PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15)

ÉTUDE D'UN MODULATEUR D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Les 3 parties sont indépendantes.
Les documents réponses à rendre avec la copie se trouvent à la fin du sujet.

Un modulateur d'intensité lumineuse est couramment utilisé en télécommunication afin de convertir des impulsions électriques binaires en impulsions lumineuses. Les impulsions lumineuses contenant l'information sont destinées à être transmises par fibre optique.
Ce modulateur est constitué d'une lame dont l'indice n'est commandé par une tension, associée à un interféromètre de Mach-Zehnder.

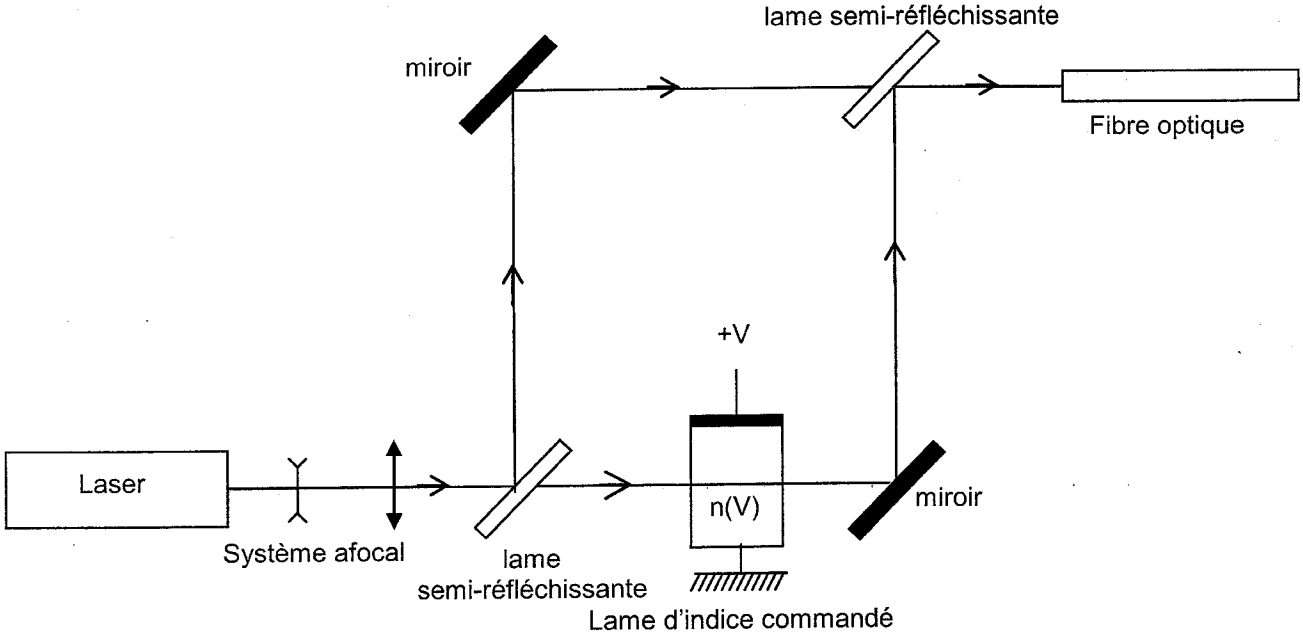

Figure 11 : Schéma du modulateur électro-optique

Partie 1 : Dispositif d'éclairage du modulateur

1.1 - Étude d'une source Laser polarisée

On étudie un laser He-Ne de longueur d'onde $\lambda_0 = 632{,}8$ nm polarisé rectilignement.

1.1.1 - Quelle est la couleur du faisceau laser ?

1.1.2 - Calculer, en électronvolt, l'énergie E_{ph} du photon associé.

1.1.3 - Décrire une méthode (en s'aidant d'un schéma) permettant de déterminer la direction de polarisation du laser.

On donne la constante de Planck : $h = 6{,}63.10^{-34}$ J.s, la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00.10^{8}$ m.s^{-1} et 1 eV = $1{,}602.10^{-19}$ J.

Dans la suite on utilisera un Laser non polarisé.

