

Polarisation

Objectifs :

- Polariser de la lumière à l'aide d'un polariseur, ou de la réflexion vitreuse.
- Vérifier la loi de Malus.
- Vérifier les propriétés des lames demi-onde ou quart d'onde, et les utiliser en combinaison avec des polariseurs pour analyser une lumière non polarisée ou totalement polarisée.

Compétences expérimentales exigibles : Analyser une lumière complètement polarisée.

- Identifier de façon absolue l'axe d'un polariseur en utilisant la réflexion vitreuse.
- Identifier les lignes neutres d'une lame quart d'onde ou demi-onde, sans distinction entre axe lent et rapide.
- Modifier la direction d'une polarisation rectiligne.
- Obtenir une polarisation circulaire à partir d'une rectiligne, sans prescription du sens de rotation.
- Mesurer un pouvoir rotatoire naturel.

Dichroïsme et polariseur organique de synthèse

Un matériau est dit *dichroïque* si son pouvoir absorbant (indice d'extinction) dépend de la polarisation de l'onde incidente. Les premiers polariseurs étaient conçus à base de cristaux dichroïques, dont le dichroïsme est souvent fortement dépendant de la longueur d'onde ce qui est gênant. Les films plastiques polariseurs (dont le *polaroid* est un avatar de la marque du même nom) se sont largement imposés, notamment en raison de leur faible coût : écrans d'affichage à cristaux liquides, verres de lunettes solaires, photographie...

Une feuille transparente de plastique d'alcool polyvinylique (PVA) est échauffée et étirée, alignant ses molécules d'hydrocarbure en rangées presque parallèles, formant de longues chaînes. La feuille est ensuite trempée dans une solution riche en teinture d'iode. Les atomes d'iode s'attachent à chaque molécule polymère, formant ainsi une longue chaîne conductrice. Si le champ électrique est parallèle à ces chaînes, les électrons de conduction associés à l'iode peuvent alors se déplacer sur chaque chaîne, comme si la molécule était un long fil microscopique. Le résultat est une grille de fils, un polariseur de lumière, qui ne laisse passer que la composante du champ électrique de l'onde incidente perpendiculaire aux molécules étirées. En lumière naturelle, donc non polarisée, chaque feuille paraît grise, car elle absorbe environ la moitié de la lumière.

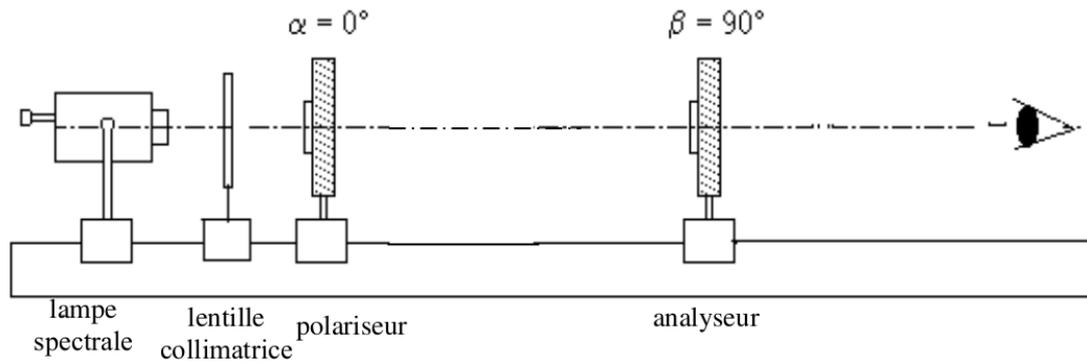
Une « grille » de même type que le polariseur pourra servir de détection d'une lumière polarisée. Elle est appelée analyseur.

I. Mise en place - Polariseurs

• MANIP 1 : Sources de lumière polarisée

Vérifier rapidement si les sources de lumière présentes autour de vous semblent polarisées ou non : source blanche LED ou incandescente, plafonniers fluorescents, lampes spectrales, Lasers, écrans d'ordinateurs ou de smartphone, ciel nuageux ou bleu...

