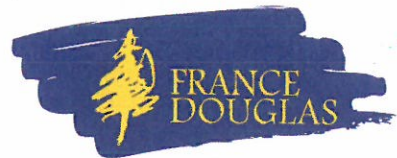




DU BOIS  
ET DE L'AMEUBLEMENT



## Rapport Final Juillet 2004

# CARACTERISATION MECANIQUE ET CLASSEMENT PAR LA RESISTANCE DU DOUGLAS EN FORTES SECTIONS UTILISÉ EN CHARPENTE TRADITIONNELLE

JD LANVIN (CTBA),  
D. REULING (CTBA),  
R. CHATELU (CTBA),  
J. GODARD (CTBA).

Convention France Douglas – CTBA 2003

Non confidentiel





## 1 Titre de l'étude :

CARACTERISATION MECANIQUE ET CLASSEMENT PAR LA RESISTANCE DU DOUGLAS EN FORTES SECTIONS UTILISÉ EN CHARPENTE TRADITIONNELLE

Thème

Classement des bois de structure, norme NF B 52-001

Convention

France DOUGLAS 2003, 1 an

Chef de projet

Jean-Denis LANVIN

## 2 Objectifs visés

Les objectifs de l'étude sont triples :

- Connaître le potentiel mécanique des bois de fortes sections en Douglas ;
- Regarder l'impact des fortes sections par rapport à la norme française de classement NF B 52-001 (décembre 1998) « Règles d'utilisation des bois dans la construction » ;
- Intégrer un tableau de classement des fortes sections en douglas (destinées à la charpente traditionnelle) à l'issue des analyses pour réviser la NF B 52-001.

## 3 Suite de l'étude

Développer des méthodes de classement mécanique adaptées aux fortes sections de DOUGLAS

## 4 Valorisation

Deux pistes de valorisation sont envisagées à ce jour :

- Une présentation des résultats est envisagée lors des 1<sup>ères</sup> assises DOUGLAS en octobre 2004
- La norme NF B 52-001 intégrera le classement des fortes sections DOUGLAS, et par équivalence, garantira les exportations des produits (révision 2004).



## Sommaire

1	Objectifs.....	5
2	Echantillonnage.....	5
3	Méthodologie expérimentale.....	6
3.1	Mesure de la largeur des cernes .....	6
3.2	Mesure des nœuds.....	7
3.3	Essai de flexion 4 points .....	8
3.3.1	La contrainte à la rupture MOR :.....	9
3.3.2	Calcul du module d'élasticité global MOEg .....	10
3.4	Caractéristiques générales du Sylvatest .....	10
3.5	Caractéristiques générales du BING .....	11
4	Classement des bois de structure par la résistance.....	13
4.1	Le classement structurel des bois par une méthode visuelle :.....	14
4.2	Le classement structurel des bois au moyen de machine :.....	14
4.3	Les performances mécaniques attendues .....	15
5	Analyses des résultats .....	16
5.1	Caractéristiques morphologiques de l'échantillonnage .....	16
5.2	Caractéristiques mécaniques de l'échantillonnage .....	17
6	Simulation et optimisation des classements.....	18
6.1	Classement optimal.....	18
6.2	Estimation du classement visuel selon la NF B 52-001 (1998).....	19
6.3	Mise au point d'un nouveau classement par méthode visuelle des fortes sections DOUGLAS.....	21
6.4	Mise au point du classement par machine des fortes sections DOUGLAS .....	23
6.4.1	Le BING.....	23
6.4.2	Le Sylvatest.....	23
7	Conclusions.....	25
8	Références.....	27
Annexe 1 : Charpente traditionnelle : Qualité et classement des bois de forte section en épicéa .....		28
Annexe 2 : Rappel des règles de classement du douglas selon la NF B 52-001 (douglas) 1998 .....		29

## 1 Objectifs

La norme NF B 52-001 de 1998 est en cours de révision du fait de l'intégration du mélèze et du classement des fortes sections en sapin et épicéa [1]

France Douglas a souhaité profiter du temps de cette révision pour tester des poutres de fortes sections en douglas au CTBA selon le protocole qui avait été utilisé lors de la campagne TRADICHA [cf. annexe 1] réalisée sur sapin/épicéa.

Les objectifs de cette étude sont triples :

- Connaître le potentiel mécanique des bois de fortes sections en Douglas ;
- Regarder l'impact des fortes sections par rapport à la norme française de classement NF B 52-001 (décembre 1998) « Règles d'utilisation des bois dans la construction » ;
- Intégrer éventuellement un tableau de classement des fortes sections en douglas (destinées à la charpente traditionnelle) à l'issue des analyses.

Les résultats obtenus seront intégrés dans le dernier projet de la future norme NF B 52-001 en 2004 après validation par France Douglas.

## 2 Echantillonnage

Pour sélectionner les bois à fortes sections, France DOUGLAS a analysé ses volumes de ventes par section et a sélectionné les fortes sections les plus représentatives du marché (Tableau 1).

Le référentiel Sawn Timber définit un bois de fortes sections si la somme de la hauteur et de la largeur est supérieure ou égale à 300mm.

Les bois proviennent de deux scieries géographiquement différentes, déterminant une sylviculture plus ou moins dynamique. En aucun cas, le rapport détaillera les résultats par scierie.

Hauteur mm	Largeur (l) mm	Longueur L (mm)	N° de lot	Surface Sections mm <sup>2</sup>	Ratio H+l ≥ 300	Nombre d'éprouvettes
150	150	3000	7	22500	300	50
225	125	4500	6	28125	350	25
250	100	5000	4	25000	350	25
275	75	5500	5	20625	300	25
225	225	4500	3	50625	450	50
300	300	6000	2	90000	600	50
350	200	7000	1	70000	550	50
<b>TOTAL</b>						275

Tableau 1 : Description des lots de fortes sections Douglas testés.

Les bois sont arrivés au CTBA en avril 2003. A réception, nous avons réalisé un classement selon la résistance par la méthode visuelle décrite par la NF B 52-001 de 1998 (cf. annexe 2) au moyen d'une personne habilitée à effectuer le classement (classeur certifié).

Les fentes, les flaches et les pentes de fil n'ont pas été prises en compte lors de ce contrôle à réception. L'expertise a été réalisée par l'estimation relative des nœuds en terme d'acceptation. Les rendements par classe mécanique sont les suivants :

Classement selon la NF B 52 001 (1998)					
Lot	REJET	ST I	ST II	ST III	Total
1	4%	14%	38%	44%	100%
2	10%	8%	58%	24%	100%
3	12%	18%	30%	40%	100%
4	8%	16%	64%	12%	100%
5	4%	12%	60%	24%	100%
6	11%	11%	52%	26%	100%
7	0%	4%	88%	8%	100%
<b>Total</b>	<b>8%</b>	<b>12%</b>	<b>52%</b>	<b>29%</b>	<b>100%</b>

Tableau 2 : Rendement du classement par la résistance selon la NF B 52-001 réalisé par une personne certifiée pour toute la population.

### 3 Méthodologie expérimentale

Toutes les poutres ont été mesurées de la façon suivante :

1. Mesures non destructives :
  - Nodosité (projection des nœuds sur la face et sur la rive au droit de la rupture)
  - Largeur de cernes (Acc), type de débit,
  - Vitesse ultrasonore avec le Sylvatest,
  - Mesure des modules d'élasticité avec le BING,
  - Masse volumique (à la réception et lors des essais).
2. Mesures destructives (essai de flexion 4 points) :
  - Contrainte à la rupture MOR,
  - Module d'élasticité global  $MOE_g$  et local  $MOE_L$ .

#### 3.1 Mesure de la largeur des cernes

La largeur des cernes est mesurée aux deux extrémités de la pièce (cf. NF EN 1310). Sur chaque extrémité, on compte le nombre de cernes sur les distances repérées sur la figure suivante. La valeur retenue est la moyenne de ces deux mesures.

