

**Exercice 1 : Lames quart d'onde et demi-onde**

- 1) On dispose d'une lame demi-onde et d'une lame quart d'onde, et on souhaite faire tourner la polarisation linéaire d'une onde lumineuse de  $45^\circ$ . Quelle lame utiliser et comment l'orienter par rapport à la polarisation incidente ?
- 2) Mêmes questions pour faire tourner la polarisation incidente de  $90^\circ$  ?
- 3) Une onde polarisée rectilignement traverse une lame  $\lambda/4$  orientée à  $45^\circ$  par rapport à la direction de polarisation de l'onde. Que peut-on dire de la polarisation issue de la lame ?
- 4) Après avoir traversé la lame, l'onde est réfléchi sur un miroir et traverse une seconde fois la lame  $\lambda/4$ . Que dire de la polarisation après cet aller-retour dans la lame ?

**Exercice 2 : BTS 2004****III. Etude de l'écran à cristaux liquides et de la projection du masque sur le cristal de LBO (sur 6 points)****1. L'écran à cristaux liquides**

Un cristal liquide se comporte comme un milieu uniaxe positif. Toutes ses molécules sont orientées dans la même direction Oz (figure 1(a) de l'annexe 1). Il se comporte comme un milieu biréfringent uniaxe positif ( $n_E = 1,64$  est l'indice extraordinaire principal et  $n_O = 1,50$  est l'indice ordinaire).

Le cristal est placé entre deux lames de verre parallèles (distances de  $d$ ) sur lesquelles sont déposées des électrodes transparentes. Lorsqu'une tension  $U$  est appliquée aux électrodes, le champ électrique créé modifie l'orientation des molécules et par conséquent celle de l'axe optique (figure 1(b) de l'annexe 1).

La vibration incidente se propage selon l'axe Oy et est polarisée rectilignement. Elle se décompose dans le cristal en deux vibrations (ordinaire et extraordinaire).

C'est l'ellipsoïde des indices (figure 2 de l'annexe 1) qui permet de déterminer la valeur de l'indice rencontré par une vibration lumineuse dans le milieu. Son intersection avec le plan d'onde incident P définit une ellipse dont les axes ont pour direction celles des lignes neutres Oz et Ox du biréfringent, et pour demi-longueurs les indices ordinaire  $n_O$  et extraordinaire  $n_e$ .

Lorsqu'une tension suffisante est appliquée aux électrodes, l'ellipsoïde des indices bascule avec les molécules.

- 1.1 L'inclinaison  $\alpha$  des molécules (et de l'axe optique) est une fonction croissante de la tension  $U$  appliquée aux électrodes. L'indice extraordinaire  $n_e$  varie avec la tension  $U$  et sa valeur est donnée par la relation :

$$n_e = \frac{n_O n_E}{\sqrt{n_O^2 \cos^2 \alpha + n_E^2 \sin^2 \alpha}}$$

Calculer la valeur de  $\Delta n = n_e - n_O$  lorsque l'angle  $\alpha$  prend les valeurs  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  et  $90^\circ$ .

Comparer l'évolution des trois valeurs numériques de  $\Delta n$  avec l'évolution observée sur le graphe de la figure 3 de l'annexe 1.

**Tourner la feuille**

1.2 Quelle est, en fonction de  $d$  et  $\Delta n$ , l'expression de la différence de marche  $\delta$  entre les deux vibrations à la sortie du cristal ?

Le sens de variation de la différence de marche  $\delta$  est-il le même que celui de la tension  $U$  ?

1.3 Un analyseur croisé avec le polariseur reçoit les vibrations émergentes.

- a) L'épaisseur  $d$  des cristaux a pour valeur  $40 \mu\text{m}$ . En utilisant le graphe de la figure 3 de l'annexe 1 on peut associer une différence de marche  $\delta = 1,6 \mu\text{m}$  à une tension  $U$  de  $5\text{V}$ . Cela correspond-il à un comportement du cristal en lame demi-onde ou en lame d'onde (on travaille toujours à  $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) ? Justifier votre réponse.
- b) Quelle est la valeur de la différence de marche lorsque la tension  $U$  vaut  $2,0 \text{ V}$  ? Le cristal se comporte-t-il comme une lame demi-onde ou comme une lame d'onde ? Justifier votre réponse.
- c) Quelle valeur de la tension ( $2,0$  ou  $5,0$ ) faut-il appliquer aux électrodes pour que la lumière soit transmise ? Ne soit pas transmise ? Justifier votre affirmation.

