

**UNIVERSITE BORDEAUX I**

**LICENCE E.E.A.**

**Module ML3**

**Génie Electrique**

2<sup>ème</sup> session : Jeudi 9 Septembre 1999.

---

Durée : 3 heures.

Aucun document autorisé.

---

Cette épreuve comporte deux problèmes indépendants. Le premier problème traite d'une **machine asynchrone** triphasée. Le second est relatif aux **circuits magnétiques**. Il traite des forces magnétiques entre pièces polaires (électro-aimant) en alternatif. Un projet rudimentaire est proposé puis un projet amélioré avec spires de Frager est succinctement étudié. **Ces deux problèmes devront être rédigés sur copies séparées.**

Il est conseillé de répartir son temps de travail dans les proportions suivantes pour chaque partie.

**I** : 90 minutes

**II** : 90 minutes

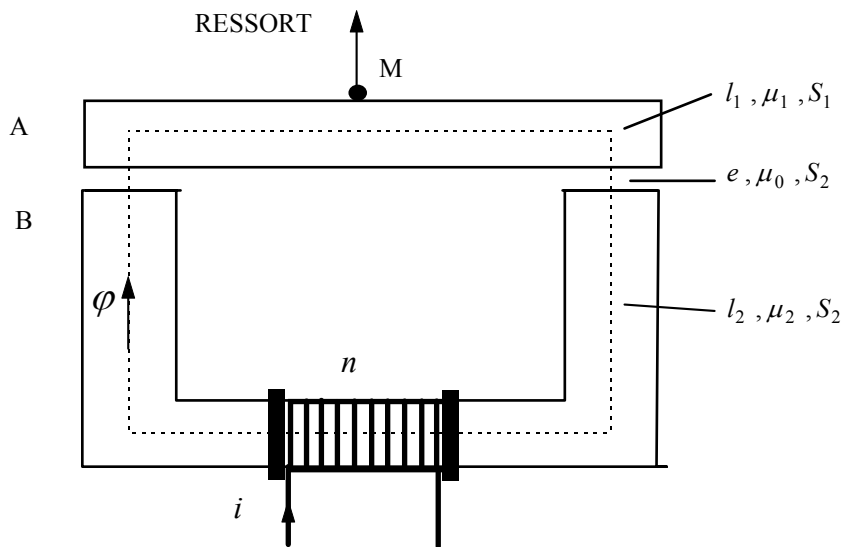
La présentation sera prise en compte dans la note de manière non négligeable.

---

## PROBLEME II : Circuits magnétiques

### A - Electro-aimant simplifié

Ce circuit est réalisé de la façon suivante:



On donne  $l_1 = 5\text{ cm}$ ,  $l_2 = 15\text{ cm}$ ,  $\mu_1 = 1000\text{ S.I.}$ ,  $\mu_2 = 722\text{ S.I.}$ ,  $S_1 = 1\text{ cm}^2$ ,  $S_2 = 1,5\text{ cm}^2$ ,  $n = 1876$  spires, résistance de l'enroulement  $R_1 = 20\Omega$ , perméabilité du vide  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ S.I.}$

L'entrefer est sans fuites et sa section est  $S_2$ .

**A.1** - Donner l'expression littérale de la réluctance du circuit magnétique avec entrefer.

**A.2** - L'armature (A) est collée ( $e = 0$ ). Calculer la valeur numérique de la réluctance du circuit.

**A.3** - Donner dans ces conditions l'expression  $\varphi(t)$  du flux dans le circuit magnétique sans entrefer sachant que  $i(t) = 0,312\sqrt{2} \sin \omega t$ . La fréquence est de 50 Hz.

**A.4** - Expliciter l'expression de la force magnétique de collage s'exerçant entre (A) et (B) sachant que pour un entrefer celle-ci s'exprime par  $F = \frac{\varphi^2}{2\mu_0 S_2}$ .

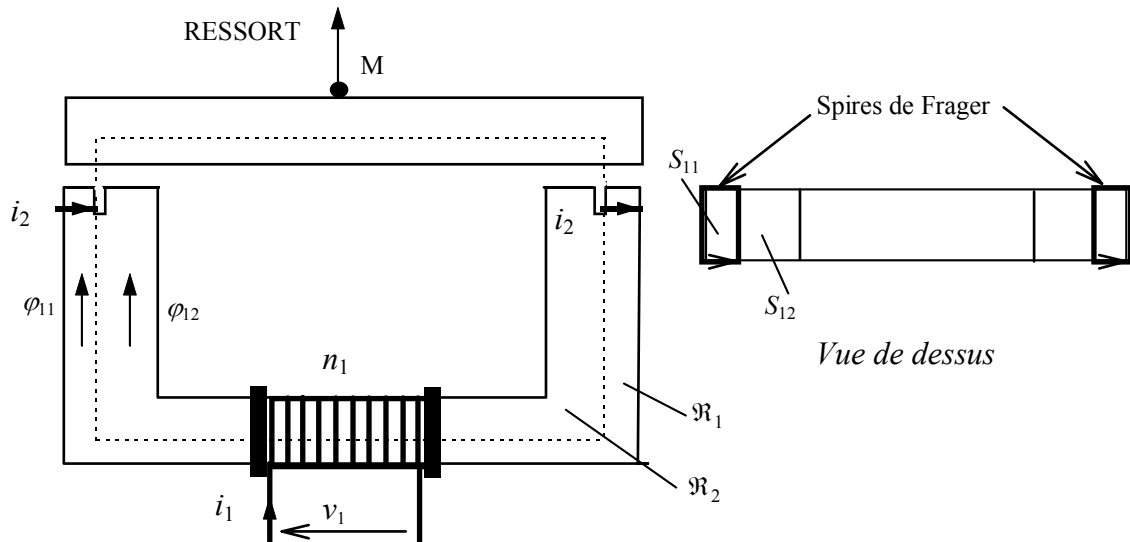
**A.5** - Tracer  $F(t)$  en notant les valeurs intéressantes. On prendra 4 cm pour 10 ms.

