



**HAL**  
open science

# Caractérisation du comportement magnéto-élastique de matériaux à magnétostriction géante sous contrainte mécanique constante

Mathieu Domenjoud, Souad Tamazirt, Eric Berthelot, Hassane Mohellebi,  
Laurent Daniel

## ► To cite this version:

Mathieu Domenjoud, Souad Tamazirt, Eric Berthelot, Hassane Mohellebi, Laurent Daniel. Caractérisation du comportement magnéto-élastique de matériaux à magnétostriction géante sous contrainte mécanique constante. 3ème Symposium de Génie Electrique (SGE 2018), Université de Lorraine [UL], Jul 2018, Nancy, France. hal-02981825

**HAL Id: hal-02981825**

**<https://hal.science/hal-02981825>**

Submitted on 28 Oct 2020

**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 du comportement magnéto-élastique de matériaux à magnétostriction géante sous contrainte mécanique constante

Mathieu DOMENJOU<sup>1</sup>, Souad TAMAZIRT<sup>1,2</sup>, Eric BERTHELOT<sup>1</sup>, Hassane MOHELLEBI<sup>2</sup>, Laurent DANIEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GeePs | Group of electrical engineering - Paris, UMR CNRS 8507, CentraleSupélec, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, Sorbonne Université, 3 & 11 rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon 91192 Gif-sur-Yvette Cedex, France.

<sup>2</sup>Département d'électrotechnique de l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, BP 17RP, 15000 Tizi Ouzou, Algérie.

**RESUME** – Le développement d'outils de caractérisation du comportement magnéto-élastique de matériaux à magnétostriction géante (GMM) permet d'optimiser la conception d'actionneurs ou de capteurs dans lesquels ces matériaux sont souvent intégrés. Parmi eux, le Terfenol-D et le Galfenol possèdent chacun un comportement magnéto-élastique très sensible au niveau de précontrainte statique. Ce travail illustre l'influence du contrôle des conditions aux limites sur l'évaluation du comportement du Terfenol-D. La comparaison des comportements obtenus en condition de traverse bloquée et de contrainte contrôlée illustre la sensibilité des mesures de comportement magnéto-élastique des GMM aux conditions aux limites et montre l'importante nécessité du contrôle de ces conditions.

**Mots-clés**—Matériau à magnétostriction géante, caractérisation de comportement magnéto-élastique, contrôle de conditions aux limites.

## 1. INTRODUCTION

Les matériaux à magnétostriction géante (GMM) tels que le Terfenol-D ( $Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_{1.92}$ ) et le Galfenol ( $Fe_{81.6}Ga_{18.4}$ ) sont souvent utilisés dans des systèmes d'actionnement ou de capteurs. Cependant, le comportement magnéto-élastique de chacun de ces matériaux est fortement non-linéaire, et est très sensible aux niveaux de contrainte mécanique appliqués [1, 2]. Différents dispositifs dédiés à la caractérisation magnéto-élastique sont utilisés [3, 4, 5, 6]. Les différentes conditions de mesures et de contrôle de ces dispositifs influent directement sur le résultat de mesure du comportement matériau. Récemment, nous avons développé un nouveau banc de mesure du comportement magnéto-élastique de GMM sous condition de chargement mécanique contrôlé. Ce dispositif est capable de contrôler la variation de contrainte induite par l'excitation mécanique et permet d'obtenir des mesures de comportement magnéto-élastique à contrainte constante.

Dans ce travail, nous commençons par présenter le dispositif expérimental, ainsi que les caractéristiques du système de contrôle de la contrainte et de l'excitation magnétique. Dans une seconde partie, nous présentons les résultats expérimentaux obtenus sur le Terfenol-D sous deux conditions de contrôle: traverse bloquée et contrainte mécanique contrôlée. L'apport du

contrôle des conditions aux limites sur les résultats de mesures est quantifié et discuté dans chacun des cas.

## 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est adapté aux mesures d'induction magnétique ( $B$ ) et des déformations de magnétostriction longitudinale ( $S_L$ ) et transversale ( $S_T$ ) de matériaux ferromagnétiques soumis simultanément à un champ magnétique ( $H$ ) et à un niveau de contrainte statique ( $\sigma_0$ ). Une machine de traction-compression (Zwick/Roell Z030) est utilisée pour l'application de la contrainte mécanique, et un circuit magnétique a été conçu pour l'application du champ magnétique [6]. Le schéma synoptique du montage est présenté sur la figure 1.

