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.

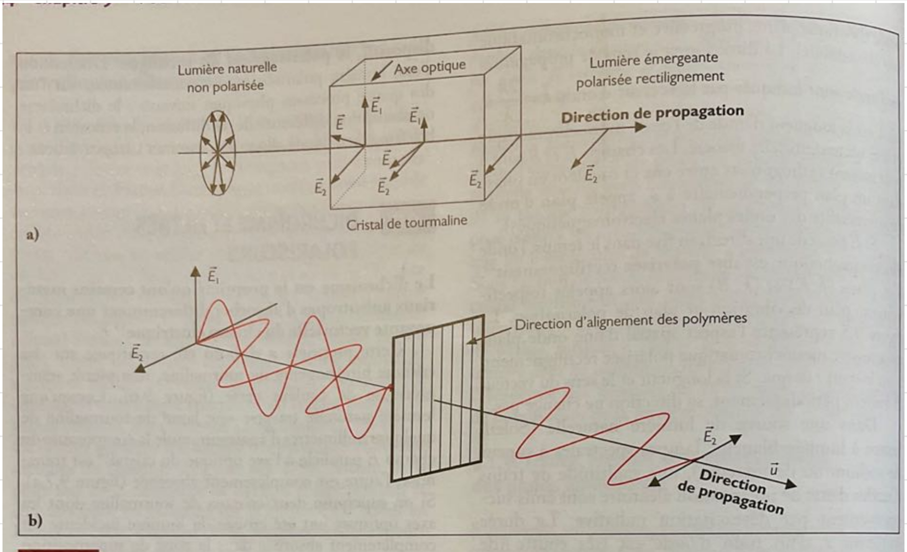


Figure 9.7 Processus de polarisation par dichroïsme.
a) Absorption différentielle dans un matériau dichroïque b) Dichroïsme d'un polaroïd

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.

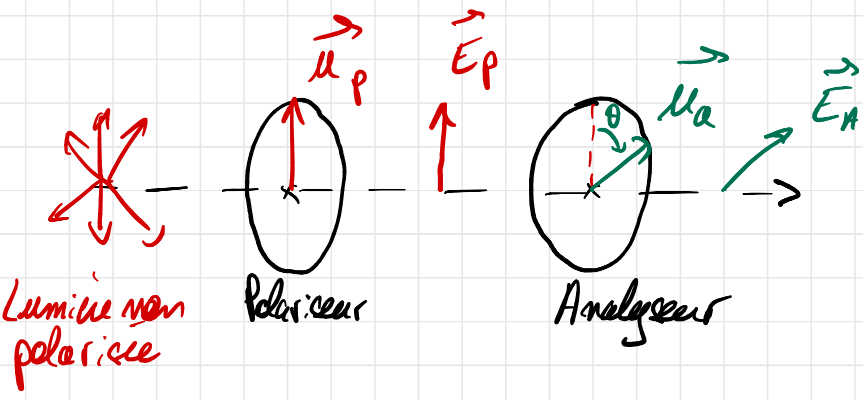
Après le milieu dichroïque : il ne reste que l'autre composante.

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

$\vec{u}_p$ = 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

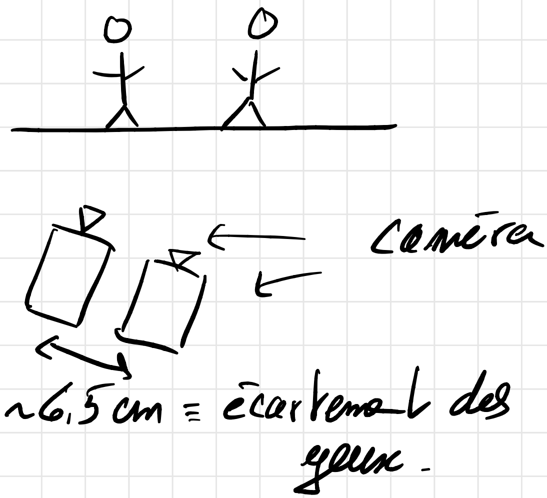
⇒ On peut se servir d'un filtre polariseur pour analyser une OEM incidente polarisée linéairement.

