



VALORISATION DU BOIS DES ESSENCES RÉGIONALES

UTILISATION DES FEUILLUS EN STRUCTURE
MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE SIMPLE
DE CLASSEMENT MÉCANIQUE DU PEUPLIER

CONTEXTE

La mise en œuvre à plusieurs reprises et dans différentes situations du bois de peuplier en éléments structurels dans des réalisations significatives dans le Nord Pas-de-Calais a démontré toutes les qualités de cette essence de bois pour ces usages : poutre de type treillis pour la charpente de la salle polyvalente de Lezennes, plancher cloué pour la charpente de la tribune du stade de football d'Étaples sur Mer, poutre droite en lamellé-collé pour la charpente de la médiathèque de Givenchy en Gohelle, l'ensemble de l'ossature et de la charpente du centre de la petite enfance de Courcelles les Lens, etc...

Compte tenu de ces usages structurels qui exigent de connaître les caractéristiques mécaniques des bois, ces différentes réalisations ont confirmé la nécessité de connaître le comportement mécanique spécifique des bois de peuplier qui ne se comportent pas comme les bois des résineux. En effet, la connaissance de la classe de résistance des bois utilisés en structure est un élément incontournable dans le calcul et le dimensionnement des structures des ouvrages.

La méthode utilisée pour des usages équivalents en bois de résineux est basée sur la présence ou l'absence de nœuds dans le bois (la nodosité). Les professionnels qui ont réalisé les constructions en peuplier ont constaté l'inadaptation de cette méthode pour cette essence. En effet, pour le peuplier la nodosité n'a apparemment que peu d'influence sur la résistance, de même que l'absence totale de nœuds ne saurait garantir une résistance élevée.

Les autres méthodes actuellement utilisées (rayon X, vitesse d'ultrason, fréquence de résonance, etc.) sont en relation directe avec la nodosité. Il s'est alors imposé la nécessité de mettre au point une méthode basée sur une autre approche que la nodosité.

L'association CMBS Développement (Classement Mécanique des Bois de Structure Développement) s'est engagée dans la mise au point d'une méthode simple et adaptée au bois de peuplier, facilement insérable dans un banc de sciage, qui permette de connaître les caractéristiques mécaniques des éléments de bois destinés à la construction.

La méthode retenue par CMBS repose sur la détermination du module d'élasticité instantané en flexion par la mise sous contrainte mécanique des éléments de bois testés (test de type stress-grading). Cette méthode, simple et non destructive, s'applique à des pièces de bois dans leurs sections d'usage.

Afin de permettre une valorisation optimale des bois issus de la grume, il faut pouvoir orienter ceux-ci vers les filières qui correspondent à leur caractéristique. Pour cela, il est indispensable de connaître ces informations le plus tôt possible dans la chaîne de transformation du bois. Il faut donc pouvoir connaître le lien qui existe entre les caractéristiques des bois non séchés (bois dit verts) et celles des pièces de bois séchés. Il a donc fallu apprécier la corrélation entre les caractéristiques de la planche de bois vert et celles des pièces de bois secs.

C'est l'ensemble de ces études et les conclusions qui sont présentées ici.

Cette brochure est réalisée dans un format intermédiaire entre celui du rapport final exhaustif et celui du support du diaporama de présentation de l'étude. Ce choix repose sur la volonté à la fois de vulgariser les données techniques pour les rendre accessibles au plus grand nombre, mais aussi d'indiquer clairement aux professionnels concernés par le sujet, l'obligation de faire un choix sur la stratégie à retenir parmi les différentes options possibles. Compte-tenu de la spécificité du bois de peuplier, il est nécessaire de définir une stratégie de filière pour promouvoir et envisager le développement de son utilisation "massive" dans des sections standardisées pour des usages en structure.



SOMMAIRE

1

PRÉSENTATION DU PROCESS UTILISÉ POUR LA RÉALISATION DES DIFFÉRENTS ESSAIS

2

PRÉPARATION DES PIÈCES DE BOIS

2.1

Prélèvement des grumes

2.2

Numérotation et repérage axial

3

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS DESTRUCTIFS RÉALISÉS SELON LA NORME EN 408

3.1

Interprétation des résultats des essais destructifs

3.2

Relation entre le module d'élasticité et la contrainte à la rupture

3.3

Répartition réelle des différentes valeurs du module d'élasticité en flexion

3.4

Répartition par cultivar (suivant la loi normalisée idéalisée)

3.5

Classement selon la norme EN 338

4

RELATION ENTRE LES ESSAIS DESTRUCTIFS NORMATIFS ET LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS VERT/SEC RÉALISÉS SUR LE BANC DE MESURE EN FLEXION TROIS POINTS RAPIDE

4.1

Corrélation entre la mesure du module d'élasticité des bois secs réalisée selon les essais normatifs et selon le banc de mesure en flexion trois points rapide

