

**Série de TD n°6 (à traiter en 04 séances)**

**Conducteurs en équilibre électrostatique**

**Exercice 1 :**

Une sphère conductrice  $S$  de centre  $O$  et de rayon  $R$  est reliée à un générateur qui maintient son potentiel à une valeur  $V$  constante. Au voisinage de  $S$  se trouve une autre sphère  $S'$  isolée, de rayon  $R'$ , de centre  $O'$  et portant une charge  $Q'$ . Les centres des deux sphères sont distants de  $l = OO'$ . On supposera que  $R$  et  $R'$  sont très petits devant  $l$ .

1. En fonction de  $V, Q', R, R'$  et  $l$ , calculer :
  - a. La charge  $Q$  portée par  $S$ .
  - b. Le potentiel  $V'$  de  $S'$ .
  - c. La force  $\vec{F}$  exercée par ( $S$ ) sur ( $S'$ ).
2. On éloigne  $S'$  de sa position initiale  $l$  jusqu'à l'infini. On isole  $S$  du générateur puis on l'entoure d'une sphère conductrice  $S''$  creuse, de rayon intérieur  $R_i$  et extérieur  $R_e$ . Cette deuxième sphère est initialement neutre, isolée et concentrique à la sphère  $S$ . Donner les charges  $Q_0, Q_i$  et  $Q_e$  portées par la surface de  $S$ , les surfaces interne et externe de  $S''$ , respectivement.
3. On relie la sphère  $S''$  au sol.
  - a. Donner les nouvelles charges  $Q'_0, Q'_i$  et  $Q'_e$  portées par la surface de  $S$ , les surfaces interne et externe de  $S''$ , respectivement.
  - b. Déterminer le champ électrique  $E(r)$  dans les régions :  $r < R, R < r < R_1, R_1 < r < R_2, r > R_2$
  - c. Déterminer la différence de potentiel  $V_S - V_{S''}$ , où  $V_S$  est le potentiel de  $S$  et  $V_{S''}$  est celui de  $S''$ .
  - d. En déduire la capacité du condensateur formé par les sphères  $S$  et  $S''$ .
4. On relie les sphères  $S$  et  $S''$  par un fil conducteur.
  - a. Quel est le potentiel final du conducteur formé par  $S, S''$  et le fil.
  - b. Déterminer alors l'énergie libérée par le système au cours de cette opération.

**Exercice 2 :**

On considère deux condensateurs plans de capacités  $C_1 = 0.4 \text{ nF}$  et  $C_2 = 0.1 \text{ nF}$  portant respectivement les charges  $Q_1 = 8 \text{ nC}$  et  $Q_2 = 3 \text{ nC}$ . Les plaques A et C des condensateurs sont au même potentiel (voir figure 1).

1. On relie les plaques A et C par un fil conducteur.
  - a. Quelle est la nouvelle répartition des charges et quelle est la différence de potentiel aux bornes de chaque condensateur ?
  - b. Calculer l'énergie interne emmagasinée dans chaque condensateur et dans le système.
2. On relie maintenant les plaques B et D par un fil conducteur.
  - a. Quelle est la nouvelle répartition des charges ? quelle est la nouvelle différence de potentiel aux bornes de chaque condensateur ?
  - b. Calculer la nouvelle énergie interne emmagasinée dans le système.
  - c. Comparer cette énergie à celle calculée dans la question 1.b et commenter ce résultat.

**Exercice 3 :**

Soi le schéma de la figure 2, où les condensateurs  $C_1, C_2$  et  $C_3$  ne sont pas initialement chargés. On charge complètement le condensateur  $C_1$  en mettant le commutateur  $S$  sur la position 1. On place ensuite  $S$  sur la position 2.

1. Déterminer la différence de potentiel  $V_A - V_C$  quand l'équilibre est établi.
2. Déterminer les charges finales  $Q_1, Q_2$  et  $Q_3$  des trois condensateurs.

