

Étude de la magnétostriction - MFI 09

Valentin Schmidt

Antoine Daroux

1 Objectifs et messages de l'expérience

Le principe est de quantifier le phénomène de magnétostriction, c'est-à-dire la déformation des matériaux ferromagnétiques soumis à un champ magnétique. Cette déformation étant très faibles ($\epsilon \sim 10^{-4}$ à 10^{-8}), un interféromètre est utilisé pour réaliser la mesure.

Le phénomène de magnétostriction peut être utilisé pour l'émission d'ondes ultrasonores ou la mesure de champ magnétique.

2 Utilisation dans un montage

- Montage 04 : *Mesure de longueurs*. Il faudrait insister sur la mesure d'une déformation très faible par interférométrie.
- Montage 19 : *Interférences lumineuses*. En insistant sur le principe du Michelson et parler d'application de l'interférométrie.
- Montage 30 : *Milieux magnétiques*. Parler d'une propriété des ferromagnétiques, qui est la magnétostriction.

3 Quelle(s) grandeur(s) va-t-on mesurer ?

- L'intensité qui parcourt le solénoïde (qui est relié au champ magnétique auquel est soumis le ferromagnétique).
- Le nombre de franges sombres/brillantes qui défilent quand on augmente l'intensité.

4 Éléments théoriques de l'expérience

Prérequis théoriques :

- création de champ magnétique à l'aide de bobines ;
- matériaux ferromagnétique et phénomène de magnétostriction ;
- déformation (mécanique des milieux continus) ;
- interférométrie et en particulier le principe du Michelson.

Le principe de l'expérience est le suivant. Quand on applique un champ magnétique sur la barre ferromagnétique, les dipôles magnétiques changent d'orientation. On observe alors une déformation macroscopique. Pour le fer, $\epsilon \sim 2.10^{-5}$.

Pour un Michelson en incidence normale, la différence de marche vaut $\delta = 2ne$, où e est la distance entre les miroirs. Quand deux franges brillantes se succèdent, on a donc $\lambda = 2n\Delta x$. Soit p le nombre de successions de franges brillantes entre la référence et la mesure, on a alors :

$|\Delta x| = p \frac{\lambda}{2}$. Il faut être très vigilant sur le signe de Δx (le matériau peut se dilater ou se contracter).

Dans ce modèle, on ne prend pas en compte l'effet de la dilatation thermique.

5 Schéma de l'expérience et protocole à mettre en œuvre

5.1 Matériel

- Le montage de magnétostriction (vérifier qu'il y a bien la barre de fer)
- Un ampèremètre
- Une source de courant continu
- Un écran (et éventuellement une lentille pour observer les franges)

5.2 Protocole

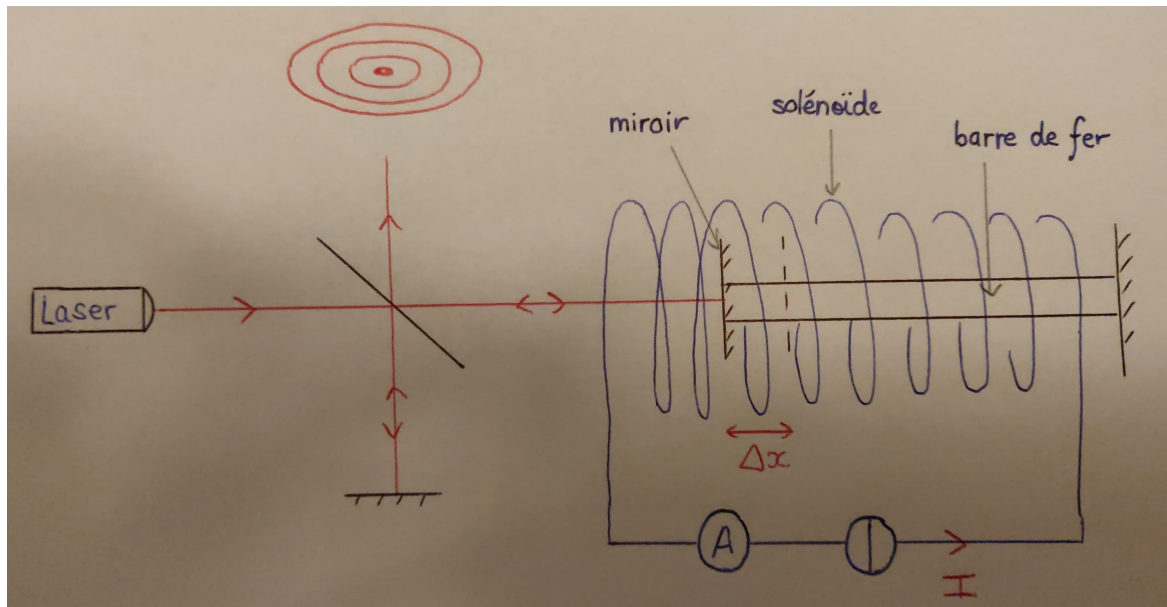


FIGURE 1 – Schéma du montage expérimental

Courbe déformation - intensité (en préparation) :

- Sans appliquer de champ magnétique, régler le Michelson pour observer des franges circulaires sur un écran.
- Régler la référence : il faut chariotter légèrement jusqu'à obtenir une frange brillante ou une frange sombre, qui sera le point de départ pour compter les successions de franges.
- Augmenter progressivement l'intensité. À chaque succession de franges sombres ou brillantes, relever l'intensité associée.
- En augmentant en intensité, on peut observer une inversion du sens de défilement des franges.
- Pour des intensités trop élevées, à intensité fixée, la figure d'interférence n'est plus "stable". Des franges se succèdent sans interruption. La dilatation thermique n'est alors plus négligeable, on ne peut plus prendre de mesures.

