

Physique - Electromagnétisme

Chapitre 2 – Conducteur à l'équilibre

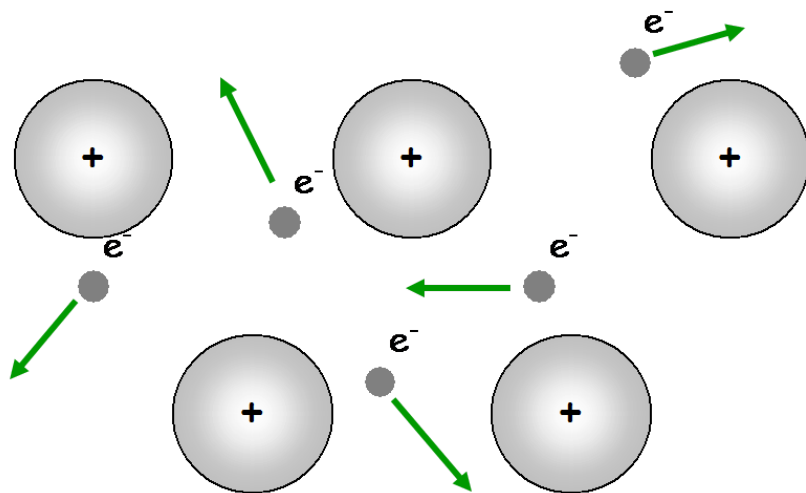
- I – Définition et propriétés
- II – Théorème de Coulomb
- III – Les condensateurs

I – Définition et propriétés – 1. Qu'est-ce qu'un conducteur électrique

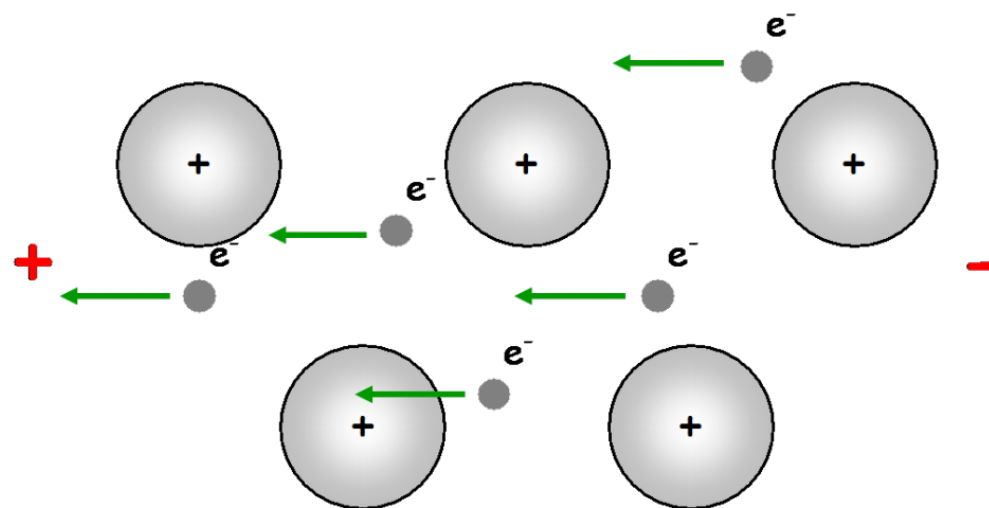
Conducteur électrique : Matériau solide, liquide ou gazeux à l'intérieur duquel les charges peuvent se déplacer librement

Exemple d'un matériau métallique :

En l'absence de tension électrique :



On applique une tension aux extrémités :



Dans un métal, le courant électrique est donc dû à la circulation d'électrons libres.

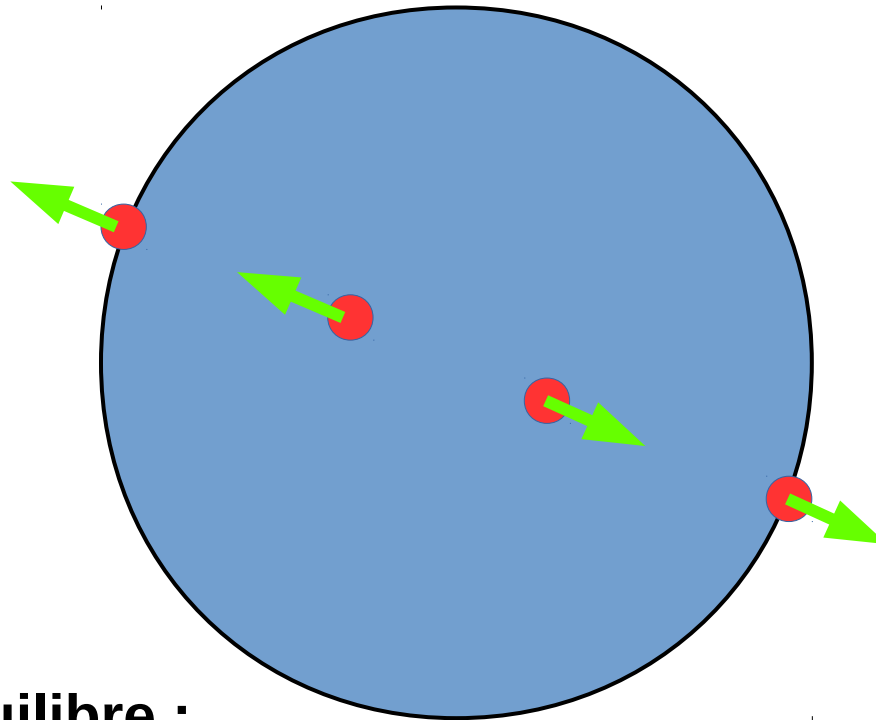
I – Définition et propriétés – 2. Conducteur à l'équilibre

Un conducteur neutre $\Leftrightarrow \sum Q = 0$

Première approche...

