

## CARACTERISATION DU HETRE POUR UNE UTILISATION STRUCTURELLE REPOUNDANT AUX EXIGENCES DU MARQUAGE CE

Malgré une ressource française en hêtre disponible, force est de constater que les parts de marché du hêtre restent faibles bien que devenue compétitive à l'achat depuis la chute des prix de vente des bois suite à la tempête de 1999. Ces pertes de marché ont provoqué la fermeture de nombreuses scieries. Aujourd'hui, on redécouvre le potentiel du hêtre dans la construction, et plus particulièrement en structure, grâce à de nouveaux produits sous forme de bois reconstitués. Toutefois, la conception de structures, parfois très technique, exige un classement pour la résistance (bois massif et bois reconstitué) dans le cadre réglementaire du marquage CE. Les travaux menés durant l'étude de caractérisation du hêtre français ont permis de lever les freins réglementaires et normatifs en apportant les outils à même de mettre plus facilement sur le marché de la construction bois des produits hêtre (bois massif et bois reconstitué) à qualité identifiée et reconnue.

### Contexte

Troisième essence feuillue française en volume récolté annuellement, l'exploitation forestière Bois d'Oeuvre reste stable autour des 1 Mm<sup>3</sup> par an sur les 5,1 Mm<sup>3</sup> annuels (données EAB 2015). Malgré une ressource française de hêtre abondante (9% de la surface de la forêt française), force est de constater un déclin des volumes de hêtre sciés provoquant la fermeture de nombreuses scieries.

Les débouchés traditionnels (ameublement, escaliers etc, ...) se raréfient et, outre le développement de l'export (grumes et sciages), le marché de la construction pourrait constituer à l'avenir une alternative importante pour le hêtre, notamment sous la forme de produits reconstitués. De plus, l'essence est devenue compétitive à l'achat depuis la chute des prix de vente des bois suite à la tempête de 1999.

Quelques initiatives récentes ont d'ailleurs apporté la preuve de l'intérêt de cette essence dans la construction : bâtiment périscolaire de la commune de Tendon (88) en 2012 - 1<sup>er</sup> ERP en hêtre local, les « WOODIES » de Xertigny (88) sous la conduite de l'association « Terre de Hêtre » en 2014 (J.Brassy), bâtiment pilote innovant SAUER-PECHELBRONN (F.Bannier)...

L'analyse du retour d'expérience des différentes constructions montre la nécessité de travailler sur les processus de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> transformations et plus particulièrement le collage. Quelle que soit la solution technique retenue, le développement du hêtre dans les usages structurels nécessite comme préalable de le qualifier dans ce type d'emploi. Le classement structurel du hêtre par méthode visuelle a été établi par l'Allemagne en D40 ou D35 en 2013.

Cette démarche est indispensable pour positionner l'essence française en emploi structurel en tant que bois massif et/ou bois reconstitué, grâce au marquage CE obligatoire pour les sciages de structure depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2012.



Photo 1 : Bâtiment périscolaire de la commune de Tendon (88)  
Atelier d'architecture HAHA – C. Valentin, Architecte

C'est pourquoi FCBA s'est engagé fin 2011 dans une étude visant à qualifier le hêtre français, avec l'appui de financements de France Bois Forêt (FBF), du CODIFAB, de l'ONF (fourniture des arbres) et du ministère en charge de l'Agriculture et de la Forêt.

### Objectifs de l'étude

Les objectifs sont triples :

- ✓ Connaître les caractéristiques et les propriétés du bois de hêtre issu de forêts françaises représentatives de la sylviculture mise en place.
- ✓ Positionner cette essence en emploi structurel en tant que bois massif et bois « contrecollé » et répondre aux exigences du marquage CE par une mise en place de classement.
- ✓ Communiquer et vulgariser les résultats auprès des professionnels (utilisateurs, prescripteurs et fournisseurs) pour augmenter les parts de marché du hêtre en France.

## Principaux résultats

### ✓ Etat de l'art technique et marché du hêtre en construction

La recomposition par collage du hêtre est encore peu répandue en France et le domaine d'application des normes actuelles sur ce type de produit se concentre sur les essences résineuses.

