



**HAL**  
open science

## Mesure de la partie imaginaire de la susceptibilité magnétique de capteurs MIG - Application à l'évaluation de leur bruit en $1/f$

Elodie Portalier, B. Dufay, C. Dolabdjian, D. Seddaoui, A. Yelon, D. Ménard

► **To cite this version:**

Elodie Portalier, B. Dufay, C. Dolabdjian, D. Seddaoui, A. Yelon, et al.. Mesure de la partie imaginaire de la susceptibilité magnétique de capteurs MIG - Application à l'évaluation de leur bruit en  $1/f$ . 2016. hal-01397063

**HAL Id: hal-01397063**

**<https://hal.science/hal-01397063>**

Preprint submitted on 15 Nov 2016

**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.



## MESURE DE LA PARTIE IMAGINAIRE DE LA SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE DE CAPTEURS MIG - APPLICATION A L'EVALUATION DE LEUR BRUIT EN $1/f$

Elodie Portalier<sup>1</sup>, Basile Dufay<sup>1</sup>, Christophe Dolabdjian<sup>1</sup>,  
Djamel Seddaoui<sup>2</sup>, Arthur Yelon<sup>2</sup>, David Ménard<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Equipe Electronique Laboratoire GREYC, UMR 6072, ENSICAEN 6 BD Maréchal Juin  
CS 45053 14050 Cedex 4 Caen, France

<sup>2</sup> Polytechnique Montréal, Département de génie physique & Regroupement québécois des  
matériaux de pointe, Montréal, Québec, Canada H3C3A7

[elodie.portalier@unicaen.fr](mailto:elodie.portalier@unicaen.fr)

### RÉSUMÉ

Récemment, un modèle du bruit intrinsèque du capteur MIG aux basses fréquences a été proposé suggérant que le bruit excédentaire serait induit par les fluctuations thermiques de l'aimantation et donc, lié à la partie imaginaire (dissipative),  $\chi''$ , de sa susceptibilité magnétique circonférentielle. Ce modèle permet de rendre compte d'un comportement en bruit dit en  $1/f$  aux basses fréquences si la valeur de  $\chi''(f)$  apparait indépendante de la fréquence. Dans le but de valider ce modèle, nous avons étudié la dépendance en fréquence de ce terme par deux voies de mesures. L'analyse des premiers résultats expérimentaux montre qu'il est possible de prédire dans une certaine mesure le niveau de bruit magnétique de ces dispositifs aux basses fréquences.

**MOTS-CLEFS :** *Instrumentation ; Bruit magnétique ; Théorème de Fluctuation-Dissipation ; Capteur MIG.*

### 1. INTRODUCTION

La présence d'un bruit excédentaire à basse fréquence constitue une limite de détection et un défi dans la conception de magnétomètres à haute sensibilité. Actuellement, les meilleures performances en bruit, mesurées au laboratoire GREYC, pour un fil MIG de 2,4 cm de long et d'un rayon de 50  $\mu\text{m}$  atteignent les 3 pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$  en zone de bruit blanc et un bruit en  $1/f$  ayant une fréquence de coude d'environ 50 Hz, conduisant à un niveau de 20 pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$  à 1 Hz.

Dans un premier temps, des mesures de cohérence spectrale  $\gamma(f)$  ont permis d'identifier le bruit basse fréquence mesuré comme un bruit intrinsèque au capteur, les autres sources de bruit présentes le long de la chaîne d'instrumentation électronique apparaissant comme négligeables.

Un modèle de bruit, basé sur le théorème de Fluctuation-Dissipation, a été développé [1, 2] établissant un lien entre les fluctuations d'impédance  $z_n^2(f)$  (en  $\Omega^2/\text{Hz}$ ) et la densité spectrale de puissance des fluctuations thermiques de la direction de l'aimantation,  $S_{\theta\theta}(f)$  (en  $\text{rad}^2/\text{Hz}$ ) tel que :

$$z_n^2(f) = \left( \frac{\partial Z}{\partial \theta_M} \right)^2 S_{\theta\theta}(f). \quad (1)$$

Le bruit équivalent en champ (en  $\text{T}^2/\text{Hz}$ ) du capteur MIG est alors donné par :

$$b_n^2(f) = z_n^2(f) / \left( \frac{\partial Z}{\partial B} \right)^2. \quad (2)$$

où  $\frac{\partial Z}{\partial B}$  représente la sensibilité intrinsèque du capteur.