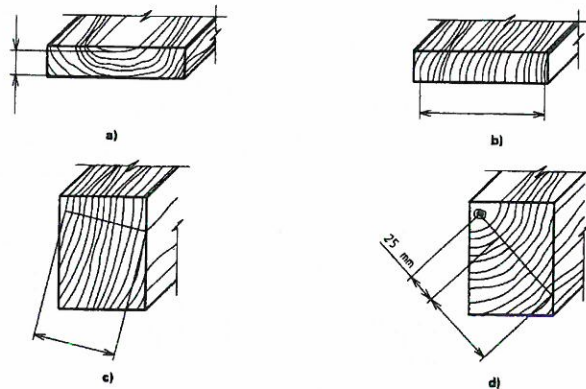


Figure 1: Principe de la mesure des largeurs de cernes (NF EN 1310).

### 3.2 Mesure des nœuds

La dimension des nœuds est toujours mesurée perpendiculairement à l'axe de la pièce. Des nœuds sont dits groupés si la distance d'entraxe entre deux ou plusieurs nœuds est inférieure à 15 cm. Dans ce cas, on additionne les dimensions de chacun des nœuds mesurés de la même façon, perpendiculairement à la pièce de bois.

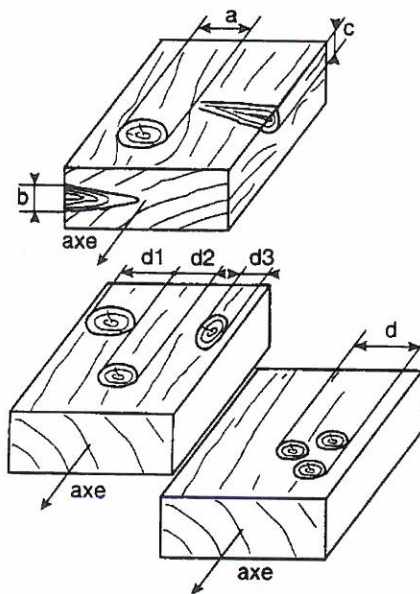


Figure 2 : Principe de mesure des nœuds (NF EN 1310).

A partir de la mesure des dimensions de nœuds, nous pouvons calculer la projection de nœuds comme étant le ratio entre la dimension du(des) nœud(s) sur la longueur du côté mesuré. On exprime ce résultat par :

- Projection de nœud sur la face (en %)
- Projection de nœud sur la rive (en %)

### 3.3 Essai de flexion 4 points

Les essais ont été réalisés selon la méthodologie de la norme NF EN 408 de mai 1995. Nous avons utilisé pour réaliser ces essais une machine de marque MTS commandée par micro ordinateur. Deux vérins de classe I (capacité de chargement de 250 000 N) ont été installés sur la partie haute de la machine.

L'éprouvette repose librement sur chant sur 2 appuis cylindriques. La distance entre axes de ces appuis est égale à 18 fois la hauteur fléchie. Un dispositif permet de mesurer la flèche totale ( $f$ ) de l'éprouvette déformée sur la fibre comprimée.

La charge ( $P$ ) est appliquée au tiers et aux deux tiers de la portée (cf. figure), également au moyen de 2 poinçons cylindriques. La flèche centrale ( $f$ ) est mesurée au milieu d'une base de mesure à 5 fois la hauteur de l'éprouvette et disposée symétriquement dans le tiers central de l'éprouvette.

Des plaques métalliques ont été insérées entre chaque appui et la pièce pour réduire les risques d'écrasement. La dimension des plaquettes parallèle à l'axe des appuis est au moins égale à la largeur de l'éprouvette.

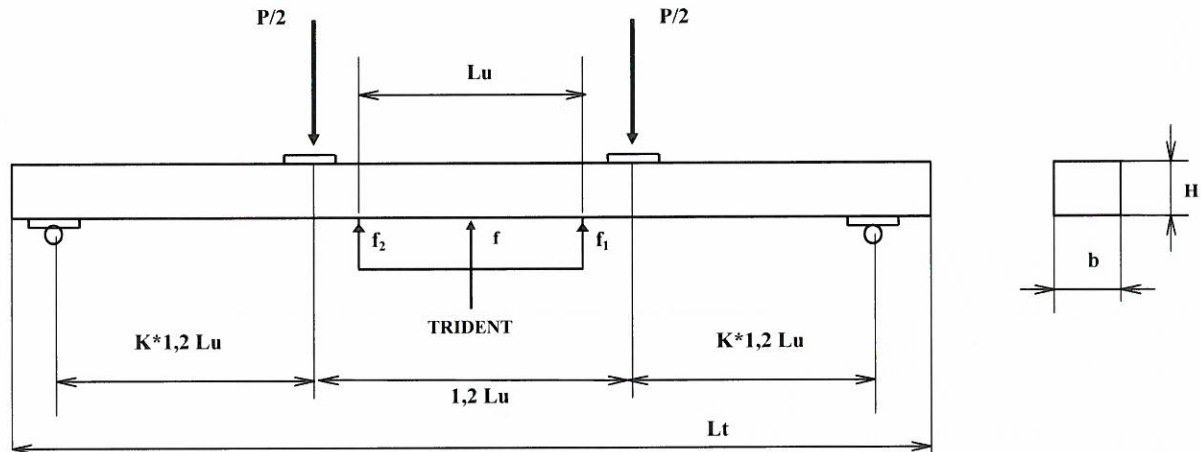


Figure 3: Schéma du dispositif expérimental du banc de flexion.

La vitesse de chargement est telle que la valeur du temps moyen à la rupture soit égale à  $300 \pm 120$  s.

Le système est équipé de trois capteurs inductifs séparés de  $0,5 Lu$  mesurant localement des déplacements latéraux (TRIDENT placé en face comprimée). Le capteur central ( $f$ ) mesure la flèche absolue de la pièce. Les deux capteurs latéraux ( $f_1$  &  $f_2$ ) ont été enlevés au delà de la phase élastique pour éviter d'être détériorés durant la rupture.

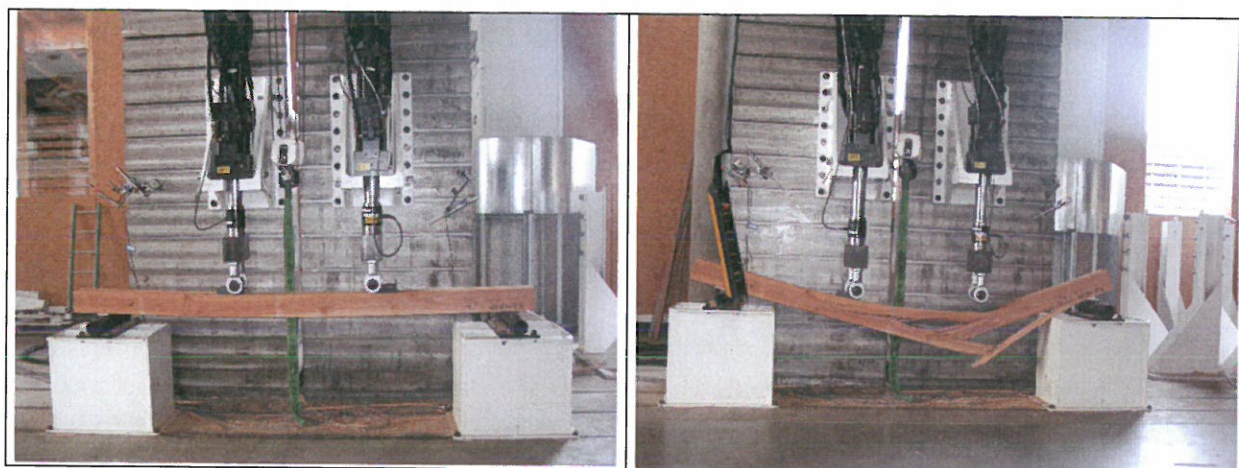


Figure 4: Poutre pendant l'essai et après essai au moyen du dispositif expérimental du CTBA.

Le Tableau 3 permet de connaître la précision de mesure des différents appareils utilisés par le banc de flexion.

Tableau 3 : Sensibilité des capteurs lors de la mesure des caractéristiques mécaniques.