Compte tenu de la différence de compétitivité entre les filières de transformation des résineux d'une part, et des feuillus d'autre part, il est illusoire de penser que le hêtre puisse rivaliser avec les résineux sur les produits basiques de la construction tels que les madriers ou les permettes. De plus, la masse volumique du hêtre reste un handicap certain quand il s'agit de manipuler les pièces de bois.

Quand on évoque les produits reconstitués, on pense bien sûr aux bois massifs reconstitués (BMR) ou aux bois lamellés collés (BLC). Ces produits sont aujourd'hui positionnés sur un marché très concurrentiel où les prix sont tirés vers le bas. Les produits de ce type en hêtre, plus chers, auraient cependant l'avantage d'une résistance mécanique bien plus élevée, ce qui permettrait d'en optimiser les sections ou de faire des portées plus importantes.

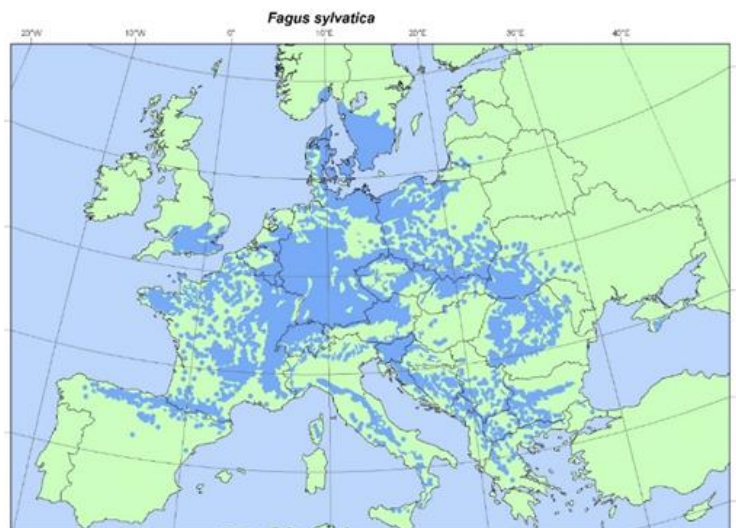
Une autre utilisation à envisager pour le hêtre serait les panneaux de bois à plis croisés (CLT Cross Laminated Timber), qui sont employés pour faire des murs massifs intérieurs ou extérieurs. Citons dans cette catégorie le CLT en hêtre caissonné de l'entreprise LINEAZEN (entreprise qui a fermé ses portes en juillet 2017, trois ans après son implantation), ou le Lamibois (LVL) de l'entreprise allemande POLLMEIER destiné à des emplois en structure comme le bâtiment de la plateforme technologique de Xertigny.

La démarche de caractérisation du hêtre s'inscrit donc dans une campagne nationale pour connaître les forces et les faiblesses de cette essence pour une utilisation structurelle (charpente, lamellé collé, procédés de transformation industrielle du bois massif BMR, etc., ...) et répondre au marquage CE, passeport obligatoire pour une commercialisation des produits de la construction.

### ✓ Protocole d'échantillonnage FRANCE et récolte des échantillons bois massifs

Le hêtre est une essence majeure des forêts européennes après les chênes sessiles et pédonculés. La simple observation de sa répartition (Carte 1) démontre sa capacité à se répandre et à supplanter ses concurrents de par sa vigueur et son couvert sombre [RDV ONF].

Alors que la forêt française est en très grande majorité privée (75 %), plus de la moitié des peuplements où le hêtre est prépondérant (746 000 ha, soit 57 %) sont en forêts publiques. Cette prédominance des forêts publiques est une particularité, car les autres grandes essences françaises, les chênes et les résineux (pin, sapin, épicéa), sont toujours plus représentés en forêts privées.



