

Lames minces et Polarisation de la lumière

A/ Présentation générale

I/ Polarisation de la lumière

Les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques caractérisées par deux champs \vec{E} et \vec{B} .

Une onde plane monochromatique progressive suivant l'axe x , peut être caractérisée par la donnée du seul champ \vec{E} sous la forme :

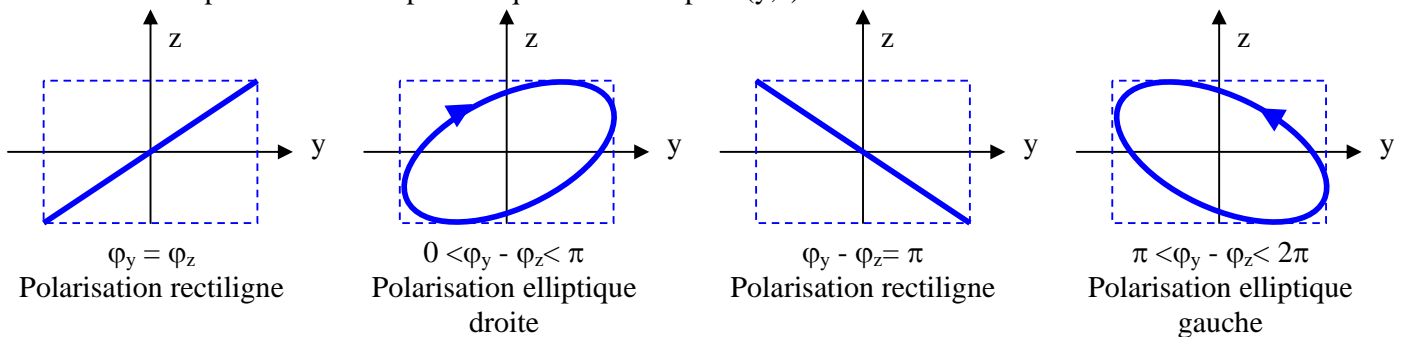
$$\vec{E} = \begin{cases} 0 \\ E_y \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi_y) \\ E_z \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi_z) \end{cases} \quad \vec{E} \text{ est souvent appelé } \textit{vibration lumineuse}.$$

Etudions l'évolution de \vec{E} au cours du temps dans un plan $x = \text{cte}$; $x = 0$ par exemple.

✎ **Question A.I.1 :** Démontrer que dans le plan $x = 0$, la vibration lumineuse \vec{E} décrit, dans le temps, une droite (polarisation rectiligne) pour $\varphi_y = \varphi_z$ et pour $(\varphi_y - \varphi_z) = \pi$.

✎ **Question A.I.2 :** Démontrer que dans le plan $x = 0$, la vibration lumineuse \vec{E} décrit, dans le temps, une ellipse (polarisation elliptique) pour $0 < (\varphi_y - \varphi_z) < \pi$ et pour $\pi < (\varphi_y - \varphi_z) < 2\pi$.

On représente le champ électrique \vec{E} dans le plan (y,z) comme suit :



L'un quelconque des états décrits ci-dessus correspond à une lumière totalement polarisée. La lumière naturelle (émise par les sources usuelles : soleil, lampes, ...) peut être décrite comme la superposition de deux ondes polarisées rectilignement suivant deux directions orthogonales, les phases φ_y et φ_z variant rapidement et aléatoirement l'une par rapport à l'autre.

La distinction entre une polarisation elliptique droite et une gauche est liée au sens de parcours de l'extrémité de \vec{E} le long de l'ellipse, l'axe x de propagation venant vers l'observateur.

☞ **Question A.I.3** : Démontrer les relations suivantes :

- Lorsque $0 < \varphi_y - \varphi_z < \pi$ alors on a une polarisation elliptique droite.
- Lorsque $\pi < \varphi_y - \varphi_z < 2\pi$ alors on a une polarisation elliptique gauche.

