



Particularités du matériau bois possibilités de mixité

*Robert Le Roy
Professeur à l'ENSAPM
Chercheur associé à l'IFSTTAR
Robert.leroy@enpc.fr*

Comportement mécanique



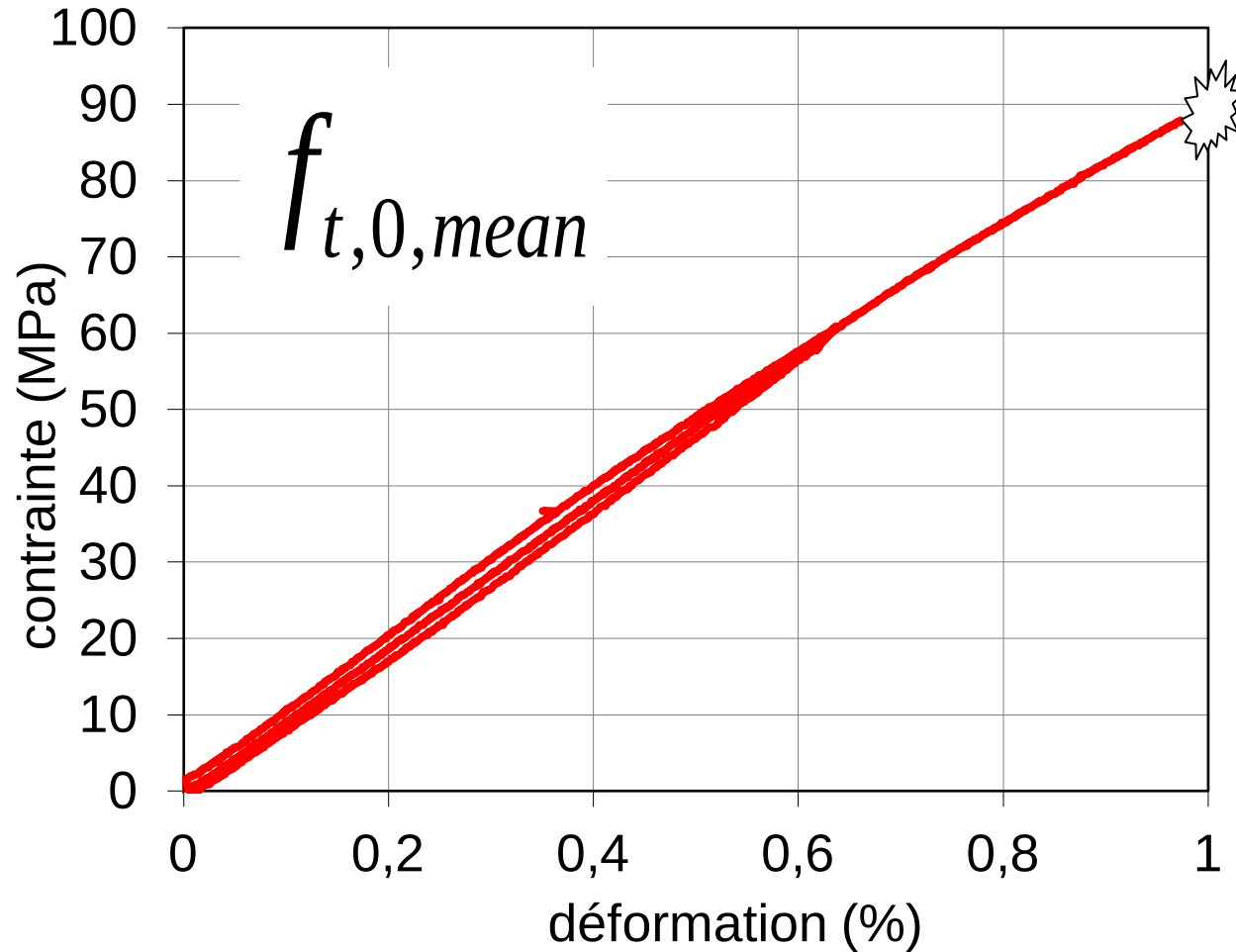
Mosquito (1944) réalisé en bois moulé (bouleau, balsa, bouleau) <http://en.wikipedia.org/wiki/Plywood>

Masse volumique

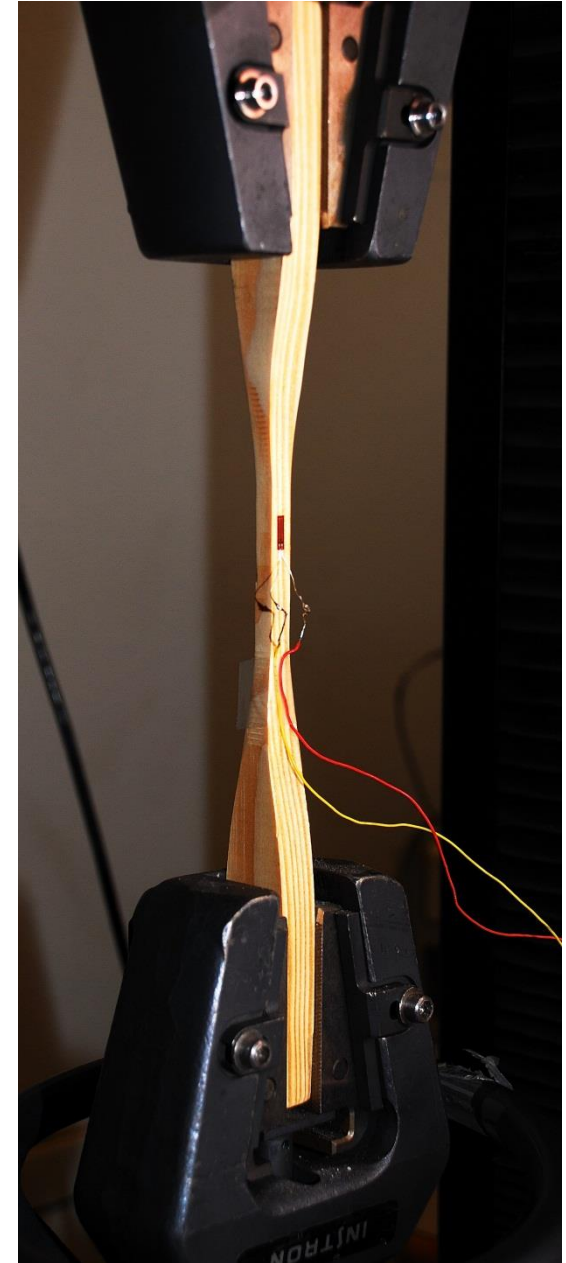
Essence	Masse volumique moyenne à 12% d'humidité (kg/m ³)
Sapin, Epicéa	400
Pin maritime, Pin sylvestre, Melèze	450
Chêne	650
Châtaigner	650

Traction longitudinale - éprouvette d'épicéa

Comportement fragile !

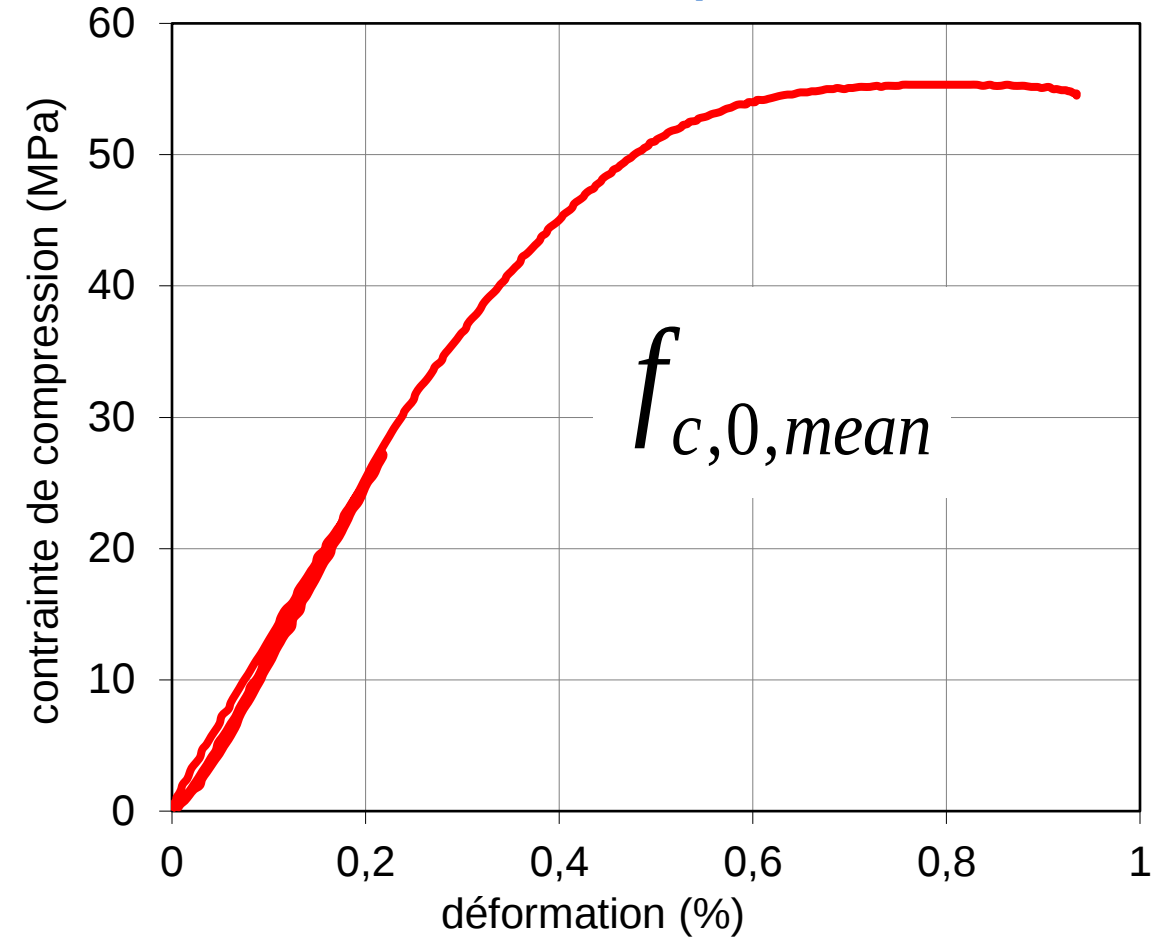


Essais Foret ENPC

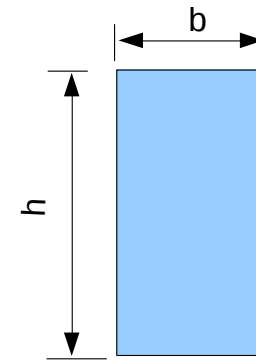
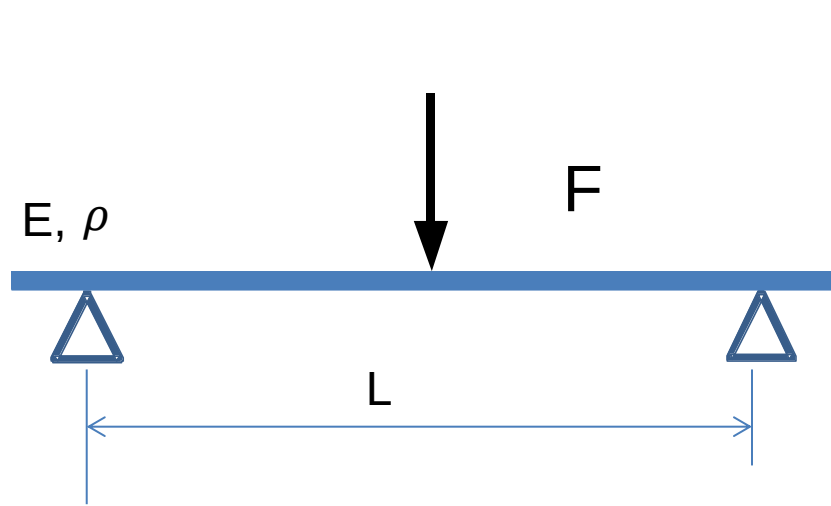


Compression longitudinale - éprouvette d'épicéa

Comportement ductile !



