

# Application des lois de similitude à la caractérisation expérimentale et numérique du comportement des assemblages de bâtiments bois

SOUSSEAU Yann<sup>1,2</sup>, ELACHACHI Sidi Mohammed<sup>1</sup>, CHAPLAIN Myriam<sup>1</sup>, CATTEROU Thomas<sup>2</sup>, GARCIA Patrice<sup>2</sup>, FAYE Carole<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Mécanique et d'Ingénierie, Département Génie Civil et Environnemental, Université de Bordeaux, Bat B18, Allée Geoffroy St Hilaire, 33615 Pessac

<sup>2</sup> Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement, Allée de Boutaut, 33800 Bordeaux

**RESUME** L'expérience est un moyen pertinent pour appréhender le comportement des bâtiments en bois de grande hauteur, mais les essais sur une structure à taille réelle sont complexes et coûteux à réaliser. Ainsi, la solution proposée consiste à tester une maquette représentative réduite, dont la conception est basée sur une loi de similitude. Ensuite, à partir du comportement observé sur la maquette, la loi de similitude permet d'en déduire celui de la structure à l'échelle 1. Une loi de similitude a été constituée pour les assemblages d'une construction bois. Il a été constaté que les coefficients de similitude obtenus expérimentalement et numériquement (sur le comportement des assemblages) étaient différents de ceux attendus théoriquement. Cela s'explique, en partie, par le fait que certaines conditions de similitude sur la maquette ne sont pas satisfaites pour des raisons pratiques. Une adaptation des lois de similitude pour intégrer ces situations doit être réalisée.

**Mots-clefs** Lois de similitude, bâtiments bois, essais de caractérisation, éléments finis

## I. INTRODUCTION

L'expérimentation, lorsqu'elle est réalisable, permet d'appréhender le comportement d'une structure, en particulier son comportement dynamique. Mais mener des essais dynamiques sur une structure à taille réelle nécessite des moyens exceptionnels et coûteux. Cette problématique existe pour l'étude du comportement dynamique des bâtiments bois multi-niveaux et de grande hauteur. Ainsi, la solution proposée consiste à tester une maquette représentative, dont la conception est basée sur une loi de similitude. Puis, à partir des réponses observées sur cette structure à l'échelle réduite (*Reduced scale* = **R**), la loi de similitude permet d'en déduire la réponse de la structure à l'échelle 1 (*Full scale* = **F**). Plus précisément, une loi de similitude est un ensemble de facteurs de similitude, qui sont définis, pour chaque grandeur  $x$  (paramètres ou réponses), par le rapport  $\lambda_x$  :

$$\lambda_x = x^{(F)}/x^{(R)} \quad (1)$$

Pour un phénomène mécanique ou physique quelconque, différentes méthodes permettent de constituer des lois de similitude. Une des plus courantes est la méthode DA, « Dimensional Analysis » (Wissmann, 1968), basée sur l'analyse dimensionnelle. Cette méthode impose des facteurs de similitude identiques pour des grandeurs de mêmes unités. Cet article présente le développement de lois de similitude sur les assemblages d'une structure en bois de type poteaux-poutres contreventées par triangulation. Pour cela, nous couplons les essais à la modélisation par éléments finis. Ces travaux constituent la première étape d'un programme de recherche incluant l'étude des lois de similitude à l'échelle du mur puis à celle de plusieurs niveaux de murs. La finalité de l'étude globale est de participer à l'amélioration de la connaissance dans la prise en compte des contraintes dynamiques.

## II. Constitution d'une loi de similitude pour les assemblages d'une structure bois poteaux-poutres

Les facteurs de similitude dits d'entrée sont relatifs aux caractéristiques des assemblages (dimensions, matériaux...), et les facteurs dits de sortie sont relatifs à leur comportement (par exemple la courbe force - glissement, le glissement étant le déplacement relatif entre le bord de la plaque et le bois). Lorsque cela est possible, on cherche plutôt à utiliser les mêmes matériaux entre échelle 1 et réduite, ainsi les facteurs  $\lambda_{\sigma_i}$  sur les propriétés mécaniques sont considérés égaux à 1. Aussi, si la maquette est définie à l'échelle 1/3, le facteur pour les dimensions est  $\lambda_L=3$ . Afin d'évaluer la loi de comportement de l'assemblage, les facteurs de sortie auxquels on s'intéresse sont  $\lambda_{F_u}$  pour la force maximale  $F_u$ , et  $\lambda_{K_e}$  pour la raideur élastique  $K_e$ . Ces facteurs sont obtenus par la méthode DA : la force étant homogène au produit d'une contrainte et d'une longueur au carré, le glissement étant homogène à une longueur, et la raideur s'exprimant en N/m, on a :

$$\lambda_{F_u} = \lambda_{\sigma_i} \lambda_L^2 = 9 ; \lambda_{K_e} = \lambda_{\sigma_i} \lambda_L = 3 \quad (2)$$

