

EXERCICES DE REVISION : STRUCTURE D'UNE ONDE

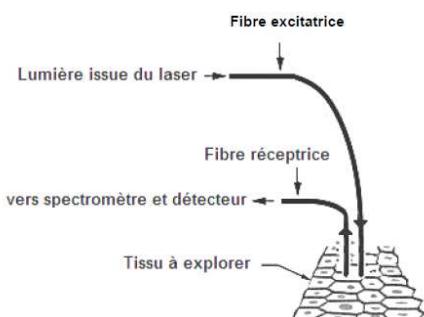
Capacités exigibles :

- Structure d'une onde électromagnétique plane
- Réflexion de la lumière
- Réfraction de la lumière
- Diffraction de la lumière
- Interférences lumineuses

Exercice 1 (La fibroscopie)

Les cellules cancéreuses se distinguent des cellules saines de plusieurs manières : en particulier, la fluorescence des cellules malades n'est pas la même que celle des cellules normales. Au laboratoire, un prototype a été développé en collaboration avec des médecins afin de pouvoir illuminer avec de la lumière UV des cellules de la vessie : la fluorescence collectée via une fibre optique permet alors de faire un diagnostic médical.

Extrait d'une brochure sur le laser www-galilee.univ-paris13.fr



La technique décrite ici se base sur la capacité qu'ont les molécules de tryptophane et de NADH (forme réduite de la nicotinamide adénine dinucléotide) d'émettre une fluorescence respectivement à 360 nm et à 440 nm lorsqu'elles sont excitées par une radiation de longueur d'onde 308 nm.

Le dessin ci-contre décrit le principe d'observation : le fibroscope utilisé est constitué d'un ensemble de fibres optiques, les fibres excitatrices et les fibres réceptrices.

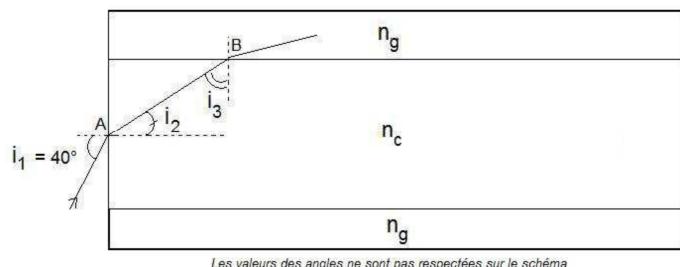
Les fibres excitatrices éclairent le tissu avec la radiation d'excitation produite par un laser.

Les fibres réceptrices guident la lumière émise par le tissu vers un spectrophotomètre puis un détecteur permettant d'enregistrer le spectre correspondant.

1. Le rayonnement laser est qualifié de lumière monochromatique. Définir ce terme.
2. La longueur d'onde de 308 nm choisie pour éclairer le tissu via la fibre optique excitatrice est-elle cohérente par rapport à l'extrait de brochure sur le laser ci-dessus ?

On s'intéresse ici au cas de la fibre à saut d'indice. Une telle fibre optique est constituée d'un cœur en verre d'indice optique n_c entouré d'une gaine d'indice optique n_g . La propagation de la lumière dans la fibre peut se modéliser par les lois de la réfraction. Le schéma ci-dessous modélise le trajet d'un rayon lumineux dans la fibre. Le cœur possède un indice n_c qui vaut 1,62 et la gaine possède un indice n_g qui vaut 1,51. On considère que l'indice optique de l'air vaut 1,00.

On s'intéresse à ce qui se passe au niveau des points A et B dans le cas où l'angle d'incidence i_1 vaut 40° .



3. Rappeler les lois de Snell-Descartes relatives à la réfraction.

4. Calculer la valeur de l'angle i_2 .

5. Montrer que l'angle i_3 a pour valeur environ 67° .

Pour que le rayon qui arrive en B reste dans le cœur de la fibre, il faut qu'il y subisse une réflexion totale.

