

Polarisation de la lumière (PC*)

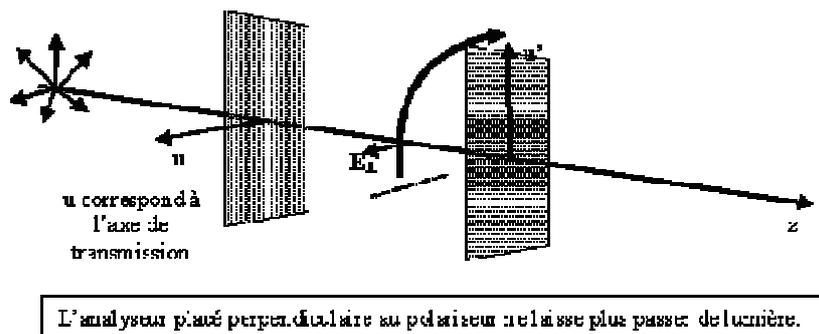
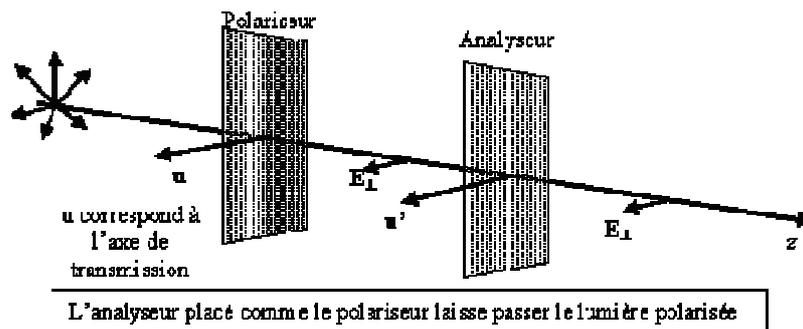


I – Production et analyse d’une polarisation rectiligne :

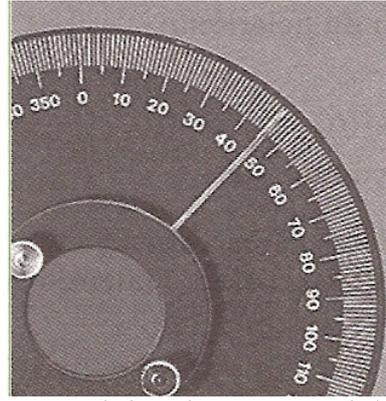
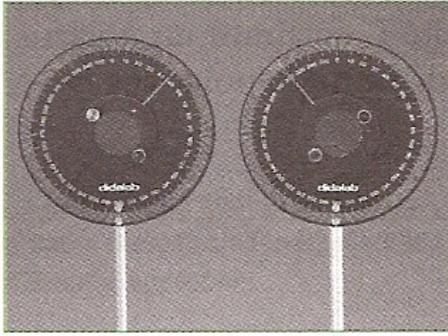
1 – Production et analyse par dichroïsme :

Le dichroïsme est la propriété d’absorption sélective de la lumière selon la direction du champ électrique incident : seuls certains matériaux anisotropes la possèdent.

L’exemple le plus commun est le polaroïd qui est une feuille constituée de longues chaînes de polymères étirées dans une direction. L’effet sur la lumière incidente est de sélectionner une polarisation rectiligne orthogonale à la direction des polymères.



