

# LP45 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

01 octobre 2014

Binôme : Rémi Bisognin, Marion Grzelka

## Références

M.BERTIN J.-P.FAROUX J.RENAULT, BFR, *électromagnétisme tome 4*, se baser dessus d'après le correcteur, et bien comprendre les subtilités des deux chapitres sur l'aimantation et le ferromagnétisme pendant l'année de préparation. Utiliser pour 1.et 2.

RAY CÉDRIC, POIZAT JEAN-CLAUDE, *La physique par les objets quotidiens*, chapitre 11, page 100, présente les disque durs.

[http://www.canal-u.tv/video/universite\\_de\\_tous\\_les\\_savoirs/l\\_enregistrement\\_magnetique\\_une\\_nanotechnologie\\_grand\\_public\\_claude\\_chappert.4315](http://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/l_enregistrement_magnetique_une_nanotechnologie_grand_public_claude_chappert.4315) , une conférence qui explique le fonctionnement d'un disque dur.

TRÉMOLET DE LACHEISSERIE, *Magnétisme 2 - Matériaux et applications*, possède un tableau de valeurs pour les matériaux magnétiques et un chapitre sur les technologies du disque dur.

*Le cours de physique de Feynman, électromagnétisme 2*, chapitre 36 : Ferromagnétisme et 37 Milieux magnétiques.

## Pré-requis

Niveau L2

Champs magnétique et électrique, équations de Maxwell et leurs formes intégrées : théorème d'Ampère et Loi de Faraday, dipôle magnétique.

## Introduction

Certains matériaux peuvent s'aimanter comme une vis en fer et d'autres matériaux comme une pièce d'aluminium ne peuvent pas.

Expérience d'introduction : aimantation d'une vis en fer à l'aide d'un aimant. Visualisation de l'aimantation à l'aide d'une boussole : l'aiguille suit la vis.

# 1 Caractérisation d'un corps ferromagnétique

## 1.1 Définition de l'aimantation

définition de l'aimantation,  $M$ , et de la densité de courant magnétique ; exemples de matériaux ferromagnétiques et ordre de grandeur d'aimantation.

## 1.2 Retour sur les équations de Maxwell

introduction du champ d'excitation magnétique,  $H$ . Intérêt de  $H$ . Nouveau théorème d'Am-père.

## 1.3 Susceptibilité et perméabilité magnétique

définition de la susceptibilité et de la perméabilité magnétique. Ordre de grandeurs pour des milieux linéaires à comparer avec les ferromagnétiques qui ne sont pas linéaire.

# 2 Propriétés des corps ferromagnétiques

## 2.1 Courbe de première aimantation

courbe de première aimantation : aimantation à saturation, ordre de grandeur.

## 2.2 Cycle d'hystérésis

Cycle d'hystérésis : application d'un champs d'excitation magnétique alternatif. Champs coercitif, aimantation rémanente. Parler des deux cycles  $M$  en fonction de  $H$  et  $B$  en fonction de  $H$ . Ordres de grandeurs pour cycle étroit : ferromagnétiques doux, et cycle large : ferromagnétiques durs. Domaines de Weiss.

Expérience : cycle d'hystérésis d'un tore de ferromagnétique.

## 2.3 Pertes par hystérésis

Calcul sur un tore : pertes proportionnelles à l'aire du cycle, à la fréquence et au volume. Intérêt des ferromagnétiques doux dans un transformateur.

## 2.4 Désaimantation

2 méthodes : Cycles d'hystérésis de plus en plus petits ou température de Curie : transition de phase ferro/parra pour  $T > T_c$ .

Expérience : fer chauffé perd son aimantation.

# 3 Applications

## 3.1 La boussole

introduction de l'énergie potentielle :

$$E = - \vec{m} \cdot \vec{B} \quad (1)$$

Minimisation énergie implique aiguille s'oriente dans le même sens que  $\vec{B}$ .

### 3.2 Le moteur

introduction du couple moteur :

$$\vec{\Gamma} = \vec{m} \wedge \vec{B} \quad (2)$$

Intérêt d'une grande aimantation  $\vec{M}$ .

### 3.3 L'auto-induction

Inductance augmentée par un noyau de fer doux. Calcul mené pour montrer que l'inductance est proportionnelle à la perméabilité magnétique du ferromagnétique introduit dans la bobine.

### 3.4 Le disque dur

## Questions

Est-ce que tu peux faire un historique sur le magnétisme ?

Est-ce que tu sais comment on met en évidence les domaines de Weiss ?

Connais-tu d'autres analogues à la transition ferromagnétique/paramagnétique ?

Que sais-tu sur les supraconducteurs ? Que se passe-t-il dans les supraconducteurs, qu'est-ce que l'effet Meissner ?

Tu as donné un ordre de grandeur pour l'aimantation à saturation du fer, est-ce que tu pourrais le retrouver microscopiquement ?

Pourquoi utilise-t-on du fer feuilleté dans un transformateur ?

Peux-tu me parler de l'origine microscopique du ferromagnétisme ? (modèle d'Ising) Quel est le signe de l'intégrale d'échange pour les ferromagnétiques ? Y a-t-il d'autres types de matériaux ?

## Commentaires

Attention à ne pas mélanger un élément fini et un élément infinitésimal dans la définition de l'aimantation.

Pour la définition des courants magnétiques, il faut lire en détail le BFR tome 4 d'électromagnétisme ancienne édition, et lire aussi le chapitre sur l'aimantation. Connaître le lien entre aimantation et courant surfaciques comme expliqué dans le BFR.

Insister sur le fait que la susceptibilité magnétique dépend de H pour les ferromagnétiques, les ferromagnétiques sont des matériaux non-linéaires.

