TP PHYSIQUE

POLARISATION DE LA LUMIERE

OBJECTIFS : →Obtention d'une lumière polarisée.
→Action des lames λ/4 et λ/2.
→Polarisation de la lumière par réflexion.

BIIOGRAPHIE : H prépa optique (Hachette)

I- ETUDE THEORIQUE.

1- Description de la polarisation.

La lumière est une onde électromagnétique $\left(\vec{E},\vec{B}\right)$ dont le comportement, dans le domaine de la polarisation, peut être représenté simplement par le champ électrique $\vec{E}(r,t)$.
Dans de nombreuses situations ce champ se comporte comme une O.P.P.M.
Lorsque celui-ci se propage suivant Ox, ses composantes peuvent se mettre sous la forme:

$E_x = 0.$
$E_y(x,t) = E_{oy}.\cos(kx-\omega t)$
$E_z(x,t) = E_{oz}.\cos(kx-\omega t+\varphi)$

où $\vec{k} = \frac{\omega}{c}\vec{e}_x$ est le vecteur d'onde et φ le déphasage entre $E_z(x,t)$ et $E_y(x,t)$ constituant l'origine des phases.

On observe 3 types de polarisations: rectiligne, elliptique (cas le plus général) et circulaire.

a- Polarisation rectiligne.

*Lorsque φ = 0, $\frac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)} = \frac{E_{oy}}{E_{oz}} = cste.$

*Lorsque φ = π, $\frac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)} = -\frac{E_{oy}}{E_{oz}} = cste.$

b- Polarisation elliptique.

*Lorsque φ ≠ k.π, k ∈ Z, on montre que :

$$\left(\frac{E_y(x,t)}{E_{oy}}\right)^2 + \left(\frac{E_z(x,t)}{E_{oz}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_y(x,t)}{E_{oy}}\right)\left(\frac{E_z(x,t)}{E_{oz}}\right)\cos\varphi = \sin^2\varphi.$$

Équation d'une ellipse d'axes inclinés non confondus avec Oy et Oz.

*Lorsque $\varphi = \pm\dfrac{\pi}{2}$ ou $\varphi = \pm\dfrac{3\pi}{2}$, l'équation précédente devient:

$$\left(\frac{E_y(x,t)}{E_{oy}}\right)^2 + \left(\frac{E_z(x,t)}{E_{oz}}\right)^2 = 1.$$

Équation d'une ellipse d'axes confondus avec Oy et Oz, de longueurs $2E_{oy}$ et $2E_{oz}$.

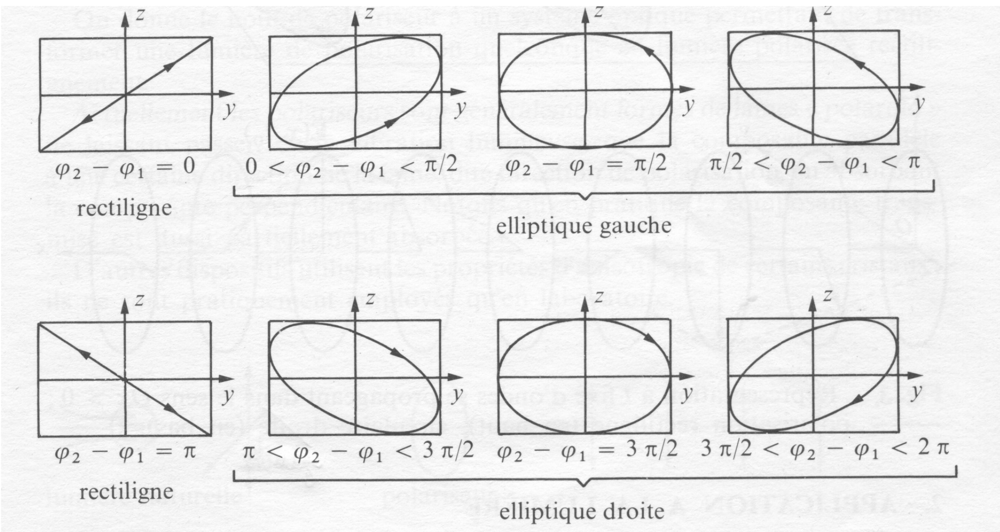
c- Polarisation circulaire.

*Lorsque $\varphi = \pm\dfrac{\pi}{2}$ ou $\varphi = \pm\dfrac{3\pi}{2}$ et $E_{oy} = E_{oz}$, l'équation précédente devient:

$\left(E_y(x,t)\right)^2 + \left(E_z(x,t)\right)^2 = E^2{}_{oy}$, équation d'un cercle de rayon $E_{oy} = E_{oz}$.

d- Représentations de ces types de polarisation.