Essais Foret ENPC



$b = \text{cte}, h \text{ variable}$

Masse minimum pour flèche donnée

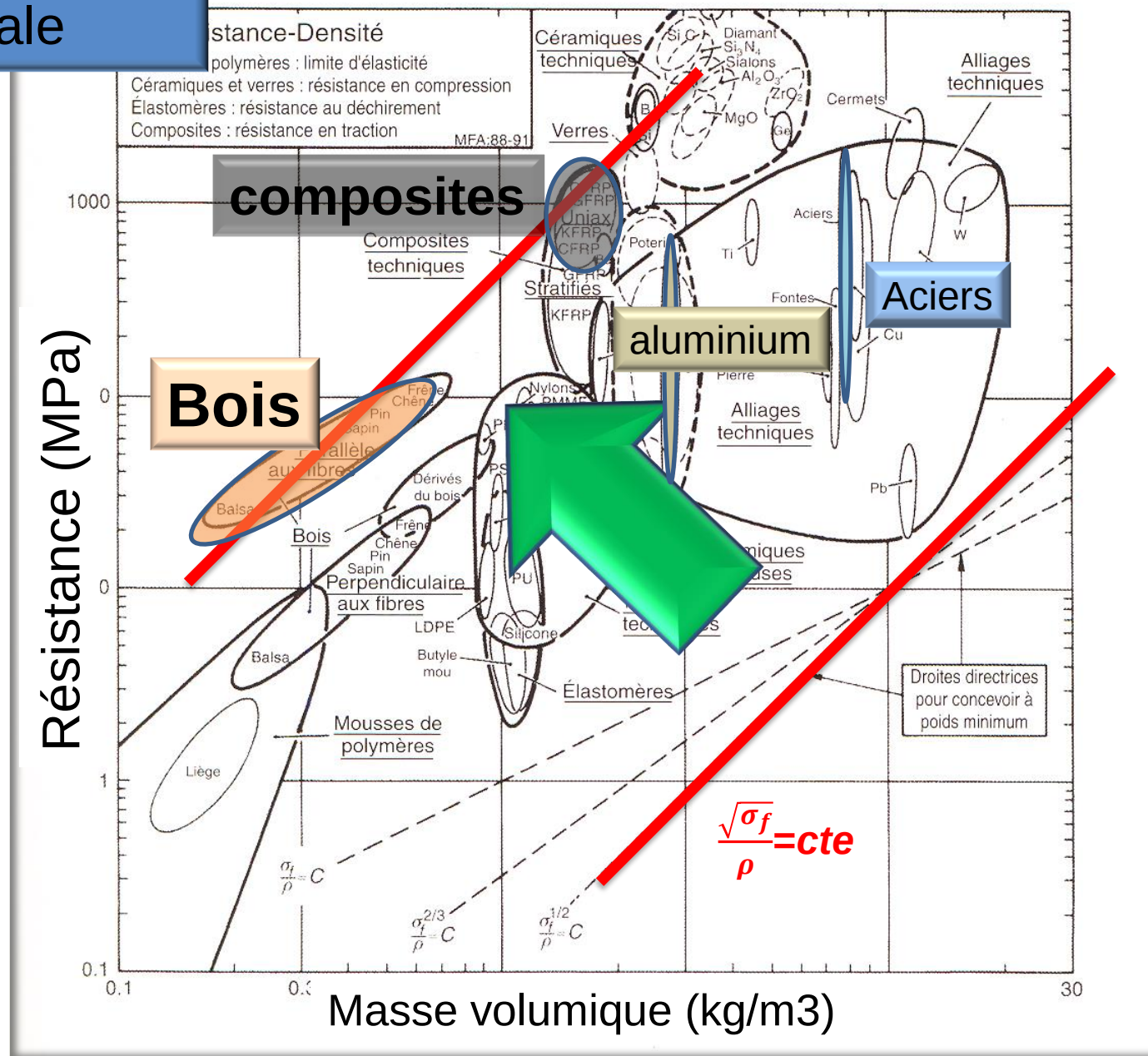
$$m \geq \frac{12Fb^2}{k} \frac{L^6}{\delta_m} \frac{1}{\frac{\sqrt[3]{E}}{\rho}} = K \cdot \frac{1}{\frac{\sqrt[3]{E}}{\rho}}$$

