

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**GENIE OPTIQUE**
option PHOTONIQUE**Epreuve de PHYSIQUE APPLIQUEE****Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE****Durée 2 heures 30****coefficient 2,5**

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Document à rendre avec la copie :**Annexe 1page 7/8****Matériel autorisé :****Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999**

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.

Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.

Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

Tout autre matériel est interdit

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte : 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.*

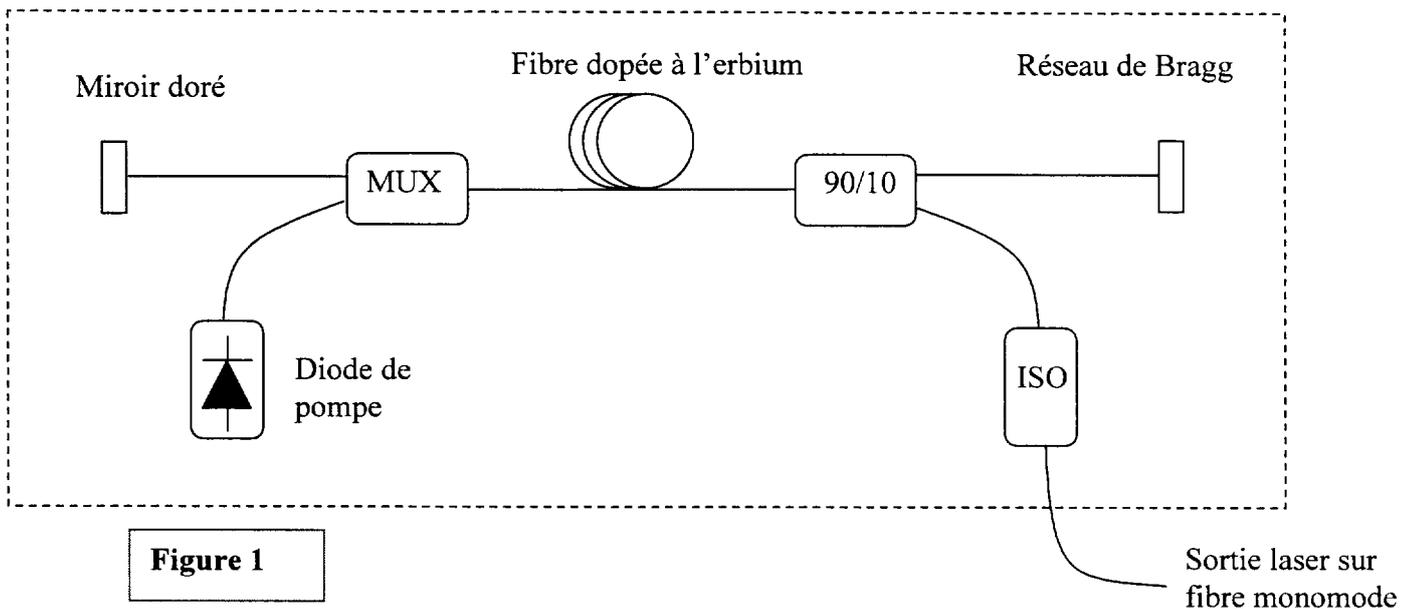
LASER À FIBRE DOPÉE A L'ERBIUM

Le problème suivant, composé de plusieurs parties indépendantes permet d'étudier les divers éléments d'un laser.

A) ÉTUDE DU LASER (10 points)::

La technologie des laser fibrés se développe actuellement. Les lasers à fibre dopée à l'Erbium et à l'Ytterbium ont de nombreuses applications en biologie et pour le marquage d'alliages.

Le schéma de principe du laser à fibre dopée à l'erbium est le suivant (figure 1):



Le miroir doré et le réseau de Bragg constituent la cavité laser. La fibre dopée à l'erbium est le milieu actif. La diode de pompe est la source d'énergie qui permet de réaliser l'inversion de population. Le laser, qui fait l'objet de notre étude, émet une longueur d'onde dans la bande C Télécom (1530 nm-1560 nm).

Le réseau de Bragg est gravé dans le cœur de la fibre par photoinscription.

