



## LES PROJETS DE VALORISATION DES FEUILLUS PAR FCBA

La France possède la première forêt feuillue d'Europe, en surface comme en nombre d'essences susceptibles d'être valorisées. Mais ce patrimoine est insuffisamment mis en valeur : alors que les feuillus représentent 71% de la surface forestière, ils comptent pour 27% dans la récolte de grumes de bois d'œuvre et pour 18% dans la production de sciages<sup>1</sup>.

Les marchés traditionnels des feuillus ont beaucoup régressé depuis 30 ans compte tenu de la montée en puissance de matériaux concurrents : PVC pour les menuiseries extérieures, panneaux de bois reconstitué pour les meubles, béton pour les traverses. Les grumes et les sciages partent à l'exportation et sont de moins en moins transformés ou utilisés en France, et les qualités secondaires ont de plus en plus de mal à être valorisées.

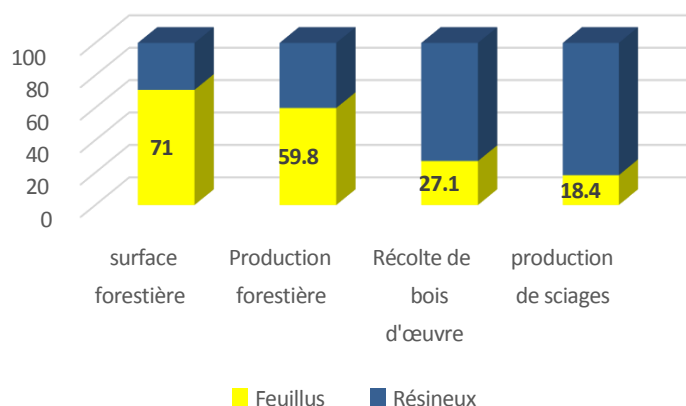
### Contexte

Le marché de la construction est le principal consommateur de bois, mais la part de marché du bois en France est inférieure à celle d'autres pays européens. Les campagnes de promotion en faveur du bois, le soutien des pouvoirs publics au développement du bois construction et un intérêt marqué des collectivités pour utiliser le bois local devraient servir les intérêts du matériau bois en général et des bois feuillus en particulier.

Cependant, les essences feuillues sont peu utilisées dans la construction en dépit de l'importance de la ressource dans des pays tels que la France, l'Allemagne ou l'Autriche. Il faut en chercher la raison dans les lacunes importantes concernant leur évaluation mécanique, leur intégration dans les processus de transformation courants, l'évaluation des produits reconstitués à partir de ces essences, et leur reconnaissance par le marché.

A l'issue du rapport « perspectives de valorisation du bois d'œuvre feuillu » publié par FCBA au début de l'année 2012, France Bois Forêt, le CODIFAB et le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF) ont décidé de financer un ensemble de projets techniques destinés à développer l'usage des feuillus dans la construction.

Partant du constat que les feuillus étaient très peu pris en compte dans les normes liées à la construction, la plupart de ces projets avaient pour ambition de positionner les principaux feuillus des forêts françaises en termes de récolte de bois (chêne(s), hêtre, châtaignier, peuplier(s), frêne) dans ces normes.



Graphique 1 : Principales données sur les feuillus et les résineux en France (IFN, EAB 2015)

### La qualification du hêtre pour un usage en structure

La mise en adéquation des données mécaniques avec les caractéristiques physiques a permis à FCBA de proposer une règle de caractérisation du hêtre par méthode visuelle. 4 classes visuelles ont été assignées à des classes mécaniques validées au niveau France (NF B 52 001-1) et Union Européenne (en vue d'une publication au sein de la norme EN1912 courant 2017).

<sup>1</sup> Données 2015 – enquête annuelle de branche du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

Table NF B 52-001-1	Classes visuelles	Classes mécaniques EN 338
1	H1	D40
	H3	D24
2	H2	D35
	H4	D18

Tableau 1 : Résultats du classement visuel pour le hêtre

Pour valoriser les essences feuillues sur le marché de la construction, il est essentiel de créer des produits à haute valeur ajoutée et préparer le cadre « réglementaire » qui permettra de les accueillir sur le marché. Pour cela, le projet Hêtre insiste sur les phases de classement des bois et d'évaluation de produits reconstitués (bois lamellé collé). En partenariat avec trois scieurs français, des poutres lamellée-collées ont été réalisés à partir d'avivés (épaisseur des lamelles < 27 mm) de hêtre classés D35 sous forme bois court sur une chaîne industrielle dédiée résineux. Une étape préalable a permis d'étendre la validation des colles structurelles pour le hêtre au niveau du laboratoire FCBA – collage.