On place deux charges de même signe à l'intérieur $\Rightarrow \sum Q \neq 0$

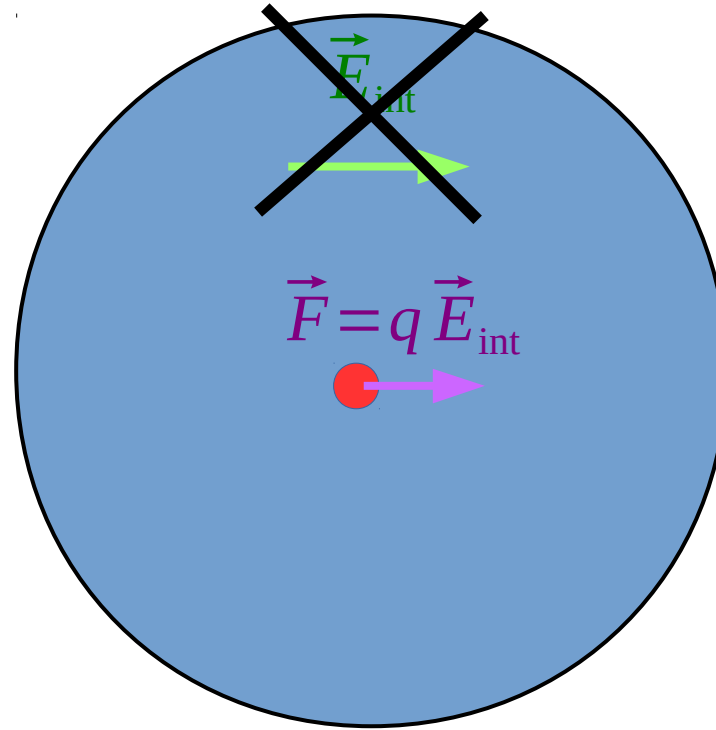
Forces électrostatiques repoussent les charges : régime transitoire



Conducteur à l'équilibre :

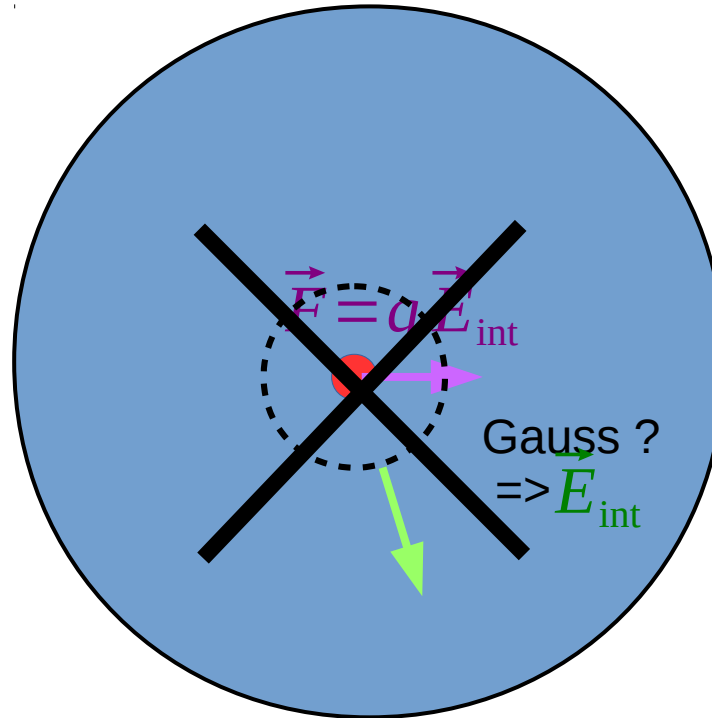
- Pas de déplacement des charges
- Pas d'émission du conducteur vers l'environnement

Conséquences :



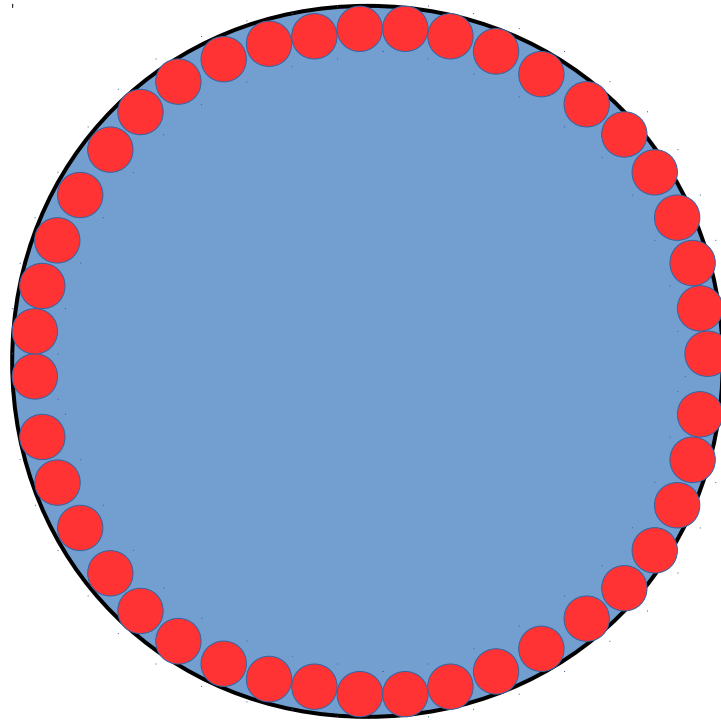
- Le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur
- $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} V \Rightarrow$ le potentiel électrique est constant à l'intérieur