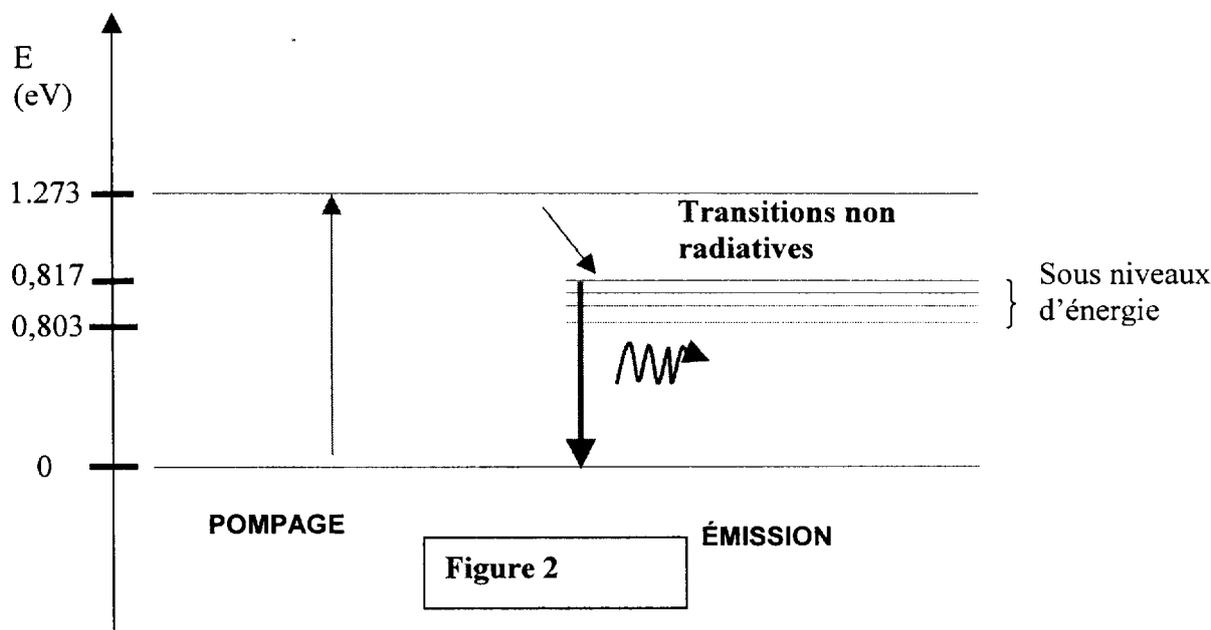
Le « MUX » est un multiplexeur qui couple le signal de pompe et le signal utile. Le « 90/10 » est un coupleur : 90% de la puissance vers le réseau de Bragg et 10% vers l'« ISO ».

L'« ISO » est un isolateur de Faraday.

1- LE MILIEU ACTIF : FIBRE DOPÉE À L'ERBIUM (4 points) :

La fibre dopée à l'erbium constitue un système à trois niveaux d'énergie. Son diagramme d'énergie est représenté figure 2 :

La transition laser s'effectue entre les niveaux (0,803 eV ; 0,817 eV) et le niveau fondamental.



1-1. Déterminer la longueur d'onde de pompe λ_{pompe} .

On donne : constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;

$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J

$c = 3,0 \times 10^8$ ms⁻¹

1-2. Le spectre d'émission possède une bande passante plus large du fait de la présence de sous-niveaux d'énergie. Déterminer les longueurs d'onde extrêmes λ_1 et λ_2 de ce spectre.

1-3. La puissance de pompe injectée dans la fibre vérifie une loi de Beer :

$$P = P_0 \exp(-\alpha L)$$

P : puissance de pompe restant dans la fibre au bout d'une distance L.

P_0 : puissance de pompe injectée dans la fibre.

α : coefficient d'absorption de la fibre à erbium. A 975 nm, $\alpha = 0,9 \times 10^{-3}$ cm⁻¹.

Calculer la longueur de fibre pour que 90% de la puissance soit absorbée.

1-4. Le spectre d'émission de la fibre dopée à l'erbium est donné figure 3.

