

Périscolaire de Tendon, une intégration du hêtre dans le bâtiment

Jean-Sébastien Lauffer
CRITT Bois
FR-Epinal



Bâtiment périscolaire de Tendon (88 – Fr) – Une valorisation du hêtre en construction

1. Données techniques initiales du matériau hêtre

1.1. Propriétés et rappels sur l'emploi du hêtre

Pour positionner le hêtre par rapport aux autres essences disponibles localement pour le chantier de Tendon, une recherche bibliographique a permis de lister les caractéristiques mécaniques et physiques permettant de mettre en avant les avantages de cette essence et de la comparer aux essences plus classiques en construction bois.

Des performances mécaniques élevées (données moyennes) :

- Résistance en flexion : 107MPa soit 10% supérieur au chêne et 57% supérieur au sapin
- Rigidité en flexion : 14 300MPa soit 14% supérieur au chêne et 16% supérieur au sapin
- Résistance en compression : 58 MPa soit identique au chêne et 26% supérieur au sapin
- Masse volumique élevée : 710kg/m³ ce qui permet d'envisager des assemblages mécaniques performants.

Informations complémentaires sur l'utilisation du hêtre en France :

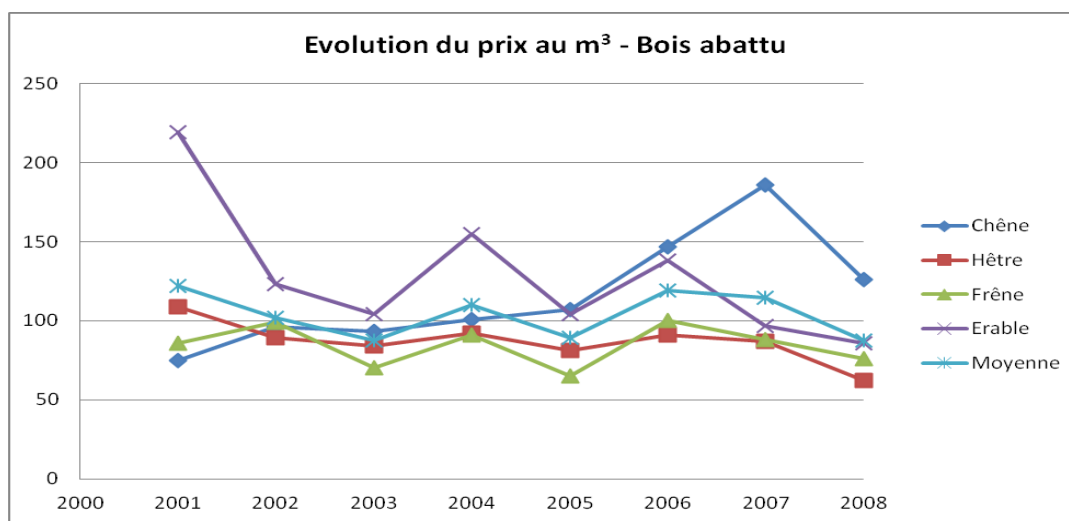
Propriétés utiles : grain fin, bois dense, comportement en flexion, compression, dureté, imprégnabilité, comportement au feu, cintrage aisé

Utilisations traditionnelles :

- Mobilier d'intérieur
- Placage (contreplaqués droits et cintrés)
- Menuiserie intérieure (porte, escalier)
- Emballage
- Tournerie
- Bois de chauffage

Freins : stabilité dimensionnelle, durabilité naturelle, fissilité, séchage délicat et absence de normalisation de classement mécanique du bois de hêtre.

Données macro économiques des essences en France



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Chêne	75	96	93	101	107	147	186	126
Hêtre	109	89	84	92	81	91	87	62
Frêne	86	99	70	91	65	100	88	76
Erable	219	123	104	155	104	138	97	86
Moyenne	122	102	88	110	89	119	115	88

Tableau 1 – Evolution du prix du bois abattu au m³

1.2. Contraintes supplémentaires du projet

Le projet de Tendon impliquait des contraintes complémentaires par rapport à un chantier de construction bois traditionnel.