	Grandeurs Mesurées	Etendue de mesure	Précision du capteur
appuis de chargement	Distance entre appuis	réglable par position	± 5 mm
Force par vérin	charge P	25000 daN	1%
capteur de déplacement inductif	Flèche central f	100 mm	1%
	Flèche central f1		
	Flèche central f2		

### 3.3.1 La contrainte à la rupture MOR :

Déduite de la théorie de la résistance des matériaux (RDM), la contrainte à la rupture MOR est calculée à partir de la relation suivante :

$$MOR = \frac{P_R \cdot D_{AE}}{l \cdot h^2}$$

avec :

$P_R$  la force maximale supportée par l'échantillon (N),

$D_{AE}$  la distance entre appuis extérieurs.

Pour chaque contrainte, l'effet d'échelle pondère les valeurs de contrainte d'une poutre d'une hauteur H à la contrainte d'une hauteur de 150 mm par la relation suivante :

$$MOR_{150} = MOR_H * \left[ \frac{H}{150} \right]^{0.2}$$

1

### 3.3.2 Calcul du module d'élasticité global MOE<sub>G</sub>

On nomme par MOE<sub>G</sub>, le module d'élasticité global calculé à partir de la flèche absolue (flèche au centre de la pièce). Cette flèche est détectée par un capteur inductif.

Le MOE<sub>G</sub> se calcule à partir de la connaissance de la flèche  $f$  de la façon suivante:

$$MOE_G = \left( \frac{\Delta P}{\Delta f} \right) * \left[ \frac{3D_{AE}^2 - 4D_{AI}^2}{48I} \right] * D_{AI}$$

avec :

$D_{AE}$  la distance entre appuis extérieurs.

La norme NF EN 384 permet à partir de la mesure du module d'élasticité global de déterminer le module local au moyen de la relation suivante :

$$MOE_L^{EN384} = 1.3 * MOE_G - 2690 \quad 2$$

### 3.4 Caractéristiques générales du Sylvatest

L'appareil utilisé est le SYLVATEST® DUO développé par SANDOZ (CBS). Cet appareil permet d'obtenir le temps de propagation d'une onde ultrasonore entre deux sondes (émettrice et réceptrice) et d'en déterminer la vitesse de propagation.

La mesure du temps de propagation de l'onde ultrasonore est effectuée suivant l'axe longitudinal des poutres :

- $t_1$  : mesuré sur la section de la poutre à  $\frac{1}{4}$  de H / à la fibre comprimée
- $t_2$  : mesuré sur le milieu de la poutre,
- $t_3$  : mesuré sur la section de la poutre à  $\frac{1}{4}$  de H / à la fibre tendue,

Pour chaque poutre, le temps de propagation ( $t_i$ ) de l'onde ultrasonore est mesuré par le Sylvatest® . La vitesse de propagation de l'onde ultrasonore  $v_i$ , correspondant à cette mesure  $i$  se déduit par la formule suivante :

$$V_i = \frac{L}{t_i}$$

avec L : distance entre les sondes émettrices et réceptrices

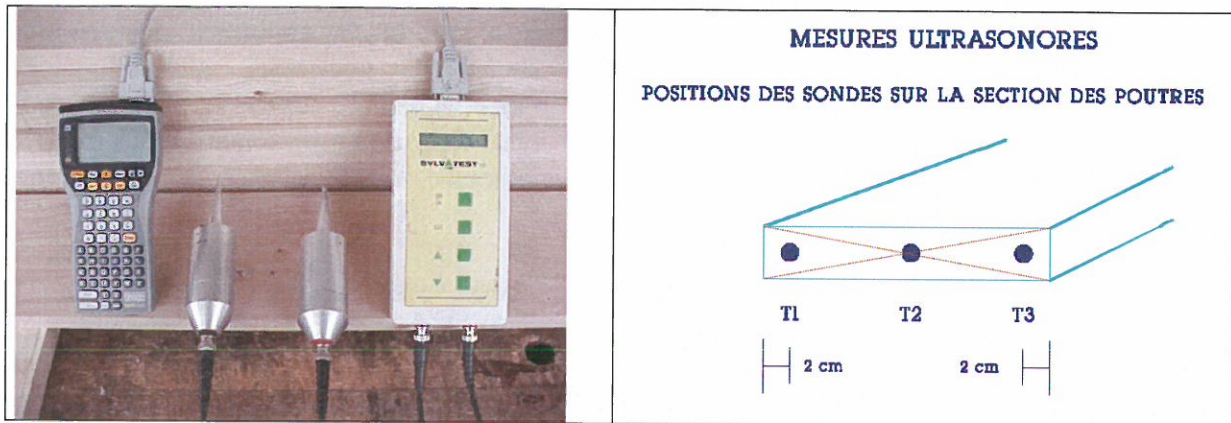


Figure 5 : Exemples des mesures directes suivant l'axe longitudinal des pièces avec le SYLVATEST®

Au moyen de la mesure de la masse volumique, il est possible de calculer un module d'élasticité (ultrasonore) par la relation suivante :

$$E_{ultrason} \approx V_{moyenne}^2 \cdot \rho$$

### 3.5 Caractéristiques générales du BING

Les essais vibratoires sont basés sur l'analyse spectrale des vibrations naturelles. Ces vibrations sont générées par une excitation impulsionnelle afin de solliciter simultanément tous les modes propres de vibration. La forme d'onde produite par un impact est un transfert transitoire d'énergie, c'est à dire un événement de très courte durée. Une des conditions nécessaires à la réalisation d'un tel essai est que la poutre repose sur des appuis souples.

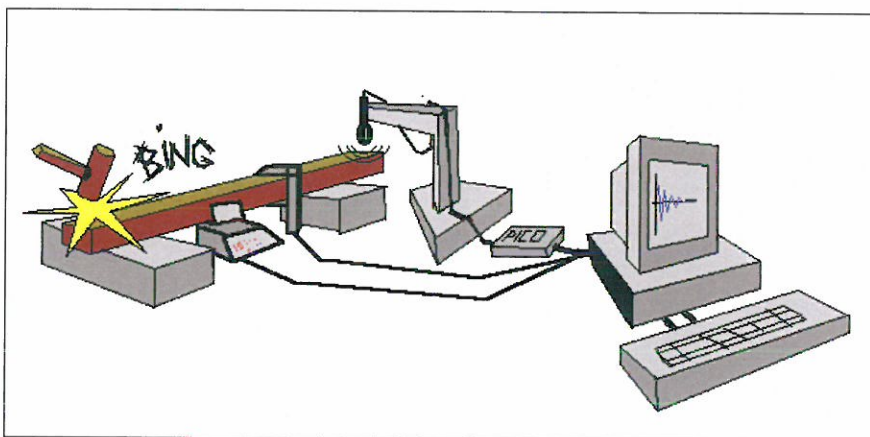


Figure 6 : Principe du BING développé par le CIRAD.

Les mesures de vibration sont réalisées de manière à solliciter les vibrations de flexion dans le sens longitudinal de la poutre posée sur deux chambres à air gonflées.

Le microphone est positionné à l'extrémité opposée à celle où est appliquée la percussion. Après l'application de l'impact, le logiciel du BING déclenche automatiquement l'enregistrement des signaux délivrés par le microphone. Il calcule ensuite la transformée de Fourier discrète des signaux, ce qui donne quasi instantanément la représentation des fréquences dans l'espace. Chaque pic, et donc sa fréquence associée, représente un mode de vibration propre de la poutre.

Le calcul de la masse volumique  $\rho$  et de l'inertie  $I$  de la section rentrant en compte dans la formulation du module d'élasticité nécessite de connaître les grandeurs dimensionnelles de la poutre telle que **la largeur, la hauteur, la longueur et le poids**. Le logiciel calcule ensuite l'inertie et la masse volumique suivant le modèle d'une poutre rectiligne uniforme à section rectangulaire :

$$I = \frac{bh^3}{12} \qquad \rho = \frac{P(\text{kg})}{V(\text{m}^3)} = \frac{P}{l \times h \times L}$$

Les valeurs mesurées en sortie correspondent au **module d'élasticité E** calculé avec la formulation de **Bernoulli** et de **Timoshenko**. On les notera respectivement  $E_B$  et  $E_T$  :

$$E_B = 4\pi^2 \rho l^2 \frac{\text{SI}^2}{I} \frac{f_k^2}{X_k} \qquad \text{et} \qquad E_T = 4\pi^2 \rho l \frac{f_k^2}{X_k \alpha} \left[ 1 + \alpha F_1(m_k) + \alpha \frac{E}{\text{KG}} F_2(m_k) \right]$$

Le modèle de Timoshenko, contrairement à celui de Bernoulli, prend en compte l'action de cisaillement. Ainsi, le calcul du module élastique par le modèle de Bernoulli nécessite de connaître uniquement la première fréquence de résonance alors que pour le modèle de Timoshenko, le logiciel se sert des deux premières fréquences propres.