Déterminer la longueur d'onde centrale λ_0 émise par la fibre à erbium ainsi que la largeur à mi-hauteur de la raie.

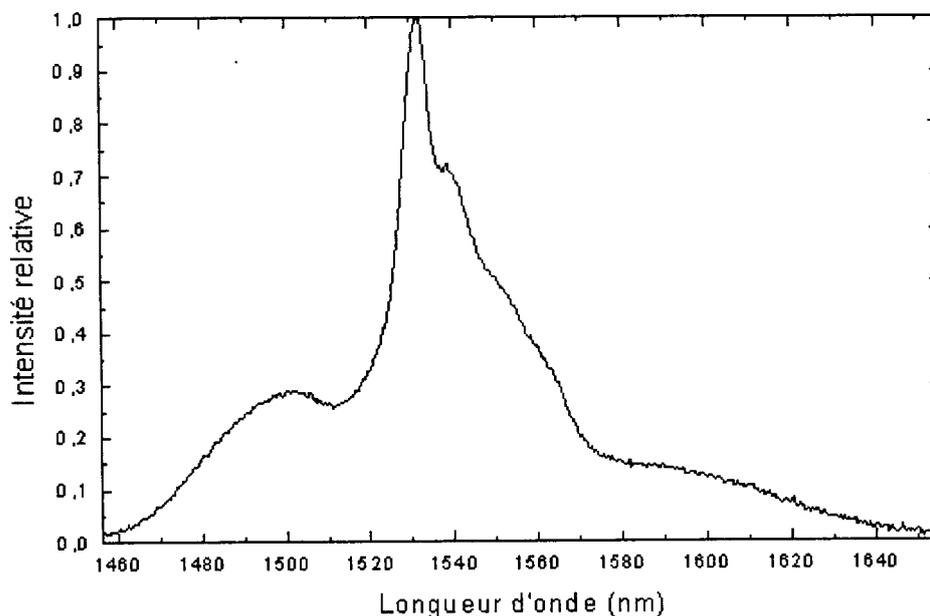


Figure 3

2- LE RÉSEAU DE BRAGG (2,5 points) :

Inscrit dans le cœur d'indice n de la fibre, le réseau de Bragg se comporte comme une succession de plans semi-réfléchissants P_i séparés du pas Λ . (figure 4)
Le rôle du réseau est de sélectionner une longueur d'onde.

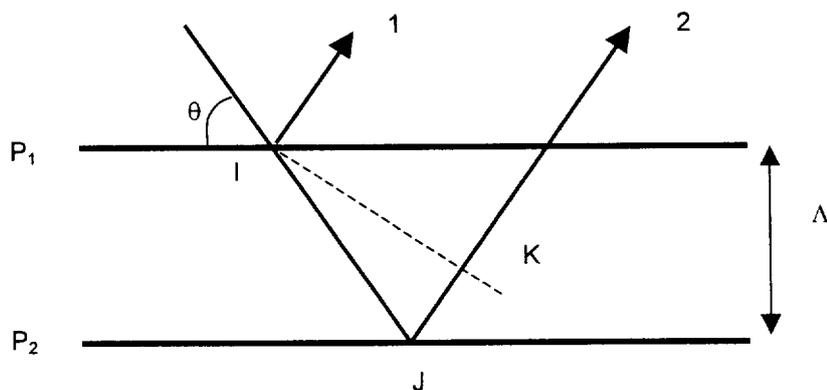


Figure 4

2-1. Montrer que le réseau de Bragg vérifie, pour les maxima de diffraction, la relation $2n\Lambda \sin(\theta) = k\lambda_0$. (k entier)

(On rappelle que $\cos(2\theta) = 1 - 2\sin^2(\theta)$).

