

## **EXERCICES D'ELECTROSTATIQUE**

### **ENONCES**

#### **Exercice 1 : Champ électrostatique crée par des charges**

Trois charges ponctuelles  $+q$ ,  $-q$  et  $-q$  sont placées aux sommets d'un triangle équilatéral de côté  $a$ .

Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique régnant au centre du triangle.

Application numérique :  $q = 0,1 \text{ nC}$  et  $a = 10 \text{ cm}$ .

#### **Exercice 2 : Champ électrostatique crée par deux plans**

Considérons deux plans parallèles distants de  $d$ .

Le premier plan est chargé positivement avec une densité surfacique de charge  $+\sigma$  (en  $\text{C/m}^2$ ).

Le second plan est chargé négativement avec une densité surfacique de charge  $-\sigma$ .

Déterminer le champ électrostatique crée par les deux plans en un point quelconque de l'espace.

#### **Exercice 3 : Expérience de Millikan (1911)**

Entre deux plaques métalliques horizontales distantes de  $1,5 \text{ cm}$ , on applique une différence de potentiel de  $3 \text{ kV}$ .

On constate alors que de petites gouttes d'huile chargées négativement sont en équilibres entre les deux plaques.

- a) Quelles sont les polarités des plaques ?
- b) Quelle est la charge d'une goutte d'huile ?  
Comparer à la charge d'un électron.

On donne :

- masse volumique de l'huile :  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$
- diamètre d'une goutte :  $D = 4,1 \text{ }\mu\text{m}$
- intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

#### **Exercice 4 : Champ électrostatique crée par une boule métallique**

Considérons une boule en métal de rayon  $R$  ayant une charge globale  $Q$ .

A l'équilibre, comment se répartissent les charges dans le conducteur ?

En déduire l'expression de la densité surfacique de charge  $\sigma$  (en  $\text{C/m}^2$ ).

Que vaut le champ électrostatique dans le conducteur ?

En appliquant le théorème de Coulomb, vérifier qu'à la surface du conducteur :  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$

En utilisant le théorème de Gauss, montrer que l'intensité du champ électrostatique crée à la

distance  $r$  ( $r \geq R$ ) du centre du conducteur est :  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$

### **Exercice 5 : Association de condensateurs**

Montrer que pour des condensateurs branchés en parallèle les capacités s'additionnent.  
Montrer que pour des condensateurs branchés en série les inverses des capacités s'additionnent.

### **Exercice 6 : Décharge de condensateurs**

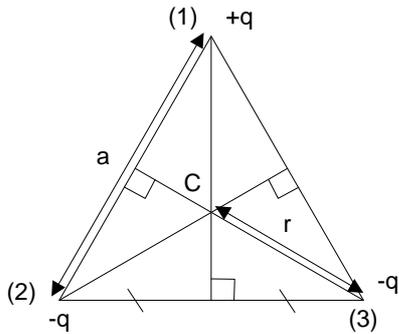
Un condensateur de capacité  $C = 100 \text{ nF}$  est chargé sous une tension  $U=20 \text{ V}$ .  
On le relie à un condensateur de même capacité  $C$ , mais initialement déchargé.

- a) Calculer la tension qui apparaît aux bornes de l'ensemble.
- b) Faire le bilan énergétique avant et après connexion. Commentaire ?

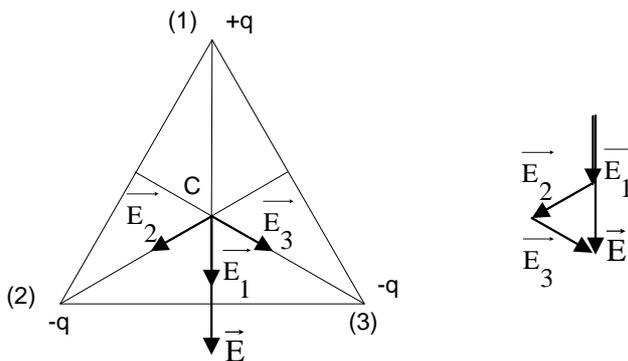
## CORRIGES

### Exercice 1

Le centre C est situé à la distance :  $r = \frac{a}{\sqrt{3}}$



Théorème de superposition :  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$