Masse minimum pour force donnée

$$m > \frac{g(F, b, L)}{\frac{\sqrt{\sigma_f}}{\rho}}$$

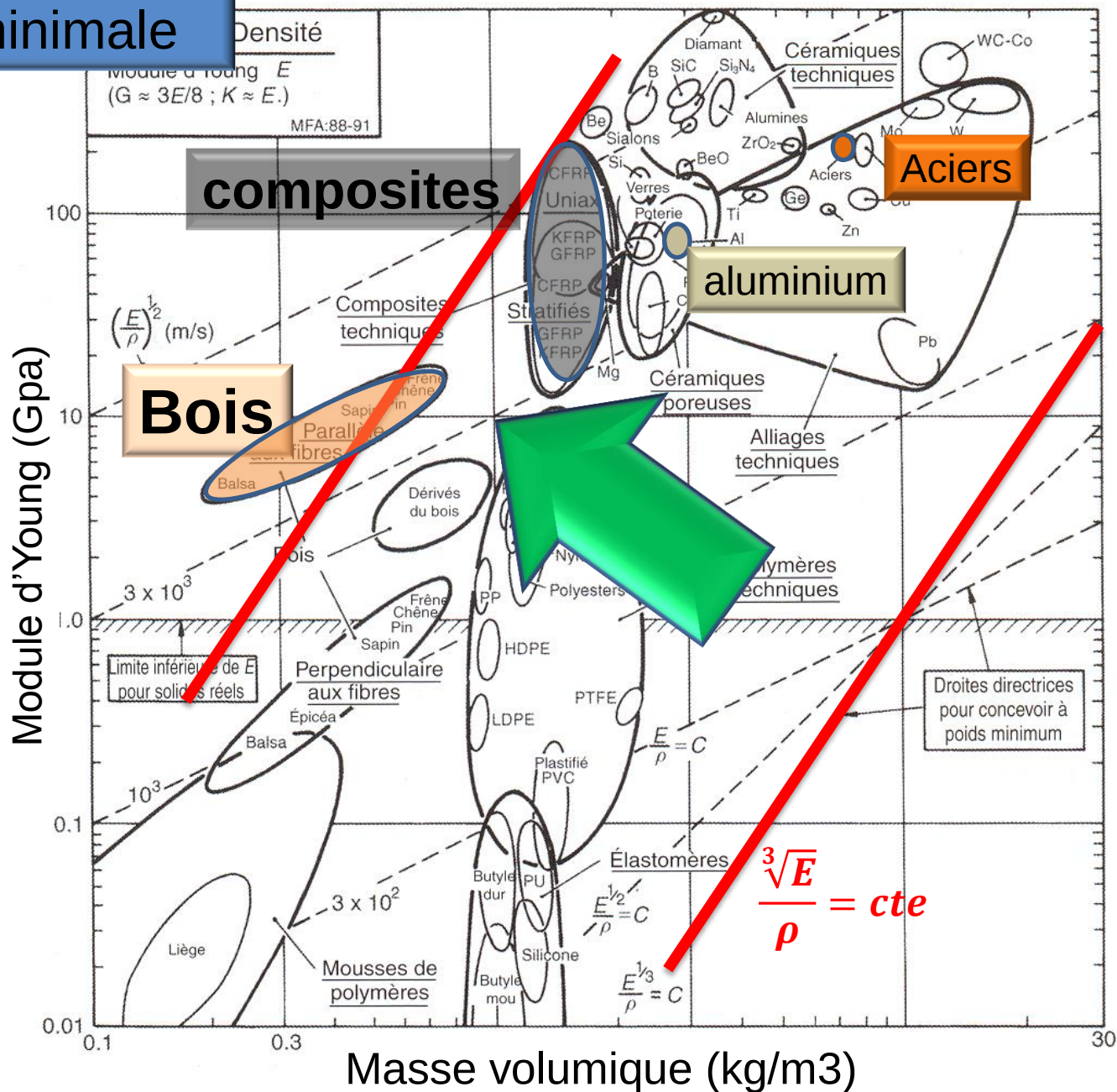
Résistance en flexion

Masse minimale

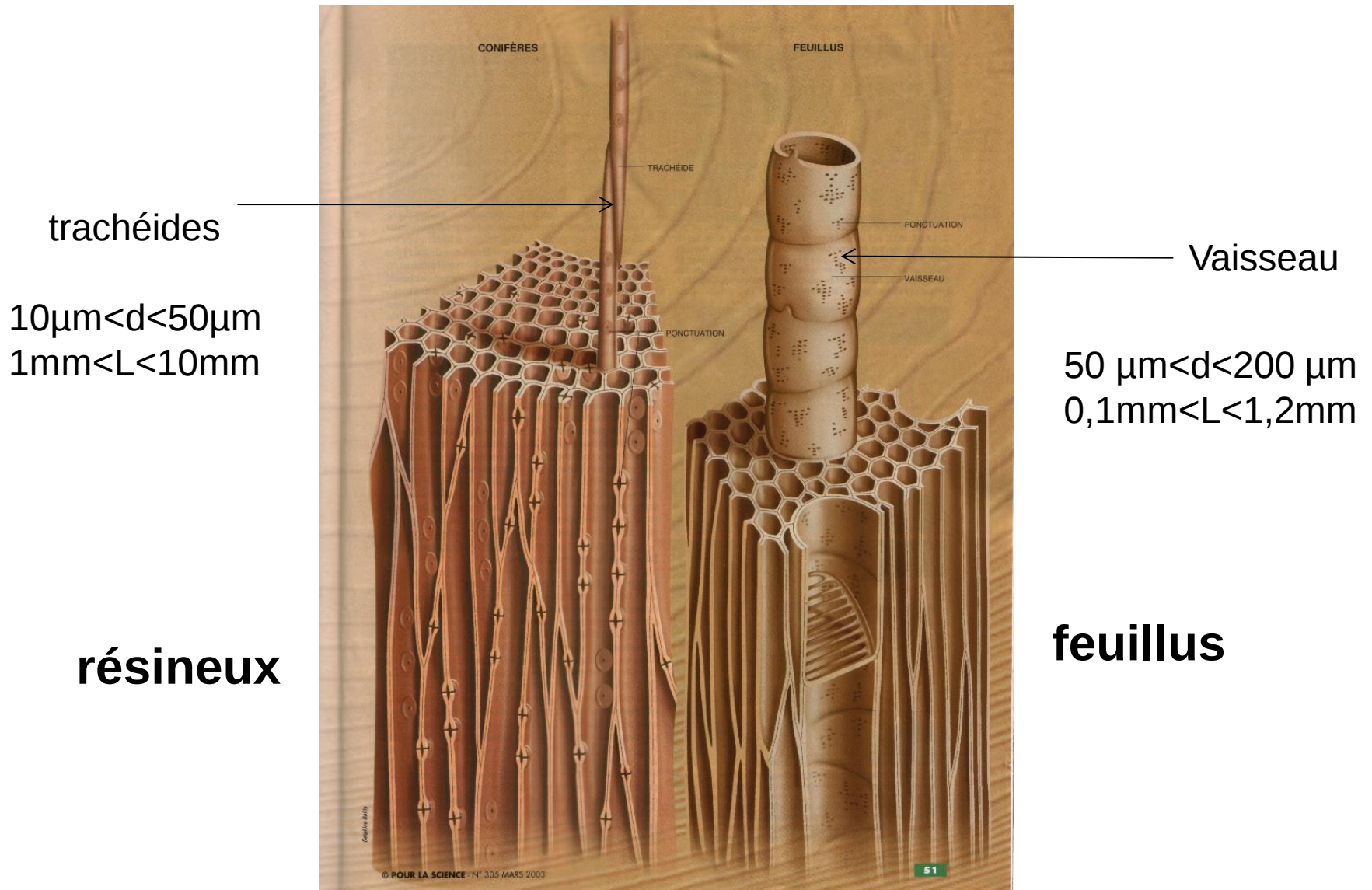


Rigidité en flexion

Masse minimale



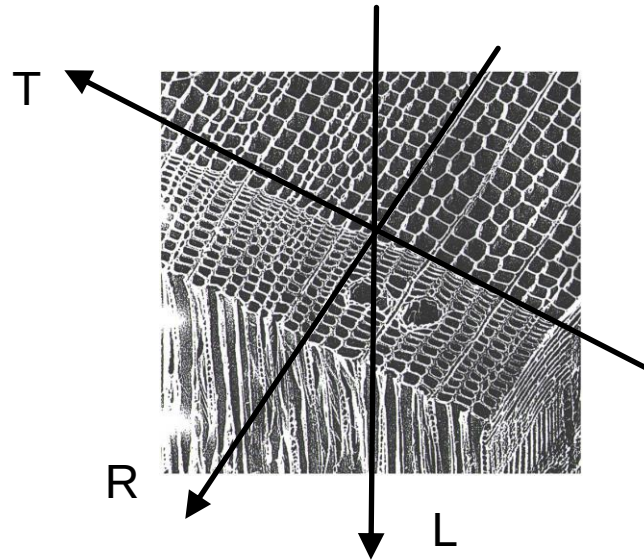
Structure poreuse



Source : *Pour la science* (mars 2003)

Comportement anisotrope

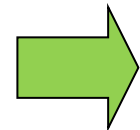
Bois sans défaut



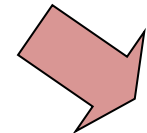
traction longitudinale : cellules en traction



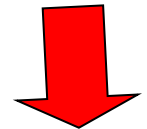
compression longitudinale : cellules en compression
(flambement des cellules)

