

En prenant le rotationnel de l'équation de Maxwell-Ampère et en procédant de la même manière, on peut établir que le champ magnétique vérifie la même équation. Chacune des composantes cartésiennes $s(r, t)$ des vecteurs \vec{E} et \vec{B} vérifie donc l'équation progressive monocromatique, c'est-à-dire un champ électromagnétique :

$$\nabla \vec{E} = \frac{c^2}{\epsilon_0 \mu_0} \vec{B} \quad \text{ou} \quad c = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \mu_0}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Le champ électrique vérifie donc l'équation :
compte tenu de l'équation de Maxwell-Gauss.

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\nabla^2 \vec{E}$$

D'autre part,

$$\begin{aligned} \nabla \times (\nabla \times \vec{B}) &= \nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \\ \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= -\nabla \times \left(\nabla \times \vec{B} \right) \end{aligned}$$

on établit l'équation de propagation du champ électromagnétique (voir cours) :

$$\left. \begin{array}{l} (\text{M.A}) : \quad \nabla \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ (\text{M.F}) : \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ (\text{M.}\Phi) : \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \\ (\text{M.G}) : \quad \nabla \cdot \vec{E} = 0 \end{array} \right\}$$

A partir des équations de Maxwell dans un milieu vide de charges et de courant :

1.1 Onde électromagnétique plane, progressive, monocromatique (OPP)

1 ETUDE THÉORIQUE

10 février et 10 mars 2009

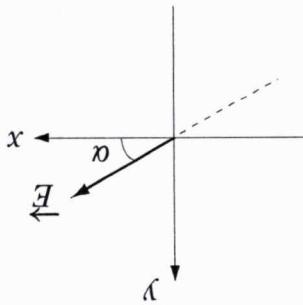
PC*2 - Saint-Louis

Lumineuses

TP-COURS N°4 - Polarisation des ondes

$\cos \alpha \underline{\underline{u_x}} + \sin \alpha \underline{\underline{u_y}}$ et où $\underline{\underline{E}} = E_0 \exp(i\phi)$.
 En notation complexe, le champ électrique s'écrit : $\underline{\underline{E}} = E_0 \exp(i(\omega t - kz)) \underline{\underline{u}}$ où $\underline{\underline{u}} =$

FIG. 1 - Polarisation rectiligne



L'extrême du vecteur $\underline{\underline{E}}$ décrit un segment de droite faisant l'angle α avec l'axe Ox .

$$\underline{\underline{E}} = E_0 (\cos \alpha \underline{\underline{u_x}} + \sin \alpha \underline{\underline{u_y}}) \cos(\omega t - kz - \phi)$$

d'où :

Le champ est polarisé rectilignement si le vecteur $\underline{\underline{E}}$ garde une direction fixe dans un plan

1.2.1 Polarisation rectiligne

Dans le cours d'optique, nous nous sommes placés dans le cadre du modèle scalaire de la lumière. Nous allons ici nous intéresser au caractère vectoriel des ondes électromagnétiques. Pour une onde monochromatique, les équations de Maxwell n'imposent au champ électrique que de varier sinusoidalement dans le plan d'onde, la manière dont se fait cette variation donne l'état de polarisation de l'onde. Plus précisément, nous allons étudier la courbe décrite par l'extrême du vecteur $\underline{\underline{E}}$ dans un plan d'onde orienté de telle sorte que l'observateur voit arriver l'onde vers lui.

1.2 Polarisation des Ondes

$$\text{une vitesse plus petite : } v = \frac{c}{n}.$$

Si l'onde se propage dans un milieu transparent isotrope d'indice n , les résultats précédents sont conservés à condition de remplacer la vitesse c de propagation de l'onde dans le vide par

$$\underline{\underline{E}} = E_0 x \cos(\omega t - kz) \underline{\underline{u_x}} + E_0 y \cos(\omega t - kz + \phi) \underline{\underline{u_y}}$$

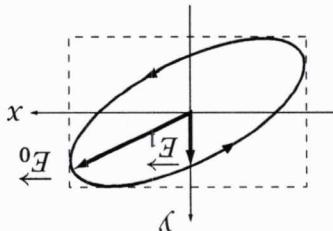
Les équations de Maxwell nous donnent la structure du champ (voir cours) : $\operatorname{div} \underline{\underline{E}} = 0$, $\operatorname{div} \underline{\underline{B}} = 0$ et $\underline{\underline{B}} = \frac{k}{\omega} \times \underline{\underline{E}}$: les champs électriques et magnétiques sont orthogonaux entre eux et à la direction de propagation de l'onde (ici Oz) : ils sont transverses. Le champ s'écrit

$$\text{Le vecteur d'onde s'écrit } \underline{\underline{k}} = k \underline{\underline{u_z}} = \frac{\omega}{c} \underline{\underline{u_z}}.$$

- invariant par toute translation parallèlelement à un plan (plan d'onde) que nous appellerons (xOy) dans la suite ;
- se propageant à la vitesse c ;
- sinusoidal, de pulsation ω .

senz trigonométrique, soit de la droite vers la gauche : elle est dite "elliptique gauche".
 $\underline{E} = \underline{E}_1$ tel que $E_y = E_{0y} \cos\left(\frac{\omega}{k} t - \frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2} E_{0y} > 0$. L'ellipse est donc parcourue dans le sens trigonométrique.
 A l'instant $t = 0$, $\underline{E} = \underline{E}_0$. La première fois que E_x s'annule, c'est-à-dire pour $\omega t = \frac{\pi}{2}$,
 Plaçons-nous dans le plan $z = 0$ par exemple.

FIG. 2 - Polarisation elliptique.



$$\underline{E} = E_{0x} \cos(\omega t - kz) \underline{u}_x + E_{0y} \cos\left(\omega t - kz - \frac{3}{2}\right) \underline{u}_y$$

Il reste maintenant à savoir dans quel sens est décrite l'ellipse. Prenons l'exemple suivant :
 Remarquons que les composantes de \underline{E}_0 ne sont pas réelles.

En notation complexe : $\underline{E} = \underline{E}_0 \exp(i(\omega t - kz))$ où $\underline{E}_0 = E_{0x} \underline{u}_x + i E_{0y} \exp(-i\phi) \underline{u}_y$.
 Si $\phi = 0$ ou π , l'onde est polarisée rectilignement.
 Quant $\phi = \frac{\pi}{2}$ ou $\phi = \frac{3\pi}{2}$.

Les axes de l'ellipse sont les axes Ox et Oy uniquement dans le cas où $\cos \phi = 0$, c'est-à-dire

$$\left(\frac{E_x}{E_0} - \frac{E_{0x}}{E_x} E_0 \cos \phi \right)^2 + \left(\frac{E_{0x}}{E_x} \sin \phi \right)^2 = 1$$

grâce à la relation $\cos^2(\omega t - kz) + \sin^2(\omega t - kz) = 1$, on peut établir l'équation de la courbe en résolvant le système obtenu en $\cos(\omega t - kz)$ et en $\sin(\omega t - kz)$ puis en éliminant le temps cherchée :

$$\cos(\omega t - kz - \phi) = \cos(\omega t - kz) \cos \phi + \sin(\omega t - kz) \sin \phi$$

général pas les axes Ox et Oy . En effet, en utilisant :
 La courbe décrite par l'extrémité du vecteur \underline{E} est une ellipse dont les axes ne sont en général pas perpendiculaires.

ou E_{0x} et E_{0y} sont deux réels positifs.

$$(1) \quad \underline{E} = E_{0x} \cos(\omega t - kz) \underline{u}_x + E_{0y} \cos(\omega t - kz - \phi) \underline{u}_y$$

Il s'agit du cas le plus général d'onde polarisée :

1.2.2 Polarisation elliptique

L'Onde de Polarisation Elliptique (OPE) la plus générale est obtenue par la superposition de deux ondes polarisées rectilignes selon deux directions orthogonales, le déphasage entre les deux étant nul.

REMARQUE : Par un choix convenable de l'origine des temps, la phase en $t = 0$, à $z = 0$, peut être prise nulle. Dans ce cas : $\underline{E} = E_0 (\cos \alpha \underline{u}_x + \sin \alpha \underline{u}_y) \cos(\omega t - kz)$. En notation complexe, $\underline{E} = E_0 \exp(i(\omega t - kz)) \underline{u}$ avec E_0 réel.

$$\underline{\underline{E}} = E_0 \exp(i(\omega t - kz)) \left(\underline{u}_x + i \underline{u}_y \right)$$

ou, en notation complexe :

$$\underline{\underline{E}} = E_0 (\cos(\omega t - kz) \underline{u}_x - \sin(\omega t - kz) \underline{u}_y)$$

- Circulaire droite :

$$\underline{\underline{E}} = E_0 \exp(i(\omega t - kz)) \left(\underline{u}_x - i \underline{u}_y \right)$$

ou, en notation complexe :

$$\underline{\underline{E}} = E_0 (\cos(\omega t - kz) \underline{u}_x + \sin(\omega t - kz) \underline{u}_y)$$

- Circulaire gauche :

Deux cas peuvent se présenter :

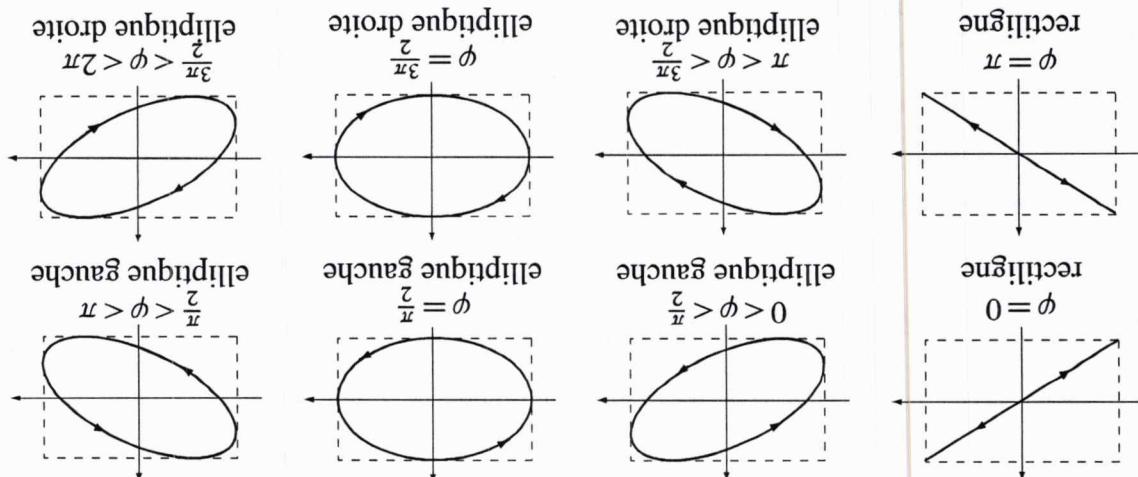
polarisé circulairement.

Dans le cas particulier où $E_{0x} = E_0$, et où $\phi = \pm \frac{\pi}{2}$, l'ellipse devient un cercle : l'onde est

1.2.3 Polarisation circulaire

Le raisonnement qui permet de déterminer le sens de rotation de la vibration.
Il ne faut pas retenir par cœur ce schéma général, mais être capable à chaque fois de refaire l'ellipticité de la vibration est le rapport du demi petit axe et du demi grand axe de l'ellipse.

FIG. 3 - Différents états de polarisation.



Si nous reprenons le cas général décrit par l'expression (1), les différents cas sont résumés dans la figure ci-dessous (les courbes sont inscrites dans un rectangle de cotés $2E_{0x} \times 2E_{0y}$) :

Le sens de parcours de l'ellipse peut également être déterminé en étudiant le signe de la dérivée de E_y en $t = 0$: en effet, $\frac{\partial E_y}{\partial t}(t = 0) = -\omega \sin\left(-\frac{3\pi}{4}\right) < 0$: la composante selon Oy augmente, l'ellipse est bien décrite dans le sens trigonométrique.

