

Résumé - RFM

"Approches multiéchelles de la modélisation des couplages multiphysiques chemo-magnéto-thermo-mécaniques"

O.Hubert – hubert@lmt.ens-cachan.fr

LMT-Cachan (ENS-cachan/CNRS UMR8535/Université Paris-Saclay), 61, avenue du président Wilson, F-94235 Cachan cedex, France

Notre époque est caractérisée par une utilisation de plus en plus intensive d'actionneurs dans des domaines d'application extrêmement vastes, des plus grandes échelles aux plus petites. La miniaturisation de ces systèmes ajoute de nouvelles contraintes de conception et nécessite le développement de matériaux à propriétés contrôlées et de modèles robustes. Une des solutions envisagée est l'emploi de matériau présentant au moins un couplage multiphysique fort (une des physiques étant la mécanique). On peut citer à titre d'exemple les matériaux magnétostrictifs, les alliages à mémoire de forme classiques ou magnétiques, les matériaux piézoélectriques, certains milieux composites multiferroïques... Côté modélisation, l'enjeu est de mieux décrire les interactions complexes observées expérimentalement (effets non linéaires, non monotones, irréversibles, dynamiques, multiaxiaux etc ...) et d'en tirer des modèles de comportement possédant des domaines de validité suffisants pour les applications considérées. Un autre enjeu important est celui de la rapidité des calculs. Ce point sera abordé de manière indirecte.

Nous nous focaliserons donc dans cette communication sur les matériaux présentant des couplages du type chémo-magnéto-thermo-mécanique. Les matériaux piézoélectriques font l'objet d'une autre communication ; ils ne seront évoqués que succinctement. Nous débiterons par une présentation de résultats expérimentaux obtenus au laboratoire illustrant la grande diversité des phénomènes associés aux couplages sus cités. S'agissant de la modélisation de couplages forts de comportement, la voie naturelle est l'approche énergétique et la thermodynamique des processus irréversibles pour l'établissement des lois d'évolution. Nous présenterons les avantages de ces approches mais également leurs limites. Nous montrerons alors qu'il est possible d'aborder la modélisation d'une grande variété de ces milieux couplés par une approche unifiée utilisant les ressorts du changement d'échelle. L'approche est bien adaptée aux situations où certains champs peuvent être considérés comme homogènes à une échelle pertinente et où une déformation libre peut être définie. L'opération peut être analytique ou numérique. Plusieurs situations concrètes traitées au laboratoire permettront d'illustrer le propos.

- J.L. Chaboche, J. Lemaitre, A.Benallal, R. Desmorat, « Mécanique des matériaux solides », chap. 8, ed. Dunod, 3ème édition.
- A.C. Eringen, G.A. Maugin, « Electrodynamics of continua I & II », Springer-Verlag, 1990
- E. Du Tremolet de Lacheisserie, "Magnetostriction: theory and applications of magnetoelasticity ", CRC Press, 1993.
- D.C. Lagoudas, « Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications », Springer, 2006.
- K. Bhattacharya, « Microstructure of martensite, materials modelling », Oxford University Press. 2003.
- Alex Hubert, Rudolf Schäfer, « Magnetic Domains: The Analysis of Magnetic Microstructures », Springer Science & Business Media, 2008.

De l'auteur:

- L. Daniel et al., Journal of the Mechanics and Physics of Solids, **56**, 3 (2008) 1018-1042.
- O. Hubert, L. Daniel, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **323**, 20, (2011) 1766-1781.
- O. Hubert et al., Materials Science and Engineering A, **633** (2015) 76-91.
- C. Bormio-Nunes, O. Hubert, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **393**, 11 (2015) 404-418.
- M.D. Fall, et al., IEEE Transactions on Magnetics, **52** , Issue 4, (2016) DOI :10.1109/TMAG.2016.2514705.