Loi de Laplace – Exercices corrigés

Exercice 1

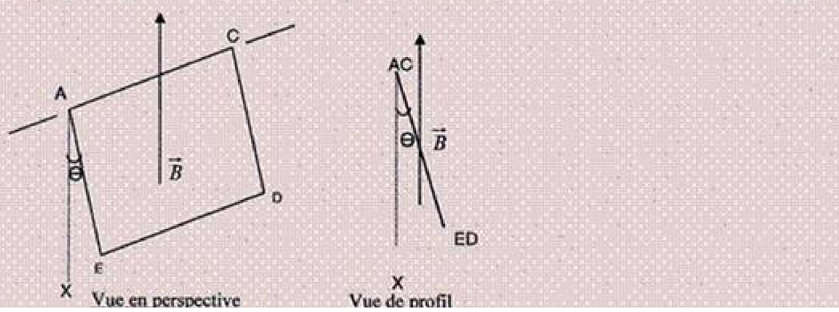
ELECTROMAGNETISME (4 pts)

Partie A

Un cadre carré ACDE de côté a = 20cm est constitué d'un seul tour de fil conducteur rigide, de masse totale m = 16g. Ce cadre, mobile sans frottement autour de son côté AC horizontal, est plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ vertical, dirigé vers le haut et d'intensité B = 0,1T. Un courant d'intensité I traverse le cadre qui prend alors une position d'équilibre définie par l'angle Θ représenté par la figure ci-dessous (l'axe Ax est vertical).

1- Représenter sur une figure le sens du courant et les forces électromagnétiques agissant sur les quatre côtés. (1,00 pt)

2- Exprimer I en fonction de a, B, m, Θ et g (g est la valeur du champ de pesanteur). Pour Θ = 21° et g = 9,8.N.kg^{-1}, calculer I. (1,00 pt)



Correction 1

1°) Représentation du sens du courant et des forces électromagnétiques

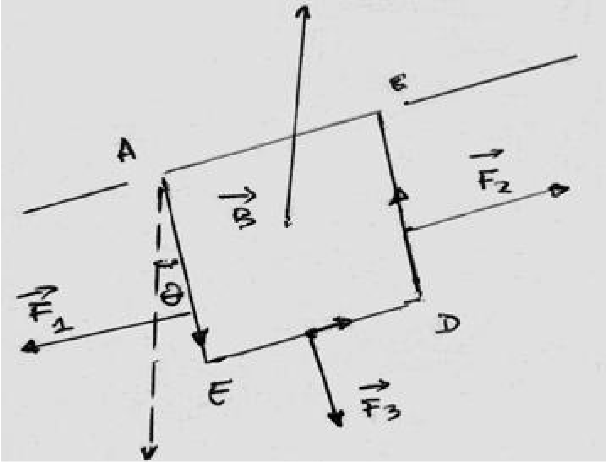
Le sens du courant et le sens des forces électromagnétiques agissant sur les cotés du carré résultent de l'application de la règle d'Ampère(*).

Faisons l'hypothèse que le courant circule de E vers D, la force de Laplace qui s'exerce alors sur le coté ED est alors :

$$\boxed{\vec{F}_3 = I.\overrightarrow{ED} \wedge \vec{B}}$$

La règle d'Ampère dit qu'elle est orientée vers l'extérieur et fait donc tourner le cadre dans le sens indiqué sur la figure. Les autres forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont également orientées vers l'extérieur mais n'ont pas d'effet sur la rotation. Finalement cette hypothèse est en accord avec le schéma proposé.

