



Polarisation de la lumière

I OPPM dans un milieu transparent linéaire, homogène et isotrope

I.1 Propagation du champ électromagnétique

a Équation de propagation

Dans un milieu transparent linéaire, homogène et isotrope, les équations de Maxwell deviennent, en l'absence de charges et de courants libres :

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{E} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$

On en déduit l'équation de propagation du champ électrique

$$\Delta \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

La célérité de propagation est alors

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

ce qui montre que l'indice de réfraction est égal à $n = \sqrt{\epsilon_r}$.

b Relations de structure

Les relations de structure sont modifiées, et s'écrivent, pour une onde plane progressive selon \vec{u} :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{B} = \frac{n}{c} \vec{u} \wedge \vec{E} \quad \text{Forme usuelle} \\ \vec{E} = -\frac{c}{n} \vec{u} \wedge \vec{B} \quad \text{Variante} \end{array} \right.$$

c Aspect énergétique

Le vecteur de Poynting reste colinéaire à \vec{u} et devient

$$\vec{\Pi} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \wedge \left(\frac{n}{c} \vec{u} \wedge \vec{E} \right) = \frac{n}{\mu_0 c} E^2 \vec{u} = \frac{c}{n} \epsilon_0 E^2 \vec{u}.$$

I.2 OPPM électromagnétique

Si on choisit une propagation selon \vec{e}_z , le champ électrique est, dans un milieu linéaire, homogène et isotrope d'indice n , de la forme

$$\vec{E}(z, t) = E_1 \cos(\omega t - n\omega z/c + \varphi_1) \vec{e}_x + E_2 \cos(\omega t - n\omega z/c + \varphi_2) \vec{e}_y,$$

puisque sa composante selon \vec{e}_z est nulle.

Au choix de l'origine des temps près, l'onde électromagnétique est entièrement déterminée par les données de E_1 , E_2 et de $\varphi_2 - \varphi_1$.

L'image complexe du champ électrique proposé est, en explicitant le vecteur d'onde $\vec{k} = \frac{n\omega}{c}\vec{e}_z$:

$$\vec{E} = \exp i(\omega t - n\omega z/c) (E_1 e^{i\varphi_1} \vec{e}_x + E_2 e^{i\varphi_2} \vec{e}_y)$$

tandis que l'amplitude complexe du champ électrique s'écrit

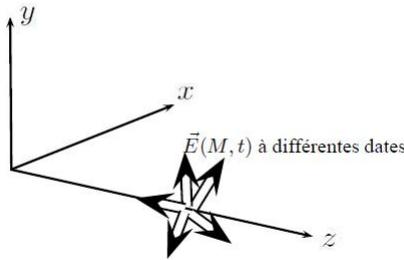
$$\vec{E}_0 = (E_1 e^{i\varphi_1} \vec{e}_x + E_2 e^{i\varphi_2} \vec{e}_y)$$

II La polarisation de la lumière

Rappel : La polarisation de la lumière est la direction du champ électrique associé, et son évolution dans le plan transverse à la propagation.

II.1 Polarisation naturelle

La lumière naturelle est telle qu'aucune direction ne prédomine sur les autres. La direction des trains d'onde successifs est complètement aléatoire ; et les détecteurs de lumière (œil, photodiode,...), du fait de leur temps de réponse très grand devant la durée d'un train d'onde, reçoivent ainsi toutes les polarisations . On dit de cette lumière qu'elle est non polarisée .



II.2 Polarisation elliptique

Une lumière polarisée est dans le cas général polarisée elliptiquement : Lorsque E_1 , E_2 , φ_1 et φ_2 ont des valeurs quelconques, le point représentatif P défini précédemment décrit une trajectoire elliptique.

Dans ce cas général, les amplitudes E_1 et E_2 sont différentes, et la phase $\varphi_2 - \varphi_1$ est quelconque (non nulle modulo π).

