Caractérisation du Châtaignier en vue d'un emploi structural et interaction avec la sylviculture

Jean-Denis Lanvin – Didier Reuling

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

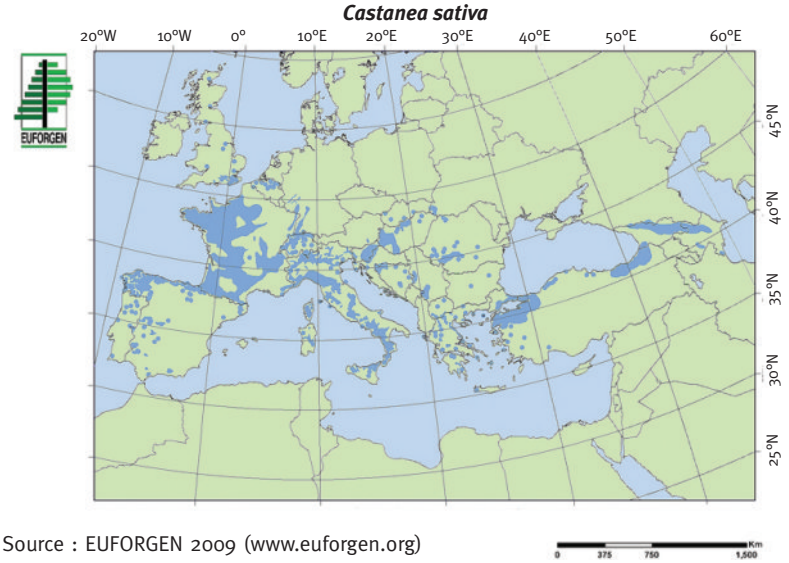
Avec une surface de presque 10 millions d'hectares, la France possède le premier patrimoine forestier de l'Union européenne en matière de feuillus. Ce patrimoine est constitué d'un grand nombre d'essences (plus de 60) ayant des caractéristiques et des usages potentiels différents (Richter, 2011). Le Chêne sessile, le Chêne pédonculé et le Hêtre sont les essences les plus représentées, dépassant en volume sur pied le Pin maritime et les résineux blancs. Du fait de ses caractéristiques esthétiques de résistance et de durabilité, le Châtaignier est employé à de multiples usages. Cependant, en France, son utilisation reste encore trop souvent liée à des marchés régionaux. Ainsi s'il existe, par exemple, une filière Chêne bien structurée au niveau national avec une volonté de développement de nouveaux débouchés des sciages, des projets innovants et un suivi de l'évolution du marché, la filière Châtaignier est beaucoup moins structurée et peine à se regrouper pour un meilleur contrôle du marché.

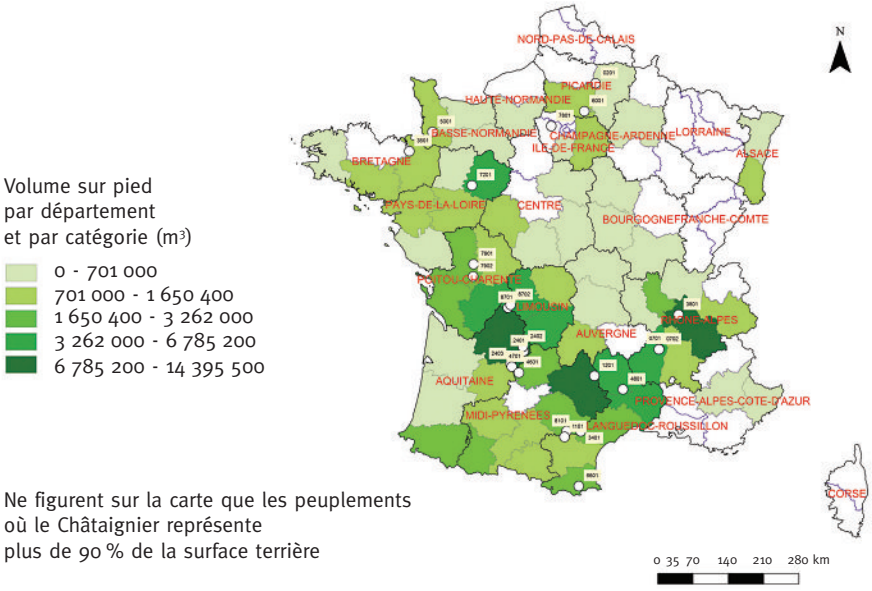
Quatrième essence la plus importante en termes de superficie après le Chêne pédonculé, le Chêne sessile et le Hêtre, le Châtaignier occupe en France 740 000 hectares (figure 1, p. 442) pour un volume sur pied de 118 millions de mètres cubes. La France détient la plus grande réserve européenne suivie de l'Italie (498 000 ha) et de l'Espagne (100 000 ha). Une grande partie de cette ressource se trouve sous forme de taillis (environ 70 % de la surface) (Bourgeois, 2004).

