	0,74
17	5,13	5,74	10,11	7,72	0,74	0,27	39,00	0,75

Tableau n°2.11 (suite) Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

Echant	RLC (%)	RRC (%)	RTC (%)	RVC (%)	AC	CRLC (%)	CRRC (%)	CRTC (%)	CRVC (%)	DC
1	-0,15	1,54	4,39	5,75	0,35	-0,01	0,06	0,16	0,21	0,72
2	-0,10	1,92	7,34	9,04	0,26	0,00	0,07	0,27	0,33	0,76
3	0,21	4,69	7,23	11,76	0,65	0,01	0,17	0,27	0,44	0,74
4	0,18	4,60	6,78	11,23	0,68	0,01	0,17	0,25	0,42	0,74
5	0,00	2,86	7,28	9,92	0,39	0,00	0,11	0,27	0,37	0,75
6	-0,28	1,63	5,45	6,74	0,30	-0,01	0,06	0,20	0,25	0,72
7	-0,01	2,09	4,54	6,51	0,46	0,00	0,08	0,17	0,24	0,66
8	0,06	2,06	6,03	7,91	0,34	0,00	0,08	0,22	0,29	0,72
9	-0,08	4,47	6,52	10,61	0,69	0,00	0,17	0,24	0,39	0,79
10	0,21	1,07	5,95	7,15	0,18	0,01	0,04	0,22	0,26	0,77
11	-0,07	2,08	3,54	5,47	0,59	0,00	0,08	0,13	0,20	0,72
12	0,02	2,19	4,02	6,12	0,54	0,00	0,08	0,15	0,23	0,69
13	0,26	1,51	2,92	7,55	0,52	0,12	0,06	0,11	0,28	0,71
14	0,00	2,71	4,23	6,81	0,64	0,00	0,10	0,16	0,25	0,70
15	0,12	2,84	3,84	6,69	0,74	0,00	0,11	0,14	0,25	0,72
16	-0,02	3,28	3,82	6,95	0,86	0,00	0,12	0,14	0,26	0,74
17	0,24	1,95	3,21	5,33	0,68	0,01	0,07	0,12	0,20	0,75
Moy	0,03	2,56	5,12	7,74	0,52	0,01	0,09	0,19	0,29	0,73
S	0,15	1,12	1,53	2,03	0,19	0,03	0,04	0,06	0,08	0,03
CV(%)	600,87	43,66	29,91	26,26	36,79	396,27	43,66	29,91	26,28	4,32

Tableau n°2.11 (suite) Détermination des rapports de reconditionnement de l'Eucalyptus camaldulensis.

Echant.	RLS/RLC	RRS/RRC	RTS/RTC	RVS/RVC
1	-0,44	2,36	2,33	2,36
2	-2,14	2,12	1,34	1,51
3	-0,36	1,11	1,10	1,96
4	1,20	1,15	1,19	1,13
5	-23,08	1,01	0,75	1,77
6	-0,20	1,88	1,13	2,25
7	-5,60	1,76	1,43	0,45
8	-3,61	1,37	0,90	0,57
9	-4,10	1,54	1,06	0,49
10	0,13	2,50	0,92	0,44
11	-3,08	2,99	1,73	0,77
12	-8,71	1,31	1,46	1,64
13	-0,01	1,92	2,16	0,40
14	-16,72	1,03	1,72	1,78
15	0,07	1,20	1,61	1,26
16	-6,78	0,84	1,72	1,42
17	0,03	2,08	1,53	1,64
<b>Moy</b>	-4,32	1,66	1,42	1,28
<b>S</b>	6,39	0,59	0,42	0,64
<b>CV(%)</b>	-147,99	35,80	29,79	49,80

**ANNEXE III**  
**PROPRIETES PHYSIQUES**

**DETERMINATION DU POINT DE SATURATION DES FIBRES DE L'EUCALYPTUS CLADOCALYX.**

Tableau n°2. 2.1: Détermination du taux moyen de l'humidité du point de saturation des fibres du bois d'Eucalyptus cladocalyx .

Echantillons	rv (%)	HS(%)
1	0,53	45
2	0,5	28
3	0,54	23
4	0,49	31
5	0,5	28
6	0,5	34
7	0,48	33
8	0,54	24
9	0,4	38
10	0,52	37
Moyennes	0,49	32,4
S	0,05	5,76
CV (%)	10,56	17,77

## ANNEXE IV

### PRORIETES PHYSIQUES

#### CAS DE L'EUCALYPTUS CLADOCALYX AVEC ET SANS COLLAPSE

Tableau n°2.1 . Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse aux états : saturé- sec à l'air et anhydre.

Dimensions (mm)	SATUREES			SEC A L'AIR (H =12%)			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
1	19,99	20,32	20,06	19,92	16,19	18,80	19,69	19,04	18,05
2	20,13	19,91	20,13	20,08	15,95	18,98	20,05	18,45	18,29
3	20,18	19,87	20,06	20,12	15,92	18,63	20,08	18,43	17,78
4	20,14	20,22	21,01	20,08	16,13	19,59	20,04	18,71	18,75
5	20,03	20,54	20,59	19,93	16,32	19,22	19,67	18,73	18,39
6	20,26	20,66	20,66	20,16	16,39	19,07	20,10	18,70	18,12
7	20,29	19,92	20,36	20,24	15,95	19,16	20,21	18,25	18,45
8	20,04	20,05	19,88	19,98	16,03	18,55	19,95	18,58	17,75
9	20,32	20,29	19,80	20,27	19,35	18,36	20,24	19,03	17,95
10	20,99	20,11	20,53	20,92	18,94	18,40	20,88	18,58	17,98
11	20,36	20,09	20,01	20,30	18,58	18,12	20,28	18,19	17,74
12	20,33	20,33	20,68	20,27	19,30	18,20	20,21	18,77	17,55
13	20,18	20,14	20,66	20,12	19,03	18,28	20,08	18,51	17,66
14	20,21	20,23	19,96	20,18	19,20	18,01	20,16	18,86	17,63
15	20,39	20,03	19,89	20,40	19,22	17,75	20,34	18,67	17,10
16	20,21	19,88	19,93	20,18	19,17	18,10	20,15	18,60	17,37
17	19,94	20,11	19,96	19,92	19,92	19,02	19,87	18,71	17,42

Tableau n°2.1 (suite) Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à sec à l'air).

Echan.	RLS (%)	RRS (%)	RTS (%)	RVS (%)	CRLS (%)	CRRS (%)	CRTS (%)	CRVS (%)	AS	D12%
1	0,31	3,96	6,28	10,10	0,02	0,20	0,31	0,51	0,63	1,00
2	0,24	4,61	5,71	10,10	0,01	0,23	0,29	0,51	0,81	1,00
3	0,34	4,52	7,10	11,38	0,02	0,23	0,35	0,57	0,64	0,97
4	0,33	4,67	6,73	11,17	0,02	0,23	0,34	0,56	0,69	0,98
5	0,50	6,50	6,66	11,09	0,03	0,27	0,33	0,60	0,83	0,98
6	0,49	5,93	7,67	13,25	0,02	0,30	0,38	0,66	0,77	0,97
7	0,23	5,25	5,88	10,82	0,01	0,26	0,29	0,54	0,89	0,99
8	0,27	4,58	6,70	11,01	0,01	0,23	0,33	0,55	0,68	0,89
9	0,23	4,29	6,77	10,96	0,01	0,21	0,34	0,55	0,63	0,96
10	0,28	5,44	9,76	14,89	0,01	0,27	0,49	0,74	0,56	1,03
11	0,27	7,08	8,91	15,55	0,01	0,35	0,45	0,78	0,79	1,02
12	0,25	4,54	10,96	15,19	0,01	0,23	0,55	0,76	0,41	1,01
13	0,27	5,05	10,77	15,48	0,01	0,25	0,54	0,77	0,47	1,03
14	0,12	4,76	9,23	13,63	0,01	0,24	0,46	0,68	0,52	1,01
15	-0,09	2,92	8,48	11,04	0,00	0,15	0,42	0,55	0,34	0,96
16	0,14	3,57	9,13	12,49	0,01	0,18	0,46	0,62	0,39	0,99
17	0,25	6,90	7,79	14,37	0,01	0,35	0,39	0,72	0,89	1,02
Moy	0,26	4,92	7,91	12,55	0,01	0,25	0,40	0,63	0,64	0,99
S	0,13	1,06	1,65	1,95	0,01	0,05	0,08	0,10	0,17	0,03
CV(%)	50,65	21,64	20,84	15,52	50,65	21,64	20,84	15,52	27,02	3,51

**Tableau n°2.1 (suite) Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse ( entre états saturé à anhydre).**

Echant	RLT (%)	RRT (%)	RTT (%)	RVT (%)	CRLT (%)	CRRT (%)	CRTT (%)	CRVT (%)	AT
1	0,50	6,33	10,04	16,16	0,02	0,20	0,31	0,51	0,63
2	0,39	7,37	9,14	16,17	0,01	0,23	0,29	0,51	0,81
3	0,54	7,23	11,36	18,21	0,02	0,23	0,35	0,57	0,64
4	0,53	7,47	10,77	17,87	0,02	0,23	0,34	0,56	0,69
5	0,81	8,80	10,66	19,18	0,03	0,27	0,33	0,60	0,83
6	0,78	9,49	12,26	21,21	0,02	0,30	0,38	0,66	0,77
7	0,36	8,40	9,41	17,31	0,01	0,26	0,29	0,54	0,89
8	0,43	7,33	10,72	17,62	0,01	0,23	0,33	0,55	0,68
9	0,39	6,22	9,31	15,29	0,01	0,19	0,29	0,48	0,67
10	0,52	7,64	12,43	19,54	0,02	0,24	0,39	0,61	0,61
11	0,36	9,44	11,37	20,03	0,01	0,30	0,36	0,63	0,83
12	0,59	7,64	15,14	22,08	0,02	0,24	0,47	0,69	0,50
13	0,53	8,11	14,53	21,88	0,02	0,25	0,45	0,68	0,56
14	0,23	6,76	11,69	17,85	0,01	0,21	0,37	0,56	0,58
15	0,22	6,80	14,03	20,05	0,01	0,21	0,44	0,63	0,48
16	0,27	6,44	12,81	18,64	0,01	0,20	0,40	0,58	0,50
17	0,47	9,68	10,73	19,75	0,01	0,30	0,34	0,62	0,90
<b>Moy</b>	0,47	7,71	11,55	18,75	0,01	0,24	0,36	0,59	0,68
<b>S</b>	0,17	1,11	1,79	1,98	0,01	0,03	0,06	0,06	0,14
<b>CV(%)</b>	35,38	14,44	15,50	10,56	35,38	14,44	15,50	10,56	20,00

Tableau n°2.6. Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse aux états: saturé-sec a l'air et anhydre.

Dimensions (mm)	SATUREES			SECS A L AIR			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
1	20,40	20,06	19,82	20,42	19,43	18,66	20,41	19,09	18,22
2	20,51	20,12	20,31	20,48	19,25	18,44	20,43	18,84	18,09
3	20,40	20,13	20,35	20,26	19,21	18,48	20,20	18,77	18,09
4	20,32	20,10	19,91	20,26	19,26	18,36	20,50	18,99	18,06
5	20,09	20,03	19,88	20,09	19,28	18,11	20,07	18,91	17,92
6	20,08	20,00	19,87	19,95	19,00	18,23	19,91	18,94	17,83
7	19,89	20,25	20,14	19,92	19,45	18,70	19,89	19,04	18,25
8	20,39	20,18	20,34	20,32	19,29	18,46	20,28	18,82	18,02
9	20,48	20,00	20,35	20,46	18,60	17,72	20,46	18,61	17,57
10	20,35	20,12	20,09	20,37	19,00	18,46	20,36	18,75	18,17
11	20,49	20,03	20,05	20,54	19,30	18,93	20,50	18,91	18,91
12	20,53	19,92	19,97	20,52	19,00	17,99	20,00	20,00	20,00
13	20,26	20,07	19,91	20,28	19,30	18,53	20,25	18,96	18,27
14	20,44	19,88	20,31	20,43	18,79	17,80	20,41	18,53	17,55
15	20,38	20,12	20,03	20,41	19,37	18,76	20,37	18,93	18,30
16	20,06	20,02	19,83	19,73	19,26	18,32	19,72	18,95	18,01
17	20,84	20,11	19,87	20,83	19,42	18,61	20,66	19,06	18,24

Tableau n°2.6.1. Détermination des paramètres du retrait de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

Ech	RLC (%)	RRC (%)	RTC (%)	RVC (%)	CRLC (%)	CRRC (%)	CRTC (%)	CRVC (%)	AC	DC
1	-0,11	2,92	5,73	8,38	-0,01	0,15	0,29	0,42	0,51	0,95
2	-0,01	2,29	6,29	8,37	0,00	0,11	0,31	0,42	0,36	0,94
3	0,40	2,36	5,25	7,82	0,02	0,10	0,26	0,39	0,45	0,95
4	-0,12	3,15	6,43	9,57	-0,01	0,17	0,32	0,43	0,54	0,93
5	-0,23	3,69	5,40	8,67	-0,01	0,10	0,27	0,40	0,00	0,00
6	-0,12	3,15	6,31	8,87	-0,01	0,16	0,30	0,44	0,53	0,93
7	-0,11	3,49	5,97	9,14	-0,01	0,17	0,30	0,43	0,53	0,95
8	0,00	3,21	6,02	9,03	0,00	0,16	0,30	0,45	0,53	0,95
9	-0,15	3,13	6,99	9,74	-0,01	0,16	0,35	0,49	0,45	0,97
10	-0,17	2,32	5,04	7,06	-0,01	0,12	0,25	0,35	0,46	0,93
11	-0,05	2,88	7,15	9,78	0,00	0,14	0,36	0,49	0,40	0,95
12	0,04	2,41	5,22	7,54	0,00	0,12	0,26	0,38	0,46	0,95
13	-0,11	0,83	2,79	3,54	-0,01	0,04	0,14	0,13	0,30	0,84
14	-0,16	3,44	6,53	9,66	-0,01	0,17	0,33	0,48	0,52	0,93
15	-0,08	2,69	6,45	8,89	0,00	0,13	0,32	0,44	0,42	0,96
16	-0,15	2,93	6,44	9,04	-0,01	0,15	0,32	0,45	0,46	0,96
17	0,10	3,73	5,10	8,73	0,01	0,19	0,25	0,44	0,73	0,96
Moy	-0,06	2,88	5,81	8,46	0,00	0,14	0,29	0,42	0,49	0,95
s	0,15	0,71	1,01	1,48	0,01	0,04	0,05	0,07	0,11	0,04
CV(%)	-	24,66	17,40	17,51	-	24,66	17,40	17,51	21,67	4,05
	243,08				243,08					

Tableau n°2.6.2 Détermination des rapports de reconditionnement de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse ( entre états saturé à sec à l'air ).