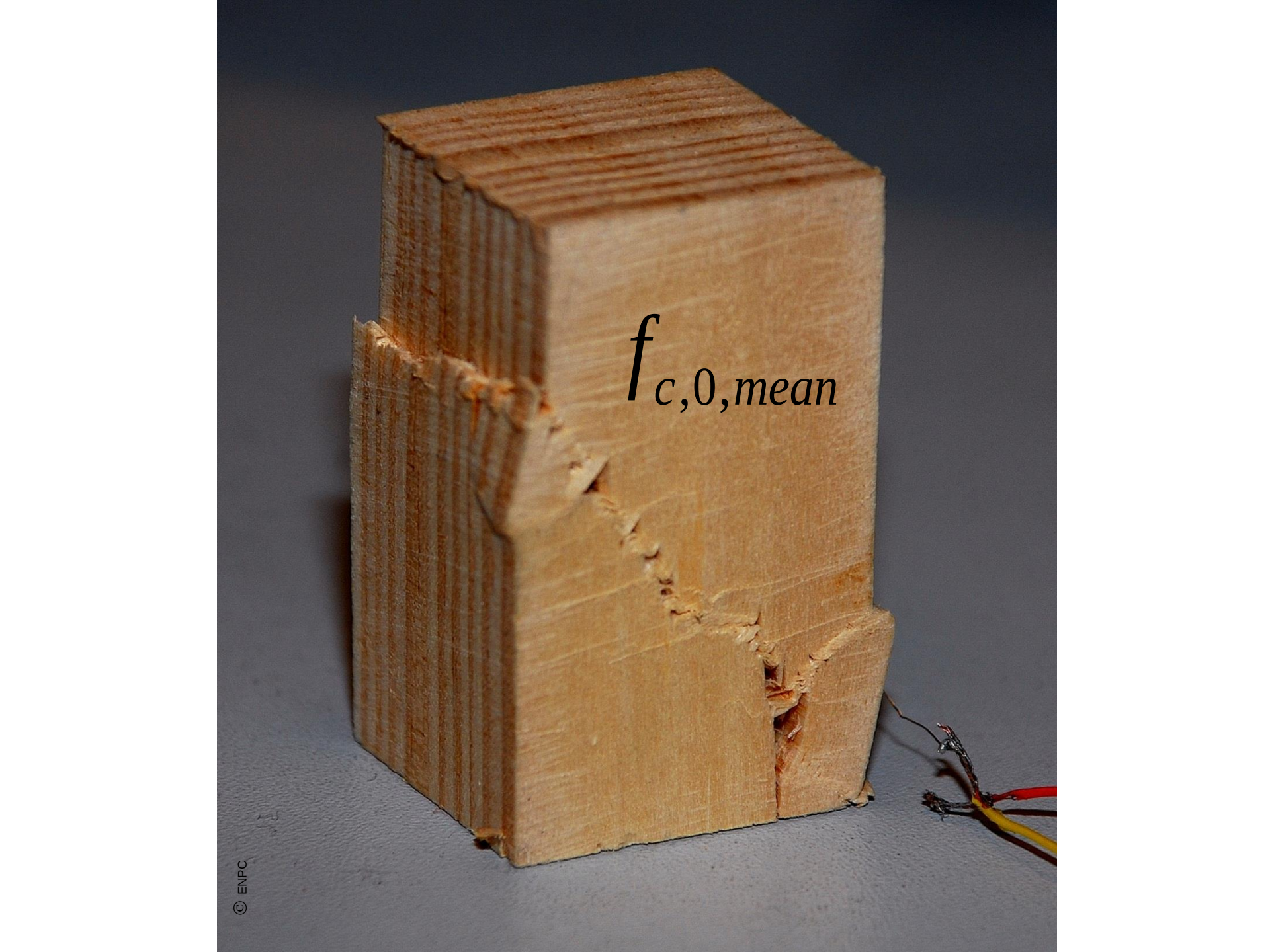


compression radiale ou transversale : écrasement des cellules



traction radiale ou transversale : décollement des cellules

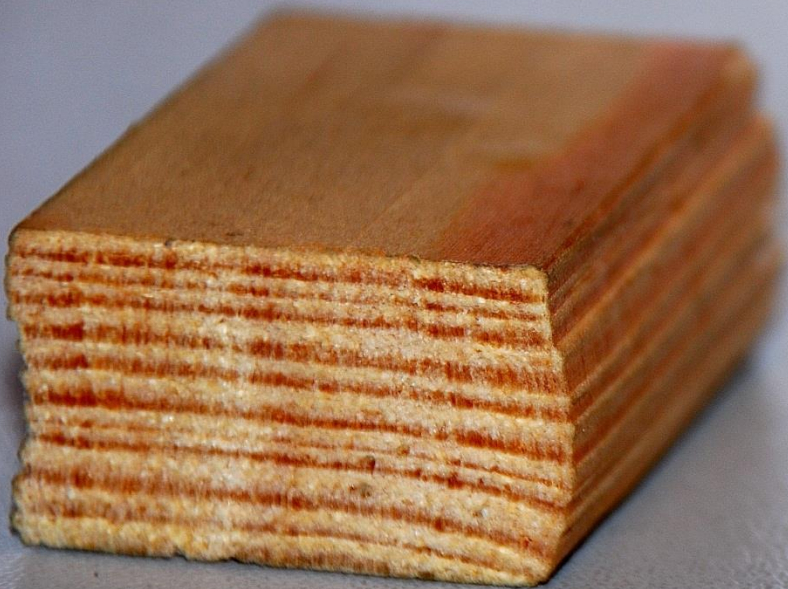




$f_{c,0,mean}$

Compression transversale – éprouvette d'épicéa

$$f_{c,90,mean} \simeq \frac{f_{c,0,mean}}{5}$$

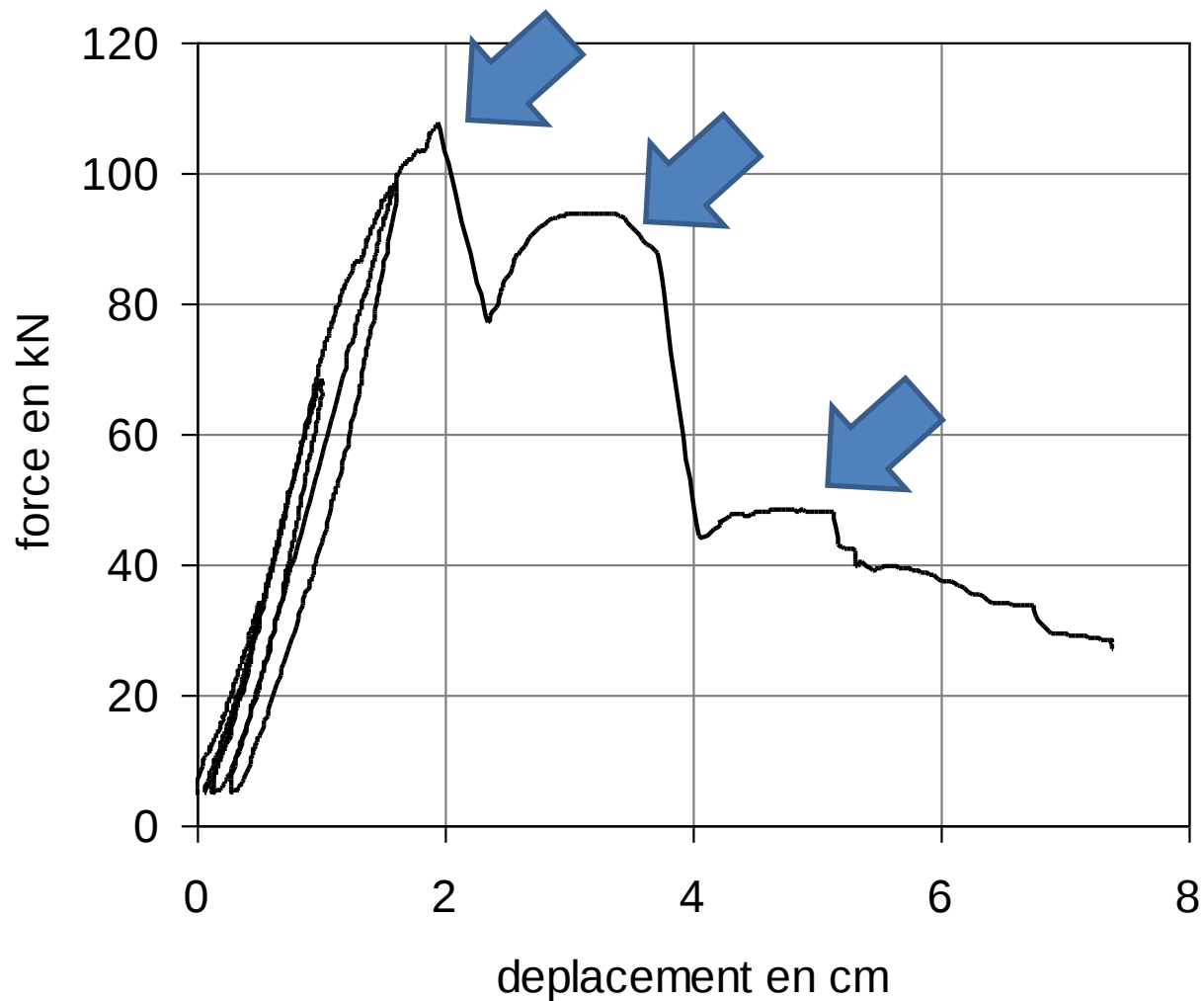


Traction transversale

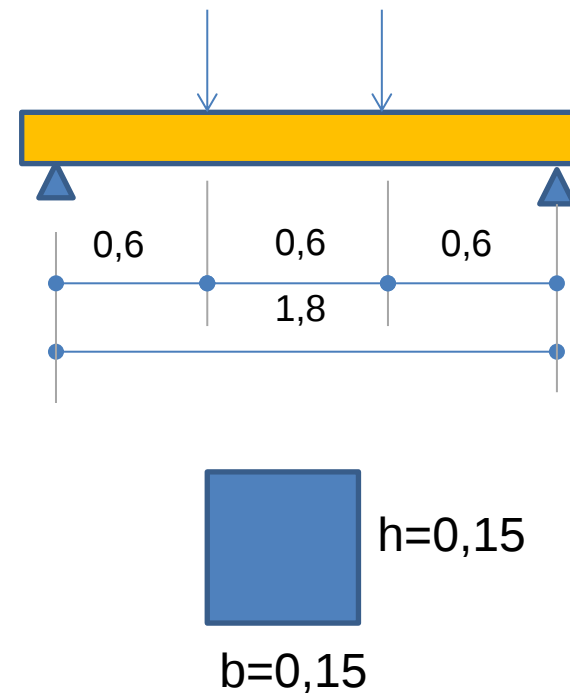
$$1\% f_{t,0,mean} \leq f_{t,90,mean} \leq 3\% f_{t,0,mean}$$