**Exercice 4 :**

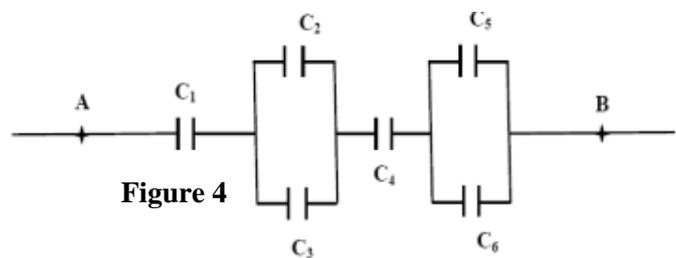
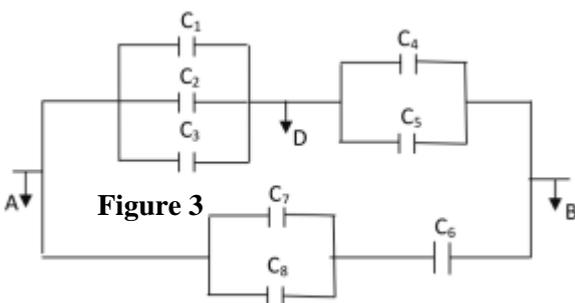
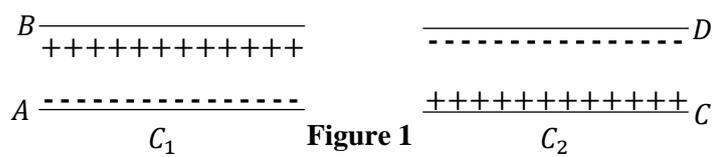
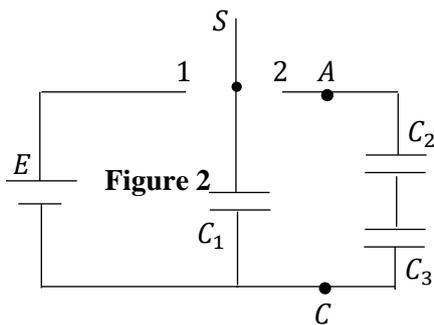
Soit le montage de la figure 3.

1. Sachant que le condensateur  $C_1$  porte la charge  $Q_1 = 10 \mu C$ , quelle sera la différence de potentiel  $V_{AD}$  entre les points A et D ?
2. Déterminer les charges  $Q_2$  et  $Q_3$  des condensateurs  $C_2$  et  $C_3$  respectivement.
3. La différence de potentiel entre B et D étant égale à 2V, calculez les charges  $Q_4$  et  $Q_5$  des condensateurs  $C_4$  et  $C_5$ .
4. Quelle est la capacité équivalente  $C_{eq}$  de tout le montage ?
5. Calculer l'énergie emmagasinée par le condensateur  $C_1$ . On donne :  $C_1 = 4 \mu F, C_2 = 3.5 \mu F, C_3 = 2.5 \mu F, C_4 = C_5 = C_7 = C_8 = 5 \mu F, C_6 = 10 \mu F$ .

**Exercice 5 :**

On donne les valeurs des capacités représentées sur la figure 4 :  $C_1 = C_5 = C_6 = 5 \mu F, C_2 = 3 \mu F, C_3 = 7 \mu F, C_4 = 10 \mu F$ . La différence de potentiel entre les bornes A et B est  $U_{AB} = 1000 V$ .

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



**Exercices supplémentaires**

**Exercice S1 :**

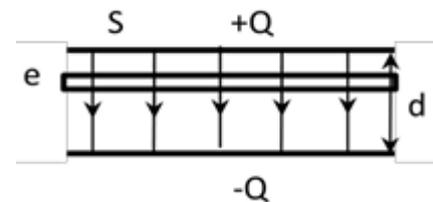
Une sphère conductrice  $S_1$ , de centre  $O_1$  et de rayon  $R_1 = 10 \text{ cm}$ , porte une charge électrique  $Q = 10 \text{ nC}$ .

1. Calculer son potentiel  $V$  et son énergie interne  $W$  ;
2. On relie, par un fil conducteur,  $S_1$  à une seconde sphère conductrice  $S_2$ , initialement neutre, de centre  $O_2$  et de rayon  $R_2 = 1 \text{ cm}$ . Les centres des deux sphères sont séparés par une distance  $d = O_1O_2 = 50 \text{ cm}$ . On néglige les caractéristiques du fil de jonction et on ne tient pas compte du phénomène d'influence. Calculer, à l'équilibre, les charges  $Q_1$  et  $Q_2$  portées respectivement par  $S_1$  et  $S_2$  ;
3. Calculer l'énergie du système formé par les deux sphères avant et après la connexion. Où est passée l'énergie perdue ?

