

NOM, PRENOM (en majuscules) .....

SECTION (barrer la mention inutile)

**Biologie**

**Géographie**

**Géologie**

**PHYS-F-205**

**Physique 2**

**Examen du 21 août 2015**

**I. Théorie (20 points – 1 heure 15')**

**Justifiez toujours vos réponses.**

(les simples affirmations du type oui / non ne sont pas prises en compte)

Les résultats numériques doivent être exprimés

- en unités du Système international ;
- avec la précision adéquate, sous peine d'être considérés comme incorrects.

**Note théorie :**

**/20**

**1. Énoncez la loi d'Ampère, en définissant toutes les grandeurs qui y interviennent. Appliquez-la au calcul du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde long parcouru par un courant électrique constant. (6 points)**

Loi d'Ampère :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \sum I$$

avec :

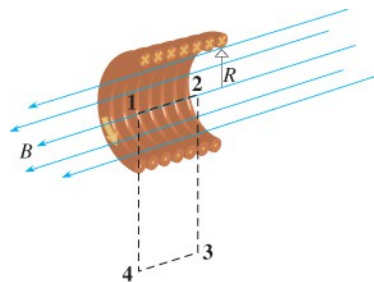
$\vec{B}$  : champ magnétique

$d\vec{l}$  : élément de parcours fermé

$\mu$  : perméabilité du milieu

$\sum I$  : somme des intensités des courants enfermés dans le parcours fermé

Calcul du champ magnétique dans un solénoïde long parcouru par un courant  $I$ : considérons une petite partie d'un solénoïde comportant  $n$  spires par mètre (voir aussi Hecht) :



Comme le solénoïde est long, le champ à l'extérieur est négligeable et le champ à l'intérieur est pratiquement uniforme et parallèle à l'axe.

On choisit un chemin fermé 12341 de côté  $l$  parallèle à l'axe. Seule l'intégrale sur le segment 12 contribue (segments 23 et 41: champ perpendiculaire au segment dans le solénoïde et négligeable hors du solénoïde; segment 34: champ négligeable). Donc:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$$

D'autre part, le chemin fermé enferme  $n \cdot l$  spires donc:

$$\sum I = n \cdot l \cdot I$$

Donc  $B = \mu \cdot n \cdot I$  .

**2. Définissez, en précisant toutes les grandeurs et symboles mathématiques que vous introduisez :**

**a) pôle nord de l'aiguille d'une boussole**

**b) flux du champ électrique à travers un élément de surface orienté**

**c) domaine de Weiss**

**d) capacité d'un condensateur**

**(4 points)**

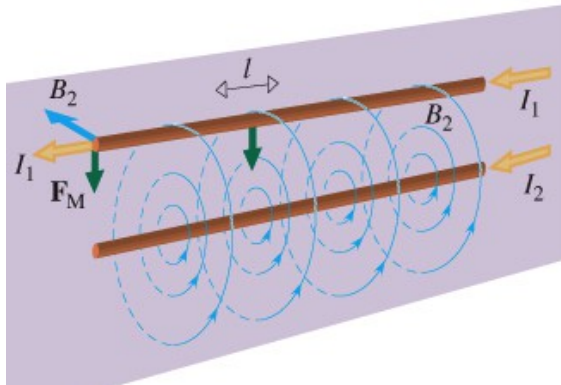
a) côté de l'aiguille qui pointe vers le pôle nord géographique de la Terre (qui est un pôle sud magnétique).

b) soit un élément de surface orienté  $d\vec{S}$ . Le flux du champ électrique  $\vec{E}$  à travers  $d\vec{S}$  se calcule comme le produit scalaire de ces deux vecteurs :  $\Phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{S}$

c) région d'un matériau ferromagnétique où l'aimantation a une direction constante

d)  $C = \frac{Q}{V}$ , où  $V$  est la tension aux bornes de la capacité et  $Q$  la charge sur les armatures de la capacité (+ $Q$  sur l'armature positive ; - $Q$  sur l'armature négative).