Valorisation des ressources disponibles en scieries

La volonté de valorisation des bois de scierie nous a amenés à privilégier des systèmes constructifs réalisés à base de faibles sections, faibles longueurs, et de qualité esthétique faible.

Bois de montagne

La forêt de Tendon offrait un bois de hêtre de montagne avec des qualités aussi déterminantes que ses défauts.

Qualités : Densité élevée, Performances mécaniques élevées, Coût faible

Faiblesses : Nervosité, Difficultés de séchage, Qualité des bois (attaques biologiques), Présence de mitraille

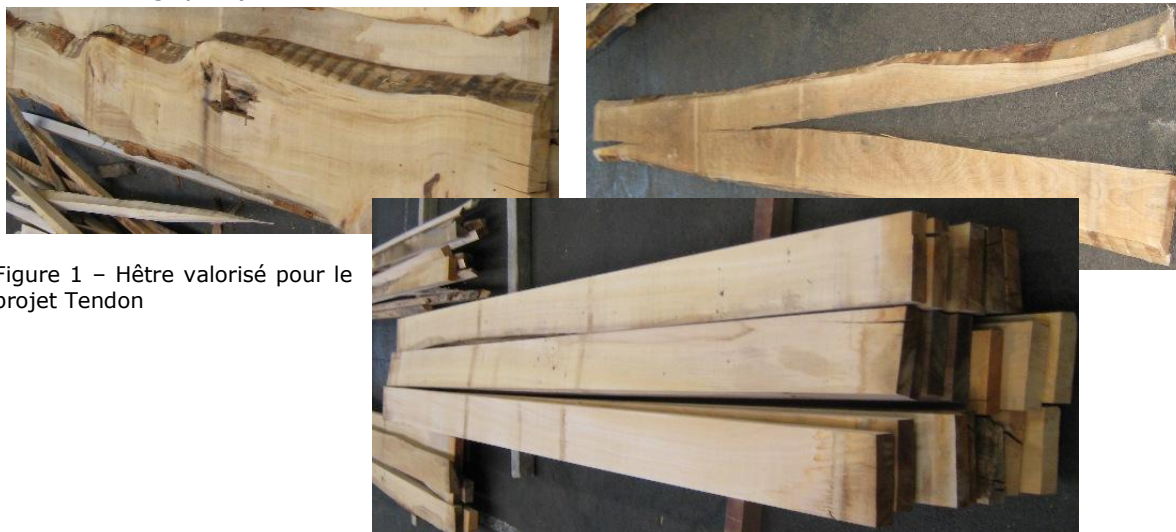


Figure 1 – Hêtre valorisé pour le projet Tendon

Valorisation du bois de la commune (qualité esthétique faible, nervosité élevée, densité élevée)

Potential de bois non valorisé : 4900m³ (bois sur pied)

Estimation projet Tendon : 35m³ (bois d'œuvre) / 65m³ (bord de route)

Abattage de grumes de hêtre au printemps 2010

Coût dérisoire du bois sur pied (de l'ordre de 30-35€/m³ bord de route)



Bâtiment périscolaire en marché public

La typologie du bâtiment était importante dans le choix du projet réalisé. En effet, passer par un marché public donnait un cadre réglementaire fort avec une analyse externe impartiale par le bureau de contrôle.

L'intégration du hêtre dans un Etablissement Recevant du Public (ERP) nous a également obligé à intégrer des contraintes spécifiques à ce type de marché (commission incendie, performance acoustique, accessibilité, thermique...)

2. Dispositions constructives hêtre – Élément porteur caisson

L'idée du projet était de partir du principe que pour intégrer des bois issus de scieries locales, issus de forêts locales, à partir d'essences et qualités faiblement valorisés, il était nécessaire de penser différemment la conception des systèmes constructifs.

Dans le cadre de cette opération, 3 valorisations spécifiques du hêtre ont ainsi été mises en œuvre. Cette partie se concentre plus particulièrement sur la valorisation du hêtre en poutre recomposée, l'objectif donné pour un premier niveau de valorisation étant de définir un élément structurel pouvant être répété et permettant de valoriser des bois locaux et courts.