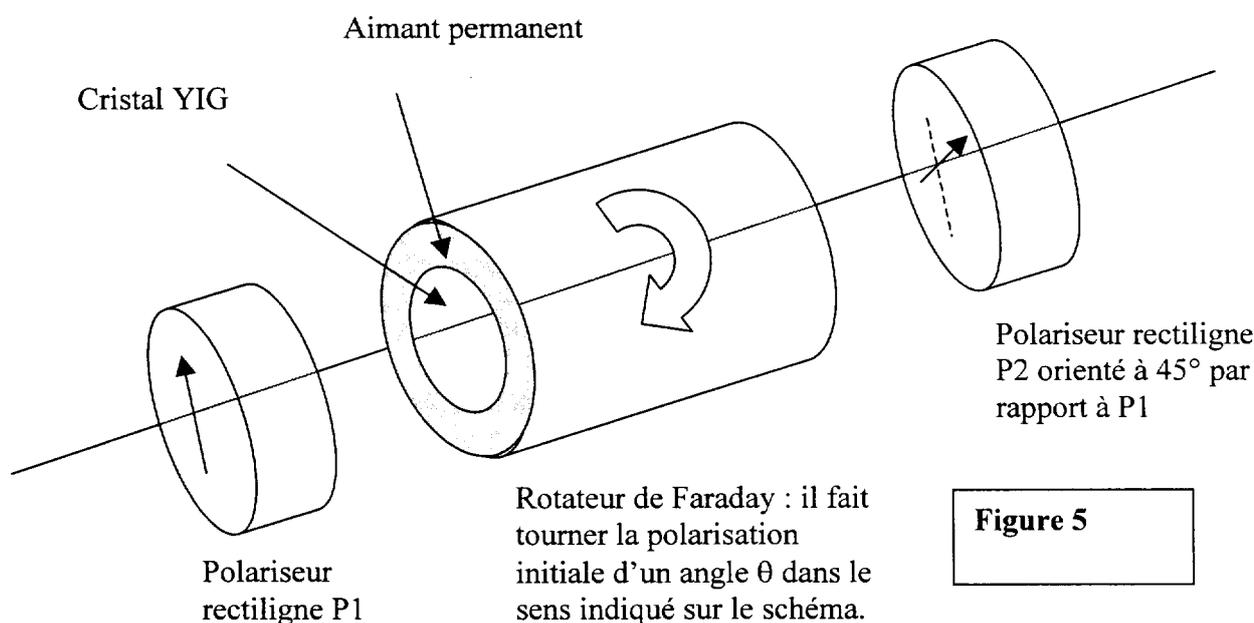
2-2. Le réseau est éclairé en incidence normale. Calculer le pas du réseau qui permet de sélectionner la longueur d'onde $\lambda_0 = 1532$ nm à l'ordre 1.
On donne l'indice de la fibre $n = 1,471$.

3- L' ISOLATEUR (3,5 points) :

Le signal de pompe a une longueur d'onde de 975 nm.

L'isolateur est un rotateur de Faraday. Il est constitué de cristal YIG qui, sous l'effet d'un champ magnétique, fait tourner, d'un angle θ , la direction de polarisation de la lumière incidente. L'angle de rotation dépend, à la fois, de l'épaisseur et de la nature du matériau utilisé, de la longueur d'onde de l'onde incidente et de la valeur du champ magnétique appliqué. Le cristal est placé entre deux polariseurs comme le montre la figure 5.

Le cristal YIG est un matériau transparent dans la gamme de longueur d'onde 1,1 μ m à 4,5 μ m.



Principe de l'isolateur de Faraday

L'angle θ vérifie la relation suivante : $\theta = V.B.L$

V : constante de Verdet, caractéristique du matériau.

B : valeur du champ magnétique appliqué suivant l'axe du cristal.

L : épaisseur du cristal YIG.

3-1. Calculer l'angle θ introduit par le rotateur de Faraday dans les conditions suivantes :

$V = 1745 \text{ rad.m}^{-1}.\text{T}^{-1}$ pour une longueur d'onde de 1532 nm

$L = 2,5 \text{ mm}$

$B = 0,18 \text{ T}$

3-2. Le rotateur de Faraday fait tourner la polarisation initiale de 45° . Dessiner les états de polarisation intermédiaires de la lumière, dans les cercles en pointillés sur les schémas de l'annexe 1, à remettre avec la copie.

Dans le premier cas la lumière se propage dans le sens « aller », dans le second cas la lumière se propage dans le sens « retour ».

3-3. Expliquer le rôle de l'isolateur Faraday à 1532 nm et à 975 nm.