Echant.	RLS/RLC	RRS/RRC	RTS/RTC	RVS/RVC
1	-2,76	1,36	1,10	1,21
2	-24,76	2,02	0,91	1,21
3	0,83	1,91	1,35	1,46
4	-2,79	1,34	1,05	1,17
5	-2,15	1,49	1,23	1,38
6	-4,07	1,86	1,28	1,49
7	-2,07	1,50	0,98	1,18
8	-191,45	1,43	1,11	1,22
9	-1,54	1,37	0,97	1,12
10	-1,71	2,35	1,94	2,11
11	-5,46	2,45	1,25	1,59
12	5,93	1,89	2,10	2,01
13	-2,52	6,06	3,87	4,38
14	-0,77	1,38	1,40	1,41
15	1,09	1,08	1,31	1,24
16	-0,93	1,22	1,42	1,38
17	2,52	1,85	1,53	1,65
Moy	-13,68	1,92	1,46	1,60
S	46,24	1,14	0,70	0,77
CV(%)	-337,94	59,28	47,85	48,08

## ANNEXE V

### PROPRIETES PHYSIQUES

#### DETERMINATION DU POINT DE SATURATION DES FIBRES DE L'EUCALYPTUS GOMPHOCEPHALA

Tableau n°2.1. Détermination du taux d'humidité du point de saturation des fibres de l'Eucalyptus gomphocephala .

Echantillon	HS (%)	IV (%)
1	32,00	0,42
2	31,00	0,41
3	31,00	0,23
4	30,00	0,40
5	40,00	0,35
6	30,00	0,53
7	40,00	0,36
8	33,00	0,41
9	29,00	0,48
10	32,89	0,40
Moy	32,00	0,41
S	32,61	0,40
CV (%)	3,76	0,08

## ANNEXE VI

### PROPRIETES PHYSIQUES

#### CAS DE L'EUCALYPTUS GOMPHOCEPHALA AVEC ET SANS COLLAPSE

Tableau n°2.1. Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse entre l'état saturé et l'état sec à l'air (essai 1).

Dimensions (mm)	SATUREES			SECS A L'AIR			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
1	20,20	19,77	19,93	20,13	19,11	19,67	20,14	19,73	19,11
2	20,59	19,82	19,43	20,58	19,24	18,21	20,55	18,77	17,59
3	20,38	19,32	20,07	20,31	19,45	19,95	20,03	18,73	18,19
4	20,88	19,33	19,87	20,83	18,80	18,70	20,61	18,40	18,12
5	20,20	19,69	19,41	20,18	19,06	18,07	20,15	18,67	17,39
6	20,54	20,00	19,85	20,53	19,21	19,97	20,47	19,59	18,22
7	19,69	20,00	19,92	19,68	19,03	18,95	19,64	18,35	18,23
8	20,44	19,87	19,76	20,41	19,20	18,27	20,36	18,72	17,76
MOY	20,30	19,82	19,65	20,27	19,10	18,40	20,24	18,62	17,81
S	0,39	0,22	0,46	0,39	0,22	0,49	0,39	0,20	0,42
CV (%)	1,92	1,10	2,32	1,91	1,13	2,64	1,91	1,06	2,38

Tableau n°2.5. Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse entre l'état saturé et l'état sec à l'air (essai2).

Dimensions: (mm)	SATUREES			SECS A L'AIR			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
Echantillon 9	20,09	19,83	19,38	20,07	19,34	18,15	20,00	18,72	17,22
10	20,86	19,96	19,46	20,84	19,12	18,07	20,82	18,84	17,68
11	20,30	19,73	19,79	20,25	19,11	18,53	20,20	18,67	17,86
12	20,16	20,07	19,83	20,13	19,48	18,46	20,07	18,92	17,61
13	19,92	19,84	20,12	19,88	19,15	18,78	19,83	18,53	17,85
14	20,03	19,73	19,94	20,01	19,17	18,64	19,96	18,62	17,71
15	20,58	19,66	19,68	20,56	18,67	18,19	20,54	18,56	17,73
16	19,86	19,82	19,27	19,84	19,34	17,96	19,80	18,73	17,02
17	20,45	19,73	18,99	20,40	18,89	17,93	20,38	18,34	17,32
MOY	20,34	19,80	19,62	20,31	19,14	18,31	20,29	18,66	17,62
S	0,32	0,17	0,36	0,32	0,16	0,31	0,32	0,18	0,32
CV%	1,56	0,87	1,81	1,59	0,83	1,67	1,56	0,94	1,79

Tableau n°2.9. Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse entre l'état saturé et l'état sec à l'air (essai 1).

Dimensions (mm)	SATUREES			SECS A L'AIR			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
ECH									
1	20,64	19,97	20,36	20,61	19,44	19,49	20,56	19,07	18,97
2	20,19	20,06	19,32	20,19	19,58	18,59	20,15	19,23	18,03
3	20,57	20,00	19,82	20,58	19,24	19,00	20,55	18,97	18,69
4	20,12	20,26	20,36	20,03	19,59	19,34	19,97	19,28	18,87
5	20,21	20,16	18,81	20,16	19,46	17,72	20,13	19,01	17,25
6	20,26	20,16	18,70	20,27	19,54	17,60	20,22	19,17	17,16
7	20,21	20,13	18,78	20,23	19,46	17,58	20,22	19,03	17,11
8	20,34	20,01	19,48	20,34	19,40	18,61	20,33	18,97	18,10
9	20,38	20,16	18,74	20,38	19,50	17,53	20,36	19,07	16,96
10	19,60	20,07	19,48	19,60	19,36	18,49	19,59	19,00	18,00
11	20,59	19,62	20,14	20,56	19,12	19,48	20,55	18,83	19,15
12	20,83	20,10	18,74	20,83	19,43	17,58	20,82	19,09	17,14
13	20,36	20,22	18,96	20,32	19,55	17,71	20,29	19,12	17,18
MOY	20,47	20,05	19,69	20,36	19,42	18,51	20,33	19,05	18,02
S	0,34	0,21	0,67	0,28	0,15	0,73	0,27	0,14	0,74
CV(%)	1,68	1,03	3,38	1,35	0,76	3,93	1,33	0,74	4,11

Tableau n°2.12. Variations dimensionnelles de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse entre l'état saturé et l'état sec à l'air (essai 2).

Dimensions (mm)	SATUREES			SECS A L'AIR			ANHYDRES		
	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy	amoy	rmoy	tmoy
Echantillon									
14	20,72	20,16	19,91	20,62	19,51	18,66	20,70	18,65	18,31
15	19,30	20,35	19,87	19,33	19,66	19,03	19,28	19,24	18,58
16	19,60	19,84	19,28	19,86	19,56	18,78	19,78	19,01	17,71
17	20,54	19,95	19,49	20,59	19,42	18,55	20,51	19,03	17,99



**TABLEAU N°3.4 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

Ech.	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	FACIES
1	21400,00	17,62	18,90X19,20	58,97	11,56	57,93	0,81	SB
2	22200,00	17,50	19,40X19,80	57,79	11,56	56,78	0,76	SB
3	21000,00	17,38	19,30X19,60	55,51	12,86	57,42	0,76	SB
4	21000,00	17,60	19,70X19,70	54,11	12,81	55,86	0,75	SB
5	20400,00	17,65	19,60X19,40	53,65	12,01	53,67	0,77	SB
6	18200,00	15,22	18,70X18,70	52,05	13,14	54,42	0,72	SB
7	18200,00	15,46	19,20X18,90	50,15	14,40	54,97	0,70	SB
8	19100,00	17,03	18,60X19,10	53,76	13,55	57,10	0,79	SB
9	21700,00	18,23	18,00X19,80	60,89	12,41	61,89	0,85	SB
10	21800,00	18,23	19,30X19,80	57,05	11,03	54,83	0,80	SB
11	20400,00	17,54	19,40X19,50	53,93	13,88	57,98	0,77	SB
12	20400,00	16,95	19,60X19,30	53,93	13,81	57,83	0,74	SB
13	20200,00	17,45	19,20X19,80	53,14	12,96	55,18	0,76	SB
14	21800,00	18,32	19,90X19,60	55,89	12,28	56,52	0,78	SB
15	22000,00	17,90	19,30X19,90	57,28	11,64	56,46	0,78	SB
16	21400,00	17,90	19,50X20,40	53,80	10,84	51,30	0,78	SB
17	21600,00	17,50	19,20X19,10	58,90	9,97	54,12	0,80	M
18	18000,00	15,89	19,30X18,70	49,87	14,40	54,66	0,73	SB
19	19600,00	16,10	19,70X19,20	51,82	12,63	53,12	0,71	SB
20	19200,00	15,77	20,20X18,90	50,29	13,23	52,77	0,68	M
21	22400,00	17,62	19,40X18,80	61,42	9,71	55,79	0,81	SB
22	19000,00	18,57	19,40X19,90	49,22	13,96	53,07	0,79	SB
Moy	20500,00	17,25		54,70	12,48	55,62	0,77	
S	1357,81	0,94		3,43	1,30	2,26	0,04	
CV(%)	6,62	5,43		6,27	10,44	4,07	5,19	

**TABLEAU N°3.6 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collage.**

Ech.	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	FACIES
1	24400,00	20,57	18,80X19,40	66,90	11,64	65,94	0,94	BB
2	26000,00	23,63	19,70X19,60	67,34	10,27	62,68	1,02	BB
3	25000,00	21,78	18,90X19,60	67,49	10,90	64,52	0,98	BB
4	24800,00	21,79	19,20X19,50	66,24	11,11	63,88	0,97	BB
5	22600,00	21,22	19,30X19,70	59,44	12,67	61,03	0,93	BB
6	21400,00	19,44	19,20X19,40	57,45	13,27	60,37	0,87	BB
7	20200,00	19,22	19,00X19,60	54,24	12,74	55,85	0,86	BB
8	21800,00	20,56	19,20X19,40	58,53	12,67	60,10	0,92	BB
9	26000,00	22,01	19,50X19,00	70,18	10,49	65,94	0,99	BB
10	23200,00	20,68	19,40X19,10	62,61	11,94	62,46	0,93	BB
11	21600,00	19,26	19,10X19,10	59,21	12,73	60,94	0,86	BB
12	24400,00	21,22	19,60X19,20	64,84	11,55	63,67	0,94	BB
13	25200,00	22,13	19,20X19,40	67,65	10,71	64,16	0,99	BB
14	21400,00	19,67	19,10X19,50	57,46	12,74	59,16	0,88	BB
15	22800,00	20,77	19,20X19,60	60,59	12,50	61,80	0,92	BB
16	23000,00	20,90	18,90X19,40	62,73	12,08	62,93	0,95	BB
17	22800,00	20,46	19,20X19,10	62,17	12,09	62,40	0,93	BB
18	21200,00	19,44	19,50X19,10	56,92	13,33	59,95	0,87	BB
19	22800,00	20,68	19,40X19,10	61,53	12,62	63,06	0,93	BB
20	24600,00	21,79	19,60X19,10	65,71	11,11	63,37	0,97	BB
21	23600,00	20,90	19,10X19,40	63,69	11,67	62,85	0,94	BB
22	24600,00	20,89	19,60X19,10	65,71	11,11	62,33	0,94	BB
Moy	23336,36	20,86		62,66	11,91	62,24	0,93	
S	1646,22	1,08		4,28	0,91	2,30	0,04	
CV(%)	7,05	5,18		6,83	7,63	3,69	4,81	

**TABLEAU N°3.9 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans coillapse.**

N°	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (Mpa)	D12% (g/cm3)	FACIES
1	25000,00	23,74	19,60X20,60	61,92	12,50	63,16	0,87	BB
2	24800,00	24,58	20,60X20,60	58,73	13,37	61,94	0,93	BB
3	20600,00	20,19	19,60X20,20	52,03	17,01	62,46	0,89	FL
4	24600,00	24,44	20,80X20,40	57,98	13,48	61,41	0,84	BB
5	22600,00	21,92	20,00X20,30	55,67	15,24	62,88	0,92	BB
6	21300,00	20,40	19,90X20,10	54,50	15,74	62,66	0,95	BB
7	23600,00	23,67	20,30X20,90	55,62	14,60	61,41	0,96	BB
8	23000,00	23,54	20,00X20,40	53,95	14,84	60,07	0,91	FL
9	19600,00	21,60	20,60X20,80	45,74	17,43	55,68	0,86	FL
10	22000,00	21,18	20,60X19,70	54,21	15,41	61,61	0,84	BB
11	22200,00	24,16	21,20X21,10	49,63	15,24	56,06	0,84	FL
12	24200,00	23,85	20,50X20,20	58,44	14,02	63,16	0,91	BB
13	25400,00	22,89	20,50X18,80	65,91	12,50	67,22	0,98	M
14	21600,00	21,75	20,70X20,60	50,65	16,10	58,96	0,92	BB
15	22000,00	23,15	19,20X20,30	56,44	15,41	64,14	0,98	FL
16	23400,00	24,40	20,90X20,70	54,09	14,63	59,78	0,90	BB
17	22800,00	23,13	19,70X20,60	56,18	15,01	62,95	0,89	BB
18	23600,00	22,64	19,60X20,70	58,17	14,60	64,22	0,95	BB
19	23200,00	22,28	20,10X20,30	56,86	14,77	63,16	0,95	BB
20	23400,00	23,17	20,60X20,60	55,14	14,65	60,99	0,88	M
21	24000,00	23,84	20,80X19,90	57,98	14,45	63,66	0,84	BB
22	23600,00	22,89	19,70X20,60	58,15	14,60	64,20	0,93	FL
Moy	23045,45	22,88		55,82	14,80	61,90	0,91	
s	1397,31	1,24		4,09	1,18	2,57	0,04	
CV(%)	6,06	5,41		7,33	3,00	4,16	4,93	