En direct, on peut reprendre un point et vérifier s'il retombe sur la courbe obtenue en préparation.

6 Résultats obtenus et traitement des incertitudes

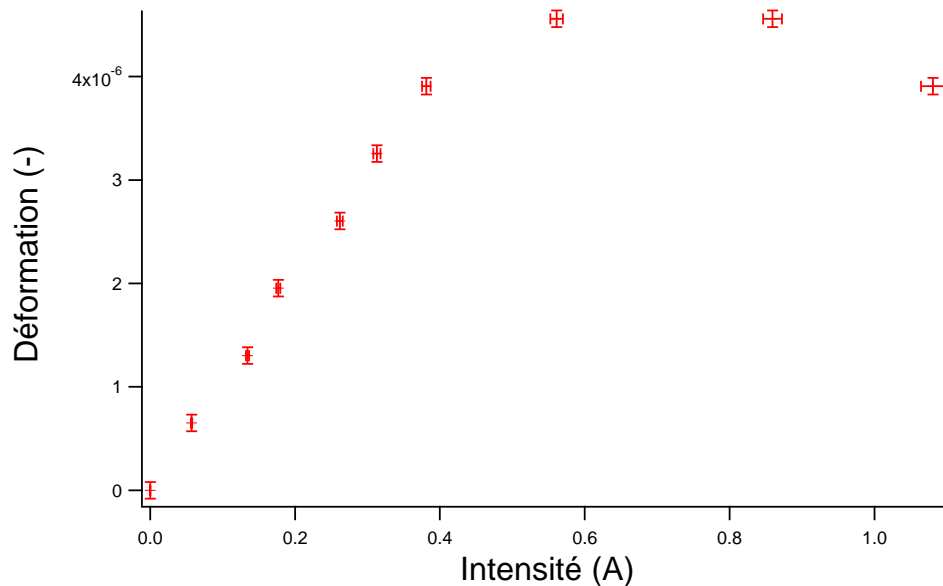


FIGURE 2 – Évolution de la déformation de la barre de fer en fonction de l'intensité injectée dans le solénoïde

Les résultats expérimentaux sont donnés en figure 2. La barre de fer se dilate donc d'abord sous l'effet du champ magnétique. Pour une intensité d'environ 0,8A, la barre commence à se contracter. Cela est dû à la dilatation thermique. Enfin, la prise de mesure n'est plus possible à partir de 1,05A. En effet, les pièces de fixation commencent à bouger sous l'effet de la dilatation thermique : les franges ne sont plus stables et défilent alors que l'intensité délivrée dans le solénoïde est constante.

Pour les incertitudes :

- La mesure du courant à l'ampèremètre étant stable, on utilise la notice de l'appareil pour déterminer les incertitudes.
- Pour la mesure du nombre de franges, il faut prendre en compte :
 1. l'incertitude sur la référence (est-ce vraiment une frange sombre ? une frange brillante ?)
 2. l'incertitude sur la frange quand on relève l'intensité
 On peut prendre une incertitude de $\frac{\lambda}{4}$ pour chaque (les incertitudes sont sous-estimées dans la figure 2).

7 Analyse critique des résultats et interprétation

- **Problème de la référence** : il est difficile de déterminer si on a "exactement" une frange brillante ou une frange sombre. Si le point ne tombe pas sur la courbe lors de la mesure

en direct (ce qui a été mon cas), ça peut être un problème de référence. On peut alors reprendre plusieurs points.

- **Problème de la dilatation thermique** : quand l'intensité augmente, la température de la barre augmente. Si elle devient trop grande, les pièces de fixation bougent sous l'effet de la chaleur. On ne peut alors plus prendre de mesures.
- Comparaison avec valeur classique de epsilon : pour le Fer, $\epsilon \sim 2 \cdot 10^{-5}$. Expérimentalement, on trouve $\epsilon_{max} \sim 5 \cdot 10^{-4}$. On est dans le bon ordre de grandeur.
- Pour améliorer la résolution, on peut utiliser un laser avec une longueur d'onde plus courte (donc un laser bleu).
- Pour le fer, il est intéressant de pouvoir observer la dilatation puis la contraction avant d'être limité par les phénomènes de dilatation thermique.

8 Subtilités de l'expérience et astuces

- Attention à la luminosité de la salle.
- ⚠ Les miroirs sont très fragiles. Manipuler les tiges avec précaution.
- Attention au signe de la déformation. Pour tester, on appuie sur le côté fixe de la barre (ce qui revient au cas où la barre se dilate) et on observe dans quel sens vont les anneaux.
- La courbe n'est linéaire à aucun moment, il ne faut pas faire de régression.
- Si on prend une barre en alu, il n'y a pas de magnétostriction et l'effet thermique est plus important plus vite.
- ⚠ La magnétostriction n'est pas un phénomène inductif.

9 Bibliographie utile pour l'expérience

Fiche de TP de L3 de l'ENS Paris-Saclay : <https://enspsp.gitlab.io/pensps-static/formations/premiereannee/doctelechargeables/fasciculeTP1.pdf>