



Sujet de thèse

Détection d'endommagement des structures par méthodes vibratoires et corrélation d'images numériques

Encadrement : Gwendal Cumunel , Michel Bornert, Silvia Ientile, Franziska Schmidt

Contexte :

Depuis plusieurs décennies, les méthodes de détection d'endommagements par mesures vibratoires connaissent un essor important. Le principe de ces méthodes réside dans le fait que tout changement des paramètres modaux d'une structure, notamment les fréquences propres et les déformées modales, est lié à un changement des propriétés physiques (masse, rigidité). Les méthodes de mesures de champ par techniques optiques sans contact constituent une alternative très intéressante à l'instrumentation conventionnelle (accéléromètres). Outre leur caractère non intrusif, les méthodes développées fournissent un très grand nombre de mesures cinématiques sur une structure et donnent donc naturellement accès à la répartition spatiale des champs de déplacements. Ces techniques peuvent être mises en œuvre pour l'analyse de sollicitations dynamiques grâce à l'utilisation de caméras rapides. Des générations récentes de caméras, présentant des résolutions d'image et des fréquences d'acquisition élevées, constituent ainsi des alternatives potentielles aux systèmes classiques d'analyse modale.

Afin de pouvoir utiliser des méthodes de détection d'endommagements, il convient de déterminer avec précision les paramètres modaux des structures étudiées, en particulier les déformées modales. Un premier travail de X. Régal sur ce sujet a été mené en 2017 dans le cadre d'un post-doctorat financé par le Labex MMCD. Le travail réalisé a permis de mieux appréhender les capacités de la corrélation d'images pour l'analyse modale expérimentale, en s'attachant particulièrement à la qualité du mouchetis appliqué sur les structures testées. Les paramètres modaux de poutres de différentes longueurs (0,5 m et 7 m) ont ainsi été identifiés.

Ensuite, la thèse de K. Mohamed Barkat s'est intéressée à l'optimisation du placement de caméra(s) pour une structure avec des déformées modales tridimensionnelles. Des critères d'optimisation locaux, globaux et pondérés ont ainsi été définis afin de déterminer des positions optimales de caméra pour l'observation des modes d'une structure. Un outil de simulation d'images de synthèse a également été développé pour analyser différentes sources d'erreur de mesure de la corrélation d'images. L'erreur de corrélation a été estimée en prenant en compte trois paramètres : la taille du motif projeté, l'inclinaison du plan 3D observé et le niveau de flou. Une méthodologie complète d'identification des modes d'une structure 3D a également été proposée et validée expérimentalement.

Objectifs et déroulement :

Le sujet proposé s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre différents laboratoires (Navier (Ecole des Ponts), EMGCU (UGE)) autour de cette thématique. Les structures à tester pourront l'être à différentes échelles, au Laboratoire Navier pour des structures de taille réduite et à l'UGE, à l'aide de la plateforme d'essais, pour des structures de taille plus importante, comme cela a déjà été le cas pour l'étude menée sur une poutre de 7m de long.

Les objectifs du sujet proposé, dans la continuité des études précédentes, sont multiples. Plusieurs axes d'amélioration sont envisagés à partir des travaux réalisés dans la thèse de K. Mohamed Barkat.

Le premier consiste à affiner l'estimation de la relation entre le niveau de flou et la profondeur de champ, qui rentre en jeu dans l'estimation de l'erreur de corrélation, en tenant compte de la variation des caractéristiques liées à l'expérimentation. En effet, il est important de noter que cette relation entre niveau de flou et profondeur de champ dépend des paramètres intrinsèques de la caméra, tels que la distance focale, ainsi que des paramètres expérimentaux fixés, comme l'ouverture du diaphragme et la distance de mise au point. Pour réaliser une estimation plus précise du niveau de flou, il est donc nécessaire de prendre en compte les variations des conditions expérimentales (distance de mise au point, conditions d'éclairage, distance focale et ouverture du diaphragme utilisés).

Ensuite, on s'attachera à compléter le modèle choisi pour estimer l'erreur de corrélation. Dans l'étude réalisée dans la thèse précédente, l'erreur la plus critique identifiée pour notre cas d'étude était l'erreur aléatoire suivant une direction de l'image. Nous avons ainsi principalement considéré les erreurs aléatoires plutôt que les erreurs systématiques pour estimer l'erreur de corrélation. Toutefois, il est important de noter que, dans certaines situations, les erreurs systématiques peuvent jouer un rôle plus significatif. Afin d'évaluer plus précisément l'erreur de corrélation, il conviendra d'établir un modèle plus générique de l'erreur de corrélation prenant en compte les erreurs aléatoires et systématiques suivant les deux directions de l'image. Cela permettra d'améliorer l'estimation des erreurs de corrélation pour la mesure par caméra(s) des modes de vibration et de mieux prendre en compte la précision des mesures expérimentales dans les simulations numériques.