4.2

Corrélation entre la mesure du module d'élasticité des pièces de bois vert et des pièces de bois secs réalisée sur le banc de mesure en flexion trois points rapide

4.3

Corrélation entre la mesure du module d'élasticité réalisée selon les essais normatifs sur le bois sec et les essais réalisés sur le banc de mesure en flexion trois points rapide sur le bois vert

5

EFFICACITÉ DES MÉTHODES UTILISÉES

6

CONCLUSION

Pour pouvoir utiliser des bois dans un usage structurel dans la construction, il faut connaître deux caractéristiques mécaniques :

- le module d'élasticité en flexion (il caractérise la raideur du matériau),
- la contrainte de rupture en flexion (elle mesure le moment où le bois casse, par définition on ne connaît cette valeur que lorsque le bois n'est plus utilisable).

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques de façon non destructive, on mettra en évidence la relation entre le module d'élasticité et la contrainte de rupture. Car seule la détermination du module d'élasticité est non destructive. Par conséquent, pour pouvoir se passer de la mesure de la contrainte de rupture qui elle est destructrice, il faut connaître la relation qui existe entre le module d'élasticité mesuré et la contrainte de rupture estimée. Si cette relation est connue pour les résineux, par contre elle ne l'est pas pour le peuplier. C'est l'objet d'une partie de cette étude.

Les essais destructifs ont été réalisés en flexion quatre points sur un banc conforme à la norme EN 408 (norme pour la détermination des propriétés mécaniques des structures en bois).

Compte-tenu de ses caractéristiques, ce banc n'est pas insérable dans une ligne de production. Pour pouvoir insérer un outil de mesure dans les scieries de peuplier, il fallait disposer d'une machine qui puisse réaliser les mesures sur des pièces de bois dans leurs sections d'usage et à la vitesse de défilement d'un banc de sciage. Les essais non destructifs ont donc été réalisés sur un banc de mesure en flexion trois points rapide, capable de réaliser ces tests dans les conditions des scieries.

Différents essais et analyses ont été réalisés afin de rechercher :

- les caractéristiques des pièces de bois, mesures réalisées sur le banc conforme à la norme EN 408 (partie 3.1),
- la corrélation entre le module d'élasticité en flexion et la contrainte de rupture (partie 3.2),
- la répartition des pièces de bois par lot selon leur caractéristique mécanique (partie 3.3 et 3.4),
- les écarts entre cette répartition et le classement « C » des classes de résistance des bois de structure, déterminées par la norme EN 338 qui définit les classes de résistance des bois de structure (partie 3.5),
- la corrélation entre les essais destructifs normatifs et les essais non destructifs réalisés sur le banc de mesure en flexion trois points rapide (partie 4.1 et 4.3),
- la corrélation entre les mesures réalisées sur le bois vert et sur le bois sec (partie 4.2).

Pour se faire l'étude se déroule comme suit :

- abatage des grumes avec repérage et marquage des cultivars de peuplier,
- numérotation et repérage des pièces de bois dans la grume lors du sciage,
- mesure du module d'élasticité des pièces avant séchage (bois vert) sur le banc de mesure en flexion trois points rapide,
- séchage des pièces à 15 % d'humidité pour correspondre aux conditions d'usage des bois de structure,
- mesure du module d'élasticité des pièces après le séchage (bois sec) sur le banc de mesure en flexion trois points rapide,
- mesure du module d'élasticité et de la contrainte de rupture sur le banc conforme à la norme EN 408.

Afin de renseigner d'autres points (partie 5), d'autres essais complémentaires ont été réalisés :

- essais aux ultrasons,
- mesure de l'humidité, des masses volumiques et des accroissements,
- pesée et évolution des masses au séchage.

2 | PRÉPARATION DES PIÈCES DE BOIS

2.1 | PRÉLÈVEMENT DES GRUMES

Les bois utilisés pour cette étude ont été prélevés en partenariat avec le CRPF sur des placettes suivies notamment pour assurer la traçabilité des cultivars. Les cultivars retenus pour cette étude sont :



FLÉVO

DORSKAMP

KOSTER

ROBUSTA

GHOY

TRICHOBEL

2.2 | NUMÉROTATION ET REPÉRAGE AXIAL

Les grumes sont coupées en billons de 2,5 m de long et repérés les uns par rapport aux autres leur hauteur dans la grume est aussi repérée. Les billons sont débités en plateaux de 6,5 cm d'épaisseur, découpés parallèlement à la génératrice (débit en plot).

Les plateaux sont stockés de façon à reconstituer le billon.

Toutes les pièces de bois de section de 6 x 6 x 250 cm après rabotage sont numérotées afin que l'influence de leur place dans la grume sur les caractéristiques puisse être étudiée.