## 4 Classement des bois de structure par la résistance

Le bois est un matériau composite qui présente de grandes variations de qualité selon les essences, la génétique et la station forestière (couvrant l'ensemble des facteurs écologique). Les propriétés du bois ne varient pas seulement d'arbre en arbre (variabilité inter arbre), mais aussi au sein d'un même arbre (variabilité intra arbre) selon sa section transversale et le long de l'axe de l'arbre.

Par ailleurs, les processus de transformation de bois ronds en bois équarri interfèrent avec la structure interne du bois naturel. Par exemple, les fibres de bois sont tranchées, du fait d'une pente de fil ou de distorsion autour des nœuds. Ceci entraîne des variations sensiblement plus importantes pour les propriétés mécaniques du bois équarri par rapport à celles du bois rond.

Les propriétés mécaniques d'un bois non classé d'une essence quelconque peuvent varier d'une amplitude telle que la pièce la plus résistante en flexion est parfois 10 fois supérieure à la pièce la plus faible (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Contrainte à la rupture des bois (résultats provenant de la base de données du CTBA).

Essence	Contrainte à la rupture (flexion 4 points) en Mpa			
	Minimum (à 5%)	Moyenne (à 50%)	Maximum (à 95%)	Nombre éprouvette
Sapin	6.5	44.9	92.8	1742
Epicéa	5.3	44.9	86.4	1591
Douglas	8.4	40.6	70.7	1893

Comme nous le voyons sur le Tableau 4, le bois doit être séparé en classes de différentes qualités (cette segmentation étant effectuée pièce par pièce au sein d'une population) pour que la majorité des pièces puisse être utilisée.

Le classement est supposé garantir que les propriétés du bois sont satisfaisantes pour son utilisation et en particulier que les propriétés de résistance et de rigidité sont fiables. La résistance ne peut être déterminée qu'indirectement par des paramètres qui peuvent être établis visuellement (ou par d'autres méthodes non destructives)

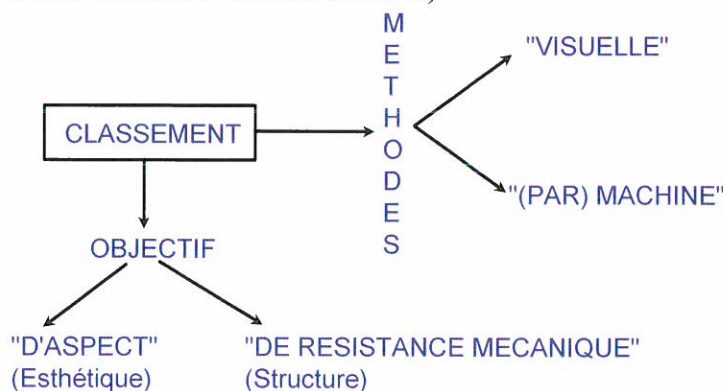


Figure 7 : Comparaison entre l'objectif et les méthodes de classement

Une grille de trois classes de résistance définies par la valeur de la contrainte caractéristique de rupture en flexion a été retenue à partir de la norme NF EN 338:

- C18 ( $MOR_{5\%} = 18$  MPa), pour des emplois en charpentes traditionnelles,
- C24 ( $MOR_{5\%} = 24$  MPa), pour des emplois en charpentes industrialisées,
- C30 ( $MOR_{5\%} = 30$  MPa), pour des pièces de forte résistance mécanique destinées à des emplois en lamellé collé (avec, pour l'instant, l'adjonction d'un critère de masse volumique pour le tri des pièces).

Le nombre après le "C" définit la classe et correspond au fractile à 5% d'exclusion inférieure de la population pour la résistance à la rupture (MOR).

#### **4.1 Le classement structurel des bois par une méthode visuelle :**

Il existe actuellement de nombreuses normes de classement visuel pour le bois utilisé en Europe. Elles diffèrent par le nombre de classes et par les limites de classes, mais aussi par la méthode selon laquelle les nœuds sont mesurés.

Les travaux réalisés à ce jour ont permis de qualifier la plupart des essences françaises qui peuvent trouver un débouché valorisant en structure. La norme NF B 52-001 (1998) "Règles d'utilisation du bois dans la construction" démontre qu'il est possible, en appliquant des critères de classement simples et fiables, d'atteindre des valeurs de résistances mécaniques conformes aux performances exigées pour une utilisation en structure.

#### **4.2 Le classement structurel des bois au moyen de machine :**

Pour améliorer la précision du classement structure avec l'objectif d'optimiser les qualités du bois disponible, des processus de classement par machine ont été développés à partir des années 60 en Australie, aux USA, au Royaume-Uni et plus tard dans d'autres pays.

La demande croissante d'un matériau bois de haute qualité a conduit à un intérêt accru pour le classement par machine et initié le développement de nouvelles machines avec une précision de prédiction plus importante.

La majorité des machines de classement en service à ce jour sont des machines de flexion. Elles déterminent un module d'élasticité moyen en flexion 3 points sur de faibles portées (900mm). Toutefois, l'épaisseur maximale du bois est d'une part limitée à 80 mm et d'autre part, la vitesse d'avance des avivés est de 150 m/min. maximum. La détermination du module d'élasticité est également possible par des méthodes autres que la flexion, telles que les vibrations et les ultrasons.

Dans les techniques optiques, les quatre faces du bois sont examinées simultanément par caméra vidéo. Les nœuds sont détectés via des nuances de gris et l'analyse de la texture environnante permet de les différencier des autres caractéristiques qui ne sont pas corrélées à la

résistance, telles que la saleté ou les tâches. La détermination des proportions en surface des nœuds s'effectue par des techniques d'analyse d'images.

Les premières mesures de densité du bois par rayonnement gamma sont apparues dans les années 1950. L'utilisation des rayons X est plus récente et permet d'augmenter considérablement la vitesse de défilement des bois (> 250 m/min).

Naturellement, plus l'efficacité d'une machine de classement est importante, plus son coût est élevé. La comparaison de différentes machines de classement avec le classement visuel doit prendre en compte le coût, la performance et la vitesse de classement.

### 4.3 Les performances mécaniques attendues

La correspondance entre les classes visuelles et les classes de résistance mécanique (définies dans la norme NF EN 338) est donnée en annexe A de la norme NF EN 1912 (1998) « Correspondance entre les catégories visuelles et les classes de résistance mécanique » que nous rappelons dans le tableau suivant.

**Tableau 5 : Correspondance entre les catégories visuelles et les classes mécaniques (NF EN 1912).**

Catégorie	Classe de résistance mécanique (NF EN 338)
ST - I	C 30
ST - II	C 24
ST - III	C 18

Nous indiquons par ailleurs les valeurs des principes caractéristiques mécaniques par classe de performance dans le tableau suivant.

**Tableau 6 : Correspondance entre les catégories visuelles et les classes mécaniques (NF EN 338).**

Classes	MOE (GPa)	MV (kg/m <sup>3</sup> )	MOR (MPa)
	Moyenne	Fractile à 5%	Fractile à 5%
C 30	12	380	30
C 24	11	350	24
C 18	9	320	18

## 5 Analyses des résultats

Nous allons détailler dans les tableaux suivants les caractéristiques de l'échantillonnage testé en fonction des performances mécaniques et morphologiques mesurées.

