

Chapitre 2 : Champ électrostatique

L'électrostatique traite de l'interaction des charges électriques au repos placées dans le vide. Le champ électrique est appelé champ électrostatique s'il est invariant dans le temps.

I. Loi de Coulomb

1. Charges électriques

La charge électrique que l'on note " q " est une grandeur qui rend compte des interactions électromagnétiques entre particules aussi bien que la masse " m " rend compte des interactions gravitationnelles.

La charge électrique d'un corps représente la quantité d'électricité portée par ce corps. Cette charge est un multiple de la charge élémentaire.

$$q = n \cdot e \text{ avec } q \text{ en coulomb (C) et } e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Pour un électron } q = -e \text{ et pour un proton } q = +e$$

a. Charges ponctuelles

C'est un corps électrisé de dimensions assez petites de telle sorte qu'il peut être assimilé à un point dans l'espace. Dans le cas contraire on a une distribution continue de charges.

b. Distribution continue de charges

- **Distribution volumique de charges**

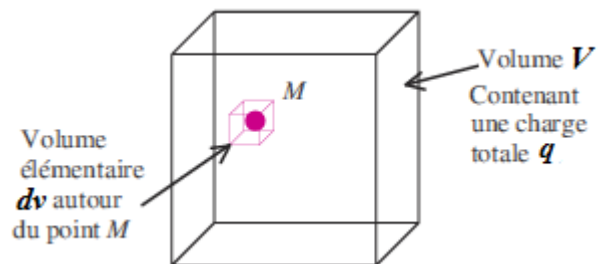
On considère un volume v qui contient toute la charge q .

Un élément de volume dv contient une portion notée dq de la charge q .

La densité volumique de charge ρ représente la charge

$$\text{par unité de volume soit } \rho(M) = \frac{dq}{dv} \Rightarrow q = \int_V \rho dv.$$

La **densité volumique** ρ s'exprime en $C.m^{-3}$.



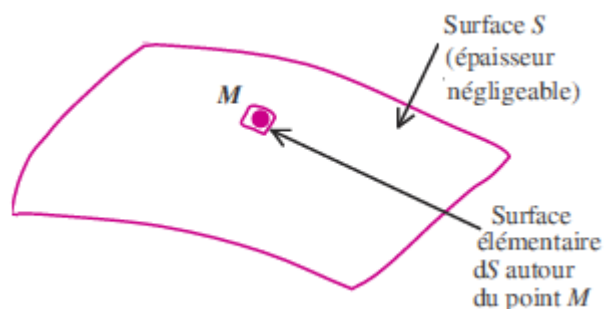
- **Distribution surfacique de charges**

Soit une surface S qui porte une charge q . dS un élément de cette surface porte la charge dq .

La densité surfacique de charge notée σ et définie par

$$\text{l'expression } \sigma(M) = \frac{dq}{dS} \Rightarrow q = \int_S \sigma dS \text{ représente la}$$

charge par unité de surface. La densité surfacique σ s'exprime en $C.m^{-2}$.



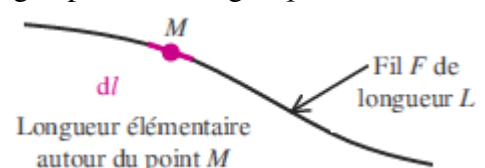
- **Distribution linéique de charges**

Considérons une ligne L qui porte la charge q . dl une portion de la ligne porte la charge dq .

La densité linéique ou linéaire de charge notée λ et définie par

$$\lambda(M) = \frac{dq}{dl} \Rightarrow q = \int_L \lambda dl \text{ représente la charge par unité de}$$

longueur. La densité linéique λ s'exprime en $C.m^{-1}$.

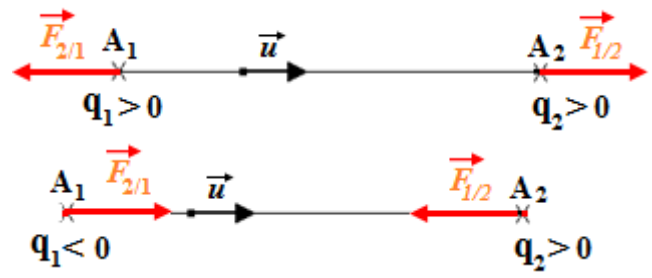


2. Loi de coulomb

Soit deux charges q_1 et q_2 placées dans le vide respectivement aux points A_1 et A_2 . Pour un observateur au repos, la charge q_1 exerce sur q_2 une force $\vec{F}_{1/2}$ appliquée au point A_2 , portée par la droite (A_1A_2) et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

De même q_2 exerce sur q_1 une force $\vec{F}_{2/1}$ appliquée au point A_1 .