3

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS DESTRUCTIFS RÉALISÉS SELON LA NORME EN 408

3.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS DESTRUCTIFS

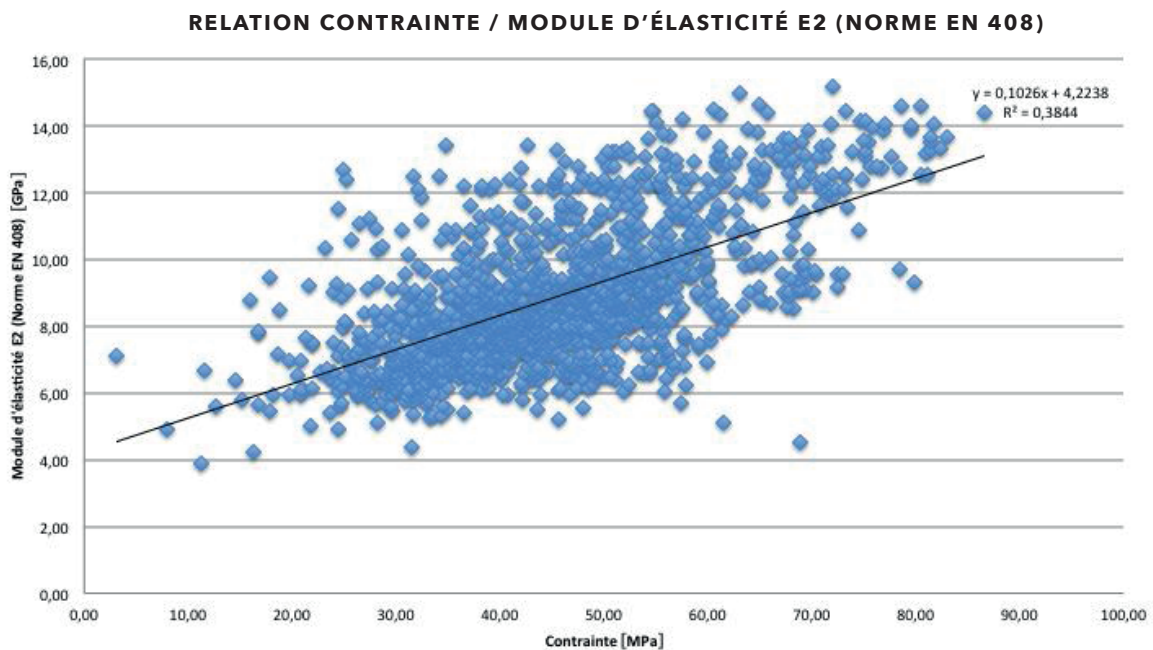
Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des résultats obtenus selon la norme EN 408 pour les mesures du module d'élasticité et de la contrainte de rupture, en indiquant la valeur moyenne de chaque lot (en MPa).

LOT	NOMBRE DE PIÈCE	CONTRAINTÉ VALEUR MOYENNE (en MPa)	MODULE VALEUR MOYENNE (en MPa)
Lot complet	1 483	45,503	8 859
Trichobel	250	45,106	9 089
Flevo	173	38,708	7 699
Ghoy	186	41,942	7 232
Koster	211	41,563	7 223
Dorskamp	382	47,371	9 844
Robusta	281	53,501	10 556

On constate une grande hétérogénéité entre les cultivars.

3.2 RELATION ENTRE LE MODULE D'ÉLASTICITÉ ET LA CONTRAINTÉ À LA RUPTURE

Le coefficient de détermination entre le module d'élasticité et la contrainte à la rupture est de 0,387. Même si ce coefficient est faible, l'étude des données montre qu'il existe bien une corrélation entre ces deux valeurs.



Par ailleurs, on constate que dès que le module d'élasticité en flexion est supérieur, à 8 000 MPa, alors la contrainte de rupture est nettement supérieure à 24 MPa (pour la classe C 24 selon l'EN 338).

Cela provient du fait que le bois de peuplier mis en situation de flexion a tendance à se déformer alors que sa résistance elle est élevée. Comme son nom l'indique, le peuplier, se déforme mais ne rompt pas dans les mêmes proportions, il peut plier !

C'est donc le manque de « raideur » par rapport à sa résistance qui pénalise le peuplier vis-à-vis de la norme de classement EN 338.

