

Université Internationale de Casablanca

Génie Electrique

***Electromagnétisme
des milieux***

A, ABOULOIFA

Plan du cours

- **ch.1** *Introduction*
- **ch.2** *Vecteurs et champs*
- **ch.3** *Champ et Potentiel électrostatiques*
- **ch.4** *Champ Magnétique*
- **ch.5** *Induction électromagnétique*
- **ch.6** *Propagation des ondes électromagnétiques*

Chapitre 1: Introduction

1.1 *Charges électriques*

1.2 *Loi de Coulomb*

1.3 *Champs*

1.4 *Charges dans la matière: conducteurs / isolants*

1.1 Charges électriques

- Nous savons aujourd'hui que beaucoup des propriétés physiques et chimiques de la matière, de l'atome au solide et à la matière vivante, sont liées aux « **forces électriques** », c'est à dire aux interactions entre
- « **charges électriques** ». L'électrisation des corps à longtempes été perçue comme un phénomène extraordinaire et sujet de nombreuses controverses (*existence ou non de l'éther?*). Sa compréhension, ainsi que celle du lien entre électricité et



- J.C. Maxwell donna une description synthétique de l'**électromagnétisme**, et des physiciens et chimistes du début du XX^e siècle élucidèrent la nature atomique de la matière.

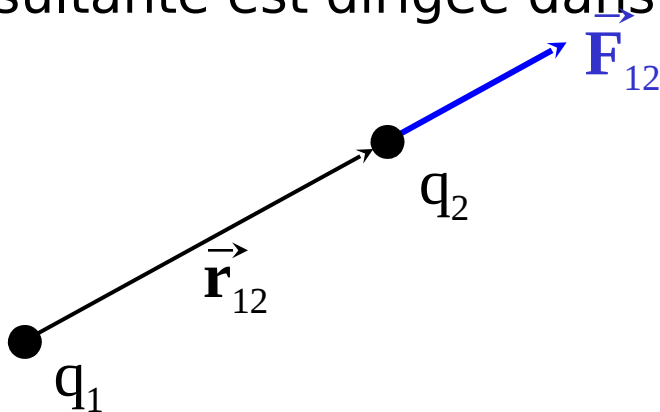
1.1 Charges électriques

- La **charge électrique**, comme la masse, est une propriété de la matière. Deux corps « chargés » interagissent, soit en « **s'attirant** » soit en « **se repoussant** ». Ceci a conduit à séparer les particules chargées en deux catégories, les charges « **positives** » et « **négatives** ». Deux corps qui se repoussent appartiennent à la même classe.
- La charge électrique est une **propriété des particules élémentaires**. Elle est **conservée** et **quantifiée**. La charge « $-e$ » est la charge de l'électron, où la valeur de « e » est voisine de $1.602e^{-19}$.

La charge électrique totale d'un système isolé reste toujours constante. Elle est donnée par la somme algébrique des charges positives et négatives des particules élémentaires constituant le système à un instant donné.

1.2 Loi de Coulomb

- De façon similaire à la gravité, la **force s'exerçant entre deux corps stationnaires chargés**, de charges respectives q_1 et q_2 est **proportionnelle au produit des charges** $q_1 q_2$ et **inversement proportionnelle au carré de la distance** séparant les deux charges. La force est parallèle au segment joignant les deux charges et **orientée**, compte tenu du signe des charges. Il s'agit de la **loi de Coulomb**. La force de Coulomb **agit à distance**.
- Nous devons donc calculer la force (vecteur) s'exerçant par la particule **1** sur la particule **2** en se référant au vecteur \vec{r}_{12} qui va de **1** à **2** (ou vice versa). Si les deux charges sont de même signe, les particules se repoussent et la force résultante est dirigée dans le même sens que \vec{r}_{12} .



$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

- Dans le système international (SI), les charges s'expriment en *Coulombs* (C) et les distances en *mètres*. La constante k vaut $8.9875 \cdot 10^9$ (SI). Elle vaut 1 dans le système d'unité CGS (système d'unités « électrostatiques » qui fixe les dimensions de la charge électrique et la valeur de l'unité de charge en fonction d'autres grandeurs fondamentales). Nous essaierons, dans la mesure du possible, de nous limiter au système international d'unités.
- Plus loin dans ce cours où dans votre progression dans le monde de l'électromagnétisme (et de la relativité), la constante de proportionnalité k est mise sous la forme:

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

- ϵ_0 est appelée ***permittivité du vide*** et vaut $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ (SI)