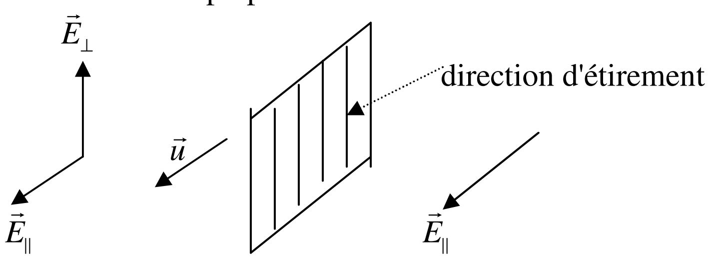
Dans un plan x = cste, l'extrémité du vecteur $\vec{E}$ décrit les figures suivantes :



2- <u>Obtention d'une lumière polarisée.</u>

a- Polariseurs et analyseurs.

Les polariseurs (ou analyseurs) actuels sont des films de polymères étirés, transmettant sélectivement le champ $\vec{E}$ selon un axe perpendiculaire à la direction d'étirement du polymère.



La propriété de tels matériaux est le **dichroïsme**.

L'axe possédant la meilleure transmission du champ $\vec{E}$ est matérialisé par un repère jaune (vecteur unitaire $\vec{u}$) sur le polariseur (ou l'analyseur), la transmission étant nulle perpendiculairement à cet axe.

Un polariseur est donc un dispositif permettant de transformer une onde de polarisation quelconque en une onde de polarisation **rectiligne**.

Quand une onde de polarisation inconnue tombe sur l'analyseur, ce dernier permet comme son nom l'indique, d'analyser la nature de la polarisation qui lui parvient. Il suffit en pratique de le faire tourner et d'observer l'éclairement obtenu à sa sortie:

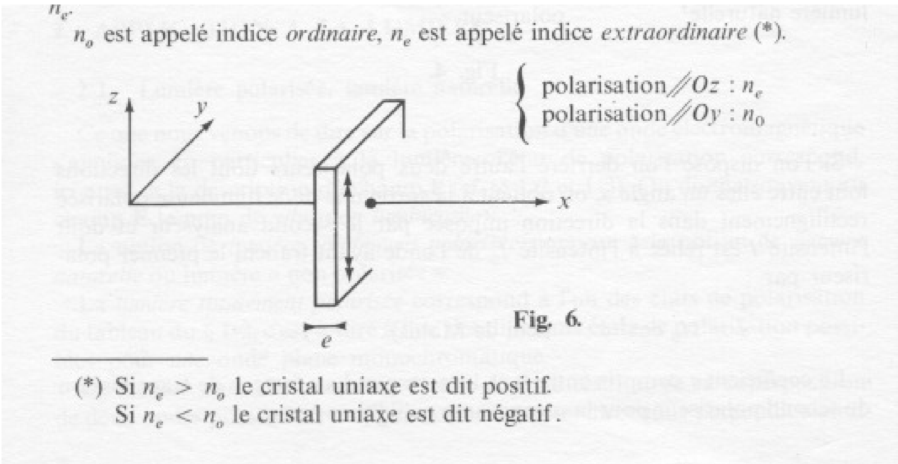
* Si l'éclairement comporte une extinction **complète** ou quasi complète il s'agit d'une polarisation **rectiligne**.

* Si l'éclairement comporte un **maximum** et un **minimum non nul** il s'agit d'une polarisation **elliptique**.

* Si l'éclairement est **uniforme** au cours de la rotation il s'agit d'une polarisation **circulaire**.

b- <u>Lames λ/4 et λ/2.</u>

Ces lames sont taillées dans un cristal anisotrope dont les indices optiques diffèrent suivant Oy et Oz.

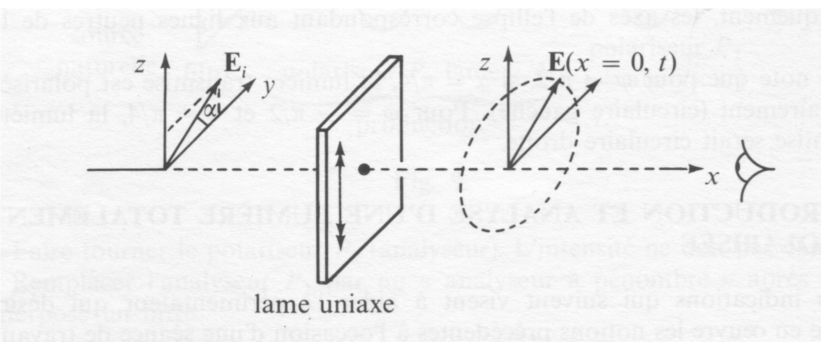


Oz est ici appelé **axe neutre** de la lame et Oy **axe lent**.
Le chemin optique étant différent pour $E_z(x,t)$ et $E_y(x,t)$, la lame introduit entre ces composantes une différence de phase :

