

ÉLECTROSTATIQUE

Loi de Coulomb-Champ et Potentiel Électrostatique

1. Loi de Coulomb

Considérons deux charges ponctuelles q_1 et q_2 placées en A et B. La première exerce sur la seconde une force proportionnelle à sa charge q_1 . Réciproquement, la seconde exerce sur la première une force proportionnelle à sa charge q_2 . On en déduit que la force entre deux charges ponctuelles, placées à une distance r l'une de l'autre dans un milieu de constante diélectrique ϵ , appelée force électrostatique est proportionnelle au produit de leurs charges $q_1 q_2$ qui s'exprime par :

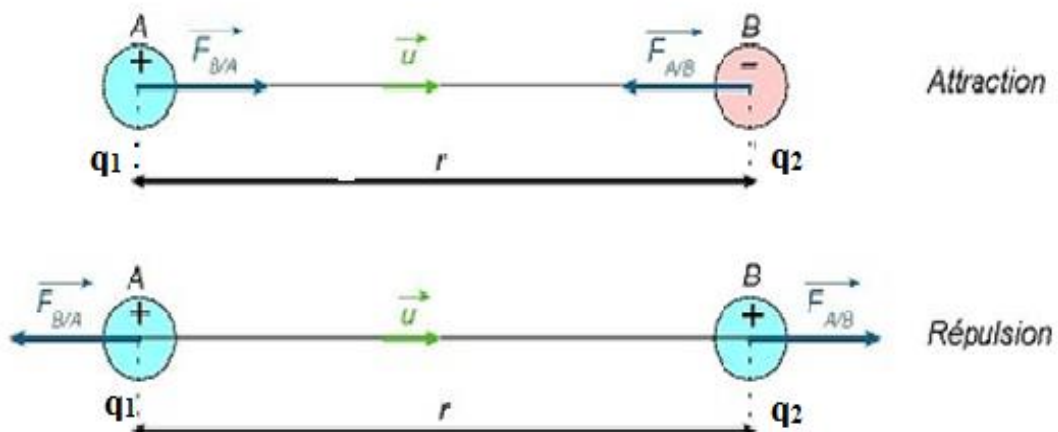
$$\vec{F}_{A/B} = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \vec{u}$$

Cette expression est la loi de Coulomb.

Avec r : la distance séparant les deux charges.

$\vec{u}$: Vecteur unitaire de direction joignant la charge q_1 à la charge q_2 , tel que :

$$\vec{u} = \frac{\vec{r}}{r}$$



$q_1 q_2 < 0$ $\vec{F}$ a le sens opposé à $\vec{u}$: Attractive

$q_1 q_2 > 0$ $\vec{F}$ a le même sens que $\vec{u}$: Répulsive

- Si q_1 et q_2 sont de signe contraire, $\vec{F}$ est de sens contraire que $\vec{U}$.
- Si q_1 et q_2 sont de même signe, $\vec{F}$ est de même sens que $\vec{U}$.

Dans le vide, où la constante diélectrique notée ϵ_0 , représente la permittivité du vide : on a

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

dont sa valeur expérimentale : $K = 8.9875 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$, où $\epsilon_0 \approx 8,8510^{-12} \text{ C}^2.\text{N}^{-1}.\text{m}^{-2}$

On utilisera souvent la valeur approchée : $9 \cdot 10^9$.

Dans un milieu de constante diélectrique quelconque ϵ (appelée permittivité absolue) on peut écrire

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r,$$

ϵ_r étant la *permittivité relative* du milieu ($\epsilon_r > 1$) et ϵ_0 la *permittivité absolue* du vide. Dans tel milieu, la force de Coulomb est donc plus petite que dans le vide.

Unités : MKSA

F : Newton, défini en mécanique

r : en mètre, défini en mécanique

q : en Coulomb, défini à partir du courant : $q = \int i dt$

Application :

Calculer la force qu'exerce la charge $q_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ sur une charge $q_2 = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ séparées par la distance 20 mm.

Solution :

$$|\vec{F}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2} |\vec{u}| = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}}$$

$$|\vec{F}| = 33,75 \cdot 10^6 \text{ N}$$

2. Principe de superposition:

Considérons maintenant une charge q placée en un point M et se trouvant en présence d'autres charges q_i placées en des points M_i . Soit r_i la distance de M_i à M et $\vec{u}_i$ un vecteur unitaire porté par $\overrightarrow{M_i M}$ et dirigé de M_i vers M ; le principe de superposition permet d'écrire la force $\vec{F}$ s'exerçant sur la charge q sous forme de :

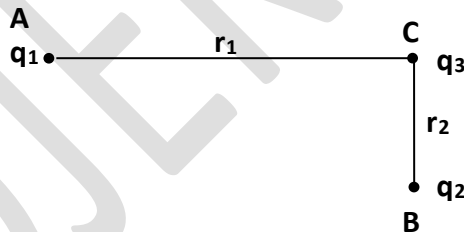
$$\vec{F} = \sum_i^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_i$$

Application :

Soit une charge q_3 se trouvant en présence de charges q_1 et q_2 suivant la figure ci-dessous. Calculer la force résultante agissant sur q_3 .

Avec $q_1 = -2.5 \cdot 10^{-3} \text{ C}$; $q_2 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ C}$; $q_3 = 0.8 \cdot 10^{-3} \text{ C}$

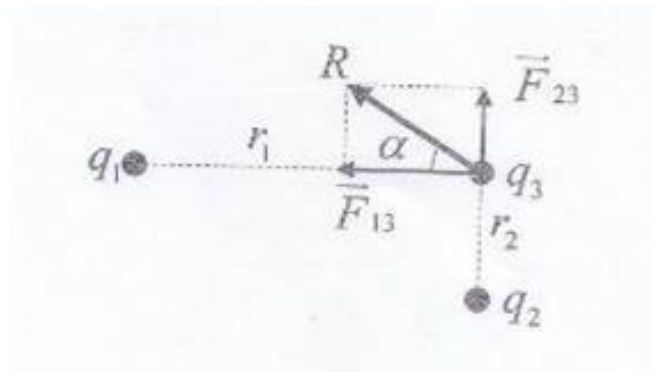
$r_1 = AC = 1.2 \text{ m}$; $r_2 = BC = 0.8 \text{ m}$



Puisque Avec $q_1 q_3 < 0$, donc $F_{13} < 0$ est une force d'attraction.

Et puisque Avec $q_2 q_3 > 0$, donc $F_{23} > 0$ est une force de répulsion.

D'où :



$$|\vec{F}_{13}| = k \frac{q_1 q_3}{r^2} |\vec{u}| = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.8 \cdot 10^{-3}}{(1.2)^2}$$

$$|\vec{F}_{13}| = 12.5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_{23}| = k \frac{q_2 q_3}{r^2} |\vec{u}| = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.8 \cdot 10^{-3}}{(0.8)^2}$$

$$|\vec{F}_{23}| = 16.87 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

$$|\vec{R}| = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} ;$$

$$|\vec{R}| = \sqrt{(12.5 \cdot 10^3)^2 + (16.87 \cdot 10^3)^2}$$