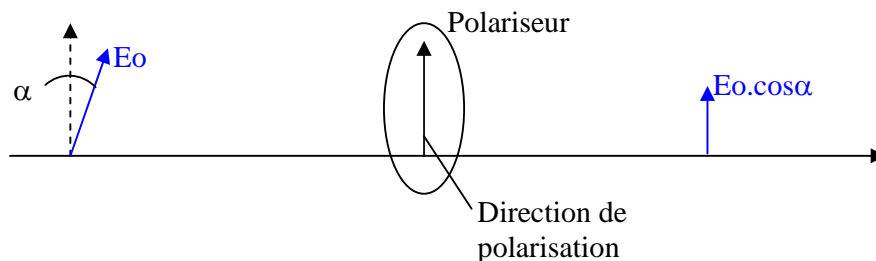
II/ Polariseur Analyseur

On appelle polariseur rectiligne, tout système capable de transformer une polarisation quelconque en une polarisation rectiligne. On peut réaliser cette polarisation par plusieurs procédés : utilisation des propriétés de réflexion et réfraction sur une lame de verre, utilisation des propriétés de réfraction dans les milieux anisotropes, ou plus simplement, utilisation d'un verre *polaroid* qui laisse passer une composante de \vec{E} sur un axe tout en absorbant la composante sur l'axe perpendiculaire.

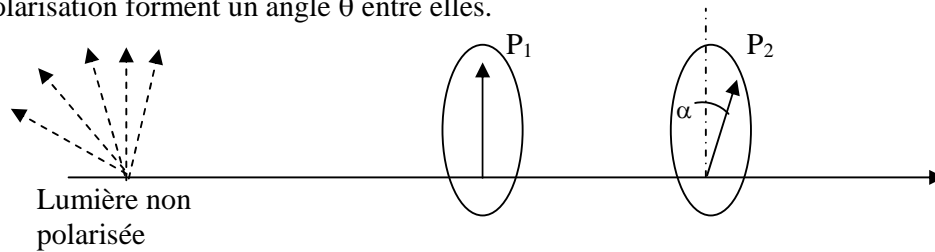


Une onde polarisée verticalement peut passer par une fente verticale, alors qu'une onde horizontale est absorbée.

Remarque : Un polariseur rectiligne éclairé par une onde polarisée rectilignement laisse passer la projection de la vibration lumineuse sur sa direction de polarisation.



Loi de Mallus : Soient deux polariseurs placés l'un derrière l'autre, leurs directions de polarisation forment un angle θ entre elles.

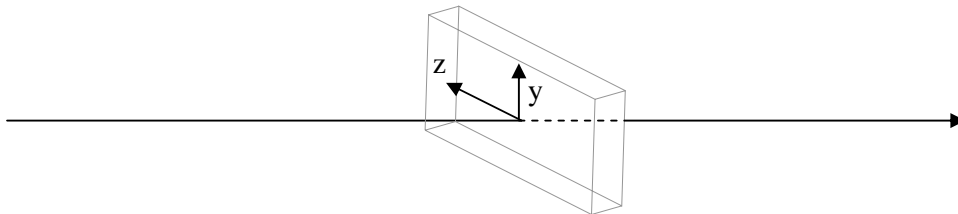


Le deuxième polariseur P_2 porte le nom d'analyseur : il sert à l'analyse de la lumière polarisée issue de P_1 .

❧ **Question A.II.1 :** Comment varie l'éclairement ξ émergent du système en fonction de α ? On donne $\xi = k.E^2$ avec E amplitude du champ électrique émergent.

III/ Lames demi-onde et quart d'onde

Il s'agit de lames taillées dans un cristal anisotrope utilisées sous incidence normale, elles sont caractérisées par l'existence de deux directions particulières orthogonales qu'on peut choisir comme axes y et z ; ce sont les *lignes neutres*.



La lame introduit une différence de phases entre les composantes du champ \vec{E} sur y et sur z .

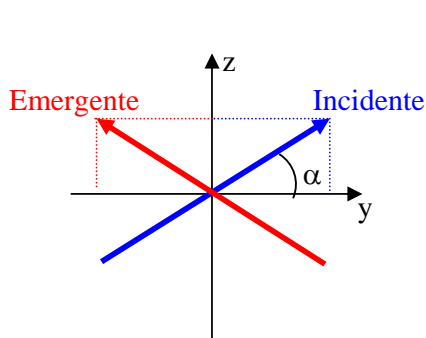
Si la différence de phase vaut $\varphi = (2k+1).\pi$ $k \in \mathbb{Z}$ la lame est une lame demi-onde.

Si la différence de phase vaut $\varphi = (2k+1).\pi/2$ $k \in \mathbb{Z}$ la lame est une lame quart d'onde.

L'axe lent est celui qui est mis en quadrature retard par rapport à l'axe rapide.

Effet d'une lame sur une lumière polarisée.

Lame 1/2 onde et lumière polarisée rectilignement.