**Exercice S2 :**

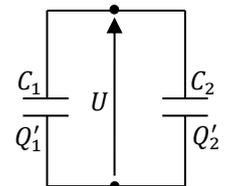
Soit un condensateur plan constitué de deux plaques de même surface  $S$ , séparées par une distance  $d$  et qui portent une charge totale  $Q$ .

1. Déterminer sa capacité  $C$ .
2. Calculer la force exercée par l'armature  $+Q$  sur l'armature  $-Q$ .
3. On introduit une plaque métallique d'épaisseur  $e$  entre les armatures. Déterminer la nouvelle capacité  $C'$ , en considérant ce système (condensateur + plaque) comme l'association en série de deux condensateurs plans.



**Exercice S3 :**

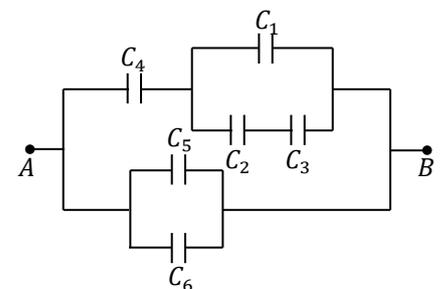
1. La tension aux bornes d'un condensateur de capacité  $C_1 = 1 \mu F$  est  $U_1 = 10 \text{ V}$ . Calculer la charge  $Q_1$  de ce condensateur.
2. La tension aux bornes d'un condensateur de capacité  $C_2 = 0.5 \mu F$  est  $U_2 = 5 \text{ V}$ . Calculer la charge  $Q_2$  de ce condensateur.
3. Les deux condensateurs, ainsi chargés, sont maintenant reliés comme indiqué sur la figure 3. A l'équilibre :
  - 3.1. Calculer la tension  $U$  aux bornes de l'ensemble ;
  - 3.2. Déduire les nouvelles charges  $Q'_1$  et  $Q'_2$  des deux condensateurs.



**Exercice S4 :**

Soit le groupement de condensateurs de la figure ci-contre. On donne :  $C_1 = 2 \mu F$  ;  $C_2 = 3 \mu F$  ;  $C_3 = 6 \mu F$  ;  $C_4 = 2 \mu F$  ;  $C_5 = 4 \mu F$  ;  $C_6 = 12 \mu F$

1. Calculer la capacité équivalente entre les points  $A$  et  $B$  ;
2. On applique entre  $A$  et  $B$  une tension  $U = 120 \text{ V}$  :
  - 2.1. Calculer la charge portée par chaque condensateur et la tension entre ces bornes ;
  - 2.2. Calculer l'énergie emmagasinée dans le système formé par les six condensateurs.



**Corrigé de la série de TD n°6**

**Exercice 1 :**

1. En fonction de  $V, Q', R, R'$  et  $l$ , calculer :

a. La charge  $Q$  portée par  $S$  :

Soit  $V_1$  le potentiel créé par  $Q$  sur  $S$ , et  $V_2$  celui créé par  $Q'$  sur  $S$ . D'après le principe de superposition :

$$V = V_1 + V_2 = K \frac{Q}{R} + K \frac{Q'}{l} \rightarrow Q = R \left( \frac{V}{R} - \frac{Q'}{l} \right)$$

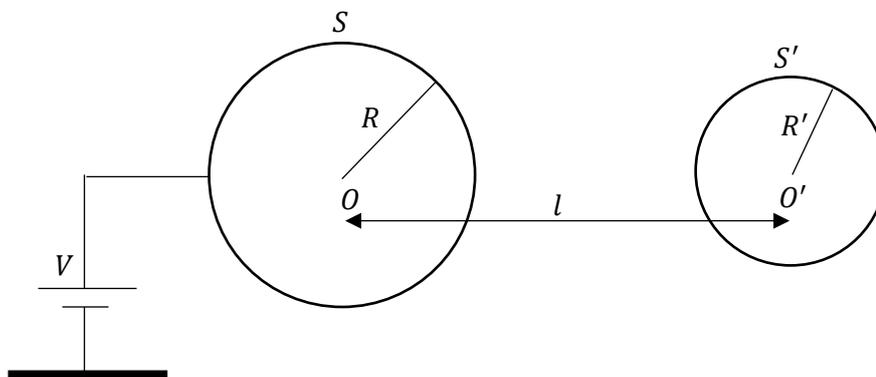
b. Le potentiel  $V'$  de  $S'$  :

