

**EPREUVE FINALE (PHYS2) (durée 1h 30mn)**

**Problème 1 : (5 points)**

- Une sphère  $S$  conductrice de rayon  $R$  porte une charge  $q$  positive ( $q > 0$ ) est fixée sur un axe  $x'Ox$  de sorte que son centre soit au point  $D$  d'abscisse  $-a$ .  
Déterminer les expressions du vecteur champ électrique  $\vec{E}_M$  et du potentiel électrique  $V_M$  au point  $M$  d'abscisse  $2a$ , créés par la sphère  $S$ .
- Une deuxième charge ponctuelle  $q' = -q$  est fixée au point  $D'$  d'abscisse  $a$ , (voir figure 1). On suppose que  $a$  est grand devant  $R$  ( $a \gg R$ ) de sorte que la charge  $q'$  n'influence pas le conducteur  $S$ .  
Déterminer les nouvelles expressions du vecteur champ électrique  $\vec{E}'_M$  et du potentiel électrique  $V'_M$ .
- Une troisième charge électrique ponctuelle  $Q$  est lancée à partir d'un point  $N$ , situé à l'infini, (voir figure 1) avec une énergie cinétique initiale  $E_{cN}$ . Cette charge arrive au point  $M$  avec une énergie cinétique  $E_{cM} = 2E_{cN}$ .
  - Déterminer l'expression de l'énergie cinétique initiale  $E_{cN}$  en supposant que le potentiel électrique en  $N$  est nul.
  - Préciser le signe de la charge  $Q$ .

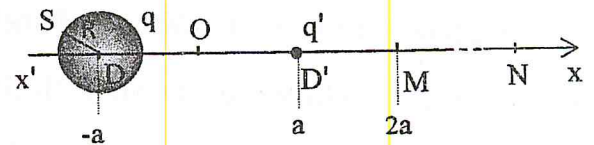


Figure 1

**Problème 2 : (7 points)**

Une sphère  $A$  conductrice de rayon  $R_A = 1 \text{ cm}$  est placée au centre d'une sphère creuse conductrice  $B$  de rayon interne  $R_1 = 2 \text{ cm}$  et de rayon externe  $R_2 = 3 \text{ cm}$ . Un générateur  $G$  assure un potentiel constant  $V_0 = 10^3 \text{ V}$  à la sphère  $A$  ou  $B$ , à laquelle il est relié au moyen d'un commutateur  $K_1$  (voir figure 2). Les deux conducteurs  $A$  et  $B$  sont **initialement neutres**. L'interrupteur  $K_2$  permet de relier le conducteur  $B$  à la Terre.

- Le générateur est relié au conducteur  $B$  ( $K_1$  en position 1 et  $K_2$  ouvert).
  - Représenter, qualitativement, la répartition des charges qui apparaissent sur les conducteurs  $A$  et  $B$ .
  - Calculer les charges  $q_A$  et  $q_B$  portées respectivement par les sphères  $A$  et  $B$ .
- Le commutateur  $K_1$  est sur la position 2, c'est-à-dire que le conducteur  $A$  est relié au générateur, le conducteur  $B$  est relié à la Terre ( $K_2$  fermé).
  - Représenter, qualitativement, la nouvelle répartition des charges qui apparaissent sur les deux conducteurs  $A$  et  $B$ .
  - Déterminer les expressions du champ et du potentiel électriques dans les régions I ; II ; III et IV de l'espace.
  - Calculer les nouvelles charges  $q'_A$  et  $q'_B$  portées respectivement par les sphères  $A$  et  $B$ .
  - Les deux conducteurs, ainsi montés, forment un condensateur sphérique. Déterminer l'expression de sa capacité électrique. Que devient cette expression si les valeurs de  $R_A$  et  $R_1$  sont très proches :  $R_A \approx R_1$  et  $R_1 - R_A = e$ .

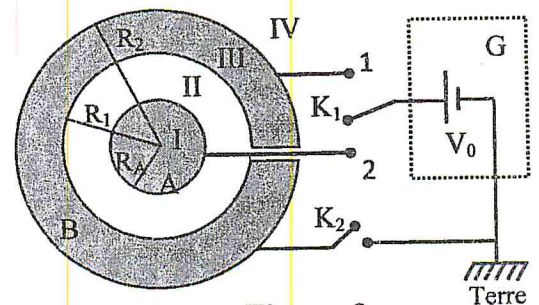


Figure 2

**Problème 3 : (8 points)**

On considère le circuit électrique, représenté par le schéma de la **figure 3**, composé d'un générateur de f.e.m  $E$  et de résistance interne  $r$ , de deux résistances  $R_1$  et  $R_2$ , de trois condensateurs de capacités  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$ , et d'un commutateur  $K$ .

1. A l'instant  $t = 0s$ , on met le commutateur  $K$  sur la position 1.

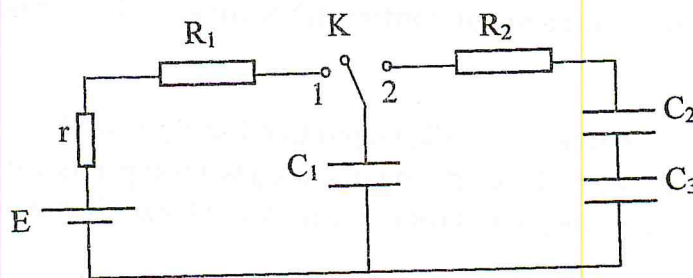
- Etablir l'équation différentielle régissant la charge du condensateur.
- En déduire l'expression de la charge  $q(t)$  du condensateur. Préciser la constante de temps  $\tau$  et la charge finale  $Q_f$  du condensateur.
- Déterminer l'expression du courant  $i(t)$  débité par le générateur.
- Faire le bilan énergétique du circuit.

II) Le condensateur  $C_1$  est totalement chargé, on met le commutateur  $K$  sur la position 2.

Lorsque l'équilibre électrique est établi, calculer :

- La d.d.p aux bornes du condensateur  $C_1$ .
- Les charges de chacun des condensateurs.  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$ .
- Les d.d.p aux bornes de chacun des condensateurs  $C_2$  et  $C_3$ .
- L'énergie perdue par effet Joule dans le circuit.

**Données :**  $E = 14 \text{ V}$ ,  $r = 10 \text{ } \Omega$ ,  $R_1 = R_2 = 100 \text{ } \Omega$ ,  $C_1 = 10 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 20 \text{ nF}$  et  $C_3 = 5 \text{ nF}$ .



**Figure 3**



**CORRIGE DE L'EPREUVE FINALE (PHYS2)**

**Problème 1 (5 points)**

1. La surface de Gauss est sphérique et de rayon  $r > R$  soit  $r = 3a$ :  $E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{1}{9} \frac{Kq}{a^2}$  1 pt

Le champ est radial, soit  $\vec{E}_M = E \vec{u}_r$ ,  $\vec{u}_r = \vec{i}$  pour M sur l'axe  $x'Ox$ .

$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r}$  et  $dr = dr \vec{i}$  on trouve  $V_M = \frac{1}{3} \frac{Kq}{a} + V_\infty$  1 pt

2. Détermination de l'expression

➤ du vecteur champ électrique  $\vec{E}'_M$ :  $\vec{E}'_M = \vec{E}_{(+q)} + \vec{E}_{(-q)} = -\frac{8}{9} \frac{Kq}{a^2} \vec{i}$  0.5 pt

➤ du potentiel électrique  $V'_M$ :  $V'_M = -\frac{2}{3} \frac{Kq}{a}$  0.5 pt

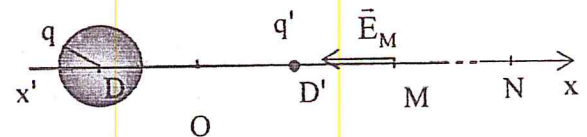
3.a.  $\Delta E_C = -\Delta E_P$ . Soit:

$E_{CM} - E_{CN} = E_{PN} - E_{PM} = QV_M = Q \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{3a} - \frac{q}{a} \right)$  1 pt

qui donne:  $E_{CN} = \frac{2}{3} \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 a}$  0.5 pt

b. La charge Q est positive.

0.5 pt



**Problème 2 (7 points)**

1.  $Q_A = 0C$  la surface interne de B est en influence totale avec A

0.25pt

0.25pt

0.5pt

d'où  $Q_{Bi} = 0C$ .  $V_B = V_0 = \frac{Q_{Be}}{4\pi\epsilon_0 R_{Be}}$   $Q_B = Q_{Be} = 4\pi\epsilon_0 R_2 V_0$

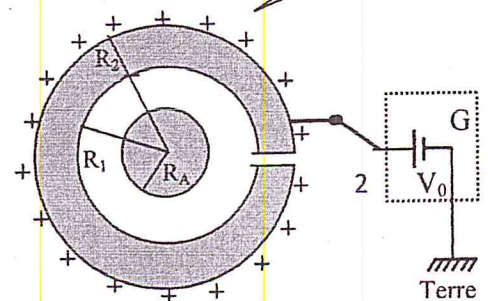
A.N:  $Q_B = 3.33nC$ . La charge  $Q_B > 0$  est uniformément répartie sur la surface externe de (B).

0.25pt

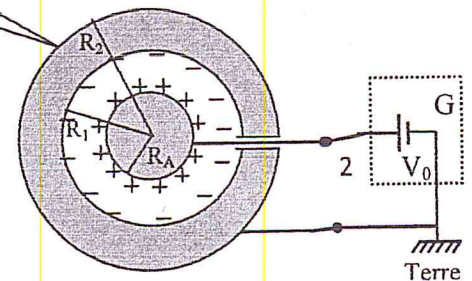
0.25pt (x3)

2.

a. Répartition des charges qui apparaissent sur les deux conducteurs A et B.  $Q_A > 0$  apparait sur la surface de A. Pour des raisons d'influence totale on détermine  $Q_{Bi} = -Q_A$ . La liaison de B avec la Terre fait que les charges  $Q_{Be}$  sont neutralisées: il n'y a pas de charges sur la surface externe de B.



0.25pt



b. Pour  $r < R_A$  on trouve  $E_I = 0$  et  $V_I = V_A = V_0$

0.25pt (x2)

• Pour  $R_A < r < R_1$  on trouve  $E_{II} = \frac{Q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  et  $V_{II} = \frac{Q_A}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R_A} \right) + V_0$  0.5pt (x2)

• Pour  $R_1 < r < R_2$  on trouve  $E_{III} = 0$  et  $V_{III} = V_B = 0V$

0.25pt (x2)

Pour  $r > R_2$  on trouve  $E_{IV} = 0$  et  $V_{IV} = V_B = 0 \text{ Volt}$  0.25pt (x2)

c. Pour  $r = R_1$  on obtient  $V_B - V_A = \frac{Q_A}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_A} \right)$  avec  $V_B = 0 \text{ Volt}$  0.5pt

0.25pt

0.25pt

0.25pt

On détermine  $Q_A = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_1 R_A}{R_1 - R_A} V_0$  et  $Q_B = Q_{Bi} = -Q_A$ . AN:  $Q_A = -Q_B = 2.22 \text{ nC}$

d. Détermination de la capacité  $C$  de condensation du système de conducteurs sphériques ainsi formé.

$$V_A - V_B = \frac{Q_A}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_1} \right) = \frac{Q_A}{C}. \text{ La capacité de condensation est: } C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_1 R_A}{R_1 - R_A}$$

Dans le cas où  $R_1 - R_A = e$  on obtient:  $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R^2}{e}$  avec  $R_1 \approx R_A = R$  soit  $C = \epsilon_0 \frac{S}{e}$ .

0.5pt

0.5pt

### Problème 3 (8 points)

a.  $E = (r + R_1) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C_1}$  qui donne  $\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C_1(r + R_1)} = \frac{E}{(r + R_1)}$

b.  $q(t) = Q_f (1 - e^{-t/\tau})$  avec  $Q_f = EC_1$  et  $\tau = (r + R_1)C_1$  0.75 pt

c.  $i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{(r + R_1)} e^{-t/\tau}$  0.75 pt

0.5 pt

d. Bilan des énergies :

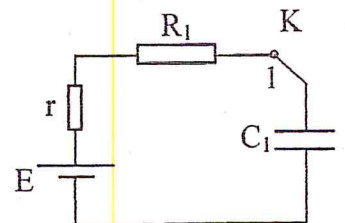
➤ Energie fournie par le générateur:  $W_G = \int_{t=0s}^{\infty} E i(t) dt = - \frac{E^2 \tau}{(r + R_1)} e^{-t/\tau} \Big|_{0s}^{\infty} = E^2 C_1$  0.5 pt

➤ Energie stockée dans le condensateur:  $W_{C_1} = \int_{q=0}^{Q_f} \frac{q}{C_1} dq = \frac{1}{2} \frac{Q_f^2}{C_1} = \frac{1}{2} E^2 C_1$  0.5 pt

➤ Energie consommée par effet joule:  $W_G = \int_{t=0s}^{\infty} (r + R_1) i(t)^2 dt = - \frac{\tau}{2} \frac{E^2}{(r + R_1)^2} e^{-t/\tau} \Big|_{0s}^{\infty} = \frac{1}{2} E^2 C_1$  0.5 pt

0.5 pt

0.25 pt



II-a. A l'équilibre  $C_2 \parallel C_3$ ;  $C_e = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}$  d'où  $V_{C_1} = \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q_e}{C_e} = \frac{Q'_1 + Q_e}{C_1 + C_e} = \frac{Q_f}{C_1 + C_e}$ . AN:  $V_{C_1} = 10 \text{ V}$

b.  $Q'_1 = V_{C_1} C_1$ ;  $Q'_2 = Q'_3 = V_{C_1} C_e$  AN:  $Q'_1 = 10 \cdot 10^{-8} \text{ Cb}$ ;  $Q'_2 = Q'_3 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Cb}$  0.25pt (x2)

0.25pt (x2)

c.  $V_{C_2} = \frac{Q'_2}{C_2}$ ;  $V_{C_3} = \frac{Q'_3}{C_3}$  AN:  $V_{C_2} = 2 \text{ V}$ ;  $V_{C_3} = 8 \text{ V}$  0.25pt (x2)

0.25pt (x2)

0.25pt (x2)

d. L'énergie dissipée dans  $R_2$ :

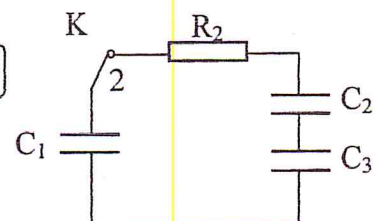
➤ Energie stockée dans le condensateur  $C_1$ :  $W_{C_1} = \frac{1}{2} \frac{Q_1'^2}{C_1}$  0.25 pt

➤ Energie stockée dans le condensateur  $C_e$ :  $W_{C_e} = \frac{1}{2} \frac{Q_e^2}{C_e} = \frac{1}{2} \frac{Q_2'^2}{C_2} = \frac{1}{2} \frac{Q_3'^2}{C_3}$  0.25 pt

➤ Energie consommée par effet joule dans  $R_2$ :  $W_{R_2} = \frac{1}{2} \left( \frac{Q_f}{C_1} - \frac{Q'_1}{C_1} - \frac{Q_e}{C_e} \right)$  AN:  $W_{R_2} = 28 \cdot 10^{-8} \text{ Joule}$  0.25 pt

0.5 pt

0.25 pt





USTHB

Faculté de Physique

1<sup>ère</sup> année L.M.D/ST

(Sections de 16 à 30)

### Epreuve Finale d'Electricité

#### Exercice 1 (6 pts)

Soient deux charges électriques ponctuelles identiques  $q$  positives, placées sur l'axe ( $XOX$ ), aux points  $A(-a,0)$  et  $B(a,0)$  (Figure 1).

- 1- Déterminer, en fonction de  $y=OP$ , le potentiel électrique  $V(y)$  au point  $P$ .
- 2- En déduire l'expression du champ électrique  $\vec{E}(y)$ .

On place une 3<sup>ème</sup> charge ponctuelle négative,  $(-2q)$ , au point  $O$ , origine du système d'axes ( $OXY$ ).

- 3- Déterminer l'énergie interne du système ainsi formé par les trois charges.
- 4- Déterminer la nouvelle expression du champ électrique au point  $P$ .
- 5- Montrer que dans le cas limite ( $y \gg a$ ), ce champ s'écrit  $\vec{E}(y) = -K \frac{3qa^2}{y^4} \vec{j}$ .

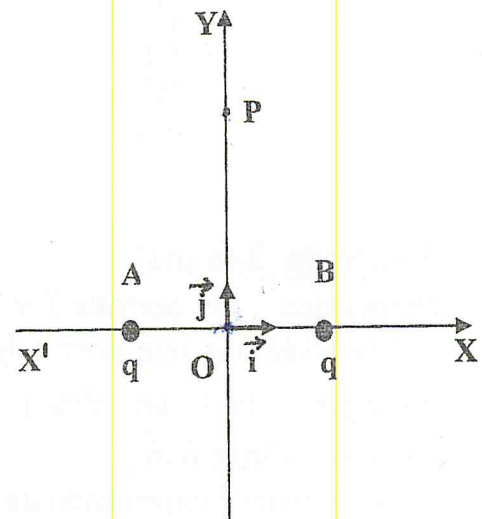


Figure 1

On rappelle que pour  $\varepsilon \ll 1$ ,  $(1 + \varepsilon)^\alpha \approx 1 + \alpha\varepsilon$ .

#### Exercice 2 (8 pts)

Considérons le circuit de la figure 2, comportant un générateur de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $r$ , un récepteur de force contre-électromotrice  $e$  et de résistance interne  $r$ , une résistance  $R$  et un condensateur de capacité  $C$  initialement déchargé.  $K$  est un interrupteur.

On prendra :  $r = 50\Omega$ ,  $E = 100V$ ,  $e = 50V$ .

(Remarque : les parties I et II sont indépendantes)

I- L'interrupteur  $K$  est en position 1.

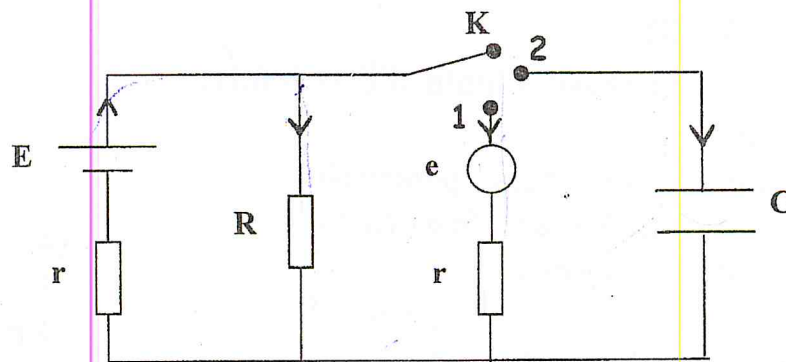
1- Déterminer les expressions des courants  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$  circulant dans les différentes branches du circuit.

2- Quelle condition doit-on imposer à  $R$  pour que le récepteur puisse fonctionner.

II- A un instant  $t=0$  (pris comme origine des temps), on met l'interrupteur en position 2.

1- Donner l'équation différentielle qui régit l'évolution de la charge  $q(t)$  au cours du temps.

- 2- Déduire l'expression de la charge  $q(t)$  du condensateur en précisant l'expression de la constante de temps.



**Figure 2**

### Exercice 3 (6 pts)

(Remarque : les parties I et II sont indépendantes)

I- Considérons une particule de masse  $m$  portant une charge électrique  $q$ , se déplaçant dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  avec une vitesse  $\vec{v}$  perpendiculaire à  $\vec{B}$ .

- 1- Donner l'expression de la force à laquelle la particule est soumise.
- 2- Quelle est la nature du mouvement de cette particule. Déterminer le rayon de courbure de sa trajectoire.

II- Considérons, à présent, un élément  $d\vec{l}$  d'un fil conducteur, de section  $S$ , parcouru par un courant  $I$ , placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$ .

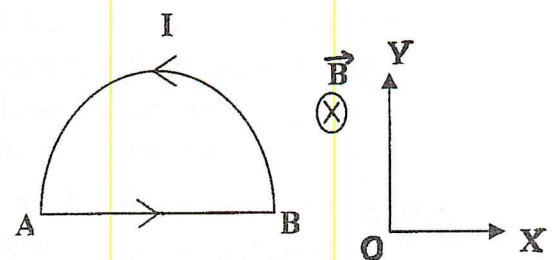
- 1- Montrer que cet élément subit une force donnée par  $d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$ .

Le circuit de la figure 3 ci-contre est constitué d'un demi-cercle de rayon  $R$  et d'une portion rectiligne  $AB$  de longueur  $2R$ . Il est parcouru par un courant  $I$ , dans le sens indiqué sur la figure. Ce circuit est placé dans un champ magnétique uniforme rentrant  $\vec{B}$ .

- 2- Déterminer la force magnétique  $\vec{F}_1$  agissant sur le segment  $AB$ .

- 3- Déterminer la force magnétique  $\vec{F}_2$  agissant sur la partie en demi-cercle.

- 4- En déduire la force totale  $\vec{F}$  agissant sur tout le circuit.



**Figure 3**



USTHB

2011/2012

Faculté de Physique

1<sup>ère</sup> année L.M.D/ST

(Sections de 16 à 30)

Corrigé de l'Epreuve Finale d'Electricité

**Exercice 1** (6pts)

1-  $V(y) = \frac{kq}{r} + \frac{kq}{r} = \frac{2kq}{\sqrt{a^2 + y^2}}$  0,5pt+0,5pt

2-  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V = -\frac{\partial V}{\partial y} \vec{j}$ , soit  $\vec{E} = -\frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{2kq}{\sqrt{a^2 + y^2}} \right) \vec{j} = \frac{2kq y}{(a^2 + y^2)^{3/2}} \vec{j}$  1pt

0,5pt

3-  $U = \frac{Kq^2}{2a} - \frac{2Kq^2}{a} - \frac{2Kq^2}{a}$ , 0,5pt  $U = -\frac{7Kq^2}{2a}$  1pt

4-  $\vec{E} = \left( \frac{2kq y}{(a^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{2kq}{y^2} \right) \vec{j}$  1pt

5-  $\vec{E} = \left( 2kq y (a^2 + y^2)^{-3/2} - \frac{2kq}{y^2} \right) \vec{j} = \left( 2kq y^{-2} (1 + \frac{a^2}{y^2})^{-3/2} - \frac{2kq}{y^2} \right) \vec{j}$  0,5pt

$\vec{E} = \left( 2kq y^{-2} (1 - \frac{3a^2}{2y^2}) - \frac{2kq}{y^2} \right) \vec{j}$  0,5pt soit  $\vec{E}(y) = -K \frac{3qa^2}{y^4} \vec{j}$

**Exercice 2** (8pts)

I- L'interrupteur K est en position 1.

1- Loi des nœuds :  $I = I_1 + I_2$  0,25pt

Loi des mailles :  $rI - E + RI_1 = 0$  0,25pt

0,25pt  $RI_1 - rI_2 - e = 0$

On obtient le système suivant :  $(r + R)I_1 + rI_2 = E$

$RI_1 - rI_2 = e$  1pt

dont la résolution donne :

$I_1 = \frac{E + e}{r + 2R}$ ,  $I_2 = \frac{(E - e)R - er}{r^2 + 2rR}$  1pt

$I = \frac{(E - e)R + rE}{r^2 + 2rR}$  0,5pt

0,25pt

2- Pour que le récepteur puisse fonctionner, le courant  $I_2$  doit être positif, soit

$I_2 > 0 \Rightarrow (E - e)R - er > 0 \Rightarrow R > \frac{er}{E - e}$  0,5pt

A. N :  $R > 50\Omega$  0,25pt

AA

II- 1-  $I = I_1 + I_2$

0,25pt

$rI - E + RI_1 = 0$

0,25pt

$RI_1 - \frac{q(t)}{C} = 0$

0,25pt

$I_2 = \frac{dq}{dt}$

0,25pt

On obtient  $\frac{dq}{dt} + \left( \frac{r+R}{rRC} \right) q(t) = \frac{E}{r}$

1,5pt

2- La résolution de l'équation précédente donne

$q(t) = Q(1 - \exp(-t/\tau)), Q = \frac{RCE}{r+R}, \tau = \frac{rRC}{r+R}$

0,25pt

### Exercice 3 (6pts)

1pt

I.1 - La force à laquelle la particule est soumise est  $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$ .

0,5pt

2- La force est perpendiculaire à la vitesse, elle a pour effet de changer uniquement la direction de la vitesse  $\Rightarrow$  le mouvement est circulaire uniforme.

$\Rightarrow a = a_N = \frac{v^2}{R} \Rightarrow F = m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$

1pt

II-1- Considérons, à présent, un élément  $d\vec{l}$  d'un fil conducteur, de section  $S$ , parcouru par un courant  $I$ , placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$ . La force agissant par unité de volume est  $\vec{f} = nq\vec{v} \wedge \vec{B} \Rightarrow$  La force totale sur un élément de

0,5pt

longueur  $dl$  du conducteur est donc :

0,5pt

$d\vec{F} = \vec{f} Sdl = Sdl nq\vec{v} \wedge \vec{B} = Sdl \vec{j} \wedge \vec{B} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$

0,5pt

2- La force magnétique  $\vec{F}_1$  agissant sur le segment AB.  $\vec{F}_1 = -2IBR \vec{j}$

0,5pt

3- La force magnétique  $\vec{F}_2$  agissant sur la partie en demi-cercle :

Pour des raisons de symétrie, la force totale est portée par l'axe OY

(Figure1), soit  $F_2 = 2 \int dF_{2y} = 2 \int dF_2 \cos \theta = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} IBR \sin \theta d\theta = 2IBR$

0,5pt

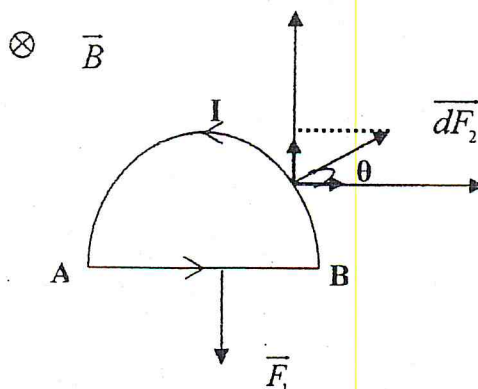
$\vec{F}_2 = 2IBR \vec{j}$

0,5pt

4- La force totale agissant sur tout le circuit  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$ .

0,5pt

Figure1





## EPREUVE FINALE D'ELECTRICITE

### Question de cours: (02pts)

La figure 1 représente un dipôle électrique constitué par deux charges ponctuelles  $(+q)$  et  $(-q)$ , séparées par une distance  $d$  et de moment dipolaire  $\vec{p}$ . Déterminer l'expression du potentiel électrique  $V$  créé en un point  $M$  situé à une distance  $r$  du centre  $O$  de ce dipôle en fonction de  $r$ ,  $\theta$  et  $p$ . On suppose que  $d \ll r$ .

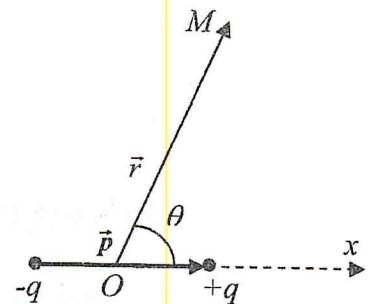


Figure 1

### Exercice 1: (10pts)

Un conducteur sphérique creux A initialement neutre de rayon intérieur  $2R$  et rayon extérieur  $4R$ , entoure un deuxième conducteur sphérique B de rayon  $R$  porté à un potentiel  $V_0$  par l'intermédiaire d'un générateur (figure 2). Le conducteur B porte une charge  $Q_0$ .

- 1) Quelles sont les charges portées par les surfaces intérieure et extérieure du conducteur A. Justifier.
- 2) En appliquant le théorème de Gauss, déterminer l'expression du champ électrique  $E$  dans les quatre régions suivantes :

$$r < R, R < r < 2R, 2R < r < 4R \text{ et } r > 4R.$$

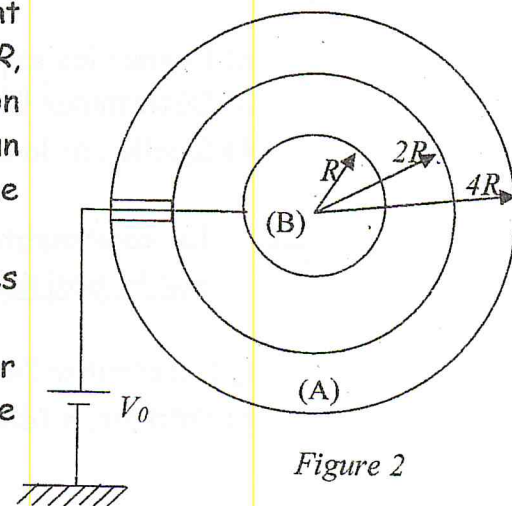
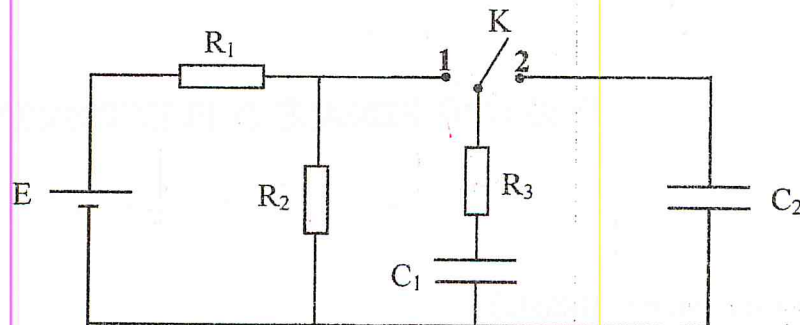


Figure 2

- 3) En considérant que  $V_A$  est le potentiel du conducteur A et sachant que le potentiel électrique est nul à l'infini, déterminer l'expression du potentiel électrique dans les quatre régions.
- 4) Déduire la charge  $Q_0$  en fonction de  $R$ ,  $V_0$  et la permittivité du vide  $\epsilon_0$ .

**Exercice 2 : (00 pts)**

On considère le montage ci-dessous dans lequel les condensateurs de capacités  $C_1$  et  $C_2$  sont initialement déchargés.



$$E = 12 \text{ V}, R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 2 \text{ k}\Omega, R_3 = 5 \text{ k}\Omega, \\ C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}, C_2 = 3 \text{ }\mu\text{F}.$$

**I- On place l'interrupteur K sur la position (1)**

1) Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de la charge  $q_1(t)$  du condensateur  $C_1$  en fonction du temps. Montrer que l'on peut la mettre sous la

forme :

$$\frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{\tau} = S$$

2) Donner les expressions de  $S$  et de  $\tau$  et préciser leurs valeurs numériques.

3) Déterminer l'expression de  $q_1(t)$ .

