

Chapitre XX

TP-cours : POLARISATION DE LA LUMIÈRE.

Joël SORNETTE vous prie de ne pas utiliser son cours à des fins professionnelles ou commerciales sans autorisation.

En caractères droits : les parties cours.

En italique : les parties TP.

XX-1 Rappels sur les ondes lumineuses.

Une onde lumineuse est un phénomène électromagnétique, donc doublement vectoriel. Un modèle scalaire est suffisant pour expliquer nombre de phénomènes, mais pas tous. L'objet de ce TP-cours est d'explorer cette nature vectorielle. Nous nous placerons systématiquement en faisceau parallèle, donc n'étudierons que des ondes planes ; nous savons dans ce cas comment déduire le champ magnétique du champ électrique, nous ne parlerons donc pas de ce dernier. Rappelons, et c'est là l'essentiel de notre étude d'aujourd'hui, que les champs d'une onde électromagnétique sont transversaux, c'est-à-dire orthogonaux à la direction de propagation ; ils appartiennent donc à un espace à deux dimensions. Avec un choix convenable des axes, le champ le plus général est donc :

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega t - kx + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega t - kx + \varphi_2) \end{pmatrix}$$

Nous avons aussi vu que si $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ ou π , alors \vec{E} a une direction fixe (qu'on choisit, sauf contrainte particulière, comme direction Oy ou Oz) ; on dit alors qu'on a affaire à une polarisation rectiligne dans telle ou telle direction.

Nous avons aussi vu que si $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm\pi/2$ et $E_1 = E_2$, alors \vec{E} tourne avec le temps de façon circulaire ; on dit qu'on a affaire à une polarisation circulaire directe ou indirecte selon le sens de rotation.

Dans le cas général, \vec{E} décrit une ellipse, on a affaire à une polarisation elliptique directe ou indirecte.

Rappelons enfin que toute polarisation elliptique peut être considérée comme somme de deux polarisations rectilignes dans des directions orthogonales et que toute polarisation rectiligne peut être considérée comme somme de deux polarisations circulaires, une directe et l'autre indirecte.

Terminons par adapter la notion de cohérence. Là aussi, puisque le modèle scalaire n'est qu'une simplification de notre propos de ce jour, la lumière naturelle est une succession de trains d'onde dont la durée (de l'ordre de 10^{-11} s pour une lampe spectrale par exemple) est grande devant la période du phénomène (de l'ordre de 10^{-15} s) mais petite devant le temps de réponse des récepteurs (de l'ordre de 10^{-2} s). Mais au lieu d'une phase qui varie aléatoirement à chaque changement de train d'onde, c'est ici l'état de polarisation, c'est à dire, bien sûr, φ_1 et φ_2 , mais aussi leur différence et aussi les amplitudes E_1 et E_2 , avec toutefois $E_1^2 + E_2^2 \approx Cte$, ce qui assure que les trains d'onde ont même intensité.

XX-2 Obtention d'une lumière polarisée rectilignement.

XX-2.a Filtre polaroïd.

Un filtre polaroïd est une lame à faces parallèles anisotrope ; traversée normalement par une onde électromagnétique, elle possède deux axes orthogonaux à la direction de l'onde et orthogonaux entre eux, tels que les ondes polarisées selon ces axes subissent une propagation exponentiellement amortie, avec deux distances caractéristiques fortement différentes. En choisissant ces axes comme axes Oy et Oz , en appelant $n'_1 - jn''_1$ et $n'_2 - jn''_2$ les indices complexes, avec $n''_2 \gg n''_1$ et en notant $x = 0$ et $x = e$ les faces d'entrée et de sortie, alors si l'onde en $x = 0$ est :

$$\vec{E}(t, 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{vmatrix}$$

l'onde en sortie est :

$$\vec{E}(t, e) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \exp(-n''_1 \omega e/c) \cos[\omega(t - n'_1 e/c) + \varphi_1] \\ E_2 \exp(-n''_2 \omega e/c) \cos[\omega(t - n'_2 e/c) + \varphi_2] \end{vmatrix}$$

et pour $x > e$:

$$\vec{E}(t, x) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \exp(-n''_1 \omega e/c) \cos[\omega(t - n'_1 e/c - (x - e)/c) + \varphi_1] \\ E_2 \exp(-n''_2 \omega e/c) \cos[\omega(t - n'_2 e/c - (x - e)/c) + \varphi_2] \end{vmatrix}$$

