

Valorisation des chênes de qualité secondaire en Bourgogne dans la construction

Nutzung im Bau von Eichenholz zweitrangiger Qualität
im Bauwesen

Laurent Bleron
Atrs et Métiers ParisTech Cluny
FR-Cluny



Valorisation des chênes de qualité secondaire en Bourgogne dans la construction

1. Introduction

En France, l'idée de rechercher des solutions de valorisation pour les feuillus de qualité secondaire n'est pas nouvelle. Cependant elle est aujourd'hui relancée par les objectifs d'augmentation de la récolte forestière fixés par le Grenelle de l'environnement (20 millions de m³/an supplémentaires à l'horizon 2020) qui ne pourront être atteints sans trouver de nouveaux débouchés pour les bois d'œuvre feuillus. Dans ce sens le Ministère de l'Agriculture a confié récemment à l'institut technologique FCBA une mission de réflexion sur les perspectives de valorisation du bois d'œuvre feuillu.

Le Conseil Régional de Bourgogne a fait du développement des usages du bois une des priorités de sa politique forêt-bois. A ce titre, la ressource bourguignonne en chênes de qualités secondaires, que l'on peut estimer à 50 millions de mètres cubes sur pied (sur 74 millions de m³ au total dont 8 millions de m³ dans les premières qualités) et qui est actuellement peu et mal valorisée, constitue un gisement considérable qui pourrait être mobilisé pour la construction de bâtiments à Hautes Qualités Environnementales et à Hautes Performances Energétiques. L'objectif est de valoriser une plus grande part de cette ressource en bois d'œuvre, car bien que la filière bois énergie représente un marché de plus en plus porteur, elle ne permet pas une rémunération encore suffisante pour inciter les propriétaires forestiers à exploiter leurs bois.

L'Association pour la Promotion des Emplois du Chêne Français (APECF) a souhaité tester cette hypothèse en Bourgogne à travers une pré-étude, visant à montrer aux professionnels de la filière, qu'une rentabilité économique existe pour des projets de valorisation de cette ressource forestière abondante et sous exploitée, avec pour objectif à moyen terme de susciter l'implantation d'unités industrielles valorisant les chênes de qualité secondaire.

2. La ressource en chêne de qualité secondaire

2.1. Définition des qualités à valoriser

Rappels sur le classement professionnel du chêne en quatre catégories (Fig. 1) :



Figure 1: Désignation des différentes qualités

Chaque chêne possède une proportion variable des différentes qualités. Les chênes qui possèdent une partie de leur volume en qualité A ou B ne posent pas de problème de valorisation, contrairement à ceux qui ne possèdent ni de qualité A, ni de B ; que nous appellerons chênes de « qualité secondaire ». Il s'agit de bois de faibles diamètres présentant une forte proportion d'aubier, ou de moyens et gros diamètres de mauvaise conformité dimensionnelle ou à forte nodosité.

2.2. Données d'inventaire

A partir des données « arbres » des cinq dernières campagnes de l'IFN, on peut évaluer qu'en Bourgogne la ressource en chênes de qualité secondaire est de 50 millions de m³ sur pied, elle représente environ les deux tiers du volume de bois de chêne que possède la région (74 millions de m³). Les chênes de qualité représentent 13% des tiges et 24% de la ressource en volume (environ 18 millions de m³). Néanmoins le volume de qualité A ou B ne représente que 8% de la ressource soit 6 millions de m³.

Les chênes sans qualité (arbres sans qualités C et D, avec pour seul débouché le bois énergie) représentent 30% des tiges et 4% de la ressource en volume. Les chênes de qualité secondaire représentent 57% des tiges et 71% du volume. Ces arbres se trouvent principalement :

- dans les jeunes futaies régulières en attente d'éclaircie, le gisement qui semble le plus important,
- dans des peuplements pauvres ou appauvris : la valorisation de ces bois peut permettre de financer leur exploitation,
- dans les peuplements en cours de conversion et en attente d'éclaircies un peu rémunératrices.

Ces données confirment que la région Bourgogne dispose d'un potentiel de ressource forestière très important en chênes de qualité secondaire. Cependant des études plus précises, relatives aux capacités d'approvisionnement d'unités de transformation, devront être réalisées lorsque les besoins de projets de valorisation seront bien définis.

3. Caractérisation de sciages de qualité secondaire

En vue d'apprécier les qualités des bois issus de cette ressource forestière, un lot de 215 planches a été étudié. Les planches proviennent du sciage de 40 billons (longueur 2,10 m, représentant au total un volume sous écorce de 4,6 m³) déclassés par la scierie Petirenaud située à Dirol dans la Nièvre (Fig. 2). Il s'agit principalement de surbilles de très mauvaises rectitudes, présentant une forte nodosité et de faibles diamètres (diamètre fin bout mini 220 mm, maxi 350 mm, moyenne 264 mm).



