UNIVERSITE PAUL SABATIER **Mai 2008**

Licence 2ème année physique

ELECTROMAGNETISME

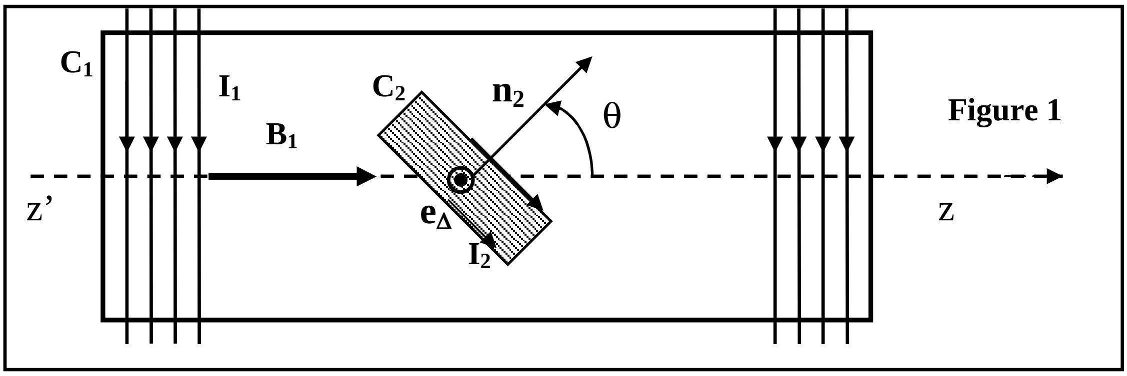
EXAMEN TERMINAL

Durée : 2 h

I. Cours (3 pts)

1. Donner les équations de Maxwell en un point où les densités volumiques de charge et de courant sont ρ et $\mathbf{J}$.
2. Ecrire les conditions satisfaites par E et B à la traversée d'une surface portant des densités superficielles de charge et de courant σ et $\mathbf{J}_S$.

II. Induction électromagnétique (8 pts)



On considère un solénoïde C_1 de longueur L_1 et d'axe z'z, comportant n_1 spires par unité de longueur, parcourues par un courant d'intensité constante I_1 (Figure 1). On suppose que la longueur L_1 du solénoïde C_1 est très grande devant le rayon R_1 des spires. On rappelle que le champ magnétique B_1 crée par un solénoïde dit « infini » a pour expression : $\mathbf{B}_1 = \mu_0\, n_1\, I_1\, \mathbf{e_z}$ à l'intérieur du solénoïde ($\rho < R_1$). On place à l'intérieur du solénoïde un bobine plate de surface S_2, constituée de N_2 spires circulaires de rayon $R_2 < R_1$ et parcourues par un courant d'intensité I_2 constante (Figure 1). Cette bobine, (de coefficient d'inductance propre L_1), est mobile autour d'un axe (Δ), de vecteur unitaire $\mathbf{e}_\Delta$ perpendiculaire à z'z . On désigne par θ l'angle que fait avec z'z la normale unitaire $\mathbf{n}_2$ au plan de la bobine plate et par $M(\theta)$ le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits.

1. Calculer le flux du champ magnétique $\mathbf{B}_1$ crée par le solénoïde à travers S_2.
2. En utilisant le théorème de Maxwell, déterminer le travail des forces de Laplace qui s'exercent sur la bobine plate. En déduire le moment Γ par rapport à l'axe (Δ) du couple des forces de Laplace.
3. Déterminer le moment magnétique $\mathcal{M}_2$ de la bobine plate et retrouver Γ.
4. La bobine plate constitue maintenant un circuit fermé et n'est reliée à aucune source de courant. Elle est maintenue immobile dans la position $\theta = 0$. Le solénoïde est maintenant parcouru par un courant sinusoïdal de basse fréquence, d'intensité $i_1(t) = I_0 \cos(\omega t)$. Calculer la force électromotrice induite e(t) dans la bobine plate à l'aide de la loi de Faraday.

II. Réflexion normale sur un conducteur plan parfait (9 pts)

Dans un référentiel orthonormé Oxyz, l'espace correspondant à $z > 0$ est occupé par un conducteur parfait. Dans l'espace vide correspondant à $z < 0$, une onde incidente, plane, progressive, monochromatique de pulsation ω et de vecteur d'onde $\mathbf{k}_i = k\,\mathbf{e}_z$ ($k > 0$) est caractérisée par son champ électrique complexe : $\underline{\mathbf{E}}_i = E_0 \exp i(kz - \omega t)\,\mathbf{e}_x$ où E_0 est réel. On admet que l'onde réfléchie est plane, progressive et monochromatique de pulsation ω et que le champ électrique complexe associé est : $\underline{\mathbf{E}}_r = \underline{\mathbf{E}}_{r,0} \exp i(-kz - \omega t)$ où $\underline{\mathbf{E}}_{r,0}$ est parallèle au plan $z = 0$.

1. Ecrire l'équation de continuité du champ électrique à la surface du conducteur. En déduire l'expression de $\underline{\mathbf{E}}_{r,0}$ dans la base ($\mathbf{e}_x$, $\mathbf{e}_y$, $\mathbf{e}_z$).

2. En déduire le champ électrique $\underline{\mathbf{E}}$ en un point M(x,y,z), résultant de la superposition des ondes incidente et réfléchie. Donner les composantes de $\mathbf{E}$.

3. Calculer $\underline{\mathbf{B}}$ associé à $\underline{\mathbf{E}}$ en un point M(x,y,z). Donner les composantes de $\mathbf{B}$.

4. Calculer le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne sur une période $< \mathbf{R} >_T$.

5. Représenter en $z = 0$ et à un instant donné les vecteurs $\mathbf{E}_i$, $\mathbf{E}_r$, $\mathbf{B}_i$, $\mathbf{B}_r$, et les vecteurs $\mathbf{k}$ des ondes incidente et réfléchie $\mathbf{k}_i$ et $\mathbf{k}_r$. Représenter à un instant donné les composantes de $\mathbf{E}$ et $\mathbf{B}$ en fonction de z dans l'intervalle $[-\lambda , 0]$ où λ est la longueur d'onde. Préciser dans chaque cas la position des noeuds et des ventres.

6. Calculer le courant $\mathbf{J}_S$ à la surface du conducteur.

7. Calculer la force $d\mathbf{f}$ à laquelle est soumise un élément dS de la surface du conducteur, parcouru par $\mathbf{J}_S$. On admettra que $d\mathbf{f} = \dfrac{\mathbf{J}_S\, dS \wedge \mathbf{B}(z=0)}{2}$. Quel est le signe de $d\mathbf{f}$? En déduire la pression moyenne $<P>_T$ à laquelle est soumise la surface du conducteur.