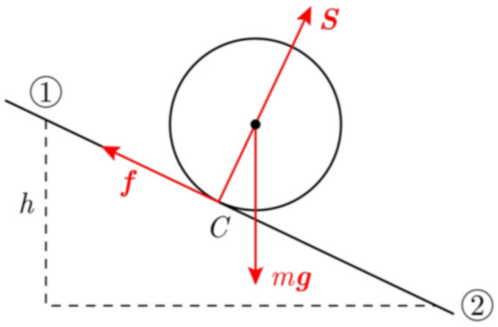
Leçon 22 – 15/05/2025

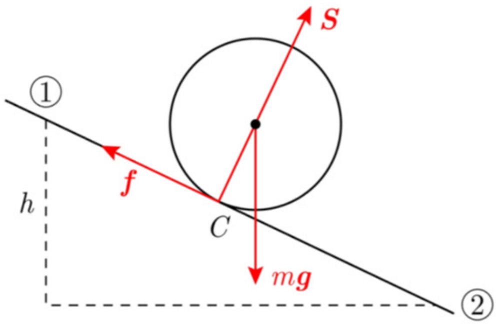
7. Électrostatique

- 7.1 Charge électrique, force de Coulomb et champ électrique
- 7.2 Potentiel électrique et tension
- 7.3 Conducteurs

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

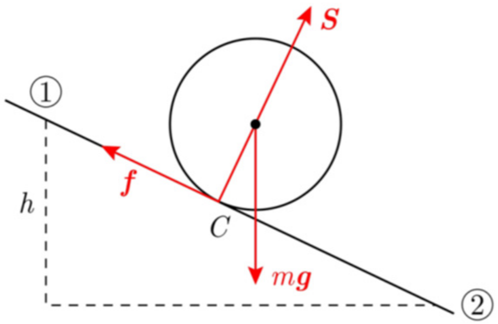


6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné



Une roue initialement au repos roule sans glisser sur un plan incliné. Que vaut la vitesse de la roue après une descente d'une hauteur *h*?

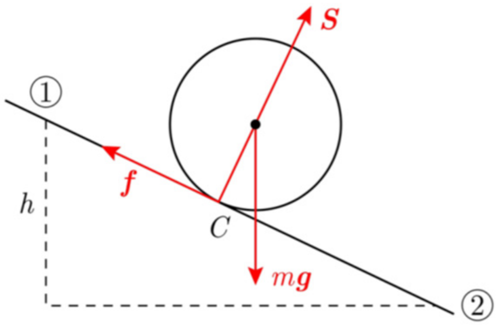
6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné



Une roue initialement au repos roule sans glisser sur un plan incliné. Que vaut la vitesse de la roue après une descente d'une hauteur *h*?

- <u>Objet</u> : roue
- <u>Forces</u> : poids $m\mathbf{g}$, soutien $\mathbf{S}$, frottement statique $\mathbf{f}$

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné



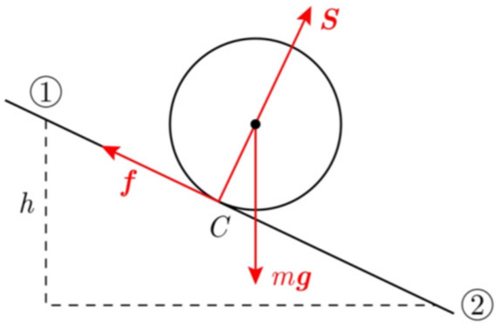
Une roue initialement au repos roule sans glisser sur un plan incliné. Que vaut la vitesse de la roue après une descente d'une hauteur *h*?

- Objet : roue
- Forces : poids $m\mathbf{g}$, soutien **S**, frottement statique **f**

- Théorème de l'énergie cinétique :

$$\boxed{\frac{1}{2}mv_{\text{CM}}^2+\frac{1}{2}I_{\text{CM}}\omega_{\text{CM}}^2=W_{1\to2}^{\text{ext}}=W_{1\to2}(m\mathbf{g})+W_{1\to2}(\mathbf{f})\quad(6.85)}$$

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné



Une roue initialement au repos roule sans glisser sur un plan incliné. Que vaut la vitesse de la roue après une descente d'une hauteur *h*?

- <u>Objet</u> : roue
- <u>Forces</u> : poids $m\mathbf{g}$, soutien **S**, frottement statique **f**

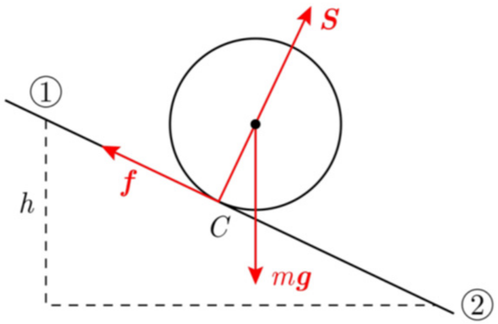
- <u>Théorème de l'énergie cinétique</u> :

$$\boxed{\frac{1}{2}mv_{\text{CM}}^2+\frac{1}{2}I_{\text{CM}}\omega_{\text{CM}}^2=W_{1\to2}^{\text{ext}}=W_{1\to2}(m\mathbf{g})+W_{1\to2}(\mathbf{f}) \quad (6.85)}$$

Pour un roulement sans glissement, la vitesse du point de contact *C* est nulle. Ainsi,

$$\mathbf{v}_{\text{C}}=\mathbf{0}\Rightarrow d\mathbf{r}_{\text{C}}=\mathbf{0}\Rightarrow \boxed{W_{1\to2}(\mathbf{f})=\int_1^2\mathbf{f}\cdot d\mathbf{r}_{\text{C}}=0 \quad (6.86)}$$

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné



Une roue initialement au repos roule sans glisser sur un plan incliné. Que vaut la vitesse de la roue après une descente d'une hauteur *h*?

- <u>Objet</u> : roue
- <u>Forces</u> : poids $m\mathbf{g}$, soutien $\mathbf{S}$, frottement statique $\mathbf{f}$

- <u>Théorème de l'énergie cinétique</u> :

$$\boxed{\frac{1}{2}mv_{\text{CM}}^2+\frac{1}{2}I_{\text{CM}}\omega_{\text{CM}}^2=W_{1\to2}^{\text{ext}}=W_{1\to2}(m\mathbf{g})+W_{1\to2}(\mathbf{f}) \quad (6.85)}$$

Pour un roulement sans glissement, la vitesse du point de contact *C* est nulle. Ainsi,

$$\mathbf{v}_{\text{C}}=\mathbf{0}\Rightarrow d\mathbf{r}_{\text{C}}=\mathbf{0}\Rightarrow \boxed{W_{1\to2}(\mathbf{f})=\int_1^2\mathbf{f}\cdot d\mathbf{r}_{\text{C}}=0 \quad (6.86)}$$

Ainsi, la force de frottement <u>statique</u> **f** ne travaille pas!

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Remarque :

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Ainsi, $\boxed{W_{1\to 2}\left(\mathbf{f}\right)=0 \quad (6.87)}$

Remarque :

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Ainsi, $\boxed{W_{1\to 2}\left(\mathbf{f}\right)=0 \quad (6.87)}$

De plus, $\boxed{W_{1\to 2}\left(m\mathbf{g}\right)=mgh \quad (6.88)}$

Remarque :

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Ainsi, $\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{f}) = 0 \quad (6.87)}$

De plus, $\boxed{W_{1\to 2}(m\mathbf{g}) = mgh \quad (6.88)}$

- Donc, la relation (6.85) devient :

$$\boxed{\frac{1}{2}mv_{\text{CM}}^2 + \frac{1}{2}I_{\text{CM}}\omega_{\text{CM}}^2 = mgh \quad (6.89)}$$

Remarque :

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Ainsi, $\boxed{W_{1\to 2}\left(\mathbf{f}\right)=0 \quad (6.87)}$

De plus, $\boxed{W_{1\to 2}\left(m\mathbf{g}\right)=mgh \quad (6.88)}$

- Donc, la relation (6.85) devient :

$$\boxed{\frac{1}{2}mv_{\text{CM}}^{2}+\frac{1}{2}I_{\text{CM}}\omega_{\text{CM}}^{2}=mgh \quad (6.89)}$$

- Avec la liaison,

$v\equiv v_{\text{CM}}=R\omega_{\text{CM}}$

On obtient une relation entre v et h :

$$\frac{1}{2}\left(m+\frac{I_{\text{CM}}}{R^{2}}\right)v^{2}=mgh\Rightarrow \boxed{v^{2}=\frac{2gh}{1+\dfrac{I_{CM}}{mR^{2}}}<2gh \quad (6.90)}$$

Remarque :

6.6.6 Roue qui roule sans glisser sur un plan incliné

Ainsi, $\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{f}) = 0 \quad (6.87)}$

De plus, $\boxed{W_{1\to 2}(m\mathbf{g}) = mgh \quad (6.88)}$

- Donc, la relation (6.85) devient :

$$\boxed{\frac{1}{2} m v_{\mathrm{CM}}^2 + \frac{1}{2} I_{\mathrm{CM}} \omega_{\mathrm{CM}}^2 = mgh \quad (6.89)}$$

- Avec la liaison,

$$v \equiv v_{\mathrm{CM}} = R\omega_{\mathrm{CM}}$$

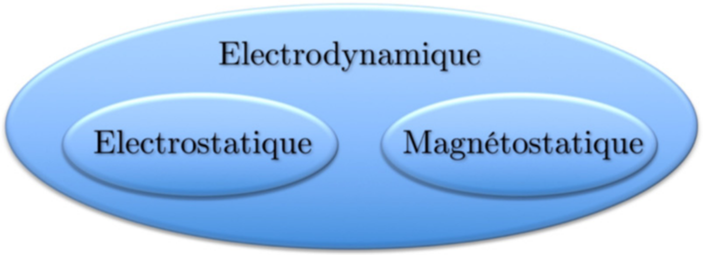
On obtient une relation entre *v* et *h* :

$$\frac{1}{2}\left(m + \frac{I_{\mathrm{CM}}}{R^2}\right) v^2 = mgh \Rightarrow \boxed{v^2 = \frac{2gh}{1 + \frac{I_{CM}}{mR^2}} < 2gh \quad (6.90)}$$

Remarque :

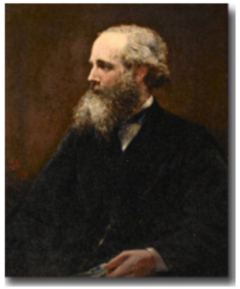
Cette vitesse est la même que celle du contrepoids de l'exemple précédent.

7.0 Remarque générale



Charles-Augustin Coulomb

Hans Christian Ørsted



James Clerk Maxwell

7.0 Remarque générale

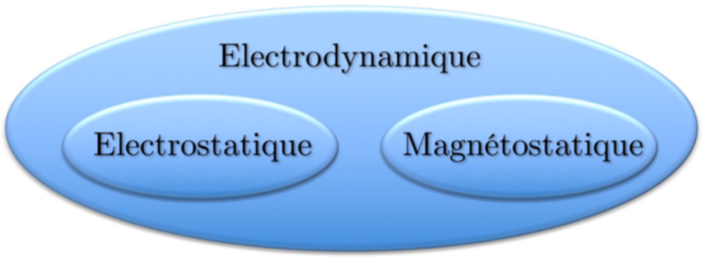
1. Électrostatique : branche de la physique qui étudie les phénomènes électriques relatifs à des charges électriques immobiles.

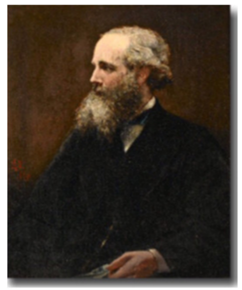
2. Magnétostatique : branche de la physique qui étudie les phénomènes magnétiques relatifs à des courants électriques stationnaires (i.e., indépendants du temps).

3. Électrodynamique (électromagnétisme) : branche de la physique qui étudie les phénomènes électromagnétiques (cas général).


Charles-Augustin Coulomb


Hans Christian Ørsted




James Clerk Maxwell

7.1 Charge électrique, force de Coulomb et champ électrique

7.1.1 Charge électrique

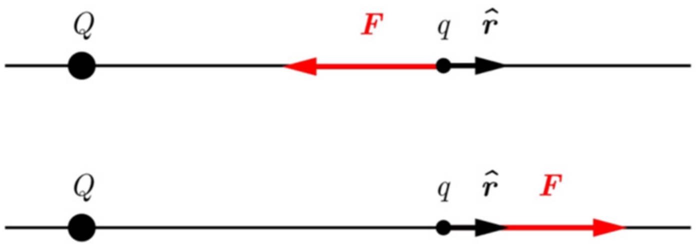
7.1.1 Charge électrique

Charge électrique (Q ou q) : grandeur physique caractérisant la quantité d'électricité d'un objet.

- Grandeur extensive
- Grandeur scalaire (positive (+), négative (-) ou nulle (0))
- Grandeur conservée (même dans la théorie de la relativité)
- Unité physique (SI) : le Coulomb [C] = [A.s] où A = Ampère
- Les particules élémentaires électriquement chargées ont une charge élémentaire $|e| = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C.
- Les objets électriquement chargés ont une charge électrique qui est un multiple de e.

7.1.2 Force de Coulomb

Charles-Augustin Coulomb



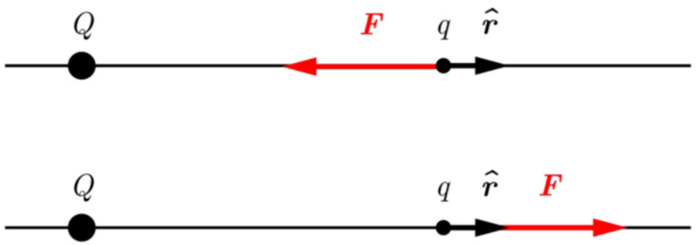
7.1.2 Force de Coulomb

Force de Coulomb (**F**) : deux points matériels électriquement chargés sont soumis à des forces égales et opposées, proportionnelles au produit des charges électriques et inversement proportionnelles au carré de la distance qui les sépare.

Charles-Augustin Coulomb

$$\boxed{\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad \text{où} \quad \hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (7.1)}$$

(loi de Coulomb)



7.1.2 Force de Coulomb

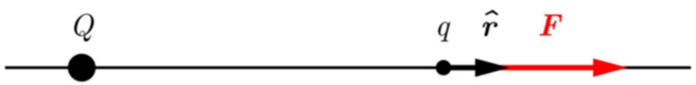
Force de Coulomb (**F**) : deux points matériels électriquement chargés sont soumis à des forces égales et opposées, proportionnelles au produit des charges électriques et inversement proportionnelles au carré de la distance qui les sépare.