**A.6** - La pièce (B) est fixe et la pièce (A) est mobile, elle est reliée à un ressort en son milieu M. Celui-ci a pour effet d'éloigner (A) de (B). Montrer que ce système possède un inconvénient lorsque l'enroulement est alimenté sous une tension alternative.

**A.7** - Calculer la valeur de l'inductance  $L$  du circuit électrique pour  $e = 0$ .

## B - Electro-aimant amélioré: spires de Frager

Le circuit précédent est modifié comme suit:



On conserve le même montage qu'en (A) en insérant dans deux fentes pratiquées dans le circuit magnétique deux spires (dites de Frager) en cuivre. Elles constituent l'équivalent de deux secondaires en **court-circuit** d'un transformateur, le primaire étant constitué de l'enroulement précédent ( $n_1 = 1876$  spires). On suppose que dans la partie du circuit magnétique se trouvant au droit de chaque spire de Frager circule un flux noté  $\phi_{11}$ , dans le reste du circuit circule un flux noté  $\phi_{12}$ . Les réluctances de ces deux circuits en parallèle sont respectivement notées  $\mathfrak{R}_1, \mathfrak{R}_2$ . On admettra de plus que ces réluctances ne diffèrent que par les sections droites de leurs circuits. Pour la suite du problème on a pris  $S_{11} = S_{12}$ . La réluctance du circuit dans son ensemble (avec  $e = 0$ ) est  $\mathfrak{R} = 1,5 \cdot 10^6$  S.I.

**B.1** - Rappeler le schéma équivalent du transformateur ramené au secondaire dans le cas où on néglige le courant à vide  $i_{10}$ . (Modèle de Kapp). (On donne pour fixer les idées  $R_{e2} = 3 \cdot 10^{-4} \Omega$ ;  $L_{e2} = 10^{-6}$  H. Ces valeurs n'auront pas à être utilisées).

**B.2** - On suppose que la tension primaire  $v_1(t)$  est sinusoïdale. Ecrire dans ces conditions, en notation complexe, le lien qu'il y a entre  $\underline{V}_1$  et le flux  $\underline{\varphi} = \underline{\varphi}_{11} + \underline{\varphi}_{12}$ .

**B.3** - Que vaut le nombre de spires  $n_2$  pour ce transformateur? Ecrire l'équation de la maille secondaire dans le cas particulier présenté ici.

**B.4** - Ecrire la relation d'Hopkinson:

B.4.1 - pour la maille magnétique de réluctance  $\mathfrak{R}_1$

B.4.2 - pour la maille magnétique de réluctance  $\mathfrak{R}_2$ .

**B.5** - A partir des relations obtenues aux questions 2, 3, 4 donner les deux équations permettant d'exprimer  $\underline{\varphi}_{11}$  et  $\underline{\varphi}_{12}$  en fonction de  $\underline{V}_1$  et des données.

**B.6** - Calculer la valeur numérique commune des deux réluctances  $\mathfrak{R}_1$  et  $\mathfrak{R}_2$  (il est rappelé que  $S_{11} = S_{12}$ ).

**B.7** - A partir des résultats des deux questions précédentes on établit le rapport suivant:  $\frac{\underline{\varphi}_{12}}{\underline{\varphi}_{11}} = \frac{900 + j1570}{900 + j314}$ .

B.7.1 - Mettre  $\underline{\varphi}_{12}$  sous la forme  $\underline{\varphi}_{12} = \underline{A} \cdot \underline{\varphi}_{11}$  avec  $\underline{A} = A \exp(j\theta)$ .

B.7.2 - Calculer l'argument de  $\underline{\varphi}_{12}$  sachant qu'on prend  $\text{Arg} \underline{\varphi}_{11} = 0$ .

B.7.3 - Ecrire l'expression temporelle de  $\varphi_{12}(t)$  sachant que  $\varphi_{11}(t) = \Phi_{11M} \sin \omega t$  avec  $\Phi_{11M} = 147.10^{-6}$  Wb.

**B.8** - La partie (A) est collée à la partie (B). Donner l'expression littérale de la force magnétique  $F(t)$  de collage à partir de la relation donnée en **A.4**.

**B.9** - A partir des données numériques  $F(t)$  s'écrit:  $F(t) = 230(\sin^2 \omega t + 3,61 \sin^2(\omega t + 0,7143))$ . En exploitant l'identité  $\sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$  montrer que  $F(t)$  peut se mettre sous la forme  $F(t) = 530 - 446 \cos(2\omega t + 1,17)$  (valeurs arrondies).

**B.10** - Tracer  $F(t)$  et dire quel est le changement important par rapport au montage sans spires.