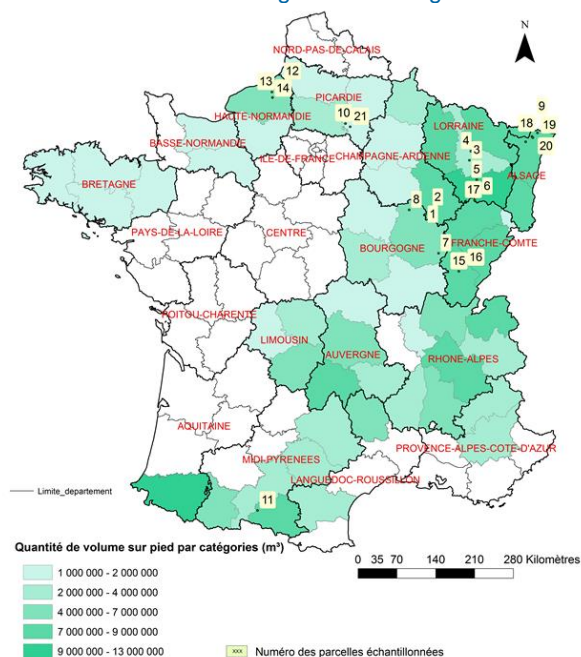
Carte 1 : Aire de répartition du hêtre [EUROFORGEN]

Représenter le hêtre français à partir de cette ressource nationale supposait de créer un protocole d'échantillonnage représentatif pour parvenir à un volume de sciage qui comprenne au moins 65% de la diversité du pays.

Huit régions administratives ont été identifiées à partir des chiffres AGRESTE comme susceptibles d'être sollicitées pour fournir un échantillon de grumes représentatif du massif français. Le plan d'échantillonnage national a été réalisé selon la distribution régionale suivante (Carte 2) :

Lorraine, Alsace	→ 4 parcelles par région
Franche Comté, Normandie	→ 3 parcelles par région
Picardie, Bourgogne, Champagne Ardenne	→ 2 parcelles par région
Midi Pyrénées	→ 1 parcelle

Tableau 1 : Echantillonnage national de grumes hêtre



Carte 2 : Etude Hêtre France : répartition des volumes sur pied par région – localisation des 21 parcelles échantillonnées

Quatre arbres sont nécessaires par placette pris de manière que les diamètres soient représentatifs de la placette. Les arbres sont choisis parmi ceux qui représentent le volume moyen de la placette. Un arbre supplémentaire a été sélectionné au cas où la grume fende lors de l'abattage.

Les grumes de 98 arbres ont été livrées chez les six scieurs régionaux partenaires pour le billonnage (218 billons), la mise à la longueur désirée et le sciage en avivés en trois sections.

Plus de 2300 avivés ont été réceptionnés par les laboratoires FCBA de Bordeaux entre juillet 2013 et septembre 2014 pour les mesures de singularités et les tests destructifs en flexion.

1872 planches ont été utilisées pour les analyses finales. Le différentiel est dû à des problèmes de déformation après séchage, de perte de traçabilité, et de rupture en dehors des appuis.



Photos 2 : Marquage des billons avant transformation en scierie

### ✓ Caractérisation des avivés pour une utilisation structurale (bois massif)

Pour les sciages utilisés en emplois travaillants pour lesquels les propriétés mécaniques sont importantes, il convient de trier les sciages selon un classement structurel. Celui-ci peut être fait par machine (norme NF EN 14081 1, 2 & 3) ou visuellement (normes NF EN 14081 1 et NF B 52-001- 1 ou 2 pour les bois français). Peu de scieries sont équipées de machines de classement. FCBA a mis au point une méthode de classement visuel spécifique aux essences françaises, basé sur les caractéristiques des sciages observés sur les faces ou les rives (NF B 52 001).

Imposé par le règlement européen « Produits de Construction » (norme NF EN 14081-1), ce classement doit, depuis le 1er janvier 2012, figurer sur chaque pièce de bois pour pouvoir circuler librement en Europe (un marquage par paquet est aussi possible si les sciages ont été analysés par méthode visuelle).

Le classement structure est une information indispensable pour le respect du dimensionnement des structures en bois massif selon la réglementation européenne récente de l'Eurocode 5. Pour le concepteur de charpente, la connaissance de cette classe lui permet d'estimer non seulement la résistance à la flexion des pièces de bois mais aussi les différentes propriétés mécaniques (déformation, cisaillement, portance, ...), nécessaires à ses calculs.