Charles-Augustin Coulomb

$$\boxed{\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad \text{où} \quad \hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (7.1)}$$ (loi de Coulomb)

- Permittivité du vide (SI) : $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ [$C^2.m^{-2}.N^{-1}$] = [$A^2.s^4.kg^{-1}.m^{-3}$]

Si $Qq < 0$ (signe opposé)



Si $Qq > 0$ (même signe)

7.1.2 Force de Coulomb

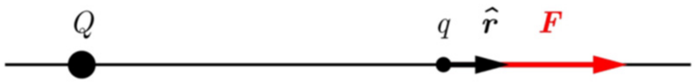
<u>Force de Coulomb</u> (**F**) : deux points matériels électriquement chargés sont soumis à des forces égales et opposées, proportionnelles au produit des charges électriques et inversement proportionnelles au carré de la distance qui les sépare.

Charles-Augustin Coulomb

$$\boxed{\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad \text{où} \quad \hat{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{r}}{r} \quad (7.1)}$$ (loi de Coulomb)

- Permittivité du vide (SI) : $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ $[C^2.m^{-2}.N^{-1}] = [A^2.s^4.kg^{-1}.m^{-3}]$

Si $Qq < 0$ (signe opposé)



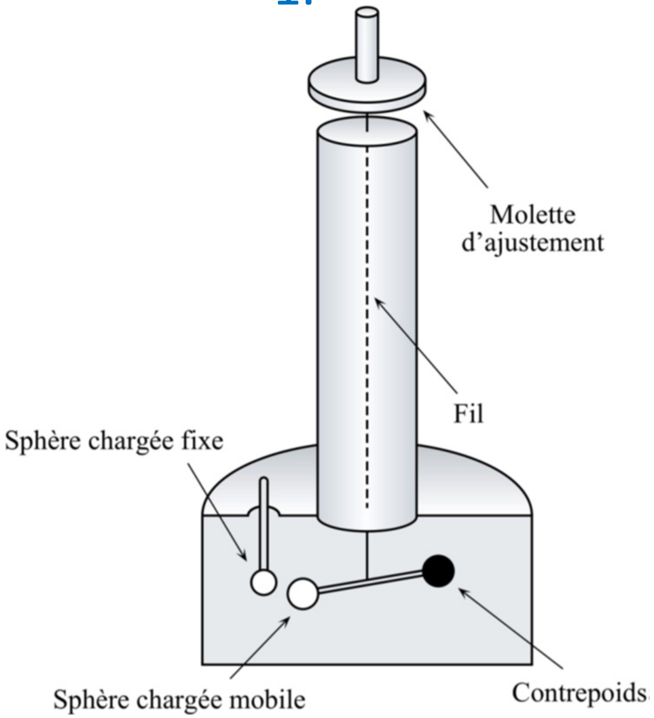
Si $Qq > 0$ (même signe)

- Structure analogue à la force de la gravitation : $\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$

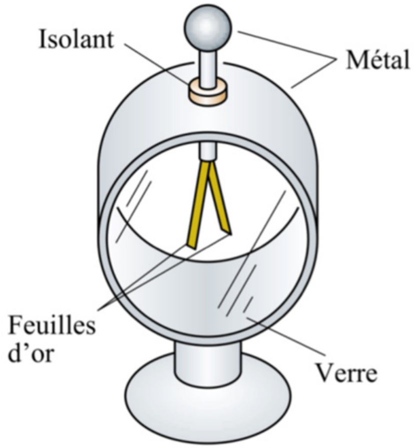
7.1.2 Force de Coulomb

Expérience :

1.



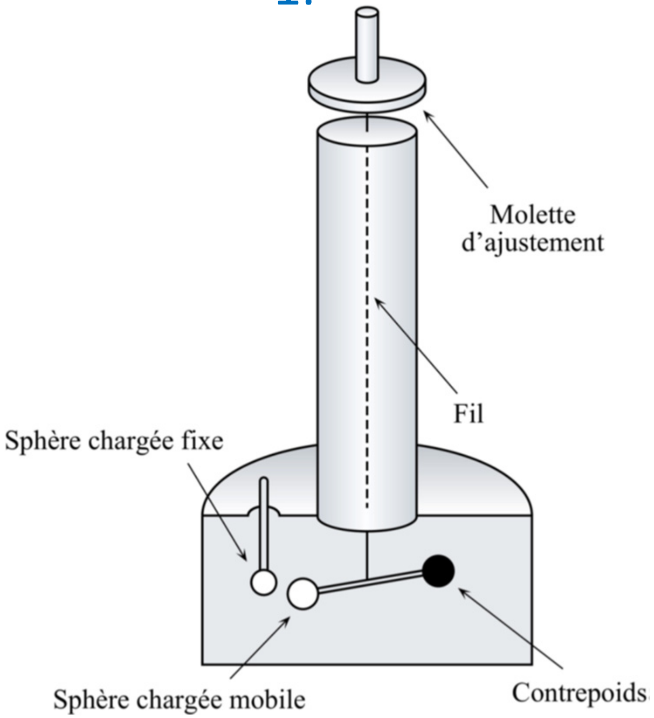
2.



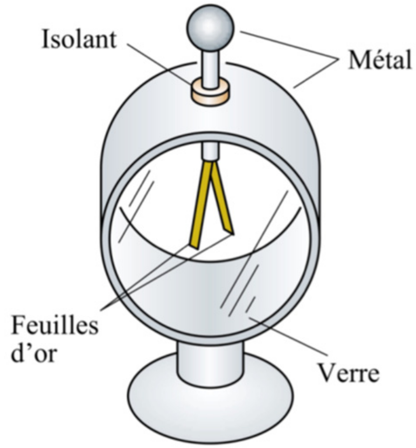
7.1.2 Force de Coulomb

Expérience : Électroscope

1.



2.

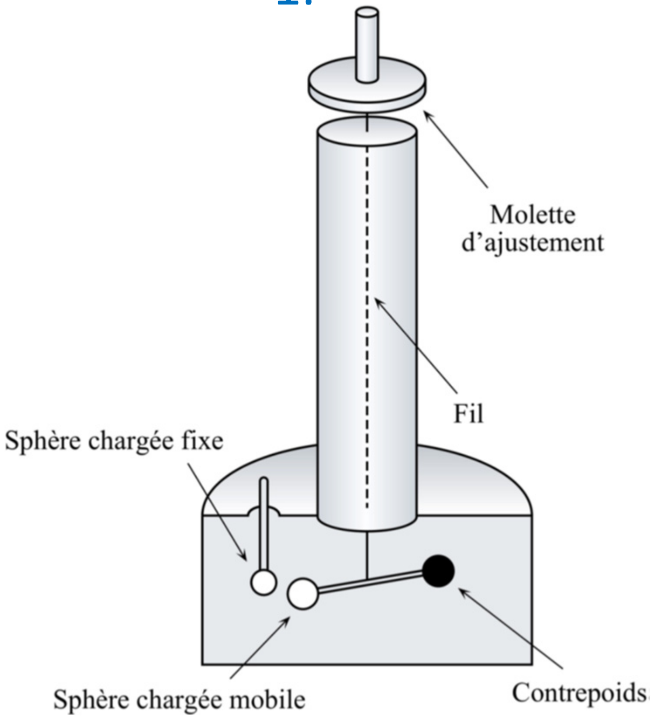


7.1.2 Force de Coulomb

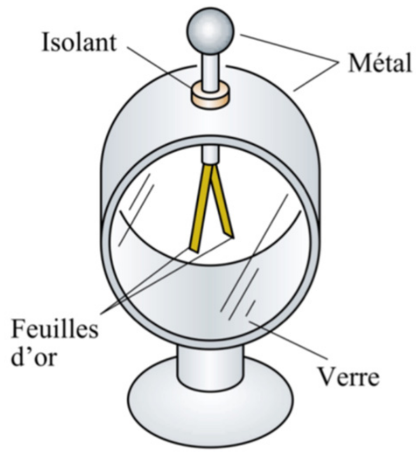
Expérience : Électroscope

Un électroscope est un instrument qui permet la mesure de la charge électrique d’un objet grâce à la force de Coulomb.

1.



2.

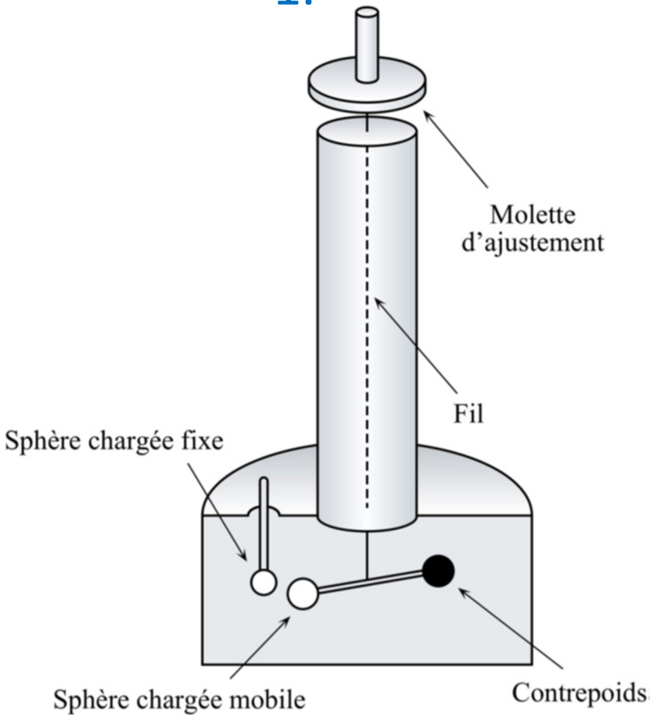


7.1.2 Force de Coulomb

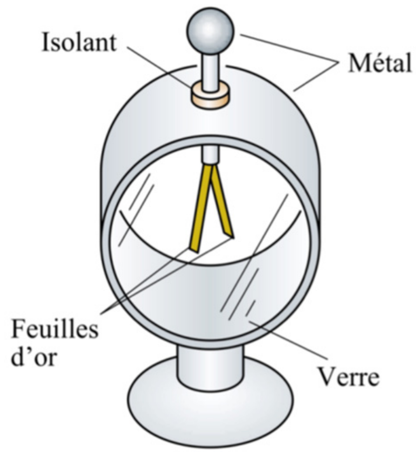
Expérience : Électroscope

Un électroscope est un instrument qui permet la mesure de la charge électrique d’un objet grâce à la force de Coulomb.

1.



2.



1. La force de Coulomb provoque la torsion du fil en déplaçant la sphère mobile.

2. La force de Coulomb provoque l’écartement des feuilles d’or (même signe).

7.1.3 Champ électrique

Michael Faraday

7.1.3 Champ électrique

Champ électrique (**E**) : grandeur vectorielle intensive définie en tout point de l'espace. La force électrique **F** exercée sur une charge électrique q s'exprime comme le produit de la charge électrique et du champ électrique :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (7.2)}$$

Michael Faraday

7.1.3 Champ électrique

Champ électrique (**E**) : grandeur vectorielle intensive définie en tout point de l'espace. La force électrique **F** exercée sur une charge électrique q s'exprime comme le produit de la charge électrique et du champ électrique :

Michael Faraday

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (7.2)}$$

- Si le champ électrique est dû à une autre charge électrique Q, compte tenu de (7.1) et (7.2), ce champ s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

7.1.3 Champ électrique

Champ électrique (**E**) : grandeur vectorielle intensive définie en tout point de l'espace. La force électrique **F** exercée sur une charge électrique q s'exprime comme le produit de la charge électrique et du champ électrique :

Michael Faraday

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (7.2)}$$

- Si le champ électrique est dû à une autre charge électrique Q, compte tenu de (7.1) et (7.2), ce champ s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

- Unité physique (SI) : [$N.C^{-1}$] = [$kg.m.A^{-1}.s^{-3}$]

7.1.3 Champ électrique

Michael Faraday

Champ électrique (**E**) : grandeur vectorielle intensive définie en tout point de l'espace. La force électrique **F** exercée sur une charge électrique *q* s'exprime comme le produit de la charge électrique et du champ électrique :

$$\boxed{\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (7.2)}$$

- Si le champ électrique est dû à une autre charge électrique *Q*, compte tenu de (7.1) et (7.2), ce champ s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

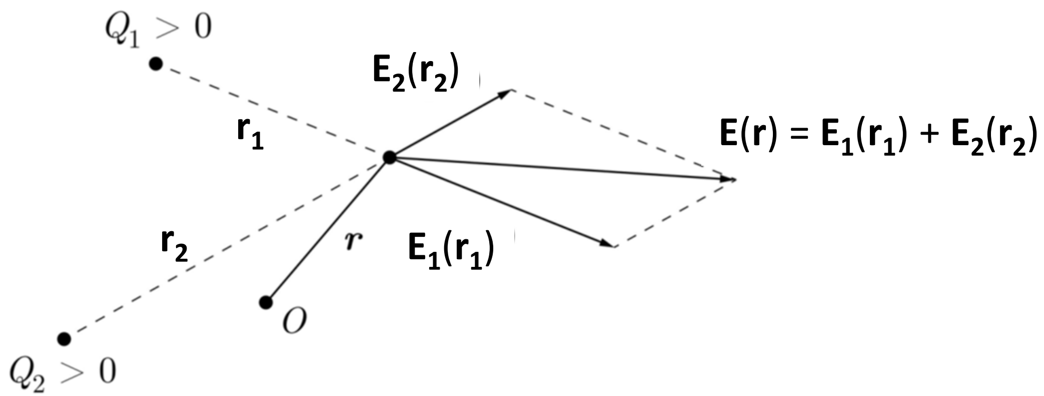
- Unité physique (SI) : $[N.C^{-1}] = [kg.m.A^{-1}.s^{-3}]$

- Le champ électrique **E** généré par une charge électrique *Q* (positive/négative) est orienté vers l'(extérieur/intérieur).

