

ED SMAER

Sujet de thèses 2012

Laboratoire : **Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux (UMR 8213)**

Établissement de rattachement : ESPCI / UPMC / CNRS

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : **Stéphane Holé, 63ème section**

Titre de la thèse : **Optimisation des couplages magnéto-mécaniques d'extensomètres à corde vibrante pour le suivi du vieillissement de constructions stratégiques**

Collaborations dans le cadre de la thèse : Collaboration de type industrielle

Résumé du sujet :

Les extensomètres à corde vibrante sont des capteurs très sensibles, utilisés pour mesurer les déformations des ouvrages de grande envergure, par exemple des ponts, des barrages hydrauliques, des centrales thermiques, des centrales nucléaires... Le principe de fonctionnement de ces capteurs est basé sur la fréquence de résonance d'une corde tendue entre deux points encrés dans la construction à contrôler. Si la construction se déforme suite à des mouvements de terrain par exemple, la tension mécanique de la corde change et sa fréquence de résonance varie.

Bien que le principe de fonctionnement des extensomètres à corde vibrante soit simple, il est absolument nécessaire de pouvoir garantir une fiabilité de fonctionnement sur de nombreuses années, notamment lorsque la sécurité des personnes est mise en jeu, ce qui est le cas près d'installations nucléaires ou hydrauliques. Or le vieillissement des matériaux utilisés, de par les cycles climatiques ou les expositions aux environnements sévères auxquels ils sont soumis, risque également de faire varier la fréquence de résonance de la corde et donc de produire de fausses alarmes.

L'objectif du sujet de thèse proposé est d'optimiser le fonctionnement de ces capteurs en modélisant précisément les couplages magnéto-mécaniques utilisés pour mettre la corde en mouvement et effectuer la mesure de sa fréquence de résonance. De cette modélisation, de nouveaux capteurs plus fiables et plus précis pourront être développés ce qui augmentera la sécurité des sites sensibles. Le travail demandé comporte 4 phases : (1) modélisation magnéto-mécanique statique, (2) modélisation magnéto-mécaniques dynamique, (3) mise en œuvre électronique et validation et (4) exploitation des capteurs réalisés. Le candidat doit présenter de bonnes connaissances en instrumentation, notamment dans le domaine du magnétisme, et en électronique. Il doit par ailleurs avoir montré de réelles capacités de rigueur, d'initiative et d'autonomie lors de son stage de fin d'étude.

Sujet développé (à présenter en 2 ou 3 pages maximum,
en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

Les extensomètres à corde vibrante sont des capteurs très sensibles, utilisés pour mesurer les déformations des ouvrages de grande envergure, par exemple des ponts, des barrages hydrauliques, des centrales thermiques, des centrales nucléaires... Le principe de fonctionnement de ces capteurs est basé sur la fréquence de résonance d'une corde tendue entre deux points encrés dans la construction à contrôler. Si la distance entre ces deux points varie au cours du temps suite à une déformation de la construction, la tension de la corde change ce qui entraîne une variation mesurable de la fréquence de résonance. Ainsi toute variation de la fréquence de résonance f de la corde vibrante par rapport à sa fréquence de résonance d'origine f_0 peut être associée à une déformation $\Delta L/L$ de la construction à contrôler selon la relation

$$\Delta L/L = K (f^2 - f_0^2)$$

où K est le coefficient extensométrique du capteur. Celui-ci dépend principalement de la masse linéique de la corde mais également de sa tension.

Bien que le principe de fonctionnement des extensomètres à corde vibrante soit simple, il est absolument nécessaire de pouvoir garantir une fiabilité de fonctionnement sur de nombreuses années, notamment lorsque la sécurité des personnes est mise en jeu, ce qui est le cas près d'installations nucléaires ou hydrauliques. Or le vieillissement des matériaux utilisés, de par les cycles climatiques ou les expositions aux environnements sévères auxquels ils sont soumis, risque également de faire varier la fréquence de résonance de la corde et donc de produire de fausses alarmes.

