

Tests pour la qualification du couplage capteur-structure pour l'optimisation de l'analyse modale opérationnelle

Y. Merikhi¹, C. Chambreuil^{1,2}, C. Gélis³, A. Montabert^{1,2,@}, H. Rostagni^{1,2}

1- École Normale Supérieure Paris-Saclay, Département Génie Civil et Environnement, Gif-sur-Yvette, France

2- Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, ENS Paris-Saclay, Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS), Gif-sur-Yvette, France

3- Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), BERSIN, Fontenay-aux-Roses, France

Contact: arnaud.montabert@ens-paris-saclay.fr



Laboratoire
de Mécanique
Paris-Saclay



CentraleSupélec



École
normale
supérieure
Paris-Saclay



CNRS



ASNR
Autorité de
sûreté nucléaire
et de radioprotection

Contexte

La caractérisation dynamique des structures sous bruit ambiant s'est imposée comme une méthode non-destructive particulièrement efficace pour évaluer et suivre leur état de santé au cours du temps à partir de l'identification des paramètres modaux (fréquences, déformées modales). En raison de leur sensibilité à des faibles chargements, leur excellent rapport signal sur bruit et leur opérabilité sur de larges bandes de fréquences, les vélocimètres sont des capteurs de choix. Le **couplage capteur-structure** joue un rôle important sur la qualité de la mesure. Dans le contexte du monitoring de structures du patrimoine, il est généralement impossible de fixer les capteurs à la structure au moyen de vis ou de colle. Au contraire, ces derniers sont souvent simplement posés (**couplage libre**) ou **sanglés** sur des éléments de structure adjacents (plancher, ou poutre dans les églises) sous l'hypothèse que le capteur mesure le comportement de la structure.

Objectif

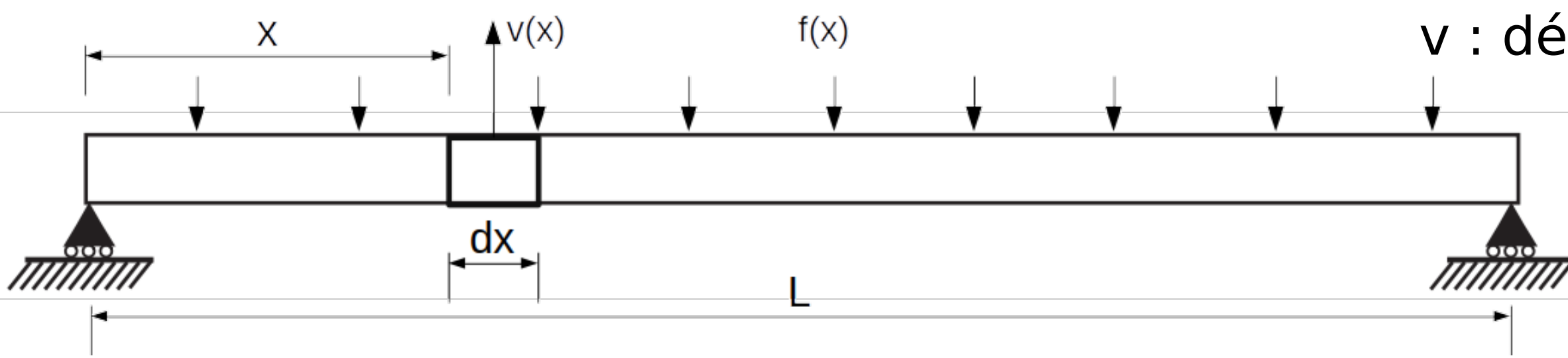
Ce travail propose une **étude de sensibilité** en testant l'impact de différentes configurations de mesures sur les paramètres modaux identifiés par vibrations ambiantes.

