

T.P. COURS

POLARISATION

1. POLARISATION RECTILIGNE

1.1. Production : polariseurs

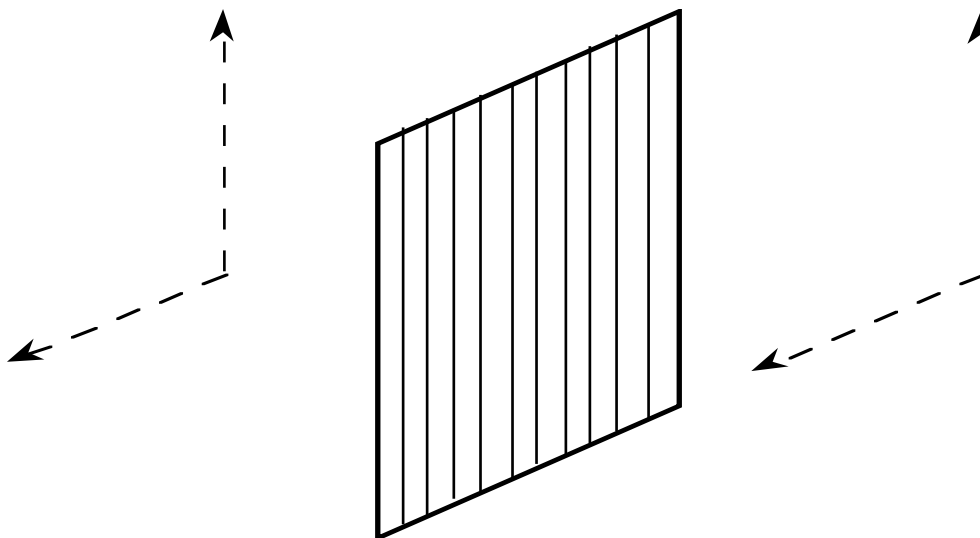
Nous avons déjà vu qu'une onde électromagnétique arrivant en incidence normale sur un conducteur parfait est totalement réfléchi par celui-ci. Il en est de même pour une onde polarisée rectilignement arrivant sur une grille conductrice dont les fils sont parallèles à la direction de polarisation du champ, l'écartement des fils étant petit par rapport à la longueur d'onde dans le vide de l'onde.

En effet, le parallélisme des fils et du champ \vec{E} incident permet la création de courants dans ces fils, courants qui engendrent l'onde réfléchi. L'écartement des fils est en outre trop faible pour permettre la propagation d'ondes guidées entre les fils, avec un champ \vec{E} parallèle aux fils.

En revanche, si le champ incident est polarisé orthogonalement à la direction des fils, aucun courant n'est engendré, et la propagation « entre » les fils est possible avec un champ orthogonal : l'onde incidente est entièrement transmise (voir guides d'onde).

Par conséquent, pour une onde incidente non polarisée, le champ \vec{E} incident peut toujours être décomposé en une composante parallèle aux fils et une composante orthogonale : la composante parallèle est réfléchi, la composante normale est transmise.

Après la grille, on obtient donc une onde polarisée rectilignement, de direction de polarisation orthogonale aux fils de la grille : cette grille constitue un **polariseur rectiligne**.



