

Utilisation de la transformée en ondelettes pour l'identification modale d'un mur en maçonnerie

Étude de l'influence du facteur de qualité de la transformée pour des modes aux fréquences proches

Raphaël CARPINE, Silvia IENTILE, Pierre ARGOUL, Nicolas VACCA

Laboratoire Expérimentation et Modélisation pour le Génie Civil et Urbain (EMGCU)

Introduction

L'objectif de cette étude porte sur la détermination des paramètres modaux d'un mur en maçonnerie, à partir de sa réponse accélérométrique à un bruit ambiant doublé de chocs. L'utilisation de la transformée en ondelettes pour l'analyse de ces différents chocs permet de mettre en évidence l'importance du choix du facteur de qualité pour cette transformée, en particulier en présence de modes aux fréquences proches. Une méthode alternative de détermination de ces paramètres modaux, utilisant de manière détournée la transformée pour ces modes proches, est mise en œuvre.

Transformée en ondelettes

La transformée en ondelettes d'un signal est une représentation temps-fréquence basée sur la convolution avec une fonction dite ondelette mère, dilatée et translatée

$$T[u](a, b) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \bar{\psi} \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

On peut définir pour cette transformée des précisions temporelle et fréquentielle, respectivement sur les paramètres a et b , dépendant toutes deux de a , ainsi qu'un facteur de qualité, qui lui en est indépendant

$$Q = \frac{\omega(a)}{2\Delta\omega(a)}$$

où $\Delta\omega(a)$ et $\omega(a)$ sont respectivement la précision fréquentielle et la pulsation moyenne de la transformée en a .

De plus, pour un signal de la forme

$$u(t) = \sum_{k=1}^n A_k(t) \cos(\omega_k t + \varphi_k)$$

il est possible, sous réserve notamment d'un choix avisé du facteur de qualité pour la transformée, d'extraire des « arêtes » $a(t)$ de la transformée telles que [1]

$$T[u](a_k(t), t) \approx A_k(t) e^{i(\omega_k t + \varphi_k)}$$

permettant ainsi d'identifier aisément les informations modales du signal.

Choix du facteur de qualité

Le choix du facteur de qualité de l'ondelette mère de cette transformée se fait selon plusieurs critères. Pour l'analyse de la réponse impulsionnelle d'un système, celui-ci est notamment encadré par [2] :

- une borne inférieure, garantissant la séparation des différentes fréquences présentes dans le signal
- une borne supérieure, déterminée par la variation de l'amplitude associée à chaque fréquence dans le temps
- une autre borne supérieure, limitant la taille des effets de bords

En ce qui concerne la borne inférieure, celle-ci peut aisément se comprendre grâce à la définition même du facteur de qualité Q : pour séparer deux fréquences présentes dans le signal, il faut que la précision fréquentielle de la transformée soit suffisamment faible par rapport à la différence entre ces fréquences.

Cependant, pour deux fréquences proches présentes dans le signal, il est possible de ne pas respecter cette borne inférieure pour obtenir une unique arête correspondant à ces deux fréquences. On montre alors, sous réserve notamment d'un choix du facteur de qualité encadré par de nouvelles bornes,

$$T[u](a_{kj}(t), t) \approx A_k(t) e^{i(\omega_k t + \varphi_k)} + A_j(t) e^{i(\omega_j t + \varphi_j)}$$

Ensuite, en postulant la forme de l'amplitude associée à chaque fréquence, on peut déterminer les paramètres du signal grâce à plusieurs régressions.

Cette méthode peut permettre de contourner le problème que pose le cas de fréquences très proches, où la borne inférieure sur le facteur de qualité, nécessaire à la séparation de ces fréquences, devient plus grande qu'une de ses bornes supérieures, et le choix de ce facteur devient donc impossible.