**TABLEAU N°3.10 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

N°	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (Mpa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	FACIES
1	22600,00	23,94	19,40X19,40	60,05	12,96	62,35	1,06	BB
2	22400,00	23,54	19,20X19,10	61,08	12,72	62,84	1,07	BB
3	23200,00	24,23	19,10X19,40	62,61	12,35	63,49	1,09	BB
4	22400,00	23,54	19,20X19,10	61,08	12,72	62,84	1,07	BB
5	22400,00	23,57	19,20X19,30	60,45	13,35	63,71	1,06	BB
6	23000,00	23,71	19,30X19,50	61,11	12,05	61,24	1,05	BB
7	24200,00	24,67	19,30X19,50	63,64	12,18	64,13	1,03	BB
8	22500,00	22,56	19,20X19,30	60,93	12,73	62,64	1,03	BB
9	24600,00	25,06	19,10X19,20	67,63	11,52	68,33	1,14	BB
10	21400,00	23,36	19,30X19,40	57,16	13,35	60,24	1,04	BB
11	22400,00	23,64	19,00X19,20	61,40	12,50	62,63	1,08	BB
12	22400,00	23,57	19,10X19,40	60,45	12,87	62,56	1,06	BB
13	23000,00	23,79	19,20X19,30	62,07	12,82	64,10	1,07	BB
14	22200,00	23,69	19,20X19,40	59,60	12,82	61,56	1,06	BB
15	24600,00	24,64	19,10X19,20	67,63	11,85	67,22	1,12	BB
16	22800,00	24,01	19,10X19,40	61,53	12,47	62,69	1,06	BB
17	23800,00	24,55	19,10X19,30	64,56	11,94	64,41	1,11	BB
18	21400,00	23,10	19,10x19,20	58,36	13,70	62,32	1,04	BB
19	23800,00	24,11	19,10X19,30	64,56	12,06	64,72	1,09	BB
20	22800,00	23,71	19,30X19,50	60,58	13,27	63,66	1,05	BB
21	20600,00	23,47	19,40X19,20	55,30	13,69	59,04	1,04	BB
22	22200,00	23,89	19,10X19,30	60,22	12,32	60,99	1,08	BB
Moy	22761,82	23,86		61,46	12,65	63,00	1,07	BB
S	1012,48	0,53		2,85	0,58	1,50	0,03	BB
CV (%)	4,44	2,23		4,63	4,58	2,36	2,59	BB

**TABLEAU N°3.11 Détermination de la contrainte à la rupture en compression axiale à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N°	Charge P(N)	Masse M <sub>H</sub> (g)	SECTION axb (mm)	C <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	C <sub>12</sub> (MPa)	D <sub>12%</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	FACIES
1	23400,00	24,85	19,90X21,00	55,99	13,92	60,30	0,98	B
2	22200,00	25,47	20,60X20,10	53,62	15,06	60,18	1,01	M
3	22200,00	23,13	20,30X20,30	53,87	15,82	62,11	0,92	B
4	20000,00	23,38	19,10X19,40	53,98	15,67	61,90	1,04	FL
5	23400,00	25,52	21,00X19,50	57,14	15,08	64,18	1,02	FL
6	23000,00	24,39	20,70X19,90	55,83	14,36	61,09	0,98	B
7	22200,00	23,22	20,30X20,30	53,87	14,93	60,19	0,93	B
8	20800,00	23,26	20,40X20,40	49,98	14,51	55,00	0,92	B
9	25200,00	25,22	20,40X20,50	60,26	14,21	65,58	1,00	B
10	23400,00	23,94	20,40X20,50	55,95	14,87	62,38	0,94	B
11	21400,00	22,85	19,70X19,80	54,86	14,32	59,96	0,97	B
12	23600,00	24,46	20,60X20,30	56,44	15,79	64,99	0,96	B
13	22000,00	23,71	20,40X20,40	52,86	14,36	57,86	0,94	B
14	24200,00	23,05	19,50X19,70	63,00	14,32	68,85	0,99	M
15	20600,00	21,61	20,00X20,50	50,24	15,13	56,53	0,87	B
16	22000,00	23,14	19,80X19,70	56,40	15,10	63,40	0,98	B
17	25400,00	23,38	19,10X19,50	68,20	13,40	72,03	1,04	B
18	20800,00	23,10	20,40X20,50	49,74	15,63	56,95	0,91	B
19	22200,00	22,50	19,40X19,90	57,50	14,83	64,01	0,96	B
20	24800,00	25,35	19,90X19,60	63,58	14,52	69,98	1,07	B
21	23200,00	24,35	20,40X20,80	54,68	13,75	58,50	0,95	M
22	15400,00	21,73	20,40X20,40	37,00	15,63	42,37	0,86	B
Moy	22336,36	23,71		55,23	14,78	61,29	0,96	
S	2135,76	1,13		6,04	0,68	6,04	0,05	
CV (%)	9,56	4,76		10,93	4,59	9,86	5,60	

## ANNEXE VIII

### PROPRIETES MECANQUES

#### ESSAI DE RECONDITIONNEMENT, MODULE D'ELASTICITE LONGITUDINAL et CONTRAINTE DE RUPTURE EN FLEXION.

Tableau n°3.24. Essai de reconditionnement des éprouvettes destinées aux  
essais mécaniques.

T°C	t (mn)	durée (mn)	T°C	t (mn)	durée (mn)	obs
22	8h18	0	96	" 55	37	160/80
22	" 19	1	98	" 55	37	110/20
24	" 25	7	100	" 56	38	1h06
26	" 27	9	102	" 57	39	
28	" 28	10	104	" 58	40	
30	" 29	11	106	" 59	41	
32	" 30	12	108	9h00	42	
34	" 32	14	110	" 01	43	
36	" 33	15	112	" 02	44	
38	" 34	16	113	" 03	45	
40	" 34	16	112	" 04	46	
42	" 35	17	110	" 05	47	
44	" 36	18	108	" 06	48	
46	" 37	19	108	" 07	49	
48	" 38	20	110	" 08	50	
50	" 39	21	112	" 09	51	
52	" 39	21	110	" 10	52	
54	" 40	22	108	" 11	53	
56	" 40	22	108	" 12	54	
58	" 41	23	110	" 13	55	
60	" 41	23	112	" 14	56	
62	" 42	24	112	" 15	57	
64	" 43	25	110	" 16	58	
66	" 44	26	108	" 17	59	
68	" 44	26	110	" 18	60	
70	" 45	27	110	" 19	61	
72	" 46	28	112	" 20	62	
74	" 47	29	112	" 21	63	
76	" 47	29	112	" 22	64	
78	" 48	30	-	-	-	
80	" 49	31				
82	" 50	32				
84	" 50	32				
86	" 51	33				
88	" 52	34				
90	" 53	35				
92	" 54	36				
94	" 54	36				

TABLEAU N°3.1 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

ECH	F1 (mm)	F2 (mm)	F3 (mm)	F4 (mm)	F5 (mm)	F6 (mm)	HXB (mm)	M <sub>H</sub> (g)
1	0,19	0,06	0,19	0,07	0,22	0,09	21,00X21,00	119,18
2	0,21	0,03	0,23	0,02	0,22	0,01	19,80X17,50	103,36
3	0,15	0,01	0,14	0,01	0,16	0,01	20,80X20,70	134,93
4	0,20	0,02	0,21	0,01	0,19	0,01	19,00X20,30	112,62
5	0,31	0,01	0,30	0,01	0,30	0,01	17,00X19,00	96,58
6	0,19	0,01	0,17	0,01	0,15	0,01	20,55X13,70	120,93
7	0,20	0,01	0,17	0,01	0,20	0,01	19,00X19,60	103,40
8	0,17	0,01	0,16	0,02	0,17	0,02	20,00X21,00	107,30
9	0,30	0,01	0,26	0,05	0,33	0,04	17,70X19,00	95,86
10	0,18	0,01	0,17	0,01	0,18	0,01	20,00X20,70	118,93
Moy	0,21	0,02	0,20	0,02	0,21	0,02		111,31
S	0,05	0,02	0,05	0,02	0,06	0,03		12,34
CV(%)	25,20	99,21	25,06	110,55	28,02	134,37		11,08

**TABLEAU N°3.1- (suite) : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

ECH	DF1 (mm)	DF2 (mm)	DF3 (mm)	f (mm)	E <sub>n</sub> (MPa)	H (%)	E <sub>12</sub> (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,13	0,12	0,13	0,13	14029,24	9,75	13713,23	0,76
2	0,16	0,22	0,22	0,20	12512,14	10,50	12324,98	0,83
3	0,14	0,14	0,16	0,14	12943,93	13,52	13140,94	0,78
4	0,18	0,20	0,18	0,19	13296,89	10,10	13044,38	0,86
5	0,30	0,29	0,29	0,29	12621,53	10,80	12469,83	0,97
6	0,19	0,17	0,15	0,17	13001,29	11,11	12885,73	0,88
7	0,22	0,17	0,20	0,19	13755,49	10,44	13541,15	0,77
8	0,16	0,14	0,15	0,15	13714,29	9,82	13415,06	0,75
9	0,29	0,21	0,29	0,26	12456,43	10,21	12233,33	0,99
10	0,17	0,16	0,17	0,17	12521,74	11,19	12420,16	0,80
Moy	0,19	0,18	0,19	0,19	13085,30	10,74	12918,93	0,84
S	0,06	0,05	0,06	0,05	583,50	1,09	537,78	0,09
CV	29,74	27,90	29,85	28,10	4,46	10,17	4,16	10,36

**TABLEAU N°3.2 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>F1 (mm)</b>	<b>F2 (mm)</b>	<b>F3 (mm)</b>	<b>F4 (mm)</b>	<b>F5 (mm)</b>	<b>F6 (mm)</b>	<b>HXB (mm)</b>	<b>M<sub>H</sub> (g)</b>
1	0,10	0,06	0,12	0,03	0,11	0,02	19,50X20,60	103,08
2	0,02	0,07	0,16	0,00	0,16	0,00	19,50X20,60	108,13
3	0,09	0,03	0,10	0,03	0,08	0,01	21,20X20,00	102,63
4	0,14	0,05	0,13	0,05	0,14	0,06	21,60X19,60	108,68
5	0,14	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	21,00X20,00	104,88
6	0,10	0,02	0,10	0,02	0,09	0,00	21,40X21,60	136,91
7	0,17	0,05	0,13	0,01	0,12	0,00	21,70X20,40	118,04
8	0,21	0,11	0,11	0,02	0,11	0,01	22,10X20,10	118,31
9	0,16	0,05	0,15	0,01	0,14	0,00	21,30X21,00	117,54
10	0,14	0,01	0,15	0,01	0,14	0,00	20,00X20,50	115,74
<b>Moy</b>	0,13	0,05	0,12	0,02	0,12	0,01		113,39
<b>S</b>	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02		10,36
<b>CV(%)</b>	41,28	67,23	21,01	95,25	25,44	163,73		9,14

**TABLEAU N°3.2 (suite) : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>DF1 (mm)</b>	<b>DF2 (mm)</b>	<b>DF3 (mm)</b>	<b>f (mm)</b>	<b>E<sub>H</sub> (MPa)</b>	<b>H (%)</b>	<b>E<sub>12</sub> (MPa)</b>	<b>D12% (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	0,04	0,10	0,10	0,08	29511,83	6,71	27951,77	0,83
<b>2</b>	0,05	0,16	0,16	0,09	25374,66	7,34	24192,88	0,85
<b>3</b>	0,06	0,08	0,07	0,07	26220,40	7,53	25047,53	0,72
<b>4</b>	0,09	0,08	0,08	0,08	20788,17	8,16	19989,08	0,75
<b>5</b>	0,13	0,08	0,06	0,09	20925,86	8,65	20224,95	0,72
<b>6</b>	0,08	0,03	0,09	0,08	19591,15	9,38	19076,88	0,76
<b>7</b>	0,12	0,12	0,12	0,12	13720,74	9,52	13380,99	0,73
<b>8</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	16199,44	9,57	15805,45	0,76
<b>9</b>	0,12	0,15	0,14	0,13	12772,53	9,63	12470,40	0,69
<b>10</b>	0,13	0,15	0,14	0,14	15325,94	9,77	14984,48	0,73
<b>Moy</b>	0,08	0,11	0,11	0,10	20043,07	8,63	19312,44	0,75
<b>S</b>	0,06	0,03	0,03	0,02	5653,31	1,12	5225,15	0,05
<b>CV (%)</b>	67,49	30,66	29,82	24,44	28,21	13,00	27,06	6,67

**TABLEAU N°3.3 : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

ECH	F1 (mm)	F2 (mm)	F3 (mm)	F4 (mm)	F5 (mm)	F6 (mm)	HXB (mm)	M <sub>H</sub> (g)
1	0,16	0,04	0,14	0,00	0,14	0,00	19,00X19,30	123,37
2	0,14	0,04	0,15	0,00	0,16	0,01	19,00X19,30	120,17
3	0,17	0,02	0,16	0,00	0,15	0,00	18,60X19,30	125,78
4	0,16	0,05	0,13	0,01	0,12	0,00	19,10X19,30	126,62
5	0,15	0,03	0,15	0,02	0,12	0,01	18,80X19,30	123,12
6	0,14	0,02	0,13	0,01	0,12	0,00	18,80X19,20	124,33
7	0,17	0,05	0,12	0,01	0,12	0,01	19,40X19,30	126,17
8	0,17	0,03	0,14	0,01	0,14	0,01	18,50X19,00	121,83
9	0,14	0,02	0,13	0,01	0,11	0,00	18,70X19,20	128,17
10	0,14	0,01	0,13	0,00	0,12	0,00	19,00X19,20	119,42
Moy	0,15	0,03	0,14	0,01	0,13	0,00		123,90
S	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00		2,86
CV (%)	7,78	43,74	8,97	68,64	12,23	60,38		2,31

**TABLEAU N°3.3 : (suite) . Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H =12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapsé.**

ECH	DF1 (mm)	DF2 (mm)	DF3 (mm)	f (mm)	E <sub>H</sub> (MPa)	H (%)	E <sub>12</sub> (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,12	0,13	0,13	0,13	20343,05	11,96	20335,57	0,93
2	0,11	0,15	0,16	0,14	19219,82	11,53	19128,81	0,91
3	0,15	0,16	0,15	0,15	17768,56	12,50	17657,42	0,91
4	0,11	0,12	0,12	0,11	22510,08	11,51	22399,78	0,96
5	0,12	0,14	0,12	0,12	21850,55	11,73	21790,77	0,94
6	0,12	0,13	0,12	0,12	22418,79	11,89	22394,13	0,96
7	0,12	0,12	0,12	0,12	21326,20	11,91	21307,72	0,94
8	0,14	0,13	0,13	0,13	22385,43	11,00	22162,30	0,97
9	0,12	0,12	0,11	0,12	23593,96	10,70	23237,24	0,99
10	0,13	0,13	0,12	0,13	20994,31	11,54	20897,42	0,91
Moy	0,12	0,13	0,13	0,13	21241,08	11,63	21156,12	0,94
S	0,01	0,01	0,02	0,01	1739,50	0,51	1659,68	0,03
CV (%)	11,13	9,96	12,33	8,97	8,19	4,36	7,84	2,86