7.1.4 Principe de superposition

$$\boxed{\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} q\mathbf{E}_\mathrm{i}(\mathbf{r}_\mathrm{i}) = q\left(\mathbf{E}_1(\mathbf{r}_1) + \ldots + \mathbf{E}_\mathrm{n}(\mathbf{r}_\mathrm{n})\right) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (7.4)}$$

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{E}_\mathrm{i}(\mathbf{r}_\mathrm{i}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}_1) + \ldots + \mathbf{E}_\mathrm{n}(\mathbf{r}_\mathrm{n}) \quad (7.5)}$$

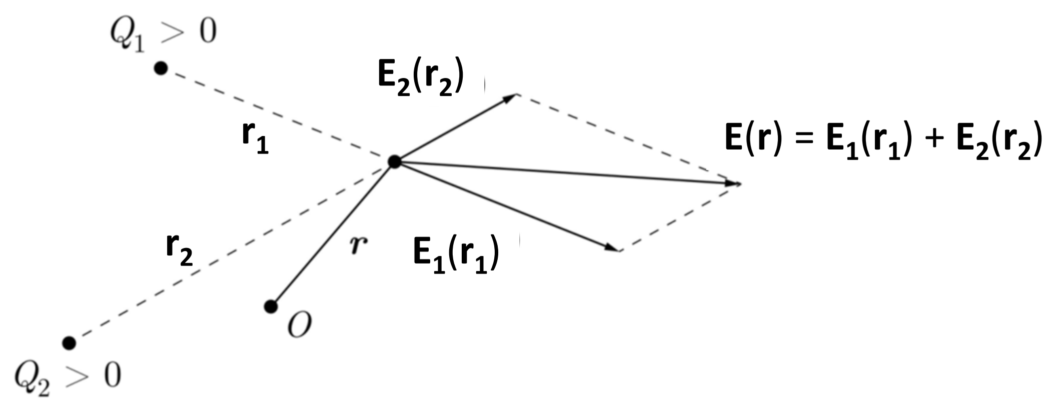


7.1.4 Principe de superposition

Comme le force électrique **F** est une grandeur extensive, la force électrique **F** exercée sur une charge électrique q située à la position **r** par un ensemble de n charges électriques Q_1, Q_2, …, Q_n s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} q\mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = q\left(\mathbf{E}_1(\mathbf{r}_1) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n})\right) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (7.4)}$$

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}_1) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n}) \quad (7.5)}$$

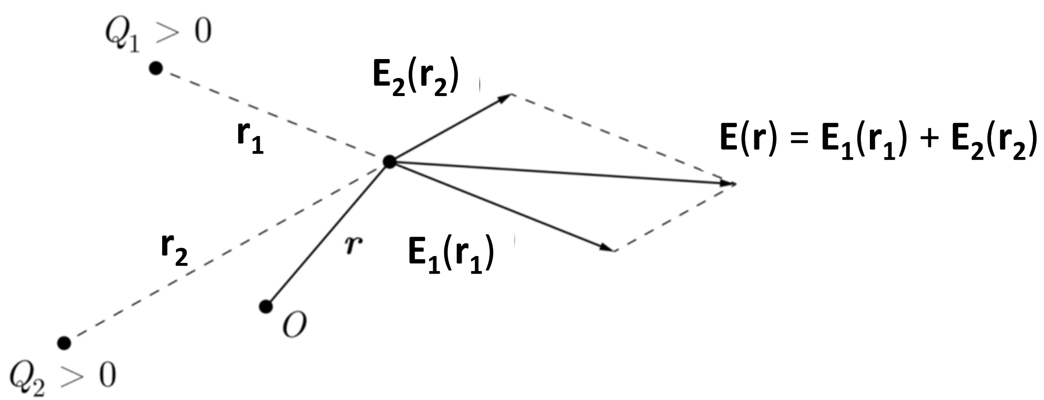


7.1.4 Principe de superposition

Comme le force électrique **F** est une grandeur extensive, la force électrique **F** exercée sur une charge électrique q située à la position **r** par un ensemble de n charges électriques Q_1, Q_2, …, Q_n s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} q\mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = q\left(\mathbf{E}_\mathbf{1}(\mathbf{r}_\mathbf{1}) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n})\right) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (7.4)}$$

Ainsi, $\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = \mathbf{E}_\mathbf{1}(\mathbf{r}_\mathbf{1}) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n}) \quad (7.5)}$



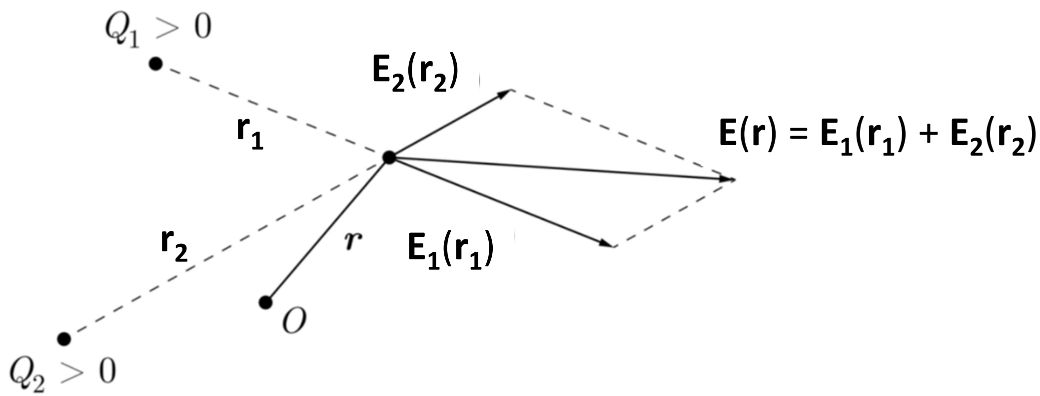
7.1.4 Principe de superposition

Comme le force électrique **F** est une grandeur extensive, la force électrique **F** exercée sur une charge électrique q située à la position **r** par un ensemble de n charges électriques Q_1, Q_2, …, Q_n s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} q\mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = q\big(\mathbf{E}_\mathbf{1}(\mathbf{r}_\mathbf{1}) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n})\big) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}) \quad (7.4)}$$

Ainsi, $$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{E}_\mathbf{i}(\mathbf{r}_\mathbf{i}) = \mathbf{E}_\mathbf{1}(\mathbf{r}_\mathbf{1}) + \ldots + \mathbf{E}_\mathbf{n}(\mathbf{r}_\mathbf{n}) \quad (7.5)}$$

- Soit deux charges électriques positives Q_1, Q_2 :



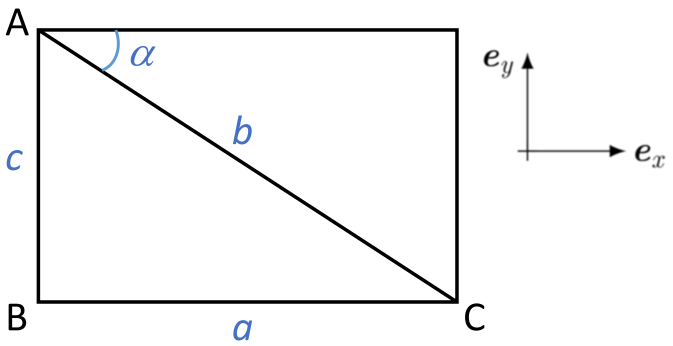
7.1.4 Principe de superposition : exemple

7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?

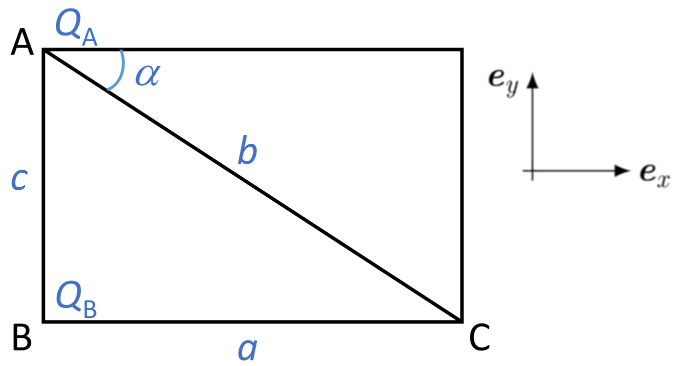
7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



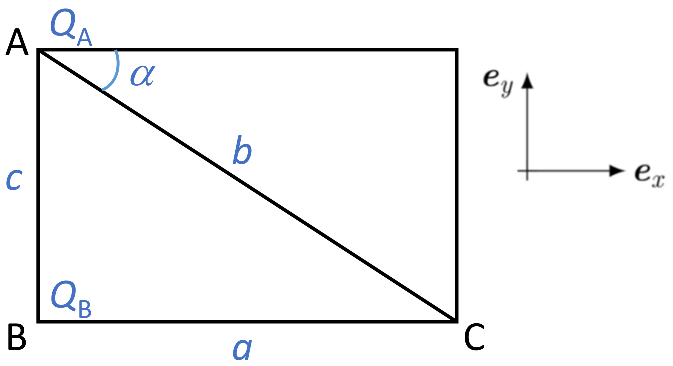
7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



7.1.4 Principe de superposition : exemple

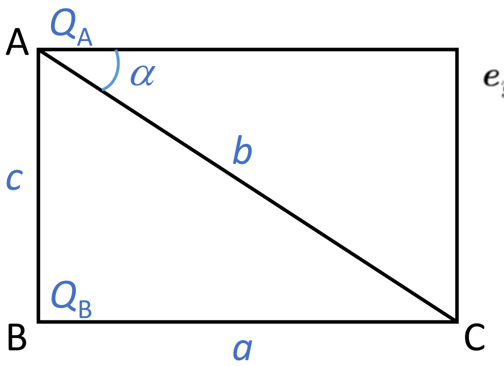
- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?

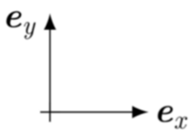


$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)$$

7.1.4 *Principe de superposition : exemple*

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement a, b et c la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



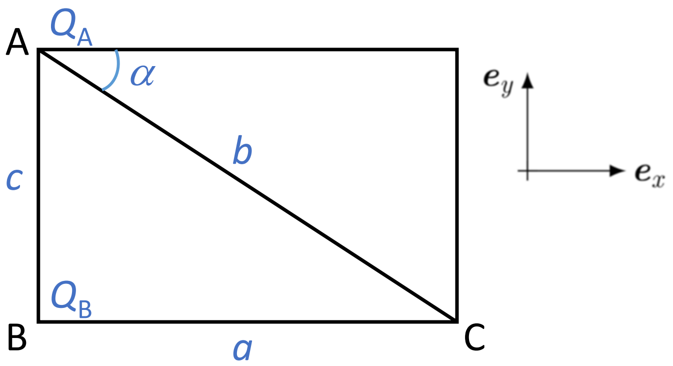


$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

$$\mathbf{E}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b^2}\mathbf{e}_{\mathbf{r}_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a^2}\mathbf{e}_{\mathbf{r}_2}$$

7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



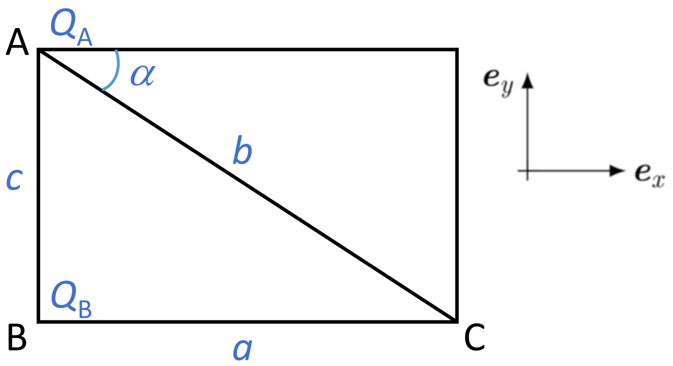
$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

$$\mathbf{E}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b^2}\mathbf{e}_{\mathbf{r}_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a^2}\mathbf{e}_{\mathbf{r}_2}$$

$$E_C^2 = \mathbf{E}_C \cdot \mathbf{E}_C = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left[\frac{Q_A^2}{b^4} + \frac{Q_B^2}{a^4} + 2\frac{Q_AQ_B}{b^2a^2}\mathbf{e}_{\mathbf{r}_1}\cdot\mathbf{e}_{\mathbf{r}_2}\right]$$

7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

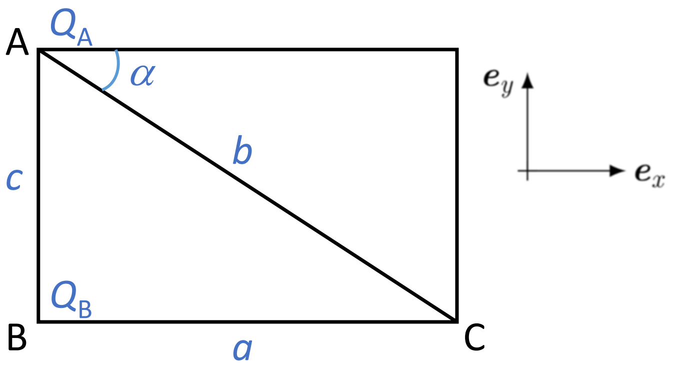
$$\mathbf{E}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b^2}\mathbf{e}_{r_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a^2}\mathbf{e}_{r_2}$$

$$E_C^2 = \mathbf{E}_C \cdot \mathbf{E}_C = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left[\frac{Q_A^2}{b^4} + \frac{Q_B^2}{a^4} + 2\frac{Q_A Q_B}{b^2 a^2}\mathbf{e}_{r_1} \cdot \mathbf{e}_{r_2}\right]$$

⚠ $\mathbf{e}_{r_1} \cdot \mathbf{e}_{r_2} \neq 1$

7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

$$\mathbf{E}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b^2}\mathbf{e}_{r_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a^2}\mathbf{e}_{r_2}$$

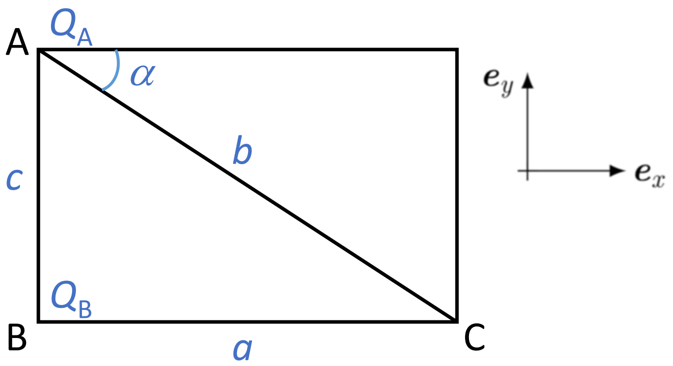
$$E_C^2 = \mathbf{E}_C \cdot \mathbf{E}_C = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left[\frac{Q_A^2}{b^4} + \frac{Q_B^2}{a^4} + 2\frac{Q_A Q_B}{b^2 a^2}\mathbf{e}_{r_1} \cdot \mathbf{e}_{r_2}\right]$$

⚠ $\mathbf{e}_{r_1} \cdot \mathbf{e}_{r_2} \neq 1$ $\qquad \mathbf{e}_{r_2} \equiv \mathbf{e}_x$ et $\mathbf{e}_{r_1} = \frac{a}{b}\mathbf{e}_x + \frac{c}{b}\mathbf{e}_y \quad \left(\text{et } c^2 = b^2 - a^2\right)$

$$\mathbf{e}_{r_1} \cdot \mathbf{e}_{r_2} = \frac{a}{b}$$

7.1.4 Principe de superposition : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement a, b et c la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement.
  Que vaut le carré de la norme du champ électrique régnant en C?