- superposition de vibrations polaires rectilignement dont la direction répétée par l'angle $\alpha(t)$ (par rapport à l'axe Ox par exemple) varie en prenant toutes les valeurs entre 0 et π .
 - superposition de vibrations polaires rectilignement dont la direction répétée par l'angle $(E_{0x}^2(t)) = (E_{0y}^2(t))$ puisque les axes Ox et Oy jouent des rôles équivalents;
- ou $\phi_x(t)$ et $\phi_y(t)$ variant vite et prennent des valeurs aléatoires au cours du temps et où

$$\underline{E} = E_{0x}^2(t) \cos(\omega t - kz + \phi_x(t)) \underline{u_x} + E_{0y}^2(t) \cos(\omega t - kz + \phi_y(t)) \underline{u_y}$$

lignes (Ox et Oy par exemple) :

- superposition de deux ondes polaires rectilignement selon deux directions perpendiculaires (Ox et Oy par exemple) de deux représentations de deux fréquences :
- aléatoire au cours du temps. Elle peut être représentée de deux façons :
- deux rectilignes orthogonales incohérentes entre elles : leurs phases et leurs amplitudes variant avec le temps. La lumière naturelle peut donc être considérée comme la superposition de deux vibrations. Une direction quelconque dans le plan (xOy), cette direction variant constamment au cours du temps, les différentes vibrations étant incohérentes entre elles. Le champ électrique \underline{E} prend alors une vibration de polarisation aléatoire dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation. Les sources de lumière naturelle sont constituées par un grand nombre d'émissoirs (molécules, atomes ...) répartis et orientés au hasard sous l'effet de l'agitation thermique. Chacun d'eux émet une vibration de polarisation rectiligne dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, les deux directions possibles d'une onde polaire : l'une à partir de deux ondes polaires circulaires gauche et droite.

1.3 Lumière polarisée et lumière naturelle

Il existe donc deux décompositions possibles d'une onde polaire : l'une à partir de deux ondes polaires rectilignement selon deux directions orthogonales, l'autre selon deux ondes polaires circulaires gauche et droite.

$$\underline{\bar{R}}_x = \frac{1}{2} (\underline{\bar{C}}_g + \underline{\bar{C}}_d) \quad \text{et} \quad \underline{\bar{R}}_y = \frac{1}{2} (\underline{\bar{C}}_g - \underline{\bar{C}}_d)$$

alors :

$$\underline{\bar{C}}_g = \underline{u_x} - i \underline{u_y} \left(\exp(i(\omega t - kz)) \right) \quad \text{et} \quad \underline{\bar{C}}_d = \left(\underline{u_x} + i \underline{u_y} \right) \exp(i(\omega t - kz))$$

et $\underline{\bar{C}}_d$ les vecteurs :

sitable, en prenant comme référence les états de polarisation circulaire. En effet, si on appelle $\underline{\bar{C}}_g$ constiutuent donc une base des états de polarisation. Il existe une deuxième décomposition pos-

$$\underline{\bar{R}}_x = \exp(i(\omega t - kz)) \underline{u_x} \quad \text{et} \quad \underline{\bar{R}}_y = \exp(i(\omega t - kz)) \underline{u_y}$$

complexes :

deux ondes polaires rectilignement selon Ox et Oy . Les états représentés par les vecteurs

FIG. 4 - Polarisation circulaire.

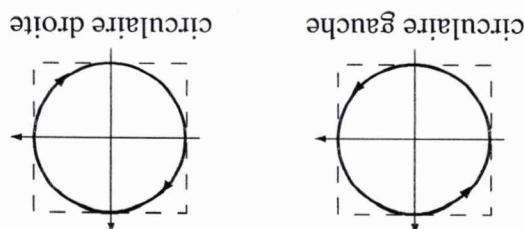
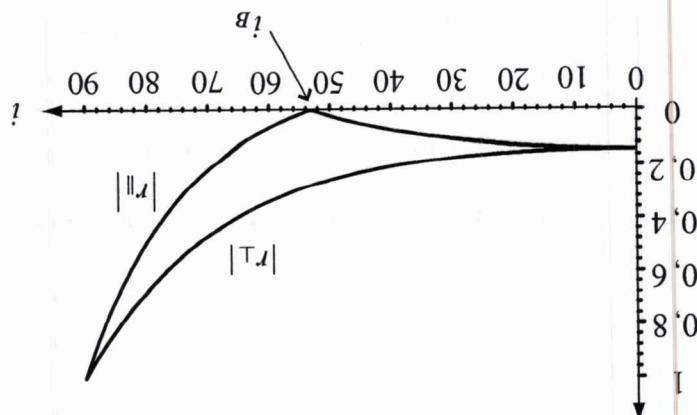


FIG. 6 - Coefficients de réflexion à l'interface entre deux milieux.



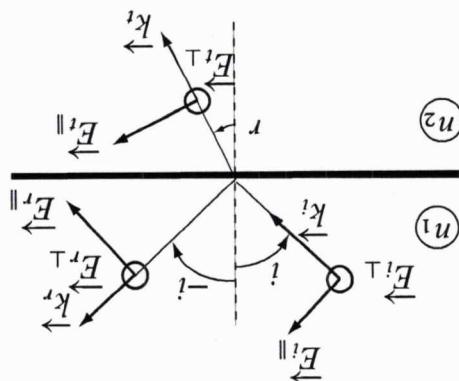
sont les suivantes :

Les courbes représentatives de $|r_{\parallel}|$ et de $|r_{\perp}|$ en fonction de l'angle d'incidence i (en degrés)

$$r_{\parallel} = \frac{E_{r\parallel}}{E_{i\parallel}} = \frac{\tan(i - i_0)}{\tan(i + i_0)} \quad \text{et} \quad r_{\perp} = \frac{E_{r\perp}}{E_{i\perp}} = \frac{\sin(i - i_0)}{\sin(i + i_0)}$$

On peut alors montrer que :

FIG. 5 - Réflexion et transmission à l'interface entre deux milieux.



Considérons une onde électromagnétique arrivant à la surface de séparation de deux milieux n_1 et n_2 . Le champ électrique incident peut être décomposé en deux : une composante $E_{i\parallel}$ dans le plan d'incidence et une composante $E_{i\perp}$ orthogonale au plan d'incidence. Le champ反映了 et le champ transmis peuvent être décomposés de la même façon :

Cette partie sera traitée en cours et en exercices ultérieurement. Les quelques lignes qui suivent donnent une idée du phénomène.

1.4.1 Polarisation par réflexion virtuelle

1.4 Comment produire de la lumière polarisée ?

La géométrie du champ dans le plan Oxy est quelque chose : la lumière naturelle n'est pas totalement polarisée. Dans ce TP-Cours, nous ne considérons que de la lumière naturelle ou des vibrations naturelle est dite *parallèlement polarisée*. La superposition d'une lumière totalement polarisée et d'une lumière totalement polarisée. Les lumières polarisées rectilignement, elliptiquement ou circulairement sont, elles, polarisées. La géométrie du champ dans le plan Oxy est quelque chose : la lumière naturelle n'est pas totalement polarisée.

La définition de la susceptibilité diélectrique χ_e , sera vue dans le chapitre sur les ondes électromagnétiques dans un milieu matériel. La seule propriété utile ici est la relation entre χ_e et l'indice n : $n^2 = 1 + \chi_e$, cette relation s'appliquant sur chacun des axes, et restant valable en notation complexe. Nous verrons également que la propagation est liée à la partie réelle n , de l'indice (la vitesse de propagation de l'onde est c/n) et que la partie imaginaire n raduit une absorption de l'onde.

Certains substances, dites *dichroiques*, sont telles que $n_y > n_x$. Elles absorbent donc beaucoup plus selon la direction Oy que selon la direction Ox . Si l'épaisseur de la lame est suffisante, en sorte de celle-ci, la composition électrique du champ électrique selon Oy est négligeable : le champ électrique est polarisé rectilignement selon la direction Ox . Cet axe est appelé axe du *polariseur ou direction de transmission privilégiée du polariseur*. Un polariseur est parfait ou idéal si la composition selon Oy est nulle en sortie de celui-ci.

1.4.4 Polariser

La lame mince est taillée de telle sorte que ses faces soient parallèles au plan Ox . Une OPH ne propagerant selon Oz arrive sur cette lame. Le champ électrique, qui est transverse, a donc deux composantes : l'une selon Ox , l'autre selon Oy . Dans la lame, ces deux composantes ne se propagent pas avec la même vitesse de phase : l'une "voit" l'autre. L'indice n_x + $i n_y$ autre indice n_y + $i n_x$, tels que $n_x^2 = \overline{e}^{rx}$ = $1 + \overline{\chi}^x$ et $n_y^2 = \overline{e}^{ry}$ = $1 + \overline{\chi}^y$

$$(2) \quad \begin{pmatrix} {}^z\bar{\chi} & 0 & 0 \\ 0 & {}^x\bar{\chi} & 0 \\ 0 & 0 & {}^x\bar{\chi} \end{pmatrix} = [{}^x\bar{\chi}]$$

Une autre manière de polariser une vibration lumineuse consiste à utiliser des lames minces fabriquées dans des milieux amorphes, l'anisotropie étant une condition nécessaire pour créer une lumière polarisée. Dans ce cas, la susceptibilité électrique complexe₁ est représentée par une matrice 3×3 , pour laquelle il existe une base orthonormée, note ($\underline{u_x}, \underline{u_y}, \underline{u_z}$) dans laquelle elle est diagonale :

1.4.3 Action d'une lame cristalline

Les électrons contenus dans une molécule d'air se comportent comme des oscillateurs. Ces électrons oscillants rayonnent dans toutes les directions mais pas de manière isotrope : la lumière diffusée par l'air, partant de la lumière non polarisée du soleil, est polarisée certainement dans certains directions privilégiées (cette propriété est utilisée par les abeilles pour contrôler leur trajectoire). Elle est en particulier polarisée rectilignement dans les directions orthogonales à celle du Soleil.

Reégardez la lumière extrême à travers un polariseur. Faites pivoter le polariseur. Qu'observez-vous ?

Cette partie sera traitée en cours et en exercices ultérieurement. Les qualités lignées qui suivent donnent une idée du phénomène.

1.4.2 Polarisation par diffusion

Nous voyons donc que $|r_1| > |r_2|$. Il y a donc polarisation partielle de l'onde prépendiculaire au plan d'incidence. Cette polarisation partielle peut devenir totale pour une certaine valeur de l'angle d'incidence : si $i + r = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire $\tan i = \frac{n_2}{n_1}$ compte tenu de la loi de Descartes $n_1 \sin i = n_2 \sin r$, on a $r = 0$: le champ réflecté est polarisé perpendiculairement au plan d'incidence. L'angle i correspondant est appelé angle de Brewster et note i_B .

$$\delta = (n_x - n_y) e$$

ou encore la différence de marche :

$$\Delta \phi = n_x k_0 e - n_y k_0 e = \frac{\lambda}{2\pi} (n_x - n_y) e$$

Où le déphasage :

La traverse de la lame a donc introduit entre la composante selon Oy et la composante selon

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - k_0 z - \phi) - n_y k_0 e + \phi \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z - e) - n_x k_0 e \end{vmatrix}$$

• après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - n_y k_0 z + \phi) \\ E_0 x \cos(\omega t - n_x k_0 e) \end{vmatrix}$$

• à la sortie de la lame (dans le plan $z = e$) :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - n_y k_0 z + \phi) \\ E_0 x \cos(\omega t - n_x k_0 z) \end{vmatrix}$$

• dans la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - k_0 z + \phi) \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix} \quad \text{où } k_0 = \frac{c}{\omega} = \frac{\lambda}{2\pi}$$

• avant la lame :

Le champ électrique s'écrit, dans la base ($\underline{n}_x, \underline{n}_y, \underline{n}_z$) :

axes Ox et Oy sont globalement appelés lignes neutres de la lame.