**TABLEAU N°3.4 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H = 12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>F1 (mm)</b>	<b>F2 (mm)</b>	<b>F3 (mm)</b>	<b>F4 (mm)</b>	<b>F5 (mm)</b>	<b>F6 (mm)</b>	<b>HXB (mm)</b>	<b>M<sub>H</sub> (g)</b>
1	0,07	0,01	0,08	0,00	0,09	0,00	19,90X20,80	128,65
2	0,12	0,04	0,08	0,01	0,07	0,01	19,40X20,70	130,79
3	0,13	0,06	0,09	0,01	0,09	0,00	19,60X20,60	123,92
4	0,10	0,05	0,09	0,01	0,08	0,00	20,30X20,30	141,39
5	0,12	0,06	0,09	0,01	0,08	0,00	19,50X20,60	132,99
6	0,21	0,17	0,17	0,07	0,11	0,00	19,60X20,50	130,24
7	0,12	0,06	0,07	0,00	0,07	0,01	20,40X20,60	138,89
8	0,10	0,03	0,09	0,02	0,08	0,00	19,50X20,60	132,99
9	0,13	0,07	0,09	0,01	0,08	0,01	19,40X20,10	127,69
10	0,10	0,03	0,08	0,01	0,08	0,00	19,50X21,10	123,22
<b>Moy</b>	0,12	0,06	0,09	0,01	0,08	0,00		131,08
<b>S</b>	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00		5,83
<b>CV(%)</b>	30,43	75,71	30,01	159,05	13,97	37,16		4,45

**TABLEAU N°3.4 (suite) Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H = 12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>DF1 (mm)</b>	<b>DF2 (mm)</b>	<b>DF3 (mm)</b>	<b>f (mm)</b>	<b>E<sub>H</sub> (MPa)</b>	<b>H (%)</b>	<b>E<sub>12</sub> (MPa)</b>	<b>D12% (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	0,06	0,08	0,09	0,08	27802,96	10,09	27271,92	0,85
<b>2</b>	0,08	0,08	0,07	0,07	31181,48	10,27	30642,04	0,93
<b>3</b>	0,07	0,09	0,09	0,08	27564,35	10,26	27084,73	0,87
<b>4</b>	0,05	0,09	0,08	0,07	28731,08	10,07	28176,57	0,88
<b>5</b>	0,06	0,09	0,08	0,07	30506,61	10,22	29963,59	0,92
<b>6</b>	0,04	0,10	0,11	0,08	27139,24	10,86	26829,85	0,92
<b>7</b>	0,06	0,07	0,07	0,06	30796,87	10,05	30196,33	0,94
<b>8</b>	0,07	0,07	0,08	0,07	31207,91	10,22	30652,41	0,94
<b>9</b>	0,06	0,08	0,08	0,07	32859,07	9,50	32037,59	0,96
<b>10</b>	0,07	0,08	0,08	0,07	29783,70	9,84	29140,37	0,93
<b>Moy</b>	0,06	0,08	0,08	0,07	29757,33	10,14	29199,54	0,91
<b>S</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	1883,62	0,35	1785,03	0,04
<b>CV(%)</b>	18,20	11,69	15,46	6,94	6,33	3,41	6,11	4,08

**TABLEAU N°3.5 : Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

<b>ECH</b>	<b>F1 (mm)</b>	<b>F2 (mm)</b>	<b>F3 (mm)</b>	<b>F4 (mm)</b>	<b>F5 (mm)</b>	<b>F6 (mm)</b>	<b>HXB (mm)</b>	<b>M<sub>H</sub> (g)</b>
1	0,09	0,02	0,08	0,01	0,08	0,01	19,20X19,60	146,09
2	0,09	0,03	0,10	0,01	0,10	0,01	19,00X19,70	133,28
3	0,11	0,02	0,08	0,00	0,09	0,00	19,00X19,60	147,99
4	0,09	0,02	0,09	0,00	0,09	0,00	19,40X18,40	139,55
5	0,11	0,04	0,10	0,02	0,09	0,01	19,30X19,70	145,52
6	0,11	0,05	0,09	0,01	0,09	0,01	19,00X19,40	141,60
7	0,13	0,04	0,10	0,03	0,10	0,03	19,30X21,30	151,71
8	0,12	0,04	0,10	0,00	0,08	0,00	18,60X19,20	125,51
9	0,08	0,03	0,11	0,00	0,10	0,00	18,80X19,40	143,57
10	0,15	0,05	0,07	0,00	0,06	0,01	19,40X19,40	144,97
<b>Moy</b>	0,11	0,03	0,09	0,01	0,09	0,01		141,98
<b>S</b>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		7,64
<b>CV</b>	19,91	34,60	13,36	102,07	14,06	117,67		5,38

**TABLEAU N°3.5 : (suite) Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

<b>ECH</b>	<b>DF1</b> <b>(mm)</b>	<b>DF2</b> <b>(mm)</b>	<b>DF3</b> <b>(mm)</b>	<b>f</b> <b>(mm)</b>	<b>E<sub>H</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>H</b> <b>(%)</b>	<b>E<sub>12</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>D12%</b> <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	0,07	0,07	0,07	0,07	35589,01	12,18	35653,07	0,98
2	0,06	0,10	0,10	0,08	30692,20	13,31	31094,26	1,08
3	0,09	0,08	0,09	0,09	30243,91	13,70	30758,06	1,08
4	0,07	0,09	0,09	0,08	31824,40	13,10	32174,47	1,07
5	0,08	0,08	0,08	0,08	30503,21	13,41	30933,31	1,08
6	0,07	0,08	0,08	0,07	35018,90	12,92	35341,07	0,99
7	0,09	0,07	0,07	0,08	29762,00	13,91	30330,45	1,09
8	0,08	0,10	0,08	0,09	32909,00	12,95	33221,64	1,03
9	0,06	0,11	0,10	0,09	30934,73	13,14	31287,39	1,07
10	0,10	0,07	0,06	0,07	32897,13	12,96	33212,95	1,06
<b>Moy</b>	0,08	0,08	0,08	0,08	32037,45	13,16	32400,67	1,05
<b>S</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	2022,67	0,48	1905,90	0,04
<b>CV(%)</b>	18,82	15,56	16,29	7,13	6,31	3,62	5,88	3,86

**TABLEAU N°3.6 Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>F1 (mm)</b>	<b>F2 (mm)</b>	<b>F3 (mm)</b>	<b>F4 (mm)</b>	<b>F5 (mm)</b>	<b>F6 (mm)</b>	<b>HXB (mm)</b>	<b>M<sub>H</sub> (g)</b>
1	0,14	0,07	0,06	0,00	0,06	0,00	20,20X19,60	143,77
2	0,08	0,03	0,08	0,03	0,08	0,02	21,00X19,80	158,39
3	0,08	0,02	0,05	0,00	0,06	0,00	20,00X19,80	152,25
4	0,05	0,00	0,06	0,00	0,07	0,00	20,30X19,80	151,68
5	0,07	0,00	0,07	0,01	0,07	0,00	19,80X20,60	151,01
6	0,09	0,05	0,07	0,01	0,07	0,01	20,60X19,80	152,47
7	0,12	0,05	0,06	0,00	0,06	0,00	19,90X20,00	145,94
8	0,07	0,04	0,10	0,03	0,08	0,01	20,30X19,70	139,52
9	0,14	0,08	0,08	0,03	0,07	0,02	20,90X20,00	147,32
10	0,09	0,04	0,09	0,03	0,09	0,01	20,00X19,90	144,52
<b>Moy</b>	0,09	0,04	0,07	0,01	0,07	0,01		148,69
<b>S</b>	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01		5,20
<b>CV(%)</b>	31,18	65,17	20,41	94,56	13,62	124,98		3,50

**TABLEAU N°3.6 : (suite). Détermination du module d'élasticité longitudinal à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>DF1 (mm)</b>	<b>DF2 (mm)</b>	<b>DF3 (mm)</b>	<b>f (mm)</b>	<b>E<sub>H</sub> (MPa)</b>	<b>H (%)</b>	<b>E<sub>12</sub> (MPa)</b>	<b>D12% (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	0,07	0,06	0,06	0,06	33777,79	10,98	33433,25	1,02
2	0,05	0,05	0,06	0,05	35338,81	10,26	34723,92	1,08
3	0,06	0,05	0,06	0,06	37944,66	9,59	37030,20	1,09
4	0,05	0,06	0,07	0,06	35393,36	9,77	34604,08	1,07
5	0,07	0,06	0,07	0,07	34593,91	10,74	34158,02	1,05
6	0,05	0,06	0,06	0,06	34893,31	10,63	34415,27	1,06
7	0,08	0,06	0,06	0,07	33903,78	10,77	33486,76	1,04
8	0,03	0,07	0,08	0,06	31968,48	11,58	31834,22	0,98
9	0,06	0,06	0,06	0,06	31963,99	11,68	31861,70	0,99
10	0,05	0,06	0,09	0,07	33230,77	11,09	32928,37	1,02
<b>Moy</b>	0,06	0,06	0,07	0,06	34300,89	10,71	33847,58	1,04
<b>S</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	1687,08	0,65	1450,25	0,03
<b>CV(%)</b>	23,31	9,41	13,32	7,13	4,92	6,10	4,28	3,28

**TABLEAU N°3.1: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.**

ECH	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	520,00	9,75	21,00	21,00	134,76	128,69	0,76
2	360,00	11,74	20,00	19,00	119,67	119,05	0,83
3	440,00	10,50	17,50	19,80	153,92	149,32	0,83
4	380,00	11,52	19,30	18,40	139,57	138,24	0,81
5	400,00	13,52	20,70	20,80	107,19	110,46	0,78
6	420,00	10,69	21,00	21,00	108,84	105,99	0,75
7	500,00	10,10	20,30	19,00	163,75	157,53	0,86
8	400,00	10,80	19,00	17,00	174,83	170,63	0,97
9	400,00	11,11	18,70	20,50	122,16	119,99	0,88
10	400,00	10,44	19,80	19,00	134,31	130,12	0,77
11	510,00	9,82	21,00	20,00	145,71	139,36	0,75
12	450,00	10,38	20,00	18,00	166,67	161,28	0,94
13	480,00	10,21	19,00	17,70	193,53	186,61	0,99
14	400,00	11,19	20,70	20,00	115,94	114,06	0,80
15	440,00	10,62	19,30	18,20	165,18	160,63	0,95
Moy	433,33	10,83	19,82	19,29	143,07	139,46	0,85
S	47,84	0,91	0,98	1,23	25,15	23,31	0,08
CV(%)	11,04	8,40	4,97	6,35	17,58	16,71	9,53

**TABLEAU N°3.2: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>P (KGF)</b>	<b>H (%)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>\sigma_{FH}</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_{F12}</math> (MPa)</b>	<b>D12% (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	620,00	6,71	20,70	18,90	201,24	179,95	0,83
2	680,00	6,71	21,60	21,40	164,98	147,53	0,85
3	440,00	7,34	20,00	21,00	119,73	108,57	0,72
4	520,00	9,63	21,00	21,30	130,99	124,79	0,75
5	380,00	8,39	21,40	19,70	109,81	101,89	0,75
6	440,00	8,01	20,60	19,50	134,81	124,05	0,77
7	300,00	9,79	21,00	19,80	87,45	83,60	0,72
8	600,00	7,34	20,50	20,00	175,61	159,24	0,80
9	480,00	9,77	20,10	22,10	117,35	112,12	0,76
10	480,00	10,39	20,60	19,50	147,07	142,33	0,73
11	600,00	9,52	20,40	21,70	149,90	142,48	0,76
12	500,00	7,53	20,00	21,20	133,50	121,56	0,69
13	490,00	9,63	19,60	21,60	128,60	122,51	0,73
14	660,00	6,71	19,80	20,00	200,00	178,86	0,83
15	500,00	8,01	21,60	20,00	138,89	127,82	0,75
<b>Moy</b>	400,00	8,37	20,59	20,51	142,66	131,82	0,76
<b>S</b>	104,50	1,31	0,63	0,99	31,81	27,02	0,05
<b>CV(%)</b>	26,13	15,63	3,08	4,85	22,29	20,50	6,04

**TABLEAU N°3.3: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

ECH	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (Mpa)	$\sigma_{F12}$ (Mpa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	420,00	12,03	19,20	19,00	145,43	145,52	0,96
2	460,00	11,96	19,30	19,00	158,45	158,33	0,93
3	460,00	11,53	19,30	19,00	158,45	156,97	0,91
4	420,00	12,50	19,30	18,80	147,77	149,25	0,96
5	480,00	11,51	19,30	19,10	163,62	162,01	0,96
6	480,00	11,96	19,10	18,90	168,85	168,71	0,95
7	520,00	11,84	19,00	18,80	185,84	185,25	0,96
8	400,00	11,73	19,30	18,60	140,73	139,97	0,94
9	500,00	11,89	19,20	18,80	176,33	176,44	0,96
10	580,00	11,91	19,30	19,40	191,64	191,29	0,94
11	550,00	11,56	19,00	18,80	196,56	194,83	0,96
12	560,00	11,00	19,00	18,50	206,68	202,55	0,97
13	590,00	10,70	19,20	18,70	210,90	205,42	0,99
14	440,00	11,54	19,20	19,00	152,35	150,95	0,91
15	480,00	12,03	19,40	19,20	161,08	161,18	0,93
<b>Moy</b>	489,33	11,71	19,21	18,92	171,01	169,91	0,95
<b>S</b>	59,82	0,44	0,13	0,22	22,56	21,38	0,02
<b>CV(%)</b>	12,22	3,74	0,67	1,15	13,19	12,59	2,29

**TABLEAU N°3.4: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

ECH	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	420,00	10,12	20,60	19,50	128,68	123,84	0,93
2	480,00	9,84	21,10	19,50	143,58	137,38	0,95
3	300,00	10,50	20,70	20,40	83,53	81,07	0,87
4	260,00	10,51	20,50	19,30	81,72	79,23	0,84
5	420,00	10,09	20,80	19,90	122,37	117,71	0,92
6	320,00	10,27	20,70	19,40	98,53	95,17	0,91
7	360,00	10,26	20,60	19,60	109,18	105,38	0,88
8	440,00	10,07	20,30	20,30	126,23	121,36	0,93
9	500,00	9,84	21,10	19,50	149,56	143,11	0,98
10	370,00	10,22	20,60	19,50	113,36	109,33	0,94
11	100,00	10,36	20,50	19,60	30,48	29,78	0,85
12	460,00	10,05	20,60	20,40	128,78	123,77	0,94
13	380,00	10,22	20,60	19,50	116,43	112,29	0,94
14	520,00	9,50	20,10	19,40	164,97	156,73	0,96
15	260,00	10,80	20,40	20,80	70,70	69,01	0,86
Moy	372,67	10,21	20,61	19,77	111,21	107,01	0,91
S	111,51	0,36	0,26	0,47	34,19	32,30	0,04
CV(%)	29,92	3,51	1,27	2,37	30,74	30,18	4,56