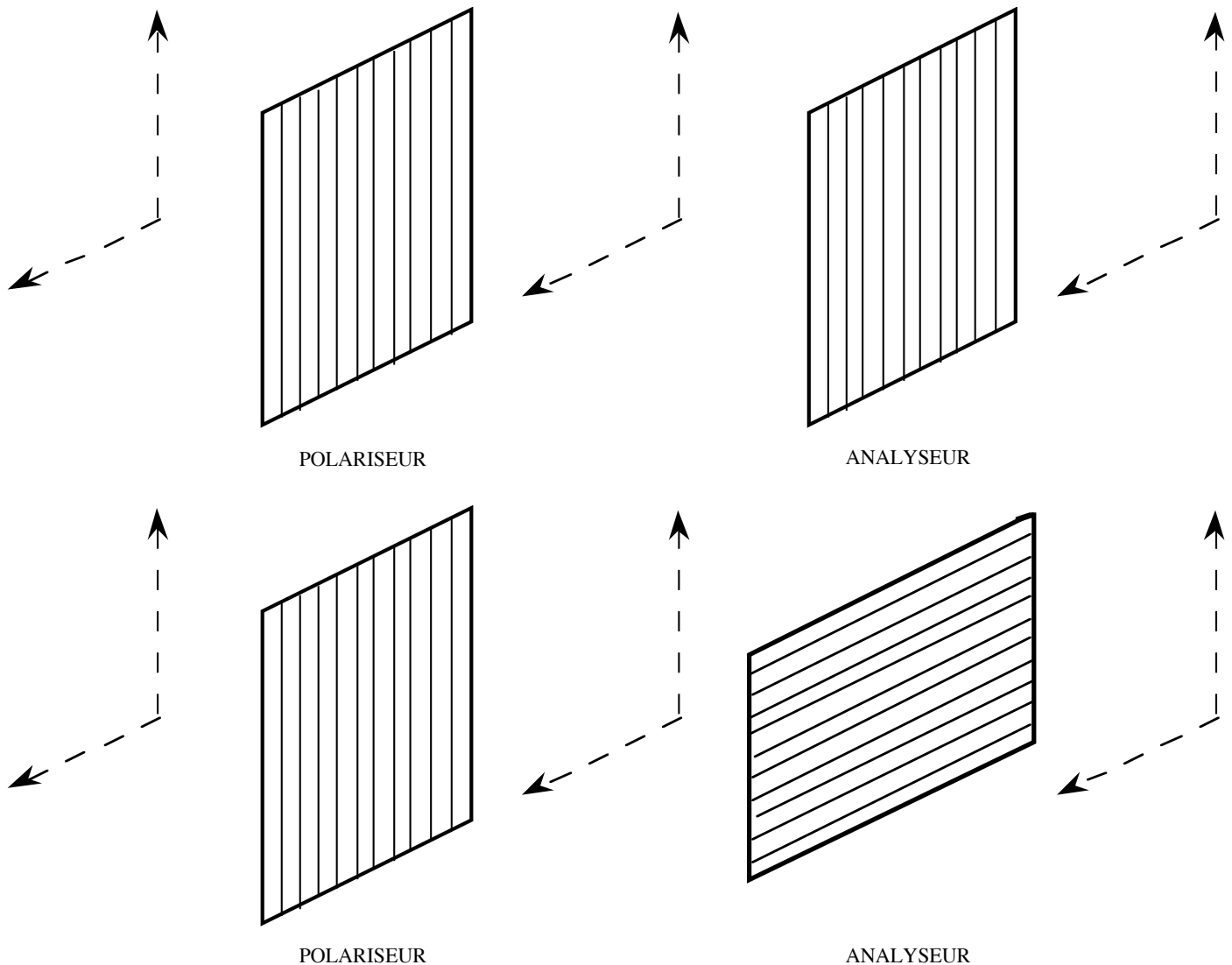
POLARISEUR

1.2. Détection : analyseurs

Une grille du même type que le polariseur pourra servir de détection d'une lumière polarisée. En effet, si on place une deuxième grille du même type que le polariseur derrière celui-ci, celle-ci « laisse passer » l'onde polarisée si ses fils sont orthogonaux à la direction de polarisation (donc en fait parallèles à ceux du polariseur) et la réfléchit totalement si ses fils sont parallèles à la direction de polarisation (donc en fait orthogonaux à ceux du polariseur).

Cette deuxième grille est alors appelée **analyseur**. Quand on peut observer avec un analyseur « l'extinction » complète d'une onde, c'est que celle-ci était polarisée rectilignement.

Dans l'expérience précédente, la configuration des 2 grilles permettant l'extinction est dite **polariseur et analyseurs croisés**.

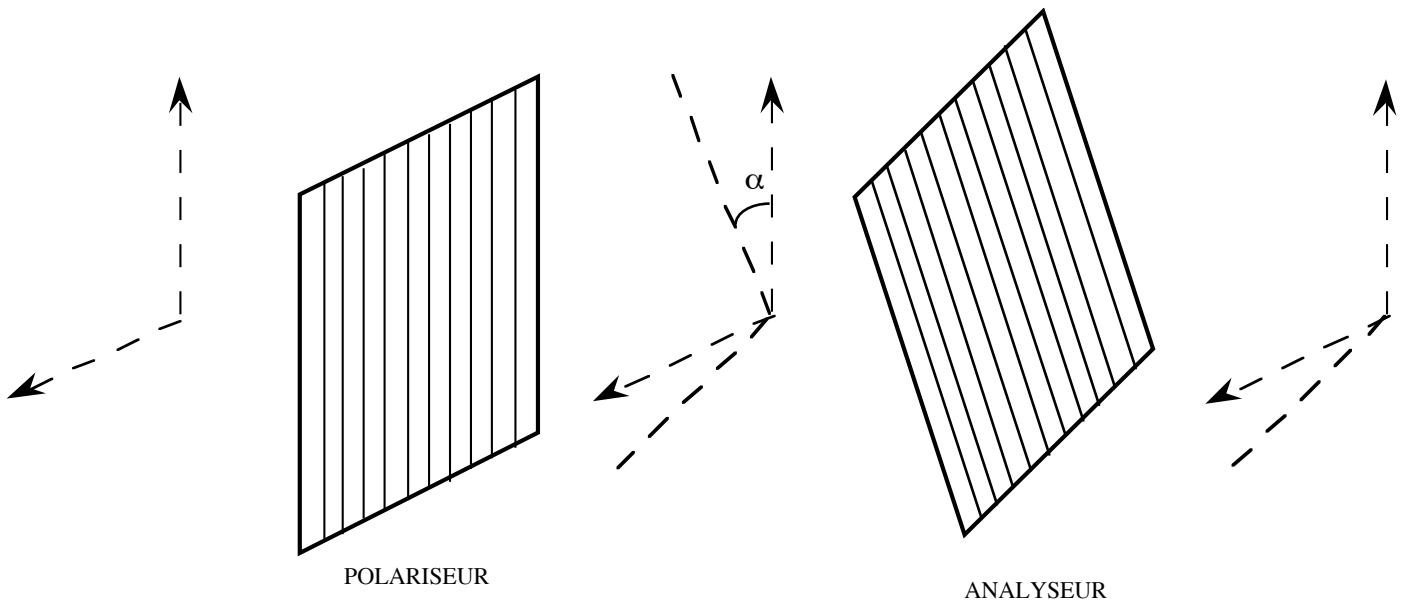


1.3. Loi de Malus

Imaginons enfin que les deux directions des fils du polariseur et de l'analyseur fassent entre elles un angle α .