Conséquences :



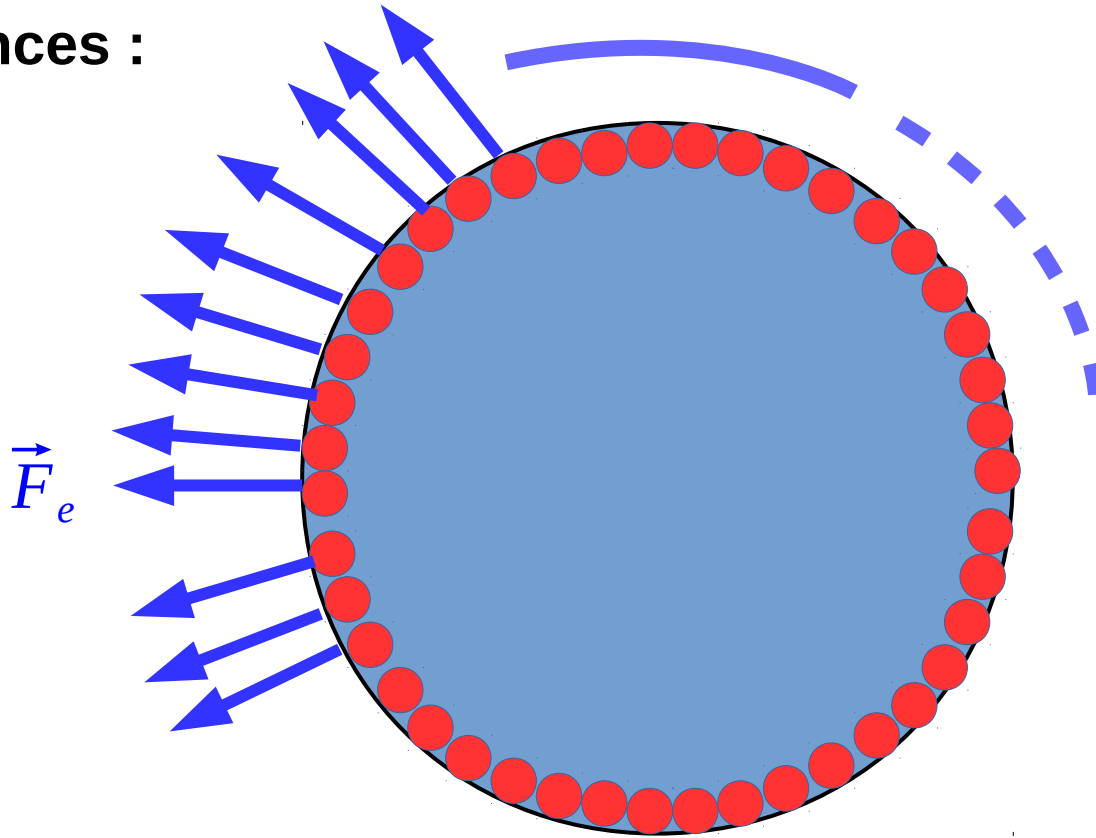
- $\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \Rightarrow$ pas de charge macroscopique à l'intérieur

Conséquences :



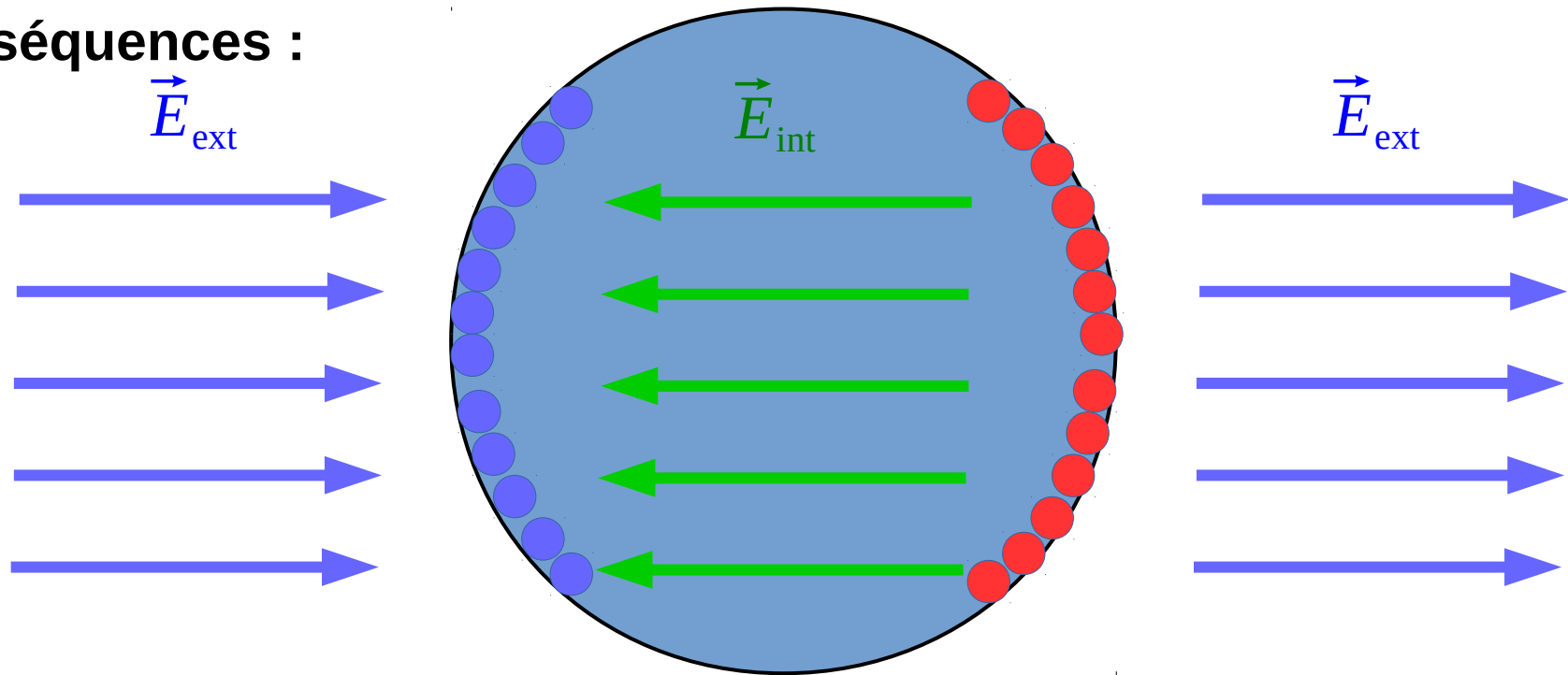
- Distribution de charge seulement à la surface

