

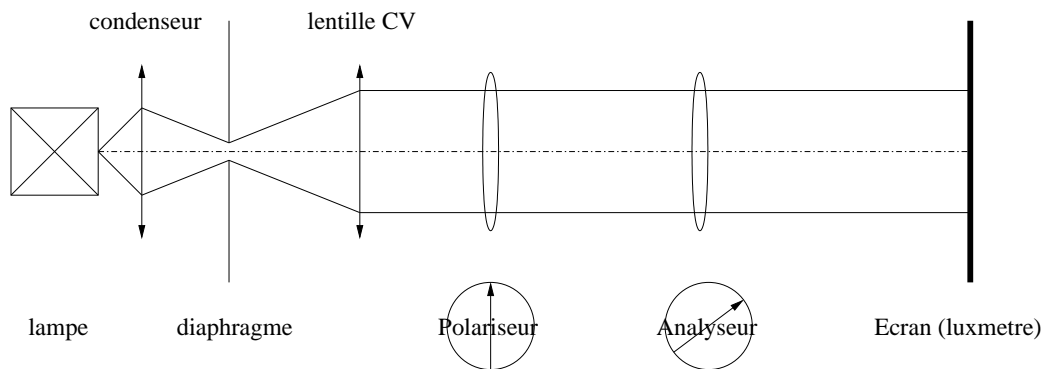
TP-cours : la polarisation

PC

27 janvier 2009

1 Production et analyse de polarisation rectiligne

- Le dispositif d'étude est le suivant :



Le polariseur et l'analyseur sont deux lames dont les axes sont connus.

DÉFINITION : Un **polariseur dichroïque** est une lame de très faible épaisseur possédant deux axes privilégiés orthogonaux

- \vec{u} tel qu'il est transparent pour une onde EM polarisée rectilignement de champ électrique colinéaire à \vec{u} ;
- \vec{v} tel qu'il est opaque pour une onde EM polarisée rectilignement de champ électrique colinéaire à \vec{v} .

- Soit une OEM plane monochromatique de vecteur d'onde $\vec{k} = k \vec{k} \vec{w}$. D'après le cours, on peut la décomposer en la superposition de deux OEMPPH PR :

$$\vec{E} = E_u \vec{u} + E_v \vec{v}$$

Montrer que à la sortie du polariseur, on a une seule OEMPPH PR :

$$\vec{E}' = E_u \vec{u} = (\vec{E} \cdot \vec{u}) \vec{u}$$

Démonstration :

- L'œil n'est sensible qu'à l'éclairement. Soit M un point de l'espace ; posons :

$$\vec{E}(M) = E(M) \cos(\omega t - kx + \varphi) \vec{u}_x$$

DÉFINITION : L'**éclairement** est proportionnel à la valeur moyenne du carré de l'amplitude ; pour une onde harmonique, $\mathcal{E}(M) = A \cdot E^2(M)$.

- Soit α l'angle entre les axes du polariseur et de l'analyseur.

RÉSULTAT : **Loi de Malus** : l'éclairement reçu à la sortie de l'association d'un polariseur et d'un analyseur est :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \cos^2 \alpha$$

Démonstration :

- Vérification expérimentale. Sur l'écran, apprécier qualitativement l'extinction de la lumière selon l'angle α , en faisant tourner l'axe de l'analyseur.

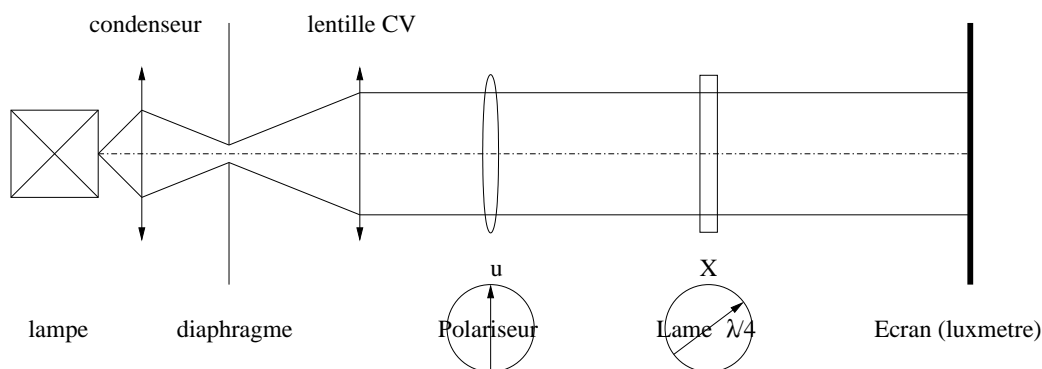
2 Production et analyse de polarisation elliptique