De même, le potentiel  $V'$  est la somme des potentiels  $V'_1$  et  $V'_2$ , où  $V'_1$  est le potentiel créé par  $Q'$  sur  $S'$  et  $V'_2$  celui créé par  $Q$  sur  $S'$ . D'où :

$$V' = K \frac{Q'}{R'} + K \frac{Q}{l} = KQ' \left( \frac{l}{R'} - \frac{R}{l^2} \right) + \frac{R}{l} V$$

c. La force  $\vec{F}$  exercée par  $(S)$  sur  $(S')$ .

$$|F| = K \frac{|QQ'|}{l^2} = \left| K \frac{Q'}{l^2} \left( V - K \frac{Q'}{l} \right) \right|$$



2. La sphère  $S'$  étant maintenue à l'infini, il n'y a plus d'influence entre les sphères  $S$  et  $S'$ . La charge  $Q_0$  portée par  $S$  est alors donnée par :

$$V = K \frac{Q_0}{R} \rightarrow Q_0 = \frac{RV}{K} = 0.04 \mu C$$

La sphère  $S$  étant isolé du générateur, sa charge ne change pas lorsqu'on l'entoure par la sphère  $S'$  :  $Q_0 = 0.04 \mu C$ .

La sphère  $S''$  étant neutre, nous aurons :  $Q_i + Q_e = 0$ , et les sphères  $S$  et  $S''$  étant en influence totale, on a :

$$Q_i = -Q_0 = -0.04 \mu C$$

D'où :  $Q_e = -Q_i = Q_0 = 0.04 \mu C$

3. Quand on relie la sphère  $S''$  au sol, la charge extérieure devient nulle, les autres charges ne changent pas.

a. Les nouvelles charges seront donc :

$$Q'_0 = Q_0 = 0.04 \mu C, Q'_i = Q_i = -0.04 \mu C, Q'_e = 0$$

b. Le champ électrique créé par les sphères étant radial, nous appliquons le théorème de Gauss (voir série n°5). Ce dernier va s'écrire sous la forme générique ;

$$\vec{E}(r) = K \frac{Q_{int}}{r^2} \vec{e}_r$$

Région I :  $r < R$

$$Q_{int} = 0 \rightarrow E_I(r) = 0$$

Région II :  $R < r < R_i$

$$Q_{int} = Q_0 \rightarrow E_{II} = K \frac{Q_0}{r^2}$$

Région III :  $R_i < r < R_e$

$$Q_{int} = Q'_0 + Q'_i = 0 \rightarrow E_{III} = 0$$

Région IV :  $r > R_e$

$$Q_{int} = Q'_0 + Q'_i + Q'_e = 0 \rightarrow E_{IV} = 0$$

c. La différence de potentiel entre les sphères  $S''$  et  $S$  :

$$V_{S''} - V_S = - \int_R^{R_i} E dr = K Q_0 \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R} \right) \rightarrow V_S - V_{S''} = K Q_0 \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R_i} \right)$$

La sphère  $S''$  étant reliée au sol, nous avons  $V_{S''} = 0$ , d'où :

$$V_S = K Q_0 \left( \frac{R_i - R}{R R_i} \right)$$

d. La capacité  $C$  du condensateur formé par les sphères  $S$  et  $S''$  est :