Les premiers résultats ont permis d'assigner au hêtre lamellé collé, une classe mécanique GL 30. Il est couramment admis que les bois massifs résineux classés respectivement C24 ou C30 permettent d'obtenir une classe GL24 ou GL28. Les produits de ce type en hêtre, plus chers et plus lourds, auraient cependant l'avantage d'une résistance mécanique équivalente en utilisant moins de volume de bois (passage de GL24 résineux en GL30 hêtre → réduction au minimum de 10% des sections).

## La qualification du châtaignier pour un usage en structure

Le profil de résistance du châtaignier et la relation qu'il existe entre les propriétés physiques et mécaniques ont milité en faveur d'un rattachement de ses performances à une classe de type « C » comme pour le peuplier plutôt qu'à classe « D ». Cette classe « C » normalement réservée aux résineux pourra être utilisée comme référence pour le châtaignier quand la nouvelle norme EN338 (norme définissant les classes de résistances pour le bois de structure) sortira courant 2016.

Le classement par critères visuels permet d'identifier deux classes de performance mécanique. Cependant la classe visuelle équivalente à C24 est sous représentée par rapport au potentiel mécanique après casse des pièces.

Classes	Nombre de pièces	Rendement visuel
ST II (Eq C24)	1341	65 %
ST III (Eq C18)	560	27 %
Hors classe	157	8 %

Tableau 2 : Résultats du classement visuel pour le châtaignier

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 et le module d'élasticité sont faibles et plus la planche est déclassée. La nodosité maximale peu importante sur cette essence n'est pas un critère suffisant à lui seul pour identifier le potentiel mécanique du châtaignier. Les machines de classement devraient permettre des classes plus optimisées - notamment avec la classe C30 - par rapport au potentiel mécanique de l'essence.

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

Classes	fm (MPa)	Eml (MPa)	ρ (kg/m³)	Nombre de pièces	Rendement machine
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%

Tableau 3 : Résultats du classement machine pour le châtaignier (bois sec)

Les fabricants de matériels de classement BROOKHUIS, MICROTEC et XYLOMECA peuvent d'ores et déjà proposer des réglages adaptés pour classer mécaniquement le châtaignier français et ainsi aboutir au marquage CE.

Les règles de tri par méthode visuelle du hêtre et du châtaignier français ont été validées en 2015 et l'amendement A3 de la norme NF B 52-001 a été publié au 31 mai 2016. Ainsi, les essences feuillues issues des forêts françaises sont aptes à être utilisées en construction (sciage – bois massif).

Les travaux menés par FCBA sur les BLC de hêtre, chêne et châtaignier ont pour but de valider le potentiel des essences feuillues françaises à usage BLC à travers un marquage CE (proposition d'une norme harmonisée feuillues au sein du CEN TC124 / WG3 avec le SNCBLC). Ces démarches vont permettre la mise sur le marché des produits BLC à base de feuillues français.

## La qualification des bois feuillues modifiés thermiquement

Le marché des bois traités à haute température (THT) se développe en usage extérieur (bardage, platelage) compte tenu de leur durabilité conférée. Ils sont également recherchés pour leur coloration en usage intérieur (parquet). A ce jour, ces produits sont considérés comme non traditionnels et innovants. Qui plus est, il existe plusieurs technologies distinctes en France notamment, qui ont toutes leurs spécificités ; ce qui aboutit à des produits différents.

L'étude a été menée sur le hêtre, le chêne, le frêne et plusieurs clones de peuplier (I214, Goy et Beaupré) et pour des usages en platelage (sauf peuplier) et bardage. Le hêtre a servi de témoin pour évaluer et comparer l'efficacité des différents process de traitement.