## 2. Projection du masque sur le cristal LBO

En utilisant la lentille de focale  $f' = +76 \text{ mm}$  du réducteur de faisceau, on projette, sur le cristal de LBO, l'image du masque inscrit sur l'écran LCD. On veut réaliser un grandissement transversal de valeur  $G_t = -0,30$ . A quelle distance de la lentille doivent se trouver l'objet (sur l'écran LCD) et l'image (cristal de LBO) ?

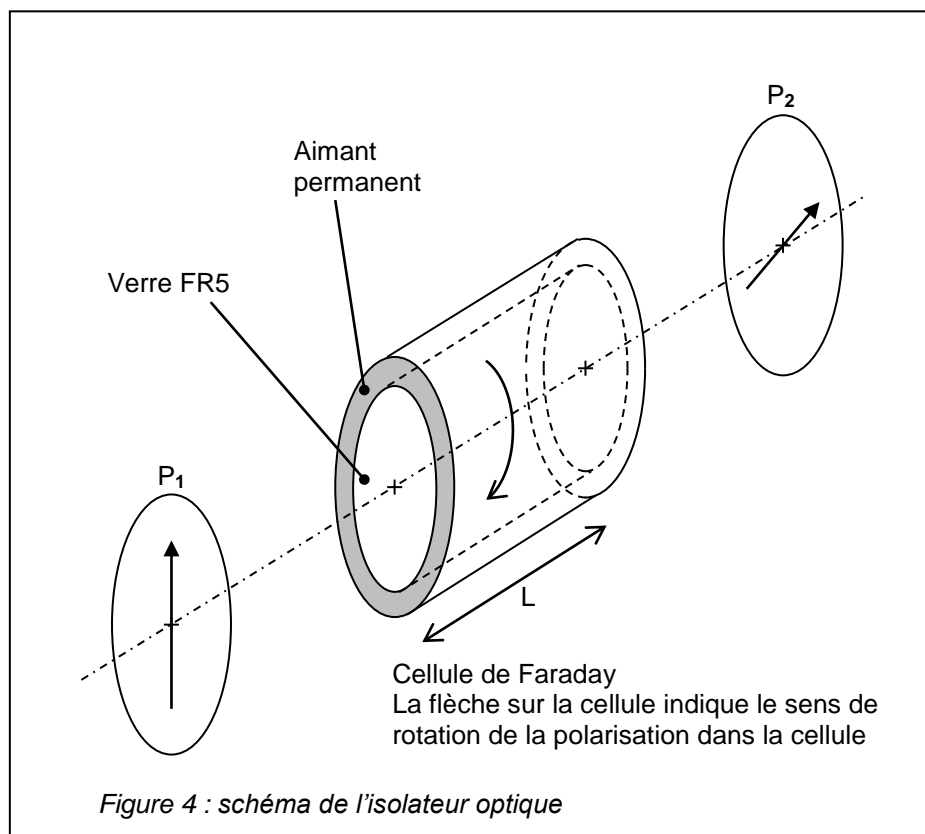
### Exercice 3 : Cellule de Pockels

Une cellule de Pockels est une lame à retard d'épaisseur  $e = 5 \text{ mm}$  dont la biréfringence est modulable à l'aide d'une tension électrique  $U$ . A la longueur d'onde  $\lambda = 633 \text{ nm}$ , l'indice ordinaire vérifie  $n_o(U) = n_o + \alpha U$  avec  $n_o = 1,5123$  et  $\alpha = 1,24 \cdot 10^{-7} \text{ V}^{-1}$  et l'indice extraordinaire est  $n_e(U) = n_e + \beta U$  avec  $n_e = 1,5407$  et  $\beta = 2,90 \cdot 10^{-7} \text{ V}^{-1}$ .

