

CCP Physique 2 PC 2000 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Franck Stauffer (ENS Lyon) ; il a été relu par Yannick Alméras (ENS Ulm) et Péter Horvai (ENS Ulm).

L'épreuve se compose de deux problèmes indépendants.

Dans le premier problème, on se propose de faire l'étude d'une solution ferrofluide placée dans l'entrefer d'un électroaimant qui constitue un séparateur magnétique. Si les questions préliminaires relèvent du cours, le problème va bien plus loin, et toutes les connaissances sur le magnétisme dans la matière y sont largement exploitées. On met notamment en évidence l'analogie entre la poussée d'Archimède et la force exercée par un ferrofluide sur un corps de perméabilité μ_0 .

Le second problème traite, quant à lui, de la propagation des ondes électromagnétiques dans une ligne de transmission. Bien qu'un peu plus calculatoire que le précédent, il se révèle intéressant et fait partie des « classiques » qu'il faut savoir traiter. On y détaille notamment les problèmes liés à la propagation dans ces lignes, dans différentes situations et pour différentes conditions aux limites.

Indications**Problème I**

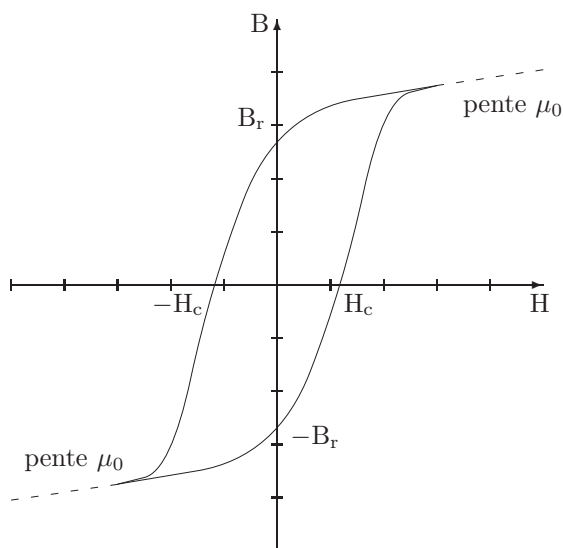
- I.2.1 Utiliser les propriétés magnétiques du fer.
- I.2.2 Penser à évaluer la circulation sur une ligne de champ.
- I.2.4 Il faut utiliser les résultats de la question I.2.3.
 - I.3 En considérant l'action du champ sur les particules du fluide, établir l'existence d'un gradient de pression.
- I.4.1 Ne pas oublier que l'on fait l'hypothèse que le champ magnétique et le moment magnétique sont alignés.
- I.4.3 Faire une simple analogie avec la question I.4.1.
- I.5.1 Penser à utiliser la formule de Green-Ostrogradsky.
- I.5.3 Faire un bilan d'énergie pour le système {corps + fluide}, afin d'évaluer l'énergie à fournir pour faire passer le corps de z à $z + dz$.
- I.6.1 Faire le bilan de toutes les forces qui s'exercent sur le corps.
- I.6.5 Adapter le résultat de la question I.6.1.

Problème II

- II.1 Pour cette question, se limiter au premier ordre en dx .
- II.3.1 Exprimer l'opérateur de dérivée temporelle en notation complexe.
- II.6 Déterminer la condition imposée par la présence de \underline{Z} .
- II.7.1 Adapter le raisonnement de la question II.6.
- II.7.2 Penser à une analogie optique.

Problème I Séparateur magnétique à ferrofluides**I.1 Questions préliminaires**

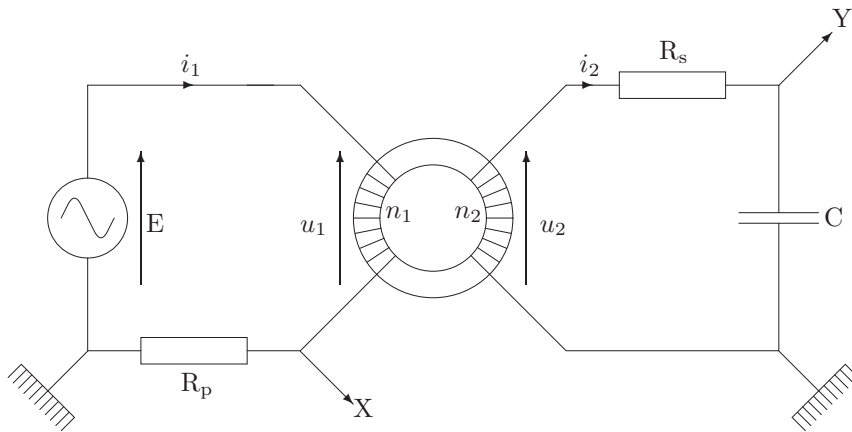
I.1.1 On appelle *cycle d'hystérésis* d'un milieu ferromagnétique, la courbe représentant la variation du champ magnétique total B en fonction de l'excitation magnétique H du matériau. Voici la courbe que l'on obtient :



- L' **induction rémanente** B_r est définie comme la valeur de B pour une excitation magnétique H nulle.
- Le **champ coercitif** H_c est défini comme la valeur de H pour un champ magnétique B nul.

La modélisation physique des systèmes ferromagnétiques peut être réalisée de diverses manières. Il y a notamment le modèle (approché) du champ moléculaire de Weiss, qui a l'avantage d'être simple à résoudre et de donner des résultats satisfaisants; des considérations de mécanique quantique permettent de justifier cette approche. On peut aussi citer le modèle d'Ising, qui compte parmi les modèles les plus utilisés. Moins approximatif que le précédent, il est aussi plus difficile à résoudre et n'a d'ailleurs aucune solution exacte pour les systèmes tridimensionnels. Actuellement il n'existe pas de modèle **exact** du ferromagnétisme.

I.1.2 Voici le schéma d'un dispositif permettant d'obtenir le cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique (représenté par un tore).



Le générateur délivre une tension sinusoïdale d'amplitude 24 V à une fréquence de 50 Hz. En pratique, les ordres de grandeur des composants sont les suivants :

$$n_1 = \frac{n_2}{2} \simeq 500 \text{ spires}$$

$$R_p \simeq \text{quelques } \Omega$$

$$R_s \simeq 10 \text{ k}\Omega$$

$$C \simeq 10 \text{ } \mu\text{F}$$

On peut montrer que, dans ces conditions, $U_X \propto H$ et $U_Y \propto -B$. En effet, si l'on note l la longueur moyenne du circuit magnétique, le théorème d'Ampère donne

$$Hl = n_1 i_1 + n_2 i_2$$

Le choix des composants impose par ailleurs $|n_2 i_2| \ll |n_1 i_1|$, donc

$$H = \frac{n_1 U_X}{R_p l}$$

Par ailleurs, S désignant la section moyenne du milieu ferromagnétique, et Φ_B le flux du champ magnétique à travers cette surface,

$$\begin{aligned} U_Y &= \frac{1}{R_s C} \int u_2 dt \\ &= -\frac{1}{R_s C} \int \frac{d\Phi_B}{dt} \\ U_Y &= -\frac{1}{R_s C} \int n_2 S \frac{dB}{dt} dt \end{aligned}$$

donc

$$B = -\frac{R_s C}{n_2 S} U_Y$$