PHYSIQUE 2

Licence 1
(ELM)

Programme électricité S2

- **Chapitre I**: Electrostatique
- **Chapitre II**: Electrocinétique
- **Chapitre III**: Electromagnétisme

Chapitre I: Electrostatique

I/ Notion de charges électrostatiques

Définition de l'électrostatique

L'électrostatique est la partie de l'électricité qui traite des phénomènes ou des charges immobiles agissent. Lorsque les charges sont en mouvement on parle d'électrocinétique.

Charge électrique

Tige d 'origine résineuse

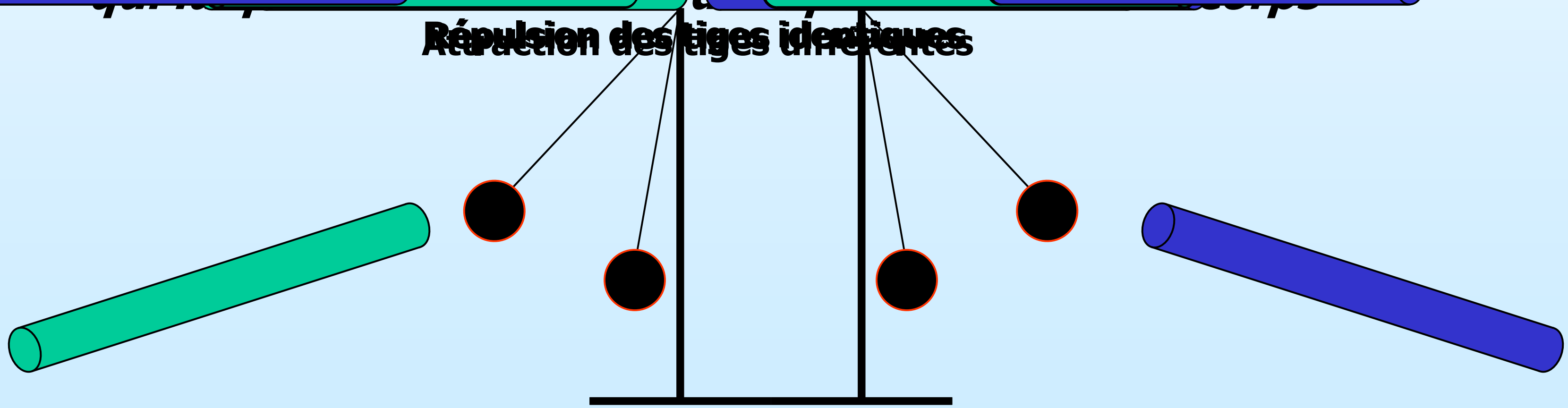
Tige d 'origine vitreuse

Frottons les tiges avec un tissu en laine…

La charge électrique est une propriété d'un corps frotté

Répulsion des tiges identiques

Attraction des tiges différentes



Méthodes d'électrisation

Méthodes d'électrisation

- Par frottement
- Par contact
- Par influence

Matière

Isolants

(diélectriques)

Absence de charges libres de se déplacer.
Déplacement de charge au niveau atomique ou moléculaire sous l 'effet d 'un champ électrique extérieur.
Résistance électrique grande

Conducteurs

(Métaux)

Existence de charges libres
Résistance électrique faible

Loi de Coulomb

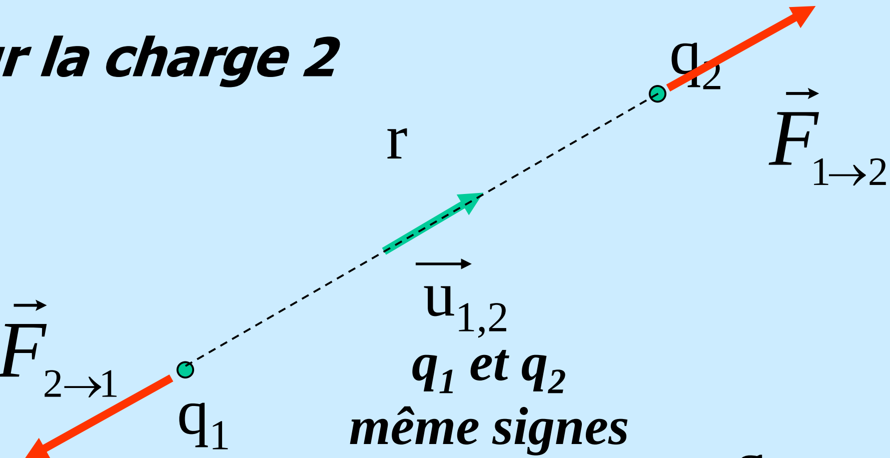
- ***Force exercée par la charge 1 sur la charge 2***

