

# Analyse théorique et expérimentale de l'impact de la rigidité des connexions bois à organes multiples sur le comportement d'un portique courant.

Ing. A. BAJRAKTARI  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

Cet article traite de la rigidité des connexions bois à organes multiples, type boulons. Dans les structures en bois, la rigidité des connexions est un point encore assez difficile à déterminer de manière précise, alors que les structures en bois lamellé-collé d'aujourd'hui sont de plus en plus importantes. L'article vise à comparer la rigidité selon les normes Européenne (EN 1995) et Suisse (SIA 265), ainsi que les essais effectués dans le laboratoire du département construction à l'ECAM, pour ensuite calculer le déplacement dans un portique courant avec une charge en tête de colonne. Pour ce faire, le travail se base sur une partie théorique brève et une partie expérimentale plus développée, avec une ligne directrice en 3 parties : essai de portance locale et définition d'une loi de comportement bilinéaire du bois, comportement d'un boulon sur une fondation en bois et calcul de la rigidité en flexion de l'assemblage, et enfin essai en vraie grandeur d'un assemblage. Ces étapes sont reprises dans le schéma ci-après, montrant l'assemblage type étudié :

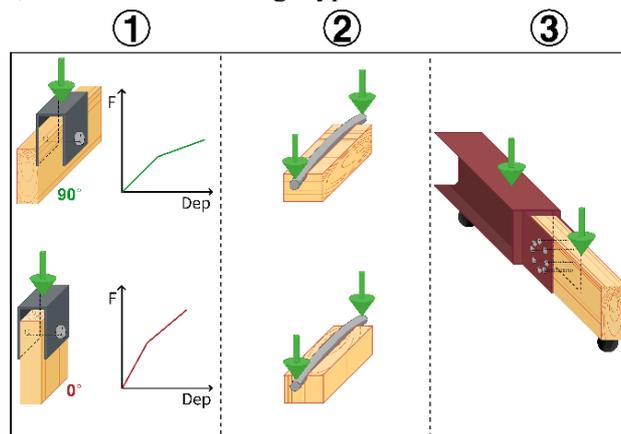


Figure 1 : Étapes récapitulatives du travail

## 2. Étude théorique de la rigidité selon les normes

L'étude théorique de la rigidité s'est basée sur deux normes en vigueur : la norme Européenne EN 1995 et la norme Suisse SIA 265. Son objectif est de calculer la rigidité d'un assemblage type en couronne, comme indiqué à la figure 1.

Pour ce faire, on calcule d'abord une rigidité axiale qui sera ensuite utilisée pour calculer la rigidité en flexion. En effet, lorsqu'on applique un moment de force aux différents organes de connexion, on peut déterminer la charge que chaque organe supporte, avec une direction perpendiculaire à celle-ci. Par conséquent, on peut également déterminer le déplacement de chaque organe si l'on connaît la rigidité associée. Pour ce faire on utilise la formule suivante :

$$K_w = \Sigma K_{ser} * r^2 ,$$

où  $K_{ser}$  est la rigidité axiale et  $r$  le rayon.

On obtient, pour la norme EN 1995 : 1 738,84 [kN.m/rad] ,  
et pour la norme SIA 265 : 1 168,04 [kN.m/rad] .

La grande différence entre les deux rigidités en flexion calculées s'explique par le fait que la norme Suisse définit une rigidité différente en fonction de l'orientation des fibres du bois, ce qui semble se rapprocher davantage de la réalité, comme le démontrent les essais de portance locale présentés plus loin dans cet article.

## 3. Étude expérimentale de la rigidité

### 3.1. Essai de portance locale

L'essai de portance locale, conforme à la norme EN 383, consiste en l'application d'une contrainte moyenne de compression/traction sur un échantillon de bois en utilisant un élément d'assemblage considéré comme rigide.

L'objectif de l'essai de portance dans le cadre de cette étude était de déterminer les rigidités axiales en fonction de l'orientation des fibres du bois. Le bois utilisé est du bois lamellé collé GL24 (épicéa). Au total, 60 essais de portance ont été réalisés à deux angles différents : un premier parallèle aux fibres du bois (0°) et un deuxième perpendiculaire aux fibres du bois (90°).

Grâce aux résultats obtenus à partir de ces 60 essais, il est possible de créer, selon la norme EN 383, une loi de comportement linéaire basée sur le module de fondation.

### 3.2. Loi de comportement bilinéaire

Après avoir établi une première loi de comportement pour chaque essai, il a été remarqué que celle-ci s'éloignait rapidement des résultats obtenus lors des essais pratiques. Cela est illustré dans la figure 2, où la première loi de comportement s'écarte significativement après un déplacement de seulement 1/2 mm. Par conséquent, une deuxième loi de comportement a été étudiée afin de mieux correspondre à la réalité des essais effectués. Ce processus a été réalisé pour chaque orientation des fibres du bois ( $0^\circ$  et  $90^\circ$ ).