### 5.1 Caractéristiques morphologiques de l'échantillonnage

Contrairement aux idées reçues, les douglas de fortes sections ne contiennent pas forcément le cœur de la grume (20 % de la population testée ne contient pas le cœur). Dans certains lots, les poutres testées ont donc été débitées dans des billons de gros diamètres. Il est intéressant de noter que la gestion forestière française des douglas permet donc d'avoir ce genre de produit. Comme notre échantillonnage est issu des massifs forestiers existants, les caractéristiques mesurées seront celles que nous obtiendrons dans le futur.

Tableau 7 : Variation de la masse volumique et de la largeur de cernes par lot.

	moyenne	Lot (section en mm <sup>2</sup> )							Total
		350*200	300*300	225*225	275*75	250*100	225*125	150*150	
<b>Pas de cœur</b>	<b>Acc</b>	6.1			5.2	7.2	5.0		<b>5.7</b>
	<b>Mv</b>	524			519	485	519		<b>515</b>
<b>Présence de cœur</b>	<b>Acc</b>	6.7	5.4	5.8	6.4	6.8	5.5	5.0	<b>5.8</b>
	<b>Mv</b>	523	534	504	522	516	504	457	<b>506</b>
<b>Total Acc (mm) par lot</b>		6.6	5.4	5.8	5.7	6.8	5.3	5.2	<b>5.8</b>
<b>Total Mv (kg/m<sup>3</sup>) par lot</b>		524	531	504	520	480	511	463	<b>505</b>

La provenance des bois de douglas n'influe pas sur la masse volumique moyenne mais plutôt sur la largeur de cerne (dû à l'âge de l'arbre). Nous verrons plus tard comment cette conséquence interagit avec les caractéristiques mécaniques. Il est à noter que 10% de la population a une largeur de cernes supérieure à 8 mm

Tableau 8 : Variation de la masse volumique et de la largeur de cernes par zone de prélèvement.

Provenance	Données	valeurs
Zone géographique N°1	<b>Moyenne Acc</b>	5.3
	<b>Coef de variation</b>	29%
	<b>Moyenne Mv</b>	505
	<b>Coef de variation</b>	10%
Zone géographique N°2	<b>Moyenne Acc</b>	6.2
	<b>Coef de variation</b>	33%
	<b>Moyenne Mv</b>	504
	<b>Coef de variation</b>	9%
<b>Moyenne Acc</b>		5.8
<b>Coefficient de variation</b>		32%
<b>Total Moyenne Mv</b>		505
<b>Coefficient de variation</b>		10%

Nous pouvons voir également la variation de la projection de noeuds par lot sur le tableau suivant. On note que 5 % de la population a une projection de noeud sur la rive supérieure à 80mm.

Tableau 9 : Variation de la nodosité par lot.

Moyenne	Lot (section en mm <sup>2</sup> )							
	350*200	300*300	225*225	275*75	250*100	225*125	150*150	Total
dimension nœud sur la face (mm)	89.9	58.8	53.2	49.3	82.8	71.6	40.8	<b>61</b>
Projection face %	20%	20%	24%	20%	30%	32%	27%	<b>24%</b>
Dimension nœud sur la rive (mm)	35.8	50.4	43.6	22.8	22.1	33.9	34.0	<b>37</b>
Projection rive %	14%	17%	19%	23%	29%	27%	23%	<b>21%</b>

Ces valeurs moyennes sont du même ordre de grandeurs que les données issues de la campagne TRADICHA sur sapin & épicéa [Cf. Annexe 1].

## 5.2 Caractéristiques mécaniques de l'échantillonnage

De même pour les caractéristiques morphologiques, les valeurs des performances mécaniques (MOR & MOE) sont sensibles à la station de prélèvement comme le montre le tableau suivant.

Tableau 10 : Variation des caractéristiques mécaniques par lot et par zone géographique.

Provenance	Données		Lot (section en mm <sup>2</sup> )							
			350*200	300*300	225*225	275*75	250*100	225*125	150*150	Total
Zone géographique N°1	MOR (Mpa)	Moy.	41.6	39.1	43.6	55.5	38.5	35.4	42.5	42.1
		CV (%)	26	23	21	24	21	19	25	26
	MOE (Gpa)	Moy.	11.7	11.0	10.4	13.8	10.9	10.6	10.0	11.0
		CV (%)	22	22	16	12	19	21	16	21
Zone géographique N°2	MOR (Mpa)	Moy.	46.9	41.5	48.0	38.8	46.7	44.5	44.7	44.8
		CV (%)	22	29	24	46	28	27	24	27
	MOE (Gpa)	Moy.	12.3	11.3	11.4	8.9	12.5	11.4	10.3	11.2
		CV (%)	20	23	21	41	18	19	15	23
Total	MOR (Mpa)	Moy.	44.2	40.4	45.9	46.8	43.4	40.3	43.7	<b>43.5</b>
		CV (%)	24	26	23	37	27	27	25	27
	MOE (Gpa)	Moy.	12.0	11.1	10.9	11.2	11.9	11.0	10.2	<b>11.1</b>
		CV (%)	21	22	19	33	19	20	16	22

## 6 Simulation et optimisation des classements

Nous pouvons à travers les résultats obtenus identifier deux stratégies de classement comme le montre la figure suivante :

- Option N° 1 : diversifier l'offre de sciage en proposant 3 classes de performance,
- Option N° 2 : recentrer l'offre de sciage en ne proposant que 2 classes de performance.

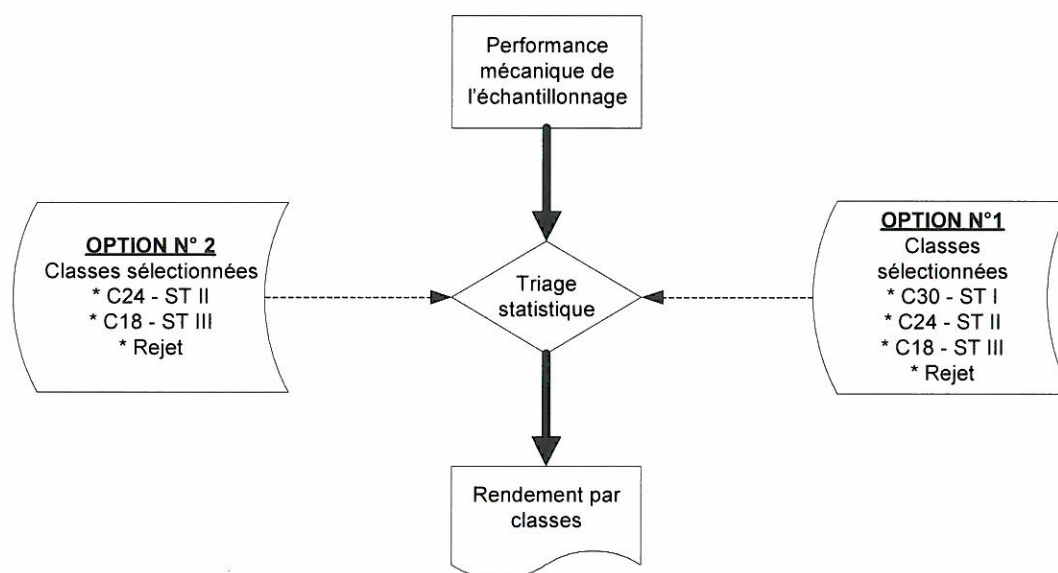


Figure 8 : Choix de la stratégie de classement.

Au vue des rendements obtenus dans les deux choix de classes sélectionnées, les industriels retiendront l'une ou l'autre des possibilités, fonction de leur marché et des contraintes réglementaires. Pour information, il ne semble pas nécessaire de positionner les classes C30 en charpente traditionnelle.

### 6.1 Classement optimal

Le classement optimal va nous permettre de connaître le potentiel mécanique théorique de la population testée dans les deux options de classes mécaniques sélectionnées. Il est à noter les rendements importants dans les hautes classes mécaniques :

**Tableau 11: rendement du classement optimal pour les classes C30, C24 et C18.**

Sélection des 3 classes C30,C24, C18					
Classes EN 338	MOR	MOE	MV	Nb	Rendements
C 30	31.3	12.1	448	178	69.5%
C 24					
C 18	26.0	9.0	429	53	20.7%
Rejet	20.0	7.3	417	25	9.8 %
total				256	100%

Il est à noter que nous ne pouvons pas obtenir des pièces en C24 car le traitement informatique effectué utilise un filtre de 10% par classe. En effet, si le rendement est inférieur à 10%, il n'est industriellement pas possible d'assurer une production ou un contrôle des planches avec ce rendement. Les planches sélectionnées ont été automatiquement ventilées en classes inférieures.

