LP53 Polarisation

BERDOUS

Mathieu

29/04/22

* Plan :

I) Production et analyse d'une onde polarisée linéairement.

1) Polariseurs dichroïques.
2) Polarisation par réflexion.
3) Autres.

II) Polarisation et biréfringence.

1) Notion de biréfringence.
2) Lames à retard de phase.
3) Application, production d'une polarisation elliptique.

* Niveau : L2.

* Prérequis :
- Propagation des ondes EM dans les milieux LHI.
- Relations de passage.
- Optique ondulatoire.
- Notion de polarisation d'une OEM.

* Sources : [1] Houard "Optique, une approche expérimentale et pratique".
[2] Taillet "Optique physique".
[3] Houard "Polarisation de la lumière".
[4] H. Prépa "Optique ondulatoire 2ème année".

* Intro :

I) Production et analyse d'une onde polarisée linéairement.

1) Polariseurs dichroïques.

Dichroïsme : propriété de certains matériaux anisotropes d'absorber différemment une composante vectorielle du champ électrique $\vec{E}$.

Remarque : Dans un matériau anisotrope on a $\vec{D} = [\varepsilon]\vec{E}$, pour un matériau dichroïque $[\varepsilon]$ (et donc n) est complexe, ce qui rend compte de l'absorption.

Exemples : tourmaline, filtre polariseurs.

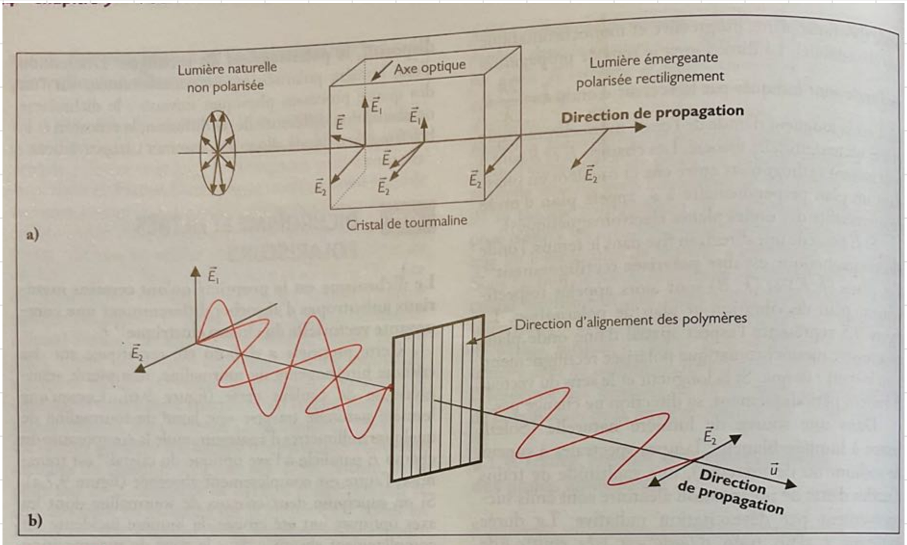


Figure 9.7 Processus de polarisation par dichroïsme.
a) Absorption différentielle dans un matériau dichroïque b) Dichroïsme d'un polaroïd

Issu de [1]

Lumière naturelle (non polarisée) : peut se décomposer en 2 composantes $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ orthogonales, de même amplitude mais dont les phases changent aléatoirement.

A la traversée d'un milieu dichroïque l'une des composantes (celle qui s'aligne avec les polymères pour un polariseur) est absorbée et son énergie est dissipée par effet Joule.

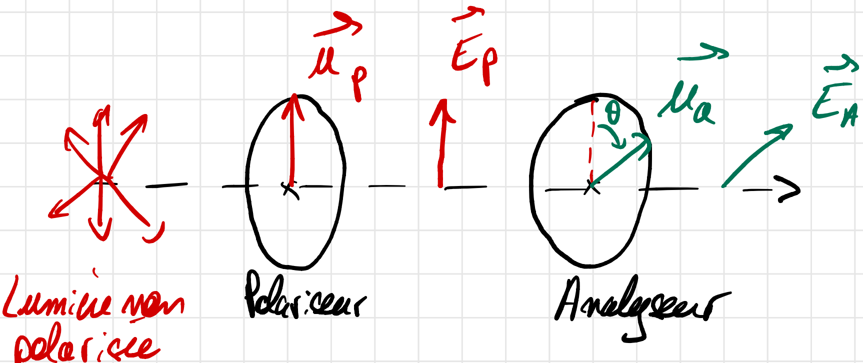
Après le milieu dichroïque : il ne reste que l'autre composante.