Figure 2: Photographie d'un billon de qualité secondaire

Les billons ont été débités sur une scie de type télétwin en recherchant à produire la plus grande pièce équarrie, refendue ensuite en épaisseur 29 mm pour obtenir les planches destinées aux essais. Après séchage à 10-12%, les planches les moins déformées ont été mises à une longueur de 1 600 mm, les plus déformées recoupées en 2 et mises à une longueur de 1 000 mm. Les tronçonnages ont été réalisés uniquement pour pouvoir obtenir après corroyage des avivés de section 20 X 80 mm et non pas pour améliorer les qualités mécaniques en purgeant les plus gros défauts. Les singularités présentes dans les planches ont donc été globalement conservées. Il a été obtenu ainsi un premier lot constitué de 77 planches de dimensions 1600x80x20mm, et un second constitué de 138 planches de 1000x80x20mm. L'objectif est de connaître les propriétés mécaniques des avivés à valoriser, pour rechercher des emplois adaptés à leur performance.

3.1. Classement mécanique des planches par méthode de classement destructive

Afin de déterminer les caractéristiques de rigidité et de résistance en flexion des planches, des essais destructifs respectant la norme EN 408 ont été réalisés sur un banc de flexion quatre points du LaBoMaP (Fig. 3).

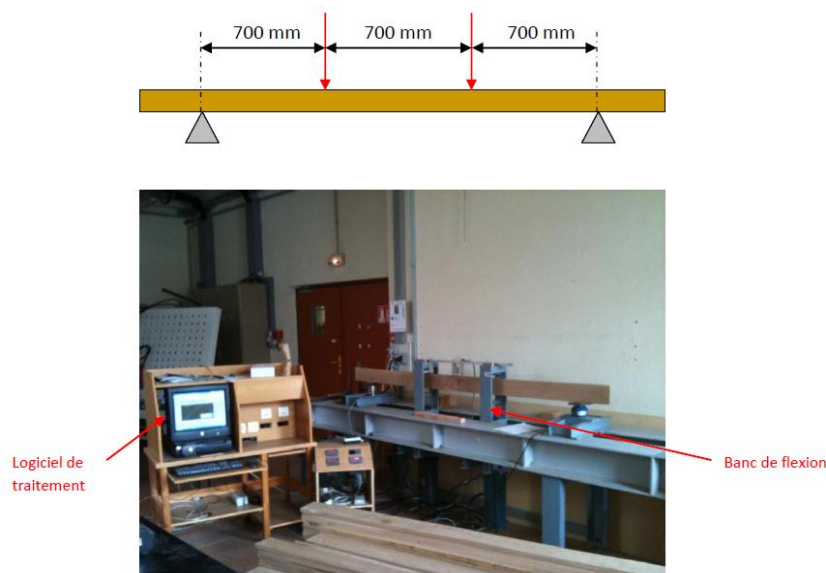


Figure 3: Machine de caractérisation mécanique essais destructifs

Les données collectées lors des essais sur les deux sous lots sont reprises dans les tableaux suivants:

	Masse	Densité	Module de Young (Mpa)	Contrainte à la rupture (Mpa)
max	2 418	945	17 769	121.95
min	1 438	639	5 747	18.57
moyenne	2 094	822	12 505	64.28
Ecart type	7.45 %	6.58 %	33.05%	38.95 %

Tableau 1: Résultats du lot de planches en 1m60

	Masse (g)	Densité	Module de Young (Mpa)	Contrainte à la rupture (Mpa)
max	1 524	953	18 309	147.08
min	934	584	1 991	4.88
moyenne	1 340	838	12 320	62.74
Ecart type	6.67 %	6.67 %	21.68 %	43.55 %

Tableau 2: Résultats du lot de planches en 1m

Les résultats des deux lots sont équivalents, cela confirme que la purge effectuée n'a pas affecté le rendement mécanique, aussi pour la suite de l'étude seul le lot complet de 215 planches sera considéré. A partir de ces essais, il est possible de déterminer la classe mécanique de la planche en fonction de sa rigidité (appelée module moyen d'élasticité axial), de sa résistance en flexion et de sa densité en se référant à la norme de classement des bois de structures EN-338 [1].

