

## Evaluation de l'impact des entailles de poutres de sapin pectiné (*Abies alba*) sur les interprétations des essais Bing

BONTEMPS Arthur<sup>1</sup>, GRANET Charles-Hubert<sup>1</sup>, SALLAT Theo<sup>1</sup>, GODI Gaël<sup>1</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>1,2</sup>, FOURNELLY Eric<sup>1</sup>, GRIL Joseph<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000 CLERMONT-FERRAND, FRANCE

<sup>2</sup>CENAREEST, IRT, BP 14070, Libreville, GB  
[arthur.bontemps@uca.fr](mailto:arthur.bontemps@uca.fr)

**Mots clefs :** Poutres entaillées ; essais Bing ; sapin pectiné

### Contexte et objectif

Une campagne expérimentale sur le sapin pectiné (*Abies alba*) est en cours. Le but est de caractériser le comportement mécanique du sapin partiellement séché, en plus de proposer une description précise d'essais complexes à l'échelle d'un élément de structure. Notamment, le cœur de la campagne consiste en des essais de fluage sur des poutres entaillées en environnement extérieur semi-abrité. Cette description représentera un jeu de données expérimentales permettant de confronter de futurs modèles numériques. La méthode Bing a été utilisée pour la caractérisation mécanique du lot de poutre. En associant les modules élastiques à des mesures d'infradensité, une classification mécanique a pu être réalisée. Néanmoins, une fois entaillées, les poutres n'ont plus une section constante et les mesures Bing ne peuvent théoriquement plus être appliquées. Ce papier montre les résultats des essais qui ont été menés pour évaluer l'impact des entailles sur une mesure Bing.

### Matériel et méthode

#### Matériel végétal étudié

La scierie du Forez a fourni un lot de 30 poutres de sapins locaux le 8 avril 2021, classées C18. Elles avaient subi un traitement de surface au Wolsit EC 100 FP2 leur donnant un aspect jaunâtre et garantissant la protection contre les termites et autres insectes xylophages pendant au moins 10 ans. Ces dernières sont en dimensions d'emploi : 4000x175x63 mm<sup>3</sup>. Les dimensions de la poutre sont présentées en Fig. 1.

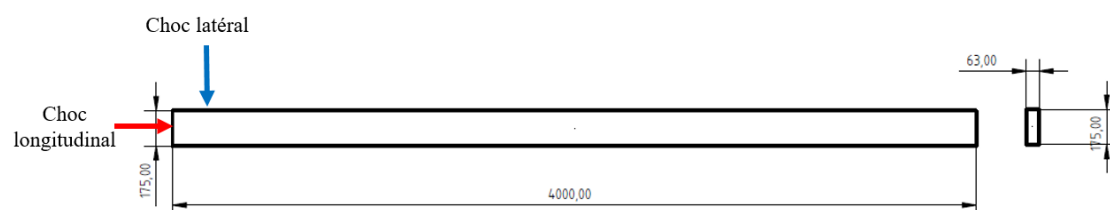


Fig. 1 : Dimensions des poutres étudiées (mm)

#### La méthode Bing

La méthode Bing est un essai en vibration libre permettant d'estimer la rigidité longitudinale, le coefficient de cisaillement et le frottement interne d'une poutre. Le principe est de faire vibrer la poutre par un choc sur une de ses extrémités (Cirad, 2021). L'onde provoquée par l'impact peut se propager en compression (choc longitudinal) ou en flexion (choc latéral), Fig.1.

Dans le cadre de cette étude, chaque poutre était installée sur deux chambres à air de vélo au quart et au trois quarts de la longueur, puis était frappée par un maillet, les chambres à air de vélo faisant office d'appuis libres (Fig. 2a). L'acquisition du signal était réalisée par un microphone et un PicoScope 4224 IEPE conformément au protocole (Cirad, 2020) (Fig. 2b).

