HAL
open science

Caractérisation du Chêne sessile et pédonculé de France en vue de son utilisation en structure

Jean-Denis Lanvin, Didier Reuling

To cite this version:

Jean-Denis Lanvin, Didier Reuling. Caractérisation du Chêne sessile et pédonculé de France en vue de son utilisation en structure. Revue forestière française, 2012, 64 (2), pp.151-165. 10.4267/2042/47474 . hal-03446628

HAL Id: hal-03446628

https://hal.science/hal-03446628

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation du Chêne sessile et pédonculé de France en vue de son utilisation en structure

Jean-Denis Lanvin – Didier Reuling

OBJECTIFS

La forêt feuillue française, pour importante qu'elle soit en surface, est aujourd'hui très mal valorisée :

— la récolte de bois d'œuvre feuillus diminue régulièrement depuis plus de 20 ans, alors que celle de résineux augmente. Il ne s'agit pas d'un problème de disponibilité puisque, en parallèle, la production et le volume sur pied ne cessent de progresser ;

— la baisse est également importante pour la production de sciages notamment depuis la dernière décennie (environ 30 %) en raison du recul des débouchés traditionnels (notamment le meuble massif) et de la fermeture progressive des petites scieries.

À quelques exceptions près, les scieries de feuillus sont aujourd'hui pour l'essentiel positionnées sur des marchés de spécialité ou de niche, les marchés de masse (pré débits pour le meuble, traverses,...) ayant progressivement disparu (Richter, 2011). La valeur ajoutée des produits est faible : il s'agit le plus souvent de sciages bruts (plots) ou plus élaborés et séchés (frises ou avivés).

L'objectif de l'étude sur le bois de Chêne entreprise à l'institut technologique FCBA (Forêt, Cellulose, Bois dans la construction, Ameublement) avec ses partenaires industriels de l'APECF (Association pour l'emploi du chêne français) et les régions productrices était de :

— connaître le marché d'aujourd'hui du Chêne et prévoir celui de demain ;

— établir les propriétés physico-mécaniques du bois de Chêne massif à partir d'un échantillonnage représentatif du massif ;

— évaluer les règles de tri visuel pour une utilisation structurelle au niveau européen en vue du marquage CE selon la norme harmonisée EN 14-081 partie 1.

Cet article décrit seulement la méthodologie expérimentale et les résultats obtenus pour promouvoir l'utilisation du bois de Chêne comme matériau de construction à performance mécanique reconnue.

ÉCHANTILLONNAGE ET CARACTÉRISATION DU BOIS DE CHÊNE

Les Chênes sont des essences dominantes dans les forêts européennes de plaines et de plateaux. Avec plus de cinq millions d'hectares de Chêne sessile et de Chêne pédonculé (soit 40 % de la

surface des feuillus) pour un volume sur pied évalué à plus de 890 millions de m³ (Mémento FCBA 2008-2009), la France détient la plus grande réserve d'Europe. Cette surface correspond à un tiers de la superficie forestière nationale.

L'opinion courante est que la qualité des bois de chênes varie en fonction des régions voire des terroirs. La réalisation de notre étude devait donc prendre en compte la variabilité potentielle des peuplements de chênes. Ainsi, un échantillonnage d'arbres sur pied représentatif de la ressource a-t-il été réalisé pour aboutir à des produits débités destinés aux différents tests de caractérisation. L'échantillonnage a été découpé par grandes régions à Chêne (7 au total) et permet de présenter aussi bien des résultats régionaux que nationaux. 70 placettes ont été sélectionnées pour l'étude fournissant 420 arbres (6 arbres par placette). La différenciation des essences a été réalisée lors de la visite de la placette.

Figure 1

REPRÉSENTATION ET CARACTÉRISTIQUES DES 70 PLACETTES ET DES 420 ARBRES SÉLECTIONNÉS

Tableau I **Répartition des emplacements des prélèvements dans les régions prospectées**

Régions	Nombre de placettes	Nombre d'arbres	Pourcentage
Bourgogne	14	84	20
Centre	14	84	20
Franche-Comté	10	60	14
Lorraine	12	72	18
Midi-Pyrénées	10	60	14
Normandie (Haute et Basse)	10	60	14
Total	70	420	100

Tableau IIa **Propriétés des placettes sélectionnées**

Sur les 70 placettes	Moyenne	Coefficient de variation
Hauteur moyenne (m)	19,8	36 %
Hauteur dominante (m)	24,1	30 %
Surface terrière (m^2/ha)	18	38 %

Tableau IIb **Diamètre à 1,30 m des arbres sélectionnés**

Catégories	Nombre d'arbres	Diamètre moyen à 1,30 m (cm)	Coefficient de variation
25-40 cm	124	35,7	8 %
40-50 cm	129	45,1	6 %
50-60 cm	90	54,3	5 %
60-70 cm	52	63,2	4 %
› 70 cm.	25	76,5	6 %
Total	420		

Chaque arbre sélectionné a été billonné à 3,3 m à partir de la souche puis scié en poutres de 50 x 150 x 3 000 séchées-rabotées. Les caractéristiques dendrométriques et anatomiques mesurées directement sur les arbres sont résumées dans le tableau III (ci-dessous).