3.2. Classement mécanique des planches selon méthode visuelle

Une classification visuelle du lot de planches a été effectuée selon la norme B 52-001-1 dans le but d'appréhender la classe de résistance mécanique des planches en regard de leur faciès (Fig. 4). Le classement mécanique suivant la méthode visuelle révèle que près de 45 % des planches sont inclassables pour des usages structuraux du fait de la présence de singularités qui constituent des défauts rédhibitoires, 38 % des planches sont affectées à la classe D18 pour seulement 10 % en D24 et 8 % en D30. De ce fait à des fins de comparaison avec la méthode de classement visuelle, pour la détermination de la classe mécanique à partir des résultats issus des essais destructifs (classement optimum selon EN 338), nous n'avons considéré que les 3 classes D30, D18 et « déclassé ».



Figure 4: Exemples de défauts rédhibitoires en classement visuel pour un emploi des bois en structures

L'histogramme (Fig. 5) montre que le classement par méthode visuelle est pénalisant en termes d'estimation des propriétés mécaniques des bois. En effet, près de la moitié de la population de planches sont déclassées alors que le classement mécanique par méthode destructive classe près de 80% des planches en catégorie D30, classe qui présente des caractéristiques mécaniques proches de bois résineux C24 (rigidité équivalente, meilleure résistance à la rupture) largement utilisés en usage structuraux.

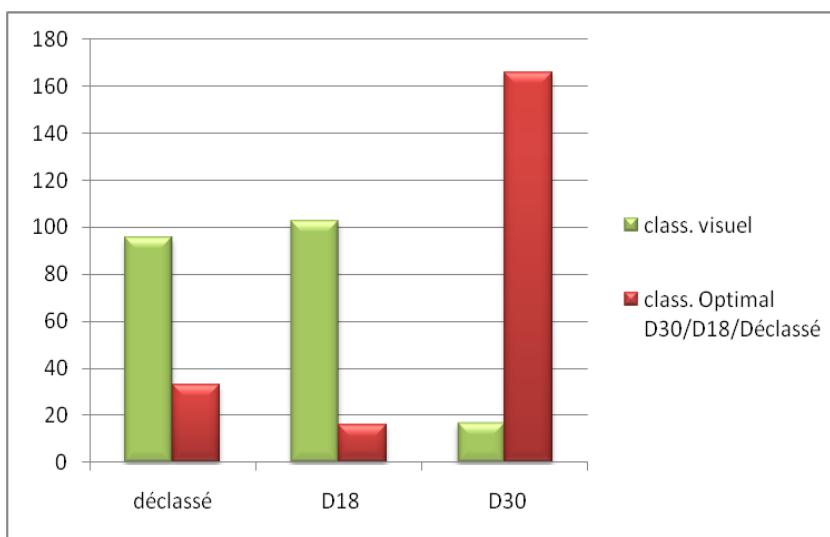


Figure 5: Comparaison des classements visuels et mécaniques

Ces résultats doivent être confirmés sur un nombre de planches plus important mais aussi issues d'un lot de billons plus représentatifs de la ressource à valoriser, c'est-à-dire ne comportant principalement que des surbilles de mauvaises qualités mais aussi des billes d'éclaircie avec de faibles diamètres mais de meilleure qualité. Néanmoins ces premiers résultats montrent la nécessité d'utiliser un appareil de classement mécanique par méthode non destructive afin de pouvoir valoriser correctement cette ressource pour des emplois en structure.

3.3. Classement mécanique des planches par méthode de classement non destructive

Le Laboratoire Bois de Cluny dispose d'une machine de classement mécanique par méthode vibratoire - E-Scan (société LuxScan) (Fig. 6), ainsi qu'un scanner optique (Com-

biScan). L'E-Scan mesure la densité en dynamique grâce à une pesée et à une mesure de dimension, puis détermine le module de Young (module d'élasticité axial) de chaque planche par analyse du mode propre de vibration.



Figure 6: Machine vibratoire (E-scan)

Il se trouve que les propriétés mécaniques citées ci-dessus sont assez bien corrélées entre elles, c'est pourquoi la plupart des machines de classement mécanique procèdent à une estimation de la contrainte de rupture par régression linéaire du module élastique (Fig. 7). Cette méthode, en revanche, reste limitée car elle ne permet pas de tenir compte des singularités locales du matériau. Ceci est confirmé dans les graphes ci-dessous qui montrent que les résultats du E-Scan sont mal corrélés avec les résultats des essais destructifs pour prédire la résistance en flexion