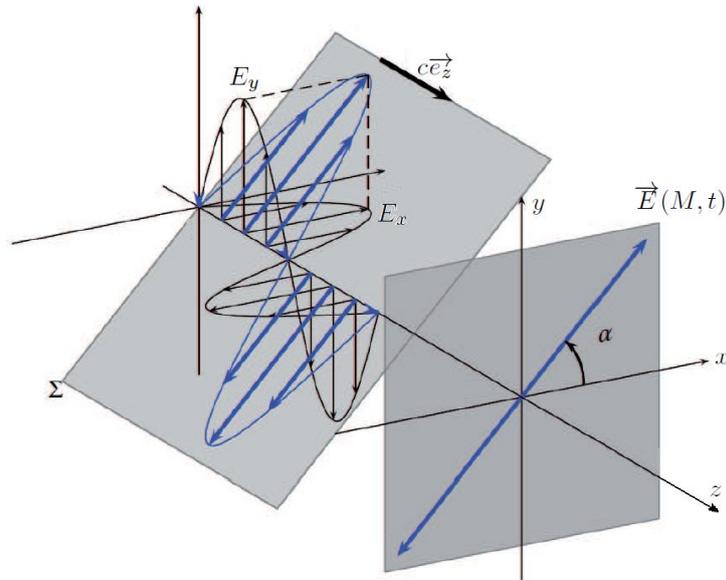
Deux cas particuliers se distinguent naturellement : le cas où $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ (modulo π), et le cas où $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/2$ (modulo π) et $E_1 = E_2$.

II.3 Polarisation rectiligne

Lorsque le champ électrique a une direction constante, on dit que l'onde est polarisée rectilignement. Cette situation est obtenue lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite :

$$\left\{ \begin{array}{ll} E_2 = 0 & \text{Polarisation selon } \vec{e}_x \\ E_1 = 0 & \text{Polarisation selon } \vec{e}_y \\ \varphi = +\varphi_1 - \varphi_2 \equiv 0 [\pi] & \text{Polarisation selon } E_1 \vec{e}_x \pm E_2 \vec{e}_y \end{array} \right.$$

Un état de polarisation quelconque est une somme d'un état de polarisation selon \vec{e}_x et d'un état de polarisation selon \vec{e}_y .



II.4 Polarisation circulaire

Un autre cas particulier remarquable est le cas de la polarisation circulaire, correspondant à un champ électrique dont la norme est indépendante du temps. Cette situation est obtenue lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

$$\begin{cases} E_1 = E_2 & \text{Composantes de même amplitude} \\ \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \equiv \frac{\pi}{2} [\pi] & \text{Composantes en quadrature} \end{cases}$$

Le champ électrique peut alors s'écrire, en posant $\varphi = \sigma \frac{\pi}{2}$

$$\begin{aligned} \vec{E} = E_1 & \left[\cos\left(\omega t - \frac{\omega z}{c} + \varphi_1\right) \vec{e}_x \right. \\ & \left. + \cos\left(\omega t - \frac{\omega z}{c} + \varphi_1 - \sigma \frac{\pi}{2}\right) \vec{e}_y \right] \end{aligned}$$

avec $\sigma = \pm 1$.