Flexion

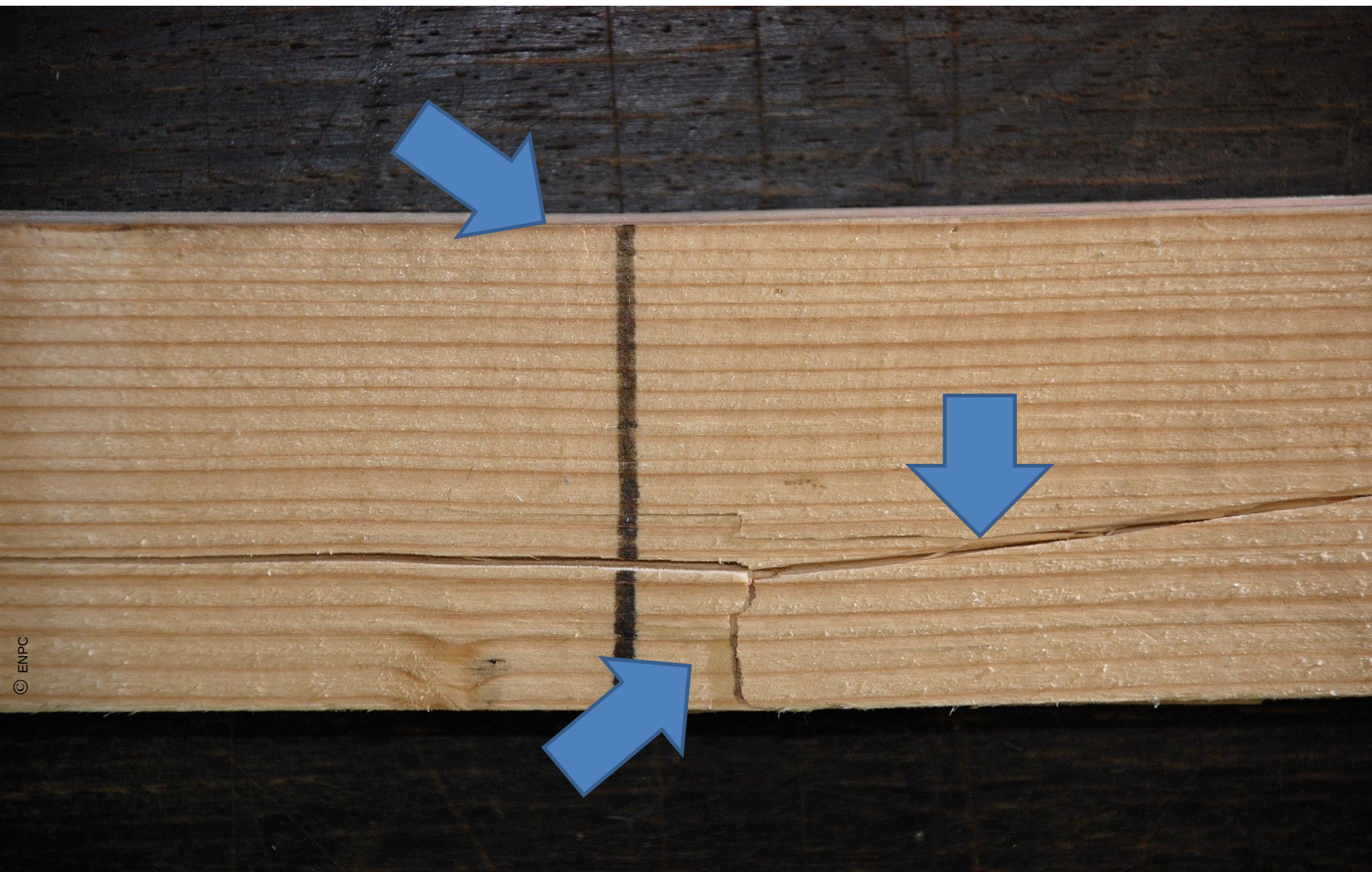
poutre en bois massif - Epicéa

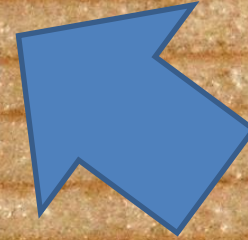


Essai ENPC



Rupture d'un tasseau 40×60 en flexion

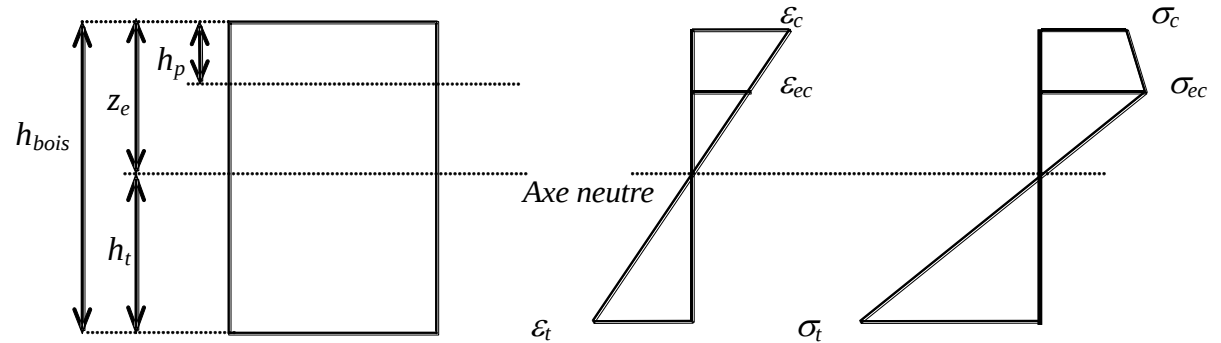




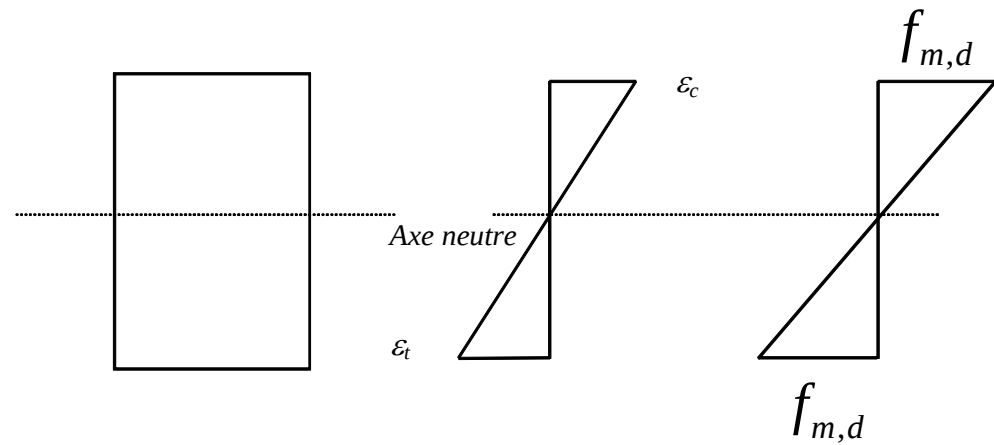
Plastification en compression

Modélisations de la flexion

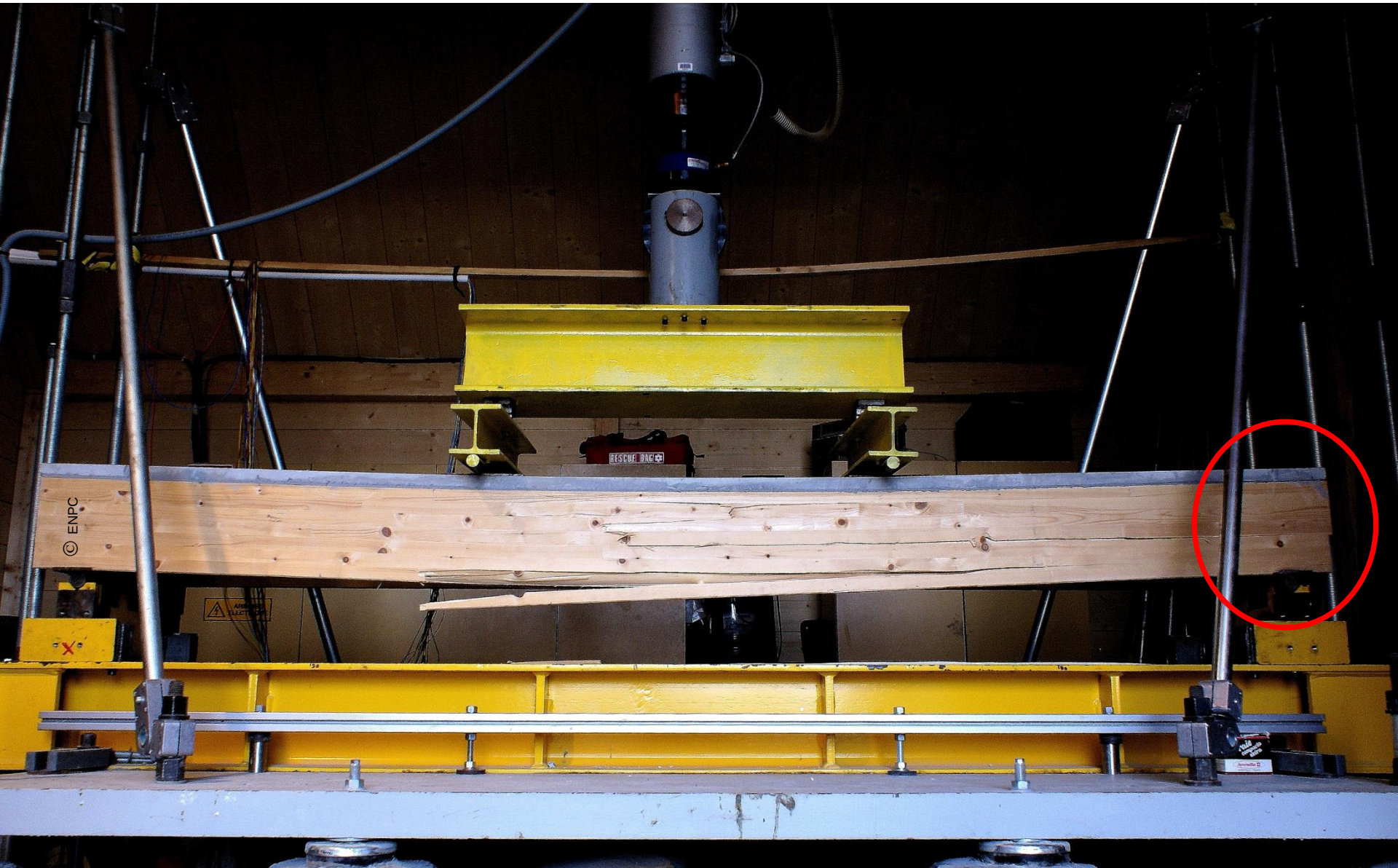
physique

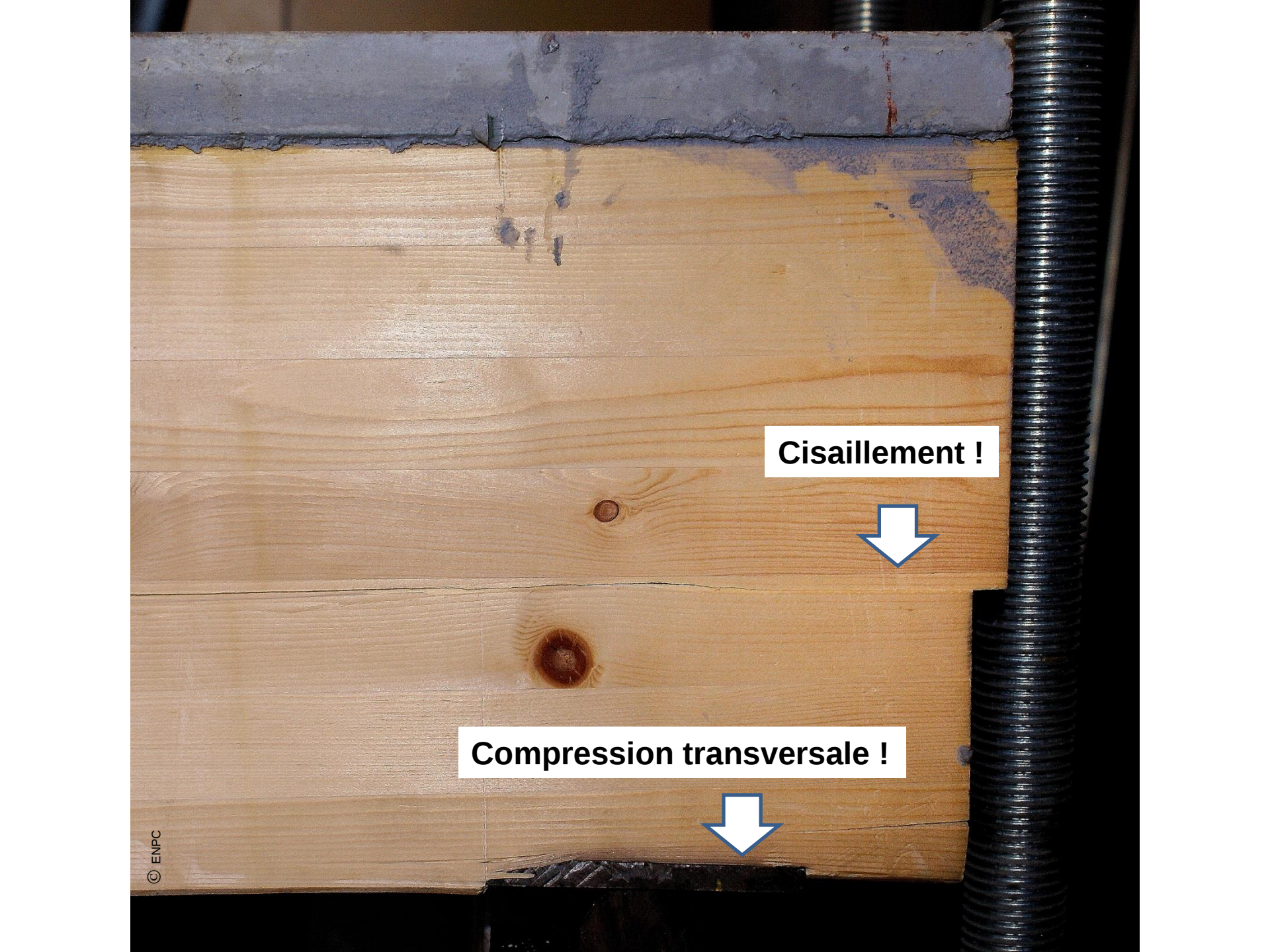


Normative EN 1995-1



Autres modes de rupture en flexion

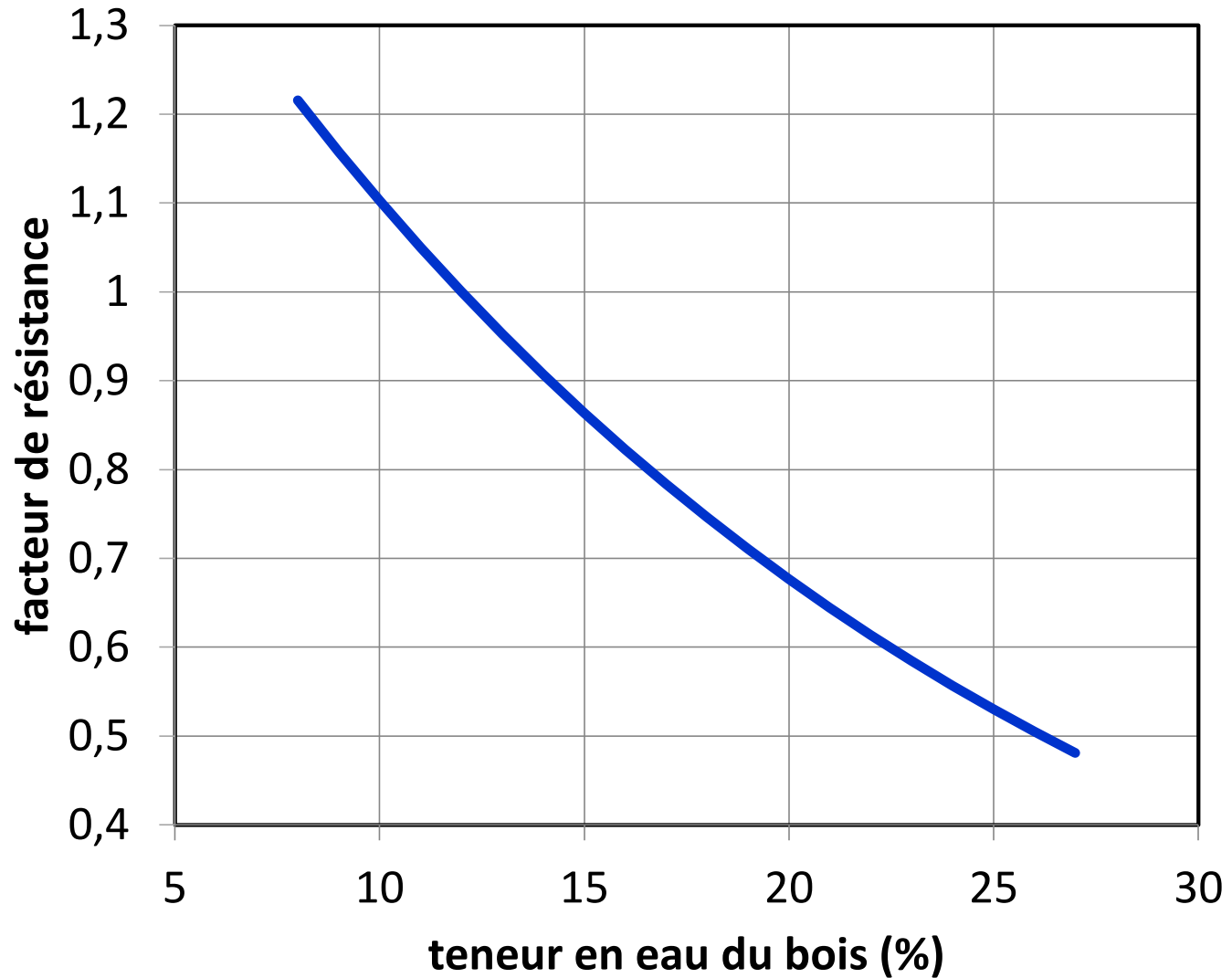




Cisaillement !

Compression transversale !

Résistance et teneur en eau pour une même essence



Modèle d'après Wood handbook (USDA) pour du Pin

Résistances caractéristiques/de calcul

EN 1995-1-1 conception et calcul des structures en bois. Partie 1-1 : généralités, règles communes et règles pour le bâtiment

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Diagram illustrating the calculation of design resistance (X_d) based on characteristic resistance (X_k).

Annotations:

- X_d : Résistance de calcul
- k_{mod} : Facteur de modification
- X_k : Résistance caractéristique

Exemple pour la compression

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

La valeur de k_{mod} correspond à l'action de la combinaison ayant la plus courte durée d'application

Valeurs de K_{mod}

k_{mod} Classe de service	Valeurs de k_{mod} selon les classes de service et de durée de chargement				
	Action Perm. (≥ 10 ans)	Action long terme (< 10 ans)	Action moyen terme (< 6 mois)	Action court terme (< 1 semaine)	Action Instant.
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

EC5 pour Bois massif, BLC, Lamibois (LVL)

Valeurs caractéristiques des résistances et des modules NF EN 338 « Bois de structure classes de résistance »

Bois massifs

Unité : MPa	C18	C24	C30	D40
Flexion	18	24	30	40
Traction ax	11	14	18	24
Traction trans	0,5	0,5	0,6	0,6
Compression ax	18	21	23	26
Compression trans	2,2	2,5	2,7	8,8
Cisaillement	2	2,5	3	3,8
Module long moyen	9 000	11 000	12 000	11 000
Module long caract	6 000	7 400	8 000	9 400
Module cisaillement	560	690	750	700

NF EN 1194. Structure en bois – bois lamellé collé – classes de résistance et valeurs caractéristiques

Classe de résistance du bois lamellé-collé		GL 24 h	GL 28 h	GL 32 h	GL 36 h
Résistance en flexion	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Résistance en traction	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Résistance en compression	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Résistance au cisaillement	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Module d'élasticité	$E_{0,g,moy}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,moy}$	390	420	460	490
Module de cisaillement	$G_{g,moy}$	720	780	850	910
Masse volumique	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

