

TP N.02

LAMES À RETARD (TP-COURS)

OBJECTIFS DU TP

Le but de ce TP est d'analyser la polarisation de la lumière et de mettre en évidence quelques phénomènes qui peuvent la modifier.

Matériel :

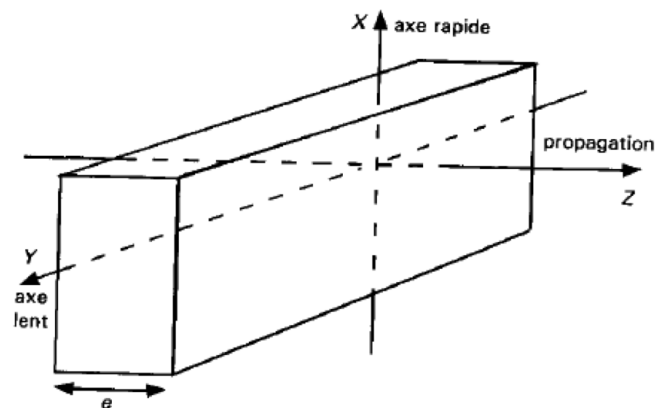
- 1 banc optique muni de cavaliers , 1 lampe avec condenseur.
- 1 diaphragme circulaire et 1 fente réglable
- 1 laser avec objectif de microscope
- 1 écran , 2 polariseurs-analyseurs , 1 lame $\lambda/2$, 1 lame $\lambda/4$

1 Milieux anisotropes et lames à retard :

1.1 Définition - Lignes neutres :

Une lame optiquement active (ou lame à retard de phase) est une lame mince taillée dans un matériau anisotrope. Ces lames présentant deux directions orthogonales particulières ($\vec{e}_x$ et $\vec{e}_y$) appelées lignes neutres (ou axes optiques).

Une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement suivant $\vec{e}_x$ ou $\vec{e}_y$ conserve sa polarisation après traversée de la lame : pour chaque direction, le milieu est isotrope mais avec des indices optiques différents (**milieu biréfringent**). Soient n_x et n_y ces deux indices avec $n_x < n_y$. Les vitesses de phase suivant les lignes neutres sont $v_x = \frac{c}{n_x}$ et $v_y = \frac{c}{n_y}$ avec $v_x > v_y$: $\vec{e}_x$ est l'axe rapide et $\vec{e}_y$ l'axe lent.



Pour étudier la propagation d'une onde électromagnétique dans une lame à retard de phase il faut :

- décomposer l'onde suivant les lignes neutres de la lame à l'entrée,
- étudier la propagation de chaque composante,
- recomposer l'onde à la sortie.

Pour une polarisation quelconque à l'entrée, les deux composantes E_x et E_y de l'onde émergente n'ont pas le même déphasage que celles de l'onde incidente.

1.2 Calcul du retard :

Soit $\vec{E}(z, t)$ le champ électrique et e l'épaisseur de la lame.

A l'entrée de la lame (en $z = 0$) et avec un choix convenable de l'origine des temps :

$$\vec{E}(0, t) = \begin{cases} E_{0x}e^{-j\omega t} \\ E_{0y}e^{j(\varphi - \omega t)} \end{cases}$$

Après traversée de la lame

$$\vec{E}(e, t) = \begin{cases} E_{0x}e^{j(k_x e - \omega t)} \\ E_{0y}e^{j(k_y e + \varphi - \omega t)} \end{cases} = \begin{cases} E_{0x}e^{j(\frac{2\pi n_x}{\lambda_0} e - \omega t)} \\ E_{0y}e^{j(\frac{2\pi n_y}{\lambda_0} e + \varphi - \omega t)} \end{cases}$$

avec une nouvelle origine des temps

$$\begin{cases} E_{0x}e^{-j\omega t} \\ E_{0y}e^{j(\frac{2\pi(n_y-n_x)}{\lambda_0}e+\varphi-\omega t)} \end{cases}$$

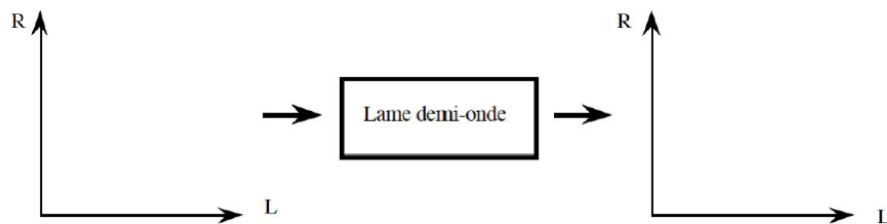
Conclusion 1. Une lame à retard de phase introduit un retard $\varphi = \frac{2\pi(n_y-n_x)}{\lambda_0}e$ entre la composante $\vec{E}_y$ et la composante $\vec{E}_x$ du champ électrique.