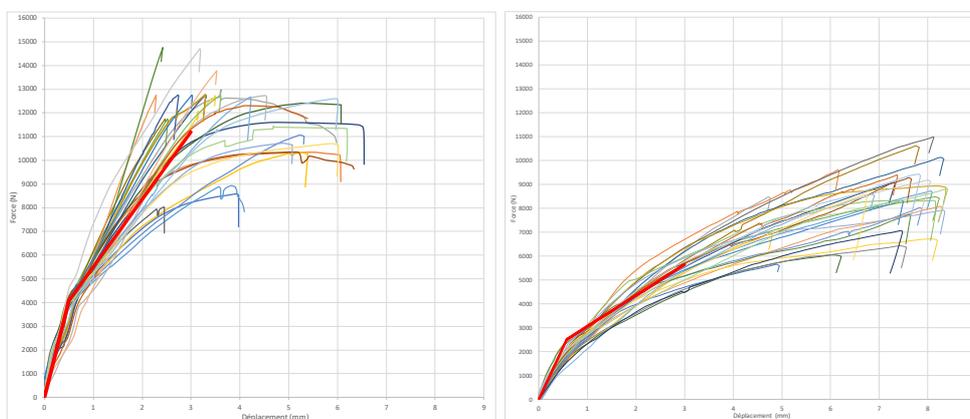


Figure 2 : Graphiques force/déplacement des essais traités + loi de comportement bilinéaire (en rouge), pour  $0^\circ$  et  $90^\circ$ .

Les lois de comportement sont nommées E1 et E2 pour les deux orientations des fibres du bois. Les rigidités axiales correspondantes sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1: Loi de comportement expérimentale ( $0^\circ, 90^\circ$ )

E1	Rigidité axiale $0^\circ$	Rigidité axiale $90^\circ$
	8153,94 N/mm	4348,12 N/mm
E2	Rigidité axiale $0^\circ$	Rigidité axiale $90^\circ$
	2989,50 N/mm	1364,11 N/mm

## 4. Comportement boulon/bois modèle numérique

Après avoir établi la loi de comportement bilinéaire du bois, il a été décidé d'étudier le comportement d'un boulon en acier sur une fondation en bois. L'étude a été menée à l'aide du logiciel d'éléments finis FineIg.



Figure 3 : Modélisation d'un boulon sur une fondation de bois

Lorsque le moment se découple, l'effort transite via les deux plats métalliques chargeant ainsi les boulons aux deux extrémités. Cela a donc pour effet de mettre les boulons en flexion. C'est ce phénomène qui est étudié ici afin de déterminer le déplacement à l'extrémité d'un boulon sous l'effet d'un moment qui augmente progressivement. Ainsi, elle a pu prendre en compte la plastification du boulon en acier, ainsi que la deuxième loi linéaire du bois, comme détaillé au point 3.2.

En résumé, l'étude numérique s'est déroulée en trois niveaux : le premier niveau a testé le boulon en acier comme étant parfaitement élastique, avec une loi de comportement du bois également élastique (NL(E1) - L). Le deuxième niveau a utilisé la loi bilinéaire du bois trouvée, toujours avec le boulon en acier considéré comme parfaitement élastique (NL(E2) - L). Enfin, le troisième niveau a utilisé la loi bilinéaire du bois en conjonction avec une loi élastique comportant un palier plastique pour le boulon (NL(E2) - NL).

Après avoir obtenu les rigidités à l'extrémité du boulon pour ces trois niveaux, et ce, pour chaque orientation des fibres du bois, la rigidité en flexion a été calculée en utilisant la même méthode que celle de l'étude théorique. Cela signifie que la formule de rigidité rotationnelle  $K_w$  a été utilisée en se basant sur les rigidités axiales déterminées à l'extrémité du boulon.

## 5. Étude expérimentale de la rigidité d'un assemblage type

En plus des essais de portance locale, il a été décidé de réaliser 6 essais en vraie grandeur conformément à la norme EN 26891 sur un assemblage en couronne. La figure 4 décrit l'essai à 4 points, qui a ensuite servi à déterminer la rotation de la section au niveau de l'assemblage.

