



HAL
open science

Caractérisation dynamique de la variation de température de matériaux magnéto-caloriques dans des conditions adiabatiques

Morgan Almanza, Afef Kedous-Lebouc

► **To cite this version:**

Morgan Almanza, Afef Kedous-Lebouc. Caractérisation dynamique de la variation de température de matériaux magnéto-caloriques dans des conditions adiabatiques. Journées annuelles de la SF2M: "Matériaux et conversion d' énergie", SF2M, Oct 2015, Paris, France. hal-01315702

HAL Id: hal-01315702

<https://hal.science/hal-01315702>

Submitted on 25 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation dynamique de la variation de température de matériaux magnéto-caloriques dans des conditions adiabatiques

Morgan ALMANZA^a, Afef KEDOUS-LEBOUC^b

^aUniv. Paris Saclay, SATIE, 94230 Cachan, France CNRS, SATIE, 94230 Cachan, France

^bUniv. Grenoble Alpes, G2Elab, F-38000 Grenoble, France CNRS, G2Elab, F-38000 Grenoble, France

Résumé

Ce document présente un dispositif de caractérisation dynamique du $\Delta T_{adiabatique}$ pour des matériaux magnéto-caloriques à différentes vitesses d'aimantation, certaines allant jusqu'à 1T/ms. Le dispositif est relativement simple de conception : mesure de température par thermocouple, source de champ réalisée à l'aide d'aimants, contrôle de la source de champ à l'aide d'un moteur électrique et contrôle de la température de l'échantillon par une cellule Peltier. Ce prototype répond à deux problématiques : offrir un moyen simple de caractériser le ΔT_{adia} et explorer la réponse dynamique de l'effet magnéto-calorique.

Introduction

La caractérisation des matériaux magnéto-caloriques est un point important pour le développement de nouveaux matériaux et pour la modélisation de dispositifs les utilisant. La caractérisation des matériaux passe par la connaissance de leurs paramètres physiques. Dans le cas d'application orientée vers la réfrigération magnétique, l'entropie ou ses variations et la conductivité thermique sont les principaux paramètres à connaître. Les variations d'entropie sont mesurées à l'aide de technique de calorimétrie, de magnétométrie et de mesure de ΔT_{adia} . La magnétométrie est la mesure la plus simple et est facilement disponible grâce à des appareils commerciaux. Celles de calorimétrie sont disponibles mais les mesures sont plus difficiles et coûteuses en équipement. Ces deux mesures sont indirectes contrairement à la mesure de ΔT_{adia} . Pourtant la mesure de ΔT est souvent moins exploitées. Dans ce contexte nous proposons un dispositif accessible de mesure de ΔT_{adia} . Le dispositif est aussi conçu dans l'optique de s'intéresser à la dynamique de réponse de l'EMC.

Source de champ

La source de champ du dispositif est constituée d'aimants. L'entrefer réglable de 5mm à 60mm fixe le champ maximal respectivement de 0.2 à 1.2 T. Les aimants sont montés sur un axe en rotation, comme le montre le synoptique de la Figure 3. L'angle de rotation contrôlé par un moteur permet de contrôler le champ magnétique appliqué, noté $\mu_0 H_a$. Des dispositifs similaires comme celui présenté dans les articles [1] et [2] utilisent un mouvement de translation pour contrôler le champ ce qui limite son temps de montée, l'utilisation d'un mouvement de rotation permet d'atteindre des temps de montée de champ de l'ordre 1T/ms pour un dispositif avec

une complexité limitée en comparaison des dispositifs destinés au champ pulsé, faisant appel à des bobines de Bitter.