2.1. Rappel des contraintes liées

Le cahier des charges de la conception de ce système était succinct mais portait sur des thématiques variées :

Contraintes bois court :

- Faibles sections (optimum vers 100*20)
- Faibles longueurs (optimum inférieur à 1m)

Contraintes bois local :

- Essences souvent feuillues (performances mécaniques plus élevées)
- Assemblages méconnus (*performance des assemblages non collés*)
- Difficultés à assembler mécaniquement (nécessité de pré perçage)
- Lissage des performances des bois

Contraintes scieries artisanales :

- Difficultés d'investissement sur des procédés lourds d'aboutage (grandes longueurs)
- Disponibilités en bois de qualités moindres (hors bois de menuiserie) et de faibles sections et longueurs
- Disponibilité de main d'œuvre non qualifiée (hors sciage)
- Difficultés des collages (car lien avec le séchage et le rabotage incontournable)

2.2. Opportunités de marchés

Les objectifs du grenelle (augmentation des performances d'isolation, intégration du bois dans les bâtiments) créent de nouveaux besoins :

- Eléments de parois de forte épaisseur,
- Eléments porteurs horizontaux (poutres) permettant d'atteindre de grandes portées,
- Utilisation privilégiée de bois locaux (limitation des gaz à effet de serre liés aux transports des matériaux).

Ces nouveaux besoins ne trouvent que peu de solutions techniques bois et ces dernières sont essentiellement (voire totalement) détenues par des fournisseurs étrangers (Allemagne, Autriche, Pays scandinaves...). On peut notamment citer :

- Bois lamellés collés et/ou contre collés,
- Panneaux contre collés (KLH, MHM, LENO...),
- Poutres en I (Finnjoist, TJI...),
- Poutres lamibois (Kerto).
- On notera que ces produits connaissent un développement de leurs parts de marché important (>+10%/an).

Le marché français est donc potentiellement demandeurs de ce type de produits réalisés en France.

2.3. Définition du concept

Dans ce cadre, différentes solutions ont été envisagées (poutre en I / poutre caisson / poutre en treillis). Une hiérarchisation technico-économique (performances / matière / équipements) a été réalisée sur la base de modélisation structure et a orienté le choix vers une **Poutre caisson**.





Poutre caisson - Ame en OSB 2 / Membrane Hêtre (D60)											
	Section vérifiée	Ame			Membrane			Matière en plus (%)		Section poutre	
		Nombre	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Nombre	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Ame	Membrane		
Continue collée		2	12	300	2	30	60	-	-	54x300	
Continue vissé		2	18	300	2	25	100	50	38,89	61x300	
Discontinue Collée Membrane simple		5	18	300	2	20	45	275	-50	110x300	
Discontinue Collée Membrane double		2	12	300	4	15	60	0	0	54x300	

Tableau 2 – Extrait des tableaux comparatifs sur les paramètres performances et consommation matière

2.4. Choix de la solution

Le choix de la solution définitive s'est basé sur plusieurs contraintes dans le cadre du projet Tendon :

- Faisabilité artisanale => vissage et non collage
- Valorisation des bois des scieries => bois de faible section
=> bois de faible longueur
- Coût global => Ames en OSB2
- Ratio Performances mécaniques / coût global => poutre caisson
- Facilitation de validation par bureau de contrôle => Ames en OSB2

La solution est donc une poutre à section recomposée sous forme de caisson à partir :

- Membrures en hêtre elles-mêmes composées de 2 couches de planches assemblées par vissage permettant de créer des éléments de grande longueur,
- Ames en OSB .

Cette solution définie, un prototypage permettant de valider comportement et hypothèses de calcul a été nécessaire.



2.5. Essais de caractérisation du hêtre

Echantillonnage :

Le hêtre caractérisé a été prélevé sur le lot abattus et sciés par la Commune de Tendon. L'échantillonnage est effectué sur les trois sections de bois présentes dans ce lot : 20x135, 30x135 et 45x135. Avant les essais, le bois est stocké aux conditions normalisées de température et humidité : $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $65 \pm 5\%$ HR.