Remarque : comme $\omega/c = 2\pi/cT = 2\pi/\lambda$, on a :

$$\omega \left(\frac{n'_1 e}{c} + \frac{(x - e)}{c} \right) = 2\pi \frac{n'_1 e + (x - e)}{\lambda}$$

où $n'_1 e + (x - e)$ est le chemin optique entre 0 et x ; on retrouve le calcul classique d'une différence de marche propagative. Si le cours n'a pas été ainsi écrit, c'est qu'il est bon parfois de bousculer ses habitudes.

On choisit l'épaisseur e de façon que $\exp(-n''_2 \omega e/c) \ll 1$ et $\exp(-n''_1 \omega e/c) = \alpha < 1$ mais non négligeable; alors :

$$\vec{E}(t, x) \approx \begin{vmatrix} 0 \\ \alpha E_1 \cos[\omega(t - n'_1 e/c - (x - e)/c) + \varphi_1] \\ 0 \end{vmatrix}$$

Cela dit, l'important est qu'une des composantes s'annule et nous idéaliserons le modèle en considérant que l'amortissement dans l'autre direction est négligeable ($\alpha = 1$) et comme la phase de l'unique composante n'est plus significative (seul le déphasage entre deux composantes non nulles l'est), on peut annuler l'épaisseur de la lame. Résumons alors : s'il entre :

$$\vec{E}(t, x < 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_2) \end{vmatrix}$$

alors il sort :

$$\vec{E}(t, x > 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_1) \\ 0 \end{vmatrix}$$

Un filtre polaroïd réalise donc la projection du champ sur sa direction privilégiée. Si l'on ne peut pas choisir cet axe comme Oy ou Oz , on peut toujours appeler \vec{u} son vecteur unitaire et dire :

$$\vec{E}_{sortant} = (\vec{E}_{entrant} \cdot \vec{u}) \vec{u}$$

Une autre approximation a été faite de façon tacite : l'évolution des composantes du champ avec x n'a pas été menée entre $x = 0$ et $x = e$ mais entre $x = 0^+$ et $x = e^-$, c'est-à-dire après avoir pénétré dans la lame d'un coté et avant d'en sortir de l'autre; on a donc omis de multiplier par les coefficients de transmission. L'approximation est bonne car ces coefficients sont assez proches de 1 et leur produit encore plus (expliquer ou se faire expliquer).

XX-2.b Loi de Malus; repérage des axes d'un polaroïd.

Considérons maintenant un faisceau parallèle traversant successivement deux polaroïds, le premier de direction privilégiée \vec{e}_y , le second dont la direction privilégiée fait avec \vec{e}_y un angle θ et dont le vecteur unitaire est donc $\vec{u} = \cos \theta \vec{e}_y + \sin \theta \vec{e}_z$.

A la sortie du premier polariseur, le champ est :

$$\vec{E}_1 = E_{1m} \cos[\omega(t - x/c)] \vec{e}_y$$

d'amplitude E_{1m} et donc d'intensité $I_1 = E_{1m}^2$

A la sortie du second, le champ sera :

$$\vec{E}_2 = (\vec{E}_1 \cdot \vec{u}) \vec{u} = E_{1m} \cos \theta \cos[\omega(t - x/c)] \vec{u}$$

d'amplitude $E_{2m} = E_{1m} \cos \theta$ et donc d'intensité $I_2 = E_{2m}^2 = E_{1m}^2 \cos^2 \theta = I_1 \cos^2 \theta$

On s'entraînera à retrouver ce résultat à partir d'une figure avant de faire un quelconque calcul.