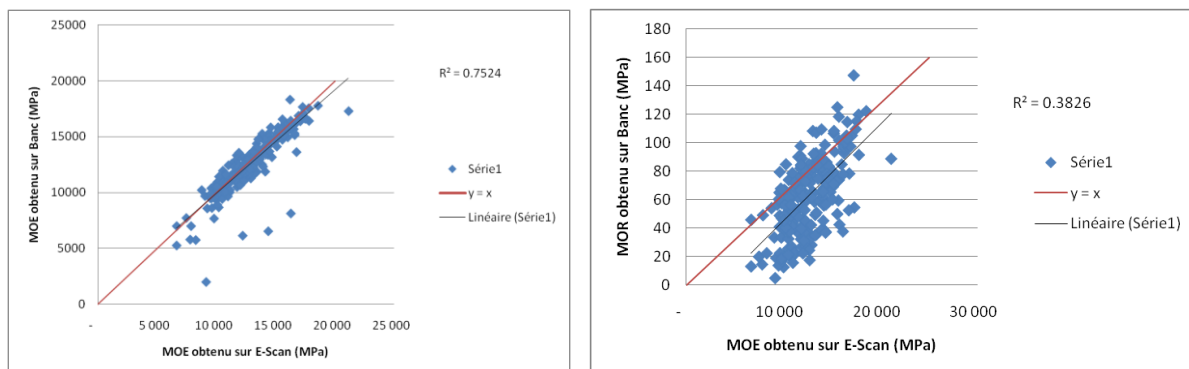


Figure 7: Corrélations du module dynamique au MOE et MOR

On peut toutefois prendre en considération l'influence des nœuds grâce au calcul du Knot Area Ratio (KAR) ou de ses variantes [2, 3]. La prise en compte de la variation de l'angle entre la direction des fibres et la direction de sollicitation [4], aussi appelé pente de fil (PdF), constitue également un autre critère local très important dans l'estimation du MOR. Celle-ci étant principalement localisée autour des nœuds, on pourrait dès lors penser que cette information est indirectement prise en compte par le modèle du KAR, et n'apporterait donc pas une amélioration des performances des machines de classement mécanique.

N'ayant pas encore de résultats sur le chêne, on peut toutefois citer une campagne expérimentale qui a été menée dernièrement sur un lot de 350 pièces d'épicéa commun (*Picea abies*) provenant d'Europe Centrale, séchées à environ 12% d'humidité relative, de longueur d'environ 4m et de différentes sections : 36x210, 44x110, 45x150, 45x195 (mm) pour quantifier l'importance de la prise en compte de la pente de fil ou de la nodosité. Le scanner CombiScan+ utilisé au cours de cette étude dispose d'un système de mesure de pente de fil locale utilisant l'effet trachéides [7]. Celui-ci consiste à projeter, sur les faces supérieures et inférieures des sciages, une ligne de lasers points. Une partie de la lumière incidente est diffusée de manière anisotropique dans le matériau, ce qui fait apparaître à la surface du bois une tache lumineuse elliptique, orientée parallèlement aux fibres (Fig. 8).

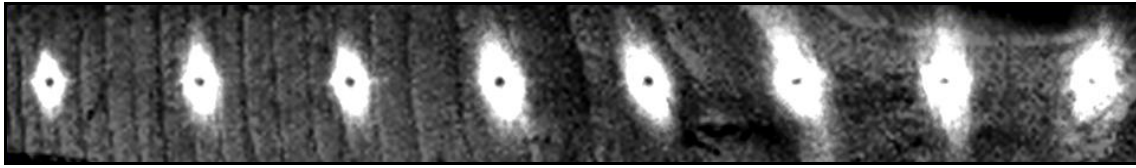


Figure 8: Mesure de la direction des fibres par effet trachéides

L'angle θ entre la direction des fibres et l'axe du sciage possède deux composantes que nous appellerons φ et ψ . L'angle φ entre l'axe du sciage et la projection de la direction des fibres sur la face observée correspond également à l'orientation de l'ellipse de diffusion du laser au point correspondant. La figure 4 représente les résultats obtenus par trois combinaisons de machines de classement mécaniques actuellement utilisées dans l'industrie. La première correspond à une analyse acoustique combinée à une pesée des sciages (E-Scan) permettant de mesurer la densité et le MOE, et d'estimer le MOR. La deuxième correspond à un scanner optique seul (CombiScan+) estimant à la fois le MOE et le MOR. Enfin, la troisième correspond à la combinaison des deux premières (E+C) : le MOE est mesuré par le E-Scan tandis que le MOR est estimé à partir des données issues du E-Scan et du Combiscan+.