$n_x = \frac{u_x}{c}$, inférieure à la vitesse à laquelle se propage la composante selon Oy , $n_y = \frac{u_y}{c}$. Les axes Ox et Oy sont globalement appelés lignes neutres de la lame.

Dans la suite, nous supposons que $n_x > n_y$. L'axe Ox est donc l'axe lent et l'axe Oy l'axe rapide. En effet, la composante du champ électrique selon Ox se propage avec la vitesse de la lumière, nous supposons que $n_x < n_y$. L'axe Ox est donc l'axe lent et l'axe Oy l'axe rapide.

Dans la suite, nous supposons que $n_x > n_y$. L'axe Ox est donc l'axe lent et l'axe Oy l'axe rapide. En effet, la composante du champ électrique selon Ox se propage avec la vitesse de la lumière, nous supposons que $n_x < n_y$. L'axe Ox est donc l'axe lent et l'axe Oy l'axe rapide.

D'autre substances, comme le quartz, présentent deux indices réels, n_x et n_y (donc $n_x = n_y = 0$). Considérons alors une OPH se propagant selon l'axe Oz et supposons que la lame

se situe entre $z = 0$ et $z = e$. Les réflexions sur les faces de la lame seront négligeables.

1.4.5 Lames birefringentes

Pratiquement, les polariseurs sont réalisés en étriant des films de polymères. Un champ électrique parallèle à la direction d'étriction des macromolécules est absorbé par celles-ci car il met en mouvement leurs électrons. En revanche, un champ électrique orthogonal à la direction des molécules ne peut pas exciter leurs électrons, il est donc transmis sans atténuation. Finalement, l'axe du polariseur est orthogonal à la direction d'étriction des macromolécules. Certaines substances dichroïques existent à l'état naturel, par exemple le spath d'Islande, utilisée en navigation par les Vikings, d'après leurs légendes, pour repérer la direction du Soleil quand celui-ci avait disparu sous l'horizon, ce qui arrive fréquemment dans les latitudes nordiques.

Cette courbe doit être une droite. La manipulation est montée en démonstration. Pour la vérifier expérimentalement, il suffit de relever les valeurs du signal s délivré par le photodétecteur pour différentes valeurs de l'angle α et de tracer la courbe : $s = f(\cos^2 \alpha)$. Pour la vérifier expérimentalement, il suffit de relever les valeurs du signal s délivré par le photodétecteur pour différentes valeurs de l'angle α et de tracer la courbe : $s = f(\cos^2 \alpha)$.

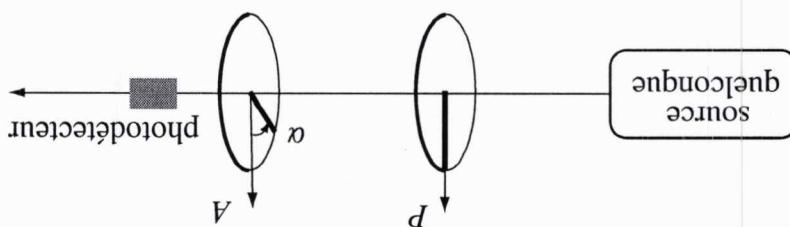
où I_0 est l'intensité de l'onde à la sortie de l'analyseur. Cette loi constitue la loi de Malus.

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

$E = E_0 (\underline{u}_P \cdot \underline{u}_A) \underline{u}_A = E_0 \cos \alpha \underline{u}_A$. L'intensité lumineuse en sortie de l'analyseur est donc : de transmission privilégiée de l'analyseur, le champ électrique en sortie de l'analyseur est : mission privilégiée du polariseur. Si on appelle \underline{u}_A le vecteur unitaire dominant la direction étant de la forme $E = E_0 \underline{u}_P$ où \underline{u}_P est le vecteur unitaire dominant la direction de l'onde En sortie du polariseur, l'onde est polarisée rectilignement, le champ électrique de l'onde

exemple une photodiode qui délivre une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse qu'elle polariseur (en traits épais sur le schéma) font entre elles un angle α . Le photodétecteur est par Les directions de transmission privilégiée du deuxième polariseur, appelé analyseur et du

FIG. 7 - Loi de Malus - Dispositif expérimental.



Considérons le dispositif suivant :

1.5.2 Loi de Malus

- si la lumière incidente est polarisée elliptiquement, la lumière émergente est polarisée rectilignement dans la direction \underline{u}_P , son module \underline{E} obtient en prenant le maximum de la projection sur \underline{u}_P du vecteur \underline{E} tournant sur l'ellipse.
- si la lumière incidente est polarisée rectilignement dans la direction \underline{u}_P , son module E vérifiant $E = E_0 \cos \alpha$ où α est l'angle entre les vecteurs \underline{u} et \underline{u}_P , en particulier si $\alpha = \frac{\pi}{2}$, l'intensité émergente est nulle ;
- si la lumière incidente est polarisée rectilignement dans la direction \underline{u} et d'amplitude E_0 , la lumière émergente est polarisée rectilignement dans la direction \underline{u}_P , son module E vérifiant $E = E_0 \cos \alpha$ où α est l'angle entre les vecteurs \underline{u} et \underline{u}_P , en particulier si $\alpha = \frac{\pi}{2}$, l'intensité émergente est nulle ;
- Si la lumière incidente est naturelle, la lumière émergente est polarisée rectilignement dans la direction \underline{u}_P le vecteur unitaire dans la direction de transmission privilégiée du polariseur. On appelle \underline{u}_P le vecteur unitaire dans la direction de transmission privilégiée du polariseur.

1.5.1 Action d'un polariseur

1.5 Polariseurs

$$\underline{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0x} \cos(\omega t - k_0(z - e)) + \Delta \phi + \phi \\ E_{0y} \cos(\omega t - k_0(z - e)) \end{vmatrix}$$

En changeant l'origine des temps, nous pouvons ramener tout le déphasage sur la composante selon Oy et écrire le champ après la lame sous la forme :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \sin a \cos(\omega t - k_0 z + \pi) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -E_0 \sin a \cos(\omega t - k_0 z) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \sin a \cos(\omega t - k_0 z) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• avant la lame :

axe Lent de la lame (axe Ox) :

Considérons une OPH polarisée rectilignement selon une direction faisant un angle α avec

1.6.2 Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée rectilignement

donnée. Elle doit donc être utilisée en lumière monochromatique.

La définition même d'une lame demi-onde et le fait que les indices dépendent de la longueur d'onde prouvent qu'une lame n'est demi-onde que pour une longueur d'onde

qui p est un entier positif ou nul. Les longueurs d'onde dans le visible étant de l'ordre de 500 nm et les différences d'indice de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-3} , les lames doivent être taillées avec une précision de l'ordre du centième de millimètre.

$$(n_x - n_y) e^p = \left(p + \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

sont :

REMARQUE : Le déphasage étant défini modulo 2π , les épaisseurs possibles de la lame

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

où e est une lame minime de la lame vérifiée donc :

La différence de marche entre les deux vibrations est donc $\frac{\lambda}{2}$, d'où l'appellation lame demi-onde. L'épaisseur minimale de la lame vérifiée donc :

$$\Delta\phi = \pi$$

C'est une lame taillée dans un matériau anisotrope de façon que

1.6.1 Définition

1.6 Lames demi-onde

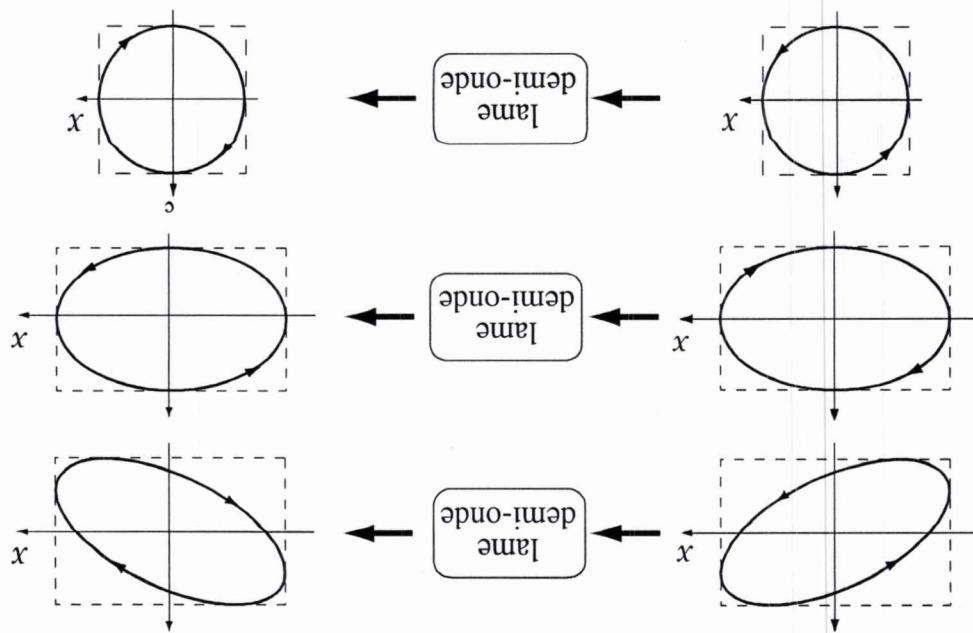
$$I_0 = \epsilon_0 c \frac{1}{2} \int_{\text{source}}^{\pi} (E_{\text{source}}^2)^2 \cos^2 \gamma dy = I_{\text{source}}$$

écrire :

en sorte du polariseur est égale à I_{source} . En effet, l'onde non polarisée peut être considérée comme une superposition d'onde polarisées rectilignement selon une direction faisant l'angle γ avec l'axe du polariseur, prenant toute les valeurs entre 0 et π et l'intensité lumineuse est proportionnelle à la moyenne du module au carré du champ électrique. Nous pouvons donc écrire :

REMARQUE : Si la source délivre une onde non polarisée d'intensité I_{source} , l'intensité I_0

FIG. 9 - Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée elliptiquement ou circulairement.



Après la lame, l'onde est toujours polarisée elliptiquement, avec la même ellipticité, mais de sens de rotation différent.

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \cos(\omega t - k_0 z + \phi + \pi) \\ E_{0x} \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

- après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \cos(\omega t - k_0 z + \phi) \\ E_{0x} \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

- avant la lame :

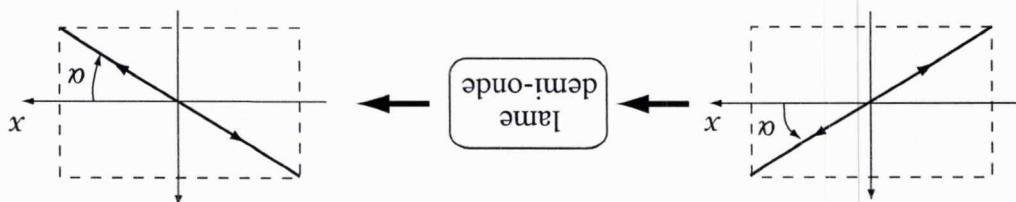
Considérons une Onde Polarisée Elliptiquement :

1.6.3 Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée elliptiquement

$\frac{\pi}{2}$, la lame laisse le champ électrique inchangé.