Nous venons d'établir la loi de MALUS : $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$

Expérience :

Sur le banc d'optique, placer la lanterne, deux polaroïds et un écran. Faire tourner le second polaroïd sur lui-même, sur un tour complet, et observer à l'œil l'éclairement de la tache lumineuse sur l'écran. Vérifier qualitativement la conformité avec la loi de MALUS. Remplacer l'écran par un luxmètre et vérifier quantitativement la loi, si le luxmètre n'est pas trop sensible à la lumière ambiante.

Remarques : Dans nombre d'expériences, on place divers objets entre les deux polaroïds, le premier sert alors à obtenir une polarisation rectiligne, le second à analyser l'effet des objets intercalés sur la lumière polarisée. C'est pourquoi il est d'usage d'appeler *polariseur* le premier polaroïd et *analyseur* le second.

La loi de MALUS permet de retrouver la direction privilégiée d'un polaroïd si l'on connaît celle d'un autre ; les expériences ultérieures vous aideront à comprendre qu'il est plus aisé de repérer $\theta = \pm\pi/2$ (il y a alors *extinction* de la lumière) que $\theta = 0$ ou π (éclairement maximum).

XX-2.c Polarisation par réflexion.

Normalement, si je suis un professeur consciencieux, nous avons vu en exercice que sous un angle d'incidence particulier, appelé incidence de BREWSTER, le rayon réfléchi par un dioptré est polarisé rectilignement dans une direction perpendiculaire au plan d'incidence.

Correctement amadoué, je rappellerai le résultat.

On pourra du reste se servir de cette propriété pour retrouver la direction privilégiée d'un polaroïd grâce à la loi de MALUS.

Historiquement les premiers polariseurs et analyseurs étaient conçus à partir de ce phénomène. Ils ont été abandonnés au profit des polaroïds car leur défaut est qu'ils changent la direction de la lumière et empêchent une expérience en ligne sur un banc d'optique

Expérience :

Observer à travers un polaroïd le reflet sur les vitres du lycée, sur l'aile perpendiculaire à la nôtre et au même étage. Faire tourner le polaroïd ; comme

on est à peu près à la bonne incidence, pour une bonne orientation du polaroïd, le reflet disparaît.

Imaginer comment on pourrait, de l'extérieur, photographier au mieux l'intérieur d'une vitrine.

Imaginer comment, si la mer est d'huile, les gentils avions américains peuvent repérer les méchants sous-marins soviétiques.

XX-2.d Polarisation par diffusion.

On a vu en cours (diffusion RAYLEIGH) que la lumière diffusée par l'atmosphère est polarisée elliptiquement et même rectilignement dans une direction orthogonale à celle du soleil.

Si le souvenir en est lointain, votre professeur préféré vous en rappellera les grandes lignes, après avoir fait les gros yeux.

Expérience :

Si les cieux sont cléments et le ciel bleu, observer le ciel à travers un polaroïd qu'on fera tourner. Si la direction d'observation est la bonne on peut même obscurcir le ciel ; à moins que les poussières de pollution ne perturbent le phénomène.

En été, en altitude, sous les tropiques, le ciel est très lumineux et les photos sont souvent décevantes : le ciel est sur-exposé et le paysage sous-exposé. Réinventer une solution à ce problème.

XX-2.e Remarque sur l'incohérence.

La lumière naturelle est incohérente, non seulement relativement à la phase, mais aussi à la polarisation. Après passage à travers un filtre polaroïd, réflexion sous incidence de BREWSTER ou diffusion à 90° du soleil, la direction de polarisation est imposée, mais la phase continue à varier de façon aléatoire à chaque changement de train d'onde. Bien que les interférences en lumière polarisée ne soient pas un objectif du programme, tout est en place pour quelques exercices passionnants. On les trouvera sur la feuille d'exercices.

XX-2.f Une curiosité : Polarisation des écrans LCD.

Un *cristal liquide* est un état de la matière qui combine des propriétés d'un liquide conventionnel (mobilité des molécules) et celles d'un solide cristallisé (ordre).

