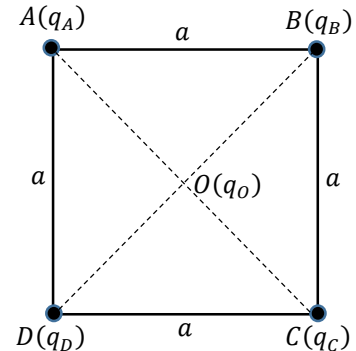


Série spéciale de Physique 2

Exercice 1 :

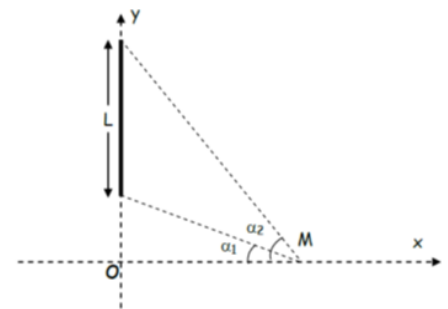
Quatre charges ponctuelles $q_A = 2q_B = -q_C = -2q_D = 2q$ ($q > 0$) sont fixées aux sommets A, B, C et D d'un carré de coté a . Une cinquième charge $q_0 > 0$ est maintenu fixe au centre O du carré (figure ci-contre).



1. Déterminer l'expression de la force électrostatique totale $\vec{F}(O)$ qui s'exerce sur la charge en O ;
2. Trouver l'expression du champ électrostatique $\vec{E}(O)$ résultant au point O en utilisant deux méthodes différentes ;
3. Donner l'expression du potentiel résultant $V(O)$ au point O ;
4. Quelle est l'expression de l'énergie potentielle électrostatique $E_p(O)$ de la charge q_0 ?
5. Calculer l'énergie interne U du système de charges (q_A, q_B, q_C, q_D).

Exercice 2 :

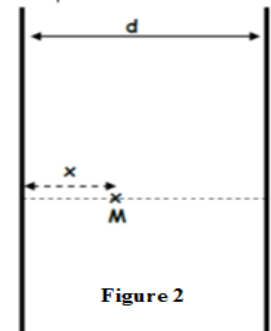
I- Un fil de longueur L uniformément chargé par une densité linéique positive $\lambda_1 = \lambda$. Il est placé suivant l'axe des Y (Figure 1).



- 1- Donner l'expression des composantes du champ électrique créée par ce fil au point M situé sur l'axe des x , tel que $OM = x$, en fonction de α_1 et α_2 .
- 2- Montrer que ce champ s'écrit :

$$\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda_1}{x} \vec{i} \quad (\text{lorsque le fil devient infini})$$

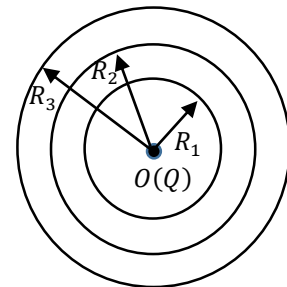
II- On place maintenant un second fil infini de densité linéique $\lambda_2 = -\lambda$, à une distance d du premier fil (Figure 2).



- Donner l'expression du vecteur champ électrique créée par les deux fils en un point M situé à une distance x du premier fil.

Exercice 3 :

Soit la distribution continue de charges de la figure ci-contre constituée d'une charge ponctuelle Q , fixée au point O , et de trois sphères conductrices et concentriques de rayons R_1, R_2 et R_3 et portant les charges $-Q, +2Q$ et $3Q$, respectivement.



1. En utilisant le théorème de Gauss, déterminer l'expression du champ électrique $\vec{E}(M)$ produit par cette distribution de charges en tout point M de l'espace, tel que $OM = r$. Distinguer les régions : $r < R_1, R_1 < r < R_2, R_2 < r < R_3, r > R_3$
2. En déduire l'expression du potentiel électrique $V(M)$ produit par cette distribution dans la région $r > R_3$, sachant que le potentiel est une grandeur nulle à l'infini.

Exercice 04: (les parties A et B sont indépendantes)

Partie A

I) Soit une sphère conductrice S_1 de rayon R_1 portée au potentiel V_1 .