Tableau III **Propriétés dendrométriques et anatomiques de l'échantillon d'arbres**

420 arbres	Moyenne	Coefficient de variation (%)
Âge (an) mesuré au pied de l'arbre	119	24
Diamètre à 1,30 m (cm)	48	26
Texture (%)	74	8
Largeur de cernes (mm) sur une rondelle prélevée à 3,3 m (moyenne des deux rayons)	2,4	27

Les arbres prélevés possèdent une largeur de cernes très faible (2,4 mm en moyenne), leurs textures sont plus fortes que celles des résineux (Sapin, Épicéa,...) conférant probablement au bois de Chêne de bonnes propriétés mécaniques.

Les 3 105 planches obtenues ont été sollicitées en flexion quatre points jusqu'à la rupture (EN 408) pour déterminer les propriétés mécaniques nécessaires à l'établissement des classes mécaniques. Au préalable, un mesurage des singularités a été réalisé selon la norme EN 1310. Le tableau IV (p. 154) illustre les relevés.

Les valeurs intrinsèques sont plutôt fortes. Rappelons que la contrainte à la rupture est l'élément primordial pour une bonne utilisation du bois de Chêne dans la construction.

Tableau IV **Comparaison des propriétés physico-mécaniques d'essences françaises**

Propriétés	Chêne pédonculé (1398 planches) Moyenne (CoV %)	Chêne sessile (1707 planches) Moyenne (CoV %)	Mélèze (Lanvin *et al.*, 2007) (1576 planches) Moyenne (CoV %)
Masse volumique à 12 % d'humidité (kg/m³)	692 (8 %)	740 (7 %)	591 (8 %)
Projection des nœuds sur la face (%)	29 (66 %)	27 (69 %)	40 (45 %)
Projection des nœuds sur la rive (%)	40 (82 %)	37 (91 %)	39 (71 %)
Knot Area Ratio KAR (%)	22 (71 %)	21 (70 %)	36 (47 %)
Largeur de cernes (mm)	2,5 (42 %)	2,3 (44 %)	1,3 (46 %)
Module d'élasticité à 12 % d'humidité MOE (GPa)	11,9 (27 %)	13,7 (27 %)	10,9 (21 %)
Contrainte à la rupture MOR (MPa)	49,0 (41 %)	54,5 (41 %)	50,0 (35 %)

CLASSEMENT DU BOIS DE CHÊNE POUR UNE UTILISATION STRUCTURELLE

À partir des propriétés mécaniques, il importe de savoir dans quelle mesure une essence peut être valorisée pour la construction (Florentin, 2004 ; Rouger *et al.*, 2010). 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 soient constantes au fil des commandes.

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 EN 338 :

— D18 (MOR5 % = 18 MPa), pour des emplois en charpentes traditionnelles,
— D24 (MOR5 % = 24 MPa), pour des emplois en charpentes industrialisées,
— D30 (MOR5 % = 30 MPa), pour des pièces de forte résistance mécanique destinées à des emplois en lamellé-collé.

Le nombre après le "D pour les feuillus" définit la classe correspondant au fractile à 5 % d'exclusion inférieure de la population pour la résistance à la rupture (MOR).

Le tableau V répertorie les 3 classes visuelles et leur correspondance en classes de résistance (EN 338), correspondance intégrée dans la norme NF B 52-001 de 2011.

Tableau V **Correspondance entre classes visuelles de résistance du bois de Chêne et classes de résistance**

Classes visuelles NF B 52-001	Classes de Résistance EN 338	Fractile 5 % MOR (MPa)	MOE moyen (GPa)	Fractile 5 % MV (kg/m³)	Correspondance
Choix 0	D40	40,0	14	420	Non publiée
Choix 1	D30	30,0	12	530	Publiée
Choix 2	D24	24,0	11	520	Publiée
Choix 3	D18	18,0	10	500	Publiée

Afin d'identifier les classes visuelles à envisager pour le bois de Chêne et leur correspondance mécanique, nous avons classé, via un classement optimal, l'ensemble des avivés à l'issue des tests destructifs de flexion à chant. Le classement optimal est directement déterminé à partir des résultats d'essais du lot de poutres cassées. Les rendements obtenus (nombre de pièces positionnées dans les classes mécaniques de la norme EN 338) ne pourront être en aucun cas dépassés par des techniques alternatives comme :

— le classement par méthode visuelle,

— le classement par machine.

Pour chaque classe mécanique (EN 338) retenue, les classements (optimal, visuel ou par machine) effectués sur une population doivent respecter simultanément :

— le fractile 5 % pour la contrainte de flexion ($MOR_{5\%}$),
— la moyenne pour le module MOE,
— le fractile 5 % pour la masse volumique.

Les tableaux VI et VII (ci-dessous) donnent le rendement des planches de bois de Chêne dans les différentes classes mécaniques retenues. Les classes mécaniques ont été choisies afin de valoriser au mieux le potentiel de ces deux essences mais aussi en fonction de ce qu'il était possible de pouvoir discriminer suivant des critères visuels.