Cette force est attractive si les charges sont de signe contraire et répulsive si elles sont de même signe.



L'expression vectorielle s'écrit :

$$\vec{F}_{1/2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{u}$$

avec le vecteur unitaire qui est donné par la formule $\vec{u} = \frac{\overrightarrow{A_1A_2}}{\|\overrightarrow{A_1A_2}\|}$

Le principe des actions réciproques : $\vec{F}_{1/2} = -\vec{F}_{2/1}$

Le module de la force électrostatique est donné par l'expression :

$$F_{1/2} = F_{2/1} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I est le coefficient de proportionnalité}$$

et $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ S.I}$ est la permittivité électrique du vide.

Remarque : la loi de coulomb est une loi empirique et c'est le principe fondamental de l'électrostatique.

II. Champ électrostatique

1. Définition

Considérons une région de l'espace où règne un champ électrostatique et soit M un point de la région. On place successivement au point M des charges de même signe $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$.

On constate que ces charges sont soumises à des forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ de même support et de même sens telle que l'on ait :

$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \frac{\vec{F}_3}{q_3} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} = \vec{C}_{st}$$

Cette constante sera notée \vec{E} et définira le champ électrostatique.

$$\vec{F}_1 = q_1 \cdot \vec{E}, \quad \vec{F}_2 = q_2 \cdot \vec{E}, \quad \dots, \quad \vec{F}_n = q_n \cdot \vec{E},$$

\vec{E} s'exprime en newton par coulomb ($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$).

On dit qu'il existe un champ électrostatique dans une région de l'espace si une charge électrique placée dans cette région est soumise à une force électrostatique.

2. Champ électrostatique crée par une charge ponctuelle

Soit une charge q_1 placée en un point A de l'espace. La charge q_1 crée un champ électrostatique en un point M dans cette région de l'espace.

Pour déterminer ce champ, on place au point M une charge passive q_2 qui va subir une force électrostatique $\vec{F}_{1/2}$.



Principe de Coulomb :

$$\vec{F}_{1/2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{AM^2} \cdot \vec{u}$$

Définition du champ électrostatique au point M : $\vec{F}_{1/2} = q_2 \cdot \vec{E}(M)$

On en déduit l'expression du champ électrostatique au point M :

$$\vec{E}(M) = \frac{\vec{F}_{1/2}}{q_2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \frac{q_1}{AM^2} \cdot \vec{u}$$

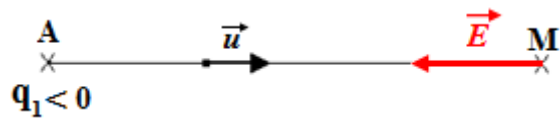
$$\vec{E}(M) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \frac{q_1}{AM^2} \cdot \vec{u}$$

avec le vecteur unitaire qui est donné par la formule $\vec{u} = \frac{\overrightarrow{AM}}{\|\overrightarrow{AM}\|}$

Si la charge source est positive, le champ électrostatique est centrifuge.



Si la charge source est négative, le champ électrostatique est centripète.



- Les charges électriques sont les sources de champ électrostatique.
- La charge qui est soumise à la force est appelée charge passive et celle qui crée le champ est appelée charge active.

Remarque : le champ et la force électrostatiques sont des grandeurs vectorielles définies par quatre caractéristiques : le point d'application ; la direction ; le sens et le module ou intensité.

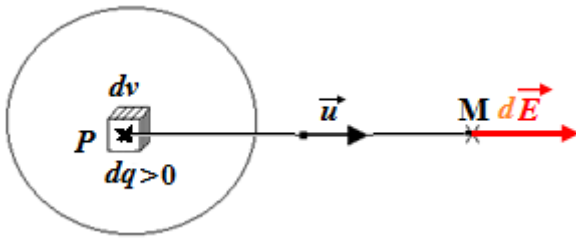
3. Champ électrostatique crée par une distribution continue de charge

Pour une distribution continue de charges, un petit élément (dv, dS, dl) portant la charge dq crée en un point M un champ électrostatique élémentaire $d\vec{E}$.