4) Quelle est la charge finale de ce condensateur.

**II- Le condensateur de capacité  $C_1$  étant entièrement chargé. On place K sur la position (2).**

1) Déterminer l'expression de la charge  $q_2(t)$  du condensateur de capacité  $C_2$ .

2) Calculer, à l'équilibre, la charge finale de chaque condensateur.



## Corrigé de l'épreuve finale d'électricité

Question de cours : (02 pts)

Le potentiel créé par le dipôle au point M :

$$V = V_{+q} + V_{-q} = Kq \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = Kq \left( \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2} \right)$$

Soit H la projection de B sur AM (avec  $d \ll r_1$  et  $r_2$ ):

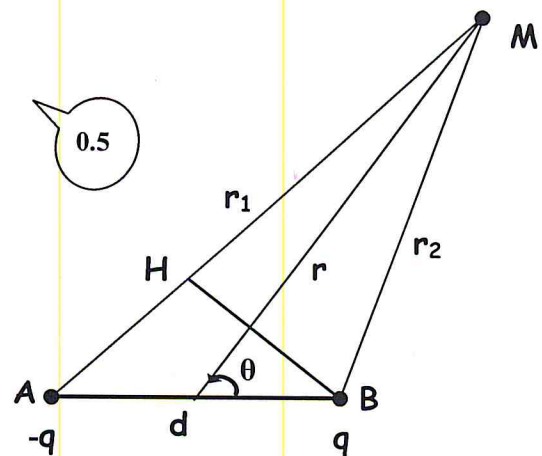
$$AH = d \cos \theta \cong r_1 - r_2$$

D'autre part, on peut faire l'approximation :

$$r_1 \cong r_2 \cong r$$

L'angle  $\theta$  est pratiquement égal aux angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$ .

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2}$$

Exercice 1 : (09 pts)

1) - Le champ étant nul à l'intérieur du conducteur A (équilibre électrostatique)

$$\phi = \oint \vec{E}_{\text{int}} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} = \frac{Q_0 + Q_{A\text{int}}}{\epsilon_0} = 0, \Rightarrow Q_{A\text{int}} = -Q_0$$

- Conservation de la charge du conducteur A  $\Rightarrow Q_{A\text{ext}} + Q_{A\text{int}} = 0 \Rightarrow Q_{A\text{ext}} = -Q_{A\text{int}} = Q_0$ 

$$2) - \text{Calcul du champ } \oint \vec{E}_2 \cdot d\vec{S} = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0}$$

$$\bullet \quad r \leq R, \sum Q_i = 0 \Rightarrow E_1 = 0.$$

$$\bullet \quad R \leq r \leq 2R, \sum Q_i = Q_0 \Rightarrow E_2 = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$\bullet \quad 2R \leq r \leq 4R, \sum Q_i = 0 \Rightarrow E_3 = 0.$$

$$\bullet \quad r \geq 4R, \sum Q_i = Q_0 \Rightarrow E_4 = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

3) - Expression du potentiel :  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} = -E dr$ 

Conditions de continuité:

$$V_1(R) = V_2(R) = V_0, \quad V_2(2R) = V_3(2R) \quad \text{et} \quad V_3(4R) = V_4(4R)$$

- $r \leq R, V_1(r) = V_0$  (0.5)
  - $R \leq r \leq 2R, \Rightarrow V_2(r) = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) + V_0$  (1)
  - $2R \leq r \leq 4R, V_3(r) = V_A = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_0}{2R} + V_0$  (0.5)
  - $r \geq 4R, \Rightarrow V_4(r) = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{3}{4R} \right) + V_0$  (1)
- 4)- En posant,  $V_4(\infty) = 0$  on a :  $V_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{3Q_0}{4R} \Rightarrow Q_0 = \frac{16}{3} \pi\epsilon_0 R V_0$  (0.5)

### Exercice 2 : (09 pts)

#### I)- Interrupteur sur la position (1)

1) Loi des nœuds :  $I = I_2 + I_1$  (0.25)

$$-E + R_1 I + R_2 I_2 = 0$$
 (0.25)

Loi des mailles :  $R_2 I_2 - \frac{q_1}{C_1} - R_3 I_1 = 0$  et  $I_1 = \frac{dq_1}{dt}$  (0.25)

En éliminant les courants  $I$  et  $I_2$  on a :

$$[R_1 R_2 + R_3 (R_1 + R_2)] I_1 = R_2 E - (R_1 + R_2) \frac{q_1}{C_1}$$
 (0.5)

En remplaçant  $I_1 = \frac{dq_1}{dt}$  on obtient l'équation

différentielle régissant l'évolution de la charge  $q_1(t)$  du condensateur de  $C_1$

$$\frac{dq_1}{dt} + \frac{(R_1 + R_2)}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) C_1} q_1 = \frac{R_2 E}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}$$
 (1.5)

2) Elle est sous la forme :  $\frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{\tau} = S$  avec :

$$\tau = \frac{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) C_1}{(R_1 + R_2)} \text{ et } S = \frac{R_2 E}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}$$
 (0.25)

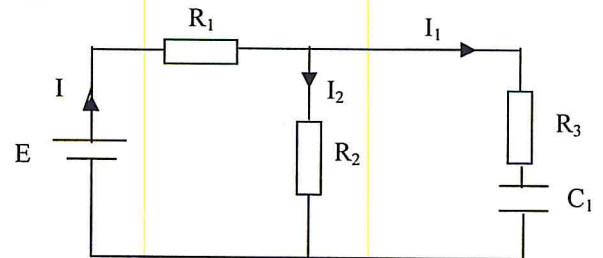
AN  $\tau = 5,67 \text{ ms}$  et  $S = 1,41 \text{ mA}$  (0.25+0.25)

3) Solution sans second membre :  $\frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{\tau} = 0 \Rightarrow q_1 = A e^{-\frac{t}{\tau}}$

Solution particulière :  $q_1 = C^{ste} \Rightarrow q_1 = \tau S$

Solution générale : avec  $q_1(0) = 0 \Rightarrow q_1(t) = Q_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$  (0.5)

4) La charge finale :  $Q_0 = \tau S$ , AN  $Q_0 = 8 \mu C$  (0.5)





II)- Le condensateur de capacité  $C_1$  étant entièrement chargé. On place l'interrupteur sur la position (2).

1) Loi de la maille :  $-\frac{q_1}{C_1} + R_3 I + \frac{q_2}{C_2} = 0$  0.5

avec  $I = -\frac{dq_1}{dt} = \frac{dq_2}{dt}$  et  $q_1(t) + q_2(t) = Q_0 = \tau S$  0.5

L'équation différentielle de  $q_2$  est :

$$\frac{dq_2}{dt} + \left( \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_3 C_2} \right) q_2 = \frac{\tau S}{R_3 C_1}$$
 1

La solution est donnée par :

$$q_2(t) = \frac{C_2 \tau S}{C_1 + C_2} \left( 1 - e^{-\frac{(C_1 + C_2)t}{R_3 C_1 C_2}} \right)$$
 0.5

2) A l'équilibre

$$Q_2 = q_2(\infty) = \frac{C_2 Q_0}{C_1 + C_2} \quad \text{or} \quad q_1 + q_2 = Q_0 = \tau S \Rightarrow Q_1 = Q_0 - \frac{C_2 Q_0}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 Q_0}{C_1 + C_2}$$

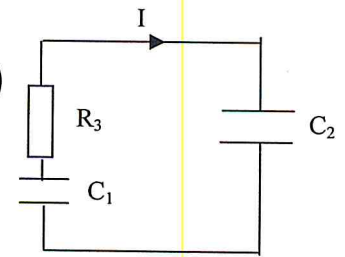
0.25

0.25

AN  $Q_1 = 2 \mu C$  et  $Q_2 = 6 \mu C$

0.25

0.25



## Epreuve Finale d'électricité

## Exercice 1 :(04 points)

Soient trois charges ponctuelles  $Q_A$ ,  $Q_B$  et  $Q_C$  placées aux sommets d'un triangle équilatéral ABC de côté  $a$  (Figure 1).

- 1- Déterminer et représenter le vecteur champ électrique crée par ces trois charges au centre de gravité O du triangle. (02 points)
- 2- Calculer le potentiel crée par ces trois charges au point O (01 point)
- 3- Calculer l'énergie interne du système des trois charges. (01 point)

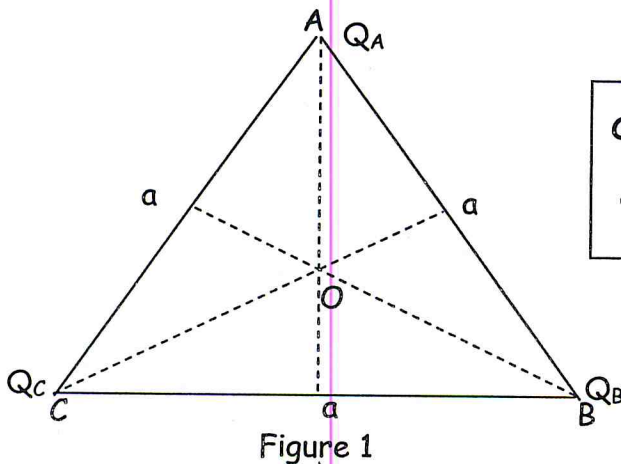


Figure 1

On donne :  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ M.K.S.A}$ ,  $a = \sqrt{3} \text{ cm}$ .

$Q_A = -2q$ ,  $Q_B = q$ ,  $Q_C = q$  et  $q = 1 \text{ nC}$

## Exercice 2 :(08 points)

On considère un fil de longueur  $L$ , de densité linéique  $\lambda$  positive, qui porte une charge totale  $Q$ . Il est placé suivant l'axe des  $y$  tel que montré sur la figure 2.

- 1- Donner l'expression des composantes du champ électrique,  $E_x$  et  $E_y$ , crée par ce fil au point M situé sur l'axe des  $x$ , tel que  $OM = x$ , en fonction de  $K$ ,  $\lambda$ ,  $x$ ,  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ . (4 pts)
- 2- Montrer que ce champ s'écrit  $\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{x} \vec{i}$  lorsque le fil devient infini (1 pt)
- 3- Au point M situé à une distance  $d$  du fil, on place un dipôle  $\vec{p}$ , mobile autour de son milieu et faisant un angle  $\theta$  avec l'horizontale (figure 3).
  - a- Donner l'expression du moment du couple du dipôle placé dans le champ électrique du fil au point M. (1 pt)

- b- Quelle est l'expression de l'énergie potentielle de ce dipôle (1 pt)  
 c- Quel est le travail nécessaire pour que ce dipôle arrive à sa position d'équilibre stable. (1 pt)

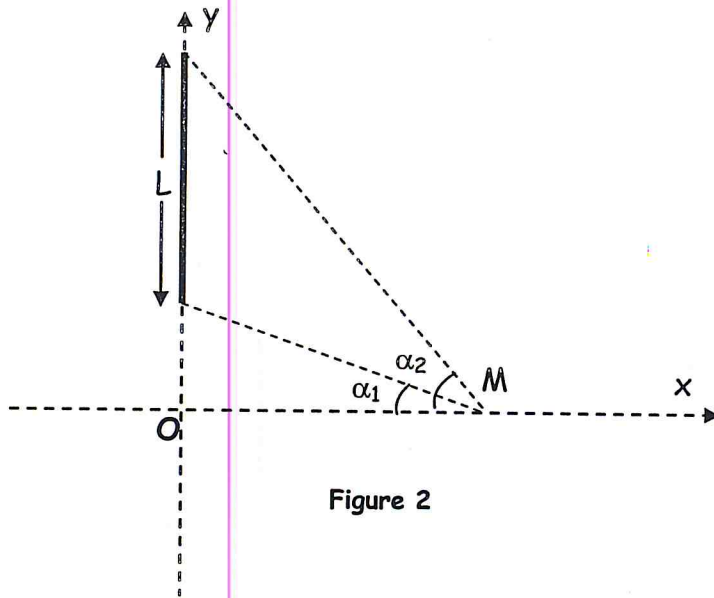


Figure 2

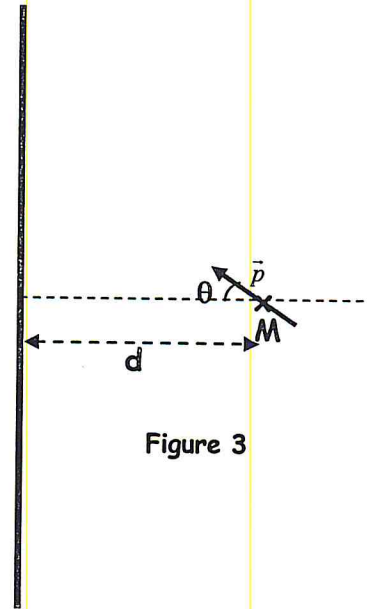
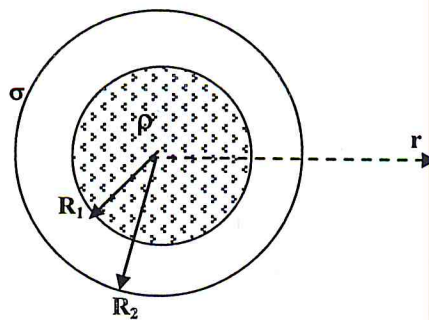


Figure 3

**Exercice 3 :(08 points)**

On considère deux sphères concentriques de même centre  $O$  et de rayons respectifs  $R_1$  et  $R_2 = \sqrt{2.5} R_1$ , portant des charges telles que :

- La sphère interne ( $O, R_1$ ) porte une densité de charges volumique  $\rho = \frac{2.5}{r} (C/m^3)$
- La sphère externe ( $O, R_2$ ) porte une densité de charge surfacique  $\sigma = -0.5 C/m^2$ .



- 1- Calculer les charges totales portées par chaque sphère. (2 pts)
- 2- Déterminer le champ électrique en tout point de l'espace ( $0 < r < \infty$ ) (3pts)
- 3- Dédire le potentiel électrique en tout point de l'espace.(3pts)



## Corrigé de l'examen

### Exercice 1 :

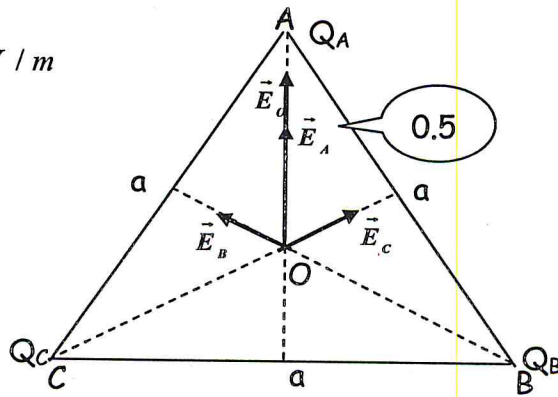
1- Champ électrique au point O :  $OA = OB = OC = a \frac{\sqrt{3}}{3} = 1 \text{ cm}$

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C$$

$$E_A = \frac{KQ_A}{OA^2} = \frac{6Kq}{a^2} = 18 \cdot 10^4 \text{ V/m} = 2E_B = 2E_C \quad (\text{Echelle : } 1 \text{ cm} \text{ ----- } 9 \cdot 10^4 \text{ V/m})$$

$$\vec{E}_0 = \begin{cases} E_{0x} = E_C \cos 30^\circ - E_B \cos 30^\circ = 0 \text{ V/m} \\ E_{0y} = E_A + E_C \sin 30^\circ + E_B \sin 30^\circ = E_A + E_C = 3E_C = 27 \cdot 10^4 \text{ V/m} \end{cases}$$

$$\vec{E}_0 = (27 \cdot 10^4 \vec{j}) \text{ V/m}$$



2- Potentiel au point O :  $V_0 = V_A + V_B + V_C = \frac{K}{OA} (Q_A + Q_B + Q_C) = 0 \text{ V}$

3- Energie interne :  $U = \frac{KQ_A Q_B}{AB} + \frac{KQ_A Q_C}{AC} + \frac{KQ_B Q_C}{BC} = \frac{K}{a} (-2q^2 - 2q^2 + q^2) = \frac{3Kq^2}{a}$   
 $U = 5.2 \cdot 10^{-7} \text{ Joules}$

### Exercice 2 :

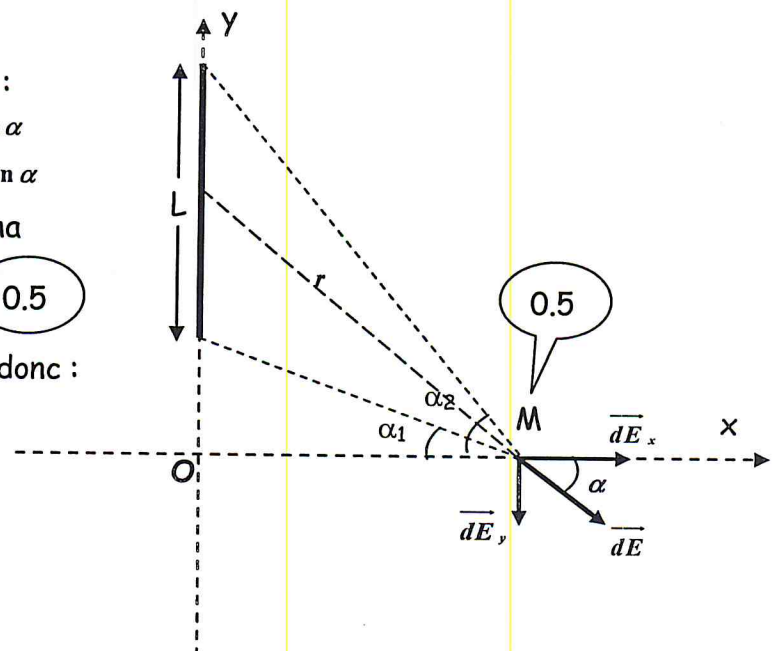
1- Champ crée par le fil au point M :

$$\vec{dE} = \frac{Kdq}{r^2} \vec{u} = \frac{K\lambda dy}{r^2} \vec{u} \Rightarrow \begin{cases} dE_x = dE \cos \alpha \\ dE_y = -dE \sin \alpha \end{cases}$$

On exprime tout en fonction de alpha

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} \Rightarrow r = \frac{x}{\cos \alpha} \text{ et}$$

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} \Rightarrow y = x \tan \alpha \Rightarrow dy = \frac{x}{\cos^2 \alpha} d\alpha \text{ donc :}$$



$$\begin{cases} dE_x = dE \cos \alpha = \frac{K \lambda dy}{r^2} \cos \alpha = \frac{K \lambda}{x} \cos \alpha \\ dE_y = -dE \sin \alpha = -\frac{K \lambda dy}{r^2} \sin \alpha = -\frac{K \lambda}{x} \sin \alpha \end{cases} \text{ en intégrant entre } \alpha_1 \text{ et } \alpha_2 \text{ on a :}$$

$$1.5 \quad E_x = \frac{K \lambda}{x} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \quad \text{et} \quad E_y = \frac{K \lambda}{x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad 1.5$$

2- Si le fil est infini donc  $\alpha_1 = -\pi/2$  et  $\alpha_2 = \pi/2$

$$\text{et enfin : } E_x = \frac{2K\lambda}{x} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} \quad \text{et} \quad E_y = 0 \quad 1$$

3- a - moment du couple :

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}_M \Rightarrow \tau = p E_M \sin(\pi - \theta) = p E_M \sin \theta \quad 1$$

b- Energie potentielle :

$$E_p = -\vec{E}_M \cdot \vec{p} \Rightarrow E_p = -p E_M \cos(\pi - \theta) = p E_M \cos \theta \quad 1$$

c-Travail entre position initiale et finale :

$$W = -\Delta E_p = E_{pi} - E_{pf} = p E_M (1 + \cos \theta) \quad 1$$

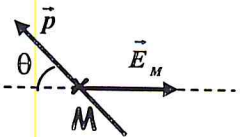


Figure 3

Exercice 3 :

1- Charges des deux sphères :

$$\text{- Sphère 1 : } Q_1 = \int_0^{R_1} \rho dV = \int_0^{R_1} \frac{2.5}{r} 4\pi r^2 dr = 10\pi \int_0^{R_1} r dr = 5\pi R_1^2 \quad 1$$

$$\text{- Sphère 2 : } Q_2 = \int_0^{R_2} \sigma dS = \sigma S = \sigma 4\pi R_2^2 = -0.5 4\pi (\sqrt{2.5} R_1)^2 = -5\pi R_1^2 \quad 1$$

2- Les équipotentiels sont des sphères donc le champ est radial,

$$\text{Théorème de Gauss : } \iint \vec{E} \cdot \vec{dS} = \frac{\sum Q_{int}}{\epsilon_0}$$

Le champ est constant sur la surface de Gauss :

$$\iint \vec{E} \cdot \vec{dS} = \iint E dS = E \iint dS = ES = E 4\pi r^2$$

$$0 < r \leq R_1 \Rightarrow \sum Q_{int} = \int_0^r \rho dV = \int_0^r \frac{0.25}{r} 4\pi r^2 dr = 5\pi r^2 \Rightarrow E_1 = \frac{5}{4\epsilon_0} \quad 1$$

$$R_1 < r \leq R_2 \Rightarrow \sum Q_{int} = \int_0^{R_1} \rho dV = Q_1 = 5\pi R_1^2 \Rightarrow E_2 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{5R_1^2}{4\epsilon_0 r^2} \quad 1$$

$$r \geq R_2 \Rightarrow \sum Q_{int} = Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow E_3 = 0 \quad 1$$

3- Potentiel électrique :

$$0 < r \leq R_1 \Rightarrow dV = -\vec{E} \cdot \vec{dl} = -E dr \Rightarrow V(r) = -\int E dr \Rightarrow V_1 = -\frac{5}{4\epsilon_0} r + C_1 \quad 0.5$$

$$R_1 < r \leq R_2 \Rightarrow V_2 = \frac{5R_1^2}{4\epsilon_0 r} + C_2 \quad \text{et} \quad r \geq R_2 \Rightarrow V_3 = C_3$$

Détermination des constantes :

$$V_3(\infty) = 0 \Rightarrow C_3 = 0$$

$$V_2(R_2) = V_3(R_2) \Rightarrow C_2 = -\frac{5R_1^2}{4\epsilon_0 R_2}$$

$$V_1(R_1) = V_2(R_1) \Rightarrow C_1 = -\frac{5R_1}{4\epsilon_0} \left( 2 - \frac{R_1}{R_2} \right)$$



## EPREUVE FINALE D'ELECTRICITE

### Exercice 1 :(09 points)

On considère un fil de longueur  $L$  uniformément chargé, de densité linéique  $\lambda$  positive. Il est placé suivant l'axe des  $y$  tel que montré sur la figure 1.

- 1- Montrer que les composantes du champ électrique créée par ce fil au point  $M$  situé sur l'axe des  $x$ , tel que  $OM = L$ , sont :

$$E_x = \frac{K\lambda}{L}(\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \quad \text{et} \quad E_y = \frac{K\lambda}{L}(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (03 \text{ pts}).$$

- 2- Un second fil identique au précédent est placé parallèlement suivant  $O'y$  tel que  $O'M=L$  (Figure 2). En utilisant le résultat de la première question, donner l'expression du champ  $\vec{E}$  créé par les deux fils au point  $M$  (01 pt).

- 3- Que devient ce champ électrique si  $\alpha_1 = 0$  et  $\alpha_2 = \pi/4$  (01 pt)

- 4- On place, maintenant, un dipôle  $\vec{p}$  au point  $M$ , mobile autour de son milieu et faisant un angle  $\theta$  avec l'horizontale (figure 2).

- a- Donner l'expression du moment du couple  $\vec{M}$  du dipôle placé dans le champ électrique au point  $M$  en fonction  $K, \lambda, L, p$  et  $\theta$ . (01 pt)

- b- Quelle est l'expression de l'énergie potentielle  $E_p$  de ce dipôle (01 pt)

- c- Quel est le travail nécessaire,  $W$ , pour que ce dipôle arrive à sa position d'équilibre stable. (1 pt)

- d- Calculer  $M, E_p$  et  $W$  si  $p = 10^{-15} \text{ C.m}$ ,  $\lambda = 10^{-7} \text{ C/m}$ ,  $L = 2 \text{ cm}$  et  $\theta = \pi/3 \text{ rd}$  (01 pt)

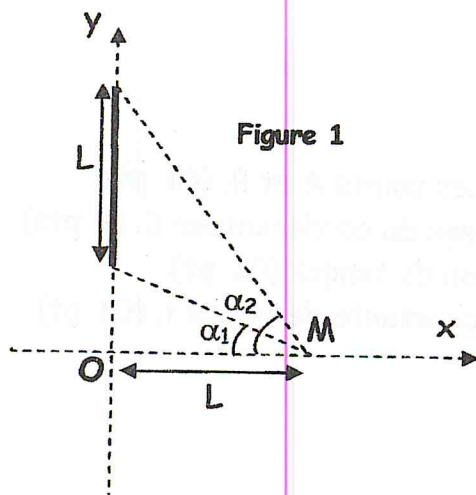


Figure 1

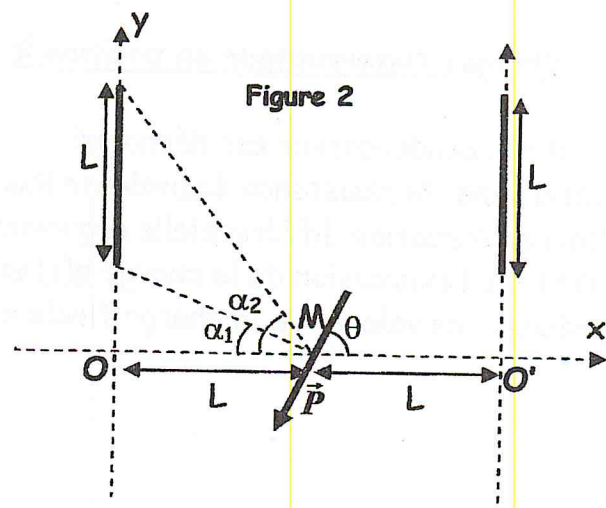
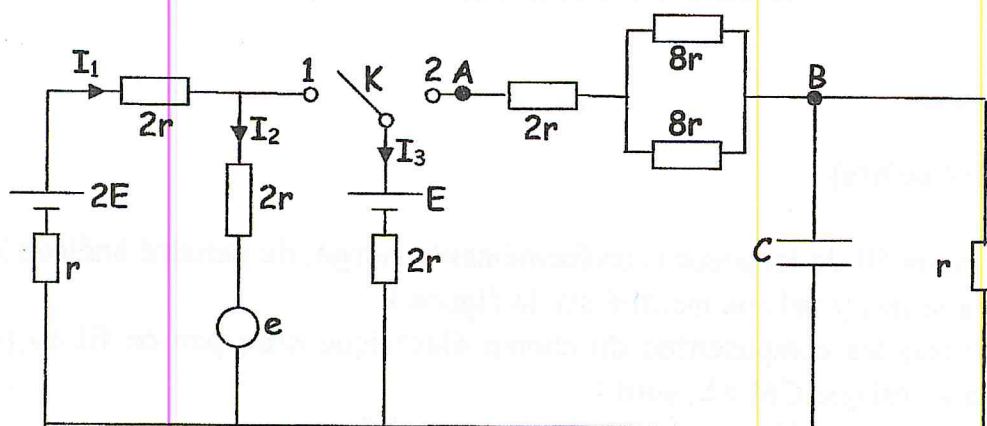


Figure 2

## Exercice 2 :(11 points)

Soit le circuit électrique suivant. Il est constitué de deux générateurs réversibles, d'un récepteur pur, d'un condensateur et de résistances.