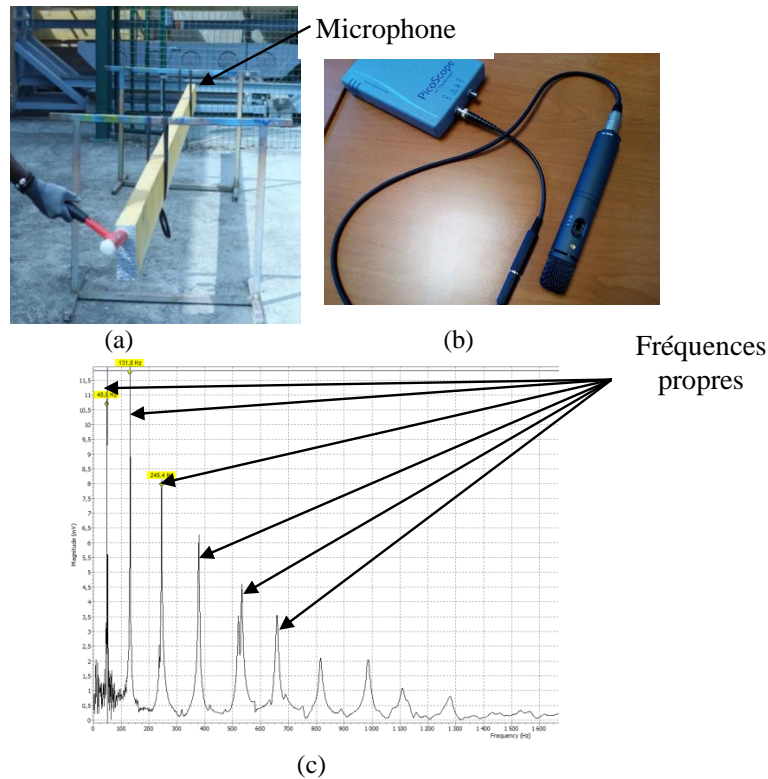


Fig. 2: Illustration d'un essai avec la méthode Bing : (a) installation de la poutre ; (b) microphone et PicoScope utilisés ; (c) signal fréquentiel d'une mesure

Les fréquences propres acquises par le micro et le PicoScope sont absolues. Cependant, lors des calculs effectués par le Bing, le logiciel fait les hypothèses suivantes (Brancheriau, 2002) :

- L'élément étudié est élancé, idéalement d'un élancement entre 10 et 40 :  $10 < \frac{L}{h} < 40$
- sa section est constante ;
- il est supposé obéir au modèle de Timoshenko ou de Bernoulli ;
- il est homogène, donc pas de nœuds, de pentes de fil ou de poches d'eau ;
- les effets poisson en compression sont négligés ;
- l'influence des supports élastiques est négligée.

Dans le cas du matériau végétal étudié, l'hypothèse la plus problématique est celle d'homogénéité. En effet, pour des poutres en dimensions d'emploi, les hétérogénéités sont nombreuses et inévitables. Elle se traduit notamment par des déviations locales de l'angle de fil (nœuds, orientation du fil par rapport au débit...).

#### *Mesure de l'impact des entailles sur les résultats d'une mesure Bing*

Dans le but de quantifier expérimentalement l'impact des entailles sur une mesure de Bing, le protocole a été de tester une poutre à plusieurs longueurs d'entaille : 10, 20, 30, 40 et 43 cm. C'est la poutre S01. Ensuite, 8 poutres sont passées au Bing successivement sans entaille puis

entaillées de 43 cm de chaque côté (Fig. 3). Ce sont les poutres S05, S06, S27, S24, S29, S18, S09.

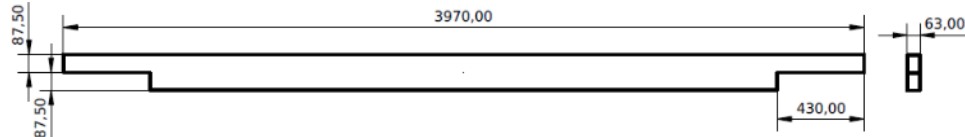


Fig. 3 : Dimensions en mm d'une poutre à entaillée

### Résultats et discussion

Lors d'une mesure Bing sur une poutre entaillée, les résultats des modules élastiques augmentent par rapport à ceux sur la poutre non entaillée. Il est alors intéressant de calculer une « longueur équivalente », c'est-à-dire la longueur qu'aurait la poutre pour reproduire le module élastique mesuré sans entaille. Ces longueurs ont pu être calculées par les formules reliant module élastique et fréquences propres issues de (Brancheriau, 2002). En Fig.4 sont donc représentées les longueurs équivalentes calculées en fonction de la longueur d'entaille. L'ordonnée à l'origine correspond à la longueur réelle de la poutre. Les équations affichées et encadrées sont celles ayant le plus fort et le plus faible coefficient directeur (Fig. 4a, b). Le coefficient  $R^2$  est affiché pour la poutre S01 sur laquelle il y a des mesures à plusieurs longueurs d'entaille.