**TABLEAU N°3.5: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

ECH	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (cm <sup>3</sup> )
1	470,00	12,18	19,60	19,20	156,12	156,68	1,11
2	460,00	12,92	19,70	19,00	155,24	158,09	1,10
3	440,00	12,96	19,70	19,00	148,49	151,34	1,09
4	430,00	13,07	19,60	19,00	145,85	148,97	1,08
5	420,00	13,13	19,70	19,30	137,37	140,47	1,08
6	420,00	13,14	19,40	19,00	143,93	147,21	1,07
7	400,00	13,14	19,40	18,50	144,59	147,88	1,07
8	400,00	13,17	21,30	19,30	121,00	123,83	1,06
9	390,00	13,31	19,20	18,60	140,91	144,60	1,06
10	340,00	13,41	19,30	19,50	111,19	114,33	1,06
11	350,00	13,62	19,50	19,20	116,85	120,64	1,04
12	340,00	13,70	19,60	18,70	119,06	123,10	1,02
13	320,00	13,71	19,40	19,50	104,11	107,67	1,04
14	280,00	13,91	19,40	18,80	98,01	101,75	0,99
15	260,00	14,29	19,40	19,40	85,46	89,38	0,97
Moy	381,33	13,31	19,61	19,07	128,54	131,73	0,97
S	63,68	0,50	0,49	0,32	22,14	21,67	0,04
CV(%)	16,70	37,00	25,00	17,00	17,20	16,50	4,00

**TABLEAU N°3.6: Détermination de la contrainte de rupture en flexion statique à l'humidité H=12%. Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

N=15	P (KGF)	H (%)	b (mm)	h (mm)	$\sigma_{FH}$ (MPa)	$\sigma_{F12}$ (MPa)	D12% (g/cm <sup>3</sup> )
1	440,00	10,74	19,60	20,20	132,04	128,72	0,97
2	480,00	10,26	19,80	21,00	131,93	127,33	1,00
3	520,00	9,77	19,80	20,00	157,58	150,56	1,02
4	400,00	11,09	20,00	20,90	109,89	107,88	0,96
5	520,00	10,05	20,30	20,10	152,17	146,24	1,01
6	420,00	10,98	20,30	20,30	120,50	118,03	0,96
7	440,00	10,77	19,80	19,80	136,04	132,70	0,96
8	460,00	10,37	20,40	20,40	130,04	125,80	1,00
9	380,00	11,11	20,20	20,20	110,65	108,68	0,93
10	560,00	9,59	20,60	20,60	153,74	146,33	1,02
11	360,00	11,68	19,90	19,90	109,64	108,93	0,86
12	380,00	11,21	20,00	20,30	110,66	108,90	0,92
13	360,00	11,58	20,30	20,90	97,44	96,63	0,91
14	380,00	11,09	20,90	20,90	99,90	98,07	0,96
15	440,00	10,63	20,00	20,00	132,00	128,37	0,98
Moy	436,00	10,73	20,13	20,37	125,61	122,21	0,96
S	58,40	0,60	0,32	0,38	18,03	16,18	0,04
CV(%)	13,39	5,58	1,61	1,84	14,35	13,24	4,35

## ANNEXE IX

### ESSAIS MECANIQUES ESSAIS DE DURETE ET CALCULS DES DEFORMATIONS

#### I. ESSAIS DE DURETE.

TABLEAU N°3.1: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L45 (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
1	4,10	11,47	43,00	18,30x19,70	10,69	0,14	7,11	6,92	0,74
2	3,80	13,72	43,00	18,50x19,60	9,15	0,12	8,28	7,81	0,89
3	4,33	11,24	43,20	18,50x20,10	11,48	0,16	6,37	6,30	0,70
4	3,90	12,02	43,50	18,80x20,00	10,00	0,13	7,86	7,54	0,80
5	3,70	15,08	45,00	18,40x19,80	7,14	0,11	8,73	7,88	0,94
6	3,85	13,83	43,30	19,20x19,80	9,56	0,12	8,06	7,67	0,85
7	3,66	13,33	43,30	19,20x19,80	9,72	0,12	8,02	7,65	0,82
8	3,96	12,63	42,60	19,20x19,80	10,19	0,13	7,62	7,34	0,79
9	3,80	14,16	43,90	18,40x19,70	8,89	0,12	8,28	7,76	0,90
10	4,26	12,35	44,20	19,50x19,90	11,19	0,15	6,58	6,47	0,72
11	4,13	9,88	36,90	18,80x19,50	10,79	0,14	7,00	6,83	0,73
12	3,83	14,16	43,30	19,20x19,80	9,17	0,12	8,15	7,69	0,87
13	4,00	13,77	46,80	19,30x19,80	10,39	0,13	7,47	7,23	0,78
14	3,93	13,35	44,00	19,40x19,80	10,00	0,13	7,74	7,43	0,80
15	4,40	11,62	44,40	18,70x20,00	11,54	0,16	6,16	6,11	0,70
16	4,20	12,36	45,00	19,00x19,80	10,80	0,15	6,77	6,61	0,73
17	3,90	13,69	45,00	19,60x19,40	9,84	0,13	7,86	7,52	0,81
18	4,23	11,09	42,70	18,40x19,60	11,04	0,15	6,67	6,54	0,72
19	4,30	11,63	44,20	19,20x19,30	11,19	0,15	6,46	6,35	0,71
20	4,00	11,80	42,40	18,30x19,50	10,26	0,13	7,47	7,21	0,79
21	3,90	9,54	35,40	18,20x18,50	9,82	0,13	7,86	7,51	0,81
22	3,85	11,09	42,70	18,40x19,60	9,56	0,12	8,06	7,67	0,73
Moy	4,01	12,49	43,08		10,11	0,13	7,48	7,18	0,79
S	0,20	1,45	2,48		1,01	0,01	0,73	0,56	0,07
CV(%)	5,00	11,65	5,76		10,02	10,14	9,73	7,84	8,75

**TABLEAU N°3.2: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**  
**Cas de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse.**

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L45 (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
1	4,35	13,00	45,00	19,40X19,60	12,35	0,16	6,31	6,35	0,76
2	4,00	13,92	45,00	19,10X20,00	11,26	0,13	7,47	7,36	0,81
3	4,50	12,06	45,00	18,20X19,00	11,59	0,17	5,89	5,84	0,75
4	4,00	12,60	45,00	19,20X19,70	11,31	0,13	7,47	7,36	0,74
5	4,10	14,61	45,00	19,50X20,30	10,45	0,14	7,11	6,88	0,83
6	4,70	11,96	45,00	19,10X18,80	11,93	0,19	5,40	5,39	0,74
7	4,50	12,06	45,00	18,20X19,00	11,59	0,17	5,89	5,84	0,75
8	5,20	12,26	45,00	18,10X19,80	12,36	0,23	4,40	4,44	0,76
9	4,50	11,57	45,00	19,40X18,40	11,85	0,17	5,89	5,87	0,72
10	4,90	11,45	45,00	18,90X18,70	12,35	0,20	4,96	5,00	0,72
11	4,70	12,14	45,00	18,20X19,00	11,94	0,19	5,40	5,39	0,78
12	4,50	13,79	45,00	19,90X20,00	11,86	0,17	5,89	5,88	0,77
13	5,35	12,90	45,00	19,40X19,70	12,78	0,24	4,16	4,22	0,75
14	5,25	12,88	45,00	18,60X19,20	11,86	0,17	5,89	5,88	0,80
15	3,50	14,49	45,00	19,40X20,00	9,17	0,10	9,76	9,21	0,84
16	4,00	12,60	45,00	19,20X19,70	10,85	0,13	7,47	7,29	0,74
17	4,50	12,10	45,00	19,70X19,50	11,90	0,17	5,89	5,88	0,70
18	5,50	12,80	45,00	19,20X19,50	12,78	0,25	3,93	3,99	0,76
19	5,50	13,51	45,00	19,40X19,10	12,78	0,13	7,47	7,58	0,81
20	4,50	14,25	45,00	19,40X20,40	11,93	0,17	5,89	5,88	0,80
21	4,00	14,18	45,00	19,70X20,00	10,45	0,13	7,47	7,24	0,81
22	4,90	11,77	45,00	18,90X18,70	12,36	0,20	4,96	5,00	0,74
Moy	4,59	12,86	45,00		11,71	0,17	6,14	6,08	0,77
S	0,54	0,99	0,00		0,88	0,04	1,36	1,25	0,04
CV(%)	11,83	7,67	0,00		7,48	22,08	22,21	20,60	4,88

**TABLEAU N°3.3: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.**

FCH	a (mm)	M <sub>ij</sub> (g)	L (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
1	2,40	38,99	100,00	18,90X19,10	11,39	0,05	20,80	20,55	1,08
2	2,00	35,63	100,00	18,10X19,30	10,15	0,03	29,97	28,86	1,02
3	1,90	36,63	100,00	18,80X19,10	9,93	0,03	33,21	31,83	1,03
4	2,40	36,66	100,00	18,80X19,50	11,50	0,05	20,60	20,69	1,00
5	2,00	36,68	100,00	19,00X19,50	10,81	0,03	29,97	29,25	0,99
6	2,50	35,55	100,00	18,60X19,20	11,11	0,04	22,65	22,28	0,99
7	2,80	35,35	100,00	18,70X19,10	12,02	0,07	15,27	15,28	0,99
8	2,40	35,92	100,00	18,80X19,70	11,87	0,05	20,80	20,75	0,97
9	3,00	34,10	100,00	18,60X19,10	12,94	0,08	13,30	13,55	0,96
10	3,00	36,13	100,00	19,30X19,50	13,08	0,08	13,30	13,59	0,96
11	2,20	34,84	100,00	19,00X19,10	11,00	0,04	24,76	24,26	0,96
12	3,00	34,12	100,00	18,70X19,00	13,08	0,08	13,30	13,57	0,96
13	2,10	33,94	100,00	18,30X19,40	10,83	0,04	27,18	26,54	0,96
14	3,40	33,58	100,00	18,90X18,90	14,11	0,10	10,35	10,78	0,94
15	2,90	33,58	100,00	18,90X18,90	12,40	0,07	14,24	14,35	0,94
16	1,90	33,75	100,00	18,80X19,10	10,00	0,03	33,21	32,43	0,99
17	2,00	33,80	100,00	18,80X19,10	10,83	0,03	29,97	29,27	0,94
18	2,90	34,11	100,00	19,00X19,10	12,70	0,07	14,24	14,43	0,94
19	2,60	33,57	100,00	18,80X19,20	12,02	0,06	17,72	17,73	0,93
20	2,50	33,17	100,00	18,90X19,50	11,96	0,05	19,17	19,15	0,90
21	3,40	31,26	100,00	18,60X19,10	12,70	0,07	14,24	14,43	0,88
22	1,90	30,92	100,00	19,20X18,30	9,93	0,03	33,21	34,29	1,08
<b>Moy</b>	2,50	34,64	100,00		11,65	0,05	21,44	21,26	0,97
<b>S</b>	0,49	1,83			1,17	0,02	7,61	7,28	0,05
<b>CV(%)</b>	19,40	5,29			10,04	36,32	35,48	34,23	5,11

**TABLEAU N°3.4: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>a</b> (mm)	<b>M<sub>H</sub></b> (g)	<b>L</b> (mm)	<b>HXB</b> (mm)	<b>H</b> (%)	<b>t</b> (mm)	<b>N = 1/t</b>	<b>N12%</b>	<b>D(12%)</b> (g/cm <sup>3</sup> )
1	3,95	38,32	100,00	20,40X20,20	13,33	0,13	7,66	7,86	0,93
2	4,00	36,45	100,00	20,10X19,50	13,37	0,13	7,47	7,67	0,93
3	4,10	34,88	100,00	20,00X20,30	14,94	0,14	7,11	7,52	0,85
4	3,50	36,95	100,00	19,70X20,50	14,20	0,10	9,76	10,19	0,91
5	3,65	41,76	100,00	20,60X20,60	11,30	0,11	8,97	8,85	0,99
6	3,50	40,31	100,00	20,60X20,20	11,69	0,10	9,76	9,70	0,97
7	3,75	39,95	100,00	21,00X19,50	11,33	0,12	8,50	8,39	0,93
8	3,65	38,90	100,00	20,40X20,10	12,77	0,11	8,97	9,11	0,95
9	3,30	40,04	100,00	20,30X20,60	11,69	0,09	10,99	10,92	0,96
10	3,85	40,98	100,00	20,70X20,80	10,13	0,12	8,06	7,76	0,96
11	3,65	40,04	100,00	20,00X19,40	12,77	0,11	8,97	9,11	1,03
12	3,50	36,86	100,00	18,90X20,60	11,94	0,10	9,76	9,75	0,95
13	3,65	37,38	100,00	20,00X19,40	11,57	0,11	8,97	8,90	0,96
14	4,00	36,86	100,00	21,00X20,70	11,96	0,13	7,47	7,46	0,85
15	3,35	39,99	100,00	20,70X20,80	13,95	0,09	10,66	11,08	0,92
16	3,70	41,76	100,00	19,70X20,40	11,25	0,11	8,73	8,60	1,04
17	4,30	38,18	100,00	20,60X20,40	12,77	0,15	6,46	6,56	0,91
18	4,15	34,92	100,00	20,00X19,40	14,29	0,14	6,93	7,25	0,89
19	4,00	36,76	100,00	20,00X20,20	13,96	0,13	7,47	7,76	0,90
20	3,30	42,61	100,00	21,20X20,70	10,00	0,09	10,99	10,55	0,98
21	4,00	36,76	100,00	20,20X20,00	14,06	0,13	7,47	7,77	0,90
22	4,15	34,92	100,00	20,00X19,40	14,29	0,14	6,93	7,25	0,89
<b>Moy</b>	3,77	38,44	100,00		12,62	0,12	8,55	8,64	0,94
<b>S</b>	0,30	2,34	0,00		1,42	0,02	1,36	1,29	0,05
<b>CV(%)</b>	7,82	6,09	0,00		11,23	15,61	15,92	14,91	5,30