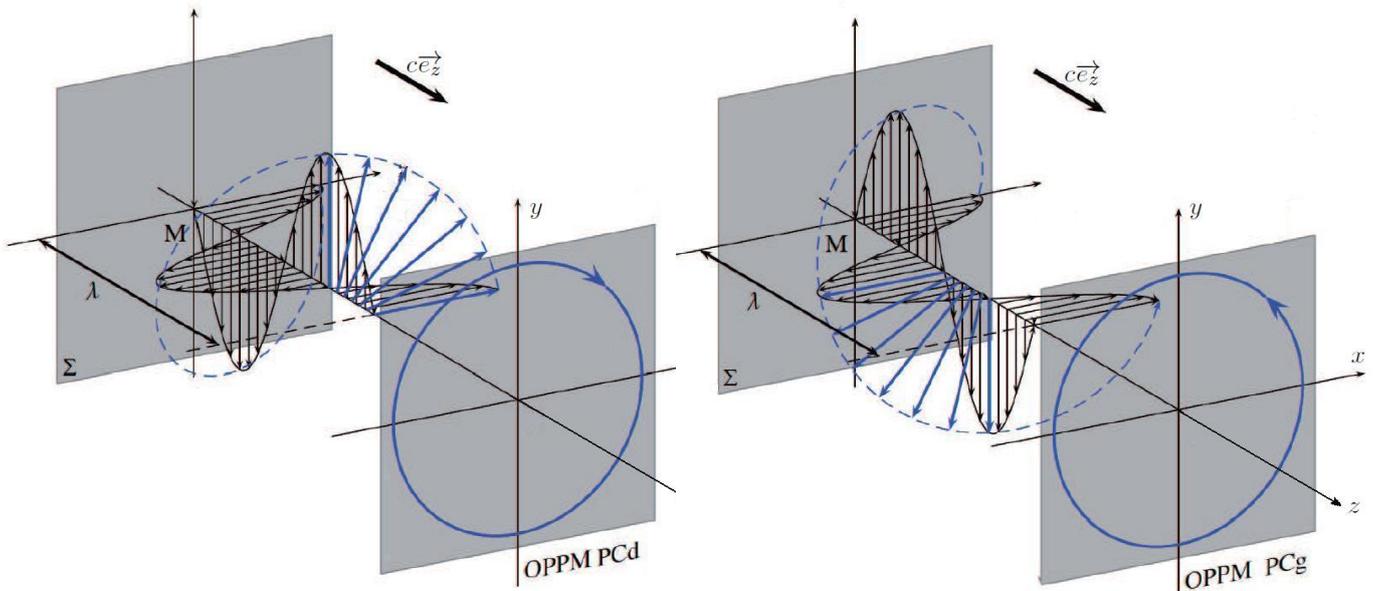
Une échelle étant choisie, on peut étudier le mouvement du point représentatif P tel que

$$\vec{OP} = \vec{E}(M, t).$$

en un point M donné ; pour alléger les notations, choisissons M tel que $\omega z/c = \varphi_1$. On a

$$\begin{aligned} \vec{OP} &= E_1 \left(\cos \omega t \vec{e}_x + \cos\left(\omega t - \sigma \frac{\pi}{2}\right) \vec{e}_y \right) \\ &= E_1 (\cos \omega t \vec{e}_x + \sigma \sin \omega t \vec{e}_y). \end{aligned}$$

Le mouvement de P est un mouvement circulaire uniforme sur un cercle de centre O et de rayon E_1 . Ce cercle est parcouru dans le sens horaire si $\sigma = -1$, soit pour $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ et dans le sens anti-horaire si $\sigma = +1$, soit pour $\varphi = +\frac{\pi}{2}$. Dans le premier cas, la polarisation est dite **circulaire droite** ; elle est dite **circulaire gauche** dans le second cas.



On peut montrer qu'un état de polarisation quelconque est la somme d'un état circulaire gauche et d'un état circulaire droit.

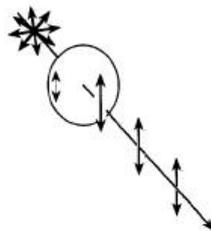
III Production et analyse d'une lumière polarisée

III.1 Outils d'analyse et de production

a Analyseurs et polariseurs

On considère dans ce paragraphe une onde plane progressive harmonique de pulsation ω se propageant selon \vec{e}_z .

Polariseur rectiligne — La fonction d'un polariseur rectiligne est de fournir en sortie, pour une onde incidente quelconque, une onde polarisée rectilignement selon une direction \vec{u} ajustable en faisant tourner le polariseur autour d'un axe parallèle à Oz .



S'il n'y a pas de pertes par réflexion ou par absorption, le polariseur réalise la projection du champ entrant sur le vecteur \vec{u} . À un facteur de phase global près, le champ électrique en sortie est alors

$$\vec{E}_s = (\vec{E}_e \cdot \vec{u}) \vec{u}$$

Dans le cas d'une onde incidente polarisée rectilignement selon \vec{e} , si θ désigne l'angle entre \vec{e} et \vec{u} , on a la relation suivante entre les intensités lumineuses en entrée et en sortie :

$$I_s = I_e \cos^2 \theta \tag{Loi de Malus}$$

Polariseur circulaire — La fonction d'un polariseur circulaire gauche (resp. droit) est de fournir en sortie, pour une onde incidente quelconque, une onde polarisée circulaire gauche (resp. droite).

