

Production, analyse et utilisation de la polarisation des ondes électromagnétiques

Niveau : L2

Dans le cours précédent, on s'est intéressé à la propagation d'une onde électromagnétique dans le vide avec le modèle de l'onde plane progressive harmonique.

$$\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$$

On a vu que $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$ constituait un trièdre direct donc $\vec{k} \perp \vec{E}$ et $\vec{B} \perp \vec{E}$.

$\vec{E}$ évolue donc dans un plan orthogonal à la direction de propagation de l'onde, mais que dire plus précisément de la direction de $\vec{E}$ ou direction de polarisation?

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_{0x} \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x \\ E_{0y} \cos(\omega t - kz - \Delta\varphi) \vec{u}_y \\ 0 \vec{u}_z \end{pmatrix}$$

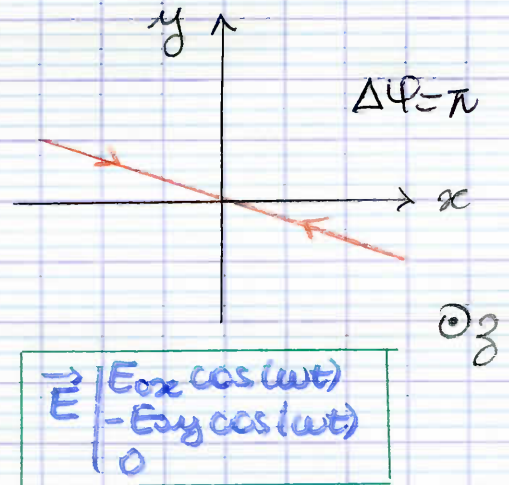
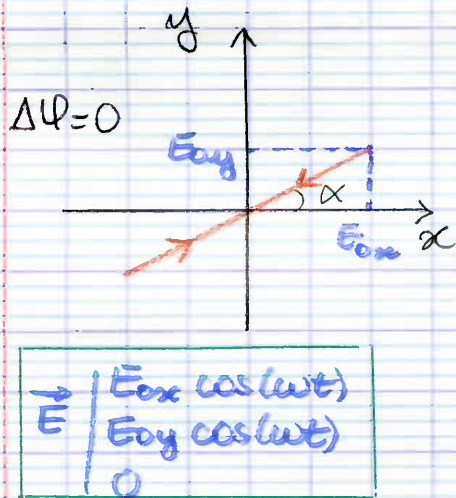
I - Production et analyse d'une lumière polarisée

1) Différents types de polarisation

a) Polarisation rectiligne

$$\cos \Delta\varphi = 0 \text{ ou } \Delta\varphi = \pi$$
$$E_{0x} > E_{0y}$$

Représentation dans le plan $z=0$:



$\tan(\alpha) = \frac{E_y(0,t)}{E_x(0,t)} = \frac{E_{oy}}{E_{ox}}$ indépendant du temps

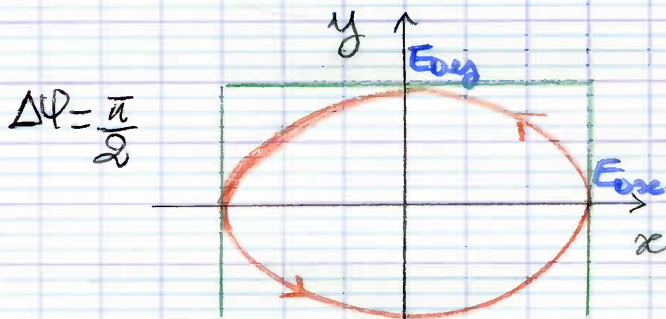
⚠ La direction de $\vec{E}$ est fixe au cours du temps, mais son sens et sa norme évoluent!

Sur slide : cas $E_{oy} = 0$

b) Polarisation elliptique

Cas plus général.

Pour simplifier, on considère $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$.