Conséquences :



- Force électrique normale à la surface et dirigée vers l'extérieur

Conséquences :



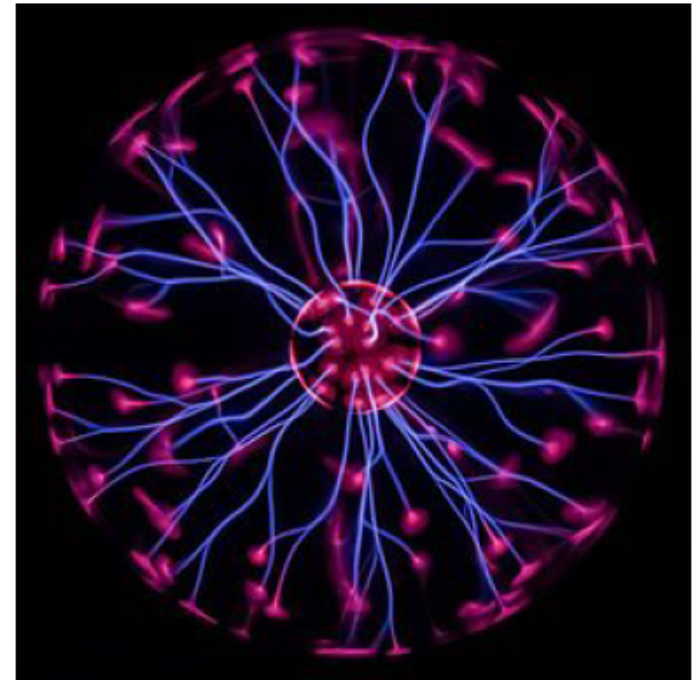
- Équilibre atteint lorsque $\vec{E}_{\text{int}} = -\vec{E}_{\text{ext}}$

Une sphère métallique en équilibre électrostatique portant une charge électrique très élevée a tendance

A. à augmenter son volume

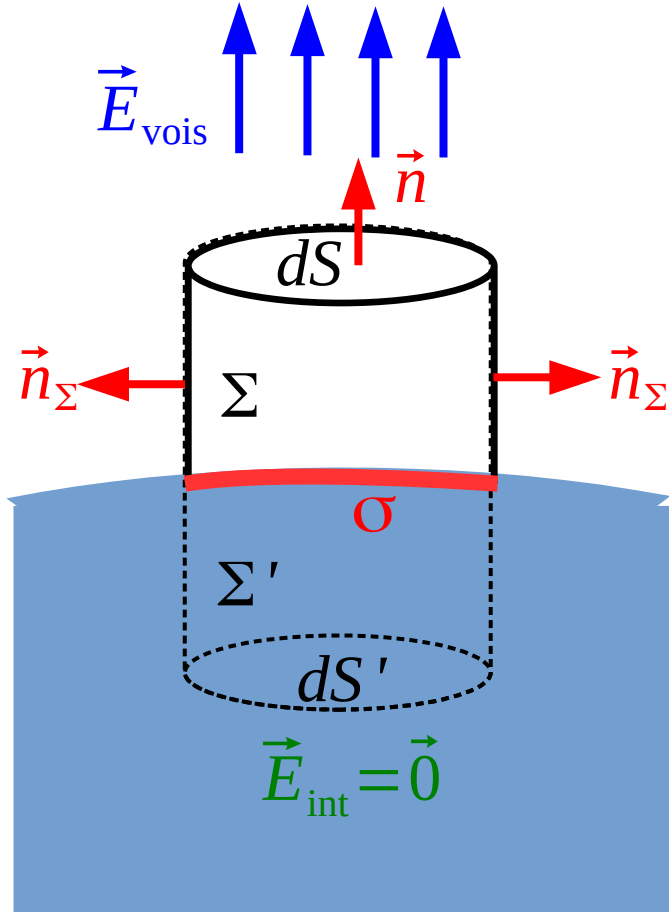
B. à diminuer son volume

C. ni l'un, ni l'autre



II – Théorème de Coulomb – 1. Champ au voisinage de la surface

On applique le théorème de Gauss



$$\oiint_S \vec{E} \cdot \vec{n} dS = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

