

CH.30bis : POLARISATION DE LA LUMIERE

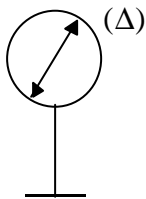
Plan (Cliquez sur le titre pour accéder au paragraphe)

CH.30bis : POLARISATION DE LA LUMIERE	1
I. POLARISEURS	1
I.1. DEFINITION.....	1
I.2. LOI DE MALUS.....	1
II. LAMES UNIAXES.....	2
II.1. DEFINITION.....	2
II.2. PROPRIETES	2
II.3. ACTION D'UNE LAME UNIAXE SUR UNE LUMIERE POLARISEE	2
II.3.1. Polarisation rectiligne	2
II.3.2. Polarisation circulaire et lame quart d'onde	3
II.4. PRODUCTION ET ANALYSE D'UNE LUMIERE POLARISEE	3
III. DIFFERENTS TYPES DE POLARISEURS	4
III.1. POLARISATION PAR DICHROISME.....	4
III.1.1. Principe	4
III.1.2. Caractéristiques des polaroïds.....	4
III.2. POLARISATION PAR BIREFRINGENCE.....	4

I. POLARISEURS

I.1. DEFINITION

- Un polariseur est un système optique permettant de transformer une lumière de polarisation quelconque en lumière polarisée **rectilignement**.
- On peut représenter un tel dispositif par :



L'axe (Δ) indique la direction de vibration du champ électrique \vec{E} émergent; en général, l'utilisateur a la possibilité de faire tourner (Δ) par rapport à une monture fixe.

I.2. LOI DE MALUS

- Si l'on dispose l'un derrière l'autre deux polariseurs dont les directions de polarisation font entre elles un angle a , on obtient à la sortie une onde lumineuse polarisée rectilignement (dans la direction imposée par le second polariseur) et dont l'intensité I_2 s'exprime en fonction de l'intensité I_1 en sortie du premier polariseur, par la relation :

$$I_2 = I_1 \times T \times \cos^2 a \quad \text{avec : } 0 \leq T \leq 1$$

- **Rq1** : T est le facteur de transmission en énergie du second polariseur (pour $T = 1$, le polariseur est idéal, c'est-à-dire sans absorption).
- **Rq2** : le second polariseur est également appelé « **analyseur** ».
- **Rq3** : pour $a = p/2$ ou $3p/2$, il y a extinction du faisceau lumineux, on dit que les polariseurs sont « **croisés** ».

II. LAMES UNIAXES

II.1. DEFINITION

Ce sont des lames minces, à faces parallèles, taillées dans un cristal « uniaxe », ayant la **symétrie de révolution** (d'un point de vue des propriétés optiques) autour d'un axe privilégié appelé « axe optique » ; par construction, cet axe est parallèle aux faces de la lame.

II.2. PROPRIETES

- Considérons une lame uniaxe dont les faces sont parallèles au plan xOy, et d'épaisseur e selon la direction de propagation de la lumière.
- Choisissons l'axe Oy parallèle à l'axe optique (Δ) de la lame :
 - ♦ pour une onde polarisée rectilignement suivant Ox (perpendiculairement à l'axe Δ), la lame possède un indice « **ordinaire** », soit n_o .
 - ♦ pour une onde polarisée rectilignement suivant Oy (parallèlement à l'axe Δ), la lame possède un indice « **extraordinaire** », soit n_E .
- Entre deux ondes monochromatiques (de longueur d'onde I_0) polarisées respectivement suivant Oy et Ox, la traversée de la lame d'épaisseur e entraîne l'apparition d'un déphasage supplémentaire j tel que :

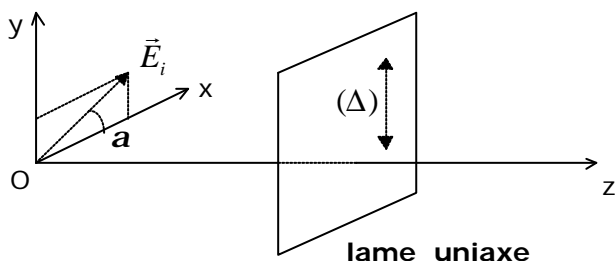
$$\mathbf{j} = j_{y/x} = 2p \frac{d_{y/x}}{I_0} = \frac{2pe}{I_0} (n_E - n_o) \quad (1)$$

• Cas particuliers :

- ♦ si $|d_{y/x}| = I_0 / 4$: $|j| = p / 2 \Rightarrow$ la lame est dite « **quart d'onde** », ou « lame $I / 4$ ».
- ♦ si $|d_{y/x}| = I_0 / 2$: $|j| = p \Rightarrow$ la lame est dite « **demi onde** », ou « lame $I / 2$ ».
- **Rq1** : l'axe pour lequel l'indice est le plus grand correspond à une vitesse de propagation de l'onde ($v = c/n$) plus petite : on parle « **d'axe lent** » ; logiquement, l'axe pour lequel l'indice est le plus petit est appelé « **axe rapide** ».
- **Rq2** : si $n_E > n_o$, le milieu est dit « **positif** », l'axe extraordinaire est alors l'axe lent, l'axe ordinaire étant l'axe rapide (c'est le cas du quartz SiO_2) ; si $n_E < n_o$, le milieu est dit « **néгатif** » et les dénominations sont inversées (cas de la calcite $CaCO_3$).

