

Isabelle Bricaud : [ibricaud@yahoo.fr](mailto:ibricaud@yahoo.fr)Benoît Malet : [maletbenoit@yahoo.fr](mailto:maletbenoit@yahoo.fr)Pierre Salles : [lycee.salles@laposte.net](mailto:lycee.salles@laposte.net)Valérie Hoornaert : [vhornaert@gmail.com](mailto:vhornaert@gmail.com)Pascal Olive : [psi1montaigne@gmail.com](mailto:psi1montaigne@gmail.com)François Lelong : [psi2phch@gmail.com](mailto:psi2phch@gmail.com)Jérôme Fanieux : [jerome.fanieux@free.fr](mailto:jerome.fanieux@free.fr)**PSI2. PHYSIQUE. Semaine de colle 15, du lundi 19 au vendredi 23 janvier 2026.****Ondes électromagnétiques dans le vide, dans la matière usuelle, dans un métal, dans un plasma, guides d'ondes en exercice.**

En l'absence de charges et de courants, le champ électromagnétique obéit à l'équation de d'Alembert suivantes :

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \quad \Delta \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \vec{0}$$

La forme générale d'une OPPH est en  $\cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})$ , où  $\vec{k}$  est le vecteur d'onde et sa norme  $k = \frac{\omega}{c}$  est le nombre d'onde.  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$  est la périodicité spatiale ou longueur d'onde.  $\vec{k}$  indique la direction et le sens de la propagation de l'onde.

Si on adopte la notation complexe, le champ électromagnétique peut s'écrire :

$$\underline{\vec{E}}(M, t) = \underline{\vec{E}}_0 \cdot \exp[j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})] \quad \underline{\vec{B}}(M, t) = \underline{\vec{B}}_0 \cdot \exp[j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})]$$

$$\underline{\vec{E}}_0 \cdot \vec{k} = 0 \quad \underline{\vec{B}}_0 \cdot \vec{k} = 0 \quad \underline{\vec{E}}_0 \cdot \underline{\vec{B}}_0 = 0$$

Avec une telle écriture, la dérivation temporelle devient une multiplication par  $j\omega$  et le vecteur  $\vec{\nabla}$  devient  $-j\vec{k}$ . Les relations de Maxwell permettent alors de retrouver les propriétés précédentes et en plus la relation générale :  $\underline{\vec{B}} = \frac{\vec{k} \wedge \underline{\vec{E}}}{\omega}$  à connaître.

**REMARQUE :** il existe d'autres solutions que l'OPPH. **Vérifier que l'onde proposée est bien une OPPH avant d'utiliser les propriétés ci-dessus.** Se méfier aussi avant d'écrire  $k = \frac{\omega}{c}$  valable uniquement pour une OPPH dans le vide.

Utilisation des relations de Maxwell pour obtenir toutes la structure électromagnétique à partir de la donnée du champ électrique ( ou magnétique).

**Pour les calculs énergétiques sur  $u_{em}$  ou  $\vec{\Pi}$** , le passage en réel est **OBLIGATOIRE** avant tout calcul.

Polarisation de la lumière. Effet Doppler classique à savoir retrouver .Dualité Onde-Corpuscule. Pression de radiation. Lumière visible.

**Ondes électromagnétiques dans un milieu linéaire transparent.**

Changement par rapport au vide. vitesse de phase et indice optique. Ecriture d'une OPPH dans un milieu d'indice  $n$ .

Liaison avec l'optique géométrique.

**Propagation d'une onde dans un métal.**

Obtention de l'équation de diffusion en négligeant le courant de déplacement devant le courant de conduction. Effet de peau. Obtention de l'épaisseur de peau par analyse dimensionnelle ou par calcul.

Cas limite du conducteur parfait : présence de courants et charges surfaciques à la surface extérieure du métal, champ électromagnétique nul à l'intérieur.

**Réflexion d'une onde sur un métal parfait en incidence normale.**

Existence d'une onde réfléchie, obtention de son expression, onde totale stationnaire. Présence de courants surfaciques et d'une pression de radiation d'origine magnétique. Fin du calcul non faite, pression de radiation par analyse dimensionnelle.

**Notion sur la dispersion temporelle. Vitesses de phase et de groupe. Relation de dispersion.**

**Onde dans un plasma.** Définition d'un plasma (milieu ionisé peu dense), exemple de l'ionosphère.

Conductivité complexe du plasma  $\underline{\gamma} = \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right) \frac{Ne^2}{j\omega}$ .

Relation de dispersion quadratique  $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$ . Relation entre  $c$ ,  $v_g$  et  $v_\phi$  dans le plasma:  $v_g \cdot v_\phi = c^2$

Indice optique inférieur à 1. Aspect filtre passe-haut du plasma. Un plasma est un exemple de milieu dispersif. Notion d'onde évanescence.

Réflexion d'une onde sur l'ionosphère.

**Guides d'ondes.** But du guide d'ondes. Utilisation de 'canalisations' métalliques. Etude d'ondes harmoniques non planes et/ou non-TEM et pour lesquelles on n'a pas  $k = \omega/c$ . Exemples sur exercices d'ondes TE et TM dans des guides d'ondes rectangulaires.