$$\vec{F}_{1\to2} = K\,\frac{q_1 . q_2}{r^2}\,\vec{u}_{12}$$

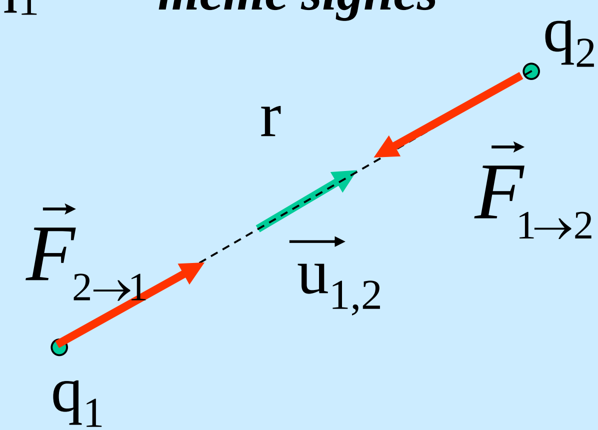
$$\vec{F}_{1\to2} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\,\boxed{\frac{q_1 . q_2}{r^2}}\,\vec{u}_{12}$$

$\gtrless 0$

$$\vec{F}_{1\to2} = -\vec{F}_{2\to1}$$



q_1 et q_2 même signes



q_1 et q_2 de signes différents

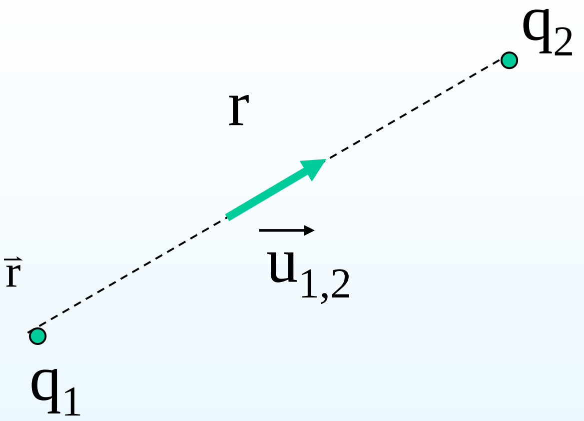
Commentaires

$$\vec{r} = r.\vec{u}_{12} \Rightarrow \boxed{\vec{u}_{12}} = \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\vec{F}_{1\to 2} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{q_1.q_2}{r^2}\boxed{\vec{u}_{12}} \Rightarrow$$

On obtient la 2eme forme vectorielle:

$$\vec{F}_{1\to 2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1.q_2}{r^3}\vec{r}$$



- ***q_1 et q_2 sont des charges ponctuelles***
- ***La loi de coulomb s'applique à des charges immobiles***
- ***Elle reste valable pour des vitesses petites devant la vitesse de la lumière***

ε_0 : permittivité électrique du vide

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi.10^9}\,\mathrm{SI}$$

- ***Dans un milieu diélectrique, remplacer ε_0 par $\varepsilon = \varepsilon_r . \varepsilon_0$ avec ε_r permittivité relative nombre sans dimension***

Champ électrostatique

- ***Toute région dans laquelle une charge électrique subit une force est appelée un champ électrique***
- ***On dit que la charge q_1 (source) crée un champ électrique***
- ***Si l'on place une charge électrique q_2 (test) au voisinage, cette charge est soumise à une force (de Coulomb) telle que***

