

Cycle d'hystérésis d'un échantillon ferromagnétique par effet Faraday

- Idée de l'expérience :
- Mise au point optique du dispositif expérimental :
- Relevés expérimentaux et rédaction du document :

Fabien Reb (agrégatif 2004-2005)
 Christian Ollier (assistant ingénieur)
 Jean-Baptiste Desmoulin (P.R.A.G.)
 mail : desmouli@physique.ens-cachan.fr

Le système dont nous disposons permet d'observer les domaines magnétiques d'une couche mince de grenat ferrimagnétique. Le protocole expérimental est donné dans la notice relative au grenat ferrimagnétique disponible en ligne sur le site du département de physique, dans la rubrique « matériel ».

Nous allons chercher à relever le cycle d'hystérésis de l'échantillon. Pour cela, il nous faut connaître le champ d'excitation H dans lequel est plongé l'échantillon. Nous l'obtiendrons par un étalonnage préalable, en l'absence d'échantillon, au moyen d'un capteur à effet Hall en le reliant au courant circulant dans le bobinage exciteur. Il nous faut également l'aimantation dont nous récupérerons une image par effet Faraday : une lumière polarisée linéairement voit sa polarisation tourner autour d'un angle proportionnel à l'aimantation de l'échantillon qui sera déterminée grâce à une photodiode placée après un analyseur. La correspondance avec l'aimantation obtenue en supposant que

$$\mu_0 \cdot M_s = 140 \text{ Gauss} = 0,014 \text{ T}$$

Le dispositif expérimental est présenté sur la photographie suivante :



I. Détails pratiques du dispositif expérimental.

Nous allons détailler les deux parties du dispositif expérimental : le système d'excitation et le système d'analyse optique de l'état magnétique de l'échantillon.

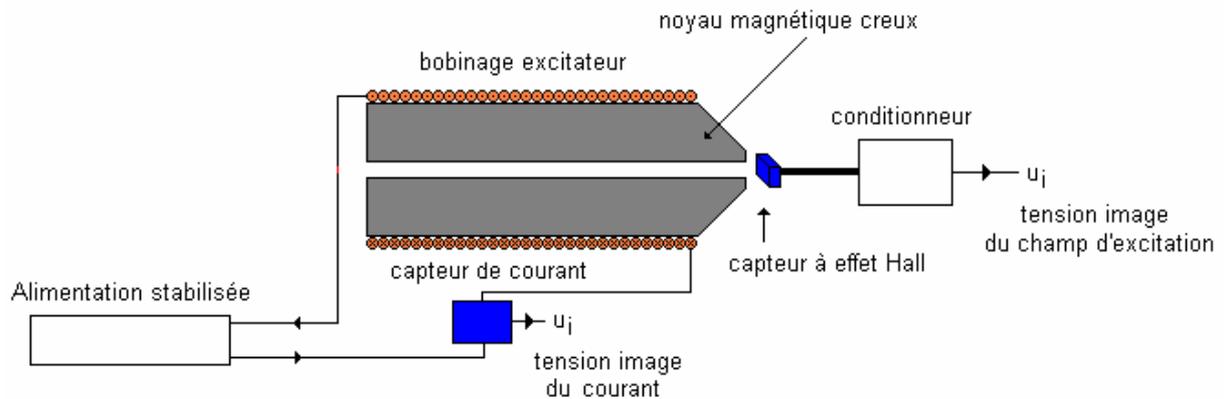
I.1. Courant et champ d'excitation.

L'excitation est réalisée au moyen d'une bobine Leybold de 1000 spires qui crée un champ dans l'axe du faisceau laser, perpendiculairement à la couche mince magnétique. Cette bobine est alimentée par un générateur