Méthodologie

1) Variables d'influence

Type de variable	Action
Type de matériaux	Bois, béton, acier
Conditions de bruit ambiant	Mesures synchrones de 30 min.
Type de capteur	RS3D (vélocimètre low-cost)
Hauteur/serrage des vis	Hauteur basse et haute
Type de couplage	Libre, sanglé, collé
Température ambiante	Invariante

2) Grandeur d'intérêt : fréquences modales



Équation des ondes transverses dans une poutre

$$\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{1}{EI} f(x, t)$$

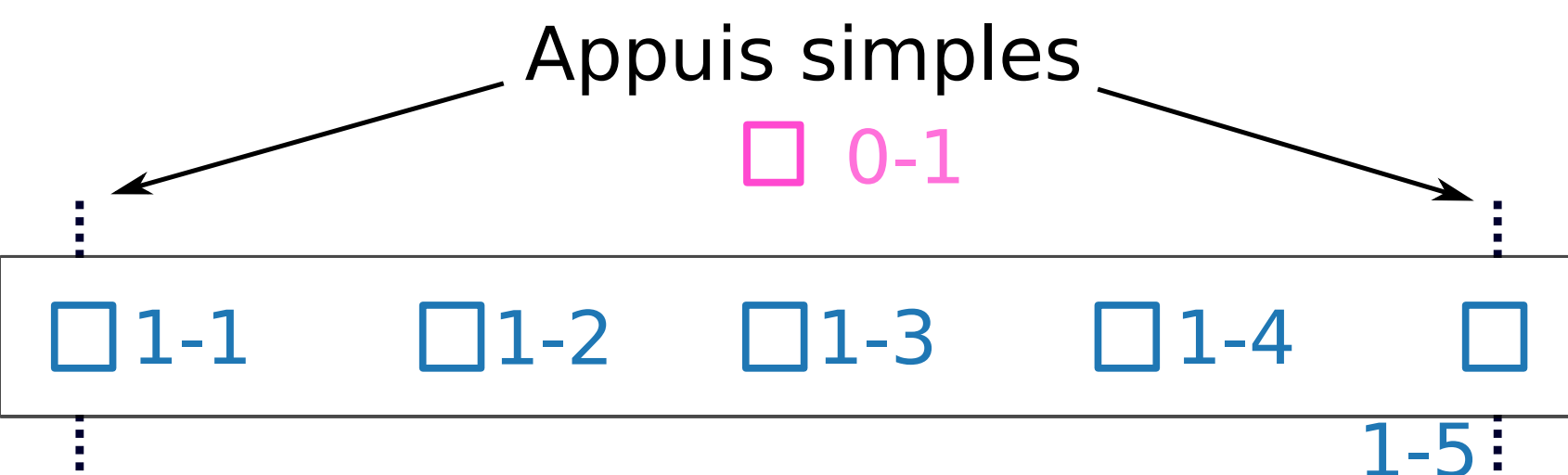
E : module d'Young
I : moment d'inertie
c : vitesse des ondes transverses
v : déplacement vertical local

Les fréquences modales

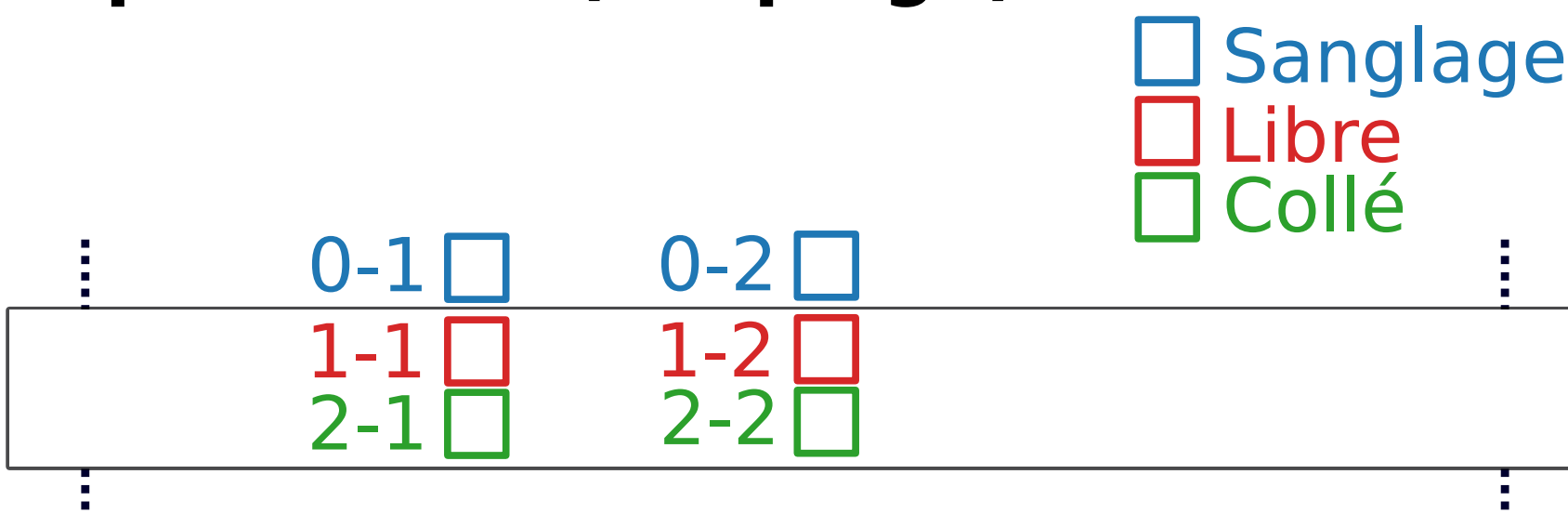
$$\Omega_n(x) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \left(\frac{EI}{\rho S} \right)^{1/2}$$