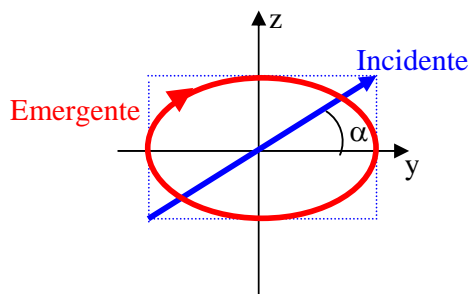
$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} 0 \\ E_i \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega t \\ E_i \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t \end{pmatrix} \quad \text{dans le plan } x=0$$

L'onde émergente est caractérisée par :

$$\vec{E}_{ei} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_e \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\omega t + \pi) \\ E_e \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t \end{pmatrix} \quad \text{dans le plan } x=0$$

Il s'agit d'une vibration rectiligne symétrique de la vibration incidente par rapport aux lignes neutres.

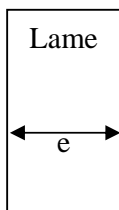
Lame 1/4 d'onde et lumière polarisée rectilignement.



$$\vec{E}_e = \begin{pmatrix} 0 \\ E_e \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\omega t - \pi/2) \\ E_e \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t \end{pmatrix}$$

Il s'agit d'une polarisation elliptique. Le sens de parcours est celui qui amène la vibration incidente sur l'axe lent par une rotation inférieure à 90°.

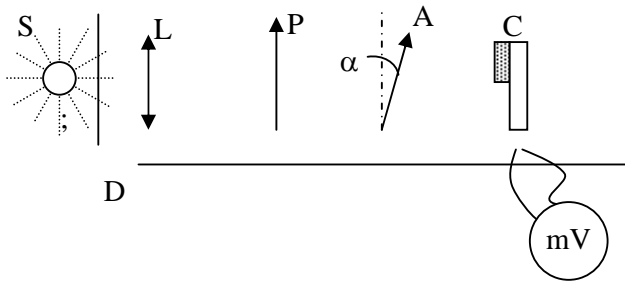
Remarque : Le déphasage introduit entre les composantes de E sur les deux lignes neutres vient d'une différence des indices de réfraction pour ces deux polarisations particulières : n_y et n_z .



La différence des chemins optiques dans la lame vaut :
 $\delta = (n_y - n_z) \cdot e$ $\varphi = (2\pi \cdot \delta) / \lambda_0 = [2\pi \cdot e \cdot (n_y - n_z)] / \lambda_0$
avec λ_0 longueur d'onde de la source dans le vide.

⌘ **Question A.III.1 :** Sous quelle condition les lames doivent elles être utilisées ?

B/ Manipulation

I/ Vérification de la loi de Mallus


S source monochromatique (lampe à vapeur de sodium) ;
L lentille ($f' = 10$ cm) donne un faisceau de lumière parallèle

P polariseur et A analyseur ;
C cellule photo-électrique.

La cellule photo-électrique délivre une tension proportionnelle à l'éclairement, $U = k \cdot \xi$.
On branchera un voltmètre aux bornes de la cellule pour lire l'éclairement, on donne :
 $1 \text{ mV} = 100 \text{ Lux}$.

- ✎ **Question B.I.1** : Mesurer les valeurs de U en fonction de α .
- ✎ **Question B.I.2** : Quelle méthode d'exploitation des résultats proposez-vous pour vérifier la loi de Mallus ?
- ✎ **Question B.I.3** : Conclusion.

II/ Lames quart d'onde

Introduire une lame $\frac{1}{4}$ d'onde entre le polariseur et l'analyseur, avec $\alpha = \pi/2$.

- ✎ **Question B.II.1** : Faire tourner la lame $\frac{1}{4}$ d'onde, qu'observe t'on ?
- ✎ **Question B.II.2** : Que peut-on dire lors d'une extinction ?

Produire à l'aide du polariseur et de la lame $\frac{1}{4}$ d'onde une lumière polarisée elliptiquement.

Analyse de cette vibration

En faisant tourner l'analyseur, on repère des directions correspondant à un maximum d'intensité et un minimum non nul.

- ✎ **Question B.II.3** : A quoi correspondent ces 2 directions particulières ?
- ✎ **Question B.II.4** : Que peut-on dire si elles n'existent pas ?
- ✎ **Question B.II.5** : Vérifier expérimentalement les conditions nécessaires pour que la variation de l'éclairement soit nul.