Tableau VI **Classement optimal (combinaison D30-D24-D18) après rupture des 3105 planches de Chêne**

Classes	Fractile 5 % MOR (MPa)	MOE moyen (GPa)	Fractile 5 % MV (kg/m³)	Effectifs	Rendements (%)
D 30.	30,0	13,5	619	2716	88
D 18	18,3	10,1	608	196	6
Hors classe	8,4	6,8	597	193	6
			TOTAL	3105	100 %

Tableau VII **Classement optimal (combinaison D40-D30-D24-D18) après rupture des 3105 planches de Chêne**

Classes	Fractile 5 % MOR (MPa)	MOE moyen (GPa)	Fractile 5 % MV (kg/m³)	Effectifs	Rendements (%)
D 40.	40,0	14,8	624	2206	71
D 30.	30,1	12,0	615	348	11
D 24.	24,1	11,0	612	219	7
Hors classe	9,2	8,3	590	331	11
			TOTAL	3105	100 %

Nous constatons le fort potentiel des pièces. La classe D30 (tableau VI) ou la classe D40 (tableau VII) pourrait être encore subdivisée dans des classes de plus forts potentiels, puisque la classe D60 a été identifiée et représente encore 20 % du total des pièces.

Cependant, la correspondance entre les performances mécaniques et les critères visuels sur les planches devient trop contraignante à établir à partir de la classe D40. Il est à noter que la proportion de planches dans des catégories D24 et D18 nous a imposé d'introduire ces deux classes dans la norme EN 338.

Des essais de classement suivant des critères visuels (comme la largeur des cernes et la nodosité) compatibles avec la norme NF B 52-001 ont été effectués. Une mauvaise corrélation (R^2 = 0,26) entre les critères de nodosité et les performances mécaniques (MOR) entraîne des rendements par classes de résistance très faibles par rapport au potentiel du bois de Chêne.

Tableau VIII **Matrice de corrélation entre variables explicatives de la contrainte à la rupture des 3 105 planches de Chêne**

Nombre de variables	R^2	Largeur de cernes	Projection des nœuds sur la face	Projection des nœuds sur la rive
1	0,19		X	
1	0,16			X
2	0,25		X	X
2	0,20	X	X	
3	0,25	X	X	X

Plusieurs simulations ont été réalisées et discutées lors de réunions de restitution avec les différents partenaires. Seules deux combinaisons de classes de performance peuvent être distinguées suivant des critères visuels simples à mettre en œuvre (cf. tableau IX et tableau XI).

Tableau IX **Critères visuels principaux de tri pour la combinaison (choix 2-D24 et choix 3-D18)**

Choix	Largeur de cernes (mm)	Projection maximale des nœuds sur la face (mm)	Ratio de la projection des nœuds de la face sur la largeur de planche (%)	Projection maximale des nœuds sur la rive (mm)	Ratio de la projection des nœuds de la rive sur l'épaisseur de planche (%)
2	< 10	< 50	< 33	< 40	< 80
3	< 10	< 75	< 50	< 50	< 100

Tableau X **Rendement du classement visuel pour la combinaison (choix 2-D24 et choix 3-D18)**

Classes	Fractile 5 % MOR (MPa)	MOE moyen (GPa)	Fractile 5 % MV (kg/m³)	Effectifs	Rendements (%)
2	26,0	13,8	610	1765	57
3	18,4	12,4	623	734	24
Hors classe	13,7	10,8	620	606	20
			TOTAL	3 105	100 %

Tableau XI **Critères visuels principaux de tri pour la combinaison (choix 1-D30, choix 2-D24 et choix 3-D18)**

Choix	Largeur de cernes (mm)	Projection maximale des nœuds sur la face (mm)	Ratio de la projection des nœuds de la face sur la largeur de planche (%)	Projection maximale des nœuds sur la rive (mm)	Ratio de la projection des nœuds de la rive sur l'épaisseur de planche (%)
1	< 10	< 150	< 20	< 150	< 33
2	< 10	< 150	< 33	< 150	< 50
3	< 10	< 150	< 50	< 150	< 80

Tableau XII **Rendement du classement visuel pour la combinaison (choix 1-D30, choix 2-D24 et choix 3-D18)**

Choix	Fractile 5 % MOR (Mpa)	MOE moyen (Gpa)	Fractile 5 % MV (kg/m³)	Effectifs	Rendements (%)
1	30,8	14,2	610	816	26
2	24,4	13,8	608	655	21
3	18,9	12,5	621	870	28
Hors classe	14,9	11,2	620	764	25
			TOTAL	3 105	100

Nous présentons dans le tableau XIII (p. 158) la synthèse des seuils par type de singularité dans la combinaison (choix 1-D30 ; choix 2-D24 et choix 3-D18) retenue. L'analyse des tableaux précédents illustre bien la difficulté de classer les bois par méthode visuelle, le rendement (nombre de planches classées) des bois de chêne pour la combinaison C30-C24-C18 est de :

— classement par méthode visuelle : 26 % en Choix 1-D30 ; 21 % en Choix 2-D24 et 28 % en Choix 3-D18 ;

— classement optimal : 88 % en D30 ; 6 % en D18.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus pour les autres essences françaises (Rouger *et al.*, 2010).

