5. Électromagnétisme

EM1 Sources de champ électromagnétique

Description microscopique et mésoscopique des sources	
Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.	Exprimer la densité volumique de charge ρ et le vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}$ en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique. Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}$.
Conservation de la charge	
Équation locale de conservation de la charge.	Établir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation (admise) en géométrie quelconque utilisant l'opérateur divergence, son expression étant fournie. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}$ en régime stationnaire ; relier cette propriétéé à la loi usuelles des noeuds de l'électrocinétique.

Conduction électrique dans un conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale. Conductivité électrique.	Établir l'expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau étant décrite par une force de frottement fluide linéaire. Discuter de l'influence de la fréquence sur la conductivité électrique. Établir l'expression de la résistance d'une portion de conducteur filiforme.
Effet Hall.	Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie parallélépipédique.

Densité volumique de charge : $\rho(M,t) = \dfrac{\delta q_M}{\mathrm{d}\tau_M}$

Vecteur densité de courant électrique : $\overrightarrow{j_{elec}} = q\, n_P\, \overrightarrow{v_{moy}} = \rho_{cond}\, \overrightarrow{v_{moy}}$

Intensité du courant électrique à travers $\mathcal{S}$: $I_{\mathcal{S}}(t) = \iint_{M\in\mathcal{S}} \overrightarrow{j_{elec}}(M,t)\cdot \mathrm{d}\overrightarrow{S}_M$

Équation locale de conservation de la charge :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathrm{div}\,(\overrightarrow{j_{elec}}) = 0$$

Modèle de Drüde : force de frottement type visqueux $\overrightarrow{f} = -\dfrac{m}{\tau}\overrightarrow{v}$, interprétation de τ, ordre de grandeur.
Introduction d'une conductivité électrique $\gamma = \dfrac{n_p q^2 \tau}{m_p}$

Loi d'Ohm locale, résistance d'un conducteur ohmique filiforme.
Aspect énergétique, densité volumique de puissance $p_V(M,t) = \overrightarrow{j_{elec}}\cdot\overrightarrow{E}$.

Description qualitative de l'effet Hall. Régime stationnaire dans une configuration parallélépipédique, tension de Hall :

$$U_H = \frac{1}{n_p e}\frac{1}{h} IB.$$

EM2 Électrostatique

Champ électrostatique	
Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques créés par une charge ponctuelle. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique et le potentiel créés par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.
Propriétés du champ électrostatique	
Symétries.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ créé.
Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Équations locales.	Relier l'existence d'un potentiel électrostatique à la nullité du rotationnel du vecteur champ électrostatique. Justifier l'orthogonalité des lignes de champ avec les surfaces équipotentielles et leur orientation dans le sens des potentiels décroissants.
Théorème de Gauss et équation locale de Maxwell-Gauss.	Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss.
Lignes de champ électrostatique. Équipotentielles.	Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ électrostatique. Repérer, sur une carte de champ électrostatique, d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme du champ électrostatique à l'évasement des tubes de champ loin des sources. Relier équipotentielles et lignes de champ électrostatique. Évaluer la norme du champ électrostatique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.

Loi de Coulomb : $\overrightarrow{F}_{1\to 2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\overrightarrow{u}_{1\to 2}$

Champ et potentiel créés par une charge q placée en O :

$$\overrightarrow{E}(P) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\frac{\overrightarrow{OP}}{OP^3} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\overrightarrow{u}_r.$$

$$V(P) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Champ et potentiel créés par une distribution de charges :

$$\overrightarrow{E}(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\iiint_{M\in\mathcal{V}} \rho(M)\frac{\overrightarrow{MP}}{MP^3}\mathrm{d}\tau_M$$

$$V(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\iiint_{M\in\mathcal{V}} \frac{\rho(M)}{MP}\mathrm{d}\tau_M$$

$\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,(V)$ en statique. Le rotationnel d'un champ n'a pas encore été introduit !

Définition des lignes de champ et des surfaces équipotentielles. Position relative, orientation des lignes de champ.

Équation de Maxwell-Gauss : $\mathrm{div}\,(\overrightarrow{E}) = \dfrac{\rho}{\epsilon_0}$

Principe de Curie. Invariances et plans de symétrie pour une distribution de charges. Conséquences sur le champ électrostatique.

Théorème de Gauss : **le flux du champ électrostatique créé par une distribution de charges $\mathcal{D}$, à travers une surface fermée $(\mathscr{S})$, est égal à la charge de $\mathcal{D}$ située à l'intérieur de $(\mathscr{S})$ sur ϵ_0 :**

$$\Phi = \oiint_{M\in\mathscr{S}} \overrightarrow{E}(M)\cdot\overrightarrow{dS_M} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}.$$