σ = densité de charge surfacique

$$\Phi_{dS} + \Phi_{\Sigma} + \Phi_{dS'} + \Phi_{\Sigma'} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} dS$$

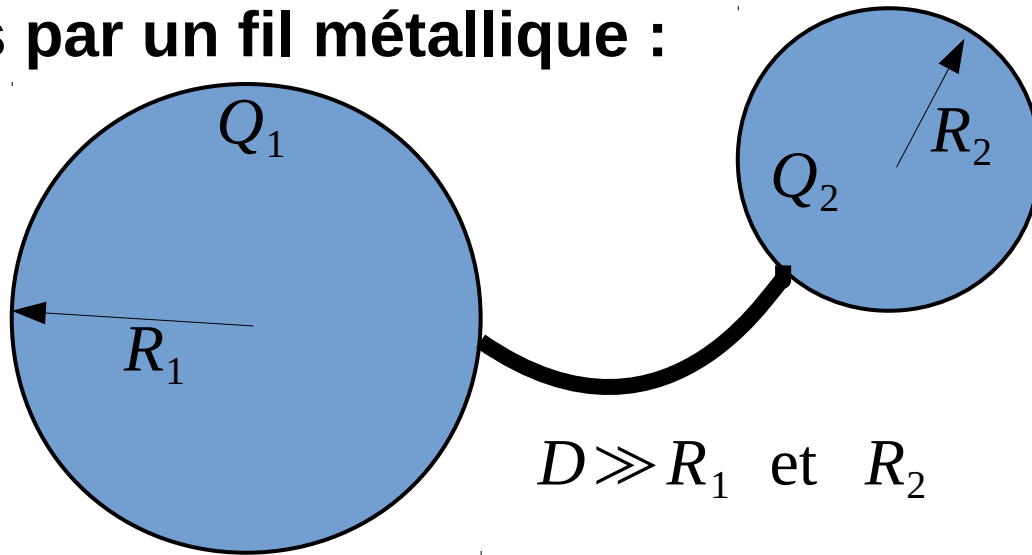
$$\vec{E}_{\text{int}} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \Phi_{dS'} = \Phi_{\Sigma'} = 0$$

$$\vec{E}_{\text{vois}} \perp \vec{n}_{\Sigma} \quad \Rightarrow \quad \Phi_{\Sigma} = 0$$

$$\boxed{\vec{E}_{\text{vois}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}}$$

II – Théorème de Coulomb – 2. Le pouvoir des pointes

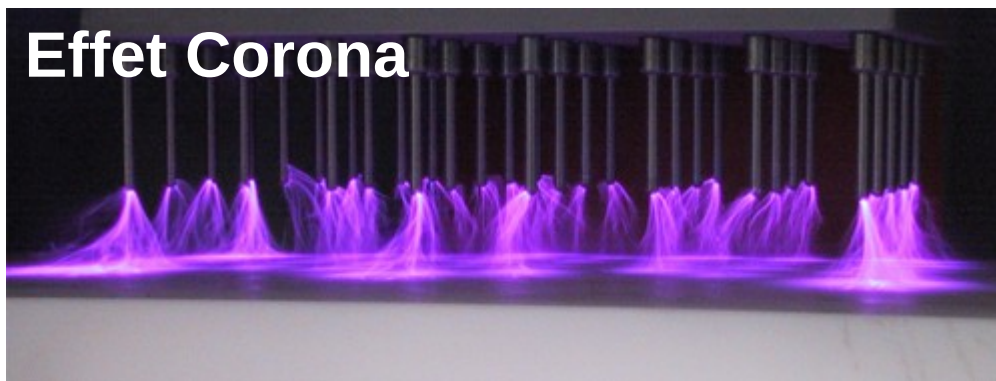
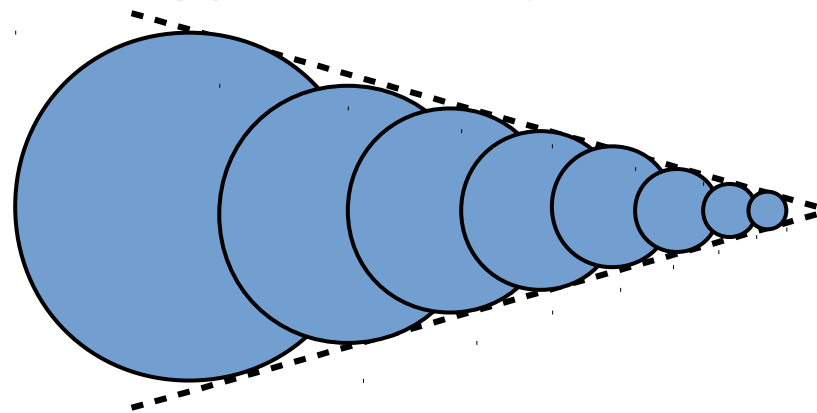
Champ électrique au voisinage de deux sphères conductrices reliées par un fil métallique :