Représentation des forces $\vec{F}_1$; $\vec{F}_2$; $\vec{F}_3$:

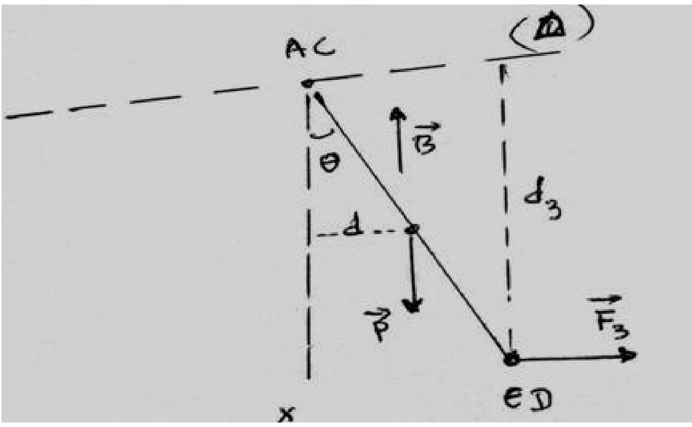


vue en perspective

(*) Un bonhomme allongé sur le conducteur (pieds en E et tête en D) et regardant dans le sens de $\vec{B}$, son bras gauche indique le sens de la force

2°) Expression de I en fonction de a, B, m, θ et g

Ecrivons la condition d'équilibre pour le solide mobile autour de l'axe Δ.



Vue de profil

La somme algébrique des moments μ de toutes les forces doit être nulle:

$$\boxed{\begin{array}{l} \sum \mu_{\vec{F}_{app}} = 0 \\ \mu_{\vec{F}_{1/\Delta}} + \mu_{\vec{F}_{2/\Delta}} + \mu_{\vec{F}_{3/\Delta}} + \mu_{\vec{P}/\Delta} = 0 \end{array}}$$

Or $\mu_{\vec{F}_{1/\Delta}} = \mu_{\vec{F}_{2/\Delta}} = 0$ Car les directions de ses forces sont parallèle à l'axe de rotation

La condition s'écrit finalement:

$$\left\|\vec{F}\right\| d_3 - \left\|\vec{P}\right\| d = 0$$

$$d_3 = a \cos\theta$$

$$\left\|\vec{F}\right\| = IBa$$

$$\left\|\vec{P}\right\| = m\left\|\vec{g}\right\|$$

$$d = \frac{a}{2}\sin\theta$$

$$IBa^2\cos\theta = m\left\|\vec{g}\right\|\frac{a}{2}\sin\theta$$

$$\tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{2IBa}{m\left\|\vec{g}\right\|}$$

$$\boxed{I = \frac{m\left\|\vec{g}\right\|\tan\theta}{2Ba}}$$

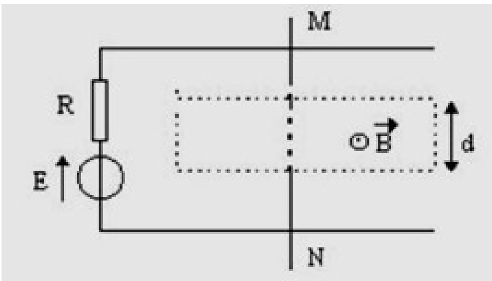
Calcul numérique de I:

$$I = \frac{1.6\ .\ 10^{-2} \times 9.8 \times 0.38}{2 \times 0.1 \times 2\ .10^{-1}}$$

$$\boxed{I = 1.48\ A}$$

Exercice 2

Considérons deux conducteurs parallèles formant un "rail de Laplace" sur lequel peut se déplacer une barre mobile conductrice MN selon le schéma ci-dessous (vue de dessus) . Le générateur a une f.é.m E = 5 V et une résistance interne R = 5 Ω , la barre MN de longueur totale L= 0,12 m a une résistance négligeable ; elle crée un court-circuit en refermant le circuit entre les deux rails. On place MN dans l'entrefer d'un aimant en U (de largeur d = 4 cm) où règne un champ magnétique uniforme de norme B = 0.1 T



1) Expliquez (et justifiez à l'aide de quelques mots et d'éventuellement un schéma) comment on doit placer l'aimant en U pour obtenir le champ magnétique tel qu'il est représenté sur la figure par le vecteur $\vec{\mathbf{B}}$, c'est à dire perpendiculaire au plan du schéma (ou des rails) et dirigé vers le haut.