Les essais de flexion ont été conduits jusqu'à la rupture. L'utilisation des bois en construction impose une connaissance précise de :

- ✓ La masse volumique (adéquation de l'essence face à la portance des connecteurs),
- ✓ Du module d'élasticité (capacité d'une planche à ne pas dépasser une certaine flèche à l'Etat Limite de Service)
- ✓ La contrainte à la rupture (capacité d'une planche à résister à une charge lors de la vérification à l'Etat Limite Ultime).



Photo 3 : test de flexion sur une poutre hêtre (EN 408)

Une fois les deux ensembles de caractéristiques connus (mesure des singularités et comportement mécanique), il a été possible de faire le choix des seuils en adéquation avec la résistance.

Valeur moyenne	Hêtre
Coefficient de variation (CV%)	1872 sciages
Masse volumique à 12% d'humidité (kg/m <sup>3</sup> )	670 (+/-6%)
Projection du nœud maximum sur la face (%)	9.3 (+/-154 %)
Projection du nœud maximum sur la rive (%)	9.8 (+/-239 %)
Largeur de cernes annuels (mm)	2,5 (+/-31 %)
Module d'élasticité local (E <sub>ml</sub> ) à 12% (MPa)	14 100 (+/-20%)
Contrainte à la rupture (f <sub>m</sub> ) (MPa)	76,5 (+/-31%)

Tableau 2 : Caractéristiques physico-mécaniques des sciages de hêtre

Plusieurs scénarii de classement visuel ont été retenus avec les industriels (avril 2015) lors de cette étude pour obtenir des sciages selon les classes mécaniques D40 ou D35.

Dès lors, FCBA a été en mesure de proposer en mai 2015 une règle de classement du hêtre selon la norme de classement par méthode visuelle française (NF B 52 001-1 & 2) en classes de résistance selon la norme EN 338 :

- ✓ Combinaison 1
  - 60% du lot est assigné à la classe hêtre H1 – D40 et
  - 30% du lot est assigné à la classe hêtre H3 – D24
- ✓ Combinaison 2
  - 76% du lot est assigné à la classe hêtre H2 – D35 et
  - 18% du lot est assigné à la classe hêtre H4 – D18.

Vu les rendements, l'offre d'un classement pour la résistance par machine ne pourrait s'expliquer que pour obtenir des bois classés en D50 (47%).

Il n'y a pas de corrélation entre la qualité (A, B, C & D - EN 1316 partie 1) des grumes et les propriétés mécaniques des sciages qui en sont issus. De même, il n'est pas nécessaire de récolter les arbres au-delà de 120 ans pour avoir plus de planches D35. La présence de cœur rouge n'est pas préjudiciable sur la contrainte à la rupture. Statistiquement, le module d'élasticité des sciages diminue d'environ 12% lors d'un séchage traditionnel à contrario de l'étuvage.

Ce classement structurel ne doit pas être confondu avec le classement d'aspect (esthétique) selon la norme EN 975-1 bien que celle-ci se réfère à certaines caractéristiques similaires (nœuds, singularités...) auxquelles se rajoutent certaines autres singularités (largeur de cerne...).

Classe aspect (EN 975-1)	Classe de résistance mécanique (EN 338)
FF1	D35
FF2	D35
FF3	D24

Tableau 3 : Correspondance entre classes d'aspect et classe de performances mécaniques des sciages de hêtre

### ✓ Qualification physico mécanique du hêtre (bois sans défaut)

D'autres marchés (parquet, escalier, ...) de valorisation demandent la connaissance de propriétés physico-mécaniques pour assurer le bon choix de cette essence. C'est pourquoi, FCBA procède toujours à une étude de qualification physico-mécanique en parallèle des « campagnes bois français ».

Cette tâche nous a permis de déterminer avec les normes d'essais (série des normes françaises NF B 51-004 à NF B 51-018) en vigueur la qualité physico-mécanique du hêtre pour du bois sans défaut et de droit fil.

Les essais ont été réalisés sur une base minimale de 20 éprouvettes par sollicitation mécanique (flexion, traction, choc) issues de sciages prélevés dans les différentes régions pour englober la variabilité sylvicole de l'essence.