$$C = \frac{Q_0}{V_S} = \frac{R R_i}{K(R_i - R)}$$

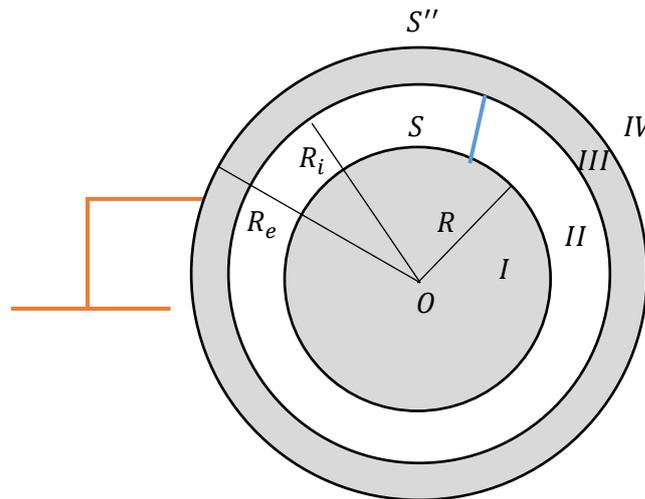
4. Lorsqu'on relie les sphères  $S$  et  $S''$  par un fil conducteur :

a. L'ensemble du conducteur étant relié au sol, son potentiel final sera nul :

$$V_f = 0$$

b. L'énergie libérée au cours de cette opération est :

$$E_l = \frac{1}{2} CV_s^2 = \frac{1}{2} KQ_0^2 \left( \frac{R_i - R}{RR_i} \right)$$



### Exercice 2 :

1. On relie les plaques A et C par un fil conducteur :

a. Les plaques A et C étant initialement au même potentiel, il n'y a pas de modification de la répartition des charges après liaison de ces plaques. Les condensateurs porteront les mêmes charges  $Q_1$  et  $Q_2$ .

Les différences de potentiel aux bornes des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont respectivement données par :

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 20 \text{ V} ; V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = 30 \text{ V}$$

b. Les énergies internes des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont :

$$E_{p1} = \frac{1}{2} Q_1 V_1 = 0.8 \text{ nJ} ; E_{p2} = \frac{1}{2} Q_2 V_2 = 0.45 \text{ nJ}$$

Le système aura donc l'énergie :

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} = 1.25 \text{ nJ}$$

2. On relie maintenant les plaque B et D par un fil conducteur.

a. La nouvelle répartition des charges est la suivante :

- Les deux condensateurs auront alors la même différence de potentiel à leurs bornes :

$$V'_1 = V'_2 \rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2}$$

Les deux condensateurs sont en parallèle. Ils sont équivalents à un seul condensateur de capacité  $C = C_1 + C_2$ , portant la charge  $Q = Q'_1 + Q'_2$  et la différence de potentiel à ses bornes est :

$$V = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2}$$

Cette dernière est égale à la différence de potentiel aux bornes de chaque condensateur :

$$V = V'_1 = V'_2 \rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

D'après le principe de la conservation de la charge :

$$Q'_1 + Q'_2 = Q_1 - Q_2$$

La borne positive du condensateur  $C_1$  est reliée à la borne négative du condensateur  $C_2$ .

La résolution du système d'équations linéaires (1) et (2) donne :

$$Q'_1 = \frac{C_1(Q_1 - Q_2)}{C_1 + C_2} = 4 \text{ nC} ; Q'_2 = \frac{C_2(Q_1 - Q_2)}{C_1 + C_2} = 1 \text{ nC}$$

- Les différences de potentiel aux bornes de  $C_1$  et  $C_2$  sont :

$$V'_1 = V'_2 = \frac{(Q_1 - Q_2)}{C_1 + C_2} = 10 \text{ V}$$

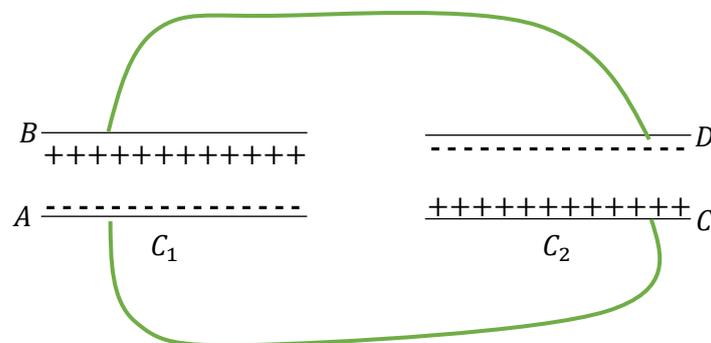
b. La nouvelle énergie du système s'écrit :

$$E'_p = \frac{1}{2} Q'_1 V'_1 + \frac{1}{2} Q'_2 V'_1 = \frac{1}{2} V'_1 (Q'_1 + Q'_2) = 2.5 \text{ nJ}$$

c. La variation de l'énergie du système est :

