

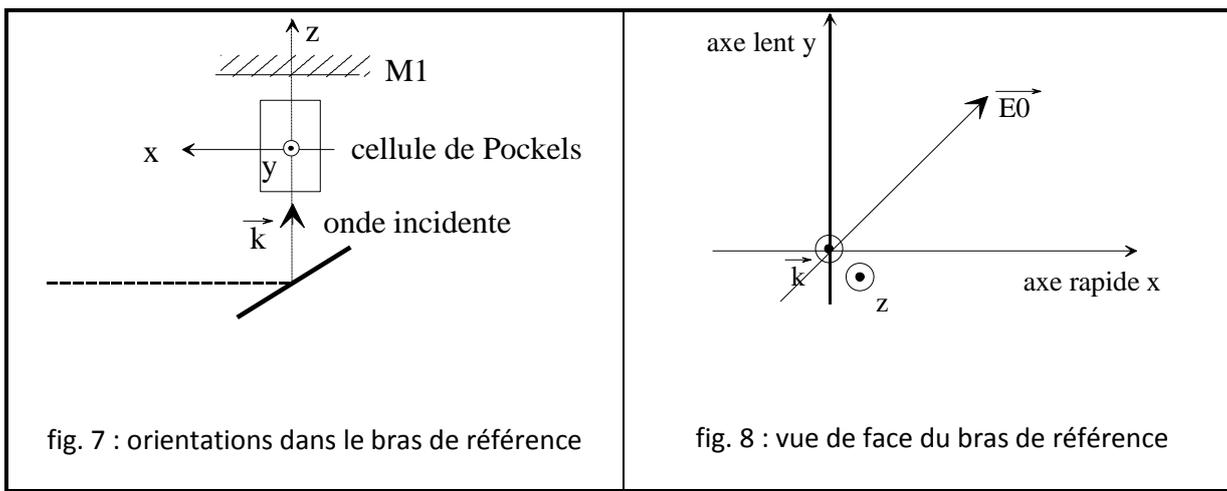
GOP 2 Exercices sur les lames à retard et interférences en lumière polarisée

BTS 1998

III] Séparation des deux faisceaux de référence par la cellule de Pockels

On utilise une cellule de Pockels transversale pour séparer par polarisation les deux faisceaux de référence. On rappelle que la cellule de Pockels est une lame à faces parallèles biréfringente dont la biréfringence est modifiée par un effet électrooptique. Son axe lent est ici vertical et son axe rapide horizontal. Le premier faisceau correspond à la composante du faisceau polarisée verticalement dans le bras de référence, le second faisceau de référence correspond à la composante du faisceau polarisée horizontalement dans le bras de référence.

L'onde incidente sur la cellule est polarisée rectilignement à $\pi/4$ des lignes neutres. Son amplitude vaut E_0 . (cf. fig 7 et 8)



1°) expression du déphasage entre les deux faisceaux de référence

On prendra la convention suivante pour définir les amplitudes complexes des ondes : une onde monochromatique dont le champ électrique instantané s'écrit $E(M,t) = E_0 \cos(\omega t - \varphi)$ a pour amplitude complexe $\varepsilon = E_0 e^{j\varphi}$

a) Exprimer, en fonction de E_0 , les amplitudes complexes ε_x et ε_y des ondes des deux faisceaux de référence à l'entrée de la cellule de Pockels. On prendra comme origine des phases la phase de ε_y .

b) Sans changer d'origine des phases, exprimer ces amplitudes complexes en sortie de cellule de Pockels en fonction de E_0 , des indices n_x et n_y et de la longueur e de cellule traversée.

c) Donnez l'expression du déphasage $\varphi_{1x/y}$ de ε_x par rapport à ε_y en sortie de cellule.

d) En reprenant comme coordonnées ε_x et ε_y de l'onde réfléchi par M1 les valeurs précédentes et en travaillant dans la même vue que sur la figure 8 (avec, bien sûr, le vecteur d'onde \vec{k}' inversé pour l'onde réfléchi par M1 : cf fig. 9), montrer que le déphasage introduit par la cellule entre les deux faisceaux de référence revenant vers la séparatrice vaut :

$$\varphi_{x/y} = 4\pi (n_x - n_y)e/\lambda$$

e) Ces deux faisceaux peuvent-ils interférer ? On justifiera la réponse.