2) Déterminez le sens et l'intensité du courant dans le circuit.

3) Déterminez en direction, sens et grandeur la force de Laplace agissant sur la barre MN. (aidez- vous d'un schéma représentant les vecteurs significatifs)

4) La barre MN se déplace (à vitesse considérée constante) dans le champ magnétique sur une longueur de 6 cm dans le sens impliqué par la force de Laplace.

4.1) Déterminer le flux coupé par la barre.

4.2) En déduire le travail exercé lors de ce déplacement de la barre MN.

5) Quelle est alors la force électromotrice induite dans le circuit si le parcours a lieu en 1 ms? Représentez cette force électromotrice e.

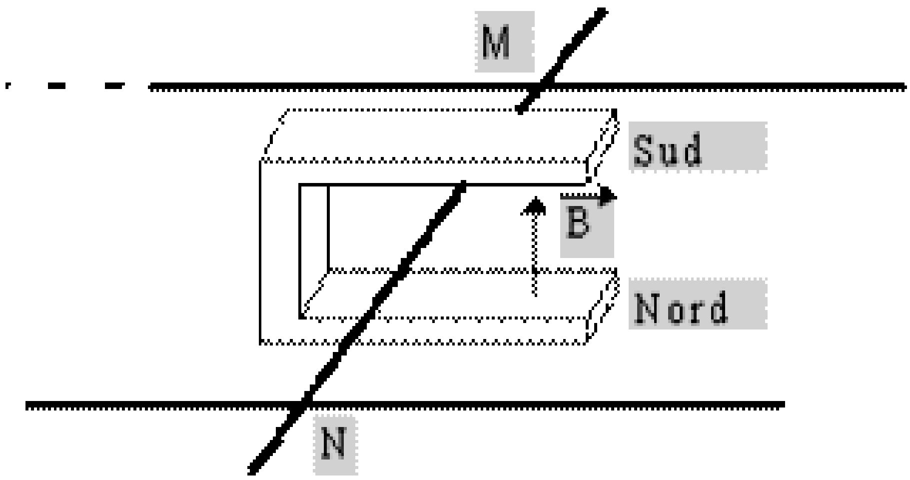
6) En conclusion, commentez le sens de la force électromotrice induite et les conséquences de son action dans le circuit.

Correction 2

Remarque: dans le texte,les flèches des vecteurs sont remplacés par des lettres en caractères gras

1- Position de l'aimant:

L'aimant doit être placé pôle Sud vers le haut

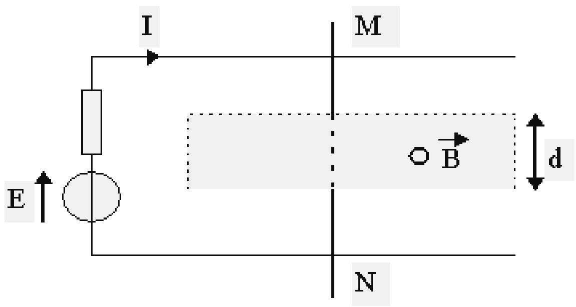


2- Le sens de I est donné par le sens de E (voir le schéma) de M vers N

La tension aux bornes du générateur est nulle (court-circuit)

U = E - r I = 0

soit: **I = E / r = 5 / 5 = 1 A**



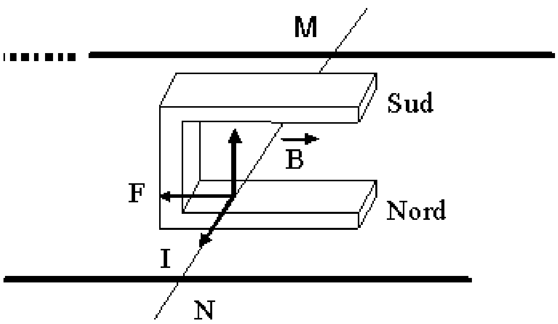
3- La longueur du conducteur soumis au champ magnétique correspond à la distance notée «d» dans l'énoncé et non pas à la longueur totale L de la barre