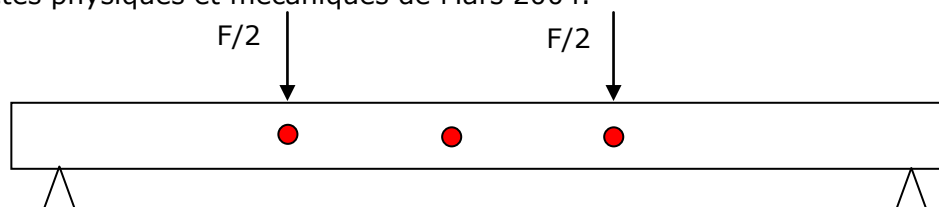
Détermination de la masse volumique :

Les mesures de masse volumique sont réalisées conformément aux préconisations de la norme NF EN 408 – Structures en bois – Bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques de Mars 2004.

La teneur en humidité est mesurée selon les préconisations de la même norme.

Détermination du module global d'élasticité en flexion :

Les essais sont réalisés conformément aux préconisations de la norme NF EN 408 – Structures en bois – Bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques de Mars 2004.



L'éprouvette est chargée symétriquement en flexion en 2 points sur la portée de la poutre. L'éprouvette d'essai est supportée sur des appuis simples.

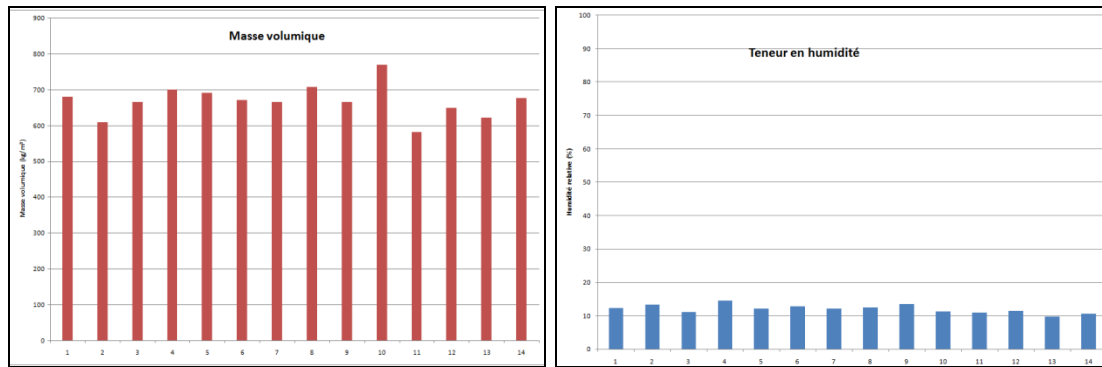
On applique la charge à vitesse constante (0.03 mm/s).

- augmentation de la charge à 40% de la force de rupture estimée.

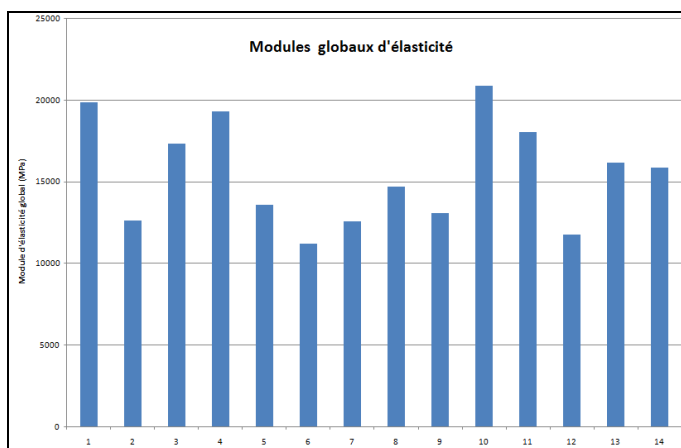
On mesure les déplacements des 3 points marqués en rouge ci-dessus.