On donne :

$E = 25 \text{ V}$ ,  $r = 0.5 \text{ k}\Omega$  et  $C = 2 \mu\text{F}$

### Les partie I et II sont indépendantes

#### I- On met l'interrupteur K en position 1.

- 1- Déterminer les expressions des courants qui circulent dans chaque branche en fonction de  $E$ ,  $e$  et  $r$  (03 pts)
- 2- Quelle est la condition pour que le circuit fonctionne. (01 pt)
- 3- Donner les valeurs des courants pour  $e = 30 \text{ Volts}$ . (01.5 pt)
- 4- Déterminer le rendement du récepteur dans ce cas. (0.5 pt)

#### II- On met l'interrupteur en position 2

A  $t = 0 \text{ s}$  le condensateur est déchargé

- 1- Déterminer la résistance équivalente  $R_{AB}$  entre Les points A et B. (01 pt)
- 2- Donner l'équation différentielle régissant la charge du condensateur C. (2 pts)
- 3 - Dédire l'expression de la charge  $q(t)$  en fonction du temps. (01 pt)
- 4- Préciser les valeurs de la charge finale et de la constante de temps  $\tau$ . (01 pt)

Exercice 1 : (09 points)

1- Champ électrique crée par le fil :

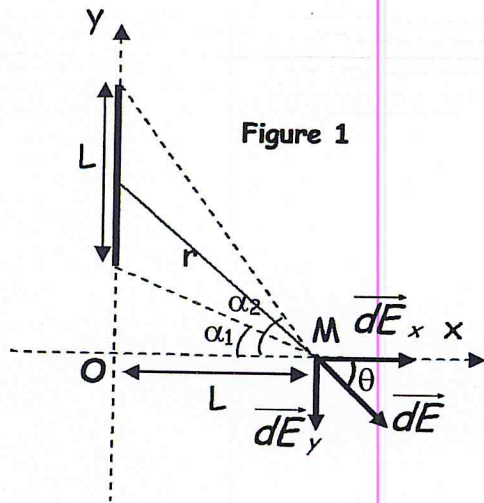


Figure 1

$$dE = \frac{K\lambda dl}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} dE_x = dE \cos \theta \\ dE_y = -dE \sin \theta \end{cases}$$

Avec :  $r = \frac{L}{\cos \theta}$  et  $dl = \frac{L}{\cos^2 \theta} d\theta$

$$\vec{E} \begin{cases} E_x = \frac{K\lambda}{L} \int \cos \theta d\theta = \frac{K\lambda}{L} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \\ E_y = -\frac{K\lambda}{L} \int \sin \theta d\theta = \frac{K\lambda}{L} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \end{cases}$$

2- Champ crée par les deux fils, par symétrie on a :  $\vec{E} \begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = \frac{2K\lambda}{L} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \end{cases}$

3- si  $\theta_1 = 0$  et  $\theta_2 = \pi/4$  on a :  $\vec{E} = \frac{K\lambda}{L} (\sqrt{2} - 2) \vec{j}$

a -  $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E} \Rightarrow M = \frac{Kp\lambda}{L} (\sqrt{2} - 2) \cos \theta$

4- l'angle  $(\vec{p}, \vec{E}) = \frac{\pi}{2} - \theta$  donc : b -  $E_p = -\vec{p} \cdot \vec{E} \Rightarrow E_p = -\frac{Kp\lambda}{L} (\sqrt{2} - 2) \sin \theta$

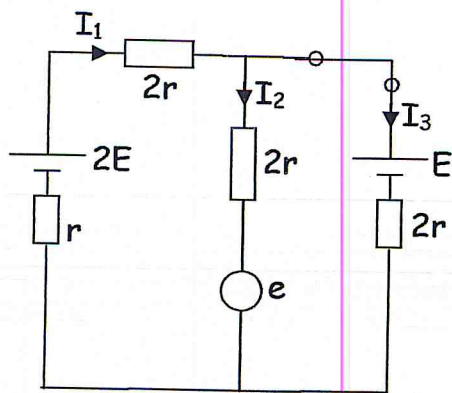
c -  $W = -\Delta E_p = \frac{Kp\lambda}{L} (\sqrt{2} - 2) (1 - \sin \theta)$

d- A.N :  $M = -2.63 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}$  ;  $E_p = -4.528 \cdot 10^{-11} \text{ J}$  ;  $W = -0.7 \cdot 10^{-11} \text{ J}$



## Exercice 2 : (11 points)

Partie I : 1- Expressions des courants :



Loi des nœuds :  $I_1 = I_2 + I_3$

Loi des mailles : 
$$\begin{cases} 3rI_1 + 2rI_2 - 2E + e = 0 \\ 2rI_3 - 2rI_2 - e + E = 0 \end{cases}$$

On obtient :  $I_1 = \frac{6E - 2e}{16r}$  ;  $I_2 = \frac{7E - 5e}{16r}$  ;  $I_3 = \frac{3e - E}{16r}$

3 x 1

2- Pour que le circuit fonctionne il faut que  $I_2 > 0$  donc :

$e < 35 \text{ Volts}$

1

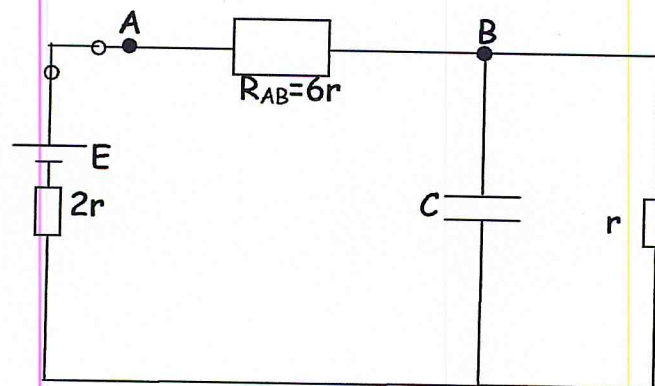
3- A.N :  $I_1 = 11.25 \text{ mA}$  ;  $I_2 = 3.125 \text{ mA}$  ;  $I_3 = 8.125 \text{ mA}$

3 x 0.5

4- Rendement du récepteur :  $R = \frac{P_u}{P_f} = \frac{e}{e + rI_2} = 90.5\%$

0.5

Partie II :



1- Résistance équivalente :  $R_{AB} = 2r + \frac{8r * 8r}{16r} = 6r$

1

2- Loi des nœuds :  $i = i_c + i_2$

Loi des mailles : 
$$\begin{cases} 6ri + \frac{q}{C} + 2r - E = 0 \\ \frac{q}{C} - ri_2 = 0 \end{cases}$$

0.5

Equation différentielle :  $\frac{dq}{dt} + \frac{9q}{8rC} = \frac{E}{8r}$

2

3- Solution :  $q(t) = q_1(t) + q_2(t) = Q_f(1 - \exp(-t/\tau))$

0.5

4-  $Q_f = \frac{EC}{9} = 5.55 \mu\text{C}$

0.5

$\tau = \frac{8rC}{9} = 0.89 \text{ ms}$

0.5

RATTRAPAGE (1H 30)

Exercice 1 :

Le circuit électrique suivant est constitué d'un générateur de force électromotrice  $E$ , de résistance interne  $r$ , de trois résistances d'un interrupteur  $K$  et d'un condensateur de capacité  $C$  (voir figure 1)

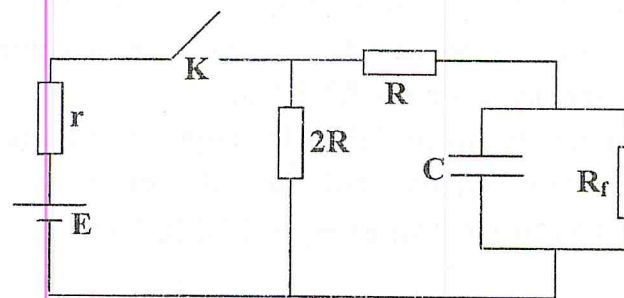


Figure 1

A l'instant  $t=0$  s, on ferme l'interrupteur  $K$ , le condensateur étant initialement déchargé.

I- Régime transitoire :

- a- Ecrire les équations de Kirchhoff
- b- Dédire l'équation différentielle régissant la charge du condensateur  $C$
- c- Dédire l'expression de la charge en fonction du temps.  
Préciser les expressions de la charge finale et de la constante temps.
- d- Quelle est l'énergie totale emmagasinée dans le condensateur  $C$

II- Régime permanent :

Le condensateur est complètement chargé.

- a. Déterminer le courant circulant dans chaque branche du circuit
- b. Donner l'expression de la puissance fournie par le générateur
- c. Quelle est la puissance dissipée par effet joule dans le circuit
- d. Donner la tension aux bornes du condensateur  $C$ .

### Exercice 2 :

Dans le spectromètre de Dempster, les ions  $^{79}\text{Br}^-$  pénètrent en O dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$  créée par une différence de potentiel  $U = 2 \cdot 10^3$  Volts. Arrivés en A ces ions sortent avec une vitesse  $\vec{v}$  et sont soumis à un champ magnétique  $\vec{B}$  perpendiculaire à la vitesse (voir figure 2).

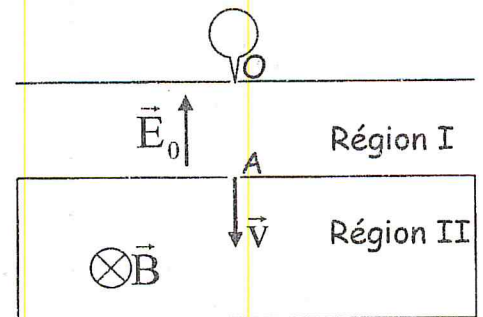


Figure 2

- 1- Quelle est la nature du mouvement des ions dans les régions I et II
- 2- Déduire leur vitesse au point A sachant que la vitesse en O est nulle.
- 3- Quelle intensité faut-il donner à  $\vec{B}$  pour que ces ions décrivent une trajectoire circulaire de rayon  $R = 57.24$  cm.
- 4- Quelle est la variation du rayon  $\Delta R$  de la trajectoire circulaire lorsque les ions  $^{79}\text{Br}^-$  sont remplacés par des ions  $^{81}\text{Br}^-$ . On donne :

$$\|\vec{B}\| = 0.1 \text{ Tesla} \quad m_{79} = 1.3104 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \text{ et } m_{81} = 1.3436 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

### Exercice 3:

Une boucle circulaire de rayon  $R = 10$  cm porte une charge  $Q = +\sqrt{3} \cdot 10^{-6}$  C répartie uniformément sur toute sa longueur (Figure 3).

1- Déterminer l'expression du champ électrique créé par la boucle en un point  $M(y)$  situé sur l'axe Oy.

2- En déduire l'expression du potentiel électrique en ce point (on prendra  $V(\infty) = 0$ ).

3- On place au point M d'ordonnée  $y = R \sqrt{3}$  un dipôle électrique de moment dipolaire  $\vec{p}$  faisant un angle  $\theta$  avec l'axe Oy.

a- Exprimer en fonction de  $p$ ,  $R$  et  $\theta$ , l'énergie potentielle du dipôle.

b- Donner l'expression du travail nécessaire pour ramener le dipôle à sa position d'équilibre stable en fonction de  $p$ ,  $\theta$  et  $R$ .

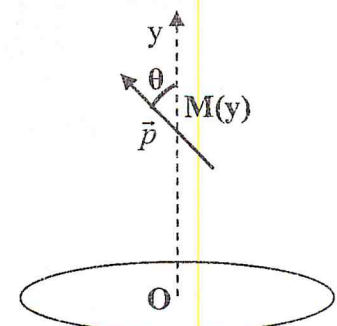


Figure 3



## Corrigé de l'examen de Rattrapage

### Exercice 1 :

I- Régime permanent :

a- C chargé donc  $I_c = 0$  et  $I_1 = I_f$

$$R_1 = R \quad R_2 = 2R$$

Loi des nœuds :  $I = I_1 + I_2$  et Loi des mailles  $\begin{cases} R_2 I_2 + r I - E = 0 \\ (R_1 + R_f) I_1 - R_2 I_2 = 0 \end{cases}$

Donc :

$$\begin{cases} I_1 = \frac{2ER}{2rR + (R + R_f)(2R + r)} \\ I_2 = \frac{E(R + R_f)}{2rR + (R + R_f)(2R + r)} \\ I = I_1 + I_2 = \frac{E(R + R_f + 2R)}{2rR + (R + R_f)(2R + r)} \end{cases}$$

b- Puissance fournie :  $P_f = EI = \frac{E^2(R + R_f + 2R)}{2rR + (R + R_f)(2R + r)}$

c- Puissance par effet Joule :  $P_j = R_{eq} I^2 = \left[ r + \frac{2R(R + R_f)}{(2R + R + R_f)} \right] I^2$

d- Tension du condensateur :  $V_c = R_f I_1$

II- Régime transitoire :

a- Loi des nœuds :  $i = i_1 + i_2$  et  $i_1 = i_c + i_f$  et  $i_c = \frac{dq}{dt}$

Loi des mailles : I  $\Rightarrow 2Ri_2 + ri = E$

II  $\Rightarrow Ri_1 + \frac{q}{C} - 2Ri_2 = 0$

III  $\Rightarrow R_f i_f - \frac{q}{C} = 0$

b- Equation différentielle :  $\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{E}{Re q}$

Avec :  $\tau = \frac{[3r + 2R]RR_f C}{[R_f(r + 2R) + R(3r + 2R)]}$  et  $Re q = \frac{[3r + 2R]}{2}$

c- Expression de la charge :

$$q(t) = Q_f (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \text{et} \quad Q_f = \frac{2RR_f CE}{[R_f(r + 2R) + R(3r + 2R)]}$$

d- Energie interne  $U = \frac{1}{2} \frac{Q_f^2}{C}$

## Exercice n° 2 :

a- Région I :  $\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow qE = ma \Rightarrow a = \frac{qE}{m} = \text{Cte}$  Mouvement rectiligne uniformément accéléré (1)

Région II :  $\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow qvB = ma_N = m\frac{v^2}{R}$  Mouvement circulaire uniforme (1)

b- Région I :  $\Delta E_c = -\Delta E_p \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = qU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = 6.9910^4 \text{ m/s}$  (1)

c- Région II :  $qvB = ma_N = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow B = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{q}} = 0.1 \text{ T}$  (1)

d-  $\Delta R = R_{81} - R_{79} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2U}{q}}\{\sqrt{m_{81}} - \sqrt{m_{79}}\} = 0.72 \text{ cm}$  (2)

## Exercice 3 :

1- Par symétrie  $\vec{E}$  est suivant  $oy$  :  $\vec{E} = \frac{KyQ}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \vec{j}$  (2)

2- Potentiel  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} \Rightarrow V(y) = \frac{KQ}{\sqrt{R^2 + y^2}}$  avec :  $V(\infty) = 0$  (1.5)

3-  $y = R\sqrt{3} \Rightarrow E = \frac{KQ\sqrt{3}}{8R^2}$  (2.5)

a-  $E_{p_i} = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \theta$   $E_{p_f} = -pE$  (2.5)

b-  $W = -\Delta E_p = pE(\cos \theta - 1) = \frac{\sqrt{3}KQp}{8R^2}(\cos \theta - 1)$  (1)

EPREUVE FINALE DE PHYSIQUE 2 (1H 30)

Exercice 1(8 points):

I- Un conducteur de forme quelconque homogène, en équilibre électrostatique, porte une charge  $Q$ .

- 1- Que vaut le champ électrique à l'intérieur de ce conducteur ?
- 2- Que vaut le potentiel électrique à l'intérieur de ce conducteur ?
- 3- Où est située la charge  $Q$  ?

II- Nous disposons maintenant d'un câble coaxial, cylindrique, constitué de deux cylindres conducteurs infiniment longs, d'axe  $oz$ , séparés par le vide. Le premier est plein de rayon  $R_1$ , de potentiel  $V_0$  et porte une charge  $Q_1$ . Le second est creux, de rayon  $R_2$  est relié au sol (voir figure 1)

- 1- Quel est le signe de  $Q_1$
- 2- L'ensemble étant à l'équilibre, quelle est la charge  $Q_2$  de la face interne du cylindre externe. Justifier.
- 3- Déterminer, à l'aide du théorème de Gauss, la direction, le sens et le module du champ électrique entre les deux conducteurs ( $R_1 < r < R_2$ ).
- 4- a- En utilisant la circulation du champ électrique ( $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$ ) donner l'expression de la charge  $Q_1$  en fonction de  $V_0$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .  
b- Dédurre l'expression de la capacité du câble coaxial  
c- Calculer cette capacité par unité de longueur
- 5- En appliquant l'expression locale de la loi d'Ohm ( $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ ) donner l'expression de la résistance de ce câble.
- 6- Donner la relation liant la résistance à la capacité.

A.N:  $R_1 = 1 \text{ mm}$ ,  $R_2 = 3 \text{ mm}$   $\ln 3 = 1.1$   $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ MKSA}$

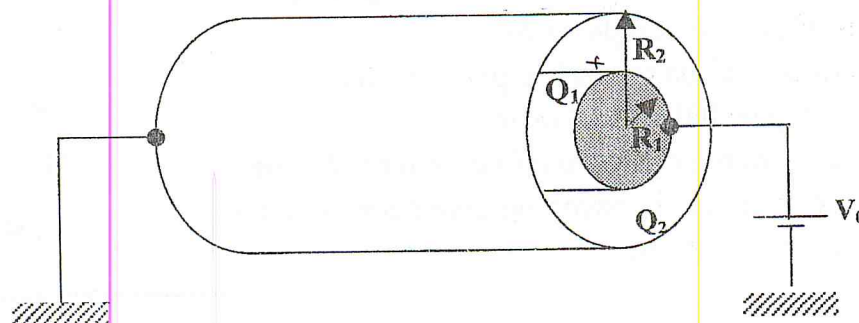


Figure 1



### Exercice 2 (8points):

Soit le circuit suivant constitué de deux générateurs réversibles de f.e.m  $E_1$  et  $E_2$  respectivement et de résistance interne  $r_1$  et  $r_2$ ; un condensateur  $C$  initialement déchargé est monté en série avec une résistance  $R$  (Voir figure 1).

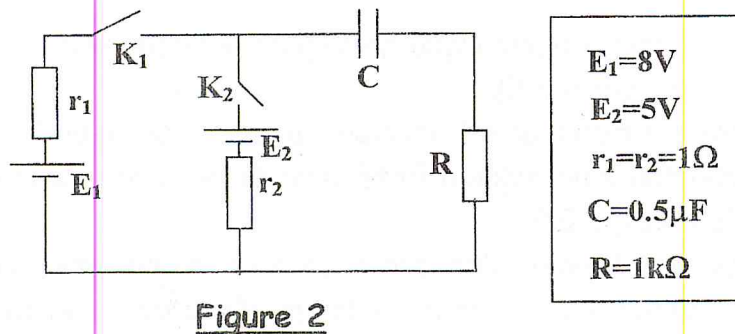


Figure 2

- 1- On ferme  $K_1$  et  $K_2$  ouvert :
  - a- Etablir l'équation différentielle régissant la charge de  $C$
  - b- Trouver la valeur de la charge finale  $Q_f$
  - c- Calculer l'énergie interne du condensateur ( $W_c$ )
  - d- Déduire l'énergie dissipée par effet joule ( $W_j$ )
- 2- On ouvre  $K_1$  et on ferme  $K_2$ 
  - a- Etablir l'équation différentielle régissant la variation de la charge de  $C$
  - b- Calculer la constante de temps  $\tau$
  - c- Donner la nouvelle valeur de la charge finale  $Q'_f$  de  $C$ .
  - d- En déduire la quantité de charge transférée.
  - e- Quel est le rôle du générateur réversible  $E_2$ . Justifier

### Exercice 3 (4 points):

On considère un fil infini parcouru par un courant d'intensité  $I$  (voir figure 3) :

- 1- Déterminer l'expression du champ magnétique d'induction  $\vec{B}$  créé en un point  $M$ .
- 2- Une charge  $(+q)$  passe par le point  $M$  avec une vitesse  $\vec{v}$  parallèle au fil infini
  - a- Dans quel sens sera déviée cette charge
  - b- Déterminer le rayon de courbure,  $\rho$ , de la trajectoire suivie par la charge.

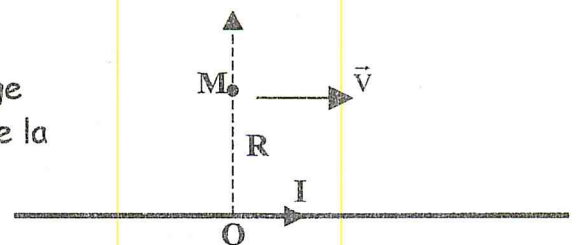


Figure 3

## Solution de l'Epreuve Finale

### Exercice 1 :

I-

1-  $\vec{E} = \vec{0}$  0.5

2-  $V = \text{constante}$  0.5

3- La charge se met sur la face extérieure du conducteur 0.5

II-

1-  $Q_1$  est positive 0.5

2- Il y a influence totale donc  $Q_2 = -Q_1$  0.5

3-  $\iint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0} \Rightarrow E \cdot 2\pi r L = \frac{Q_1}{\epsilon_0} \Rightarrow E(r) = \frac{Q_1}{2\pi\epsilon_0 r L}$  1

4- a-  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} \Rightarrow Q_1 = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(R_2/R_1)} V_0$  1

b- comme  $Q_1 = CV_0$  donc :  $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(R_2/R_1)} = \frac{L}{2K \ln(R_2/R_1)}$  1

c-  $C_1 = C/l = \frac{1}{2.9 \cdot 10^9 \ln 3} = 50 \text{ pF/m}$  0.5

5-

$j = \gamma E = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi r L} \Rightarrow E = \frac{I}{2\pi r \gamma L} \Rightarrow V_0 = -\int_{R_1}^{R_2} E \cdot dr = \frac{-I}{2\pi L \gamma} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = RI$

Donc :  $R = \frac{1}{2\pi L \gamma} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$  1

6-  $R \cdot C = \frac{\epsilon_0}{\gamma} = \rho \epsilon_0$  1

### Exercice 2 :

1- a-  $(R + r_1)i + \frac{q}{C} = E_1 \Rightarrow \frac{dq}{dt} + \frac{q}{(R + r_1)C} = \frac{E_1}{(R + r_1)}$

b-  $Q_f = CE_1 = 4 \mu C$

c-  $W_c = \frac{1}{2} Q_f^2 = 16 \cdot 10^{-6} J$

d-  $W_J = W_G - W_c = 16 \cdot 10^{-6} J$

2- a-  $(R + r_2)i' - \frac{q'}{C} + E_2 = 0 \Rightarrow \frac{dq'}{dt} + \frac{q'}{(R + r_2)C} = \frac{E_2}{(R + r_2)}$

b-  $\tau = (R + r_2)C = 0.5 \text{ ms}$

c-  $Q_f' = CE_2 = 2.5 \mu C$

d-  $\Delta Q = Q_f' - Q_f = -1.5 \mu C$

e-  $\Delta Q < 0 \Rightarrow C$  se décharge et  $E_2$  joue le rôle de récepteur

### Exercice 3

1-  $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{u}}{r^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$

2- a-  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  en appliquant la règle de la main droite, la charge est déviée vers le bas

b-  $\vec{F} \perp \vec{v} \Rightarrow W = 0 \Rightarrow v = \text{constante} \Rightarrow \text{mouvement circulaire uniforme}$

$F = ma_N \Rightarrow qvB = m \frac{v^2}{\rho} \Rightarrow \rho = \frac{mv}{qB}$



**Module : Physique 2**  
**EPREUVE FINALE D'ELECTRICITE**  
**Durée 1 h 30**

**EXERCICE 1 : (04 points)**

Soit la carte d'équipotentielle, à l'échelle 1, représentée par la figure 1

- 1- En justifiant votre réponse, déterminer sur l'axe  $Ox$  les régions où le champ électrique est :
    - a) Le plus intense
    - b) Le moins intense
  - 2- Tracer les lignes de champ passant par les points A ( $x = 4 \text{ cm}$ ,  $y = 0 \text{ cm}$ ) et B ( $x = 6 \text{ cm}$ ,  $y = 2 \text{ cm}$ )
  - 3- Calculer et représenter sur la carte d'équipotentielle le champ moyen en ces points
- Echelle : 1 cm  $\longrightarrow$  50 V/m

**EXERCICE 2 : (08 points)**

Une sphère conductrice A de rayon  $R_A = 10 \text{ cm}$  est reliée à un potentiel  $V_A = 4000 \text{ Volts}$  par l'intermédiaire d'une source de tension et porte une charge  $Q_A$  (Figure 2-a).

- 1- Calculer la densité superficielle de charge  $\sigma_A$
- 2- On déconnecte la sphère A de la source et on la place au centre d'une autre sphère conductrice B creuse reliée au sol et de rayon intérieur  $R_B = 12 \text{ cm}$  (Figure 2-b)
  - a) Donner la répartition des charges sur les deux sphères A et B.
  - b) Calculer le champ et le potentiel électriques créés par les sphères A et B en tout point M de l'espace (M étant distant de  $r$  par rapport au point O centre des deux sphères).
  - c) Donner l'allure des graphes du champ et du potentiel en fonction de  $r$ .

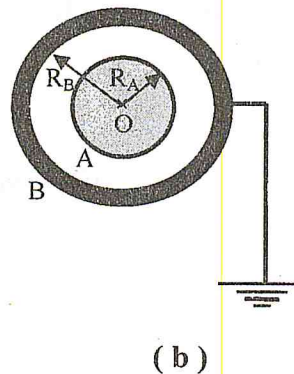
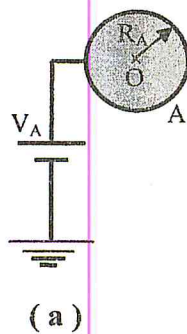


FIGURE 2

### EXERCICE 3 : ( 08 points )

On considère le schéma électrique de la figure 3 ci-dessous comprenant :

- Un générateur de f.e.m  $\mathcal{E}$  et de résistance interne  $r$
- Trois résistances  $R_1$ ,  $R_2$ , et  $R_3$
- Un condensateur de capacité  $C$  initialement déchargé
- Un interrupteur  $K$

**On donne :**  $R_1 = R_2 = R_3 = r = R$

A l'instant  $t = 0$  s, pris comme origine des temps, on ferme l'interrupteur  $K$

- 1- Etablir l'équation différentielle régissant la variation de la charge du condensateur  $q(t)$  en fonction du temps . En déduire les expressions de la charge  $q(t)$  et de  $\tau$  la constante de temps du circuit de charge du condensateur.
- 2- Trouver l'expression des courants traversant chacune des résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$
- 3- Calculer l'énergie fournie par le générateur au cours de la charge du condensateur au bout d'un temps  $t = 3\tau$  (s)
- 4- Le condensateur étant complètement chargé calculer le courant circulant dans les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  ainsi que la d.d.p aux bornes de ces éléments.

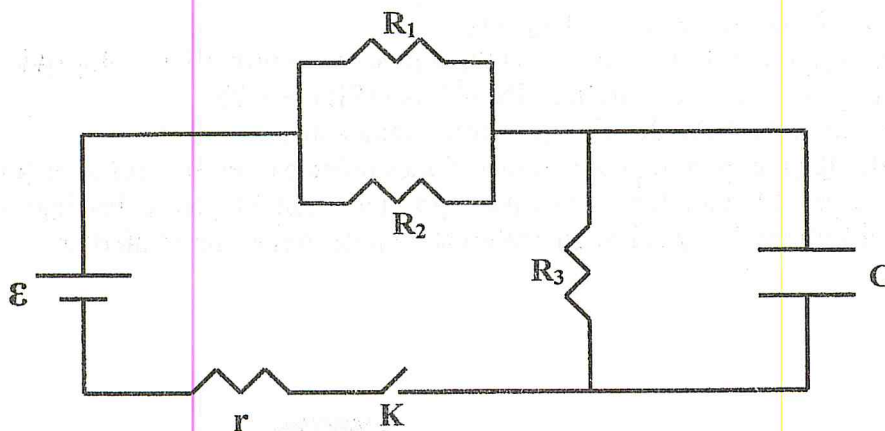


FIGURE 3

0767

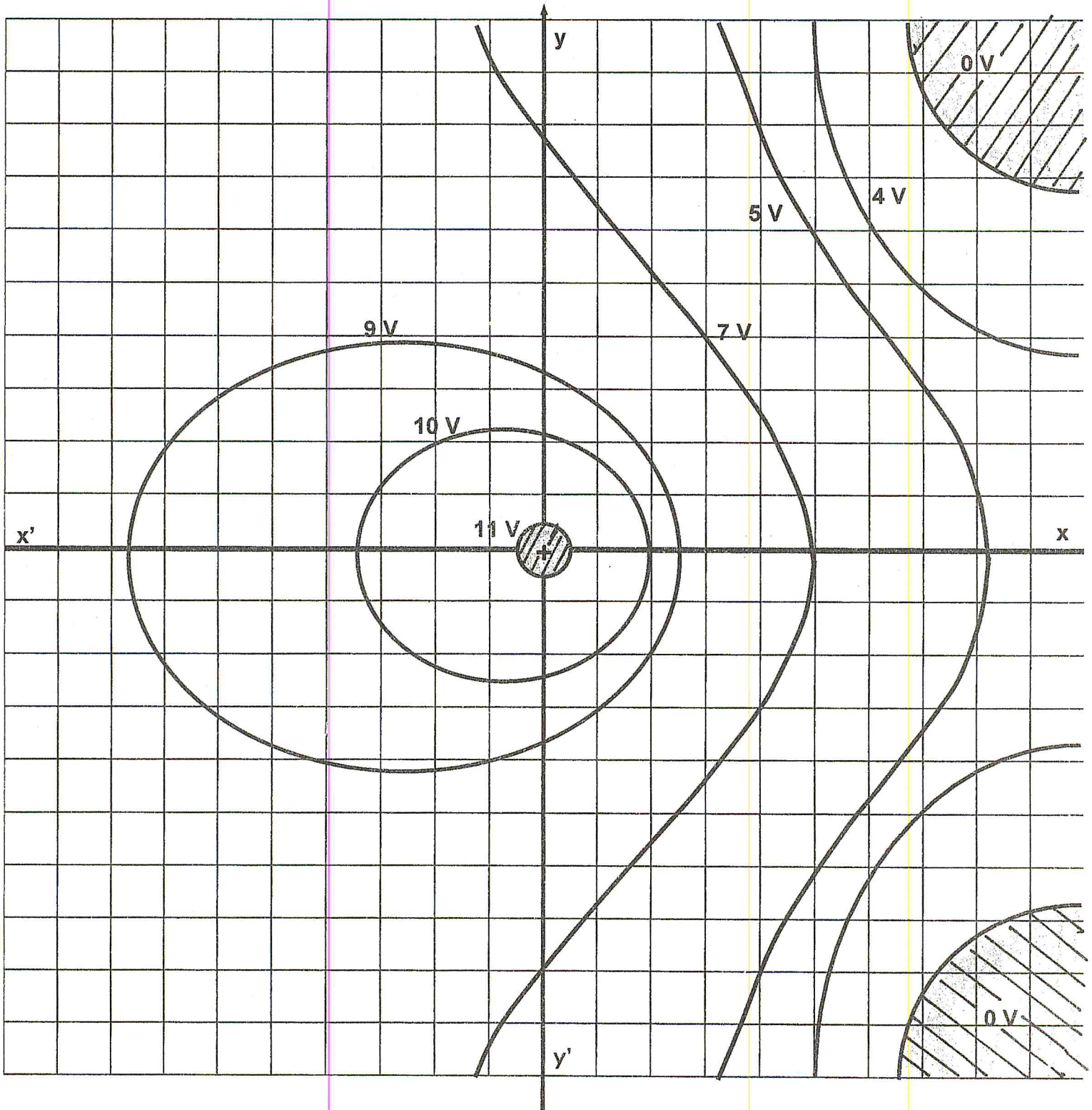
Nom :

Prénom :

Matricule :

Section :

Groupe :





## Corrigé de l'Epreuve Finale d'Electricité : Physique 2

**EXERCICE 1 (4 pts)**

$$1- |E_m| = \frac{\Delta V}{\Delta x}$$

Champ est plus intense  $\Rightarrow$  équipotentiellles les plus resserrées  $\Rightarrow 2 < x < 2.5$  cm

Champ est moins intense  $\Rightarrow$  équipotentiellles les plus éloignées  $\Rightarrow -7.8 < x < -3.3$  cm

2- Lignes de champs (voir carte d'équipotentiellles)

$$3- E_{Am} = 80 \text{ V/m}$$

$$E_{Bm} = 71.4 \text{ V/m}$$

0.5(valeur) + 0.5(repré.)

0.5(valeur) + 0.5(repré.)