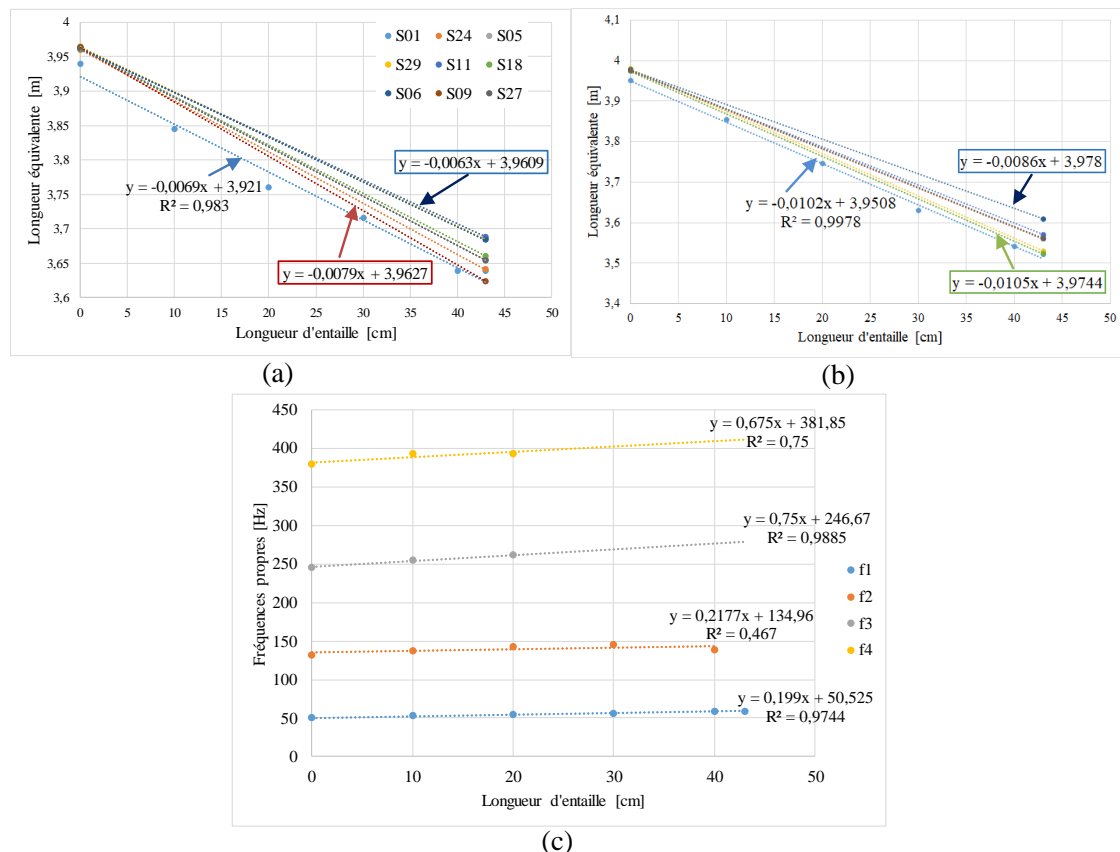


Fig. 4 : Evolution de la longueur équivalente en fonction de la longueur d'entaille (a) en propagation de flexion et (b) en propagation de compression, (c) évolution des 4 premières fréquences propres de flexion pour la poutre S01

Une mesure Bing sur une poutre entaillée se passe comme-ci la poutre était plus courte qu'elle ne l'est en réalité. Pour 43 cm d'entaille, la longueur équivalente est entre 27 et 34 cm plus courte pour la flexion et entre 37 et 45cm plus courte pour la compression. On constate qu'en compression, le Bing agit comme-ci une poutre entaillée de 43 cm de chaque côté était une poutre non entaillée mais d'environ 43 cm plus courte. La Fig. 4 montre également que :

- Le coefficient  $R^2$  pour la poutre S01 est meilleur en compression qu'en flexion ;
- pour les poutres non entaillées, les quatre premières fréquences propres en flexion sont systématiquement identifiées. A mesure que la longueur d'entaille augmente, les pics des fréquences propres 3 et 4 disparaissent du signal.

Egalement, la 2<sup>ème</sup> fréquence propre en flexion semble légèrement plus impactée que la première, comme montré dans le tableau 1.

Tab. 1 : Ecart des fréquences propres entre la mesure avant entaille et la mesure après 43 cm d'entaille sur les 9 échantillons

	Ecart fréquence propre 1	Ecart fréquence propre 2
Moyenne	7,87	7,00
Ecart-type	0,673	1,459

### Conclusion et perspectives

Ces premiers résultats semblent indiquer que dans une analyse vibratoire, entailler une poutre équivaut à la raccourcir. On constate une bonne corrélation entre ce raccourcissement et la longueur d'entaille. Cependant, seulement la première fréquence propre de flexion d'une poutre entaillée est fiable. Sur la base d'un nombre suffisamment important de mesures, un facteur de correction du module élastique apparent, mesuré sur une poutre entaillée, pourrait être estimé. Pour confirmer cette hypothèse, une analyse éléments finis sur Cast3m est prévue. En appliquant une analyse modale sur un modèle de poutre à différentes longueurs d'entaille, des écarts similaires devraient être trouvés.

Il ressort de cette étude que réaliser des mesures de module élastique par la méthode Bing sur des poutres entaillées semble réalisable. Une correction empirique sera alors apportée à la valeur renvoyée, prenant correctement en compte les incertitudes.

### Remerciements

Les auteurs remercient la Région Auvergne Rhône Alpes pour le financement de la thèse via le CPER ainsi que l'UCA pour le chèque recherche innovation du programme Hub Innovergne du CAP 20-25.

### Références

Brancheriau L. (2002) Expertise mécanique des sciages par analyse des vibrations dans le domaine acoustique, Université Aix Marseille II.

Cirad (2021) Principe de mesure : la méthode BING.

Cirad (2020) Bing – Installation and quick start guide.