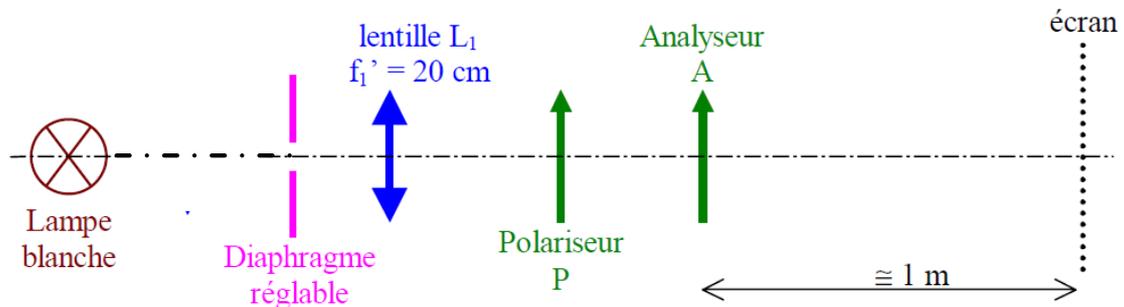
On pourra utiliser ces polaroïds comme polariseurs pour créer une polarisation rectiligne de direction donnée, ou comme analyseurs pour vérifier qu’il s’agit bien d’une polarisation rectiligne (on aura alors une extinction totale) et pour déterminer la direction de polarisation (orthogonale à la direction de l’analyseur à l’extinction).



Paire de polariseur – analyseur – Le pourtour du polariseur (ou de l'analyseur) est gradué en degrés. L'aiguille permet de tourner le disque polarisant au centre et de mesurer cette rotation.

- Association polariseur – analyseur :

Réaliser le montage suivant :



Avant de placer le couple polariseur – analyseur, on fera l'image du diaphragme à travers la lentille sur un écran placé à environ 1 m de la lentille.

Remarquer qualitativement les variations de la luminosité de l'image sur l'écran quand on fait tourner l'analyseur.

Rechercher les directions correspondant à des annulations (polariseur et analyseur croisés).

Mettre en évidence que seules les directions (et non les sens) interviennent.

- Introduction d'un autre polariseur entre polariseur et analyseur croisés :

Ce troisième polariseur est a priori de direction quelconque : décrire ce que l'on observe sur l'écran.

Faire tourner ce polariseur intermédiaire en conservant polariseur et analyseur croisés : décrire et justifier les observations réalisées.

- Etude qualitative des sources de lumière courante :

Observer à travers un polaroïd des sources de lumière naturelle (lampe à incandescence, lampe spectrale, tube fluorescent, Soleil, ...) et vérifier que la lumière émise n'est pas polarisée.

En faisant une projection sur un écran, étudier la lumière émise par le laser (ou par une diode laser) : est – elle polarisée rectilignement ?

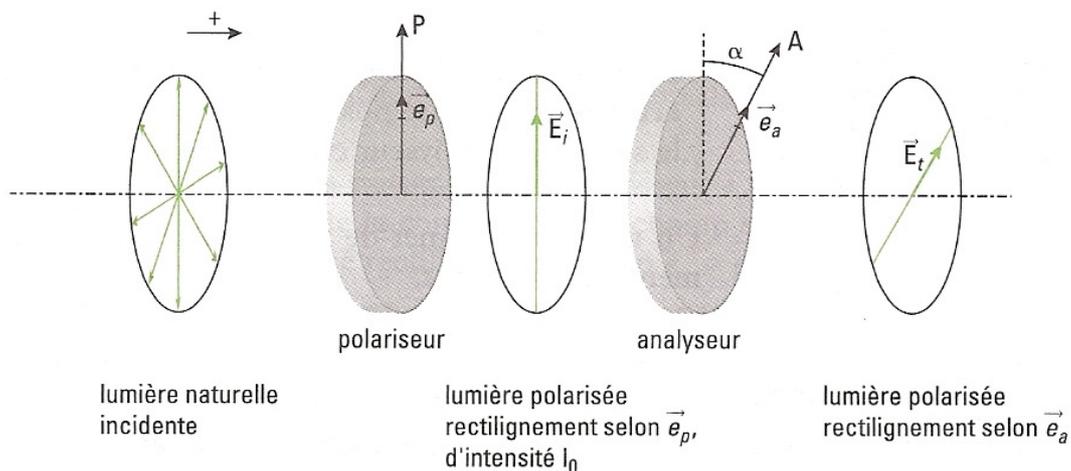
2 – Etude quantitative, loi de Malus :

Si l'on dispose l'un derrière l'autre deux polariseurs dont les direction de polarisation font entre elles un angle α , 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 (loi de Malus) :

$$I_2 = TI_1 \cos^2 \alpha$$

* T est le facteur de transmissions en énergie du second polariseur (pour $T = 1$, le polariseur est idéal, c'est-à-dire sans absorption).