Aujourd'hui l'Italie, deuxième plus grande réserve de Châtaignier en Europe, a construit une filière structurée regroupant des transformateurs et développant des produits à base de bois de Châtaignier. L'Italie souhaitant se conformer aux règlements européens en matière de construction est entrée dans une démarche de qualification afin de continuer à poursuivre le développement de produits dans le domaine de la construction comme les poutres « uso Fiume » destinées aux charpentes de maisons traditionnelles (Nocetti, 2013). Le Châtaignier peut être également mis en œuvre en produits lamellé collé (Aicher, 2014) qui peuvent utiliser des sciages provenant d'arbres de petits diamètres, ce qui est le cas de la ressource française de cette essence.

Pour ne pas être en reste par rapport aux actions de l'Italie et sous l'impulsion de plusieurs interprofessions régionales (Interbois Périgord, BoisLim, Futurobois et le CNPF-IDF), l'Institut technologique FCBA, fort de son expérience des trente dernières années en études de qualification des grandes essences françaises, a monté un programme de caractérisation pour la résistance visant à fournir aux industriels français les informations et les outils normatifs (marquage CE) nécessaires au bon développement de l'utilisation des sciages de Châtaignier dans la construction.

Figure 1 **DISTRIBUTION SPATIALE DU CHÂTAIGNIER EN EUROPE ET CARTOGRAPHIE DES PLACETTES SÉLECTIONNÉES DURANT L'ÉTUDE CHÂTAIGNIER**





Outre l'extension à la France de la démarche de caractérisation du Châtaignier initiée par l'Italie pour connaître les forces et les faiblesses de cette essence, les résultats de l'étude peuvent également permettre la promotion de son emploi dans les nouvelles applications de la construction (Legrand, 2014), comme le lamellé collé sur le secteur français. Les objectifs de la caractérisation du Châtaignier ont donc été multiples :

— connaître les caractéristiques et les propriétés du bois de Châtaignier ;
— positionner cette essence dans le classement structurel ;

— analyser les nouvelles possibilités d'emploi du Châtaignier ;
— communiquer les résultats aux professionnels :
  – aux scieurs en vue de commercialiser les sciages à destination de la construction,
  – aux sylviculteurs en vue d'identifier les peuplements favorables à l'obtention de sciages.

DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLONNAGE

La réalisation d'une telle étude nécessite de prendre en compte la variabilité potentielle des peuplements de Châtaigniers sur pied par le moyen de la connaissance du groupe de travail Châtaignier du CNPF-IDF. Des critères de variabilité sylvicoles ont été pris en compte pour permettre de collecter un échantillon d'arbres sur pied représentatif des différentes qualités de Châtaignier présentes dans la ressource forestière française. Chaque CRPF a eu en charge le repérage et la mesure du taillis sur pied et des 10 grumes abattues par placette. Le tableau I (p. 444) décrit la collecte effectuée par grandes régions et le nombre total d'arbres collectés. Les caractéristiques des arbres prélevés figurent dans le tableau II (p. 445).

L'ensemble de la récolte s'est effectué sur l'année 2013. Les grumes ont été sciées dans cinq scieries selon la localisation géographique des parcelles échantillonnées. L'évaluation des grumes sur le site a eu pour objectif d'identifier la qualité visuelle des grumes produites. L'utilisation du classement des grumes feuillues de FCBA (mai 1993) a permis d'évaluer la qualité des grumes. Quatre classes (A, B, C, D) existaient pour le classement des bois ronds des Chênes et du Hêtre. Par analogie, nous avons pris le référentiel du Chêne comme base de classement pour les grumes de Châtaignier. L'ensemble des critères de classement a été pris en compte sauf les valeurs minimales des diamètres étant donné le faible diamètre moyen des grumes de Châtaignier récoltées. Les autres critères sont la présence des nœuds (découverts, recouverts), du fils tors, du cœur excentré, de la courbure, du méplat, de la fente en bout.

Les 243 grumes collectées ont été billonnées en différentes longueurs suivant leur grosseur pour obtenir des avivés de quatre sections plus ou moins importantes. Chaque billon découpé a été identifié par une numérotation et un code de couleur qui identifient l'arbre, la hauteur de prélèvement et le site. Ce billonnage s'est effectué sur les cinq parcs à bois des scieries participantes.

Figure 2 **PRÉPARATION DES GRUMES ET PREMIÈRE TRANSFORMATION**

Préparation des découpes de grumes

Code couleur permettant d'identifier les billons avant sciage

Billons stockés avant les opérations de sciage

Numérotation des avivés destinés aux essais mécaniques

(crédits photographiques FCBA)

Tableau I **Protocole d'échantillonnage des arbres sur pied et résultats de la collecte**