En tenant compte de certaines hypothèses [2], l'expression de  $z_n^2(f)$  se simplifie et permet d'exprimer le bruit équivalent en champ du capteur par :

$$b_n^2(f) = \frac{3\mu_0 k_B T}{\pi V} \left( \frac{H_k}{M_s} \right)^2 \frac{\chi''(f)}{f}. \quad (3)$$

où  $k_B T$  est l'énergie thermique,  $V$  le volume de l'échantillon,  $H_k$  le champ d'anisotropie,  $M_s$  l'aimantation à saturation et  $\chi''(f)$  est la partie imaginaire de la susceptibilité magnétique complexe. Cette dernière est associée à plusieurs phénomènes physiques de dissipation au sein du matériau magnétique tels que les pertes par hystérésis (classique et dynamique) ou celles liées aux mouvements de parois de domaines magnétiques.

## 2. EXPERIMENTATION

D'après l'équation (3), une valeur constante de  $\chi''(f)$  en fonction de la fréquence conduit à un spectre de bruit en  $1/f$ , comme généralement observé expérimentalement. Dans ce travail, la dépendance en fréquence de  $\chi''(f)$  est étudiée au moyen de deux techniques. La première permet d'extraire la valeur de  $\chi''$  à partir de la partie réelle de l'impédance du dispositif MIG,  $Re(Z(f))$ . La seconde technique consiste à évaluer  $\chi''(f)$  à partir de l'aire du cycle d'hystérésis circconférentiel ( $M-H$ ). Ces deux techniques mènent à une évaluation de valeurs semblables de  $\chi''(f)$ . La prédiction du niveau de bruit à l'aide de ce terme et de l'équation (3) conduit à des résultats en accord avec les résultats expérimentaux de mesure de bruit. Les courbes de la figure 1 présentent une comparaison entre les niveaux de bruit équivalent en champ obtenus expérimentalement et attendus à partir du modèle proposé.

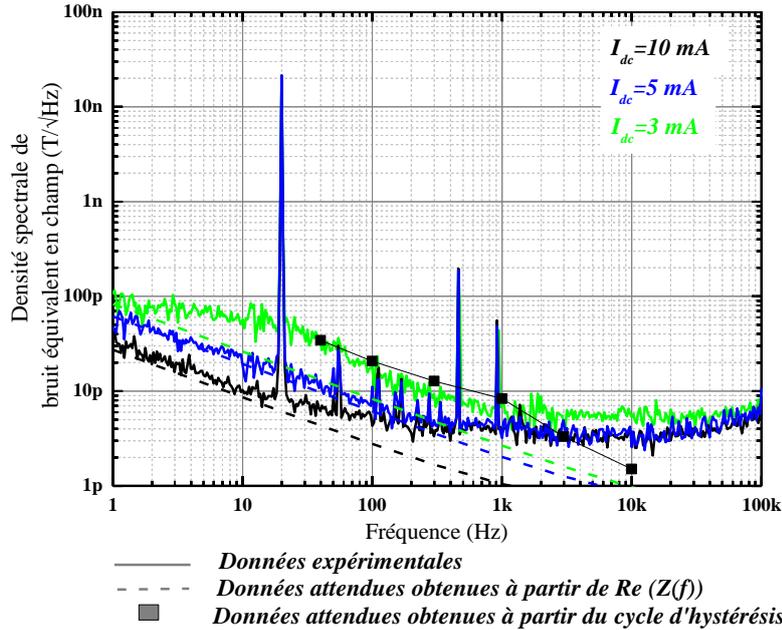


Fig. 1 : Présentation de densités spectrales de bruit équivalent en champ d'un capteur GMI pour un courant d'excitation de 10 mA et à une fréquence de 1 MHz en fonction de la valeur du courant statique de polarisation,  $I_{dc}$ . Les courbes en ligne pointillée et les carrés représentent les niveaux attendus au regard de la mesure de  $\chi''(f)$ .

## REFERENCES

- [1] D. Ménard, G. Rudkowska, L. Clime, P. Ciureanu, a. Yelon, S. Saez, C. Dolabdjian, and D. Robbes, "Progress towards the optimization of the signal-to-noise ratio in giant magnetoimpedance sensors," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 129, no. 1–2, pp. 6–9, May 2006.
- [2] C. Dolabdjian, B. Dufay, S. Saez, A. Yelon, D. Ménard, "Is low frequency excess noise of GMI induced by magnetization fluctuations?," *Key Engineering Materials.*, vol. 605, pp. 437-440, 2014.