Les résultats suivants ont été mis en évidence par l'étude :

- ✓ deux couples (essence x process), un avec le hêtre, l'autre avec le chêne, ont permis d'atteindre la classe d'emploi 4 pour une utilisation en platelage.
- ✓ six couples (essence x process) ont permis d'atteindre la classe d'emploi 3 préconisée pour un emploi en bardage.
- ✓ le traitement thermique a des incidences non négligeables sur les caractéristiques des bois traités :
- ✓ Impact limité/négligeable sur le module d'élasticité E,
- ✓ Chute limitée/faible de la masse volumique,
- ✓ Forte augmentation de la variabilité et une dégradation notable de la résistance en flexion.

L'étude a mis en évidence que les caractéristiques des bois THT pouvaient être très différentes d'un process de traitement à l'autre, et d'une qualité de bois à l'autre (aubier de chêne, cœur rouge du hêtre). Pour autant, elle a démontré la répétabilité des traitements THT sur les trois types de procédés testés et quelle que soit l'essence. En parallèle, l'évaluation des caractéristiques mécaniques et d'aptitude à l'usage a conduit à proposer des prescriptions de conception et de mise en œuvre adaptées pour les platelages et bardages en bois THT feuillus.

Enfin, l'étude a identifié des essais et paramètres d'autocontrôle (ainsi que les valeurs spécifiques associées aux couples essences x process testés positivement), permettant de s'assurer dans le temps de la constance de la fabrication des produits THT, tant au niveau de la durabilité que de la résistance mécanique.

Ces éléments pourraient servir à une certification des bois THT feuillus, dont les principes de base ont été proposés à la Fédération Nationale du Bois, permettant ainsi de rassurer les consommateurs sur la qualité des produits.

## Le traitement des tannins du chêne et du châtaignier

Le chêne et le châtaignier sont des essences feuillues riches en tannins qui contribuent à leur durabilité. Mais ceux-ci au contact de l'eau peuvent migrer à la surface du bois et créer des taches brunâtres à noirâtres qui déprécient l'esthétique du matériau. En cas de fortes humidités, les tannins peuvent migrer à travers la finition et la tacher à son tour. Pour éviter ce problème, certains fabricants de finition ont développé des bloqueurs de tannins.

Cependant aujourd'hui aucune méthode normalisée n'existe pour tester l'efficacité de ces bloqueurs de tannins et finitions associés. Il est donc très difficile de se faire une idée objective de l'efficacité des produits existants sur le marché, de les comparer entre eux et d'aider à l'amélioration de ces formulations.

Le projet a débuté par une phase exploratoire permettant d'évaluer différentes méthodes quant à leur aptitude à faire remonter les tannins en surface du bois. La méthode d'exposition à de la condensation d'eau est la plus intéressante : elle est rapide, et relativement facile à mettre en œuvre. La méthode par immersion est complémentaire : elle permet de donner des informations sur les quantités de tannins relargués (via la coloration des jus récoltés) et sur l'aspect de la surface testée après essai.

La performance de neuf produits du marché vendus comme bloqueurs de tannins ou assimilés a été étudiée sur échantillons de chêne et de châtaignier. Les propriétés barrière à l'eau liquide des produits ont été évaluées à travers le test de perméabilité à l'eau liquide (NF EN 927-5).

Les résultats ont montré qu'une faible absorption d'eau des bloqueurs était indicatrice de bonnes propriétés barrière vis-à-vis des remontées de tannins. Il est donc préconisé d'utiliser des bloqueurs ayant au minimum une classe 2 d'efficacité hydrofuge. Plus la classe d'efficacité hydrofuge est élevée meilleur sera l'effet barrière à l'eau du bloqueur.

Les bloqueurs de tannins du marché étant destinés à être revêtus de finition, leur résistance aux intempéries a été étudiée en association avec deux finitions en phase aqueuse, l'une transparente et l'autre opaque. D'une manière générale, les systèmes opaques (bloqueurs blancs revêtus de finition

blanche) ont présenté un aspect général après vieillissement satisfaisant.

L'étude de l'influence du lessivage des tannins sur la durabilité naturelle du chêne et du châtaignier a montré que la durabilité naturelle obtenue après délavage du bois (dans les conditions testées) reste inchangée pour le chêne et le châtaignier, même si une variabilité des données est observée. Ainsi, la part des tannins non délavée semble encore protéger le chêne et le châtaignier.

