Électrostatique

Résumés renforcés des 7 chapitres
Cours + formules + applications résolues + compléments de recherche

Mode d'emploi

Ce document est un outil de révision construit à partir de tes supports d'électrostatique : charge et interaction, champ et potentiel, théorème de Gauss, dipôle, énergie, conducteurs en équilibre et condensateurs. Chaque chapitre contient : un résumé, un encadré de formules, 5 applications avec énoncé résolues ligne par ligne, et les remarques sur les supports.

Les encadrés jaunes signalent des coquilles ou précisions. Les encadrés verts apportent des compléments issus de cours universitaires en ligne (sources en dernière page). Les vecteurs sont notés avec une flèche (**E**), les modules sans flèche (E).

Sommaire

- **Chap. 1** Charge et interaction électrostatique (loi de Coulomb)
- **Chap. 2** Champ et potentiel électrostatiques
- **Chap. 3** Théorème de Gauss
- **Chap. 4** Le dipôle électrostatique
- **Chap. 5** Énergie électrostatique
- **Chap. 6** Conducteurs en équilibre
- **Chap. 7** Condensateurs
- **Annexe** Constantes, mémo, remarques sur les supports, sources

Double.N

Chapitre 1 : Charge et interaction électrostatique

1. Résumé

- La **charge électrique** est une grandeur scalaire algébrique qui caractérise les actions électromagnétiques subies ou exercées par une particule. Deux classes : deux charges de même signe se repoussent, de signes contraires s'attirent.
- **Quantification** (Millikan) : toute charge est un multiple entier de la charge élémentaire e = $1{,}602.10^{-19}$ C. Électron : $-e$; proton : $+e$; neutron : 0. Unité : le coulomb (1 C = 1 A · 1 s ≈ $6{,}25.10^{18}$ e).
- **Conservation et invariance** : la charge totale d'un système isolé est constante, et sa valeur ne dépend pas de la vitesse (invariant relativiste).
- **Charge ponctuelle** : corps chargé dont les dimensions sont négligeables devant les distances d'interaction.
- **Loi de Coulomb** (charges ponctuelles, au repos, dans le vide) : force proportionnelle à $q_1 q_2$, inversement proportionnelle à r^2, dirigée suivant la droite qui joint les charges. Attractive si $q_1 q_2 < 0$, répulsive si $q_1 q_2 > 0$.
- **Principe de superposition** : la force exercée sur une charge par plusieurs autres est la somme vectorielle des forces exercées par chacune.
- **Dans un milieu** linéaire homogène isotrope, on remplace ε_0 par $\varepsilon = \varepsilon_0\, \varepsilon_r$ (ε_r : permittivité relative, sans dimension, ≈ 1 pour l'air et ≈ 80 pour l'eau).
- **Analogie avec la gravitation** : même forme en $1/r^2$, mais la gravitation est toujours attractive et, à l'échelle atomique, négligeable devant la force électrique.

Formules clés (encadré)

Loi de Coulomb	$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1\, q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$
Action - réaction	$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$
Constante	$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9.10^9\ \mathrm{N{\cdot}m^2{\cdot}C^{-2}}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12}\ \mathrm{F{\cdot}m^{-1}}$
Superposition	$\vec{F} = \sum_i \frac{q\, q_i}{4\pi\varepsilon_0\, r_i^2} \vec{u}_i$
Gravitation	$\vec{F}_g = -G \frac{m_1\, m_2}{r^2} \vec{u}_{12}$

Double.N

2. Applications résolues

Application 1

Énoncé	Calculer la force électrostatique entre le proton et l'électron de l'atome d'hydrogène ($r = 5{,}3.10^{-11}$ m) et la comparer à la force de gravitation ($G = 6{,}67.10^{-11}$ SI, $m_e = 9{,}11.10^{-31}$ kg, $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg).
Formule	$F_e = K\,\dfrac{e^2}{r^2}$; $F_g = G\,\dfrac{m_e\,m_p}{r^2}$
A.N.	$F_e = 9.10^9 \times \dfrac{(1{,}602.10^{-19})^2}{(5{,}3.10^{-11})^2} = 8{,}2.10^{-8}$ N
A.N.	$F_g = 6{,}67.10^{-11} \times \dfrac{9{,}11.10^{-31} \times 1{,}67.10^{-27}}{(5{,}3.10^{-11})^2} = 3{,}6.10^{-47}$ N
Rapport	$\dfrac{F_e}{F_g} = \dfrac{8{,}2.10^{-8}}{3{,}6.10^{-47}} = 2{,}3.10^{39}$
Résultat	**la force électrique est environ 10^{39} fois plus grande : la gravitation est négligeable à l'échelle atomique**