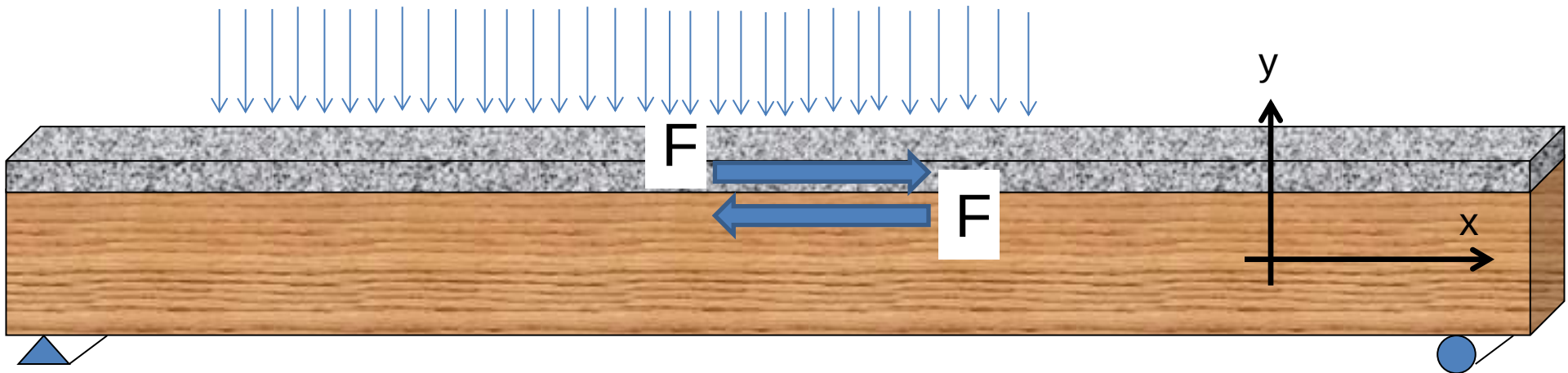
Fluage

Matériau	Valeur de k_{def} selon la classe de service		
	1	2	3
Bois massif, bois lamellé-collé, lamibois	0,60	0,80	2,00
Contreplaqué	0,80	1,00	2,50

$$E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}}$$

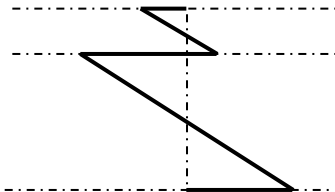
Mixité

Connexion du béton au bois

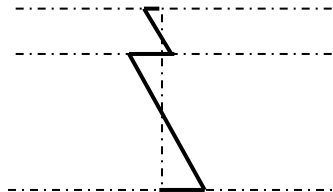


Glissement Δx $F = K \cdot \Delta x$

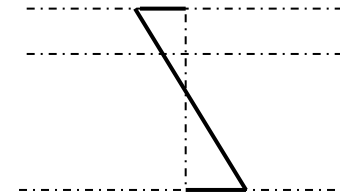
Sans
connexion



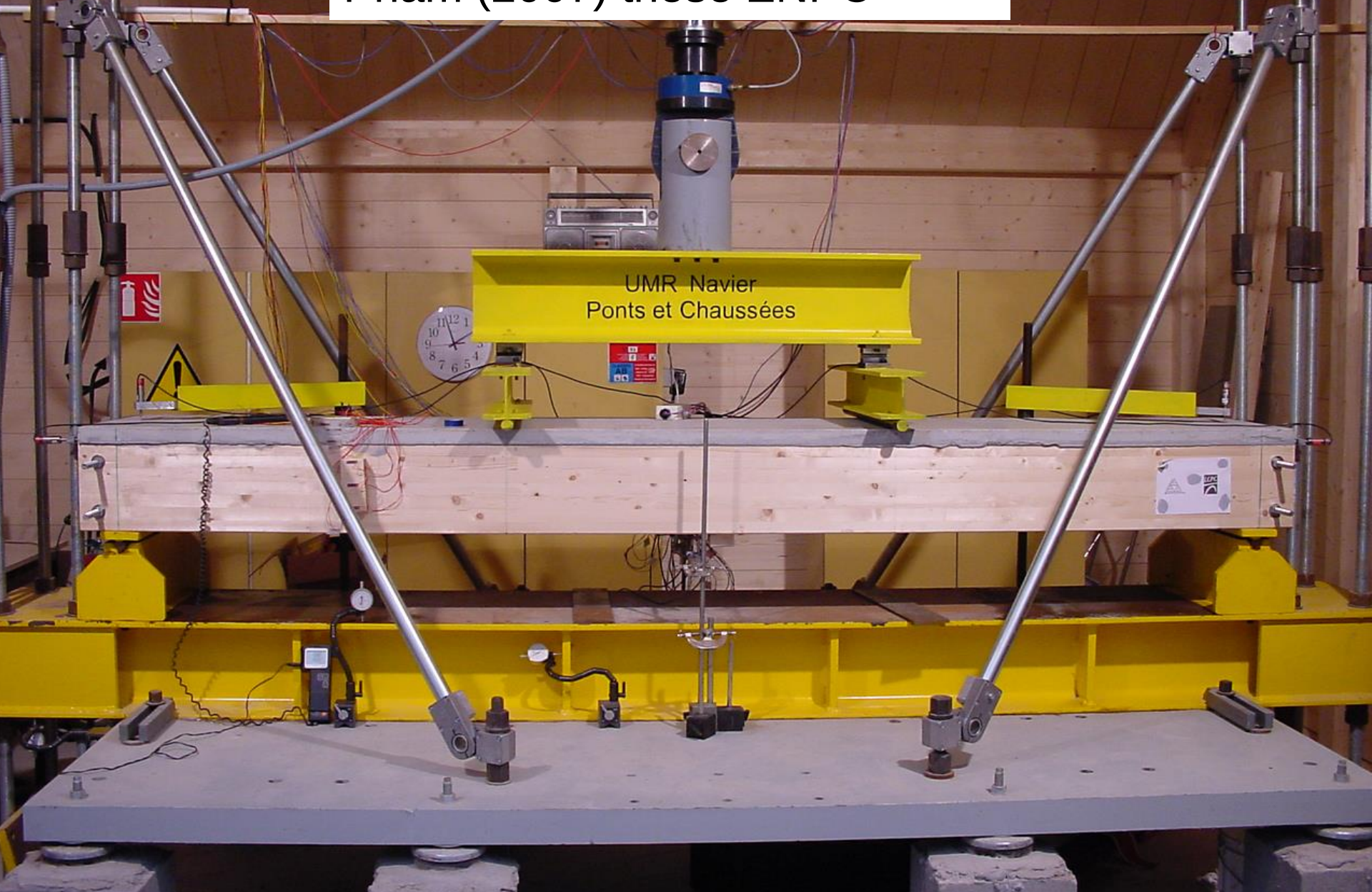
Connexion
partielle



Connexion
complète



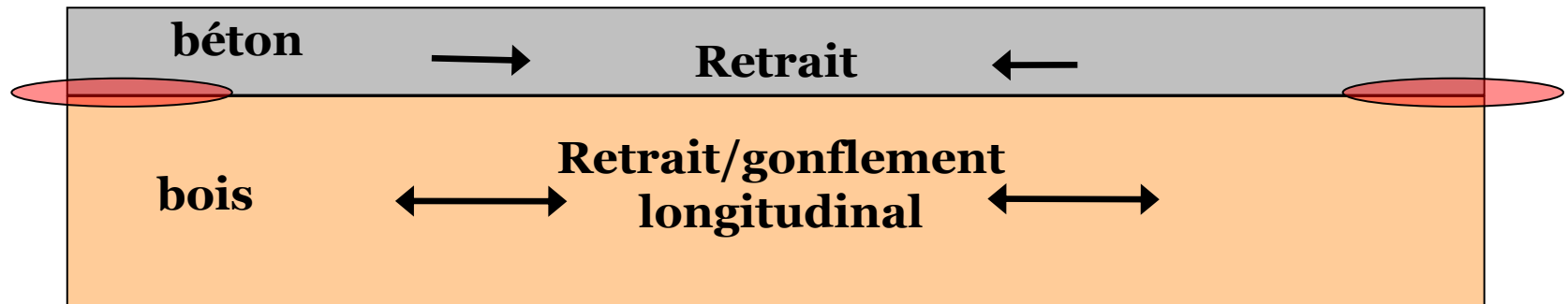
Collage = connexion complète
Pham (2007) thèse ENPC



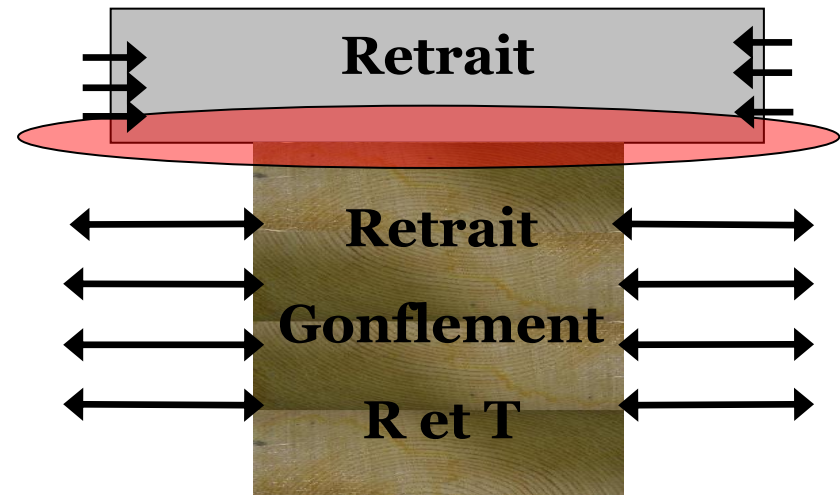
Retrait béton = 0,05%

Retrait L bois = 0,05%

Retrait R/T bois = 1,5% (pour $\Delta\omega = 5\%$)



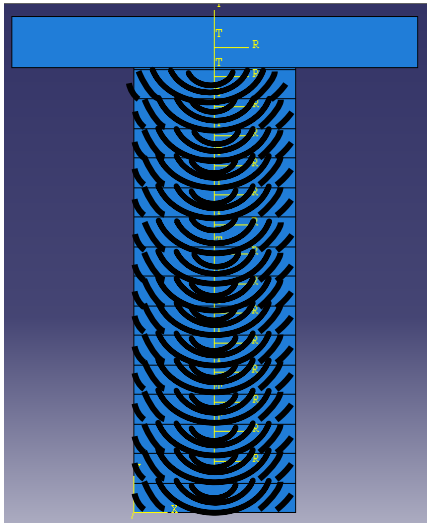
 **Contraintes
à l'interface**



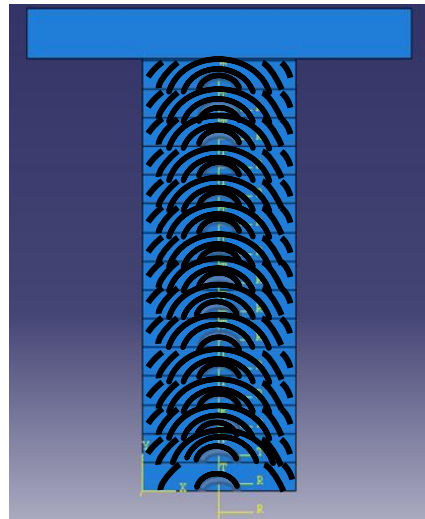
influence du sens des cernes

Application à la structure NR2C

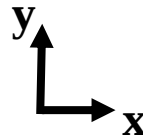
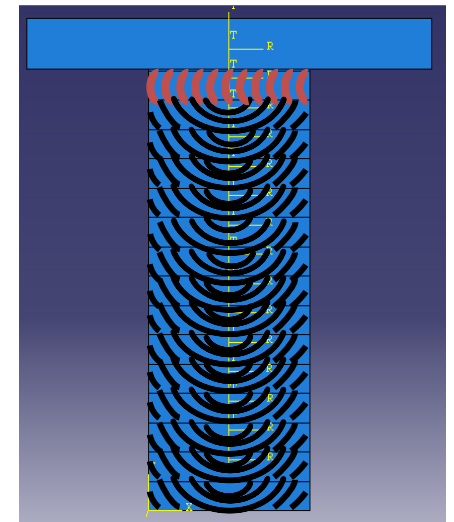
Cernes convexes