**Tableau 12: rendement du classement optimal pour les classes C24 et C18.**

Sélection des 2 classes C24, C18					
Classes EN 338	MOR	MOE	MV	Nb	Rendements
C 24	25	11.1	430	256	100%
C 18					
Rejet					
total				256	100%

L'identification de toute la population en C24 s'explique par le passage des 70% en C30 vers le C24 d'une part, et d'autre part, la prise en compte des pièces de rejet en C24 (<10%). Le nombre de pièces de meilleure qualité permet au fractile 5% de prendre en compte des pièces de qualité mécanique plus basse, d'où toute la population en C24.

## **6.2 Estimation du classement visuel selon la NF B 52-001 (1998)**

Au moyen des paramètres morphologiques mesurés précédemment (cernes, nœuds, ...), il nous est maintenant possible de trier la population testée selon les critères de la norme NF B 52-001 de 1998 (cf. annexe 2). En ce qui concerne la nodosité, nous avons pris soin de vérifier les seuils relatifs et absolus.

Les tableaux suivants permettent uniquement de vérifier si les performances mécaniques attendues sont conformes aux classes de la norme NF EN 338.

**Tableau 13: rendement du classement visuel selon la NF B 52-001 de 1998 (classes ST I, ST II, ST III) sur une mesure quantitative des noeuds.**

Sélection des 3 classes de la NF B 52-001					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	rendement
<b>ST I</b>	<b>36.3</b>	<b>12.4</b>	<b>431</b>	24	9%
<b>ST II</b>	<b>31.4</b>	<b>11.6</b>	<b>431</b>	45	18%
<b>ST III</b>	<b>24.3</b>	<b>11.6</b>	<b>435</b>	52	20%
<b>Rejet</b>	<b>23.9</b>	<b>10.5</b>	<b>433</b>	135	53%
<b>Total</b>				256	100%

**Tableau 14: rendement du classement visuel selon la NF B 52-001 de 1998 (classes ST II, ST III) sur une mesure quantitative des noeuds.**

Sélection des 2 classes de la NF B 52-001					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
<b>ST II</b>	<b>31.6</b>	<b>11.9</b>	<b>430</b>	71	28%
<b>ST III</b>	<b>24.9</b>	<b>11.5</b>	<b>429</b>	66	26%
<b>Rejet</b>	<b>22.1</b>	<b>10.4</b>	<b>436</b>	119	46%
<b>Total</b>				256	100%

Certes, les seuils de la norme NF B 52-001 (1998) permettent de trier une ressource de DOUGLAS en fortes sections mais il est à noter le fort rejet qui est économiquement préjudiciable pour l'utilisation du Douglas en construction.

Les graphes suivants permettent de comparer pour les deux choix de classements, les rendements obtenus lors de la mesure réelle de la nodosité (les performances mécaniques par classes sont respectées) et lors d'un examen visuel (estimation de la nodosité) réalisé par notre personne certifiée (cf. Tableau 2). Les seuils actuels de la norme NF B 52-001 (1998) déclassent considérablement les pièces vers le rejet.

Figure 9: Comparaison des rendements pour la sélection des classes STI, STII, STIII entre le classement théorique et visuel (homme) selon la NF B 52-001 (1998).

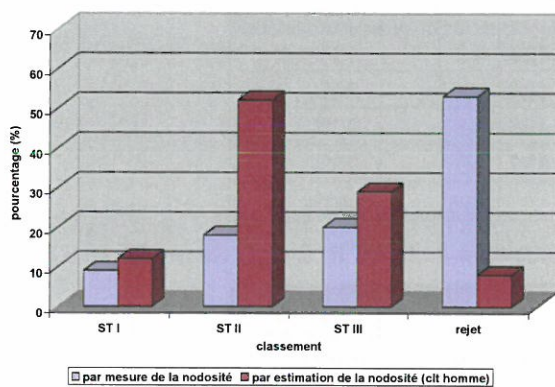
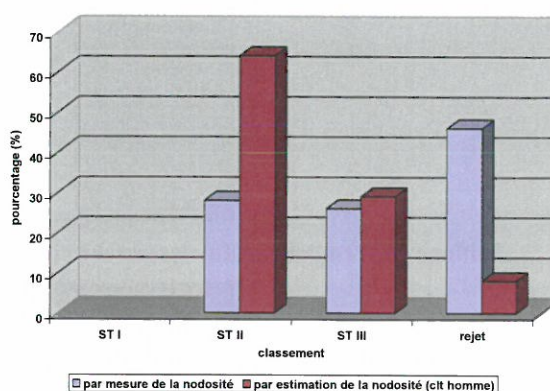


Figure 10: Comparaison des rendements pour la sélection des classes STII, STIII entre le classement théorique et visuel (homme) selon la NF B 52-001 (1998).



### 6.3 Mise au point d'un nouveau classement par méthode visuelle des fortes sections DOUGLAS

Au moyen des paramètres mécaniques mesurés précédemment (MOR, MOE, MV), il nous est possible de trier la population testée selon des nouveaux seuils de la norme NF B 52-001. Nous avons gardé la proportion relative et nous avons changé uniquement la limite absolue (qui avait été établi sur des sections de 150\*50 mm<sup>2</sup>) comme suit :

- Face
  - $\leq 40$  mm pour le ST I (au lieu de 30 mm en absolu)  
et  $\varnothing \leq 1/6$  de la face
  - $\leq 70$  mm pour le ST II (au lieu de 50 mm en absolu)  
et  $\varnothing \leq 1/2$  de la face
  - $\leq 130$  mm pour le ST III (au lieu de 100 mm en absolu)  
et  $\varnothing \leq 3/4$  de la face
- Rive
  - $\leq 80$  mm (au lieu de 40 mm en absolu)  
et  $\varnothing \leq 2/3$  de la rive

Les tableaux suivants vérifient si les seuils proposés permettent de respecter les classes NF EN 338. Les performances mécaniques obtenues de la classe ST III et le rejet sont très voisines. Il s'avère que les nœuds des pièces rejetés sont très importants. Le fait de trier la ressource sur une mesure absolue et relative des nœuds limite la présence de pièces à forte nodosité dans la classe ST III.

Tableau 15: rendement du classement visuel avec optimisation de la NF B 52-001 (classes ST I, ST II, ST III).

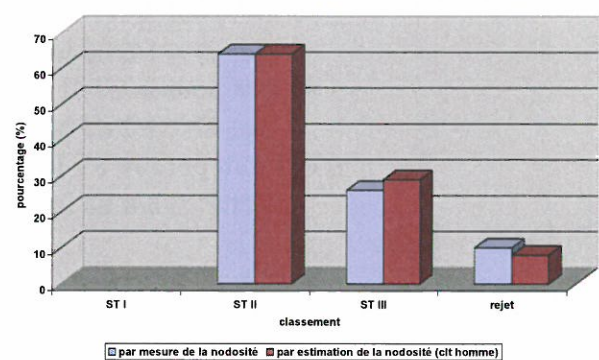
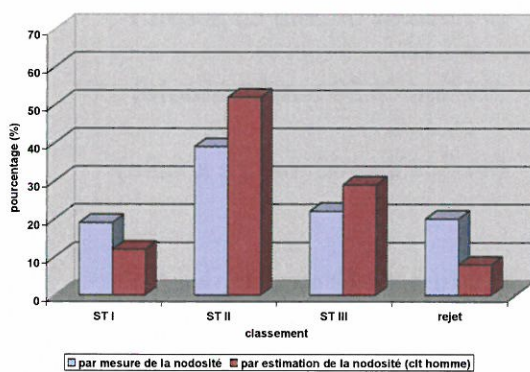
Optimisation des 3 classes NF B 52-001 (2004)					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
ST I	34.2	12.1	436	48	19%
ST II	26.0	11.3	429	100	39%
ST III	23.4	10.1	435	58	22%
Rejet	23.0	10.8	432	50	20%
Total				256	100%

Tableau 16: rendement du classement visuel avec optimisation de la NF B 52-001 (classes ST II, ST III).