Grande région de même typologie		Département de prélèvement	Nombre d'arbres prélevés par placette et catégories de dimension					Total
			B	PG	EF	G	V	
1	Pays-de-la-Loire, Île-de-France, Centre, Normandie, Picardie, Bretagne	Sarthe	10					10
		Oise		10				10
		Manche				10		10
		Ille-et-Vilaine			10			10
		Yvelines				10 + 1		11
		Aisne			10			10
		Total	10	10	20	21	0	61
2	Poitou-Charente, Limousin	Deux-Sèvres	10					10
		Deux-Sèvres		10				10
		Haute-Vienne	10					10
		Haute-Vienne		10				10
		Total	20	20	0	0	0	40
3	Aquitaine	Dordogne	10					10
			10 + 1					11
			10					10
		Lot-et-Garonne	10					10
		Total	41	0	0	0	0	41
4	Midi-Pyrénées	Tarn	9					9
		Lot		10 + 1				11
		Aveyron					10	10
		Total	9	11	0	0	10	30
5	Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse	Hérault			10			10
		Aude		10 + 1				11
		Pyrénées-Orientales		10				10
		Lozère					10	10
		Total	0	21	10	0	10	41
6	Rhône-Alpes	Ardèche		10				10
		Ardèche				10		10
		Isère		10				10
		Total	0	20	0	10	0	30
	Total		80	82	30	31	20	243

Légende des catégories :
B (bille) : circonférence à 1,30 m de 70-90 cm
PG (petites grumes) : circonférence à 1,30 m de 90-120 cm
EF (éclaircie forte)
G (grume) : circonférence à 1,30 m supérieure à 120 cm
V (ancien verger)

Sur certaines parcelles où la qualité des grumes était jugée critique, une grume supplémentaire a été collectée. Sur les parcelles marquées « 10 + 1 » cette grume a été finalement transformée en sciage.

Tableau II **Caractéristiques des arbres prélevés**

243 arbres récoltés	Moyenne	Coefficient de variation	Minimum	Maximum
Âge à la souche	47 ans	29 %	22	75
Diamètre à 1,30 m	31 cm	22 %	22	54
Hauteur dominante peuplement	23,4 m	12 %	18,0	28,7
Volume grume	0,536 m³	52 %	0,187	1,825

Au terme du sciage, on a relevé la distance par rapport à la moelle de l'arbre et le type de débit de chaque planche (dosse, faux quartier ou quartier). Puis les sciages ont été séchés à 14 % ± 2 % pour aboutir aux dimensions finales décrites dans les essais mécaniques. Les sciages obtenus ont été envoyés par la suite sur le site de FCBA Bordeaux. L'opération a mobilisé 130 m³ de billons, ayant donné 45 m³ de sciages « frais de sciage » (destinés aux essais mécaniques).

PROTOCOLE DES TESTS DE LABORATOIRE ET ANALYSE DES RÉSULTATS MÉCANIQUES

La qualification visuelle (mesures des nœuds, largeur de cernes, humidité, pente de fil, fentes, classement d'aspect…) a été réalisée sur l'ensemble des pièces par FCBA (Bordeaux). Puis les essais de flexion quatre points ont été conduits selon la norme EN 408 jusqu'à la rupture, puisque l'utilisation des bois en construction impose une connaissance précise, outre la masse volumique (Mv, adéquation de l'essence face à la portance des connecteurs), du module d'élasticité local (Eml exprimé en mégapascals MPa, il indique la capacité d'une planche à ne pas dépasser une certaine flèche à l'état limite de service) et de la contrainte à la rupture (fm, exprimée en mégapascals, elle représente la capacité d'une planche à résister à une charge lors de la vérification à l'état limite ultime) (tableau III ci-dessous).

Tableau III **Comparatif des caractéristiques physicomécaniques des sciages pour les quatre principaux feuillus de France (Chêne : Lanvin, 2012 ; Hêtre, à paraître)**

Valeur moyenne et coefficient de variation	Chêne pédonculé 1 398 sciages	Chêne sessile 1 707 sciages	Hêtre 1 872 sciages	Châtaignier 2 305 sciages
Masse volumique à 12 % d'humidité	692 kg/m³ (± 8 %)	740 kg/m³ (± 7 %)	670 kg/m³ (± 6 %)	538 kg/m³ (± 8 %)
Projection du nœud maximum sur la face	29 % (± 66 %)	27 % (± 69 %)	9,3 % (± 154 %)	15,4 % (± 92 %)
Projection du nœud maximum sur la rive	40 % (± 82 %)	37 % (± 91 %)	9,8 % (± 239 %)	13,1 % (± 173 %)
Largeur de cernes annuels	2,5 mm (± 42 %)	2,3 mm (± 44 %)	2,5 mm (± 31 %)	3,9 mm (± 51 %)
Module d'élasticité local (Eml) à 12 %	11 900 MPa (± 27 %)	13 700 MPa (± 27 %)	14 100 MPa (± 20 %)	12 000 MPa (± 19 %)
Contrainte à la rupture (fm)	49,0 MPa (± 41 %)	54,5 MPa (± 41 %)	76,5 MPa (± 31 %)	48,6 MPa (± 34 %)

Les propriétés mécaniques d'un sciage de Châtaignier non classé (comme pour les autres essences) 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. Afin d'appréhender cette résistance une fois ces deux ensembles de caractéristiques connus (caractéristiques physiques et comportement mécanique), il a été possible de les mettre en adéquation, après avoir fait le choix de filtres judicieux pour le Châtaignier en matière de caractéristiques physiques. Ce qui revient à classer, d'après des critères visuels, la résistance des bois de structure.

