

Usage combiné d'outils CEND

Démarche de justification de réemploi de bois
d'œuvre

Journée Contrôle et Evaluation Non Destructive du Bois

21/10/2025

Clément BOUDAUD



**ÉCOLE
SUPÉRIEURE
DU BOIS**

Sciences et
technologies
des matériaux
biosourcés

SOMMAIRE

1. Eléments de contexte CEND réemploi structure bois
2. Etude d'un cas : outils, limites
3. Questionnements sur deux outils
4. Perspectives CEND pour réemploi

D'où je parle :

- EC mécanique, dynamique (sismique, vibration)
- Expérimental (labo/*in-situ*), modélisation numérique, méthode ingé (réglementation)
- Laboratoire LIMBHA, Ecole Supérieure du Bois

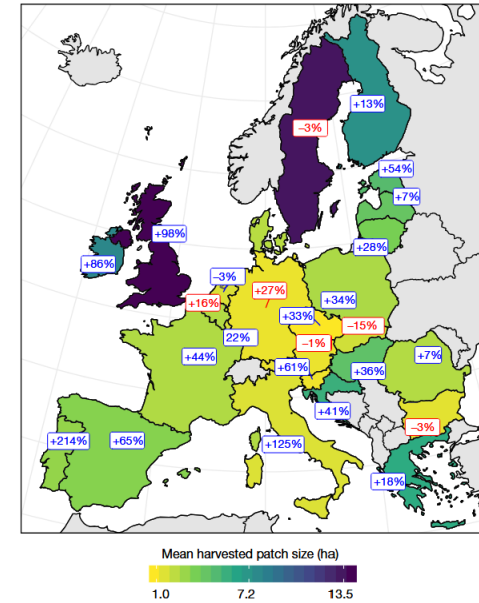
1. ELÉMENTS DE CONTEXTE

- **Une question de ressources**

- Demande bois d'œuvre Europe > capacité forêts¹

- **Un sujet d'actualité**

- Recherche : hausses des publications
 - Séminaire Européen « Reclaimed Wood » 350 participants, dont 1/3 industriels
- Normalisation : récente ou en écriture²
 - Australie (2024), Norvège (2025), Danemark (2026), CEN (TC250/SC5/WG12³)
- Réseaux professionnels, offres, projets
 - Événements thématiques (Xylofutur, FiBois, Novabuild...), Restwood, Socotec (AMO), Alpes Contrôle (Pass réemploi)...
- Projets de construction en réemploi de + en + nombreux
 - Moyens et méthodes de justification au cas par cas



1. G. Ceccherini et al. Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015. Nature. 2020

2. D. Ridley-Ellis et al. Laying the foundations to safely reuse timber in Europe. ECOS. 2025

3. CEN/TS 17440. Evaluation et rénovation des structures existantes. 2020

1. ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

Deux incontournables pour le réemploi de bois structurel

- **La normalisation¹**

- Cadre robuste : réputation construction bois / risque, usage, économie
- National : spécificités locales, émergence d'une filière
- Europe : cohérence méthodes, compatibilité CPR³

- **Le CEND**

- Quels outils pour quels usages ?
- Accessibilité (utilisation, coût) ?
- Cadre harmonisé : compatibilité des database

Exemple de proposition²

$$k_{\text{mod, reuse}} = k_{\text{red, reuse}} \cdot k_{\text{mod}} \quad (4)$$

with

$$k_{\text{red, reuse}} = 1,0 \quad \text{for LDC instantaneous, short- and medium-term in first or second use}$$

$$k_{\text{red, reuse}} = 0,9 \quad \text{for LDC long or permanent in first or second use}$$

1. Les freins réglementaires : D. Ridley-Ellis et al. Laying the foundations to safely reuse timber in Europe. Annex I. ECOS. 2025
2. P. Dietsch et al. Reuse: Guideline on the assessment of the technical integrity of disassembled timber members. WCTE. 2025
3. Construction Products Regulation

1. ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

- **Incertitudes et spécificités pour le bois usagé**
 - Contrainte mécanique prolongée (DOL¹, fluage) : réduction de résistance
 - Variation dimensionnelle : contraintes internes, fissures, rectitude
 - Connaissance essence ? Zone et époque de croissance ?
 - Classement mécanique
 - Pas de classements pour bois rond, grandes flaches, bois collés
 - Classement et tri initial des bois : nouvelle distribution statistique ?
 - Réemploi + conservatif, ressource plus spécifique → besoin de classement spécifique
 - **Essais destructifs : N échantillons déjà faible**
 - Zones d'assemblage (métal, percements)
 - Peinture, préservation, ignifugation, résidus colle : impacts résistance, santé
 - Biodégradation insectes/fongiques

1. ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

- **Synthèse**

- Réemploi → actualité
- CEND → un des piliers
- Spécificités/complexités du bois → Nombreuses

- **Partie suivante**

- Retour d'expérience d'un cas pratique

2. ETUDE D'UN CAS

- Partie confidentielle

3. QUESTIONNEMENTS : ULTRASONS

- Mesure de la vitesse

- Equation à 2 inconnues : priorité à E, mais comment faire pour ρ ?

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \left. \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Varie de 1 à 2,3} \\ \longrightarrow \text{Varie de 1 à 1,6} \end{array} \right\} \longrightarrow \text{Pour classes Cxx}$$

- Correction liée à l'humidité

- MC < 30% : $V_{12\%} = V_u + 33 (u-12)$
 - MC \geq 30% : $V_{12\%} = V_u + 2,5 (u-30) + 594$
- } Sur bois sans singularités (30 x 30 x 600 mm)

- Grosses sections pas à l'équilibre

- Ondes passent plus vite dans bois sec
 - Erreur si MC% mesuré dans zones plus humides

- Impact précis des mesures directes/indirectes ?

- Résultats plus sécuritaires en indirect qu'en direct sur même lamelle

- Impact perçage, métal, fentes grandes dimensions ?

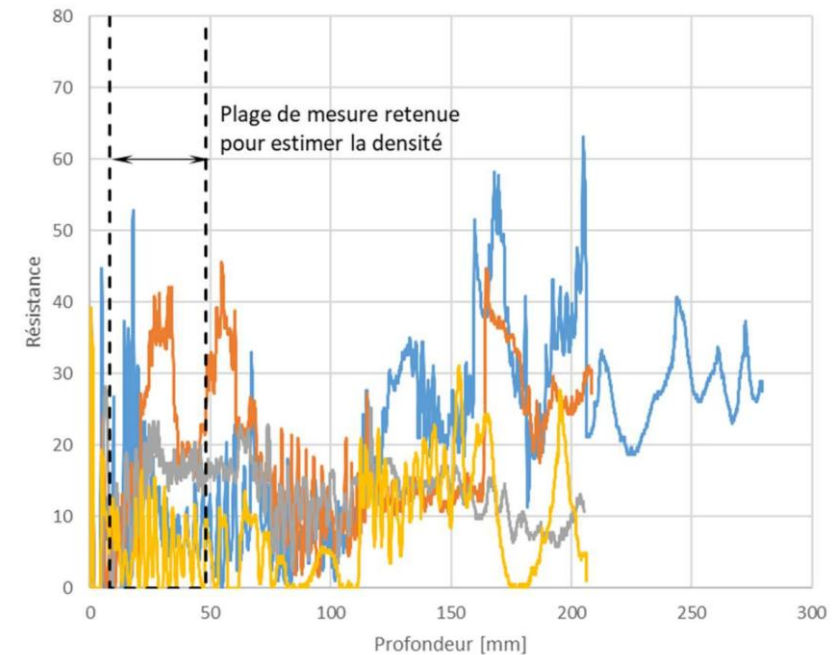
3. QUESTIONNEMENTS : ULTRASONS

- Mesure de l'atténuation
 - Corrélable à des singularités ? A des caractéristiques matériau ?
- Variabilité opérateur
 - Perçage, distance, MC%
- Détection délamination, fissuration interne
 - Par mesures transverses ?
- GL mesure lamelles haute et basse uniquement
 - Suffisant ?
- $E_{\text{dyn}} \neq E_{\text{stat}}$
 - Littérature¹ $\approx 10\%$, fabricant Sylvatest annonce 40 à 50%
- Classement mécanique via Sylvatest
 - Indicative Propertises : ρ et E