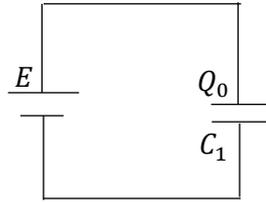
$$\Delta E_p = E'_p - E_p = -10 \text{ nJ}$$

Cette énergie est perdue par effet Joule lors du déplacement des charges de  $C_1$  vers  $C_2$  (dissipée sous forme de chaleur).



**Exercice 3 :**

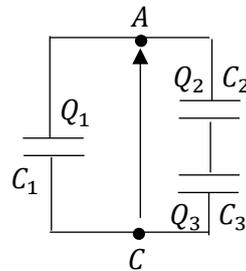
1. Lorsqu'on met le commutateur S sur la position 1, le circuit est équivalent au schéma ci-dessous :



Le condensateur  $C_1$  se charge à la tension  $E$ . Lorsque l'équilibre est atteint, ce condensateur portera la charge :

$$Q_0 = C_1 E$$

Lorsqu'on met le commutateur S sur la position 2, le circuit est équivalent au schéma ci-dessous :

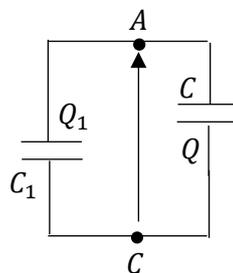


La charge initiale  $Q_0$  va se répartir sur les condensateurs  $C_2, C_3$  et  $C_1$  qui porteront respectivement les charges  $Q_2, Q_3$  et  $Q_1$ .

Les condensateurs  $C_2$  et  $C_3$  étant montés en série et initialement neutres, nous auront :  $Q_2 = Q_3$

Les condensateurs  $C_2$  et  $C_3$  sont en série. Ils sont équivalents au condensateur de capacité  $C = C_2 C_3 / (C_2 + C_3)$  qui portera la charge  $Q = Q_2 = Q_3$ .

Le circuit sera alors équivalent au schéma ci-dessous :



La tension  $V_A - V_C$  sera alors donnée par :

$$V_A - V_C = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q}{C} = \frac{Q_1 + Q}{C_1 + C}$$

Les condensateurs  $C_1$  et  $C$  sont en parallèles. Ils sont équivalents au condensateur de capacité  $C' = C_1 + C$  qui portera la charge  $Q_1 + Q$ .

La conservation de la charge totale nous donne :

$$Q_0 = Q_1 + Q$$

D'où :

$$V_A - V_C = \frac{Q_0}{C_1 + C} = \frac{C_1 E}{C_1 + \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}} = \frac{C_1 (C_2 + C_3)}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3} E$$

2. Les charges finales des trois condensateurs :

La charge  $Q_1$  est donnée par la relation :

$$Q_1 = (V_A - V_C) C_1 = \frac{C_1^2 (C_2 + C_3)}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3} E$$

La charge  $Q_2$  est donnée par :

$$Q_2 = Q = (V_A - V_C) C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3} E$$

La charge  $Q_3$  est :  $Q_3 = Q_2$

#### Exercice 4 :

1. Sachant que le condensateur  $C_1$  porte la charge  $Q_1 = 10 \mu C$ , la différence de potentiel  $V_{AD}$  entre les points A et D :

$$Q_1 = V_{AD} C_1 \rightarrow V_{AD} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{10}{4} = 2.5 V$$