Faire tourner un polariseur circulaire autour d'un axe parallèle à Oz ne modifie pas son action sur la lumière sortante, contrairement à un polariseur rectiligne.

La fonction de polariseur circulaire gauche et la fonction de polariseur circulaire droit ne sont pas réalisées par une même lame.

La fonction de polariseur circulaire est réalisée pour un seul sens de traversée de la lame.

Analyseur rectiligne — Un analyseur rectiligne est un dispositif susceptible d'éteindre une onde polarisée rectilignement.

Analyseur circulaire — Un analyseur circulaire est un dispositif susceptible d'éteindre une onde polarisée circulairement.

b Lames à retard

Principe — Une lame à retard est une lame mince d'épaisseur e , dont l'indice de réfraction dépend de la *direction du champ électrique*. Il existe deux directions \vec{e}_X et \vec{e}_Y orthogonales à \vec{e}_z , pour lesquelles les indices de réfractations valent respectivement n_X et n_Y . Ces directions sont appelées les **lignes neutres** de la lame.

Effet sur une onde polarisée selon une ligne neutre — Une onde polarisée selon une ligne neutre émerge en conservant son état de polarisation.

Action sur un autre état de polarisation — Une onde de polarisation différente peut se décomposer en une composante sur \vec{e}_X et une composante sur \vec{e}_Y . Les deux composantes se propageant à des vitesses différentes, le déphasage entre ces deux composantes en sortie diffère du déphasage en entrée ; il en résulte en général une modification de l'état de polarisation.

Axe rapide et axe lent — Supposons que $n_X < n_Y$; la vitesse de propagation est plus grande pour un champ électrique selon \vec{e}_X que pour un champ électrique selon \vec{e}_Y . On dit que \vec{e}_X est la direction de l'axe rapide et \vec{e}_Y la direction de l'axe lent.

Déphasage — Soient φ_X et φ_Y les phases des composantes selon \vec{e}_X et selon \vec{e}_Y du champ électrique en entrée. En sortie les phases sont

$$\varphi'_X = \varphi_X - 2\pi \frac{n_X e}{\lambda} \quad \text{et} \quad \varphi'_Y = \varphi_Y - 2\pi \frac{n_Y e}{\lambda}$$

La différence de phase entre les composantes passe donc de $\varphi = \varphi_X - \varphi_Y$ à $\varphi' = \varphi'_X - \varphi'_Y = \varphi + 2\pi \frac{(n_Y - n_X)e}{\lambda}$. L'effet de la lame est donc d'ajouter un déphasage supplémentaire entre les deux composantes du champ électrique :

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{(n_Y - n_X)e}{\lambda}$$

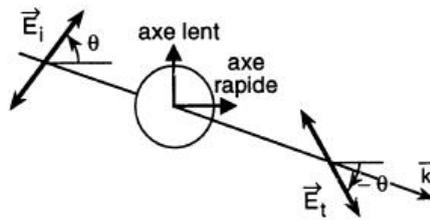
c Lames à retard particulières

Lame demi-onde ou $\lambda/2$ — C'est une lame à retard telle que la différence de chemin optique pour les deux composantes du champ électrique vaut $\lambda/2$; il en résulte que

$$\Delta\varphi = \pi$$

Un déphasage de π pour une des composantes du champ électrique revient à changer le signe d'une des deux composantes.

- Une onde polarisée rectilignement selon \vec{e} émerge avec une direction de polarisation généralement modifiée, symétrique de \vec{e} par rapport à une ligne neutre.



- Une onde polarisée elliptiquement gauche émerge avec une polarisation elliptique droite.
- Une onde polarisée elliptiquement droite émerge avec une polarisation elliptique gauche.

Lame quart d'onde ou $\lambda/4$ — C'est une lame à retard telle que la différence de chemin optique pour les deux composantes du champ électrique vaut $\lambda/4$; il en résulte que

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$

- Une onde polarisée rectilignement selon $\frac{\vec{e}_X + \vec{e}_Y}{\sqrt{2}}$ émerge avec une polarisation circulaire gauche.
- Une onde polarisée rectilignement selon $\frac{\vec{e}_X - \vec{e}_Y}{\sqrt{2}}$ émerge avec une polarisation circulaire droite.
- Une onde circulaire gauche émerge avec une polarisation rectiligne selon $\frac{\vec{e}_X - \vec{e}_Y}{\sqrt{2}}$.
- Une onde circulaire droite émerge avec une polarisation rectiligne selon $\frac{\vec{e}_X + \vec{e}_Y}{\sqrt{2}}$.