Le polariseur a "fabriqué" une onde rectiligne de direction y , de module E_0 . Le champ \vec{E} de cette onde doit à nouveau être décomposé suivant les axes X et Y . Seule la composante $E_Y = E_0 \cos \alpha$ est transmise. L'onde finale est polarisée suivant Y , de module $E_0 \cos \alpha$.

L'énergie de l'onde est alors transportée par le vecteur de Poynting dont le module varie en $\cos^2\alpha$ avec l'angle α .



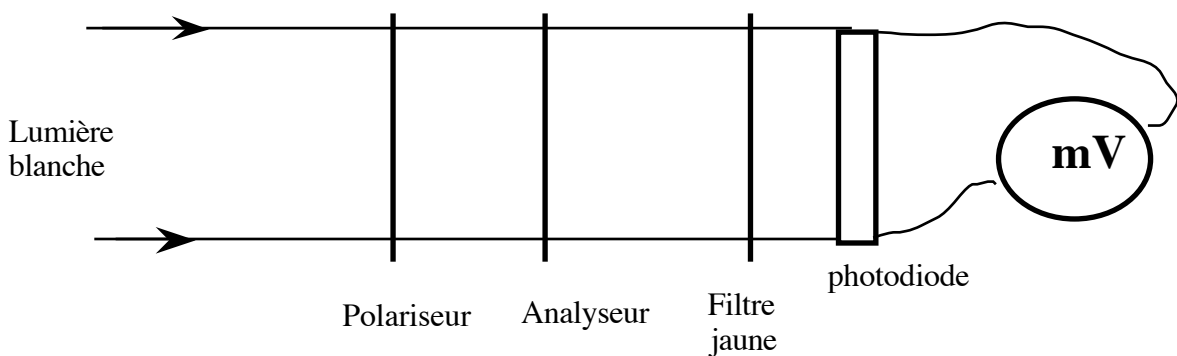
Les considérations précédentes s'étendent évidemment aux ondes dont le domaine de fréquences est celui de l'optique : pour ces ondes l'écartement des fils de la grille devra être petit devant λ , c'est à dire devant des distances de l'ordre du μm . En optique, les polariseurs sont en fait constitués de milieux transparents, appelés **polaroïds**, comportant des longues chaînes moléculaires créées par étirement et rendues conductrices, qui se comportent comme les fils de la grille métallique.

Ces milieux transmettent alors totalement une onde polarisée rectilignement suivant une direction spécifique et pas du tout suivant la direction orthogonale : c'est le **dichroïsme**.

L'intensité lumineuse associée à l'onde ayant traversé polariseur et analyseur faisant entre eux un angle α varie alors suivant la loi de Malus :

$$I = I_0 \cos^2\alpha \quad \text{Loi de Malus}$$

Réaliser le montage suivant :



Former l'image du filament sur la cellule.

A l'aide de Synchronie, tracer la courbe $V = f(\cos^2\alpha)$. Commenter.

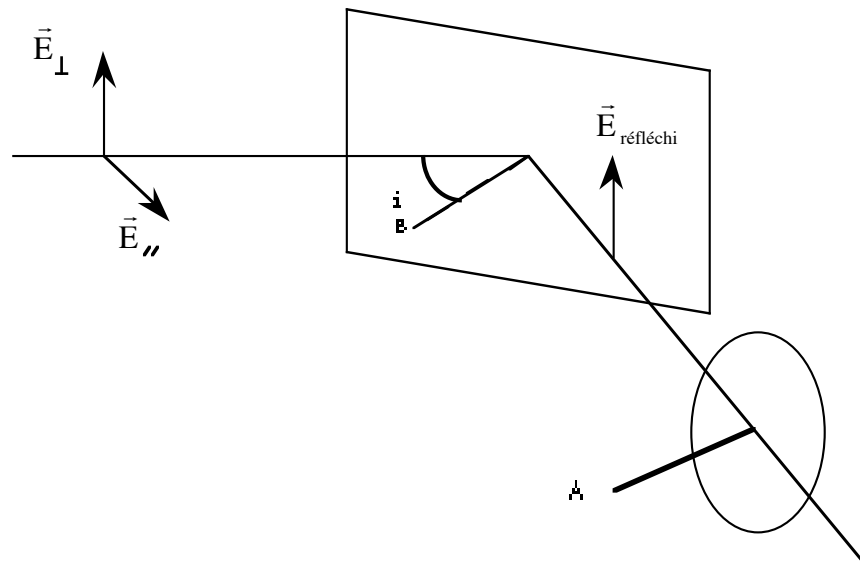
1.4. Analyse d'une polarisation rectiligne

Seule une onde polarisée rectilignement peut être totalement « éteinte » à l'aide d'un analyseur dans la configuration polariseur-analyseur croisés (configuration PAC).

L'extinction possible est donc le critère de reconnaissance d'une polarisation rectiligne. En outre, la direction de polarisation est orthogonale à la direction d'analyse dans la configuration PAC.

On dispose d'un polariseur « inconnu » permettant de produire une onde rectiligne. A l'aide d'un analyseur de direction connue, déterminer expérimentalement la direction de polarisation du polariseur.