INTERPRÉTATION DE LA VARIABILITÉ OBSERVÉE SUR LE MOR ET MOE

Une alternative au classement visuel dont nous venons de voir la médiocre pertinence pourrait être d'effectuer un pré-tri par grosseur de grumes et hauteur de la grume dans l'arbre et de classer les avivés par catégorie de grumes. Cette approche n'est pas nouvelle (Moreau, 2010), mais elle reste difficile à mettre en œuvre. Le classement s'en retrouverait plus riche puisque l'on arrive à distinguer 4 classes visuelles, les critères de nodosité étant beaucoup moins restrictifs et les rendements de chaque classe, meilleurs (Reuling, 2007).

À ce jour, il existe plusieurs techniques non destructives capables de déterminer la qualité des produits finaux par l'analyse des grumes par « tomographie à rayon X » développée par les sociétés Microtec (Allemagne / Italie) (Giudiceandrea *et al.*, 2011) et Rema Control (Suède).

Tableau XIII **Critères de classement visuel des avivés Chêne (ayant une épaisseur ≤ 100 mm) selon la norme NF B 52-001**

Critères	Classes visuelles (choix 1 à 3) et classes de résistance (de D30 à D18)		
	Choix 1-D30	Choix 2-D24	Choix 3-D18
	Nodosité		
Nœuds sains et adhérents sur la face.	Projection ‹ 1/5 de L (1)	Projection ‹ 1/3 de L	Projection ‹ 1/2 de L
Nœuds sains et adhérents sur la rive	Projection ‹ 30 mm et ‹ 1/3 de e (2)	Projection ‹ 30 mm et ‹ 1/2 de e	Projection ‹ 45 mm et ‹ 4/5 de e
Autres nœuds	Exclus	Projection ‹ 30 mm et ‹ 1/3 de e ou L	Projection ‹ 45 mm et ‹ 1/3 de e ou L
	Largeur de cernes		
	≤ 10 mm (NB : 3 planches dépassent cette limite)		
	Pente de fil		
Locale.	1:3		
Générale	1:5		
	Aubier		
Ne préjuge pas de la classe d'emploi définie dans la norme NF EN 350.	Aubier sain admis sur les arêtes si inférieur à la moitié de la largeur des faces et des rives		
	Déformations		
Flèche de face (mm). . . .	‹ 10		‹ 20
Flèche de rive (mm)	‹ 8		‹ 12
Gauchissement	1 mm/25 mm largeur		2 mm/25 mm largeur
Tuilage	Pas de restriction		
	Fentes		
Gélivure	Exclue		
Gerces	Permises		
Roulure sur la section. . .	Exclue	1/2 de la circonférence du cerne	
Fentes traversantes	Admissible en bout avec une longueur ‹ à la largeur de la pièce		
Fentes de face et de rive non traversantes	Exclues	‹ 1/2 de la longueur	
	Flaches		
	Moins de 10 % de la largeur de la face et de la rive sur moins de 25 % de la longueur		Moins de 10 % de la largeur de la face et de la rive sur moins de 35 % de la longueur
	Coloration et altérations		
Cœur brun.	Permis		
Pourriture	Exclue		
Queue de vache.	Tolérée		
	Attaques d'insectes		
Piqûres blanches d'aubier et autres attaques d'insectes	Exclue		
Piqûres noires de grumes	Exclues	Tolérées si ponctuelles	

(1) L = largeur de la pièce. (2) e = épaisseur de la pièce.

Cependant, le prix de ces équipements est trop élevé pour la taille de nos scieries. C'est pourquoi nous avons essayé de développer des modèles prédictifs de la qualité intrinsèque des grumes à travers l'analyse de nos résultats. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les résultats d'une étude consacrée au Pin maritime qui nous avait permis le développement d'un modèle théorique (Reuling et Castéra, 2005), étude qui a été également appliquée avec succès sur le Mélèze (Lanvin *et al.*, 2007).

Premièrement, les données (propriétés mécaniques) ont été triées sur la base de paramètres forestiers comme suit de manière à avoir un nombre suffisant de valeurs par groupe :

- Classe de diamètre mesurée à 1,30 m (DBH)
  - DBH 1 compris entre 25-40 cm, soit DBH 1 = 35 cm
  - DBH 2 compris entre 40-50 cm, soit DBH 2 = 45 cm
  - DBH 3 compris entre 50-60 cm, soit DBH 3 = 55 cm
  - DBH 4 compris entre 60-70 cm, soit DBH 4 = 65 cm
  - DBH 5 supérieur à 70 cm, soit DBH 5 = 75 cm
- Position de la planche le long de l'arbre par palier de 3,3 m
  - Hauteur 1 = 3,3 m
  - Hauteur 2 = 6,6 m
  - Hauteur 3 = 9,9 m
  - Hauteur 4 = 13,2 m

• La structure du peuplement et l'espèce de Chêne ressortent comme influençant les propriétés mécaniques du bois. Ainsi, à structure de peuplement fixée :

– l'écart moyen sur le module d'élasticité du bois entre les deux espèces de Chêne est de l'ordre de +/– 10 % (en faveur du Chêne sessile) ;

– la structure « futaies régulières » apparaît plus favorable aux propriétés mécaniques du bois par rapport à la structure « taillis-sous-futaie » à + 10 %.