$\Rightarrow$ Un polariseur transforme l'onde EM incidente en une onde polarisée rectilignement selon une direction $\vec{u}_p$.

$\vec{u}_p$ = axe du polariseur.

⚠ $\vec{u}_p$ est orthogonale à la direction d'étirement des polymères.

- **Loi de Malus :**



On a $\vec{E}_p = E_p \vec{u}_p$ et $\vec{E}_a = (\vec{E}_p \cdot \vec{u}_a)\vec{u}_a$
$= E_p \cos\theta \, \vec{u}_a$

Or $I \propto E^2 \Rightarrow$ $\boxed{I_a \propto I_p \cos^2\theta}$ = Loi de Malus

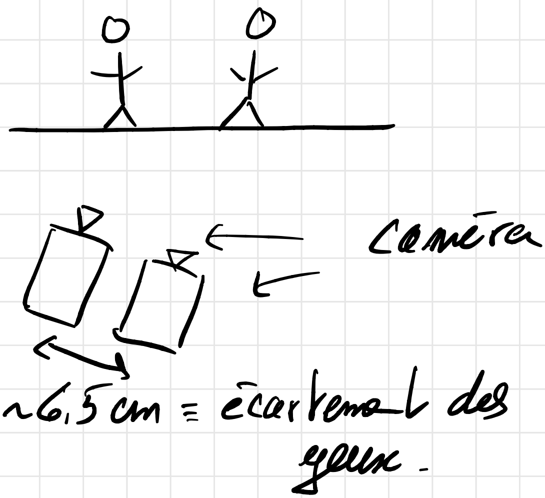
⇒ On peut se servir d'un filtre polariseur pour analyser une OEM incidente polarisée linéairement.

Applications : lunettes de Soleil, appareils photos ("Polaroïd"), abeilles / oiseaux ...

Exemple : Cinéma 3D.

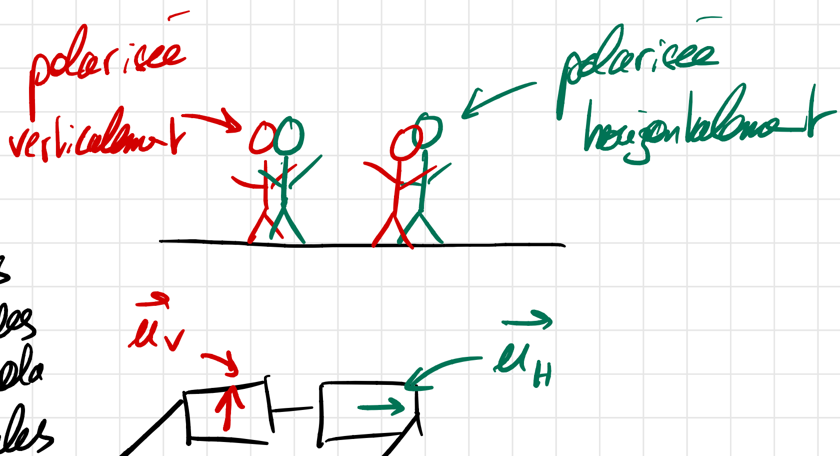
Tournage du film

⇒ Utilisé de 2 caméras



Cinéma

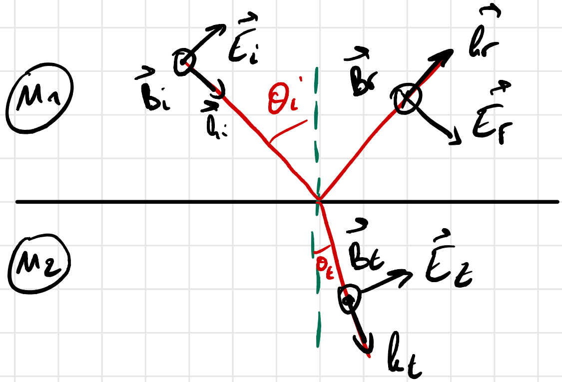
⇒ 2 projecteurs qui envoient des images de pola orthogonales



⇒ Impression de Relief.

2) Polarisation par réflexion

- OEM dont le champ $\vec{E_i}$ est contenu dans le plan d'incidence



On écrit
$$\vec{E_i} = \vec{E_0}\, e^{j(\vec{k_i}\cdot\vec{r} - \omega t)}$$
$$\vec{E_t} = t\vec{E_0}\, e^{j(\vec{k_t}\cdot\vec{r} - \omega t)}$$
$$\vec{E_r} = r\vec{E_0}\, e^{j(\vec{k_r}\cdot\vec{r} - \omega t)}$$

But : Trouver les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude (r et t).