Rq. Si l'on ne dispose pas d'un analyseur connu, on peut utiliser la polarisation par réflexion vitreuse sous incidence de Brewster. En effet, on fabrique ainsi une onde rectiligne dont on connaît la direction de polarisation (orthogonale au plan d'incidence). Il suffit alors de placer sur le trajet de l'onde réfléchi le polariseur inconnu, qui sert ici d'analyseur : l'extinction est obtenue quand la direction de polarisation de cet analyseur est dans le plan d'incidence.



1.5. Existence de matériaux anisotropes

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

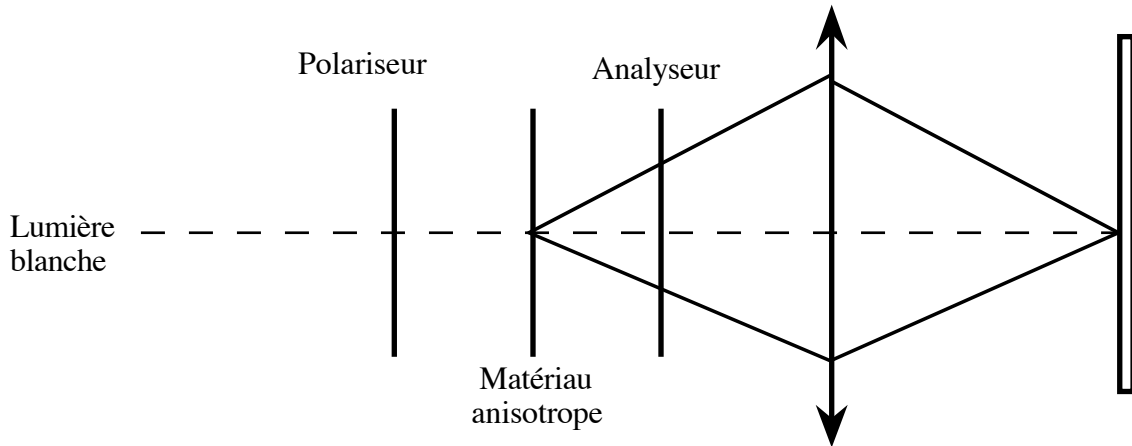
D'autres milieux transparents peuvent être anisotropes, soit naturellement, soit sous l'effet de contraintes appliquées. On peut observer cette anisotropie en les insérant dans une configuration PAC. Du fait de leur anisotropie, ces milieux vont influencer sur l'état de polarisation de l'onde qui les traverse : on n'aura plus alors extinction après l'analyseur.

Notons 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.

Réaliser les expériences suivantes :

- Insérer une lame de Plexiglas dans le système PAC et en faire l'image sur un écran à l'aide d'une lentille : on visualise sur l'écran les contraintes subies par le Plexiglas.

- Insérer de même une plaque de verre sur laquelle on a collé plusieurs épaisseurs de papier adhésif transparent (scotch) : on visualise une image différemment colorée suivant l'épaisseur traversée.

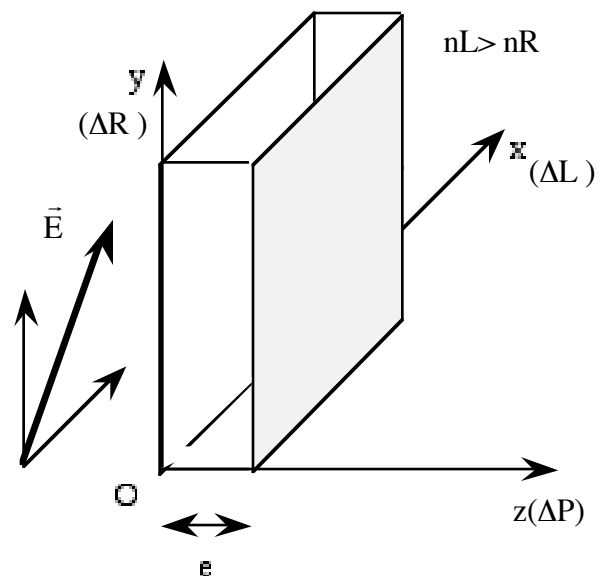


2. MILIEUX ANISOTROPES : LAMES A RETARD

Dans un diélectrique isotrope toutes les directions de l'espace sont équivalentes, on a proportionnalité entre \vec{P} et \vec{E} sous la forme d'une constante : l'indice n est finalement une constante unique du diélectrique.

Dans les milieux anisotropes, il en va différemment : il existe en particulier des milieux **biréfringents**, caractérisés par deux axes orthogonaux à chacun desquels on associe un indice différent : ainsi, une onde se propageant orthogonalement au plan de ces deux axes, et dont le champ électrique est polarisé suivant l'un des ces axes "verra" l'indice associé. A ces deux indices correspondent évidemment des vitesses de phase différentes.

L'axe de plus grand indice, donc de plus faible vitesse, est appelé axe lent Δ_L et l'autre axe rapide Δ_R . Une onde pénétrant en incidence normale dans un tel milieu, et polarisée suivant l'axe lent ou l'axe rapide, ressortira du milieu avec la même polarisation. Par contre, une onde polarisée elliptiquement devra être décomposée suivant les deux axes. Les deux composantes ne se propagent pas à la même vitesse selon chaque axe de polarisation, elles ressortiront déphasées l'une par rapport à l'autre, ce qui peut modifier notablement l'état de polarisation de l'onde.



On conçoit donc qu'on peut utiliser les milieux diélectriques biréfringents pour fabriquer des lames transparentes, taillées de façon à ce qu'elles soient traversées en incidence normale par rapport au plan (Δ_L, Δ_R) et qui serviront à modifier l'état de polarisation d'une onde qui les a traversées.