- 1) Déterminer les directions de l'axe rapide et de l'axe lent par rapport à celle de l'axe optique de la cellule de Pockels.
- 2) Quelle est la différence de marche entre les ondes ordinaire et extraordinaire après une traversée de la cellule de Pockels en l'absence de tension appliquée ? En déduire la différence de phase  $\varphi_0$ .
- 3) Exprimer la différence de phase  $\varphi(U)$  entre les ondes ordinaire et extraordinaire pour une tension  $U$ , en fonction de  $\varphi_0$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$  et  $U$ .
- 4) En déduire la valeur de la tension  $U_\pi$  à appliquer pour que  $\varphi(U_\pi) = \varphi_0 + \pi$ . On déterminera aussi la valeur numérique de cette tension.
- 5) Justifier le nom de tension demi-onde donné à  $U_\pi$ .

### Exercice 4 : Isolateur optique

L'isolateur optique est constitué successivement d'un polariseur  $P_1$ , d'une cellule de Faraday (verre FR5 entouré d'un aimant appliquant un champ magnétique d'intensité  $B$ ) faisant tourner la polarisation rectiligne de la lumière d'un angle  $\alpha$ , et d'un polariseur  $P_2$  orienté à  $45^\circ$  de  $P_1$  dans le sens de rotation de la cellule de Faraday. Voir *figure 4* ci-dessous.



*Données :*

Longueur de la cellule de Faraday :  $L = 5,0 \text{ mm}$

Intensité du champ magnétique :  $B = 0,112 \text{ T}$

Constante de Verdet du verre FR5 :  $V = 1,4 \cdot 10^3 \text{ rad} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Angle de rotation de la polarisation dans la cellule de Faraday :  $\alpha = V \cdot B \cdot L$  après un aller simple.

2.1 Déterminer la valeur de l'angle de rotation  $\alpha$  en radians, puis en degrés.

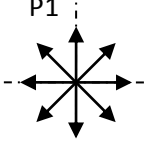
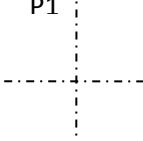
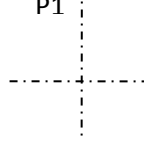
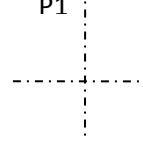
2.2 La lumière issue de l'amplificateur est non-polarisée. Elle arrive sur l'isolateur optique. Décrire ce qu'il advient de son intensité et de sa polarisation à la traversée successive de chacun des composants de l'isolateur optique. Pour cela, compléter **le document 2 du document réponse 2 page 4 à rendre avec la copie**, sur lequel on tracera la direction de la polarisation par rapport à celle du polariseur  $P_1$ , et la valeur de l'intensité par rapport à celle  $I_1$  de l'onde incidente sur le polariseur  $P_1$ .

2.3 A la sortie de l'isolateur optique, une partie de la lumière est réfléchi sur la face d'entrée de la cavité de doublage de fréquence et traverse l'isolateur optique en sens inverse. On supposera cette lumière réfléchi polarisée parallèlement à  $P_2$ . Décrire ce qu'il advient de son intensité et de sa polarisation à la traversée successive de chacun des composants de l'isolateur optique. Pour cela, compléter **le document 3 du document réponse 2 page 4 à rendre avec la copie**, sur lequel on tracera la direction de la polarisation par rapport à celle du polariseur  $P_1$ , et la valeur de son intensité par rapport à celle  $I_2$  incidente sur le polariseur  $P_2$ .