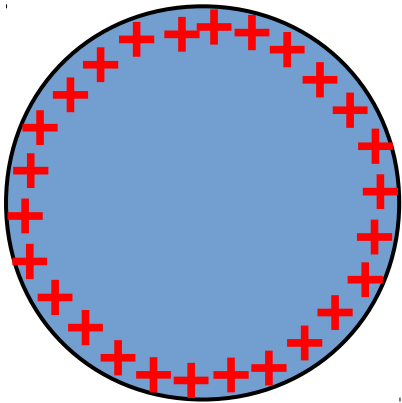
$$R_1 = 10 \text{ cm}$$

$$R_2 = 1 \text{ cm}$$

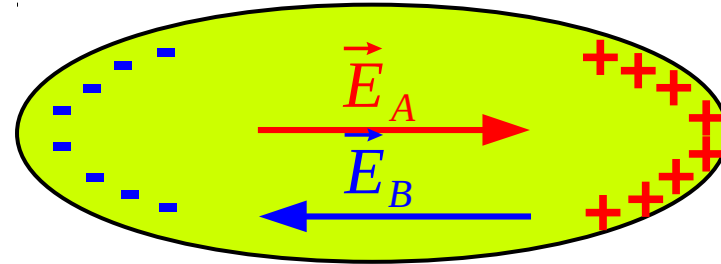
On apporte au système le nombre de charges totales : $Q_0 = 10^{-10} \text{ C}$



III – Les condensateurs – 1. Notion d'influence électrostatique



A chargé

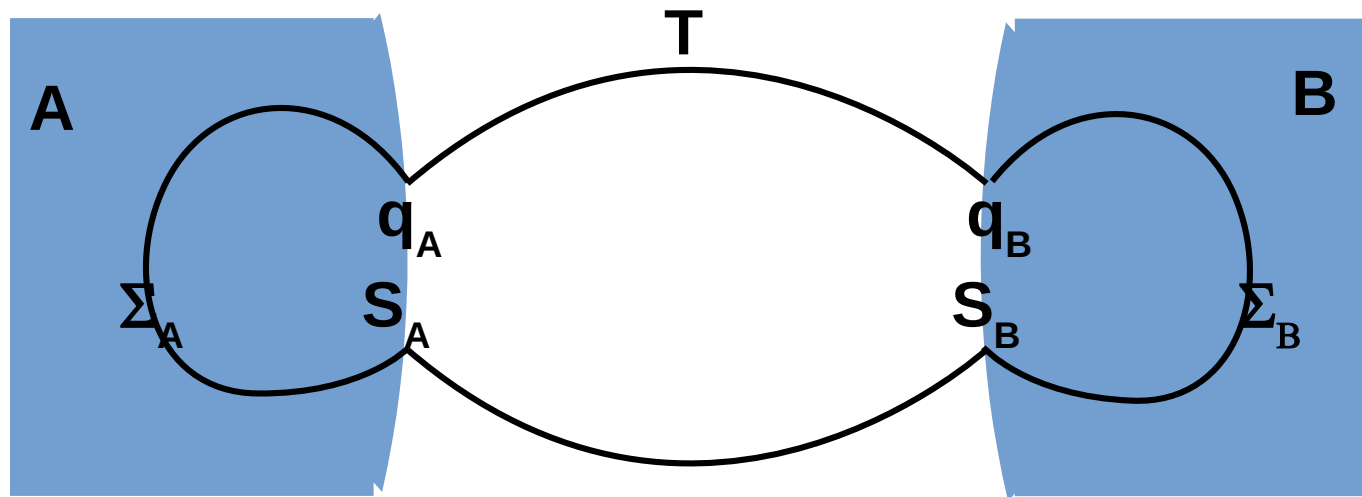


B neutre

$$\vec{E}_B = -\vec{E}_A$$

La répartition des charges sur B a été induite par l'influence électrostatique de A
Les charges sur B vont engendrer un champ qui va influencer les charges de A
=> Le phénomène d'influence est réciproque

III – Les condensateurs – 2. Théorème des éléments correspondants



A et B en influence et en équilibre électrostatique

T est un tube de champ :

une surface s'appuyant sur les lignes de champ

On applique le théorème de Gauss :