F = B.I.L.sinα s'écrit donc ici F = B.I.d.sinα avec sinα =1

(α étant l'angle entre la direction du conducteur et le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ et donc $\alpha = \pi/2$)

On a donc: **F = B I d = 0.1 x 1 x 4.10^{-2} = 4.10^{-3} N**

D'aprés la règle d'orientation régissant les sens de la force $\vec{F}$, de l'intensité I et du champ magnétique $\vec{B}$ (les sens de **I** , $\vec{B}$ et $\vec{F}$ forment un trièdre direct) , la force $\vec{F}$ est dirigée vers la gauche.



4- 4.1: Φ = **B . S** = B . S

avec S = d x longueur du déplacement

$$\mathbf{\Phi = B . S = 0{,}1 \times 4.10^{-2} \times 6.10^{-2} = 24.\ 10^{-5}\ Wb}$$

4.2: W = I . $\Delta\Phi$ = 1. 24. 10^{-5} = 24. 10^{-5} J ou encore , en faisant le produit de la force de Laplace par le déplacement car ce dernier s'effectue dans la direction et le sens de la force :

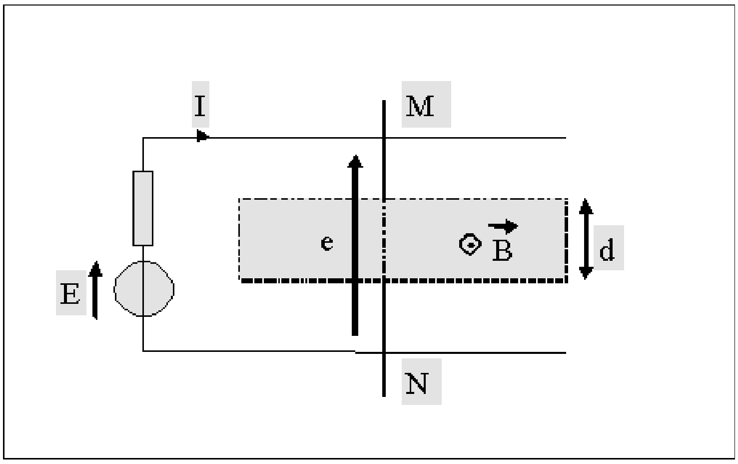
$$\mathbf{W = F \times longueur\ du\ déplacement = 4.10^{-3} \times 6.10^{-2} = 24.\ 10^{-5}\ J}$$

5- e = - dΦ / dt que l'on peut écrire aussi e = - $\Delta\Phi$ / Δt

avec $\Delta\Phi$ = variation de flux entre le début du déplacement de MN et la fin . En fait ici $\Delta\Phi$ = flux coupé calculé en 4.1

et avec Δt = 1 ms donné par l'énoncé .

$$\mathbf{|e| = |\Delta\Phi / \Delta t| = 24.\ 10^{-5} / 10^{-3} = 0.24\ V}$$



6- Le circuit barre-rails-générateur étant fermé , la force électromotrice induite engendre un courant qui va s'opposer aux causes qui lui ont donné naissance , en l' occurrence ici le déplacement de la barre .Donc le courant i induit va être dirigé dans le sens inverse de I ; ainsi le sens de la force $\vec{f}$, force de Laplace engendrée par i , sera opposé au déplacement de la barre et à la force $\vec{F}$. On retrouve dans les machines étudiées en terminale ce phénomène appelé « réaction d'induit ».

On peut également ajouter que i , courant induit par le déplacement de MN , crée un champ induit **Bi** qui s'oppose au champ **BI** crée par I. Ces champs sont faibles devant le champ $\vec{B}$ crée par l'aimant.

On peut également noter qu'en se déplaçant vers la gauche (selon $\vec{F}$) , le flux magnétique diminue (la surface grisée diminue) , la force $\vec{f}$ crée par le courant induit i a , selon la loi de Lenz , tendance au contraire à augmenter le flux en augmentant cette surface en gris.