**TABLEAU N°3.5: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.**

ECH	a (mm)	M <sub>H</sub> (g)	L (mm)	HXB (mm)	H (%)	t (mm)	N = 1/t	N12%	D(12%) (g/cm <sup>3</sup> )
1	3,40	37,01	100,00	18,90X19,20	12,94	0,10	10,35	10,54	1,02
2	3,10	38,73	100,00	19,00X19,60	12,46	0,08	12,45	12,57	1,04
3	3,50	38,97	100,00	19,20X19,90	12,95	0,10	9,76	9,95	1,02
4	2,90	43,35	100,00	19,20X21,30	11,89	0,07	14,24	14,20	1,06
5	3,25	37,77	100,00	19,30X19,00	12,92	0,09	11,33	11,54	1,03
6	2,60	39,96	100,00	18,80X19,50	11,37	0,06	17,72	17,49	1,09
7	2,80	40,92	100,00	19,30X19,60	11,85	0,07	15,27	15,23	1,08
8	3,20	38,77	100,00	19,40X19,40	12,58	0,09	11,69	11,82	1,03
9	3,20	38,16	100,00	18,90X19,60	12,74	0,09	11,69	11,86	1,03
10	2,75	42,76	100,00	20,20X19,60	11,76	0,06	15,83	15,76	1,08
11	2,50	43,37	100,00	20,30X19,60	10,99	0,05	19,17	18,78	1,09
12	3,00	39,11	100,00	19,10X19,50	12,01	0,08	13,30	13,30	1,05
13	3,50	36,46	100,00	19,00X19,00	13,22	0,10	9,76	10,00	1,01
14	4,50	35,02	100,00	19,20X19,20	13,73	0,17	5,89	6,10	0,94
15	3,00	38,90	100,00	19,00X19,50	12,09	0,08	13,30	13,32	1,05
16	2,30	41,50	100,00	19,00X19,50	10,70	0,04	22,65	22,06	1,13
17	3,50	37,07	100,00	19,30X19,60	13,36	0,10	9,76	10,03	0,98
18	2,30	40,54	100,00	18,90X19,50	10,88	0,04	22,65	22,14	1,10
19	2,75	42,76	100,00	20,20X19,60	11,51	0,06	15,83	15,68	1,08
20	3,00	41,37	100,00	20,10X19,60	12,26	0,08	13,30	13,37	1,05
21	5,00	36,11	100,00	19,50X19,70	14,29	0,21	4,77	4,98	0,93
22	3,50	36,13	100,00	19,30X19,30	13,52	0,10	9,76	10,06	0,96
Moy	3,16	39,31	100,00		12,36	0,09	13,20	13,22	1,04
S	0,62	2,45	0,00		0,94	0,04	4,48	4,26	0,05
CV(%)	19,72	6,23	0,00		7,61	43,33	33,97	32,20	4,86

**TABLEAU N°3.6: Détermination de la dureté Monnin à l'humidité H=12%.**

**Cas de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse.**

<b>ECH</b>	<b>a (mm)</b>	<b>M<sub>H</sub> (g)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>HXB (mm)</b>	<b>H (%)</b>	<b>t (mm)</b>	<b>N = 1/t</b>	<b>N12%</b>	<b>D(12%) (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	4,30	38,02	100,00	20,00X19,80	13,45	0,15	6,46	6,64	0,95
2	3,50	42,13	100,00	19,40X21,50	12,46	0,10	9,76	9,85	1,01
3	3,50	38,01	100,00	19,20X19,60	12,42	0,10	9,76	9,84	1,01
4	4,00	36,50	100,00	19,20X19,60	13,12	0,13	7,47	7,63	0,97
5	4,00	40,58	100,00	20,30X20,40	12,87	0,13	7,47	7,60	0,98
6	3,50	42,20	100,00	19,70X21,00	12,25	0,10	9,76	9,81	1,02
7	3,20	44,45	100,00	20,70X19,70	10,58	0,09	11,69	11,35	1,10
8	3,50	38,59	100,00	19,40X19,50	12,21	0,10	9,76	9,80	1,02
9	3,50	40,79	100,00	19,90X19,90	12,21	0,10	9,76	9,80	1,03
10	3,75	37,82	100,00	19,40X19,40	12,64	0,12	8,50	8,61	1,00
11	3,50	39,34	100,00	19,40X19,50	11,94	0,10	9,76	9,75	1,04
12	3,25	41,33	100,00	19,50X19,80	10,86	0,09	11,33	11,07	1,08
13	3,55	38,99	100,00	20,20X19,30	12,53	0,11	9,49	9,59	1,00
14	3,40	44,09	100,00	20,20X20,40	11,32	0,10	10,35	10,21	1,07
15	3,30	41,74	100,00	19,70X19,80	11,18	0,09	10,99	10,81	1,07
16	3,50	42,42	100,00	20,20X20,00	11,90	0,10	9,76	9,74	1,05
17	4,00	41,62	100,00	20,40X20,40	12,71	0,13	7,47	7,57	1,00
18	3,50	39,68	100,00	19,00X19,70	11,82	0,10	9,76	9,73	1,06
19	3,25	44,32	100,00	20,40X20,30	10,67	0,09	11,33	11,03	1,08
20	3,50	42,82	100,00	20,30X19,90	11,44	0,10	9,76	9,65	1,06
21	3,50	40,09	100,00	19,20X19,70	11,38	0,10	9,76	9,64	1,06
22	4,50	37,52	100,00	19,70X20,70	13,61	0,17	5,89	6,08	0,91
<b>Moy</b>	<b>3,61</b>	<b>40,59</b>	<b>100,00</b>		<b>12,07</b>	<b>0,11</b>	<b>9,37</b>	<b>9,36</b>	<b>1,03</b>
<b>S</b>	<b>0,34</b>	<b>2,33</b>			<b>0,85</b>	<b>0,02</b>	<b>1,55</b>	<b>1,42</b>	<b>0,05</b>
<b>CV(%)</b>	<b>9,42</b>	<b>5,73</b>			<b>7,07</b>	<b>19,84</b>	<b>16,53</b>	<b>15,15</b>	<b>4,58</b>

**II. CALCULS DES DEFORMATIONS POUR LA DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE POISSON (bois avec collapse).**

Tableau n°3.18. Détermination des déformations dans le plan LR. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Charge	DEFORMATIONS PLAN LR ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1200	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1800	13	13	12	13	13	13	12	12	12	13	13	12,5	13	12,5	12,5

Tableau n°3.19. Détermination des déformations dans le plan LT. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN LT ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	2,5	3	3	2,5	2,5	2,5	3	2,5	3	2,5	3	3	2,5	2,5	2,5
1200	4	6	6,5	3,5	6	6	6	6,5	6	6,5	6	6,5	6,5	6	6
1800	9	10	11	11	10	10	11	10	11	10	11	11	10	10	10

Tableau n°3.20. Détermination des déformations dans le plan LR. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN LR ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2
1200	3,5	3,5	5	6	3,5	3,5	3,5	5	5	6	6	3,5	5	5	5
1800	7	7	6	9	7	7	7	8	6	9	9	7	8	8	8

Tableau n°3.21. Détermination des déformations dans le plan RL. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN RL ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1
1200	3	3,5	4	3	3	3,5	3,5	4	4	3	3	3	4	4	3,5
1800	6	6,5	7	6	6	6,5	6,5	7	7	6	6	6	7	7	6,5

Tableau n°3.22. Détermination des déformations dans le plan TL. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN TL ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1200	3	3	4,5	4,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4,5	4,5
1800	7,5	9	9	9	9	7,5	7,5	9	7,5	7,5	7,5	9	9	9	9

Tableau n°3.23. Détermination des déformations dans le plan TR. Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN TR ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	30	21	30	30	30	21	21	21	30	30	30	21	21	21	21
1200	60	34	60	60	60	34	34	34	60	60	60	34	34	34	34
1800	90	75	90	90	90	75	75	75	90	90	90	75	75	75	75

Tableau n°3.24. Détermination des déformations dans le plan LT. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse

Charge	DEFORMATIONS PLAN LT ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1200	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1800	4,5	4,5	5	5,5	5,5	5,5	5	5	5	4,5	4,5	4,5	5	5	5

Tableau n°3.25. Détermination des déformations dans le plan LR. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge	DEFORMATIONS PLAN LR ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1200	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6
1800	7	8	8	8,5	8,5	8	8	8	8	7	7	7	8,5	8,5	8,5

Tableau n°3.26. Détermination des déformations dans le plan TR. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge	DEFORMATIONS PLAN TR ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1200	15	15	15	18	18	15	14	14	18	18	15	15	15	18	18
1800	40	40	40	43	43	40	40	40	43	43	40	40	40,5	43,5	43,5

Tableau n°3.27. Détermination des déformations dans le plan TL. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge ge	DEFORMATIONS PLAN TL ( x10 <sup>-3</sup> mm )															
	kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
600	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5						5
1200	1	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1	1
1800	6,5	6	6	6	5	5	5	6,5	6,5	6,5	6	6	6	6	8,5	8,5

Tableau n°3.28. Détermination des déformations dans le plan RT. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge ge	DEFORMATIONS PLAN RT ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
	kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
600	7,5	10	12	12	12	7,5	7,5	7,5	10	10,5	10,5	10,5	12	12	12
		5							5						
1200	22	27	26	28	28	22	22	22	27	27	27	27	28	28	28,5
	5		5	5	5	5	5	5							
1800	42	42	33	33	33	42	42	42	42	42	42	42	33	32	33

Tableau n°3.29. Détermination des déformations dans le plan RT. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge ge	DEFORMATIONS PLAN RT ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
	kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
600	7,5	10	12	12	12	7,5	7,5	7,5	10	10,5	10,5	10,5	12	12	12
		5							5						
1200	22	27	28	28	28	22	22	22	27	27	27	27	28	28	28,5
	5		5	5	5	5	5	5							
1800	42	42	33	33	42	42	42	42	42	42	42	33	32	33	33

Tableau n°3.30. Détermination des déformations dans le plan RL. Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Charge ge	DEFORMATIONS PLAN RL ( x10 <sup>-3</sup> mm )														
	kgf	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
600	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1200	5	4,5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5
1800	8	7	6	6	6	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8





## ANNEXE X

### ESSAIS DE RELAXATION

#### CHARGES, CONTRAINTES ET DEFORMATIONS EN FONCTION DU TEMPS MODULES D'ELASTICITE RADIAL ET TANGENTIEL

##### 1) CHARGES EN FONCTION DU TEMPS:

Tableau n°4.1: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse (sens axial).

Echantillon1 tmax =262s		Echantillon2 tmax =209s		Echantillon3 tmax =159s		Echantillon4 tmax =192s	
F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)
6500	0	6200	0	4200	0	6100	0
6000	1	5000	2	3000	1	5000	2
5000	2	4000	5	2500	3	4000	4
4000	4	3000	8	1500	9	3500	5
3000	9	2500	11	1000	15	2000	7
2500	11	2000	14	900	19	1500	11
2000	14	1500	18	800	22	1000	17
1500	19	1000	25	700	26	900	19
1000	25	900	27	600	30	800	22
800	30	800	30	500	37	700	26
700	35	700	33	400	45	600	30
600	40	600	38	340	52	500	35
500	47	500	45	320	55	400	44
400	56	400	53	300	59	300	60
300	74	300	67	280	62	260	68
260	85	240	80	260	67	240	74
240	93	220	85	240	73	200	86
220	102	200	90	220	83	180	93
200	112	180	105	200	90	160	108
180	128	160	117	180	100	150	133
140	145	140	135	160	120	140	151
120	165	120	175	140	148	130	175
100	180	110	180	120	180	120	180



Tableau n°4.2: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax =92s		Echantillon 2 tmax =89s		Echantillon 3 tmax =83s		Echantillon 4 tmax = 89s	
F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)
1350	0	1350	0	1300	0	1260	0
1300	8	1300	5	1250	5	1100	1
1200	9	1200	5	1200	6	1000	6
1100	10	1100	7	1100	7	900	9
1000	13	1000	10	1000	10	800	12
900	18	900	14	900	14	700	17
800	22	800	18	800	16	600	24
700	31	700	22	700	20	500	31
600	33	600	31	600	31	400	42
500	49	500	39	500	39	380	45
480	53	480	55	400	52	360	47
460	63	460	59	360	59	340	52
440	66	440	64	340	64	320	55
420	69	320	72	320	69	300	59
400	75	300	77	300	77	280	65
380	83	260	87	280	83	260	72
360	90	240	96	260	95	240	80
340	96	220	103	240	105	220	92
320	105	200	114	220	115	200	100
300	119	180	129	200	128	180	111
280	137	160	161	180	144	160	139
160	168	140	180	160	176	140	173
140	180			140	180	130	180
130	180						

Tableau n°4.4: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse (sens axial).

Echantillon 1 tmax =151s		Echantillon 2 tmax =124s		Echantillon 3 tmax =168s		Echantillon 4 tmax =193s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
6800	0	5000	0	6100	0	7000	0
5000	1	4000	2	5500	1	5000	2
4000	2	3500	5	5000	2	4000	4
2500	3	3000	7	4500	3	3500	5
2000	5	2000	10	4000	4	3000	7
1000	10	1500	15	3500	5	2500	10
600	17	1000	20	3000	7	2000	13
500	19	900	24	2500	9	1500	17
400	24	800	27	2000	13	1000	24
300	30	700	30	1000	20	500	27
240	36	600	34	800	23	800	30
220	39	500	40	800	25	700	33
200	44	400	48	700	28	600	38
180	48	300	61	600	34	500	43
160	58	280	65	500	38	400	52
150	70	260	70	400	46	360	56
140	78	240	76	340	54	320	62
130	92	220	83	300	60	300	65
120	98	200	90	280	63	280	69
110	106	180	102	260	70	260	74
100	122	160	113	240	77	240	78
100	144	150	129	220	85	220	84
100	172	140	145	200	90	200	90
100	180	140	172	180	102	180	100
		140	180	170	115	160	112
				160	125	150	130
				150	135	140	139
				140	144	130	167
				140	158	120	171
				140	173	120	180
				140	180		

Tableau n°4.5: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax = 59s		Echantillon 2 tmax = 84s		Echantillon 3 tmax = 78s		Echantillon 4 tmax = 84s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
1400	0	1340	0	1620	0	1300	0
1200	10	1200	1	1500	3	1000	2
900	12	1100	4	1400	6	900	6
800	17	1000	6	1300	7	800	9
700	24	900	9	1100	9	700	16
600	32	800	14	1000	12	600	23
500	44	700	18	900	14	500	30
400	51	600	25	800	17	400	42
360	55	500	33	700	22	360	48
340	59	400	44	600	29	340	52
320	65	340	55	500	36	320	56
300	72	320	59	400	47	300	62
280	77	300	65	360	53	280	68
260	84	280	70	300	67	260	75
240	95	260	77	280	73	240	83
220	101	240	78	260	80	220	93
200	114	220	90	240	87	200	102
180	140	200	106	220	96	180	118
160	169	180	126	200	107	160	136
140	180	160	147	180	122	140	140
140	180	140	175	160	145	140	180
		140	180	140	180		

Tableau n°4.6: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus camaldulensis sans collapse (sens tangentiel).