1. G. J. P. RAVENSHORST et al. Relationships Between Local, Global and Dynamic Modulus of Elasticity for Soft and Hardwoods. CIB-W18 / 42-10-1. 2009

3. QUESTIONNEMENTS : RÉSISTOGRAPHE

- Possibilité d'en déduire la masse volumique ?
 - Locale/globale
 - Prise en compte de l'humidité
- Quels facteurs impactent la mesure
 - Direction de forage par rapport au fil du bois ?
 - La profondeur de forage ?
 - La rectitude du forage ?



CEND dans démarche de réemploi

- Quelles perspectives ?
 - Reconnaissance des outils existants
 - Amélioration possible des interprétations/analyses
 - Nouveaux outils/méthode de caractérisation ?
 - Caractérisation *in-situ* de la densité¹

1. Plus prépondérant pour résineux car corrélation, ρ /MOE, ρ /MOR, MOE/MOR plus précise que pour feuillus (PhD Joffrey Viguiier, Labomap)

**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**

www.esb-campus.fr

NANTES · BORDEAUX · LYON · VERSAILLES

ESB NANTES – Rue Christian Pauc – BP 10605 – 44306 Nantes cedex 03

ESB BORDEAUX – BSA - 1 cours du Général de Gaulle – 33170 Gradignan

ESB LYON – 2 rue du professeur Zimmerman – 69007 Lyon

ESB VERSAILLES – 3 avenue Rockefeller – 78000 Versailles



**ÉCOLE
SUPÉRIEURE
DU BOIS**

Sciences et
technologies
des matériaux
biosourcés

Freins réglementaires

Standard and relevant part(s)	Barriers to reuse
EN 14081 all parts	The harmonised standard for strength graded timber requires known species and growth area . These are often difficult, or impossible, to know for reclaimed timber. The reason they need to be known is fundamental to the way the standard works.
EN 14081-1:2016 Cl 5.1.1	The harmonised standard for strength graded timber does not allow regrading unless the effect of the original grading is accounted for . It is not explained how to do this. In many cases reclaimed wood will have been graded previously, but the exact nature of that grading is likely not knowable. The reason why previous grading needs to be accounted for is fundamental to the way the standard works.
EN 14081 All parts	The harmonised standard for strength graded timber has separate frameworks for visual strength grading and machine strength grading . While visual strength grading can include machine made measurements, such as density, it is unclear how to frame strength grading that works with the visual part and machine part both having a high level of influence. This hybrid combination of visual and machine is often put forward as the most appropriate way forward for reclaimed timber.
EN 14081-1 Scope	The harmonised standard for strength graded timber does not allow grading of treated timber (other than by preservative against biological attack). Some kinds of reclaimed wood will have been treated with, for example, fire treatments. The concern is that these treatments could potentially affect wood properties. Even in the case of preservative treatment this is usually done after the strength grading and presence of preservative during grading can affect some kinds of strength grading process.
EN 14081-1 scope, Table 1 and Annex A	The harmonised standard for graded timber is only for uniform rectangular cross-section and has quite strict limits on wane . These are too restrictive for some markets for reclaimed timber. Limits on distortion and fissures are also likely to be too restrictive .

Freins réglementaires

EN 1995-1-1:2014+A2:2014 Cl 3.2	EN 1995 requires timber strength graded to EN 14081-1
EN 1995 and supporting standards	Design to Eurocode has no clear rules about how to deal with duration of load effects arising from previous use so these adjustments would need to be incorporated into the grading standards and declaration of performance..
EN 16351 Scope	EN 16351 for CLT says reused wood is not allowed (does not say why)
	EN 16351 for CLT requires strength grading to EN 14081-1
EN14080:2013 Cl 5.1.2	EN 14080 for glulam requires strength grading to EN 14081-1
EN15497:2014 Cl 5.1.2	EN 15497 for finger jointing structural timber requires timber strength graded to EN 14081-1
EN 14080:2013 Cl 5.5.2 EN 16351:2021 Cl 4.1.3.1 EN 15497:2014 Cl 5.2.2	EN 14080, EN 16351 and EN 15497 have restrictions on the species that can be used, and the ways in which they can be mixed. For reclaimed wood, species may not be identifiable with sufficient confidence.
EN 336:2013	EN 14081-1 scope refers to EN 336, which contains rules for permitted cross-section deviations (tolerance class) that are probably not appropriate for many kinds of reclaimed wood.