$$\varphi_L = \frac{2\pi}{\lambda}\delta \;\; ; \;\; \delta = (n_e - n_o)e$$

Pour une lame 1/4 d'onde : $\delta = \lambda/4$ et $\varphi_L = \pi/2$.
Pour une lame 1/2 onde : $\delta = \lambda/2$ et $\varphi_L = \pi$.

Ainsi lorsque le champ incident $\vec{E}_i$ est polarisé rectilignement en faisant un angle α avec Oy:



Les composantes du champ incident $\vec{E}_i$ sont donc :

$E_x = 0.$

$E_y(x,t) = E_i.\cos\alpha.\cos(kx - \omega t)$

$E_z(x,t) = E_i.\sin\alpha.\cos(kx - \omega t)$

et celles du champ sortant $\vec{E}_s$:

$E_x = 0.$

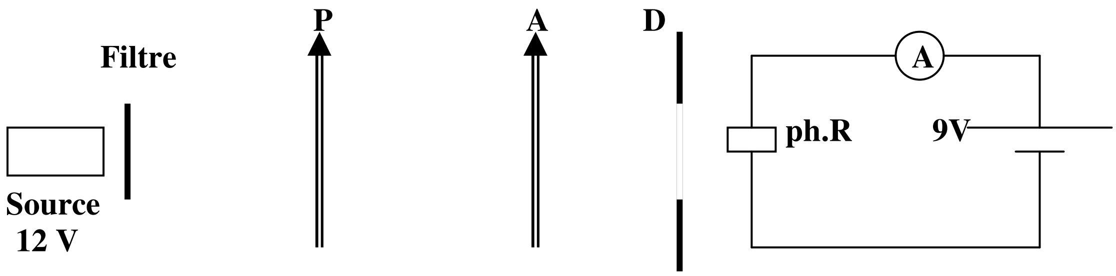
$E_y(x,t) = E_i.\cos\alpha.\cos(kx - \omega t)$

$E_z(x,t) = E_i.\sin\alpha.\cos(kx - \omega t + \varphi_L)$

II- <u>ETUDE EXPERIMENTALE.</u>

1- <u>Vérification de la loi de Malus.</u>

Réaliser le montage suivant en soignant l'alignement de ph.R sur l'axe de D.



P= polariseur ; **A**= analyseur ; **D**= diaphragme ; **ph.R**= photorésistance. Les graduations de P et A sont orientées de la même façon vers la source lumineuse afin de lire dans l'obscurité

Fonctionnement du montage:
Le circuit électrique du montage ci-dessus permet de convertir l'intensité lumineuse reçue par la photorésistance en courant électrique. La résistance diminue quand l'intensité lumineuse croît; sa valeur est de 10MΩ dans <u>l'obscurité totale</u>, soit un courant quasi nul dans le circuit. On peut donc estimer qu'on a une proportionnalité directe entre l'intensité lumineuse et celle du courant dans le circuit.

Travail à effectuer:

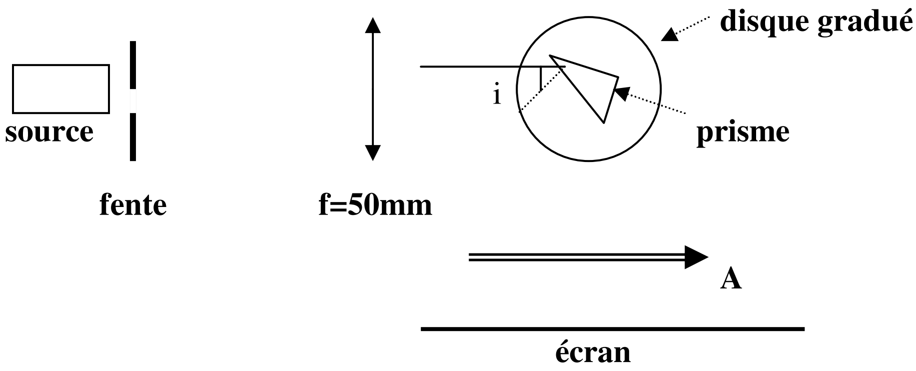
*Régler à l'aide de l'ouverture du diaphragme, l'intensité du courant à la valeur maximale lorsque polariseur et analyseur sont parallèles.
On notera i_0 la valeur exacte de cette intensité.
*Tout en maintenant l'angle du polariseur à 0°, faire varier celui de l'analyseur de θ = 0 à θ = 90° relever tous les 5° la valeur i du courant dans le circuit correspondant à l'intensité lumineuse $I(\theta)$ (attendre entre chaque mesure que la valeur du courant soit bien stabilisée).
On notera i_m la valeur de l'intensité correspondant à l'éclairement minimum.
*On admettra que $\frac{I}{I_0} = \frac{i - i_m}{i_0 - i_m}$
*Estimer l'incertitude absolue Δi en mA.
* Tracer la courbe $\frac{I}{I_0} = f(\cos\theta)$, puis utiliser Excel pour déterminer la loi permettant d'exprimer I(θ) en fonction de I_0 et cosθ (voir annexe)