$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_{ox} \cos(\omega t) \\ E_{oy} \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\left(\frac{E_x(\omega, t)}{E_{ox}} \right)^2 + \left(\frac{E_y(\omega, t)}{E_{oy}} \right)^2 = 1$$

→ équation d'une ellipse

Sens de parcours de l'ellipse:
 Pour un observateur qui voit l'onde arriver à son oeil!

$$\left. \begin{array}{l} \omega t = 0 \rightarrow \vec{E} \begin{vmatrix} E_{0x} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \\ \omega t = \frac{\pi}{2} \rightarrow \vec{E} \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \\ 0 \end{vmatrix} \end{array} \right\} \text{Elliptique gauche (sens trigo)}$$

Si l'ellipse est parcourue dans le sens horaire, on parle de polarisation elliptique droite.

c) Polarisation circulaire

Cas particuliers d'ellipse avec $\begin{cases} E_{0x} = E_{0y} \\ \Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2} \end{cases}$

Comment produire et analyser expérimentalement une polarisation?

2) De nouveaux outils expérimentaux

Une lampe ne fournit en général pas une lumière polarisée, à l'exception de certains LASERS.

Pour produire une lumière polarisée rectilignement on utilise un polariseur plan dichroïque.

Cet élément est constitué de chaînes de polymères qui peuvent être excités selon une direction privilégiée, et donc dissiper de l'énergie électromagnétique. C'est la direction orthogonale qui est passante et constitue la direction de polarisation.

Cet objet s'appellera polariseur ou analyseur selon l'utilisation que l'on en fait dans un montage.

Manip: polariseur et analyseur croisés
Lames à retard (sur slides)

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n \cdot e$$

Δ spécifique à une longueur d'onde

Ici, $\lambda = 560 \text{ nm}$ alors que les filtres interférentiels permettent de travailler à 546 nm .

Manip: production de polarisations rectiligne (axe neutre = axe polariseur), elliptique ou circulaire avec une lame quart d'onde.

3) Synthèse sur l'analyse d'une lumière polarisée

Diagramme sur slide

Manip: méthode de la lame $\frac{\lambda}{4}$

Quelles utilisations peut-on faire de la polarisation?

II - Utilisation de la polarisation

1) Contrôle d'intensité lumineuse

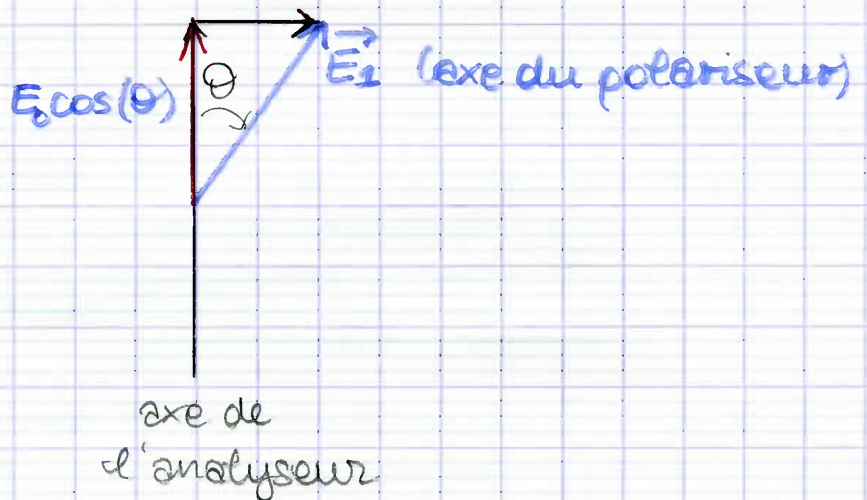
Démo de la loi de Malus :

