EM1-Cours

Électrostatique : généralités

On étudie dans ce chapitre le champ électrostatique (ses propriétés propres) et ses sources (qui sont les charges électriques).

Table des matières

1 Champ électrostatique

1.1 Charge électrique

Définition. Charge électrique. On peut affecter à tout corps une grandeur scalaire algébrique notée q et appelée charge électrique. Cette grandeur caractérise **l'intensité des interactions électromagnétiques** auxquelles le corps participe.

Remarque. C'est donc le pendant de la masse pour la gravitation. Remarquez malgré tout une différence : la masse est toujours positive, et il n'y a pas d'interaction gravitationnelle répulsive (elle est toujours attractive).

▶ **Propriété. Quantification de la charge électrique.** La charge électrique d'un corps est toujours un multiple entier de

$$\boxed{e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}}$$

appelée **charge élémentaire**, en coulomb C. On a donc toujours $q = Z\,e$ avec $Z \in \mathbb{Z}$. Par ailleurs, $1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{A}\cdot\mathrm{s}$, ce dont on peut se souvenir avec la relation en électricité $i = \mathrm{d}q\,/\,\mathrm{d}t$.

Exemples. Les constituants élémentaires de la matière ont pour charge $q = +e$ pour le proton, $q = -e$ pour l'électron et $q = 0$ pour le neutron respectivement.

Remarque. Cela fournit une autre différence avec la gravitation : la masse n'est pas une grandeur quantifiée, contrairement donc à la charge électrique.

▶ **Propriété. Continuité de la charge électrique.** À l'échelle macroscopique cependant, où Z est très grand, on ne distingue pas

$$Z\,e \qquad \text{et} \qquad (Z+1)\,e$$

par exemple. La charge électrique nous apparaît continue (son aspect discret est imperceptible).

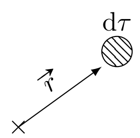
▶ **Propriété. La charge électrique est extensive et conservative.**

Les charges électriques microscopiques se répartissent selon différentes géométries à l'échelle mésoscopique.

Définition. Densité volumique de charge ϱ.

Lorsque les charges électriques ont tendance à se répartir en volume, on définit la **charge volumique** ϱ, en $\mathrm{C}\cdot\mathrm{m}^{-3}$. Elle est telle que la charge électrique comprise dans un volume mésoscopique $\mathrm{d}\tau$ s'écrit

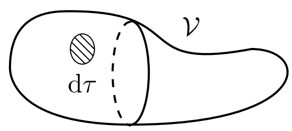
$$\mathrm{d}q = \varrho(\vec{r})\,\mathrm{d}\tau$$



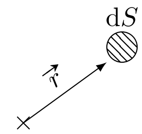
Conventionnellement, on note les volumes infinitésimaux $\mathrm{d}\tau$ *en électromagnétisme,* V *étant plutôt réservé pour le potentiel électrostatique que nous rencontrerons plus tard.*

La charge totale q dans un volume $\mathcal{V}$ est ainsi

$$\boxed{q = \iiint_{\mathcal{V}} \varrho(\vec{r})\,\mathrm{d}\tau}$$



Définition. Densité surfacique de charge σ.

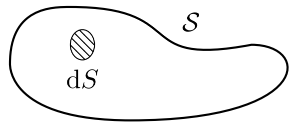


Lorsque les charges électriques ont tendance à se répartir sur une surface, on définit la **charge surfacique** σ, en $\mathrm{C \cdot m^{-2}}$. Elle est telle que la charge électrique comprise sur une surface mésoscopique $\mathrm{d}S$ s'écrit

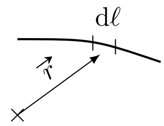
$$\mathrm{d}q = \sigma(\vec{r})\,\mathrm{d}S$$

La charge totale q sur une surface $\mathcal{S}$ est ainsi

$$\boxed{q = \iint_{\mathcal{S}} \sigma(\vec{r})\,\mathrm{d}S}$$



Définition. Densité linéïque de charge λ.