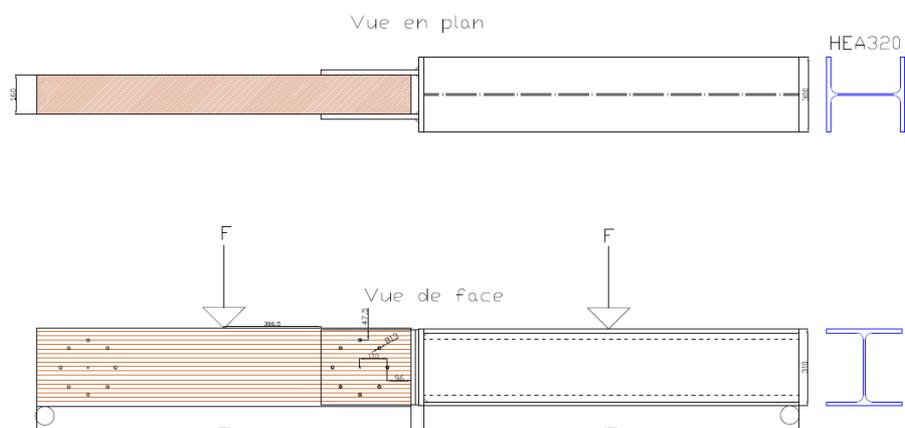


Figure 4 : Croquis des essais en vrai grandeur

Finalement, nous obtenons le tableau 2, qui permet la comparaison entre les différentes rigidités en flexion.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des rigidités ( $K_{ser}$ ;  $K_w$ )

	$K_{ser} 90^\circ$	$K_{ser} 0^\circ$	$K_w$
L(E1)-L	6 848 N/mm	10 215 N/mm	826 kN.m/rad
NL(E2)-L	4 632 N/mm	6 592 N/mm	543 kN.m/rad
EC5	17 963 N/mm	17 963 N/mm	1739 kN.m/rad
SIA265	8 044 N/mm	16 088 N/mm	1168 kN.m/rad
Essai_Flexion			517 kN.m/rad

## 6. Étude de la rigidité d'un portique courant

Enfin, la dernière étape de ce travail a consisté à comparer les déplacements horizontaux d'un portique courant afin d'évaluer l'influence de la rigidité en flexion de la connexion. Les rigidités en flexion obtenues au point 5 ont été intégrées dans le logiciel Finelg pour calculer le déplacement en tête sous une charge de service. Cela permet de quantifier la réelle différence entre les calculs et les essais.

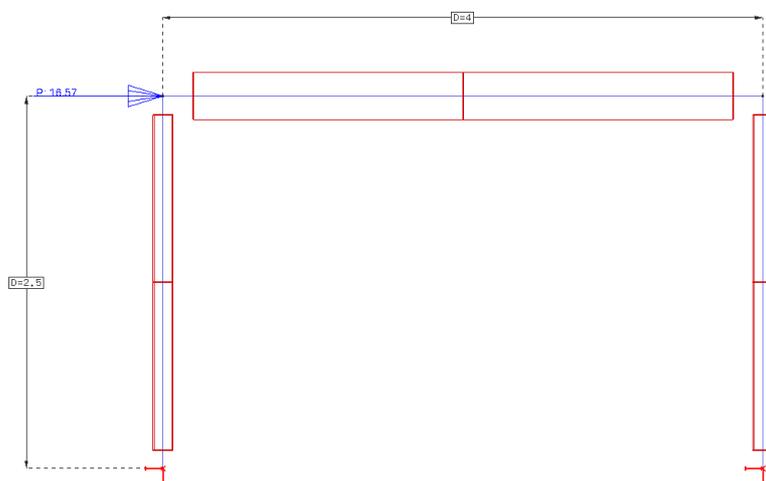


Figure 5 : Modélisation du portique type via le logiciel Finelg

On observe des différences significatives dans le tableau 3 entre les déplacements dus aux différentes rigidités aux nœuds.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des déplacements selon les rigidités aux nœuds

	Kser 90°	Kser 0°	Kw	Dép. horizontal
L(E1)-L	6 848 N/mm	10 215 N/mm	826 kN.m/rad	89.30 mm
EC5	17 964 N/mm	17 963 N/mm	1739 kN.m/rad	56.65 mm
SIA265	8 044 N/mm	16 088 N/mm	1168 kN.m/rad	71.20 mm
Essai_Flexion			517 kN.m/rad	127.00 mm
			Rigide	26.87 mm

## 7. Conclusions et perspectives

En conclusion, l'impact de la rigidité des connexions, selon les essais et les normes EC5 et SIA265, est un sujet qui mérite d'être approfondi, étant donné les divergences de résultats entre la norme Européenne et la norme Suisse, ainsi qu'entre les normes et les résultats obtenus par les essais expérimentaux.

La première différence peut s'expliquer par le fait que la norme Européenne calcule une raideur identique quelle que soit l'orientation des fibres du bois, tandis que la norme Suisse établit un facteur deux entre les rigidités en fonction des différentes orientations des fibres du bois. La deuxième différence entre les normes et les essais pourrait s'expliquer par le fait que les normes travaillent sur un plan de cisaillement sans prendre en compte l'épaisseur de l'assemblage.