Le nettoyage de surfaces tachées par des tannins a été testé avec différents produits. Pour des surfaces peintes en blanc, l'eau de Javel permet d'atténuer les taches et dans certains cas de retrouver la coloration initiale. En revanche, pour des surfaces recouvertes avec un bloqueur transparent, aucune des solutions testées n'a permis d'éliminer ni même d'atténuer les taches présentes.

Pour les taches visibles sur du bois brut, l'acide oxalique et l'oxone® semblent être les solutions de nettoyage les plus efficaces.



Photo 1 : Mise au point de la méthode de migration des tannins : pré-test d'immersion de chêne revêtu de diverses peintures

## Le classement mécanique du peuplier et son utilisation dans des produits reconstitués

Le peuplier constitue la troisième essence feuillue française en termes de volume récolté. Il faut en réalité parler « des peupliers » car il existe un grand nombre de cultivars introduits sur le marché. Ceux-ci ont été sélectionnés selon des critères sylvicoles (vitesse de croissance, résistance aux attaques phytosanitaires) sans considération sur la qualité des bois obtenus et leur utilisation.

A l'initiative du CNP (Conseil National du Peuplier), FCBA a réalisé deux référentiels de qualité, l'un en 2009, l'autre en 2012, portant respectivement sur 10 et 13 cultivars différents. Ces référentiels présentent les qualités intrinsèques des différents cultivars : caractéristiques du bois, caractéristiques mécaniques des sciages, aptitude au séchage et au déroulage, qualité papetière de la fibre ainsi que leur possibilité d'usage dans les principaux marchés : construction (structure), emballage, panneaux, pâte à papier. Ces deux référentiels ont mis en évidence qu'il y avait des différences notables entre les cultivars, notamment en ce qui concerne la résistance mécanique, certains étant déconseillés pour un emploi en structure. Pour les cultivars ayant de bonnes caractéristiques en usage structurel, FCBA travaillera en 2017 et 2018 sur le classement mécanique des sciages et l'étude des propriétés des produits reconstitués (BLC, CLT, dans le cadre d'un projet financé par France Bois Forêt et plusieurs régions.



## EU HARDWOODS

La valorisation des feuillus est une question essentielle pour la filière forêt bois française, elle l'est aussi pour d'autres pays européens. Une stratégie européenne serait à mettre en place permettant de mutualiser les moyens et les connaissances. Le projet EU-HARDWOOD est le précurseur de cette coopération à l'échelle européenne.

L'objectif principal de ce projet était de collecter et compléter au niveau européen les connaissances existantes sur les essences feuillues, d'en assurer la reconnaissance au regard des exigences du domaine de la construction, mais aussi de créer des produits à haute valeur ajoutée et préparer le cadre réglementaire et/ou normatif qui permettra de les accueillir sur le marché. Pour cela, le projet EU-HARDWOOD a étudié toutes les phases de la chaîne de valorisation : approvisionnement, classement pour la résistance, reconstitution par collage de produits à haute valeur ajoutée

Le partenariat mis en place pour conduire ce projet a réuni des pays parmi les plus impliqués dans la valorisation des essences feuillues en Europe : l'Autriche (coordinateur), l'Allemagne, la France (où se trouvent les plus gros volumes de bois sur pied) et la Slovénie. Les partenaires français sont l'Institut Technologique FCBA et le fabricant de structures en bois lamellé collé SIMONIN, avec le support de l'ADEME, du Ministère de l'Agriculture, du CODIFAB et de France Bois Forêt.

### ✓ Inventaire des ressources

Un inventaire de la ressource européenne et ses perspectives d'évolution selon différents scénarii a été réalisé. L'objectif est de définir le potentiel de différentes essences : chêne, hêtre, châtaignier, frêne. Ces essences connaissent actuellement un développement croissant du stock de bois sur pied, à l'exception du frêne touché par la chalarose qui provoque son dépérissement. En ce qui concerne les perspectives d'évolution, on peut s'attendre à des volumes de bois récoltables annuellement constants et même croissants pour le chêne et le hêtre au cours des prochaines décennies.