3) Protocole expérimental

Expérience 1 (vissage):



Expérience 2 (couplage):



4) Méthode d'analyse

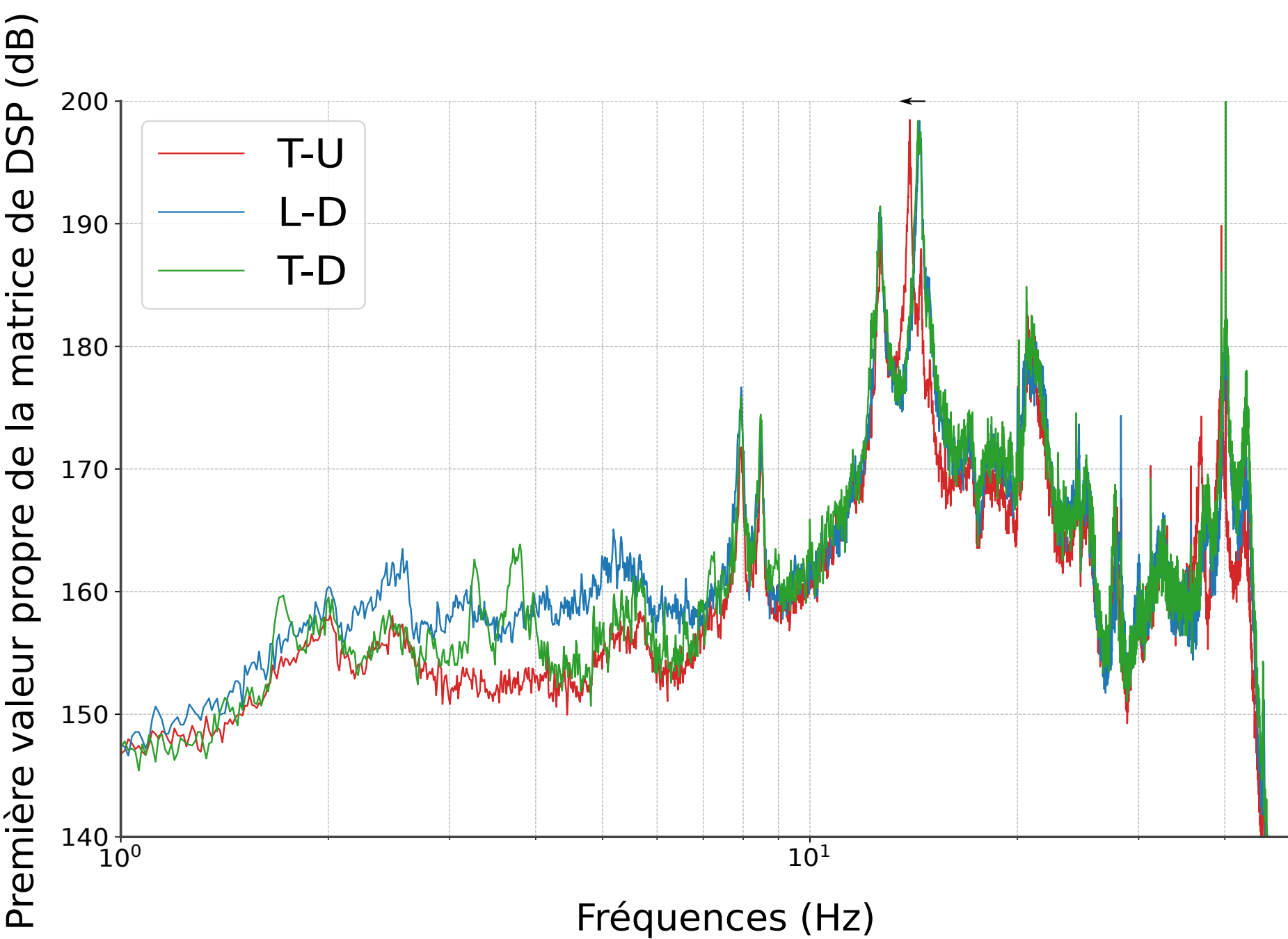
- 1) Correction de la réponse instrumentale (via ObsPy [1])
- 2) Évaluation des densités spectrales de puissance (DSP) par la méthode de Welch avec un recouvrement à 50% [2]
- 3) Décomposition en valeurs singulières des matrices de densité spectrale cross-corrélées par la méthode Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) [3]