Dans le cas des combinaisons Combiscan+ et E+C, une comparaison est faite entre les résultats obtenus sans l'information de pente de fil (Sans PdF), les résultats prenant uniquement en compte l'angle de projection (φ), et ceux obtenus en considérant également l'angle de plongée ψ ($\varphi + \psi$). Tous les résultats sont exprimés comme coefficient de détermination R^2 entre les valeurs prédites par le modèle et celles mesurées par essais destructifs (Tab. 3).

		MOE	MOR
E-Scan	-	90.7%	58.1%
Combiscan+	Sans PdF	67.7%	60.6%
	φ	72.3%	65.2%
	$\varphi + \psi$	72.4%	69.4%
E + C	Sans PdF	90.7%	69.3%
	φ	90.7%	70.7%
	$\varphi + \psi$	90.7%	72.7%

Tableau 3: Coefficients R^2 entre les paramètres estimés et mesurés par essais destructifs

Les résultats montrent une amélioration significative des performances du scanner optique après prise en compte de la pente de fil, aussi bien dans l'estimation du MOE que du MOR. En revanche, quand celui-ci se trouve combiné à l'analyse acoustique, cette amélioration est légèrement moins marquée. Il convient, pour expliquer ceci, de rappeler que le MOE estimé par le scanner optique seul est également utilisé dans l'estimation du MOR : une amélioration des performances dans l'estimation du MOE profitera également à l'estimation du MOR.

On constate également que le modèle prenant en compte l'angle de plongée ψ est bien plus performant dans l'estimation du MOR que celui qui ne considère que l'angle projeté φ . L'intégration de ψ dans le modèle présente donc un intérêt malgré la forte incertitude liée à la mesure de cet angle [7]. Par ailleurs, cette incertitude est probablement la raison pour laquelle l'angle ψ ne permet pas d'améliorer significativement l'estimation du MOE.

Malgré tout, on peut remarquer qu'il existe environ 30% de la variabilité des propriétés mécaniques (MOE sans analyse acoustique, et MOR) qui ne peuvent être expliqués par le modèle mis en place. Cette incertitude résiduelle peut s'expliquer notamment par les mesures de densité et de pente de fil, car celles-ci se basent sur des hypothèses fortes. Une autre explication serait que le modèle d'estimation de ces propriétés mécaniques n'exploite pas les mesures de manière adéquate. Enfin, ce modèle ne tient pas compte de singularités telles que le bois de compression et le bois juvénile, qu'aucun équipement industriel actuel ne peut caractériser.

4. Identification d'éléments de construction

4.1. Revue de produits

La démarche consiste à discrétiser l'ensemble des éléments nécessaires à la construction de Bâtiments à Hautes Qualités Environnementales et à Hautes Performances Energétiques et à identifier ceux susceptibles d'être produits à partir de chênes de qualité secondaire. Il s'agit donc de repérer des matériaux de construction pour lesquels la présence importante de singularités et de bois d'aubier n'est pas trop pénalisante. Cette approche a permis de sélectionner plusieurs produits :

- les murs en bois massifs reconstitués,
- les planchers en bois massifs reconstitués,
- les éléments d'ossature, poutres et panneaux en LVL
- les carrelets de menuiserie en LVL,

4.2. Etude des panneaux de structure en bois massifs reconstitués: adaptation au cas du chêne de qualité secondaire

Il s'agit de comparer les performances mécaniques et thermiques de panneaux fabriqués à partir de planches de chêne par rapport à ceux déjà disponibles sur le marché produits en résineux. L'idée est de caractériser la tenue mécanique des murs en bois massifs de chêne pour pouvoir les comparer aux produits actuellement sur le marché. Deux cas sont à traiter: les murs contre-collés et les murs contre-cloués. L'étude mécanique porte sur la rigidité des panneaux avec un dimensionnement à la flèche (Etats Limites de Service) et non en contrainte (Etats Limites Ultimes). En effet on observe en bureau d'étude que la flèche dans la grande majorité des cas dimensionne ce type de produit. Cette étude pour justifier l'emploi du chêne en structure, a nécessité d'élaborer un logiciel dédié pour le dimensionnement des panneaux en bois massifs contre-cloués.

4.2.1. Le cas des panneaux contre collés

On estime généralement qu'un produit en bois reconstitué par collage (lamellé collé par exemple) est au moins aussi résistant que ce même produit en bois massif. Des essais ont prouvé que le joint de colle entre deux éléments bois est plus résistant que le liant naturel des fibres du bois. Le fait de reconstituer un produit bois à partir de plus petits éléments en bois a tendance à homogénéiser la présence de défauts dans la masse ce qui améliore la résistance de ce produit par rapport à un bois massif. Dans le cas des murs en bois massifs, il faut rappeler que l'orientation des fibres du bois est perpendiculaire d'un pli à l'autre ce qui rend le matériau pratiquement isotrope transverse. S'il était possible de comparer en flexion un mur en bois massifs reconstitués contre-collés selon sa plus grande dimension avec un mur en bois massif de même dimension dans le sens de la fibre du bois, la flèche observée différerait du fait de la presque isotropie du mur reconstitué contre-collé. C'est ce que relate l'extrait de l'Avis Technique du produit KLH.