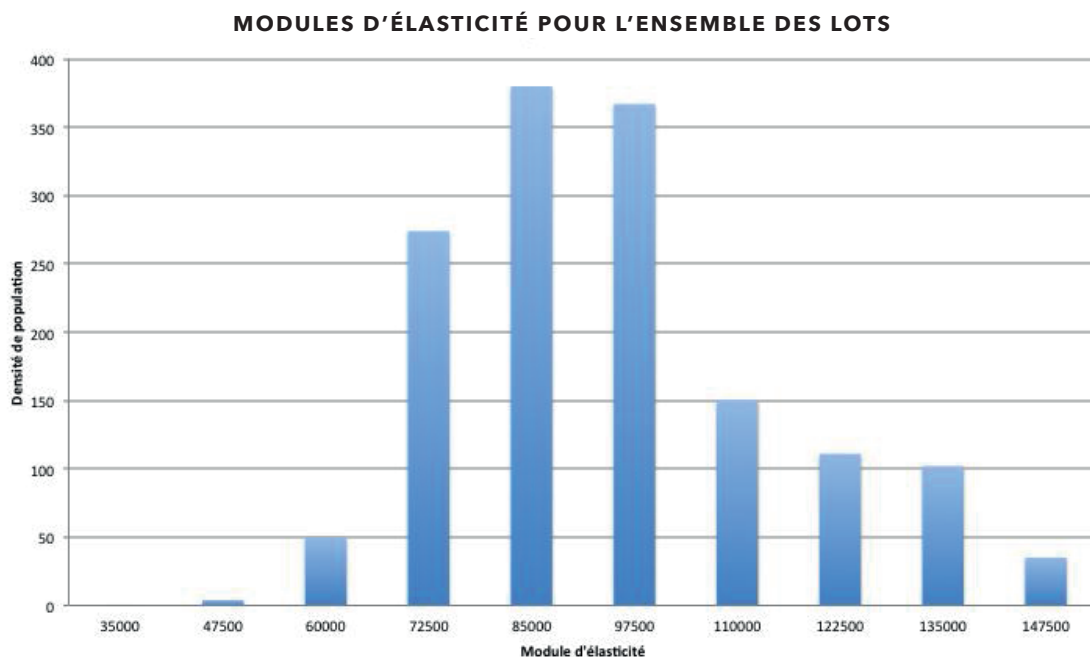
Néanmoins, cela signifie qu'en mesurant le module d'élasticité d'une pièce de bois de peuplier selon un test non destructif il est possible de garantir une contrainte de rupture.

Il est donc possible d'affirmer que dès que la pièce de bois aura une certaine valeur du module d'élasticité que l'on se fixera en fonction des besoins, alors il sera assuré que la valeur de la contrainte à la rupture conviendra aux exigences des normes de construction.

Cela varie néanmoins d'un cultivar à l'autre, comme le montre le tableau de la partie 3.1.

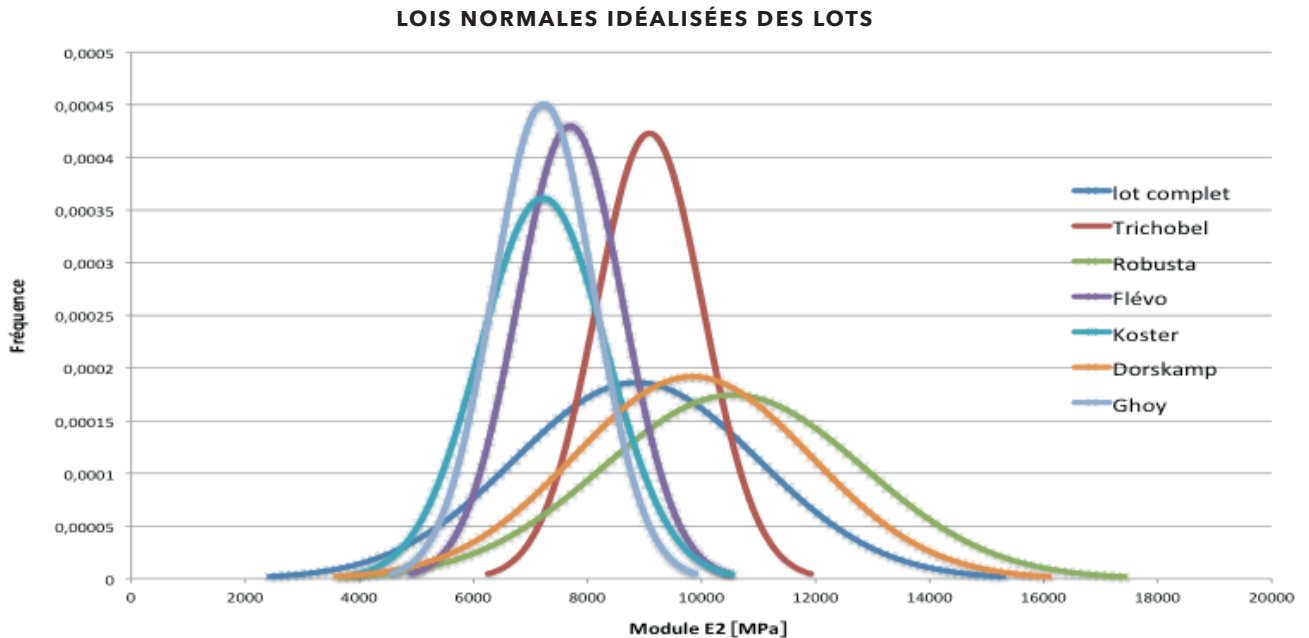
3.3 RÉPARTITION RÉELLE DES DIFFÉRENTES VALEURS DU MODULE D'ÉLASTICITÉ EN FLEXION