**3. Énoncez et expliquez la définition de l'ampère qui fait appel aux forces d'origine magnétique.**  
**(2 points)**



Pour deux conducteurs rectilignes parallèles distants de  $R$  dans le vide, le champ magnétique produit par le courant  $I_2$  à l'endroit du conducteur parcouru par  $I_1$  vaut :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R}$$

La force magnétique exercée par  $B_2$  sur une longueur  $L$  de conducteur parcouru par  $I_1$  vaut :

$$F = B_2 \cdot I_1 \cdot L$$

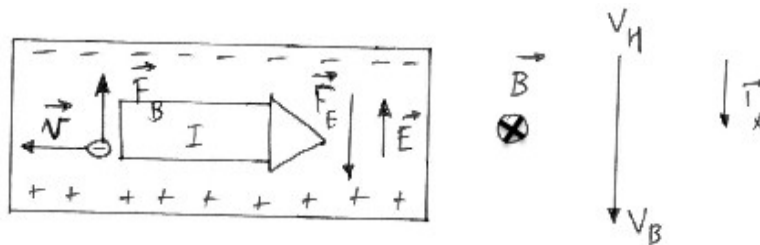
Si  $I_1 = I_2 = 1\text{A}$  et  $R = 1\text{m}$ , alors par mètre de longueur de fil ( $L = 1\text{m}$ ) la force magnétique vaut :

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2\pi \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

→ définition de l'ampère : c'est l'intensité du courant qui, circulant dans deux conducteurs rectilignes parallèles distants de 1 m dans le vide, provoque une force magnétique de  $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  par mètre de conducteur.

**4. Expliquez le principe du magnétomètre à effet Hall.  
(4 points)**

Le magnétomètre à effet Hall permet de mesurer le champ magnétique à partir de la différence de potentiel qui s'établit entre les faces latérales d'un conducteur plongé dans ce champ lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Cette différence de potentiel s'établit dans la direction perpendiculaire au courant (voir schéma).



Les porteurs de charge mobiles qui constituent le courant se déplacent à vitesse moyenne  $v$  et subissent une force magnétique perpendiculaire au courant. Considérons par exemple que le courant est dû à des charges négatives, et considérons le sens du courant et du champ magnétique comme précisés sur le schéma. Alors :

$$\vec{F}_B = qvB\vec{I}_x, \text{ où } q \text{ est négative.}$$

Les charges (-) s'accumulent sur la face supérieure du conducteur et créent un champ électrique du bas vers le haut, qui exerce une force électrique sur les charges mobiles, dans la direction opposée à la force magnétique. L'équilibre s'établit et l'accumulation de charges cesse lorsque :

$$\vec{F}_E = -qvB\vec{I}_x$$

$$\vec{E} = -vB\vec{I}_x$$

La différence de potentiel entre les faces du conducteur s'obtient en intégrant le champ électrique (constant) d'une face à l'autre :

$$V_{Bas} - V_{Haut} = -\int_{Haut}^{Bas} -vB dx = vBL, \text{ où } L \text{ est la largeur du conducteur.}$$

Cette différence de potentiel est proportionnelle à  $B$ .

**5. Etablissez l'expression de la tension aux bornes d'un générateur constitué de  $N$  spires serrées de surface  $S$  tournant dans un champ magnétique uniforme, autour d'un axe perpendiculaire au champ magnétique, avec une vitesse angulaire constante  $\omega$  .**  
**(4 points)**

voir cours.

NOM, PRENOM (en majuscules) .....

SECTION (barrer la mention inutile)

**Biologie**

**Géographie**

**Géologie**

## **PHYS-F-205**

### **Physique 2**

**Examen du 21 août 2015**

### **II. Exercices (20 points – 2 heures)**

**Justifiez toujours vos réponses.**

(les simples affirmations du type oui / non ne sont pas prises en compte)