I- Calculer la charge q_1 portée par cette sphère.

II On isole S_1 de la source de potentiel V_1 . Après l'avoir chargé puis on la relie à la sphère conductrice S_2 de rayon R_2 initialement neutre par un fil conducteur très long.

- a- Calculer la charge portée par chaque sphère
- b- Calculer le champ électrique au voisinage de chaque sphère
- c- Donner l'énergie de l'ensemble avant et après connexion.

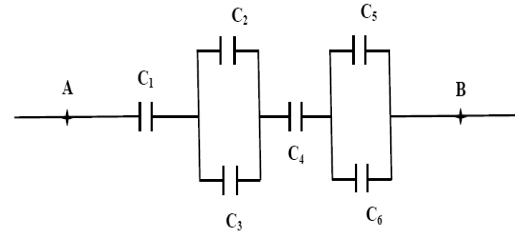
Partie B

On donne les valeurs des capacités représentées sur la figure :

$$C_1 = C_5 = C_6 = 5\mu F, C_2 = 3\mu F, C_3 = 7\mu F, C_4 = 10\mu F.$$

La différence de potentiel entre les bornes A et B est : $V_{AB} = 1000V$.

- 1- Déterminer la capacité équivalente C_{AB} du circuit.
- 2- Déterminer la charge équivalente Q_{AB} du condensateur équivalente.
- 3- Déterminer la charge et la différence de potentiel de chaque condensateur.



Exercice supplémentaire :

Exercice S1:

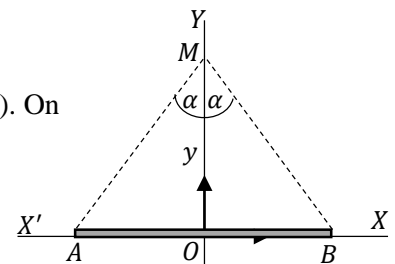
Deux charges ponctuelles identiques $q_A = q_B = q > 0$ sont placées respectivement aux points A et B de l'axe OY , tels que $OA = OB = a$. Une troisième charge positive Q est placée en un point M sur l'axe OX , tel que $OM = x$.

- 1. Trouver l'expression du champ électrique et du potentiel électrostatique au point M.
- 2. Déterminer la force résultante \vec{F} exercée par les charges q_A et q_B sur la charge Q et son module
- 2. Trouver la position x pour que \vec{F} soit maximal.
- 3. Trouver l'expression de la force résultante \vec{F} si $q_A = q$ et $q_B = -q$ avec $q > 0$.
- 5. Donner l'énergie potentiel de la charge Q.
- 6. Calculer l'énergie potentiel du système forme par les trois charges.

Exercice S2

Un fil fini, assimilé à un segment de droite AB porté par l'axe (OX) , est uniformément chargé avec une densité linéique positive λ (figure ci-contre). On désigne par O le milieu du segment AB .

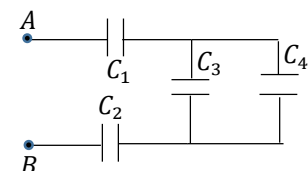
- 1. Déterminer l'expression du champ électrique $\vec{E}(M)$ créée par cette distribution en tout point M de l'axe (OY) , tel que $OM = y > 0$.
- 2. Que devient l'expression de ce champ dans les cas suivants :
 - a. le point M est très éloigné de l'origine O ;
 - b. le point est très proche du fil chargé.



Exercice S3:

Soit l'assemblage de condensateur de la figure ci-contre, où :

$$C_1 = 2C_2 = 3C_3 = 4C_4 = C = 24\mu F$$



- 1. Calculer la capacité équivalente $C_{eq} = C_{AB}$ à ce montage entre les points A et B;
- 2. On relie ces deux points à un générateur délivrant une tension continue $U = 220V$. A l'équilibre, calculer la charge portée par chaque condensateur et la différence de potentiel entre ses bornes.