L'ensemble des résultats de flexion quatre points (2 058 pièces) a permis de classer 93 % des pièces dans une classe D24 ou 98 % des pièces dans une classe C24 (classement après rupture des pièces).

Le profil de résistance du Châtaignier et la relation qui existe entre les propriétés physiques et mécaniques ont milité en faveur d'un rattachement de ses performances à une classe de type « C » (communément employée pour les résineux et le Peuplier) plutôt qu'à une classe « D » (communément employée pour les feuillus).

En effet, le profil de résistance du Châtaignier et la relation qui existe entre les propriétés physiques et mécaniques se rapprochent plus des essences résineuses comme nous le montre l'indice quadratique normalisé calculé sur plusieurs essences testées au sein de FCBA dans le tableau IV (ci-dessous).

Tableau IV **Indice quadratique des trois variables utilisées pour le classement**

Essence	Moyenne			Nombre de valeurs	Indice quadratique IQ
	Contrainte à la rupture fm (MPa)	Module d'élasticité local Eml (MPa)	Masse volumique Mv (kg/m^3)		
Peuplier	39,5	7 700	391	174	0,01
Épicéa	42,0	11 300	417	4 661	0,58
Pin maritime	39,0	10 700	531	1 115	0,67
Mélèze	49,4	10 400	562	1 720	0,78
Pin noir	42,2	11 400	559	1 617	0,82
Châtaignier	48,7	12 000	538	2 058	0,88
Douglas	40,7	13 400	476	1 892	0,94
Pin laricio	51,2	13 400	555	1 272	1,11
Chêne	51,5	13 600	680	2 378	1,40
Hêtre	76,5	14 100	670	1 872	1,71

L'indice quadratique est déterminé au moyen de la relation suivante :

$$IQ = \sqrt{\left(\frac{fm - \min(fm)}{\max(fm)}\right)^2 \times \left(\frac{Em - \min(Eml)}{\max(Eml)}\right)^2 \times \left(\frac{Mv - \min(Mv)}{\max(Mv)}\right)^2} \qquad \text{Équation 1}$$

Cette classe normalement réservée aux résineux a été utilisée comme référence pour le Châtaignier quand la nouvelle norme EN338 (norme définissant les classes de résistances pour le bois de structure) est sortie courant 2016.

Le classement par critères visuels permet d'identifier deux classes de performance mécanique. La classe visuelle équivalente à C24 est sous-représentée (65 %) par rapport au potentiel mécanique après casse des pièces (98 %).

Tableau V **Performance du classement visuel Châtaignier**

Classe	Nombre de pièces	Rendement visuel
ST II (équivalente à C24)	1 341	65 %
ST III (équivalente à C18)	560	27 %
Hors classe	157	8 %

Le critère visuel le plus discriminant pour obtenir ces classes mécaniques est la largeur de cernes. Plus la largeur de cernes est grande plus la masse volumique est faible et plus la planche est déclassée. Ce phénomène est à l'inverse de ce que l'on peut rencontrer sur le Chêne où une croissance forte (proportion élevée du bois final dans les cernes larges) entraîne une augmentation de la masse volumique.

La nodosité maximale peu importante sur cette essence n'est pas un critère suffisant à lui seul pour identifier le potentiel mécanique du Châtaignier.

Le classement mécanique prédictif effectué à l'aide de trois machines (MTG commercialisée par Brookhuis, Xyloclass version T commercialisée par Xylomeca et Viscan commercialisée par Microtec) a quant à lui permis de discriminer trois classes de résistance par rapport au potentiel obtenu après rupture des pièces.

Tableau VI **Classement par machine type vibratoire du Châtaignier pour les classes de résistance C30, C24 et C18 (bois secs)**

Classes	Contrainte à la rupture fm (MPa)	Module d'élasticité local Eml (MPa)	Masse volumique Mv (kg/m^3)	Nombre de pièces	Rendement
C30	30,4	13 800	501	843	41 %
C24	24,4	11 700	483	597	29 %
C18	18,1	9 800	446	597	29 %
Rejet	8,3	6 700	400	21	1 %

Le classement machine sur les bois frais de sciage a permis aussi de trier les bois suivant les trois classes mécaniques C30, C24 et C18.