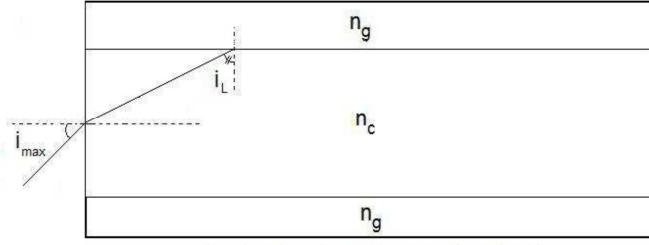
6. Expliquer pourquoi en arrivant sur le point B, le rayon lumineux arrivant avec l'incidence i_3 précédente peut passer dans la gaine.

L'angle d'incidence limite i_L en B, c'est-à-dire l'angle au-delà duquel la réflexion est totale, est alors calculé en considérant que le sinus de l'angle réfracté dans la gaine vaut 1,0.

7. Montrer que dans le cas de la fibre étudiée la valeur de l'angle d'incidence limite i_L est située entre 68 et 69°.

On définit l'ouverture numérique (ON) de la fibre comme le sinus de l'angle d'incidence dans la fibre qui engendre, dans le cœur de la fibre, un angle réfracté correspondant à l'angle limite au point B. L'angle i_{\max} définit alors le demi-angle au sommet du cône d'acceptance de la fibre. On montre mathématiquement que

$$ON = \sin i_{\max} = \sqrt{(n_c^2 - n_g^2)}$$



Les valeurs des angles ne sont pas respectées sur le schéma

8. Déterminer le demi-angle au sommet i_{\max} du cône d'acceptance de la fibre étudiée.

9. Ce résultat est-il cohérent avec la situation décrite dans les questions 4 à 6 ?

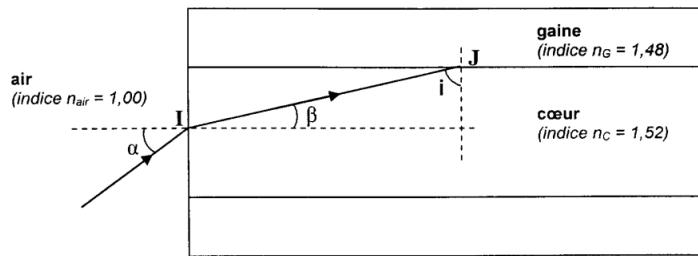
Exercice 2 (La fibre optique)

Les fibres optiques sont maintenant connues du grand public, par leurs applications en médecine (fibroscopie) ou dans la transmission de données (télécommunications, télévision, internet). À l'heure actuelle, les fibres optiques représentent plusieurs centaines de milliers de kilomètres de câbles sous-marins autour de la planète.

Cet exercice propose de rappeler le principe de fonctionnement des premières fibres, puis de comprendre une de leurs améliorations. Il comporte des questions indépendantes.

1. Fibre optique à saut d'indice

On considère une fibre optique à saut d'indice. Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction varie brusquement entre le cœur et la gaine de la fibre. Le schéma ci-dessous représente une coupe longitudinale de cette fibre optique.



1.1. Un rayon lumineux arrive sur l'interface séparant l'air et le cœur de la fibre au point d'incidence I.

1.1.1. Donner la relation liant l'angle d'incidence α , l'angle de réfraction β , l'indice de réfraction de l'air n_{air} et l'indice de réfraction du cœur n_c .

En déduire l'expression de l'angle β en fonction de α , n_{air} et n_c .

1.1.2. Calculer la valeur de l'angle β sachant que l'angle d'incidence a vaut 17,0°.

Données : $n_{\text{air}} = 1,00$; $n_c = 1,52$.

1.1.3. À quel savant est associée la relation évoquée à la question 1.1.1. ?

1.2. Le rayon réfracté au point I se propage dans le cœur de la fibre jusqu'à atteindre l'interface entre le cœur et la gaine, au point d'incidence J.

1.2.1. Sachant que les deux normales (en pointillés sur le schéma) sont perpendiculaires, donner la relation liant l'angle β et l'angle i .

1.2.2. Vérifier que l'angle d'incidence i est égal à $78,9^\circ$.

1.3. Les rayons lumineux se propagent dans une fibre optique par le phénomène de réflexion totale.

1.3.1. Rappeler pourquoi cette réflexion totale est nécessaire à la propagation correcte des rayons lumineux dans la fibre optique.