Résultats :

Un lot des résultats des mesures de la teneur en humidité et de la masse volumique pour chaque échantillon est présenté ci-dessous :



Masse volumique moyenne à HR = 12% : $\rho_{\text{moy}} = 669 \text{ kg/m}^3$
 Masse volumique caractéristique à HR = 12% : $\rho_k = 591 \text{ kg/m}^3$
 Les résultats de mesure du module global d'élasticité sont présentés ci-dessous :



Echantillon	MOE (MPa)
1	19900
2	12650
3	17340
4	19336
5	13570
6	11220
7	12560
8	14700
9	13090
10	20910
11	18060
12	11740
13	16200
14	15870

Module global moyen d'élasticité en flexion longitudinale : $E_{0,\text{moy}} = 15\ 510 \text{ MPa}$

Conclusion :

Synthèse des résultats :

Valeur	Moyenne	Caractéristique
Masse volumique (kg/m^3)	669	591
Module global d'élasticité en flexion longitudinale (MPa)	15 510	9 860

La norme NF EN 338 de septembre 2009 permet de classer les bois de structure selon leurs caractéristiques mécaniques. Le lot échantillonné et dont les résultats sont présentés ci-dessus est de **classe de résistance D40** (au sens de cette même norme).

	Lot Tendon	D40
Masse volumique moyenne (kg/m^3)	669	660
Masse volumique caractéristique (kg/m^3)	591	550
Module global moyen d'élasticité en flexion longitudinale (MPa)	15 510	13 000

2.6. Essai de validation de la solution de poutre-caisson retenue

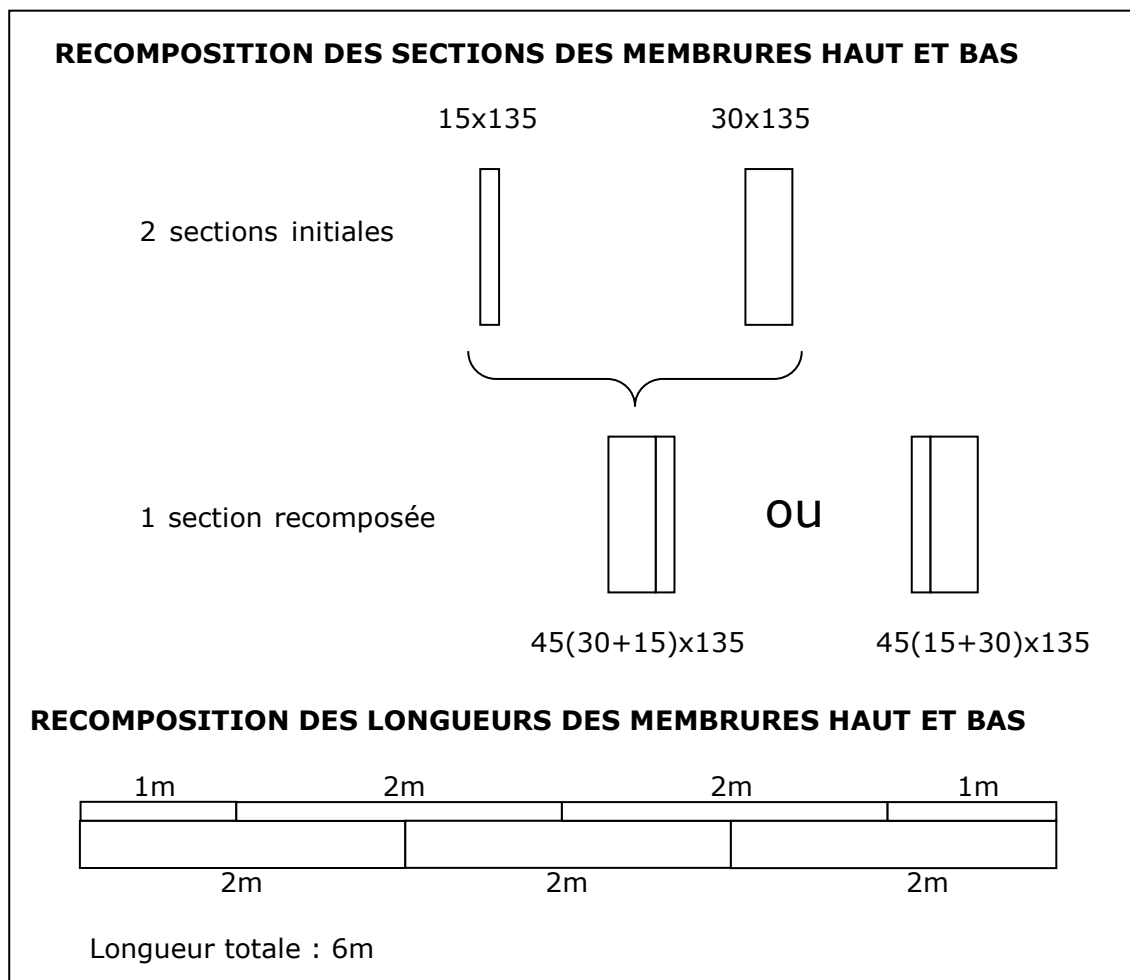
Solution pré-dimensionnée :