Tableau VII **Classement par machine type vibratoire du Châtaignier pour les classes de résistance C30, C24 et C18 (bois vert)**

Classes	Contrainte à la rupture fm (MPa)	Module d'élasticité local Eml (MPa)	Masse volumique Mv (kg/m^3)	Nombre de pièces	Rendement
C30	30,4	13 500	495	1 008	49 %
C24	25,3	12 100	490	62	3 %
C18	19,6	10 500	454	967	47 %
Rejet	7,5	7 300	418	21	1 %

Dès lors, FCBA a proposé une règle adaptée au classement par méthode visuelle du Châtaignier (publiée dans la norme de classement NF B 52 001-1) par classes de résistance (norme EN 338 2016) comme suit (tableau VIII, ci-dessous) :

Tableau VIII **Ensemble des critères de classement visuel du Châtaignier pour les classes de résistance C24 et C18**

Critères	Classe visuelle	< 10 000 mm²	> 10 000 mm²	< 10 000 mm²	> 10 000 mm²
		ST II – C24		ST III – C18	
Largeur de cernes		< 4 mm	< 8 mm	< 8 mm	< 10 mm
Diamètre des nœuds	Sains et adhérents sur la face. Nœuds noirs ou pourris ou avec entre-écorce	∅ < 65 mm ∅ < 2/3 l	∅ < 80 mm ∅ < 2/3 l	∅ < 80 mm ∅ < 4/5 l	
	Sains et adhérents sur la rive. Nœuds noirs ou pourris ou avec entre-écorce	∅ < 60 mm ∅ < 4/5 e		∅ < 60 mm ∅ < 4/5 e	
Pente de fil	Locale	1:4		1:4	
	Générale	1:5		1:5	
Déformations pour une longueur de 2 m	Flèche de face (mm)	< 10 mm		< 20 mm	
	Flèche de rive (mm)	< 8 mm		< 12 mm	
	Gauchissement	1 mm / 25 mm de largeur		2 mm / 25 mm de largeur	
	Tuilage	Pas de restriction		Pas de restriction	
Fentes	Gélivure	Exclue		Exclue	
	Gerces	Permises		Permises	
	Roulure sur section	Exclue		< 1/2 de la circonférence du cerne	
	Fentes de face ou de rive	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		Permis	
	Aubier jaunâtre	Permis si taches peu nombreuses		Permis si taches peu nombreuses	
	Pourriture	Exclue		Exclue	
Attaques d'insectes		Tolérées si ponctuelles		Tolérées si ponctuelles	

INTERACTIONS SYLVICULTURE-PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES EN FLEXION

Il a été difficile d'analyser tous les facteurs en même temps, d'autant plus que ces facteurs se réfèrent à des niveaux différents : parcelle, arbre, billon ou planche. Il a donc été effectué plusieurs analyses.

Test des facteurs liés à la planche

- Débit : 4 modalités (cœur, dosse, faux quartier, quartier)
- Nodosité face : variable continue ramenée à 6 classes (0-2 mm ; 3-10 mm ; 11-20 mm ; 21-30 mm ; 31-40 mm et > 41 mm)
- Nodosité rive : variable continue ramenée à 4 classes (0-2 mm ; 3-10 mm ; 11-20 mm et > 21 mm)
- Pente de fil locale : variable continue ramenée à 5 classes (0-5 % ; 6-10 % ; 11-15 % ; 16-20 % et > 21 %)
- Pente de fil global : variable continue ramenée à 3 classes (0-3 % ; 4-9 % et > 10 %)
- Distance de sciage par rapport à la moelle : 6 classes ramenées à 4 (regroupement des 3 les plus excentrées : 0 ; 30 ; 70 ; 110 ; 150 ; 190 mm)
- Largeur de cernes sur sciages : variable continue.

Une analyse de variance-covariance est ensuite effectuée pour tester l'effet de ces différents facteurs. Compte tenu des effectifs importants (plus de 2 000 planches), l'effet des facteurs est quasiment toujours significatif. Il faut donc s'attacher plus à la hiérarchisation des effets des facteurs qu'à leur simple significativité. Les conclusions sont assez logiques : le module d'élasticité est fortement lié à la largeur de cernes et à la nodosité (sur la rive essentiellement). La contrainte à la rupture est surtout liée à la nodosité et dans une moindre mesure à la largeur de cernes. La masse volumique quant à elle est liée à la largeur de cernes.

Tableau IX **Analyse de variance-covariance des facteurs liés à la planche**

Hiérarchie	Variable	Masse volumique		Module d'élasticité		Contrainte de rupture	
		F	Probabilité	F	Probabilité	F	Probabilité
1	Largeur des cernes	220,16	< 0,0001	268,31	< 0,0001	28,28	< 0,0001
2	Nœuds face	7,29	< 0,0001	6,10	< 0,0001	34,55	< 0,0001
3	Nœuds rive	5,64	0,0008	21,87	< 0,0001	45,04	< 0,0001
4	Fil global	0,93	0,3945	13,51	< 0,0001	4,96	0,0071
5	Fil local	0,96	0,4308	2,29	0,0573	5,97	< 0,0001
6	Distance cœur	0,09	0,9654	4,44	0,0041	1,15	0,3272
7	Débit	0,60	0,6128	2,81	0,0381	2,31	0,0749

Test des facteurs liés à l'arbre et au billon

- Classement grumes : 4 modalités (classe A, B, C et D)
- Diamètre à 1,30 m : variable continue
- Âge de l'arbre : variable continue
- Largeur des cernes à 1,30 m : variable continue
- Hauteur de prélèvement : variable continue

Les conclusions sont ici encore peu surprenantes : la masse volumique est essentiellement liée à la hauteur dans l'arbre et à la largeur des cernes. Le module d'élasticité est lié au diamètre à 1,30 m et à l'âge de l'arbre. La contrainte à la rupture est liée à la hauteur de prélèvement dans l'arbre et également au classement, preuve que ce classement est pertinent.