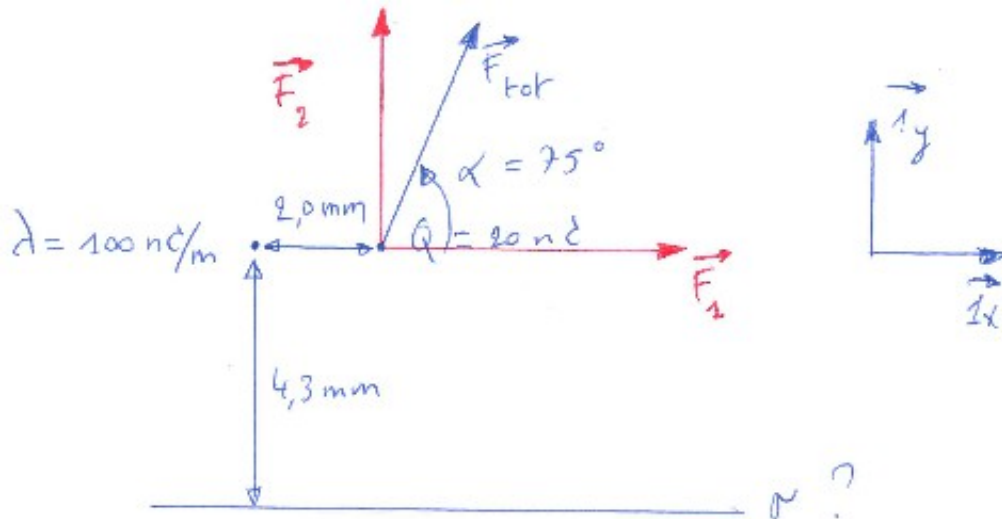
Les résultats numériques doivent être exprimés

- en unités du Système international ;
- avec la précision adéquate, sous peine d'être considérés comme incorrects.

<b>Questions</b>	<b>1</b>	<b>/5</b>	<b>2</b>	<b>/5</b>	<b>3</b>	<b>/5</b>	<b>4</b>	<b>/5</b>
------------------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------

**Note totale exercices :** **/20**

1. Un fil conducteur rectiligne horizontal porte une densité de charge électrique uniforme de 100 nC par mètre. Ce fil est placé à 4,3 mm au-dessus d'une plaque conductrice de grande taille, horizontale et uniformément chargée. On place au-dessus de la plaque une charge électrique ponctuelle de 20 nC, à la même hauteur que le fil et à 2,0 mm de distance de celui-ci. On lâche la charge avec une vitesse initiale nulle. On observe que, juste après qu'on l'ait lâchée, la charge part vers le haut avec un angle de 75 degrés par rapport à l'horizontale. Quelle est la densité de charge sur la plaque ? (5 points)



La charge part dans la direction de la force électrique qu'elle subit, qui est la somme des forces dues au plan et au fil chargés.

Force due au fil :

$\vec{F}_1 = \frac{\lambda Q}{2\pi\epsilon d_1} \vec{1}_x$ , où  $\lambda = 100 \text{ nC/m}$  et  $d_1 = 2,0 \text{ mm}$ , et  $Q$  est la valeur de la charge ponctuelle.

Force due au plan :

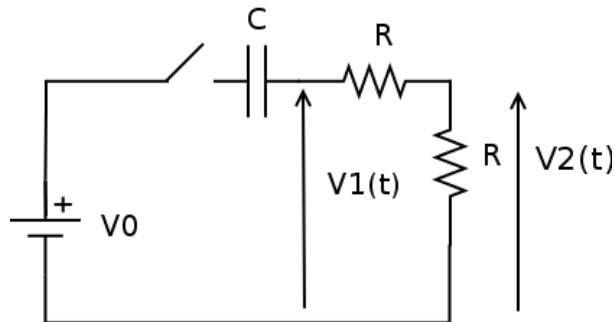
$\vec{F}_2 = \frac{\sigma Q}{2\epsilon} \vec{1}_y$ , où  $\sigma$  est la densité de charge recherchée.

Sur le schéma on voit que  $\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\sigma \pi d_1}{\lambda}$ , donc :

$$\sigma = \frac{\lambda \tan \alpha}{\pi d_1} = \frac{100 \cdot 10^{-9} \cdot 3,73}{\pi \cdot 2,0 \cdot 10^{-3}} = 60 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}.$$



2. Une source de tension continue ( $V_0=64,0$  V) est connectée à un circuit comme représenté ci-dessous. Le circuit comporte une capacité de  $17,5$   $\mu\text{F}$  initialement déchargée et deux résistances de  $1,00$   $\text{k}\Omega$  en série. A l'instant  $t=0$  s, on ferme l'interrupteur.



a) Quelle est l'expression du courant qui traverse le circuit en fonction du temps ? Représentez le courant sur le graphe, en indiquant ses valeurs minimale et maximale, et le temps où il atteint la moitié de sa valeur maximale.