1.2 - Étude du système afocal

Le système est constitué de 2 lentilles L_1 et L_2 de focales respectives $f'_1 = -5$ cm et $f'_2 = 25$ cm.

1.2.1 - Compléter la **figure 12** du **document réponse n° 2** en traçant la marche d'un rayon incident parallèle à l'axe optique. Le schéma de la **figure 12** n'est pas à l'échelle.

1.2.2 - Calculer le grossissement G_c du système.

1.2.3 - Le faisceau laser ayant un diamètre d = 2 mm, calculer le diamètre d' du faisceau à la sortie du système afocal.

Partie 2 : Étude du moteur : interféromètre de Mach Zehnder

L'interféromètre de Mach-Zehnder est un interféromètre à division d'amplitude proche de l'interféromètre de Michelson. Les optiques (lames semi réfléchissantes et miroirs) seront considérées comme parfaites. L'interféromètre est réglé de telle sorte que la différence de marche entre les deux rayons qui interfèrent soit nulle en l'absence de lame mince. Le système est utilisé avec une source Laser non polarisée.
La longueur d'onde dans le vide du laser vaut λ_0 : λ_0 = 632,8 nm.

2.1 - Utilisation avec une lame de verre

On place dans l'un des bras de l'interféromètre une lame mince d'indice n et d'épaisseur e (**figure 13**).

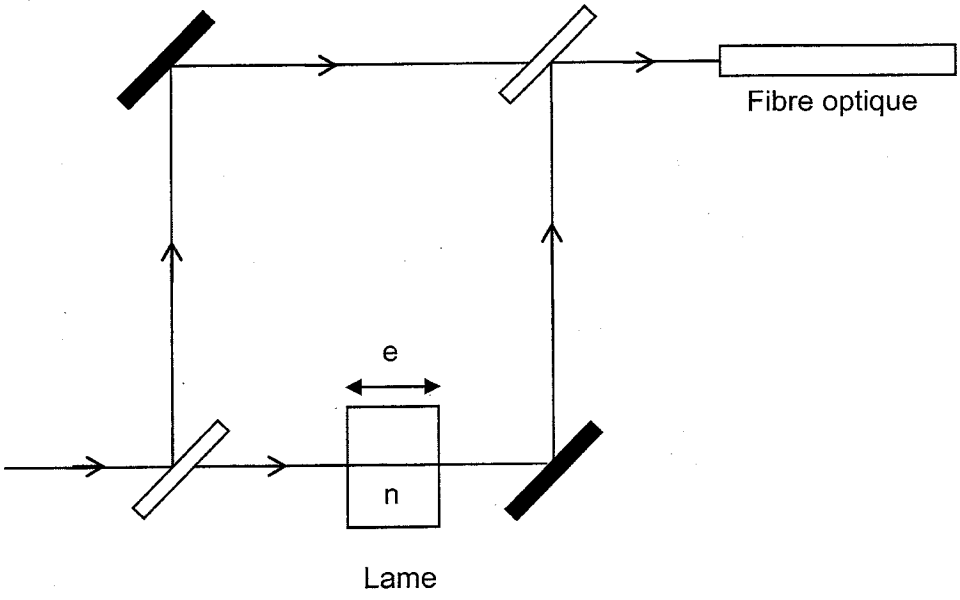

Figure 13 : Schéma du Mach-Zehnder

2.1.1 - Établir l'expression du déphasage Φ entre les 2 rayons qui interfèrent à la sortie du Mach-Zehnder, en fonction de n, e et λ_0.

2.1.2 - On prendra n = 1,516. On admettra que l'éclairement E', obtenu à la sortie de l'interféromètre, a pour expression : $E' = 2E\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}e(n-1)\right)\right]$.

Exprimer les épaisseurs e_k de la lame mince en fonction de λ_0, n et k (k est entier) pour obtenir un éclairement E' = 0 à la sortie du Mach-Zehnder.

2.2 - Utilisation avec la lame commandée en tension

On remplace la lame de verre précédente par la lame commandée en tension. On assimile cette lame à une lame mince d'épaisseur e et d'indice n(V) variable en fonction d'une tension V que l'on applique aux bornes de la lame (**figure 11**).

On admet que $n(V) = n_0 - \frac{1}{2}n_0^3.\alpha.V$ où α est un coefficient caractéristique du matériau.