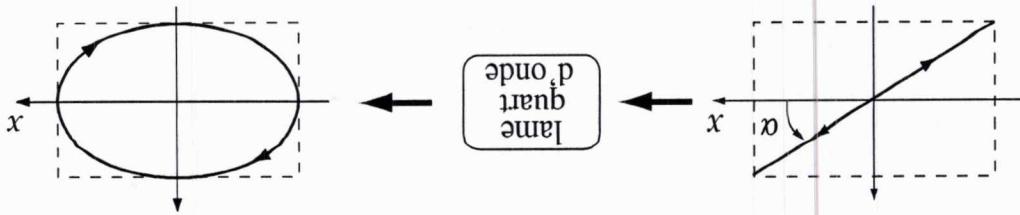
Si l'onde est polarisée selon une direction symétrique par rapport à ses lignes neutres, l'onde rectilignement transforme une onde polarisée rectilignement en une onde polarisée rectilignement selon une direction symétrique de la direction rectilignement.

FIG. 8 - Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée rectilignement.



Après la lame, l'onde est polarisée rectilignement selon une direction symétrique de la direction de polarisation de l'onde avant la lame par rapport aux lignes neutres de la lame.

FIG. 10 - Action d'une lame quart-onde sur une onde polarisée rectilignement.



Après la lame quart d'onde, la vibration est elliptique, ses axes étant les lignes neutres de la lame. Elle est circulaire si $a = \pm \frac{\pi}{4}$. Si $a = 0$ ou $\frac{\pi}{2}$, la lame est sans effet sur l'onde.

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 \\ E_0 \sin a \cos(\omega t - k_0 z + \frac{\alpha}{2}) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{cases} = \begin{cases} 0 \\ -E_0 \sin a \sin(\omega t - k_0 z) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{cases}$$

- après la lame :

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 \\ E_0 \sin a \cos(\omega t - k_0 z) \\ E_0 \cos a \cos(\omega t - k_0 z) \end{cases}$$

- avant la lame :

axe lent de la lame (axe Ox) :

Considérons une Onde Portante Polarisée Rectilignement selon une direction faisant un angle α avec

1.7.2 Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée rectilignement

Comme pour une lame demi-onde, la définition même de la lame quart d'onde et le fait que les indices dépendent de la longueur d'onde donnée. Elle doit donc être utilisée en lumière monocolor. Pour une longueur d'onde donnée, elle possède des propriétés propres qui sont : $(n_x - n_y) e_p = \left(2p + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_0}{\lambda}$. Les lames quart d'onde doivent être taillées avec la même précision que les lames demi-onde.

REMARQUE : Comme pour la lame demi-onde, le déphasage étant défini modulo 2π , les épaisseurs possibles de la lame sont : $(n_x - n_y) e_p = \left(2p + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda_0}{\lambda}$. Les lames quart d'onde doivent être taillées avec la même précision que les lames demi-onde.

La différence de marche entre les deux vibrations est donc de $\frac{\pi}{2}$, d'où l'appellation lame quart d'onde. L'épaisseur minimale de la lame vérifie donc :

$$(n_x - n_y) e_p = \frac{\pi}{2}$$

C'est une lame taillée dans un matériau anisotrope de Fagon que

1.7.1 Définition

1.7 Lames quart d'onde

Une lame demi-onde transforme une onde polarisée elliptiquement (ou circulairement) de même ellipticité mais de sens de rotation différent.

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ \pm E_0 y \cos(\omega t - k_0 z) \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

les champ électrique après la lame s'écrit :

Si les lignes neutres de la lame et les axes de l'ellipse sont confondus, c'est-à-dire si $\phi = \mp \frac{\pi}{2}$, avec les axes de l'ellipse.

Après la lame, la vibration est elliptique si les lignes neutres de la lame ne sont pas confondues avec les axes de l'ellipse.

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - k_0 z + \phi + \frac{\pi}{2}) \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ -E_0 y \sin(\omega t - k_0 z + \phi) \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 y \cos(\omega t - k_0 z + \phi) \\ E_0 x \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• avant la lame :

Considérons une Onde Périodique polarisée elliptiquement :

1.7.3 Action d'une lame quart-d'onde sur une onde polarisée elliptiquement

$\frac{\pi}{2}$, la lame laisse le champ électrique inchangé.

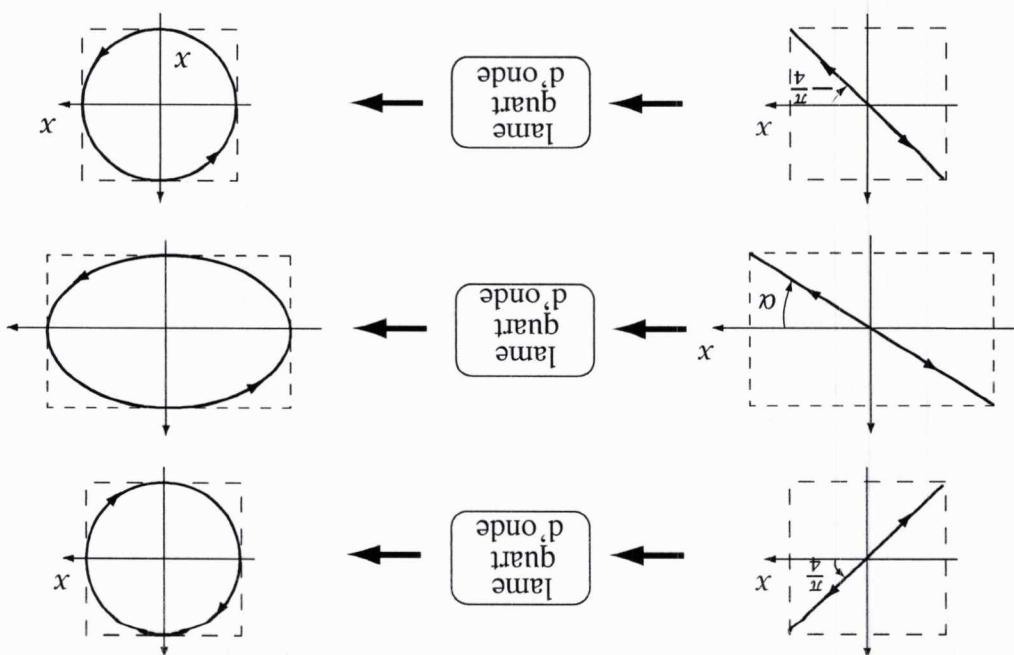
Si l'onde est polarisée selon une des lignes neutres de la lame, c'est-à-dire si $\alpha = 0$ ou

Si $\alpha = \mp \frac{\pi}{4}$, la vibration émergente est circulaire.

Une lame quart-d'onde transforme une onde polarisée rectilignement en une onde polarisée elliptiquement, les axes de l'ellipse étant les lignes neutres de la lame.

neutres.

FIG. 11 - Action d'une lame quart-d'onde sur une onde polarisée rectilignement à 45° des lignes



$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \sin(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \\ E_0 \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \sin(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \\ E_0 \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_0 \sin(\omega t - k_0 z) \\ E_0 \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

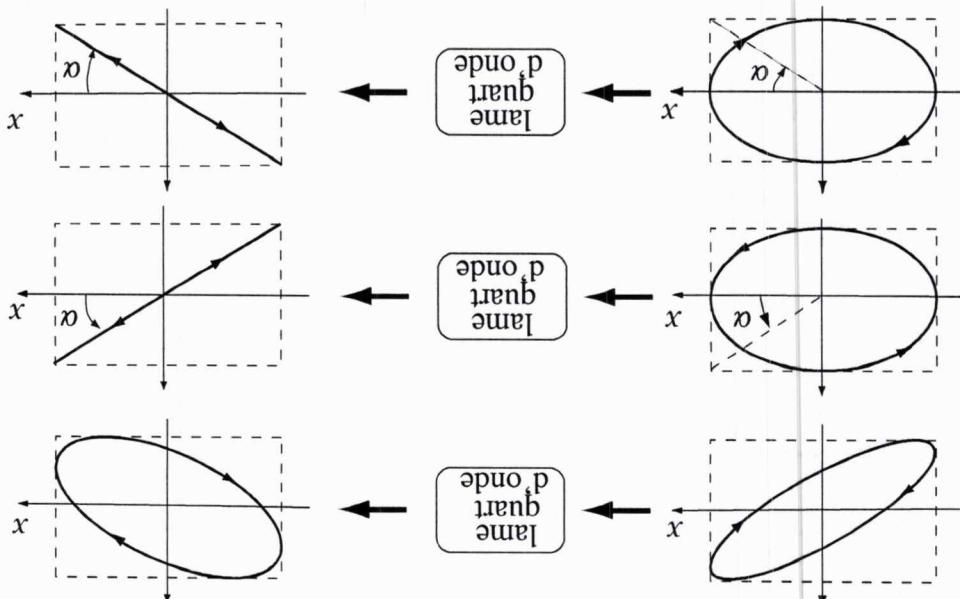
• avant la lame :

Considérons une Onde Polarisée Circulairement (gauche par exemple) :

1.7.4 Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée circulairement

Une lame quart d'onde transforme une onde polarisée elliptiquement en une onde polarisée rectilignement.
Si les lignes neutres de la lame et les axes de l'ellipse coïncident, la lame quart d'onde transforme une onde polarisée elliptiquement.

FIG. 12 – Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée elliptiquement.

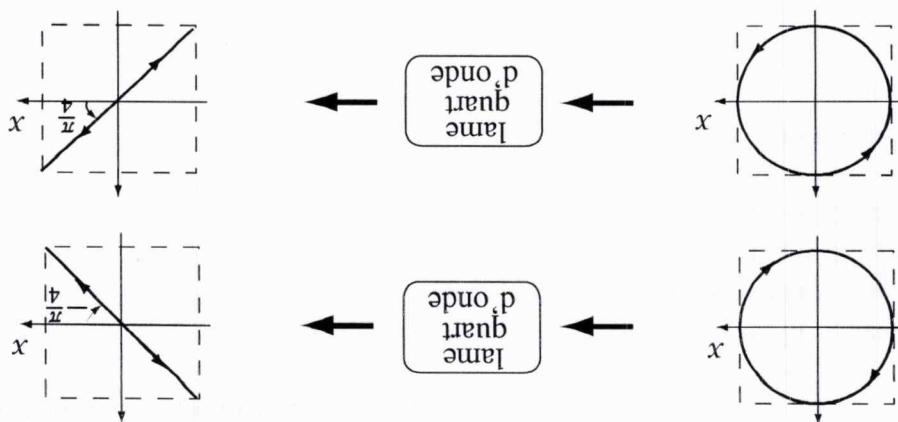


L'onde émergente est polarisée rectilignement.

Après la lame, l'onde est polarisée rectilignement selon la première bissectrice si l'onde incidente est circulaire gauche, selon la seconde bissectrice si l'onde incidente est circulaire droite.

Une lame quart d'onde transforme une onde polarisée circulairement en une onde polarisée rectilignement, à 45° de ses lignes neutres.

FIG. 13 - Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée circulairement.