En analysant la répartition de l'histogramme qui indique le nombre de pièces correspondant à chaque valeur du module d'élasticité, on constate que la courbe est décalée vers les valeurs hautes (vers la droite). Cela signifie que le lot complet de toutes les pièces de bois contient un grand nombre de bons éléments. On pourrait penser que cet aspect joue en faveur du peuplier, mais il faut analyser cette répartition plus en détail car elle varie selon les cultivars, cf. partie 3.4. De plus, nous verrons plus loin (partie 3.5) que cette « hétérogénéité » joue en défaveur du peuplier pour répondre aux modalités de classement de la norme EN 338.



3.4

RÉPARTITION PAR CULTIVAR (SUIVANT LA LOI NORMALISÉE IDÉALISÉE)



On constate deux types de répartition :

- Robusta et Dorskamp : ces lots ont des valeurs du module d'élasticité en flexion élevées (décalés vers la droite) donc ils possèdent des pièces de résistance importance. Par contre, les courbes sont étalées ce qui signifie qu'il existe une forte amplitude entre la valeur la plus haute et la valeur la plus basse. Compte tenu de l'hétérogénéité de ces lots, il est indispensable de passer par une mesure pièce par pièce pour apprécier la valeur de la résistance.

- Koster, Ghoy, Flévo et Trichobel : ces lots présentent des valeurs moins élevées (décalés vers la gauche), bien que toujours suffisantes pour correspondre à des exigences particulières. Par contre, les courbes sont très resserrées, ce qui indique que les lots sont bien plus homogènes et pourraient satisfaire à un classement par lot.

Le Trichobel possède le lot le plus homogène avec en plus une valeur de la résistance élevée. Par ailleurs, il présente une facilité de sciage et une grande stabilité dimensionnelle lors du séchage.

3.5 CLASSEMENT SELON LA NORME EN 338

La norme EN 338 **classe les lots** de pièces de bois selon 3 critères :

- la moyenne des valeurs du module d'élasticité de toutes les pièces du lot (E moy),
- la valeur du module d'élasticité des 5 % des pièces les plus faibles (E 5 %),
- la valeur de la contrainte à la rupture des 5 % des pièces les plus faibles (σ 5 %).

Par exemple, pour classer un lot de pièce en C 24, il est donc nécessaire de respecter les critères suivants :

- E moy > 11 000 MPa,
- E 5 % > 7 400 MPa,
- σ 5 % > 24 MPa.

Et de même pour les différentes classes selon le tableau ci-dessous.

CLASSE	C 14	C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30
E moy	7 000	8 000	9 000	10 000	11 000	12 000	12 000
E 5 %	4 700	5 400	6 000	6 700	7 400	8 000	8 000
σ 5 %	14	16	18	22	24	27	30

Un classement selon la norme EN 338 a été réalisé pour le lot complet de l'ensemble des pièces. Voici les résultats.

C 18	E MOY	E 5 %	σ 5 %	% DE PIÈCE RETIRÉE	CLASSE NORMATIVE
Norme	9 000	6 000	18		C 18
Lot complet	9 034	6 180	27,4	3,7 %	Lot classé

C 24	E MOY	E 5 %	σ 5 %	% DE PIÈCE RETIRÉE	CLASSE NORMATIVE
Norme	11 000	7 400	24		C 24
Lot complet	9 660	7 550	30,2	24,7 %	Lot non classé

Pour permettre de classer le lot en équivalent C 18, il faut rejeter 3,7 % des pièces de bois. Par contre, le même lot, même avec 24,7 % de pièces retirées, n'est pas classé en C 24 à cause de la valeur moyenne du module d'élasticité (9 660 au lieu des 11 000 exigés) alors même que la valeur de la contrainte à la rupture est très supérieure à la valeur exigée (30,2 pour 24 !).

Pour pouvoir classer le lot complet en C 24 il faut retirer 65,3 % des pièces ! (cf. tableau ci-dessous)

C 24	E MOY	E 5 %	σ 5 %	% DE PIÈCE RETIRÉE	CLASSE NORMATIVE
Norme	11 000	7 400	24		C 24
Lot complet	11 200	9 290	34,4	65,3 %	Lot classé

Le rejet d'autant de pièce est fortement pénalisant.