Sollicitation	Valeur moyenne	CV (%)	Caractéristique Mesurée
Compression axiale	57	13%	Contrainte à la rupture (MPa)
Flexion dynamique	7,1	27%	Résistance aux chocs (Nm/cm <sup>2</sup> )
Flexion axiale	110,9	13%	Contrainte à la rupture (MPa)
Flexion axiale	13,7	9%	Module d'élasticité (GPa)
Dureté Brinell (MPa)	28	13%	Perpendiculaire aux fibres
	56	16%	Parallèle aux fibres
Retrait	18,2%	9%	Retrait volumique total
	12,0%	12%	Retrait tangentiel
	7%	15%	Retrait radial

Tableau 4 : Qualification physico-mécanique du Hêtre (bois sans défaut)

Au vu des résultats, nous proposons une révision de certaines propriétés de la table Hêtre publiée dans «Le guide des essences de bois - 74 essences les choisir, les reconnaître, les utiliser » des Editions Eyrolles.

### ✓ Qualification du collage structurel du hêtre

Les essences feuillues n'apparaissent presque jamais dans un contexte bois-construction en raison de difficultés techniques qui leur sont propres et influencent toute la chaîne de valorisation, de l'exploitation forestière à la 2<sup>ème</sup> transformation. Pour permettre l'intégration des essences feuillues sur le marché de la construction, il est donc essentiel de caractériser des nouveaux produits à forte valeur ajoutée tels que le lamellé-collé (BLC) et le lamellé-collé à plis croisés (CLT).

La norme harmonisée pour le marquage CE du BLC (EN 14080 2005) offrait initialement la possibilité de produire des BLC à partir d'essences feuillues après caractérisation initiale des lamelles massives, des lamelles aboutées et des poutres BLC en pleine échelle. Toutefois, cette possibilité n'existe plus car le texte a été retiré faute de valeurs disponibles lors de la révision de la norme en 2013. La procédure d'avis technique national ou d'Evaluation Technique Européenne reste la seule voie de reconnaissance de ces produits par le marché, démarche à entreprendre pour chaque industriel.

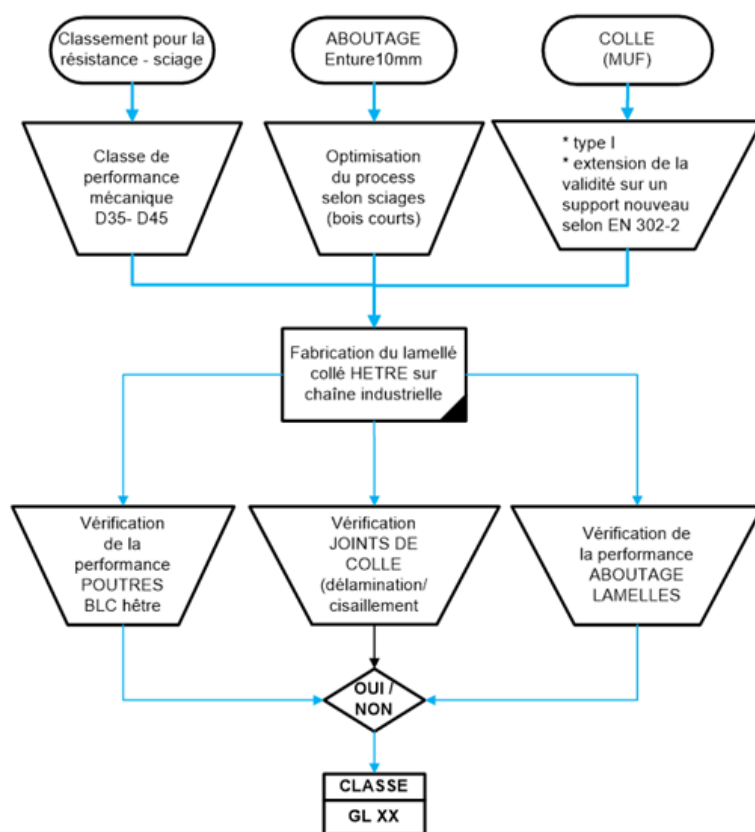


Figure 1 : Qualification du collage structurel du lamellé-collé hêtre réalisé dans le cadre de l'étude

La reconnaissance des classes « GL » a été actée par une démarche collective comme pour les produits reconstitués Chêne [FAYE 2017] et Châtaignier [LANVIN 2015].