$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)}$$

$$\mathbf{E}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b^2}\mathbf{e}_{r_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a^2}\mathbf{e}_{r_2}$$

$$E_C^2 = \mathbf{E}_C \cdot \mathbf{E}_C = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left[\frac{Q_A^2}{b^4} + \frac{Q_B^2}{a^4} + 2\frac{Q_A Q_B}{b^2 a^2}\mathbf{e}_{r_1}\cdot\mathbf{e}_{r_2}\right]$$

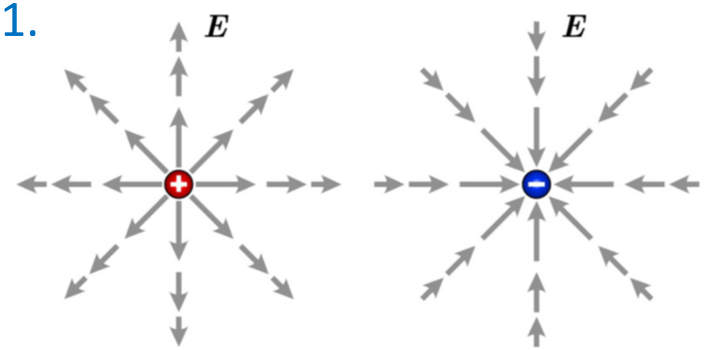
$$\mathbf{e}_{r_1}\cdot\mathbf{e}_{r_2} \neq 1 \qquad \mathbf{e}_{r_2} \equiv \mathbf{e}_x \quad \text{et} \quad \mathbf{e}_{r_1} = \frac{a}{b}\mathbf{e}_x + \frac{c}{b}\mathbf{e}_y \quad \left(\text{et } c^2 = b^2 - a^2\right)$$

$$\mathbf{e}_{r_1}\cdot\mathbf{e}_{r_2} = \frac{a}{b}$$

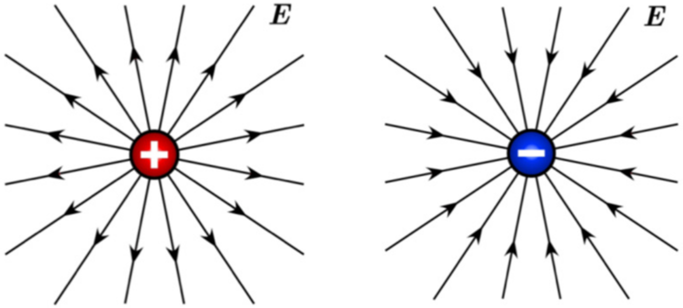
$$\boxed{E_C^2 = \mathbf{E}_C \cdot \mathbf{E}_C = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2\left[\frac{Q_A^2}{b^4} + \frac{Q_B^2}{a^4} + 2\frac{Q_A Q_B}{b^3 a}\right]}$$

7.1.5 Lignes de champ électrique

1.



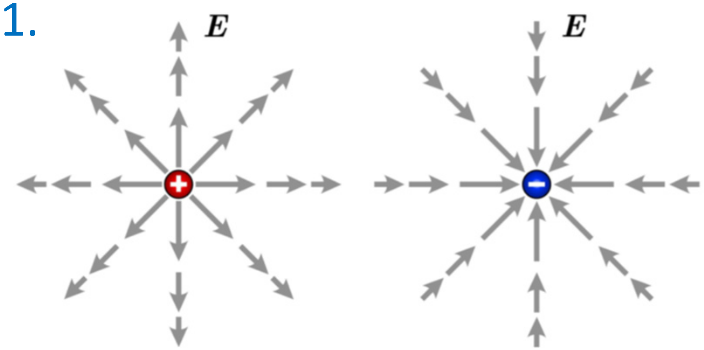
2.



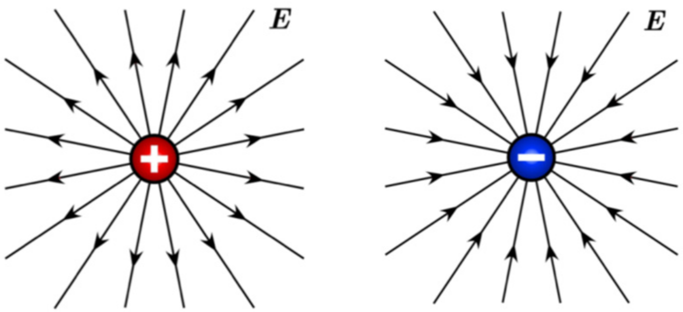
7.1.5 Lignes de champ électrique

1. Le champ électrique **E** est défini en tout point de l'espace. On peut donc associer un vecteur avec une norme et une orientation donnée à chaque point de l'espace.

1.



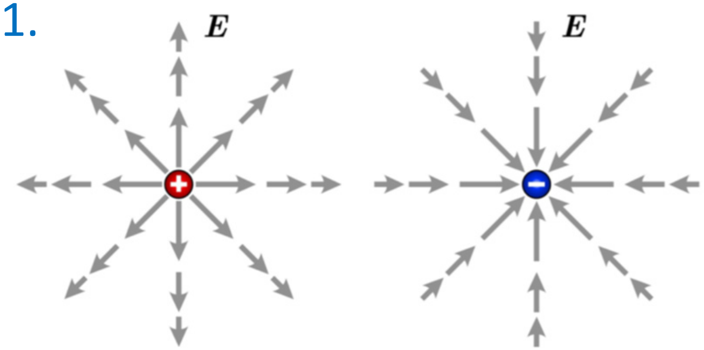
2.



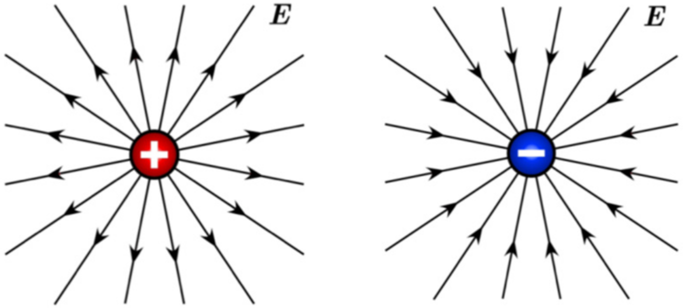
7.1.5 Lignes de champ électrique

1. Le champ électrique **E** est défini en tout point de l'espace. On peut donc associer un vecteur avec une norme et une orientation donnée à chaque point de l'espace.

1.



2.

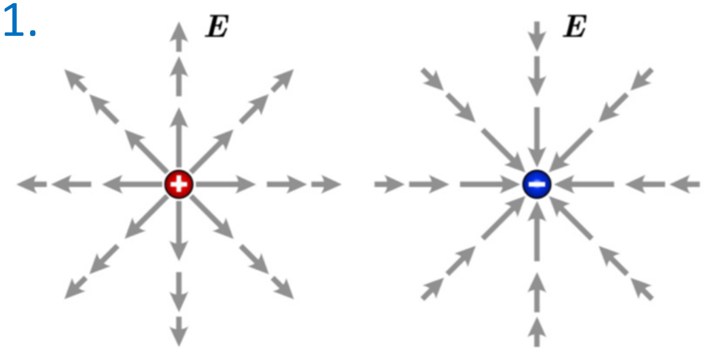


2. Les vecteurs champs électriques sont tangents à des lignes (ou courbes) appelées lignes de champ électrique.

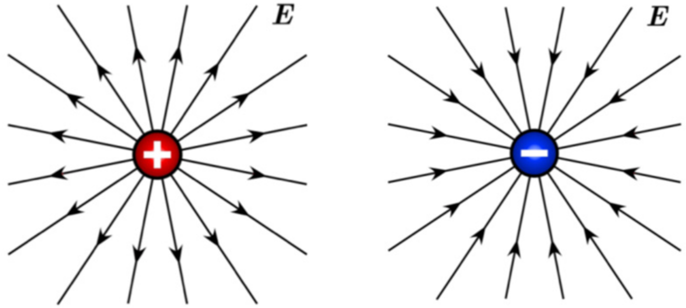
7.1.5 Lignes de champ électrique

1. Le champ électrique **E** est défini en tout point de l'espace. On peut donc associer un vecteur avec une norme et une orientation donnée à chaque point de l'espace.

1.



2.



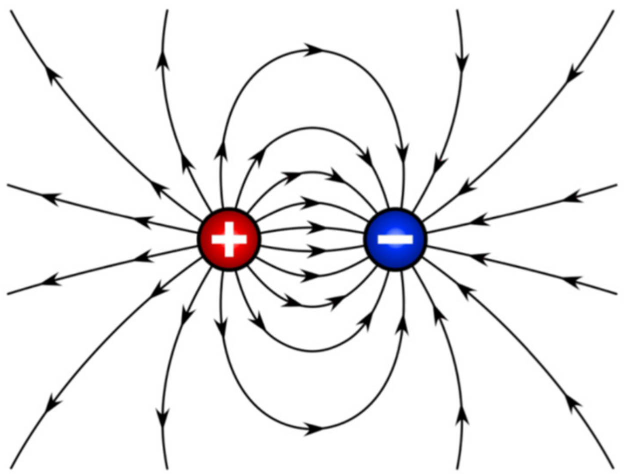
2. Les vecteurs champs électriques sont tangents à des lignes (ou courbes) appelées lignes de champ électrique.

- Pour une charge électrique positive, les lignes de champ sont orientées vers l'extérieur.

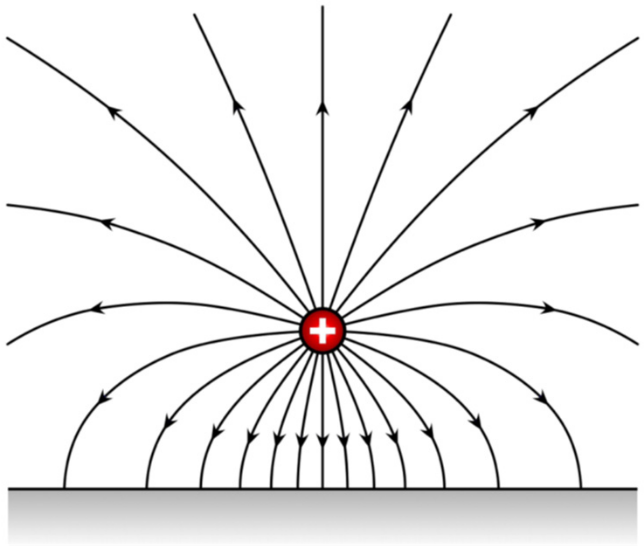
- Pour une charge électrique négative, les lignes de champ sont orientées vers l'intérieur.

7.1.5 Lignes de champ électrique

1.



2.

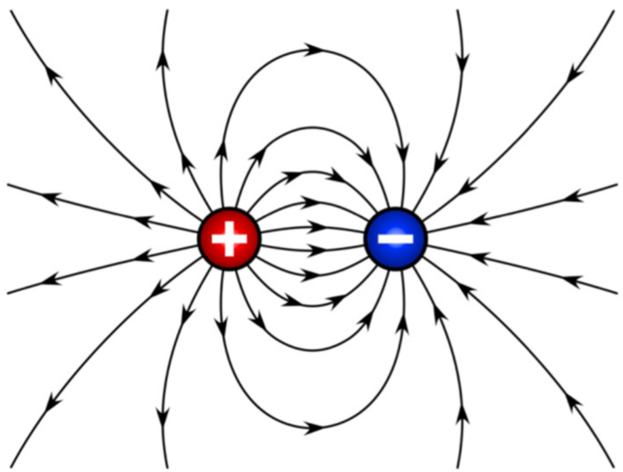


7.1.5 Lignes de champ électrique

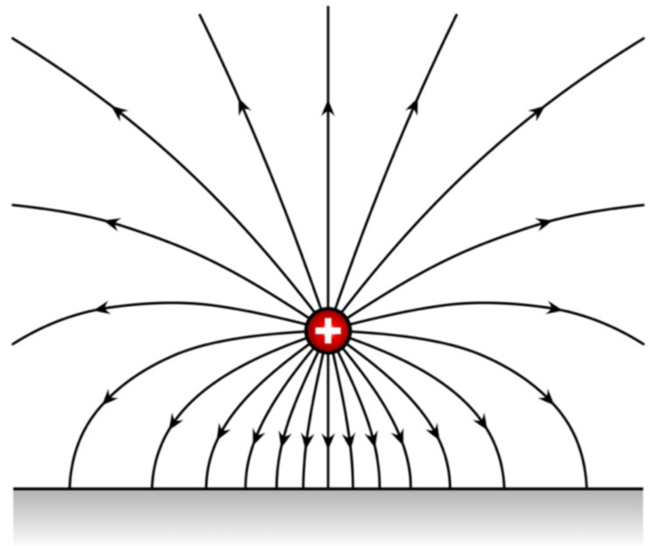
1. Lignes de champ électrique pour un système constitué de deux charges de signe opposé (dipôle).

2. Lignes de champ électrique pour un système constitué d'une charge électrique positive et d'une plaque conductrice chargée négativement.

1.



2.

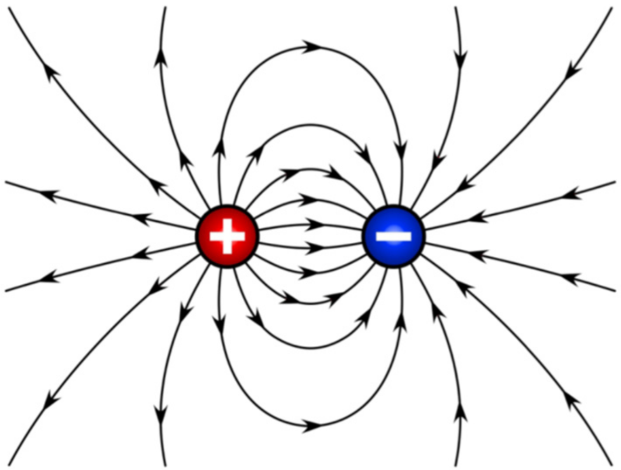


7.1.5 Lignes de champ électrique

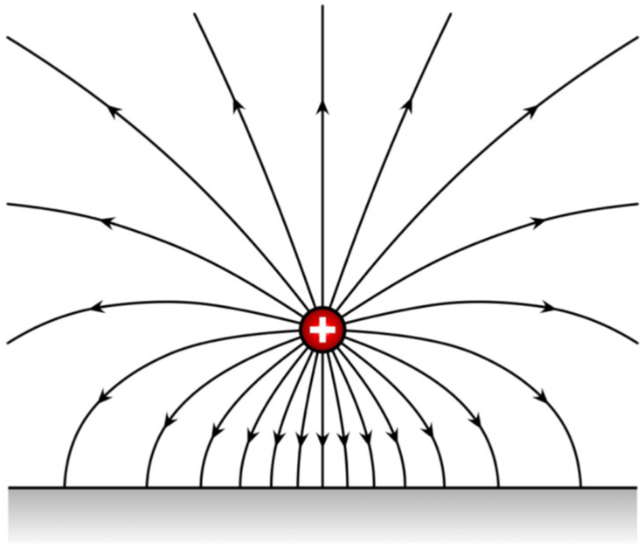
1. Lignes de champ électrique pour un système constitué de deux charges de signe opposé (dipôle).