Plus précisément, examinons la propagation d'une onde dans la lame. Nous prendrons le système axe lent, axe rapide, axe de propagation, noté (L, R, P) comme système d'axes de projection.

En prenant l'origine de la propagation à l'entrée de la lame, le champ \vec{E} est décomposé en :

$$\vec{E} : (E_{0L} e^{j\omega t}, E_{0R} e^{j\omega t} e^{j\phi}, 0)$$

A la sortie de la lame, d'épaisseur e suivant e_p , le champ sera :

$$\vec{E} : (E_{0L} e^{j\omega t} \exp(-\frac{jn_L \omega e}{c}), E_{0R} e^{j\omega t} e^{j\phi} \exp(-\frac{jn_R \omega e}{c}), 0)$$

En ramenant l'origine de la propagation à la sortie de la lame pour la composante lente, le champ sera par la suite de la forme :

$$\vec{E} : (E_{0L} e^{j[\omega(t-z/c)]}, E_{0R} e^{j[\omega(t-z/c) + \phi + \phi']}, 0)$$

$$\text{en posant } \phi' = \frac{(n_L - n_R)\omega e}{c} \text{ ou encore : } \phi' = \frac{(n_L - n_R)2\pi e}{\lambda_0}$$

Il s'agit donc d'un retard de phase de la composante suivant l'axe lent par rapport à la composante suivant l'axe rapide. La lame est appelée **lame à retard** et possède des propriétés particulières suivant la valeur de e :

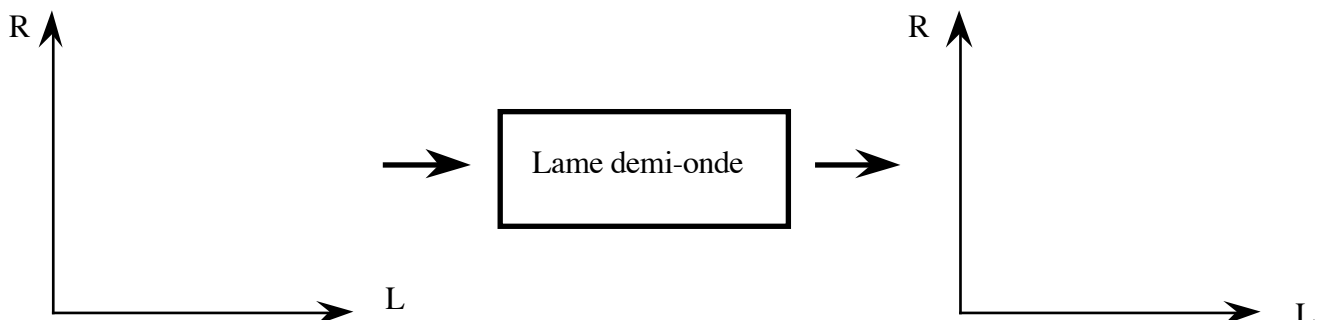
- lame demi-onde $\lambda / 2$

$$\text{Elle est telle que } (n_L - n_R)e = \frac{\lambda}{2}, \text{ soit } \phi' = \pi.$$

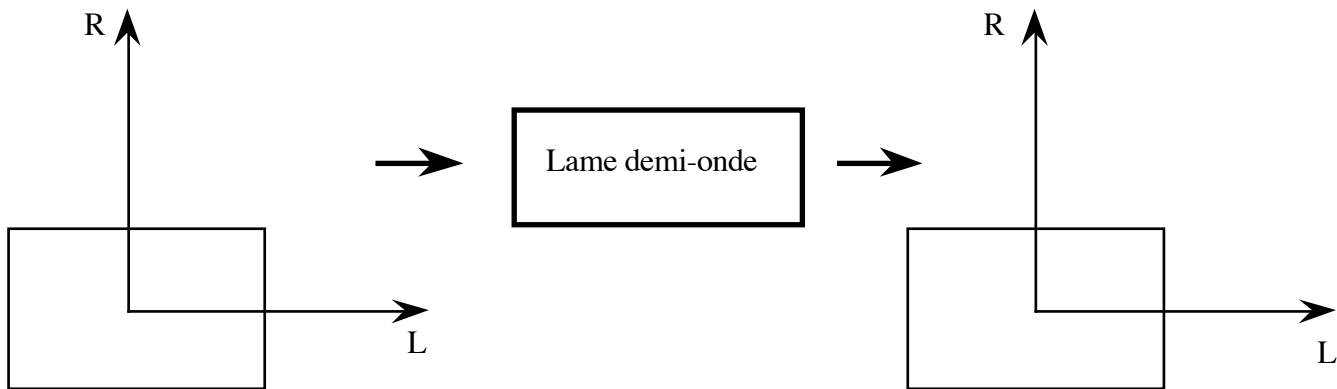
On peut résumer l'action de la lame demi-onde sur les composantes du champ entre l'entrée et la sortie de la lame par un « opérateur multiplicateur » de la forme :

$$\text{Lame } \frac{\lambda}{2} : (1, -1)$$

Une onde rentrante rectiligne donne une onde sortante rectiligne les deux directions de polarisation entrante et sortante étant symétriques par rapport aux axes de la lame.