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{q_1.q_2}{r^2}\vec{u}_{12} = q_2 \underbrace{\frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{q_1}{r^2}\vec{u}_{12}}_{\vec{E}} = q_2.\vec{E}$$

Définition

- ***Le champ électrostatique créé par une charge q_1 (source) en un point M à la distance r de la charge est le quotient de la force à laquelle est soumise une charge q (test) placée en M par la valeur de cette charge***

$$\vec{F} = q.\vec{E} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{q_1}{r^2}\vec{u}_r$$

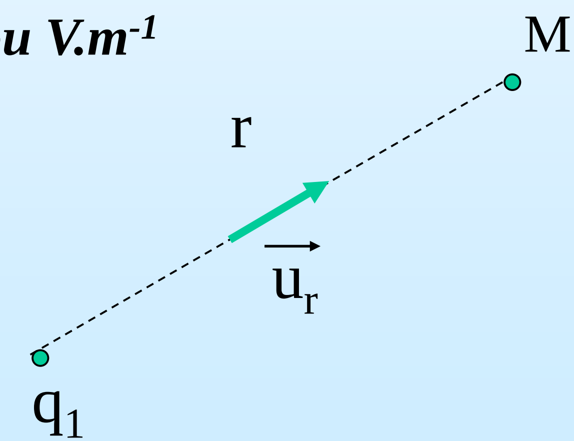
source du champ

distance source $\rightarrow$ point

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{\boxed{q_1}\,\boxed{\vec{r}}}{r^3}$$

- ***Unités***

N.C^{-1} ou V.m^{-1}



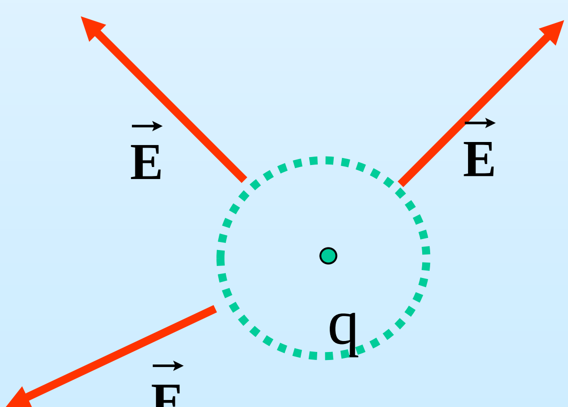
- ***direction*** **radiale**
- ***sens*** $\begin{cases} \vec{u}_r \text{ si } q_1 > 0 & \text{« centrifuge »} \\ -\vec{u}_r \text{ si } q_1 < 0 & \text{« centripète »} \end{cases}$
- ***intensité*** $\dfrac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\dfrac{|q_1|}{r^2}$

- ***Sources de champ électriques***
- charges électriques

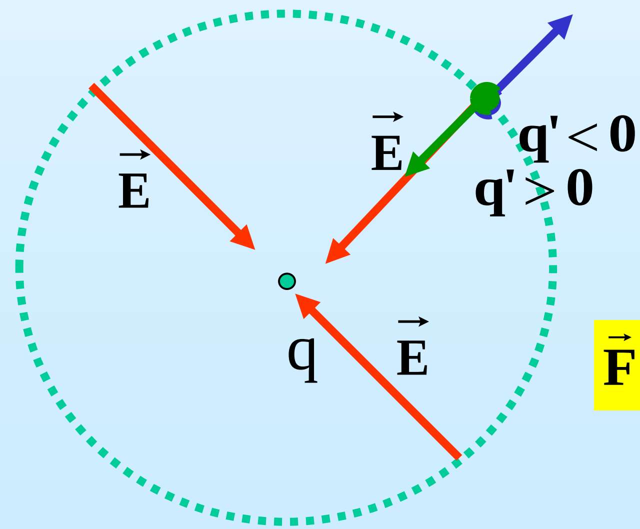
Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle unique

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{u} \qquad \text{avec } \vec{u} = \frac{\vec{r}}{r} \text{ vecteur unitaire}$$