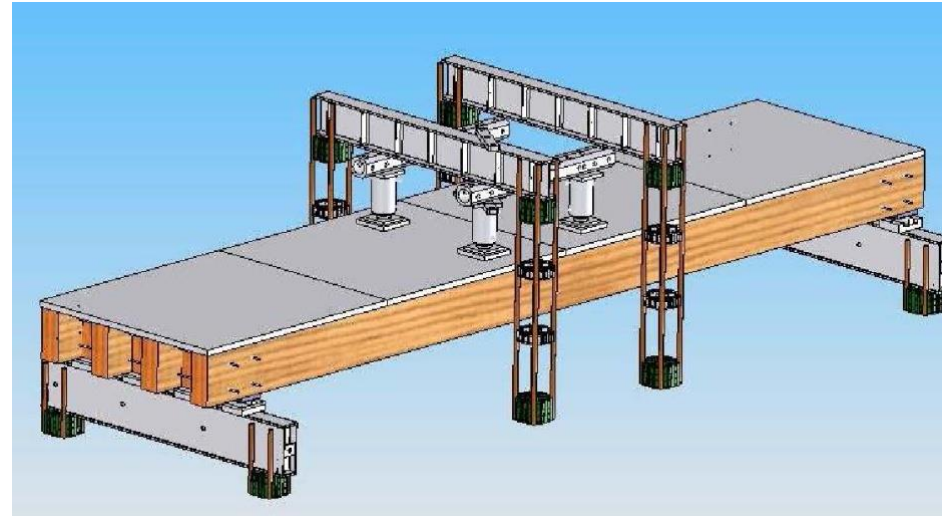
Cernes concaves



Cernes première lamelle
perpendiculaire

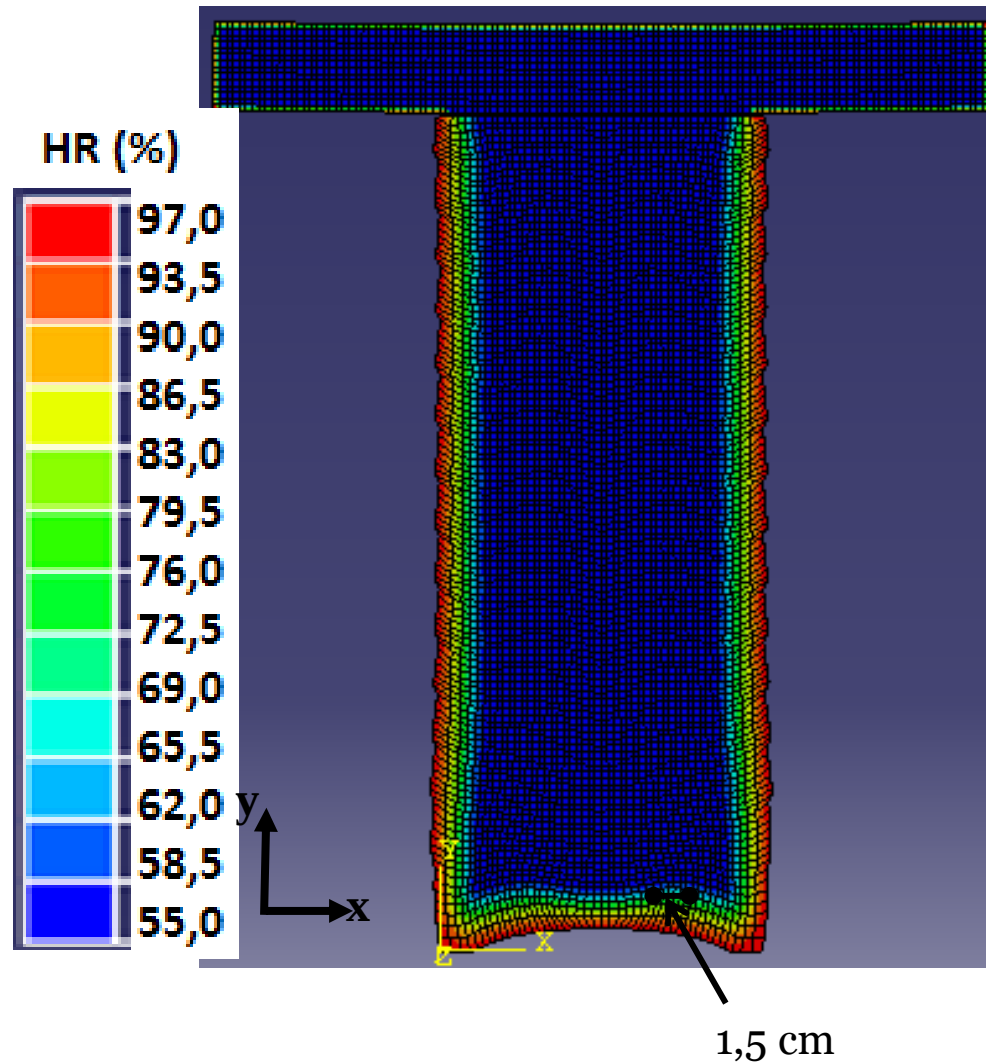


Projet NR2C
New road construction concepts
Innovations for civil engineering structures
(WP3) (pilote JMI)



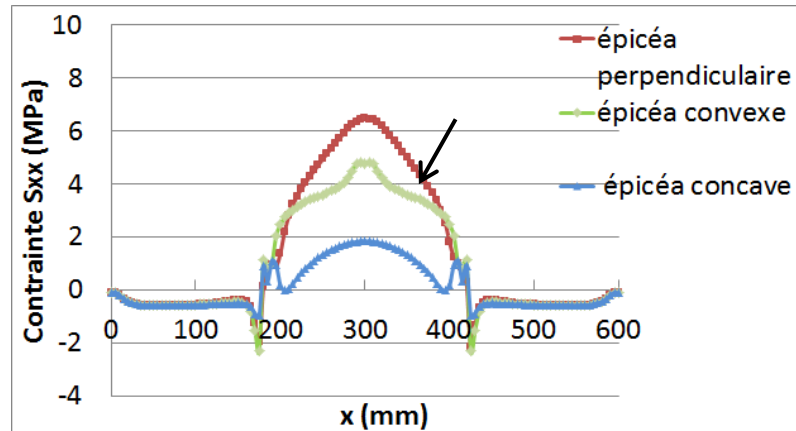
Essais Ifsttar (Toutlemonde *et al.*)

Diffusion de l'eau après 90 jours de chargement hydrique

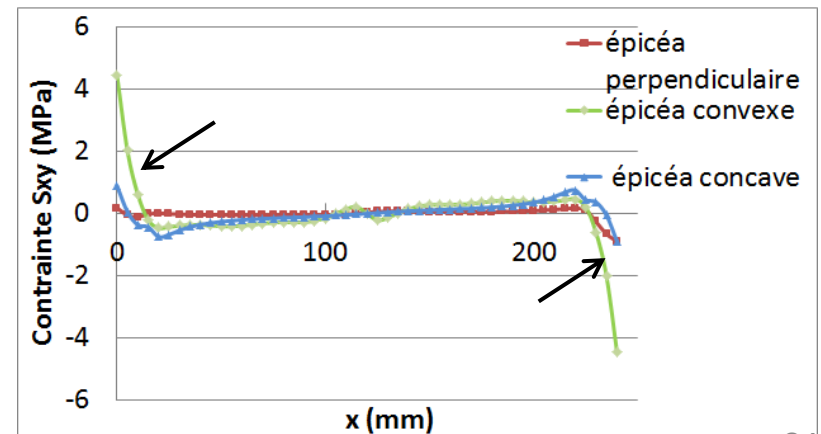
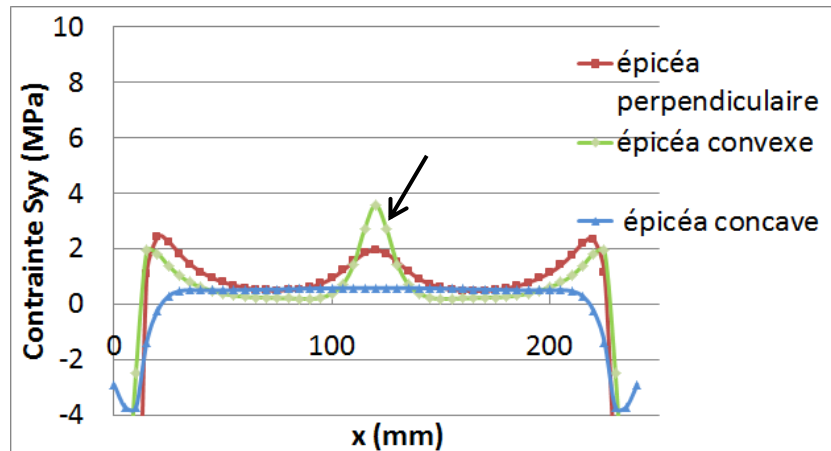


Après 90 jours de chargement hydrique

Traction parallèle à l'interface (béton)



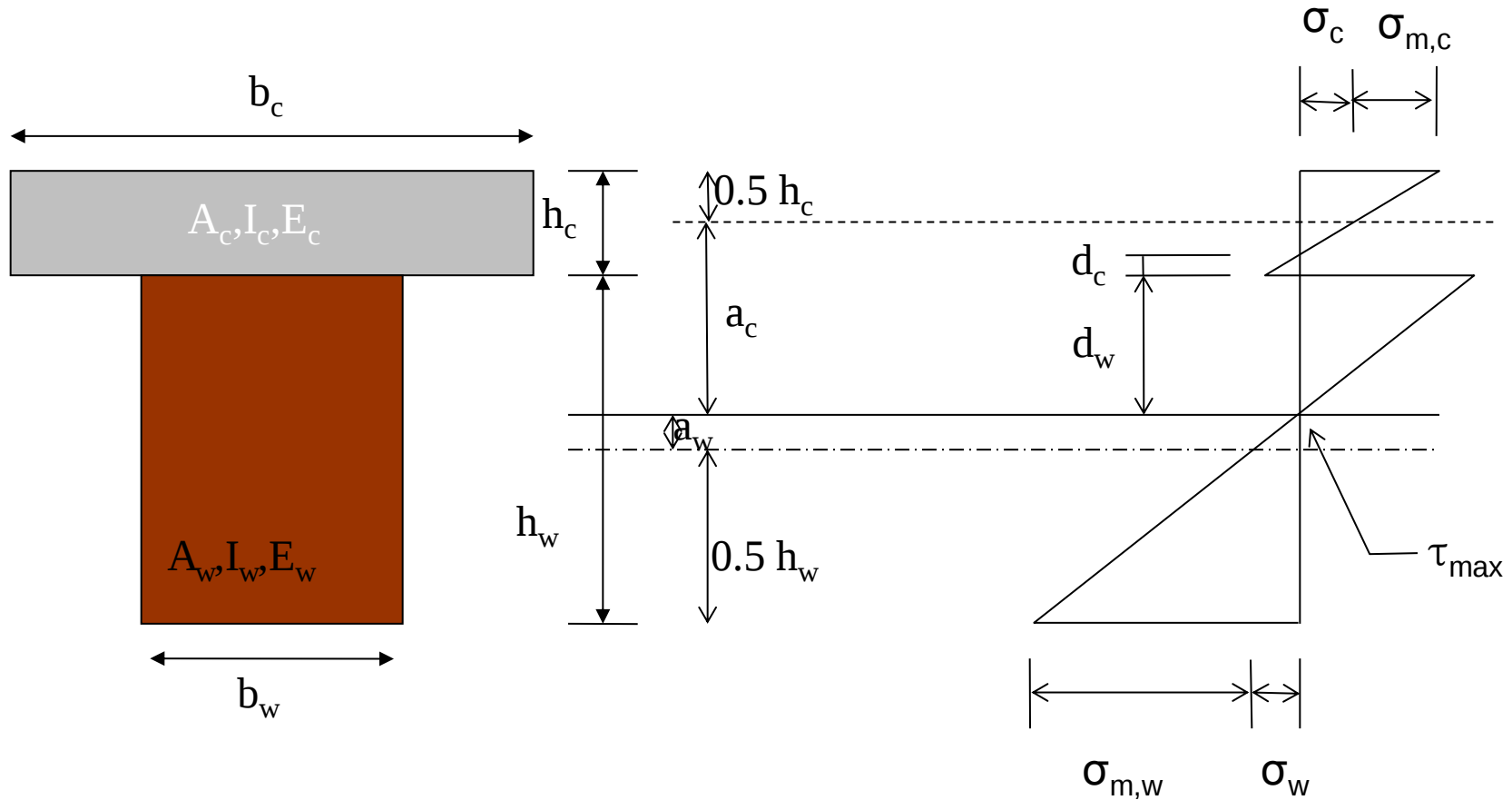
Traction perpendiculaire à l'interface (bois) Cisaillement à l'interface (bois)