Tableau X **Analyse de variance-covariance facteurs liés à l'arbre et au billon**

Hiérarchie	Variable	Masse volumique		Module d'élasticité		Contrainte de rupture	
		F	Probabilité	F	Probabilité	F	Probabilité
1	Hauteur de prélèvement	118,04	< 0,0001	1,30	0,2549	23,40	< 0,0001
2	Largeur des cernes	19,67	< 0,0001	0,11	0,7450	0,00	0,9782
3	Classement des grumes	4,44	0,0041	15,43	< 0,0001	26,43	< 0,0001
4	D130	0,30	0,5823	47,20	< 0,0001	13,61	0,0002
5	Âge de l'arbre	1,48	0,2234	30,31	< 0,0001	0,82	0,3647

Pour la masse volumique, l'effet de la largeur des cernes est significatif à partir des données individuelles malgré une grande dispersion. Sur les moyennes par classe de largeur des cernes et de hauteur de prélèvement dans l'arbre, l'effet hauteur apparaît assez nettement, surtout pour les arbres à croissance rapide. Une nette opposition apparaît entre les arbres à croissance rapide (qui sont des arbres jeunes : moins de 35 ans) avec une masse volumique faible et les arbres à croissance lente (qui sont de vieux arbres : plus de 35 ans) avec une masse volumique élevée.

Afin de comprendre le comportement mécanique des sciages en fonction des critères liés à l'arbre, nous pouvons résumer les principaux comportements des trois variables étudiées dans le tableau suivant :

Tableau XI **Synthèse interaction arbres et propriétés mécaniques**

Critère arbres*	Masse volumique	Module d'élasticité	Contrainte à la rupture
Hauteur de prélèvement dans l'arbre	↗	↗	↘
Largeur de cernes	↘		
Nodosité		Uniquement nœuds de rive ↘	↘
Diamètre à 1,30 m		↘	↘
Âge	↗	↗	

* (Exemple de lecture du tableau : Plus le prélèvement du sciage est situé haut dans l'arbre, plus la valeur de la contrainte à la rupture de la planche sera faible.)

Le module d'élasticité et la masse volumique augmentent avec la hauteur de prélèvement certainement à cause de l'augmentation de la nodosité qui rigidifie la planche. Ce constat avait déjà été mis en évidence sur la caractérisation des cultivars de Peuplier (Reuling, 2013).

Bien que les facteurs liés à la parcelle ne soient pas reconnus significatifs d'après les analyses statistiques, les différents constats obtenus sur les arbres nous permettent d'identifier des caractéristiques de peuplements favorables à l'obtention de sciages de performances mécaniques :

— structure de taillis vieilli,
— fort volume sur pied,
— peuplement d'âge supérieur à 35 ans.

MODÉLISATION DE L'EFFET DE LA SYLVICULTURE SUR LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

L'étude de l'influence des différents facteurs liés à l'arbre sur les propriétés mécaniques des sciages de Châtaignier nous permet d'orienter le sylviculteur sur le potentiel mécanique du bois issu de ses arbres suivant deux critères pertinents et simples à identifier sur sa parcelle :

— classe de diamètre à 1,30 m de l'arbre (par classes de 5 cm d'amplitude),
— hauteur de prélèvement (par classes de 2 m d'amplitude).

Trois modèles statistiques sont proposés (un pour la contrainte à la rupture, un pour le module d'élasticité et un pour la masse volumique). Chaque population de planches a été partitionnée suivant les deux critères cités ci-dessus et ajustée suivant une loi de distribution adaptée :

— la loi de distribution de Weibull a été choisie pour ajuster les contraintes à la rupture,
— la loi de distribution normale a été choisie pour ajuster les modules d'élasticité,
— les lois de distribution log-normale ou normale ont été choisies pour ajuster les masses volumiques.

FIGURE 3 **INTERVALLES DE CONFIANCE DES TROIS PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES SELON LA POSITION DES PLANCHES par rapport au pied de l'arbre (classe 2, 4, 6, 8 et 10 m) et le diamètre à 1,30 m (classe 25, 30, 35, 40 et 45 cm)**

FIGURE 3a Variation du fractile à 5 % de la contrainte à la rupture (intervalle de confiance de 95 %)

