

Fiche de cours Interactions fondamentales et champs

R. RINGUET · 2026 - 2027

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 CHARGE ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRISATION

Définition. La **charge électrique** q d'un corps, en coulombs (C), mesure son excès ou son défaut d'électrons. Elle est **quantifiée** : $q = \pm N e$, où N est un entier et $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C est la **charge élémentaire**. Un corps qui *perd* des électrons se charge positivement, un corps qui en *gagne* se charge négativement.

Propriété — conservation. Lors d'une électrisation, les charges ne sont ni créées ni détruites : elles sont *transférées*. Trois modes : par **frottement** (transfert d'électrons entre deux isolants), par **contact** (partage des charges), par **influence** (un corps chargé approché d'un corps neutre y déplace les charges : la face proche porte la charge *opposée*, d'où une attraction, sans transfert).

2 LOI DE COULOMB

Théorème. Deux charges ponctuelles q_A et q_B , distantes de d , exercent l'une sur l'autre des forces opposées, de même direction (la droite AB) et de même valeur

$$F = k \frac{|q_A q_B|}{d^2}, \quad \vec{F}_{A/B} = k \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

avec $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$, F en N, q en C, d en m ; $\vec{u}_{AB}$ est le vecteur unitaire orienté de A vers B. Deux charges de *même* signe se repoussent ($q_A q_B > 0$), de signes *contraires* s'attirent.

3 LOI DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE

Théorème. Deux corps ponctuels de masses m_A et m_B , distants de d , s'attirent *toujours* avec la force

$$F = G \frac{m_A m_B}{d^2}, \quad \vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

avec $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$. La loi s'applique aussi à des corps à répartition sphérique de masse, d étant la distance entre les *centres*.

Remarque. Les deux lois ont la même forme en $1/d^2$ et les forces sont opposées deux à deux. Mais la gravitation est toujours attractive et *extrêmement* faible : dans l'atome d'hydrogène, la force électrostatique est environ 2×10^{39} fois plus grande que la force gravitationnelle. La gravitation ne domine qu'à l'échelle astronomique, car les astres sont électriquement *neutres*.

4 CHAMP DE GRAVITATION ET CHAMP ÉLECTROSTATIQUE

Définition. Un **champ** associe à chaque point de l'espace la valeur d'une grandeur. Une masse ou une charge modifie l'espace autour d'elle : un corps placé en un point y subit alors une force.

$$\vec{F} = m \vec{g} \quad (\text{champ de gravitation, en } \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}); \quad \vec{F} = q \vec{E} \quad (\text{champ électrostatique, en } \text{V}\cdot\text{m}^{-1})$$

Propriété. Un astre de masse M crée, à la distance d de son centre, un champ de valeur $\mathcal{G} = G \frac{M}{d^2}$, dirigé vers son centre ; à sa surface, $\mathcal{G} = G M / R^2$. Au voisinage du sol, le champ de pesanteur $\vec{g}$ est assimilé à $\vec{G}$ et le poids s'écrit $\vec{P} = m \vec{g}$.

Propriété. Une charge ponctuelle Q crée, à la distance d , un champ de valeur $E = k \frac{|Q|}{d^2}$, porté par la droite qui joint Q au point, fuyant Q si $Q > 0$, dirigé vers Q si $Q < 0$. La force subie par une charge q est de même sens que $\vec{E}$ si $q > 0$, de sens opposé si $q < 0$.

Définition. Une **ligne de champ** est une courbe *tangente* en chacun de ses points au vecteur champ et orientée dans son sens. Les lignes ne se croisent pas ; elles sont d'autant plus resserrées que le champ est intense.

Propriété — champ uniforme. Entre les armatures planes et parallèles d'un **condensateur plan** soumises à la tension U et distantes de d , le champ est **uniforme** (même direction, même sens, même valeur en tout point, lignes de champ parallèles) :

$$E = \frac{U}{d} \quad (U \text{ en V, } d \text{ en m, } E \text{ en } \text{V}\cdot\text{m}^{-1})$$

$\vec{E}$ est perpendiculaire aux armatures et dirigé de l'armature *positive* vers l'armature *négative*.

■ DONNÉES — Valeurs de référence

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ • $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$ • $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ • $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ • Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6\,371 \text{ km}$ • $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Relier la charge d'un corps au nombre d'électrons transférés; interpréter une électrisation par frottement, contact ou influence.
- Calculer la valeur d'une force électrostatique ou gravitationnelle et la représenter à une échelle donnée.
- Comparer les deux interactions pour un même couple de particules et conclure sur celle qui domine.
- Calculer et représenter le champ créé par une masse ou par une charge ponctuelle; caractériser une ligne de champ.
- Exploiter $E = U/d$ dans un condensateur plan et déterminer la force subie par une particule chargée.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — loi de Coulomb

$q_A = +2,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ et $q_B = -3,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ sont distantes de $d = 6,0 \text{ cm}$. Les charges étant de signes contraires, l'interaction est *attractive* et $F = 9,0 \times 10^9 \times \frac{2,0 \times 10^{-8} \times 3,0 \times 10^{-8}}{(6,0 \times 10^{-2})^2} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ N}$, valeur commune aux deux forces. Si d est triplée, F est divisée par 9.

★ EXEMPLE — champ de gravitation au sol

$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(6,371 \times 10^6)^2} = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$: la valeur mesurée de g au sol. Le poids d'une sonde de 480 kg vaut alors $P = m g = 4,71 \times 10^3 \text{ N}$.

★ EXEMPLE — champ d'une charge ponctuelle

Une charge $Q > 0$ de valeur $2,0 \text{ nC}$, placée en O, crée en M, à $d = OM = 3,0 \text{ cm}$, un champ $E_M = 9,0 \times 10^9 \times \frac{2,0 \times 10^{-9}}{(3,0 \times 10^{-2})^2} = 2,0 \times 10^4 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, dirigé de O vers M. En un point N deux fois plus éloigné de O, $E_N = E_M/4 = 5,0 \times 10^3 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$.

★ EXEMPLE — condensateur plan

$U = 600 \text{ V}$ et $d = 4,0 \text{ cm}$ donnent $E = U/d = 1,5 \times 10^4 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, champ uniforme dirigé de la plaque + vers la plaque -. Un électron y subit $F = |q| E = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,5 \times 10^4 = 2,4 \times 10^{-15} \text{ N}$, de sens *opposé* à $\vec{E}$. Son poids, $P = m_e g = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$, est environ 3×10^{14} fois plus petit : il est négligeable.

✗ PIÈGES

- Oublier le carré de la distance, ou garder les distances en centimètres : d doit être en mètres.
- Écrire une force gravitationnelle répulsive : la gravitation est toujours attractive, seul le signe des charges peut changer le sens d'une force électrostatique.
- Confondre force et champ : $\vec{E}$ existe même sans charge en ce point ; $\vec{F} = q \vec{E}$ dépend, elle, de la charge placée là.
- Croire que $\vec{F}$ a toujours le sens de $\vec{E}$: pour une charge *négative*, les deux vecteurs sont opposés.
- Utiliser $E = U/d$ hors d'un champ uniforme, ou oublier que d est la distance *entre les armatures*, pas la position du point.