Tableau XIV **Caractéristiques mécaniques moyennes des planches par essence et structure de peuplement**

Essence	Structure de peuplement	MOR (MPa)	MOE (GPa)	MV12 (kg/m³)	Âge (années)
Chêne pédonculé	Futaies régulières	52,3	12,5	706	122
Chêne sessile		55,1	13,6	738	139
Chêne pédonculé	Taillis-sous-futaie	47,9	11,7	688	132
Chêne sessile		54,1	13,8	744	120

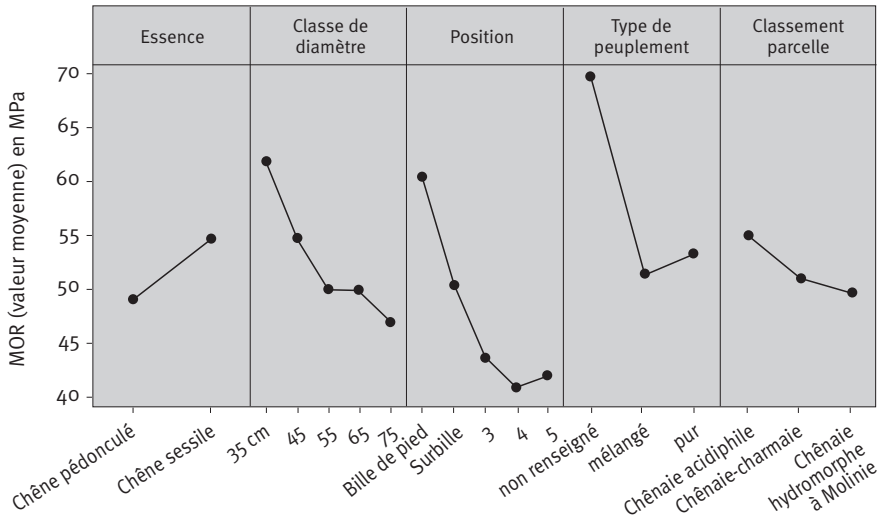
• La typologie de station utilisée a permis de stratifier l'échantillonnage en trois grands groupes (chênaie acidiphile, chênaie-charmaie et chênaie hydromorphe). Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, un écart significatif existe entre la chênaie acidiphile ou chênaie-charmaie et la chênaie hydromorphe de l'ordre de 10 %. La chênaie acidiphile et la chênaie-charmaie sont les stations les plus favorables et la chênaie hydromorphe reste la moins favorable. Cette différence peut être imputée à l'essence puisque l'on ne rencontre que du Chêne pédonculé en chênaie hydromorphe.

Tableau XV **Caractéristiques mécaniques moyennes des planches par type de station et par diamètre à 1,30 m des arbres**

Typologie stationnelle	Classe diamètre à 1,30 m moyen	MOR (Mpa)	MOE (Gpa)	MV12 (kg/m³)	Âge (années)
Chênaie acidiphile (892 planches).	35-40	56,6	13,9	725	113
	45-50	52,7	12,4	734	137
	55 et plus	54,2	13,4	739	157
Chênaie-charmaie (1956 planches).	25-30	62,4	15,1	744	95
	35-40	50,9	13,0	721	127
	45-50	52,0	12,5	704	126
	55 et plus	48,4	12,3	714	132
Chênaie hydromorphe (257 planches).	35-40	49,1	12,6	723	102
	45-50	47,3	13,4	712	142
	55 et plus	51,3	12,1	725	141

L'impact des quatre paramètres influençant la moyenne de la contrainte à la rupture (MOR) est représenté sur le graphe suivant. Le diamètre de l'arbre à 1,30 m et la hauteur de l'arbre sont les deux variables les plus explicatives.

Figure 2 **EFFETS PRINCIPAUX SUR LA VALEUR MOYENNE DE LA CONTRAINTE À LA RUPTURE**

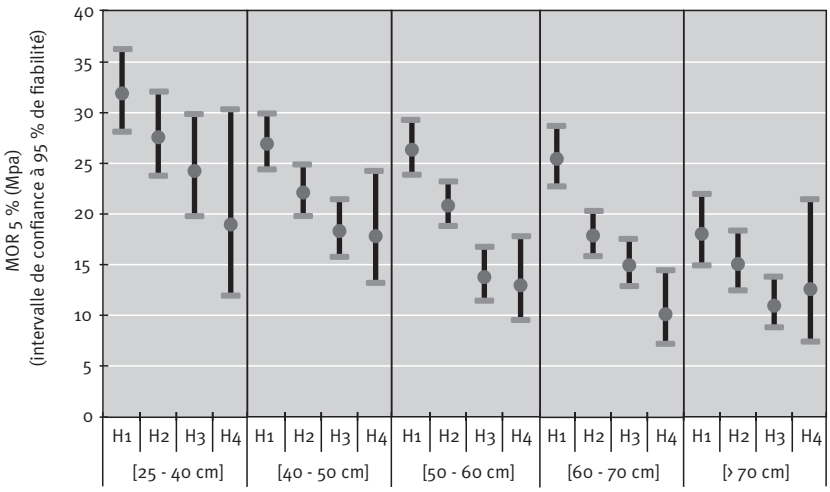


Les propriétés mécaniques (MOR et MOE) moyennes ont été calculées pour les classes préalablement identifiées combinant le diamètre de l'arbre à 1,30 m et la hauteur de l'arbre. On peut constater que les performances chutent en fonction des classes de diamètre et des hauteurs de prélèvement. Pour certaines catégories de diamètre à 1,30 m, il serait intéressant d'augmenter l'effectif des tests pour obtenir un intervalle de confiance plus resserré.