Application 2

Énoncé	Dans le modèle de Bohr, l'électron décrit un cercle de rayon $r = 5{,}3.10^{-11}$ m autour du proton. Calculer sa vitesse.
Formule	force centripète : $F_e = m_e\,\dfrac{v^2}{r}$ avec $F_e = K\,\dfrac{e^2}{r^2}$
Calcul	$v^2 = \dfrac{K\,e^2}{m_e\,r} \Rightarrow v = e\,\sqrt{\left(\dfrac{K}{m_e\,r}\right)}$
A.N.	$v^2 = \dfrac{9.10^9 \times (1{,}602.10^{-19})^2}{9{,}11.10^{-31} \times 5{,}3.10^{-11}} = 4{,}8.10^{12}$ m²·s^{-2}
Résultat	**$v = 2{,}2.10^6$ m/s (environ 0,7 % de la vitesse de la lumière)**

Application 3

Énoncé	Trois charges alignées : $q_1 = +4$ µC en $x = 0$; $q_2 = -4$ µC en $x = 0{,}2$ m. Calculer la force résultante sur $q_0 = +1$ µC placée au milieu ($x = 0{,}1$ m).
Formule	$F = K\,\dfrac{\lvert q_i \rvert\, q_0}{r^2}$ par charge ; puis somme vectorielle
q_1 sur q_0	même signe ⇒ répulsion (vers +x) : $F_1 = 9.10^9 \times \dfrac{4.10^{-6} \times 10^{-6}}{0{,}1^2} = 3{,}6$ N
q_2 sur q_0	signes contraires ⇒ attraction (vers +x) : $F_2 = 3{,}6$ N
Somme	$F = F_1 + F_2 = 3{,}6 + 3{,}6 = 7{,}2$ N
Résultat	**F = 7,2 N dirigée suivant +x (de q_1 vers q_2)**

Double.N

2. Applications résolues

Application 1

Énoncé	Calculer la capacité d'une sphère conductrice de rayon R = 10 cm, puis celle de la Terre (R = 6370 km).
Formule	$C = 4\pi\varepsilon_0 R = \frac{R}{K}$ avec $K = 9.10^9$
A.N.	$R = 0{,}1$ m : $C = \frac{0{,}1}{9.10^9} = 1{,}1.10^{-11}$ F = 11 pF
A.N.	Terre : $C = \frac{6{,}37.10^6}{9.10^9} = 7{,}1.10^{-4}$ F
Résultat	**C = 11 pF pour la petite sphère ; C ≈ 710 µF pour la Terre**

Application 2

Énoncé	Une sphère conductrice de rayon R = 10 cm porte Q = 10 nC. Calculer son potentiel, sa densité de charge, le champ à sa surface et la pression électrostatique.
Potentiel	$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} = \frac{9.10^9 \times 10^{-8}}{0{,}1} = 900$ V
Densité	$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{10^{-8}}{4\pi \times 0{,}01} = 7{,}96.10^{-8}$ C/m²
Champ	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{7{,}96.10^{-8}}{8{,}854.10^{-12}} = 9{,}0.10^3$ V/m
Pression	$p = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \frac{(7{,}96.10^{-8})^2}{2 \times 8{,}854.10^{-12}} = 3{,}6.10^{-4}$ Pa
Vérification	$E = \frac{V}{R} = \frac{900}{0{,}1} = 9.10^3$ V/m ✓

Application 3

Énoncé	Deux sphères conductrices de rayons R_1 = 5 cm et R_2 = 10 cm, très éloignées, sont reliées par un fil fin. La charge totale est Q = 30 nC. Calculer la charge portée par chaque sphère, le potentiel commun et le rapport des densités de charge.
Condition	reliées par un fil ⇒ même potentiel : $\frac{Q_1}{R_1} = \frac{Q_2}{R_2}$ et $Q_1 + Q_2 = Q$
A.N.	$Q_1 = Q\,\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 30 \times \frac{5}{15} = 10$ nC ; $Q_2 = 20$ nC
Potentiel	$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 (R_1 + R_2)} = \frac{9.10^9 \times 3.10^{-8}}{0{,}15} = 1{,}8.10^3$ V
Densités	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{Q_1 R_2^2}{Q_2 R_1^2} = \frac{R_2}{R_1} = 2$
Résultat	**la plus petite sphère a la plus grande densité (pouvoir des pointes)**

Double.N