- Certains matériaux anisotropes comme le spath d'Islande ont une propriété de **biréfringence**, c'est-à-dire qu'ils produisent, à partir d'un rayon incident, deux rayons correspondant à deux réfractions distinctes, avec deux indices de réfraction n_1 et n_2 .

DÉFINITION : Une **lame à retard** est une lame de faible épaisseur qui possède deux axes perpendiculaires entre eux, les axes neutres \vec{X} et \vec{Y} .

- pour une lame **quart d'onde**, une OEMPPH PR de champ \vec{E} parallèle à l'axe rapide \vec{X} est à peine déphasée, une OEMPPH PR de champ \vec{E} parallèle à l'axe lent \vec{Y} est déphasée de $\frac{\pi}{2}$.
- pour une lame **demi-onde**, une OEMPPH PR de champ \vec{E} parallèle à l'axe rapide \vec{X} est à peine déphasée, une OEMPPH PR de champ \vec{E} parallèle à l'axe lent \vec{Y} est déphasée de π .

- Le nouveau dispositif d'étude est le suivant :



- On note α l'angle entre l'axe neutre non déphaseur \vec{X} de la lame quart d'onde et l'axe du polariseur. Montrer que les ondes à l'entrée de la lame et à la sortie s'écrivent respectivement

$$\vec{E}_e \begin{cases} E_X = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_Y = E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_z = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{E}_s \begin{cases} E_X = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_Y = E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kz - \frac{\pi}{2}) \\ E_z = 0 \end{cases}$$

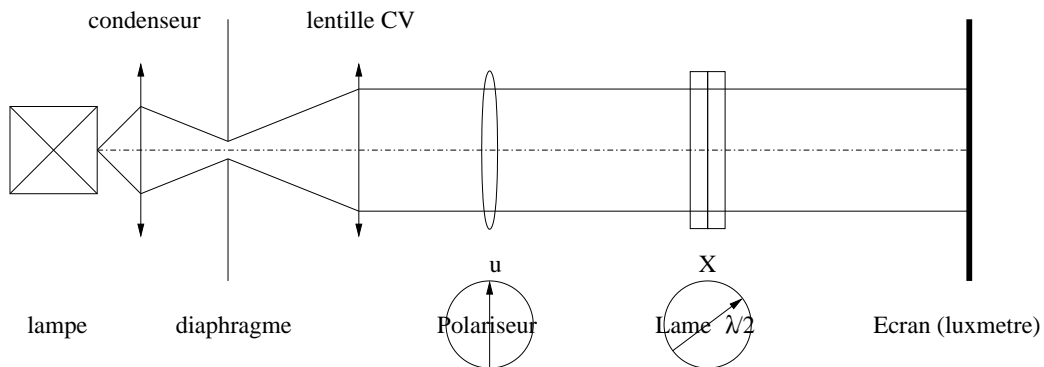
- En déduire l'état de polarisation de l'onde de sortie de la lame.

- Vérification expérimentale.
 1. Placer un analyseur en sortie de l'association polariseur - lame quart d'onde.
 2. Fixer les positions du polariseur et de la lame quart d'onde avec un angle α_0 d'une vingtaine de degrés. Pour analyser l'état de polarisation de l'onde résultante, faire tourner l'analyseur. Constaté l'existence d'un maximum et d'un minimum d'éclairement. Interpréter ce phénomène.