Corrigé

Exercice 01

D'après l'énoncé on a:

$$q_A = 2q, q_B = q, q_C = -2q \text{ et } q_D = -q$$

La force électrostatique appliquée sur la charge q_0 sera la somme des forces appliquées par les quatre charges placées aux sommets du carré sur cette charge, donc :

$$\vec{F}(O) = \vec{F}_{A/O} + \vec{F}_{B/O} + \vec{F}_{C/O} + \vec{F}_{D/O}$$

$$OA = OB = OC = OD = a/\sqrt{2}$$

$$\vec{u}_{A/O} = \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{i} - \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{j} = 1/\sqrt{2}\vec{i} - 1/\sqrt{2}\vec{j}; \vec{u}_{B/O} = -\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{i} - \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{j} = -1/\sqrt{2}\vec{i} - 1/\sqrt{2}\vec{j}$$

$$\vec{u}_{C/O} = -\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{i} + \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{j} = -1/\sqrt{2}\vec{i} + 1/\sqrt{2}\vec{j}; \vec{u}_{D/O} = \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{i} + \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\vec{j} = 1/\sqrt{2}\vec{i} + 1/\sqrt{2}\vec{j}$$

$$\vec{F}_{A/O} = \frac{kq_A q_0}{AO^2} \vec{u}_{A/O} = \frac{2kq q_0}{(a/\sqrt{2})^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} - \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{2\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{F}_{B/O} = \frac{kq_B q_0}{BO^2} \vec{u}_{B/O} = \frac{kq q_0}{(a/\sqrt{2})^2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} - \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{F}_{C/O} = \frac{kq_C q_0}{CO^2} \vec{u}_{C/O} = \frac{-2kq q_0}{(a/\sqrt{2})^2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{2\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{F}_{D/O} = \frac{kq_D q_0}{DO^2} \vec{u}_{D/O} = \frac{-kq q_0}{(a/\sqrt{2})^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{F}(O) = \vec{F}_{A/O} + \vec{F}_{B/O} + \vec{F}_{C/O} + \vec{F}_{D/O} = \frac{2\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (\vec{i} - \vec{j}) + \frac{\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j}) + \frac{2\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (\vec{i} - \vec{j}) + \frac{\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j}) = \frac{2\sqrt{2}kq q_0}{a^2} (\vec{i} - 3\vec{j})$$

N.B. Il est aussi possible déduire $\vec{F}_{C/O}$ et $\vec{F}_{D/O}$ directement à partir $\vec{F}_{A/O}$ et de $\vec{F}_{B/O}$

2- Calcul de champ électrique :

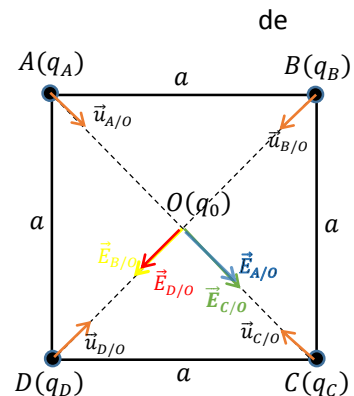
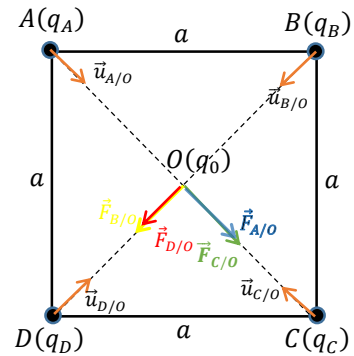
1^{ère} methode :

$$\vec{F}(O) = q_0 \vec{E}(O) \rightarrow \vec{E}(O) = \frac{\vec{F}(O)}{q_0} = \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - 3\vec{j})$$