1.3 Champs

Si nous considérons que la charge q_1 est une « charge test », et que la charge q_2 (ou toute autre répartition de charges autres que q_1) est la « source » de la force électrostatique agissant sur la charge test située à la position \mathbf{r} , alors la force agissant sur la charge test peut s'écrire:

$$\vec{\mathbf{F}} = q_1 \frac{kq_2}{|\vec{\mathbf{r}}_{12}|^2} \frac{\vec{\mathbf{r}}_{12}}{|\vec{\mathbf{r}}_{12}|} = q_1 \mathbf{E}(\vec{\mathbf{r}})$$

Dès lors qu'il n'y a plus ambiguïté entre la charge « test » (système considéré) et les charges « sources » (système extérieur), l'indice sur la charge test peut être enlevé et la force s'exerçant sur la charge test s'écrit:

$$\vec{\mathbf{F}}(\vec{\mathbf{r}}) = q \mathbf{E}(\vec{\mathbf{r}})$$

$\mathbf{E}(\vec{\mathbf{r}})$ est le **champ électrique** (champ de vecteur électrique). Il règne en tous points de l'espace. **Il agit localement sur la charge test.**

Nous ne l'aborderons qu'à peine dans ce cours (cf. cours ondes et particules ou ouvrages de référence), mais dès lors que des charges sont en « mouvement rapide », il faut tenir compte des **effets relativistes** (relativité ou interdépendance des distance et du temps, de la masse apparente et de l'énergie).

La conséquence de **charges sources en mouvement**, est qu'elles exercent sur une charge test, elle même en mouvement, une force supplémentaire. Le champ agissant sur la charge test possède alors une composante supplémentaire - qui donne naissance à la **force de Lorentz**. Il s'agit du **champ magnétique B**. La théorie montre qu'il y a une relation entre E et cB pour l'amplitude de l'effet des champs électrique et magnétique où c est la vitesse de la lumière (effet de B beaucoup plus faible que l'effet de E).

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$$

force colinéaire à \vec{E}

force perpendiculaire à \vec{v} et \vec{B}

1.4 Charges dans la matière: conducteurs / isolants

Dans la matière, les charges électriques peuvent être « libres » (ou quasiment), ou alors « liées » (électron lié à un ion, particule chargée adsorbée, etc.). On distingue au point de vue du comportement électrique trois états de la matière: **conducteur** (ou métallique), **semi-conducteur** et **isolant** (ou diélectrique), dont la présentation relève du cadre d'un cours de physique du solide.

conducteur: dans un conducteur (électronique ou ionique) des charges électriques q à une certaine concentration n (nombre par unité de volume) sont libres (plus ou moins) de se mouvoir sous l'action d'un champ électrique \mathbf{E} . Elles acquièrent alors une vitesse \mathbf{v} proportionnelle au champ (**loi d'Ohm**): $\mathbf{v} = \mu_q \mathbf{E}$. La quantité μ_q s'appelle la mobilité électrique.

Le produit $\vec{n} q \vec{v}$ a la dimensions d'un courant (débit de charges par unité de temps) divisé par une surface. On parle alors de densité de courant \mathbf{j} « **de conduction** ».

$$\vec{\mathbf{j}} = n q \vec{\mathbf{v}} = n q \mu_q \vec{\mathbf{E}} = \sigma \vec{\mathbf{E}}$$

1.4 Charges dans la matière: conducteurs / isolants

à une $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ donne : $\mathbf{j} =$

dimension:

Or pour un conducteur de section S et de

longueur L on a:

$$R = \rho \frac{L}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} \quad \text{et} \quad U = LE = RI = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} jS \quad \text{soit} \quad U = RI \Leftrightarrow j = \sigma E$$

isolant: dans un isolant, les charges électriques ne peuvent bouger sous l'action d'un champ électrique, **que d'une toute petite distance** autour des « attracteurs » auxquels elles sont liées par une force de rappel (qui les empêche de se déplacer librement).

Aucun courant continu ne peut ainsi être généré et seuls les « déplacements » infimes des charges liées, *où les barycentres des charges positives et négatives ne coïncident pas tout le temps* peuvent donner naissance à un « **courant de polarisation** » en régime variable dans le temps (e.g. alternatif) .

En résumé:

- dans l'univers il y a des **charges électriques** qui interagissent entre elles.
- des charges **en mouvement** génèrent des **courants électriques**.
- ces charges engendrent des **champs électrique et magnétique**.
- toutes ces grandeurs, plus quelques **constantes fondamentales** (c , e_0 , m_0), sont reliées entre elles par un **ensemble cohérent d'équations** :

la théorie électromagnétique

structure & propriétés de la matière (*physique, chimie, vivant...*)

électrotechnique : production & acheminement d'énergie,

conversion énergie mécanique \leftrightarrow

télécommunication : stockage et transmission de l'information