2. Lignes de champ électrique pour un système constitué d'une charge électrique positive et d'une plaque conductrice chargée négativement.

1.



2.



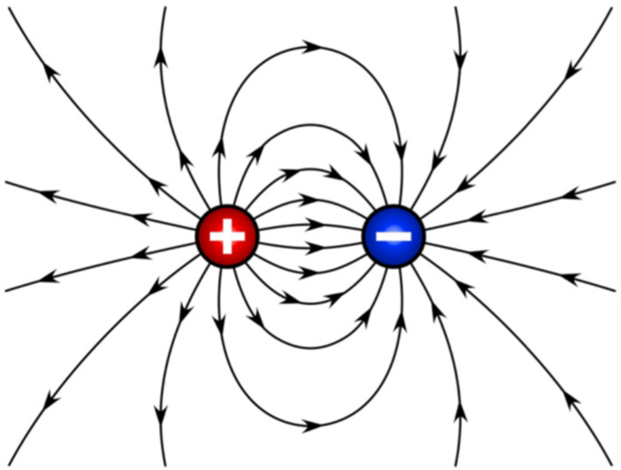
- Les lignes de champ vont de la charge positive vers la charge négative.

7.1.5 Lignes de champ électrique

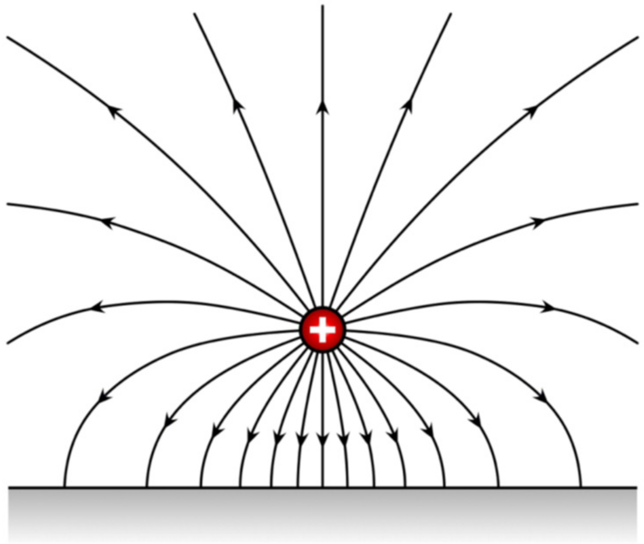
1. Lignes de champ électrique pour un système constitué de deux charges de signe opposé (dipôle).

2. Lignes de champ électrique pour un système constitué d'une charge électrique positive et d'une plaque conductrice chargée négativement.

1.



2.

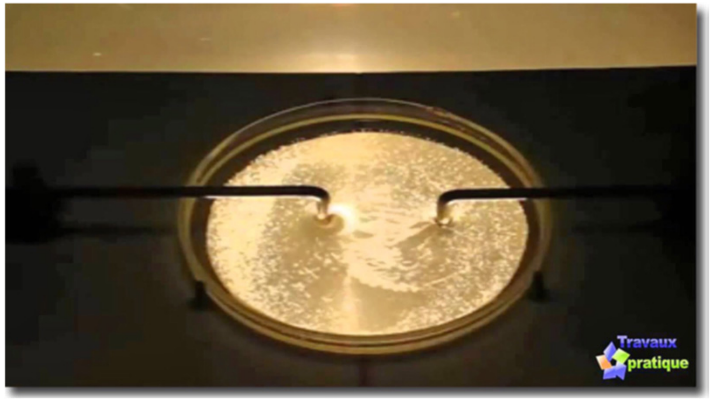


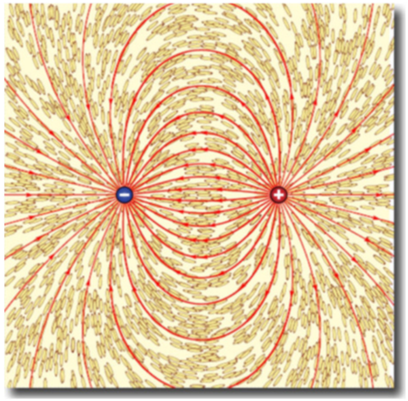
- Les lignes de champ vont de la charge positive vers la charge négative.

- Les lignes de champ ne se croisent pas.

7.1.5 Lignes de champ électrique

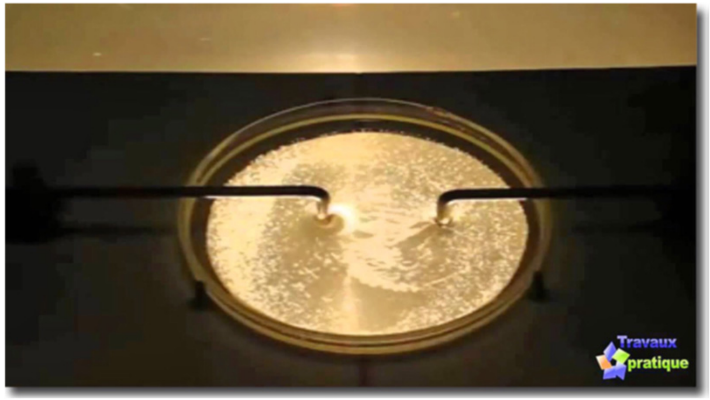
Expérience :

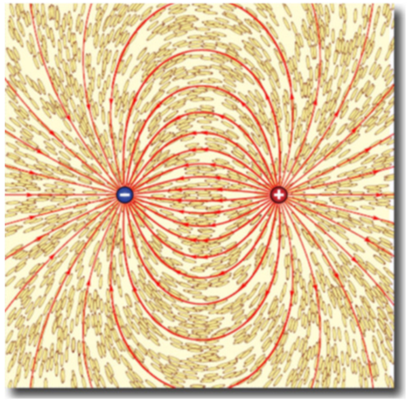




7.1.5 Lignes de champ électrique

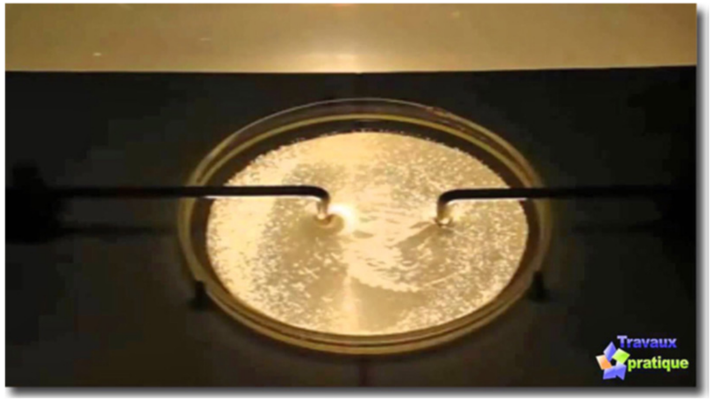
Expérience : Lignes de champ électrique

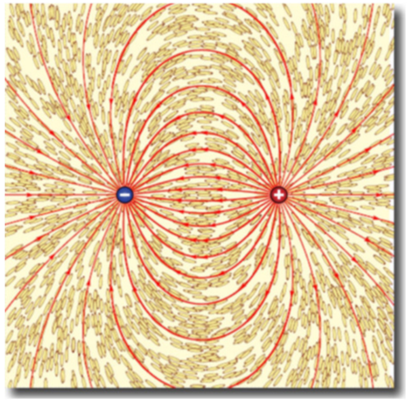




7.1.5 Lignes de champ électrique

Expérience : Lignes de champ électrique

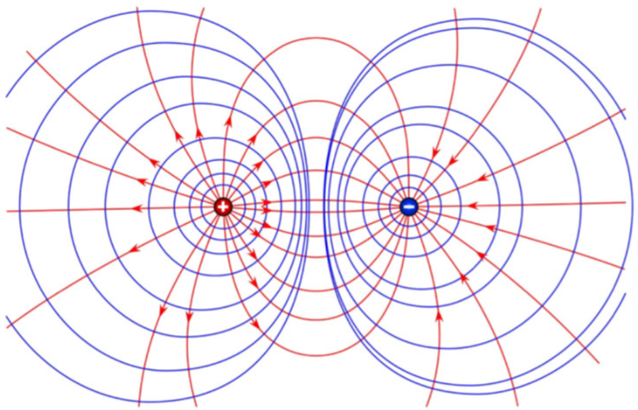




On établit une tension d’environ 20 kV entre les deux électrodes, puis on saupoudre l’huile de ricin contenant la semoule autour des électrodes. Les grains de semoule sont constitués de petits dipôles qui s’orientent selon les lignes de champ électrique.

7.2 Potentiel électrique et tension

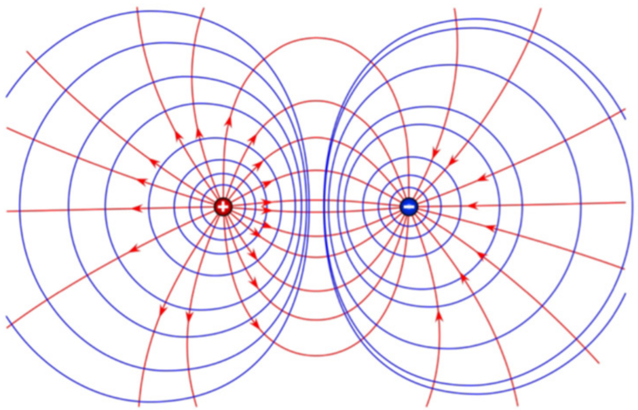
7.2 Potentiel électrique



7.2 Potentiel électrique

- Le potentiel électrique $\Phi(\mathbf{r})$ est un champ scalaire et intensif défini comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge q :

$$\boxed{E_{\text{pot}}\left(\mathbf{r}\right) = q\Phi\left(\mathbf{r}\right) \quad (7.6)}$$



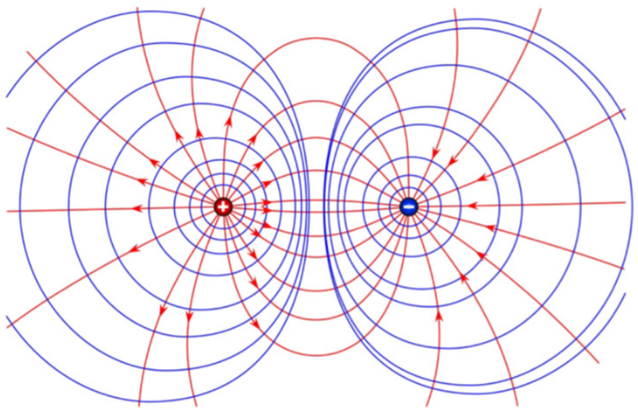
7.2 Potentiel électrique

- Le potentiel électrique $\Phi(\mathbf{r})$ est un champ scalaire et intensif défini comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge *q* :

$$\boxed{E_{\text{pot}}\left(\mathbf{r}\right)=q\Phi\left(\mathbf{r}\right)\quad(7.6)}$$

- Travail de la force électrique sur une charge *q* de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$:

$$\boxed{W_{1\to 2}\left(\mathbf{F}\right)=E_{\text{pot}}\left(\mathbf{r}_1\right)-E_{\text{pot}}\left(\mathbf{r}_2\right)=q\left(\Phi\left(\mathbf{r}_1\right)-\Phi\left(\mathbf{r}_2\right)\right)\equiv q\left(\Phi_1-\Phi_2\right)\quad(7.7)}$$



7.2 Potentiel électrique

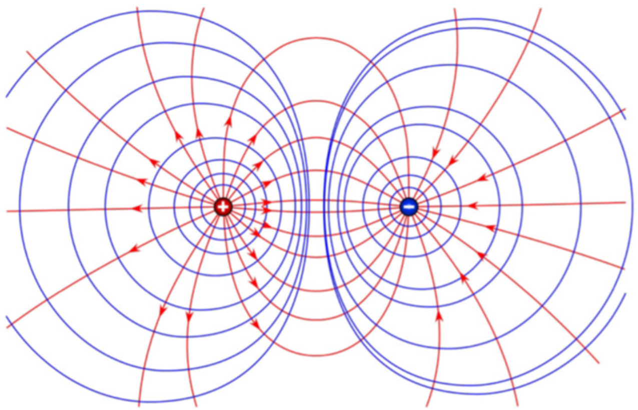
- Le potentiel électrique $\Phi(\mathbf{r})$ est un champ scalaire et intensif défini comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge q :

$$E_{\text{pot}}(\mathbf{r}) = q\Phi(\mathbf{r}) \quad (7.6)$$

- Travail de la force électrique sur une charge q de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$:

$$W_{1\to 2}(\mathbf{F}) = E_{\text{pot}}(\mathbf{r}_1) - E_{\text{pot}}(\mathbf{r_2}) = q\left(\Phi(\mathbf{r_1}) - \Phi(\mathbf{r_2})\right) \equiv q\left(\Phi_1 - \Phi_2\right) \quad (7.7)$$

- Unité physique (SI) : le Volt [J.C^{-1}] = [kg.m^{2}.A^{-1}.s^{-3}]



7.2 Potentiel électrique

- Le potentiel électrique $\Phi(\mathbf{r})$ est un champ scalaire et intensif défini comme l'énergie potentielle électrique par unité de charge q :

$$\boxed{E_{\text{pot}}(\mathbf{r}) = q\Phi(\mathbf{r}) \quad (7.6)}$$

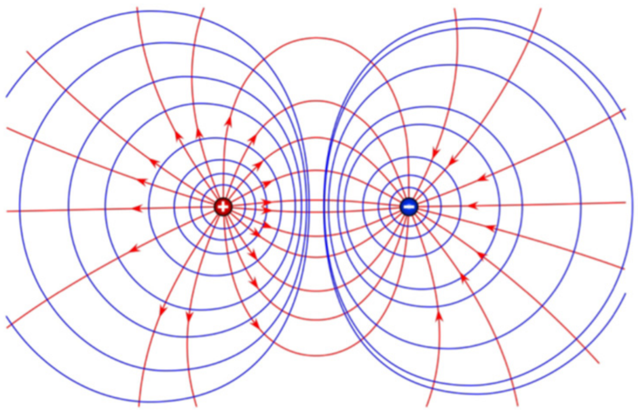
- Travail de la force électrique sur une charge q de $\mathbf{r_1}$ à $\mathbf{r_2}$:

$$\boxed{W_{1\to 2}(\mathbf{F}) = E_{\text{pot}}(\mathbf{r}_1) - E_{\text{pot}}(\mathbf{r_2}) = q\left(\Phi(\mathbf{r_1}) - \Phi(\mathbf{r_2})\right) \equiv q\left(\Phi_1 - \Phi_2\right) \quad (7.7)}$$

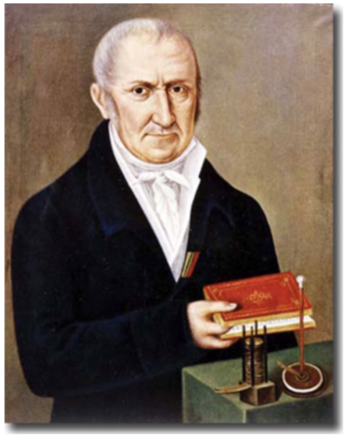
- Unité physique (SI) : le Volt [J.C^{-1}] = [kg.m^2.A^{-1}.s^{-3}]

- Équipotentielle : courbe dont les points ont la même valeur du potentiel $\Phi(\mathbf{r})$.