2^{ème} methode :

$$\vec{E}(O) = \vec{E}_{A/O} + \vec{E}_{B/O} + \vec{E}_{C/O} + \vec{E}_{D/O}$$

$$\vec{E}_{A/O} = \frac{kq_A}{AO^2} \vec{u}_{A/O} = \frac{2kq}{(a/\sqrt{2})^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} - \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - \vec{j})$$



$$\vec{E}_{B/O} = \frac{kq_B}{BO^2} \vec{u}_{B/O} = \frac{kq}{(a/\sqrt{2})^2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} - \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{\sqrt{2}kq}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{E}_{C/O} = \frac{kq_C}{CO^2} \vec{u}_{C/O} = \frac{-2kq}{(a/\sqrt{2})^2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{E}_{D/O} = \frac{kq_D q_0}{DO^2} \vec{u}_{D/O} = \frac{-kq q_0}{(a/\sqrt{2})^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{j} \right) = \frac{\sqrt{2}kq}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j})$$

$$\vec{E}(O) = \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - \vec{j}) + \frac{\sqrt{2}kq}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j}) + \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - \vec{j}) + \frac{\sqrt{2}kq}{a^2} (-\vec{i} - \vec{j}) = \frac{2\sqrt{2}kq}{a^2} (\vec{i} - 3\vec{j})$$

3 Le potentiel :

$$V(O) = V_A + V_B + V_C + V_D$$

$$V_A = \frac{kq_A}{OA} = \frac{2\sqrt{2}Kq}{a}$$

$$V_B = \frac{kq_B}{OB} = \frac{\sqrt{2}Kq}{a}$$

$$V_C = \frac{kq_C}{OC} = -\frac{2\sqrt{2}Kq}{a}$$

$$V_D = \frac{kq_D}{OD} = -\frac{\sqrt{2}Kq}{a}$$

$$V(O) = 0$$

4 L'énergie potentiel de la charge q_0

$$E_p = q_0 V(O) = 0$$

5 L'énergie interne du système (on va la notée U_p)

$$U_p = \sum_i \sum_{j>i} \frac{kq_i q_j}{r_{ij}} = \frac{kq_A q_B}{AB} + \frac{kq_A q_C}{AC} + \frac{kq_A q_D}{AD} + \frac{kq_B q_C}{BC} + \frac{kq_B q_D}{BD} + \frac{kq_C q_D}{CD}$$

$$U_p = \frac{2Kq^2}{a} - \frac{4Kq^2}{a\sqrt{2}} - \frac{2Kq^2}{a} - \frac{2Kq^2}{a} - \frac{Kq^2}{a\sqrt{2}} + \frac{2Kq^2}{a} = -\frac{5Kq^2}{\sqrt{2}a}$$

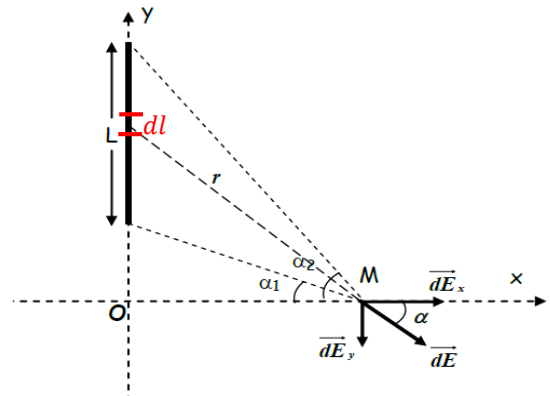
Exercice 02 :

I- Champ crée par le fil au point M :

Soit un élément de longueur dl porte une charge élémentaire dq . Cette charge génère au point M un champ élémentaire $d\vec{E}$ son expression est donnée par:

$$\vec{dE} = \frac{k dq}{r^2} \vec{u} = \frac{k \lambda_1 dy}{r^2} \vec{u}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} dE_x = dE \cos \alpha \\ dE_y = -dE \sin \alpha \end{cases}$$



On exprime tout en fonction de alpha:

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} \Rightarrow y = x \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow dy = \frac{x}{\cos^2 \alpha} d\alpha$$

Donc

$$\Rightarrow \begin{cases} dE_x = dE \cos \alpha = \frac{k\lambda_1 dy}{r^2} \cos \alpha = \frac{k\lambda_1}{x} \cos \alpha d\alpha \\ dE_y = -dE \sin \alpha = -\frac{k\lambda_1 dy}{r^2} \sin \alpha = -\frac{k\lambda_1}{x} \sin \alpha d\alpha \end{cases}$$