II.3. ACTION D'UNE LAME UNIAXE SUR UNE LUMIERE POLARISEE

II.3.1. Polarisation rectiligne



On considère une onde incidente se propageant selon Oz, et dont le champ électrique \vec{E}_i est polarisé rectilignement selon une direction faisant un angle a avec l'axe Ox.

L'axe optique de la lame, (Δ), est parallèle à l'axe Oy.

- Le champ incident s'écrit donc : $\vec{E}_i = E_0 \cos a \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x + E_0 \sin a \cos(\omega t - kz) \vec{e}_z$
- En tenant compte d'un déphasage commun y , dû à la traversée de la lame, et du déphasage supplémentaire j , le champ transmis a pour expression :

$$\vec{E}_t = E_0 \cos a \cos(\omega t - kz - y) \vec{e}_x + E_0 \sin a \cos(\omega t - kz - y - j) \vec{e}_y$$

Rq : pour un angle a (non orienté) égal à 0 ou $\pi/2$, c'est-à-dire pour un champ incident parallèle aux axes Ox ou Oy , le champ transmis conserve la même direction de polarisation : on dit que l'axe optique (Δ) et l'axe qui lui est perpendiculaire constituent les « **lignes neutres** » de la lame.

♦ **lame demi onde :** $|j| = \pi \Rightarrow \vec{E}_t = E_0 \cos a \cos(\omega t - kz - y) \vec{e}_x - E_0 \sin a \cos(\omega t - kz - y) \vec{e}_y \Rightarrow$ la polarisation reste **rectiligne**, mais de direction **symétrique** de celle du champ incident par rapport aux lignes neutres de la lame.

♦ **lame quart d'onde :** $|j| = \pi/2 \Rightarrow \vec{E}_t = E_0 \cos a \cos(\omega t - kz - y) \vec{e}_x \pm E_0 \sin a \sin(\omega t - kz - y) \vec{e}_y \Rightarrow$ la polarisation est devenue **elliptique** (gauche ou droite), les axes de l'ellipse correspondant aux lignes neutres de la lame.

Rq : dans ce dernier cas, si $a = \pi/4$, alors $\cos a = \sin a \Rightarrow$ la polarisation est **circulaire**.

II.3.2. Polarisation circulaire et lame quart d'onde

Considérons cette fois un champ incident de la forme : $\vec{E}_i = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x + E_0 \sin(\omega t - kz) \vec{e}_y$

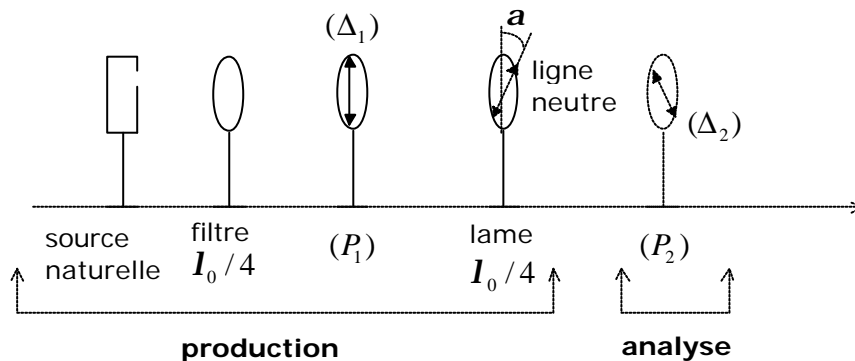
En sortie de la lame $I/4$, le champ transmis s'écrira :

$$\vec{E}_t = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x + E_0 \sin(\omega t - kz \pm \pi/2) \vec{e}_y = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x \pm E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_y \Rightarrow$$

la polarisation est devenue **rectiligne**, à 45° des **lignes neutres**.

II.4. PRODUCTION ET ANALYSE D'UNE LUMIERE POLARISEE

• Proposons un montage permettant de produire et d'analyser une lumière de polarisation quelconque :



• **Rq1 :** comme le suggère la relation (1), à e, n_o, n_e fixés, une lame uniaxe ne peut être rigoureusement quart d'onde que pour une longueur d'onde I_0 fixée \Rightarrow il faut placer un filtre adapté à cette longueur d'onde juste après la source de lumière naturelle (non polarisée).

Rq2 : d'après le paragraphe précédent, l'onde en sortie de la lame est, à priori, polarisée **elliptiquement** (gauche ou droite, selon la convention adoptée pour la définition de j et le signe qui en découle ; pour un angle a (angle non orienté, entre directions) égal à zéro, la polarisation reste **rectiligne**, de direction (Δ_1) imposée par le premier polariseur ; enfin, pour un angle $a = \pi/4$, la polarisation est **circulaire**.