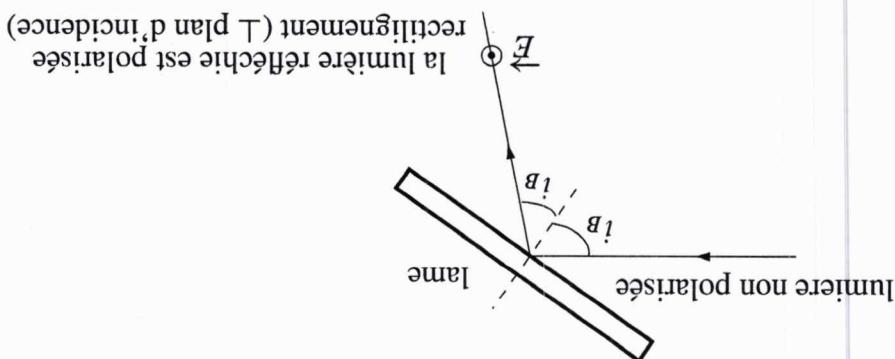


Pour déterminer les lignes neutres d'une lame, on utilise le fait qu'une lame (demi-onde ou quart d'onde) est sans effet sur une onde polaireisée recilligénement selon une de ses lignes neutres. Pour cela, grâce à deux polariseurs croisés, on répète deux directions perpendiculaires et on amène les lignes neutres de la lame à étudier en coïncidence avec ces deux directions.

2.1.2 Détermination des lignes neutres d'une lame

Pour cela, observations une lampe par réflexion à travers une lame de verre posée sur la table à travers un polariseur. L'angle d'incidence sur la lame est choisi proche de l'incidence de Brewster (autour de 56° pour un verre d'indice 1,5). En faisant tourner le polariseur, nous observons un minimum d'intensité, qui est nul si l'angle d'incidence est exactement égal à l'incidence de Brewster (et si la lame est suffisamment éloignée pour que l'onde incidente soit quasi-plane). Au minimum d'intensité, nous avons éteint la composante du champ orthogonal au plan d'incidence : l'axe du polariseur lui est perpendiculaire.

FIG. 14 - Détermination de l'axe d'un polariseur



Les polariseurs utilisés sont montés sur un support circulaire gradué en degrés, sur lequel est imprimée une direction donnée par une aiguille. Cette direction représente ou bien l'axe de transmission privilégiée du polariseur, ou bien sa perpendiculaire. Comment savoir ce que représente exactement cette direction ? Il suffit d'utiliser la polarisation par réflexion présente au paragraphe 1.4.1.

2.1.1 Détermination de l'axe d'un polariseur

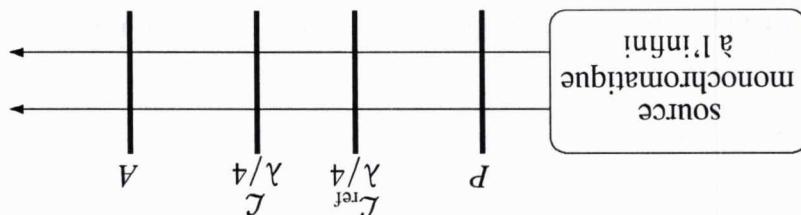
2.1.1 Étude expérimentale d'un polariseur et d'une lame birefringente

Premiers réglages : régler la lunette à l'infini et le collimateur.

Dans toutes les manipulations décrites dans la suite du TP-Cours, les lames et les polariseurs servent éclairées par une onde plane monochromatique qui sera fabriquée en plaçant une lampe au mercure dans le plan focal image d'un collimateur et en ajustant un filtre permettant de sélectionner la longueur d'onde pour laquelle les lames sont demi-onde ou quart d'onde. Cette source sera appelée source monochromatique à l'infini. La lumière émergente sera observée ou bien à l'œil nu sur un écran ou bien à travers une lunette réglée à l'infini.

- Croiser le polariseur et l'analyseur.
 - Introduire la lame quart d'onde connue (L_{ref}) et l'orienter de façon à obtenir l'extinction. Cette étape permet de faire coïncider les lignes neutres de (L_{ref}) avec les axes du polariseur et de l'analyseur. Oter la lame.
 - Procéder de même avec la lame inconnue (L).
- Le mode opératoire est le suivant :

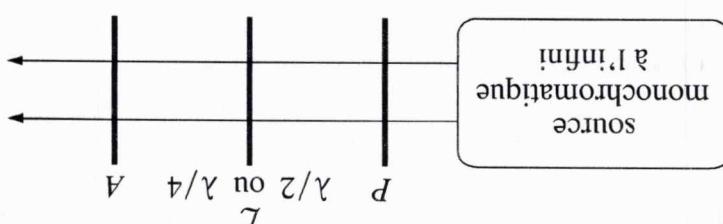
FIG. 16 - Détermination de l'axe lent d'une lame quart d'onde.



La manipulation intrinsèque de l'axe rapide et de l'axe lent d'une lame quart d'onde utilise des phénomènes physiques dépassant largement le cadre du cours. Nous traversons donc avec une lame quart d'onde de référence, dont nous supposons connus l'axe lent et l'axe rapide. Pour déterminer l'axe rapide d'une lame quart d'onde inconnue nous utilisons la propriété suivante : si les axes des deux lames coïncident, l'ensemblé des deux lames est équivalent à une lame demi-onde, si l'axe lent de la première coincide avec l'axe rapide de la seconde, leurs effets s'annulent. Dans le premier cas, une vibration rectiligne sera transformée en une vibration rectiligne symétrique par rapport aux lignes neutres des deux lames, dans le second, elle sera inchangée.

- Placer deux polariseurs (le second est appelé analyseur) après la source. Tourner l'analyseur jusqu'à ce qu'il y ait extinction. Les axes de transmission privilégiée du polariseur et de l'analyseur sont donc orthogonaux.
 - Insérer la lame à étudier entre le polariseur et l'analyseur. L'extinction ne subsiste pas en général. Tourner la lame dans son plan pour retrouver l'extinction. Les lignes neutres de la lame coïncident alors avec les axes du polariseur et de l'analyseur. L'extinction se produit pour deux positions préindiquées de la lame.
- Le mode opératoire est le suivant :

FIG. 15 - Détermination des lignes neutres d'une lame.

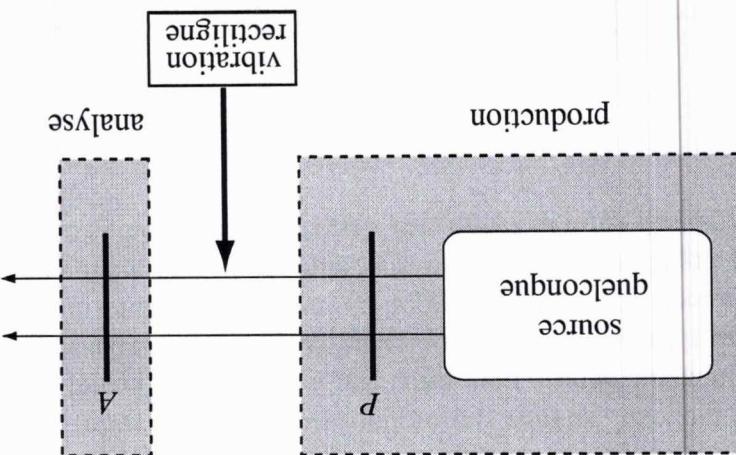


Dans la suite, nous allons nous intéresser à la production et à l'analyse de lumière polarisée elliptiquement ou circulairemement. Dans les deux cas, la première étape de la production sera effectuée dans la suite, nous allons nous intéresser à la production et à l'analyse de lumière polarisée circulairemement.

2.2.3 Principe de la production et de l'analyse d'une lumière polarisée elliptiquement ou circulairemement.

REMARQUE : Si le polariseur n'est pas parfait, au lieu d'avoir extinction, on observe simplement un minimum d'éclairement.

FIG. 17 - Production et analyse d'une onde polarisée rectilignement.



Pour analyser une lumière polarisée rectilignement, il suffit de l'observer à travers un polariseur : on fait tourner ce polariseur jusqu'à ce qu'il y ait extinction. La direction de polarisation de la lumière incidente est alors orthogonale à la direction de transmission privilégiée du polariseur, appelé dans la suite du chapitre *analyseur*.

2.2.2 Analyse

C'est cette troisième méthode qui sera le plus souvent utilisée.

- L'utilisation d'un polariseur.
- La polarisation par diffusion ;
- La polarisation par réflexion virtuelle ;

Nous avons vu trois procédés permettant de produire une lumière polarisée rectilignement :

2.2.1 Production

2.2 Production et analyse d'une lumière polarisée rectilignement

Si il faut tourner l'analyseur dans le même sens que le polariseur, c'est que les effets des deux lames s'annulent : l'axe lent de l'analyseur avec l'axe rapide de l'autre. Si il faut tourner l'analyseur en sens contraire, c'est que les effets des deux lames s'ajoutent : les axes lents des deux lames coïncident.

- Tourner l'analyseur pour obtenir de nouveau l'extinction.
- Tourner le polariseur d'un angle $\alpha \approx 30^\circ$.
- (Leurs lignes neutres coïncident entre elles).
- Mettre les deux lames entre le polariseur et l'analyseur dans les positions précédentes

En sorte de l'analyseur A, le champ électrique à pour amplitude $OQ = OQ'$. L'intensité est donc maximale quand la direction de transmission privilégiée de l'analyseur est parallèle au grand axe OY de l'ellipse.

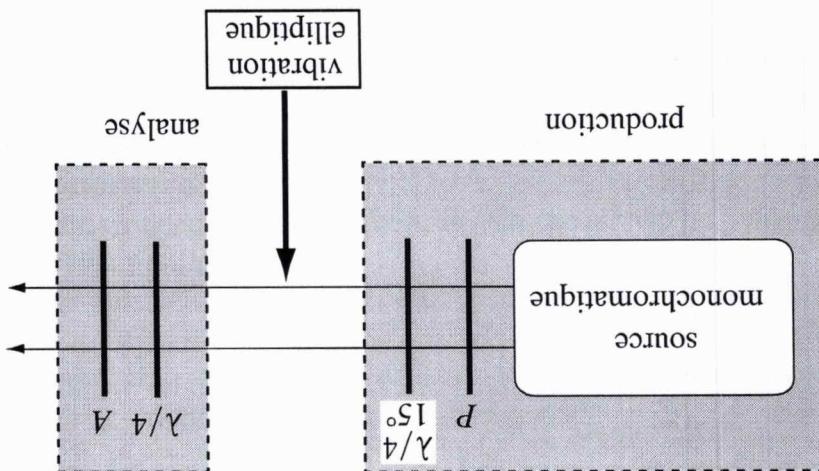
Ces deux directions déterminent les axes de l'ellipse (voir figure 19).

1. Placer un analyseur en sorte du montage. Le faire tourner dans son plan. Repérer les positions de l'analyseur qui correspondent à un maximum d'intensité.

Pour analyser une lumière polarisée elliptiquement, le protocole expérimental est le suivant :

2.3.2 Analyse

FIG. 18 - Production et analyse d'une onde polarisée elliptiquement.



On produit tout d'abord une lumière polarisée rectilignement en faisant suivre la source monocromatique à l'ini mi d'un polariseur.

Cette onde polarisée rectilignement est transformée en lumière polarisée elliptiquement grâce à une lame quart d'onde dont les lignes neutres font un angle α avec la direction de transmission privilégiée du polariseur. Cet angle α doit être différent de $\frac{\pi}{4}$, sinon l'onde est polarisée circulairement, de 0 et de $\frac{\pi}{2}$, sinon elle est polarisée rectilignement. Dans la pratique, on choisit α assez petit pour que l'ellipticité soit assez faible (ellipse "aplatie"), par exemple $\alpha = 15^\circ$.

2.3.1 Production

2.3 Production et analyse d'une lumière polarisée elliptiquement

de fabriquer une lumière polarisée rectilignement puis de la transformer en ce que l'on veut en une transformation de la lumière à analyser en lumière polarisée rectilignement que nous par action d'une lame quart d'onde. De même, l'avant dernier étape de l'analyse consistera en une transformation de la lumière à analyser en lumière polarisée rectilignement que nous analysons grâce à un analyseur.