4.2.2. Le cas des murs contre cloués

Comme énoncé précédemment, dans le cas des murs en bois massif contre-cloués, il a été nécessaire de développer un outil pour caractériser la rigidité de ce produit car les méthodes de calcul aujourd'hui utilisées par les constructeurs sont très incomplètes : il est impossible de faire varier les conditions aux limites, la qualité des planches, etc. Une modélisation filaire, avec le logiciel éléments finis ANSYS, autorisant un maillage paramétrique, permet de décrire numériquement le maximum de grandeurs physiques, afin de retracer au mieux la réalité. Les paramètres pouvant varier sont les suivants :

- La rigidité des assemblages,
- Le nombre d'assemblages,
- Les sections des planches,
- Les caractéristiques mécaniques de chaque planche,
- Le nombre de plis,
- Les dimensions du mur,

Remarque : Ce programme a également été conçu pour modéliser des murs réalisés avec des planches non aboutées : sachant que la ressource impose de travailler avec des longueurs courtes. Il permet ainsi d'étudier si mécaniquement il est possible de se passer d'une ligne d'aboutage. Cette étude a montré que la perte de rigidité due à l'utilisation de coursons pouvait dans une certaine mesure être compensée par l'ajout de quelques plis supplémentaires (nombre de plis variable selon la taille mini des coursons), néanmoins cette solution a été abandonnée pour des raisons de complexité dans ce cas d'industrialisation des approvisionnements de l'unité de panneautage.

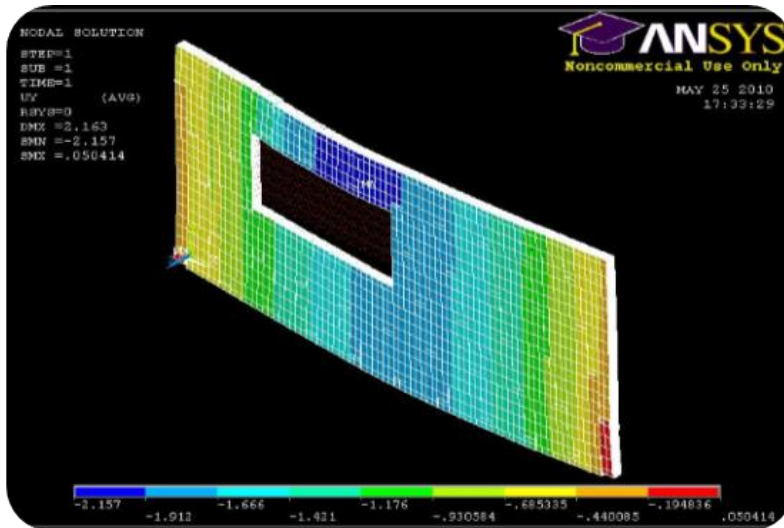


Figure 9: Exemple de modélisation de mur cloués

Afin de valider les résultats annoncés par le modèle et les conclusions qui en découlent, cinq essais physiques ont été réalisés sur un banc d'essai de flexion 4 points. L'ensemble des paramètres des éléments testés (dimensions planches, caractéristiques mécaniques de chacune des planches, rigidité des assemblages, position des assemblages, etc.) ainsi que les conditions aux limites ont été entrés dans le modèle. Après analyse des résultats, la cohérence du modèle a été validée puisqu'un différentiel moyen de 5% a été constaté entre les données mesurées suite à l'essai physique et les résultats annoncés par le logiciel ANSYS. Avant d'imaginer la mise sur le marché d'un nouveau produit, il est nécessaire de le comparer en termes de résistance mécanique à ceux déjà existants. Prenons l'exemple d'un mur contre-collé KLH de 72 mm en épicéa et déterminons qu'elle sera son équivalent mécanique en chêne (Tab. 4).