* On retrouve que, pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ou $\frac{3\pi}{2}$, il y a extinction du faisceau lumineux : les deux polariseurs sont croisés.



Montage polariseur-analyseur illustrant la loi de Malus.

II – Utilisation de lames à retard de phase :

1 – Principe général :

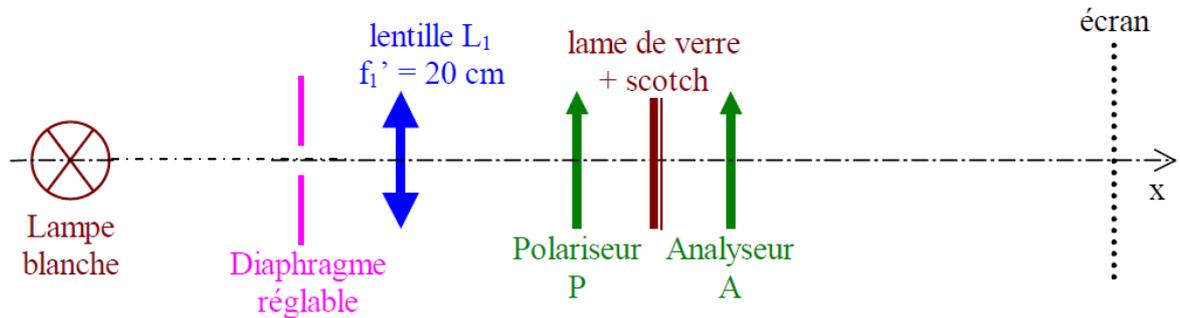
Les polariseurs sont des milieux anisotropes : ils se comportent différemment suivant la direction de polarisation des champs qui les traversent.

D'autres milieux transparents peuvent être anisotropes, soit naturellement soit sous l'effet de contraintes appliquées. On peut observer cette anisotropie en les insérant entre un polariseur et un analyseur croisés. Du fait de leur anisotropie, ces milieux vont influencer sur l'état de polarisation de l'onde qui les traverse et on n'aura plus d'extinction à la sortie de l'analyseur.

On peut noter que l'effet du matériau sur l'onde dépend de l'épaisseur traversée et de la longueur d'onde : en lumière blanche, on pourra avoir apparition de couleurs sur l'écran d'observation.

*** Expérience qualitative :**

Introduire une lame de verre de microscope recouverte d'un morceau de scotch entre polariseur et analyseur croisés selon le montage classique :

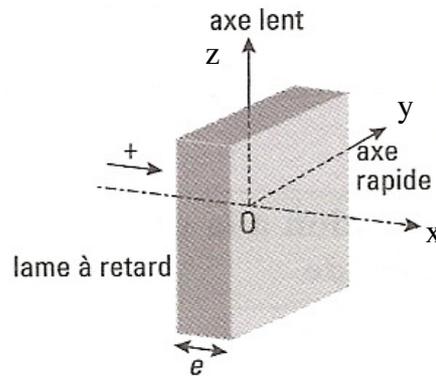


Rappel : on fera l'image du diaphragme sur l'écran

Qu'observe-t-on ? La lumière incidente sur l'analyseur possède-t-elle une polarisation rectiligne ? Naturelle ? Autre ?

*** Lames à retard et lignes neutres :**

Certains matériaux anisotropes possèdent deux directions orthogonales appelées lignes neutres. Ce nom vient du fait que lorsqu'on envoie sur une lame constituée d'un tel matériau une onde incidente d'axe de polarisation rectiligne confondu avec l'une des lignes neutres, l'onde transmise est de polarisation inchangée.



Lame à retard : axe lent et axe rapide (l'origine de l'axe Oz est prise sur la face avant de la lame).

Les deux directions de polarisation Oy et Oz correspondant aux lignes neutres possèdent des indices optiques différents et donc des vitesses de propagation différentes selon l'axe Ox.