1.3 Lame demi-onde ($\delta = \lambda/2$) :

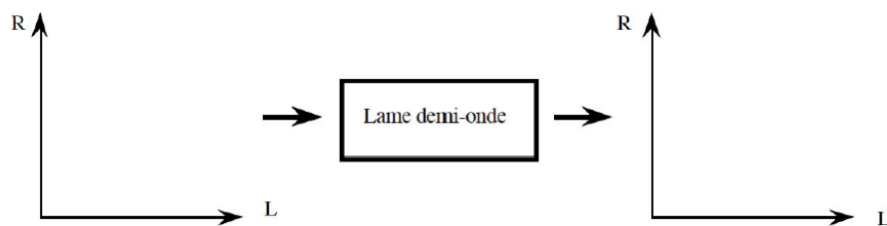
Définition 1. Une lame demi-onde est telle que $\varphi = \frac{2\pi(n_y-n_x)}{\lambda_0}e = \pi$ ce qui correspond à une différence de marche $\delta = \lambda_0/2$

remarque 1. la lame n'est rigoureusement demi-onde que pour une longueur d'onde donnée.

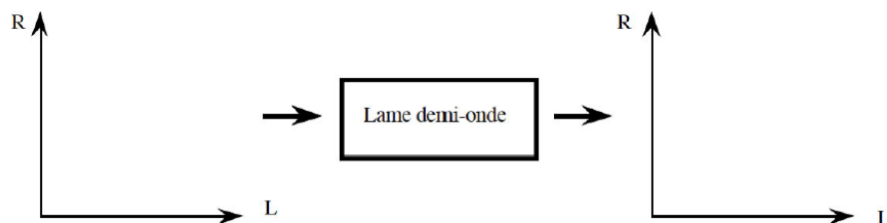
1. Quel est le déphasage entre les deux composantes du champ ? En déduire l'expression de l'épaisseur de la lame.
2. Cette lame est-elle demi-onde pour toutes les longueurs d'onde ?
3. Quel est l'effet de la lame demi-onde sur une onde :
 - (a) polarisée rectilignement selon $\vec{e}_y$, selon $\vec{e}_x$?
 - (b) polarisée rectilignement selon une direction faisant un angle α avec $\vec{e}_x$? Faire un schéma :



- (c) sur une onde polarisée circulairement gauche, circulairement droite ?



- (d) sur une onde polarisée elliptiquement gauche, elliptiquement droite ? Faire un schéma :



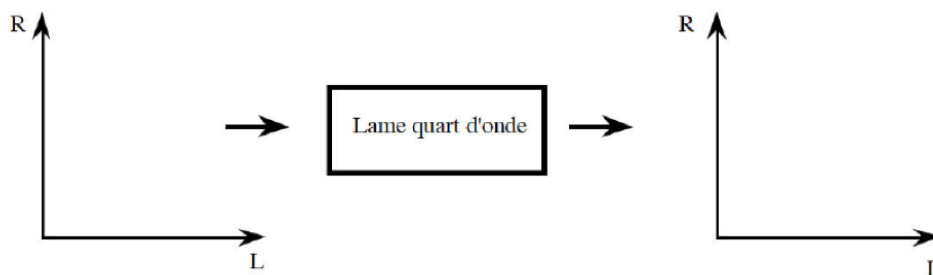
Conclusion 2. Une lame demi-onde transforme la polarisation d'une onde en une polarisation symétrique par rapport à ses lignes neutres.