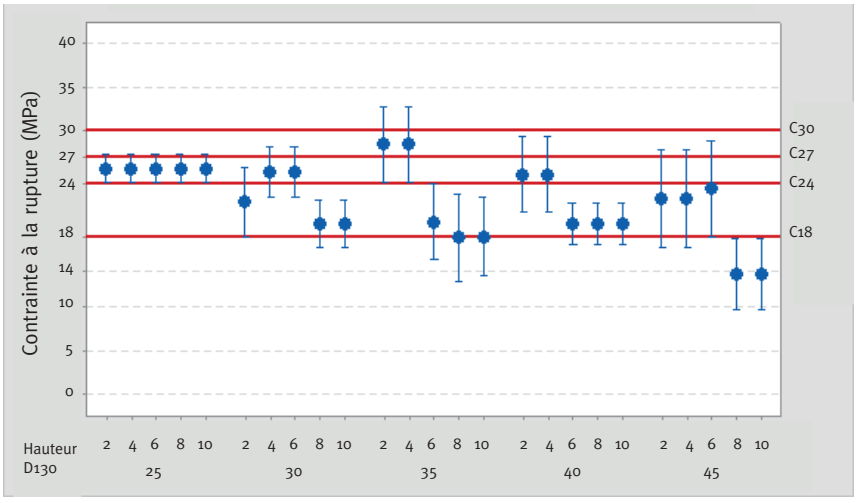


Figure 3b Variation de la moyenne du module d'élasticité local (intervalle de confiance de 95 %)

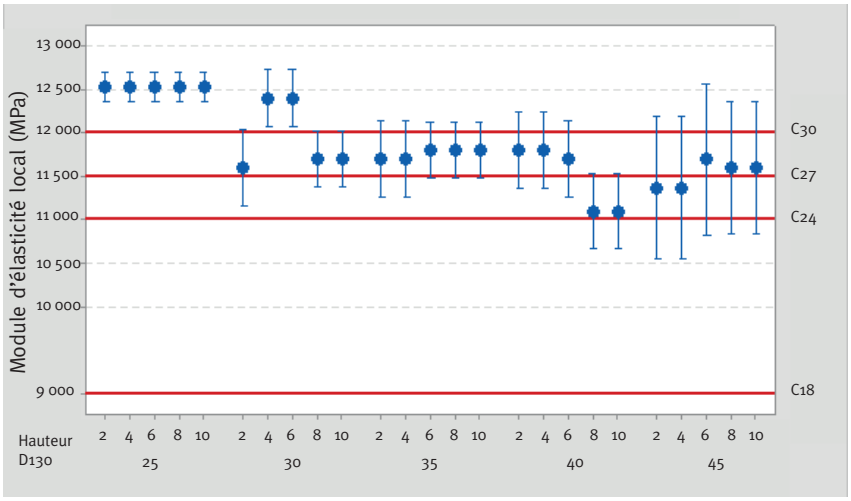
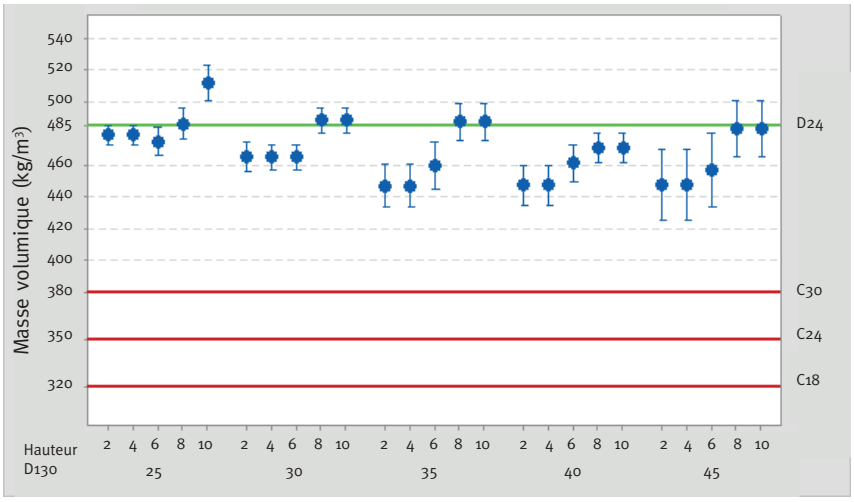


Figure 3c Variation du fractile à 5 % de la masse volumique (intervalle de confiance de 95 %)



Ainsi la reconstitution de la population ajustée nous permet d'identifier par critère lié à l'arbre le fractile à 5 % de la contrainte à la rupture et de la masse volumique et la moyenne du module d'élasticité (les trois paramètres servant à identifier la classe mécanique d'un sciage). Ces lois de distribution représentent un comportement moyen quels que soient le type de sylviculture et les potentiels effets de terroir. Il serait possible de moduler les valeurs en fonction d'autres paramètres, notamment ceux identifiés dans le paragraphe « Interactions » (p. 449).

Les trois figures (p. 451 et ci-dessus) décrivent les valeurs des fractiles à 5 % et des moyennes pour les trois propriétés mécaniques servant au classement, identifiant ainsi les arbres potentiellement les plus intéressants pour l'obtention des sciages à destination de la construction.

CONCLUSIONS

Les différentes études abordées lors de ce projet ont apporté des éléments incontestables sur les caractéristiques physiques et mécaniques du Châtaignier français. L'ensemble des informations collectées va permettre d'améliorer et de faire évoluer le processus de transformation industrielle et d'envisager de nouvelles solutions de valorisation dans le domaine constructif (produits reconstitués par collage type BLC, CLT…).