Si l'axe Oy est l'axe rapide, alors $v_y > v_z$ et $n_y < n_z$, ce qui se traduit par un retard de phase temporel pour la direction de polarisation selon Oz par rapport à celle de l'axe rapide qui vaut (e est l'épaisseur de la lame) :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_z - n_y)e$$

Remarque : les indices dépendent de la longueur d'onde du rayonnement utilisé. Il faut donc utiliser un rayonnement monochromatique adapté à la lame étudiée.

Si le champ électrique de l'onde incidente sur la face d'entrée de la lame à retard est de la forme (polarisation elliptique quelconque) :

$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} E_y = E_{0,y} \cos(\omega t - kx) \\ E_z = E_{0,z} \cos(\omega t - kx + \varphi_0) \end{pmatrix}$$

Après la traversée de la lame, le champ est devenu :

$$\vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_y = E_{0,y} \cos(\omega t - kx + \varphi_y) \\ E_z = E_{0,z} \cos(\omega t - kx + \varphi_0 + \varphi_z) \end{pmatrix}$$

Soit :

$$\vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_y = E_{0,y} \cos(\omega t - kx + \varphi_y) \\ E_z = E_{0,z} \cos(\omega t - kx + \varphi_y + (\varphi_0 + \Delta\varphi)) \end{pmatrix}$$

Ainsi, le retard de phase entre les deux coordonnées du champ est devenu :

$$\varphi_0 + \Delta\varphi = \varphi_0 + \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_z - n_y) e$$

Il y aura donc en général modification de l'état de polarisation de l'onde au cours de la traversée de la lame.

2 – Etude d'une lame demi – onde (lame $\lambda / 2$) :

Une lame à retard est dite demi – onde quand elle introduit un déphasage de π entre les composantes de polarisation selon les lignes neutres (donc une différence de chemin optique de $\lambda / 2$).

Par conséquent :

$$\vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_y = E_{0,y} \cos(\omega t - kx + \varphi_y) \\ E_z = -E_{0,z} \cos(\omega t - kx + \varphi_y + \varphi_0) \end{pmatrix}$$

Le champ électrique à la sortie de la lame est le symétrique du champ incident par rapport à l'axe rapide. La polarisation reste elliptique mais le sens de rotation a changé.

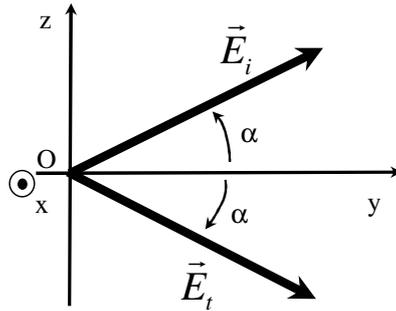
Dans le cas particulier d'une polarisation incidente rectiligne (le champ électrique incident fait un angle α avec l'axe rapide) :

$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} E_y = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kx) \\ E_z = E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kx) \end{pmatrix}$$

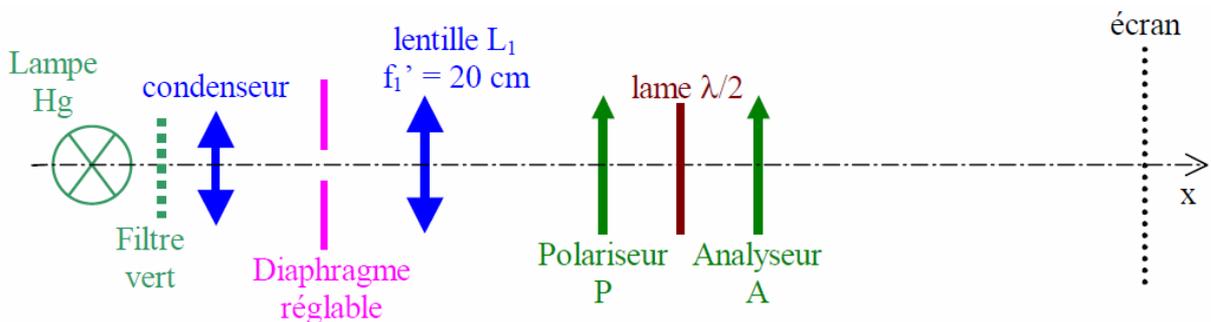
Le champ en sortie de lame est :

$$\vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_y = E_0 \cos \alpha \cos(\omega t - kx + \varphi_y) \\ E_z = -E_0 \sin \alpha \cos(\omega t - kx + \varphi_y) \end{pmatrix}$$