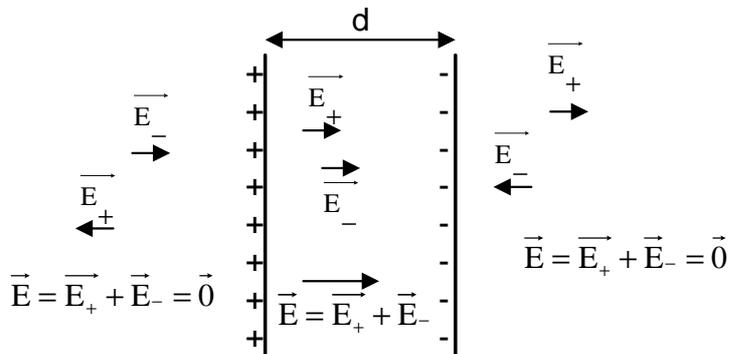
En intensité :  $E = E_1 + E_2 \cos 60^\circ + E_3 \cos 60^\circ$

$$E_1 = E_2 = E_3 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} (1 + 2 \cos 60^\circ) = \frac{3q}{2\pi\epsilon_0 a^2}$$

A.N.  $E = 540 \text{ V/m}$

### Exercice 2



$\vec{E}_+$  et  $\vec{E}_-$  désignent respectivement les champs créés par le plan chargé positivement et le plan chargé négativement.

Entre les deux plans, le champ  $\vec{E}$  est uniforme : c'est la somme de deux champs uniformes de même sens et de même intensité  $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .

$$E = 2 \times \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ (indépendant de la distance entre les deux plans).}$$

En dehors des deux plaques, le champ est nul car les champs créés par chaque plaque se compensent exactement.

### Exercice 3

a) C'est la force électrostatique qui empêche les gouttes de tomber.

La force électrostatique est donc dirigée vers le haut. La charge étant négative, force électrostatique et champ électrostatique sont de sens opposés. Le champ électrostatique est donc dirigé vers le bas. La plaque du haut est donc chargée positivement, celle du bas négativement.

b) A l'équilibre, la somme des forces qui s'applique sur une goutte est nulle.

Le poids est exactement compensé par la force électrostatique :  $m\vec{g} + q\vec{E} = \vec{0}$   
(m et q désignent la masse et la charge d'une goutte)

$$|q| = \frac{mg}{E} = \frac{mg\ell}{U} = \frac{\rho V g \ell}{U} = \frac{4\rho\pi R^3 g \ell}{3U} \approx 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ C}$$

R est le rayon de la goutte ;  $\ell = 1,5 \text{ cm}$  ;  $U = 3 \text{ kV}$ .

V est le volume de la goutte de forme sphérique.

$q = -10e$  : une goutte contient dix électrons excédentaires.

### Exercice 4

A l'équilibre, les charges se répartissent uniformément sur la surface.

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{4\pi R^2} \text{ en C/m}^2.$$

S est la surface d'une sphère.

Dans un conducteur à l'équilibre, le champ électrostatique est nul.

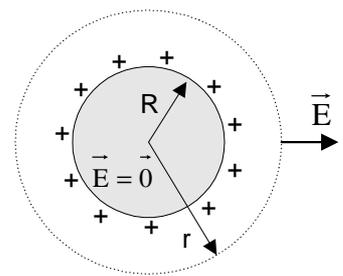
$$\text{A la surface (théorème de Coulomb) : } E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$

Considérons une surface fermée sphérique de rayon r.

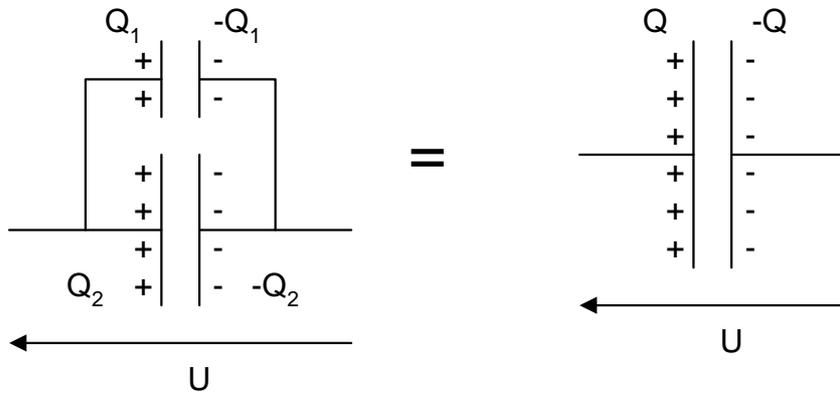
Le flux du champ électrostatique à travers cette surface est :  $\Phi = ES = E 4\pi r^2$

$$\text{L'application du théorème de Gauss donne : } E 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\text{L'intensité du champ électrostatique à la distance } r \geq R \text{ est donc : } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$