Relations de passage : $\begin{cases} D_{1,\perp} = D_{2,\perp} \quad (= n_1^2 E_1 = n_2^2 E_2) \; (2) \\ E_{1,//} = E_{2,//} \quad (1) \end{cases}$

Ainsi : $(1) \Rightarrow \vec{E_0} e^{j(\vec{k_i}\cdot\vec{r} - \omega t)} + r\vec{E_0} e^{j(\vec{k_r}\cdot\vec{r} - \omega t)} = t\vec{E_0} e^{j(\vec{k_t}\cdot\vec{r} - \omega t)}$

$\vec{r}$ à l'interface

$$\Rightarrow \boxed{e^{j\vec{k_i}\cdot\vec{r}} + r e^{j\vec{k_r}\cdot\vec{r}} = t e^{j\vec{k_t}\cdot\vec{r}}}$$

Possible ssi $\forall \vec{r} \in$ interface $\vec{k_i} \cdot \vec{r} = \vec{k_r} \cdot \vec{r} = \vec{k_t} \cdot \vec{r}$

cad $k_{i,\parallel} = k_{r,\parallel} = k_{t,\parallel}$ (*)

Or relation de dispersion $\Rightarrow \|\vec{k}\| = \dfrac{n\omega}{c}$

D'où (*) $\Rightarrow$ $\boxed{n_1 \sin(\theta_i) = n_1 \sin(\theta_r) = n_2 \sin(\theta_t)}$

= Relations de Snell-Descartes.

$\hookrightarrow$ Pour la leçon dire uniquement que la continuité de $E_\parallel$ à l'interface implique que :

$\forall \vec{r} \in$ interface $\vec{k_i} \cdot \vec{r} = \vec{k_r} \cdot \vec{r} = \vec{k_t} \cdot \vec{r}$

Donc :

(1) $\Rightarrow E_i \cos(\theta_i) + r E_i \cos(\theta_i) = t E_i \cos(\theta_t)$

(2) $\Rightarrow n_1^2 E_i \sin\theta_i - n_1^2 r E_i \sin(\theta_i) = t E_i \sin(\theta_i) n_2^2$

$\underset{\text{Snell-Descartes}}{\Rightarrow} n_1(1-r) = n_2 t$

Ainsi $(1+r)\cos(\theta_i) = \dfrac{n_1}{n_2} \cos(\theta_t)(1-r)$

$r(n_2 \cos\theta_i + n_1 \cos\theta_t) = n_1 \cos(\theta_t) - n_2 \cos\theta_i$

$$\Rightarrow \boxed{r = \frac{n_1 \cos(\theta_t) - n_2 \cos\theta_i}{n_1 \cos(\theta_t) + n_2 \cos\theta_i}}$$

Et $t = \frac{n_1}{n_2}(1-r)$

$$= \frac{n_1}{n_2} \frac{2 n_2 \cos\theta_i}{n_1 \cos\theta_t + n_2 \cos\theta_i}$$

$$\Rightarrow \boxed{t = \frac{2 n_1 \cos\theta_i}{n_1 \cos\theta_t + n_2 \cos\theta_i}}$$ ≡ Formules de Fresnel.

- Sur Slide : expressions de r et t pour $\vec{E}$ orthogonal au plan d'incidence.

$$\Rightarrow r = \frac{n_1 \cos\theta_i - n_2 \cos\theta_t}{n_1 \cos\theta_i + n_2 \cos\theta_t} \qquad t = \frac{2 n_1 \cos\theta_i}{n_1 \cos\theta_i + n_2 \cos\theta_t}$$

Script python pour tracer : $r = f(\theta_i)$ (pour l'eau)

dans le cas où $\vec{E}$ est $\perp$ au P.I

dans le cas où $\vec{E}$ est // au PI.