Là encore, c'est un champ à polarisation rectiligne dont la direction est symétrique de la direction incidente par rapport à l'axe rapide.



Introduire la lame $\lambda/2$ entre polariseur et analyseur croisés (PAC) selon le montage classique (prendre ici une lampe à vapeur de mercure) :



Rappel : on fera l'image du diaphragme sur l'écran

Orienter la lame $\lambda/2$ pour obtenir de nouveau l'extinction sur l'écran : les lignes neutres de la lame coïncident alors avec les directions du polariseur P et de l'analyseur A.

Tourner le polariseur de 20° par exemple dans un sens puis tourner l'analyseur progressivement dans le sens opposé. Mesurer l'angle de rotation de l'analyseur lorsqu'une nouvelle extinction est obtenue.

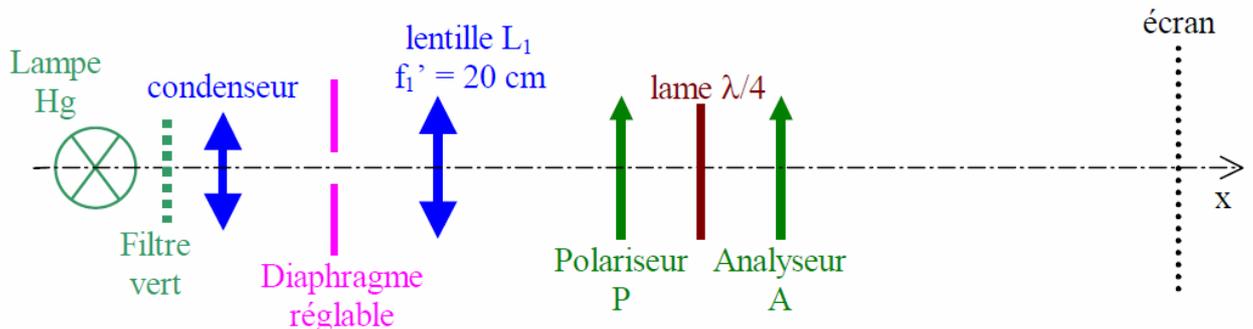
Conclure et proposer une explication (s'aider d'un schéma).

2 – Etude d'une lame quart d'onde (lame $\lambda/4$) :

Une lame à retard est dite quart d'onde lorsqu'elle introduit un déphasage de $\pi/2$ entre les composantes de polarisation selon les lignes neutres.

* Création d'une polarisation elliptique :

Introduire une lame $\lambda/4$ entre PAC selon le montage classique :



Rappel : on fera l'image du diaphragme sur l'écran

Orienter la lame $\lambda/4$ pour obtenir de nouveau l'extinction de l'image sur l'écran.

A partir de cette position, tourner la lame $\lambda/4$ d'un angle de 20° par exemple dans un sens quelconque.

Observer l'éclairement sur l'écran lorsque l'on tourne l'analyseur A et interpréter.

Conclure qu'une lame $\lambda/4$ transforme une vibration rectiligne en une vibration elliptique, dont les axes sont ceux de la lame.

*** Création d'une polarisation circulaire :**

A partir de l'extinction précédente, entre PAC, tourner cette fois la lame $\lambda/4$ d'un angle de 45° dans un sens quelconque.

Observer l'éclairement sur l'écran quand on tourne l'analyseur et interpréter.

Conclure que si la vibration rectiligne est à 45° des axes de la lame $\lambda/4$, la vibration émergente est circulaire.

