

- 1.1 Charges électriques
- 1.2 Champ électrique
- 1.3 Énergie et potentiel électrostatiques
- 1.4 Conducteurs en équilibre et condensateurs
- 1.5 Champ d'induction et flux magnétique
- 1.6 Loi d'induction et self inductance

- Revoir les notions de base de l'électromagnétisme

## 1.1 CHARGES ÉLECTRIQUES

### a) Notion de charge électrique

Comme la masse, la **charge électrique** est une grandeur caractéristique de la matière. À l'échelle macroscopique, les corps ne portent habituellement aucune charge totale ; nous disons qu'ils sont **neutres**. En frottant certains corps, ils deviennent chargés. L'expérience montre l'existence de deux types de charge : la charge **positive** et la charge **négative**. Des corps portant des charges de même signe se repoussent et des corps portant des charges de signes opposés s'attirent.

À l'échelle microscopique, les atomes sont formés par des protons positifs, des neutrons neutres et des électrons négatifs. L'électrification par frottement s'explique par le transfert d'électrons d'un corps à un autre. Les interactions des particules chargées sont responsables de la

liaison des électrons aux atomes et des atomes aux atomes pour former les molécules. Elles sont aussi fondamentalement à l'origine des propriétés de la matière macroscopique telles que la cohésion des solides et des liquides, les frottements, l'élasticité, la viscosité etc.

## b) Force de Coulomb

En 1785, Coulomb a réussi à mesurer la force d'interaction de deux petites boules de charges  $q_1$  et  $q_2$  en utilisant une balance de torsion (Fig. 1.1a).

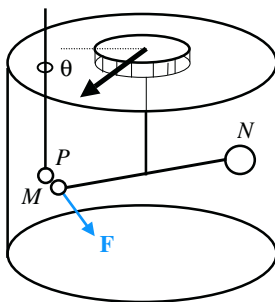
Il a établi que *cette force est dans la direction de la ligne qui les joint, proportionnelle à  $q_1$  et  $q_2$  et inversement proportionnelle au carré de la distance  $r_{12}$  qui les sépare*. Si la charge  $q_1$  est en  $\mathbf{r}_1$  et la charge  $q_2$  est en  $\mathbf{r}_2$  (Fig. 1.1b), la force d'action de  $q_1$  sur  $q_2$  s'écrit sous la forme vectorielle

$$\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} = K_0 q_1 q_2 \frac{\mathbf{e}_{12}}{r_{12}^2} \equiv \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}^3}, \quad \mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1.1)$$

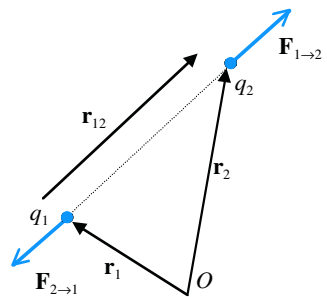
où  $\mathbf{e}_{12}$  est le vecteur unitaire dans la direction  $\mathbf{r}_{12}$ .  $K_0$  est une constante positive. Son remplacement par  $1/4\pi\epsilon_0$  est pour une raison de commodité (système *rationalisé* ou de *Heaviside*). Inversement la charge  $q_2$  agit sur  $q_1$  avec une force

$$\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_{21}}{r_{12}^3} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}^3} = -\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2}$$

où  $\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 = -\mathbf{r}_{12}$ . (1.2)



(a)



(b)

**Figure 1-1** Force de Coulomb : **a)** Dans l'expérience de Coulomb, une charge  $q_1$  est portée par une boule  $P$  fixe et une charge  $q_2$  est portée par une boule  $M$  fixée à l'extrémité d'une tige suspendue à un fil de torsion. L'interaction de ces charges est déterminée en mesurant l'angle de torsion du fil. **b)** Forces d'interaction de deux charges  $q_1$  et  $q_2$  (de même signe dans le cas de la figure).

La loi de Coulomb ressemble à la loi d'attraction universelle de Newton  $\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} = -Gm_1m_2\mathbf{r}_{12}/r_{12}^3$ . Précisons que ces lois sont valables pour des corps ponctuels ; c'est-à-dire de dimensions négligeables comparées à la distance qui les sépare.

### c) Quantification de la charge électrique

Les expériences (de Millikan, par exemple) montrent qu'à l'échelle microscopique, la charge électrique des particules ne prend pas des valeurs continues mais seulement des multiples entiers ( $0, \pm e, \pm 2e, \pm 3e$  etc.) d'une **charge élémentaire**

$$e = 1,602\,177\,33 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (1.3)$$

Nous disons que la *charge électrique est quantifiée*.



Certaines particules élémentaires (comme le proton) ont une charge  $+e$ , d'autres (comme l'électron) ont une charge  $-e$  tandis que d'autres (comme le neutron) sont neutres. À l'échelle macroscopique, la charge élémentaire est extrêmement petite et, à une très bonne approximation, les charges étendues peuvent être considérées comme une distribution continue de charge.

D'autre part, quand nous parlons de charges ponctuelles, il s'agit soit d'une particule élémentaire, soit d'un objet macroscopique de taille beaucoup plus petite que les distances du système. Dans les solides, les phénomènes électriques sont essentiellement produits par le déplacement des électrons de charge  $-e$  et de masse

$$m_e = 9,109\,382\,6 \times 10^{-31} \text{ kg.} \quad (1.4)$$

Un corps solide devient chargé en gagnant ou en perdant des électrons. Les atomes deviennent alors des ions immobiles. Dans les liquides, les molécules se divisent en deux ions de charges opposées et qui sont plus ou moins mobiles.

### d) Conservation de la charge électrique

L'expérience montre que l'électron et le proton sont stables. Il n'est pas possible de les détruire et leur charge ne varie pas au cours du temps. La charge électrique des particules ne dépend pas de leur vitesse, même si elle est proche de la vitesse de la lumière  $c$ , ou des conditions physiques telles que la température, la pression etc.