	Mur massif reconstitué contre-collé (KLH Epicéa)	Mur massif reconstitué contre-collé en chêne	Mur massif reconstitué contre-cloué en chêne
Rapport I_{eff}/I_{plein} (référence KLH 72L Portée 6m)	86%	86%	80%
Epaisseur mur (mm)	72	72	207
Rigidité assemblage (N/mm)	Colle	Colle	1500
Nombre d'assemblage par pli de croisement	Colle	Colle	2

Tableau 4 : Comparatif entre différentes technologie de murs

Compte tenu des hypothèses présentées précédemment, les caractéristiques mécaniques d'un mur contre-collé en épicéa ou en chêne sont les mêmes (si le collage du chêne est aussi performant que celui dans le résineux), par contre pour obtenir des performances similaires avec un mur contre-cloué il faut environ multiplier par 3 l'épaisseur du panneau. Cette analyse montre qu'il sera difficile de concurrencer le marché des murs contre-collés avec des murs contre-cloués à performances mécaniques identiques. Cette conclusion est néanmoins à relativiser s'il est possible de montrer que les épaisseurs de ces panneaux sont surdimensionnées pour l'emploi que l'on veut en faire. Une étude de cas a été menée dans ce sens.

4.2.3. Approche économique

L'objectif de cette partie de l'étude est d'apprécier la faisabilité technico-économique d'unités conçues pour la production des matériaux identifiés à partir d'une ressource en chênes de qualité secondaire. La logique qui a prévalu a été de rechercher des résultats d'exploitation équilibrés pour des dimensionnements (volume de production, niveau d'investissement) accessibles et compatibles pour des structures d'entreprises de type PME ou des groupements de PME, mais aussi permettant de multiplier le nombre de ces unités avec des implantations proches de la ressource forestière et ainsi de favoriser des circuits courts de production (approvisionnements, transformations). Les hypothèses d'exploitation retenues se basent sur des données de constructeurs que nous avons consultés ou observées dans le cas de production faisant appel aux mêmes procédés. Nous avons pu vérifier la rentabilité économique d'unités de production pour les 2 procédés de fabrication des panneaux (contre-collés ou contre-cloués). Cependant cela nécessite une valorisation des sciages de chêne un peu plus élevé que celui actuel des planches de résineux, mais le prix de ces dernières devrait augmenter compte tenu des tensions prévisibles que vont connaître les grosses scieries industrielles de résineux pour s'approvisionner en bois ronds.

Le volume annuel de production des unités imaginées représente environ 6% du marché estimé en 2015 et 3 % en 2020. Le prix de vente des panneaux pour atteindre l'équilibre est cohérent avec celui des produits résineux déjà existants sur le marché pour les contre-collés et un peu plus cher pour les contre-cloués, mais les prix des sciages résineux devraient augmenter comme nous l'avons déjà précisé, de plus il s'agit de produits en chêne, essence dont la noblesse peut-être valorisée. Le montant des investissements est pratiquement identique pour les 2 procédés. La technologie pour le collage est plus onéreuse par rapport à celle du clouage mais la différence est compensée par des coûts de consommables en colle moindre que ceux des clous.

5. Conclusions et perspectives

Les résineux sont les principales essences utilisées dans la construction car elles présentent d'excellentes performances mécaniques pour les usages structurels (poids propre/résistance mécanique) et ce même pour des essences à croissance rapide comme le douglas. Cependant l'augmentation très importante des besoins pour les marchés de la construction attendue dans les années à venir va créer de fortes tensions sur les approvisionnements en bois résineux en Europe et en France en particulier. On peut déjà constater cette tendance dès à présent pour les petits bois recherchés par les grosses scieries industrielles (lignes canter-circulaire) et elle risque de s'amplifier du fait d'un ralentissement des plantations résineuses ces dernières années. Les possibilités de production de matériaux pour la construction ou la réhabilitation de bâtiments à Haute Qualité Environnementale et à Haute Performance Energétique, à partir de la ressource nationale en bois de chênes de qualité secondaire, représentent donc un enjeu économique très important pour limiter les importations et une opportunité pour valoriser cette ressource forestière abondante.

Les essais de caractérisation mécaniques d'un lot de sciages en chêne de qualité secondaire montrent que leurs performances (rigidité et résistance en flexion) permettent d'envisager leurs emplois en structure. Des essais cependant avec un nombre de planches plus important et issues d'un lot de billons de qualité secondaire plus représentatif, doivent encore être réalisés pour confirmer ces résultats. La méthode de classement mécanique par méthode visuelle s'avère très pénalisante pour cette qualité de bois, le recours à des machines de classement mécanique est une nécessité pour éviter de devoir déclasser une part importante de ces sciages issus de chêne de qualité secondaire pour des usages structurels.

Les panneaux en bois massifs formés de lits de planches croisés et assemblés par collage ou clouage apparaissent comme des matériaux de construction bien adaptés aux caractéristiques (mécaniques et esthétiques) des sciages de chêne à valoriser. La fabrication de panneaux de structure reconstitués (LVL) à partir de placages issus du déroulage de chênes de qualité secondaire constitue également une piste intéressante de valorisation.