Leurs molécules, de forme allongées, s'ordonnent naturellement de manière parallèle les unes aux autres. Déposées sur une plaque gravée de sillons, les molécules vont s'aligner dans les sillons. Le principe de l'écran LCD consiste à placer des cristaux liquides en sandwich entre deux plaques gravées et orientées

à 90° . Les molécules, au repos, vont passer progressivement d'une orientation à l'autre (voir la figure) en formant une hélice. Le milieu est donc chiral et possède un pouvoir rotatoire. L'écran est rétro-éclairé avec une lumière polarisée, en choisissant convenablement l'épaisseur de la couche de cristal liquide la polarisation à la sortie a tourné de 90° et elle passe (sans atténuation) un deuxième filtre polarisant.

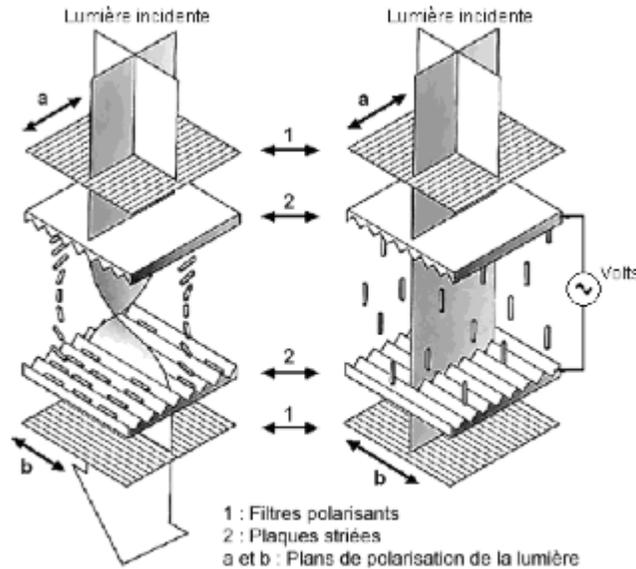


Figure 1 : la modulation de la lumière par les cristaux liquides

Sous l'effet d'une tension de commande, les molécules vont s'orienter dans le sens du champ électrique. Le milieu perd son pouvoir rotatoire et la lumière sera bloquée par le deuxième polariseur.

Chaque pixel d'un écran LCD est constitué d'une cellule de ce type devant laquelle est placé un filtre rouge, vert, ou bleu.

Expérience :

Observer un écran LCD d'ordinateur ou de téléphone portable à travers un polaroïd qu'on fera tourner. Si la direction d'observation est la bonne on éteint totalement l'écran.

XX-3 Obtention d'ondes polarisées elliptiquement.

XX-3.a Lames demi-onde et quart d'onde.

Un milieu biréfringent est un milieu anisotrope ; traversé normalement par une onde électromagnétique, il possède deux axes orthogonaux à la direction de l'onde et orthogonaux entre eux, tels que les ondes polarisées selon ces axes ont des vitesses de phase différentes, notées c/n_1 et c/n_2 . On choisit ces axes comme axes Oy et Oz et on appelle axe lent, celui pour lequel la vitesse est la plus faible, donc l'indice le plus grand, et axe rapide l'autre. On note $x = 0$

et $x = e$ les faces d'entrée et de sortie, si l'onde en $x = 0$ est :

$$\vec{E}(t, 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{vmatrix}$$

avec un déphasage égal à $\varphi_2 - \varphi_1$ entre les deux composantes, l'onde en sortie est :

$$\vec{E}(t, e) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos[\omega(t - n_1 e/c) + \varphi_1] \\ E_2 \cos[\omega(t - n_2 e/c) + \varphi_2] \end{vmatrix}$$

et pour $x > e$:

$$\vec{E}(t, x) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos[\omega(t - n_1 e/c - (x - e)/c) + \varphi_1] \\ E_2 \cos[\omega(t - n_2 e/c - (x - e)/c) + \varphi_2] \end{vmatrix}$$

avec un déphasage entre les deux composantes égal à :

$$\varphi_2 - \varphi_1 + \omega(n_1 - n_2)e/c = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi(n_1 - n_2)e/\lambda$$

c'est-à-dire le déphasage initial augmenté de $2\pi(n_1 - n_2)e/\lambda$.