Nous pouvons illustrer ce protocole par les schémas de compréhension suivants :
 siège de γ change : il faut tourner l'analyseur dans le sens trigonométrique donc vers la gauche.
 horaire, c'est à dire vers la droite. Dans le cas d'un onde polarisée elliptique donc vers la gauche, seul le
 siège privilégié de l'analyseur). Il faut donc tourner l'analyseur d'un angle $\beta = \gamma$ dans le sens
 avec la direction de l'axe rapide de la lame (donc la perpendiculaire à la direction de transmission -

$$\gamma = -\arctan \left(\frac{E_{0x}}{E_{0y}} \right)$$

Après la lame, l'onde est donc polarisée rectilignement selon la direction faisant l'angle :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \sin(\omega t - k_0 z) \\ -E_{0y} \sin(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \cos(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \\ E_{0x} \cos(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \end{vmatrix}$$

• après la lame :

$$\vec{E} = \begin{vmatrix} 0 \\ E_{0y} \sin(\omega t - k_0 z) \\ E_{0x} \cos(\omega t - k_0 z) \end{vmatrix}$$

• avant la lame :

et u_L celui de l'axe lent, dans le cas d'une onde polarisée elliptique donc vers la gauche par exemple :
 chaque étape, dans la base $(\underline{u_R}, \underline{u_L}, \underline{u_z})$ où $\underline{u_R}$ est le vecteur directeur de l'axe rapide de la lame
 Pour bien comprendre ce protocole, écrivons tout d'abord le champ électrique de l'onde à
 regarder l'onde arrivée vers nous).

• le sens de rotation de la vibration est opposé au sens de rotation de l'analyseur (quand on
 prend l'axe, est égale à $\tan \beta$;

• l'ellipticité de la vibration, c'est-à-dire la longueur du demi petit axe sur celle du demi
 gonal ;

• les axes de l'ellipse sont la direction initiale de l'axe de l'analyseur et la direction ortho-
 gonale ;

La vibration elliptique est alors parfaitement déterminée :

4. Tourner l'analyseur d'un angle β ($|\beta| < \frac{\pi}{2}$) jusqu'à extinction du signal.

polarisée rectilignement.

3. Placer un lame quart d'onde de telle sorte que son axe lent coïncide avec la direction
 de transmission privilégiée de l'analyseur. Après la lame quart d'onde, l'onde est donc

de l'analyseur est donc parallèle au petit axe de l'ellipse.

FIG. 19 - Représage des axes de l'ellipse.

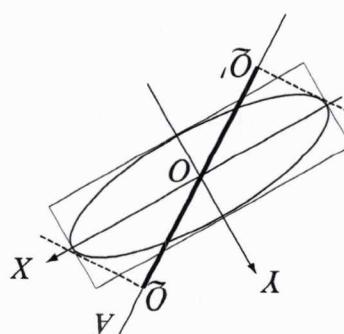
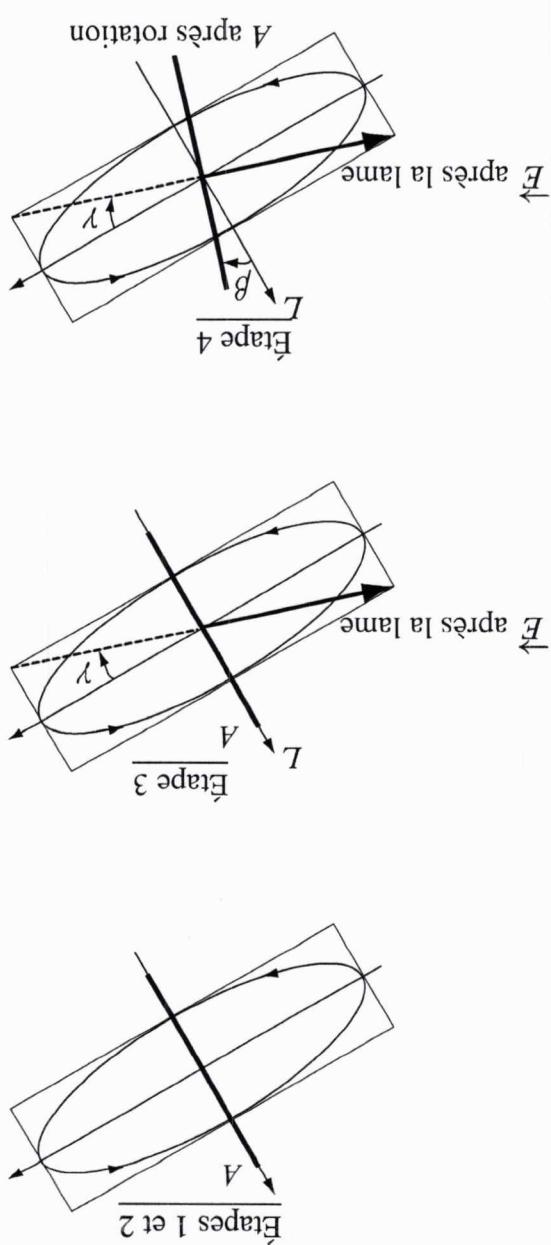


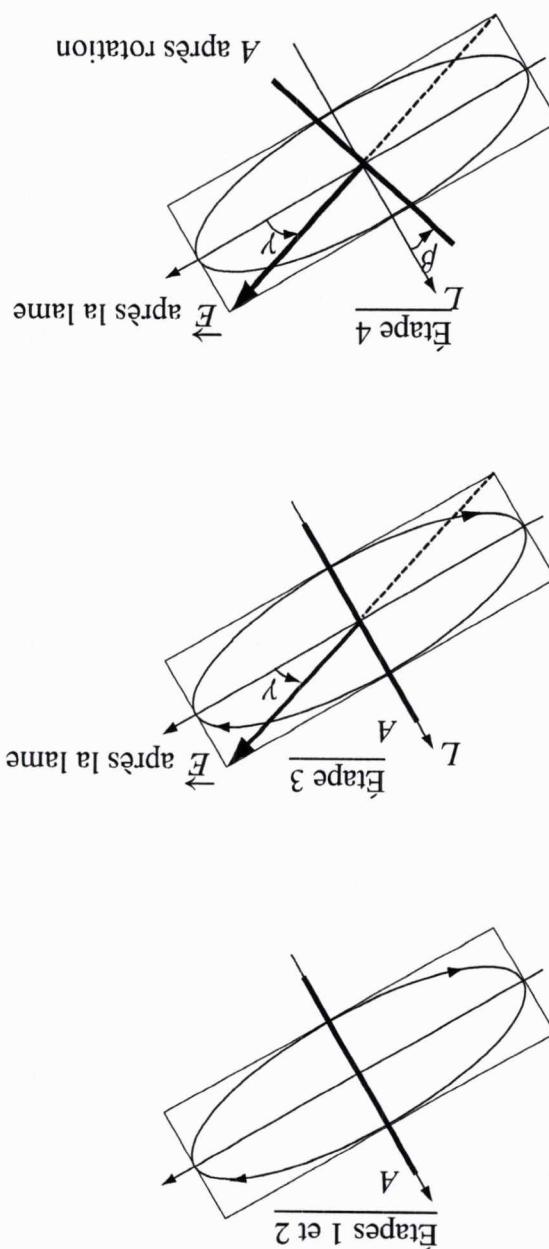
FIG. 20 - Analyse d'une vibration elliptique gauche.



- Pour une vibration elliptique gauche :

- de la première étape. En effet, d'après la figure 19, $I_{\min} = \frac{E_{0y}^2}{E_{0x}^2}$.
- Si on dispose d'un photodétecteur, on peut déterminer l'ellipticité de la vibration au cours de rotation de l'analyseur.
 - Si on dispose d'un photodétecteur, on peut déterminer l'ellipticité de la vibration au cours de rotation de l'analyseur.
- REMARQUES :**

FIG. 21 - Analyse d'une vibration elliptique droite.



• Pour une vibration elliptique droite :

$$\begin{pmatrix} 0 \\ -E^0 \sin(\omega t - k_0 z) \\ E^0 \sin(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -E^0 \sin(\omega t - k_0 z) \\ E^0 \cos(\omega t - k_0 z + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix}$$

• après la lame :

$$\underline{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ -E^0 \sin(\omega t - k_0 z) \\ E^0 \cos(\omega t - k_0 z) \end{pmatrix}$$

• avant la lame :

Polarisée circulairement droite par exemple :

Le vecteur directeur de l'axe rapide de la lame et u_L celui de l'axe lent, dans le cas d'une onde tout d'abord le champ électrique de l'onde à chaque étape, dans la base (u_R, u_L, u_z) où u_R est artiver vers nous).

2. Tourner l'analyseur pour obtenir l'extinction. L'angle dont on le tourne est $\pm \frac{\pi}{4}$, le sens de rotation de l'analyseur étant l'opposé du sens de la vibration (quand on regarde l'onde

En sortie de la lame, l'onde est polarisée rectilignement.

1. Intercepter la lumière polarisée circulairement par une lame quart d'onde suivie d'un analyseur dont la direction de transmission privilégiée est parallèle à l'axe lent de la lame.

Pour analyser une onde polarisée circulairement, le protocole expérimental est le suivant :

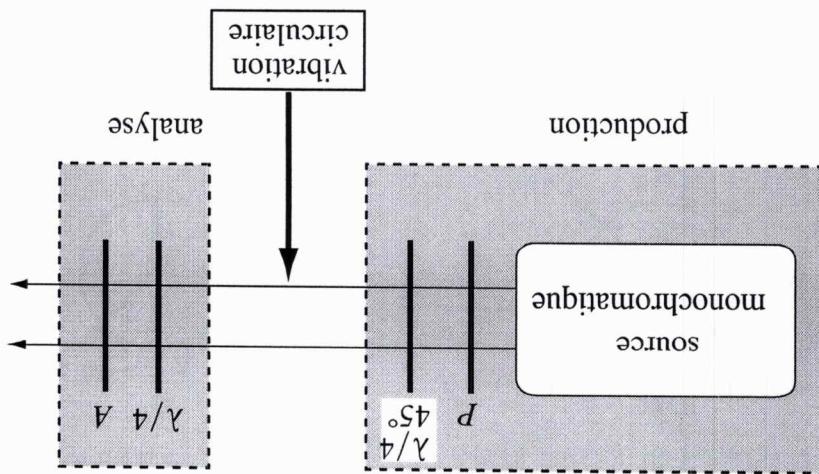
Le processus d'analyse d'une onde polarisée elliptiquement n'est pas applicable au cas n'a pas de petit ni de grand axe.

1. Intercepter la lumière polarisée circulairement par une lame quart d'onde suivie d'un analyseur dont la direction de transmission privilégiée est parallèle à l'axe lent de la lame.

2. Tourner l'analyseur pour obtenir l'extinction. L'angle dont on le tourne est $\pm \frac{\pi}{4}$, le sens de rotation de l'analyseur étant l'opposé du sens de la vibration (quand on regarde l'onde

2.4.2 Analyse

FIG. 22 - Production et analyse d'une onde polarisée circulairement.



l'onde rectiligne.

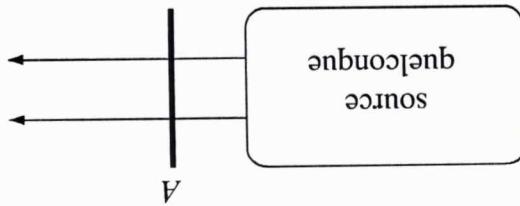
Pour produire une onde polarisée circulairement, il suffit de produire une onde polarisée rectilignement grâce à un polariseur et de la transformer en onde polarisée circulairement grâce à une lame quart d'onde dont les lignes neutres sont à 45° de la direction de polarisation de l'onde rectiligne.