1.4 lame quart-d'onde (ou lame $\delta = \lambda/4$)

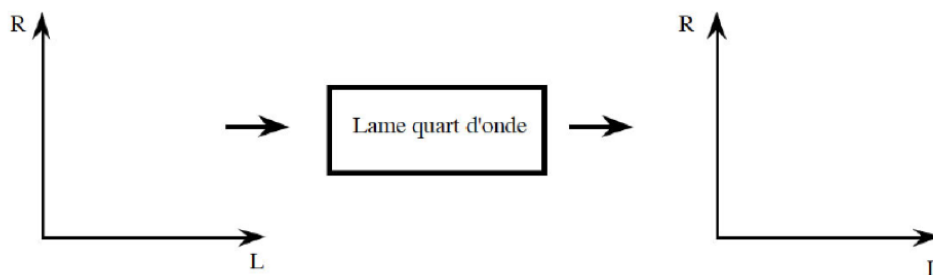
Définition 2. Une lame quart d'onde est telle que $\varphi = \frac{2\pi(n_y - n_x)}{\lambda_0}e = \pi/2$ ce qui correspond à une différence de marche $\delta = \lambda_0/4$

remarque 2. la lame n'est rigoureusement quart-onde que pour une longueur d'onde donnée.

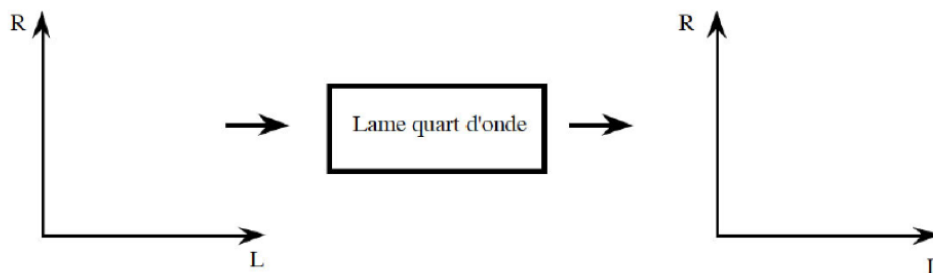
- Une lame quart d'onde transforme une vibration rectiligne en une vibration elliptique dont les axes sont les lignes neutres de la lame.
 - Inversement, elle transforme une vibration elliptique en une vibration rectiligne si les axes de l'ellipse se confondent avec les lignes neutres de la lame.
 - Elle transforme toute onde polarisée circulairement en onde polarisée rectilignement.
1. Quel est le déphasage entre les deux composantes du champ ? En déduire l'expression de l'épaisseur de la lame.
 2. Cette lame est-elle quart-onde pour toutes les longueurs d'onde ?
 3. Quel est l'effet de la lame quart-onde sur une onde :
 - (a) polarisée rectilignement selon $\vec{e}_y$, selon $\vec{e}_x$?
 - (b) polarisée rectilignement selon une direction faisant un angle α avec $\vec{e}_x$? Faire un schéma :



(c) sur une onde polarisée circulairement gauche, circulairement droite ?



(d) polarisée rectilignement selon une direction faisant un angle $\alpha = 45^\circ$ avec $\vec{e}_x$ (cas particulier essentiel) ? Faire un schéma :



Conclusion 3. Une lame quart-onde (ou lame $\lambda/4$) introduit un déphasage de $\pi/2$ entre les 2 composantes orthogonales du champ. On retiendra qu'une lame quart-onde transforme une polarisation circulaire en polarisation rectiligne, et réciproquement, à condition que la polarisation rectiligne incidente soit inclinée de 45° par rapport aux axes de la lame.