B) ÉTUDE DU FAISCEAU :

1) MESURE DU DIAMÈTRE DE MODE DANS LA FIBRE DE SORTIE (5 points):

A l'intérieur de la fibre monomode de sortie, la répartition de la densité de puissance dans une section normale à l'axe de la fibre peut s'écrire

$$I(r) = I_0 e^{-\frac{2r^2}{w_0^2}}$$

où r est la distance à l'axe et w_0 le **rayon de mode** correspondant à la distance à l'axe où $I(w_0)/I_0 = 1/e^2$.

Une méthode performante consiste à effectuer une mesure en champ proche :

On fait l'image de l'extrémité de la fibre sur une matrice CCD sensible dans le proche infrarouge.

On utilise un système de deux objectifs de microscope pour l'infrarouge, représentés par les lentilles minces équivalentes L_1 et L_2 sur le schéma de la figure 6.

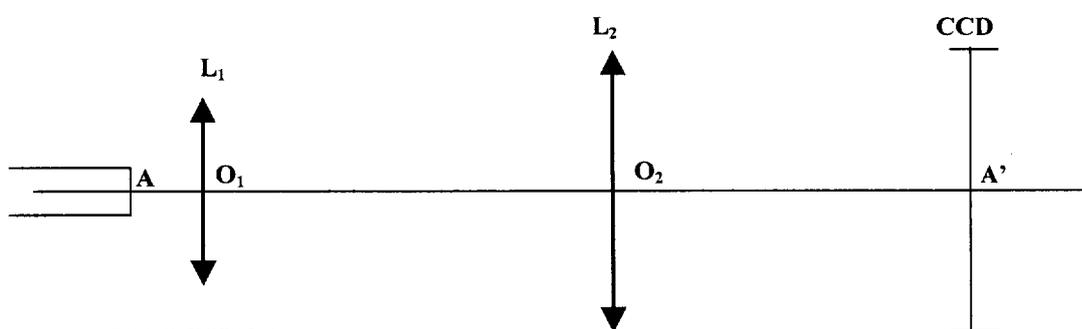


Figure 6

La lentille L_1 , représentant le 1^{er} objectif (40,0 X ; 0,65) a une distance focale $f_1 = 4,6$ mm.

La lentille L_2 , représentant le 2^{ème} objectif (10,0 X ; 0,25) a une distance focale $f_2 = 16,9$ mm.

Les deux lentilles sont distantes de $O_1O_2 = 129$ mm et la face de sortie A de la fibre est placée à 4,8 mm en avant de la première lentille.

La matrice CCD contient : 510 pixels horizontalement.
492 pixels verticalement.

Chaque pixel mesure : 12,7 μ m horizontalement.
9,8 μ m verticalement.

1.1) A quelle distance O_2A' de la deuxième lentille doit-on placer la matrice CCD ?

1.2) Quel alors est le grandissement transversal du système ?

1.3) On prendra pour la suite du problème un grandissement transversal de 230.

Calculer le diamètre maximal de la zone observée sur l'extrémité de la fibre, autour de l'axe.

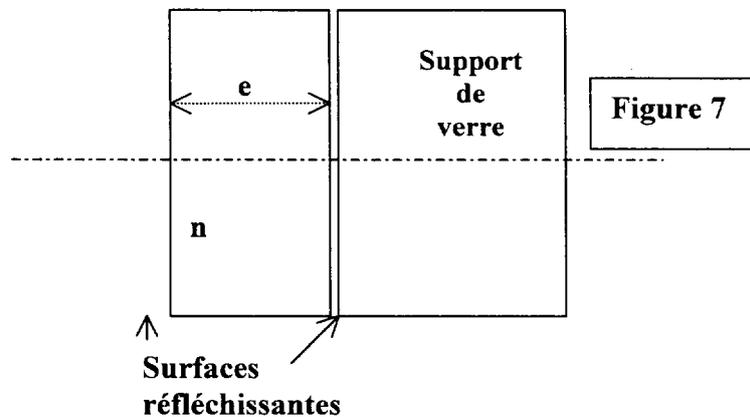
1.4) Un logiciel permet d'obtenir la répartition horizontale de la densité de puissance, I/I_{\max} sur les 510 pixels de la matrice.