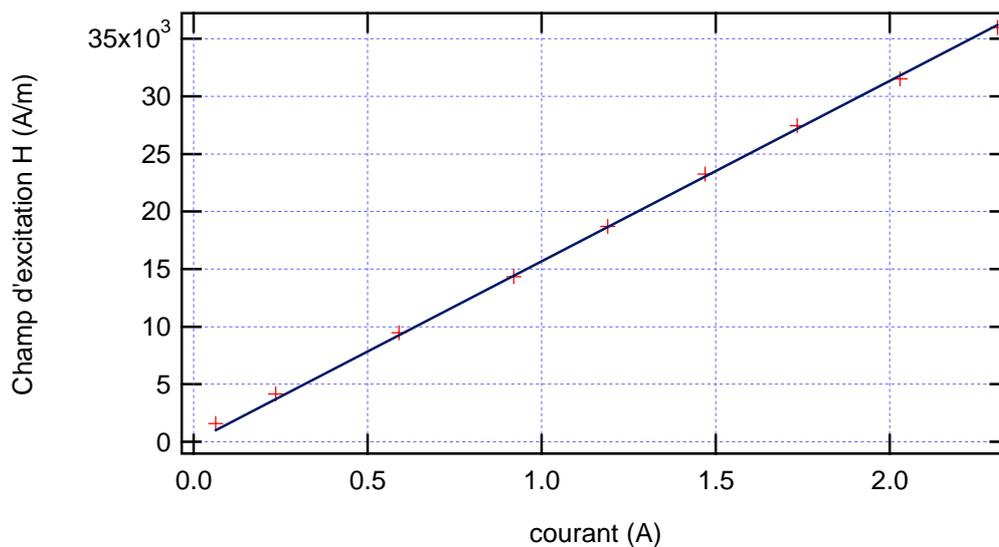
basse fréquence amplifié en puissance, susceptible de débiter 1A au maximum (ENSC 155 CENTRAD). Ce système permet de délivrer un courant que nous supposons suffisant pour saturer l'échantillon.

Pour l'étalonnage, nous utiliserons néanmoins une alimentation stabilisée, afin d'explorer une plage de champ plus intense qu'avec le GBF.

L'expérience d'étalonnage se présente de la façon suivante :



On commence par relever la correspondance entre le courant dans la bobine et le champ H dans la zone de l'échantillon. Pour cela, on place un capteur à effet Hall exactement à la place occupée ensuite par l'échantillon. Le champ H récupéré est une moyenne géométrique sur l'ensemble du capteur à effet Hall qui est sensiblement de la même taille que l'échantillon. On supposera que le champ est homogène sur cette zone.

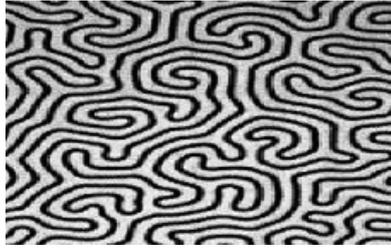


Il faut noter que pour obtenir un champ suffisamment intense avec un courant d'intensité suffisamment faible, on a placé un noyau magnétique percé coaxial avec la bobine d'excitation.

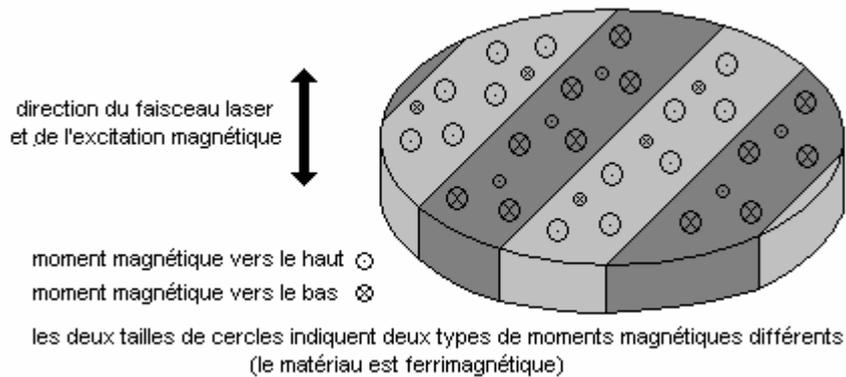
Pour l'ajustement, on n'a pas forcé le passage par zéro afin de tenir compte de l'offset du capteur de courant, fréquent sur ce type de système.

1.2. structure des domaines et processus d'aimantation de l'échantillon.

Dans cet échantillon, les moments magnétiques sont, pour la plupart d'entre eux, perpendiculaires au plan de l'échantillon. Dans certaines zones, ces moments sont dans un sens alors que dans d'autres, ils sont en sens inverse ce qui définit des domaines magnétiques ou domaines de Weiss. A l'état désaimanté, il y a autant de moments dans un sens que dans l'autre. Dans le cas d'un matériau ferrimagnétique, comme c'est le cas pour l'échantillon étudié, il existe au moins deux sortes de moments différents ce qui complique un peu la structure. Dans un domaine avec un matériau présentant deux types de moments, les moments d'un type seront dans un sens et les moments de l'autre type seront en sens inverse. En sortie d'un analyseur, l'application d'une lumière polarisée sur l'échantillon conduit, par effet Faraday, à l'image suivante :