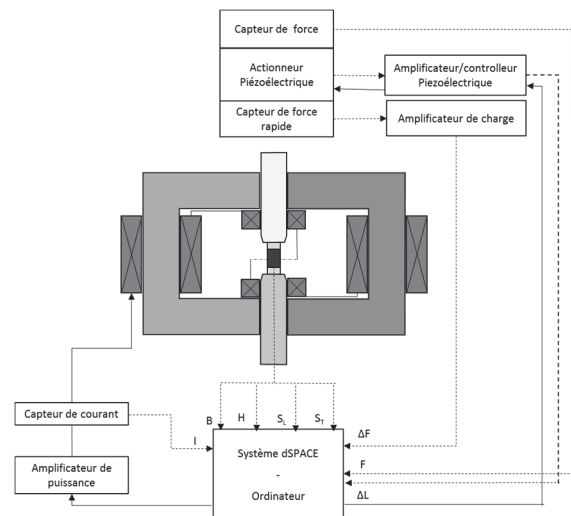


Fig. 1. Synoptique du banc de mesure.

Le circuit magnétique, constitué de deux U en ferrite, assure la fermeture du champ magnétique. Ce dernier est généré par quatre bobines primaires alimentées par un amplificateur de puissance (Kepco 72-14MG). Deux colonnes magnétiques en Permendur connectent l'échantillon au circuit et transmettent l'effort mécanique. Les dimensions des échantillons assurent l'homogénéité du champ magnétique et de la contrainte mécanique dans la zone centrale de l'échantillon. Les

échantillons de Terfenol-D sont de forme cylindrique (3 cm de haut et 5 mm de rayon).

La composante de force est mesurée par un capteur de force. L'induction magnétique dans l'échantillon est mesurée grâce à une B-Coil entourant ce dernier. Le champ magnétique est mesuré en surface de l'échantillon par un Gaussmètre. Les déformations  $S_L$  et  $S_T$  sont évaluées par une jauge de contrainte de type rosette collée sur l'échantillon. L'asservissement du courant utilise un capteur de courant et un asservissement PID. Le contrôle des variations de force induites par l'excitation magnétique ( $\Delta F$ ) utilise un capteur de force rapide et un asservissement PID contrôlant la position d'un actionneur piézoélectrique grâce à un amplificateur/contrôleur piézoélectrique. L'acquisition des mesures, la génération des signaux d'excitations et de contrôle, des processus de désaimantation et de mesures anhystériques sont assurés par un module dSPACE cadencé à 50 kHz.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSIONS

Les figures 2 et 3 représentent l'évolution de la déformation  $S_L$  du Terfenol-D en fonction du champ  $H$  sinusoïdal (10 cycles, 1 Hz) appliqué, pour des niveaux de précontrainte statique de 0.1, 10, 20, 30, 50 et 80 MPa, sous condition de traverse bloquée (figure 2) et de contrainte contrôlée (figure 3). L'état de référence pour la mesure de déformation est l'état désaimanté sous précontrainte.

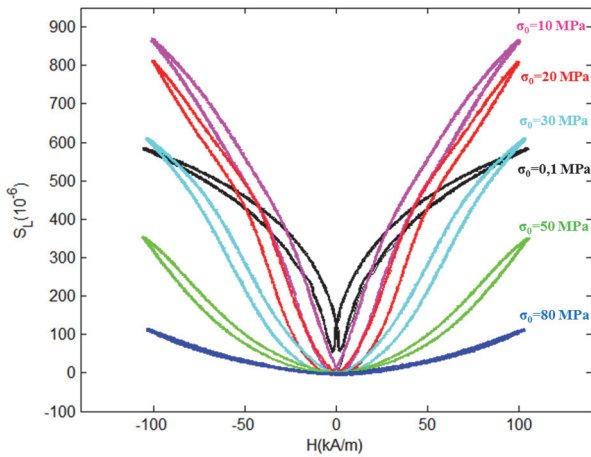


Fig. 2. Magnétostriction longitudinale en fonction du champ  $H$  appliqué, pour différentes valeurs de précontrainte, sous condition de traverse bloquée.