$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\tau} \frac{dq}{r^2} \cdot \vec{u}$$

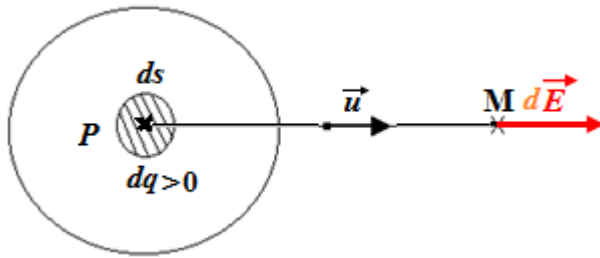
L'intégrale doit être étendue à tout l'espace occupé par la charge.

a. Distribution volumique de charges



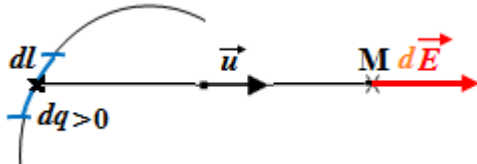
$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho d\tau}{PM^2} \cdot \vec{u}$$

b. Distribution surfacique de charges



$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma dS}{PM^2} \cdot \vec{u}$$

c. Distribution linéique de charges

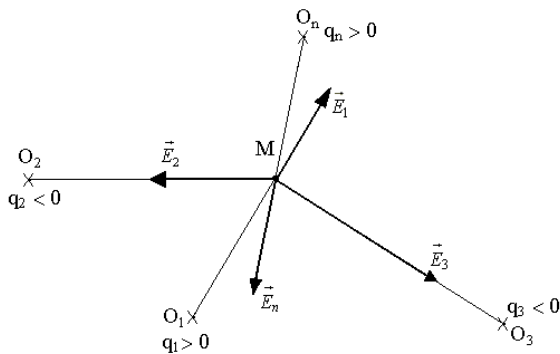


$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\lambda dl}{PM^2} \cdot \vec{u}$$

4. Principe de superposition

Considérons un ensemble de charges q_i placées en des points O_i . Chacune des charges q_i crée au

point M un champ électrostatique \vec{E}_i dont l'expression est donnée par : $\vec{E}_i = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_i}{O_i M^2} \cdot \vec{u}_i$



Le champ résultant $\vec{E}(M)$ crée par l'ensemble des charges est la somme vectorielle des champs individuels : c'est le principe de superposition.

$$\vec{E}(M) = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

Si q est la charge placée au point M, elle est soumise à la force $\vec{F}(M) = q\vec{E}(M) = q\vec{E}_1 + q\vec{E}_2 + \dots + q\vec{E}_n$ soit

$$\vec{F}(M) = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

5. Lignes de champ

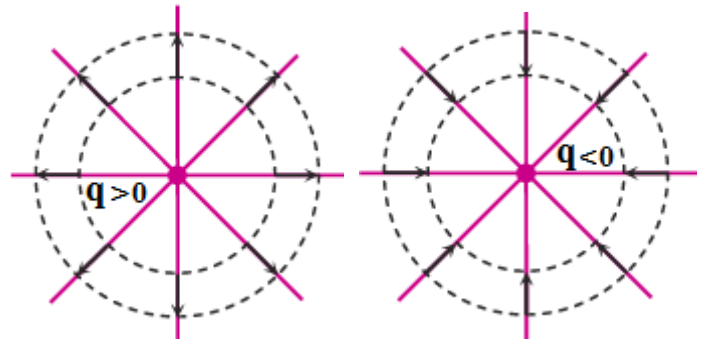
Une ligne de champ est une courbe tangente en chacun de ses points au vecteur champ électrostatique \vec{E} associé à ce point.



La ligne de champ est orientée dans le sens du champ c'est-à-dire dans le sens des potentiels décroissants.

Les lignes de champ produites par une charge ponctuelle placée en point P sont des droites passant par le point P. On dit que le champ électrostatique produit par une charge électrique est radial.

Les lignes de champ sont divergentes si la charge est positive et convergentes si la charge est négative.



FIN