

Simulations numériques pour le micromagnétisme

Stéphane LABBÉ, Laboratoire de Mathématique, Université d'Orsay, Paris 11

Les matériaux ferromagnétiques ont une grande importance dans de nombreux dispositifs techniques tels que l'enregistrement magnétique, la protection radar ou encore la téléphonie. Depuis quelques temps, un grand intérêt a été porté sur les dispositifs utilisant en particulier des objets nano-magnétiques. Ces objets, difficiles à réaliser, nécessitent donc d'importants moyens de calcul pour leur conception. L'enjeu de la simulation est donc non seulement d'obtenir des résultats en accord avec le modèle du micromagnétisme, employé pour modéliser le comportement des matériaux ferromagnétiques, mais aussi de pouvoir comparer les simulations avec des mesures réalisables en laboratoire (voir par exemple [1]).

Le but est donc génériquement de résoudre l'équation de Landau et Lifschitz sur un domaine Ω de \mathbb{R}^3 , que l'on peut crire en units adimensionnes :

$$\begin{aligned}\frac{\partial m}{\partial t} &= -m \wedge h(m) - \alpha m \wedge (m \wedge h(m)), \\ m(0, x) &= m_0, \text{ avec } |m_0| = 1, \text{ p.p. dans } \Omega,\end{aligned}$$

où $h(m)$ représente le champ magnétique total. Ce champ est divisé en deux partie, une induite par des phénomènes locaux et une induite par les contribution électromagnétiques classiques. Usuellement, la partie induite par les phénomènes locaux est composée de deux champs principaux : l'échange ($h_e(m)$) qui modélise les interaction spin-spin courtes portées dans le matériaux et l'anisotropie ($h_a(m)$) qui modélise l'influence de la forme du réseau cristallin. La partie induite par l'électromagnétisme comprend le champ extérieur (h_{ext}) et le champs électromagnétique (h_d) ; pour ce dernier, il est en fait utilisé l'approximation quasi-statique de Maxwell (ou champ démagnétisant), cette approximation se justifie par la taille des particules considérée en regard des longueurs d'ondes considérées.

Les solutions asymptotiques en temps de cette équation se trouvent *a priori* dans l'ensemble des minimiseurs locaux de l'nergie micromagnétique E défini par :

$$E(m) = -\frac{1}{2}(h_d(m) + h_e(m) + h_a(m), m)_{0,\Omega} - (h_{ext}, m)_{0,\Omega},$$

dans le cas où les contributions magnétiques $h_d(m)$, $h_e(m)$ et $h_a(m)$ sont linéaires en m .

L'un des objectifs de la simulation est de trouver des états d'équilibre. Mais, ces états ne pouvant pas être directement comparés avec des données expérimentales, il est nécessaire d'utiliser un autre outil : la susceptibilité hyperfréquence. Cette dernière est obtenue par estimation de la réponse d'un état d'équilibre des excitations extérieures de type ondes planes, pour une gamme de fréquences donnée, et correspond bien aux grandeurs expérimentalement mesurables.

Nous présenterons donc dans cette exposé les difficultés liées la simulation des matériaux magnétiques et quelques solutions proposées autant pour le calcul des solutions du système de Landau et Lifschitz que pour la détermination de la susceptibilité hyperfréquence. Des résultats de calculs effectués avec les codes EMicroM et SMicroM [2] l'ONERA et Dassault Aviation [3] seront exposés.

Références

- [1] L. HALPERN, S. LABBÉ, *La thorie du micromagnitisme. Modlisation et simulation du comportement des matriaux magntiques*, Matapli, n66, 2001.
- [2] S. LABBÉ, P.-Y. BERTIN, *Microwave polarizability of ferrite particles*, JMMM, vol. 206, pp. 93-105, 1999.
- [3] F. BOUST, N. VUKADINOVIC, S. LABBÉ, *High-frequency susceptibility of soft ferromagnetic nanodots*, JMMM, vol. 272-276, pp. 708-710, 2004.

Stéphane LABBÉ – stephane.labbe@math.u-psud.fr
Université Paris 11, Laboratoire de Mathématique, Bât. 425, 91405 ORSAY Cedex