La solution est envisagée pour un élément de chevron à Tendon.

La solution envisagée est une poutre caisson de hauteur totale 350 mm, de largeur 75 mm et de longueur 6m. Les membrures sont en hêtre, de sections recomposées 45x135. Les âmes sont en OSB3 d'épaisseur 15 mm, et de largeur 350 mm, discontinues sur la longueur (3 fois 2m).

La recomposition des sections est faite comme suit :

- membrure haute : $(15+30) \times 135$;
- membrure basse : $(30+15) \times 135$ (voir schéma ci-dessous).



La recomposition des sections de membrures est réalisée par vissage des deux sections initiales.

Vissage pour la recomposition des membrures haute et basse : vis $\varnothing 5$ mm de longueur 50 mm. Les organes sont insérés sur deux files en quinconce. L'espacement entre les vis est de 200 mm. Les pinces des bords valent 30 mm, et les pinces d'extrémités valent 100 mm.

La recomposition de l'élément poutre-caisson est réalisée par vissage des âmes en OSB3 dans les sections de hêtre recomposées. Pour les membrures haute et basse, le vissage est réalisé par les deux faces de la poutre. Les vis utilisées sont des vis de diamètre 5 mm et de longueur 50 mm. Les organes sont insérés sur deux files en quinconce. L'espacement entre les vis est de 200 mm. Les pinces des bords valent 30 mm, et les pinces d'extrémités valent 100 mm.

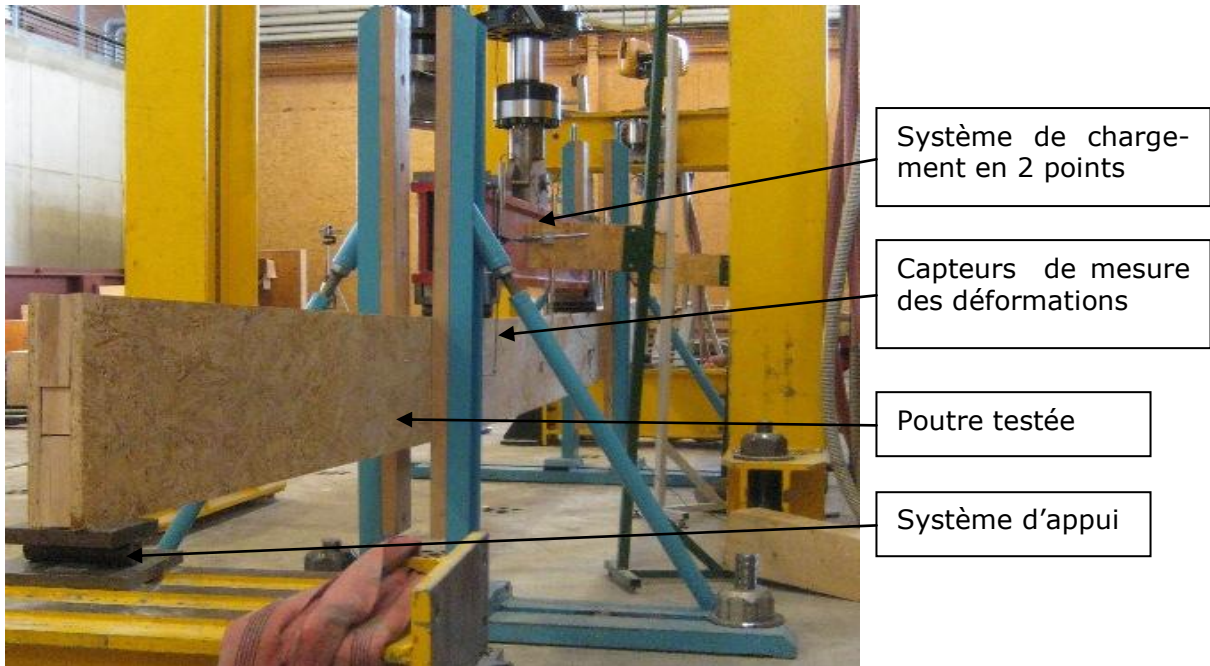
Il est à noter que la solution présentée est celle permettant de justifier de la méthode de calcul selon l'Annexe B des Eurocodes 5. Les potentiels de résistance et de rigidité de la poutre caissonnée sont directement liés au nombre d'organes (vis ou pointes) intégrés au système.

