

POLARISATION DE LA LUMIÈRE

I- PRODUCTION ET ANALYSE DE LUMIÈRE POLARISÉE

1- Généralités sur la polarisation des ondes lumineuses

Quelques rappels de cours :

Une onde électromagnétique plane progressive est transversale, *i.e.* que \mathbf{E} et \mathbf{B} sont orthogonaux à la direction de propagation (prenons Ox par exemple). Si l'onde est monochromatique, on peut alors écrire $\mathbf{E} = E_0 \cos(\omega t - kx)$. Les plans $x = \text{cte}$ sont les plans d'onde. Si, dans un plan d'onde, l'extrémité du vecteur \mathbf{E} décrit une courbe fermée, on dit que l'onde est polarisée.

La lumière naturelle n'est pas polarisée car la source lumineuse émet simultanément un très grand nombre de trains d'ondes incohérents dont la direction du champ électrique est aléatoire.

Quand le champ électrique s'écrit

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} E_{0y} \cos(\omega t - kx) \\ E_{0z} \cos(\omega t - kx + \varphi) \end{pmatrix}$$

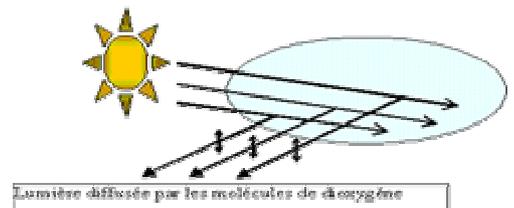
l'onde présente plusieurs états de polarisation selon la valeur de φ et selon les valeurs respectives de E_{0y} et E_{0z} . Rappeler rapidement ces états en précisant les valeurs de φ et éventuellement la relation entre E_{0y} et E_{0z} .

2- Le polariseur rectiligne

On obtient une lumière polarisée rectilignement à partir de lumière naturelle en faisant passer le faisceau lumineux à travers un matériau qui absorbe une des deux composantes de polarisation de la lumière naturelle et laisse passer l'autre. Il constitue un polariseur rectiligne, appelé plus simplement un *polariseur*. Il se caractérise par sa direction de polarisation, c'est à dire la direction des vibrations qu'il laisse passer.

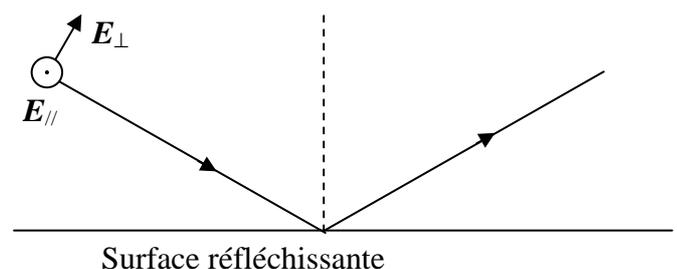
Les polariseurs les plus usuels, appelés "polaroids", se présentent sous forme de feuilles plastiques minces. Ces feuilles sont constituées de longues chaînes moléculaires (polymères) alignées parallèles entre elles dans une direction donnée à la fabrication. Ces chaînes polymériques comprennent des radicaux contenant de l'iode qui peuvent fournir des électrons. Ceux-ci peuvent se déplacer le long des chaînes mais pas dans la direction perpendiculaire. Le matériau ainsi constitué est un conducteur résistif, donc absorbant, pour la polarisation dans la direction d'alignement et un isolant transparent pour la polarisation dans la direction perpendiculaire.

Observation n°1 : vérifier (si il fait beau) que la lumière bleue diffusée par le ciel est partiellement polarisée en mettant simplement un polariseur devant votre oeil qui regarde le ciel et en le faisant tourner. Quelle est la direction de polarisation ?



Observation n°2 : observer la réflexion sur une vitre à travers un polariseur tenu à la main en le faisant pivoter. Deux observations peuvent être effectuées : lumière réfléchi sur une surface horizontale (flaque d'eau, capot de voiture, etc.) ou sur une surface verticale (vitre latérale de voiture, vitre de bâtiment, etc.).

Pour une orientation donnée, la lumière réfléchi paraît très atténuée. Quelle est cette orientation ? Est-elle identique pour la lumière réfléchi sur une surface horizontale et sur une surface verticale ? A l'aide de vos observations, compléter la figure ci-contre en dessinant la composante du champ électrique qui est privilégiée par la réflexion.