Résultats et discussion

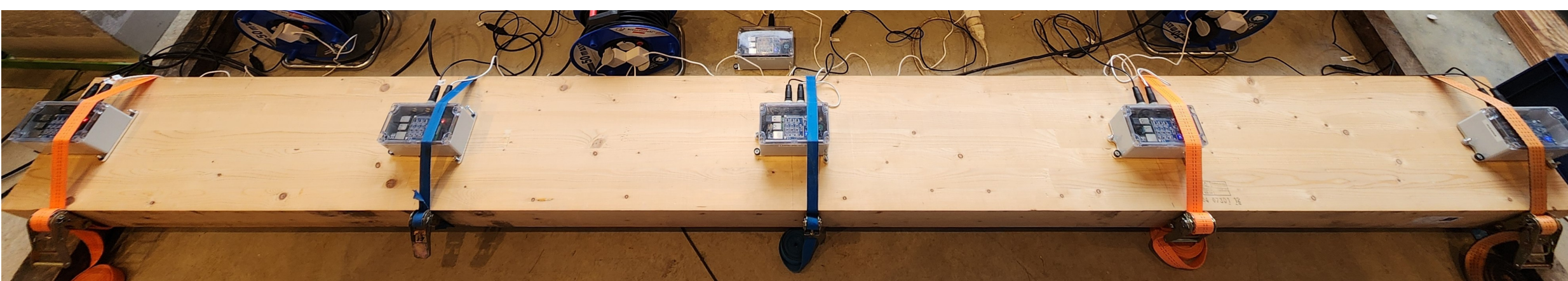
Impact du serrage des vis (Expérience 1)