Tableau XVI **Variation de la contrainte à la rupture (valeur moyenne et valeur à 5 %) en fonction de la classe de diamètre de l'arbre à 1,30 m et de la hauteur de l'arbre**

Hauteur dans arbre	Classe de diamètre des 420 arbres					
	Étendue	[25-40 cm]	[40-50 cm]	[50-60 cm]	[60-70 cm]	[› 70 cm]
	Moyenne	35 cm	45 cm	55 cm	65 cm	75 cm
H1 0-3,3 m	MOR Moyen (MPa)	68,9	61,9	58,8	58,8	50,9
	COV	33 %	35 %	34 %	34 %	44 %
	Nombre de planches . . .	172	322	303	266	118
	MOR 5 % (MPa)	32,8	26,5	28,0	25,1	19,4
H2 3,3-6,6 m	MOR Moyen (MPa)	58,2	51,9	48,6	48,2	48,0
	COV	31 %	36 %	38 %	42 %	51 %
	Nombre de planches . . .	118	260	281	265	134
	MOR 5 % (MPa)	26,6	23,4	22,2	18,6	17,7
H3 6,6-9,9 m	MOR Moyen (MPa)	53,2	46,3	38,3	43,0	41,7
	COV	35 %	40 %	42 %	47 %	55 %
	Nombre de planches . . .	58	156	129	171	139
	MOR 5 % (MPa)	28,6	18,4	14,1	16,5	12,0
H4 9,9-13,2 m	MOR Moyen (MPa)	Non Significatif (13 valeurs)	48,3	37,9	29,9	47,8
	COV		42 %	45 %	46 %	45 %
	Nombre de planches . . .		47	50	42	38
	MOR 5 % (MPa)		20,9	15,4	11,0	14,0

Figure 3 REPRÉSENTATION DU FRACTILE 5 % DE LA CONTRAINTE À LA RUPTURE (MOR) par classe de diamètre à 1,30 m et par hauteur de prélèvement des planches le long de l'arbre

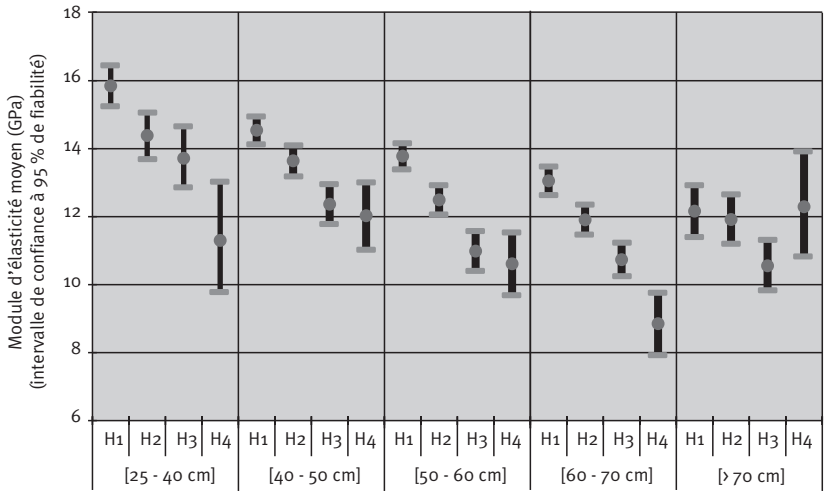


Chaque jeu de valeurs représenté dans les différentes cases du tableau XVI (p. 161) et du tableau XVII (ci-dessous) a été ajusté au moyen d'une loi de distribution (Weibull, Log normale et normale).

Tableau XVII **Variation du module d'élasticité en fonction de la classe de diamètre de l'arbre à 1,30 m et de la hauteur de l'arbre**

Hauteur dans arbre	Classe de diamètre des 420 arbres					
	Étendue	[25-40 cm]	[40-50 cm]	[50-60 cm]	[60-70 cm]	[› 70 cm]
	Moyenne	35 cm	45 cm	55 cm	65 cm	75 cm
H1 0-3,3 m	MOE Moyen (GPa)	15,8	14,5	13,7	13,0	12,1
	COV	23 %	22 %	22 %	24 %	33 %
	Nombre de planches . . .	172	322	303	266	118
H2 3,3-6,6 m	MOE Moyen (GPa)	14,3	13,6	12,4	11,9	12,6
	COV	25 %	25 %	26 %	27 %	34 %
	Nombre de planches . . .	57	258	280	265	134
H3 6,6-9,9 m	MOE Moyen (GPa)	14,1	12,3	10,9	11,1	11,3
	COV	23 %	27 %	28 %	27 %	37 %
	Nombre de planches . . .	57	149	129	171	139
H4 9,9-13,2 m	MOE Moyen (GPa)	Non Significatif (13 valeurs)	12,0	10,6	8,8	13,1
	COV		27 %	29 %	32 %	38 %
	Nombre de planches . . .		47	50	42	38