Nous avons pu aussi identifier les principaux critères sylvicoles (hauteur de prélèvement, diamètre à 1,30 m, âge et largeur des cernes) influençant les caractéristiques physicomécaniques des sciages de Châtaignier.

Le classement pour la résistance montre le potentiel de cette essence pour atteindre majoritairement la classe C24, ce qui est proche des classes déclarées par les Italiens et les Espagnols. Le classement par méthode visuelle suivant la norme NF B 52 001 sera donc proche des classes déclarées par nos voisins européens. Cependant, les machines devraient permettre un classement optimisé notamment avec la classe de résistance C30.

Le Châtaignier a rejoint depuis juin 2016 l'ensemble des essences utilisables en construction dans la norme française « Règle d'utilisation du bois dans la construction : Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus ».

Les fabricants de matériels de classement pour la résistance (Brookhuis, Microtec et Xylomeca) peuvent d'ores et déjà proposer des réglages adaptés pour classer par machine le Châtaignier français et ainsi aboutir au marquage CE.

Jean-Denis LANVIN
Coordinateur E&R Bois massifs & Dérivés
FCBA
Allée de Boutaut
BP 227
F-33028 BORDEAUX CEDEX
(jean-denis.lanvin@fcba.fr)

Didier REULING
Responsable Technique Bois massifs & Dérivés
FCBA
Allée de Boutaut
BP 227
F-33028 BORDEAUX CEDEX
(didier.reuling@fcba.fr)

BIBLIOGRAPHIE

AICHER (S.), ZACHARY (C.), DILL-LANGER (G.). — Hardwood glulams – emerging timber products of superior mechanical properties. *In*: Proceeding of WCTE 2014 Quebec, Canada, 10-14th of August 2014.

BOURGEOIS (C.), SEVRIN (E.), LEMAIRE (J.). — Le Châtaignier, un arbre, un bois. — Paris : IDF, 2004. — 352 p.

BRUNETTI (M.), CREMONINI (C.), CRIVELLARO (A.), TOGNI (M.), ZANUTTINI (R.). — Chestnut timber for structural use. *In*: Castanea 2009, 58 Convegno Nazionale Castagno and 1st European Congress on Chestnut. Cuneo, Italy.

LANVIN (J.D.), REULING (D.). — Caractérisation du Chêne sessile et pédonculé de France en vue de son utilisation en structure. — *Revue forestière française*, vol. LXIV, n° 2, 2012, pp. 151-165.

LEGRAND (G.). — Qualification du collage structural du châtaignier. — FCBA INFO, novembre 2014.

NOCETTI (M.), BACHER (M.), BERTI (S.), BRUNETTI (M.), BURATO (P.). — Machine Grading of Chestnut Structural Timber with Wane. *In*: Proceeding ISCHP 2013, Firenze, Italy.

REULING (D.), LANVIN (J.-D.), BOUVET (A.). — Caractéristiques mécaniques du bois des nouveaux cultivars de Peuplier. — *Forêt Entreprise*, n° 213, novembre 2013, pp. 25-29.

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

CARACTÉRISATION DU CHÂTAIGNIER EN VUE D'UN EMPLOI STRUCTURAL ET INTERACTION AVEC LA SYLVICULTURE (Résumé)

La France détient la plus grande réserve européenne de Châtaignier sous forme de taillis suivie de l'Italie et de l'Espagne. Qualifier le Châtaignier pour son utilisation en construction a été l'objectif de la campagne menée par FCBA avec ses partenaires à partir d'un échantillonnage d'arbres représentatifs de la ressource nationale. La qualification visuelle et l'estimation des performances mécaniques de flexion de l'ensemble des pièces ont permis d'élaborer le référentiel de critères visuels (NF B 52-001) à utiliser afin d'affecter les sciages dans les classes mécaniques adéquates et optimales. Cette entrée lui ouvre la porte du marquage CE et celle du marché de la construction européenne. Avec la traçabilité forêt-sciage, l'impact de la sylviculture a été également analysé, et des pistes d'amélioration sont proposées afin de rendre le bois de Châtaignier plus compétitif.

CHARACTERISATION OF CHESTNUT TIMBER INTENDED FOR STRUCTURAL APPLICATIONS AND INTERACTION WITH SILVICULTURAL PRACTICES (Abstract)

France has the largest European reservoir of Chestnut in the form of coppices, followed by Italy and Spain. The FCBA in conjunction with its partners has conducted a campaign to characterise chestnut for use in construction based on samples of trees that are representative of the national resources. Visual characterisation and estimation of flexural strength of the all the pieces provided a benchmark for visual criteria (NF B 52-001) to be used for the purpose of correctly categorising sawn timber in the optimal mechanical strength category. This classification paves the way to the CE brand and to the European construction industry. Together with forest/sawn product traceability, the impact of silvicultural practices was also analysed and areas for improvement are suggested so as to make chestnut wood more competitive.