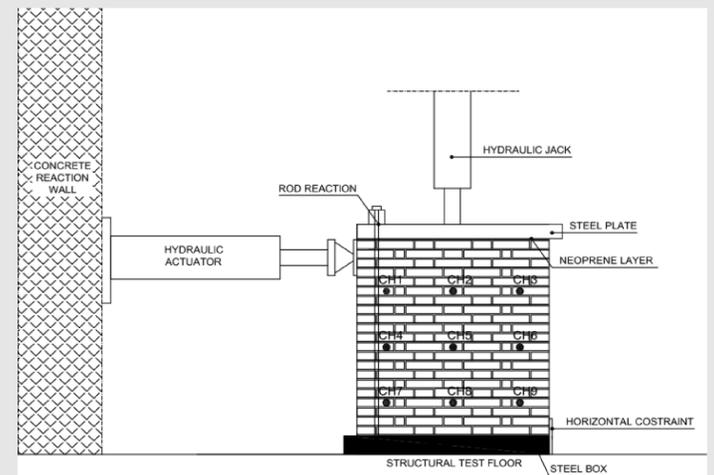
Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un mur en maçonnerie précontraint verticalement, auquel on applique une force latérale par incréments. Neuf accéléromètres uni-axiaux sont répartis sur une face du mur, orientés normalement par rapport à celle-ci.

Le mur est soumis à une excitation ambiante venant du laboratoire, ainsi qu'à des chocs d'origine inconnue. Ces chocs pourraient eux aussi venir du laboratoire, ou être dus à la formation soudaine de fissures dans le mur. Ils sont facilement identifiables par la transformée en ondelettes car ils couvrent à un temps donné une très large bande de fréquences.

La présence de chocs dans l'excitation induit des réponses transitoires de la structure, correspondant à la forme postulée précédemment pour les signaux, et permettant ainsi l'identification modale souhaitée.

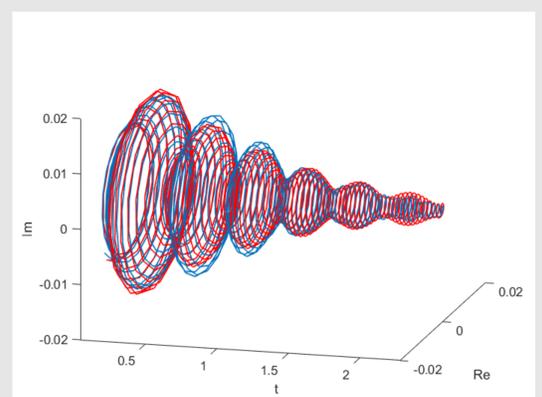
La présence de chocs dans l'excitation induit des réponses transitoires de la structure, correspondant à la forme postulée précédemment pour les signaux, et permettant ainsi l'identification modale souhaitée.



Résultats

La méthode proposée est implémentée pour deux modes proches du mur, ainsi que la méthode « classique » par transformée en ondelettes et la méthode *Least Square Complex Frequency*, basée sur la transformée de Fourier.

Ci-contre est présentée l'arête correspondant aux deux modes proches pour un des chocs sur un des capteurs (en bleu), avec sa régression (en rouge). On distingue des battements, dus à la proximité des fréquences, ainsi qu'une décroissance exponentielle, due à l'amortissement dans la structure.



En appliquant cette méthode sur les signaux de chaque capteur pour chaque choc, on détermine les fréquences propres, amortissements et déformées modales des deux modes correspondants. De plus, la multiplicité des chocs et donc des réponses transitoires permet d'estimer l'erreur sur ces paramètres modaux grâce à des calculs d'écart types.

Les résultats obtenus sont parfaitement en accord avec ceux des deux autres méthodes.

Bibliographie

- [1] B. Torrèsani. *Analyse continue par ondelettes*. EDP Sciences, 2012.
[2] S. Erlicher and P. Argoul. Modal identification of linear non-proportionally damped systems by wavelet transform. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2007.