Déduire de l'enregistrement fourni dans le cadre 2 de l'annexe 2 le diamètre de mode $2w_0$ dans la fibre de sortie.

2) FILTRE INTERFÉRENTIEL (5 points):

Pour s'affranchir des rayonnements pouvant perturber les mesures du diamètre de mode, on a placé un filtre interférentiel devant le capteur CCD dont la sensibilité spectrale est donnée par la courbe notée C5840-10/-11 du cadre 1 de l'annexe 2.

Ce filtre, constitué de multiples couches diélectriques, opaques pour les longueurs d'onde inférieures à 900 nm est équivalent à un interféromètre Péroth-Fabry : un milieu d'épaisseur $e = 1,06 \mu\text{m}$, d'indice effectif $n = 1,45$, placé entre deux surfaces de facteur de réflexion élevé.(figure 7)
Il est éclairé sous incidence normale.



Le facteur de transmission du filtre est donné par la fonction d'Airy $T = \frac{I_S}{I_E} = \frac{1}{1 + A \sin^2 \frac{\varphi}{2}}$

où φ est la différence de phase entre deux ondes successives, et A un coefficient dépendant du facteur de réflexion des surfaces réfléchissantes. Ici, $A = 360$.

2.1) Exprimer φ en fonction de e , n et λ . (on ne tiendra pas compte des retards de phase engendrés par les réflexions)

Donner l'allure de la courbe représentant les variations de T en fonction de φ , φ variant de 0 à 8π .

2.2) Préciser le domaine de longueurs d'onde détectables par le capteur. Calculer les longueurs d'onde transmises par le filtre qui seront détectées par le capteur CCD.