III.2 Réalisation des outils

a Polariseur rectiligne

Polarisation par dichroïsme — Le dichroïsme rectiligne (dichroïsme = absorption sélective de la lumière selon l'état de polarisation de la lumière incidente) est à la base du polariseur le plus couramment utilisé : le polaroïd. Un polaroïd est une feuille en matière plastique de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, constituée de longues chaînes de polymères étirées majoritairement dans une direction. En outre, des molécules de colorant absorbant dans un large domaine spectral sont attachées sur ces chaînes. Les liaisons chimiques colorant-chaîne sont toutes orientées de la même façon ; de cette manière, l'absorption de la feuille dépend très fortement de la direction de polarisation.

Un polaroïd est réalisé en étirant des films polymères. Un champ électrique parallèle à la direction d'étirement des macromolécules est absorbé par celles-ci car il met en mouvement leurs électrons. En revanche, un champ électrique orthogonal à la direction des macromolécules ne peut pas exciter leurs électrons, il est donc transmis sans atténuation. On appelle « axe (de transmission) du polariseur » la direction de transmission maximale de la lumière : c'est la direction orthogonale à celle d'étirement des macromolécules. Cette propriété d'absorption sélective selon la direction du champ électrique s'appelle le dichroïsme (le matériau possède deux indices, qui dépendent de l'orientation du champ \vec{E} de l'onde incidente).



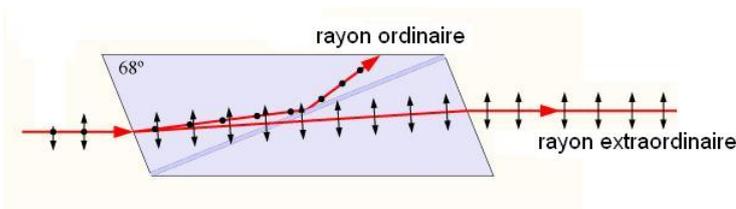
Par la suite, le terme **polariseur** désigne implicitement un polariseur rectiligne.

Un polariseur possède un **axe de transmission** : si le champ \vec{E} de l'onde incidente est aligné avec cet axe, l'onde passe sans être atténuée.

Un polariseur possède un **axe d'extinction**, orthogonal à l'axe de transmission : si le champ \vec{E} de l'onde incidente est aligné avec cet axe, l'onde est totalement absorbée.

L'orientation de ces axes n'est généralement pas indiquée sur le composant. Cela n'empêche pas de travailler.

Polarisation par biréfringence — Un prisme de Nicol ou plus simplement nicol est un polariseur séparant un rayon lumineux en deux rayons de polarisations différentes. Ce fut le premier type de prisme polarisant la lumière, inventé en 1828 par William Nicol d'Édimbourg. Il est constitué d'un cristal rhomboédrique de calcite (spath d'Islande) taillé à un angle de 68° , coupé selon la diagonale, puis recollé à l'aide de baume du Canada.



La calcite est un matériau biréfringent, c'est-à-dire qu'il est caractérisé par deux indices optiques (créant les deux rayons) valant 1,658 et 1,550. Une réflexion totale interne intervient au niveau de la jonction : un des rayons est complètement réfléchi, l'autre est complètement transmis.

b Comment déterminer l'axe de transmission ("p") d'un polariseur ?

Connaissant l'action d'un polariseur sur la lumière, il paraît essentiel de savoir déterminer son axe de transmission. La méthode à employer semble simple : utiliser une lumière polarisée rectilignement, placer le polariseur sur son chemin, et tourner le polariseur sur lui-même de telle sorte à ne plus voir de lumière en sortie. Dans cette configuration, l'axe de transmission du polariseur est orthogonal à l'axe de polarisation de la lumière.