Echantillon 1 tmax = 127s		Echantillon 2 tmax = 84s		Echantillon 3 tmax = 71s		Echantillon 4 tmax = 100s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
1360	0	1400	0	1400	0	1120	0
1100	11	1300	6	1200	11	1050	3
1000	12	1200	6	1160	13	850	6
900	14	1100	9	860	21	700	15
800	18	1000	12	600	29	600	24
700	21	900	17	500	43	500	34
600	27	800	23	360	51	400	47
500	31	700	31	370	56	380	51
400	43	600	40	340	61	360	55
340	52	500	52	300	68	340	62
320	56	400	64	280	73	320	67
300	62	340	75	260	81	300	72
260	71	300	80	240	93	280	78
220	85	280	87	220	101	260	85
200	92	260	96	200	111	240	93
180	106	240	103	180	126	220	104
160	116	220	113	160	152	200	113
140	150	200	126	140	180	180	128
140	180	180	149			160	172
		160	180			160	180
		140	180				

Tableau n°4.7: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse (sens axial).

Echantillon 1 tmax = 230s		Echantillon 2 tmax = 240s		Echantillon 3 tmax = 232s		Echantillon 4 tmax = 170s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F kgf)	t (s)
6600,00	0,00	6900,00	0,00	5860,00	0,00	5200,00	0,00
6000,00	2,00	4000,00	2,00	5000,00	1,00	4500,00	1,00
4000,00	5,00	3000,00	3,00	4000,00	2,00	4000,00	2,00
3000,00	7,00	2500,00	5,00	3000,00	4,00	3000,00	3,00
2000,00	12,00	2000,00	7,00	2500,00	6,00	2500,00	6,00
1500,00	14,00	1500,00	9,00	2000,00	9,00	2000,00	8,00
1000,00	19,00	1000,00	13,00	1500,00	13,00	1500,00	12,00
900,00	22,00	900,00	16,00	1000,00	20,00	1000,00	14,00
800,00	23,00	800,00	20,00	700,00	27,00	900,00	21,00
700,00	25,00	700,00	24,00	600,00	33,00	800,00	24,00
600,00	28,00	500,00	29,00	500,00	40,00	700,00	27,00
500,00	32,00	400,00	35,00	400,00	48,00	600,00	31,00
400,00	37,00	300,00	46,00	300,00	61,00	500,00	37,00
300,00	47,00	260,00	53,00	280,00	65,00	400,00	43,00
260,00	52,00	200,00	64,00	260,00	70,00	340,00	50,00
220,00	59,00	180,00	77,00	220,00	82,00	300,00	52,00
200,00	64,00	160,00	93,00	200,00	89,00	280,00	60,00
160,00	80,00	150,00	103,00	180,00	100,00	260,00	65,00
150,00	90,00	140,00	109,00	160,00	112,00	240,00	70,00
140,00	99,00	130,00	120,00	150,00	127,00	220,00	76,00
130,00	120,00	120,00	128,00	140,00	137,00	200,00	82,00
120,00	130,00	110,00	147,00	130,00	150,00	180,00	94,00
110,00	144,00	100,00	170,00	120,00	166,00	160,00	108,00
100,00	154,00	100,00	180,00	120,00	180,00	150,00	126,00
100,00	180,00					140,00	136,00
						130,00	150,00
						120,00	168,00
						120,00	180,00

Tableau n°4.8: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax = 55s		Echantillon 2 tmax = 60s		Echantillon 3 tmax = 46s		Echantillon 4 tmax = 58s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
1360,00	0,00	1300,00	0,00	1400,00	0,00	1400,00	0,00
1300,00	1,00	1100,00	1,00	1350,00	2,00	1300,00	1,00
1200,00	2,00	1000,00	2,00	1300,00	5,00	1200,00	3,00
1100,00	4,00	950,00	4,00	1200,00	7,00	1100,00	6,00
1000,00	6,00	900,00	7,00	1100,00	8,00	1000,00	8,00
900,00	8,00	850,00	8,00	1000,00	10,00	900,00	11,00
800,00	13,00	800,00	12,00	900,00	12,00	800,00	15,00
720,00	18,00	750,00	19,00	800,00	18,00	700,00	19,00
600,00	24,00	700,00	20,00	700,00	22,00	600,00	26,00
500,00	31,00	600,00	26,00	600,00	28,00	500,00	32,00
400,00	40,00	500,00	33,00	500,00	35,00	400,00	42,00
380,00	44,00	400,00	43,00	400,00	45,00	360,00	48,00
340,00	50,00	380,00	46,00	380,00	48,00	340,00	53,00
320,00	53,00	340,00	53,00	360,00	52,00	320,00	58,00
300,00	59,00	320,00	58,00	340,00	55,00	300,00	62,00
280,00	63,00	300,00	63,00	320,00	59,00	280,00	65,00
260,00	69,00	280,00	68,00	300,00	63,00	260,00	72,00
240,00	80,00	260,00	75,00	280,00	69,00	240,00	80,00
220,00	87,00	240,00	82,00	260,00	75,00	220,00	87,00
200,00	102,00	220,00	90,00	240,00	82,00	200,00	97,00
180,00	118,00	200,00	100,00	220,00	90,00	180,00	108,00
160,00	134,00	180,00	115,00	200,00	100,00	160,00	125,00
140,00	163,00	160,00	138,00	180,00	115,00	140,00	150,00
130,00	180,00	140,00	165,00	160,00	135,00	130,00	190,00
		130,00	180,00	140,00	172,00		
				130,00	180,00		

Tableau n°4.9: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse (sens tangentiel).

Echantillon 1 tmax = 67s		Echantillon 2 tmax = 68s		Echantillon 3 tmax = 82s		Echantillon 4 tmax = 91s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
1480,00	0,00	1440,00	0,00	1400,00	0,00	1300,00	0,00
1400,00	1,00	1400,00	1,00	1300,00	1,00	1260,00	1,00
1300,00	3,00	1300,00	2,00	1100,00	2,00	1200,00	2,00
1200,00	6,00	1200,00	5,00	1200,00	7,00	1100,00	3,00
1100,00	8,00	1100,00	7,00	1100,00	10,00	1060,00	5,00
1000,00	10,00	1000,00	9,00	1000,00	13,00	1000,00	8,00
900,00	14,00	900,00	12,00	900,00	15,00	960,00	10,00
800,00	17,00	800,00	17,00	800,00	21,00	900,00	14,00
700,00	23,00	700,00	21,00	700,00	27,00	800,00	18,00
600,00	30,00	600,00	25,00	600,00	34,00	700,00	23,00
500,00	38,00	500,00	35,00	500,00	43,00	600,00	30,00
400,00	49,00	400,00	45,00	440,00	50,00	500,00	38,00
380,00	52,00	380,00	48,00	400,00	56,00	400,00	40,00
360,00	56,00	360,00	51,00	360,00	63,00	360,00	59,00
340,00	60,00	320,00	59,00	340,00	75,00	340,00	62,00
320,00	65,00	300,00	69,00	320,00	77,00	320,00	67,00
300,00	71,00	280,00	70,00	300,00	84,00	300,00	72,00
280,00	82,00	260,00	75,00	280,00	90,00	280,00	79,00
260,00	92,00	240,00	84,00	260,00	98,00	260,00	87,00
240,00	99,00	220,00	94,00	240,00	109,00	240,00	95,00
220,00	107,00	200,00	100,00	220,00	116,00	220,00	102,00
200,00	120,00	180,00	113,00	200,00	129,00	200,00	112,00
180,00	140,00	160,00	145,00	180,00	148,00	180,00	127,00
160,00	163,00	140,00	169,00	160,00	180,00	160,00	147,00
140,00	180,00	130,00	180,00	140,00	180,00	140,00	174,00
						130,00	180,00

Tableau n°4.10: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse (sens axial).

Echantillon 1 tmax = 176s		Echantillon 2 tmax = 161s		Echantillon 3 tmax = 159s		Echantillon 4 tmax = 185s	
F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)
7300	0	6340	0	5200	0	6200	0
6000	1	5000	3	4500	1	5000	2
5000	2	4000	5	4000	2	4000	4
4000	3	3500	8	3500	3	3000	6
3500	5	3000	10	3000	4	2500	9
3000	7	2500	12	2500	7	2000	12
2500	8	2000	15	2000	10	1500	15
2000	12	1500	19	1500	14	800	22
1500	16	1000	25	1000	21	800	29
1000	22	900	27	900	24	600	35
900	25	800	30	800	27	500	40
800	28	700	33	700	30	400	47
700	31	600	38	600	35	300	59
600	37	500	43	500	41	200	82
500	42	400	51	400	49	180	91
400	51	340	58	360	54	160	105
360	56	300	64	340	57	140	127
320	63	280	67	300	63	130	149
300	66	260	73	240	75	120	173
280	70	240	78	200	90	120	180
260	76	220	84	180	98		
240	83	200	90	160	112		
220	90	180	100	150	125		
200	95	160	114	140	136		
180	107	150	127	130	148		
160	120	140	135	120	162		
150	136	130	168	120	180		
140	144	130	180				
130	174						
130	180						

Tableau n°4.11: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx sans colliapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax = 35s		Echantillon 2 tmax = 45s		Echantillon 3 tmax = 51s		Echantillon 4 tmax = 28s	
F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)
1400	0	1460	0	1460	0	1460	0
1300	3	1300	2	1500	1	1200	2
1100	5	1200	4	1400	2	1000	5
1000	7	1100	5	1300	4	800	8
800	10	1000	7	1200	5	600	15
800	13	800	9	1100	8	400	21
700	17	600	12	1000	11	360	30
600	23	700	15	900	14	360	32
600	30	600	18	800	18	340	35
400	39	600	25	700	24	320	38
360	45	400	32	600	30	300	42
340	49	360	40	500	40	280	46
320	53	340	45	400	43	260	51
300	56	320	49	380	46	240	56
280	59	300	53	360	48	220	63
260	66	260	57	340	52	200	72
240	72	260	61	320	55	180	79
220	78	240	67	300	63	170	90
200	87	220	73	280	72	160	102
180	95	200	80	240	77	150	112
170	113	180	87	220	85	140	125
160	123	170	100	200	95	130	140
150	143	160	108	180	112	130	161
140	151	150	117	160	130	130	180
140	176	140	137	150	144		
140	180	130	152	140	157		
		130	180	140	180		

Tableau n°4.12: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus cladocalyx sans collapse (sens tangentiel).

Echantillon 1 tmax = 57s		Echantillon 2 tmax =77s		Echantillon 3 tmax =64s		Echantillon4 tmax = 55s	
F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)	F (kgf)	t (sec)
1500	0	1600	0	1600	0	1400	0
1200	4	1500	1	1500	1	1300	2
1000	8	1400	2	1400	3	1200	7
800	15	1300	4	1300	5	1100	9
600	22	1200	6	1200	7	1000	11
400	31	1100	9	1100	9	900	14
340	41	1000	12	1000	11	800	18
320	46	900	14	900	14	700	21
300	49	800	19	800	18	600	28
280	53	700	24	700	22	500	35
260	58	600	31	600	29	400	45
240	65	500	39	500	31	340	54
220	70	400	50	400	47	320	58
200	79	360	58	360	52	300	61
180	90	340	62	340	57	280	67
160	109	320	65	320	60	260	73
140	137	300	70	300	64	240	79
130	162	280	75	280	69	220	86
130	180	260	83	260	75	200	95
		240	91	240	84	180	107
		220	98	220	92	170	123
		200	108	200	105	160	131
		180	121	180	120	150	145
		160	140	170	133	140	155
		150	170	160	143	140	180
		150	180	150	160		
				140	172		
				140	180		

Tableau n°4.13: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse (sens axial).

Echantillon 1 tmax = 176s		Echantillon 2 tmax =203		Echantillon 3 tmax = 160s		Echantillon 4 tmax = 181s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
6740	0	5100	0	6300	0	4900	0
6000	2	5000	1	5000	3	4500	1
5000	5	4000	3	4000	7	4000	2
4000	7	3000	5	3500	9	3500	4
3500	10	2500	7	3000	11	3000	6
3000	12	2000	9	2500	14	2500	8
2500	14	1500	12	2000	17	2000	10
2000	17	1000	16	1500	23	1500	13
1500	22	900	18	1000	31	1000	19
1000	28	800	20	900	34	900	21
900	31	700	22	800	38	800	23
800	33	600	24	700	42	700	25
700	37	500	29	600	48	600	29
600	41	400	34	500	56	500	33
500	46	300	42	400	67	400	39
400	54	200	61	360	73	300	49
300	67	180	69	320	81	200	73
280	72	160	77	300	84	180	83
260	76	140	91	260	96	160	92
240	81	130	100	240	105	150	106
220	88	120	111	200	122	140	116
200	95	110	124	190	129	130	130
180	107	100	139	170	145	120	147
160	121	90	162	150	165	110	172
150	139	80	180	150	180	110	180
120	150						
130	171						
130	180						

Tableau n°4.14: Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax = 115s		Echantillon 2 tmax = 135s		Echantillon 3 tmax = 117s		Echantillon 4 tmax = 120s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
2000	0	2360	0	2140	0	2140	0
1700	1	2000	1	2000	1	2000	1
1500	2	1800	2	1900	2	1800	3
1300	5	1700	3	1700	5	1500	5
1200	8	1400	6	1500	6	1400	6
1100	10	1100	10	1400	8	1300	7
1000	13	1000	13	1300	10	1200	9
900	15	900	16	1200	12	1100	11
800	17	800	21	1100	14	1000	14
700	22	700	24	1000	17	900	17
600	26	600	32	900	21	800	20
500	35	500	39	800	25	700	25
400	40	400	49	700	32	600	31
360	52	360	56	600	39	500	39
340	59	340	61	500	49	400	43
300	63	320	65	400	52	380	51
280	73	300	69	380	55	360	53
260	79	280	74	360	59	340	57
240	84	260	80	340	62	300	65
220	91	240	86	320	67	280	70
200	97	220	94	300	70	260	75
180	105	200	101	280	77	240	81
170	120	180	112	260	84	220	85
160	131	160	127	240	90	200	92
145	141	140	153	220	97	180	100
140	155	130	170	200	107	160	115
140	165	130	180	180	132	150	133
140	180			170	144	140	144
				160	158	130	157
				140	180	120	180

Tableau n°4.15. Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps (t) de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse (sens tangentiel).