$$\Phi_{\Sigma_A} + \Phi_T + \Phi_{\Sigma_B} = \frac{q_A + q_B}{\epsilon_0}$$

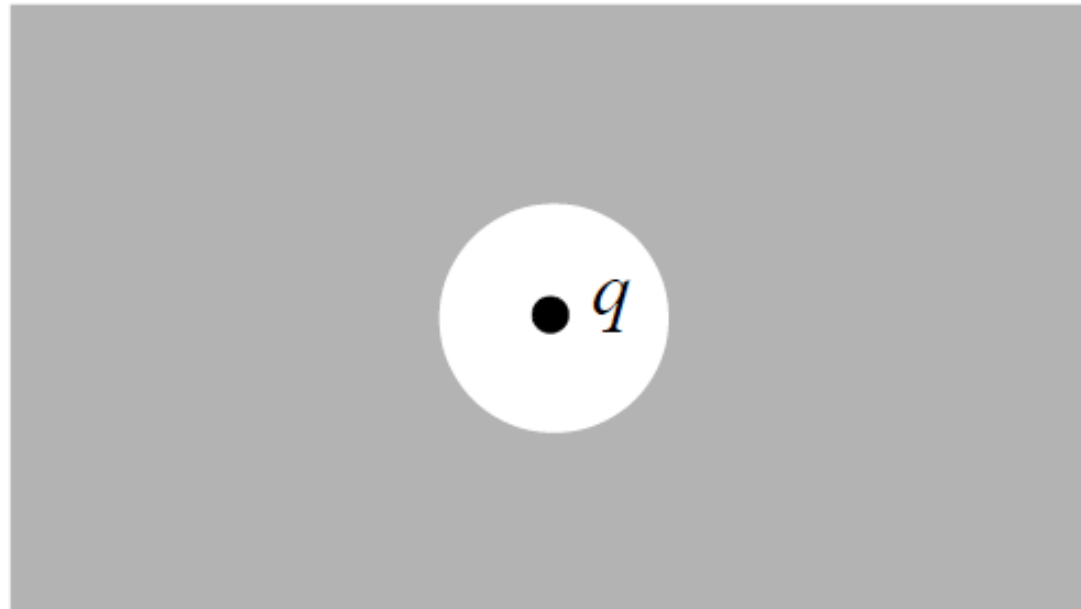
$$0 = \frac{q_A + q_B}{\epsilon_0}$$

$$q_A = -q_B$$

III – Les condensateurs – 3. Question 2

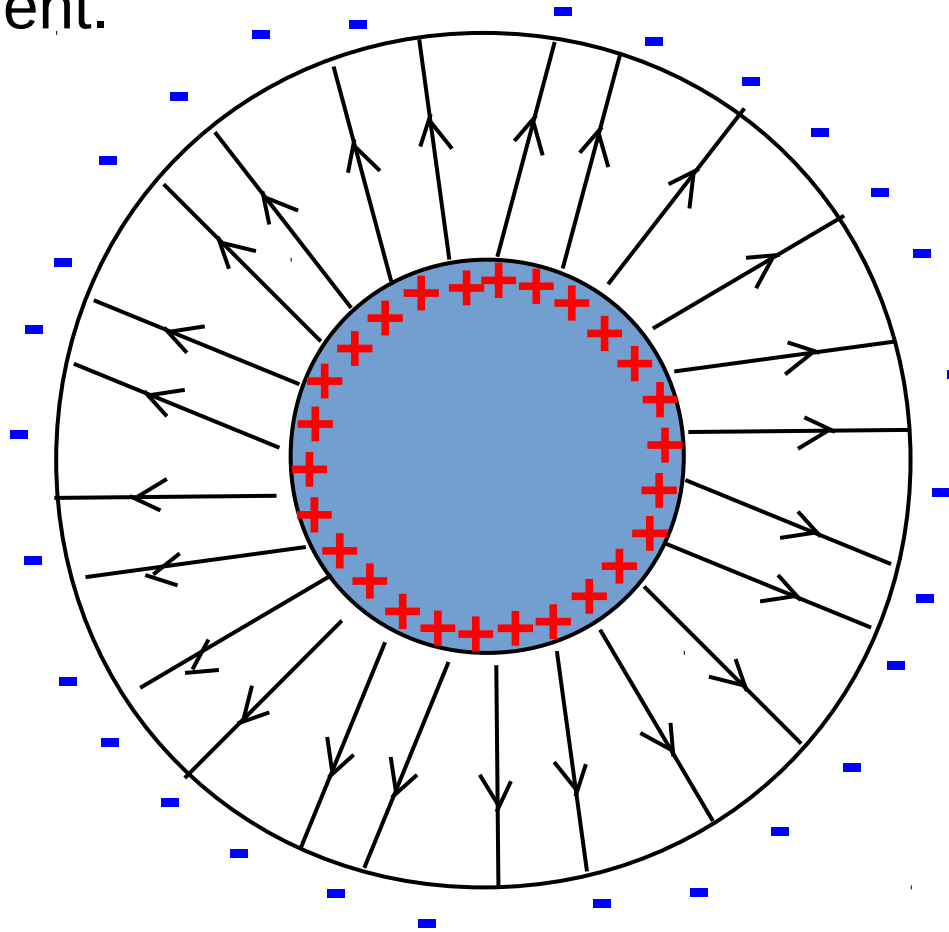
On considère un conducteur infini initialement neutre et isolé dans lequel est creusée une cavité sphérique. On place une charge ponctuelle q au centre de la cavité. Quelle est la charge portée par la surface de la cavité dans le nouvel état d'équilibre ?

- A. 0
- B. $q/4\pi$
- C. $-q/4\pi$
- D. q
- E. $-q$



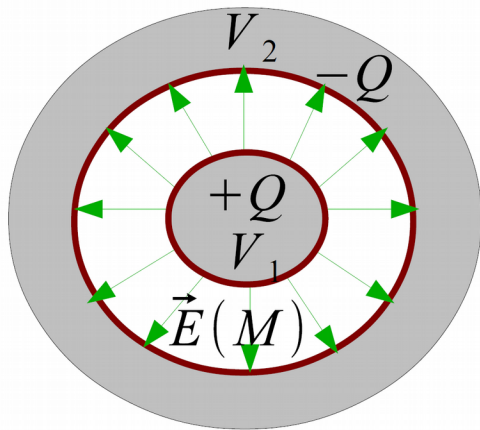
III – Les condensateurs – 3. Influence totale

Définition : 2 conducteurs sont en influence totale si l'un entoure complètement l'autre. toutes lignes de champ électrostatique quittant l'une des surfaces atteignent l'autre surface et réciproquement.