Figure 4 **REPRÉSENTATION DU MODULE D'ÉLASTICITÉ MOE MOYEN par classe de diamètre à 1,30 m et par hauteur de prélèvement des planches le long de l'arbre**



La précision de chaque modèle a été analysée au moyen du test Anderson-Darling disponible avec le logiciel MINITAB. Cette statistique détermine dans quelle mesure les données suivent une distribution spécifique.

Les figures 3 (p. 161) et 4 (p. 162) illustrent pour chaque combinaison de classe de diamètre à 1,30 m — hauteur dans l'arbre, la variation encadrée par un intervalle de confiance à 95 % du fractile d'exclusion à 5 % de la contrainte à la rupture et du module d'élasticité moyen. Ces deux propriétés ont été lissées par les lois respectivement Weibull et Normale.

L'analyse menée sur le fractile à 5 % de la contrainte à la rupture, le module d'élasticité moyen et la masse volumique à 5 % (non représenté) nous permet enfin de prédire indépendamment de tous critères visuels, la classe mécanique des bois provenant de hauteur de grumes et de diamètre d'arbres différents. *A contrario* des résineux (Lanvin *et al.*, 2009), les meilleurs bois sont ceux qui proviennent des arbres jeunes.

Tableau XVIII **Classe mécanique des bois de Chêne en fonction des hauteurs dans l'arbre et du diamètre des arbres à 1,30 m**

Hauteur dans arbre	Classe de diamètre					
	Étendue	[25-40 cm]	[40-50 cm]	[50-60 cm]	[60-70 cm]	[› 70 cm]
	Moyenne	35 cm	45 cm	55 cm	65 cm	75 cm
H1	0-3,3 m.	D 30	D 24	D 24	D 24	D 18
H2	3,3-6,6 m . . .	D 24	D 20	D 18	D 16	D 14
H3	6,6-9,9 m . . .	D 20	D 18	D 14	hors classe	hors classe
H4	9,9-13,2 m. . .	D 18	D 16	hors classe	hors classe	hors classe

Dans le cas d'une commande spécifique de bois à usage structurel en D30, le scieur devra privilégier un approvisionnement en bois jeune et/ou à partir de la bille de pied. Son pourcentage de planche déclassé sera le plus faible possible ainsi que son temps de production.

CONCLUSIONS

En vue d'une utilisation en structure du Chêne, 420 arbres (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) ont été sélectionnés au niveau national sur 70 placettes provenant de 7 régions administratives. Plus de 3 000 poutres ont été testées en flexion de manière à établir les performances mécaniques en liaison avec la mesure préalable des singularités (nœuds, cernes, pente de fil, etc.). Il apparaît que le Chêne possède de bonnes caractéristiques moyennes en termes de résistance en flexion, de module d'élasticité longitudinal et une forte densité. Le classement optimal identifie 71 % de la population en classe de résistance D40 et 13 % en D30.

L'utilisation d'une essence en tant que matériau de construction demande au préalable d'identifier les paramètres capables de trier de manière visuelle les bois pour apposer le marquage CE. La mauvaise corrélation (R^2 = 0,26) entre singularités (nœuds) et performances mécaniques (MOR) ne permet pas de discriminer efficacement la ressource au moyen d'un classement visuel performant (26 % en D30-classe 1, 21 % en D24-classe 2 et 28 % en D18-classe 3).

Au moyen de lois de distribution type Weibull, normale et log-normale, des traitements statistiques ont été effectués sur les résultats en fonction du diamètre à 1,30 m de l'arbre, de la

position de la grume dans l'arbre, de la structure du peuplement et du type de la station. L'analyse du coefficient d'Anderson-Darling des différentes lois de distribution a permis de connaître la meilleure modélisation des paramètres avec un intervalle de confiance à 95 % permettant de pré-classer les bois en fonction du diamètre à 1,30 m de l'arbre et de la position de la grume dans l'arbre.

Ce pré-classement présente l'avantage d'éliminer les grumes (ou portion de grume) qui ne sont pas intéressantes comme bois destinés à la construction pour des commandes spécifiques.

Jean-Denis LANVIN – Didier REULING
Institut technologique FCBA
Allée de Boutaut
BP 227
F-33028 BORDEAUX Cedex
(jean-denis.lanvin@fcba.fr) (didier.reuling@fcba.fr)

Remerciements
Les auteurs tiennent à remercier le ministère de l'Agriculture et de la Pêche, les sept régions, l'APECF, les interprofessions et les industriels de la première transformation du bois de Chêne sans qui l'étude n'aurait pas été possible.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR. — Norme EN 338 – Bois de structure. Classes de résistance. — Paris La Défense : AFNOR, 2009.

