

Appel à propositions “Coup de pouce F2M 2013”

Dynamique des structures aimantées

Corinne Rouby, Unité de Mécanique (ENSTA ParisTech)

Laurence Bodelot, Laboratoire de Mécanique des Solides (École Polytechnique, CNRS)

Contexte Ce projet entre dans le cadre de la recherche de nouveaux phénomènes et méthodes de conversion de l'énergie d'un écoulement en énergie électrique. Actuellement, cette conversion s'effectue le plus souvent à l'aide d'hélices, dans les éoliennes ou les hydroliennes, mais il n'est pas démontré qu'il s'agisse de la méthode la plus efficace ou la plus adaptée dans toutes les situations et à toutes les échelles. Des recherches sont donc menées pour évaluer et optimiser le potentiel de récupération d'énergie grâce à des mécanismes d'instabilité en interaction fluide-structure, qui permettent un transfert d'énergie depuis un écoulement vers les modes vibratoires d'une structure.

Nous nous intéressons ici à l'utilisation de l'induction électromagnétique comme phénomène physique permettant la conversion de l'énergie mécanique de déformation de structures élancées en flottement en énergie électrique. À moyen terme, notre objectif est la modélisation, la simulation et la caractérisation expérimentale de structures aimantées déformables, ainsi que leur interaction avec un écoulement et le couplage avec un circuit électrique via le phénomène d'induction. La principale application visée est la conception d'un système de récupération d'énergie à base de drapeaux (i.e. de plaques flexibles) aimantés : la déformation de tels drapeaux aimantés entraîne une fluctuation temporelle du champ magnétique dans l'espace environnant, et donc l'induction de courants dans un circuit électrique au voisinage des plaques.

À l'Unité de Mécanique (UME), des travaux sont menés sur ce type de systèmes récupérateurs où c'est la piézoélectricité qui est utilisée pour la conversion d'énergie. Les questions de la modélisation, de la caractérisation expérimentale et de l'optimisation de ces systèmes sont traitées, prenant en compte l'ensemble des phénomènes physiques permettant la conversion d'énergie de l'écoulement vers un circuit électrique [1, 2]. Au Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS), des travaux numériques et expérimentaux sont menés sur des élastomères souples chargés de particules micrométriques magnétisables, dits *élastomères magnétorhéologiques*. Il s'agit notamment de comprendre l'influence de la microstructure sur les mécanismes de couplages magnéto-mécaniques et permettre la validation de modèles de couplages multiphysiques développés au sein du laboratoire [3]. Le LMS dispose d'un électroaimant pouvant générer un champ magnétique puissant permettant de fabriquer des échantillons en induisant la création de chaînes orientées dans la direction du champ et d'étudier ensuite la réponse mécanique de ces échantillons microstructurés en fonction d'un champ.

Description du projet Nous souhaitons nous associer pour aborder ce problème et proposons pour cet appel à projet “coup de pouce” de nous concentrer sur la caractérisation des effets d'une forte aimantation permanente sur le comportement mécanique de structures flexibles et le couplage avec un circuit électrique.

Du point de vue fondamental, nos objectifs soulèvent plusieurs questions, qui demeurent assez peu abordées dans la littérature scientifique. La première d'entre elles concerne la forme d'un champ magnétique engendré par une structure déformable et son influence sur le comportement mécanique de la structure. On trouve dans la littérature plusieurs travaux s'intéressant au cas de structures magnétisables soumises à un champ magnétique externe [4, 5], mais pas au cas qui nous intéresse ici : celui de structures présentant une aimantation permanente. Concernant ce problème, des travaux préliminaires sont en cours de réalisation, concernant l'étude analytique, numérique et expérimentale d'un système mécanique simple, mais présentant toutes les caractéristiques fondamentales citées plus haut : une structure aimantée déformable constituée d'une succession d'éléments discrets. Deux stages portant sur la statique et la dynamique d'une chaîne de billes ou de cylindres aimantés, qui forment une poutre par l'attraction magnétique entre voisins, ont ainsi été effectués à l'UME [6, 7]. Une thèse¹ va débiter dans la continuité de ces études sur les chaînes discrètes d'oscillateurs. La seconde question fondamentale abordée par ce projet concerne le transfert d'énergie vers un circuit électrique via le phénomène d'induction et l'effet rétroactif sur la dynamique de la structure.