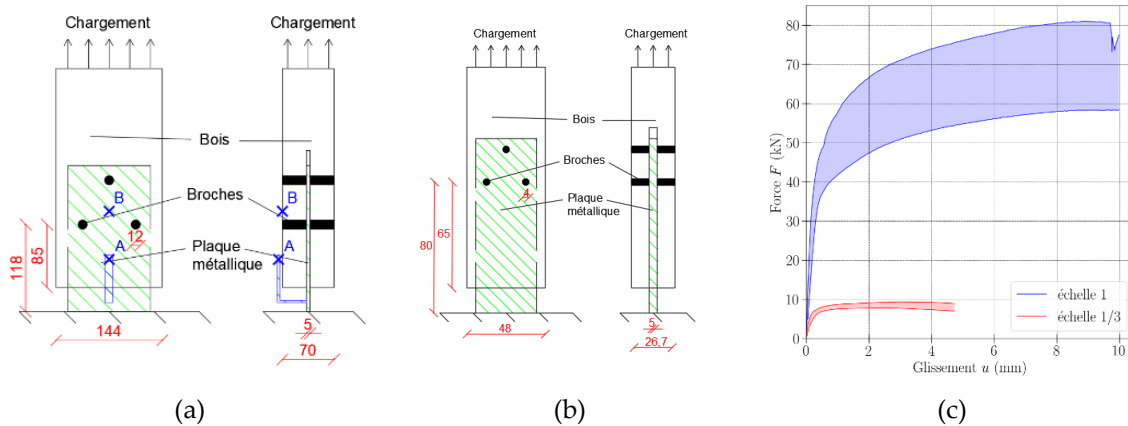
avec  $\lambda_{\sigma_i}$  le facteur sur les propriétés mécaniques des matériaux. Ainsi par exemple, la force maximale à l'échelle 1 s'obtient en multipliant celle à l'échelle 1/3 par 9. Les travaux présentés ici consistent à évaluer ces relations par des essais et des modèles numériques.

## III. Evaluation de la loi de similitude

### A. Evaluation par des essais expérimentaux

Des essais monotones et cycliques, en traction/compression ont été effectués sur les assemblages aux échelles 1 et 1/3 (Fig. 1a et 1b), suivant la norme NF EN 26891 (1991). A ce stade, l'article se concentre sur les essais monotones. La Fig. 1c présente, pour chaque échelle, le fuseau contenant l'ensemble des courbes force glissement (le glissement étant le déplacement relatif entre le bois et la plaque, soit entre les points A et B des figures 1a et 1b). 9 et 11 essais ont été réalisés pour les échelles 1 et 1/3 respectivement. Comme observé sur la figure 1, les conditions de similitude n'ont

pas pu être respectées (on parle de distorsions) pour la hauteur de bois sous les deux broches d'extrémité (pince d'extrémité), qui a été prise égale à 65 mm à l'échelle 1/3 pour éviter les risques de rupture finale du bois par fissuration sous les broches et se rapprocher des recommandations de l'Eurocode 5 (pas de dimensions de pince inférieures à 80 mm ou  $7 \times$  diamètre des broches). Or, une telle augmentation à l'échelle 1/3 de la pince, par rapport à celle requise par la similitude, tendrait à accroître la force maximale  $F_u$ , ce qui peut causer un facteur expérimental  $\lambda_{Fu}$  inférieur à celui obtenu par l'équation 2, comme cela peut être constaté sur le tableau 1. La hauteur de la plaque ne respecte également pas la similitude, du fait qu'elle est en partie liée à la pince.