AFNOR. — Norme EN 408 – Structures en bois. Bois de structure et bois lamellé collé. Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques. — Paris La Défense : AFNOR, 2010.

AFNOR. — Norme EN 1310 Bois ronds et bois sciés. Méthode de mesurage des singularités. — Paris La Défense : AFNOR, 1997.

AFNOR. — Norme NF B 52-001 partie 1 : classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues. — Paris La Défense : AFNOR, 2011.

AFNOR. — Norme NF EN 14081-1 A1 – Structures en bois. Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance. Partie 1 : exigences générales. — Paris La Défense : AFNOR, 2011.

FCBA. — Mémento. — Paris : FCBA, 2008/2009.

FLORENTIN (G.-H.), GUINARD (D.). — Vingt ans d'actions sur le classement des bois français : des résultats concrets pour valoriser les grumes et sciages issus de la forêt française. — *Revue forestière française*, vol. LVI, numéro spécial "Le bois dans son futur", 2004, pp. 185-193.

GIUDICEANDREA (F.), URSELLA (E.), VICARIO (E.). — A high speed CT scanner for the sawmill industry. *In* : 17th International Non Destructive testing and evaluation of wood symposium, Sopron, September 14-16, 2011.

LANVIN (J.-D.), REULING (D.), CHATELU (R.), GODARD (J.). — Sylviculture and prediction of mechanical properties for French larch (*Larix decidua*). — LARIX 2007 congress, Quebec, September 16-21, 2007.

MOREAU (J.). — Impact de pratiques sylvicoles intensives sur les propriétés du bois de Pin maritime. — Université de Bordeaux 1, 2010 (Thèse).

REULING (D.). — Campagne de qualification de Chêne en France. — 3e rapport intermédiaire. — FCBA, février 2007.

REULING (D.), CASTERA (P.). — Augmenter l'utilisation du Pin maritime en construction par une sélection des planches au moyen du modèle de croissance PP3. — Université de Bordeaux I, juin 2005 (Rapport de recherche pour l'obtention du DEA "Science du bois").

RICHTER (A.). — Perspectives de valorisation de la ressource de bois d'œuvre feuillus en France. Rapport. — FCBA, février 2011. — 83 p.

ROUGER (F.), LANVIN (J.-D.), REULING (D.). — Classement des sciages pour une utilisation en structure : de fortes évolutions. — Colloque Matériaux 2010, 18-22 octobre 2010. — Nantes, École Centrale.

CARACTÉRISATION DU CHÊNE SESSILE ET PÉDONCULÉ DE FRANCE EN VUE DE SON UTILISATION EN STRUCTURE (Résumé)

La caractérisation mécanique du bois de Chêne destiné à la construction est devenue une nécessité en vue du marquage CE des produits de la construction applicable en 2012. Dans cette perspective, 420 chênes (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) de diamètre à 1,30 m variant de 25 à plus de 70 cm ont été sélectionnés par FCBA au niveau national sur 70 placettes provenant de 7 régions administratives. Un total de 3 105 planches (50 x 150 x 3 000 mm) ont été testées en flexion de manière à établir les performances mécaniques en liaison avec la mesure préalable des singularités (nœuds, largeur de cernes, pente de fil, etc.). Une première analyse montre que le bois de Chêne possède de bonnes caractéristiques moyennes en termes de résistance et de module d'élasticité. Le classement optimal identifie 71 % de la population en classe D40 et 13 % en classe D30. Cependant, la mauvaise corrélation entre singularités et performances mécaniques (R^2 = 0,26) ne permet pas de discriminer la ressource au moyen d'un classement visuel publié dans la norme NF B 52-001 (26 % en D30-choix 1, 21 % en D24-choix 2 et 28 % en D18-choix 3). À travers une première analyse statistique des données disponibles, un modèle simple a notamment pu être établi qui permet de prédire la qualité mécanique des planches en fonction du diamètre à 1,30 m de l'arbre d'origine et de la hauteur de prélèvement de la planche dans l'arbre.

MECHANICAL EVALUATION OF FRENCH OAK (SESSILE AND PEDUNCULATE) FOR STRUCTURAL USE (Abstract)

Characterising the mechanical properties of oak intended for construction uses has become necessary to apply regulations concerning CE marking of construction materials as of 2012. To acquire the needed information, in 2002 FCBA engaged in a large-scale study of two species of French oak - *Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.. 420 trees from the two species in the 25 cm to more than 70 cm range were harvested from 70 stands selected in seven French areas. Non-destructive and destructive tests were performed on a total of 3105 planks (50*150*3000 mm). Three main criteria (density, modulus of elasticity and modulus of rupture) establishing the strength classes according to EN 338 appeared of high value. The optimal grading gives 71% in D40 and 13% in D30 mechanical classes. However, correlations between special features (knottiness, growth ring width, slope of grain, etc.) and mechanical properties appeared low (R^2=0.26). Therefore, visual grading according to the NF B 52-001 standard does not allow efficient grading of planks (26% in D30, 21% in D24 and 28% in D18). Using a crude statistical analysis of available data, a simple model has been developed to predict mechanical behavior on the basis of tree's diameter at breast height and stem height from which plank is sawn.