### ✓ Classement selon la résistance

Un inventaire des essences actuellement classées a été réalisé, permettant l'identification d'éventuelles lacunes. Les principales essences feuillues présentes en Europe peuvent être classées visuellement en utilisant des règles de classement nationales. La norme EN 1912 permet de corréler les classements nationaux aux classes de résistance mécaniques européennes : classes « D ».

Le hêtre (Allemagne, France), le chêne (Allemagne, France), le châtaignier (Italie, Espagne, France) ainsi que le frêne (Allemagne) peuvent d'ores et déjà être affectés à des classes de résistance mécanique pouvant être très élevées (> D40). Pour toutes les autres essences et/ou origines, les corrélations entre classement visuel national et classe mécanique européennes n'ont pu être établies du fait d'un manque d'études ou de données disponibles.

Outre le classement visuel, le classement mécanique serait une autre option pour allouer des classes de résistances aux essences feuillues. Il présente l'avantage de la vitesse et de la répétabilité, avec une amélioration notable des rendements. Cependant, jusqu'à présent, ce classement mécanique n'a pu être établi. Pour les bois feuillus, la pente de fil en particulier a un fort impact sur la résistance.

Un modèle de prédiction devrait inclure cette caractéristique, et une machine de classement devrait être capable de l'évaluer. Les machines de classement basées sur la transmission par micro-ondes ont le potentiel de classer les bois feuillus car il est possible d'évaluer la masse volumique, la teneur en humidité et la pente de fil en un seul passage. Les tests d'orientation réalisés au HFA montrent ce potentiel.

### ✓ Production et évaluation de produits reconstitués à haute valeur ajoutée tels que les bois lamellés collés et les bois lamellés croisés

Pour valoriser les atouts esthétiques et mécaniques des essences feuillues sur le marché de la construction, et tenir compte des coûts d'approvisionnement et de transformation plus élevés comparativement aux essences résineuses, il est essentiel de créer des produits à haute valeur ajoutée tels que les bois lamellés collés (BLC) et les bois lamellés croisés (CLT).

Un nouveau type de CLT hybride résineux (épicéa) / feuillu (hêtre) a été mis au point dans le cadre de cette étude. Les CLT soumis à des chargements hors plan (application plancher) subissent des contraintes de flexion pouvant conduire à des ruptures en traction de la couche inférieure, en cisaillement roulant dans une couche, et/ou en cisaillement entre deux couches.

La capacité de chargement du CLT peut être accrue de façon significative par l'utilisation de couches d'essences feuillues dont la résistance et la rigidité sont souvent supérieures à celles des essences résineuses. Pour les sollicitations dans le plan (application mur), la plus forte rigidité des CLT hybrides permettra d'accroître la stabilité des parois minces sous charges verticales, par exemple dans le cas de bâtiments de grande hauteur. La résistance au cisaillement roulant ( $f_{v,r}$ ) d'un tel CLT pourrait atteindre 3 fois celle d'un CLT homogène d'épicéa. La rigidité ( $G_r$ ,  $\epsilon_0$ ) pourrait être multipliée par un facteur 5, voir plus... Pour valoriser cette innovation, un *European Assessment Document* (EAD) est en préparation avec l'entreprise Holz Schiller. Cette procédure concerne l'évaluation de la performance d'un produit de construction non traditionnel, donc non couvert par une norme harmonisée, par rapport à ses caractéristiques essentielles.

### ✓ Evaluation technico-économique de la production de BLC de chêne français

A l'occasion de ce projet, FCBA et ses partenaires ont quant à eux posé un regard technico-économique et organisationnel sur les ambitions de création de BLC homogène et panaché (mix de qualités) en chêne issu de la ressource française. Deux scénarii de valorisation impliquant des degrés de changement différents ont été éprouvés :

1. Production de BLC à partir d'avivés traditionnellement proposés par les scieries de chêne, impliquant un degré de changement faible
2. Production de BLC à partir d'avivés issus de grumes sélectionnées, impliquant un degré de changement fort

D'un point de vue organisationnel, l'étude du 1<sup>er</sup> scénario fait apparaître des pistes d'amélioration pour la mise en place progressive d'une chaîne d'approvisionnement en lamelles de chêne à destination de la production de BLC entre la scierie et le lamelliste.

