

LP 46 : Propriétés macroscopiques des milieux ferromagnétiques

Présentée le 30/03/2017 par Lucas Torterotot

Correcteurs : Grimaud Pillet (grimaud.pillet@ens-lyon.fr)
Samuel Paillat (samuel.paillat@ens-lyon.fr)

Rapport du jury

2009, 2010 : L'intérêt du champ $\sim H$ doit être clairement dégagé. **L'obtention expérimentale du cycle d'hystérésis doit être analysée.**

2005 : Les dispositifs expérimentaux utilisés au cours de cette leçon doivent être parfaitement maîtrisés. **Il existe bien d'autres applications que le transformateur idéal.**

2001 : **Il faut consacrer du temps aux applications** (stockage des données, transformateurs, électroaimants, . . .) en justifiant l'adéquation du type de matériau ferromagnétique à la fonction visée.

1999 : Les intensités, les forces électromotrices et les flux doivent être donnés de manière algébrique. Les diverses sources de pertes doivent être mentionnées. Il est souhaitable de distinguer plus nettement les domaines d'application des ferro doux et des ferro durs (par exemple pourquoi une tête de lecture est-elle en ferro doux alors que le support d'enregistrement est en ferro dur ?).

Remarques générales

Le plan de la leçon était tout à fait classique avec les applications du transformateur et du disque dur. Nous avons été surpris que les courbes de première aimantation et d'hystérésis n'aient pas été illustrées expérimentalement. Cela était d'autant plus dommage que la leçon n'a duré que 35 minutes même avec le rajout du paléomagnétisme comme troisième application et que le dernier quart d'heure n'a constitué qu'un résumé de ces 35 premières minutes. Il nous paraît ici nécessaire de présenter le cycle d'hystérésis expérimentalement et s'il reste du temps, de passer plus de temps sur les applications comme demandé dans les rapports du jury.

Commentaires plus détaillés

La première partie présentait les équations de Maxwell dans le cadre d'un milieu magnétique. Il faut bien expliciter les hypothèses qui sont faites. Attention lors du décompte des équations, il y a six équations de Maxwell indépendantes pour 9 inconnues dans notre cas (**E**, **H** et **B**). L'équation entre l'aimantation et l'excitation magnétique permet d'ajouter les trois équations manquantes pour résoudre le problème. On peut aussi présenter la différence entre les matériaux ferromagnétiques et les matériaux dia- et paramagnétiques en expliquant que dans ce second cas les champs créés par la matière sont faibles et n'impliquent de rétroaction (on peut alors prendre une relation linéaire entre l'aimantation et le champ extérieur) alors que pour les ferromagnétiques on est obligé de prendre en compte le champ induit dans la matière. La notion de réponse de la matière à une excitation aurait pu mieux être explicitée en considérant un diagramme de type système bouclé : Le champ agit sur la matière qui en réponse crée un champ qui s'ajoute ou se retranche au champ initial, ce qui

modifie la réponse de la matière, etc (voir BFR EM4).

C'est dans cette deuxième partie qu'il faut illustrer expérimentalement la courbe de première aimantation et le cycle d'hystérésis. Pour la leçon de Physique, des techniciens sont là pour monter les expériences. Vous devez bien sûr leur expliquer clairement ce que vous voulez. Si la manip ne marche pas et que c'est n'est pas une erreur dans le protocole que vous avez donné, vous ne serez à priori pas tenu pour responsable. Vous pouvez toujours présenter la manip et le jury vous posera sans doute des questions sur les différents éléments du montage. Par contre si vous ne la présenter pas du tout, cela sera pris comme un choix pédagogique, donc entièrement de votre responsabilité. Au vu des rapports de Jury sur cette leçon, nous vous conseillons de présenter expérimentalement le tracé de la relation entre B et H quoi qu'il arrive.

Par contre, les domaines de Weiss ont été bien présentés ainsi que l'effet des champs magnétiques sur les parois.

La troisième partie comportaient deux applications très classiques, le transformateur avec les pertes fer et cuivre et le disque dur, qui ont été présentées assez succinctement. La présentation du paléomagnétisme n'avait pas été préparé et n'a pas permis de combler le temps restant. On peut ici passer plus de temps sur les applications et aller plus dans les détails, notamment sur le transformateur.

On peut aussi penser à l'utilisation fréquente d'aimants permanents dans de nombreuses applications (moteurs ...), à la magnétorésistance ou aux plaques à induction.

Questions du jury

Est-ce que tu peux revenir sur l'expérience de l'aimant brisé et explicité en quoi cela implique que l'aimantation est une propriété volumique ?

Peux-tu préciser d'où vient l'aimantation dans la matière ? A quoi correspond le terme $j_{lié}$?

Peux-tu revenir sur les hypothèses qui te permettent d'écrire les relations de Maxwell ? Il manque des équations dans le décompte car les trois équations du rotationnel ne sont pas indépendantes.

Peux-tu donner des ordres de grandeurs des susceptibilité magnétiques des corps dia- et paramagnétiques ? Quelle est l'origine microscopique de ces comportements ?

Est-ce qu'il faut forcément un réseau cristallin pour permettre le ferromagnétisme ?

Une fois que le matériau est aimanté, comment peut-on le désaimanter ?

Comment expliquer le phénomènes d'hystérésis ?

Est-ce que tu peux tracer le cycle d'hystérésis pour B en fonction de H au lieu de M en fonction de H ?

Quelle sont les interactions qui expliquent la formation des domaines de Weiss ?

Est-ce qu'il y a d'autres pertes que les pertes fer et les pertes cuivre ?

Pourquoi l'aimantation des roches ne changent pas lors d'une inversion du champ magnétique terrestre ?

Une question a été posée sur la dépendance du champ coercitif avec la température. De manière générale, le champ coercitif diminue avec la température (à un taux d'environ

0.3%/°C) de même que l'aimantation à saturation (à un taux d'environ 0.03%/°C). Il existe néanmoins des cas pathologiques où le champ coercitif augmente avec la température (j'ai trouvé l'exemple d'un alliage à partir du samarium $\text{Sm}(\text{CoCuFeZr})$ mais il faut une concentration précise en cuivre pour observer le phénomène).

Conclusion

Cette leçon doit pouvoir être beaucoup améliorée. Le jury indique bien que l'obtention expérimentale de la courbe d'hystérésis doit être explicitée. Si l'expérience n'est pas concluante, il faut alors prévoir des applications originales et exploitées pour finir la leçon sur une bonne note. Les réponses aux questions doivent aussi être mieux maîtrisées, notamment sur l'origine des différents types de magnétisme et sur l'explication mésoscopique du ferromagnétisme (existence d'interactions d'échange au niveau des spins).