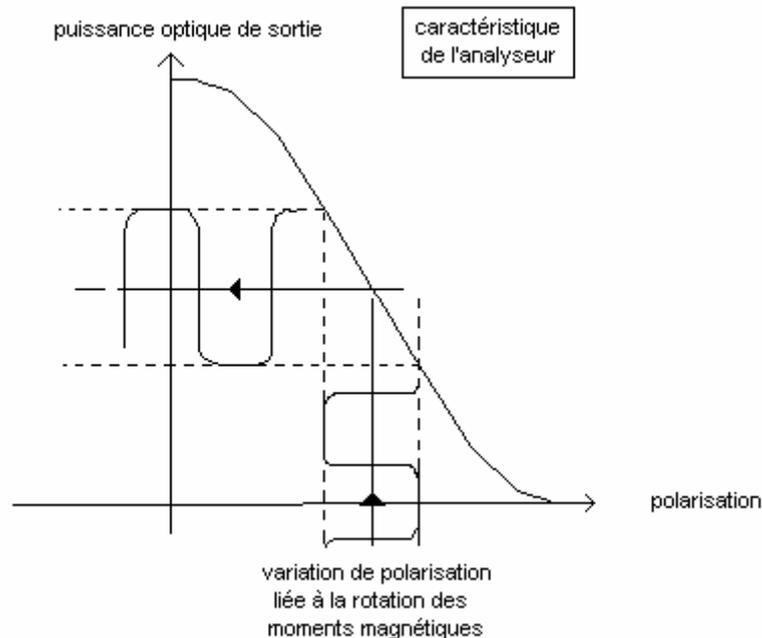


Les zones sombres correspondent à des moments dans un sens et les zones claires à des moments en sens inverse. Lors du processus d'aimantation, les moments vont tourner pour se mettre dans le sens de l'excitation magnétique, si cela n'est pas déjà le cas. Une fois l'échantillon saturé, tous les moments seront dans le même sens. L'image sera alors intégralement sombre ou intégralement claire. Pour mieux comprendre la signification de l'image précédente, on peut se reporter au schéma suivant :

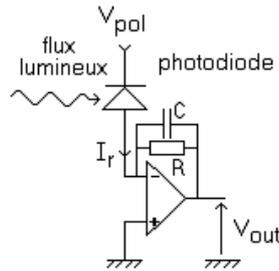


1.3. Analyseur et photodiode.

On règle l'analyseur pour récupérer le maximum de variation de signal en sortie de la photodiode. Ainsi, on se place dans la zone linéaire la plus large de l'analyseur. Par la suite, nous supposons que la rotation de polarisation liée à l'interaction avec les moments magnétiques est suffisamment faible devant la plage de linéarité de l'analyseur pour que la variation de puissance optique en sortie de ce dernier soit proportionnelle à la variation de polarisation.



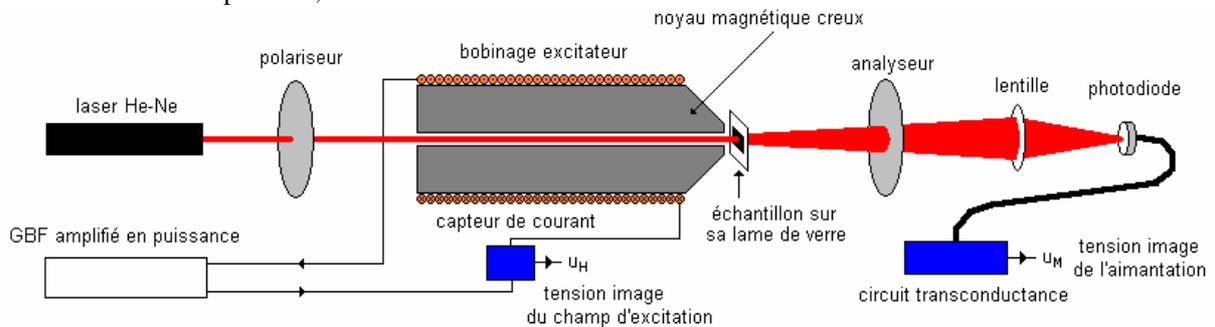
Le photocourant délivré par la photodiode est envoyé sur un amplificateur opérationnel monté pour réaliser une conversion courant/tension. On obtient ainsi une tension de sortie proportionnelle à la puissance optique reçue, elle-même proportionnelle à la variation du niveau d'aimantation.