2- Polarisation par réflexion

Il s'agit de vérifier qu'une lumière non polarisée le devient après réflexion; on montre que cette polarisation par réflexion s'effectue dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence.

Travail à effectuer

* Réaliser le montage ci-dessous



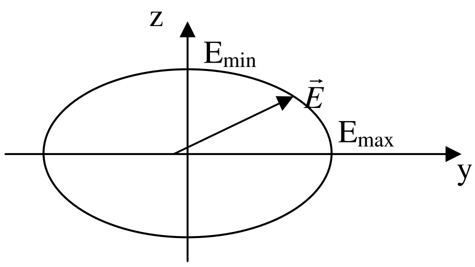
* Faire varier l'angle d'incidence i par rotation du disque gradué jusqu'à ce qu'en tournant l'analyseur, on observe l'extinction totale de la lumière réfléchie sur l'écran. L'angle $i=i_B$ (incidence de Brewster) correspondant, est tel que $\tan(i_B)=n$. En déduire l'indice moyen n du prisme.

3- Action d'une lame 1/4 d'onde.

Remarque préliminaire: de façon générale, la lame quart d'onde peut conduire à 3 types de polarisation qu'on détermine par rotation de l'analyseur et tracé de la courbe $I(\theta)$:

→**rectiligne**: l'intensité présente alors un maximum et un minimum nul (ou quasi nul)
→**elliptique**: l'intensité présente alors un maximum et un minimum non nul.
→**circulaire**: l'intensité est sensiblement constante lorsqu'on tourne l'analyseur.

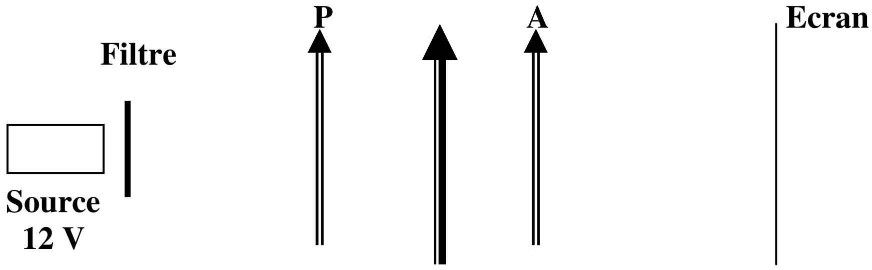
Exemple:



Polarisation elliptique de grand axe à 90° et petit axe à 0°.

Travail à effectuer:

* Réaliser le montage suivant:



λ/4

P=polariseur; **A**=analyseur; **λ/4**=lame quart d'onde

Sur une polarisation rectiligne.

L'angle entre les directions de polarisation de P et de λ/4, c'est à dire entre les repères jaunes, est noté α. En pratique, on incline le polariseur d'un angle α et on laisse λ/4 à 0°.
Pour les valeurs α =0°, 20° et 45°, faire varier θ et repérer directement sur l'écran les positions angulaires des max et des min d'éclairement s'il y a lieu. En déduire le type de polarisation obtenue et tracer le lieu des points décrits par l'extrémité du vecteur champ électrique (voir exemple ci-dessus).

ANNEXE

DETERMINATION DE LA LOI DE MALUS AVEC EXCEL

Une fois la courbe $\frac{I}{I_0} = f(\cos\theta)$ tracée,

1) Selectionner le graphe obtenue et aller chercher dans "option du graphique" l'option "ajouter une courbe de tendance"

2) Sélectionner le type "polynomial". On essaiera les ordres 2 puis 3

3) Dans "option", cliquer sur "afficher l'équation sur le graphe"

4) Pour déterminer la loi ne conserver que les coefficients du polynôme les plus proches de 1