Concernant les critères d'optimisation développés dans la thèse précédente, ils intègrent à la fois les déformées modales observées et l'incertitude associée aux mesures par caméra(s). Les simulations numériques actuelles se limitent cependant à des conditions expérimentales spécifiques et aux paramètres intrinsèques de la caméra utilisée. De plus, le calcul du critère permettant de déterminer la position optimale est restreint aux positions de caméra situées sur une sphère autour de la structure étudiée, c'est-à-dire à une distance fixe du centre de la structure. Il sera intéressant d'explorer des positions de caméra situées à différentes distances de la structure, avec une orientation libre de la caméra et différentes distances focales. La prise en compte dans l'optimisation du placement d'un plus grand nombre de paramètres offrira une plus grande flexibilité dans le placement des caméras et permettra de développer un algorithme d'optimisation plus global.

Par ailleurs, les critères proposés sont définis de façon à observer de manière « optimale » un mode de vibration cible à l'aide d'une caméra. Un nouveau développement consistera à proposer une méthodologie prenant en compte simultanément plusieurs modes de vibration, permettant ainsi de déterminer la configuration optimale de la caméra en fonction de plusieurs modes de vibration de la structure. Un axe de recherche pourra donc se concentrer sur le développement de méthodologies avancées permettant une optimisation multi-modes et multi-positions de caméras.

Enfin, pour aller vers la détection d'endommagement(s), une première étape consistera à simuler des endommagements potentiels dans un modèle numérique d'une structure afin d'observer l'effet produit sur les mesures simulées réalisées par caméra(s), à partir du modèle proposé dans la thèse de K. Mohamed Barkat. Il conviendra ensuite de développer des indicateurs d'endommagement qui permettront de rendre compte de cet effet.

Références bibliographiques :

- [1] X. Régat, G. Cumunel, M. Bornert, et M. Quiertant, *Mise en œuvre de la Corrélation d'Images Numériques pour l'analyse modale d'une poutre*, Journée Mesure De Champs en dynamique des structures (JMDC 2017), Besançon, France, Juin 2017.

- [2] X. Régal, G. Cumunel, M. Bornert, and M. Quiertant, *Analyse modale d'une poutre par corrélation d'images numériques*, 23^{ème} Congrès Français de Mécanique, Lille, Août-Septembre 2017.
- [3] X. Régal, G. Cumunel, M. Bornert, and M. Quiertant, *Dynamic behavior of a civil engineering beam*, 6th PhotoMechanics conference: International conference on full-field measurement techniques and their applications in experimental solid mechanics, Photomechanics 2018, Toulouse, France, March 2018.
- [4] K. Mohamed Barkat, G. Cumunel, M. Bornert, and M. Quiertant, *Optimizing camera position for the modal analysis of a 3D structure*, Photomechanics IDICS Conference, Nantes, France, Novembre 2021.
- [5] K. Mohamed Barkat, G. Cumunel, M. Bornert and M. Quiertant, *Visibility criterion to optimize camera(s) position for modal analysis of a 3D structure*, IMAC-XLI Conference, Austin (Texas), USA, February 2023.
- [6] X. Régal, G. Cumunel, M. Bornert and M. Quiertant, *Assessment of 2D digital image correlation for experimental modal analysis of transient response of beams using a continuous wavelet transform method*, Applied Sciences, 13(8), 4792, 2023.
- [7] K. Mohamed Barkat, *Optimisation du placement de caméra(s) pour l'analyse vibratoire des structures par corrélation d'images numériques*, Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel, 2023.

Profil du candidat :

BAC+5 (Master ou Ecole d'Ingénieurs), spécialité génie civil ou génie mécanique.

Le sujet proposé comporte une partie expérimentale importante. Des connaissances en dynamique des structures, en corrélation d'images ou en expérimentation seraient appréciées.

Contacts :

Les candidat(e)s intéressé(e)s devront envoyer leur CV accompagné d'une lettre de motivation et des relevés de notes de master (M1 et M2) et/ou d'Ecole d'Ingénieurs à :

Gwendal CUMUNEL (Ecole des Ponts, NAVIER)
Silvia IENTILE (Univ. Gustave Eiffel, MAST/EMGCU)

gwendal.cumunel@enpc.fr
silvia.ientile@univ-eiffel.fr