



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

HYSTERESIS 3N PARAMETERS MATLAB CURVE FITTING TOOL

PAR JAËL GIGUÈRE

LABORATOIRE DE SUPRACONDUCTIVITÉ ET MAGNÉTISME (LSM)

LE 5 NOVEMBRE 2021

Mise en contexte

Dans le logiciel de simulation par éléments finis **Flux** développé par la compagnie **Altair**, il y a plusieurs manières de modéliser la réponse d'un matériau ferromagnétique au champ magnétique appliqué. Grâce à Maxime Tousignant, un ancien étudiant au doctorat, la théorie de Preisach pour modéliser l'hystérésis a été implémentée dans **Flux** (en mode beta).

Pour modéliser la courbe d'hystérésis d'un matériau, il y a deux approches : avec 4 paramètres fixes (4P) ou avec $3n$ coefficients sur une somme d'arctangentes ($3n$), où $n \geq 1$. Le présent document se concentre sur l'approche $3n$.

4P :

Les 4 paramètres sont B_s le champ à saturation, B_r l'aimantation rémanente, H_c le champ coercitif (lorsque $B = 0$) et s le "squareness factor" qui varie de 0 (aplati) à 10 (très carré). Gregory Giard a développé un outil pour identifier ces 4 paramètres à partir d'une mesure expérimentale de la courbe d'hystérésis d'un matériau.

3n :

Cette méthode se base sur l'équation suivante pour modéliser le comportement hystérétique du matériau :

$$B(H) = \mu_0 H + \sum_{i=1}^N a_i \arctan\left(\frac{H + c_i}{b_i}\right) \quad (1)$$

Pour adéquatement modéliser le comportement dans **Flux**, la courbe d'hystérésis expérimentale doit avoir un H_{max} appliqué plus grand ou égal au H maximal que subira le matériau dans **Flux**. Pour simplifier, on mesure la courbe majeure expérimentalement, et on fait l'identification des paramètres a_i , b_i et c_i avec l'outil de curve fitting. Ce dernier se nomme `FittingToolHyst.m`, et utilise les fonctions `FitExpHystn1.m`, `FitExpHystn2.m`, `FitExpHystn3.m` ou `FitExpHystn4.m` pour l'ordre du fit demandé.

Exemples de résultats

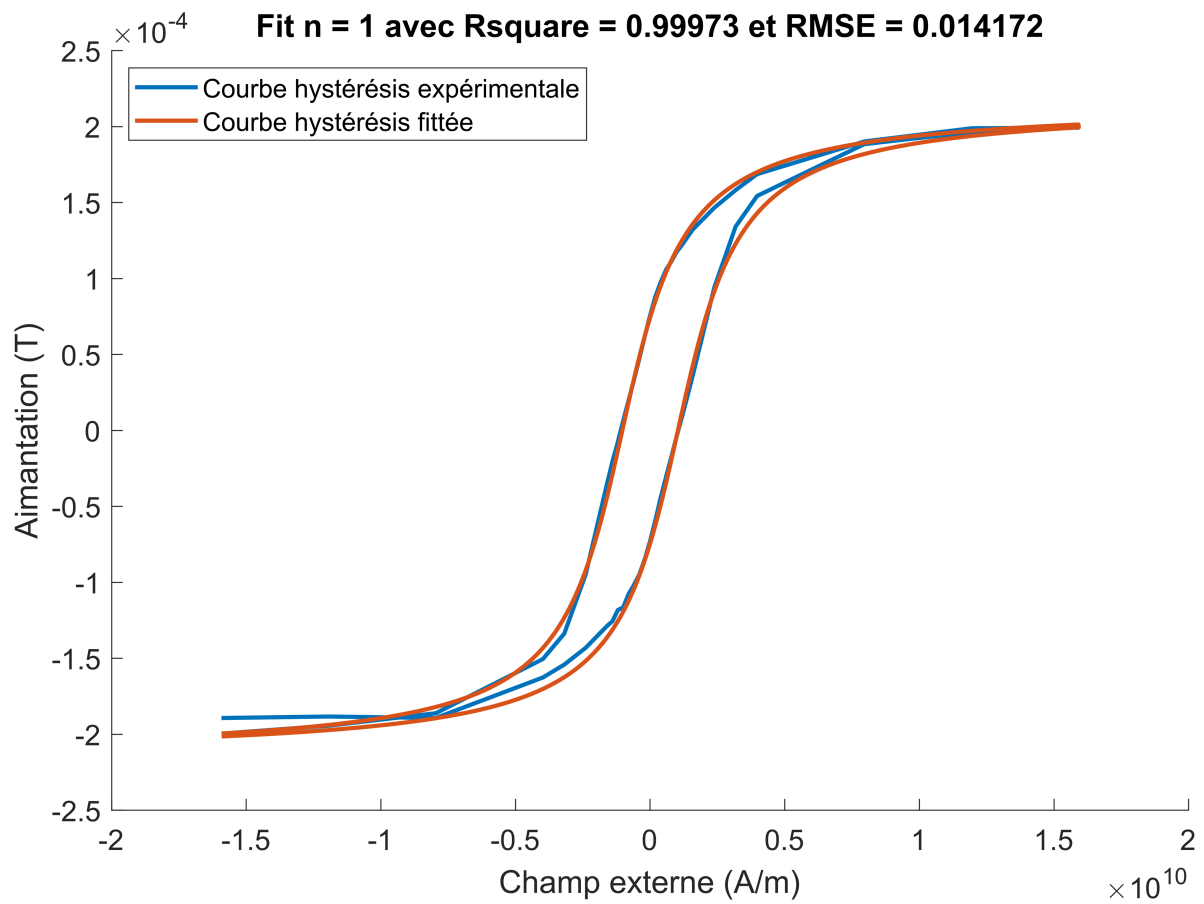


Figure 1: Exemple de résultat pour une courbe saturée très simple avec $n = 1$.