$\vec{E}_1 = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$ (polarisation rectiligne en sortie du polariseur)

$$\vec{B}_1 = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}_1}{\omega} = \frac{k}{\omega} E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{u}_y$$

$$\vec{\Pi} = \frac{\vec{E}_1 \wedge \vec{B}_1}{\mu_0} = \frac{k}{\omega \mu_0} E_0^2 \cos^2(\omega t - kz) \vec{u}_z$$

$$I_0 = \langle \vec{\Pi} \rangle_t \cdot \vec{u}_z = \boxed{\frac{1}{2} \frac{E_0^2}{\mu_0 c}}$$



En sortie de l'analyseur : $I = \frac{1}{2} \frac{(E_0 \cos(\theta))^2}{\mu_0 c}$

$$\boxed{I = I_0 \cos^2(\theta)}$$

→ pratique pour contrôler l'intensité lumineuse (ex: linéarité d'une photodiode).

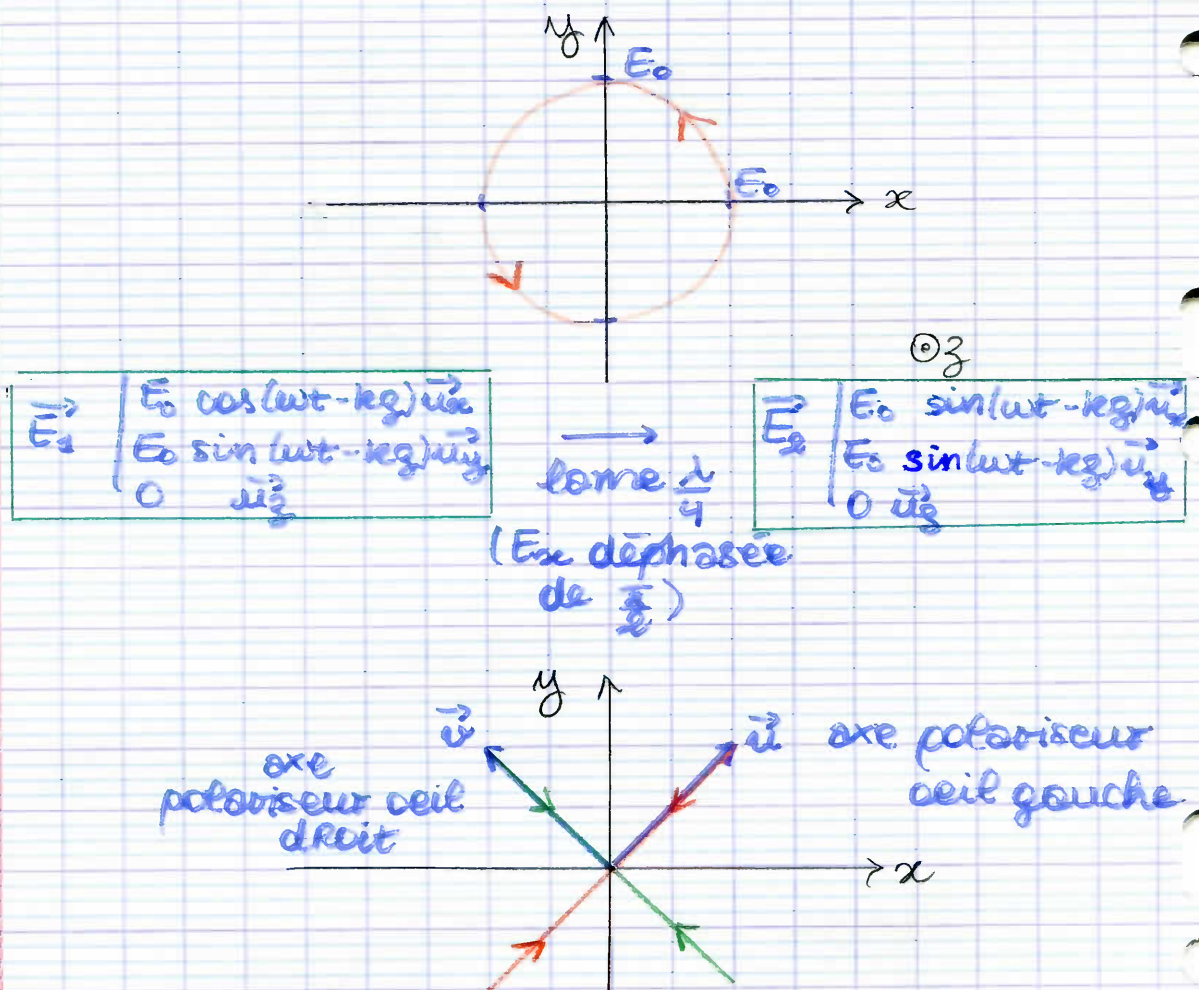
2) vision en relief

Autostéréogrammes :

- difficiles à voir
- peu de confort visuel
- relief perdu si on détourne le regard

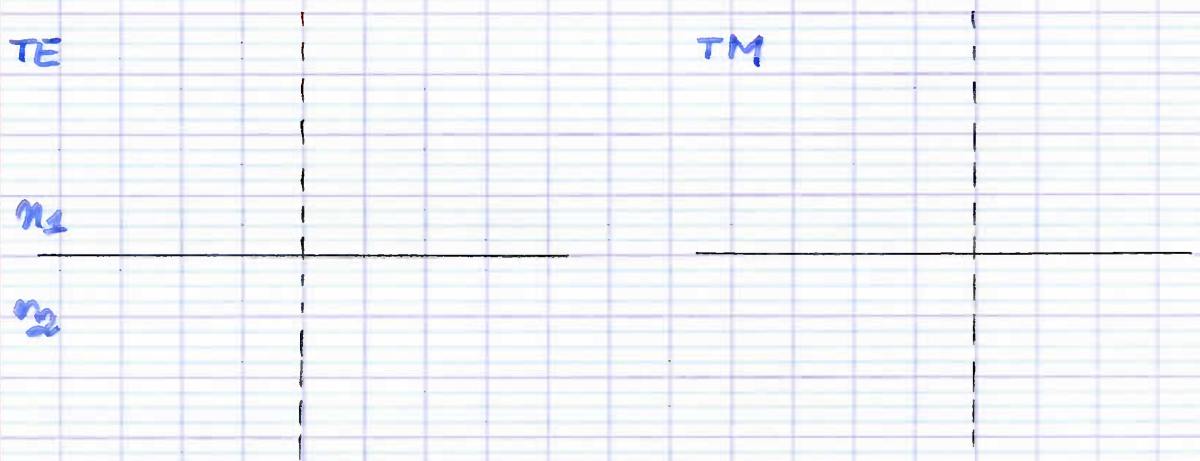
Principe des lunettes 3D. (Tout en Un PC-PC*)

On projette simultanément deux images :
l'une destinée à l'œil droit (polarisation circulaire droite), l'autre à l'œil gauche (polarisation circulaire gauche).



3) Principe des lunettes "anti-reflet"

Ce sont en fait des verres polarisés qui exploitent le caractère polarisé rectilignement de la lumière réfléchie à l'interface eau/air à une incidence particulière appelée incidence de Brewster.



Puissance rayonnée nulle selon l'axe des dipôles.

$$n_1 \sin(i_B) = n_2 \sin(i_B)$$

$$i_B \text{ est tel que } n_1 \sin(i_B) = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_B\right)$$

$$\text{i.e. } i_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\text{Air/eau/air } i_B = \arctan\left(\frac{4,33}{1}\right) = 53^\circ$$

$$\text{verre/air } i_B = \arctan\left(\frac{1,5}{1}\right) = 56^\circ$$

Monip : angle de Brewster

Conclusion : tableau récapitulatif

Ouverture sur les ondes électromagnétiques
dans les plasmas.