Une première approche des potentialités des marchés pour ces matériaux de construction montre de réelles perspectives de débouchés.

Afin de caractériser les performances mécaniques de panneaux massifs réalisés à partir de lits planches de chêne croisés et cloués et permettre de les comparer avec celles des panneaux contre-collés, le développement d'un outil de modélisation numérique a été nécessaire. Cet outil permet de simuler le comportement des panneaux (murs ou planchers) en fonction de plusieurs paramètres de fabrication (section et longueur des planches, rigidité de l'assemblage, et nombre d'assemblage, ...). L'aboutage des planches dans le procédé de fabrication des panneaux contre-collés ou contre-collés apparaît nécessaire pour pouvoir valoriser des planches de faibles longueurs (purge des gros défauts, redressement des sciages trop déformés après séchage) qui seraient pénalisantes pour la rigidité des panneaux. Le procédé de panneaux contre-collés apparaît comme la technique d'assemblage la mieux adaptée pour la production de panneaux de sciages reconstitués issus de chênes de qualité secondaire compte tenu : de l'opération d'aboutage qui utilise de la colle et impose déjà une mise en œuvre des bois à une humidité bien maîtrisée (10-12%), de la difficulté de clouage du chêne. De par la densité du chêne plus élevée que celles des résineux l'emploi des panneaux pour la réalisation de murs est à privilégier.

L'idée est d'implanter des unités de production sur des sites où cohabitent des installations pour la production de bois énergie (plaquettes, bois bûches) permettant ainsi d'écarter et de valoriser en bois d'œuvre des grumes ou des parties de grumes issues d'un approvisionnement de chênes de qualité secondaire (de type BTL) incompatibles (diamètres, rectitude, qualité) à une transformation traditionnelle en sciage ou déroulage. Les études économiques réalisées à partir d'hypothèses qu'il faudra encore confirmer, montrent des possibilités de rentabilité pour les unités de production imaginées avec des niveaux d'investissements compatibles pour des PME ou des groupements de PME de la filière bois. Les volumes de production à commercialiser et les prix des produits envisagés ne devraient pas poser de difficultés par rapport aux débouchés potentiels des matériaux bois dont les perspectives d'utilisation dans le secteur de la construction sont en plein développement. Cependant pour une large diffusion, ces nouveaux produits requièrent des Avis Techniques pour leur mise en œuvre, en particulier pour les marchés publics et notamment les logements sociaux collectifs. Les procédures d'obtention de ces Avis Techniques étant souvent longues et onéreuses, il y a lieu de les anticiper et de ne pas sous-estimer leurs impacts dans la réussite des projets. Une volonté politique forte de nature à encourager et à accompagner financièrement des projets privés ou collectifs (groupements d'exploitants forestiers, de producteurs de bois énergie, de scieurs ou dérouleurs, de constructeurs) de création d'unités de productions de panneaux reconstitués de sciages ou de placages, permettrait de valoriser en matériaux de construction une partie de la ressource locale abondante en chênes de qualité secondaire et de réduire ainsi les importations de produits résineux.

6. Bibliographie

- [1] AFNOR, NF EN 338, Bois de structure - Classes de résistance, 1995
- [2] Tredwell T, (1973). Visual Stress Grading of Timber, Explanation and practical interpretation of the visual grading elements of BS 4978:1973. Timber grades for structural uses - Timber Research and Development Association, 1973
- [3] Roblot G, Bléron L, Mériaudeau F, Marchal R, Automatic computation of the knot area ratio for machine strength grading of Douglas-fir and Spruce timber, EJECE 14, 1317-1332, 2010
- [4] US Dept. of Agriculture, Wood Handbook : Wood as an Engineering Material, chap. 4, p. 29, 1999
- [5] Brancheriau L, Expertise mécanique des sciages par analyse des vibrations dans le domaine acoustique, Thèse de Doctorat, Univ. Aix Marseille II, 2002
- [6] Oh J-K, Shim K, Kim K-M, & Lee J-J, Quantification of knots in dimension lumber using a single-pass X-ray radiation, Journal of Wood Science 55, 264-272, 2009
- [7] Simonaho S-P, Palviainen J, Tolonen Y, & Silvennoinen R, Determination of wood grain direction from laser light scattering pattern, Optics and Lasers in Engineering 41, 95-103, 2004
- [8] Guitard D, Mécanique du Matériau Bois et Composites, Cepadues, 1987