

Semaine du 3 novembre 2025

D1 - Électrostatique

Questions de cours:

- Équations de Maxwell pour le champ électrique. Passage de l'équation de Maxwell-Gauss au théorème de Gauss (à énoncer) à l'aide du théorème de Green-Ostrogradski (théorème à connaître).
Définition du potentiel scalaire électrique (expression de $\vec{E}$ en fonction de V), et démonstration de l'équation de Poisson.
Chaque grandeur doit être nommée à l'oral et son unité précisée.
- Démonstration de la relation $\mathcal{E}_p = qV(M)$. Champ électrique créé par une charge ponctuelle et démonstration de l'expression du potentiel associé.
- Accélérateur de particules : schéma, application de la conservation de l'énergie mécanique d'une particule chargée plongée dans un champ électrique afin de déterminer la vitesse de la particule à la sortie de l'accélérateur.
- Tableau des analogies entre le champ électrique et le champ gravitationnel. Calcul d'un champ gravitationnel simple.
- Structure d'un condensateur plan, définition de la capacité.
Démonstration de l'expression de la capacité d'un condensateur plan.
- **Établir le champ électrique et le potentiel créés par une distribution de charges proposée par l'enseignant soit à l'aide du théorème de Gauss, soit à l'aide de l'équation Maxwell-Gauss.**
- Densité volumique d'énergie électrique, énergie électrique stockée dans l'espace où règne un champ $\vec{E}$.

Savoir faire:

- Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges pour en déduire les propriétés du champ électrique $\vec{E}$ ou du potentiel électrique V .
- Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme de $\vec{E}$ en dehors des sources.
- Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement
- Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
- Énoncer et appliquer l'équation de Maxwell-Gauss
- Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique
- Établir le champ électrique et le potentiel créés par :
 - une charge ponctuelle
 - une distribution de charge à symétrie sphérique
 - une distribution de charge à symétrie cylindrique
- Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charges dans le cas d'une distribution volumique d'épaisseur faible devant l'échelle de description
- Exploiter le principe de superposition pour la force électrique $\vec{F}_{\text{elec}}$, $\vec{E}$, V
- Déterminer l'expression de la capacité d'un condensateur et savoir prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité

F1 - Introduction aux phénomènes de propagation

Questions de cours:

- **Généralités sur les ondes :** définition d'une onde, onde transversale ou longitudinale, onde progressive ou régressive, expression d'une fonction d'onde en fonction de $t \pm \Delta t = t \pm \frac{SM}{c}$, sens physique.

F2 - Onde mécanique sur une corde

Questions de cours:

- **Onde stationnaire** : montrer que la réflexion d'une onde progressive harmonique sur un noeud (corde attachée) conduit à une onde stationnaire harmonique $y(x, t) = y_0 \sin(\omega t + \varphi) \sin(\omega t + \psi)$.
- **Corde fixée à ses deux extrémités** : modélisation, démonstration de la présence de modes propres, fréquences propres, représentation des premiers modes.
- **Résonance de la corde de Melde** : modélisation, démonstration de l'expression des fréquences de résonance.

Savoir faire:

- Savoir déterminer la relation de dispersion à partir de l'E.D.P. régissant l'évolution d'une onde.
- Savoir résoudre l'équation de d'Alembert, comme par exemple avec une excitation sinusoïdale et donc une solution du type $\psi(x, t) = f(x) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t)$.
- Pour un problème donné, savoir choisir la forme adaptée de la solution (OPH ou OPS) en fonction par exemple des conditions limites.
- Savoir déterminer les conditions aux limites : par exemple, application du P.F.D. à une masse fixée au bout d'une corde.
- Après avoir expliqué que la discontinuité du milieu de propagation pour une onde est la source d'une réflexion et transmission partielle de l'onde, savoir écrire les fonctions d'ondes incidente, réfléchie et transmise. En déduire en fonction des propriétés de la discontinuité, les coefficients de réflexion et de transmission.

F3 - Onde électrique dans un câble coaxial

Questions de cours:

- **Onde électrique dans un câble coaxial sans perte** : modèle électrique équivalent d'une portion de câble coaxial, équations de couplage, démonstration de l'équation de propagation pour $v(x, t)$ ou $i(x, t)$, Impédance caractéristique d'un câble coaxial (démonstration, cas d'une OPH+ et d'une OPH-)
- **Coefficients de réflexion et de transmission** : présentation de la situation physique, définition, démonstration de l'expression des coefficients en amplitude en fonction des impédances caractéristiques des deux câbles Z_{c1} et Z_{c2} .

Autres questions possibles non abordées en cours :

- Fréquences propres pour un câble coaxial de longueur L court-circuité à ses deux extrémités.
- Fréquences propres pour un câble coaxial court-circuité à l'une de ses extrémités et ouvert à l'autre.
- Fréquences de résonance pour un câble coaxial alimenté par la tension $e(t) = \widehat{V} \sin(\omega t)$ à l'une de ses extrémités et court-circuité à l'autre.
- Fréquences de résonance pour un câble coaxial alimenté par la tension $e(t) = \widehat{V} \sin(\omega t)$ à l'une de ses extrémités et ouvert à l'autre.

Savoir faire:

- Savoir utiliser le concept d'impédance caractéristique pour passer de $u(x, t)$ à $i(x, t)$ et inversement dans le cas d'onde progressive.
-  Savoir que le concept d'impédance caractéristique n'est pas applicable à une onde stationnaire.
- Connaissant l'expression d'une onde incidente, savoir définir l'expression des ondes réfléchies et transmises créées par une discontinuité du milieu de propagation.
- Savoir définir des coefficients de réflexion et de transmission en amplitude.

F4 - Phénomènes de propagation linéaires : Dispersion - Absorption

Questions de cours:

- **Pseudo-OPH** : expression avec $\underline{k}$ complexe, interprétation de sa partie réelle k' et de sa partie imaginaire k'' (présentation des différents cas). Vitesse de phase et vitesse de groupe, définition des termes suivants : milieu dispersif, atténuation, amplification, absorption d'une onde
- **Superposition de deux ondes de fréquences proches dans un milieu non absorbant et dispersif** : position du problème, hypothèses, expression de l'onde résultante, représentation de l'onde, vitesse de phase v_φ , vitesse de groupe v_g .

- **Paquet d'ondes centré sur une fréquence centrale f_0** : définition, étendue du domaine spectral pour un paquet d'onde de durée finie, relation en ordre de grandeur entre la durée temporelle du paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre.

Savoir faire:

- Savoir déterminer une relation/équation de dispersion $\underline{k} = f(\omega)$.
- Savoir déterminer à partir d'une relation de dispersion les vitesses de phase et de groupe et savoir préciser si le milieu est dispersif.
- Lorsque des raisons physiques le justifient, savoir déterminer une expression simplifiée de $\underline{k}$ à l'aide d'un DL
- Pour des relations de dispersion de type $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{c^2}$ savoir retrouver la relation $v_g \cdot v_\varphi = c^2$.
- Savoir résoudre une équation de diffusion ou une équation de propagation en régime temporel, comme par exemple avec une excitation sinusoïdale et donc une solution du type $T(x, t) = f(x) \cdot \exp(j \cdot \omega \cdot t)$.