De plus en plus de lunettes solaires vendues dans le commerce possède des verres polarisés. Pourquoi et quelle composante du champ électrique ces verres laissent-ils passer ?

Observation n°3 : regardez votre montre à cristaux liquides ou votre calculatrice à travers un polariseur que vous faites tourner. Que constatez-vous ?

Les écrans à cristaux liquides sont constitués de trois couches : les cristaux liquides sont en effet coincés entre deux polariseurs. Les deux polariseurs laissent passer, disons, la composante verticale de la lumière. En temps normal, les cristaux liquides n'ont aucun effet sur la lumière. Si de la lumière quelconque arrive sur l'écran, elle traverse le premier polariseur en perdant un peu de son intensité (car une partie de l'onde seulement passe). Après le premier polariseur, elle n'a plus qu'une composante verticale. Elle traverse les cristaux, et elle traverse sans problème et sans perte le second polariseur, puisqu'elle a la bonne direction. Donc la lumière peut traverser l'écran, il est transparent. Mais quand les cristaux liquides sont soumis à un champ électrique, ils acquièrent ce qu'on appelle un pouvoir rotatoire : ils font tourner la direction de vibration de la lumière : de verticale, elle devient horizontale en traversant les cristaux. Cette fois, si de la lumière arrive sur l'écran, elle traverse le premier polariseur et la vibration est alors verticale. Elle traverse les cristaux liquides et sa polarisation devient horizontale. Elle arrive alors sur le second polariseur, qui ne laisse passer que les vibrations verticales - or ça n'est pas le cas de la lumière. La lumière est donc arrêtée, l'écran n'est plus transparent, il est noir.

3- Loi de Malus

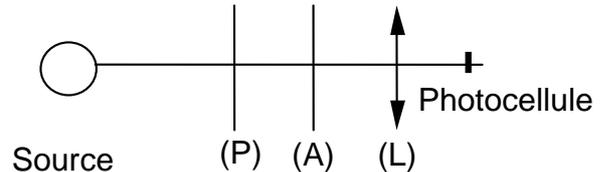
Soit E_0 l'amplitude d'une onde incidente polarisée rectilignement (après passage par un polariseur rectiligne). Si cette onde traverse un deuxième polariseur (appelé souvent analyseur, vous comprendrez pourquoi dans la partie Analyse de la lumière polarisée) dont la direction de polarisation fait un angle θ avec celle de l'onde incidente, seule la projection du champ électrique sur cette direction traverse l'analyseur. L'onde a en sortie une amplitude $E_0 \cos \theta$. L'intensité lumineuse proportionnelle au carré de l'amplitude de l'onde varie donc selon la **loi de Malus** :

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Montage - mesures:

On fera d'abord l'image du filament de la lampe sur la partie active de la cellule avec la lentille.

Le polariseur permet d'obtenir à partir de la lampe blanche une lumière polarisée rectilignement. Tourner l'analyseur (A) d'un angle θ (de 0 à 90°) par rapport au polariseur (P) et recueillir la lumière sur la cellule photoélectrique. Le courant obtenu I_p est proportionnel à l'intensité lumineuse. Retrancher à chaque fois des mesures la valeur de la tension constante qu'on lit en absence de signal (c'est à dire lorsque polariseur et analyseur font un angle de 90°) sur le détecteur et due à la lumière parasite. Effectuer les mesures et vérifier la loi de Malus (que devez-vous tracer ? Au choix : résolution graphique ou régression linéaire à la calculatrice).



4- Lames à retard

Certains cristaux naturels, dits anisotropes, ont la propriété, s'ils sont correctement taillés, de se comporter différemment pour la polarisation suivant Oy et pour la polarisation suivant Oz (on reprend les notations du 1). Les deux polarisations peuvent se propager dans le cristal, mais à des vitesses différentes. Tout se passe donc comme si une lame de ce cristal avait un indice différent pour chaque polarisation n_y et n_z (encore appelés indices ordinaire et extraordinaire). Oy et Oz , imposés par la lame, sont appelés les axes neutres de la lame.

La phase d'une onde $\omega t - kx = \omega t - \frac{2\pi nL}{\lambda}$ va donc dépendre de la polarisation. Par exemple, si la phase de l'onde est ωt à l'entrée de la lame, en $x = 0$, elle sera, à la sortie de la lame, en $x = L$: $\omega t - \frac{2\pi n_y L}{\lambda}$ pour la

polarisation suivant Oy et $\omega t - \frac{2\pi n_z L}{\lambda}$ pour la polarisation suivant Oz. La lame introduit donc un déphasage $\frac{2\pi(n_y - n_z)L}{\lambda}$ entre les deux polarisations.