Intérêt du champ H : c'est un être purement mathématique, il n'a pas de signification physique. On peut imposer H avec des courants libres mais c'est vrai que pour certaine géométrie car  $\text{div}(\vec{M}) + \text{div}(\vec{H}) = 0$ , donc a priori le champ d'excitation magnétique n'est pas à flux

conservatif. Le cas du tore est particulier dans cette géométrie la divergence de  $H$  est nulle.

Expliquer comment on obtient le cycle d'hystérésis avec l'expérience, et en faisant grandir le cycle on peut relever la courbe de première aimantation en relevant le point  $(H_{\max}, B_{\max})$  sur des cycles de plus en plus grands.

Ne pas hésiter à détailler les domaines de Weiss, expliquer les différents types de mouvement de paroi réversible et irréversible, utiliser un transparent.

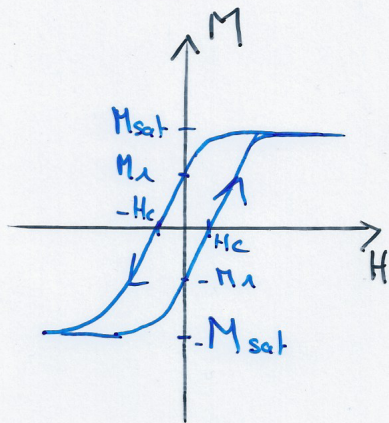
Pour visualiser les domaines de Weiss avec l'effet Faraday, il faut mettre des particules de ferromagnétique sur le ferromagnétique pour pouvoir voir les domaines. Une méthode plus moderne serait d'utiliser un dispositif d'imagerie par effet Kerr (voir par exemple [www.bibsciences.org/bibsup/j3ea/full/print.php?vol=vol3art=6img=cont=node2sect2](http://www.bibsciences.org/bibsup/j3ea/full/print.php?vol=vol3art=6img=cont=node2sect2))

Attention à ne pas confondre la loi de Curie qui donne la susceptibilité d'un corps paramagnétique quand sa température est supérieure à sa température de Curie, avec la courbe de l'aimantation spontanée d'un ferromagnétique en fonction de la température qui est en  $\sqrt{T_c - T}$ .

Sur l'expérience de la température de Curie il serait plus convaincant de montrer que le matériau qui s'est détaché est bien désaimanté avec une boussole par exemple.

Pour les applications faire la boussole puis le moteur ça fait un peu catalogue, n'en faire qu'un des deux.

Cycle étroit  
Ferromagnétique  
doux

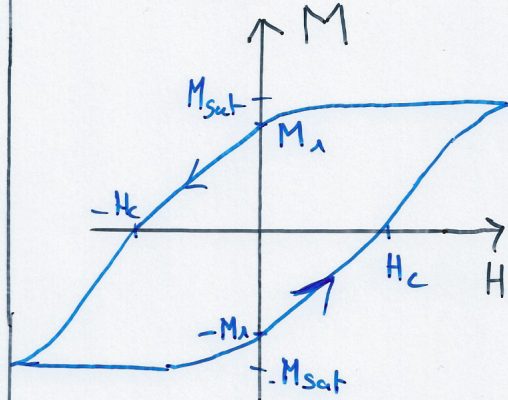


OdG: Fe, 4% Si:  $\mu_0 M_{sat} = 1,97T$

$$\mu_0 H_c \sim 3 \cdot 10^{-5} T$$

$$\mu_r \sim 10^4$$

Cycle large  
Ferromagnétique  
dur

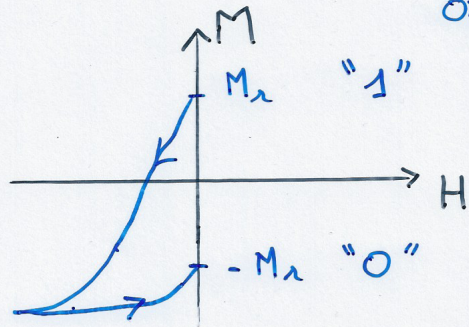
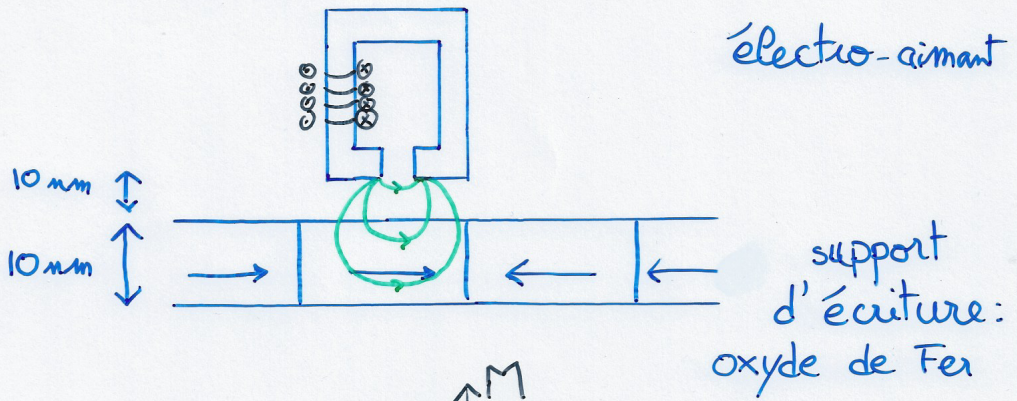


OdG: Alnico:  $B_r = 1,25T$

$$\mu_0 H_c \sim 6 \cdot 10^{-2} T$$

# 4) Le disque dur

## • Écriture



## • Lecture