Quelle que soit la solution technique retenue (sciage et/ou BMR-BLC), le développement du hêtre dans les usages structurels nécessitait comme préalable de qualifier l'essence dans ce type d'emploi structurel afin de répondre au marquage CE obligatoire pour les sciages de structure depuis le 1er janvier 2012. C'est maintenant chose faite, la norme NF B 52 001-1 & 2 a été publiée en 2016.

Le volet « Qualification du collage structural du hêtre », suite logique de la valorisation du hêtre dans la construction après la caractérisation des sciages, s'articule autour des phases suivantes :

- ✓ Phase I : Etude de faisabilité technique du produit BLC hêtre auprès des industriels de la filière
  - Utilisation des bois courts
  - Extension de la validation des adhésifs sur ce support.
- ✓ Phase II : Etude du process en laboratoire et sur chaîne de production industrielle
  - Réalisation de poutres lamellées-collées grâce aux moyens industriels des professionnels de la filière (chaîne d'aboutage – longueur aboutage 10 mm - lamellation)
    - 58 poutres BLC hêtre de 6m en deux sections (5 plis – 100\*100 mm<sup>2</sup>, 13 plis – 100\*260 mm)
- ✓ Phase III : Performance des poutres BLC Hêtre - exigences de la norme NF EN 14080 dédiée résineux :
  - Etude de type initial
    - Test de flexion sur poutre BLC,
    - Test d'aboutage,
    - Test de flexion des lamelles,
    - Tenue du joint de colles
  - Validation des seuils en vue d'une reconnaissance via la norme harmonisée EN 14080 même si elle n'est pas encore dévolue aux essences feuillues.



Photo 4 : Poutre BLC hêtre en flexion. La position des aboutages (point faible des poutres) a été identifiée sur les lamelles les plus mécaniquement sollicitées

D'ores et déjà, nous pouvons valider la classe de résistance GL30h (à partir de sciage D35 et mieux) de la norme NF EN 14080 (résineux) à partir des résultats expérimentaux obtenus lors de cette première campagne de caractérisation des produits reconstitués BLC hêtre France 2016 à partir des sciages bois courts (> 500 mm) et pour des épaisseurs de lamelles de 24 mm.

Propriétés	Symbole	Résineux GL30h	Résineux GL32h	HETRE BLC
Résistance à la flexion (MPa)				
Axiale	$f_{m,g,0,5}$	30	32	30,3
Résistance à la compression (MPa)				
Axiale	$f_{c,0,g,k}$	30	32	49,7
Transverse	$f_{c,90,g,k}$	2,5		8,6
Module d'élasticité (MPa)				
Axiale	$E_{0,g,moyen}$	13600	14200	14230
	$E_{0,g,05}$	11300	11800	12590
Transverse	$E_{90,g,moyen}$	300		420
	$E_{90,g,05}$	250		355
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )				
	$\rho_{g,k}$	430	440	660
	$\rho_{g,moyen}$	480	500	680

Tableau 5 : Caractéristiques de résistance, de rigidité et masses volumiques pour le bois lamellé-collé homogène hêtre et résineux

Toutefois, on peut penser que la performance observée dans ce cas précis de lamellé-collé n'est pas à la hauteur de ce qu'elle pourrait être compte tenu des caractéristiques de base du hêtre. D'autres classes « GL » sont certainement possibles à partir du hêtre français.

Un travail sur la longueur de l'enture (longueur ≥ 15 mm – [FRANKE]) avec les mêmes hypothèses de lamellation serait à faire pour valider au mieux une classe GL36 [TRAN] à partir de planches classées D35.

Lors de cette première campagne de fabrication industrielle de poutres hêtre lamellées-collées, nous avons pu recenser les opérations et quantifier un coût moyen de production aux alentours de 1575 €/m<sup>3</sup> sur la base tarifaire des opérations conduites au sein du projet hêtre FCBA-FBF.

Les rendements matière moyens obtenus au fil des opérations restent comparables à ceux mesurés par RESSEL qui intègre dans son calcul, une mesure plus fine des volumes lors du suivi de production. RESSEL estime le coût BLC hêtre aux alentours de 1455 €/m<sup>3</sup> (1275 - 1600 €/m<sup>3</sup>).