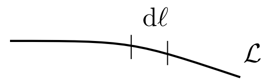


Lorsque les charges électriques ont tendance à se répartir sur une ligne, on définit la **charge linéïque** λ, en $\mathrm{C \cdot m^{-1}}$. Elle est telle que la charge électrique comprise sur un élément mésoscopique de longueur $\mathrm{d}\ell$ s'écrit

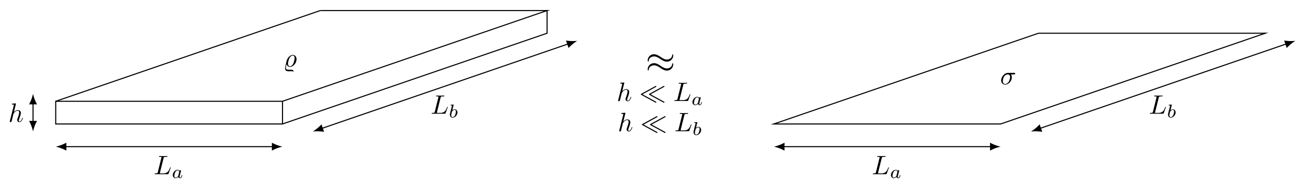
$$\mathrm{d}q = \lambda(\vec{r})\,\mathrm{d}\ell$$

La charge totale q sur une ligne $\mathcal{L}$ est ainsi

$$\boxed{q = \int_{\mathcal{L}} \lambda(\vec{r})\,\mathrm{d}\ell}$$



Remarque. Les distributions surfaciques et linéïques sont en fait des modèles pour décrire des distributions volumiques lorsqu'une (ou deux) dimensions sont très petites devant les autres. Par exemple, sur le schéma ci-dessous, on modélise une répartition volumique comme une répartition surfacique.



La charge est à la fois $\varrho\, h\, L_a\, L_b$ et $\sigma\, L_a\, L_b$. Donc $\sigma = \varrho\, h$.

1.2 Loi de Coulomb

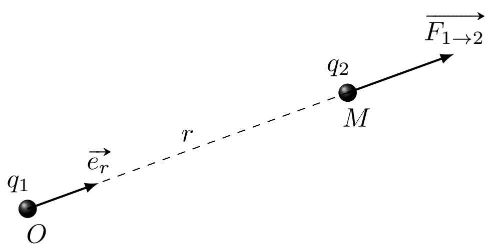
La loi de Coulomb donne la force exercée par une charge **ponctuelle** sur une autre charge **ponctuelle**.

Loi de Coulomb (1785). Force entre deux charges ponctuelles.

La force qu'exerce la particule 1 en O sur la particule 2 en M est donnée par

$$\boxed{\overrightarrow{F_{1\to 2}} = \frac{q_1\, q_2}{4\,\pi\,\varepsilon_0\, r^2}\,\vec{e_r}} \qquad \left(= \frac{q_1\, q_2}{4\,\pi\,\varepsilon_0}\,\frac{\overrightarrow{OM}}{||\overrightarrow{OM}||^3}\right)$$

avec ε_0 la **permittivité électrique du vide** (c'est une constante de la physique).



$$\boxed{\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\ \mathrm{F \cdot m^{-1}}}$$

(en Farad par mètre : le Farad est l'unité des capacités. Puisque $q = C\,U$ en électricité, on a $1\ \mathrm{F} = \mathrm{C \cdot V^{-1}}$). On peut retenir

$$\frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \text{ en unités S.I.}$$

Par ailleurs, par troisième loi de Newton, la force exercée par la particule 2 sur la particule 1 est

$$\overrightarrow{F_{1\to 2}} = -\overrightarrow{F_{2\to 1}}$$

La force de Coulomb est attractive si les charges sont de signes opposés, et répulsive si elles sont de même signe.