PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE
Semaine du 08/02 au 13/02

EM1 b - Champ électrostatique crée par une distribution de charge
Tout exercice sur le sujet.

EM2 - Potentiel électrostatique. Conducteur à l'équilibre électrostatique. (cours+exercices)
– Circulation du champ électrostatique : on constate que la circulation du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle est conservative. Le théorème de superposition permet de généraliser cette propriété à un champ créé par une distribution de charges quelconque.
– La loi de Maxwell-Faraday $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ devient, dans le cas **statique** :

$$\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = \vec{0}$$

Cette loi traduit localement le fait que $\vec{E}$ soit à circulation conservative. On peut alors poser

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V$$

on a ainsi

$$\int_A^B \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = V(A) - V(B)$$

Connaître l'expression de $\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V$ dans quelques géométries simples :

- Géométrie 1D axiale : $V = V(x)$ $\vec{E}(x) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}x}\vec{u}_x$
- Géométrie 1D radiale cylindrique $V = V(r)$ $\vec{E}(r) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}r}\vec{u}_r$
- Géométrie 1D radiale sphérique $V = V(r)$ $\vec{E}(r) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}r}\vec{u}_r$

– Expression du potentiel électrostatique crée par une charge ponctuelle, puis par une distribution volumique, surfacique ou linéique de charges de dimension finie (avec $V = 0$ à l'infini).
– $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow$ les lignes de champs ne se referment pas sur elles-mêmes.
– $\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V \Rightarrow$ les lignes de champs sont perpendiculaires aux surfaces isopotentielles et orientées vers les valeurs du potentiel décroissantes.
– Le potentiel $V(M)$ possède les mêmes symétries que la distribution de charges qui le crée.
– Calcul du potentiel crée par
• un plan infini uniformément chargé
• un fil infini uniformément chargé
• une sphère uniformément chargée en volume
• une sphère uniformément chargée en surface
– Savoir que l'énergie potentielle d'une charge q placée dans un champ électrostatique dérivant du potentiel V vaut :

$$E_p = qV$$

– Conducteur à l'équilibre électrostatique :
• dans un conducteur à l'équilibre électrostatique $\vec{E} = \vec{0}$, $\rho = 0$. Si le conducteur est chargé alors les charges se répartissent à la surface du conducteur.
• $V = cte$ dans tout le volume du conducteur. Les lignes de champ électrique sont donc normales à la surface et le champ électrostatique infiniment près de la surface vaut

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{n} \quad \text{(Théorème de Coulomb)}$$

– Cavité dans un conducteur : cage de Faraday
– Capacité d'un conducteur seul dans l'espace. Cas d'un conducteur sphérique. Effet de pointe.
– Condensateur : influence totale entre deux conducteurs. Capacité d'un condensateur.
– Calcul de la capacité d'un condensateur sphérique et d'un condensateur cylindrique assimilé à un cylindre infini.
– Calcul de la capacité d'un condensateur plan (si on néglige les effets de bord) :

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{e}$$

– La relation $\mathcal{E} = \frac{1}{2}CU^2$, ainsi que la relation $U = Ee$, permet d'établir dans ce cas particulier l'expression de la densité volumique d'énergie électrostatique :

$$e_m = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

Électrostatique du vide	
Équation de Maxwell Faraday de la statique	Énoncer l'équation de Maxwell Faraday de la statique et justifier l'existence du potentiel électrostatique.
Conducteur en équilibre électrostatique	Énoncer les propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique. Énoncer le théorème de Coulomb et les relations de passage du champ électrostatique.
Le condensateur	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide en négligeant les effets de bords. Établir l'expression de la capacité linéique d'un condensateur cylindrique dans le vide en négligeant les effets de bords. Définir la notion de densité volumique d'énergie électrique à l'aide de l'exemple du condensateur plan.

EM3 - Conduction électrique (cours)

– Notion de conducteur. Intensité d'un courant électrique.
– Vecteur densité de courant. Savoir calculer le flux du vecteur densité de courant dans le cas de géométrie simples.
– Savoir établir l'équation de conservation de la charge à une dimension :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial j}{\partial x} = 0$$

– Connaître sa généralisation (admise) à 3 dimensions :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j} = 0$$

– Cas particulier du régime stationnaire : en régime stationnaire $\vec{j}$ est à flux conservatif :

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0$$

Conséquence : l'intensité du courant est la même en tout point d'un même fil. Lois des nœuds.
– ARQS (Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires)
– Loi d'Ohm locale

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

– Justification à partir du modèle de Drüde
– Résistance électrique d'un tronçon de conducteur de section S, de longueur L et de résistivité $\rho = 1/\gamma$.
– Analogie avec la conduction thermique
– Aspect énergétique. Connaître l'expression de la densité volumique de puissance cédée par le champ électrique $\vec{E}$ au conducteur :

$$\mathcal{P}_v = \vec{j}.\vec{E} = \gamma E^2 = \frac{j^2}{\gamma}$$

Notions et contenus	**Capacités exigibles**
Courant dans un conducteur	Définir le vecteur densité de courant. Établir l'équation de conservation de la charge à une dimension en régime variable. Énoncer sa généralisation à trois dimensions puis expliquer que le vecteur densité de courant est à flux conservatif en régime stationnaire. Énoncer la loi d'Ohm locale. Expliquer l'effet Joule, définir la résistance électrique dans un conducteur et présenter le lien avec la conduction thermique en régime stationnaire. Exprimer la condition d'application de l'ARQS en fonction de la taille du circuit et de la fréquence des signaux.

EM4a - Effets magnétiques d'un courant de charges (cours)
– Sources de champ magnétiques : aimants, boussoles, champ magnétique terrestre.
– Expérience d'Ørsted : lien entre électrité et magnétisme.
– Quelques ordres de grandeurs de champs magnétiques
– Force de Laplace
– Propriétés de symétrie :
Le champ magnétique vérifie les mêmes propriétés d'invariance par translation et par rotation que la distribution de courant qui le crée.
Si Π est un plan de symétrie pour les courants alors il est plan d'antisymétrie pour le champ magnétique.
Si Π^* est un plan d'antisymétrie pour les courants alors il est plan de symétrie pour le champ magnétique.
Conséquences :

Si M appartient à un plan de symétrie Π pour les courants alors $\vec{B}(M)$ est perpendiculaire à ce plan.

$$\vec{B}(M) \perp \Pi$$

Si M appartient à un plan d'antisymétrie Π^* pour les courants alors $\vec{B}(M)$ est appartient à ce plan.

$$\vec{B}(M) \in \Pi^*$$

– Observation de champs créés par quelques distributions : fil infini, spire, bobines de Helmoltz, solénoïde

Magnétostatique du vide	
Effets magnétiques d'un courant de charges	Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre. Définir la notion de ligne de champ magnétostatique. Énoncer la relation donnant la force de Laplace s'exerçant sur un élément de circuit filiforme parcouru par un courant et placé dans un champ magnétostatique. Identifier les propriétés de symétrie et d'invariance d'une distribution de courant. Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, un fil rectiligne, une spire circulaire, une bobine longue et un tore.

EM4b - Champ magnétostatique créé par des distribution (cours)
– Équations de Maxwell de la magnétostatique :

- équation de Maxwell-Ampère de la statique : $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{B} = \mu_0 \vec{j}$ et sa forme intégrée → théorème d'Ampère.
- équation de Maxwell- flux $\mathrm{div}\,\vec{B} = 0$ et sa forme intégrée → $\vec{B}$ est à flux conservatif.

– Champ magnétique créé par des distributions à géométrie cylindriques :

- Fil infini
- Coaxial