**EXERCICE 2(8 pts)**

$$1- \text{Densité superficielle : } V_A = \frac{KQ_A}{R_A} = K\sigma 4\pi R_A \Rightarrow \sigma = \frac{V_A}{4\pi K R_A} = 3.54 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

2- a- Répartition des charges :

sur A  $Q_A' = Q_A$

Sur B surface intérieure (Influence totale)  $\Rightarrow Q_{Bi} = -Q_A$   
 surface extérieure (religé au sol  $\Rightarrow V_B = 0 \text{ V}$ )  $\Rightarrow Q_{Be} = 0 \text{ C}$

b- Champ électrique et potentiel :

$$\text{Théorème de Gauss : } \Phi = \iint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0}$$

Conducteurs sphériques  $\Rightarrow \vec{E} \parallel d\vec{s}$

$$\iint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \iint E ds = E \iint ds = E 4\pi r^2$$

$$r \leq R_A \Rightarrow \sum Q_i = 0 \Rightarrow E_1(r) = 0 \text{ V/m}$$

$$R_A \leq r \leq R_B \Rightarrow \sum Q_i = Q_A \Rightarrow E_2(r) = \frac{Q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

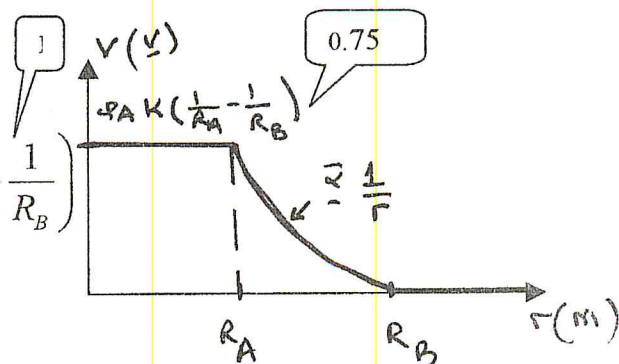
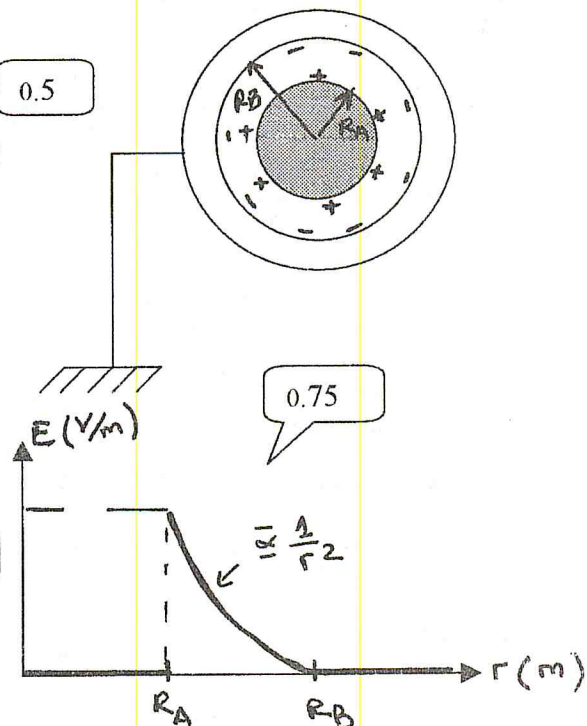
$$r \geq R_B \Rightarrow \sum Q_i = 0 \Rightarrow E_3(r) = 0 \text{ V/m}$$

$$\text{Potentiel : } dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} = -E dr \Rightarrow V = -\int E dr$$

$$r \leq R_A \Rightarrow V_1 = C_1 = KQ_A \left( \frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right)$$

$$R_A \leq r \leq R_B \Rightarrow V_2 = -\int \frac{KQ_A}{r^2} dr = \frac{KQ_A}{r} + C_2 = KQ_A \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R_B} \right)$$

$$r \geq R_B \Rightarrow V_3 = C_3 = 0 \text{ V}$$



### EXERCICE 3 (8 pts)

1- Expression de la charge :

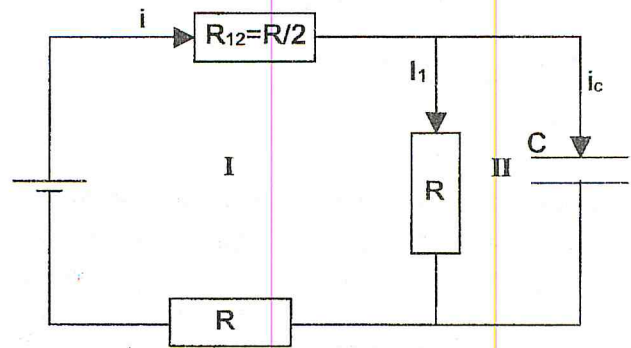
Loi des noeuds :  $i = i_1 + i_c$  avec :  $i_c = \frac{dq}{dt}$

Loi des mailles :

Maille I  $\Rightarrow -E + \frac{R}{2}i + Ri_1 + Ri = 0$

Maille II  $\Rightarrow \frac{q}{c} - Ri_1 = 0$

$\Rightarrow \frac{dq}{dt} + \frac{5q}{3RC} = \frac{2E}{3R} \Rightarrow q(t) = \frac{2}{5}EC(1 - e^{-t/\tau})$  avec  $\tau = \frac{3}{5}RC$

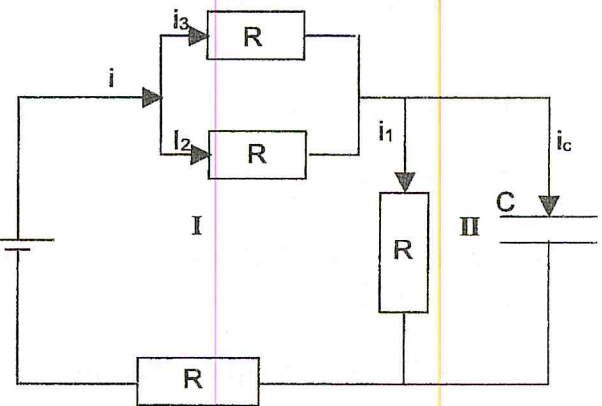


2- Courants dans  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$

$i = i_2 + i_3$  et  $Ri_2 = Ri_3 \Rightarrow i_2 = i_3 = i/2$

$i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{2E}{3R}e^{-t/\tau}$  et  $i_1 = \frac{q(t)}{RC} = \frac{2E}{5R}(1 - e^{-t/\tau})$

$i_2 = i_3 = \frac{i}{2} = \frac{i_1 + i_c}{2} = \frac{1E}{3R}e^{-t/\tau} + \frac{1E}{5R}(1 - e^{-t/\tau})$



3-  $W_G = \int_0^{3\tau} E i(t) dt \Rightarrow W_G = \frac{2E^2C}{25}(11 - 2e^{-3}) = 0.87E^2C$

4- Condensateur C complètement chargé  $\Rightarrow i_c = 0$  A

$i = \frac{2E}{5R}$  et  $i_2 = i_3 = i/2 = \frac{E}{5R}$

$V_{R_1} = V_{R_2} = Ri_2 = \frac{E}{5}$  et  $V_{R_3} = Ri = \frac{2E}{5}$



Nom :

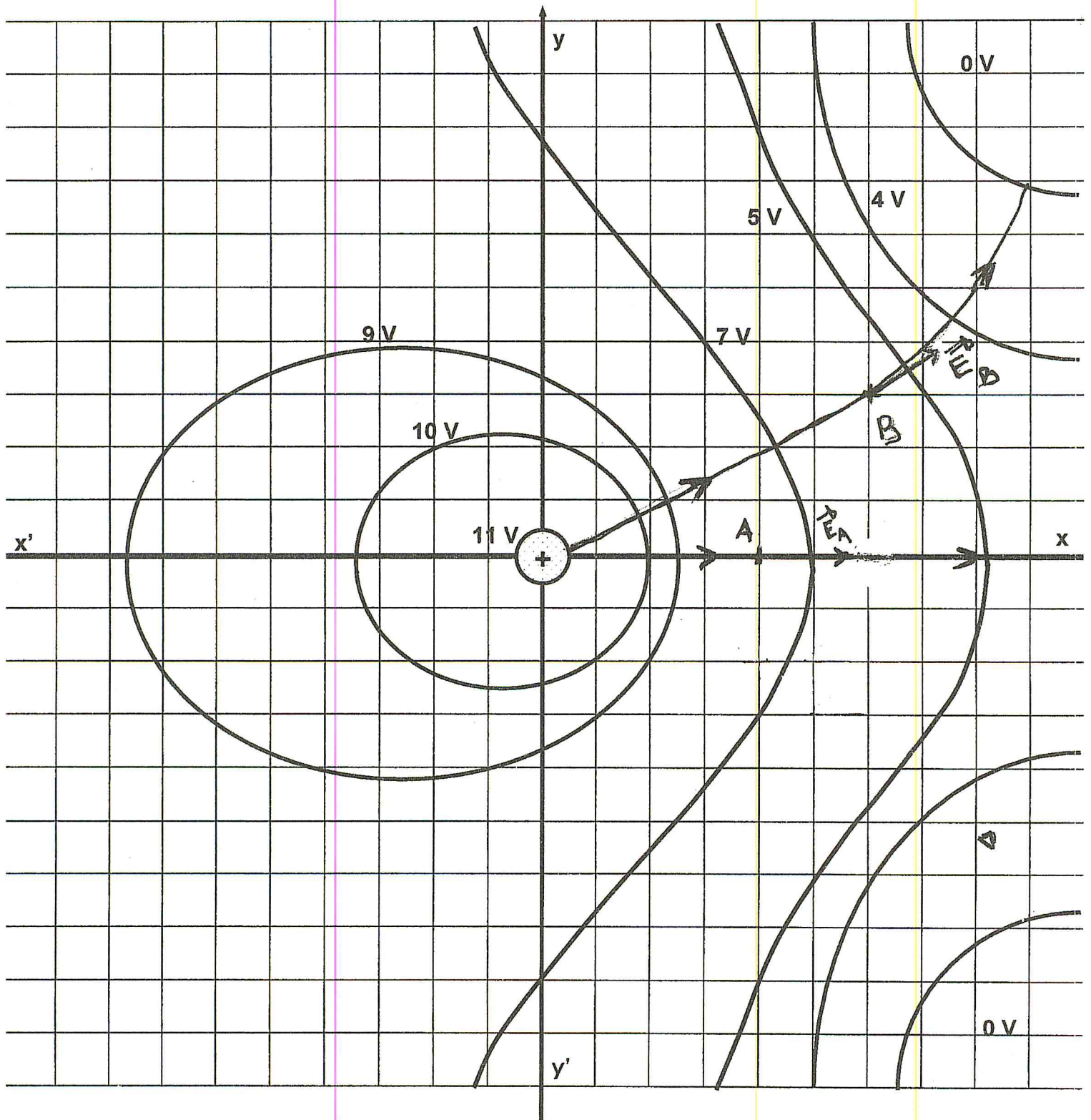
Prénom :

AA

Matricule :

Section :

Groupe :

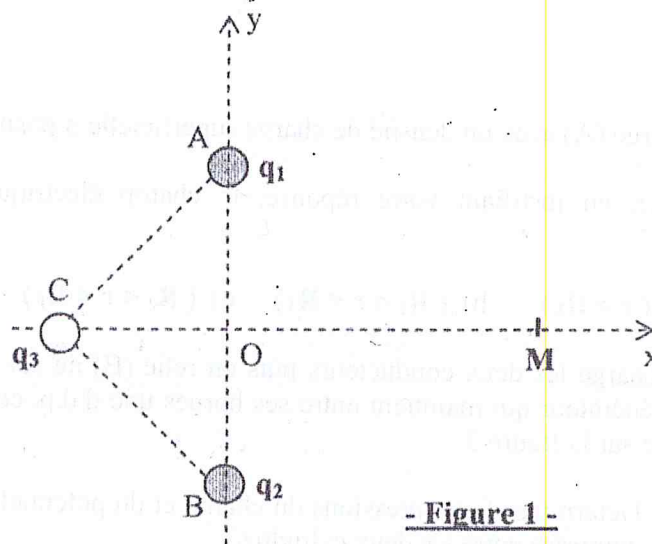




**EXERCICE 1 : ( 04 points )**

Trois charges électriques ponctuelles  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$  sont placées sur les sommets A, B et C d'un triangle équilatéral de côté  $a$  comme l'indique la figure 1.

On donne :  $q_1 = q_2 = +q$  et  $q_3 = -q$  ; ( $q < 0$ ).

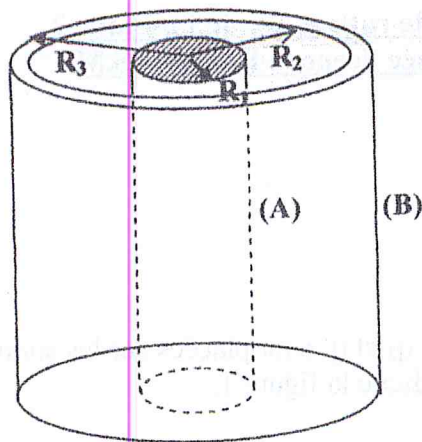


- 1) Déterminer le champ électrique  $\vec{E}$  créé par ce système de charges en un point M situé sur l'axe Ox et d'abscisse  $x$ . ( On donnera  $\vec{E}$  en fonction de  $q$ ,  $x$  et  $a$  ).
- 2) Déterminer le potentiel électrique créé au même point M en fonction de  $q$ ,  $x$  et  $a$ .

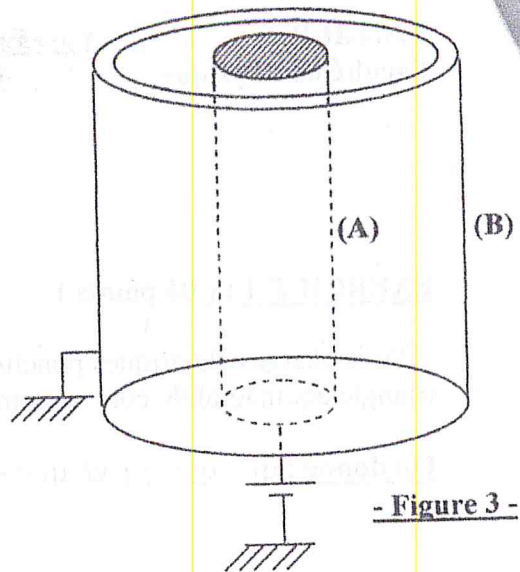
X **EXERCICE 2 : ( 08 points )**

Le schéma de la figure 2 représente un cylindre conducteur (A) plein, de longueur infinie et de rayon  $R_1$  placé à l'intérieur d'un cylindre conducteur (B) creux de longueur infinie, de rayons interne  $R_2$  et externe  $R_3$ . Les deux cylindres sont initialement neutres.

On donne :  $R_1 = 1\text{cm}$  et  $R_2 = 5\text{cm}$



- Figure 2 -



- Figure 3 -

I) On charge (A) avec une densité de charge superficielle  $\sigma$  positive.

Déterminer, en justifiant votre réponse, le champ électrique  $E(r)$  dans les régions suivantes :

- a) ( $r > R_3$ )    b) ( $R_2 < r < R_3$ )    c) ( $R_2 < r < R_1$ )    et    d) ( $r < R_1$ )

II) On décharge les deux conducteurs puis on relie (B) au sol et (A) à la borne positive d'un générateur qui maintient entre ses bornes une d.d.p. constante  $V_0 = 15V$  comme indiqué sur la figure 3.

- 1) Déterminer les expressions du champ et du potentiel électriques dans la région comprise entre les deux cylindres.
- 2) Etablir l'expression de la capacité par unité de longueur du condensateur constitué par (A) et (B) et la calculer. ( On donne :  $\text{Log}5 = 1,60$  ).
- 3) On isole le conducteur (A) du générateur et on le relie à (B) par un fil conducteur. Calculer l'énergie dissipée dans le fil.

### EXERCICE 3 : ( 08 points )

On considère le circuit électrique de la figure 4 comprenant un générateur de f.e.m.  $E$ , trois résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ , un condensateur de capacité  $C$  initialement déchargé et un interrupteur  $K$ .

On donne :  $R_1 = 10 \Omega$  ,  $R_2 = 5 \Omega$  ,  $R_3 = 15 \Omega$  et  $E = 12 V$ .

1) A l'instant  $t=0s$ , on ferme l'interrupteur K.

- Etablir l'équation différentielle régissant la variation de la charge  $q(t)$  du condensateur en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C$  et  $E$ .
- Montrer que la charge du condensateur varie au cours du temps selon une loi du type :

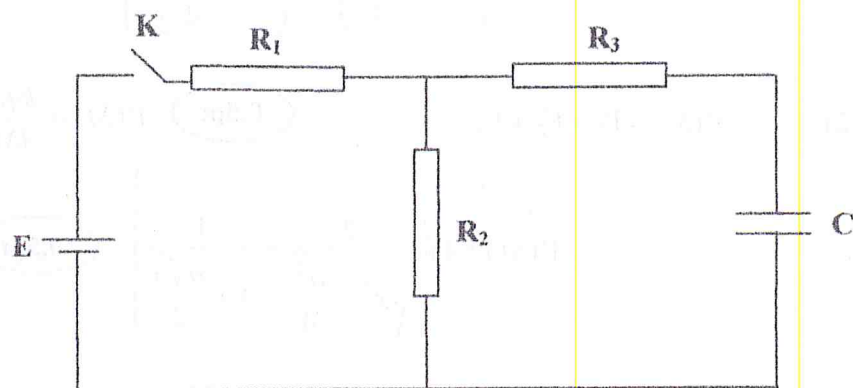
$$q(t) = Q_f \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- Donner les expressions de  $Q_f$  et de  $\tau$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C$  et  $E$ .

2) Calculer la différence de potentiel aux bornes de la résistance  $R_2$  lorsque le condensateur est entièrement chargé.

3) Le condensateur étant entièrement chargé, on ouvre l'interrupteur K.

- En prenant pour origine des temps l'instant de l'ouverture de K, établir la loi d'évolution de la charge  $q(t)$  du condensateur au cours de la décharge.
- Etablir l'expression de l'énergie totale dissipée dans les résistances  $R_2$  et  $R_3$ .
- On constate que le condensateur se décharge des  $\frac{2}{3}$  de sa charge totale au bout d'un temps  $t_0 = 1,09 \cdot 10^{-4} s$ . Calculer la capacité du condensateur.



- Figure 4 -



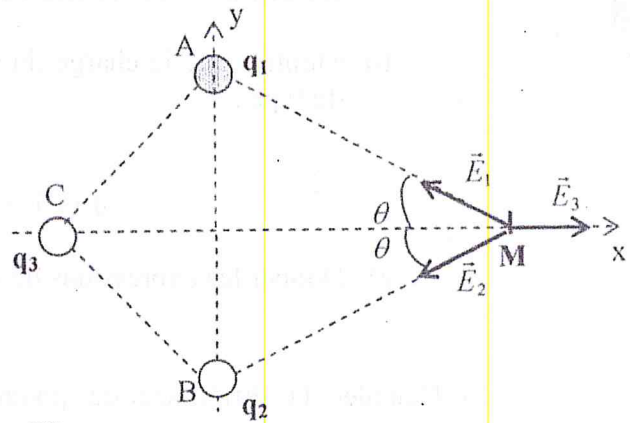
## CORRIGE DE L'EPREUVE DE RATTRAPAGE DE PHYSIQUE 2

### EXERCICE 1: ( 04 points )

$$1) \vec{E}(M) = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad (0.25\text{pt})$$

$$E_x = -|\vec{E}_1| \cos \theta - |\vec{E}_2| \cos \theta + |\vec{E}_3| \quad (0.25\text{pt})$$

$$E_y = |\vec{E}_1| \sin \theta - |\vec{E}_2| \sin \theta \quad (0.25\text{pt})$$



$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = \frac{k|q|}{x^2 + \frac{a^2}{4}} \quad (0.25\text{pt})$$

$$|\vec{E}_3| = \frac{k|q|}{\left(x + \frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2} \quad (0.25\text{pt})$$

et

$$\cos \theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + \frac{a^2}{4}}} \quad (0.25\text{pt})$$

$$E_x = k|q| \left[ \frac{1}{\left(x + \frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2} - \frac{2x}{\left(x^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (0.5\text{pt}) \quad \text{et} \quad E_y = 0 \quad (0.5\text{pt})$$

$$\vec{E} = k|q| \left[ \frac{1}{\left(x + \frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2} - \frac{2x}{\left(x^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \right] \vec{i} \quad (0.5\text{pt})$$

$$2) \quad V(M) = V_1 + V_2 + V_3 \quad (0.5\text{pt}) \quad V(M) = \frac{kq_1}{AM} + \frac{kq_2}{BM} + \frac{kq_3}{CM}$$

$$V(M) = kq \left[ \frac{2}{\sqrt{x^2 + \frac{a^2}{4}}} - \frac{1}{x + \frac{a\sqrt{3}}{2}} \right] \quad (0.5\text{pt})$$

### EXERCICE 2: ( 08 points )

I) Pour tous les cas on applique le théorème de Gauss avec pour expression du flux :

$$\phi = 2\pi r h E \quad (0.5\text{pt})$$

D'autre part, influence totale entre (A) et (B) ce qui donne :  $Q_{\text{int}}^B = -Q_A$  et  $Q_{\text{ext}}^B = +Q_A$ . (0.5pt)

(0.5pt)

a)  $Q_{\text{int}} = Q_A + Q_{\text{int}}^B + Q_{\text{ext}}^B = Q_A$  ; ( $Q_{\text{int}}$  : charge interne à la surface de Gauss choisie)

$$\phi = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \Rightarrow E(r) = \frac{Q_A}{2\pi\epsilon_0 rh} = \frac{\sigma R_1}{\epsilon_0 r} \quad (0.5\text{pt})$$

b)  $E = 0$  : champ électrique à l'intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique. (0.5pt)

c)  $Q_{\text{int}} = Q_A$  ; d'où :  $E(r) = \frac{Q_A}{2\pi\epsilon_0 rh} = \frac{\sigma R_1}{\epsilon_0 r}$  (0.5pt)

d)  $E = 0$  : champ électrique à l'intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique. (0.5pt)

II)

1)  $Q_{\text{int}} = Q'_A \Rightarrow E(r) = \frac{Q'_A}{2\pi\epsilon_0 rh}$  (0.5pt)

$$E(r) = -\frac{dV}{dr} \Rightarrow V(r) = -\frac{Q'_A}{2\pi\epsilon_0 h} \text{Log} r + C^{\text{te}} \quad (0.5\text{pt})$$

$$V(r = R_1) = V_0 \Rightarrow C^{\text{te}} = V_0 + \frac{Q'_A}{2\pi\epsilon_0 h} \text{Log} R_1 \quad (0.5\text{pt})$$

$$\text{D'où : } V(r) = -\frac{Q'_A}{2\pi\epsilon_0 h} \text{Log} \frac{r}{R_1} + V_0 \quad (0.5\text{pt})$$

$$2) V(r = R_2) = 0 \Rightarrow -\frac{Q'_A}{2\pi\epsilon_0 h} \text{Log} \frac{R_2}{R_1} + V_0 = 0 ; \quad \text{ce qui donne : } Q'_A = \frac{2\pi\epsilon_0 h}{\text{Log} \frac{R_2}{R_1}} V_0 \quad (0.5\text{pt})$$

D'où la capacité par unité de longueur du condensateur :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\text{Log} \frac{R_2}{R_1}} \quad (0.5\text{pt})$$

$$\text{A.N : } C = 3,47 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 34,7 \text{ pF} \quad (0.5\text{pt})$$

$$3) U = \frac{1}{2} C V_0^2 ;$$

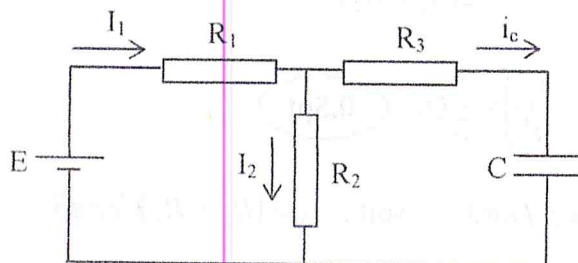
(0.5pt)

$$\text{A.N : } U = 3,90 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

(0.5pt)

### EXERCICE 3: ( 08 points )

1) a)



$$I_1 = I_2 + i_c \quad (0.25\text{pt})$$

$$R_2 I_2 + R_1 I_1 - E = 0 \quad (0.25\text{pt})$$

$$\frac{q}{C} - R_2 I_2 + R_3 i_c = 0 \quad (0.25\text{pt})$$

$$i_c = \frac{dq}{dt}$$

La résolution du système d'équations obtenu conduit à l'équation différentielle :

$$\left( \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2} \right) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} \quad (1pt)$$

b) L'équation différentielle précédente résolue permet d'aboutir à :

$$q(t) = \frac{R_2 C E}{R_1 + R_2} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{(R_1 + R_2)t}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)C} \right) \right] \quad (1pt)$$

c) Par identification on obtient :  $Q_f = \frac{R_2 C E}{R_1 + R_2}$  et  $\tau = \frac{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)C}{R_1 + R_2}$  (0.25pt)

2)  $i_c = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 = I = \frac{E}{R_1 + R_2}$  (0.25pt)

$V_{R2} = R_2 I = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2}$  A.N :  $V_{R2} = 4V$  (0.5pt)

3) a)  $(R_2 + R_3) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$  résolution :  $q(t) = \frac{R_2 C E}{R_1 + R_2} \exp \left[ - \frac{t}{(R_2 + R_3)C} \right]$  (0.5pt)

de la forme :  $q(t) = Q_f \exp \left( - \frac{t}{\tau'} \right)$  avec :  $\tau' = (R_2 + R_3)C$

b)  $W_R = \int_0^{\infty} (R_2 + R_3) i_c'^2 dt$  (0.25pt)

avec :  $i_c' = - \frac{dq}{dt} = \frac{R_2 E}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)} \exp \left[ - \frac{t}{(R_2 + R_3)C} \right]$  (0.25pt)

$$W_R = \frac{R_2^2 C E^2}{2(R_1 + R_2)^2} \quad (1pt)$$

c)  $q(t_0) = \frac{1}{3} Q_f \Leftrightarrow Q_f \exp \left( - \frac{t_0}{\tau'} \right) = \frac{1}{3} Q_f$  (0.5pt)

ce qui donne :  $t_0 = \tau' \text{Log} 3$  soit :  $t_0 = (R_2 + R_3)C \text{Log} 3$

d'où :  $C = \frac{t_0}{(R_2 + R_3) \text{Log} 3}$  A.N :  $C = 5 \mu F$

(0.5pt)

(0.5pt)



6/6

**Exercice 1 : (4 points)**

I. On réalise une série d'expériences successives avec deux conducteurs, une sphère pleine (A) et une coquille sphérique (B) (voir les quatre figures ci-après).

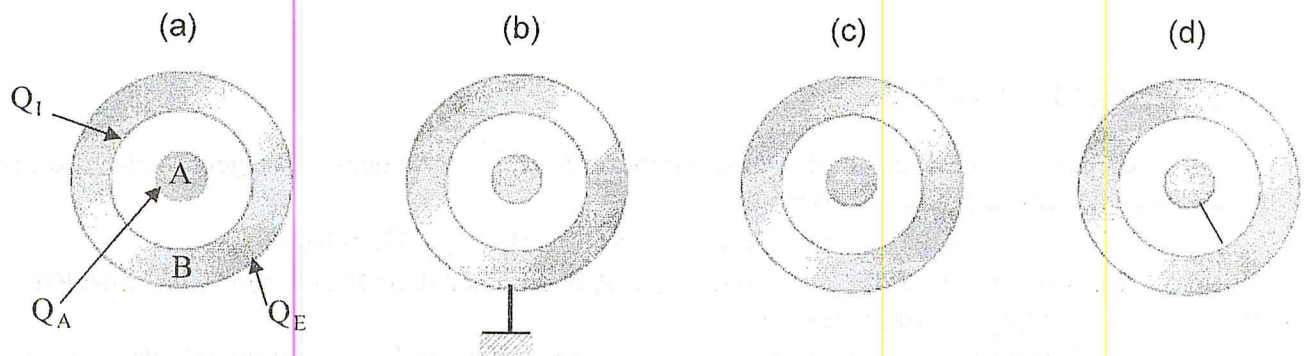
Cas(a) : (A) portant la charge  $Q_A = 10^{-6} \text{ C}$  on l'introduit dans (B) qui était initialement neutre

Cas(b) : (B) est ensuite relié au sol avec un fil conducteur.

Cas(c) : On supprime la connexion avec le sol.

Cas(d) : On relie les deux conducteurs avec un fil conducteur

On demande de déterminer, dans les quatre cas, les valeurs de la charge  $Q_I$  portée par la surface interne de (B) et  $Q_E$ , celle de sa surface externe (on donnera directement les valeurs, sans calculs, sans justifications et sans schémas).

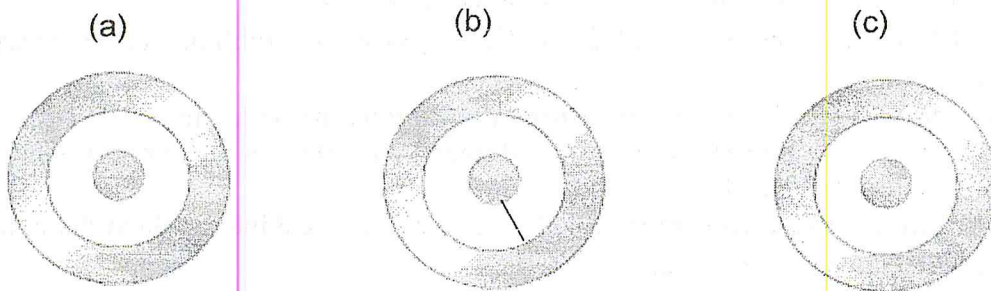


II. On réalise une nouvelle série d'expériences successives avec les mêmes conducteurs (voir les trois figures ci-après).

Cas(a) : (A) portant la charge  $Q_A = 10^{-6} \text{ C}$ , on l'introduit dans (B) qui portait déjà une charge  $Q_B = 10^{-6} \text{ C}$

Cas(b) : On relie ensuite les deux conducteurs avec un fil conducteur.

Cas(c) : On supprime la connexion entre (A) et (B).



On demande de déterminer, dans les trois cas, les valeurs de  $Q_A$ ,  $Q_I$  et  $Q_E$  (on donnera directement les valeurs, sans calculs, sans justifications et sans schémas).

**Exercice 2 : (6 points)**

Le demi-anneau de la figure ci-dessous, de centre O et de rayon R, porte une charge q répartie sur toute sa longueur avec une densité linéique  $\lambda > 0$ . Cette densité varie le long de l'anneau selon la loi

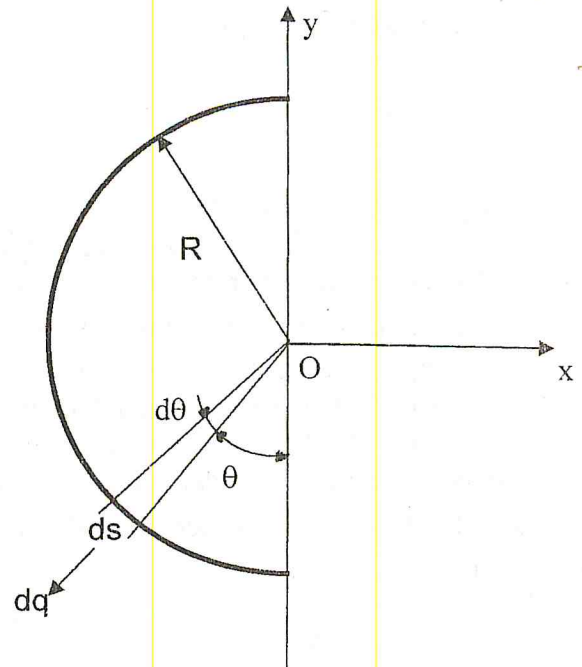
$$\lambda(\theta) = \frac{210^{-8}}{\pi^2} \theta \quad (\text{C/m}) \quad \text{où } \theta \text{ est l'angle repéré par rapport à l'axe (Oy) comme l'indique la figure.}$$

1) Considérons l'élément de longueur  $ds$  intercepté par l'angle  $d\theta$  et repéré par  $\theta$ . Déterminer, en fonction de  $\theta$ , la charge  $dq$  portée par  $ds$ .