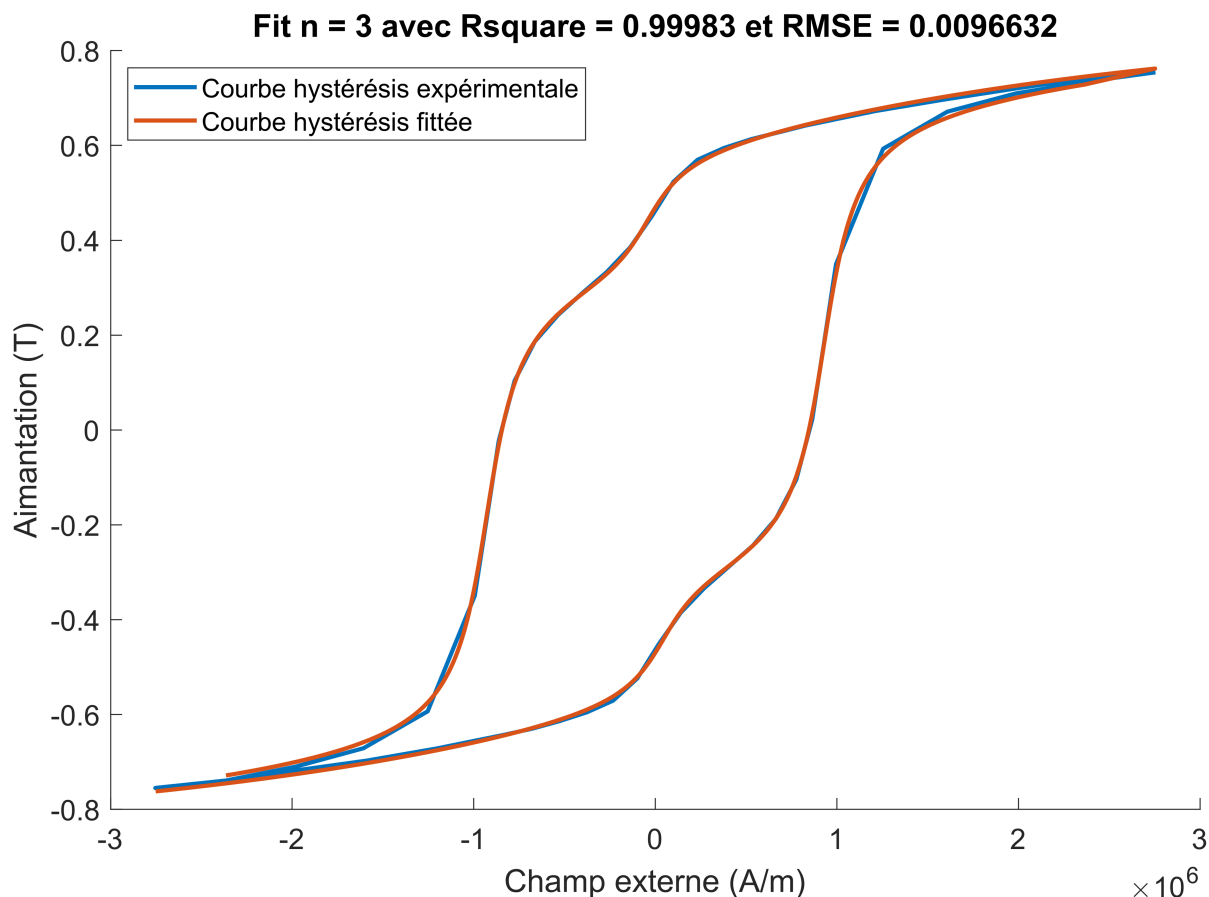


Figure 2: Exemple de résultat pour une courbe saturée d’un échantillon de Cold Spray du CNRC avec $n = 3$.

Description du code Matlab

Pour faire le fit avec les données expérimentales, on utilise seulement la moitié “descendante” de la courbe d’hystérésis ($H_{max} \rightarrow -H_c \rightarrow -H_{max}$) car c’est cette partie de la courbe qui peut être modélisée par une somme d’arctangentes. Le code Matlab `FittingToolHyst.m` nous permet de choisir le fichier lorsqu’on le run, et ce fichier doit être un `.txt`, sans entête (uniquement les données) et ayant deux colonnes : H en A/m et M en T.

Le code commence par importer les données et diviser la courbe d’hystérésis entre la partie montante et la partie descendante (celle qui nous intéresse), et fait confirmer par l’utilisateur si la coube choisie est bien la partie descendante. Par la suite, le code fait une interpolation avec 1000 pts avant d’effectuer le fit et scale les données pour avoir un H et un M maximum de 1, ce qui aide à la convergence du fit. Ensuite, le code fait un fit avec $n = 1, 2, 3, 4$ et demande à l’utilisateur à chaque fois s’il veut sauvegarder les données du fit (R^2 , RMSE, coefficients du fit).