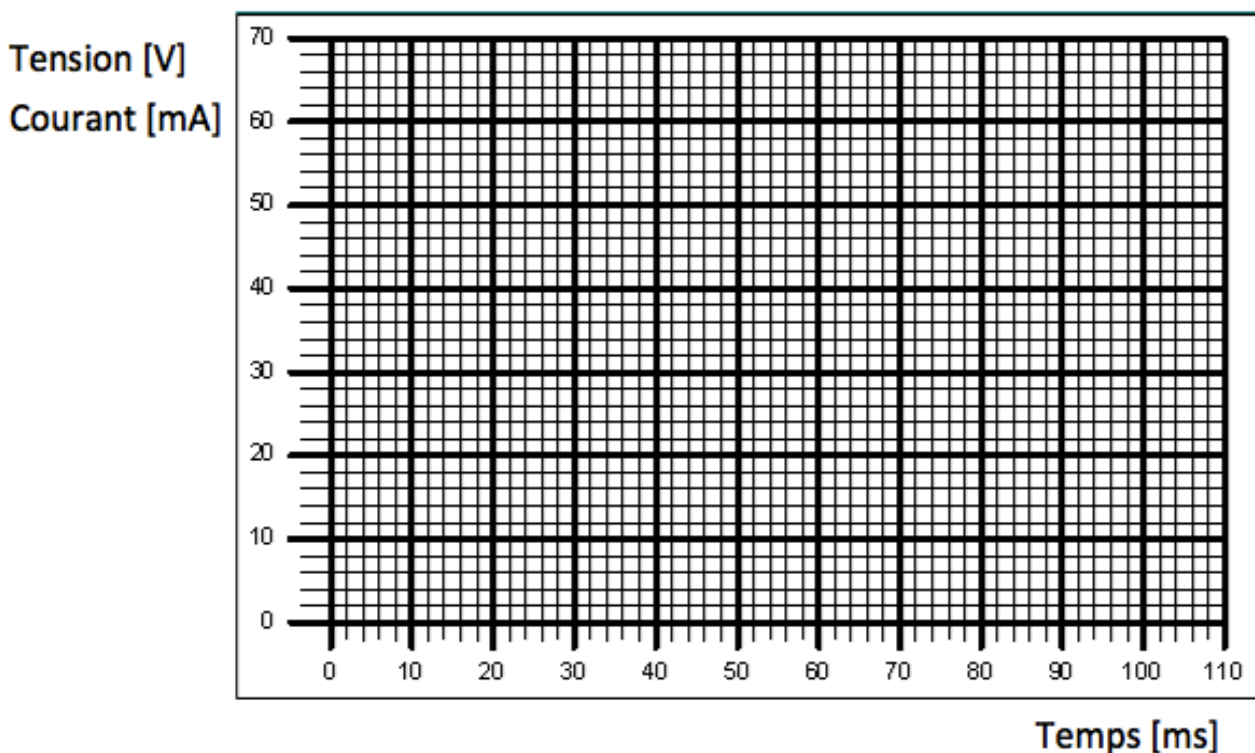
(3 points)

b) Quelles sont les expressions des tensions  $V_1(t)$  et  $V_2(t)$  en fonction du temps ? Quelles sont leurs valeurs maximales ?

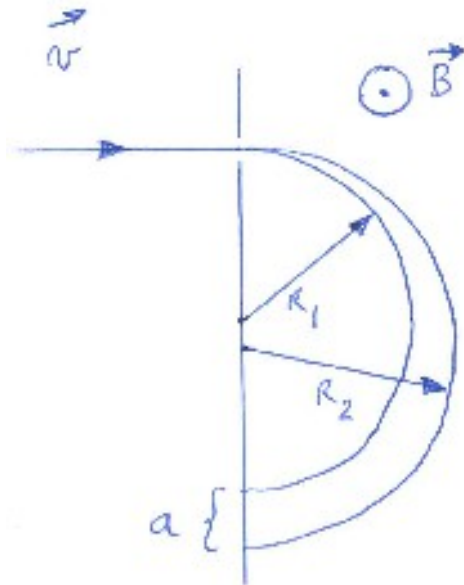
(2 points)

a) Charge de la capacité à travers les 2 résistances en série:  $I(t) = \frac{V_0}{2R} e^{-\frac{t}{2RC}}$ , avec une constante de temps  $\tau = 2RC = 35$  ms. Donc  $I_{max} = \frac{V_0}{2R} = 32$  mA ;  $I_{min} = 0$  A . Le temps de demi-charge est:  $t_{1/2} = 2RC \ln 2 = 24$  ms.

b) Par la loi d'Ohm:  $V_1(t) = 2R \cdot I(t) = V_0 e^{-\frac{t}{2RC}}$  ;  $V_{1,max} = V_0 = 64,0$  V et  $V_2(t) = R \cdot I(t) = \frac{V_0}{2} e^{-\frac{t}{2RC}}$  ;  $V_{2,max} = \frac{V_0}{2} = 32,0$  V.



