

# M16: milieux magnétiques

Louis D'ERAMO

19 Mai 2015

Montage corrigé par le seul et unique JBD, maître de la prépagreg. Je vais mettre mon plan, les références biblio en bleu, les expériences en rouge et les questions dont je me souviens en vert.

## Bibliographie :

- *Électromagnétisme* Pérez, utile pour les quelques valeurs tabulées et la partie sur le transformateur,
- *Dictionnaire de physique expérimentale : électricité* Quaranta, expérience du tube de quincke, des barreaux. Valeur tabulée pour  $\chi_m$ ,
- *Milieux magnétique* Garing, exercice sur le tube de Quincke pour savoir d'où ça vient,
- *Électromagnétisme 2* BFR, pour quelques valeurs tabulées de Hc et Br, des discussions sur les milieux ferro,

## Introduction

$\vec{M} = [\chi_m] \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ , il existe un lien entre la réponse d'un milieu à un champ magnétique et le champ appliqué. À priori ce coefficient est matriciel mais dans la suite du montage nous allons faire l'approximation  $[\chi_m] = \chi_m [I]$  où  $[I]$  est la matrice identité. Il faut distinguer également les origines microscopiques (qui ne nous intéressent pas ici) de l'effet macroscopique.

Nous allons maintenant étudier deux cas, soit le coefficient est indépendant du champ B (réponse linéaire), soit le coefficient ne l'est pas (milieu non linéaire).

## 1 Milieux linéaires

### 1.1 Aspect qualitatif

#### Quaranta

**Expérience :** les petits barreaux de verre et d'aluminium entre deux petits aimants ajustables.

Un effet du vecteur aimantation est la création d'une force volumique  $\vec{f}_v = \frac{\chi_m}{2\mu_0} \text{grad}(B^2)$ , ainsi en fonction du signe de  $\chi_m$  on va avoir des comportements radicalement différents.

- si  $\chi_m > 0$  alors on obtient un milieu paramagnétique (odg  $\chi_m \sim 10^{-3}$  exemple aluminium ou O<sub>2</sub>).
- si  $\chi_m < 0$  alors on obtient un milieu diamagnétique (odg  $\chi_m \sim 10^{-5}$  exemple verre ou N<sub>2</sub>).

ques : je n'ai pas fait l'expérience avec O<sub>2</sub> qui demande un peu de matériel et d'entraînement mais l'effet est plutôt visuel sympa et remet en cause la formule de Lewis. Pour le barreau de verre soyez patient, l'effet est plutôt faible et le couple de torsion du fil est non négligeable du coup. Ces manip sont un peu incontournables.

Pourquoi est-il plus compliqué d'observer l'effet avec le barreau de verre ? (indice : comparez les  $\chi_m$ )

### 1.2 Aspect quantitatif

#### Quaranta + Garing

On va se servir de la force magnétique précédente pour modifier l'équilibre hydrostatique d'un fluide para

**Expérience :** Le tube de Quincke avec FeCl<sub>3</sub> par défaut car Christian n'aime pas (ça salit le tube, quel rôle) mais les chimistes n'avaient plus de MnCl<sub>2</sub>

On explique l'équilibre du fluide, on fait le bilan entre deux particule de fluide à l'air libre (Bernoulli modifié). Bien préciser les conditions expérimentales et les précautions prises. Pour mémoire voici un extrait de cr d'oral (2011) : *On m'a aussi demandé pourquoi j'ai choisi un entrefers plat (pour le tube de Quincke), et pas un en cône. On m'a alors fait remarquer que, pour utiliser la formule, l'important est le gradient de champ B, et qu'il vaut donc mieux utiliser les entrefers de type « cône » (contrairement à ce qu'avait dit le correcteur lors de la présentation de cette leçon, où il avait dit qu'il vaut mieux un entrefers plat pour avoir un champ uniforme).* Après diverses discussions nous en avons conclu que le seul intérêt des pièces coniques est d'avoir un champ

plus important, mais induit une incertitude sur la mesure de B plus grande. De toutes façons avec le matériel de Cachan nous avons peu de pièces vraiment conique donc bon... De plus on ne retombe pas vraiment sur la valeur de susceptibilité tabulée, et la variation avec la concentration donnée dans le Quaranta n'est pas justifiée ( $\frac{\chi}{\rho} = cte$ ). Si votre point ne retombe pas trop sur la courbe, en prendre deux pour montrer un éventuel décalage de la hauteur.

Pas vraiment de questions car on a plus réfléchi sur le procédé, voir les cr des années précédentes pour ça (sûrement d'où vient la formule).

## 2 Les milieux non linéaires

On va maintenant parler des ferros qui sont très présents dans notre quotidiens

### 2.1 caractéristique

BFR + Pérez

**Expérience** : Le transformateur, visualisation du cycle d'hysteresis.

Il faut expliquer la grandeur H (je l'ai fait salement mais pas de questions dessus, JBD est trop gentil) et comment l'obtenir (détailler le circuit). Je pense qu'il ne faille pas détailler l'intégration ça viendra dans les questions.

Mon but est de mesurer Br et Hc du milieu magnétique présent dans le transfo pour montrer qu'on à affaire à un ferro doux.

Pour le montage on mesure i au primaire via une pince de courant et la tension intégrée en sortie de secondaire. Bien prendre des fils de sécurité et faire attention aux courants limites pour le transfo.

Comparez les valeurs obtenues à celles du BFR et faire un blabla des possibles applications des matériaux ferro.

Hc et Br dépendent des certains facteurs ou sont ils caractéristiques du milieu ? Quelle modélisation pour les circuits électriques ? Comment varie Hc et Br avec le milieu ? A quoi sont dues les pertes magnétiques dans le milieu ?...

Bon alors pour ceux qui n'ont pas compris, Hc et Br dépendent de facteur géométriques du conducteur, ici on fait on mesure les champs moyens. De plus j'ai pris une formule avec des spires circulaires, alors que le transfo est plutôt à section rectangulaire (important de ne pas recopier bêtement les formules du Pérez). Après on a discuté de la relation entre la conductivité du milieu et des pertes.

### 2.2 Transition ferro-parra

Pérez

**Expérience** : Le clou de curie

On mesure la température quand le clou chute, on montre la courbe de  $\chi_m$  en fonction de T. Cela permet de boucler la boucle sur la propriétés du début.

Pourquoi le clou chute-t-il ?

En fait il s'agit d'une compétition entre la force magnétique et le poids. Le but est donc de mettre le clou le plus vertical possible (éventuellement la tige exerce un couple sur le clou) pour avoir une chute lorsque  $\chi_m$  est le plus faible possible donc quand la température est la plus proche de celle de Curie

## Les manips en plus

- l'effet Meisner permet d'avoir un dia parfait, mais attention aux questions sur les supras
- construire un fluxmètre pour mesurer le champ magnétique d'un aimant, voir bup 651
- visualisation des domaines de Weiss, mesure de la largeur. JBD est un fan de cette manip apparemment. Il faut bien expliquer comment on peut avoir le contraste maximum... Apparemment il nous propose également de visualiser le cycle d'hystérésis en mesurant le champ B appliqué par un électroaimant et le flux d'un laser passant à travers un échantillon (<http://www.physique.ens-cachan.fr/laboratoire/experiences/fichiers/hystfaraday.pdf>)