$\Rightarrow$ On voit que pour $\vec{E}_i$ // au plan d'incidence, r s'annule pour un certain $\theta_i \equiv \theta_B$ ≡ Angle de Brewster

$$r = 0 \Leftrightarrow n_1 \cos(\theta_t) = n_2 \cos(\theta_B)$$

$$n_2 n_2 \sin(\theta_t) \cos\theta_t = n_1 n_2 \cos\theta_B \sin\theta_B.$$

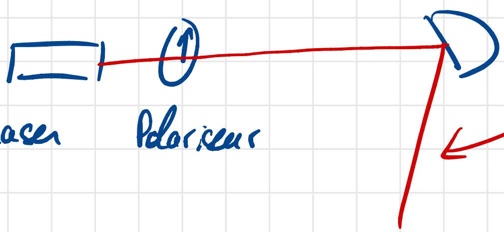
$$\Rightarrow \sin(2\theta_B) = \sin(2\theta_t)$$

D'où $$\boxed{\theta_B = \frac{\pi}{2} - \theta_t}.$$

D'où $$n_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_B\right) = n_2 \cos(\theta_B)$$

$$\Rightarrow \boxed{\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1}}$$

Application : Détermination d'un indice optique.



On cherche l'angle pour lequel il n'y a pas de réflexion.

Slide avec le dispositif expérimental.

Autres applications : pêche, photographie ...

II Polarisation et biréfringence

1) Notion de biréfringence

Milieu biréfringent : milieu dont les propriétés optiques varient selon la direction du champ électrique incident.

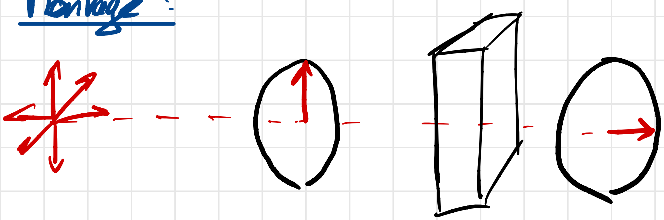
⇒ lié à l'anisotropie du matériau.

Exemples : quartz, scotch, spath...

2) Lames à retard de phase.

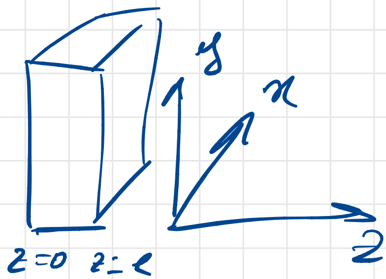
On va caractériser, à partir d'observations expérimentales, les "lames à retard de phase" que l'on a en labo.

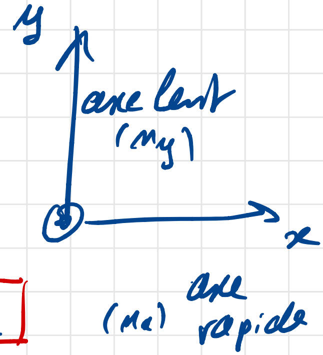
Montage :



On place la lame, la lumière réapparait sauf pour 2 axes pour lesquels on voit l'extinction.

⇒ axes neutres de la lame.





$$\boxed{n_y > n_x}$$

Entrée de la lame : $\vec{E}(z=0) = \begin{vmatrix} E_{0x}\, e^{i\omega t} \\ E_{0y}\, e^{i(\omega t - \varphi)} \\ 0 \end{vmatrix}$

Sortie de la lame : $\vec{E}(z=e) = \begin{vmatrix} E_{0x}\, e^{i(\omega t - k_x e)} \\ E_{0y}\, e^{i(\omega t - k_y e - \varphi)} \\ 0 \end{vmatrix}$

Déphasage : $\varphi \rightarrow \varphi + \psi$ avec $\psi = (k_y - k_x)e$

$= (n_y - n_x)\dfrac{2\pi}{\lambda_0} e$

$$\boxed{\psi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta_L}$$

$\Rightarrow$ Une lame à retard de phase modifie le déphasage entre les composantes E_x et E_y.

Si $\psi = \dfrac{\pi}{2} \iff \boxed{\delta_L = \dfrac{\lambda_0}{4}}$ = lame quart d'onde

$\psi = \pi \iff \boxed{\delta_L = \dfrac{\lambda_0}{2}}$ = lame demi-onde

⚠ Une lame est "quart d'onde" ou "demi-onde" pour UNE longueur d'onde.

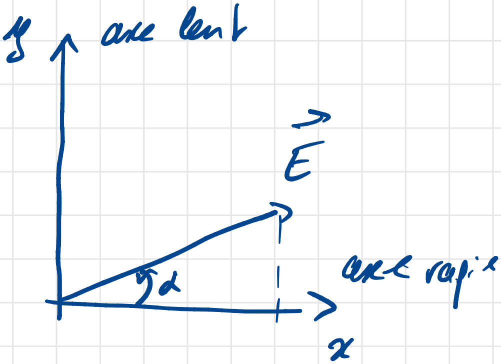
3) Application : production d'une polarisation elliptique.