2. Les charges  $Q_2$  et  $Q_3$  des condensateurs  $C_2$  et  $C_3$  :

$$Q_2 = V_{AD} C_2 = 8.75 \mu C$$

$$Q_3 = V_{AD} C_3 = 6.25 \mu C$$

3. La différence de potentiel entre B et D étant égale à 2V, Les charges  $Q_4$  et  $Q_5$  des condensateurs  $C_4$  et  $C_5$  :

$$Q_4 = V_{BD} C_4 = 10 \mu C$$

$$Q_5 = V_{BD} C_5 = 10 \mu C$$

4. La capacité équivalente  $C_{eq}$  de tout le montage :

Les condensateurs  $C_1, C_2$  et  $C_3$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

$$C_9 = C_1 + C_2 + C_3 = 10 \mu C$$

Les condensateur  $C_4$  et  $C_5$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

$$C_{10} = C_4 + C_5 = 10 \mu F$$

Les condensateur  $C_7$  et  $C_8$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

$$C_{11} = C_7 + C_8 = 10 \mu F$$

Les condensateur  $C_9$  et  $C_{10}$  sont en série. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

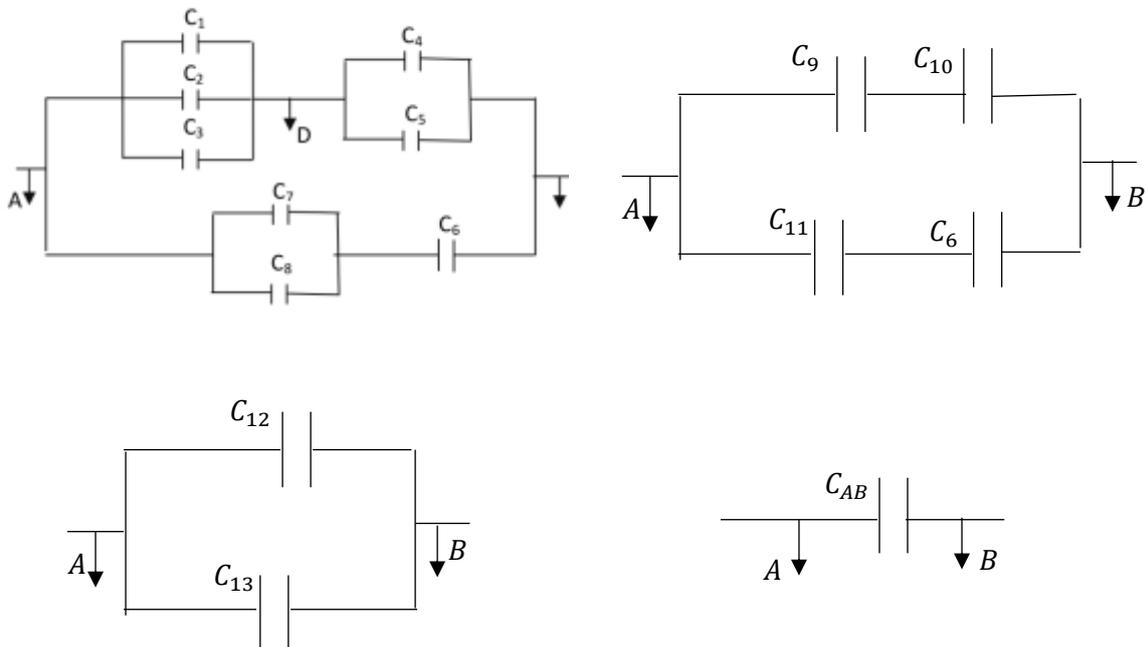
$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_9} + \frac{1}{C_1} \rightarrow C_{12} = 5 \mu F$$

Les condensateur  $C_{11}$  et  $C_6$  sont en série. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

$$\frac{1}{C_{13}} = \frac{1}{C_{11}} + \frac{1}{C_6} \rightarrow C_{13} = 5 \mu F$$

Les condensateur  $C_{12}$  et  $C_{13}$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent à tout le circuit :

$$C_{eq} = C_{AB} = C_{12} + C_{13} = 10 \mu F$$



5. L'énergie emmagasinée par le condensateur  $C_1$  :

$$E_{p1} = \frac{1}{2} C_1 Q_1 = \frac{1}{2} C_1^2 V_{AD}^2 = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{V_{AD}} = 5 \mu J$$

### Exercice 5 :

On donne les valeurs des capacités représentées sur la figure 4 :  $C_1 = C_5 = C_6 = 5 \mu F$ ,  $C_2 = 3 \mu F$ ,  $C_3 = 7 \mu F$ ,  $C_4 = 10 \mu F$ . La différence de potentiel entre les bornes A et B est  $U_{AB} = 1000 V$ .