2.4.1 Production

2.4 Production et analyse d'une lumière polarisée circulairement

Tourner l'analyseur. Verifiez que l'on obtient une intensité constante. Est-ce suffisant pour affirmer que c'est de la lumière naturelle ? Pourquoi ?

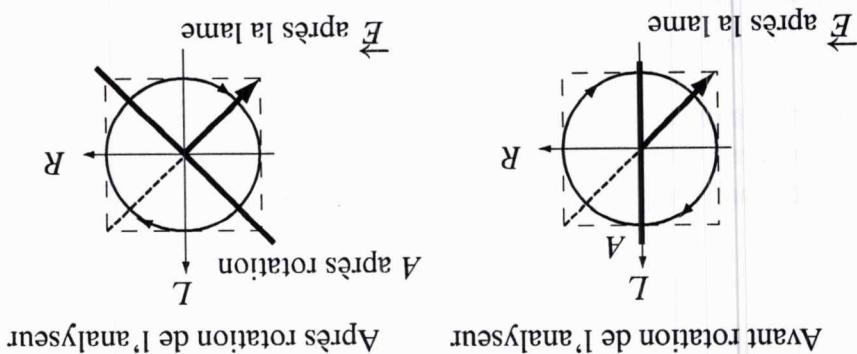
FIG. 25 - Premier test.



2.5.1 Premier test

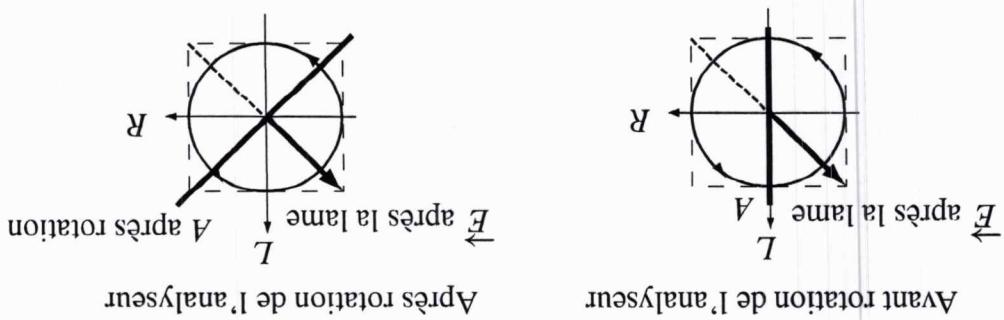
2.5 Analyse d'une lumière non polarisée

FIG. 24 - Analyse d'une vibration circulaire droite.



- Pour une vibration circulaire droite :

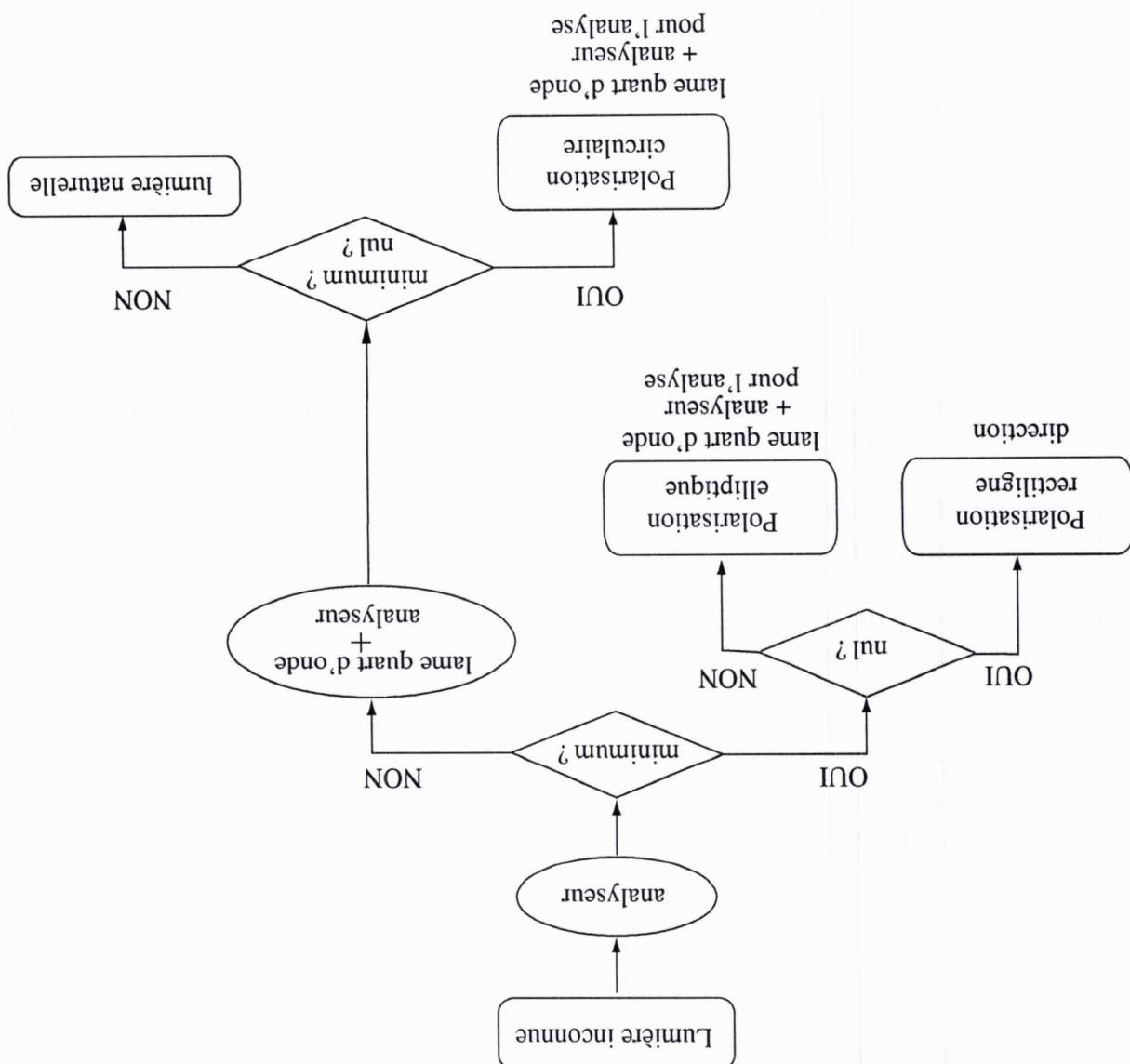
FIG. 23 - Analyse d'une vibration circulaire gauche.



- Pour une vibration circulaire gauche :

Nous pouvons illustrer ce protocole par les schémas de compréhension suivants : secondes bisection, il faut tourner l'analyseur dans le sens horaire donc vers la droite. Dans le cas d'un onde polarisée circulairement gauche, seul le signe de la composante tangentielle, il faut tourner l'analyseur de 45° dans le sens trigonométrique donc vers la gauche. Après la lame, l'onde est donc polarisée rectilignement selon la direction d'extinction, il faut tourner l'analyseur de 45° dans le sens trigonométrique donc vers la droite. Dans le cas d'un onde polarisée circulairement gauche, seul le signe de la composante normale, l'onde est donc polarisée rectilignement selon la direction d'extinction, il faut tourner l'analyseur de 45° dans le sens trigonométrique donc vers la droite.

FIG. 27 - Analyse d'une lumière quacondue.



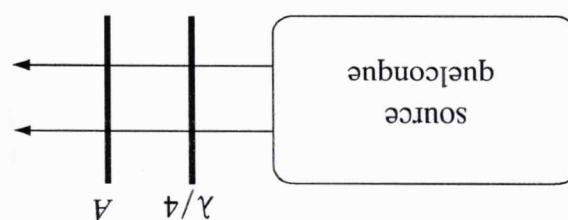
Lyse peut être représentée par le schéma ci-dessous :

Dans les cas d'une lumière totalelement ou pas du tout polarisée, la méthode générale d'analyse peut être :

2.6 Analyse d'une lumière quacondue

Tourmer l'analyseur. Vérifier que l'on obtient une intensité constante.

FIG. 26 - Second test.



2.5.2 Second test

(en chimie par exemple) ?
 Pour une position donnée de l'ensemble Q+A, déterminer le rapport des éclairlements des deux pages. Pour quelle(s) direction(s) de Q+A (par rapport à la direction de polarisation de deux pages), les deux plages ont-elles même intensité ? Conclure.
 Quel est l'intérêt de ce dispositif par rapport à un analyseur à extinction ? On pourra comparer la précision des deux méthodes. Connaissez-vous des exemples d'utilisation de ce dispositif (onde incidente) soit pour des éclairements intenses.

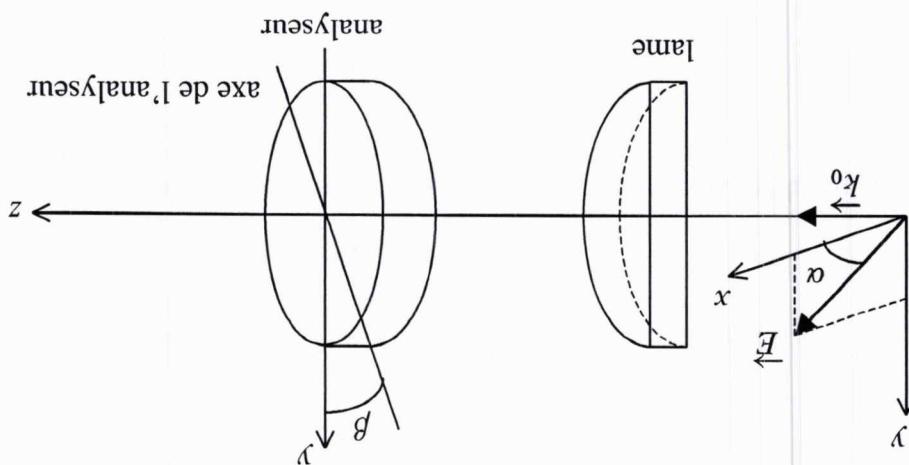
On obtient l'extinction successive des deux pages avec, entre les deux positions, égalité des éclairlements, soit pour des éclairements intenses.

Tourner l'ensemble Q+A, de la lame (O_y ici).

La moitié du faisceau (de lignes neutres O_x et O_y). La direction éémite par l'analyseur A sera choisie de telle façon qu'il y ait un petit angle θ ($\approx 10^\circ$) entre celle-ci et l'une des lignes neutre de la lame (O_y ici).

Entre le polariseur et l'analyseur, est intercalée une lame demi-onde (Q) ne couvrant que la moitié du faisceau (de lignes neutres O_x et O_y). L'analyseur A sera placé de sorte que l'ensemble Q+A soit dans l'axe de l'analyseur.

FIG. 28 - Analyseur à Pénombre.