- Les équipotentielles (en bleu) sont orthogonales aux lignes de champ électrique (en rouge).



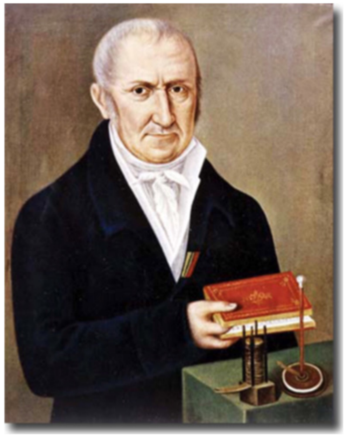
7.2.1 Tension électrique



Alessandro Volta

7.2.1 Tension électrique

La tension électrique U_{12} entre les positions $\mathbf{r_1}$ et $\mathbf{r_2}$ est une grandeur scalaire définie comme le travail de la force électrique **F** = q**E** par unité de charge q :

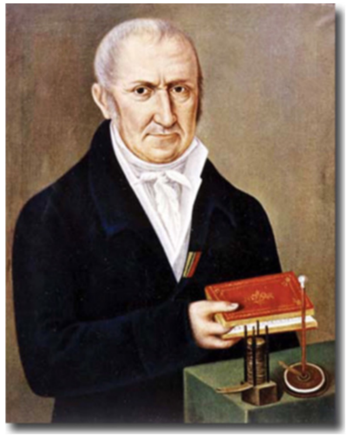


Alessandro Volta

$$U_{12} = \frac{W_{1\to 2}(\mathbf{F})}{q} = \int_{\mathbf{r_1}}^{\mathbf{r_2}} \underbrace{\mathbf{E}(\mathbf{r})}_{=\frac{\mathbf{F}(\mathbf{r})}{q}} \cdot d\mathbf{r} = \underbrace{\Phi_1 - \Phi_2}_{=\frac{E_{\text{pot}}(1) - E_{\text{pot}}(2)}{q}} \qquad (7.8)$$

7.2.1 Tension électrique

La tension électrique U_{12} entre les positions $\mathbf{r_1}$ et $\mathbf{r_2}$ est une grandeur scalaire définie comme le travail de la force électrique $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ par unité de charge q :



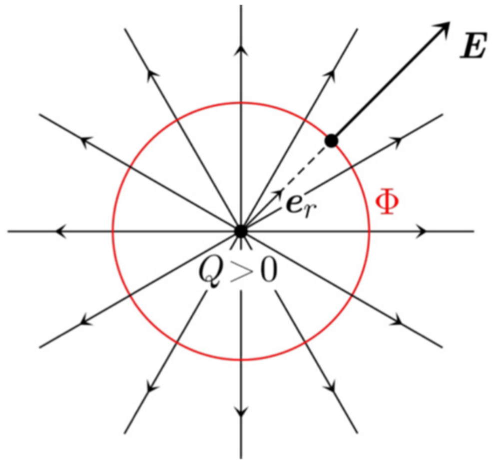
Alessandro Volta

$$U_{12} = \frac{W_{1\to2}(\mathbf{F})}{q} = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \underbrace{\mathbf{E}(\mathbf{r})}_{=\frac{\mathbf{F}(\mathbf{r})}{q}} \cdot d\mathbf{r} = \underbrace{\Phi_1 - \Phi_2}_{=\frac{E_{\text{pot}}(1)-E_{\text{pot}}(2)}{q}} \qquad (7.8)$$

Propriétés :

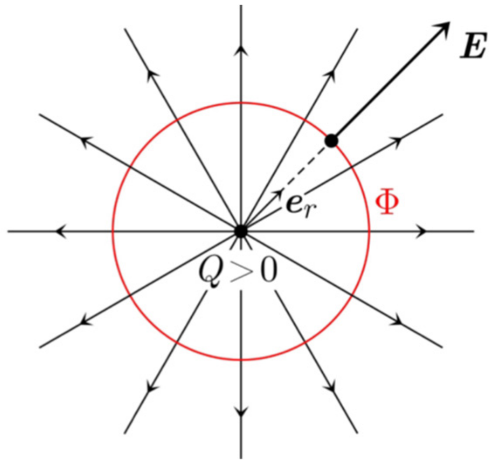
1. U_{12} ne dépend que des positions 1 et 2 (indép. du chemin).
2. $U_{21} = -U_{12}$ (chemin inverse).
3. $U_{11} = 0$ (chemin fermé).
4. $U_{12} + U_{23} = U_{13}$
5. Le champ électrique **E** va du potentiel électrique positif vers le potentiel électrique négatif.

7.2.1 Tension électrique



7.2.1 Tension électrique

- Unité d'énergie : l'électron-volt : 1 eV = 1,602 $\times$ 10^{-19} J. C'est l'énergie reçue par une charge élémentaire sous une tension de 1 V.



7.2.1 Tension électrique

- Unité d'énergie : l'électron-volt : 1 eV = 1,602 × 10^{-19} J. C'est l'énergie reçue par une charge élémentaire sous une tension de 1 V.

Exemples de tension :

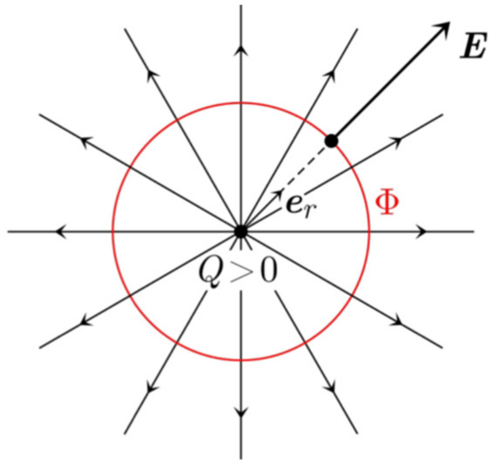
1. Charge ponctuelle $Q > 0$ (champ électrique radial)

$$\mathbf{e}_r \equiv \hat{\mathbf{r}}$$

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)} \qquad \mathbf{e}_r \cdot d\mathbf{r'} = dr'$$

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \mathbf{E}(\mathbf{r'})\cdot d\mathbf{r'} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \frac{dr'}{r'^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} \quad (7.9)}$$

$$\boxed{U_{12} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi(r_1) - \Phi(r_2) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (7.10)}$$



7.2.1 Tension électrique

- Unité d'énergie : l'électron-volt : 1 eV = 1,602 × 10^{-19} J. C'est l'énergie reçue par une charge élémentaire sous une tension de 1 V.

Exemples de tension :

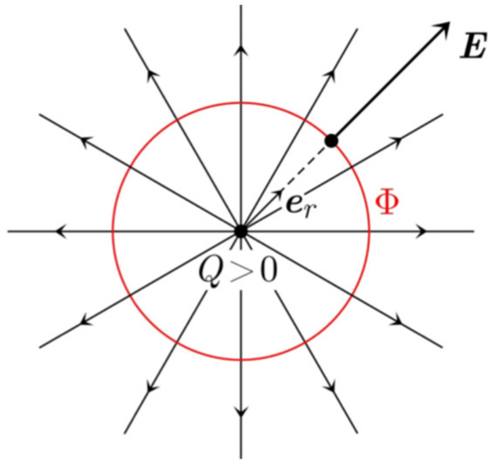
1. Charge ponctuelle $Q > 0$ (champ électrique radial)

$$\mathbf{e}_r \equiv \hat{\mathbf{r}}$$

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (7.3)} \qquad \mathbf{e}_r \cdot d\mathbf{r'} = dr'$$

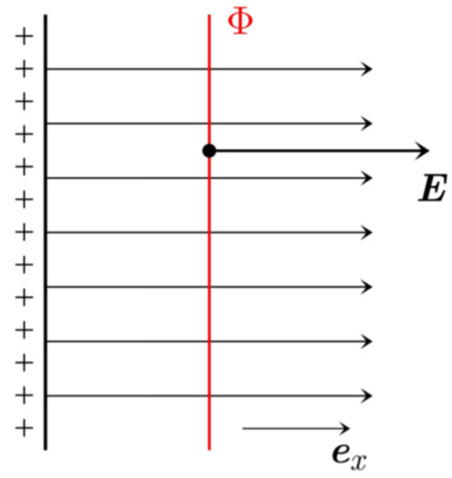
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \mathbf{E}(\mathbf{r'})\cdot d\mathbf{r'} = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \frac{dr'}{r'^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} \quad (7.9)}$$

$$\boxed{U_{12} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi(r_1) - \Phi(r_2) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (7.10)}$$



- Les lignes de champ électrique sont radiales et les équipotentielles sont des cercles centrés sur la charge Q.

7.2.1 Tension électrique



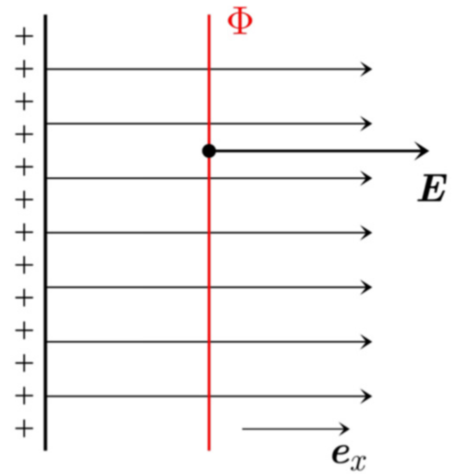
7.2.1 Tension électrique

2. Plaque infinie (champ électrique uniforme)

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E_0} = E_0\mathbf{e}_x \quad (7.11)} \qquad d\mathbf{r'} = dx'\,\mathbf{e}_x$$

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \mathbf{E}(\mathbf{r'}) \cdot d\mathbf{r'} = -E_0\int_{x_\infty}^{x} \mathbf{e}_x \cdot d\mathbf{r'} = -E_0\left(x - x_\infty\right) \ (7.12)}$$

$$\boxed{U_{12} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi(r_1) - \Phi(r_2) = E_0\left(x_2 - x_1\right) \ (7.13)}$$



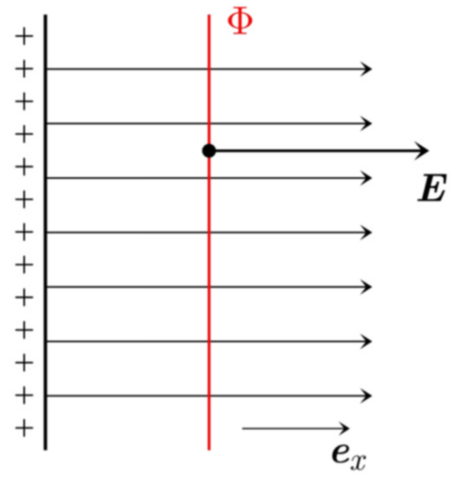
7.2.1 Tension électrique

2. Plaque infinie (champ électrique uniforme)

$$\boxed{\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E_0} = E_0 \mathbf{e}_x \quad (7.11)} \qquad d\mathbf{r}' = dx' \mathbf{e}_x$$

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_\infty}^{\mathbf{r}} \mathbf{E}(\mathbf{r}') \cdot d\mathbf{r}' = -E_0 \int_{x_\infty}^{x} \mathbf{e}_x \cdot d\mathbf{r}' = -E_0 (x - x_\infty) \quad (7.12)}$$

$$\boxed{U_{12} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi(r_1) - \Phi(r_2) = E_0 (x_2 - x_1) \quad (7.13)}$$



- Les lignes de champ électrique sont orthogonales à la plaque et les équipotentielles sont des droites parallèles à la plaque dans le plan vertical.

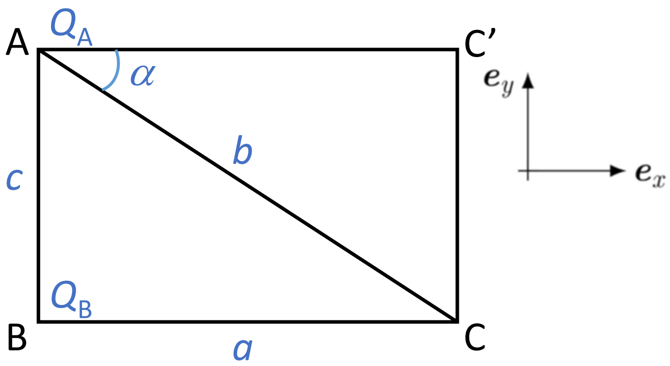
7.2.1 Tension électrique : exemple

7.2.1 Tension électrique : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C’, ce dernier point complétant le triangle ABCC’?

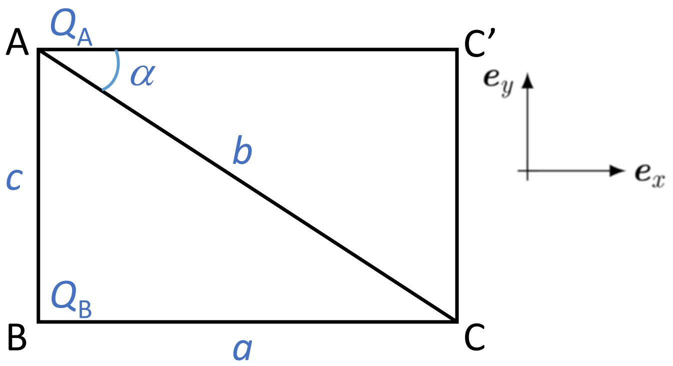
7.2.1 Tension électrique : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C', ce dernier point complétant le triangle ABCC'?