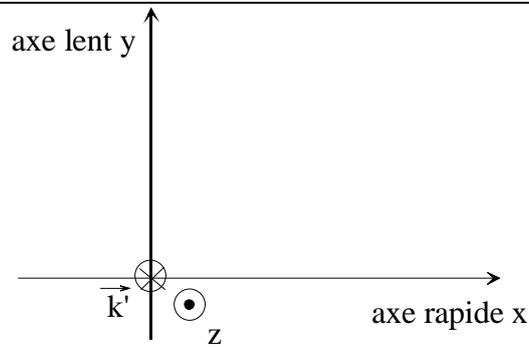


fig. 9 : conventions d'orientation pour l'onde retour

2°) tension de commande de la cellule de Pockels

Une tension V comprise entre -200 V et $+200$ V permet de régler la valeur de $\varphi_{x/y}$. Cette tension modifie les indices n_x et n_y selon les lois :

$$n_x = n_o + AV \quad \text{et} \quad n_y = n_e \quad \text{où } A \text{ est une constante positive,}$$

$n_e = 1,48$ est l'indice extraordinaire de la cellule, $n_o = 1,52$ en étant l'indice ordinaire.

a) $\varphi_{x/y}$ peut se mettre sous la forme $\varphi_{x/y} = 2\varphi_0 + 2\pi V/V_\pi$ où φ_0 (déphasage naturel) et V_π (tension demi-onde de la cellule) sont des constantes. Exprimer ces constantes en fonction de A , n_e , n_o et e

b) On a $V_\pi = 160$ V et $\varphi_0 = 1$ rad. Quelle tension V_{bias} faut-il appliquer à la cellule pour annuler $\varphi_{x/y}$?

c) On pose $V = V_{\text{bias}} + v$. Exprimer $\varphi_{x/y}$ en fonction de v

d) On limite la course du miroir mobile à une distance suffisamment petite devant la course maximale L_{MAX} pour pouvoir considérer que la visibilité vaut 1. Le détecteur D1, sensible aux ondes polarisées suivant y , reçoit alors l'intensité lumineuse

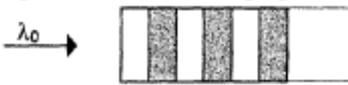
$$I_{D1} = I_{\text{moy}}(1 + \cos 2\pi \nu_0 \tau).$$

(on a pris comme référence des phases celle de l'onde de référence ε_y au niveau de D1). Que doit valoir v pour que le détecteur D2, sensible aux ondes polarisées selon la direction x , reçoive l'intensité lumineuse

$$I_{D2} = I_{\text{moy}}(1 + \sin 2\pi \nu_0 \tau) ?$$

3^{ème} PARTIE (5,5 points)

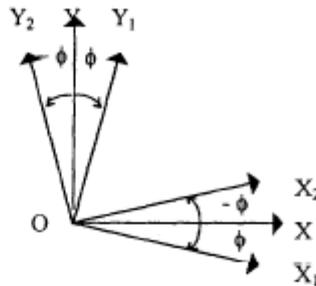
Le réseau formé à l'intérieur de la fibre peut être assimilé à un filtre de Solc. Ce filtre est constitué d'un empilement de lames biréfringentes, demi-ondes pour la longueur d'onde λ_0 dans l'air, de même épaisseur, taillées parallèlement à l'axe optique et disposées selon le schéma.



 Ces lames ont pour axes neutres OX_1 et OY_1 (axe lent) avec $(OX, OX_1) = \phi$

 Ces lames ont pour axes neutres OX_2 et OY_2 (axe lent) ; avec $(OX, OX_2) = -\phi$

La vibration incidente \vec{P}_0 de longueur d'onde λ_0 est polarisée rectiligne et son axe privilégié est orienté selon l'axe OX .