3. Un spectromètre de masse est conçu pour contrôler la teneur de l'atmosphère en monoxyde de carbone (CO) et en azote (N<sub>2</sub>). Il comporte un dispositif sélecteur de vitesse et un dispositif séparateur. Un même champ magnétique vertical d'une intensité de 0,72 Tesla règne dans ces deux dispositifs. Le faisceau de molécules ionisées une fois, CO<sup>+</sup> et N<sub>2</sub><sup>+</sup>, sort du sélecteur de vitesse horizontalement et décrit un demi-cercle dans le séparateur avant de toucher le détecteur. Les points d'impact des ions des deux substances sont alors séparés de 0,24 mm. Quelle est l'intensité du champ électrique qui règne dans le sélecteur de vitesse ? Prenez 1,67.10<sup>-27</sup> kg pour la masse du proton ; 28,0106 fois celle-ci pour le CO et 28,0134 fois celle-ci pour le N<sub>2</sub>. (5 points)



La vitesse à laquelle les ions sortent du sélecteur de vitesse va déterminer le rayon de courbure des trajectoire. La norme de cette vitesse a pour expression :

$$v = \frac{E}{B}$$

où  $E$  et  $B$  sont les normes des champs électrique et magnétique dans le sélecteur.

Ensuite les ions décrivent un demi-cercle de rayon

$$R_i = \frac{m_i v}{qB}, \text{ où } m_i \text{ est la masse des ions de type } i,$$

donc la séparation  $a$  des ions CO<sup>+</sup> et N<sub>2</sub><sup>+</sup> sur le détecteur est :

$$a = 2R_2 - 2R_1 = \frac{2v}{qB}(m_2 - m_1) .$$

On trouve alors pour le champ électrique dans le sélecteur :

$$E = vB = \frac{qB^2 a}{2(m_2 - m_1)} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (0,72)^2 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (28,0134 - 28,0106) \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ V/m} .$$

**4. Un anneau circulaire fermé de 5,0 cm de diamètre est constitué d'un fil de cuivre de 2,0 mm<sup>2</sup> de section. Il est placé dans un champ magnétique, perpendiculaire au plan de l'anneau, dont l'intensité diminue de 0,40 Tesla par seconde pendant 10 secondes. Calculez l'énergie dissipée par effet Joule dans l'anneau pendant ces 10 secondes. La résistivité du cuivre qui compose le fil est de  $17 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$ . (5 points)**

Principe du chauffage par induction : la f.é.m. induite dans l'anneau provoque le passage d'un courant, qui dissipe de l'énergie par effet Joule.

Energie dissipée :  $E_J = \Delta t \cdot P = \Delta t \cdot \frac{\epsilon^2}{R}$ , où  $\epsilon$  est la f.é.m. induite et  $R$  est la résistance de l'anneau.

La f.é.m. induite se calcule comme :  $\epsilon = \frac{-d\Phi_B}{dt} = \frac{-d[(B_0 + kt) \cdot A]}{dt} = -kA$ , où  $k = \frac{0,40 \text{ Tesla}}{10 \text{ s}} = 0,04 \text{ T/s}$  est le taux de variation du champ magnétique et  $A = \frac{\pi d^2}{4}$  est la surface de l'anneau (le diamètre  $d = 5,0 \text{ cm}$ ). La valeur initiale  $B_0$  du champ n'a pas d'importance.

$$\text{Donc } \epsilon = -0,04 \frac{\pi(5,0 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ V}.$$

De plus la résistance de l'anneau de longueur  $\pi d$  et de section  $S = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  se calcule par :  $R = \rho \frac{l}{S} = 17 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\pi \cdot 5,0 \cdot 10^{-2}}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 1,33 \cdot 10^{-3} \Omega$ .

Finalement on trouve :

$$E_J = 10 \cdot 4,62 \cdot 10^{-6} = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ Joules}.$$