Il faut en tirer donc plusieurs conclusions :

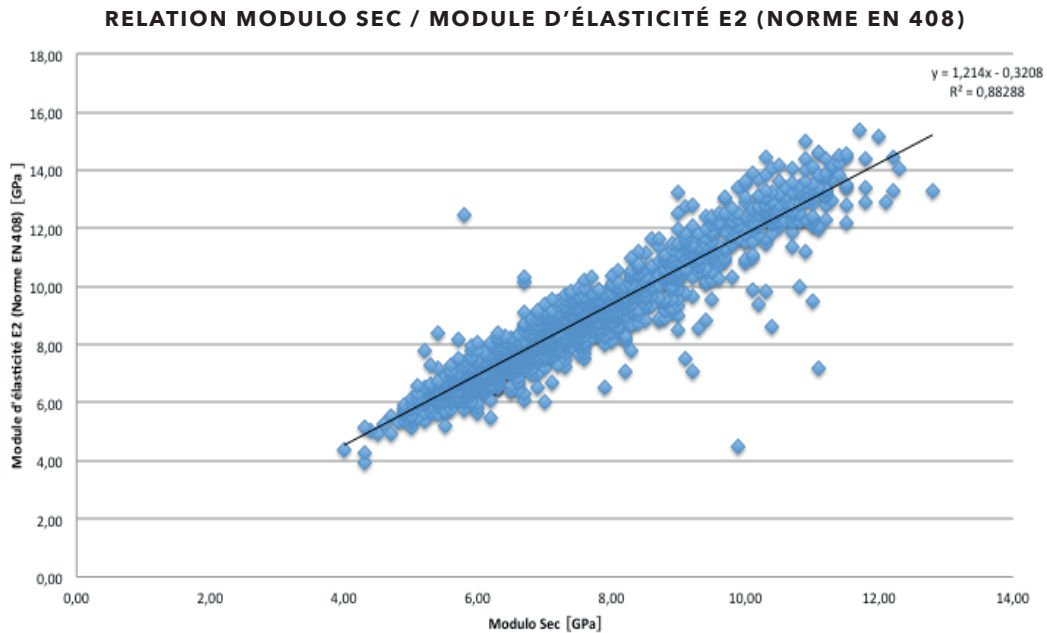
- soit passer systématiquement par un classement pièce par pièce pour réaliser des lots homogènes,
- soit ne classer par lot que des cultivars très homogènes,
- soit créer une norme spécifique pour le peuplier (classement P à l'instar du classement C).

4

RELATION ENTRE LES ESSAIS DESTRUCTIFS NORMATIFS ET LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS VERT/SEC RÉALISÉS SUR LE BANC DE MESURE EN FLEXION TROIS POINTS RAPIDE

4.1

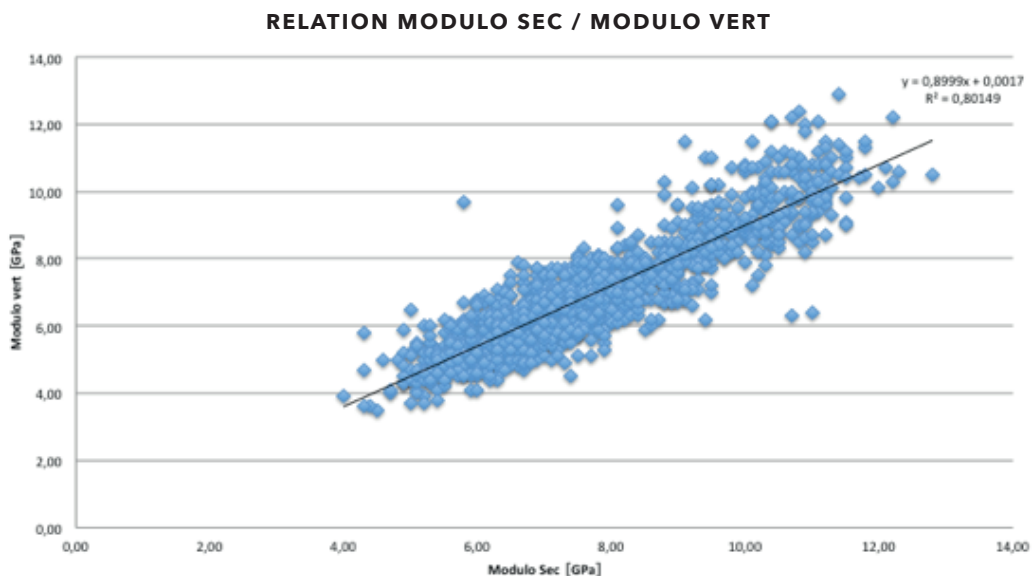
CORRÉLATION ENTRE LA MESURE DU MODULE D'ÉLASTICITÉ DES BOIS SECS RÉALISÉE SELON LES ESSAIS NORMATIFS ET SELON LE BANC DE MESURE EN FLEXION TROIS POINTS RAPIDE



Le coefficient de détermination (R^2) entre les 2 méthodes (test normatif et test réalisé sur le banc de mesure en flexion trois points rapide sur des bois secs) est de 0,884. Ce chiffre très élevé démontre que la corrélation entre les 2 méthodes est extrêmement élevée. Les mesures réalisées sur le banc de mesure en flexion trois points rapide sont donc extrêmement fiables.