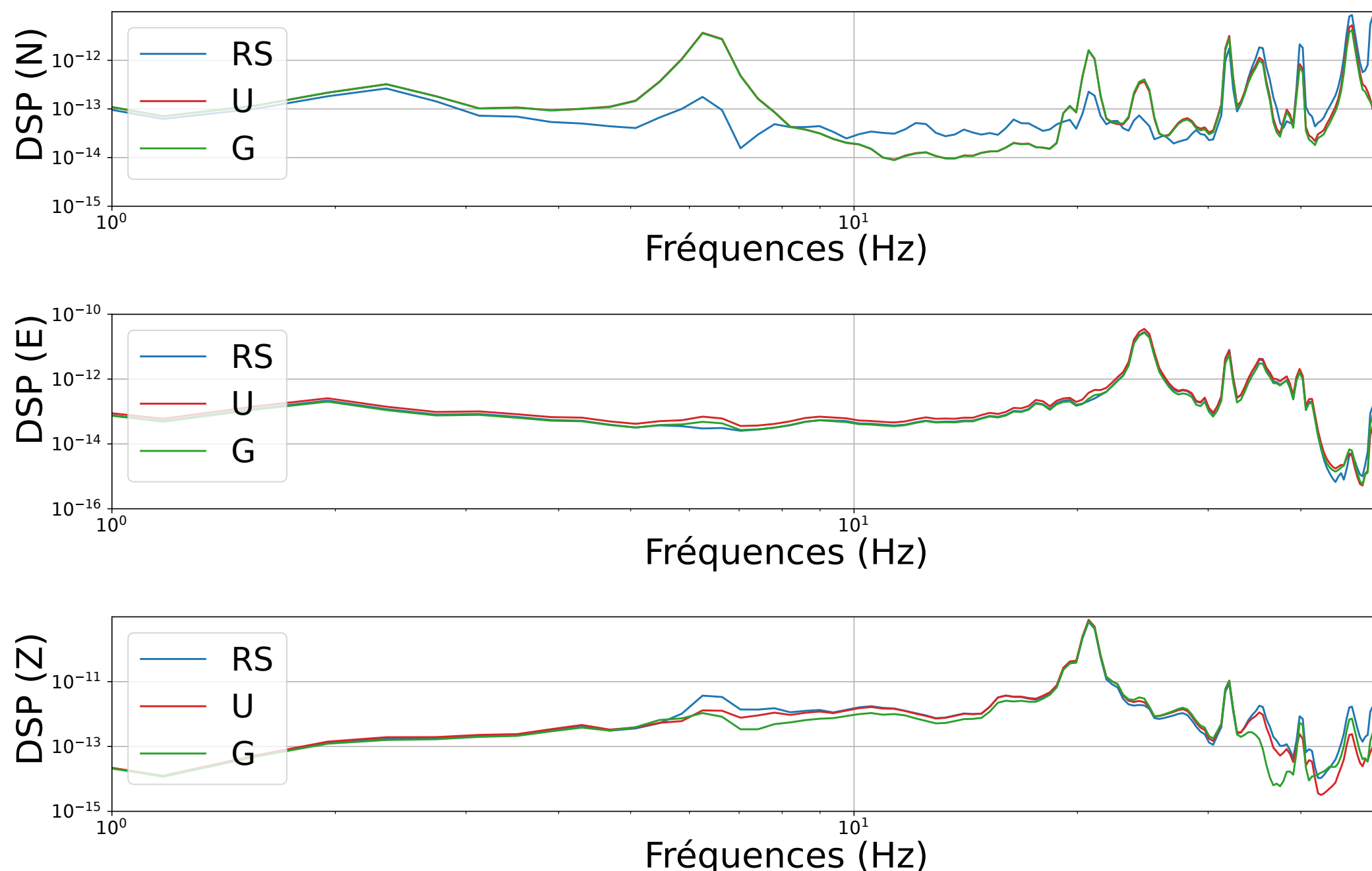
(L-D) Vissage desserré à 1 mm du support. (T-D) Vissage serré à 1 mm du support. (T-U) Vissage serré à 10 mm du support.