Applications : lunettes de soleil, appareils photos ("Polaroid"), abeilles / oiseaux ...

Exemple : Cinéma 3D.

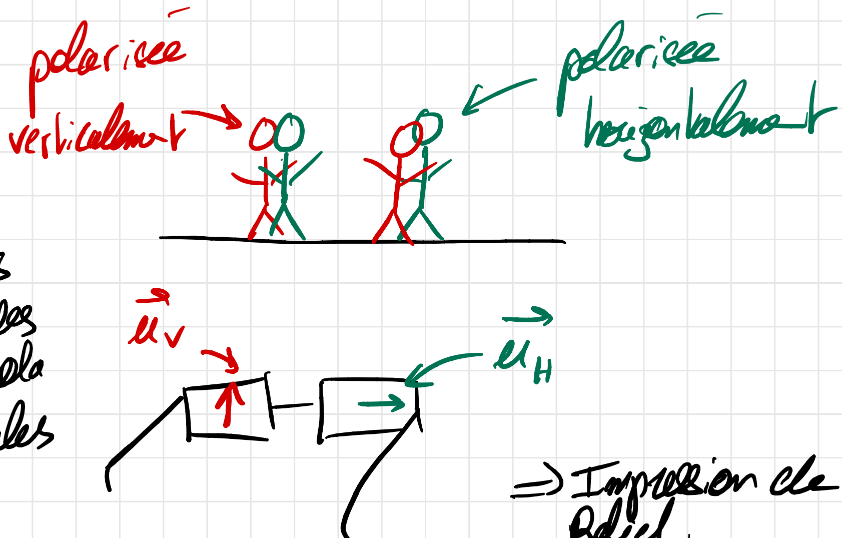
Tournage du film

⇒ Utilisé de 2 caméras



Cinéma

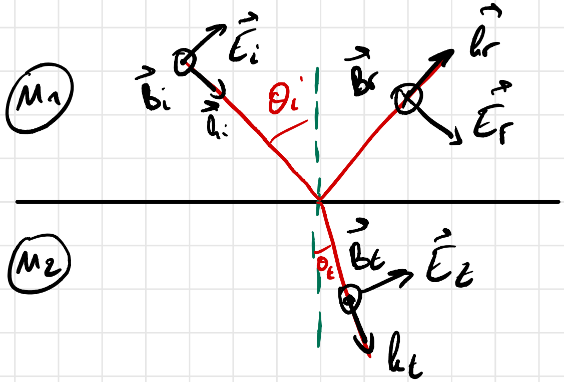
⇒ 2 projecteurs qui envoient des images de pola orthogonales



⇒ 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 : $\begin{cases} D_{1,\perp} = D_{2,\perp} \quad (= n_1^2 E_1 = n_2^2 E_2) \ (2) \\ E_{1,\parallel} = E_{2,\parallel} \quad (1) \end{cases}$

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.

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

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

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

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

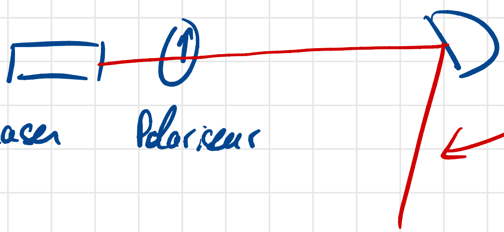
$$\Rightarrow \sin(2\theta_B) = \sin(2\theta_t)$$

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 ppties optiques varient selon la direction du champ électrique incident.

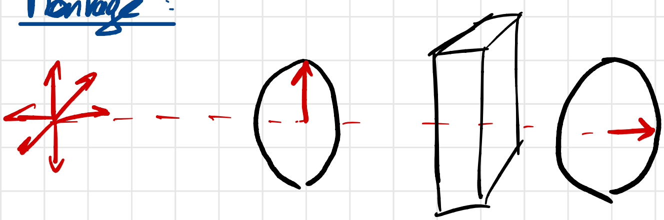
⇒ lié à l'anisotropie du matériau.