Si q > 0
le champ fuit q
« centrifuge »



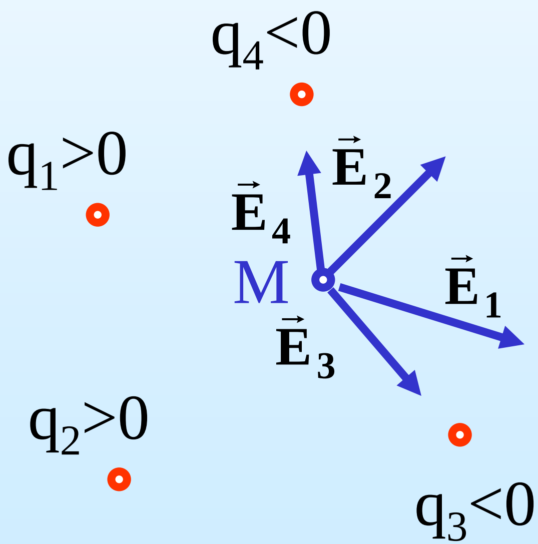
Si q < 0
le champ est dirigé vers q
« centripète »



$$\boxed{\vec{F} = q'\vec{E}}$$

Champ électrostatique créé par un système de charges ponctuelles discrètes

- ***Le champ résultant en un point M est la somme des champs créés par chaque charge***



$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i$$

$$\vec{E} = \sum \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u_i}$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u_i}}$$

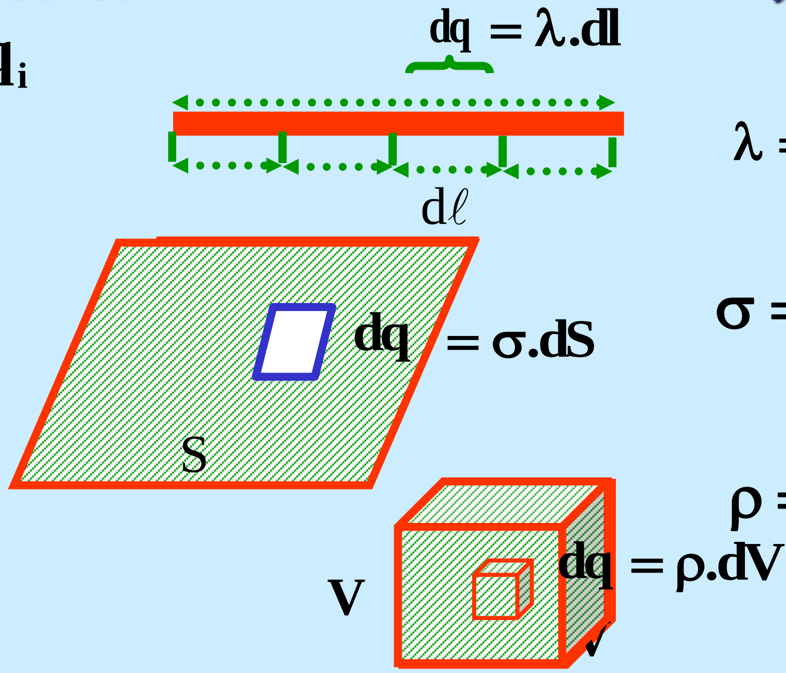
Champ électrostatique crée par une distribution de charges continues

- **Pour calculer le champ crée par une distribution de charges, on se ramène au calcul du champ crée par des charges ponctuelles en considérant des charges élémentaires dq**

- *Distribution de charges*

Système discret

$$Q = \sum_i q_i$$



Système continu

$$\lambda = \frac{dq}{d\ell} \Rightarrow Q = \int dq = \int \lambda.dl$$

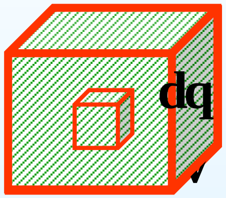
$$\sigma = \frac{dq}{dS} \Rightarrow Q = \int dq = \iint \sigma.dS$$

$$\rho = \frac{dq}{dV} \Rightarrow Q = \int dq = \iiint \rho.dV$$

- *la charge électrique totale d'un système isolé reste constante*

Champ électrostatique créé par une distribution de charges continues

Distribution Volumique

V  $dq = \rho.dV$

Cette charge élémentaire est assimilable à une charge ponctuelle.