 3. Relever les valeurs de ce minimum \mathcal{E}_{\min} et de ce maximum \mathcal{E}_{\max} . Montrer qu'on peut en déduire l'ellipticité ($\frac{b}{a}$) et l'excentricité ($e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$) de la lumière polarisée à la sortie de la lame. Vérifier qu'on retrouve ainsi la valeur de α_0 .

 4. Tester les cas $\alpha_0 = 0$, $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}$ et $\alpha_0 = \frac{\pi}{4}$. Interpréter les résultats obtenus.

► Le nouveau dispositif d'étude est le suivant :



► On note α l'angle entre l'axe neutre non déphaseur \vec{X} de la lame demi-onde et l'axe du polariseur. Montrer que les ondes à l'entrée de la lame et à la sortie s'écrivent respectivement

$$\vec{E}_e \left| \begin{array}{l} E_X = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_Y = E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_z = 0 \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \vec{E}_s \left| \begin{array}{l} E_X = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_Y = -E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kz) \\ E_z = 0 \end{array} \right.$$

- ▶ En déduire l'état de polarisation de l'onde de sortie de la lame.

- ▶ Vérification expérimentale.
 1. Placer un analyseur en sortie de l'association polariseur - lame demi-onde.
 2. Vérifier que la lame demi-onde transforme une lumière polarisée rectilignement en une lumière polarisée rectilignement. Préciser leurs orientations respectives.

 3. Intercaler une lame quart d'onde entre le polariseur et la lame demi-onde. Faire l'analyse complète des états des lumières successives.

3 Exercices

Exercice 1 Comment détecte-t-on une lumière polarisée rectilignement ? Comment détermine-t-on son axe de polarisation ?

Exercice 2 Comment détecte-t-on une lumière polarisée elliptiquement ? Comment détermine-t-on le grand axe et le petit axe de l'ellipse ? Comment calcule-t-on l'ellipticité ?

Exercice 3 Comment distingue-t-on une lumière polarisée circulairement d'une lumière naturelle (superposition d'OPPHPR de direction de polarisation aléatoire à chaque train d'onde).

Exercice 4 Comment met-on en évidence le pouvoir rotatoire d'une substance chimique ? Faire un schéma du dispositif et indiquer comment on peut faire une mesure de ce pouvoir.

Exercice 5 Justifier qu'il est possible de changer le sens (gauche ou droite) d'une OPPH PE ou PC.

Exercice 6 Indiquer comment fabriquer une onde PR, PEG ou PED, PCG ou PCD à partir de lumière naturelle.

Exercice 7 Une OPPHPE traverse un polarimètre à la sortie duquel l'éclairement détecté est minimum. On intercale entre la source et le polarimètre une lame quart d'onde dont l'axe lent est parallèle à la direction du polarimètre. On tourne le polarimètre et on constate une extinction lorsque le polarimètre a tourné d'un angle de 30° . Est-ce en accord avec la polarisation de l'onde incidente ? Que se passe-t-il si on inverse les positions de la lame quart d'onde et du polariseur ?

Exercice 8 On éclaire avec de la lumière naturelle un dispositif d'axe (O, z) formé d'un polariseur d'axe transparent \vec{u}_P et d'un analyseur d'axe transparent \vec{u}_A . On note $\alpha = (\vec{u}_A, \vec{u}_P)$ dans l'orientation vue depuis la sortie avec \vec{u}_z en face. On place entre les deux une lame demi onde d'axe rapide \vec{u}_y qui ne couvre que le trajet de la lumière sur la moitié du faisceau. Une moitié de la lumière traverse donc les trois lames, une autre moitié seulement le polariseur et l'analyseur. On pose $\beta = (\vec{u}_A, \vec{u}_y)$ et on suppose que $0 < \beta < \frac{\pi}{4}$. La lame demi-onde et l'analyseur sont solidaires et peuvent tourner autour de (O, z) donc β est constant. Montrer qu'il existe deux valeurs de α pour lesquelles les éclairagements des deux zones sur un écran sont égaux et qu'on peut qualifier ces situations d'équipénombre et d'équiluminosité.