Rq3 : pour une polarisation rectiligne, l'intensité transmise par le polariseur (P_2) passe par un minimum nul lorsqu'on fait tourner l'axe (Δ_2) dans sa monture (les polariseurs sont alors « croisés ») ; dans le cas d'une polarisation elliptique, l'intensité transmise passe par un minimum non nul, alors qu'il n'y a pas de variation d'intensité pour une polarisation circulaire.

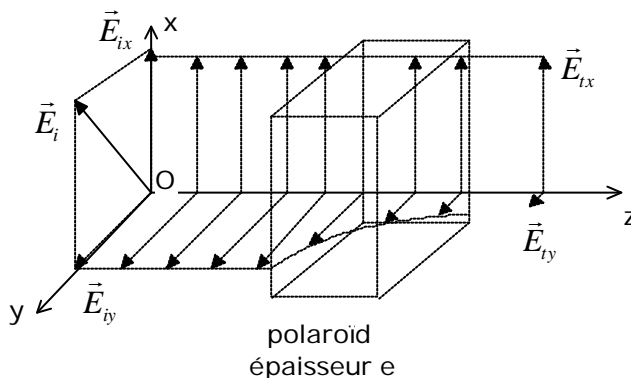
III. DIFFERENTS TYPES DE POLARISEURS

- par **DICHROISME** : exemple des « **polaroïds** » (marque déposée)
- par **BIREFRINGENCE** : exemple du polariseur de Nicol (ou « **nicol** »)
- par **réflexion vitreuse** sous incidence **brewstérienne** (cf. exercice 33.5)

III.1. POLARISATION PAR DICHROISME

III.1.1. Principe

- Les polaroïds sont taillés dans des feuilles transparentes d'aspect bleu gris : il s'agit d'un support plastique imprégné de molécules **polarisées** (halogénures).
- Pour une composante de champ électrique \vec{E} parallèle à l'axe des dipôles, ceux-ci vibrent plus fortement que sous l'action d'un champ perpendiculaire à cet axe \Rightarrow il y a plus d'énergie absorbée selon l'axe des dipôles (= axe **d'absorption**) que perpendiculairement à cet axe (= axe de **transmission**) : on a typiquement un milieu **anisotrope**.
- On peut donner le schéma de principe suivant :



Ox = axe de transmission

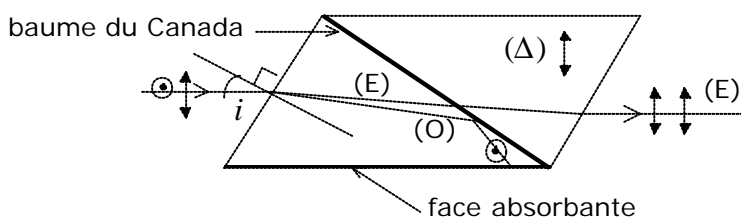
Oy = axe d'absorption

III.1.2. Caractéristiques des polaroïds

- Les polaroïds sont **peu coûteux**, **minces** et peuvent être de **grandes dimensions**.
- Il y a une légère absorption selon l'axe de transmission, mais surtout l'absorption n'est pas totale selon l'autre axe (pour les fréquences proches du bleu) \Rightarrow la **polarisation** en sortie n'est **pas parfaitement rectiligne** : à travers deux polaroïds croisés, on voit une source de lumière naturelle avec une intensité très atténuée, mais de dominante bleutée.

III.2. POLARISATION PAR BIREFRINGENCE

- Toujours avec un milieu anisotrope, on utilise ici les notions d'indice ordinaire n_o et d'indice extraordinaire n_e définis au paragraphe 2.2.
- Dans un polariseur de Nicol, un cristal de spath (où $n_e < n_o$) est scié selon un plan, puis recollé à l'aide d'une substance appelée « baume du Canada », d'indice n_b tel que $n_e < n_b < n_o$.
- Le fonctionnement d'un tel polariseur est schématisé sur la figure suivante :



(Δ) = axe optique de la lame

(ici, c'est l'axe rapide)

- Le champ incident peut se décomposer en une composante parallèle à l'axe (Δ) et une composante perpendiculaire, donnant lieu respectivement à deux rayons extraordinaire et ordinaire lors de la réfraction sur la face d'entrée du polariseur; puisque $n_E < n_O$, le rayon (E) est plus réfracté que le rayon (O) \Rightarrow le rayon (O) atteint le plan enduit de baume du Canada sous un angle d'incidence plus important : puisque $n_B < n_O$, il peut y avoir **réflexion totale** et seul le rayon (E), polarisé suivant la direction (Δ) émergera (pour s'assurer que le rayon (O) est définitivement éliminé, il faut rendre absorbante la face « inférieure » du nicol).
- L'angle d'incidence i doit rester inférieur à un angle limite, pour que le rayon ordinaire ne soit pas partiellement transmis à travers le baume du Canada.

Rq : il existe des cristaux naturellement dichroïques, comme la tourmaline, qui constituent d'excellents polariseurs, mais ils sont chers et de petites dimensions.