L'objectif du second scenario était double :

- ✓ Mettre en place une chaîne de valorisation de grumes spécifiquement sélectionnées depuis la forêt jusqu'à la 2<sup>nd</sup>e transformation, pour tirer parti des propriétés mécaniques élevées des arbres jeunes, le plus souvent issus d'éclaircies, de la chênaie française (Etude Chêne, JD. Lanvin et D. Reuling, FCBA – FR, 2009)
- ✓ Produire des BLC homogènes et panachés afin de valoriser toutes les qualités issues de telles grumes, et en particulier les avivés présentant des singularités.

Les résultats démontrent que du BLC extrêmement performant peut-être produit à partir de chêne français, un approvisionnement ciblé et des compositions panachées méritant d'être considérés en vue d'une meilleure valorisation du potentiel mécanique de cette essence et des différentes qualités.

Néanmoins, les relations client – fournisseur entre le lamelliste et le scieur pourraient encore être améliorées sous certaines conditions :

- ✓ Délai de livraison plus long et visibilité sur l'année pour le scieur
- ✓ Classement selon la résistance (méthode visuelle) par le scieur
- ✓ Acceptation de différentes qualités et longueurs par le lamelliste



Photo 2 : Test de résistance mécanique sur une poutre BLC de chêne

### ✓ Développement d'un modèle de prédiction des propriétés mécaniques des BLC feuillus

Tout au long de l'étude, le « classement » des BLC de chêne a été établi par rapport aux classes existantes pour les BLC de résineux définis par la norme EN 14080. L'objectif est désormais de proposer des classes optimisées, voire de nouvelles classes pour les BLC de feuillus dont les propriétés mécaniques peuvent considérablement différer (optimisation par rapport au module d'élasticité par exemple). Les expérimentations conduites contribueront à élaborer un modèle de prédiction des propriétés mécaniques des BLC de feuillus à partir des propriétés mécaniques des lamelles unitaires.

La norme EN 14080 inclut en effet un modèle de résistance en flexion des BLC de résineux basé sur les propriétés mécaniques, résistance à la traction et à la flexion, des lamelles unitaires

massives et aboutées. Étant donné que les propriétés des essences feuillues diffèrent de celles des essences résineuses à bien des égards, il n'est pas possible d'appliquer directement ce modèle au BLC de feuillus. Par conséquent, les BLC de feuillus sont actuellement mis sur le marché sur la base d'Avis Techniques nationaux et d'Évaluations Techniques Européennes basés sur des campagnes expérimentales lourdes qui représentent un frein au développement de ces nouveaux produits.

Il est donc essentiel d'élaborer un modèle numérique applicable au BLC de feuillus. Ce modèle, en cours d'élaboration par le MPA Stuttgart (DE), s'appuie sur des techniques de modélisation plus avancées ainsi que des critères de rupture, comme l'utilisation de la méthode des éléments finis étendus en conjonction avec les énergies de rupture, et une gamme plus large de variables stochastiques prises en compte pour obtenir de meilleures corrélations entre les simulations et les données expérimentales fournies par FCBA.

Par ailleurs, France Bois Forêt finance en 2018 et 2019 un projet FCBA qui consiste à rédiger une version initiale d'une future norme pour les bois lamellé collé en feuillus, pour soumission au groupe de normalisation CEN TC124 / WG3 en charge des produits bois collés.

## Perspectives

Il s'agira dans un proche avenir de poursuivre les efforts sur le développement du classement visuel et machine des feuillus selon la résistance, et de travailler sur le développement de modèles numériques de prédiction des propriétés mécaniques des BLC feuillus homogènes et panachés (mix de qualités), et CLT homogènes et hybrides (mix d'essences). Au-delà des aspects purement techniques, il sera également nécessaire de conduire des études de marchés et de coûts afin que les feuillus trouvent leur place au côté des résineux dans le domaine de la construction, de travailler sur la mise en place progressive de chaînes d'approvisionnement à destination de la production de BLC et CLT entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>nd</sup>e transformation, voire depuis la forêt, avec un accompagnement des entreprises dans la conduite du changement.

Quelques partenaires et financeurs...



## Contact

André RICHTER ● [andre.richter@fcba.fr](mailto:andre.richter@fcba.fr)  
Tél. 01 72 84 96 70



Direction Générale  
Direction des Programmes  
10 rue Galilée, 77420 Champs-sur-Marne