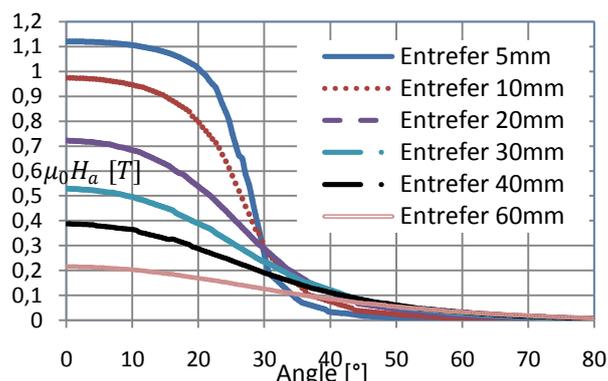


Figure 1 Champ magnétique dans l'entrefer pour différentes configurations

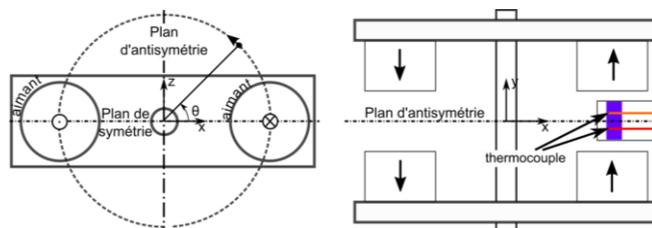


Figure 2 Configuration des aimants

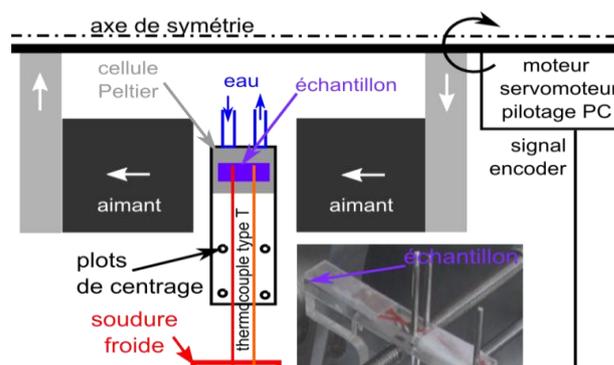


Figure 3 Synoptique du dispositif

Pour minimiser l'effet du champ démagnétisant les échantillons sont de formes allongées 10 x 1 x 2 mm. Le coefficient de champ magnétisant N, défini dans l'article [3], est de l'ordre de 0.05. Les champs internes générés reflètent ceux utilisés dans les dispositifs de réfrigération [4]. Pour la suite nous travaillerons avec un champ appliqué de 0.7 T.

Mesure de température

Différentes techniques de mesure de température existent : les thermistances, les thermocouples, les méthodes optiques par rayonnement, par réflectance. Notre mesure de température doit avoir une résolution supérieure à $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un temps de réponse de l'ordre de la milliseconde.

Les thermistances conventionnelles n'ont pas la dynamique escomptée. Les méthodes optiques pour cette dynamique et cette résolution, comme celles basées sur des matériaux déposés sont coûteuses. Les techniques par thermocouples sont intéressantes mais elles manquent de dynamique. Pour améliorer la dynamique de mesure, nous avons utilisé un thermocouple ouvert, c'est-à-dire que la jonction se ferme localement sur le matériau comme illustré sur la Figure 3. L'alliage de type T choisi, donne $46\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Pour augmenter le rapport signal sur bruit, les mesures sont synchronisées sur la position du moteur et moyennées sur chaque tour.

La variation du champ magnétique dans les fils induit des tensions importantes en comparaison des tensions de thermocouple. Pour limiter leurs effets, la géométrie du thermocouple minimise l'aire entre le fil et leur emplacement doit permettre d'avoir le flux tangent à la surface créée entre le fil. Bien que la tension induite soit réduite, sa valeur reste importante $150\text{ }\mu\text{V}$ pour une vitesse de rotation à $2000\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, comme illustré sur la Figure 4.

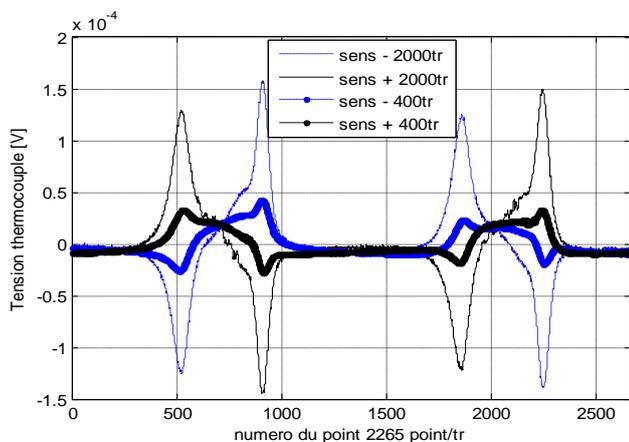


Figure 4 Mesure de la tension du thermocouple pour différentes vitesses de rotation et deux sens de rotation

Comme la vitesse de rotation est contrôlée précisément et puisque l'induction est antisymétrique par rapport à dH/dt , alors que l'EMC est lui est symétrique. Les mesures à la même vitesse dans deux sens de rotation sont ajoutées afin d'obtenir l'EMC seul.