Optimisation des 2 classes NF B 52-001 (2004)					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
ST II	29	11.2	428	142	57%
ST III	23	10.1	438	57	23%
Rejet	23	10.9	432	49	20%
Total				248	100%

Les deux simulations obtenues à partir des nouveaux seuils sont correctes, les performances mécaniques sont bien supérieures aux exigences des classes NF EN 338. Nous pourrions bien intégrer les nouveaux seuils lors d'une prochaine révision de la NF B 52-001.

Figure 11: Comparaison des rendements NF B 52-001 (2004) - homme pour les classes STI, STII, ST III. Figure 12: Comparaison des rendements NF B 52-001 (2004) - homme pour les classes STII, ST III.



Les rendements obtenus sont identiques à ceux mesurés par une personne certifiée lors d'un contrôle de réception (Cf. Figure 12).

## 6.4 Mise au point du classement par machine des fortes sections DOUGLAS

### 6.4.1 Le BING

Au moyen des paramètres mécaniques mesurés précédemment (MOR, MOE, MV), il nous est possible de trier la population testée selon des paramètres provenant du BING. Les tableaux suivants vérifient si les seuils proposés permettent de respecter les classes EN 338.

Tableau 17: rendement du classement par machine BING (classes C24, C18).

Optimisation des 2 classes EN 338					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
C24	26.2	11.3	438	237	96%
C18					
Rejet	18.8	6.0	398	11	4%
Total				248	100%

Tableau 18: rendement du classement par machine BING (classes C24, C18).

Optimisation des 3 classes EN 338					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
C30	35.3	12.7	456	133	54%
C24					
C18	30.9	10.3	439	49	20%
Rejet	20.6	8.3	417	66	27%
Total				248	100%

Quelque soit le paramètre de sortie du BING, 96% de la population est classé C24 (ou 54% en C30). Ce résultat est à comparer avec les 57 % en STII (ou 18% en ST I) via l'optimisation du classement par méthode visuelle.

### 6.4.2 Le Sylvatest

Au moyen des paramètres mécaniques mesurés précédemment (MOR, MOE, MV), il nous est possible de trier la population testée selon des paramètres provenant du Sylvatest (MOE<sub>US</sub> par les Vitesses maximums). Les tableaux suivants vérifient si les seuils proposés permettent de respecter les classes EN 338.

Tableau 19: rendement du classement par machine Sylvatest (classes C24, C18).

Optimisation des 2 classes EN 338					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
C24	24.8	11.1	430	246	100%
C18					
Rejet					
<b>Total</b>				246	100%

Tableau 20: rendement du classement par machine Sylvatest (classes C30, C24, C18).

Optimisation des 3 classes EN 338					
Classes	MOR	MOE	MV	Nb	Rendement
C30	32.0	13.2	458	70	28%
C24					
C18	29.7	10.9	440	75	30
Rejet	21.6	9.8	417	101	41
<b>Total</b>				246	100%

Dans cette dernière configuration, nous avons limité volontairement à 30% par classes car au delà, les pièces triées présentaient un risque de sur classement trop important.

Seul le module d'élasticité obtenu au moyen de la vitesse max nous permet de classer 100% de la population en C24 (ou 28% en C30). Ce résultat est à comparer avec les 57 % en STII (ou 18% en ST I) via l'optimisation du classement par méthode visuelle.

## 7 Conclusions

Les critères d'estimation de la performance mécanique contenue dans la norme NF B 52-001 de 1998 ont été déterminés sur des populations d'éprouvettes de section inférieure à 15000 mm<sup>2</sup>.

Qu'en est-il du classement des bois de fortes sections en DOUGLAS ?

Face à cette interrogation, France DOUGLAS a sélectionné un lot de 275 poutres en Douglas de fortes sections provenant de deux zones géographiques différentes. Les sections testées (au nombre de 7) vont de 75\*275 à 300\*300 mm<sup>2</sup>. Chaque poutre a été soumise à un test de rupture en flexion 4 points.

Une mesure de la nodosité et de la largeur de cernes a été faites avant rupture ainsi que des mesures non destructives portables de faibles investissement (BING et Sylvatest). Ces appareils font appel soit à une méthode vibratoire basée sur la récupération du signal le long d'une pièce après percussion, ou soit une propagation d'ondes.

A l'issue des essais et analyses où 100 % de la population testée pourrait être classée de façon optimale en C24, nous pouvons constater que les bois ne sont classés visuellement (avec une mesure précise de la nodosité) selon les recommandations de la norme NF B 52-001 (1998) qu'à hauteur de :

- 27 % en ST II
- 21 % en ST III
- 52 % en rejet

Le critère le plus pénalisant dans le classement visuel pour les pièces de forte section est la tolérance du nœud de rive (limité à 40 mm) car la moyenne des nœuds de rive des pièces rejetées est de 50 mm. Une 1ère simulation du classement avec une tolérance de nœud de rive à 80 mm permet d'obtenir la répartition suivante :

- 39 % en ST II
- 39 % en ST III
- 22 % rejetés

La forte proportion de rejet nous entraîne à penser qu'il faut amender la norme NF B 52-001 (1998) dans le cas des fortes sections en DOUGLAS en augmentant uniquement les seuils absolus de nodosité comme suit :

- nœud de rive = 80 mm (au lieu de 40mm)
- nœud de face ST I = 40 mm (au lieu de 30 mm)
- nœud de face ST II = 70 mm (au lieu de 50 mm)
- nœud de face ST III = 130 mm (au lieu de 100mm).



A l'issue du dénombrement à partir de ces nouveaux seuils, nous pouvons classer la population en :

- 18 % en ST I (équivalent à une classe mécanique C30)
- 39 % en ST II (équivalent à une classe mécanique C24)
- 23 % en ST III (équivalent à une classe mécanique C18)
- 20 % en rejet (non utilisable en structure).

La totalité de cet approvisionnement peut être classée théoriquement dans la classe C24 (ou 69% en C30). Le nouveau classement par méthode visuelle permet certes d'approcher les performances optimales mais l'analyse des résultats provenant des machines de classements nous permet de limiter encore plus le rejet et de valoriser au mieux les classes les plus performantes mécaniquement comme suit :

- ⇒ BING, 96 % des pièces sont classées en C24 ou 54% en C30.
- ⇒ Sylvatest, 100 % des pièces sont classées en C24 ou 28% en C30.

Dès réception et analyse du présent rapport, France DOUGLAS devra transmettre par courrier au BNBA ces nouvelles limites de nodosité de manière à réviser au plus vite la NF B 52 001.



## 8 Références

NF EN 338 (1995) - Structural Timber - Strength classes

NF EN 384 (2004) - Structural Timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density.

NF EN 408 (2004) - Structures en bois massif et bois lamellé collé.

NF EN 1310 (1997) Bois ronds et bois sciés - Méthode de mesurage des singularités .

NF B 52-001 (1998) « classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues.

[1] Révision de la NF B 52 001, Document N°97 du groupe miroir français du CEN TC 124

## Annexe 1 : Charpente traditionnelle : Qualité et classement des bois de forte section en épicéa

Aujourd'hui, les charpentes « traditionnelles » réalisées à partir de bois de forte section ne bénéficient pas des avancées technologiques acquises pour les charpentes industrialisées et lamellées collées. Afin de définir des axes de progrès pour ce type de charpente, le CTBA, en étroite collaboration avec FIBRA (*Fédération interprofessionnelle pour le développement de la filière Bois Rhône-Alpes*), a étudié le potentiel mécanique des bois de forte section issus d'épicéas et a observé leur impact par rapport à la norme française de classement NF B 52-001 (1998).

L'évaluation de la qualité et du classement des charpentes a porté essentiellement sur 450 pièces de forte section en épicéa de la région Rhône-Alpes a été conduite en deux phases.