### Exercice 5



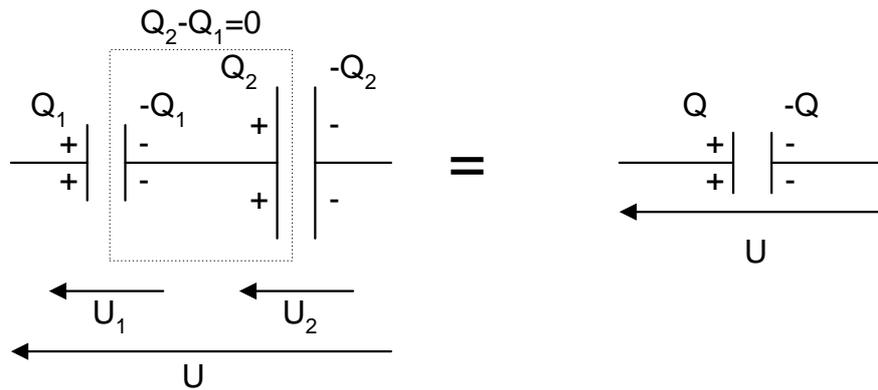
$$Q_1 = C_1 U$$

$$Q_2 = C_2 U$$

$$Q = C_{\text{éq}} U$$

Il y a conservation de la charge :  $Q = Q_1 + Q_2$

Donc :  $C_{\text{éq}} = C_1 + C_2$



En série, tous les condensateurs ont la même charge :  $Q = Q_1 = Q_2$

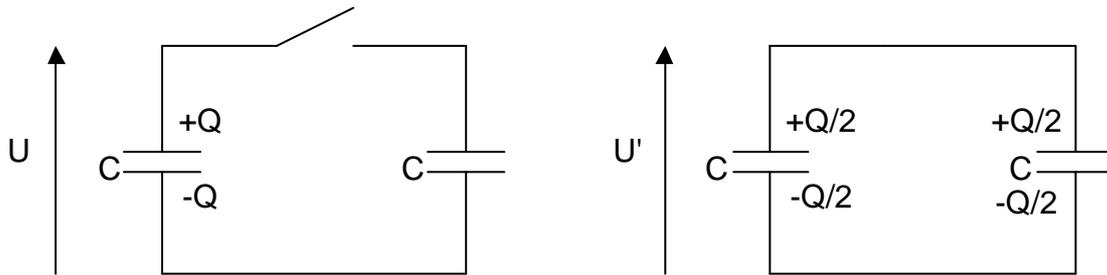
$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{Q}{C_{\text{éq}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\text{d'où : } \frac{1}{C_{\text{éq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

## Exercice 6

a) La charge initiale  $Q$  va se répartir, après liaison, de la façon suivante :



$$Q/2 = C U'$$

Tension qui apparaît aux bornes de l'ensemble :  $U' = Q/(2C) = U/2 = 10 \text{ V}$

b) Bilan énergétique

$$\text{Avant liaison : } W = \frac{1}{2} C U^2 + 0 = 20 \mu\text{J}$$

$$\text{Après liaison : } W' = \frac{1}{2} C U'^2 + \frac{1}{2} C U'^2 = \frac{W}{2} = 10 \mu\text{J}$$

Commentaire : il « manque »  $10 \mu\text{J}$ .

Cette énergie n'a pas disparu !

Lors de la liaison, le courant de décharge crée un champ électromagnétique :  $10 \mu\text{J}$  sont donc rayonnée (à la manière d'une antenne émettrice).

Pour s'en convaincre, il suffit de placer un récepteur radio à proximité du dispositif.

On entend un craquement, caractéristique de la réception d'une onde électromagnétique (pour les mêmes raisons, on peut « entendre » la foudre à la radio).