7.2.1 Tension électrique : exemple

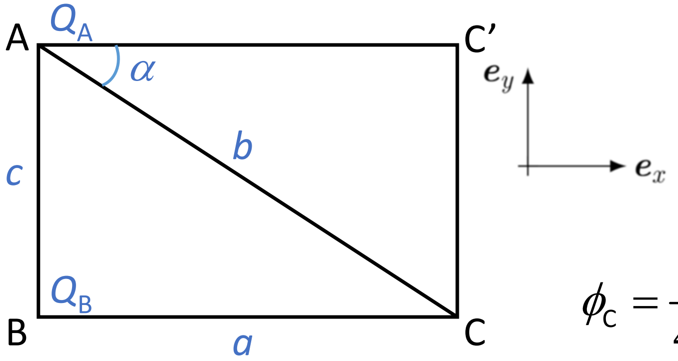
- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C', ce dernier point complétant le triangle ABCC'?



$$U_{CC'} = \phi_C - \phi_{C'}$$

7.2.1 Tension électrique : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C', ce dernier point complétant le triangle ABCC'?



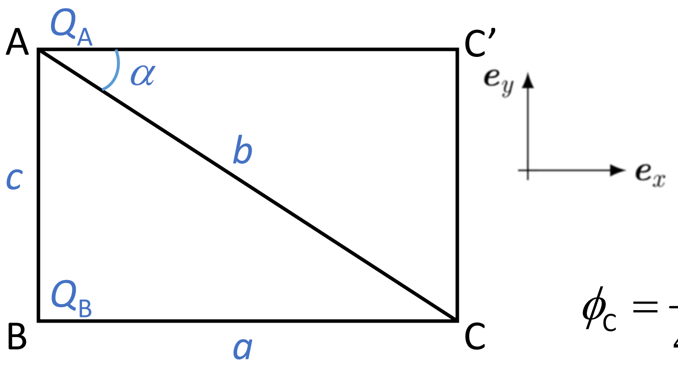
$$U_{CC'} = \phi_C - \phi_{C'}$$

$$\phi_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a},$$

$$\phi_{C'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{a} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{b}$$

7.2.1 Tension électrique : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C', ce dernier point complétant le triangle ABCC'?



$$U_{CC'} = \phi_C - \phi_{C'}$$

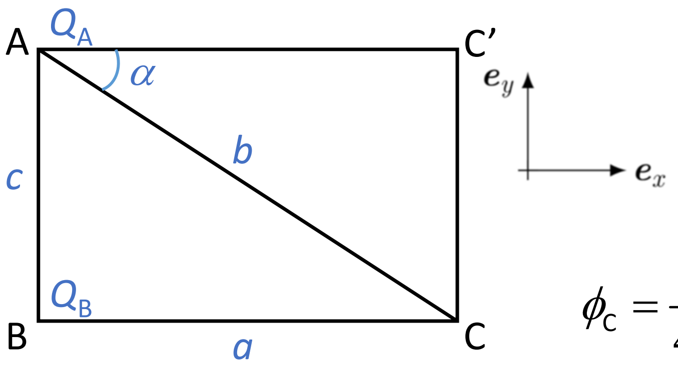
$$\phi_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a},$$

$$\Rightarrow \quad U_{CC'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{Q_A}{b} + \frac{Q_B}{a} - \frac{Q_A}{a} - \frac{Q_B}{b}\right]$$

$$\phi_{C'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{a} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{b}$$

7.2.1 Tension électrique : exemple

- Soit trois points A, B et C qui forment un triangle ABC rectangle en B. On note respectivement *a*, *b* et *c* la longueur des côtés opposés à ces points. Deux charges électriques ponctuelles Q_A et Q_B sont maintenues en A et B, respectivement. Que vaut la tension entre C et C', ce dernier point complétant le triangle ABCC'?



$$U_{CC'} = \phi_C - \phi_{C'}$$

$$\phi_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{b} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{a},$$

$$\phi_{C'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_A}{a} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_B}{b}$$

$$\Rightarrow \quad U_{CC'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{Q_A}{b} + \frac{Q_B}{a} - \frac{Q_A}{a} - \frac{Q_B}{b}\right]$$

$$\boxed{U_{CC'} = \frac{Q_A - Q_B}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(a-b)}{ab}}$$

7.2.1 Tension électrique

Expérience :

7.2.1 Tension électrique

Expérience : Générateur de Van de Graaff

7.2.1 Tension électrique

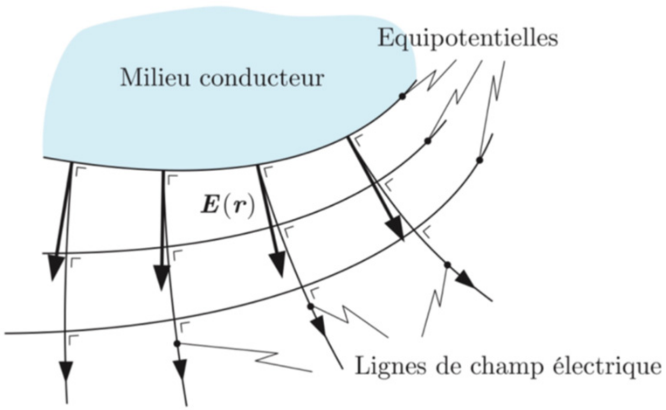
Expérience : Générateur de Van de Graaff

Par contact avec une sphère chargée, la tension entre la tête de la jeune fille et l'air ambiant fait se dresser ses cheveux. Les cheveux s'alignent radialement selon les lignes de champ électrique.

7.3 Conducteurs

7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

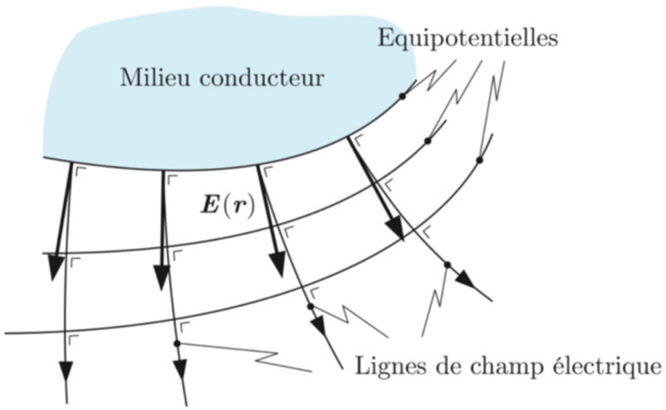
Champ électrique dans un conducteur



7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un conducteur si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un isolant.

Champ électrique dans un conducteur

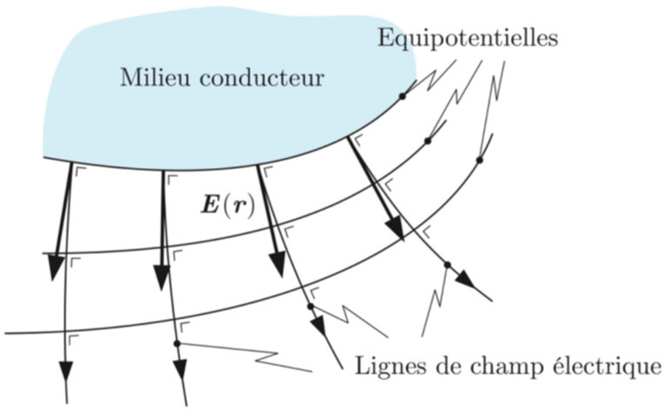


7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un <u>conducteur</u> si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un <u>isolant</u>.

Champ électrique dans un conducteur

- En électrostatique, le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur. Cela implique que le potentiel électrique Φ est constant à l'intérieur du conducteur. En l'absence d'un champ électrique extérieur, la surface du conducteur est une équipotentielle.

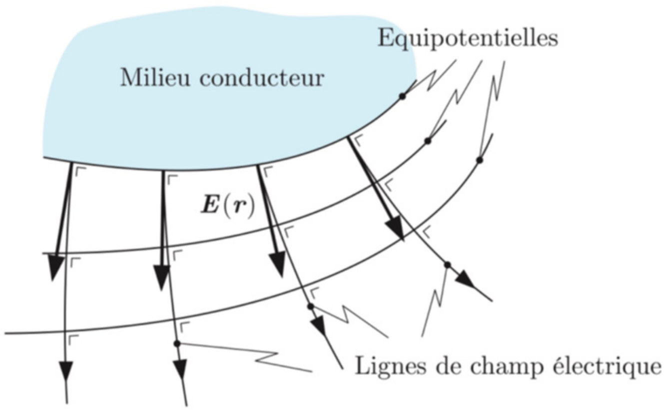


7.3 Conducteurs et 7.3.1 champ électrique dans un conducteur

- Un objet est un <u>conducteur</u> si les charges électriques peuvent se déplacer librement à sa surface. Dans le cas contraire, l'objet est un <u>isolant</u>.

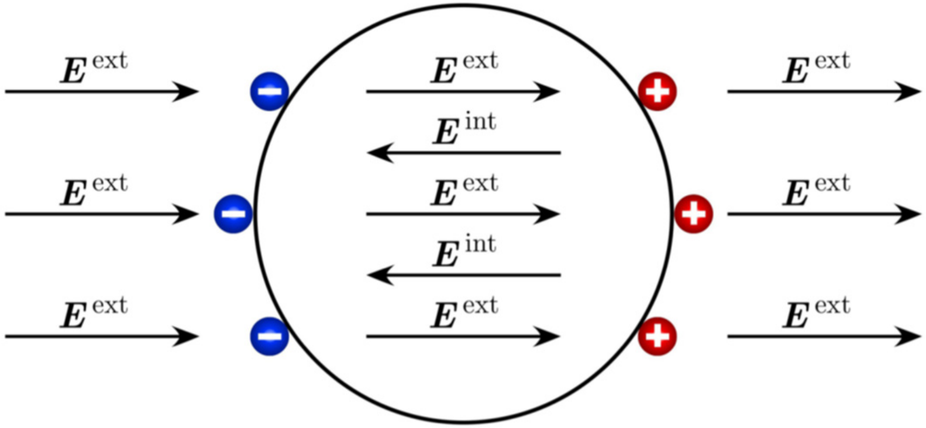
Champ électrique dans un conducteur

- En électrostatique, le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur. Cela implique que le potentiel électrique Φ est constant à l'intérieur du conducteur. En l'absence d'un champ électrique extérieur, la surface du conducteur est une équipotentielle.



- Le champ électrique **E** n'est pas défini à la surface (discontinuité) mais on peut prendre la limite extérieure.

7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

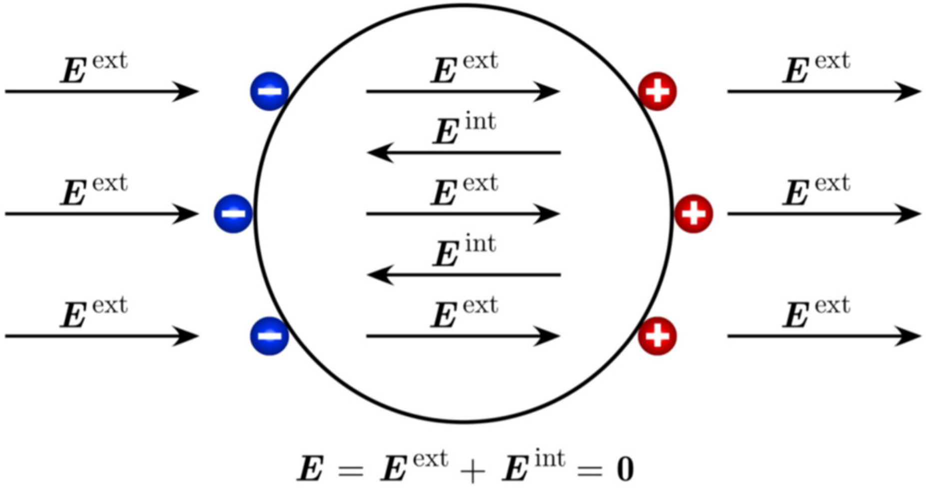


$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}^{\text{ext}} + \boldsymbol{E}^{\text{int}} = \boldsymbol{0}$$

7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

En présence d'un champ électrique extérieur $\mathbf{E}^{ext}$ supposé uniforme, les charges à la surface d'un conducteur se séparent afin de générer un champ électrique $\mathbf{E}^{int}$ qui compense exactement le champ électrique $\mathbf{E}^{ext}$ de sorte que le champ électrique résultant $\mathbf{E}$ à l'intérieur du conducteur (cavité) soit nul :

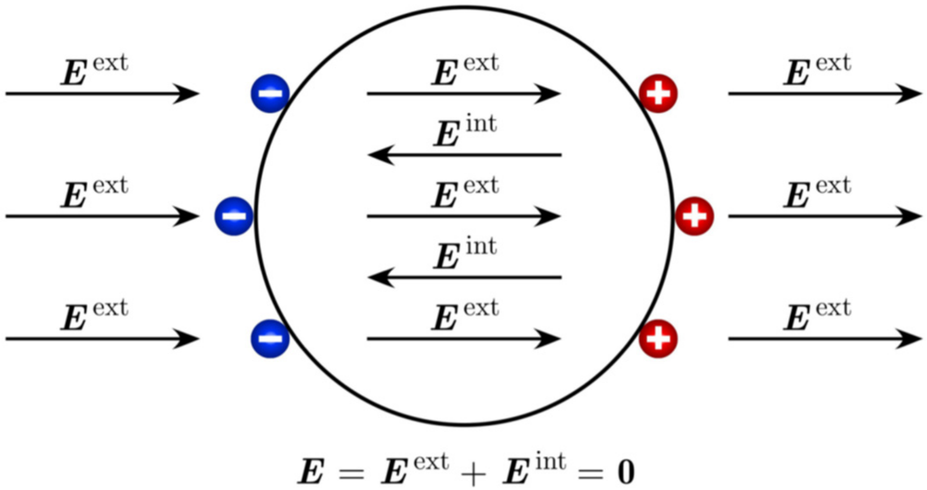
$$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{E}^{ext} + \mathbf{E}^{int} = \mathbf{0} \quad \text{(conducteur)} \quad (7.14)}$$



7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

En présence d'un champ électrique extérieur $\mathbf{E}^{\mathbf{ext}}$ supposé uniforme, les charges à la surface d'un conducteur se séparent afin de générer un champ électrique $\mathbf{E}^{\mathbf{int}}$ qui compense exactement le champ électrique $\mathbf{E}^{\mathbf{ext}}$ de sorte que le champ électrique résultant $\mathbf{E}$ à l'intérieur du conducteur (cavité) soit nul :

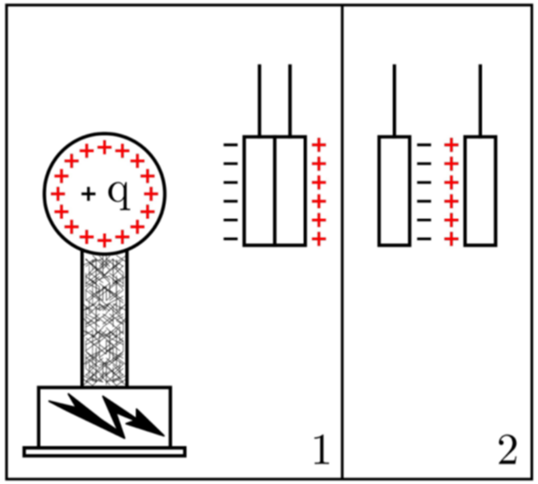
$$\boxed{\mathbf{E} = \mathbf{E}^{\mathbf{ext}} + \mathbf{E}^{\mathbf{int}} = \mathbf{0} \quad \text{(conducteur)} \quad (7.14)}$$



- Le conducteur est initialement neutre.
- Dû à l'influence du champ électrique extérieur, la surface du conducteur n'est plus une équipotentielle.