2) Montrez alors que le potentiel créé au point O par toute la charge  $q$  est :  $V(O) = 90V$

3) Calculez la charge totale,  $q$ , portée par le conducteur si son rayon a pour valeur  $R = 10cm$ .

4) Une charge  $q' = 10^{-8}C$  lâchée sans vitesse initiale au point O est repoussée par l'anneau, le long de l'axe (Ox). Déterminez son énergie cinétique à l'infini.



### Exercice 3 : (10 points)

Le circuit de la figure ci-dessous, composé de trois résistances, d'un générateur, d'un récepteur et de deux condensateurs, a pour caractéristiques :

$$E = 12V ; e = 6V ; R_1 = R_2 = R_3 = 3\Omega ; C_1 = C_2 = 10\mu F.$$

**Partie I (régime permanent) :** Le commutateur K étant placé dans la position 1, on considère le cas où le condensateur  $C_1$  est **complètement chargé** :

I.1) Déterminez les intensités des courants  $I_1, I_2$ , et  $I_C$  qui circulent dans  $R_1, R_2$ , et  $R_3$ , respectivement.

I.2) Calculez la différence de potentiel aux bornes du condensateur,  $V_{C1}$ , et sa charge  $Q_1$ .

**Partie II (régime transitoire) :** Le condensateur  $C_1$  étant complètement chargé, on place le commutateur K dans la position 2 à  $t = 0s$ .

II. 1) a. Déterminez les charges initiales  $q_1(0s)$  et  $q_2(0s)$  des condensateurs de capacités  $C_1$  et  $C_2$ , respectivement.

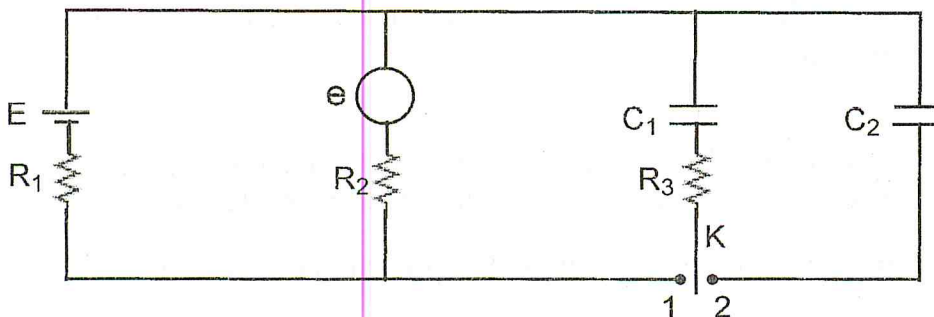
b. Donnez la relation qui lie  $q_1(t)$  et  $q_2(t)$ , pour  $t \geq 0s$ .

II. 2) Déterminez l'équation différentielle régissant l'évolution de la charge  $q_1(t)$  du condensateur de capacités  $C_1$ .

II. 3) En déduire la loi d'évolution de cette charge en fonction du temps

II. 4) a. Quelle est la puissance électrique dissipée par effet joule dans la résistance  $R_3$  et en déduire l'énergie totale,  $W_R$ , dissipée dans  $R_3$ .

b. Trouver l'expression de la variation  $\Delta U_t$  de l'énergie interne du système formé par  $C_1$  et  $C_2$  et la comparer avec  $W_R$ . Que peut-on en conclure ?





Corrigé de l'épreuve finale de Physique 2

Exercice 1 :

les notes sont placées au dessus ou à droite du résultat concerné

I.) Pour chaque cas 2x (0.25) pour les cas a, b, c et

II.) Pour chaque cas 3x (0.25)

Cas (a) :  $Q_A = 10^{-6}C$  ;  $Q_I = -10^{-6}C$  ;  $Q_E = 2.10^{-6}C$

Cas (b) :  $Q_A = 0C$  ;  $Q_I = 0C$  ;  $Q_E = 2.10^{-6}C$

Cas (c) :  $Q_A = 0C$  ;  $Q_I = 0C$  ;  $Q_E = 2.10^{-6}C$

(0.25) pour le cas a

Cas (a) :  $Q_I = -10^{-6}C$  ;  $Q_E = 10^{-6}C$

Cas (b) :  $Q_I = -10^{-6}C$  ;  $Q_E = 0C$

Cas (c) :  $Q_I = -10^{-6}C$  ;  $Q_E = 0C$

Cas (d) :  $Q_I = 0C$  ;  $Q_E = 0C$

Exercice 2 :

1)  $dq = \lambda \cdot ds$  avec  $\begin{cases} ds = R d\theta \\ \lambda = \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} \theta \end{cases}$  (0.25) (0.25)

soit  $dq = \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} R \theta d\theta$  (0.25)

2)  $dV(O) = K \frac{dq}{R} = K \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} \theta d\theta$  (0.5) (0.25)

3)  $V(O) = \int dV(O) = K \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} \int_0^\pi \theta d\theta = K \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} \left[ \frac{\theta^2}{2} \right]_0^\pi = K \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} \frac{\pi^2}{2} = 90V$  (0.5) (0.25)

4)  $q = \int dq = \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} R \int_0^\pi \theta d\theta = \frac{2.10^{-8}}{\pi^2} R \left[ \frac{\theta^2}{2} \right]_0^\pi = 10^{-8} R = 10^{-9} C$  (0.25) (0.5) (0.25)

5)  $q'$  subit la force électrique  $q' \vec{E}$  qui est conservative ; son énergie totale est alors constante.

$E_T(O) = E_C(O) + E_P(O) = E_P(O) = q' V(O) = 9.10^{-7} J$  (0.5)

$E_T(\infty) = E_C(\infty) + E_P(\infty) = E_C(\infty)$  (0.5) D'où :  $E_C(\infty) = E_T(O) = 9.10^{-7} J$  (0.5)

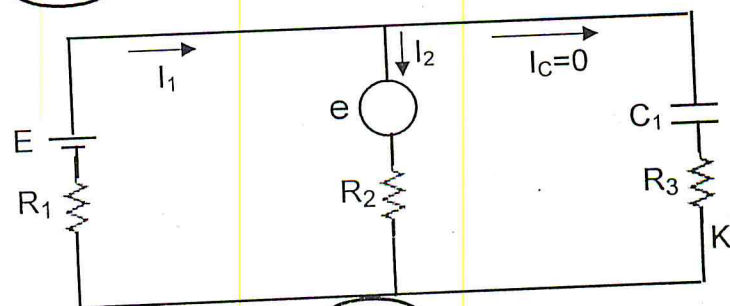
Exercice 3 :

Partie I (régime permanent)

I.1) Le condensateur  $C_1$  est complètement chargé :  $I_C = 0$  et  $I_1 = I_2 = I$  (0.5)

Loi d'Ohm appliquée à la maille de gauche :  $-E + e + (R_1 + R_2)I = 0$  (0.5)

Soit :  $I_1 = I_2 = I = \frac{E - e}{(R_1 + R_2)} = \frac{12 - 6}{6} = 1A$  (0.5)



I.2) Loi d'Ohm appliquée à la maille de droite :  $-e + V_{C1} - R_2 I = 0$  (0.5)



Il vient :  $\begin{cases} V_{C1} = e + R_2 I = 6 + 3 = 9V \\ Q_1 = C V_C = 9 \cdot 10^{-5} C \end{cases}$

## Partie II):

II.1) a)  $q_1(0s) = Q_1 = 9 \cdot 10^{-5} C$  ;  $q_2(0s) = 0C$

b) La conservation de la charge entraîne :

$$q_1(t) + q_2(t) = q_1(0) + q_2(0) = Q_1$$

II.2) La loi d'Ohm appliquée à la maille donne :

$$\frac{q_1}{C_1} - R_3 I_C - \frac{q_2}{C_2} = 0$$

Compte tenu de la conservation de la charge :  $q_2(t) = Q_1 - q_1(t)$ , et  $C_1$  se déchargeant :  $I_C = -\frac{dq_1}{dt}$ , il vient ,

en écrivant  $C_1 = C_2 = C$  :  $2\frac{q_1}{C} + R_3 \frac{dq_1}{dt} - \frac{Q_1}{C} = 0$

Cette équation se met sous la forme canonique :  $\frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{\tau} = \frac{Q_1}{R_3 C}$  avec  $\tau = \frac{R_3 C}{2}$

II.3) La solution de l'équation homogène est :  $q_1^h = A e^{-t/\tau}$

A l'équilibre final,  $I_C = -\frac{dq_1}{dt} = 0$ , on peut admettre comme solution particulière celle qui vérifie l'équation

complète écrite sous la forme :  $\frac{q_1^{nh}}{\tau} = \frac{Q_1}{R_3 C}$  ce qui donne  $q_1^{nh} = \frac{\tau Q_1}{R_3 C} = \frac{Q_1}{2}$

La solution générale est alors :  $q_1(t) = q_1^h + q_1^{nh} = A e^{-t/\tau} + \frac{Q_1}{2}$  et comme :  $q_1(0s) = Q_1 \Leftrightarrow A = -\frac{Q_1}{2}$  On aura

finalement :  $q_1(t) = \frac{Q_1}{2} (1 - e^{-t/\tau})$

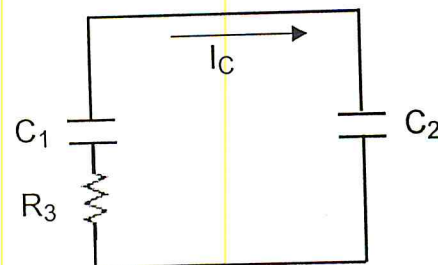
II.4) a)  $\begin{cases} P_R = R_3 I_C^2 \\ I_C = -\frac{dq_1}{dt} = \frac{\tau Q_1}{2} e^{-t/\tau} = \frac{Q_1}{R_3 C} e^{-t/\tau} \end{cases} \Leftrightarrow P_R = \frac{Q_1^2}{R_3 C^2} e^{-2t/\tau}$

b)  $W_R = \frac{Q_1^2}{R_3 C^2} \int_0^\infty e^{-2t/\tau} dt = -\frac{\tau Q_1^2}{2 R_3 C^2} [e^{-2t/\tau}]_0^\infty = \frac{Q_1^2}{4C}$

II.4) A  $t' = 0s$  :  $U_t = U_1 + U_2 = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C} + 0 = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C}$ . A l'équilibre final  $\begin{cases} q_1(t \rightarrow \infty) = \frac{Q_1}{2} \\ q_2(t \rightarrow \infty) = Q_1 - \frac{Q_1}{2} = \frac{Q_1}{2} \end{cases}$

Soit :  $U_t' = U_1' + U_2' = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C} + \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C} = \frac{1}{4} \frac{Q_1^2}{C}$  et  $\Delta U_t = U_t' - U_t = \frac{1}{4} \frac{Q_1^2}{C} - \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C} = -\frac{1}{4} \frac{Q_1^2}{C} = -W_R$

Conclusion : une partie de l'énergie fournie par  $C_1$  n'arrive pas à  $C_2$  ; elle se transforme en chaleur par effet joule



LMD 1<sup>ère</sup> ANNEE – Section G ST  
Rattrapage de Physique2 (Durée 1 h 30 mn)

EXERCICE 1

1°) Une sphère conductrice ( $S_1$ ) de rayon  $R_1 = 4 \text{ cm}$  est portée à un potentiel  $V = 4500 \text{ V}$  puis isolée.

1-a Calculer la charge portée par la sphère

1-b Calculer le champ et le potentiel

électrique au centre  $O$  de la sphère ( $V_\infty = 0$ )

2°) La sphère ( $S_1$ ) est ensuite introduite dans une autre sphère conductrice ( $S_2$ ), creuse initialement neutre et isolée, de rayon intérieur  $R_i = 5 \text{ cm}$  et extérieur  $R_e = 6 \text{ cm}$ . Les deux sphères ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) sont concentriques comme l'indique la figure ci-contre.

2-a Calculer les densités superficielles des charges portées par chacune des deux sphères.

2-b Déterminer le champ électrique et potentiel électrique en tout point  $M$  de l'espace défini par  $\overline{OM} = r$

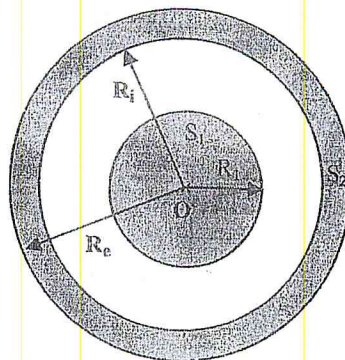


Figure 1

EXERCICE 2

Un fil conducteur de cuivre, ayant une section circulaire de surface  $S = 2 \text{ mm}^2$ , est parcouru par un courant électrique d'intensité  $I = 5 \text{ A}$ . Déterminer la densité de courant en un point de la section de ce conducteur. Sachant que le cuivre a une masse atomique de 63 et une masse volumique  $\rho = 8.9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  et possède un électron libre par atome déterminer la vitesse de déplacement des électrons dans ce conducteur. On donne : le nombre d'Avogadro  $N = 6.02 \cdot 10^{23}$ ; la charge de l'électron  $e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$ .

EXERCICE 3

On considère le circuit de la figure 2 ci-contre comprenant un générateur de f.e.m  $\mathcal{E} = 6 \text{ V}$  et de résistance  $r = 1 \Omega$ , un moteur de f.c.e.m  $e = 2 \text{ V}$  et de résistance interne  $r_m = 0.6 \Omega$  et une résistance  $R = 2 \Omega$ .

1°) Calculer les intensités des courants circulant dans les branches du circuit.

2°) Calculer  $\eta$  le rendement du moteur

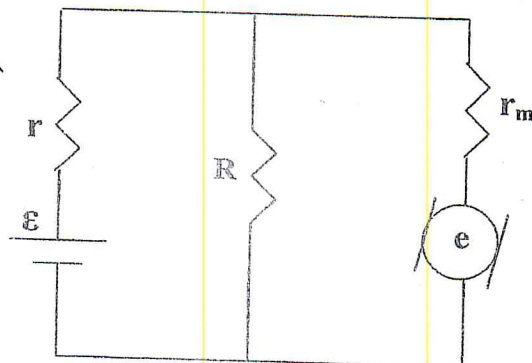


Figure 2

#### EXERCICE 4

Retrouver l'expression de l'induction magnétique  $\vec{B}_0$  au centre  $O$  d'une spire de rayon  $R$  et d'axe  $Ox$  et qui est parcourue par un courant  $I$  (figure 3).  $\vec{i}$  = vecteur unitaire sur  $Ox$

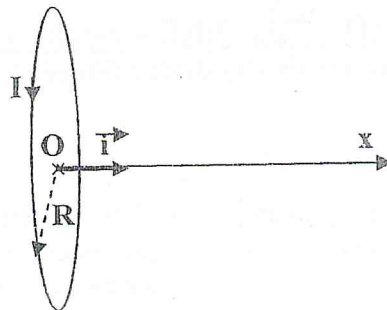
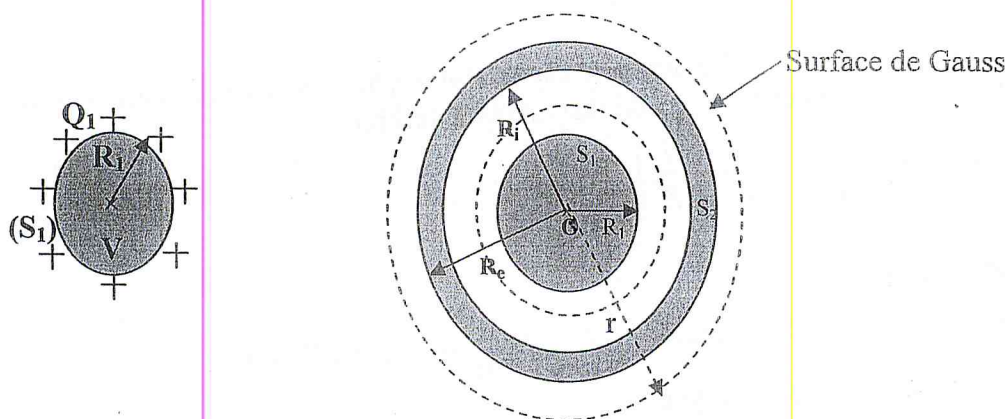


Figure 3



**LMD ST 1<sup>ère</sup> ANNEE SECTION G (2007/2008)**  
**CORRECTION DE L'EPREUVE de RATRAPAGE DE PHY 2**

**EXERCICE1**



1-a

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{R_1} \Rightarrow Q_1 = 4\pi\epsilon_0 R_1 V = 20 \times 10^{-9} \text{ C} = 20 \text{ nanoCoulomb}$$

1-b Champ et potentiel au centre de la sphère : La sphère étant un conducteur chargé en équilibre et isolé Elle forme un volume équipotentiel  $V_0 = V = 4500 \text{ Volts}$  et  $\vec{E}_0 = 0$

2-a Phénomène d'influence totale entre les deux sphères :  $Q_1 = -Q_{2int} = Q_{2ext}$

$$\text{Sphère 1 : } \sigma_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 V}{4\pi R_1^2} = \frac{\epsilon_0 V}{R_1} = 0,1 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2 = 1 \mu\text{C/m}^2$$

$$\text{Sphère 2 : Surface intérieure } \sigma_{2int} = -\frac{Q_1}{S_{int}} = -\frac{\epsilon_0 R_1 V}{R_i^2} = -0,64 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2 = -0,64 \mu\text{C/m}^2$$

$$\text{Surface extérieure } \sigma_{2ext} = \frac{Q_1}{S_{ext}} = \frac{\epsilon_0 R_1 V}{R_e^2} = 0,44 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2 = 0,44 \mu\text{C/m}^2$$

2-b Calcul du champ et du potentiel

♦  $r > R_e$  Symétrie sphérique du problème  $\Rightarrow$  Application du théorème de Gauss à une sphère S de rayon r concentrique à  $S_1$  et  $S_2$

$$\iint_S \vec{E} \times d\vec{S} = \frac{\sum q_{int}}{\epsilon_0} = \frac{Q_1 + Q_{2int} + Q_{2ext}}{\epsilon_0} = \frac{Q_1}{\epsilon_0} \Rightarrow |\vec{E}| \times 4\pi r^2 = \frac{Q_1}{\epsilon_0} \Rightarrow \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_r = \frac{R_1 V}{r^2} \vec{u}_r$$

$$dV = -\vec{E} d\vec{l} = -E_r dr \Rightarrow \int_{V_\infty}^{V(r)} dv = -\frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} \Rightarrow V(r) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{1}{r} = \frac{R_1 V}{r} \quad (V_\infty = 0)$$

♦  $R_{int} < r < R_{ext}$  A l'intérieur d'un conducteur en équilibre le champ électrique est nul :

$$\vec{E} = 0 \text{ et le conducteur est un volume équipotentiel } \Rightarrow V_2 = V(r = R_e) = \frac{R_1 V}{R_e} = cte$$

♦  $R_1 < r < R_{int}$  Application du Théorème de Gauss à une sphère de rayon r

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_r = \frac{R_1 V}{r^2} u_r \Rightarrow V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r} + cte$$

La constante est calculée par les conditions

$$\text{aux limites} \Rightarrow r = R_i : \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_i} + cte = V_2 \Rightarrow cte = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_i} \right]$$

$$\text{soit alors } V(r) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{r} + \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_i} \right]$$

Application du Théorème de Gauss à une sphère de rayon  $r$  intérieur à  $S_1$   
 $E = 0$  (Champ à l'intérieur d'un conducteur en équilibre)

$$V(R_i) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_i} \right]$$

### EXERCICE 2

$$1) \text{ Calcul de la densité de courant } i = \frac{I}{S} = \frac{5}{2 \times 10^{-6}} = 2,5 \times 10^6 \text{ A/m}^2$$

Calcul de la vitesse des électrons :

1 Atome-gramme contient  $\mathcal{N} = 6,02 \times 10^{23}$  atomes simples

$\mathcal{N} = 6,02 \times 10^{23}$  électrons dans  $A = 63 \times 10^{-3} \text{ kg}$

$n$  = nombre d'électrons dans  $\rho = 8,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$n = \frac{6,02 \times 10^{23} \times 8,9 \times 10^3}{63 \times 10^{-3}} = 0,85 \times 10^{29} \text{ e}^- / \text{m}^3$$

$$\text{nous avons : } i = \frac{I}{S} = nev \Rightarrow v = \frac{I}{nes} = \frac{i}{ne} = \frac{2,5 \times 10^6}{1,6 \times 10^{-19} \times 0,85 \times 10^{29}} = 1,84 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

### EXERCICE 3

1°) Loi des nœuds :  $I = I_1 + I_2$  (1)

Maille 1 :  $RI_1 + rI - \mathcal{E} = 0$

Maille 2 :  $r_m I_2 + e - RI_1 = 0$

Soit alors

$$RI_1 + rI = \mathcal{E} \quad (2)$$

$$RI_1 - r_m I_2 = e \quad (3)$$

En remplaçant  $I$  par sa valeur nous aurons :

$$(R+r) I_1 + r I_2 = \mathcal{E} \quad (4)$$

$$RI_1 - r_m I_2 = e \quad (5)$$

$$(4) + (5) \Rightarrow I_1 = \frac{\mathcal{E} r_m + er}{r_m (R+r) + Rr}$$

$$\text{On remplace dans (5)} \Rightarrow I_2 = \frac{R\mathcal{E} - e(R+r)}{r_m (R+r) + Rr}$$

$$\text{De l'équation (1) nous tirons : } I = \frac{\mathcal{E}(R+r_m) - eR}{r_m (R+r) + rR}$$

$$\text{A.N : } I_1 = 1,474 \text{ A} ; I_2 = 1,579 \text{ A} ; I = 3,053 \text{ A}$$

$$2^\circ) \Rightarrow \eta = W_{\text{util}} / W_{\text{reçue}} \Rightarrow \eta = e / RI_1 = e / (e + r_m I_2) = 0,68$$

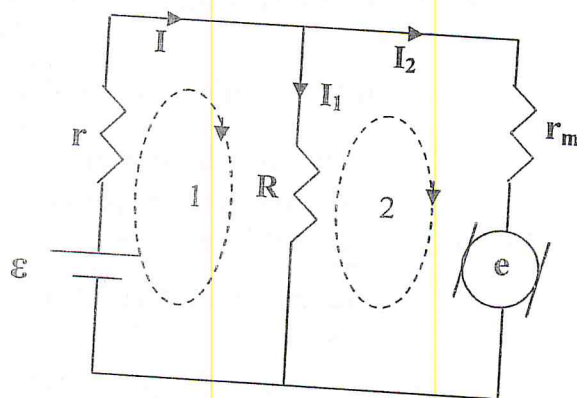


Figure 2

### EXERCICE 4

La loi de Biot et Savart donne :

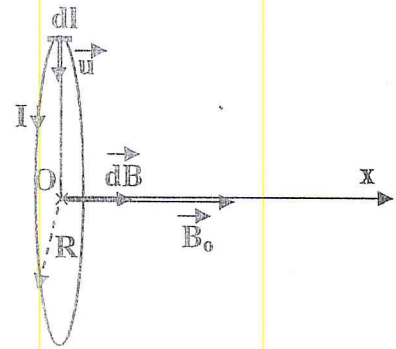
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \wedge \vec{u}}{R^2} \quad (\text{ici } r = R)$$

Le champ crée par l'élément de longueur  $dl$  en O

La symétrie du problème donne le champ résultant porté par l'axe Ox

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi R^2} \Rightarrow B_0 = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int dl$$

$$\int dl = 2\pi R \Rightarrow \vec{B}_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \vec{i}$$





2ème E.M.D. (durée : 01 heure 30 mn)Exercice 1 : (04 points)

Quatre charges ponctuelles sont disposées, dans le plan vertical, sur les points A, B, C et D d'un cercle de rayon  $R$  et de centre  $O$  (figure 1).

On donne :

$$q = \sqrt{2} \cdot Q$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$R = 9 \text{ cm.}$$

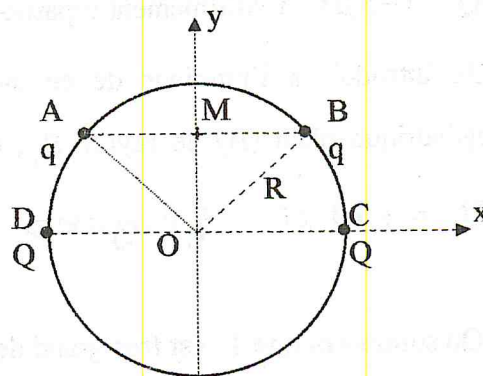


Figure 1

1) Calculer le potentiel électrostatique  $V_M$  créé, par les quatre charges, au point  $M(0, \frac{R}{\sqrt{3}})$ .

2) Calculer les composantes  $E_x$  et  $E_y$  du vecteur champ électrique  $\vec{E}_M$  créé au point M.

Exercice 2 : ( 06 points)

Deux charges ponctuelles  $+q$  et  $-q$  distantes de  $a$  forment un dipôle de moment dipolaire  $\vec{p}$  (figure 2).

1) Déterminer le potentiel électrostatique créé par le dipôle en un point  $M(r, \theta)$  ( $r \gg a$ ).

2) En déduire les composantes radiale et transversale  $E_r$  et  $E_\theta$  du champ électrostatique au point M.

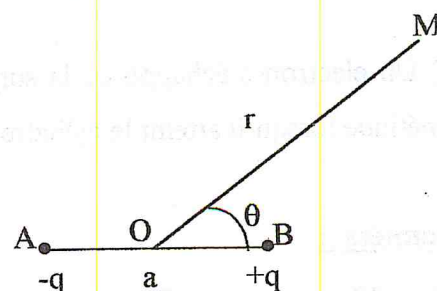


Figure 2

3) On place au point N, tel que  $ON = x$  ( $x \gg a$ ), un deuxième dipôle de moment dipolaire  $\vec{p}'$  faisant un angle  $\beta$  avec l'axe  $Ox$  (figure 3).

a- Déterminer l'énergie potentielle du dipôle  $\vec{p}'$ .

b- En déduire les positions d'équilibre du dipôle  $\vec{p}'$ .

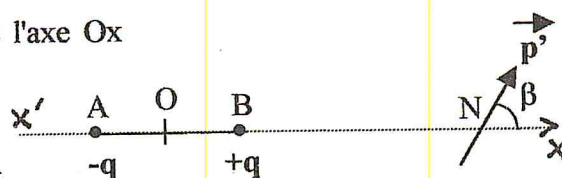


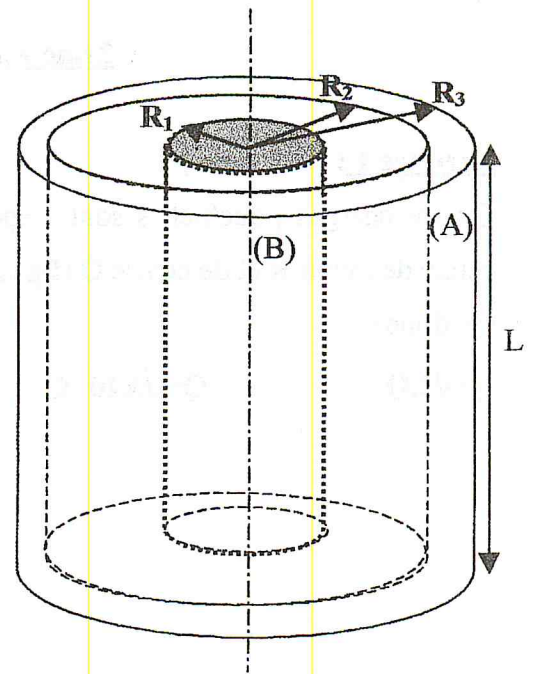
Figure 3

✖ **Exercice 3 : ( 10 points)**

Un cylindre métallique creux (A) isolé, de rayons intérieur et extérieur  $R_2$  et  $R_3$ , et de longueur  $L$  porte une charge  $Q_A = -5 \mu C$  uniformément répartie.

On introduit à l'intérieur de ce cylindre un conducteur cylindrique plein (B) de rayon  $R_1$ , et portant une charge  $Q_B = +10 \mu C$ . (Figure 4)

(On supposera que  $L$  est très grand devant  $R_1, R_2$  et  $R_3$ )



**Figure 4**

1) Déterminer les valeurs algébriques des charges qui apparaissent sur les surfaces interne et externe de (A).

2) Déterminer l'expression du champ  $E(r)$  dans les régions suivantes :

- a)  $r < R_1$
- b)  $R_1 < r < R_2$
- c)  $R_2 < r < R_3$
- d)  $r > R_3$

3) Un électron s'échappe de la surface interne de (A) avec une vitesse nulle. Calculer son énergie cinétique lorsqu'il atteint le cylindre intérieur (B).

**Données :**

$$R_1 = 10 \text{ cm}$$

$$R_2 = 15 \text{ cm}$$

$$R_3 = 15.5 \text{ cm}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Exercice 1 : (04 points)

1)  $V_M = 2 \left( \frac{Kq}{AM} + \frac{KQ}{DM} \right)$ ,  $AM = \sqrt{\frac{2}{3}} R$  et  $DM = \frac{2}{\sqrt{3}} R$

$q = \sqrt{2} Q \Rightarrow V_M = 3\sqrt{3} \frac{KQ}{R}$ ;  $V_M = 900 \text{ V}$

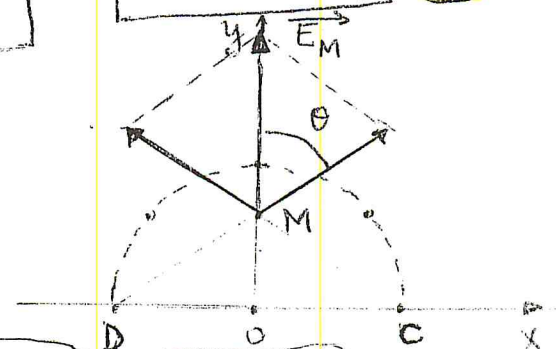
2) La symétrie de la distribution de charges impose au champ d'être selon oy.