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} E_{0x} e^{i\omega t} \\ E_{0y} e^{i(\omega t - \varphi)} \\ 0 \end{vmatrix}$$

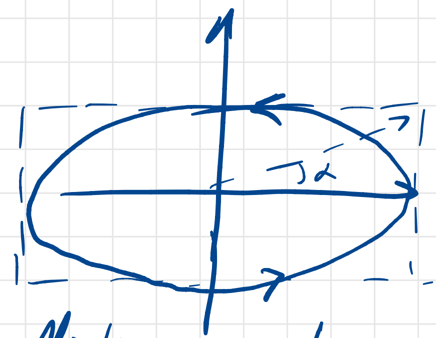
Lame quart d'onde pour l'OI.

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} E_{0x} e^{i\omega t} \\ -i E_{0y} e^{i(\omega t - \varphi)} \\ 0 \end{vmatrix}$$

on reconnait une polarisation elliptique.

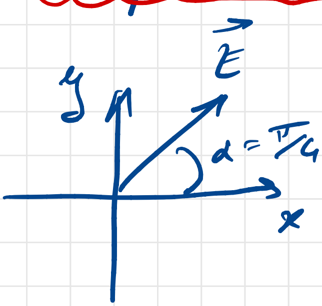


$\longrightarrow$

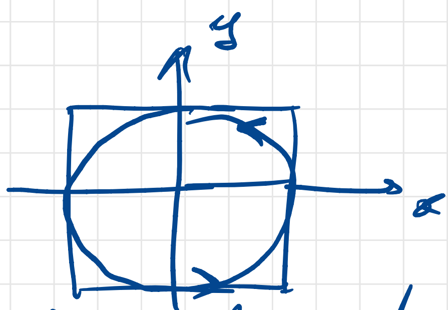


$\sin\alpha > 0 \longrightarrow$ elliptique gauche.

Cas particulier : $\alpha = +\pi/4$



$\longrightarrow$



Pola circulaire gauche.

"Protocole" pour créer la polarisation elliptique (ou circulaire) voulue : on fait passer la lumière par un ensemble {polariseur + lame quart d'onde}.

Questions

- **Qu’est ce que le modèle des trains d’onde ?** C'est un premier modèle qui permet d'étudier la cohérence d'une source qui n'est pas parfaitement monochromatique. Pour cela, on considère que la source émet une somme de trains d'onde qui sont eux parfaitement monochromatiques, mais émis pendant un temps finit. Dans le cadre de cette leçon, on peut considérer que chaque atome émet avec une polarisation aléatoire.
- **Pourquoi la lumière émise par un laser n’est-elle pas polarisée ?** Les trains d’onde émis par les atomes à l’intérieur du laser n’ont pas de raison d’avoir la même direction de polarisation. La lumière résultante, qui est la somme de tous ces trains d’onde n’est donc pas polarisée.
- **Pourquoi est-ce qu'on met des polariseurs sur les lunettes de soleil ?** La lumière du ciel est partiellement polarisée (cf polarisation par diffusion/ Modèle de Rayleigh), donc on réduit une partie de l’intensité lumineuse en provenance du ciel. Ensuite des polariseurs permettent également de se protéger de la lumière réfléchie sur l’eau/la neige (cf polarisation par réflexion/Angle de brewster).
- **Que ce passe-t-il si avec les lunettes 3D décrites dans la leçon on tourne la tête au cinéma ?** On se met à revoir les images envoyées par les deux projecteurs avec un décalage. Les lunettes 3D actuelles utilisent plutôt la polarisation circulaire pour s’affranchir de ce problème.
- **Qu’est ce que la polarisation par guidage d’onde ?** Si un guide d’onde est monomode, le mode en question peut être polarisé.
- **Qu’est ce qui justifie la biréfringence du quartz et du scotch ?** C’est lié à l’anisotropie du milieu, par exemple le cristal de quartz n’est pas cubique.
- **Comment faire pour changer l’axe de polarisation d’une lumière polarisée linéairement ?** On utilise le phénomène de biréfringence rotatoire qui peut intervenir lorsque la lumière traverse des milieux chiraux (activité optique) ou un champ magnétique (effet Faraday).
- **Comment fabriquer des verres qui ne laissent passer qu’une polarisation circulaire ?** Pour une onde monochromatique il suffit d’utiliser des lames quart d’onde et des polariseurs. Pour une lumière polychromatique c’est plus compliqué, mais il existe des méthodes.