Une onde entrante elliptique gauche ressort elliptique droite et réciproquement :



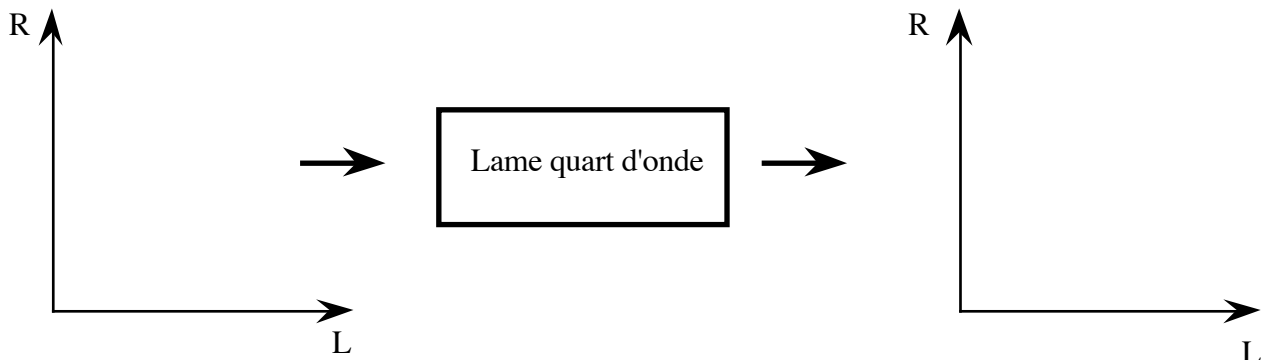
- lame quart d'onde $\lambda/4$

Elle est telle que $(n_L - n_R)e = \frac{\lambda}{4}$, soit $\phi' = \frac{\pi}{2}$.

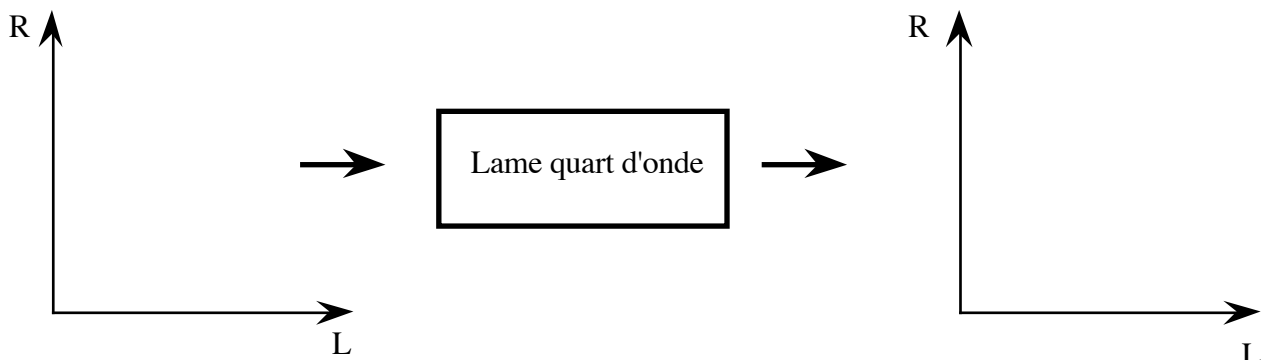
On peut résumer l'action de la lame demi-onde sur les composantes du champ entre l'entrée et la sortie de la lame par un « opérateur multiplicateur » de la forme :

$$\text{Lame } \frac{\lambda}{4} : (1, j)$$

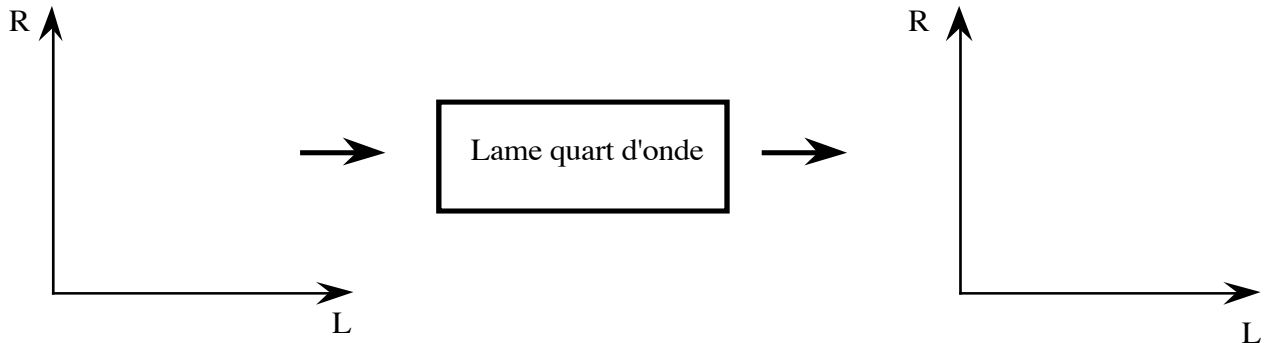
Une onde entrante, polarisée rectilignement donne une onde sortante elliptique, les axes de la lame étant les axes de l'ellipse :