$\vec{E}_M = \begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = 2 \frac{KQ}{DM^2} \cos \theta \end{cases}$ , avec

$\cos \theta = \frac{OM}{DM} = \frac{1}{2}$

$\vec{E}_M = \begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = \frac{3KQ}{4R^2} \end{cases}$

$E_y = 1443 \text{ V/m}$

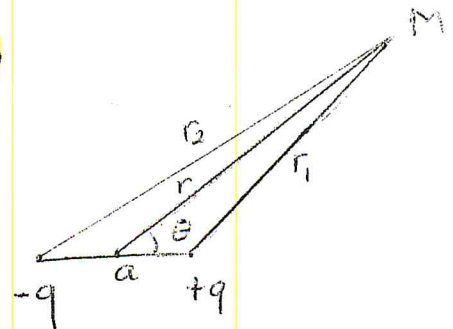


Exercice 2 : (06 points)

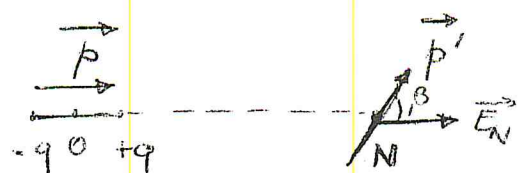
1)  $V(r, \theta) = \frac{Kq}{r_1} - \frac{Kq}{r_2} = Kq \frac{(r_2 - r_1)}{r_1 r_2}$

$V(r, \theta) \approx \frac{Kp \cos \theta}{r^2}$

2)  $\vec{E} = \begin{cases} E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = 2Kp \frac{\cos \theta}{r^3} \\ E_\theta = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = Kp \frac{\sin \theta}{r^3} \end{cases}$



3) a.  $\vec{E}_N = \begin{cases} E_r(N) = \frac{2Kp}{x^3} \\ E_\theta(N) = 0 \end{cases}$





$$\vec{E}_p = -p' \cdot \vec{E}_N = -p' \cdot E_N \cos \beta$$

HA.

$$E_p = - \frac{2 K p p'}{x^3} \cos \beta$$

b.  $\beta = 0$   $E_p = - \frac{2 K p p'}{x^3}$  : équilibre stable

$\beta = \pi$   $E_p = \frac{2 K p p'}{x^3}$  : équilibre instable

Exercice 3 : (10 points)

1)  $Q_{Ai} = -Q_B = -10 \mu C$  : influence totale

$$Q_{Ae} + Q_{Ai} = Q_A \Rightarrow Q_{Ae} = Q_A - Q_{Ai} = Q_A + Q_B = +5 \mu C =$$

2) a.  $r < R_1$  :  $E(r) = 0$  Théorème de Gauss

b.  $R_1 < r < R_2$  :  $E(r) = \frac{Q_B}{2\pi\epsilon_0 L} \cdot \frac{1}{r}$

c.  $R_2 < r < R_3$  :  $E(r) = 0$

d.  $r > R_3$  :  $E(r) = \frac{Q_{Ae}}{2\pi\epsilon_0 L} \cdot \frac{1}{r}$

3)  $R_1 < r < R_2$   $E(r) = \frac{Q_B}{2\pi\epsilon_0 L} \cdot \frac{1}{r} \Rightarrow V(r) = \frac{Q_B}{2\pi\epsilon_0 L} \ln r + c$

$$E_c(R_1) - E_c(R_2) = E_p(R_2) - E_p(R_1) \text{ avec } E_c(R_2) = 0$$

$$E_c(R_1) = E_p(R_2) - E_p(R_1) = -|e| [V(R_2) - V(R_1)]$$

$$E_c(R_1) = \frac{Q_B \cdot |e|}{2\pi\epsilon_0 L} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$E_c(R_1) \approx 24.3 \text{ keV} \approx 3.9 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

N.B. : Le problème est donné à titre indicatif. Le correcteur doit tenir compte de la démonstration dans l'attribution de la note.

AA

**DEUXIEME EPREUVE DE MOYENNE DUREE**  
(Durée : 1h30mn)

**Exercice 1 : (7 points)**

Soient un repère  $(O, x, y, z)$  et deux points M et N de coordonnées respectives  $M\left(\frac{a}{2}, 0, 0\right)$  et  $N\left(\frac{3}{2}a, 0, 0\right)$ .

I. Soit une sphère (S) de rayon a et de centre O uniformément chargée en surface. La charge totale de (S) est  $(+q)$ . Soit  $(-q)$  une charge ponctuelle placée au centre O de (S) (voir figure1)

- 1°/ A l'aide du théorème de Gauss, déterminer le champ électrique créé par ce système aux points M et N. On précisera dans chacun des cas la surface de Gauss utilisée.
- 2°/ Déterminer le potentiel créé en ces mêmes points. On supposera le potentiel nul à l'infini.

II. Soient deux charges ponctuelles  $(+q)$  situées aux points A et B de coordonnées respectives

$$A\left(-\frac{3}{2}a, +a, 0\right) \text{ et } B\left(-\frac{3}{2}a, -a, 0\right)$$

- 1°/ Déterminer le champ électrique créé par ces deux charges aux points M et N.
- 2°/ Déterminer le potentiel électrique créé en ces mêmes points.

III. On superpose les deux systèmes définis dans les parties I et II (voir figure 2) et on négligera dans ce qui suit l'influence entre la sphère (S) et les charges en A et B.

- 1°/ Déterminer dans ce cas le champ électrique créé en M et N.
- 2°/ Déterminer le potentiel créé en ces mêmes points.

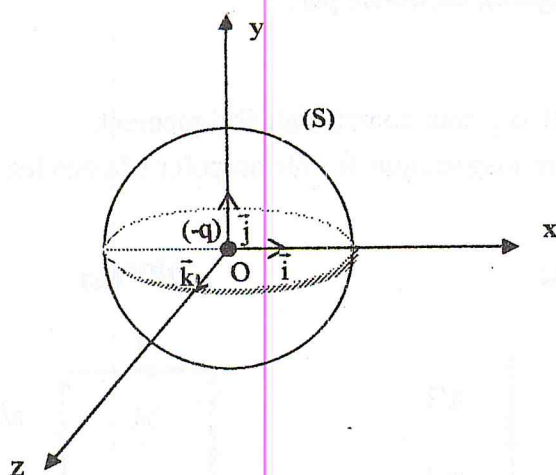


Figure 1

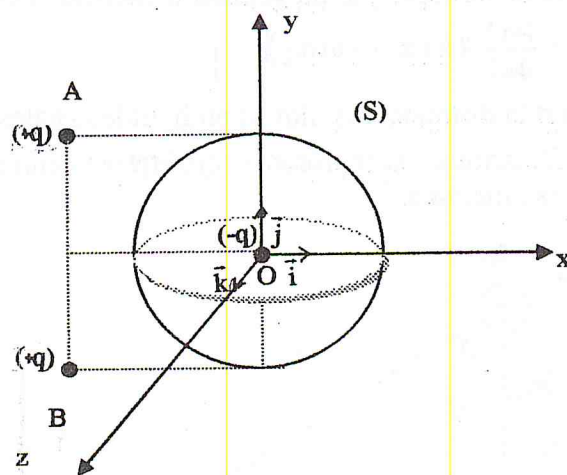
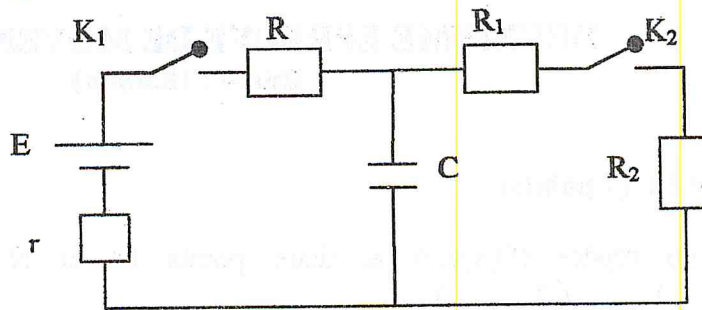


Figure 2

## Exercice n°2 : (10 points)

On considère le circuit électrique représenté ci-contre :

$$\begin{aligned} E &= 10\text{V} \\ r &= 5\Omega \\ R &= 2(R_1 + R_2) = 40\Omega \\ C &= 10\mu\text{F} \end{aligned}$$



I. A l'instant  $t = 0\text{ s}$ , où le condensateur est complètement déchargé, on ferme l'interrupteur  $K_1$ ,  $K_2$  étant ouvert.

1/ Etablir l'équation différentielle régissant la variation de la charge  $q(t)$  du condensateur C en fonction du temps.

2/ Montrer que la solution  $q(t)$  obéit à la loi  $q(t) = Q_f (1 - e^{-t/\tau})$ , en précisant les expressions de  $Q_f$  et  $\tau$ .

3/ Donner l'allure de la courbe  $q(t)$ .

4/ Calculer l'énergie  $W_1$  emmagasinée dans le condensateur C à l'instant  $t = \tau$ .

II. En fait à l'instant  $t = \tau$ , on ouvre  $K_1$  et on ferme  $K_2$ .

1/ Trouver l'expression de  $q'(t)$  lors de la décharge du condensateur.

2/ En déduire l'expression du courant  $i'(t)$  circulant dans le circuit.

3/ Calculer l'énergie  $W_2$  dissipée par effet Joule durant la décharge. Comparer  $W_1$  et  $W_2$ , conclusion?

4/ Représenter sur la feuille de papier millimétré les variations de la charge du condensateur en fonction du temps, en précisant sa valeur à l'instant  $t = 65 \cdot 10^{-5}\text{ s}$ .

Echelle :  $1\text{cm} \longrightarrow 10^{-5}\text{ C}$ ,  $1\text{cm} \longrightarrow 10^{-4}\text{ s}$

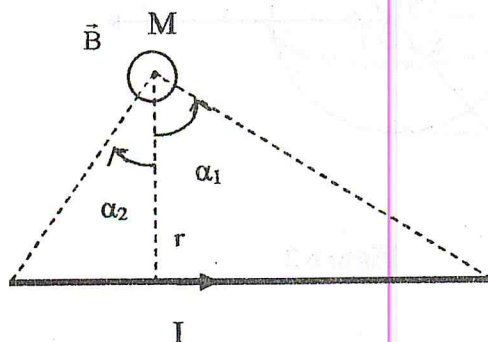
## Exercice n°3 : (3 points)

On rappelle que le champ magnétique  $\vec{B}$  créé, au point M, par un fil rectiligne de longueur finie et parcouru par un courant d'intensité  $I$  (voir figure), est donné par:

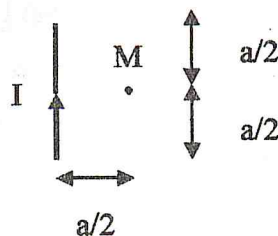
$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$

$r$  est la distance du point M au fil et les angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont comptés algébriquement.

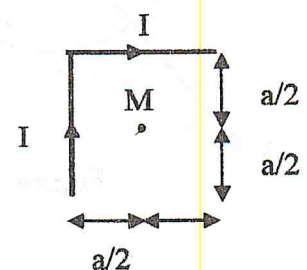
Déterminer et représenter qualitativement le champ magnétique  $\vec{B}$  créé au point M dans les cas suivants:



1<sup>er</sup> cas



2<sup>ème</sup> cas

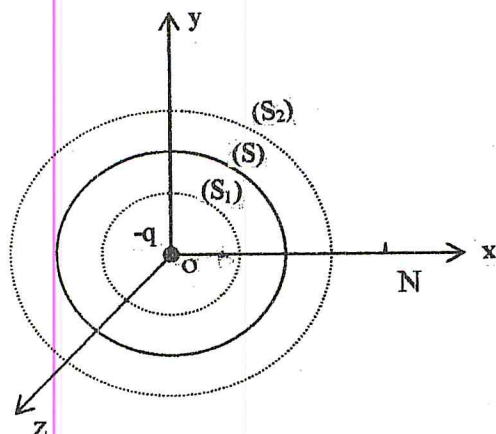




Corrigé de la Deuxième Epreuve de Moyenne Durée

Exercice 1 :

I. 1°/ Pour des raisons de symétrie, le champ en M et N est radial  $\Rightarrow \vec{E} // Ox$



a- En M : Surface de Gauss : sphère (S<sub>1</sub>) de rayon  $r < a$ . (0,25)

Théorème de Gauss :  $\oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0} = -\frac{q}{\epsilon_0}$

Donc,  $E \cdot 4\pi r^2 = \frac{-q}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = -K \frac{q}{r^2}$   $\vec{E}_M = -\frac{4Kq}{a^2} \vec{i}$  ( $r = \frac{a}{2}$ ) (0,5)

b- En N : Sphère (S<sub>2</sub>) de rayon  $r > a \Rightarrow \oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0} = 0 \Rightarrow \vec{E}_N = \vec{0}$  (0,5)

2°/  $\vec{E} = -\vec{\text{grad}} V \Rightarrow E = -\frac{dV}{dr} \Rightarrow dV = -E \cdot dr$ , on a donc :

$$\begin{cases} r < a \Rightarrow V = \int \frac{Kq}{r^2} dr \Rightarrow V = -\frac{Kq}{r} + C \\ r > a \Rightarrow V = C' \end{cases}$$
 (0,25)

A l'infini,  $V = 0$  donc  $r > a \Rightarrow V = 0 \Rightarrow C' = 0$ . En  $r = a$ ,  $V = -\frac{Kq}{a} + C = 0 \Rightarrow C = \frac{Kq}{a}$  (0,25)

le potentiel V s'écrit alors

$$V = \begin{cases} -\frac{Kq}{r} + \frac{Kq}{a} & \text{pour } r < a \\ 0 & \text{pour } r > a \end{cases}$$

En M :  $V_M = -\frac{Kq}{a}$  (0,25)  
En N :  $V_N = 0 V$  (0,25)

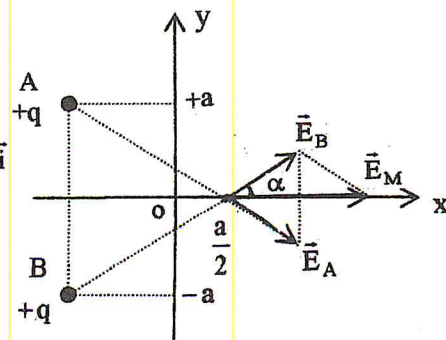
II. 1°/ En M,

$\vec{E}_M = \vec{E}_A + \vec{E}_B$  avec  $|\vec{E}_A| = |\vec{E}_B|$

Pour des raisons de symétrie on a,  $\vec{E} = 2|\vec{E}_A| \cos \alpha \vec{i}$  (0,5)

$|\vec{E}_A| = \frac{Kq}{|AM|^2}$ ,  $\cos \alpha = \frac{2a}{|AM|}$ ,  $|AM|^2 = a^2 + 4a^2 = 5a^2 \Rightarrow \vec{E}_M = \frac{4Kq}{5\sqrt{5}a^2} \vec{i}$  (0,5)

En N :  $\vec{E}_N = \vec{E}_A + \vec{E}_B$  avec  $|\vec{E}_A| = |\vec{E}_B|$



$$|\vec{E}_A| = \frac{Kq}{|AN|^2}, \cos \alpha = \frac{3a}{|AN|}, |AN|^2 = a^2 + 9a^2 = 10a^2, \Rightarrow \vec{E} = \frac{6Kq}{10\sqrt{10}a^2} \vec{i} \quad (0,5)$$

$$2^\circ/ \text{En M: } V_M = \frac{2Kq}{|AM|} = \frac{2Kq}{a\sqrt{5}} \quad (0,5) \quad \text{En N: } V_N = \frac{2Kq}{|AN|} = \frac{2Kq}{a\sqrt{10}} \quad (0,5)$$

III.

$$1^\circ/ \text{En M: } \vec{E} = -\frac{4Kq}{a^2} \vec{i} + \frac{4Kq}{5\sqrt{5}a^2} \vec{i} \Rightarrow \vec{E} = \frac{4Kq}{a^2} \left(-1 + \frac{1}{5\sqrt{5}}\right) \vec{i}; \quad \text{En N: } \vec{E} = \frac{6Kq}{10\sqrt{10}a^2} \vec{i} \quad (0,25)$$

$$2^\circ/ \text{En M: } V_M = -\frac{Kq}{a} + 2\frac{Kq}{a\sqrt{5}} = \frac{Kq}{a} \left(-1 + \frac{2}{\sqrt{5}}\right); \quad \text{En N: } V_N = 0 + \frac{2Kq}{a\sqrt{10}} = \frac{2Kq}{a\sqrt{10}} \quad (0,25)$$

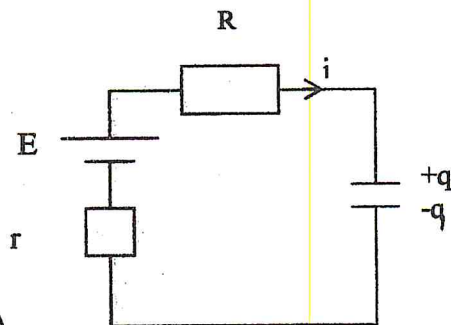
Exercice 2 :

I-  $K_2$  ouvert,  $K_1$  fermé

$$1^\circ/ -E + (R+r)i + \frac{q}{C} = 0 \quad (0,5)$$

$$\text{or, } i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{q}{C} + (R+r)\frac{dq}{dt} = E$$

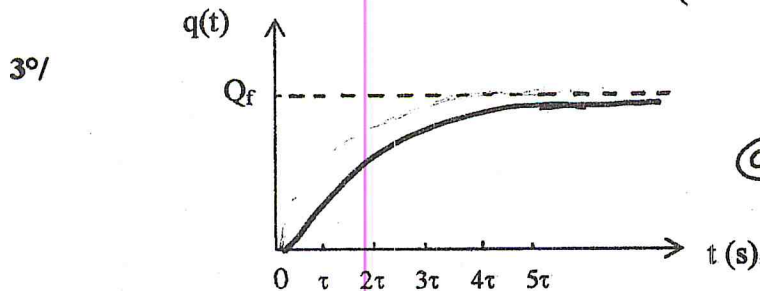
$$\text{Posons: } \tau = (R+r)C \Rightarrow \frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{E}{(R+r)} \quad (0,25)$$



$$2^\circ/ \text{Solution homogène: } \frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = 0 \Rightarrow q(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}}; \quad \text{Solution particulière: } \frac{dq}{dt} = 0 \Rightarrow q = EC$$

La solution générale s'écrit alors,  $q(t) = EC + A e^{-\frac{t}{\tau}}$

$$\text{A } t=0 \text{ s on a: } q(0)=0 \text{ C} \Rightarrow A = -EC \Rightarrow q(t) = EC \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = Q_f \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ avec } Q_f = EC \quad (0,25)$$

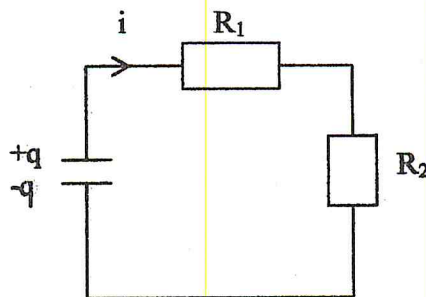


$$4^\circ/ W_1 = \frac{1}{2} CV^2(\tau) = \frac{1}{2} \frac{q^2(\tau)}{C} = \frac{1}{2C} (EC)^2 (1 - e^{-1})^2 = \frac{E^2}{2C} (1 - e^{-1})^2 \approx \frac{2E^2}{9C} \quad (0,5)$$

II- A  $t = \tau$ ,  $K_1$  est ouvert,  $K_2$  est fermé.

$$1^\circ/ -\frac{q'}{C} + (R_1 + R_2)i' = 0$$

$$\text{avec, } i' = -\frac{dq'}{dt} \Rightarrow \frac{q'}{C} + (R_1 + R_2)\frac{dq'}{dt} = 0$$



donc,  $\frac{dq'}{dt} = -\frac{q'}{(R_1 + R_2)C} = -\frac{q'}{\tau'}$  avec  $\tau' = (R_1 + R_2)C$

$\Rightarrow \int_{Q_f}^q \frac{dq'}{q'} = -\int_{\tau}^t \frac{dt}{\tau'} \Rightarrow q'(\tau) = Q_f e^{-\frac{t-\tau}{\tau'}}$  où  $Q_f = q(\tau) = Q_f(1 - e^{-1}) \approx \frac{2}{3} Q_f$

2°/  $i'(t) = -\frac{dq'}{dt} = \frac{Q_f}{\tau'} e^{-\frac{t-\tau}{\tau'}}$

3°/  $W_2 = \int_{\tau}^{\infty} (R_1 + R_2) i'^2(t) dt = (R_1 + R_2) \frac{Q_f^2}{\tau'^2} \int_{\tau}^{\infty} e^{-\frac{2(t-\tau)}{\tau'}} dt$

$= (R_1 + R_2) \frac{Q_f^2}{\tau'^2} \frac{\tau'}{2} = \frac{1}{2} \frac{Q_f^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{E^2}{C} (1 - e^{-1}) \approx \frac{2E^2}{9C} \equiv W_1$

Toute l'énergie emmagasinée dans C est dissipée par effet Joule.

4°/ A.N:

$\tau = (R + r)C = 45 \cdot 10^{-5} s = 4,5 \cdot 10^{-4} s$

$\tau' = (R_1 + R_2)C = 20 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-4} s$

$Q_f = EC = 10 \cdot 10^{-5} C$

$Q_{\tau} = Q_f(1 - e^{-1}) = 0,63 Q_f = 6,3 \cdot 10^{-5} C$

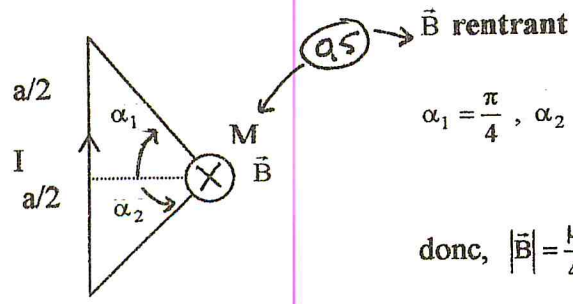
$t = 65 \cdot 10^{-5} s = \tau + \tau' \Rightarrow q(t) = Q_{\tau} e^{-1} = 2,3 \cdot 10^{-5} C$

graphe : 1,5

Exercice 3 :

$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \wedge \vec{u}}{r^2}$

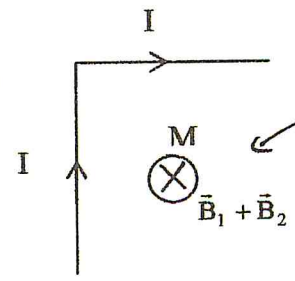
a°/



$\alpha_1 = \frac{\pi}{4}, \alpha_2 = -\frac{\pi}{4} \quad r = \frac{a}{2}$

donc,  $|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2 \sin \frac{\pi}{4}}{a/2} = \frac{\mu_0}{\pi a} \frac{\sqrt{2}}{2}$

b°/



$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

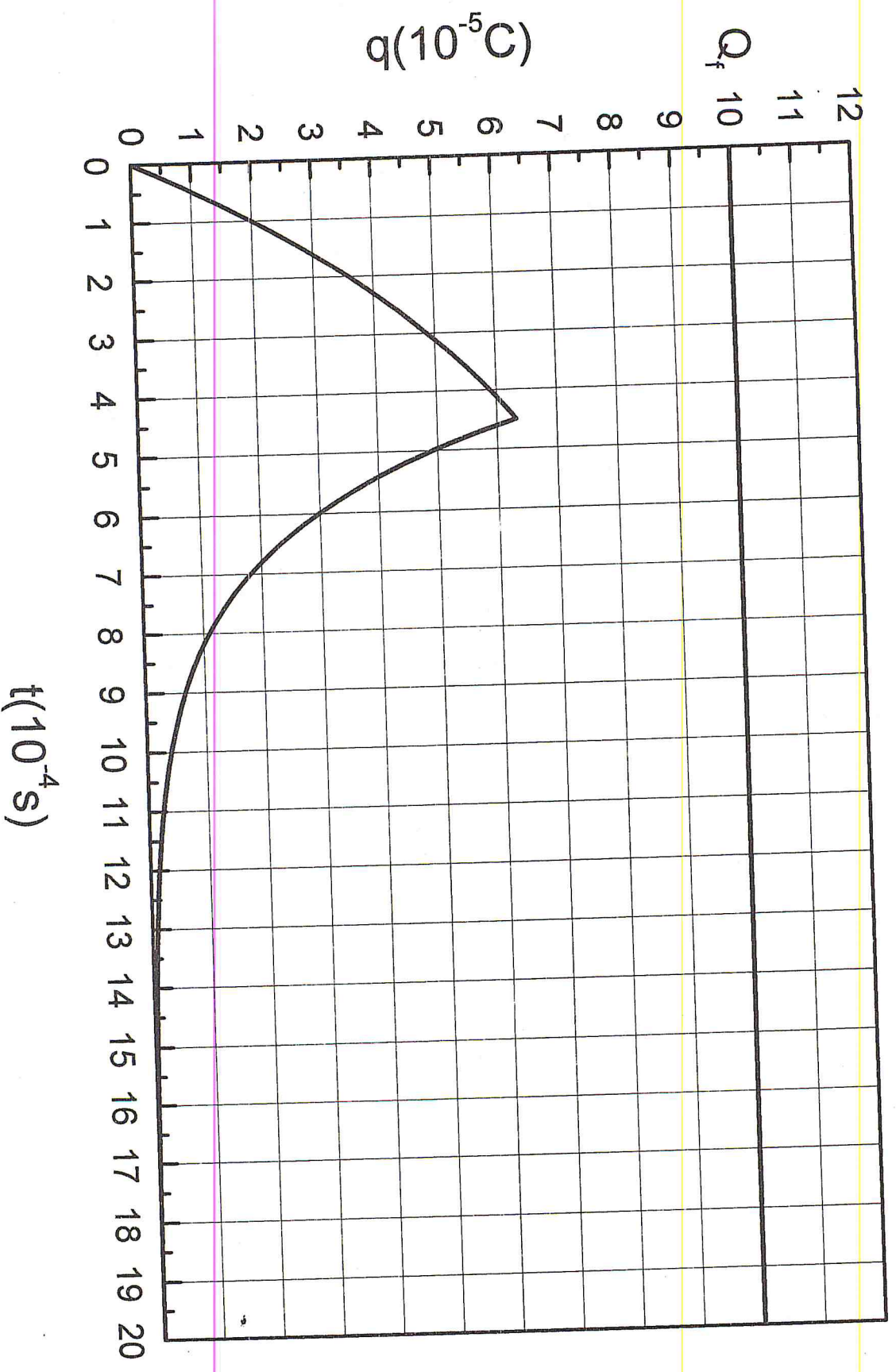
$\left. \begin{array}{l} \vec{B}_1 : \text{rentrant} \\ \vec{B}_2 : \text{rentrant} \end{array} \right\} \Rightarrow \vec{B} \text{ rentrant}$

$|\vec{B}_1| = \frac{\mu_0}{\pi a} \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad |\vec{B}_2| = \frac{\mu_0}{\pi a} \frac{\sqrt{2}}{2}$

donc,  $|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{\pi a} \sqrt{2}$



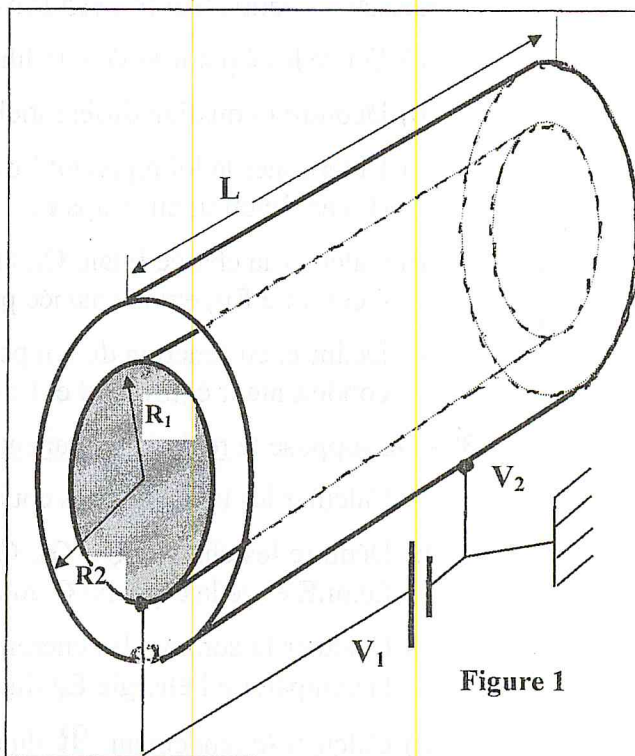
AA



**2<sup>ème</sup> EPREUVE DE MOYENNE DUREE (Durée : 2heures)**

**EXERCICE 1 (7 points)**

La figure 1, ci-contre, représente deux conducteurs cylindriques, concentriques, de longueur  $L$ . Le rayon du conducteur central est  $R_1$  et son potentiel est  $V_1$ , le rayon intérieur du conducteur creux est  $R_2$  et son potentiel est  $V_2$ . ( $L$  est très grande devant  $R_2$ ).



**Figure 1**

- 1° - Déterminer l'expression du champ électrique  $\vec{E}(r)$  en un point  $M$  situé à une distance  $r$  de l'axe des conducteurs, tel que :  $R_1 < r < R_2$ , ( par application du théorème de Gauss).
- 2° - Par la circulation du champ  $\vec{E}$  entre les deux conducteurs montrer que la valeur de leur capacité est :  $C_0 = 0,5 \mu F$ .
- 3° - En remplissant le vide entre les deux conducteurs précédents par un isolant de résistivité  $\rho$  et de permittivité  $\epsilon$ , on obtient un câble électrique coaxial. Le conducteur extérieur constitue une enveloppe de protection en contact avec la terre ( $V_2 = V_{\text{terre}} = 0V$ ). Dans les conditions d'utilisation, un courant radial, dit de fuite, s'établit entre le conducteur central et la terre.

- a) Connaissant  $C_0$ , Calculer la capacité  $C$  du câble électrique ;
- b) Par application de l'expression locale de la loi d'Ohm ( $\vec{i} = \gamma \vec{E}$ ,  $\vec{i}$  : densité de courant), calculer la résistance de fuite  $R_f$  opposée au courant de fuite radial ;
- c) Calculer le courant de fuite  $I_f$  et la puissance  $P$  dissipée par effet joule dans l'isolant ;
- d) Trouver une relation entre la capacité  $C$  et la résistance  $R_f$  du câble (cette relation caractérise l'isolant).

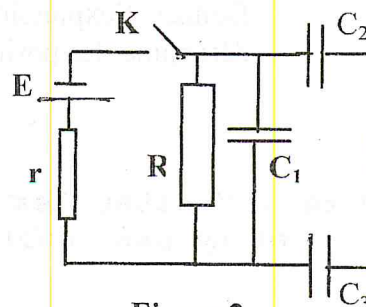
**.Données :**  $V_1 = 250 \text{ KV}$  ;  $V_2 = 0V$  ;  $R_1 = 3 \text{ cm}$  ;  $\text{Log } R_2/R_1 = 0,3$  ;  $L = 2,7 \text{ Km}$   
 $\rho = 1/\gamma = 14,14 \cdot 10^{12} \Omega \cdot m$  ;  $\epsilon = 6 \epsilon_0$  (rappel  $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ (MKSA)}$ )

**EXERCICE 2 (10 points)**

[N.B. : Les questions 2° et 3° sont indépendantes]

On considère le réseau électrique de la figure 2, constitué d'un générateur de f.e.m.  $E$  et de résistance interne  $r$ , de 3 condensateurs de capacité  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  et d'une résistance  $R$ , ( $R$  très grande devant  $r$ ). Les condensateurs sont initialement déchargés.