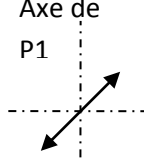
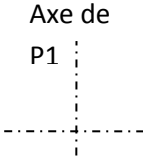
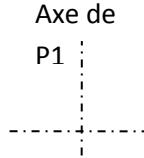
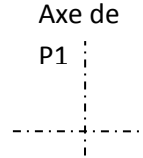
## DOCUMENT RÉPONSE 2

à rendre avec la copie

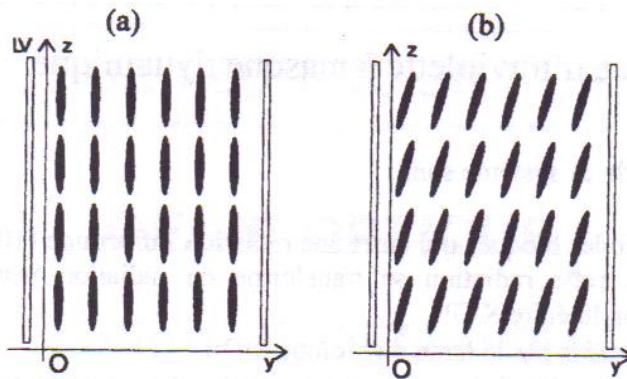
### Document 2

	Avant P1	Entre P1 et la cellule de Faraday	Entre la cellule de Faraday et P2	Après P2
<b>Direction de polarisation</b>	Axe de P1  Non polarisée	Axe de P1 	Axe de P1 	Axe de P1 
<b>Intensité du faisceau</b>	$I_1$			

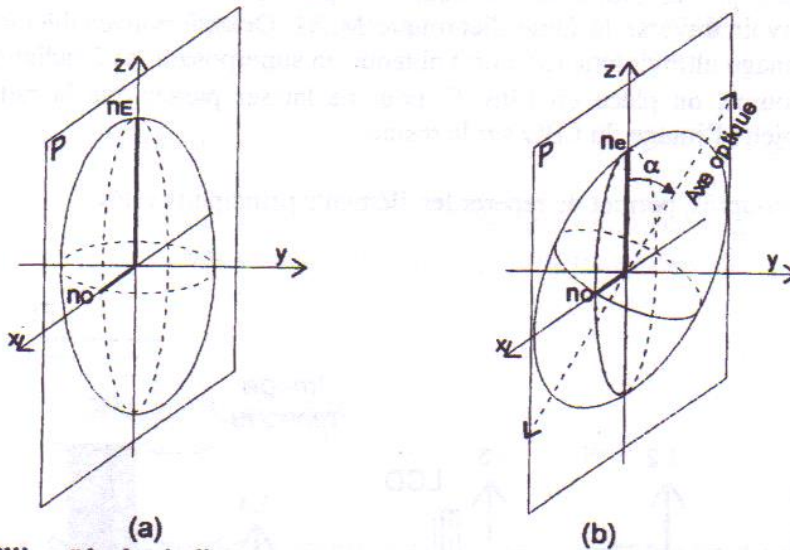
### Document 3

	Avant P2	Entre P2 et la cellule de Faraday	Entre la cellule de Faraday et P1	Après P1
<b>Direction de polarisation</b>	Axe de P1  Polarisée // P2	Axe de P1 	Axe de P1 	Axe de P1 
<b>Intensité du faisceau</b>	$I_2$			

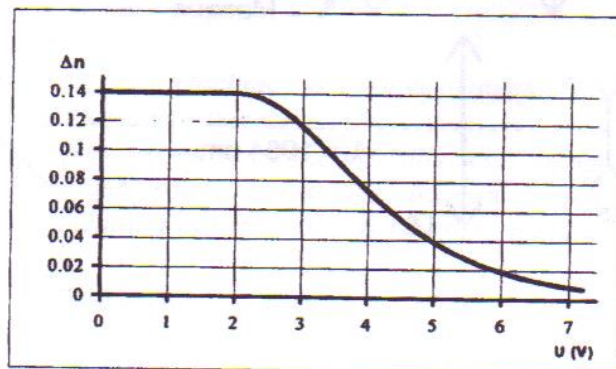
ANNEXE 1



**Figure 1** : - en l'absence de tension (a), les molécules et l'axe optique sont orientés selon Oz  
 - lorsqu'une tension est appliquée entre les électrodes (b), les molécules et l'axe optique s'inclinent d'un angle  $\alpha$ .



**Figure 2** : Ellipsoïde des indices  
 - en l'absence de tension (a),  
 - lorsqu'une tension est appliquée entre les électrodes (b).



**Figure 3** :  $\Delta n$  décroît lorsque la tension U dépasse la tension de seuil  $U_S = 2,0$  V.