Les résultats à retenir de la modélisation sont les suivants (hêtre D40) :

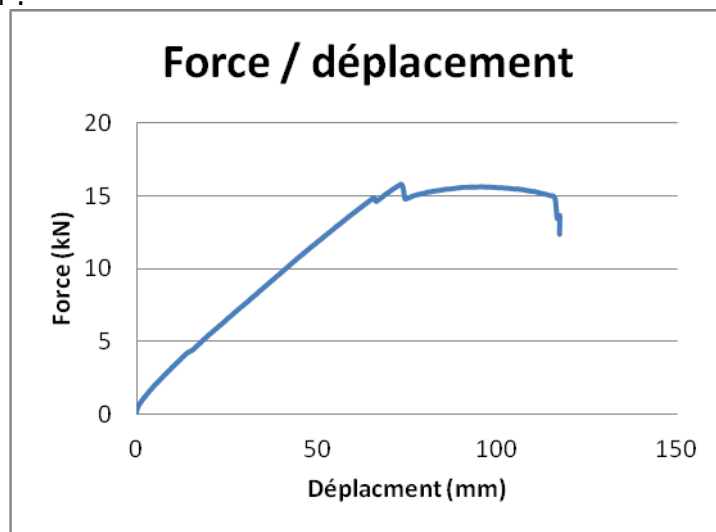
- Force maximale à rupture en flexion 4 points : 14,9kN (rupture prévisible dans panneaux OSB)
- Rigidité efficace : $8,13E+11$ MPa (on ne considère que la membrure de plus forte épaisseur – ici 30mm)

2.7. Réalisation de l'essai sur la dalle d'essai mécanique du Critt Bois

L'essai est réalisé sur un prototype fabriqué au Critt Bois qui correspond en tout point à la solution, pré-dimensionnée présentée ci-dessus.



Résultat de l'essai :



La courbe force en fonction du déplacement est donnée ci-dessus.

On obtient pour cette poutre :

- force de rupture : **15,81 kN**
- rigidité en flexion : **8,65E+11 MPa**



Les résultats obtenus en test réel sont donc conformes aux résultats obtenus par la modélisation.

	Force rupture (kN)	Rigidité (E+11 N.mm)
Modélisation	14,9	8,13
Test	15,81	8,65

Les modélisations du bâtiment pourront donc être menées sur la base de l'annexe B de l'Eurocode 5 en considérant :

- Hêtre D40 (fm,k = 40MPa / E = 13 000MPa / pm = 660kg/m³)
- OSB 3 (fm,k = 16,4MPa / E = 3 500MPa / pm = 550kg/m³)

