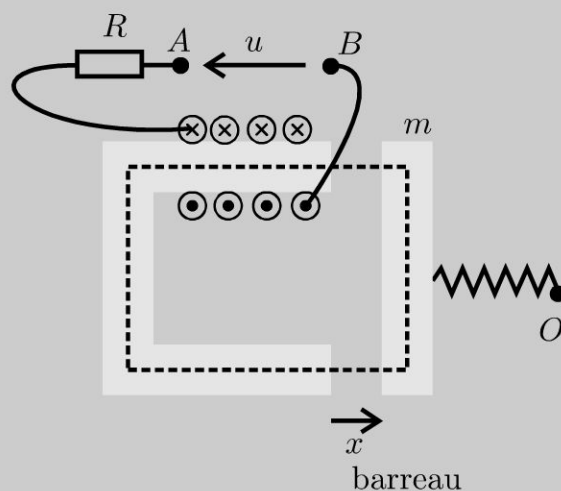


# Conversion électro-magnéto-mécanique

## Exercice 18.1 : Contacteur électromagnétique en translation

On considère un noyau de fer doux immobile, en forme de U, de perméabilité  $\mu_r \gg 1$ . On dispose d'un enroulement de  $N$  spires relié à un générateur de force électromotrice  $u$  par l'intermédiaire d'une résistance  $R$ . Un ressort est fixé à un barreau de fer doux de perméabilité relative  $\mu_r$  de masse  $m$  pouvant se déplacer sans frottement sur un axe horizontal. On définit  $S$  la section commune du noyau en U et du barreau. La forme des lignes de champ magnétique est représentée sur le schéma. On suppose le champ magnétique uniforme en tout point d'une section orthogonale aux lignes de champ.

On appelle  $\ell_1$  (respectivement  $\ell_2$ ) la longueur de la ligne de champ dans le noyau de fer doux (respectivement dans le barreau). On pose  $\ell = \ell_1 + \ell_2$ . On appelle  $x$  la distance entre le noyau de fer doux et le barreau. On suppose qu'il n'y a pas de flux de fuite.



1. Énoncer le théorème d'Ampère avec le vecteur excitation magnétique. Déterminer le champ magnétique le long de la ligne de champ. En déduire l'inductance propre en fonction de  $\mu_0$ ,  $\mu_r$ ,  $N$ ,  $S$  et  $x$ .
2. Déterminer l'énergie magnétique du système  $U_{em}$ .

3. On admet que la force électromagnétique que subit le barreau est  $F = \left( \frac{\partial U_{em}}{\partial x} \right)_i$ . Déterminer cette force. Est-elle attractive ou répulsive ? Pour quelle valeur de  $x$ , la norme de la force est-elle maximale ?
4. Expliquer le fonctionnement d'un contacteur électromagnétique. Quels sont les avantages et inconvénients ?

### Analyse du problème

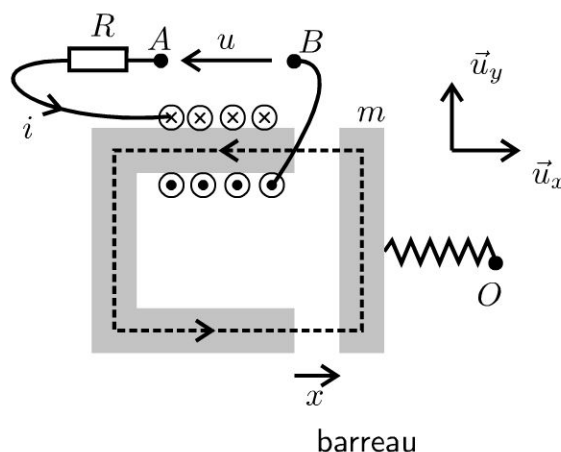
Le théorème d'Ampère permet de calculer le vecteur excitation magnétique. La force électromagnétique subie par le barreau se calcule à partir de l'énergie magnétique du système.



1. Le théorème d'Ampère avec le vecteur excitation magnétique s'écrit :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{enlacé}}$$

On oriente le contour d'Ampère et le champ magnétique dans le sens représenté sur le schéma. Dans le cas d'un matériau de grande perméabilité, il y a canalisation des lignes de champ. Celles-ci restent à l'intérieur du noyau magnétique et du barreau. Le champ magnétique étant à flux conservatif, le flux à travers les différentes sections du tube de champ se conserve. On suppose le champ magnétique uniforme en tout point d'une section orthogonale aux lignes de champ. Le flux à travers une section  $S$  est  $\phi = BS$ . Ce flux étant le même dans les différentes sections du tube de champ, on en déduit que  $\vec{B}$  est uniforme.