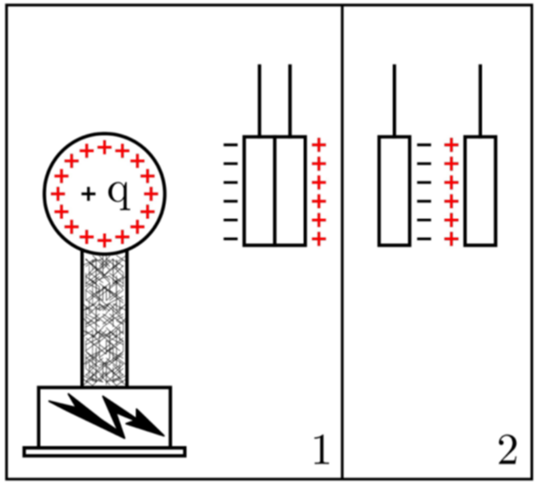
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience :



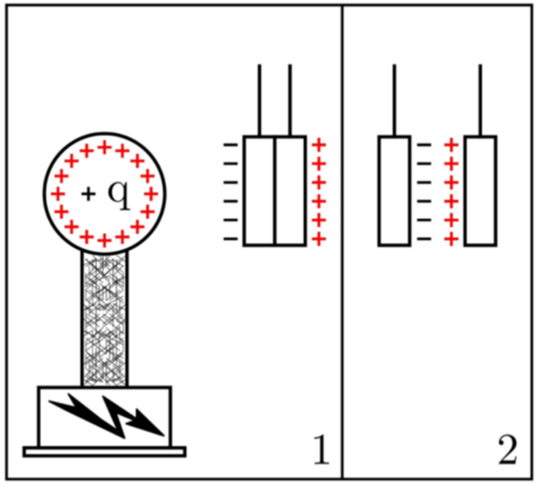
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 1. Séparation de charges par influence



7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 1. Séparation de charges par influence



Deux plaques métalliques neutres en contact sont placées au voisinage d'une sphère chargée (positivement par exemple). Les charges négatives mobiles (électrons) contenues dans les plaques sont attirées par les charges positives de la sphère. Il en résulte un manque d'électrons sur la plaque de droite. En séparant les plaques, on vérifie qu'elles possèdent une charge égale de signe opposé.

7.3.2 *Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)*

Expérience :

7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 2. Cage de Faraday

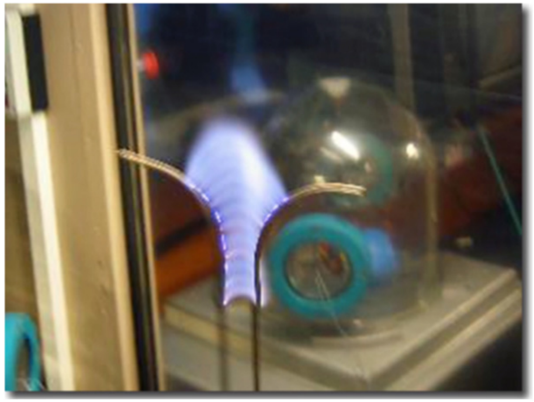
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 2. Cage de Faraday

Une cage de Faraday est une enceinte conductrice maintenue à un potentiel constant. La personne qui se trouve dans la cage ne peut pas être atteinte par un arc électrique puisque le champ électrique à l'intérieur de la cage doit rester nul.

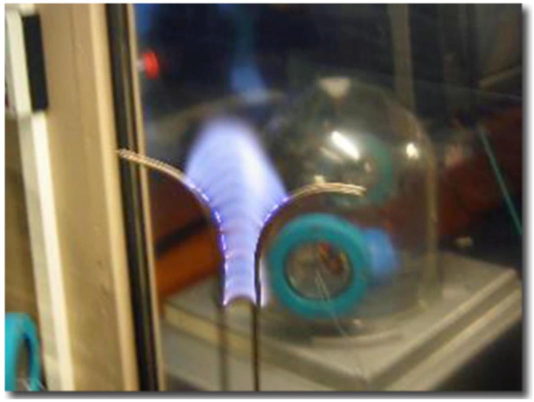
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience :



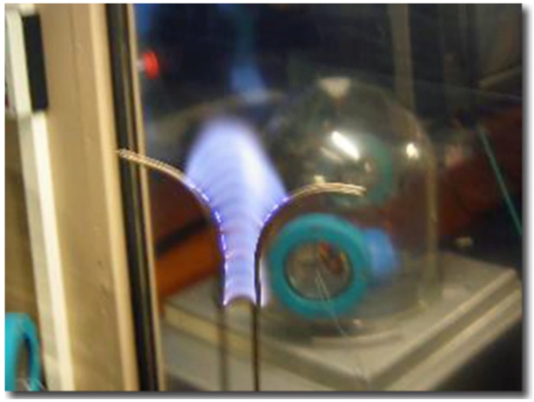
7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 3. Arc électrique glissant



7.3.2 Phénomène d'influence (dû à la force de Coulomb)

Expérience : 3. Arc électrique glissant

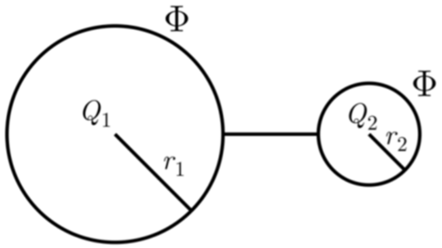


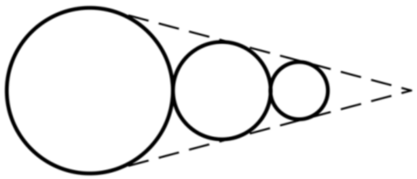
- À l'endroit où les électrodes métalliques sont les plus proches, le champ électrique est suffisamment intense pour ioniser l'air.

- Un arc électrique apparaît au bas des électrodes et se déplace vers le haut des tiges.

- Ce dispositif est utilisé comme protection contre la surtension.

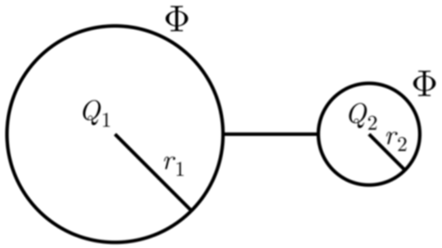
7.3.3 Effet de pointe

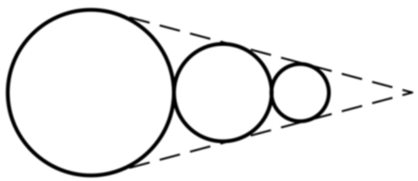




7.3.3 Effet de pointe

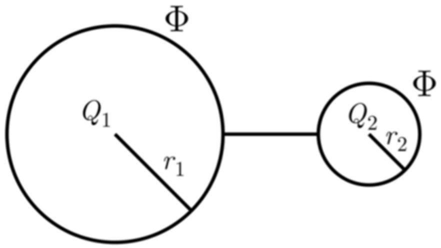
- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :





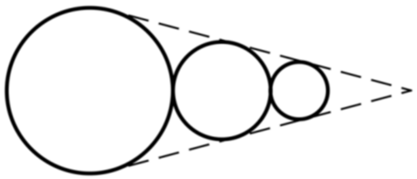
7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



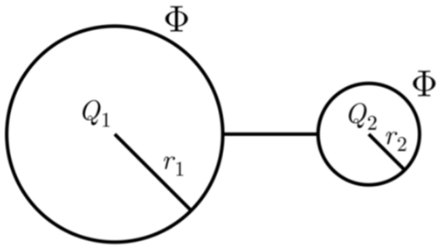
- Potentiel uniforme Φ :

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \quad \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

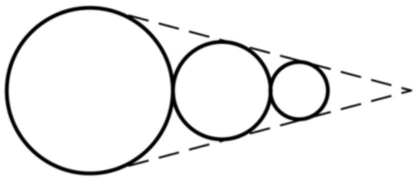
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\|\mathbf{E_1}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)}$$

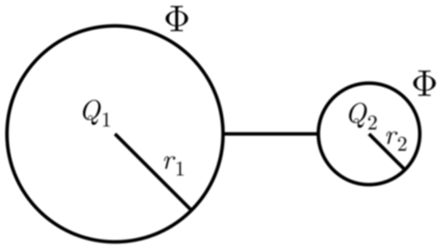
$$\|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \|\mathbf{E_1}\| \Rightarrow \|\mathbf{E_2}\| > \|\mathbf{E_1}\|$$

Si $r_2 < r_1$



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

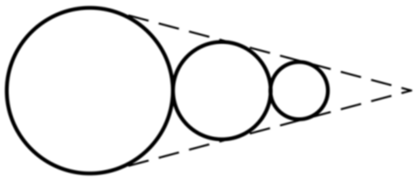
$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\|\mathbf{E_1}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \|\mathbf{E_1}\| \Rightarrow \|\mathbf{E_2}\| > \|\mathbf{E_1}\|$$

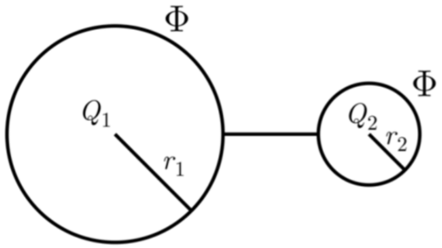
Si $r_2 < r_1$

- On peut modéliser une pointe comme une succession de sphères de rayon *r* décroissant :



7.3.3 Effet de pointe

- Plus la courbure de la surface du conducteur est grande, c'est-à-dire plus le rayon de courbure *r* est petit, plus le champ électrique **E** est grand.
- On considère deux sphères de rayons r_1 et r_2 en contact :



- Potentiel uniforme Φ :

$$\boxed{\Phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} > 1 \quad (7.15)}$$

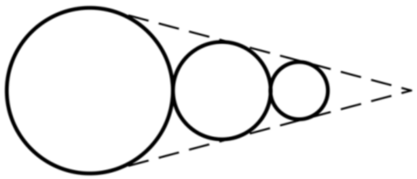
- Champ électrique à la surface des deux sphères :

$$\boxed{\|\mathbf{E_1}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} \quad \text{et} \quad \|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} \quad (7.16)}$$

$$\|\mathbf{E_2}\| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r_2^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2}\frac{r_1}{r_2} > \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r_1^2} = \|\mathbf{E_1}\| \Rightarrow \|\mathbf{E_2}\| > \|\mathbf{E_1}\|$$

Si $r_2 < r_1$

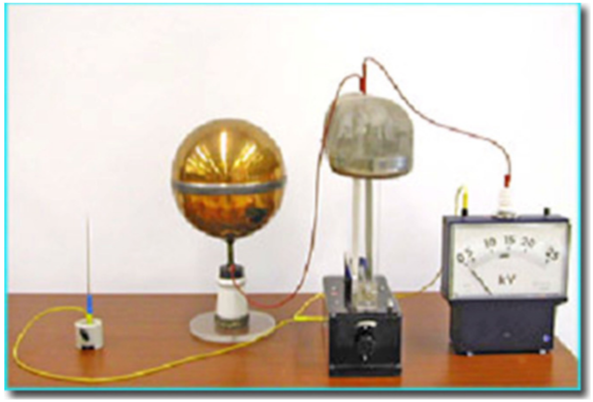
- On peut modéliser une pointe comme une succession de sphères de rayon *r* décroissant :



- Le champ électrique **E** est beaucoup plus intense à la pointe!

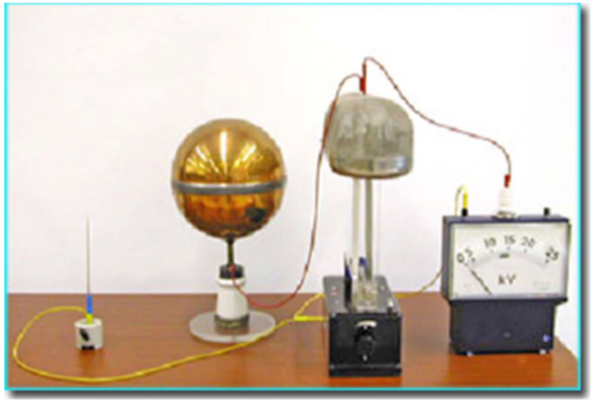
7.3.3 Effet de pointe

Expérience :



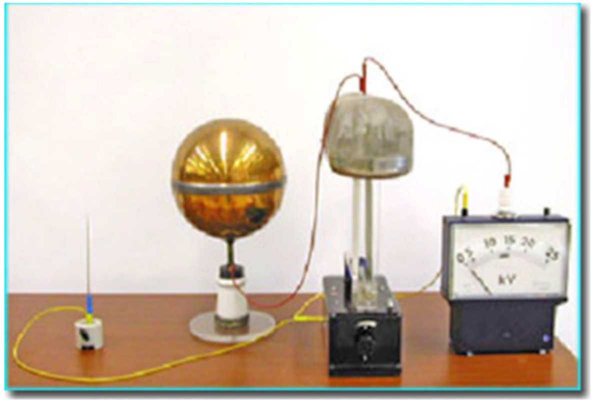
7.3.3 Effet de pointe

Expérience : Décharge par effet de pointe



7.3.3 Effet de pointe

Expérience : Décharge par effet de pointe



- On charge une sphère jusqu'à ce que sa différence de potentiel avec la terre soit de 20 kV. Dès qu'on approche la pointe de la sphère, la sphère se décharge (effet paratonnerre).

- Par effet de pointe, une structure pointue comme la tour Eiffel se fait plus facilement foudroyer.