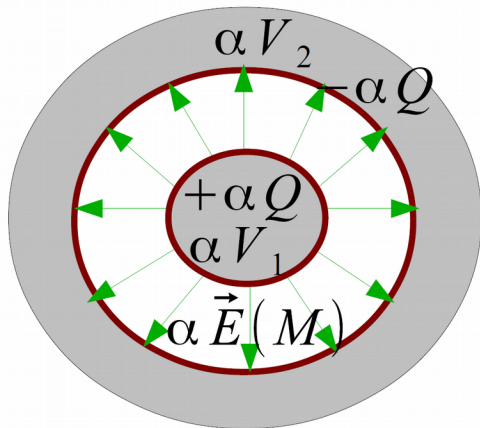


Les surfaces en regard portent des charges égales et opposées

III – Les condensateurs – 4. Capacité absolue



Condensateur



Soit un état d'équilibre caractérisé par :

$$+Q, -Q, \vec{E}(M), V_1 - V_2$$

Supposons que : $+Q' = +\alpha Q$

Alors :

$$-Q' = -\alpha Q$$

propriété du condensateur
à l'équilibre

$$\vec{E}' = \alpha \vec{E}$$

théorème de Gauss

$$(V_1 - V_2)' = \alpha V_1 - V_2$$

$$\int_{M_1}^{M_2} \alpha \vec{E} \cdot d\vec{l} = \alpha (V_1 - V_2)$$

Soit un nouvel état d'équilibre :

$$+\alpha Q, -\alpha Q, \alpha \vec{E}(M), \alpha (V_1 - V_2)$$

On a donc une relation de proportionnalité entre V et Q

Dans un condensateur à l'équilibre, la charge portée par les conducteurs est proportionnelle à la différence de potentiel électrostatique entre les deux conducteurs :

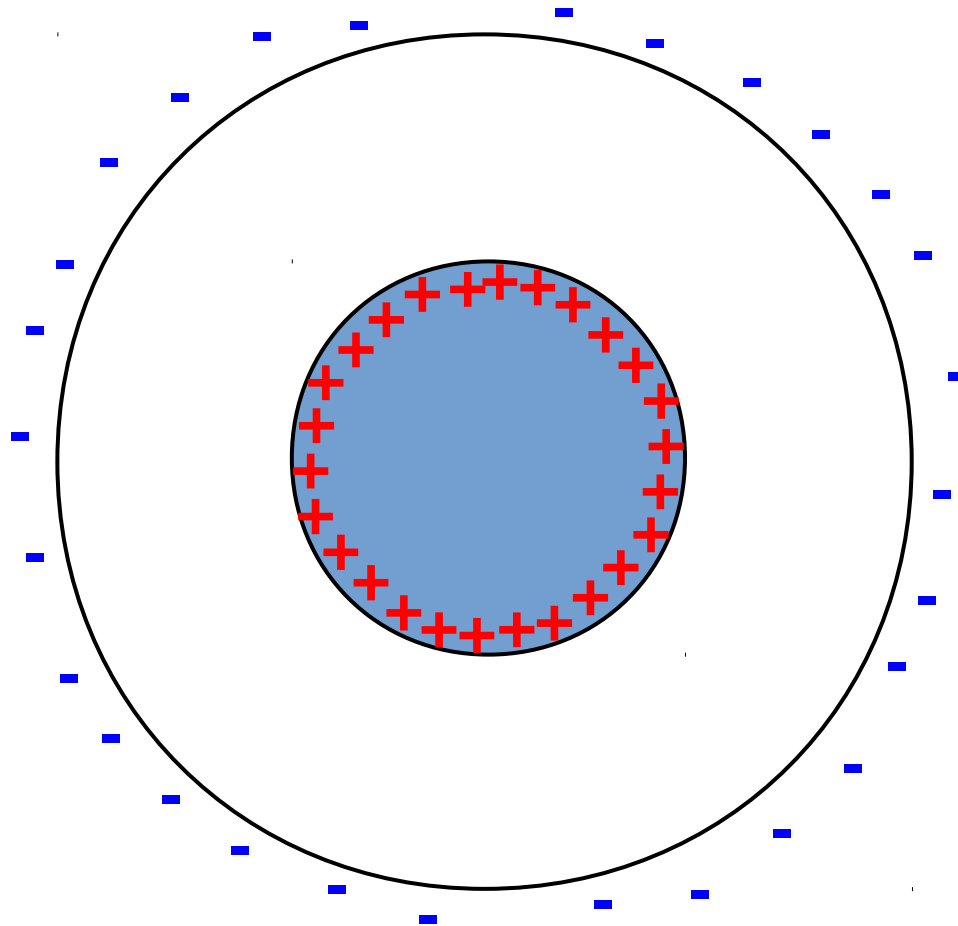
$$+Q = C(V_1 - V_2)$$

Le coefficient de proportionnalité est noté C et est appelé la capacité absolue du conducteur.

C s'exprime en Farad (F)

III – Les condensateurs – 5. Capacité d'un condensateur

Définition : Un condensateur est l'ensemble de deux conducteurs en influence totale de charges respectives Q^- et Q^+ .



$$Q^+ = Q^- = Q$$

Si V_1 et V_2 sont les potentiels électriques des armatures

$$C = \left| \frac{Q}{V_1 - V_2} \right|$$

**Laquelle ou lesquelles de ces affirmations sont exactes ?
(multiples choix possibles)**

- A. Dans un condensateur, l'amplitude du champ électrostatique est uniforme**
- B. La charge portée par chaque surface d'un condensateur doit être répartie uniformément**
- C. La capacité du condensateur ne dépend que de la géométrie des surfaces des conducteurs**
- D. Les surfaces des conducteurs constituant un condensateur s'attirent**