III-A- Étude de la polarisation à la sortie des lames

III-A-1 A partir d'un schéma, décomposer la vibration incidente \vec{P}_0 , d'élongation $P_0 \sin \omega t$, sur les 2 axes neutres OX_1 et OY_1 à l'entrée de la première lame. Déterminer ensuite les 2 composantes de la vibration \vec{P}_1 à la sortie de la 1^{ère} lame.

III-A-2 Représenter \vec{P}_0 et \vec{P}_1 .

III-A-3 De même, représenter la vibration \vec{P}_2 sortant de la deuxième lame, par rapport à la vibration \vec{P}_1 .

III-A-4 Quel est l'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_1 ? L'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_2 ? L'angle entre \vec{P}_0 et \vec{P}_3 ?

III-A-5 Montrer qu'en généralisant, l'angle de rotation α de l'état de polarisation de la lumière par rapport à \vec{P}_0 après traversée de N lames peut s'écrire $|\alpha| = 2 N \phi$.

III - B Répartition énergétique à la sortie de l'analyseur

On place en sortie de la fibre un analyseur A dont la direction privilégiée est perpendiculaire à \vec{P}_0 .

III-B-1 Quelle serait l'intensité de la lumière transmise sans filtre de Solc ?

III-B-2 En présence du filtre, pour quelles valeurs de α le couplage réalisé est-il maximum (intensité maximale sortant de l'analyseur) ? Exprimer N (nombre de lames) en fonction de ϕ pour obtenir un couplage maximum.

A. N. : calculer N_{mini} pour $\phi = \pi/16$

C - La cellule de Pockels (5 points)

La lumière issue du laser passe par une cellule de Pockels qui fait office d'interrupteur optique. Elle permet de créer des impulsions lumineuses très brèves à l'aide d'un générateur. La lumière issue du laser est polarisée rectilignement.

1. Les axes neutres de la cellule sont orientés à 45° de la direction de polarisation de la lumière laser. Faire un schéma de ces directions en vue de face.
2. La lumière traverse la cellule de type transversal sur une épaisseur $d = 4,0$ cm. On peut appliquer la tension V entre les électrodes séparées par la distance $b = 5$ mm. Le milieu biréfringent est constitué de KDP. Les indices selon l'axe des x et l'axe des y valent

$$n_x = n_o$$

$$n_y = n_e + \frac{KV}{b}, \quad \text{avec } K = 1,7 \times 10^{-11} \text{ V}^{-1}$$

Les indices ordinaire et extraordinaire n_o et n_e se calculent, en fonction de la longueur d'onde λ exprimée en μm , par la formule de Sellmeier :

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} + \frac{D\lambda^2}{\lambda^2 - E}$$

Pour n_o :

A	B	C	D	E
2,2576	0,0101	0,0142	1,7623	57,8984

Pour n_e :

A	B	C	D	E
2,1295	0,0097	0,0014	0,7580	127,0535

On considère tout d'abord une cellule non alimentée.

- 2.1. Calculer les valeurs de n_x et n_y pour la longueur d'onde fournie par le laser (532 nm).
 - 2.2. Exprimer puis calculer le déphasage entre les ondes ordinaire et extraordinaire.
 - 2.3. On ajoute un polariseur après la cellule de Pockels. Il laisse passer les vibrations lumineuses dont la direction de polarisation est parallèle à celle du faisceau laser initial. En quoi ce polariseur est-il nécessaire pour faire interférer les ondes ?
 - 2.4. Exprimer l'intensité lumineuse obtenue après ce polariseur en fonction de λ , d , n_x et n_y .
3. On applique une tension V à la cellule pour obtenir un déphasage supplémentaire de π par rapport à l'état initial. Exprimer V en fonction de λ , K , b , d . Calculer la valeur de V .