C'est en pratique peu évident car la lumière dont nous disposons conventionnellement n'est pas polarisée. Il nous faut donc trouver une lumière polarisée rectilignement, dont nous connaissons la direction de polarisation. Une situation naturelle nous le permet : la réflexion sur une surface vitreuse d'une lumière sous l'incidence de Brewster.

Dans le cours sur la réflexion/transmission d'une onde électromagnétique sur une interface, nous n'avons étudié que le cas d'une onde arrivant sous incidence normale. Lorsque ce n'est pas le cas, les coefficients de réflexion R et de transmission T en énergie dépendent sans surprise de l'angle d'incidence i . Dans le cas d'une interface air/verre, on admet l'évolution (donnée graphiquement ci-dessous) du facteur de réflexion en énergie pour les composantes respectivement perpendiculaire R_{\perp} au plan d'incidence et dans le plan d'incidence R_{\parallel} .

Sur cette courbe, on observe que le coefficient de réflexion pour la composante dans le plan d'incidence tombe à 0 pour un angle particulier, appelé incidence de Brewster i_B . On peut montrer que pour une interface entre deux milieux transparents d'indice n_1 et n_2 , on a

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$$

À cette incidence, la composante dans le plan d'incidence est donc complètement éteinte et la lumière réfléchie est par conséquent polarisée rectilignement dans la direction orthogonale au plan d'incidence.

Méthode. En pratique, n'importe quelle surface fera raisonnablement office de surface réfléchissante : paillasse, écran d'ordinateur (éteint), de téléphone portable,... Regarder la lumière réfléchie par la surface que vous aurez choisie à un angle proche de 60° ; et placer le polariseur entre vos yeux et cette surface. Tourner le polariseur de telle sorte à ne plus voir la lumière : la direction p du polariseur est alors orthogonale à la surface.

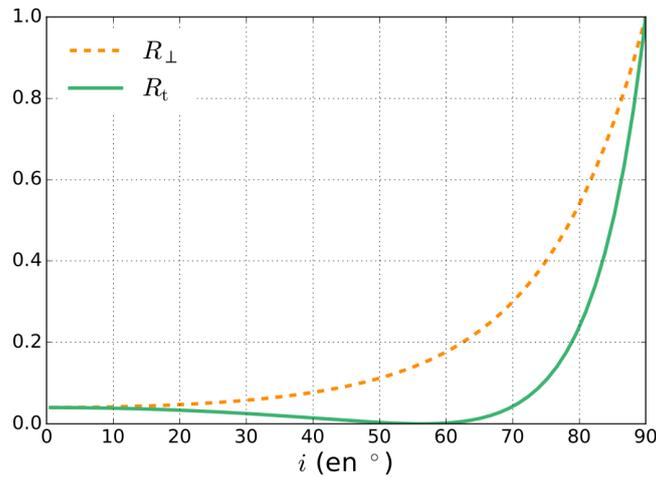


Figure. Représentation graphique de R_{\perp} et R_t , pour une interface air/verre, d'indice $n = 1,5$. Dans ce cas l'incidence de Brewster est 56° .

c Polariseur circulaire

Un polariseur circulaire est obtenu en accolant un polariseur rectiligne à une lame quart d'onde.

d Analyseur rectiligne

Un polariseur rectiligne est aussi un analyseur rectiligne : il peut éteindre une onde polarisée rectilignement selon \vec{e} orthogonale à sa direction de polarisation \vec{u} .

e Analyseur circulaire

Un polariseur circulaire gauche est un analyseur circulaire droit. Un polariseur circulaire droit est un analyseur circulaire gauche.

III.3 Production d'une lumière polarisée

a Lumière polarisée rectilignement

Il suffit de disposer d'un polariseur rectiligne.

b Lumière polarisée circulairement

On peut utiliser un polariseur circulaire ou associer un polariseur rectiligne et une lame quart d'onde, la direction du polariseur étant à un angle de $\pm \frac{\pi}{4}$ par rapport aux lignes neutres.

c Lumière polarisée elliptiquement

On peut associer un polariseur rectiligne et une lame quart d'onde, la direction du polariseur étant à un angle différent de $0 \left[\frac{\pi}{4} \right]$ par rapport aux lignes neutres.

d Lumière partiellement polarisée

Les mécanismes de polarisation ne sont pas tous efficaces à 100%. On peut décomposer le champ électrique d'une onde harmonique en deux termes

$$\vec{E} = \vec{E}_P + \vec{E}_{NP}$$

Le premier terme correspond à une polarisation définie, tandis que le second terme correspond à une onde non polarisée.