Cette charge crée le champ élémentaire

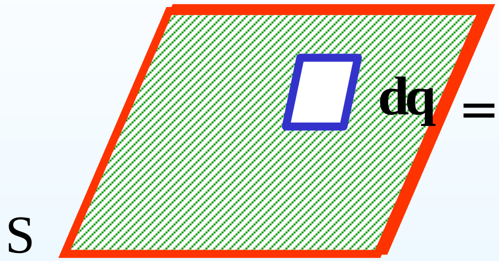
$$\overrightarrow{dE} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{\rho.dV}{r^2}\vec{u}$$

Le champ résultant créé par l'ensemble de la distribution est la somme des champs élémentaires

$$\vec{E} = \iiint_V \overrightarrow{dE}$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\iiint_V \frac{\rho.dV}{r^2}.\vec{u}}$$

Distribution surfacique



$$dq = \sigma.dS$$

Cette charge élémentaire est assimilable à une charge ponctuelle.

Cette charge crée le champ élémentaire

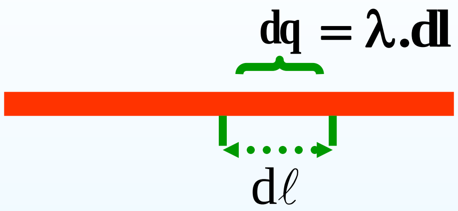
$$\overrightarrow{dE} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\frac{\sigma.dS}{r^2}\vec{u}$$

Le champ résultant créé par l'ensemble de la distribution est la somme des champs élémentaires

$$\vec{E} = \iint_S d\vec{E}$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0}\iint_S \frac{\sigma.dS}{r^2}.\vec{u}}$$

- ***Distribution linéique***



Cette charge élémentaire est assimilable à une charge ponctuelle.

Cette charge crée le champ élémentaire

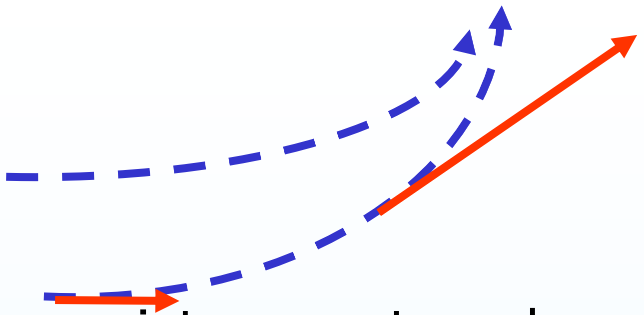
$$\overrightarrow{dE} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0} \frac{\lambda.dl}{r^2} \vec{u}$$

Le champ résultant créé par l'ensemble de la distribution est la somme des champs élémentaires

$$\vec{E} = \int_{\ell} d\vec{E}$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi.\varepsilon_0} \int_{\ell} \frac{\lambda.d\ell}{r^2} .\vec{u}}$$

Lignes de champ



- ***Définition***
  - ligne tangente en chacun de ses points au vecteur champ
  - orientée dans le même sens que le champ

- ***Propriétés***
  - lignes parallèles si le champ est uniforme
  - lignes qui se resserrent quand le champ augmente et inversement
  - deux lignes de champ ne peuvent se croiser