Freins réglementaires

EN 384 and EN 408	EN 384 and EN 408 have requirements about testing that may not be possible to meet for reclaimed wood due to it commonly having shorter lengths .
EN 384 Cl 5.4	There is insufficient research data to confirm that the adjustment equations in EN 384 for moisture content and modulus of elasticity are suitable for reclaimed wood.
EN 338 and EN 384	The standard strength classes in EN 338 have properties profiles that likely do not match well to reclaimed wood, due to the need to be more conservative about the strength assessment than the stiffness and density. The system allows use of “user-defined” strength classes but there is lack of research data to confirm that the secondary properties equations in EN 384 are suitable for reclaimed wood . There are also potential concerns about other properties, such as brittleness.

$$\rho = \rho_u (1 - 0,005(u - u_{\text{ref}}))$$

$$E_0 = E_{0,u} (1 + 0,01 (u - u_{\text{ref}}))$$

$$f_{c,0} = f_{c,0,u} (1 + 0,03 (u - u_{\text{ref}}))$$

Pour les bois résineux, la Formule suivante (7) doit être utilisée :

$$E_0 = E_{\text{m,global (uref)}} * 1,3 - 2690$$

$$E_{0,\text{mean}} = \overline{E_0} / 0,95$$

1. ELÉMENTS DE CONTEXTE

- Loin du potentiel de circularité (maintain, reuse, recycle)
- NDT + standards : key conditions
- Limited practice : experience of some (diag), diffusion
- Robust framework : reputation constru bois / risk, usage, économie
- Equilibre cadre général / blocage petits projet, spécif locale
- Echelle nationale : adapté spécificité, émergence filière locale
- Echelle Européenne : cohérence méthodes, compatibilité CPR
- Support testing compatible database : harmonised method NDT
- Design for disassembly, product passport, REP

1. ELÉMENTS DE CONTEXTE

- Diff bois neuf/réemploi
 - Contrainte mech prolongée : DOL, fluage → microstru change, reduce resistance
 - Variation MC% : variation dimensionnelle → contrainte interne, fissures, rectitude
 - Biodegradation insect/champi
 - Essences et zones de croissance connues ? Plus mixées ?
 - Croissance de l'arbre dans d'autres conditions (vieux bois)
 - Classement bois rond, grandes flaches, bois collés
 - Classement réemploi + conservatif, ressources plus spécifique → classement spécifique
- Bois pour réemploi
 - Destructive test reduce already small échantillonnage
 - Zone d'assemblage (métal, percements)
 - Peinture, préservaiton, ignifugation, résidus colle → impact résistance, santé
 - Classement et tri initial des bois → distribution statistique ?

Normalisation

- CEN TC250/SC5/WG12 : Assessment and retrofitting of timber existing structure
- CEN/TS 17440 : Evaluation et rénovation des structures existantes
- EN 17121 : Structure en bois du patrimoine – Lignes directives pour l'évaluation
- Forest and Wood Products Australia. (2025). FWPA Standard G01 Recycled Timber – Visually Graded for Structural Purposes
- Standard Norge. (2025). Norsk Standard for evaluering av returtre – NS 3691

Normalisation

- EN 17121 : Structure en bois du patrimoine – Lignes directives pour l'évaluation
 - Hygromètre
 - Duromètre de surface
 - Résistance à la pénétration
 - Carottage
 - Résistance au forage
 - Endoscope
 - Résistance à l'arrachement (vis)
 - Vibrations
 - Temps de propagation d'ondes élastiques de contrainte (impact ou ultrasons)
 - Radiographie et tomographie
 - Essai de charge de l'épreuve