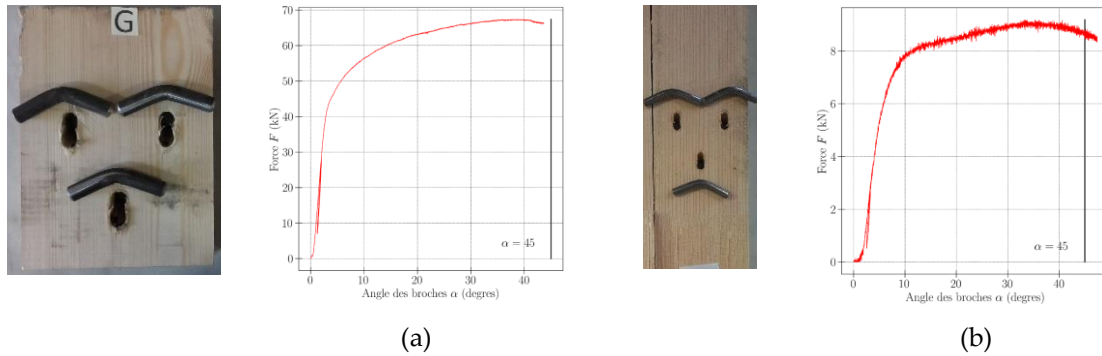


**FIGURE 1.** Essais réalisés, a : montage à l'échelle 1, b : montage à l'échelle 1/3, c : courbes force – glissement (fuseau) pour les deux échelles

**TABLEAU 1.** Facteurs de similitude associés au comportement des assemblages

	Valeurs expérimentales		Valeurs théoriques
	Moyenne	COV (%)	
$\lambda_{Fu}$	7,7	32	9
$\lambda_{Ke}$	3,8	10	3

Or, plus la hauteur de plaque est importante (pince importante), plus la déformation élastique (raccourcissement dans notre cas d'essais de compression) de celle-ci est élevée et donc impacte d'avantage la raideur observée de l'assemblage. Ceci pourrait donc expliquer que le facteur expérimental  $\lambda_{Ke}$  soit supérieur à celui donné par l'équation 2 (tableau 1). Ces essais permettent également de constater une certaine conservation, avec le changement d'échelle, du mécanisme de ruine correspondant à la déformation ductile des broches (figure 2). Avec un angle final  $\alpha$  (formé entre les extrémités des broches), d'environ 45 degrés aux échelles 1 et 1/3 (figure 2), il peut être admis que les broches ont plastifié pour ces deux échelles (Blass, 2000).



**FIGURE 2.** Essais réalisés, déformée des broches, a : échelle 1, b : échelle 1/3

#### B. Evaluation par des modèles numériques

Parallèlement, les essais sur assemblages ont été modélisés numériquement par éléments finis, avec Cast3M. En première approche, le bois est élastique homogène orthotrope, l'acier des broches élastique isotrope, et le contact bois - broches est modélisé par une condition de non-pénétration. Il est alors obtenu la valeur  $\lambda_{\kappa_e} = 3,2$ . Le modèle numérique reproduit ainsi le phénomène relevé expérimentalement, qui est l'augmentation du facteur  $\lambda_{\kappa_e}$  par rapport à celui théorique, du fait des distorsions dans la géométrie d'assemblage.

## IV. Conclusion

Pour les assemblages d'une construction bois de type poteau-poutre, une loi de similitude a été constituée à partir de la méthode DA, permettant d'abord de concevoir des assemblages réduits à partir de ceux à taille réelle, puis d'établir une relation entre les comportements de la maquette et de l'échelle 1. Les essais montrent que cette relation n'est pas exactement vérifiée, en grande partie du fait de distorsions dans la géométrie des assemblages réduits mais également du fait de l'hétérogénéité et de la variabilité des propriétés du bois. Un modèle numérique est constitué et permet de reproduire certains effets de ces distorsions sur les facteurs de similitude. Le modèle numérique sera par la suite exploité pour étudier les effets de distorsions, sur un ensemble plus large de configurations que celles testées expérimentalement. Enfin, les nouvelles lois de similitude établies permettront de constituer des lois pour une structure complète.

## REFERENCES

- J.W. Wissmunn. (1968). Dynamic Stability of Spacevehicles.
- H.J. Blass. (2000). Effective bending capacity of dowel-type fasteners.
- NF EN 26891. (1991). Structures en bois - Assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation. AFNOR.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ADEME et le CODIFAB pour leur soutien à ces travaux.