2 Expérimentation :

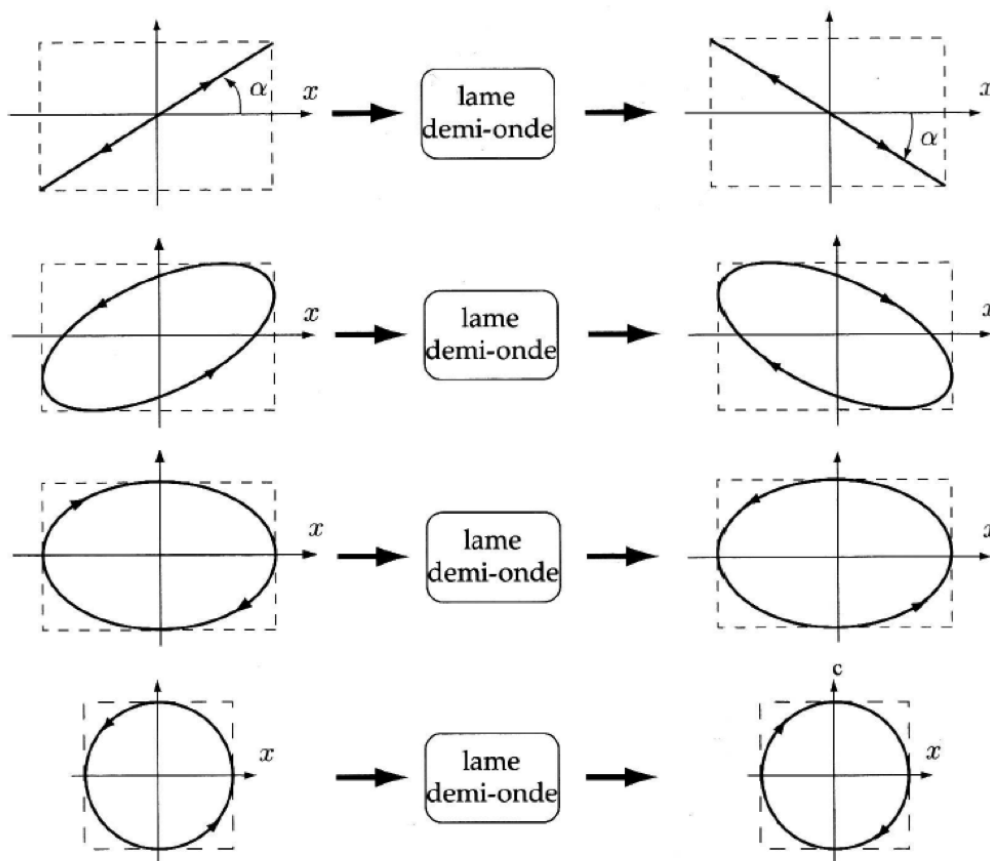
Remarque préliminaire :

de façon générale, la lame quart d'onde peut conduire à 3 types de polarisation qu'on détermine par rotation de l'analyseur et tracé de la courbe $I(\theta)$:

- **rectiligne** : l'intensité présente alors un maximum et un minimum nul (ou quasi nul)
- **elliptique** : l'intensité présente alors un maximum et un minimum non nul.
- **circulaire** : l'intensité est sensiblement constante lorsqu'on tourne l'analyseur.

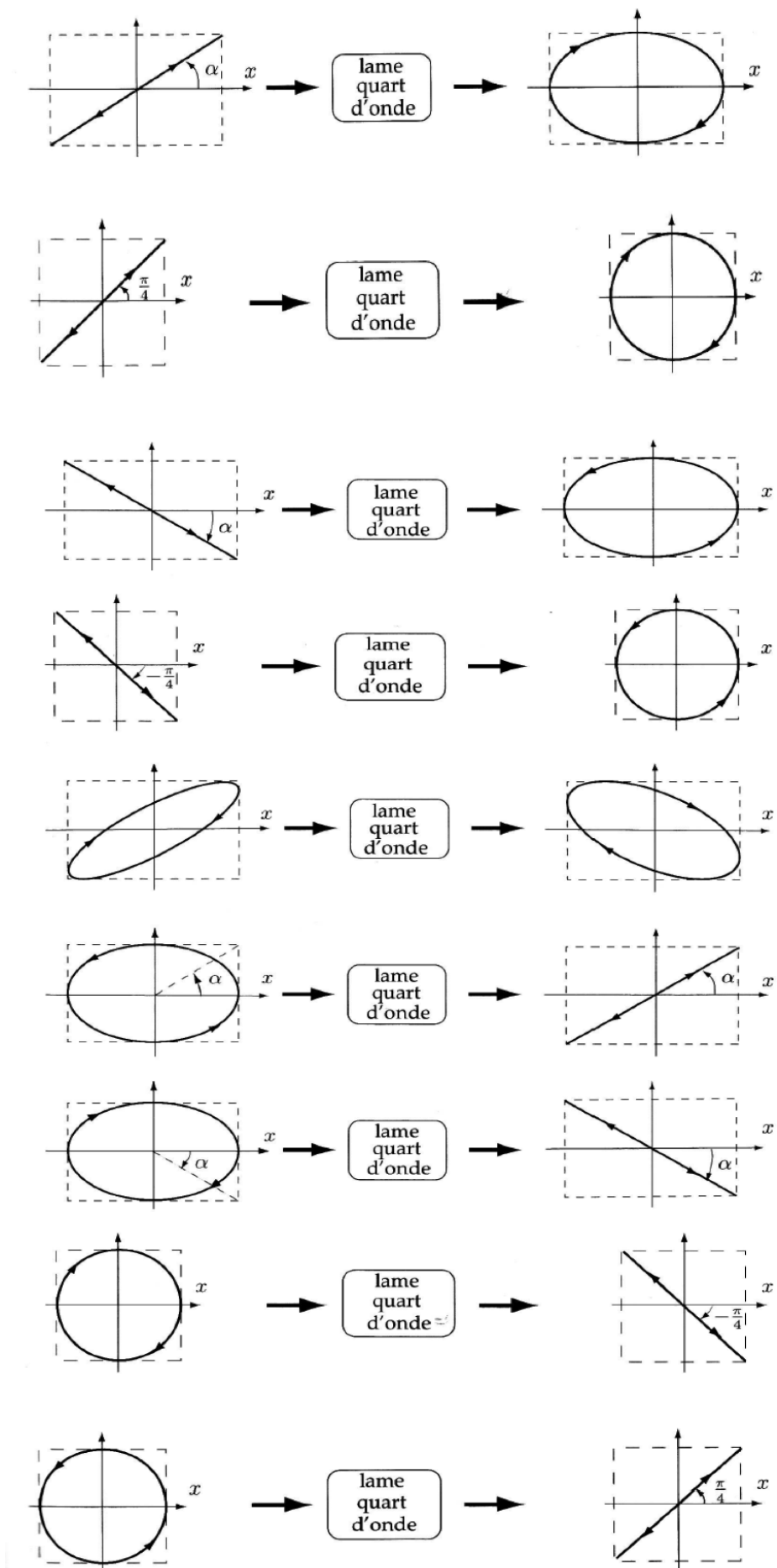
2.1 Action d'une lame 1/2 d'onde.