On appelle lame demi-onde une lame dont l'épaisseur est telle que ce déphasage supplémentaire vaut π ; elle a donc une épaisseur $\lambda/2(n_1 - n_2)$.

On appelle lame quart d'onde une lame dont l'épaisseur est telle que ce déphasage supplémentaire vaut $\pi/2$; elle a donc une épaisseur $\lambda/4(n_1 - n_2)$.

Comme pour les polaroïds, on simplifie et on idéalise. Puisque le plus important est le déphasage additionnel, on annule l'épaisseur et l'on considère que la lame ajoute un déphasage de π ou $\pi/2$ entre les composantes du champ. Résumons : s'il entre :

$$\vec{E}(t, x < 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_2) \end{vmatrix}$$

alors il sort pour une demi-onde :

$$\vec{E}(t, x > 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_2 + \pi) \end{vmatrix}$$

et pour une quart d'onde :

$$\vec{E}(t, x > 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_1 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_1) \\ E_2 \cos(\omega(t - x/c) + \varphi_2 + \pi/2) \end{vmatrix}$$

Bien sûr on transformera $\cos(\dots + \pi)$ en $-\cos(\dots)$ et $\cos(\dots + \pi/2)$ en $-\sin(\dots)$.

Là aussi, on a, dans le modèle idéalisé, omis de tenir compte des réflexions sur les deux faces de la lame.

remarques :

L'épaisseur de ces lames dépend de la longueur d'onde ; comprenons qu'une lame n'est demi-onde ou quart d'onde que pour une longueur d'onde donnée (raie jaune du sodium, raie du laser hélium-néon). Il faudra donc les utiliser soit avec une source adaptée, soit avec une lumière convenablement filtrée.

Si l'on confond l'axe lent et l'axe rapide, on change le signe du déphasage additionnel. Pour une lame demi-onde, cela n'a pas d'importance car déphaser de π ou de $-\pi$, c'est bonnet blanc et blanc bonnet. Pour une lame quart d'onde, c'est un peu plus gênant. Nous éluderons néanmoins ce problème.

XX-3.b Action sur une lumière polarisée rectilignement (théorie).

Considérons une onde polarisée rectilignement selon le vecteur unitaire \vec{u} arrivant sur une lame demi-onde de directions privilégiées \vec{e}_y et \vec{e}_z et appelons α l'angle que fait \vec{u} avec \vec{e}_y . Il entre dans la lame :

$$\vec{E}(t, x < 0) = E_0 \cos(\omega(t-x/c)) \vec{u} = E_0 \cos(\omega(t-x/c)) \begin{vmatrix} 0 \\ \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \cos \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \\ E_0 \sin \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \end{vmatrix}$$

Il sort donc :

$$\vec{E}(t, x > 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \cos \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \\ E_0 \sin \alpha \cos(\omega(t-x/c) + \pi) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \cos \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \\ -E_0 \sin \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \end{vmatrix}$$

soit :

$$\vec{E}(t, x > 0) = E_0 \cos(\omega(t-x/c)) \begin{vmatrix} 0 \\ \cos \alpha \\ -\sin \alpha \end{vmatrix} = E_0 \cos(\omega(t-x/c)) \vec{u}'$$

On reconnaît une onde polarisée rectilignement dans la direction du vecteur \vec{u}' , symétrique de \vec{u} par rapport à Oy (et aussi par rapport à Oz , puisque la direction est aussi donnée par $-\vec{u}'$).

Il est bon de mémoriser ce résultat et de savoir le représenter sur une figure.