En intégrant entre α_1 et α_2 :

$$E_x = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{k\lambda_1}{x} \cos \alpha d\alpha = \frac{k\lambda_1}{x} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$$

$$E_y = - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{k\lambda_1}{r^2} \sin \alpha d\alpha = \frac{k\lambda_1}{x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

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

$$E_x = \frac{2k\lambda_1}{x} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x}$$

$$E_y = 0$$

$$\vec{E}_M = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} \vec{i}$$

N.B. Le champ électrique créé par un fil infini en un point dans l'espace est perpendiculaire sur le fil et son module ne dépend que de la distribution de charge et la distance orthogonale entre le point et le fil.

II- Champ créée par les deux fils.

En utilisant le principe de superposition :

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Avec \vec{E}_1 le champ électrique créé par le premier fil et \vec{E}_2 le champ électrique créé par le second fil.

$$\vec{E}_1 = \frac{\lambda_1}{2\pi\epsilon_0 x} \vec{i} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} \vec{i}$$

$$\vec{E}_2 = -\frac{\lambda_2}{2\pi\epsilon_0(d-x)} \vec{i} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0(d-x)} \vec{i}$$

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \Rightarrow \vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \left(\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} + \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0(d-x)} \right) \vec{i}$$

Exercice 3

1. Champ électrique $\vec{E}(M)$ créé en M

Soit $q_p = Q$ la charge ponctuelle, $q_{s1} = -Q$ la charge de la première sphère, $q_{s2} = 2Q$ la charge de la dixième sphère et , $q_{s3} = 3Q$ la charge de la troisième sphère.

Le théorème de Gauss énonce que :

Région 4 ($r > R_3$)

$$q_{int} = q_0 + q_{S_1} + q_{S_2} + q_{S_3} = Q - Q + 2Q + 3Q = 5Q$$

Le champ sera donné par:

$$E_r = \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$\vec{E}_4(M) = E_r \cdot \vec{e}_r = \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \vec{e}_r$$

2. Calcul du potentiel (J'ai fait le calcul de V pour tous les régions en TD faire juste le cas $r > R_3$)

• **région 4 ($r > R_3$)**

En coordonnées sphériques, le potentiel est donné par:

$$V_4(r) = - \int \vec{E}_4 \cdot \vec{dl} = - \int E_r dr$$

On obtient:

$$V_4(r) = - \int \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

Après intégration, nous obtenons :

$$V_4(r) = \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 r} + C$$

On a :

$$V_4(+\infty) = 0 + C = 0$$

On trouve :

$$V_4(r) = \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

• **région 3 ($R_2 < r < R_3$)**

$$V_3(r) = - \int \vec{E}_3 \cdot \vec{dl} = - \int E_r dr$$

On obtient:

$$V_3(r) = - \int \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

Après intégration, nous obtenons :

$$V_3(r) = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 r} + C$$

La continuité de potentiel $V_3(r = R_3) = V_4(r = R_3)$

$$\frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R_3} + C = \frac{5Q}{4\pi\epsilon_0 R_3}$$

$$C = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 R_3}$$

$$V_3(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R_3} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{r} + \frac{3}{R_3} \right)$$

• **région 2 ($R_1 < r < R_2$)**

$$V_2(r) = - \int \vec{E}_2 \cdot \vec{dl} = C$$

La continuité de potentiel $V_2(r = R_2) = V_3(r = R_2)$

$$C = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} \right)$$

$$V_2(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} \right)$$

- **région 1 ($r < R_1$)**

$$V_1(r) = - \int \vec{E}_1 \cdot d\vec{l} = - \int E_r dr$$

On obtient:

$$V_3(r) = - \int \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$$

Après intégration, nous obtenons :

$$V_3(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} + C$$

La continuité de potentiel $V_1(r = R_1) = V_2(r = R_1)$

$$\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R_1} + C = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} \right)$$

$$C = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right)$$

$$V_3(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{2}{R_2} + \frac{3}{R_3} - \frac{1}{R_1} \right)$$

Exercice 04 :