La figure 2 illustre la sensibilité  $S_L$  au niveau de précontrainte. La traverse étant bloquée, les évolutions de contraintes induites par l'excitation magnétique sont significatives (tableau 1).

Tableau 1. Variation maximale du niveau de contrainte induite par le champ magnétique sous condition de traverse bloquée

$\sigma_0$ (MPa)	0.1	10	20	30	50	80
$\Delta^b \sigma_0 \text{ max}$ (MPa)	3.8	11.5	13.3	11.4	7.2	3.2

En utilisant le système de contrôle de la contrainte, les variations de contrainte mécanique sont réduites de plus de 95% dans tous les cas, ce qui nous permet de considérer des essais à contrainte constante (figure 3).

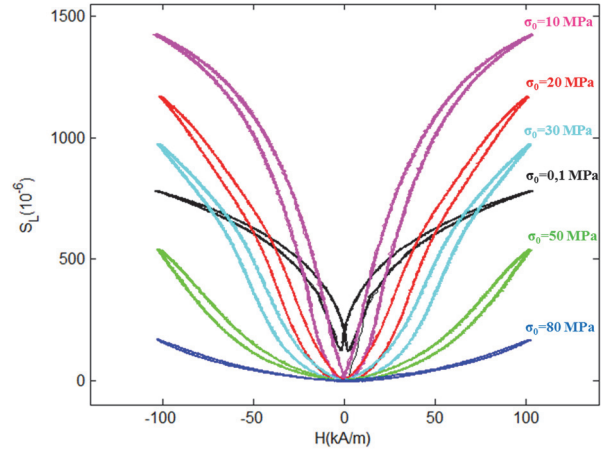


Fig. 3. Magnétostriction longitudinale en fonction du champ  $H$  appliqué, pour différentes valeurs de précontrainte, sous condition de contrainte contrôlée.

La comparaison des figures 2 et 3 montre des variations de magnétostriction comprises entre +34% (0.1 MPa) et +67% (10 MPa). Ainsi, la mesure du comportement magnéto-élastique de ce GMM est très sensible au niveau de contrôle des conditions aux limites.

### 4. CONCLUSIONS

Ce travail décrit la mise en place d'un dispositif de contrôle rapide d'effort adapté à la mesure du comportement magnéto-élastique de GMM sous contrainte constante. L'effet des diverses conditions de contrôle (traverse bloquée et contrainte contrôlée) est évalué sur la magnétostriction du Terfenol-D. Les variations observées attestent que la mesure du comportement magnéto-élastique des GMM est très sensible au niveau de contrôle des conditions aux limites

### 5. REFERENCES

- [1] Butler, J. L., Application manual for the design of Etrema Terfenol-D magnetostrictive transducers, 1988.
- [2] Clark, A. E., Wun-Fogle M., Restorff, J. B. and Lograsso, T. A., Magnetostrictive properties of Galfenol alloys under compressive stress, Materials Transactions, 43, 881-886, 2002.
- [3] Kellogg, R. A., Flatau, A. B., Clark, A. E., Wun-Fogle, M. and Lograsso, T. A., Temperature and stress dependencies of the magnetic and magnetostrictive properties of Fe<sub>0.81</sub>Ga<sub>0.19</sub>, Journal of Applied Physics, 91, 7821, 2002.
- [4] Kvarnsjö, L. and Engdahl, G., A set-up for dynamic measurements of magnetic and mechanical behavior of magnetostrictive materials, IEEE Transactions on Magnetics, 25, 4195-4197, 1989.
- [5] Jiles, D. C. and Hariharan, S., Interpretation of the magnetization mechanism in Terfenol-D using Barkhausen pulse-height analysis and irreversible magnetostriction, Journal of Applied Physics, 67, 5013-5015, 1990.
- [6] Galopin, N., Daniel L., Bouillault, F. and Besbes, M., Numerical analysis for the design of a magneto-elastic characterisation device, Przegląd Elektrotechniczny, 83, 2007.