Attention : ne pas placer son œil derrière le polariseur avec un Laser, le Soleil, ou simplement une lampe trop intense. Utiliser dans ce cas un écran.



On note \vec{OA} la direction de polarisation de l'analyseur, et \vec{OP} celle du polariseur. On note α l'angle entre ces deux directions : $\alpha = (\vec{OP}; \vec{OA})$.

Attention, les index présents sur le polariseur et l'analyseur n'indiquent pas obligatoirement la direction de polarisation réelle, car le verre peut tourner dans son logement.

• MANIP 2 : Mise en place du montage

- Placer sur le banc d'optique la lampe spectrale, une lentille collimatrice, le polariseur et l'analyseur et les aligner.
- Par la méthode d'auto-collimation, placer le foyer objet de la lentille collimatrice sur la source lumineuse. Après traversée de la collimatrice, le faisceau lumineux émis par chaque point de la source doit être un faisceau parallèle.
- Placer l'index de la monture de l'analyseur sur la division 90° . Tourner le polariseur jusqu'à observer l'extinction à la sortie de l'analyseur. Les directions \vec{OA} et \vec{OP} sont maintenant **orthogonales**. Le polariseur et l'analyseur sont dits **croisés**. Avec ce réglage, α est l'angle indiqué par l'index de l'analyseur.
- Tourner l'analyseur de 90° (mettre l'index sur la division 0°). Les directions \vec{OA} et \vec{OP} sont maintenant **parallèles**.

• MANIP 3 : Loi de Malus

- Utiliser la source blanche et le spectroscopie à fibre et le logiciel associé. Appuyer sur « start », faire un « Noir » en obturant avec la main l'extrémité de la fibre.
- Placer le curseur sur le pic (longueur d'onde 589 nm environ) et procéder aux mesures.
- Valider la loi de Malus en traçant le graphe et en appliquant une régression linéaire par moindres carrés à l'aide de PYTHON ^a.

^a. On pourra se référer au TP sur la régression linéaire sur mon site.

Lorsque la lumière se réfléchit partiellement sur un dioptré contre un milieu plus réfringent (exemple : air→verre) **en incidence non normale**, la polarisation de l'onde réfléchie est en général différente de celle de l'onde incidente (de même pour l'onde transmise), sauf si la polarisation est rectiligne et parallèle au dioptré ¹. Pour une incidence particulière i_B appelée incidence de Brewster, vérifiant

$$\tan i_B = \frac{n_{\text{verre}}}{n_{\text{air}}}$$

la composante du champ électrique parallèle au plan d'incidence est totalement annulée dans l'onde réfléchie, qui se trouve alors polarisée rectilignement. On parle alors de *polarisation par réflexion vitreuse* ².

1. Voir l'exercice de TD dédié à la loi de Descartes et l'incidence de Brewster.

2. Ce phénomène se produit aussi sur l'eau et sur la glace ou la neige, ce qui explique l'intérêt des verres solaires polarisants, qui atténuent l'intensité si la lumière est partiellement polarisée, grâce à la loi de Malus.

• **MANIP 4 : Polarisation par réflexion vitreuse - Angle de Brewster**

- Observer à travers l'analyseur la lumière provenant d'une lampe et réfléchiée sur une lame de verre (sur goniomètre ou banc optique coudé).
- Orienter l'analyseur de telle sorte que l'éclairement soit minimal.
Quel est l'orientation de la direction de polarisation de l'analyseur par rapport au plan de la lame de verre ?
- Conserver l'orientation de l'analyseur par rapport à la lame et modifier l'angle d'incidence sur la lame du faisceau lumineux.
- Déterminer l'angle de Brewster i_B , pour lequel il y a extinction presque totale de l'éclairement. Vérifier l'expression théorique.

II. Utilisation des lames à retard

II.1. Étude des lames

Pour les lames étalons, la direction de l'axe lent est indiquée sur la monture. L'index repère l'orientation de la lame ; il ne correspond à aucune direction particulière de la lame.

Attention, pour les lames demi ou quart d'onde, il est impératif d'utiliser une lampe spectrale (sodium) qui correspond à la longueur d'onde en question. Pour la suite, le mieux est de regarder la lumière transmise directement sans projeter sur un écran.