**Données :**  $C_2 = C_3 = 2 C_1 = 1 \mu F$  ;  $E = 50V$  ;  
 $R = 100 \Omega$  ;  $r = 0.5 \Omega$



**Figure 2**

1° - Préliminaires : Réseau équivalent

- a) Calculer la capacité  $C$  du condensateur équivalent au groupement des trois condensateurs ( $C_1$ ), ( $C_2$ ) et ( $C_3$ ) ;



- b) Représenter le schéma du réseau équivalent après avoir remplacé le groupement  $(C_1)$ ,  $(C_2)$  et  $(C_3)$  par le condensateur équivalent  $(C)$ .

2° - Régime transitoire : On remplace les trois condensateurs  $(C_1)$ ,  $(C_2)$  et  $(C_3)$  par le condensateur équivalent  $(C)$  et à l'instant  $t = 0s$ , on ferme l'interrupteur  $K$ .

- Écrire les équations de Kirchhoff pour le circuit équivalent ;
- Déduire l'équation différentielle régissant l'évolution de la charge  $q(t)$  de  $(C)$  ;
- Déterminer la loi régissant l'évolution de la charge  $q(t)$  du condensateur équivalent  $(C)$  en fonction du temps  $t$  ;
- Calculer la charge finale  $Q_f$ , la constante de temps de charge  $\tau$  et l'énergie potentielle électrique  $E_p$ , emmagasinée par le condensateur équivalent  $(C)$  ;
- Déduire, en fonction du temps  $t$ , l'évolution de la d.d.p.  $V_c(t)$  aux bornes du condensateur équivalent et l'évolution du courant  $i_R(t)$  dans la résistance  $R$  ;

3° - On suppose le régime permanent établi et on reconsidère le réseau de la figure 2 ;

- Calculer les intensités des courants circulant dans les différentes branches du réseau ;
- Déduire les charges  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  des condensateurs  $(C_1)$ ,  $(C_2)$  et  $(C_3)$ , en fonction de la f.e.m.  $E$  et de la capacité  $C$  du condensateur équivalent ;
- Calculer la somme des énergies potentielles  $E_{p1}$ ,  $E_{p2}$  et  $E_{p3}$  des trois condensateurs et la comparer à l'énergie  $E_p$  du condensateur équivalent  $(C)$  ;
- Calculer le rendement  $\mathcal{R}$  du générateur.

### EXERCICE 3 (3points)

On considère le circuit rectangulaire de la figure 3, de largeur  $l$  et de longueur  $L$ , parcouru par un courant  $I$ . Le circuit peut tourner autour de l'axe  $z'Oz$  (le repère  $(Oxyz)$  est lié au circuit).

1° - Rappeler l'expression du vecteur moment dipolaire magnétique  $\vec{M}$  et le représenter qualitativement.

2° - On plonge le circuit dans une induction magnétique  $\vec{B}$  uniforme et parallèle au plan  $Oxy$ . On pose:  $\theta = (\vec{Oy}, \vec{B})$ .

- Donner l'expression des forces magnétiques exercées par le champ  $\vec{B}$  sur les cotés du circuit et les représenter qualitativement ; (Par rapport à  $Oxyz$ , par exemple).
- Déterminer l'expression du couple  $\vec{\tau}$  exercé par le champ  $\vec{B}$  sur le circuit en fonction de l'angle  $\theta$  ;
- Donner l'expression de l'énergie potentielle  $E_p$  du circuit en fonction de  $\theta$  et déterminer les positions d'équilibre du circuit par rapport au vecteur  $\vec{B}$ .

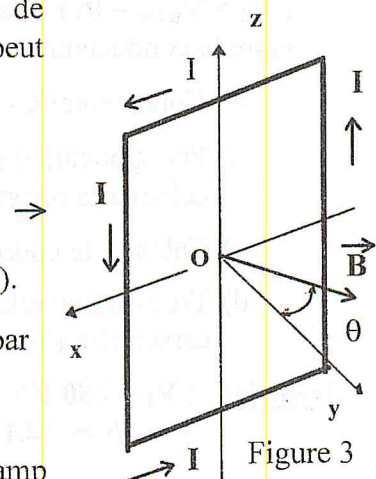


Figure 3

**Nota : Traiter les différents exercices sur des pages séparées et ne pas oublier de numérotter les réponses !**



## BAREME DE NOTATION

## EXERCICE I

I.1° Champ électrique - La longueur  $L$  étant grande devant le rayon  $R_2$ , on peut considérer le conducteur comme un fil infini.

0,5  $\Phi = \int_{\Sigma_{\text{gauss}}} \vec{E} \cdot d\vec{s} = 2\pi r L E(r) = q / \epsilon_0$

0,5  $E(r) = q / 2\pi\epsilon_0 L r$

I.2° Circulation du champ.

0,25  $dV = -E(r)dr$

0,25  $\int_{V_1}^{V_2} dV = (-q / 2\pi\epsilon_0 L) \int_{R_1}^{R_2} dr / r$

0,5  $V_1 - V_2 = q \cdot \ln(R_2/R_1) / 2\pi\epsilon_0 L$

0,5  $C_0 = q / (V_1 - V_2)$

0,5  $C_0 = 2\pi\epsilon_0 L / \ln(R_2/R_1)$

0,5  $C_0 = 0,5 \mu F$

I.3 a Capacité  $C$  du câble.

0,25  $C = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} C_0 = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln(R_2/R_1)}$

0,25  $C = 3 \mu F$

I.3 b Résistance de fuite  $R_f$ .

$i = \gamma E$  ;  $E = -dV/dr$

$i = I/S$  ;  $S = 2\pi r L$

0,5  $\frac{I}{S} = -\frac{dV}{\rho dr}$

0,5  $\int_{V_1}^{V_2} dV = -\frac{I\rho}{2\pi L} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r}$

0,5  $V_1 - V_2 = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R_2}{R_1} I$

0,5  $R_f = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{R_2}{R_1}$

0,5  $R_f = 250 \cdot 10^6 \Omega$

I.3c Courant de fuite  $I_f$ .

0,25  $I_f = V_1/R_f$

0,25  $I_f = 10^{-3} A$

Puissance  $P$  dissipée dans l'isolant.

0,25  $P = R_f I_f^2$

0,5  $P = 250 W$

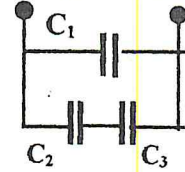
I.3d Relation entre  $R_f$  et  $C$ .

0,5  $R_f C = \epsilon \rho$

0,5  $R_f C = 750 s$

## EXERCICE II

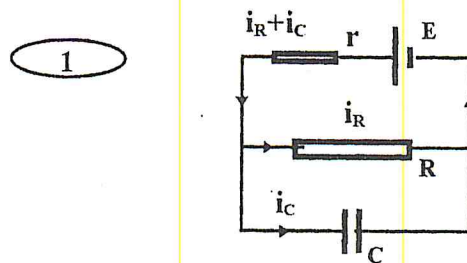
II.1a Condensateur équivalent.



0,5  $C = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_1 = 2C_1$

0,5  $C = 1 \mu F$

II.1b Schéma du réseau équivalent.



II.2a Equations. de Kirchhoff.

0,25  $i_R + i_C = i_E$  (1)

0,25  $(R+r)i_R + r i_C = E$  (2)

0,25  $R i_R - q/C = 0$  (3)

II.2b Equation différentielle.

0,25  $i_R = \frac{E - r i_C}{r + R}$

0,25  $i_C = dq/dt$

Par substitution dans (3)

0,5  $\frac{Rr}{R+r} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \frac{R}{R+r} E$

En négligeant  $r$  devant  $R$ , il vient :

0,5  $\frac{dq}{dt} + \frac{q}{rC} \approx \frac{E}{r} = \frac{CE}{rC}$

II.2c Evolution de la charge  $q(t)$ .  
L'intégration par séparation de variable, par exemple, donne :

0,25  $\frac{dq}{q - CE} = -\frac{dt}{rC}$   
 $\tau \approx rC$

0,25  $\int_0^q \frac{dq}{q - CE} = -\int_0^t \frac{dt}{\tau}$

0,25  $\ln \frac{q - CE}{-CE} = -\frac{t}{\tau}$

1  $q(t) = CE(1 - e^{-t/\tau})$

II.2d Calcul de la charge finale  $Q_{qf}$ .

0,25  $Q_f = CE = 50 \mu C$

Constante de temps  $\tau$ .

$$\tau = rC$$

0,25  $\tau = 0,5 \cdot 10^{-6} s$

Energie potentielle  $E_p$ .

$$E_p = \frac{1}{2} \frac{Q_f^2}{C}$$

0,25  $E_p = 1,25 \cdot 10^{-3} J$

II.2e d.d.p. aux bornes du condensateur.

$$V_c(t) = q(t)/C$$

0,25  $(V_c(t) = E(1 - e^{-t/\tau}))$

Courant  $i_R(t)$  dans la Résistance R.

$$i_R(t) \approx \frac{E - r i_c(t)}{R}$$

0,25  $i_c(t) = i_c(t) = \frac{E}{r} e^{-t/\tau}$

0,5  $i_R(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau})$

II.3 Régime permanent

II.3a Intensités des courants - Dans les branches comportant des condensateurs les courants sont nuls.

0,5  $I_{C1} = I_{C2,3} = 0 A$

Dans la Résistance R ( $R \gg r$ )

$$I_R = \frac{E}{R}$$

0,5  $I_R = 0,5 A$

II.3b Charges des condensateurs.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = CE/2 = Q_f/2$$

0,5  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 25 \mu C$

2.3c Somme des énergies potentielles.

$$E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} = \sum_i E_{p_i} =$$

0,5  $\frac{1}{2} \left( \frac{CE}{2} \right)^2 \left( \frac{2}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} \right) = \frac{1}{2} \frac{Q_f^2}{C}$

0,5  $\sum_i E_{p_i} = E_p$

II.3d Rendement du générateur.

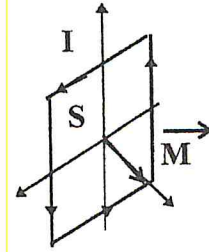
0,25  $\mathcal{R} = \frac{E - r I_R}{E} = (1 - \frac{r I_R}{E}) \times 100$

0,25  $\mathcal{R} = 99,5\%$

### EXERCICE III

III.1 Vecteur moment dipolaire magnétique.

0,25  $\vec{M} = I S \vec{n}$

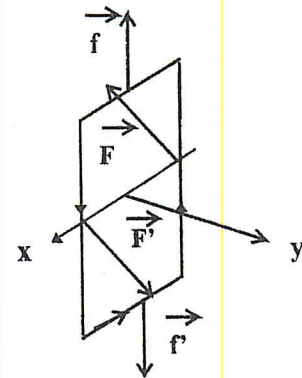


0,25

III.2a Forces exercées sur les côtés du circuit.

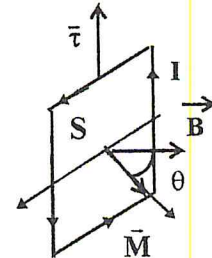
0,25  $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$

0,25  $F = I B L$  (ou  $f = I B l$ )



0,5

III.2b Expression du couple.



0,25  $\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$

0,25  $\tau = M B \sin \theta$

III.2c Energie potentielle.

0,25  $E_p = -\vec{M} \cdot \vec{B}$

0,25  $E_p = -M \cdot B \cos \theta$

0,25 Position d'équilibre stable :  $\vec{M}$  et  $\vec{B}$  parallèles et de même sens.

0,25 Position d'équilibre instable :  $\vec{M}$  et  $\vec{B}$  parallèles et de sens contraires.



EPREUVE DE SYNTHESE

Durée : 2 heures

ELECTRICITE: (14 points)

Données (dans le système MKSA):  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ ;  $K_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$

Exercice 1: (5 pts)

A/ La figure 1 représente deux plans conducteurs A et B parallèles, supposés de grandes dimensions comparées à la distance  $d$  qui les sépare et portant des charges uniformément réparties en surface. Leurs densités superficielles de charge respectives sont  $\sigma_A = +\sigma$  et  $\sigma_B = -\sigma$ .

1- En appliquant le théorème de Gauss, déterminer le champ électrique  $\vec{E}$  dans les trois régions I, II et III.

2- En déduire le potentiel  $V(x)$  le long de l'axe  $Ox$ , dans la région II, sachant que la plaque B est portée au potentiel 0.

3- Si  $V_A - V_B = 1000$  V et  $d = 50$  mm, quelle est la densité de charge portée par chaque plan.

B/ Une molécule de moment dipolaire  $\vec{p}$  se trouve entre les deux plans chargés. (On négligera son poids). Soit  $\theta$  l'angle initial que fait  $\vec{p}$  avec la verticale (figure 2).

1- Représenter les forces agissant sur le dipôle.

2- Quelle est son énergie potentielle en fonction du champ  $E$ , de  $p$  et de  $\theta$ ?

3- Par quelle position d'équilibre passera alors le dipôle? S'agit-il d'une position d'équilibre stable ou instable?

4- En réalité, la présence de ce dipôle perturbe le champ entre les plaques. Calculer le champ électrique créé par ce dipôle en un point M situé à  $OM = r = 1$  cm du dipôle pour  $\theta=0$  (voir la figure 2). On donne  $p = 6,2 \cdot 10^{-30}$  C.m. Que peut-on dire de la perturbation du champ entre les plaques due à la présence du dipôle?

N.B.  $r$  est très grand devant les dimensions du dipôle.

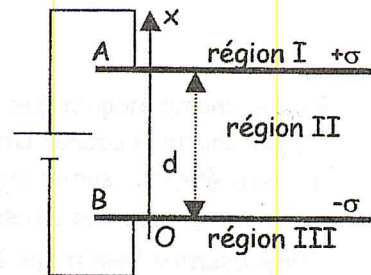


Figure 1

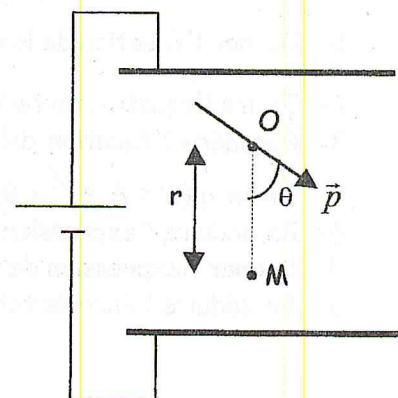


Figure 2

Exercice 2: (4 pts)

Soit un grand cadre carré de côté  $L$ , parcouru par un courant  $I$ , comprenant un nombre de spires  $N$  et dont l'épaisseur peut être négligée par rapport à  $L$  (bobine plate) (voir figure 3).

1- Quel est en fonction de  $N$ ,  $L$  et  $I$ , le champ magnétique  $B$  au centre  $O$  du cadre? Préciser, sur la figure 3, sa direction et son sens.

On rappelle qu'un fil rectiligne de longueur finie parcouru par un courant  $I$  crée un champ magnétique en un point P distant de

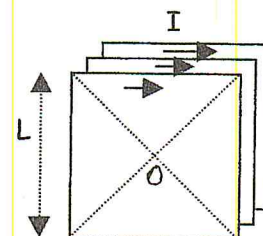
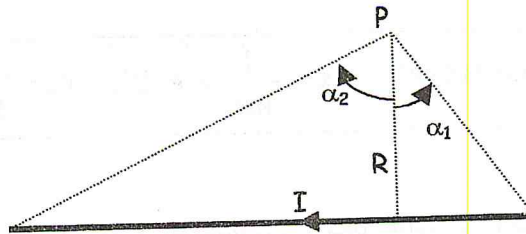


Figure 3



R, de la forme  $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$ , où  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont précisés sur la figure 4.

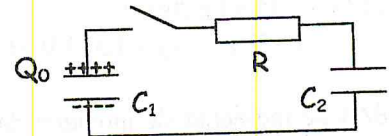
Figure 4



- 2- Le champ magnétique  $B$  au point  $O$  est  $B = 0,1 \text{ T}$ . Quel est alors le courant  $I$  qui doit parcourir le cadre? On donne  $N = 2000$ ,  $L = 10 \text{ cm}$ .
- 3- Représenter sur la figure 3, la force magnétique agissant sur des électrons passant au point  $O$  avec une vitesse horizontale vers la droite ( $\vec{v}_1$ )  
Représenter leur trajectoire et préciser le sens de leur mouvement.

### Exercice3: (5 pts)

Un condensateur de capacité  $C_1$ , portant initialement la charge  $Q_0$ , se décharge dans un circuit comportant un autre condensateur  $C_2$  initialement non chargé et une résistance  $R$ . On appellera  $q_1(t)$ , la charge de  $C_1$ ,  $q_2(t)$ , la charge de  $C_2$  et  $i(t)$ , l'intensité du courant à un instant  $t$  quelconque après la fermeture de l'interrupteur.



- 1- Donner l'équation de la maille. Quelles relations simples y a-t-il entre  $i(t)$ ,  $\frac{dq_1}{dt}$  et  $\frac{dq_2}{dt}$ ?
- 2- Ecrire l'équation différentielle à laquelle obéit  $q_1(t)$ .
- 3- Résoudre l'équation différentielle pour obtenir  $q_1(t)$ : montrer que  $q_1(t)$  s'écrit sous la forme  $q_1(t) = A e^{-t/\tau} + B$ . Préciser les expressions de  $A$ ,  $B$  et  $\tau$ .
- 4- En déduire l'expression de  $q_2(t)$ .
- 5- Donner l'expression de  $i(t)$ .
- 6- En déduire l'énergie totale dissipée par effet Joule.

## MECANIQUE : (6 points)

### Exercice 1 : (3 pts)

Les coordonnées (exprimées en mètres -m-) d'une particule mobile dans un repère R fixe sont données en fonction du temps (en secondes -s-) par :

$$x = t^2 - 4t + 1$$

$$y = -2t^4$$

$$z = 3t^2$$

Dans un deuxième repère R', de mêmes vecteurs de base  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ , que le repère R, elles ont pour expression :

$$x' = t^2 + t + 2$$

$$y' = -2t^4 + 5$$

$$z' = 3t^2 - 7$$

Quelle est la vitesse de R' par rapport à R ? Calculer les accélérations  $\vec{a}$  et  $\vec{a}'$ . Expliquer le résultat.

### Exercice 2 : (3 pts)

Un satellite terrestre est placé sur une orbite circulaire, supposée stable.

1- Montrer que sa vitesse v est donnée par :

$$v^2 = g_0 \frac{R_0^2}{R}$$

et son énergie mécanique par :

$$E = -\frac{1}{2} m g_0 \frac{R_0^2}{R}$$

où m est la masse du satellite,  $g_0$  est l'accélération de la pesanteur à la surface de la terre, R est le rayon de l'orbite et  $R_0$  le rayon de la terre.

2- Donner l'expression de la période T du mouvement circulaire en fonction de  $R_0$ ,  $g_0$  et R.

3- A l'altitude du satellite, l'atmosphère, raréfiée, a une masse volumique  $\rho$ .

Le satellite est soumis à une force de frottement opposée au vecteur vitesse et de module  $F = K\rho v^2$ . En admettant, en première approximation, que la vitesse du satellite garde la même valeur pendant une révolution, déterminer le travail (algébrique) de cette force pendant une révolution en fonction de R,  $\rho$  et v.

ELECTRICITE

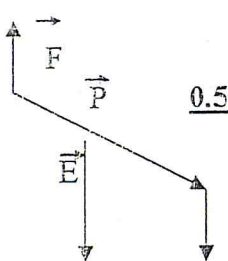
EXERCICE 1 :

A-

- 1) Region1 :  $E=0$  0.25, Region3 :  $E=0$  0.25, Region2 :  $E = \sigma / \epsilon_0$  0.25, dirigé de A à B 0.25  
2)  $V(x) = \sigma x / \epsilon_0$  0.5, 3)  $\sigma = (V_A - V_B) \epsilon_0 / d$  0.25,  $\sigma = 1,78.10^{-7} \text{ C/m}$  0.25

B-

1)



2)  $E_p = - \vec{E} \cdot \vec{p} = - E.p \cos \theta$  0.5

3)  $E \downarrow$ ,  $p \downarrow$  0.25 Position d'équilibre stable 0.25

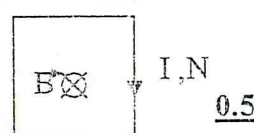
4)

$\vec{E}_{dip} \mid E_r = 2Kp / r^3$  0.5  
 $E_\theta = 0$

$E_{dip} = 1,116.10^{-13} \text{ V/m}$  0.25  $E = \sigma / \epsilon_0 = 2.10^4 \text{ V/m}$  0.25  
 $E_{dip} \ll E$  donc perturbation négligeable 0.5

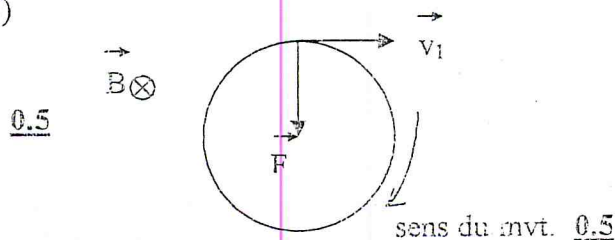
EXERCICE2 :

1)



2)  $I = 4\pi BL / \mu_0 N 8\sqrt{2}$  0.5  
 $B = \mu_0 NI 8\sqrt{2} / 4\pi L$  1.5  $I = 4.42 \text{ A}$  0.5

3)



EXERCICES3 :

1)

$q_1 / C_1 = Ri + q_2 / C_2$  0.5  $i = - dq_1 / dt = dq_2 / dt$  0.25

2)  $Q_0 = q_1(t) + q_2(t)$  conservation de la charge 0.5

$\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} q_1(t) + R \frac{dq_1}{dt} = \frac{Q_0}{C_2}$  0.5

3)

$q_1(t) = Q_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2} e^{-t/\tau} + Q_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2}$  0.5,  $\tau = RC_1 C_2 / (C_1 + C_2)$  0.25,  $A = Q_0 C_2 / (C_1 + C_2)$  0.25

$B = Q_0 C_1 / (C_1 + C_2)$  0.25



$$4) q_2(t) = Q_0 - q_1(t), q_2(t) = \frac{Q_0 C_2}{C_1 + C_2} (1 - e^{-t/\tau}) \quad \underline{0.5}$$

$$5) i(t) = dq_2 / dt = \frac{Q_0}{RC_1} e^{-t/\tau} \quad \underline{0.5}$$

$$6) dW = Ri^2 dt \quad \underline{0.5}, \quad W = Q_0^2 C_2 / 2C_1(C_1 + C_2) \quad \underline{0.5}$$

## MECANIQUE

### EXERCICE 1

$$\begin{array}{l} \rightarrow \\ V_{M/R} \\ \underline{0.25} \end{array} \left| \begin{array}{l} dx/dt = 2t - 4 \\ dy/dt = -8t^3 \\ dz/dt = 6t \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \rightarrow \\ V_{M/R'} \\ \underline{0.25} \end{array} \left| \begin{array}{l} dx'/dt = 2t + 1 \\ dy'/dt = -8t^3 \\ dz'/dt = 6t \end{array} \right.$$

$$\vec{V}_{R'/R} = \vec{V}_{M/R} - \vec{V}_{M/R'} \quad \underline{0.5}$$

$$\vec{V}_{R'/R} = -5 \vec{i} \quad \underline{0.5}$$

$$\vec{a} = d\vec{V}_{M/R} / dt = 2\vec{i} - 24t^2\vec{j} + 6\vec{k} \quad \underline{0.5}$$

$\vec{a} = \vec{a}'$  car R' est en translation uniforme / R

$$\vec{a}' = d\vec{V}_{M/R'} / dt = 2\vec{i} - 24t^2\vec{j} + 6\vec{k} \quad \underline{0.5}$$

0.5

### EXERCICE 2

$$1- mv^2/R = GMm/R^2 \quad \underline{0.25}$$

$$g_0 = GM/R_0^2 \quad \underline{0.25}$$

$$d'o\grave{u} \quad v^2 = g_0 R_0^2 / R \quad \underline{0.5}$$

$$E_c = m g_0 R_0^2 / 2R \quad \underline{0.25}$$

$$E_p = -mg_0 R_0^2 / R \quad \underline{0.25}$$

$$E = E_c + E_p = -mg_0 R_0^2 / 2R \quad \underline{0.25}$$

$$2) v = R\omega = 2\pi R/T \quad \underline{0.25}, \quad T = 2\pi R/v = 2\pi (R^3 / g_0 R_0^2)^{1/2} \quad \underline{0.25}$$

$$3) dW = \vec{F} \cdot d\vec{l} = -F \cdot dl \quad \underline{0.25}$$

$$W = -2\pi R K \rho v^2 \quad \underline{0.5}$$

- SUJET A -

Répondre aux questions posées et à elles seules . Aucun résultat intermédiaire ne sera noté .

**EXERCICE 1:**

On considère deux sphères conductrices, creuses et concentriques, (A) et (B), initialement neutres et isolées l'une de l'autre . (A) est limitée par les surfaces (S<sub>1</sub>), de rayon R<sub>1</sub>, et (S<sub>2</sub>), de rayon R<sub>2</sub> . (B) est limitée par les surfaces (S<sub>3</sub>), de rayon R<sub>3</sub>, et (S<sub>4</sub>), de rayon R<sub>4</sub> . ( figure 1 ) .

On donne :  $U(\text{sol}) = U(\infty) = 0 \text{ V}$  .

1) On relie (S<sub>3</sub>) au sol par un fil conducteur et on dépose sur (S<sub>1</sub>) une charge positive Q<sub>0</sub>.

- a) Trouver les charges électriques Q<sub>1</sub> , Q<sub>2</sub> , Q<sub>3</sub> et Q<sub>4</sub> portées, respectivement, par les surfaces (S<sub>1</sub>), (S<sub>2</sub>), (S<sub>3</sub>) et (S<sub>4</sub>) . Justifier chacun de ces résultats  
b) Déterminer et représenter le potentiel U(r) pour  $0 \leq r < \infty$

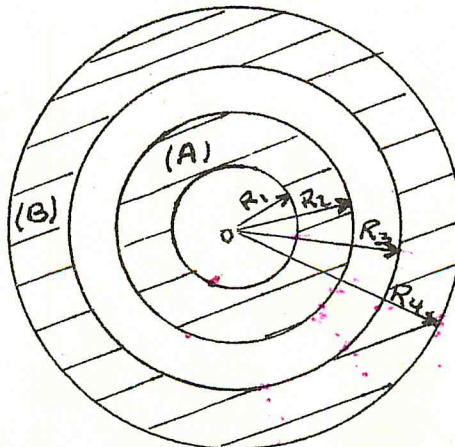
Préciser les valeurs de U(0), U(R<sub>1</sub>), U(R<sub>2</sub>) , U(R<sub>3</sub>) et U(R<sub>4</sub>) .

2) On supprime la liaison entre (S<sub>3</sub>) et le sol et on relie (S<sub>2</sub>) au sol par un fil conducteur .

- a) Déterminer les charges Q'<sub>1</sub> , Q'<sub>2</sub> , Q'<sub>3</sub> et Q'<sub>4</sub> portées, respectivement, par les surfaces (S<sub>1</sub>), (S<sub>2</sub>), (S<sub>3</sub>) et (S<sub>4</sub>) .

Justifier chacun de ces résultats .

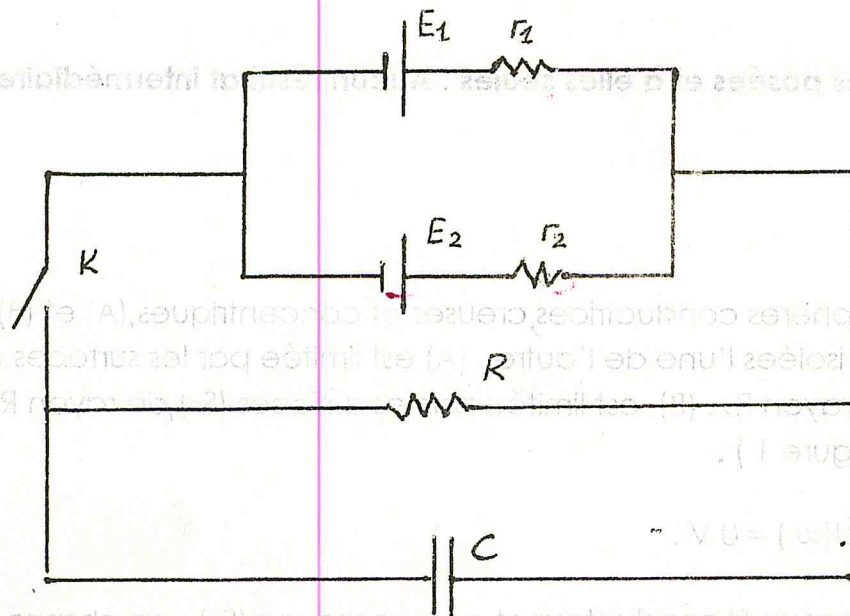
- b) On relie (S<sub>2</sub>) et (S<sub>3</sub>) par un fil conducteur . Quelle est l'énergie libérée ?



- Figure 1 -

## EXERCICE 2 :

On considère le circuit électrique représenté sur la figure 2 .



$$E_1 = 0,6 \text{ V}$$

$$E_2 = 1,2 \text{ V}$$

$$r_1 = 0,5 \Omega$$

$$r_2 = 0,2 \Omega$$

$$R = 5 \Omega$$

$$C = 1 \mu\text{F}$$

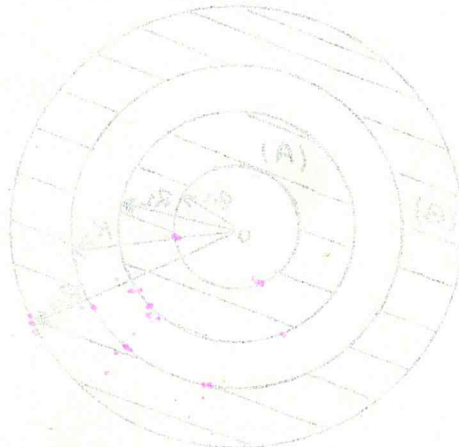
- Figure 2 -

1) L'interrupteur K étant fermé et le condensateur complètement chargé :

- Calculer l'intensité du courant  $I$  circulant à travers la résistance  $R$ .
- Calculer la charge du condensateur et en déduire l'énergie emmagasinée dans ce dernier.