On définit le taux de polarisation de l'onde par le rapport $\frac{\| \langle \vec{E}_P \rangle \|^2}{\| \langle \vec{E} \rangle \|^2}$ compris entre 0 (pour une onde non polarisée) et 1 (pour une onde totalement polarisée).

La lumière réfléchi par un dioptre, sauf dans le cas d'une incidence particulière (incidence de Brewster ou incidence nulle), est partiellement polarisée.

III.4 Montage polariseur/analyseur – Loi de Malus

Dans le cas d'une lumière incidente polarisée rectilignement arrivant sur un polariseur, le champ électrique incident fait un angle θ avec l'axe de transmission du polariseur.

En décomposant le champ électrique selon l'axe de transmission et l'axe d'extinction, on en déduit que la norme du champ électrique sortant du polariseur est diminuée d'un facteur $\cos(\theta)$.

L'intensité lumineuse étant proportionnelle au carré du champ électrique, on en déduit la **loi de Malus** :

$$I_{\text{sortant}} = I_{\text{entrant}} \cdot \cos^2(\theta)$$

NB : Pour réaliser cela expérimentalement, on utilise deux polariseurs rectilignes (polaroïds). Le premier est nommé "polariseur", car son rôle est de polariser rectilignement la lumière. Le second est nommé "analyseur" car son rôle est d'analyser la polarisation de la lumière issue du polariseur.

Vous disposez de :

- Diode Laser
- Polariseurs (2)
- Luxmètre relié à la carte SYSAM, logiciel LatisPro

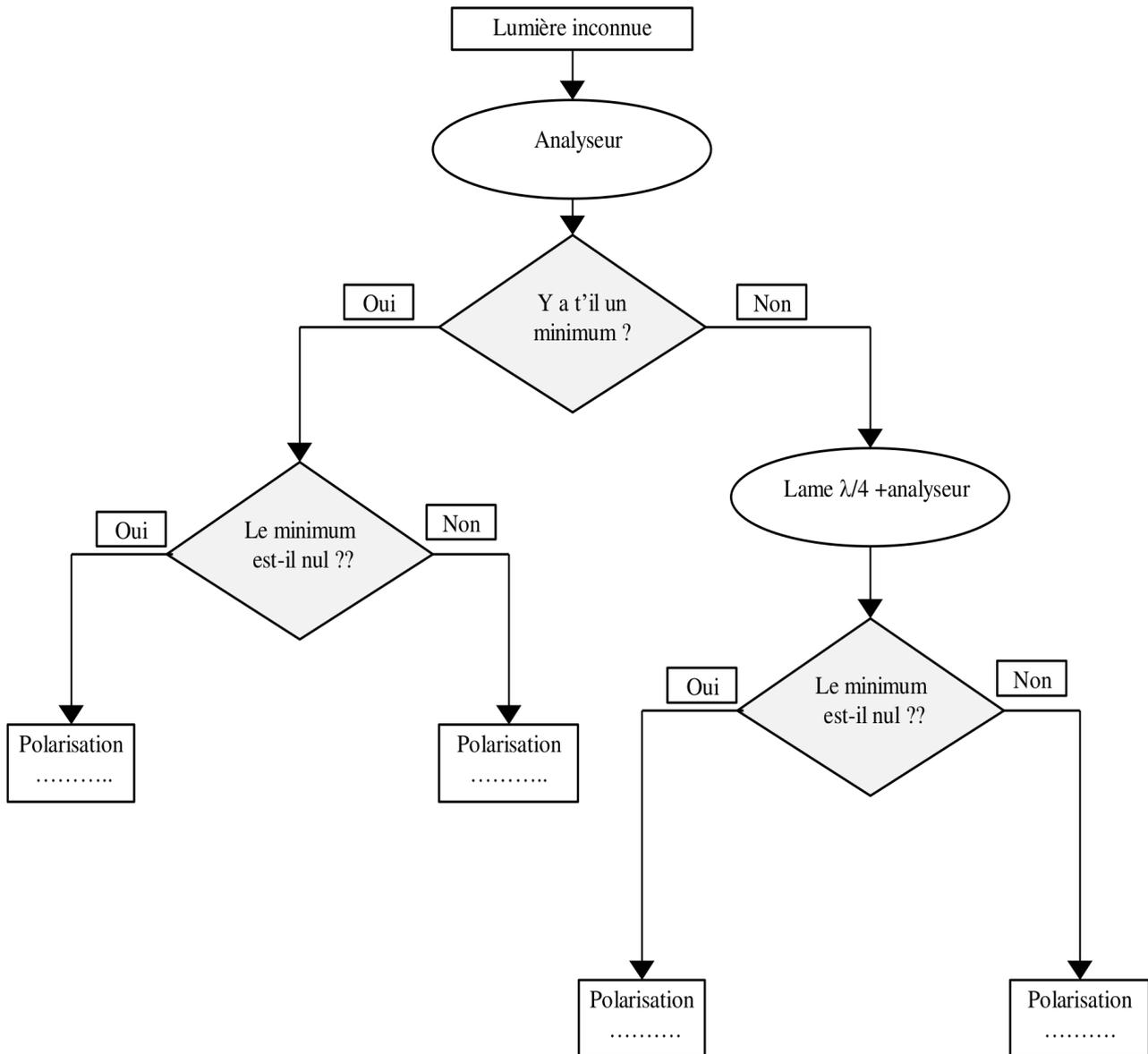
☞ Proposer et mettre en œuvre un protocole de mesure permettant de vérifier la loi de Malus :