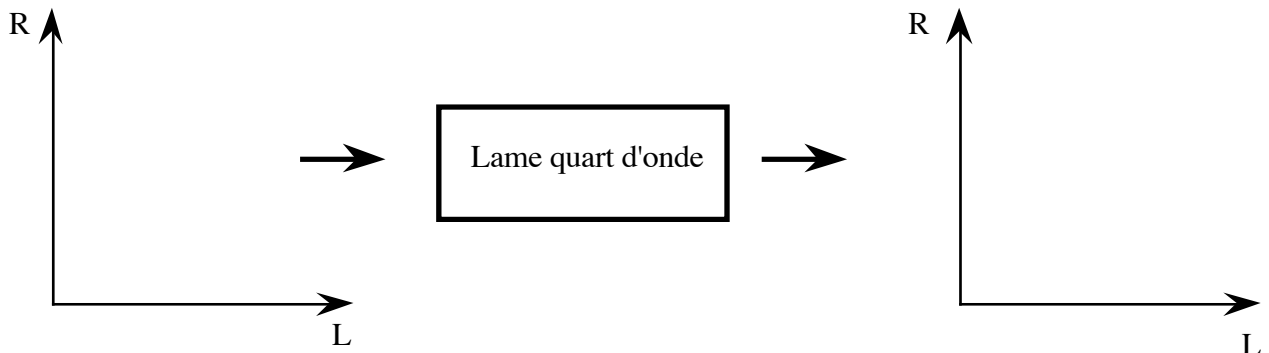
Réciproquement, une onde entrante elliptique **dont les axes de l'ellipse coïncident avec les axes de la lame** donne une onde sortante rectiligne :



En outre, si la direction de polarisation d'une onde entrante rectiligne coïncide avec une bissectrice des axes de la lame, l'onde sortante est circulaire :



Enfin, une onde entrante circulaire donne une onde sortante rectiligne dont la direction de polarisation coïncide avec une des bissectrices de la lame:



3. UTILISATION DES LAMES ANISOTROPES

3.1. Détermination des axes d'une lame quart d'onde

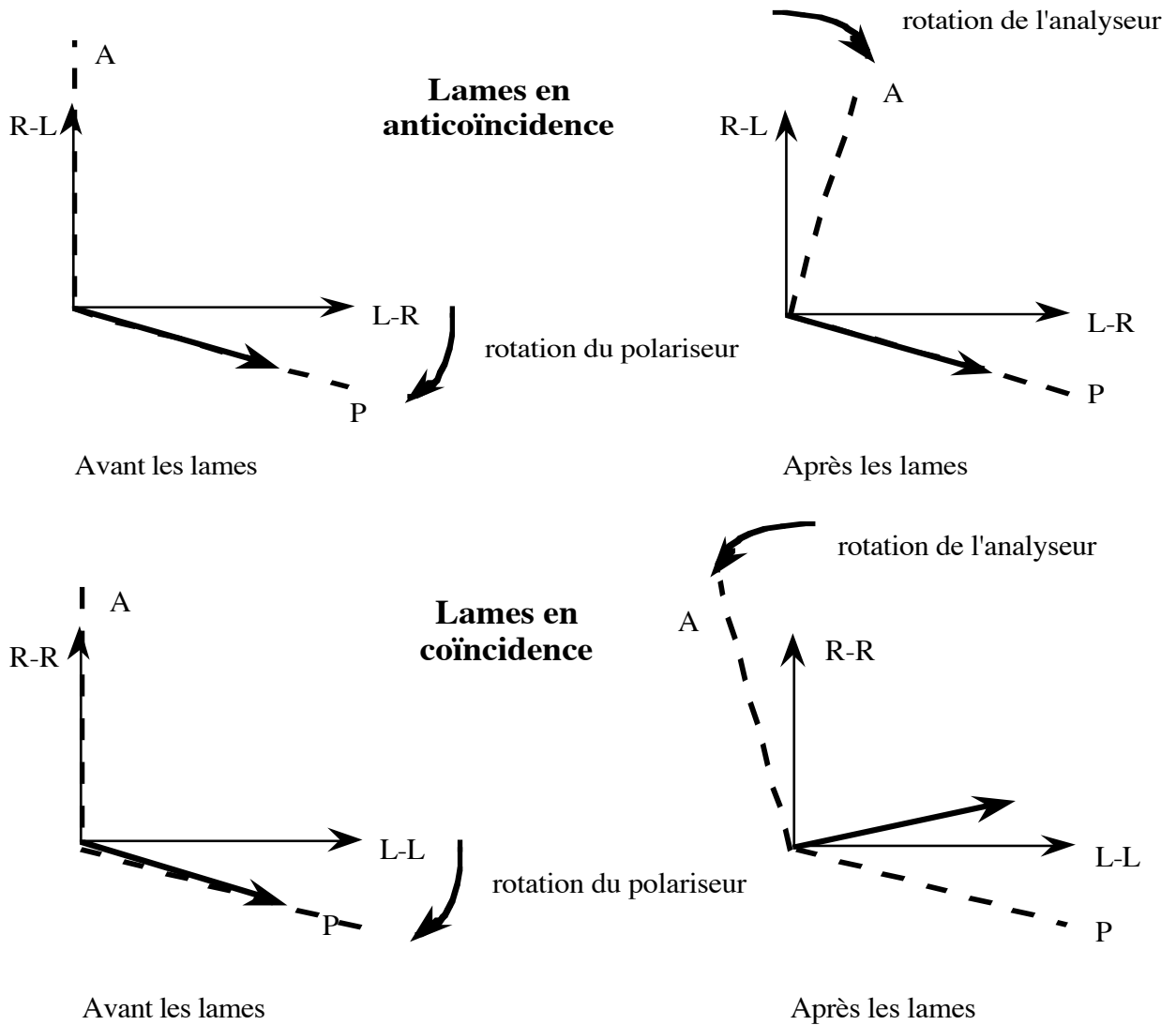
Cette détermination nécessite une deuxième lame quart d'onde dont l'axe lent est connu, ainsi qu'un polariseur et un analyseur.