Toutes les expériences seront analysées en faisant un schéma sur lequel on portera les différentes directions des champs \vec{E} et des analyseurs.

• **MANIP 5 : Étude d'une lame $\lambda/2$**

- Introduire la lame demi-onde entre les polaroïds croisés. Tourner la lame.
On observe 4 extinctions à la sortie de l'analyseur au cours d'une rotation de 360° de la lame. À quelles situations cela correspond-t-il ?
- À partir de la situation initiale (lignes neutres confondues avec les polariseurs), tourner la lame demi-onde d'un angle α , puis tourner l'analyseur dans le même sens jusqu'à retrouver l'extinction et mesurer sa rotation.
- Vérifier que la lame donne une vibration rectiligne symétrique de la vibration rectiligne incidente par rapport à ses lignes neutres.

• **MANIP 6 : Étude d'une lame $\lambda/4$ - polarisations elliptique et circulaire**

- Placer la lame quart d'onde entre polariseur et analyseur croisés. Observer comme précédemment les 4 extinctions.
- À partir d'une extinction, tourner maintenant le polariseur d'un angle $\theta \sim 30^\circ$ par rapport à l'axe lent de la lame.
À la sortie de la lame, l'onde est polarisée elliptiquement.
- En tournant l'analyseur observer un minimum d'éclairement et un maximum d'éclairement et relever les angles correspondant.
Peut-on encore observer des extinctions ?
- En mesurant l'intensité lumineuse maximale et minimale à l'aide du spectroscopie à fibre, retrouver la valeur de θ .
Qu'observe-t-on si $\theta = 45^\circ$? Qu'en déduit-on sur la nature de la polarisation ?

• **MANIP 7 : Distinction entre lumière naturelle et polarisation circulaire**

- Envoyer une lumière non polarisée (lampe au sodium ou autre) sur la lame quart d'onde étalon suivie d'un analyseur.
Qu'observe-t-on en sortie en fonction de la direction de l'analyseur ?
- Produire une lumière polarisée circulairement (comme précédemment) et placer derrière la lame quart d'onde étalon suivie d'un analyseur. Déterminer l'angle de l'analyseur pour lequel on observe une extinction. Est-ce cohérent ?

II.2. Mesure d'une biréfringence par interférences

Pour une longueur d'onde quelconque, le retard de phase

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} e (n_y - n_x)$$

introduit par une lame à retard d'épaisseur e d'indices n_x et n_y selon ses lignes neutres a une valeur quelconque. On intercale la lame à retard de phase entre les deux polariseurs croisés, de telle sorte que ses lignes neutres soient à 45° des directions de polarisation des deux polariseurs. Le tout est éclairé par de la lumière blanche.

Exercice : Montrer qu'en sortie du dispositif, l'intensité lumineuse évolue selon

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right).$$

En déduire que le spectre est *cannelé*.

QUESTION : Comment peut-on déduire $e(n_y - n_x)$ des valeurs λ_k des longueurs d'onde éteintes ? On supposera que la biréfringence $\delta n = (n_y - n_x)$ est indépendante de la longueur d'onde (n_y et n_x séparément dépendent de λ_0 mais δn varie entre $9,575 \cdot 10^{-3}$ à 400 nm et $9,000 \cdot 10^{-3}$ à 700 nm).

• **MANIP 8 : Spectre cannelé et épaisseur de la lame**

- Choisir une lame qui est quart d'onde ou demi onde à 589 nm. Observer le spectre obtenu avec le spectroscopie, et en déduire avec le maximum de précision la valeur $e\delta n$ et son incertitude.
Pour quelles longueurs d'onde la lame est une quart (ou demi, selon le cas) d'onde ?
- On donne $\delta n = 9,1 \cdot 10^{-3}$ à 589 nm. Déterminer l'épaisseur de la lame.
- Observer le spectre cannelé en modifiant l'angle entre les lignes neutres de la lame et les directions de polarisation des polariseurs. Que se passe-t-il. Expliquer
- Visualiser le spectre si on remplace la lame à 589 nm par une lame à 560 nm. Interpréter.