- Placer la lame demi-onde sur le trajet du faisceau polarisé rectilignement de manière à ce que la direction de polarisation soit confondue avec un axe neutre de la lame (c'est-à-dire que l'extinction est encore observée).
Tourner la lame de 20° . De combien doit-on tourner l'analyseur pour avoir de nouveau l'extinction ?



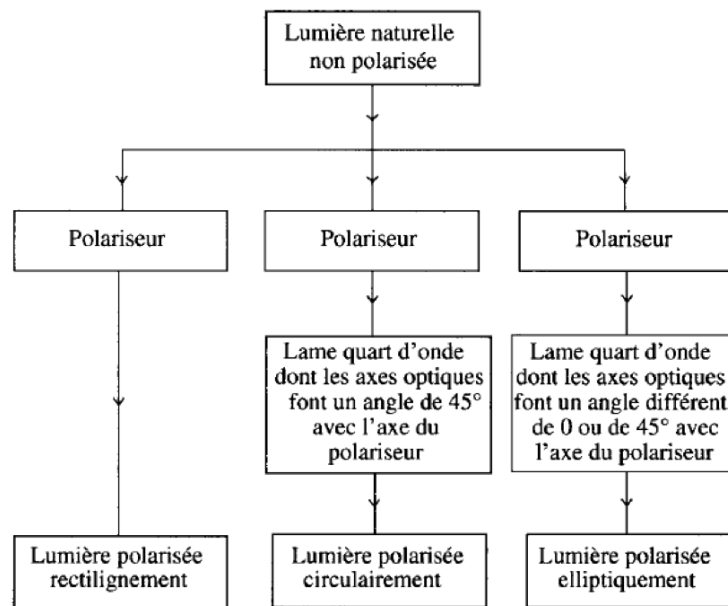
2.2 Action d'une lame 1/4 d'onde.

- Placer la lame quart-onde sur le trajet du faisceau polarisé rectilignement. Vérifier expérimentalement la polarisation obtenue en sortie (expliquer comment !)
- la direction de polarisation est confondue avec un axe neutre de la lame ?
- la direction de polarisation fait un angle de 20° avec un axe neutre de la lame ?
- la direction de polarisation fait un angle de 45° avec un axe neutre de la lame ?



3 Production d'une lumière polarisée :

On peut utiliser une lame $\lambda/4$ pour obtenir une lumière polarisée à partir de la lumière naturelle :



4 Analyse d'une lumière inconnue :

On peut utiliser une lame $\lambda/4$ pour analyser la polarisation d'une lumière inconnue :