2.2.1 - Exprimer le déphasage Φ_P entre les 2 rayons qui interfèrent à la sortie du Mach-Zehnder, en fonction de n_0, e, V, α et λ_0.

2.2.2 - La cellule a une épaisseur e = 10 µm. On prendra $n_0 = 2,27$.
Calculer la valeur de Φ_P lorsque V = 0 volt. En déduire si l'éclairement est maximum ou minimum à la sortie de l'interféromètre.

Partie 3 : Étude de la fibre optique

Le signal lumineux est envoyé vers une fibre optique représentée **figure 14**. L'ouverture numérique ON de la fibre est définie par la relation $ON = n_a \sin \theta_M$, n_a étant l'indice de l'air et θ_M la valeur maximale de l'angle d'injection θ.

On admettra la relation : $ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.

On donne $n_1 = 1,51$ et $n_2 = 1,45$.

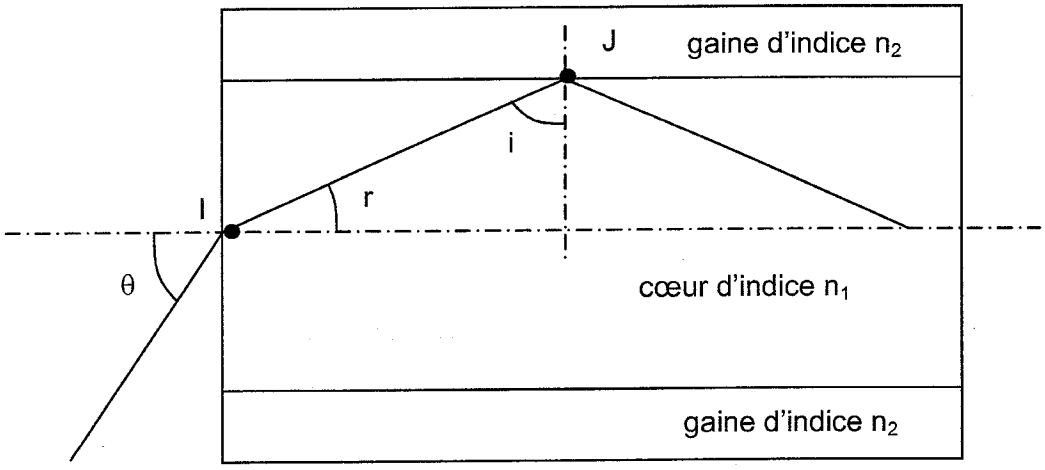

Figure 14 : Fibre optique

3.1 - Indiquer de quel type de fibre il s'agit.

3.2 - Calculer l'ouverture numérique de la fibre ainsi que l'angle θ_M.

DOCUMENT RÉPONSE N° 2
À RENDRE AVEC LA COPIE

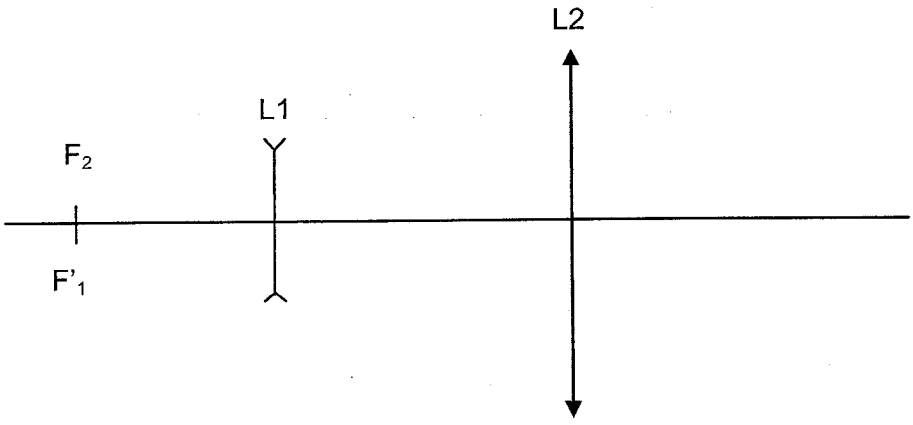

Figure 12 : système afocal