Ondes électromagnétiques dans vide.

OPP :

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} - \dfrac{1}{c^2} \dfrac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \\ \vec{\Delta} \vec{B} - \dfrac{1}{c^2} \dfrac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \vec{0} \end{cases}$$

donc $s = E_x$ ou E_y ou E_z ou B_x ou B_y ou B_z vérifie.

$$\boxed{\Box s = \Delta s - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0}$$

• Solution pour une propagation selon $\vec{u}$ fixe

$$\boxed{s(M,t) = f\left(t - \frac{\vec{OM} \cdot \vec{u}}{c}\right) + g\left(t + \frac{\vec{OM} \cdot \vec{u}}{c}\right)}$$

OPPM :

→
$$\boxed{\begin{aligned} s(M,t) &= A \cos\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM} + \varphi\right) \\ \underline{s}(M,t) &= \underline{A}\, e^{j[\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM}]} \end{aligned}}$$

$\boxed{\vec{k} = \dfrac{\omega}{c} \vec{u}}$ vecteur d'onde.

→ Ondes transversales

→ $\boxed{\vec{B} = \dfrac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}}$ Relation de structure pour une OPP

→ $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$ forment un trièdre direct.

→ $\boxed{B = \dfrac{E}{c}}$

→ Relation de structure pour une OPPM dans $\vec{n}$

$$\boxed{\vec{B} = \frac{\vec{u} \wedge \vec{E}}{c}}$$

Polarisation :

Evolution du champ $\vec{E}$ dans le plan $\perp$ à $\vec{k}$

Pour une OPPM dans vide selon z ↗ ie

$$\vec{E} = \begin{cases} E_{0x} \cos(\omega t - kx) \\ E_{0y} \cos(\omega t - kx + \varphi) \\ 0 \end{cases}$$

On a

$$\frac{E_y}{E_{0y}} = \cos(\omega t - kx)\cos\varphi - \sin(\omega t - kx)\sin\varphi$$

$$\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right) - \frac{E_x}{E_{0x}}\cos\varphi = -\sin(\omega t - kx)\sin\varphi$$

$$\Rightarrow \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2\cos^2\varphi - \frac{2E_xE_y}{E_{0x}E_{0y}}\cos\varphi = \left(1 - \cos^2(\omega t - kx)\right)\sin^2\varphi.$$

$$= \left(1 - \left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2\right)\sin^2\varphi.$$

$$\Rightarrow \boxed{\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - \frac{2E_xE_y}{E_{0x}E_{0y}}\cos\varphi = \sin^2\varphi.}$$

(Eq. générale d'une elipse.)

Cas particuliers :

→ $E_{0x} = E_{0y}$ et $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$ ⇒ polarisation circulaire.

→ $\varphi = 0$ ou π ⇒ polarisation rectiligne.

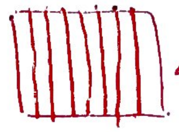
→ $E_{0x} = 0$ ou $E_{0y} = 0$ ⇒ polarisation rectiligne.

sur la polarisation (Pour propagation selon z ↗)

- Elliptique = (Rectiligne selon $\vec{e_x}$) + (Rectiligne selon $\vec{e_y}$)
- Rectiligne = (Circulaire droite) + (Circulaire gauche)

En pratique, l'onde naturelle n'est jamais polarisée, on peut la polariser en utilisant :

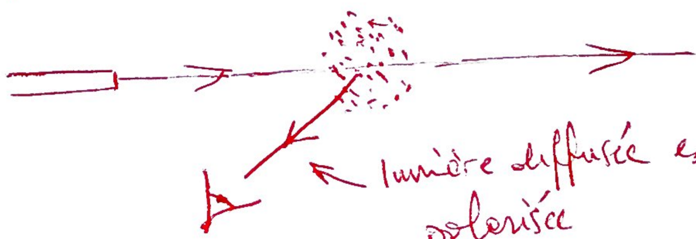
→ Dichroïsme



chaînes de polymère. En les traversant seul le champ ⊥ à la grille passe.

→ Réflexion : l'onde réfléchie est partiellement polarisée.

→ Diffusion :



Sur ce sujet, voir loi de Malus (Polycope indépendant)

Aspect énergétique de l'OPPM pour $\vec{E}(M,t) = E_0 \cos(\omega t - kz + \varphi)\vec{e_x}$

→ $U_{em} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$ or $\|\vec{B}\| = \frac{\|\vec{E}\|}{c}$ donc

$$\boxed{U_{em}(M,t) = \varepsilon_0 E^2(M,t)}$$

$$\boxed{\langle U_{em} \rangle = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2}$$

→

$$\boxed{\vec{\Pi}(M,t) = \frac{1}{\mu_0 c} E^2 \vec{e_z} = \varepsilon_0 c E^2 \vec{e_z}}$$

$$\boxed{\langle \vec{\Pi}(M,t) \rangle = \frac{1}{2}\varepsilon_0 c E_0^2}$$

Rqs ⚠

- Grandeurs énergétiques $\Longrightarrow$ Notation <u>REELLE</u>
- $\vec{\Pi} \parallel \vec{k}$ <u>ie</u> la direction du vecteur de Poynting est celle de la propagation
- Intensité d'une onde E.M :

$$\boxed{I = \| \langle \vec{\Pi} \rangle \|}$$

- $$\boxed{\frac{\langle \vec{\Pi} \rangle}{\langle u_{em} \rangle} = c\vec{e_3}}$$ Vitesse de propagation

- Eq énergétique de Poynting dans vide :

$$\boxed{\operatorname{div} \vec{\Pi} + \frac{\partial u_{em}}{\partial t} = 0}$$