On rédigera le protocole, assorti de schémas sur le cahier de TP. On s'attachera notamment à décrire les difficultés expérimentales rencontrées et les stratégies pour les surmonter.

✘ Tracer (à l'aide d'un logiciel comme Regressi ou LatisPro) la courbe donnant l'éclairement en fonction de l'angle θ entre les directions du polariseur et de l'analyseur.

✘ Modéliser la courbe obtenue et commenter (la loi de Malus est-elle bien vérifiée, si oui, dans quelle mesure, si non, quels sont les défauts du protocole?)

III.5 Analyse d'une lumière polarisée



IV Approche expérimentale

IV.1 Polarisation du faisceau LASER

On utilise comme source une diode laser. À l'aide d'un analyseur, montrer que le faisceau laser est polarisé rectilignement.

Déterminer sa direction de polarisation.

Nota bene : Si le laser utilisé s'avère non polarisé, placer à sa sortie un polariseur.

IV.2 Détermination des lignes neutres des lames à retard

Expérience 1

Sur un banc éclairé par un LASER, 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 .

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

Refaire l'expérience précédente avec une lame quart d'onde.

Bilan

| | | | | |
|--------------------------|---|--|--|--|
| | Directions en ° d'extinction par l'analyseur du faisceau transmis par la lame | | | |
| Lame $\frac{\lambda}{2}$ | | | | |
| Lame $\frac{\lambda}{4}$ | | | | |

IV.3 Action sur une lumière polarisée rectilignement

Lame demi-onde

Sur un banc éclairé par un LASER, 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 l'analyseur dans le même sens jusqu'à obtenir de nouveau l'extinction.

- ☞ De quel angle a-t-il fallu tourner l'analyseur ?
- ☞ Quel est l'état de polarisation à la sortie de la lame ?
- ☞ Justifier ce résultat à l'aide de l'écriture des champs électriques.

Tourner la lame de 20° dans l'autre sens pour contrôler vos réponses.

Lame quart-d'onde

Sur un banc éclairé par un LASER, 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 Q 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).

Lame quart-d'onde

Sur un banc éclairé par un LASER, 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 Q de 45° dans un sens arbitraire.

☞ Décrire l'évolution de l'intensité à l'écran lorsque vous faites tourner l'analyseur sur un tour complet et en déduire l'état de polarisation de l'onde à la sortie de la lame.

.....

.....

☞ Justifier vos observations à l'aide de l'écriture des champs électriques.

.....

.....

On vient donc de trouver comment produire une onde polarisée circulairement.