1. Relever les caractéristiques visuelles (nœuds, cerne, ...)
2. Solliciter en flexion afin de caractériser les propriétés mécaniques.

Les caractéristiques visuelles déterminées correspondent à la ressource utilisée à l'heure actuelle pour une utilisation en charpente traditionnelle, on obtient les résultats (en Moy.) suivants :

- largeur de cernes : 3,1 mm,
- projection de nœuds sur la face : 23 %,
- projection de nœuds sur la rive : 33 %.

Les propriétés physiques et mécaniques sont les suivantes pour l'ensemble des sections :

- Contrainte rupture ( $MOR_{5\%}$ ) (MPa) 20.4
- Module d'élasticité local (MOE) (MPa) 11500
- Masse volumique ( $MV_{5\%}$ ) ( $kg/m^3$ ) 364

### Classement des fortes sections par la méthode visuelle NF B 52-001

Le classement des sciages destinés à des emplois en structure est fondé sur des critères visuels définis dans la norme NF B 52-001 et font ressortir la répartition suivante :

- 38 % en ST II (équivalent à une classe mécanique C24),
- 29 % en ST III (équivalent à une classe mécanique C18),

- 33 % rejetés (non utilisable en structure).

Après analyse des pièces, le critère qui ressort comme le plus pénalisant dans le classement visuel pour les pièces de forte section est la tolérance du nœud de rive (limité à 40 mm). Hors, la Moy. des nœuds de rive des pièces rejetées est de 45 mm avec des maximums à 81 mm. Une simulation du classement avec une tolérance de nœud de rive à 80 mm permettrait d'obtenir la répartition suivante :

- 46 % en ST II (équivalent à une classe mécanique C24),
- 38 % en ST III (équivalent à une classe mécanique C18),
- 16 % rejetés (non utilisables en structure).

### Classement des fortes sections à partir d'une machine de contrôle

La quasi totalité (91 %) de cet approvisionnement peut être classé théoriquement dans la classe C24 ou 100 % en C18.

La machine de classement utilisée (Méthode BING) est un matériel de faible investissement et fait appel à une méthode vibratoire basée sur la récupération du signal le long d'une pièce après percussion

L'emploi de cette machine permet de limiter fortement le rejet et de valoriser au mieux la classe la plus performante mécaniquement (69 % en C24).

Rapport CTBA « Charpente traditionnelle – évaluation de la qualité des bois d'œuvre » JD LANVIN, D. REULING, P. JOYET juillet 1999

## Annexe 2 : Rappel des règles de classement du douglas selon la NF B 52-001 (douglas) 1998

Classes CRITERES	ST-I <sup>(1)</sup>	ST-II	ST-III
Largeur des cernes d'accroissement (mm)			
	≤ 8	≤ 10	≤ 12
Diamètre des nœuds			
Sur la face <sup>(2)</sup>	∅ ≤ 1/6 de l et ≤ 30 mm	∅ ≤ 1/2 de l et ≤ 50 mm	∅ ≤ 3/4 de l et ≤ 100 mm
sur la rive	∅ ≤ 2/3 de l'épaisseur de la rive ∅ ≤ 40 mm		
Fentes <sup>(4)</sup>			
traversantes	longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce		longueur ≤ 600 mm
non traversantes	longueur ≤ moitié de la longueur de la pièce		non limitée
	Grosse poche de résine non admise		admise si < 80 mm
Entre- écorce			
non admise			
Pente de fil (en fraction)			
locale	1:10	1:4	
générale	1:14	1:6	
Flaches			
longueur	non admises	< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 cm	
largeur		< 1/3 de l'épaisseur de la rive	
Altérations biologiques			
bleu - traces de gui	Admis		
piqûres noires	Admises si elles apparaissent sur une seule face		
échauffure	Non admise		
Déformation maximale en mm pour une longueur de 2 m			
flèche de face (mm)	< 10	< 20	
flèche de rive (mm)	< 8	< 12	
Gauchissement	1 mm / 25 mm large	2 mm / 25 mm large	
Tuilage	pas de restrictions		

1) Pour le Douglas uniquement dans les sections inférieures à 50\*150 mm, les pièces contenant de la moelle sont exclues et donc déclassées en ST II. Cette mesure tient compte de la relative jeunesse du massif de cette essence, et pourra donc être révisée lorsque des éléments nouveaux le permettront,

2) l = largeur de la pièce, e = épaisseur de la rive,

La longueur des fentes est liée à l'humidité et par conséquent, les limites données au tableau sont seulement applicables au moment du classement.



## Caractérisation mécanique et classement par la résistance du Douglas de fortes sections utilisé en charpente traditionnelle

Aujourd'hui, les charpentes « traditionnelles » réalisées à partir de bois de forte section ne bénéficient pas des avancées technologiques acquises pour les charpentes industrialisées et lamellées collées. Afin de définir des axes de progrès pour ce type de charpente, le CTBA, en étroite collaboration avec France DOUGLAS, a étudié le potentiel mécanique des bois de forte section issus de Douglas et a observé leur impact par rapport à la norme française de classement NF B 52-001 (1998) en vue de sa future révision.

L'évaluation de la qualité et du classement structure des fortes sections en Douglas a porté sur un lot de 275 pièces de forte section couramment utilisées à l'heure actuelle en charpente traditionnelle. Cette étude a été conduite en deux phases.

- Relever les caractéristiques visuelles (nœuds, cerne, ...)
- Solliciter chaque poutre en flexion 4 points afin de déterminer les propriétés mécaniques.

Les caractéristiques visuelles (en valeurs moyennes) sont les suivantes :

- largeur de cernes (5.8 mm),
- projection de nœuds sur la face (23 %),
- projection de nœuds sur la rive (21 %).

Les propriétés mécaniques sont les suivantes pour l'ensemble des sections :

- Contrainte à la rupture (MOR5%) = 25.2 MPa
- Module moyen d'élasticité local (MOE) = 11100 MPa
- Masse volumique (MV5%) = 430 kg/m<sup>3</sup>.

### Classement des fortes sections par la méthode visuelle NF B 52-001

Le classement des sciages destinés à des emplois en structure est fondé sur des critères visuels définis dans la norme NF B 52-001 et font ressortir la répartition suivante :

- 27 % en ST II (équivalent à une classe mécanique C24),
- 21 % en ST III (équivalent à une classe mécanique C18),
- 52 % rejetés (non utilisable en structure).

Le critère le plus pénalisant dans le classement visuel pour les pièces de forte section est la tolérance du nœud de rive (limité à 40 mm) car la valeur moyenne des nœuds de rive des pièces rejetées est de 50 mm. Une 1ère simulation du classement avec une tolérance de nœud de rive à 80 mm permet d'obtenir la répartition suivante :

- 39 % en ST II
- 39 % en ST III
- 22 % rejetés

Les nœuds de face influent également sur la résistance des fortes sections, nous avons donc couplé l'analyse des pièces avec les seuils des nœuds de face comme suit.

- 40 mm au lieu de 30 mm pour le ST I
- 70 mm au lieu de 50 mm pour le ST II
- 130 mm au lieu de 100 pour le ST III.

La 2ème simulation du classement avec les tolérances de nœud de face permet d'obtenir la répartition suivante :

- 18 % en ST I
- 39 % en ST II
- 23 % en ST III
- 20 % rejetés

Avec ces nouvelles tolérances, les valeurs caractéristiques ont été respectées pour les classes visuelles.

### Classement des fortes sections à partir d'une machine de contrôle

La totalité de cet approvisionnement peut être classé théoriquement dans la classe C24 (ou 69% en C30) a contrario de 57% en ST II. L'emploi des machines (Méthode BING et Sylvatest) de faible investissement permet de limiter fortement le rejet et de valoriser au mieux la classe la plus performante mécaniquement

- ⇒ Bing (96% en C24 ou 54% en C30).
- ⇒ Sylvatest (100% en C24 ou 28% en C30)

« Caractérisation mécanique et classement par la résistance du DOUGLAS en fortes sections utilisé en charpente traditionnelle »

JD LANVIN, D. REULING, J. GODARD, R. CHATELU  
Juillet 2004