Un prix de BLC feuillu hêtre à moins de 750 €/m<sup>3</sup> semble atteignable par l'utilisation de sous-produits en reprise de délignage et rabotage avant lamellation. Une utilisation « standard » de ces produits en construction permettrait une industrialisation du procédé entraînant une baisse des prix.

## Perspectives

Les différents travaux d'étude menés dans ce projet ont apporté des éléments incontestables et essentiels sur les caractéristiques physiques et mécaniques du hêtre français.

L'ensemble des informations collectées va permettre au processus de transformation industrielle d'évoluer vers de nouvelles solutions de valorisation du hêtre dans le domaine constructif.

Les sciages de hêtre classés suivant les règles définies dans la norme de classement visuelle française (NF B 52 001-1 mai 2016) peuvent être assignés à une classe mécanique D40 ou D35 (EN 338). Cette reconnaissance du hêtre français en emploi structural a été également validée en mars 2016 pour la prochaine révision de la norme EN 1912.

Pour développer l'utilisation du hêtre sur le marché du lamellé-collé, la chaîne de valeur devra être largement optimisée. Les produits lamellés-collés en hêtre, plus chers, auraient cependant l'avantage d'une résistance mécanique bien plus élevée, ce qui permettrait d'en optimiser les sections et de faire des portées plus importantes. L'idée serait de positionner le hêtre vers des poutres BLC GL36 et mieux.

## Pour en savoir plus

- ✓ Article FCBA INFO 2015\_42\_Florence Bannier « [Bat'innovant : un bâtiment en hêtre et pin sylvestre](#) »
- ✓ Article FCBA INFO 2016\_3\_Julien Brassy « [Accompagnement dans le cadre d'un concours d'architecture pour l'intégration du hêtre en construction](#) »

## Bibliographie

- ✓ Faye C; Legrand G ; Reuling D; Lanvin JD "Experimental investigations on the mechanical behaviour of glued laminated beams made of oak" International Network on Timber Engineering Research INTER 2017
- ✓ Franke Bettina, Schusser Anna, Müller Andreas "Analysis of finger joints from beech wood" Pro-ceeding of WCTE 2014 Quebec, Canada, 10-14th of August 2014
- ✓ Lanvin JD, Legrand G, Simon F, Prince C, Lemaire J "Strength Assessment and Potential for Use as Glulam of French Chestnut Lumber" 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing QUEBEC Sept. 15-17, 2015.
- ✓ Les Rendez-vous techniques de l'ONF « Gestion des hêtraies dans les forêts publiques françaises » hors-série n° 2 Publié en septembre 2007 - 112 pages
- ✓ Ressel JB "High Quality Beech Glulam Production – Properties – Limitations – Prospects" COST Action E44 Wood Processing Strategy, 14-15 June of 2005
- ✓ Tran V décembre 2014 « Caractérisation et modélisation numérique des poutres en Bois Massif Reconstitué (BMR) réalisées avec une essence locale feuillue » Thèse de l'Université de Lorraine « Sciences du bois et des fibres »

## Etude réalisée en partenariat avec :

Délégations Régionales ONF, Experts forestiers,

Scierie Vicente, Scierie et Caisserie de Steinbourg, Exploitation Forestière et Scierie MAUTÉ SA, Les avivés de l'Est SAS, Scierie Audoubert, Manubois Groupe Lefebvre.

Innodura, Microtec, Xyloclass, Brockhuis,

Etablissement Simonin, AKZO NOBEL, DYNEA, TUERMERLEIM

## Avec le soutien financier de :

**CODIFAB**  
comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois



## Contacts

Jean-Denis LANVIN

• [jean-denis.lanvin@fcba.fr](mailto:jean-denis.lanvin@fcba.fr)

Tél. 05 56 43 63 47

Didier REULING ●

Guillaume LEGRAND ●



Pôle 1<sup>ère</sup> Transformation-Approvisionnement

CIAT 1ERE TRANSFORMATION PTA

Allée de Boutaut – BP 227

33028 Bordeaux Cedex