3. Ossature bois intérieure

Objectif : *Proposer une alternative hêtre en ossature bois*

Déformations du hêtre en faible section

=> limitation des longueurs / stabilisation de la structure

Solution : Modules de petites dimensions (1m x 1,20m) + esthétique

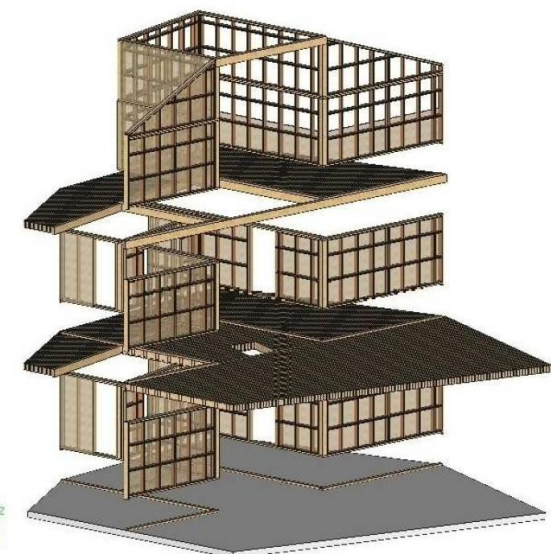


Figure 2 – Refends ossature hêtre

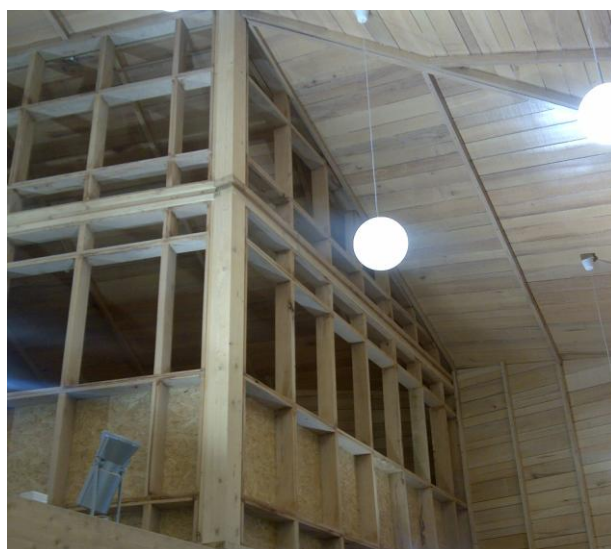


Figure 3 – Refends en modules hêtre

4. Revêtements intérieurs

Objectif : *Utiliser du hêtre massif en revêtement intérieur ERP*
Remettre l'esthétique de l'essence au goût du jour

4.1. Système envisagé

Hêtre massif sans traitement

Épaisseur mini : 30mm

Vide technique rempli

Recouvrements réguliers



Figure 4 – Revêtement hêtre massif

4.2. Exigences

Si la totalité des produits de revêtement de plafond d'un local présentent une réaction au feu B-s3,d0 ou supérieure, la totalité des parois verticales peut être revêtue d'un lambris en bois massif (quelque soit l'essence de bois utilisée).

Si la totalité des produits de revêtement de plafond d'un local présentent une réaction au feu D-s2,d0, la moitié seulement des parois verticales peut être revêtue d'un lambris en bois massif (quelque soit l'essence de bois utilisée).

Les parquets doivent présenter une réaction au feu D_{fl} à minima.



4.3. Solution

L'enveloppe du bâtiment est intégralement revêtue de lambris bois par l'intérieur. Pour le plafond sous toiture, un produit de traitement ignifuge est appliqué afin de garantir la réaction B-s3,d0 sur l'ensemble du plafond. Il est donc possible au vu de la réglementation d'utiliser le lambris en hêtre massif D-s1,d0 sur la totalité des parois verticales.

Le lambris en hêtre des parois verticales est travaillé pour garantir une réaction au feu améliorée. Le profil des lames de lambris sont étudiés pour améliorer la réaction au feu du revêtement. Sur avis de la commission SDIS, le lambris en hêtre massif tel que défini plus bas, peut être appliqué sur la totalité des parois verticales.

Le hêtre massif présente, en revêtement de sol, une réaction au feu entre C_{fl} et D_{fl} , selon les supports.