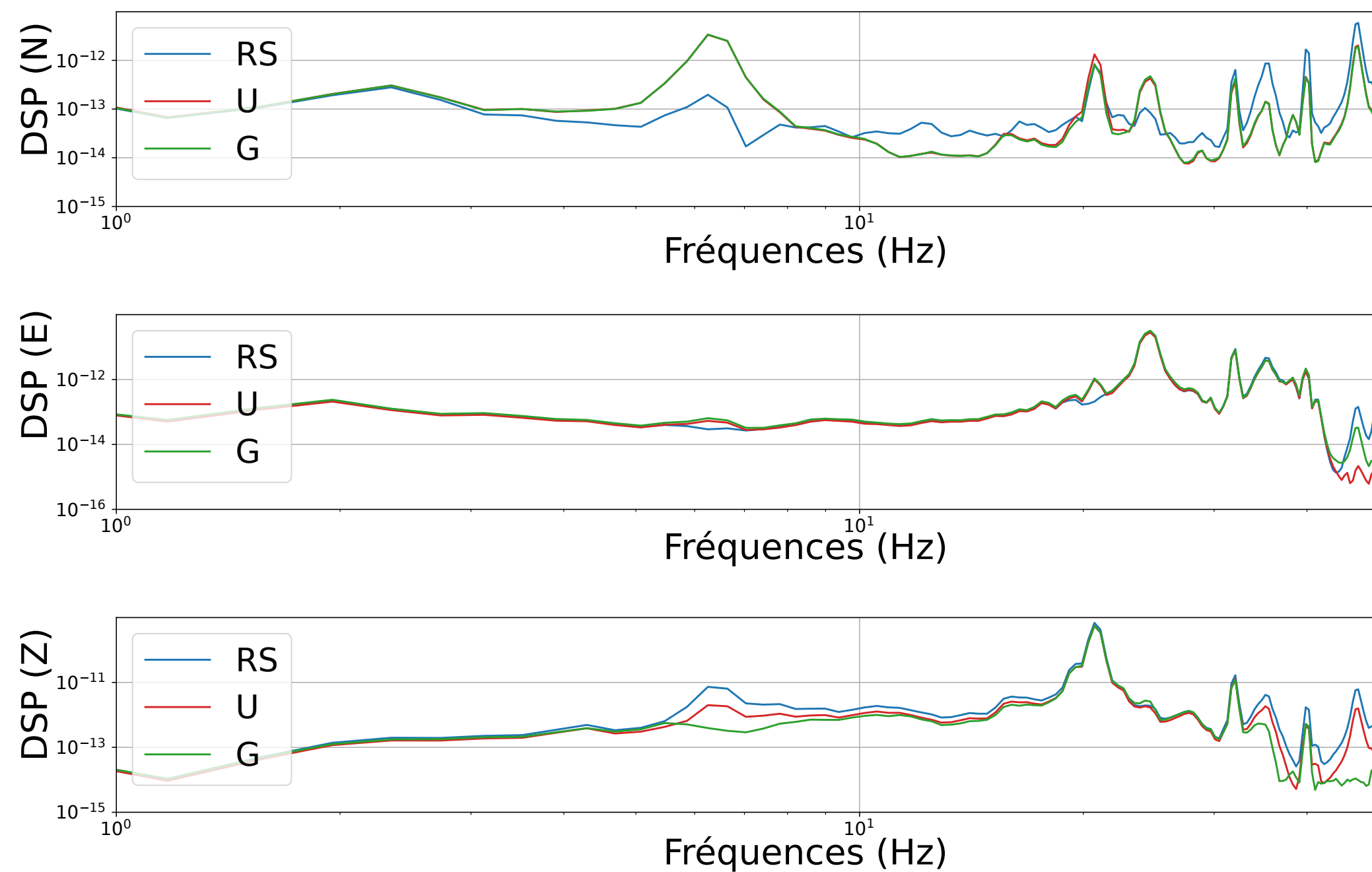
Impact du couplage (Expérience 2)



Instrumentation d'une poutre en bois (gauche). Trois conditions de couplage sont testées: libre (U), sanglée (RS), et collée (G).



Comparaison des trois stratégies de couplages pour les RS3D au milieu de la poutre en bois.



Comparaison des trois stratégies de couplages pour les RS3D au quart de la poutre en bois.

Conclusions et perspectives

Les conditions de serrage et de fixation ont un impact sur l'identification des fréquences de vibration et sur leur amplitude:

- 1) Le hauteur du vissage induit un décalage des fréquences modales vers les basses fréquences de l'ordre de 0.41 Hz (l'algorithme EFDD a une résolution de 0.024 Hz).
- 2) Le serrage ne semble pas avoir d'impact sur la localisation des pics.
- 3) Le couplage impacte l'amplitude des fréquences identifiées. Dans le cas des ondes de vibrations transverses (verticales), les capteurs sanglés semblent assurer le meilleur couplage. Le capteur collé échoue à identifier certaines fréquences. Le capteur libre parvient à identifier l'ensemble des pics mais avec une amplitude moindre. Les conditions de couplage devraient être *a minima* indiquées sur les feuilles de terrain. Une comparaison avec des vélocimètres de référence et une répétition des mesures permettront de confirmer ces premiers résultats.

Références

- [1] Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y., and Wassermann, J. (2010). ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. Seismological Research Letters, 81(3):530-533. Publisher: Seismological Society of America (SSA).
- [2] Welch, P. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, 15(2):70-73.
- [3] Brincker, R., Zhang, L., and Andersen, P. (2002). Output-Only Modal Analysis by Frequency Domain Decomposition.



JOURNÉES NATIONALES
MAÇONNERIE
5ème édition - Bordeaux
12 et 13 Juin 2025