Notion d'énergie potentielle

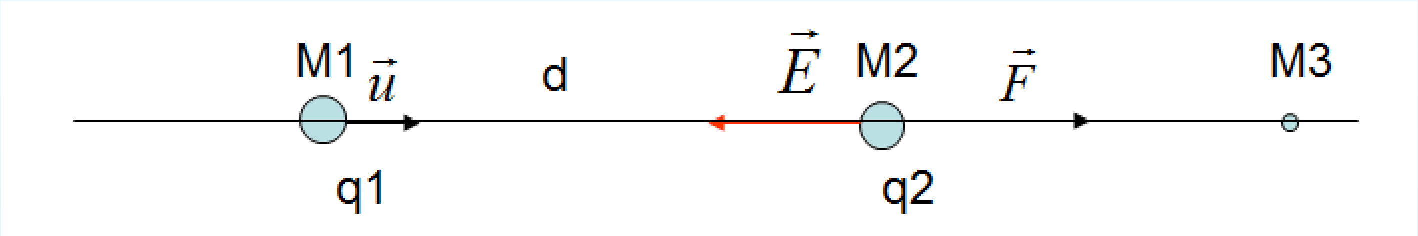
Considérons un champ électrostatique créé par q_1 en tous points de l'espace

$$\overrightarrow{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{d^2}\vec{u}$$

Un champ électrique produit une force, qui peut mettre en mouvement une particule chargée q_2. Cette force suit la loi de Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{d^2}\vec{u}$$

Cette force exercée par q1 (fixe) dans le cas de deux charges <o va tendre à déplacer q2 de M2 vers M3 d'un déplacement δl.



Lorsque la charge q_2 effectue un petit déplacement δl, la force électrostatique F exerce sur q_2 un petit travail

$$\delta w = \overrightarrow{F_{1.2}} . \overrightarrow{\delta l} \qquad \delta w = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2} \delta l$$

Lorsque q_2 effectue un déplacement macroscopique de M_2 vers M_3 le travail qu'elle reçoit de la part de F est la somme des petits travaux le long du parcours

$$W_{M_2 \to M_3} = \int_{M_2}^{M_3} \delta w = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_1 q_2 \left(\frac{1}{d_{M_2}} - \frac{1}{d_{M_3}} \right)$$

$$W_{M_2 \to M_3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q_1 q_2 \left(\frac{1}{d_{M_2}} - \frac{1}{d_{M_3}} \right)$$

Il s'ensuit que le travail effectué, ne **dépend que** des positions de départ et d'arrivée et **pas du chemin suivit. Soit une force conservative qui dérive d'une énergie potentielle** $E_p(r)$

$$W_{M_2M_3} = -\Delta E_p = E_p(M_2) - E_p(M_3)$$

Ou le travail est égale à la différence d'énergie potentielle entre M2 et M3

Ep est donc l'énergie potentielle

$$E_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d} + cst$$

elle s'exprime en *Joule (J)* dans le SI.

$$E_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{d} + cst$$

Notion de potentiel électrostatique

la charge q_2 est soumise à la force de Coulomb exercée par q_1 via le champ électrostatique

Une charge q_1 ponctuelle créera ainsi à une distance d **un potentiel électrostatique** en Volt

$$V_M = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{d} + cst$$

une charge q_2 située en M ou règne un potentiel V (créé par q_1) possède une **énergie potentielle** électrostatique en joule

$$E_p = q_2 V_M + cst$$

La relation entre l'énergie potentielle et la force en générale s'écrit

$$\vec{F} = -\overrightarrow{grad}\, E_p$$

Le **champ électrostatique** créé par la distribution de charge est lié au potentiel par

$$\vec{E}_M = -\overrightarrow{grad}\, V_M$$

Le gradient permet d'indiquer de quelle façon varie le potentiel dans l'espace

$$V_{(r)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{d} + cst$$

Additivité du potentiel électrostatique

Le potentiel électrostatique résultant sur une charge q en M d'une distribution de charges q2, q3, q4… situées respectivement en M1, M2, M3, M4… est égale à la somme des potentiels électrostatiques liée à chacune des charge q

$$V_M = \sum_i \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{d_i} + cte$$

Le gradient est utilisé pour une grandeur qui varie en fonction des points de l'espace.

$$dV = -\vec{E}d\vec{l}$$

Le travail de la force électrostatique

$$\delta\vec{W} = q\vec{E}\delta\vec{l} = -dE_P = -q.dV$$

$$dV = -\vec{E}d\vec{l}$$