1. Thèse de Joo-Sung Lee, bourse IDEX.

En complément du système composé de billes discrètes de la thèse de Joo-Sung Lee, le travail proposé pour cet appel à propositions “coup de pouce” concerne la modélisation de structures continues. La géométrie que nous proposons de considérer est représentée sur la figure 1. Il s’agit d’une plaque

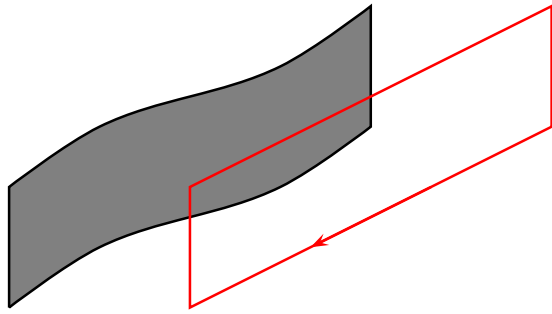


FIGURE 1 – Géométrie du problème que l’on se propose de traiter dans ce projet : une plaque flexible aimantée en vibration à proximité d’une boucle conductrice.

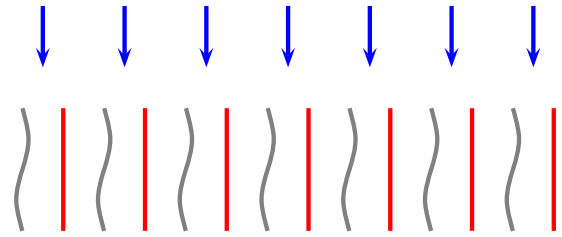


FIGURE 2 – Réseau de plaques flexibles et boucles conductrices dans un écoulement.

flexible présentant une aimantation permanente, oscillant à proximité d’une boucle conductrice. Ce problème peut être vu comme la cellule élémentaire d’un réseau alternant plaques aimantées et boucles conductrices (cf. figure 2). Une approche énergétique, prenant en compte les énergies élastique et électromagnétique du système, permettra d’établir les équations du problème. Nous étudierons alors l’influence de différents paramètres (direction d’aimantation, position et géométrie de la bobine, mode de déformation considéré...) sur la dynamique du système et l’efficacité du couplage inductif. Cette étude sera à la fois théorique et expérimentale, nos outils expérimentaux nous donnant accès à une large gamme d’aimantation et d’élasticité.

Retombées et perspectives À l’issue de ce projet, un modèle dynamique d’une plaque aimantée couplé au phénomène d’induction aura été établi. Celui-ci aura été validé expérimentalement et nous disposerons de prototypes de drapeaux aimantés. Ceci constituera une première étape qui nous permettra ensuite d’envisager un travail spécifique sur la géométrie optimisant la conversion d’énergie, géométrie que l’on testera expérimentalement. Notamment, le cas d’un réseau de structures et boucles conductrices couplées à un écoulement représenté en figure 2 sera abordé à la suite de ce projet.

Moyens demandés : 55 000 €

- Personnel 50 000 € : 12 mois de post-doctorat
- Achat de matériel expérimental 5 000 € : caméra pour mesure de champ de déformations, matière première pour l’élaboration des échantillons

Compétences mises en commun

- **Corinne Rouby** (UME, ENSTA ParisTech) travaille sur la modélisation des structures et des matériaux actifs. Le projet bénéficiera de son apport sur la modélisation mécanique et magnétique.
- **Laurence Bodelot** (LMS, École Polytechnique) est spécialiste des matériaux magnéto-rhéologiques. Le projet bénéficiera de son expertise dans la conception et l’analyse expérimentale de structures dotées d’une aimantation permanente.
- **Le post-doctorant** recruté aura développé une spécialité en mécanique des structures et travaillera sur la modélisation et l’expérimentation en interaction avec les maîtres de conférences porteuses de ce projet.

Dans la continuité de ce projet, le couplage inductif et le couplage avec un écoulement sera modélisé et caractérisé expérimentalement en collaboration avec J. Boisson et O. Doaré (UME).

- [1] O. Doaré and S. Michelin. *J. Fluid. Struct.*, 27(8) :1357–1375, 2011. [4] A. Cebers. *J. Phys. : Condens. Matter*, 15(15) :1335–1344, 2003.
- [2] S. Michelin and O. Doaré. *J. Fluid Mech.*, 714 :489–504, 2013. [5] A. Cebers. *Phys. Rev. E*, 76(3), 2007.
- [3] K. Danas, S. V. Kankanala, and N. Triantafyllidis. *J. Mech. Pys. Solids*, 60 :120–138, 2012. [6] V. Belissen. Rapport de stage, École Polytechnique, 2013.
- [7] X. Xu. Rapport de stage, ENSTA ParisTech, 2013.