L'amplitude de la résonance de la corde est un des points clé puisque si la corde se déplace de manière trop importante, alors elle risque de se déformer au delà de sa limite élastique. Cela peut entraîner une fatigue rapide de la corde et donc une dérive importante de sa fréquence de résonance indépendamment de la déformation de la construction à contrôler. Il est donc primordial de réduire autant que possible l'excursion de la corde mais cela nécessite un système de détection de son déplacement plus sensible. Dans un mode de fonctionnement forcé, c'est-à-dire lorsque la corde est continuellement maintenue en résonance, la mesure de la fréquence est plus précise car stable. L'excursion de la corde peut alors être réduite mais cela est au dépend d'une sollicité permanente. Dans un mode de fonctionnement libre, c'est-à-dire lorsque la mesure ne se fait pas en même temps que la sollicitation de la corde, la fréquence et la décroissance du signal mesuré sont importantes. L'excursion de la corde doit être suffisamment importante mais cela est au bénéfice d'une sollicitation ponctuelle. Ainsi il existe un mode de fonctionnement optimal qui garantit une mesure précise et une faible dérive au cours du temps. Ce mode de fonctionnement optimal n'a pas encore été validé scientifiquement ce qui constituera un premier aboutissement du travail de thèse proposé.

Le magnétisme est presque toujours utilisé pour solliciter la corde afin de la mettre en résonance et pour mesurer son déplacement. L'avantage du magnétisme réside dans sa robustesse vis-à-vis des contraintes climatiques et environnementales (température, humidité, poussières...) et dans la possibilité d'interagir avec la corde sans contact mécanique direct. Ce dernier avantage permet notamment de maximiser le coefficient de qualité de la résonance et donc de rendre la mesure beaucoup plus précise. Pour la mise en mouvement, la corde est choisie dans un matériau magnétique qui est périodiquement attiré par un électroaimant. Pour

la mesure, l'inductance d'une bobine est périodiquement modifié par le déplacement de la corde dans son champ de sensibilité. Le magnétisme est cependant sensible à la foudre car les forts courants électriques circulant vers la terre produisent des champs magnétiques intenses qui peuvent magnétiser durablement des matériaux ou simplement dérégler le fonctionnement des extensomètres, voire les arrêter.

Le travail proposé à travers ce sujet de thèse consiste à étudier les couplages magnéto-mécanique des extensomètres à corde vibrante dans le but d'en optimiser la fiabilité et le fonctionnement. Ce travail peut être décomposé en plusieurs étapes.

La première étape est une phase d'étude par simulation des forces mises en jeu pour le démarrage et l'entretien de la résonance de la corde vibrante. Plusieurs formes électroaimants seront étudiés l'objectif étant de produire la plus grande force de sollicitation avec le minimum de tension appliquée. Les meilleurs modèles simulés seront développés et testés. L'effet de la foudre sera également analysé et testé.

La seconde étape est une phase de modélisation des couplages magnéto-mécaniques lors de la mesure. Le modèle magnéto-mécanique devra prendre en compte la boucle d'action-réaction qui existe entre la corde vibrante, la bobine de sollicitation et la bobine de mesure. On pourra alors en déduire la résolution ultime que peut atteindre un extensomètre à corde vibrante selon son mode de fonctionnement et donc d'identifier le mode de fonctionnement optimal. Un autre avantage de la modélisation est la mise en évidence des paramètres d'influence en vu d'optimiser l'ensemble de la chaîne de mesure.

La troisième étape est une étape de réalisation de dispositifs de lecture. Ces dispositifs électroniques de lecture permettront de solliciter un extensomètre et de mesurer la fréquence de résonance de sa corde selon les deux modes de fonctionnement décrits précédemment. La modélisation des couplages magnéto-mécaniques sera alors expérimentalement validée. La conception de ces dispositifs de lecture se fera sur la base de dispositifs existants. Cela sera l'aboutissement principal du travail de thèse proposé.

La dernière étape est une phase d'exploitation. Les dispositifs de lecture et les différents extensomètres réalisés seront utilisés en grandeur nature pour quantifier la résolution de mesure, caractériser leur immunité aux perturbations et enfin estimer leur durée de vie ce qui constituera un aboutissement supplémentaire.

Pour effectuer ce travail, nous recherchons un candidat qui soit attiré par l'instrumentation et la physique expérimentale et notamment par le magnétisme, l'électronique et le génie civil. Le candidat, de par son cursus d'études supérieures, doit avoir de bonnes connaissances en instrumentation, notamment dans le domaine du magnétisme, ainsi qu'en électronique. Il doit par ailleurs avoir montré de réelles capacités de rigueur, d'initiative et d'autonomie lors de son stage de fin d'étude, qualités qui devront être attestées par une lettre de recommandation de la part de son responsable de stage.