1) Exercices : tout sur les ondes électromagnétiques. Réflexion sur un métal parfait. Électromagnétisme dans les métaux, les plasmas. Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude et en énergie. Vitesse de phase et vitesse de groupe.

2) Diffusion thermique **en question de cours uniquement.**

DIFFUSION THERMIQUE. LOI DE FOURIER

I. Flux thermique. Loi de Fourier

- Champ des températures dans un milieu hors équilibre thermique. Définition de la conduction (ou diffusion thermique) : transfert thermique sans mouvement macroscopique, des régions chaudes vers les régions froides.
- Vecteur densité de courant thermique $\overrightarrow{j_Q}$: donne le sens et la direction du transfert thermique en un point M et à t. Il est tel que :

$$\delta^2 Q_M = \overrightarrow{j_Q}(M,t).\overrightarrow{\mathrm{d}S_M}\,\mathrm{d}t \quad \text{et} \quad \delta Q_S = \iint_S \overrightarrow{j_Q}(M,t).\overrightarrow{\mathrm{d}S_M}\,\mathrm{d}t = \phi(\overrightarrow{j_Q}/S)\,\mathrm{d}t$$

$\phi(\overrightarrow{j_Q}/S)$ est le flux thermique à travers S = chaleur traversant S par unité de temps.

- Conventions de signe pour orienter S.
- Loi de Fourier : $\overrightarrow{j_Q}(M,t) = -\lambda\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,T$. Ordres de grandeur de λ (conductivité thermique), disposition de $\overrightarrow{j_Q}$ par rapport aux surfaces isothermes à t, nécessité du signe $-$. Unité de λ.

II. Équation de diffusion thermique

- Énergie interne d'une phase condensée idéale. Énergie interne massique. Capacité thermique massique c.
- Bilans d'énergie (premier principe) appliqués à des tranches de taille mésoscopiques. Équation de diffusion thermique.
  a) coordonnées cartésiennes : $T = T(x,t)$;
  b) coordonnées cylindriques : $T = T(r,t)$;
  c) coordonnées sphériques : $T = T(r,t)$.
- Prise en compte d'un terme source de densité volumique de puissance $p_v(M,t)$.
- Équation générale : $\rho c\,\dfrac{\partial T}{\partial t} = \Delta T + p_v$
- Conditions aux limites (relations de passage) à une interface entre deux solides : continuité de T et de la composante normale de $\overrightarrow{j_Q}$.

III. Conducto-convection

- Phénomène physique à l'interface entre un solide et un fluide. Loi de Newton : $\delta^2 Q = h\,(T_s - T_f)\,\mathrm{d}S\,\mathrm{d}t$. Coefficient de conducto-convection h. Unité.
- Application à une ailette de refroidissement. Rendement (ou efficacité) de l'ailette.
- Conditions au limites (relations de passage) à une interface solide - fluide.

IV. Résistance thermique (régime stationnaire)

- $\overrightarrow{j_Q}$ à flux conservatif.
- Cas de la barre isolée latéralement. Loi d'Ohm thermique. Résistance thermique.
- Analogies entre thermodynamque et électromagnétisme. Grandeurs analogues.
- Associations en série et en parallèles. Schémas électrocinétiques équivalents. Théorèmes ponts diviseurs, loi des nœuds à l'aide des potentiels.
- Résistance thermique de conducto-convection $R_{\mathrm{th}}^{\mathrm{cc}} = \frac{1}{hS}$.

QUESTIONS DE COURS

1. Établir la solution $\overrightarrow{E}(x,t) = Re[\,\underline{f}(x)\exp(-i\omega t)\,\overrightarrow{u_y}\,]$ du champ électrique dans un métal réel occupant le demi espace $x > 0$ et vérifiant $\overrightarrow{E}(0,t) = E_m\cos(\omega t)\,\overrightarrow{u_y}$ en $x = 0$.
2. Définir un plasma et établir la relation constitutive reliant $\overrightarrow{\underline{j}}$ (en précisant toutes les hypothèses de travail) et $\overrightarrow{\underline{E}}$ (en notation complexe et en régime sinusoïdal forcé) avec toutes les hypothèses. En déduire l'expression de la conductivité complexe $\underline{\gamma}$.
3. Définir les vitesses de phase et de groupe. Expliquer la signification de la vitesse de phase et de la vitesse de groupe. Exemples dans un plasma et dans le vide.
4. Définir $\overrightarrow{j_Q}$ et son lien avec la chaleur qui traverse un surface S. Énoncer la loi de Fourier. Donner des ordres de grandeur de λ. Discuter la direction et l'orientation de $\overrightarrow{j_Q}$. Nécessité du signe $-$.
5. Établir des bilans d'énergie (premier principe) sur des tranches mésoscopiques, avec ou sans terme source p_v dans les trois systèmes de coordonnées : cartésienne, cylindrique et sphérique.
6. Énoncer loi de Newton et le contexte de son application. Établir un bilan d'énergie pour une ailette de refroidissement en forme de cylindre en contact avec une paroi solide (température T_P) et l'atmosphère (température T_a), afin d'obtenir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par la température $T(x,t)$ dans l'ailette.
7. Énoncer les conditions aux limites (relations de passage) a) à une interface solide - solide. b) à une interface solide - fluide. Dans le premier cas, démontrer la continuité de la composante normale de $\overrightarrow{j_Q}$.
8. En régime stationnaire, dresser un tableau d'analogies entre la diffusion thermique et l'électromagnétisme, avec les grandeurs analogues. Déterminer la résistance thermique R_{th} d'une barre isolée latéralement, avec $T = T(x)$.
9. Énoncer et démontrer les deux lois d'association des résistances thermiques : en série et en parallèle.