4.2

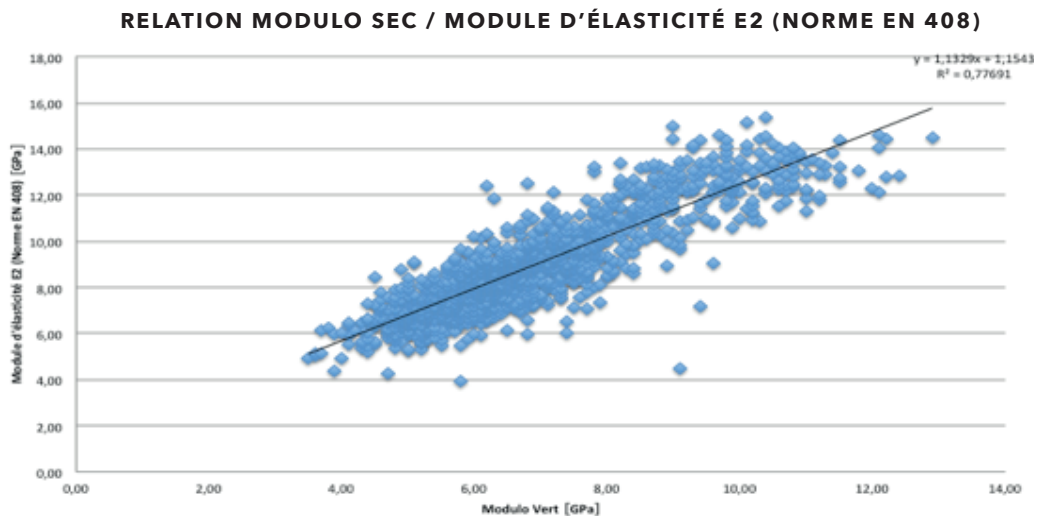
CORRÉLATION ENTRE LA MESURE DU MODULE D'ÉLASTICITÉ DES PIÈCES DE BOIS VERT ET DES PIÈCES DE BOIS SECS RÉALISÉE SUR LE BANC DE MESURE EN FLEXION TROIS POINTS RAPIDE



Le coefficient de détermination (R^2) entre les mesures réalisées sur les pièces en bois vert et les mêmes pièces en bois secs est de **0,803**. Ce chiffre très élevé démontre que la corrélation entre les mesures réalisées sur le bois vert et le bois sec est très élevée. Lors du séchage le module d'élasticité en flexion croît de vert à 15 % de **11 %**. Il est donc possible de classer des pièces de bois vert avant le séchage et ainsi éviter de sécher des pièces non conformes pour un usage structurel.

4.3

CORRÉLATION ENTRE LA MESURE DU MODULE D'ÉLASTICITÉ RÉALISÉE SELON LES ESSAIS NORMATIFS SUR LE BOIS SEC ET LES ESSAIS RÉALISÉS SUR LE BANC DE MESURE EN FLEXION TROIS POINTS RAPIDE SUR LE BOIS VERT



Le coefficient de détermination (R^2) entre les mesures normatives sur le bois sec et les mesures du banc de mesure en flexion trois points rapide sur le bois vert est **0,777**. La corrélation est donc encore extrêmement bonne. **Il est donc possible de classer les pièces de bois sans effectuer d'essais destructifs et d'utiliser la valeur du module d'élasticité du bois vert.**

5 | EFFICACITÉ DES MÉTHODES UTILISÉES

Différentes méthodes de mesure ayant été utilisées, il est possible de comparer leur efficacité. Plus le coefficient de détermination (R^2) est élevé, plus la corrélation des mesures est bonne.

COEFFICIENT DE DÉTERMINATION	Masse volumique	Accroissements	Nodosité	Module vert	Module sec	Module suivant EN408	Contrainte suivant EN408	Vitesse ultrasons
Masse volumique		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Accroissements			NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nodosité				NS	NS	NS	NS	NS
Module vert					0,803	0,777	NS	NS
Module sec						0,883	SO	NS
Module suivant EN408							SO	NS
Contrainte suivant EN408							0,387	NS
Vitesse ultrasons								

6 | CONCLUSION

Pour le peuplier, la réalisation des différents essais et leurs interprétations ont démontré :

- la corrélation entre la mesure du module d'élasticité et la mesure de la contrainte à la rupture,
- la corrélation entre la mesure sur le bois vert et sur le bois sec,
- que le module d'élasticité en flexion suffit à garantir la contrainte de rupture,
- tantôt l'homogénéité, tantôt l'hétérogénéité des lots de pièces de bois de peuplier en fonction des cultivars,
- la difficulté du peuplier à entrer dans la norme EN 338 compte-tenu de son hétérogénéité et de la faiblesse de son module d'élasticité,
- la nécessité d'en tirer des conclusions dont le choix de la stratégie repose et entraînera la filière peuplier dans des directions différentes, cf. perspectives et développement.