On se place en configuration PAC et on insère la lame connue de sorte que son axe lent coïncide avec la direction du polariseur : on a donc encore extinction après l'analyseur.

Insérer alors la lame inconnue et la faire tourner pour avoir à nouveau extinction : un des axes de la lame coïncide alors avec la direction du polariseur.

Si c'est l'axe rapide, les deux lames sont alors en « anticoïncidence » et leur déphasage se retranchent : tout se passe comme si on n'avait rien inséré dans la configuration PAC. Si alors on tourne le polariseur d'un angle α , on doit tourner l'analyseur du même angle pour retrouver l'extinction.

Si en revanche, les deux lames sont en « coïncidence », les déphasages s'ajoutent : on a en fait fabriqué une lame demi-onde. Si on tourne alors le polariseur d'un angle α , l'onde après la lame est bien encore rectiligne, mais a tourné, elle, de $-\alpha$: il faut donc tourner l'analyseur en sens inverse pour obtenir à nouveau l'extinction.



Vérifier expérimentalement ces propriétés.

Rq. Si on ne désire pas distinguer les deux axes de la lame, la configuration PAC suffit à leur détermination.

3.2. Production et analyse d'une vibration elliptique

3.2.1. Production

Il suffit de placer un polariseur suivi d'une lame quart d'onde dont l'axe lent par exemple fait l'angle α (différent de 0 ou $\frac{\pi}{4}$) avec l'axe du polariseur.

3.2.2. Analyse

Un analyseur permet, par rotation, de trouver les axes de l'ellipse qui doivent coïncider avec les positions de l'analyseur donnant un maximum et un minimum de lumière.

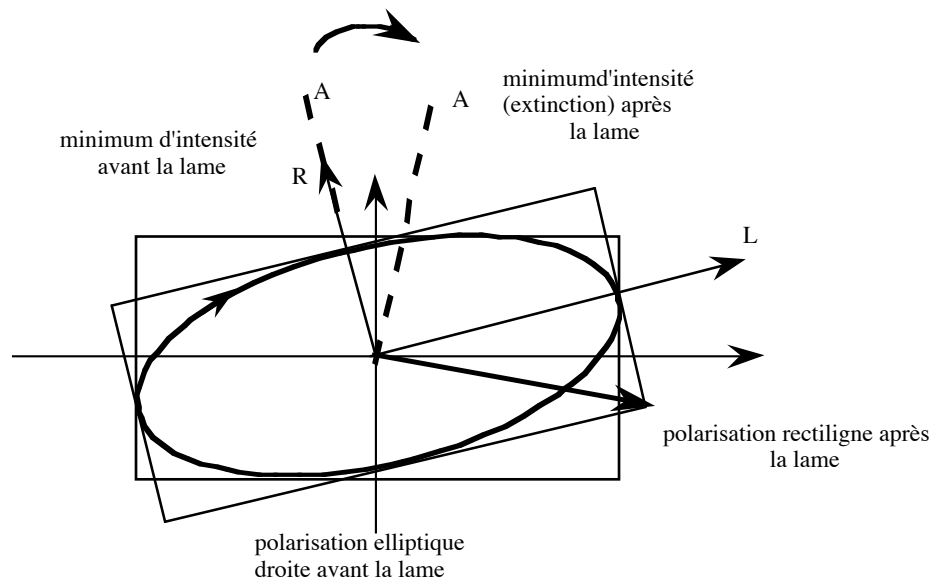
Les valeurs des tensions lues pour ces extrema sont proportionnelles à la longueur des axes de l'ellipse et permettent donc d'en calculer l'excentricité, théoriquement donnée par la valeur de l'angle α .

Vérifier expérimentalement ces propriétés.

Si on désire connaître le sens de rotation sur l'ellipse, il est nécessaire d'utiliser en plus une lame quart d'onde : si on fait coïncider l'axe lent de lame avec la direction de l'analyseur donnant le maximum d'intensité (donc la direction du grand axe de l'ellipse) la polarisation elliptique est transformée en polarisation rectiligne dont la direction change suivant le sens de rotation

Une rotation de l'analyseur placé derrière la lame permet d'obtenir à nouveau l'extinction. En pratique **le sens de rotation de l'ellipse correspond au sens de rotation de l'analyseur.**

Vérifier expérimentalement cette propriété.



3.3. Production et analyse d'une polarisation circulaire

3.3.1. Production d'une onde circulaire

Il suffit d'utiliser un polariseur suivi d'une lame quart d'onde de sorte que la direction du polariseur coïncide avec une des bissectrices des axes de la lame.

3.3.2. Analyse à l'aide de l'analyseur et de la cellule

Si l'on place un analyseur après l'onde circulaire, on doit obtenir une intensité constante quelsoit la direction d'analyse.

Vérifier que cette propriété est à peu près vérifiée avec les lames quart d'onde dont on dispose. Imaginer un protocole permettant de trouver le sens de rotation de l'onde circulaire.

4. SYNTHESE : ANALYSE D'UNE POLARISATION INCONNUE