1. La capacité équivalente  $C_{AB}$  du circuit :

Les condensateur  $C_2$  et  $C_3$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

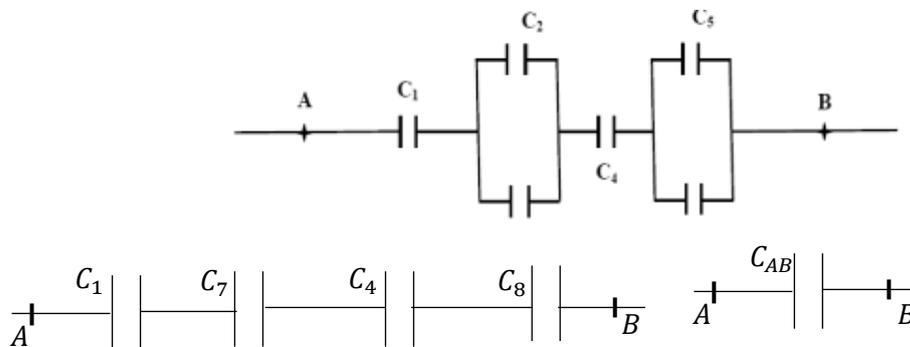
$$C_7 = C_2 + C_3 = 10 \mu F$$

Les condensateur  $C_5$  et  $C_6$  sont en parallèle. On peut les remplacer par un condensateur équivalent :

$$C_8 = C_5 + C_6 = 10 \mu F$$

Les condensateur  $C_1, C_7, C_4$  et  $C_8$  sont en série. On peut les remplacer par un condensateur équivalent à tout le circuit :

$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_8} \rightarrow C_{AB} = 2 \mu F$$



2. La charge équivalente  $Q_{AB}$  du condensateur équivalent :

$$Q_{AB} = C_{AB} U_{AB} = 2000 \mu C = 2 mC$$

3. La charge et la différence de potentiel de chaque condensateur :

Affectons à chaque condensateur une charge et une différence de potentiel  $(Q_i, V_i), i = 1..7$

Relation entre les charges :

$$Q_1 = Q_4 = Q_2 + Q_3 = Q_5 + Q_6 = Q_{AB}$$

A partir de cette relation, on déduit les valeurs de  $Q_1$  et  $Q_4$  :

$$Q_1 = Q_4 = Q_{AB} = 2 mC$$

D'où les valeurs de  $V_1$  et  $V_4$  :

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = 400 \text{ V}$$

$$V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = 200 \text{ V}$$

Relations entre les différentielles de potentiel :

$$\begin{cases} V_2 = V_3 \\ V_5 = V_6 \\ U_{AB} = V_1 + V_2 + V_4 + V_5 \end{cases}$$

Pour calculer les charges  $Q_2$  et  $Q_3$ , utilisons les relations :

$$\begin{cases} Q_2 + Q_3 = Q_{AB} \\ V_2 = V_3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} Q_2 + Q_3 = Q_{AB} \\ \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_3}{C_3} \end{cases}$$

La résolution de ce système nous donne :

$$Q_2 = \left( \frac{C_2}{C_2 + C_3} \right) Q_{AB} = 0.6 \text{ mC}$$

$$Q_3 = \left( \frac{C_3}{C_2 + C_3} \right) Q_{AB} = 1.4 \text{ mC}$$

D'où les valeurs des différences de potentiel  $V_2$  et  $V_3$  :

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = 200 \text{ V}$$

Pour calculer les différences de potentiel  $V_5$  et  $V_6$ , utilisons les relations :

$$\begin{cases} U_{AB} = V_1 + V_2 + V_4 + V_5 \\ V_5 = V_6 \end{cases} \rightarrow V_5 = V_6 = U_{AB} - V_1 - V_2 - V_4 = 200 \text{ V}$$

D'où les charges  $Q_5$  et  $Q_6$  :

$$Q_5 = C_5 V_5 = 0.1 \text{ mC}$$

$$Q_6 = C_6 V_6 = 0.1 \text{ mC}$$