La même onde arrivant sur une lame quart d'onde donnerait en sortie :

$$\vec{E}(t, x > 0) = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \cos \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \\ E_0 \sin \alpha \cos(\omega(t-x/c) + \pi/2) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \cos \alpha \cos(\omega(t-x/c)) \\ -E_0 \sin \alpha \sin(\omega(t-x/c)) \end{vmatrix} .$$

Là, il s'agit d'une onde polarisée elliptiquement et l'on connaît les axes de l'ellipse, il s'agit de Oy et Oz .

Si $\alpha = \pm\pi/4$ alors $\cos \alpha = \pm \sin \alpha = \sqrt{2}/2$ et l'onde est polarisée circulairement.

XX-3.c Repérage des axes d'une demi-onde et d'une quart d'onde.*Expérience 1 :*

Sur un banc éclairé par une lanterne filtrée, on place un polariseur P et un analyseur A qu'on tourne jusqu'à l'extinction. Sans plus toucher ni à P ni à A , on intercale entre eux une lame demi-onde D que l'on fait tourner. Vérifier qu'on retrouve l'extinction pour quatre positions de D , distantes de 90° . Comprendre le phénomène à partir des règles du jeu de la lame demi-onde. Montrer en particulier que cette expérience permet de repérer les axes privilégiés de la lame demi-onde connaissant celles des polaroïds. Expliquer pourquoi on préfère travailler à l'extinction, plutôt qu'en recherchant un maximum d'éclairement.

Expérience 2 :

Sur un banc éclairé par une lanterne filtrée, on place un polariseur P et un analyseur A qu'on tourne jusqu'à l'extinction. Sans plus toucher ni à P ni à A , on intercale entre eux une lame quart d'onde Q que l'on fait tourner. Vérifier qu'on retrouve l'extinction pour quatre positions de Q , distantes de 90° . Comprendre le phénomène à partir des règles du jeu de la lame quart d'onde. Montrer en particulier que cette expérience permet de repérer les axes privilégiés de la lame quart d'onde connaissant celles des polaroïds.

XX-3.d Action sur une lumière polarisée rectilignement (expérience).*Expérience 1 :*

Sur un banc éclairé par une lanterne filtrée, on place un polariseur P et un analyseur A qu'on tourne jusqu'à l'extinction. Sans plus toucher ni à P ni à A , on intercale entre eux une lame demi-onde D que l'on fait tourner jusqu'à l'extinction. Tourner maintenant P par exemple de 20° dans un sens arbitraire. Quel type de polarisation sort de la lame ? Comment le vérifier ? Tourner A de 20° dans l'autre sens pour contrôler votre réponse.

Expérience 2 :

Sur un banc éclairé par une lanterne filtrée, on place un polariseur P et un analyseur A qu'on tourne jusqu'à l'extinction. Sans plus toucher ni à P ni à A , on intercale entre eux une lame quart d'onde Q que l'on fait tourner jusqu'à l'extinction. Tourner maintenant P par exemple de 20° dans un sens arbitraire. On est censé obtenir à la sortie de Q une polarisation elliptique dont les axes sont ceux de P et A (expliquer). Comment le vérifier qualitativement ? Le faire. Comment le vérifier quantitativement ? Le faire. On vient donc de trouver comment produire une onde polarisée elliptiquement avec une direction d'axes donnée et une excentricité donnée (préciser cette affirmation).

Expérience 3 :

Sur un banc éclairé par une lanterne filtrée, on place un polariseur P et un analyseur A qu'on tourne jusqu'à l'extinction. Sans plus toucher ni à P ni à A , on intercale entre eux une lame quart d'onde Q que l'on fait tourner

jusqu'à l'extinction. Tourner maintenant P de 45 ° dans un sens arbitraire. On est censé obtenir à la sortie de Q une polarisation circulaire (expliquer). Comment le vérifier qualitativement ? Le faire. Comment le vérifier quantitativement ? Le faire. On vient donc de trouver comment produire une onde polarisée circulairement.

XX-3.e Analyse d'une vibration a priori elliptique.