2) A un instant  $t$ , pris comme origine des temps, on ouvre l'interrupteur K.

- Déterminer l'équation différentielle régissant la décharge du condensateur. En déduire l'expression de la charge  $q(t)$ .
- Trouver l'expression du courant  $i(t)$ .
- Calculer l'énergie dissipée par effet joule au cours de la décharge.





SEP 2020

A-A.

juin 97

Sujet A

12) Ex 2

1 a) (0.5)  $Q_1 = 0$ 

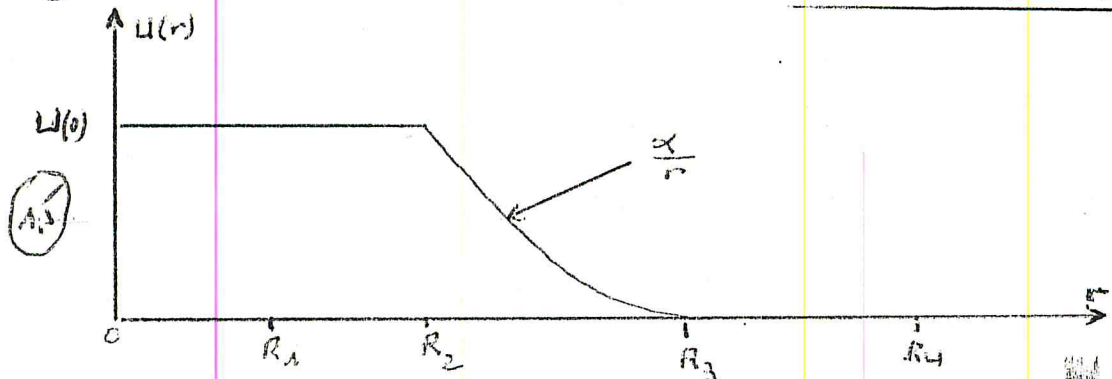
Conducteur en équilibre avec cavité sans charge.

(0.5)  $Q_2 = Q_0$ 

conservation de la charge. Conducteur isolé

(0.5)  $Q_3 = -Q_0$ 

Influence totale

(0.5)  $Q_4 = 0$  $U(B) = U(sol) \Rightarrow R_3 \leq r < \infty \quad U(r) = 0 \Rightarrow Q_4 = 0$ b) (0.5)  $0 \leq r \leq R_2$  $U(r) = U(0) = cte \Rightarrow U(0) = U(R_1) = U(R_2)$ (0.5)  $R_3 \leq r < \infty$  $U(r) = 0$  Conducteur relié au sol(0.5)  $R_2 \leq r \leq R_3$ Gauss + Continuité de  $U \Rightarrow U(r) = kQ_0 \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R_3} \right)$ 

2 a) (0.5) conditions au puits

 $\Rightarrow$  A relié au sol  $\Rightarrow U(0) = U(R_1) = U(R_2) = 0$ 

(0.5)

 $\Rightarrow$  Charge ponctuelle  $\Rightarrow Q'_3 + Q'_4 = -Q_0$ (0.5)  $Q'_1 = 0$ 

cavité sans charge

(1)  $Q'_2 = A = cte$  inconnue pour l'instant(1)  $Q'_3 = -A$  influence totale(1.5)  $Q'_4 = B = -Q_0 - Q'_3 = A - Q_0$ 

Détermination de A.

si A calculé dans le cas continu

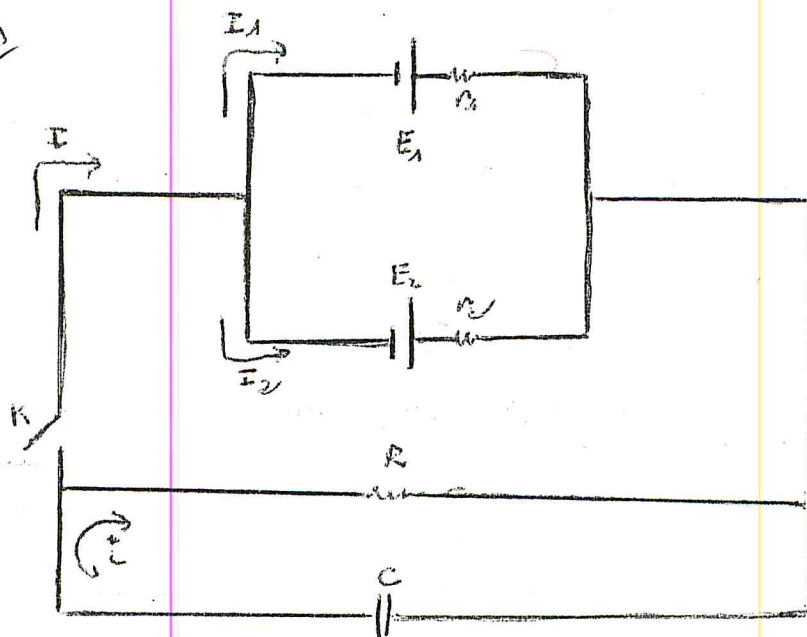
0, 0, 0

Continuité de  $U(r)$  + Théorème de Gauss appliqué 2 fois  $R_2 \leq r \leq R_3$  et  $R_3 < r < \infty$ 

$$\text{entraînant } A = Q_0 \frac{1}{1 + R_4 \frac{R_3 - R_2}{R_3 R_2}}$$

$$(2) \text{ b) } W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \text{ avec } C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_3 R_2}{R_3 - R_2} \Rightarrow W = \frac{1}{2} \frac{Q_0'^2}{4\pi\epsilon_0 \frac{R_2 R_3}{R_3 - R_2}}$$

$E_{k2}$  8/15



1a)  $I = I_1 + I_2$   
 $-E_1 + r_1 I_1 + R I = 0$   
 $-E_2 + r_2 I_2 + R I = 0$

$$I = \frac{r_1 E_2 + r_2 E_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2} = \frac{9 + 2}{3,6} = 0,25 \text{ A}$$

b)  $W(t) = R I = 1 \text{ V}$   
 $Q(t) = C U(t) = 10^{-6} \text{ C}$   
 $W(t) = \frac{1}{2} C U(t)^2 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

2a)  $-\frac{q}{C} + R \dot{q} = 0$   
 $\dot{q} = \frac{dq}{dt}$

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = 0 \quad RC = C = 5 \cdot 10^{-6} \text{ s}, \quad q = A e^{-t/\tau}$$

$t=0 \quad q = Q_0 = A = 10^{-6} \text{ C}$   
 $q = Q(t) e^{-t/\tau} = 10^{-6} e^{-t/5 \cdot 10^{-6}}$

b)  $\dot{q} = -\frac{dq}{dt} = I e^{-t/\tau} = 0,2 e^{-t/5 \cdot 10^{-6}}$

c)  $dW_f = R \dot{q}^2 dt = \frac{U^2}{R} \frac{\tau}{2} e^{-2t/\tau} \frac{2dt}{\tau} = \frac{1}{2} C U(t)^2 e^{-x} dx \quad x = 2t/\tau$

$W_f = \int_0^\infty dW_f = \frac{1}{2} C U(t)^2 \int_0^\infty e^{-x} dx = \frac{1}{2} C U(t)^2$

### Exercice I

Un système est constitué de deux sphères conductrices  $S_1$  et  $S_2$ , concentriques, de centre  $O$ . La sphère  $S_1$  est pleine de rayon  $R_0 = 1,5\text{cm}$ , la sphère  $S_2$  est creuse (de rayon intérieur  $R_1 = 3\text{cm}$  et de rayon extérieur  $R_2 = 4,5\text{cm}$ ). Ces deux sphères sont séparées par le vide. Un générateur de tension permet de charger séparément  $S_1$  et  $S_2$ . On donne  $V_0 = 200\text{ V}$ ;  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ M.K.S.A.}$ . Les parties I et II sont indépendantes.

I) Les sphères étant initialement neutres, on charge d'abord  $S_1$  en la reliant au générateur (Fig.1). Ensuite on débranche le générateur pour le relier à  $S_2$  (fig.2).

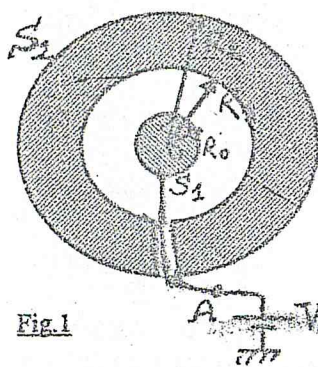


Fig.1

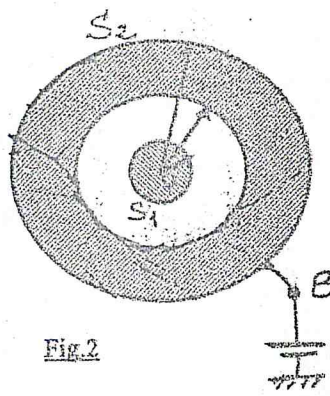


Fig.2

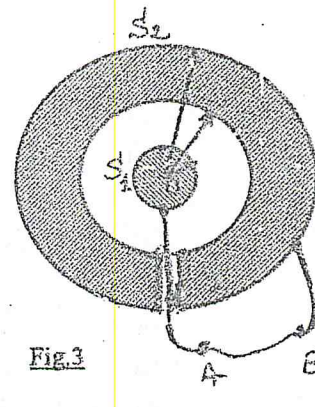


Fig.3

- 1°) Calculer les charges finales portées par  $S_1$  et  $S_2$ . Représenter qualitativement la répartition des charges sur chaque sphère.
- 2°) Calculer le champ électrique  $\vec{E}$  en un point  $M$  ( $OM = r$ ) situé entre les deux sphères après la deuxième opération.
- 3°) On débranche le générateur de  $S_2$  et on relie les points  $A$  et  $B$  par un fil conducteur très fin (fig.3). Calculer les charges finales des deux sphères.

II) Les deux sphères étant initialement neutres, on branche le générateur en  $B$  pour charger  $S_2$  (fig.4).  $S_2$  étant chargée, on débranche le générateur puis on le relie au point  $A$  pour charger  $S_1$  (fig.5).

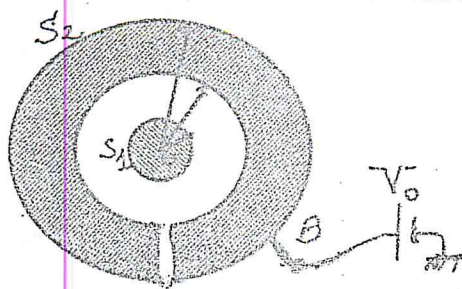


Fig.4

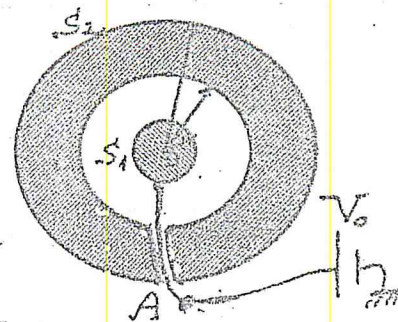


Fig.5

- 1°) Calculer les charges finales  $Q_1$  et  $Q_2$  portées par  $S_1$  et  $S_2$  après de la deuxième opération. Représenter qualitativement la répartition des charges sur chaque sphère.
- 2°) Calculer le champ électrique  $\vec{E}$  au point  $M$  ( $OM = r$ ) dans les deux cas suivants:  
 $r < R_0$  et  $r > R_2$  dans la situation de la figure.5.



### Exercice 2 :

Un générateur de signaux carrés est utilisé pour alimenter le circuit (fig.1) qui comprend une résistance  $R$  et deux condensateurs  $C_1$  et  $C_2$ . La tension délivrée par le générateur est représentée sur la figure 2. La résistance du générateur est négligeable devant  $R$ .

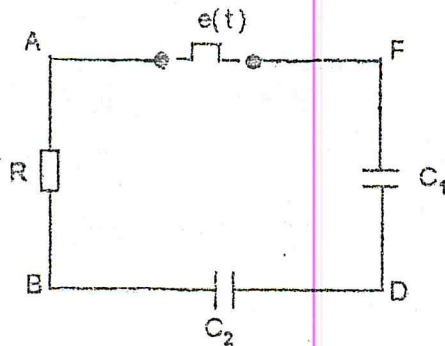


Fig. 1

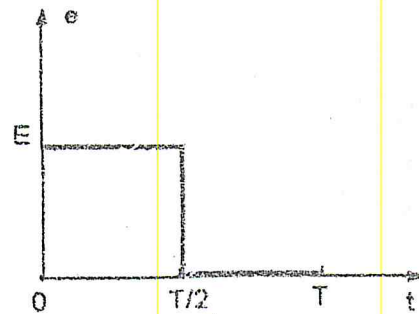


Fig. 2

On pose :  $V_R = V_A - V_B$  ;  $V_{C1} = V_D - V_F$  ;  $V_{C2} = V_B - V_D$

- 1°) Quelle est la constante de temps  $\tau$  du circuit ?
- 2°) Quelle relation doit-il exister entre la période  $T$ ,  $R$ ,  $C_1$  et  $C_2$  pour que la charge et la décharge soient complètes?

Pour la suite du problème on supposera que la condition de la deuxième question est vérifiée.

- 3°) Déterminer les expressions de  $V_R$ ,  $V_{C1}$  et  $V_{C2}$  en fonction du temps, de  $R$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  et de  $\tau$ .

- a) Pour  $0 < t \leq T/2$ .
- b) Pour  $T/2 \leq t \leq T$ .
- c) Faire l'application numérique pour:  $E=6V$ ;  $R=3k\Omega$ ;  $C_1=0,1\mu F$ ;  
 $C_2=0,2\mu F$  et  $f=500\text{ Hz}$ .

- 4°) Quelles sont les énergies dissipées dans  $R$  pendant la première demi période et pendant la deuxième demi période. Quelle est l'énergie délivrée par le générateur pendant une période  $T$ ? Comparer sur une période les énergies dissipées dans  $R$  à celle délivrée par le générateur. Conclusion?

Corrigé Syst A - Technologic

Exercice 1: (10pts)

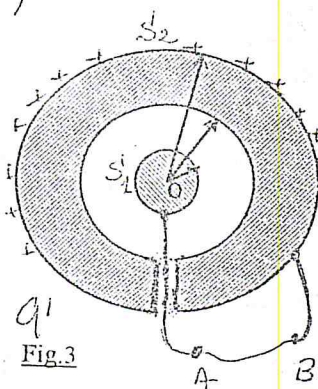
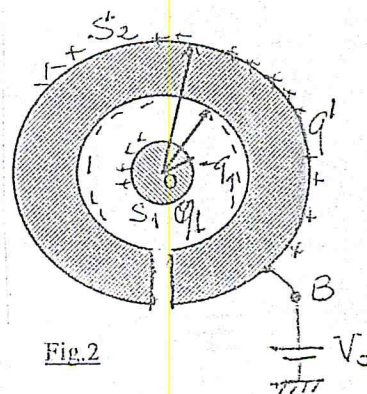
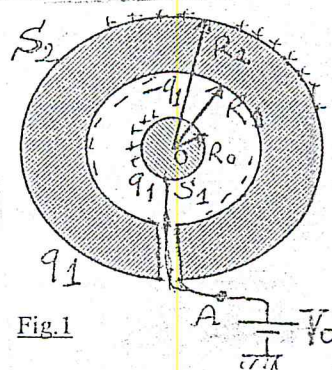
I 1<sup>o</sup>)  $V_0 = K q_1 \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

①  $Q_{S_1} = q_1 = 0,4 \cdot 10^{-9} \text{ Cb}$ ;  $Q_{S_2} = +q_1 - q_1 = 0$

②  $V_0 = \frac{K q'}{R_2} \Rightarrow q' = 4\pi\epsilon_0 R_2 V_0 = 10^{-9} \text{ Cb}$   
 $Q_{S_1} = q_1 = 0,4 \cdot 10^{-9} \text{ Cb}$ ;  $Q_{S_2} = q' - q_1 = 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ Cb}$

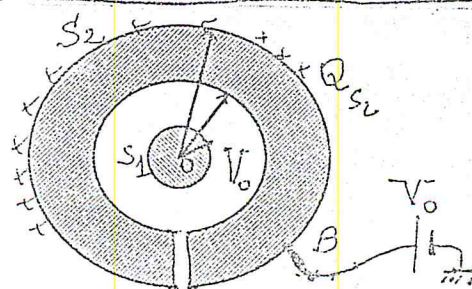
③ 2<sup>o</sup>)  $E_M = \frac{K q_1}{R_2^2} = \frac{3,6}{R_2^2} \text{ (V/m)}$

④ 3<sup>o</sup>)  $Q_{S_1} = 0$ ;  $Q_{S_2} = q' = 10^{-9} \text{ Cb}$



II 1<sup>o</sup>)  $Q_{S_2} = 4\pi\epsilon_0 R_2 V_0 = 10^{-9} \text{ Cb}$

①  $Q_{S_1} = 0$   
 $V_{inter} = V_0$  (volume équipotentiel)

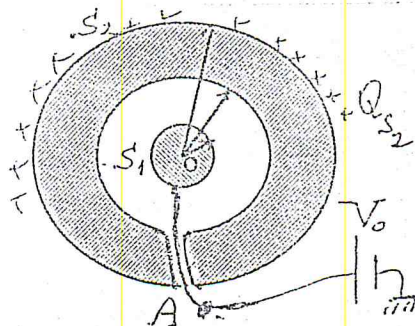


②  $Q_{S_2} = 10^{-9} \text{ Cb}$ ;  $Q_{S_1} = 0$  ②

2<sup>o</sup>)  $E_M (r < R_0) = 0 \leftarrow 0,5$

$E_M (r > R_2) = \frac{K Q_{S_2}}{r^2} = \frac{9}{r^2} \text{ (V/m)}$   
 $\nwarrow 0,5$

Fig.5



exercice 200 II

1)  $Z = RC$   $C =$  capacité équivalente

$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$   $\tau = R \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

2) pour  $t = 5\tau$  charge et décharge sont complètes (à 1%)

$\frac{T}{2} \geq 5\tau \Rightarrow T \geq \frac{10 R C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

3)  $0 < t < \frac{T}{2}$

$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E \Rightarrow q(t) = CE(1 - e^{-t/\tau})$   
 $i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$

$v_R = Ri(t)$ ;  $v_R = E e^{-t/\tau}$

$v_{C_1}(t) = \frac{q(t)}{C_1}$ ;  $v_{C_1} = \frac{C_2 E}{C_1 + C_2} (1 - e^{-t/\tau})$

$v_{C_2}(t) = \frac{q(t)}{C_2}$ ;  $v_{C_2} = \frac{C_1 E}{C_1 + C_2} (1 - e^{-t/\tau})$

$\frac{T}{2} < t < T$

$R \frac{dq'}{dt'} + \frac{q'}{C} = 0 \Rightarrow q(t') = CE e^{-t'/\tau}$   
 $i(t') = \frac{dq'}{dt'} = -\frac{E}{R} e^{-t'/\tau}$

$t' = t - T/2$

$v_R = E e^{-\frac{t-T/2}{\tau}}$

$v_{C_1} = \frac{C_2 E}{C_1 + C_2} e^{-\frac{t-T/2}{\tau}}$

$v_{C_2} = \frac{C_1 E}{C_1 + C_2} e^{-\frac{t-T/2}{\tau}}$

$f = 500 \text{ Hz}$   $T = 2 \text{ ms}$   $\tau = 0,2 \text{ ms}$

$\frac{C_2 E}{C_1 + C_2} = 4 \text{ volts}$

$\frac{C_1 E}{C_1 + C_2} = 6 \text{ volts}$

4)  $0 < t < T/2$   $i = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$

$W_R = \int_0^{T/2} R i^2 dt$

$W_R \approx 1,2 \text{ mJoules}$

$\frac{T}{2} < t < T$   $i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t-T/2}{\tau}}$

$W'_R = \int_{T/2}^T R i^2 dt$

$W'_R \approx 1,2 \text{ mJoules}$

$W_G = \int_0^T E i dt = \int_0^{T/2} E i dt = -\frac{\tau E^2}{R} e^{-t/\tau} \Big|_0^{T/2} = \frac{\tau E^2}{R} = 2,4 \text{ mJoules}$

$W_R + W'_R = W_G$

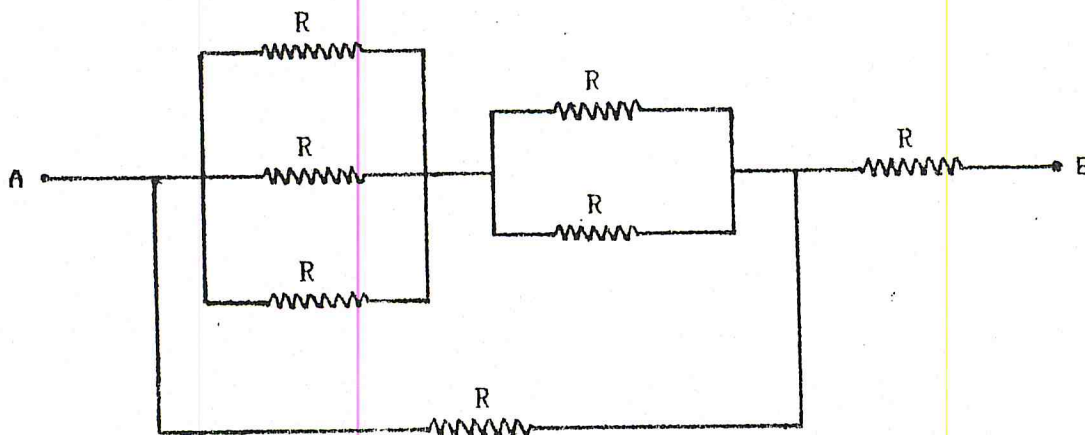
① Toute l'énergie fournie par le générateur pendant une période est dissipée dans la résistance R par effet Joule.



Barème approximatif: Ex 1: 3.5 points ; Ex 2: I- 2.5 points , II- 10 points  
III- 4 points

### Exercice 1 :

Soit le réseau de résistances ci-après. Déterminer, en fonction de  $R$ , la résistance équivalente du système entre les points A et B.



### Exercice 2 :

I- Une sphère conductrice ( $S_1$ ), de rayon  $R_0 = 9$  cm, est portée à un potentiel  $V_0 = 100$  V puis isolée. Déterminer, pour ce conducteur :

- I.1- Sa charge électrique  $Q_0$ .
- I.2- La densité surfacique " $\sigma_0$ " de charges électriques.
- I.3- Le champ et le potentiel électrique au centre de la sphère.

II- La sphère précédente est, ensuite, introduite dans une autre sphère conductrice ( $S_2$ ), creuse, initialement neutre et isolée, de rayons intérieur  $R_i = 10$  cm et extérieur  $R_e = 12$  cm ( $S_2$  est concentrique à ( $S_1$ )) (voir figure 1).

déterminer :

II.1- Les densités de charges surfaciques portées par chacune des deux sphères.

II.2- L'intensité du champ électrique " $E(r)$ " en tout point de l'espace

( $r \in [0, \infty[$ ).

II.3- Le potentiel électrique " $V(r)$ " en tout point de l'espace ( $r \in [0, \infty[$ ).

II.4- Donner l'allure des graphes  $E(r)$  et  $V(r)$ , en précisant les valeurs numériques aux positions  $r=0$ ,  $r=R_0$ ,  $r=R_1$  et  $r=R_e$ .

II.5- L'énergie emmagasinée dans le condensateur constitué par les deux sphères.

III- La sphère (S2) est reliée au sol (voir figure 2).

III.1- Expliquer qualitativement ce qui s'est passé au moment de la liaison sphère (S2) - Sol.

III.2- Déterminer l'énergie interne du système ((S1)+(S2)); la comparer à celle déterminée à la question II.5. Expliquer.

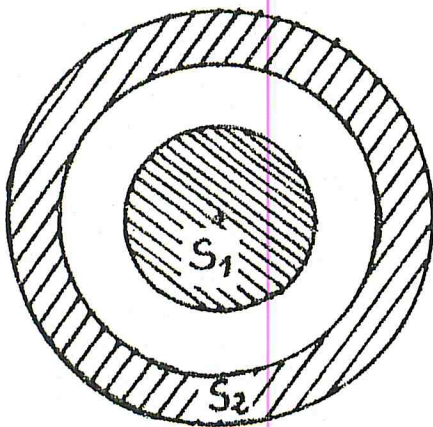


figure 1

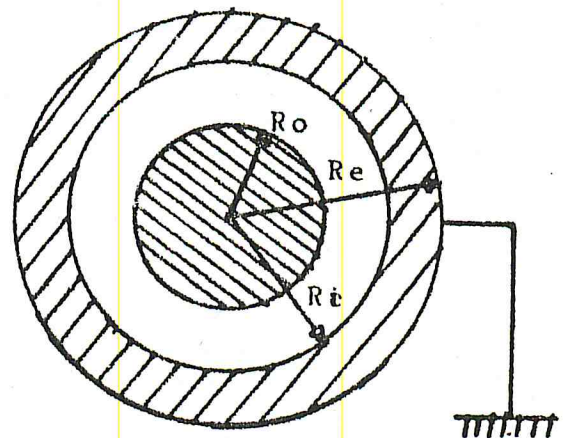


figure 2

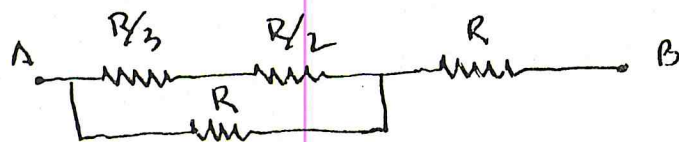
A.B  
-200

Cours de 4<sup>e</sup> - 1315

juin 11  
 $\eta = 81B$

## Sujet A

### Exercice N°1



### Exercice N°2

I.1  $Q_0 = \frac{V(R_0) \cdot R_0}{K} = 10^{-9} \text{ C}$  (0.5)

I.2  $\sigma_0 = \frac{Q_0}{4\pi R_0^2} = 9,8 \cdot 10^{-9} \text{ (C/m}^2\text{)}$  (1)

I.3  $\vec{E}(0) = 0$  (0.5)

$V(0) = 100 \cdot V$  (0.5)

II.1 - Influence totale :  $Q_2^{\text{int}} = -Q_0$   
 - ( $S_2$ ) perdue et isolée :  $Q_2^{\text{int}} = -Q_2^{\text{ext}}$  (0.5)  
 d'où

$\sigma_1 = \sigma_0 = 9,8 \cdot 10^{-9} \text{ (C/m}^2\text{)}$  (0.5)

$\sigma_2^{\text{int}} = \frac{-Q_0}{4\pi R_2^2} \approx -7,92 \cdot 10^{-9} \text{ (C/m}^2\text{)}$  (0.5)

$\sigma_2^{\text{ext}} = \frac{+Q_0}{4\pi R_2^2} \approx +5,51 \cdot 10^{-9} \text{ (C/m}^2\text{)}$  (0.5)

### II.2

En utilisant le théorème de Gauss, on a :

$r > R_e$   $E(r) = K Q_0 \frac{1}{r^2} = \frac{g}{r^2} \text{ (V/m)} \text{ (0.5)}$



$$r < R_e$$

$$R_o < r < R_i$$

$$0 \leq r < R_o$$

$$E(r) = 0 \quad (0,5)$$

$$E(r) = \frac{K Q_0}{r^2} = \frac{9}{r^2} \text{ (V/m)} \quad (0,5)$$

$$E(r) = 0 \quad (0,5)$$

$$\text{II.3} \quad \vec{E}(r) = - \vec{\text{grad}}(V_r) \Rightarrow$$

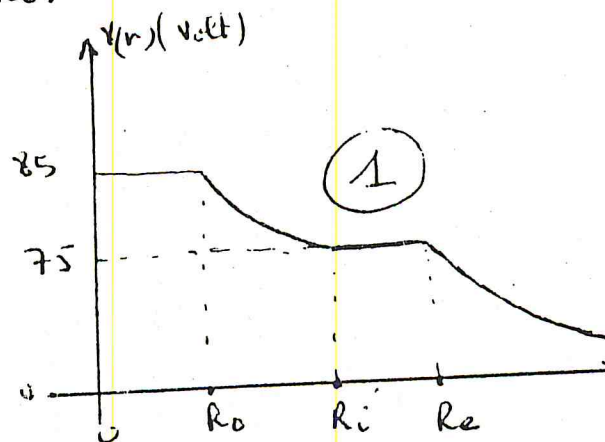
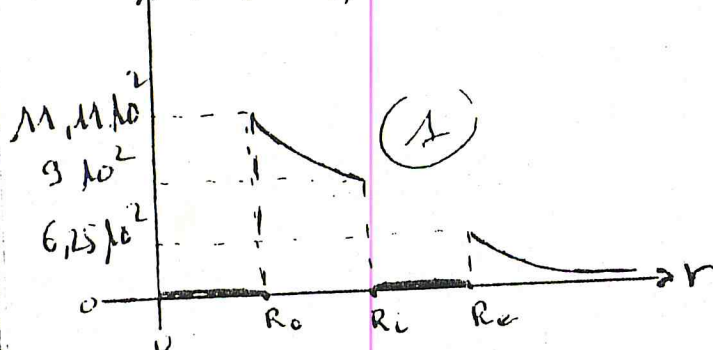
$$r \geq R_e \quad V(r) = \frac{K Q_0}{r} = \frac{9}{r} \quad (0,5) \quad (V(\infty) = 0)$$

$$R_i \leq r \leq R_e \quad V(r) = K \frac{Q_0}{R_e} = 75 \text{ V} \quad (0,5)$$

$$R_o \leq r \leq R_i \quad V(r) = K Q_0 \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_i} \right) = 9 \left( \frac{1}{r} - 1,66 \right) \text{ V} \quad (0,5)$$

$$0 \leq r \leq R_o \quad V(r) = K Q_0 \left( \frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_i} \right) \approx 85 \text{ V} \quad (0,5)$$

$$\text{II.4} \quad E(r) \text{ (V/m)}$$



$$\text{II.5}$$

$(S_1 + S_2) = \text{Condensateur sphérique de Capacité}$

$$C = \frac{R_o R_i}{K (R_i - R_o)} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$\text{d'où } E = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Joule}$$

$$\text{III.1}$$

Quand  $S_2$  est reliée au pol, la charge électrique se trouvant sur la surface externe de  $S_2$  s'écoule vers le pol. Il s'en suit que  $V(S_1) = 0 \text{ V}$  et  $V(S_2) = 0 \text{ V}$ . Les charges électriques de  $S_1$  et de  $S_2$  restent donc.

$$\text{III.2}$$

Comme la capacité du condensateur n'a pas changé ainsi que sa charge. Il s'en suit que l'énergie interne reste inchangée i.e.  $E' = E = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Joule}$