EN 1995-1-1 annexe B informative

Poutres assemblées mécaniquement

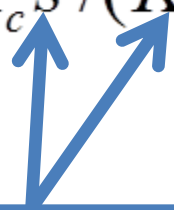
Interprétation pour une poutre mixte bois-béton



$$(EI)_{ef} = \sum_{i=c,w} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

$$\gamma_w = 1$$

$$\gamma_c = \left[1 + \pi^2 E_c A_c s / (K l^2) \right]^{-1}$$

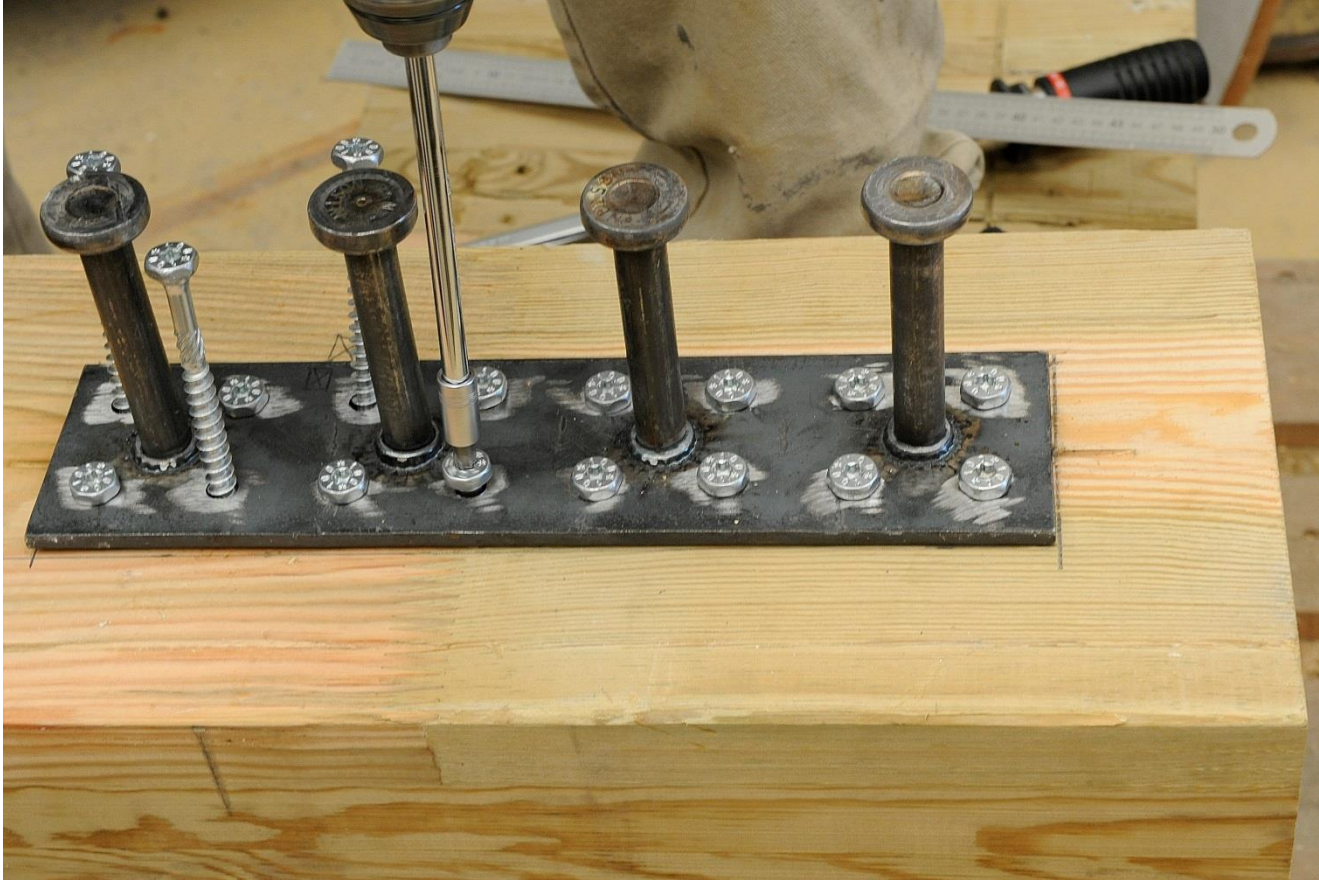


K = raideur d'un connecteur en MN/m (un connecteur par mètre de poutre)

K/s = raideur effective de la connexion en MN/m² pour un espacement s entre connecteurs

Pont type

CEREMA EST-SETRA – IFSTTAR- ENSTIB



Mise au point du connecteur : PFE Blonski
Financement JMI



- Détermination du Kser (un goujon Nelson) $K_{ser} \approx 220 \text{ MN/m}$
- Modifications plaque plus épaisse, tirefonds 12
- Validation en fatigue par Ifsttar (Doutte *et al.*)
- Vérification en statique
- Prise en compte du Kser dans dimensionnement (Cerema)



Bibliographie

Pham H.S. (2007) optimisation et comportement en fatigue de la connexion bois-bfup pour de nouveaux ponts mixtes, thèse de l'école nationale des Ponts et Chaussées, spécialité structures et matériaux, sous la direction de R. Le Roy et G. Foret.

Blonski A. (2009) étude de la rigidité d'un système de connexion pour un pont type bois-béton, Ecole des Ponts ParisTech, PFE, sous la direction de R. Le Roy et J.M. Tanis.

Bouhaya L., Le Roy R., Feraille A., (2009) Simplified Environmental Study on Innovative Bridge Structure, Environmental Science & Technology Journal, 43(6), pp. 2066-2071

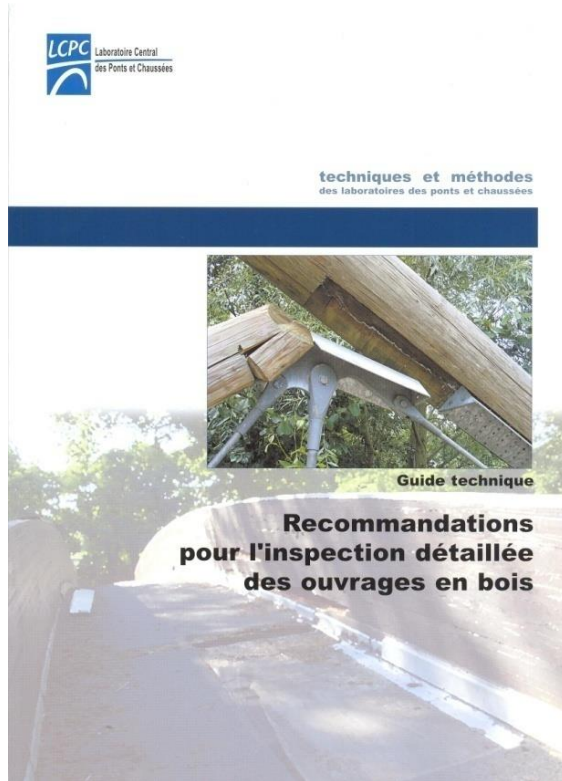
Le Roy R., Pham H.S., Foret G., (2009) new wood composite bridges, European Journal of Environmental and Civil Engineering, vol.13, n°9, pp. 1125-1139.

Loulou L., Caré S., Le Roy R., Bornert M., Bertrand F., Chataigner S., Nedjar B., (2011) Etude de la durabilité des assemblages collés bois-béton soumis à des chargements hydriques, 20ème congrès français de mécanique, Besançon.

Ben Mekki O., Toutlemonde F., (2011) Experimental Validation of a 10-m-Span Composite UHPFRC–Carbon Fibers–Timber Bridge Concept, Journal of Bridge Engineering Photo Asce / January-February, 148-157.

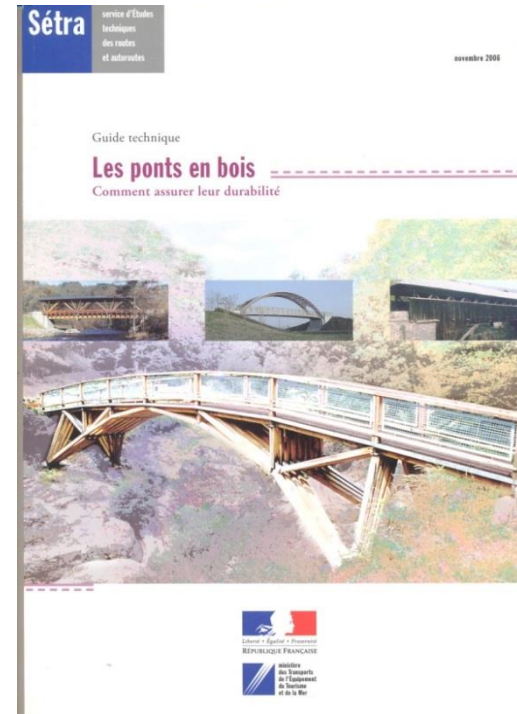
Loulou L. (2013) durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique, thèse de l'université Paris Est, spécialité structures et matériaux. Sous la direction de S. Caré et R. Le Roy.

4 Guides techniques



**Guide LCPC pour
l'inspection des ponts en
bois**

Disponible



**Guide pour assurer la
durabilité des ponts en bois**

Disponible

Guide pour la conception des Ouvrages d'Art en Bois



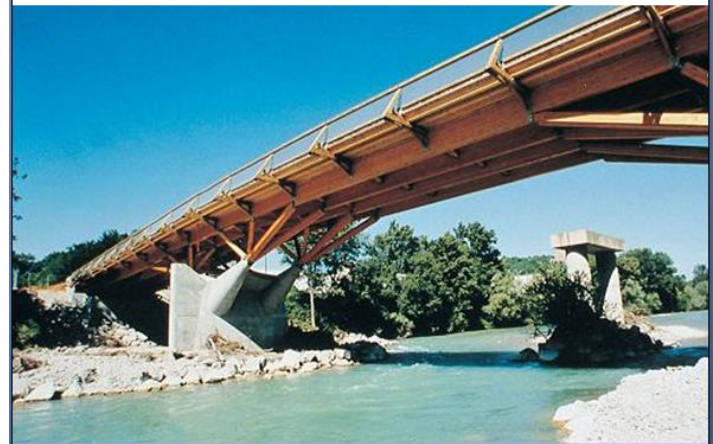
février 2013

Disponible

Juillet 2010

GUIDE METHODOLOGIQUE

Ponts mixte Bois/Béton Application aux ponts routes



À paraître 2014