Question : A l'aide d'un filtre polaroïd, comment peut-on vérifier qu'une onde est polarisée elliptiquement et comment déterminer la direction des axes de l'ellipse ? Comment savoir qu'on est dans le cas d'une polarisation rectiligne ? d'une polarisation circulaire ?

Préparation de l'expérience, à savoir réglage des instruments : On aura besoin pour analyser une polarisation elliptique d'une lame quart d'onde Q et d'un analyseur A. Grâce à un polariseur P, orienter les axes lent et rapide de Q parallèlement aux directions privilégiées de A selon la procédure décrite plus haut (repérage des axes... expérience 2). Noter soigneusement les orientations de α_0 de Q et θ_0 de A.

Création de la polarisation elliptique «inconnue» : Sur le banc, juste après la lentille placer le «polarisateur elliptique», qui est constitué de la juxtaposition d'un polaroïd et d'une lame quart d'onde angulairement décalée (cf action sur la lumière ... expérience 2) ; on veillera à ce que ce polariseur soit traversé par la lumière dans le sens polaroïd-quart d'onde, car dans l'autre sens il ne marche pas !

Expérience, première phase : repérage des axes de l'ellipse. Placer l'analyseur A après le polarisateur elliptique et tourner A jusqu'à obtention d'un minimum d'intensité, on trouve ainsi la direction du petit axe de l'ellipse. Justifier cette affirmation. Noter l'orientation θ_1 de A

Hors du banc, tourner Q du même angle que A, c'est-à-dire l'orienter dans la direction $\alpha_1 = \alpha_0 + (\theta_1 - \theta_0)$ afin que Q et A aient toujours leurs axes privilégiés parallèles entre eux et, en plus, aussi à ceux de l'ellipse de l'onde polarisée.

Dans la suite, ces axes seront choisis comme axes Oy et Oz, ce dernier étant la direction de projection de A, sa direction passante en quelque sorte, et aussi, nous venons de le voir, celle du petit axe de l'ellipse.

On remarquera, ici encore, que le choix d'une bonne base de projection est essentielle à une compréhension simple des phénomènes.

Expérience, seconde phase : mesure de l'excentricité. Replacer Q, ainsi orientée, sur le banc, entre le polarisateur elliptique et A. Avec le choix des axes ci-dessus, on sait déjà que la lumière qui sort du polarisateur elliptique est de la forme :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ a \cos(\omega(t - x/c)) \\ b \sin(\omega(t - x/c)) \end{vmatrix}$$

avec $b < a$.

Quel est le champ qui sort de Q ? Quelle est sa polarisation ? Comment pourrait-on le vérifier ?

En prenant soin de noter la position de départ, tourner A jusqu'à l'extinction, noter son orientation θ_2 ; on a donc tourné d'un angle $\varphi = \theta_2 - \theta_1$. Montrer que la valeur de φ permet de calculer le rapport b/a .

Faire l'expérience et le calcul.

XX-3.f Lumière naturelle ou polarisation circulaire ?

Reprenons l'expérience précédente à zéro, préparation comprise. Comment le binôme A doit-il modifier la préparation pour obtenir une polarisation circulaire ? Qu'il le fasse donc !

Dans la première phase de l'expérience, comment le binôme B s'aperçoit-il que la lumière est polarisée circulairement ? Le vérifier expérimentalement. Enlever, sans toucher à leur orientation, P_A et Q_A et faire à nouveau tourner A_B . Y a-t-il, à ce stade une différence de comportement entre polarisation circulaire et lumière naturelle ?

Replacer P_A et Q_A et passer à la seconde phase de l'expérience. Avant de faire l'expérience, prévoir si la rotation de A_B , placé derrière Q_B , permet d'obtenir une extinction ? Faire l'expérience. La valeur de φ nous apprend-elle ici quelque chose ?

Enlever maintenant P_A et Q_A et faire tourner A_B , placé derrière Q_B . Observera-t-on une extinction ? Le vérifier expérimentalement. Comment peut-on distinguer lumière naturelle et polarisation circulaire en faisant au plus simple ?