Exemples : quartz, scotch, spath...

2) Lames à retard de phase.

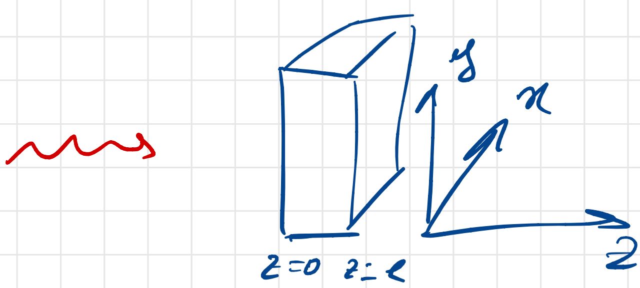
On va caractériser, à partir d'observations expérimentales, les "lames à retard de phase" que l'on a en labo.

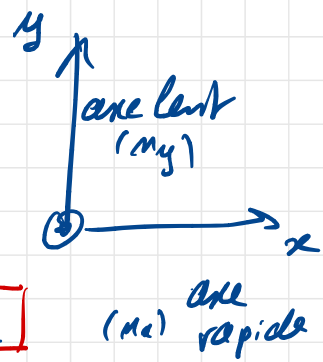
Montage :



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 $\begin{vmatrix} \psi = \dfrac{\pi}{2} \Leftrightarrow \boxed{\delta_L = \dfrac{\lambda_0}{4}} \equiv \text{lame quart d'onde} \\ \psi = \pi \Leftrightarrow \boxed{\delta_L = \dfrac{\lambda_0}{2}} \equiv \text{lame demi-onde} \end{vmatrix}$

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

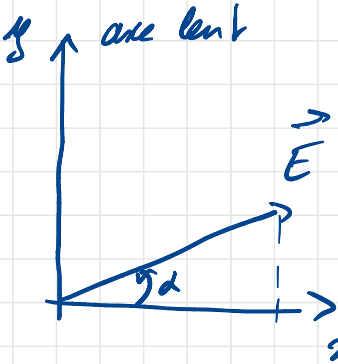
3) Application : production d'une polarisation elliptique.

$$\vec{E} = \left| \begin{array}{l} E_{0x} e^{i\omega t} \\ E_{0y} e^{i(\omega t - \varphi)} \\ 0 \end{array} \right.$$

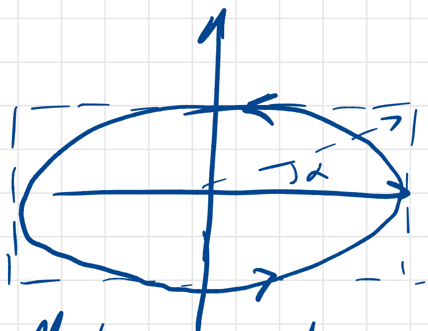
$$\vec{E} = \left| \begin{array}{l} E_{0x} e^{i\omega t} \\ -i E_{0y} e^{i(\omega t - \varphi)} \\ 0 \end{array} \right.$$

Lame quart d'onde pour l'OI.

on reconnait une polarisation elliptique.

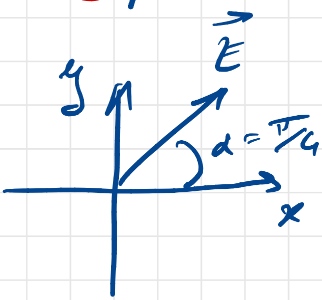


$\longrightarrow$

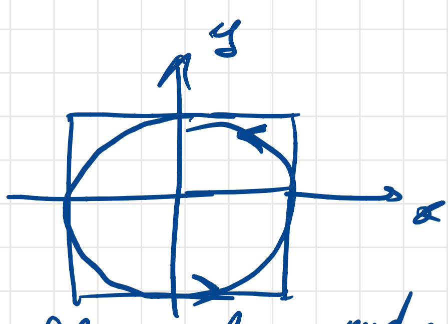


$\sin\alpha > 0 \quad \longrightarrow$ elliptique gauche.

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}.