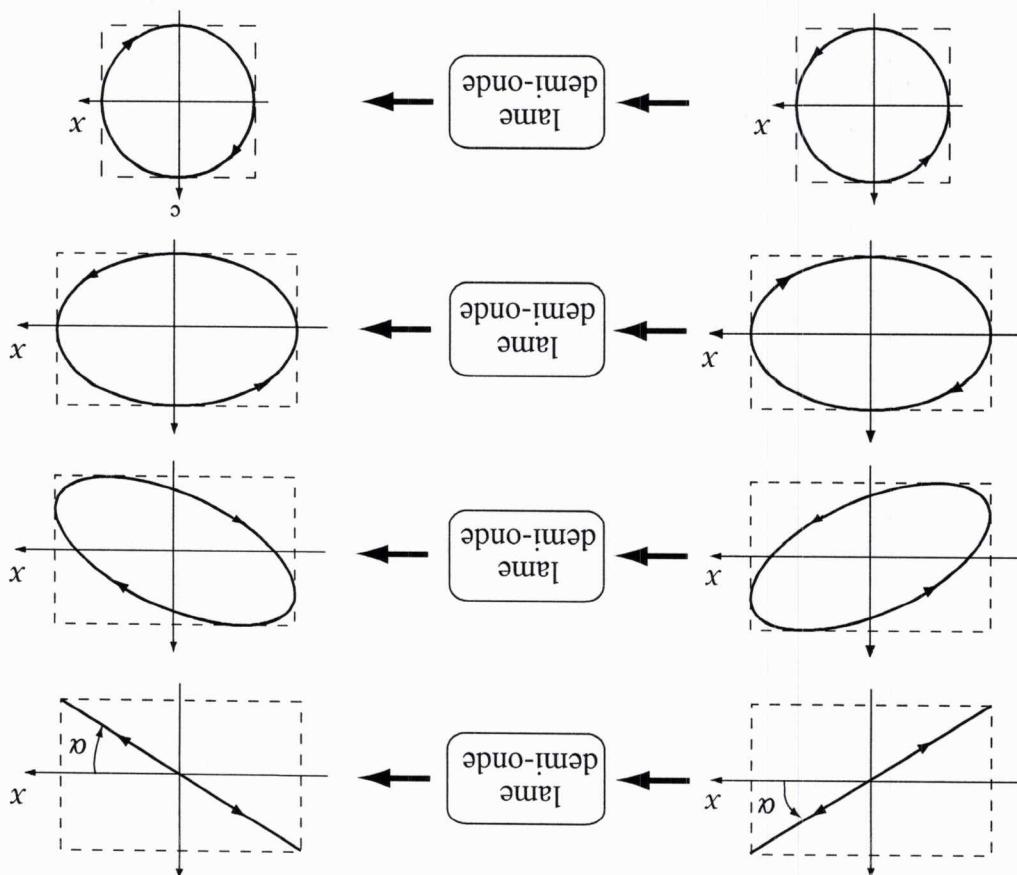


Pour analyser une vibration polarisée rectilignement, au lieu d'utiliser un analyseur à extinction (comme dans toutes les manipulations précédentes), on peut utiliser un analyseur à Pénombre dont le principe est décrit ci-dessous :

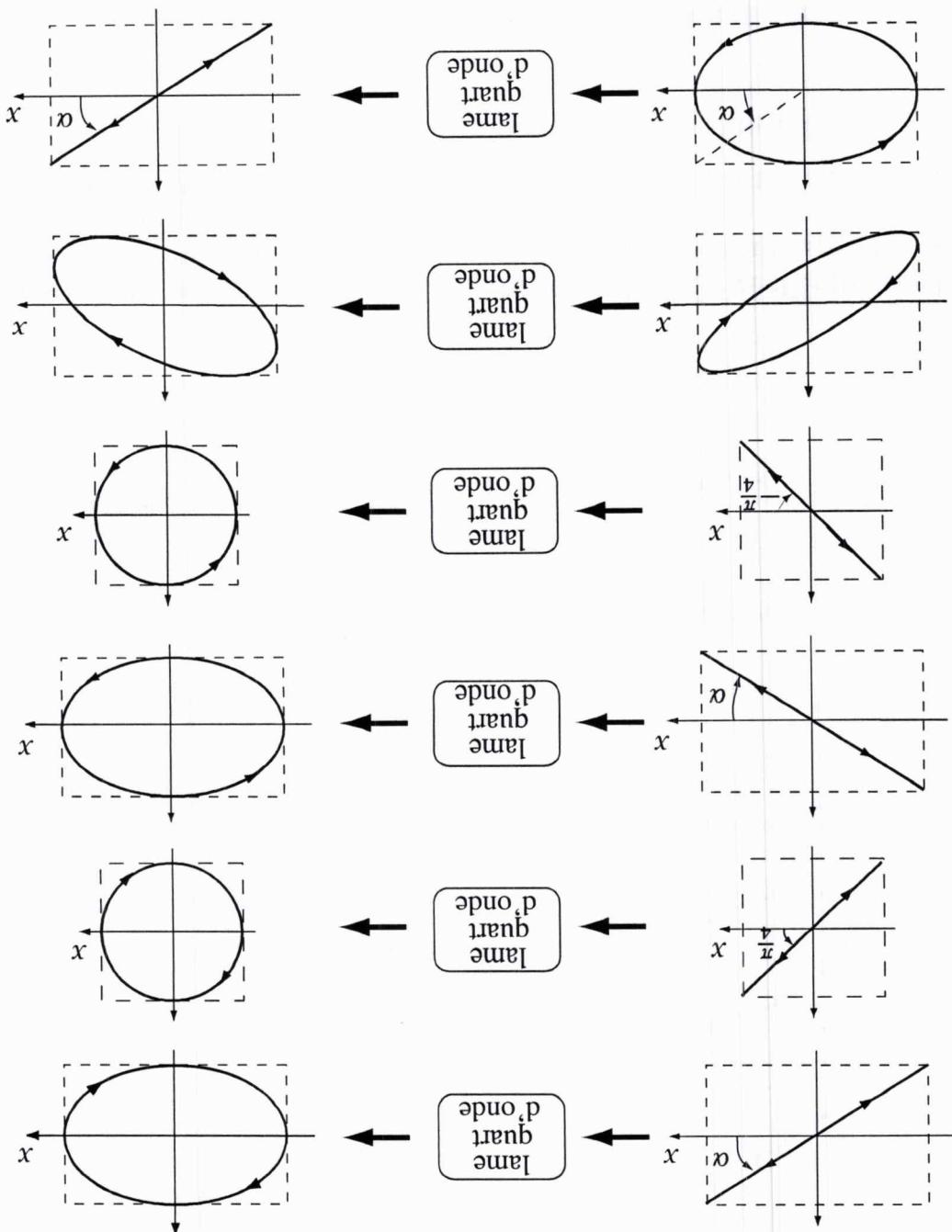
ANNEXE 1 : Principe de l'analyseur à Pénombre

Une lame demi-onde transforme une onde elliptique mais de sens de rotation différent.
de même elliptique mais de sens de rotation différent.
circulairement) en une onde polarisée elliptiquement (ou circulairement)

diré si $\alpha = 0$ ou $\frac{\pi}{2}$, la lame laisse le champ électrique inchangé.
Si l'onde est polarisée selon une des lignes neutres de la lame, c'est-à-dire dans les lignes neutres.
une onde polarisée rectilignement selon une direction symétrique par rapport à une lame demi-onde polarisée rectilignement en



ANNEXE 2 : LAME DEMI-ONDE

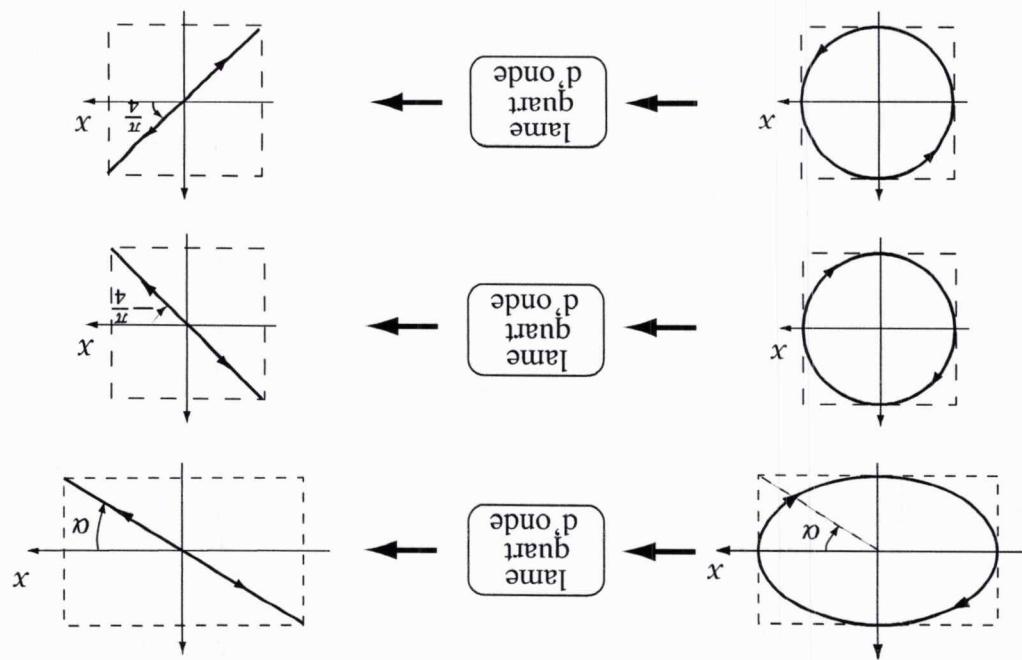


ANNEXE 3 : LAME QUART D'ONDE

Une lame quart d'onde transforme une onde polarisée circulairement en une onde polarisée rectilignement, à 45° de ses lignes neutres.

Si les lignes neutres de la lame et les axes de l'ellipse coïncident, la lame transforme en une onde polarisée elliptiquelement.
Une lame quart d'onde transforme en général une onde polarisée elliptiquelement en une onde polarisée rectilignement.

Si l'onde est polarisée selon une des lignes neutres de la lame, c'est-à-dire si $\alpha = 0$ ou $\frac{\pi}{2}$, la lame laisse le champ électrique inchangé.
Si $\alpha = \pm \frac{\pi}{4}$, la vibration émergente est circulaire.
Une lame quart d'onde transforme une onde polarisée rectilignement en une onde polarisée elliptiquelement, les axes de l'ellipse étant les lignes neutres de la lame.



1 ETUDE THÉORIQUE	
1.1 Onde électromagnétique plane, progressive, monochromatique (OPPh)	1
1.2 Polarisation des OPPH	2
1.2.1 Polarisation recrystalline	2
1.2.2 Polarisation elliptique	2
1.2.3 Polarisation circulaire	4
1.3 Lumière polarisée et lumière naturelle	5
1.4 Comment produire de la lumière polarisée ?	6
1.4.1 Polarisation par réflexion vitreuse	6
1.4.2 Polarisation par diffusion	6
1.4.3 Action d'une lame cristalline	7
1.4.4 Polariseur	7
1.4.5 Lampes birefringentes	8
1.5 Polariseurs	9
1.5.1 Action d'un polariseur	9
1.5.2 Loi de Malus	9
1.6 Lampes demi-onde	10
1.6.1 Définition	10
1.6.2 Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée recrystallinement	10
1.6.3 Action d'une lame demi-onde sur une onde polarisée elliptiquement	11
1.7 Lampes quart d'onde	12
1.7.1 Définition	12
1.7.2 Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée recrystallinement	12
1.7.3 Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée elliptiquement	13
1.7.4 Action d'une lame quart d'onde sur une onde polarisée circulaire	14
2 MANIPULATIONS	16
2.1 Étude expérimentale d'un polariseur et d'une lame birefringente	16
2.1.1 Détermination de l'axe d'un polariseur	16
2.1.2 Détermination des lignes neutres d'une lame	16
2.1.3 Axe lent - Axe rapide	17
2.2 Production et analyse d'une lumière polarisée rectilignement	18
2.2.1 Production	18
2.2.2 Analyse	18
2.2.3 Principe de la production et de l'analyse d'une lumière polarisée elliptiquement	18
2.3 Production et analyse d'une lumière polarisée elliptiquement ou circulairement	18
2.3.1 Production	19
2.3.2 Analyse	19
2.4 Production et analyse d'une lumière polarisée circulairement	23
2.4.1 Production	23
2.4.2 Analyse	23
2.5 Analyse d'une lumière non polarisée	24
2.5.1 Premier test	24
2.5.2 Second test	25
2.6 Analyse d'une lumière quelconque	25