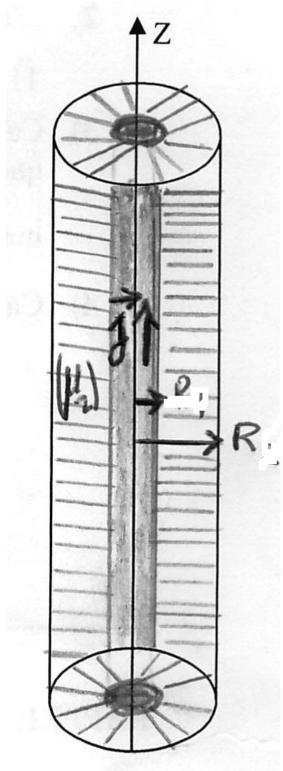
UNIVERSITE MOULAY ISMAIL | **Année Universitaire 2023/ 2024**
FACULTE DES SCIENCES | **SMP-S4**
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE | **Module : Electricité 3**

Série N° 2 : Milieux aimantés

Exercice 1 : (Partie de l'examen de la session ordinaire, juin 2011)

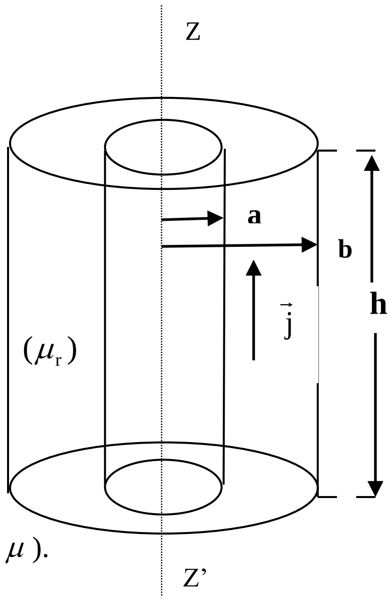


Un matériau magnétique parfait, de perméabilité magnétique relative μ_r, est limité par deux surfaces cylindriques, de rayon externe **R**, de rayon interne **a** et de hauteur ℓ. Un courant réel, distribué avec une densité volumique $\vec{j}$ uniforme, parcourt le cylindrique de rayon **a** parallèlement à l'axe $Z'Z$. L'aimantation du milieu est définie, en un point $M(r, \theta, z)$ de son volume, par $\vec{J}(M) = \frac{(\mu_r - 1)I}{2\pi r}.\vec{e}_\theta$ dans la base cylindrique $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$

1) Déterminer les vecteurs densités des courants fictifs d'aimantation.
2) **-** Calculer les intensités des courants fictifs volumique I_v et surfacique I_s en fonction de μ_r et **I.**
   - Vérifier que le courant fictif d'aimantation total est nul.
3) En appliquant le théorème d'Ampère, déterminer les champs $\vec{B}(M)$ et $\vec{H}(M)$ créés en tout point **M** de l'espace.

Exercice 2 : (Partie de l'examen de la session rattrapage, juillet 2013)

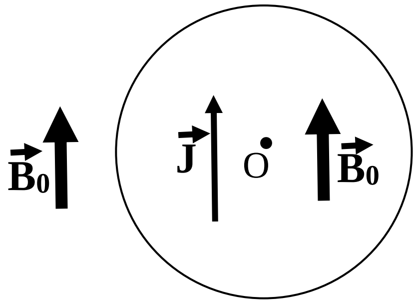
Un milieu magnétique parfait, de perméabilité magnétique relative μ_r, est limité par deux surfaces cylindriques (S_1) et (S_2) de même axe $Z'Z$, de hauteur h et de rayons respectifs **a** et **b**. Ce volume magnétique est parcouru par un courant électrique volumique réel de densité volumique $\vec{j} = j.\vec{e}_z$ uniforme.



1) Montrer que le champ magnétique s'écrit dans la base cylindrique $\vec{H}_{tot}(M) = H_\theta(r).\vec{e}_\theta$. (**r** est la distance du point **M** à l'axe $Z'Z$.
2) Exprimer la densité volumique du courant réel $\vec{j}$ en fonction de **a**, **b** et de l'intensité I du courant réel total.
3) **a-** En utilisant le théorème d'Ampère généralisé, déterminer l'excitation magnétique $\vec{H}$ en tout point M de l'espace.
   b- En déduire le champ d'induction magnétique correspondant.
4) Déterminer le vecteur aimantation $\vec{J}(M)$ de ce milieu aimanté.
5) **a-** Déterminer les distributions de courant fictif d'aimantation.
   b- Calculer les courants fictifs correspondants en fonction de (h, I, a, b, μ).

Exercice 3 :

Un matériau magnétique parfait (l,h,i) de forme sphérique de centre **O**, de rayon **R** et de perméabilité magnétique relative μ_r, ne contenant aucun courant réel, est soumis à un champ d'induction magnétique uniforme $\vec{B}_0 = B_0.\vec{e}_z$ parallèle à la direction **OZ.** Son aimantation induite est uniforme $\vec{J} = J.\vec{e}_z$.



1) Déterminer les densités des courants fictifs d'aimantation.

2)

a- Calculer le champ d'induction magnétique $\vec{B}_d^i$ en un point **M** à l'intérieur de la sphère aimantée où il est supposé uniforme) ainsi que l'excitation magnétique $\vec{H}_d^i$.

b- En déduire les champs $\vec{B}_{tot}^i$ et $\vec{H}_{tot}^i$ et $\vec{J}$ en fonction du champ appliqué $\vec{B}_0$.

3) Calculer le champ d'induction et l'excitation magnétiques à l'extérieur de la sphère en admettant que celle-ci est équivalente à un dipôle magnétique situé en son centre O et de moment magnétique $\vec{m} = \frac{4}{3}\pi R^3 \vec{J}$.

4) Calculer l'énergie magnétique W_m emmagasinée dans le volume magnétique.

Exercice 4 :

Un matériau ferromagnétique possède un cycle d'hystérésis d'équation :

$$B = (a + b\,H_m)\,H + b\,(H_m^2 - H^2) \qquad \text{pour une branche du cycle}$$

$$B = (a + b\,H_m)\,H - b\,(H_m^2 - H^2) \qquad \text{pour l'autre branche}$$

où a et b sont des constantes.

1) Représenter le cycle d'hystérésis.
2) Déterminer le champ rémanent B_r .
3) Déterminer l'excitation magnétique coercitive H_c .
4) Calculer la perméabilité magnétique instantanée $\mu = \frac{dB}{dH}$.
5) Déterminer l'énergie magnétique perdue au cours d'un cycle de ce matériau.

Rappel :

- En coordonnées cylindriques pour un champ de vecteurs $\vec{A}(A_r, A_\theta, A_z)$:

$$\overrightarrow{\text{rot}}\,\vec{A} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial A_z}{\partial \theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial z}\right).\vec{e}_r + \left(\frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r}\right).\vec{e}_\theta + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial (r.A_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta}\right).\vec{e}_z$$