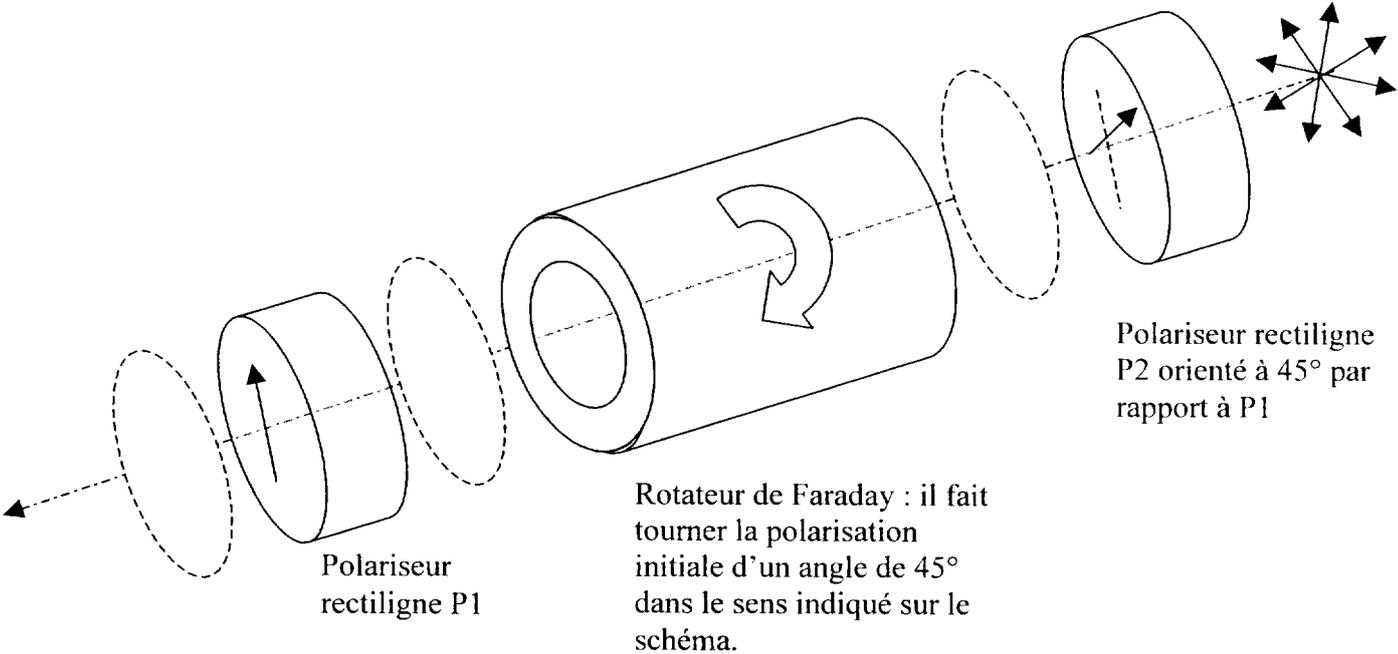
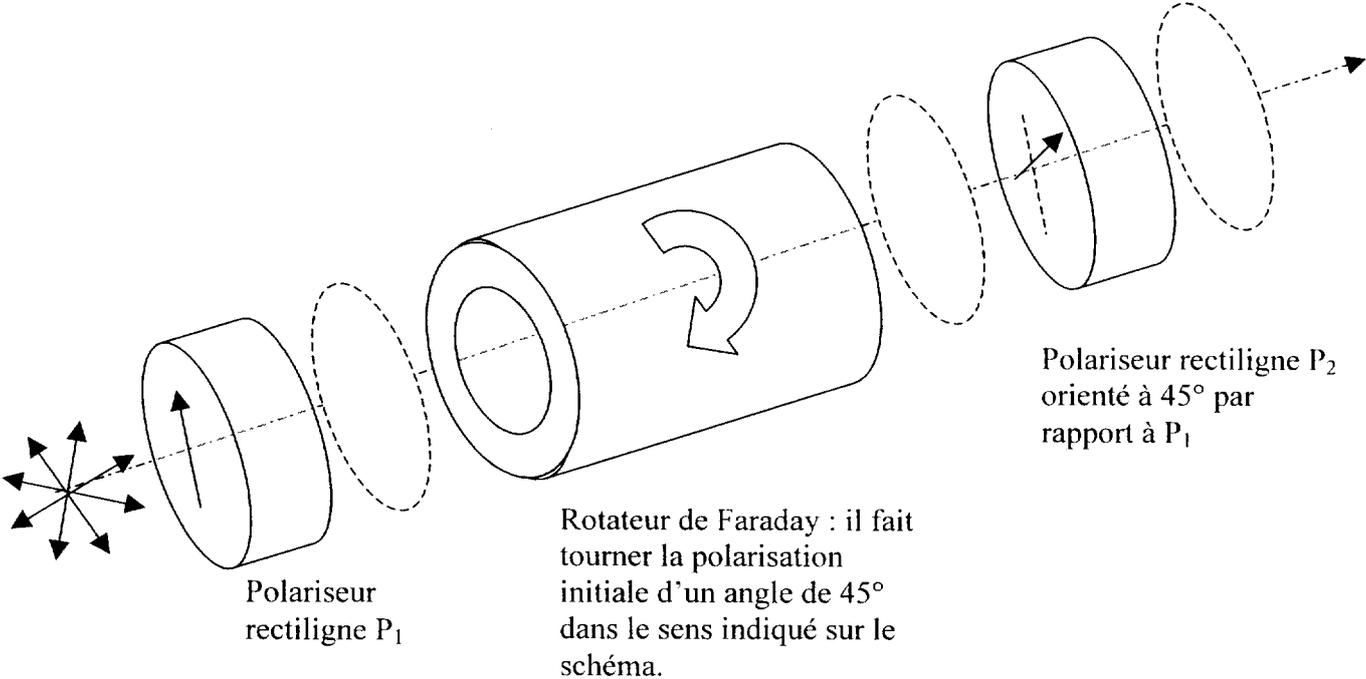
2.3) La largeur à mi-hauteur des pics de la courbe précédente est donnée par $\Delta\varphi_p = \frac{4}{\sqrt{A}}$.

Calculer la largeur $\Delta\lambda$ de la bande passante du filtre pour les longueurs d'onde détectées.

Le filtre transmet-il la lumière du laser ($\lambda_0 = 1532 \text{ nm}$) ?

ANNEXE 1
À rendre avec la copie

1^{er} cas : sens aller
2nd cas : sens retour



ANNEXE 2