PERSPECTIVES & DÉVELOPPEMENT

Cette étude a donc démontré pour le peuplier (avec un coefficient de détermination très élevé) que la réalisation de tests non destructifs en flexion trois points rapide peut être utilisée pour connaître les données nécessaires à l'utilisation de cette essence en usage structurel.

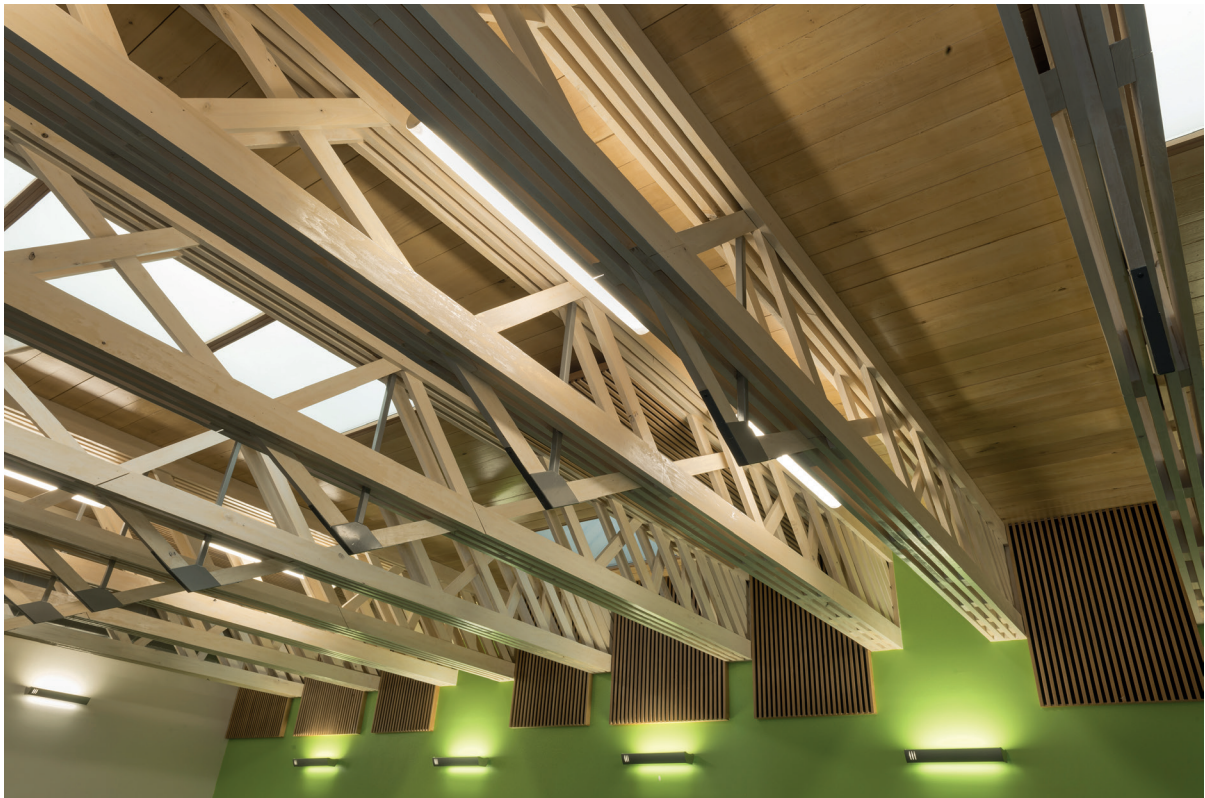
Par contre, compte-tenu de l'élasticité et de l'hétérogénéité du bois, le peuplier entre difficilement dans le classement « C » tel que défini par la norme EN 338.

Néanmoins, dans le cadre d'une utilisation en structure, la filière peut fournir des bois aux qualités mécaniques satisfaisantes et garanties, notamment par des essais réalisés pièce par pièce.

Le point faible du peuplier est sa raideur.

Compte-tenu de ces constats, la filière peuplier, si elle souhaite développer l'utilisation de cette essence en usage structurel afin de diversifier les débouchés dont celui à forte valeur ajoutée, devra faire des choix :

- soit créer une norme spécifique pour le peuplier classement « P » à l'instar du classement « C »,
- soit à défaut de norme spécifique, ne viser que la production de bois de classes de performances basses afin de ne pas écarter trop de pièces de bois (cela limite les systèmes constructifs possibles et donc les débouchés),
- soit toujours à défaut de norme spécifique, passer par des mesures de la résistance mécanique systématique pièce par pièce pour viser des valorisations différentes en fonction de la performance des bois. (création de lots homogènes)



35, RUE JEANNE D'ARC
59260 LEZENNES
cmbsdev@gmail.com

CMBS
DÉVELOPPEMENT



RÉGION
NORD-PAS DE CALAIS

bois&vous
la filière bois en marche - www.bois-et-vous.fr