Echantillon 1 tmax =102s		Echantillon 2 tmax =114s		Echantillon 3 tmax =75s		Echantillon 4 tmax =102s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
2000	0	2040	0	1720	0	2100	0
1800	1	1800	1	1600	1	1900	1
1600	3	1500	3	1500	2	1800	3
1500	5	1400	5	1400	3	1700	5
1400	7	1300	7	1300	5	1600	6
1300	8	1100	9	1200	7	1500	8
1200	10	1000	11	1100	9	1400	9
1100	12	900	14	1000	12	1300	11
1000	15	800	17	900	14	1200	13
900	18	700	20	800	20	1100	14
800	22	600	27	700	23	1000	16
700	26	500	33	600	30	900	21
600	34	400	40	500	38	800	24
500	40	360	47	400	49	700	29
440	47	340	49	380	52	600	37
400	52	320	54	360	56	500	45
380	55	300	58	340	60	400	56
360	59	280	65	320	64	360	63
340	63	260	72	300	70	340	67
320	67	240	77	280	74	320	71
300	73	220	84	260	77	300	77
280	78	200	92	240	84	280	81
260	85	180	106	220	93	260	87
240	91	170	120	200	120	240	95
220	108	160	127	180	112	220	102
200	127	150	140	160	127	200	112
180	138	140	150	145	140	180	122
170	147	130	173	140	154	160	144
160	160	120	180	120	165	145	163
140	174			120	180	140	178
130	180					130	180

Tableau n°4.16. Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse (sens axial).

Echantillon 1 tmax = 309s		Echantillon 2 tmax = 248s		Echantillon3 tmax = 204s		Echantillon4 tmax = 162s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F(kgf)	t (s)
6740	0	5900	0	6340	0	6640	0
6000	2	4500	3	5500	2	5000	2
5000	4	3500	5	4000	5	4500	4
4000	7	3000	8	3500	7	3000	5
3000	10	2500	12	3000	9	2000	10
2500	13	2000	20	2500	12	1500	14
2000	17	1500	23	2000	16	1000	22
1500	22	1000	25	1500	19	900	25
1000	30	900	30	1000	29	800	29
900	32	800	35	900	32	700	32
800	36	700	40	800	35	600	38
700	40	600	48	700	38	500	46
600	47	400	66	600	45	400	54
500	54	300	72	500	52	360	60
400	64	280	77	400	61	320	68
300	80	260	84	300	77	300	72
240	98	240	91	280	81	280	76
200	114	220	98	240	93	260	82
180	123	200	110	200	109	240	87
160	136	160	124	180	120	220	95
150	153	140	152	160	135	200	104
140	165	130	172	140	160	180	116
130	178	130	180	140	180	160	131
130	180					140	157
						140	180

Tableau n°4.17. Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse (sens radial).

Echantillon 1 tmax = 100s		Echantillon 2 tmax = 103s		Echantillon 3 tmax = 93s		Echantillon 4 tmax = 97s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
2500	0	2240	0	2160	0	2760	0
2300	1	2100	1	2000	2	2500	1
2000	2	2000	2	1800	5	2000	2
1900	3	1800	3	1600	7	1800	3
1700	5	1600	4	1500	8	1700	5
1600	6	1500	6	1400	10	1500	6
1400	8	1200	10	1300	11	1300	10
1200	11	1100	13	1200	13	1100	13
1100	14	1000	15	1100	15	1000	16
1000	15	900	14	1000	17	900	19
900	18	800	22	900	20	800	22
800	20	700	26	800	25	700	26
700	24	600	31	700	29	600	33
600	28	500	40	600	36	500	38
500	35	400	50	500	43	400	48
440	42	360	51	440	49	360	54
420	47	340	60	400	55	340	58
400	50	300	68	380	57	320	62
380	52	280	73	360	60	300	65
360	55	260	78	340	65	280	70
340	58	240	85	280	77	260	75
320	62	220	93	260	85	240	83
300	65	200	100	240	91	220	90
280	68	180	109	220	98	200	96
260	76	170	125	200	108	180	108
240	83	160	130	180	120	170	122
220	90	150	144	170	130	160	128
200	99	140	151	160	136	150	136
180	108	130	170	150	155	130	149
170	122	130	180	140	165	130	180
160	137			140	180		
150	148						
140	166						
140	178						
140	180						

Tableau n°4.18. Essai de relaxation de la charge (F) en fonction du temps(t) de l'Eucalyptus gomphocephala sans collapse (sens tangentiel).

Echantillon 1 tmax = 87s		Echantillon 2 tmax =90s		Echantillon 3 tmax =80s		Echantillon 4 tmax = 81s	
F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)	F (kgf)	t (s)
2120	0	2100	0	2100	0	1800	0
2100	3	2000	5	1600	4	1600	1
2000	3	1700	6	1300	8	1500	2
1700	6	1600	8	1100	10	1300	5
1500	9	1500	9	1000	14	1200	7
1400	10	1400	11	900	17	1100	3
1300	12	1300	12	800	21	1000	9
1200	14	1200	14	700	25	900	12
1100	16	1100	16	600	32	300	17
900	20	1000	18	500	40	700	21
800	23	900	23	400	51	600	28
700	27	800	28	360	57	500	35
600	37	700	34	340	61	400	46
500	41	600	40	320	65	360	52
460	46	500	51	300	72	340	55
420	50	400	57	280	66	320	60
400	53	360	60	260	82	300	64
380	55	340	68	240	89	280	69
360	58	300	73	220	99	260	75
340	62	280	77	200	105	240	83
320	67	260	84	180	118	220	90
300	70	240	91	170	128	200	98
280	75	220	95	160	135	180	111
260	82	200	99	150	147	170	120
240	87	180	110	140	158	160	127
220	96	170	122	130	180	150	144
200	103	160	130			140	154
180	111	150	148			130	174
170	123	140	156			130	180
160	130	130	171				
150	145	130	180				
140	154						
130	170						
130	180						

## ANNEXES XI

### DETERMINATION DES MODULES D'ELASTICITE RADIAL ET TANGENTIEL DES BOIS AVEC COLLAPSE

Tableau n°4.1. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\varepsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (Mpa)
1	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	23	0,38	1,88	0,89728	676,37
2	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	21	0,35	1,88	0,89728	785,45
3	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	23	0,38	1,88	0,89728	811,64
4	550,00	900,00	6,11	0,4	30	1,33E-02	25	0,42	1,88	0,89728	767,86
5	550,00	900,00	6,11	0,4	30	1,33E-02	22	0,37	1,88	0,89728	732,02
6	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	24	0,40	1,88	0,89728	687,23
7	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	22	0,37	1,88	0,89728	665,47
8	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	22	0,37	1,88	0,89728	665,47
9	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	21	0,35	1,88	0,89728	654,54
10	550,00	900,00	6,11	0,4	30	1,33E-02	21	0,35	1,88	0,89728	720,00
11	650,00	900,00	7,22	0,4	30	1,33E-02	20	0,33	1,88	0,89728	836,65
12	650,00	900,00	7,22	0,4	30	1,33E-02	17	0,28	1,88	0,89728	793,60
13	650,00	900,00	7,22	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,88	0,89728	808,00
14	650,00	900,00	7,22	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,88	0,89728	808,00
15	650,00	900,00	7,22	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,88	0,89728	808,00
MOY	573,33	900,00	6,37	0,4	30	1,33E-02	21	0,35	1,88	0,89728	748,02
S	65,10	0,00	0,72	0,00	0	2,49E-10	2,39	0,04	3,902 E-08	0	64,81
CV (%)	11,35	0,00	11,3 5	0,00	0	1,87E-06	11,3 8	11,3 8	2,075 6E-06	0	8,66

Tableau n°4.4.2. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).

Cas de l'Eucalyptus camaldulensis avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	$E_T$ (Mpa)
1	400,00	900,00	4,44	0,4	30	1,33E-02	30	0,50	1,59	0,88678	558,06
2	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	22	0,37	1,59	0,88678	625,12
3	400,00	900,00	4,44	0,4	30	1,33E-02	30	0,50	1,59	0,88678	558,06
4	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	22	0,37	1,59	0,88678	625,12
5	450,00	900,00	5,00	0,4	30	1,33E-02	28	0,47	1,59	0,88678	611,67
6	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,59	0,88678	705,89
7	700,00	900,00	7,78	0,4	30	1,33E-02	16	0,27	1,59	0,88678	797,48
8	750,00	900,00	8,33	0,4	30	1,33E-02	15	0,25	1,59	0,88678	840,43
9	750,00	900,00	8,33	0,4	30	1,33E-02	13	0,22	1,59	0,88678	812,26
10	800,00	900,00	8,89	0,4	30	1,33E-02	16	0,27	1,59	0,88678	911,41
11	500,00	900,00	5,56	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,59	0,88678	588,24
12	550,00	900,00	6,11	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,59	0,88678	647,06
13	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,59	0,88678	705,89
14	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	17	0,28	1,59	0,88678	694,74
15	600,00	900,00	6,67	0,4	30	1,33E-02	18	0,30	1,59	0,88678	705,89
MOY	580,00	900,00	6,44	0,4	30	1,33E-02	19,93	0,33	1,59	0,88678	692,49
S	126,49	0,00	1,41	5,6E-09	0	2,49E-10	5,39	0,09	2,25	0	107,04
CV (%)	21,81	0,00	21,8	1,40E-06	0	1,87E-06	27,04	27,1	1,41	0	15,46

Tableau n°4.3. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (Mpa)
1	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	12	0,20	2,21	0,90467	1043,67
2	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	1091,42
3	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	1091,42
4	900,00	900,00	10,0	0,45	30	1,50E-02	15	0,25	2,21	0,90467	991,26
5	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	1091,42
6	850,00	900,00	9,44	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,21	0,90467	1053,22
7	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,21	0,90467	991,26
8	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,21	0,90467	991,26
9	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,21	0,90467	991,26
10	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,21	0,90467	991,26
11	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	970,15
12	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	970,15
13	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	970,15
14	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	12	0,20	2,21	0,90467	927,70
15	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,21	0,90467	970,15
MOY	836,67	900,00	9,30	0,40	30	1,34E-02	14,1	0,24	2,21	0,90467	1009,05
S	48,06	0,00	0,53	0,01	0	4,30E-04	0,99	0,02	0	1,13E-08	51,93
CV (%)	5,74	0,00	5,74	3,20	0	3,20E+00	7,00	7,01	0	1,24E-06	5,15

Tableau n°4.4. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).  
Cas de l'Eucalyptus cladocalyx avec collapse.

Éch	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>T</sub> (Mpa)
1	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	21	0,35	1,986	0,903781	937,81
2	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	24	0,40	1,986	0,903781	986,54
3	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	19	0,32	1,986	0,903781	905,06
4	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	16	0,27	1,986	0,903781	855,55
5	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	19	0,32	1,986	0,903781	905,06
6	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	16	0,27	1,986	0,903781	977,77
7	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	1,986	0,903781	838,94
8	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	1,986	0,903781	838,94
9	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	1,986	0,903781	838,94
10	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	16	0,27	1,986	0,903781	855,55
11	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	1,986	0,903781	838,94
12	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	16	0,27	1,986	0,903781	855,55
13	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	1,986	0,903781	838,94
14	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	1,986	0,903781	822,27
15	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	13	0,22	1,986	0,903781	805,56
MOY	706,67	900,00	7,85	0,40	30	1,33E-02	16,6	0,28	1,986	0,903781	873,43
S	25,82	0,00	0,29	0,00	0	2,49E-10	2,92	0,05	0	0	56,03
CV (%)	3,65	0,00	3,65	0,00	0	1,87E-06	17,6	17,6	0	0	6,42

Tableau n°4.5. Détermination du module d'élasticité (sens radial).

Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	Lo (mm)	$\epsilon$	t (s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>R</sub> (Mpa)
1	1000	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,73	0,93835	1355,95
2	1000	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1321,79
3	1000	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1321,79
4	1000	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1321,79
5	1000	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1321,79
6	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1057,43
7	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,73	0,93835	1084,76
8	900,00	900,00	10,00	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,73	0,93835	1220,35
9	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1057,43
10	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	13	0,22	2,73	0,93835	1030,02
11	1100,0	900,00	12,22	0,40	30	1,33E-02	13	0,22	2,73	0,93835	1416,28
12	1000,0	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	12	0,20	2,73	0,93835	1253,18
13	1000,0	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	12	0,20	2,73	0,93835	1253,18
14	1000,0	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	14	0,23	2,73	0,93835	1321,79
15	1000,0	900,00	11,11	0,40	30	1,33E-02	13	0,22	2,73	0,93835	1287,53
MOY	946,67	900,00	10,52	0,40	30	1,33E-02	13,7	0,23	2,73	0,93835	1241,67
S	99,04	0,00	1,10	0,00	0	2,49E-10	0,96	0,02	6,37 E-06	2,25 E-06	124,15
CV (%)	10,46	0,00	10,46	0,00	0	1,87 E-06	6,99	7,00	2,33 E-06	2,4E-06	10,00

Tableau n°4.6. Détermination du module d'élasticité (sens tangentiel).  
Cas de l'Eucalyptus gomphocephala avec collapse.

Ech	F(t)	S (mm <sup>2</sup> )	$\sigma(t)$	$\Delta L$ (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	$\epsilon$	t(s)	t (min)	$\alpha$	$\beta$	E <sub>r</sub> (Mpa)
1	500,00	900,00	5,56	0,30	30	1,00E-02	37	0,62	2,59	0,93613	1345,23
2	700,00	900,00	7,78	0,35	30	1,17E-02	25	0,42	2,59	0,93613	1317,47
3	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	18	0,30	2,59	0,93613	1139,75
4	600,00	900,00	6,67	0,35	30	1,17E-02	30	0,50	2,59	0,93613	1236,29
5	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,59	0,93613	1195,34
6	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	17	0,28	2,59	0,93613	1253,33
7	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	15	0,25	2,59	0,93613	1195,34
8	800,00	900,00	8,89	0,35	30	1,17E-02	16	0,27	2,59	0,93613	1243,81
9	900,00	900,00	10,0	0,40	30	1,33E-02	17	0,28	2,59	0,93613	1253,33
10	800,00	900,00	8,89	0,40	30	1,33E-02	17	0,28	2,59	0,93613	1114,08
11	500,00	900,00	5,56	0,40	30	1,33E-02	25	0,42	2,59	0,93613	823,42
12	500,00	900,00	5,56	0,45	30	1,50E-02	26	0,43	2,59	0,93613	745,88
13	500,00	900,00	5,56	0,45	30	1,50E-02	25	0,42	2,59	0,93613	731,93
14	500,00	900,00	5,56	0,45	30	1,50E-02	24	0,40	2,59	0,93613	717,94
15	700,00	900,00	7,78	0,40	30	1,33E-02	26	0,43	2,59	0,93613	1174,76
MOY	700,00	900,00	7,78	0,39	30	1,31E-02	22,2	0,37	2,59	0,93613	1099,19
S	159,03	0,00	1,88	0,04	0	1,39E-03	6,41	0,11	0	0	224,02
CV (%)	24,15	0,00	24,2	10,6	0	1,06E+01	28,9	28,9	0	0	20,38