Résultats expérimentaux

Le caractère adiabatique de la mesure est donné par la rapidité de la mesure car à $400\text{ tr}/\text{min}$ ou $2000\text{ tr}/\text{min}$, une phase complète d'aimantation désaimantation dure respectivement 0.15 ou 0.03 seconde alors que 0.18 seconde correspond à la constante de temps thermique de diffusion pour une distance caractéristique de 1 mm . L'interface thermique entre l'échantillon et le porte

échantillon en Plexiglas étant du scotch double face, le temps caractéristique est de 10 s .

Sur un échantillon de Gadolinium, la méthode d'addition des deux sens de rotation donne les résultats de la Figure 5. La variation de température adiabatique est de l'ordre de 0.5°C autour de 20°C , soit loin de ceux trouvés dans la littérature [5] qui sont de 2.5°C pour un champ de 0.75 T . Cet écart peut s'expliquer par la pureté du Gadolinium ou des hétérogénéités aux interfaces modifiant le coefficient Seebeck. Les mesures donnent aussi des écarts entre une aimantation en 22 ms ou en 4.5 ms , provenant probablement de l'apparition de courant de Foucault. Des études complémentaires sont en cours pour expliquer ces résultats.

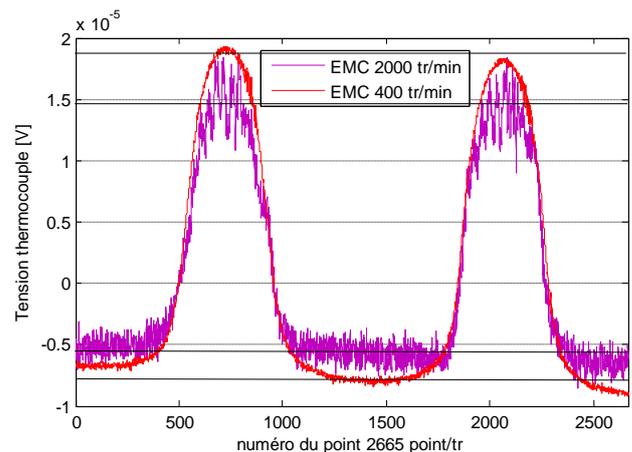


Figure 5 Tension de thermocouple représentant l'EMC

Ce travail a été supporté par l'agence nationale de la recherche au travers du projet MagCool ANR-10-STOCK-E-008.

Références

- [1] G. Porcari, M. Buzzi, F. Cugini, R. Pellicelli, C. Pernechele, L. Caron, E. Brück, et M. Solzi, « Direct magnetocaloric characterization and simulation of thermomagnetic cycles », *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 84, n° 7, p. 073907, 2013.
- [2] H. Yibole, F. Guillou, L. Zhang, N. H. van Dijk, et E. Brück, « Direct measurement of the magnetocaloric effect in $\text{MnFe}(\text{P},\text{X})$ ($\text{X} = \text{As}, \text{Ge}, \text{Si}$) materials », *J. Phys. Appl. Phys.*, vol. 47, n° 7, p. 075002, févr. 2014.
- [3] A. Aharoni, « Demagnetizing factors for rectangular ferromagnetic prisms », *J. Appl. Phys.*, vol. 83, n° 6, p. 3432-3434, mars 1998.
- [4] U. Legait, F. Guillou, A. Kedous-Lebouc, V. Hardy, et M. Almanza, « An experimental comparison of four magnetocaloric regenerators using three different materials », *Int. J. Refrig.*, vol. 37, p. 147-155, janv. 2014.
- [5] R. Bjørk, C. R. H. Bahl, et M. Katter, « Magnetocaloric properties of $\text{LaFe}_{13-x-y}\text{Co}_x\text{Si}_y$ and commercial grade Gd », *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 322, n° 24, p. 3882-3888, déc. 2010.