Le théorème d'Ampère s'écrit :

$$H_{\text{noyau}} \ell_1 + H_{\text{air}} x + H_{\text{barreau}} \ell_2 + H_{\text{air}} x = Ni$$

Le champ magnétique est uniforme, donc  $B_{\text{barreau}} = B_{\text{air}} = B_{\text{noyau}} = B$ ,

soit  $H_{\text{barreau}} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r}$  ;  $H_{\text{noyau}} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r}$  et  $H_{\text{air}} = \frac{B}{\mu_0}$ .

On en déduit que  $\frac{B}{\mu_0 \mu_r} \ell_1 + 2 \frac{B}{\mu_0} x + \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \ell_2 = Ni$ , soit :

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r Ni}{\ell + 2 \mu_r x}$$

Le flux du champ magnétique à travers une spire est  $\phi = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = BS$

(avec l'orientation du schéma).

Le flux du champ magnétique à travers les  $N$  spires est :

$$\Phi = N\phi = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 Si}{\ell + 2 \mu_r x}$$

L'inductance propre est définie par  $\Phi = Li$ , soit :

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{\ell + 2 \mu_r x}$$

2. L'énergie électromagnétique est :

$$U_{em} = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{\ell + 2 \mu_r x} i^2$$

3. La force électromagnétique subie par le barreau est :

$$F = \left( \frac{\partial \frac{1}{2} Li^2}{\partial x} \right)_i = \frac{1}{2} i^2 \frac{d}{dx} \left( \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{\ell + 2 \mu_r x} \right) = - \frac{\mu_0 \mu_r^2 N^2 Si^2}{(\ell + 2 \mu_r x)^2}$$

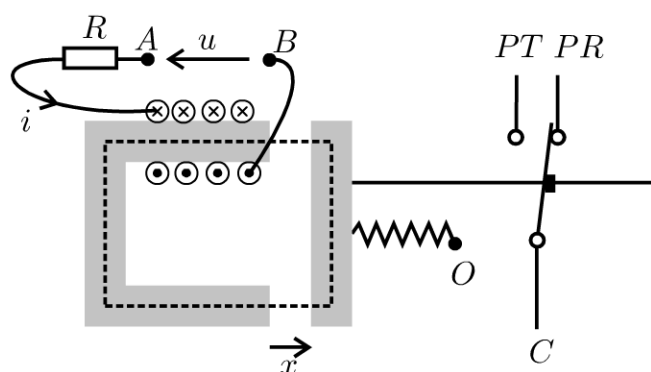
Cette force est toujours attractive. La norme de la force est maximale lorsque  $x = 0$ . Elle vaut :

$$|F_{\max}| = \frac{\mu_0 \mu_r^2 N^2 Si^2}{\ell}$$

4.

- Lorsque la bobine est parcourue par aucun courant, le contact mobile relie les points  $PR$  et  $C$  (voir figure ci-après).
- Lorsqu'on alimente la bobine par un courant  $i$ , le barreau subit une force électromagnétique qui le rapproche du noyau de fer doux. Le déplacement du barreau entraîne le contact mobile qui passe de la position repos ( $PR$ ) à la position travail ( $PT$ ).

Sur le schéma, le contacteur possède un seul contact mobile. Il peut y en avoir plusieurs. Il n'y a pas forcément de bornes de sortie du contact repos.



**Avantages :** Il n'y a aucun point commun, même pas la masse, entre la partie commande (l'alimentation de la bobine) et la partie puissance (les contacts du contacteur). Cela assure une sécurité pour l'électronique de commande et pour l'utilisateur. Une bobine alimentée sous quelques volts peut commuter plusieurs centaines de watts.

**Inconvénients :** Le circuit de commande doit supporter d'importantes surtensions quand on cesse d'alimenter la bobine. Si le courant dans la bobine est coupé brutalement, il se produit aux bornes de la bobine une très brève surtension. On met souvent une diode de roue libre en parallèle de la bobine du relais pour éviter ce phénomène de surtension.