1.3.2. Indiquer la condition sur l'angle d'incidence i pour que le rayon lumineux subisse une réflexion totale au point J. Détailler le raisonnement.

On notera n_G l'indice de réfraction de la gaine.

1.3.3. On rappelle que $i = 78,9^\circ$. La condition de réflexion totale en J est-elle ici remplie ? Justifier la réponse.

Donnée : $n_G = 1,48$.

1.3.4. Pour avoir le maximum de chance qu'un faisceau lumineux se propage dans une telle fibre, faut-il essayer de le faire entrer dans la fibre avec des angles d'incidence a plutôt faibles ou plutôt élevés ?

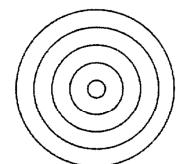
Un inconvénient de la fibre à saut d'indice est que des rayons entrant simultanément dans la fibre avec des incidences à différentes parcourent des longueurs différentes et donc ressortent à l'autre extrémité de la fibre à des instants différents. Ce phénomène limite le nombre d'impulsions lumineuses que l'on peut faire passer par la fibre chaque seconde, donc son débit.

La fibre optique à gradient d'indice permet d'avoir la même durée de parcours pour toutes les incidences à l'entrée de la fibre.

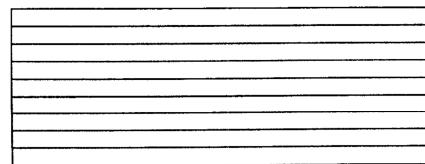
2. Fibre optique à gradient d'indice

Dans une fibre à gradient d'indice, l'indice de réfraction varie progressivement du centre vers la surface extérieure de la fibre.

On peut modéliser la fibre par un assemblage de strates concentriques d'indice de réfraction légèrement différents :

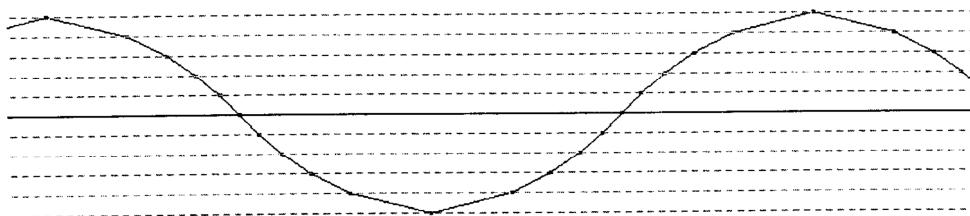


coupe transversale



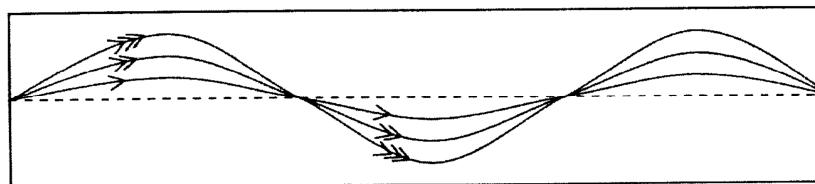
coupe longitudinale

Un rayon lumineux se propage en ligne droite dans chaque strate, il subit une réfraction à chaque changement de strate. Quand son incidence est trop élevée, il subit une réflexion totale, ce qui lui permet de rester dans la fibre, comme le montre la figure ci-dessous :



2.1. D'après la trajectoire du rayon sur la figure ci-dessus, indiquer si l'indice de réfraction des différentes strates augmente ou diminue du centre vers l'extérieur de la fibre. Argumenter la réponse.

2.2. Les rayons d'un faisceau monochromatique entrant simultanément dans cette fibre sous des incidences différentes n'ont pas la même trajectoire (figure ci-dessous).



2.2.1. Que représente l'indice de réfraction d'un milieu transparent ?

2.2.2. D'après la figure ci-dessus, les rayons parcourent donc des distances différentes dans la fibre, mais ressortent pourtant quasiment simultanément de la fibre optique. Expliquer pourquoi.