Les domaines où les moments sont dans un sens conduisent à une rotation de la polarisation qui donnera une puissance maximale en sortie de l'analyseur. Les domaines où les moments sont en sens inverse conduisent à une puissance minimale (on rappelle que les moments sont perpendiculaires au plan de l'échantillon, et donc dans la direction du champ d'excitation). Les flux maximum et minimum sont donc obtenus pour la structure monodomaine, lorsque tous les moments magnétiques sont dans le même sens.

I.4. Système complet.

Pour réaliser l'expérience, on va réaliser l'association suivante :

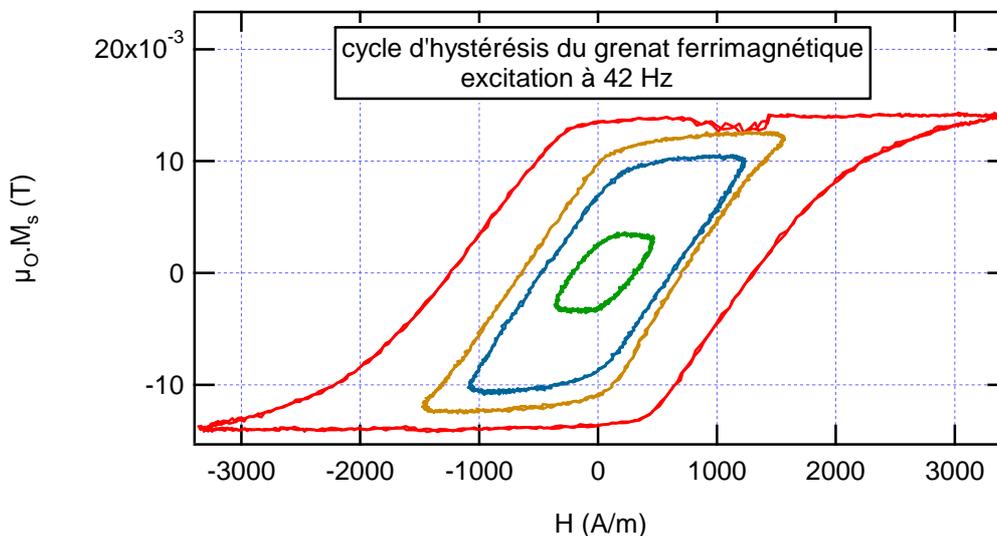


II. Résultats expérimentaux.

Pour plusieurs valeurs du courant d'excitation maximum, nous avons relevé la réponse de la photodiode et le courant en fonction du temps sur un peu plus d'une période. Pour l'acquisition de chaque voie, on veillera à moyenniser pour limiter le bruit sur les signaux.

Il faut noter que pour tracer ces courbes, les fichiers donnant la tension image du courant d'excitation, et la tension image de la puissance optique reçue par la photodiode doivent être modifiés. Pour le champ d'excitation, on le déduit du courant au moyen de la courbe d'étalonnage établie précédemment. Pour l'aimantation, on va supposer l'aimantation à saturation connue et on va faire l'hypothèse, contestable, que ce niveau est atteint lorsque le courant débité est maximal avec notre système. On supposera que $\mu_o \cdot M_s = 0,014 \text{ T}$ dans ce cas. Par ailleurs, le flux lumineux moyen est perturbé et assez instable, mais sans rapport avec notre étude. On veillera donc à soustraire sa valeur afin d'avoir des fluctuations d'aimantation effectivement centrées sur 0.

La figure suivante présente l'étude à 42 Hz.



Remerciement :

Je remercie Jean François Roch pour ses conseils dans la rédaction du document.

Bibliographie.

Notice du grenat ferrimagnétique

(site web du département de physique, rubrique « Laboratoire » / « matériel »).

Matériel.

Un échantillon de grenat ferrimagnétique sur sa lame de verre

Un laser

Un polariseur

Un analyseur

Une lentille pour focaliser sur la photodiode

Une photodiode PIN10 avec son circuit électronique de conversion courant/tension

Une alimentation stabilisée

Un capteur de courant à effet Hall (calibre 100mV/A)

Une bobine Leybold de 500 ou 1000 spires

Un noyau ferromagnétique percé (pour laisser passer le laser)

Un GBF amplifié en puissance (courant max de 1A)

Un oscilloscope avec sortie GPIB

Une liaison GPIB/USB

Un portable pour traiter les données

Version du 01-05-2006