Si le déphasage vaut π , la lame est dite demi-onde ($\lambda/2$); si le déphasage vaut $\pi/2$, la lame est dite quart d'onde ($\lambda/4$).

On étudiera ici les lames quart d'onde.

S'il entre dans la lame une vibration polarisée rectilignement suivant un axe neutre, elle ressort polarisée suivant le même axe neutre. Si maintenant la direction de polarisation fait l'angle β avec Oy, elle est, comme dans le 1) la somme de deux ondes qui se propagent différemment et qui ressortent déphasées de $\pi/2$.

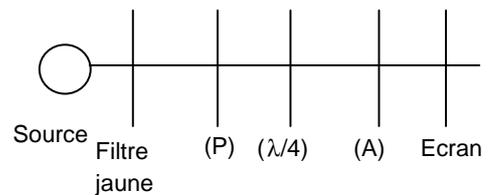
$$\text{A l'entrée } (x = 0) \quad \mathbf{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_0 \cos \beta \cos(\omega t) \\ E_0 \sin \beta \cos(\omega t) \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{passage dans lame } \lambda/4} \text{ à la sortie } \quad \mathbf{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_0 \cos \beta \cos(\omega t - kL) \\ E_0 \sin \beta \cos\left(\omega t - kL \pm \frac{\pi}{2}\right) \end{pmatrix}$$

qui est en général une onde polarisée elliptiquement.

A quelle condition sera-t-elle polarisée rectilignement ? Circulairement ?

Production et analyse de lumière polarisée

On utilisera de la lumière jaune quasi-monochromatique obtenue en plaçant un filtre derrière la source. Fabriquer de la lumière rectilignement polarisée (avec un polariseur) et repérer la direction de polarisation correspondante. Envoyer cette lumière sur la lame quart d'onde et analyser (avec un analyseur) la lumière qui en émerge (placer un écran derrière l'analyseur ou même directement l'oeil pour repérer un minimum de lumière). Regarder à quelle condition sur la direction de la lame on peut obtenir une absence totale de lumière en sortie. En déduire les directions des lignes neutres de la lame. Noter soigneusement toutes les observations et les commentaires.



Faire rentrer de la lumière polarisée rectilignement à 45° des lignes neutres dans la lame. Analyser la lumière émergente en faisant tourner l'analyseur. Quelle est sa nature ? Enfin, envoyer une direction de polarisation quelconque par rapport aux lignes neutres. Vérifier qu'on a en sortie de la lumière polarisée elliptiquement qui répond aux caractéristiques attendues.

Construire un tableau résumant ce que vous observez à la sortie d'un analyseur (que vous faites tourner) éclairé par de la lumière polarisée a) polarisée rectilignement b) polarisée elliptiquement c) polarisée circulairement d) non polarisée.

Deux cas ne sont pas distinguables par cette méthode. Montrer que l'association lame quart d'onde suivi d'un analyseur permet de lever l'indétermination et le vérifier expérimentalement.

II - POLARIMÉTRIE

Certaines substances (quartz, solutions d'un énantiomère de produits chiraux,...) ont la propriété de faire tourner la direction de polarisation de la lumière. L'angle α dont tourne ce plan est proportionnel à la longueur l de substance traversée et à la concentration c pour les solutions (**loi de Biot** : $\alpha = [\alpha] l c$ où $[\alpha]$ est le pouvoir rotatoire spécifique de la substance). On travaillera encore avec la lumière jaune. Croiser un polariseur et un analyseur à 90° (extinction totale, c'est à dire pas de lumière en sortie).

***** Attention aux cuves de polarimétrie *** très fragile - pas de doigts sur les faces des cuves!!!**

On dispose d'une solution de sucre de table (glucose) à 250 g/l. Intercaler la cuve dans le faisceau entre l'analyseur et le polariseur. Montrer qu'après la cuve, la lumière est encore polarisée rectilignement. Mesurer l'angle dont a tourné le plan de polarisation (expliquer la mesure). Donner le pouvoir rotatoire du sucre en degré par g.l^{-1} et par cm. Mesurer, par polarimétrie la concentration inconnue de l'autre solution de sucre.

Refaire la même expérience avec une lame de quartz. En déduire le pouvoir rotatoire du quartz. Essayer de faire l'expérience en lumière blanche. Noter les observations. Interpréter et expliquer l'utilité du filtre.