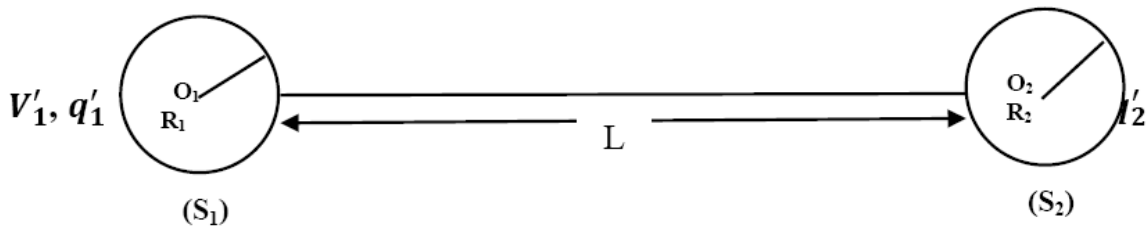
Partie A

I-1 La charge q_1 de S_1 :

$$V_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} \Rightarrow q_1 = 4\pi\epsilon_0 R_1 V_1$$

II a La charge portée par chaque sphère :

Après connexion :



Le système est isolé, alors la charge totale se conserve d'où :

$$q_1 = q_1' + q_2' \dots \dots \dots (1)$$

On va avoir un nouveau état d'équilibre du système (S_1, S_2) pour lequel la charge totale q_1 se répartie sur les deux sphères S_1 et S_2 qui possèdent le même potentiel $V_1' = V_2'$

Le fil est très long donc

$$V_1' = \frac{q_1'}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{q_2'}{4\pi\epsilon_0 L} \quad \text{Pour } S_1$$



$$V_2' = \frac{q_2'}{4\pi\epsilon_0 R_2} + \frac{q_1'}{4\pi\epsilon_0 L} \text{ Pour } S_2$$

Mais $L \gg R_1 \text{ et } R_2$ d'où :

$$V_1' = V_2' \Leftrightarrow \frac{q_1'}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{q_2'}{4\pi\epsilon_0 R_2} \Leftrightarrow q_2' = q_1' \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots(2)$$

De (1) et (2) on trouve :

$$q_1' = \frac{q_1 R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{Et} \quad q_2' = \frac{q_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

II b Le champ électrique aux voisinage de chaque sphère :

$$(S1) \dots\dots\dots E_1 = \frac{q_1'}{4\pi\epsilon_0 R_1^2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1 (R_1 + R_2)}$$

$$(S2) \dots\dots\dots E_2 = \frac{q_2'}{4\pi\epsilon_0 R_2^2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_2 (R_1 + R_2)}$$

II c L'énergie du l'ensemble avant et après connexion :

❖ Avant connexion :

$$W_1 = \frac{1}{2} q_1 V_1 = \frac{1}{2} q_1 \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 R_1}$$

❖ Après connexion :

$$W_2 = \frac{1}{2} q_1' V_1' + \frac{1}{2} q_2' V_2' \quad \text{Or} \quad V_1' = V_2'$$

$$W_2 = \frac{1}{2} V_1' (q_1' + q_2') = \frac{1}{2} q_1 V_1' = \frac{1}{2} q_1 \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{1}{2} \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} \left(\frac{q_1 R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\Rightarrow W_2 = \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)}$$

Par comparaison, on constate $W_2 < W_1$ que l'énergie après connexion a diminué \Leftrightarrow l'énergie qui manque a été dissipée sous forme de chaleur (effet Joule) lors de la connexion.

Partie B

1- la capacité équivalente C_{AB} du circuit:

$$C' = C_2 + C_3 = 3 + 10 = 10 \mu F \quad (C_2 \text{ et } C_3 \text{ Sont en parallèles})$$

$$C'' = C_5 + C_6 = 5 + 5 = 10 \mu F \quad (C_5 \text{ et } C_6 \text{ Sont en parallèles})$$

$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C'} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C''} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{2} \quad (C_1, C', C_4 \text{ et } C'' \text{ Sont en série})$$

$$\Rightarrow C_{AB} = 2 \mu F$$

