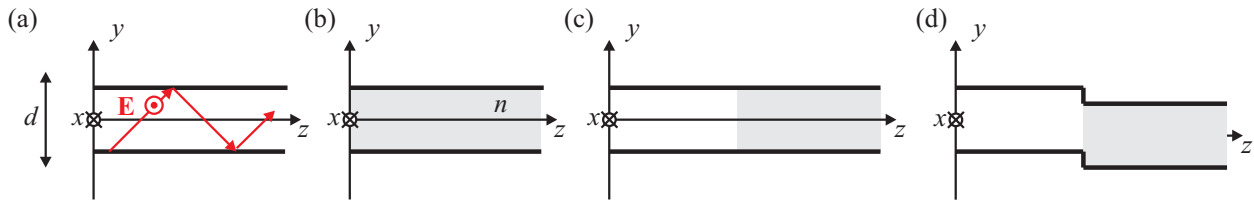


# Ingénierie optique, série d'exercices 9, du 17 novembre 2025

## Exercice 1



On considère un guide d'onde miroir planaire rempli d'air, d'épaisseur  $d = 0.8 \mu\text{m}$ , figure (a). Pour tout cet exercice, la longueur d'onde dans le vide est  $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$  et on s'intéresse aux modes transverses électriques (TE).

- Combien de modes peuvent-ils se propager dans ce guide? Justifier la réponse.
- Calculer les constantes de propagation  $\beta_m$  de ces modes.

On remplit maintenant ce même guide avec un matériau d'indice de réfraction  $n = 1.5$ , figure (b).

- Combien de modes peuvent-ils se propager dans le guide rempli de diélectrique.
- Calculer les constantes de propagation  $\beta_m$  de ces nouveaux modes.

On souhaite faire une jonction entre ces deux guides, comme indiqué figure (c).

e) Pensez vous que si le mode fondamental du guide de gauche est incident sur le guide de droite, il va pouvoir exciter un (ou plusieurs) mode(s) du guide de droite? Quelles paramètres vont déterminer qualitativement ce couplage? Quels phénomènes peuvent se produire à la jonction entre les deux guides?

f) La situation que vous avez décrite en e) change-t-elle si les guides sont décalés l'un par rapport à l'autre, comme sur la figure (d)? Discuter de façon qualitative le couplage entre les modes du premier guide et du second dans ce cas en réfléchissant à la distribution du champ électrique de chaque mode.

## Exercice 2

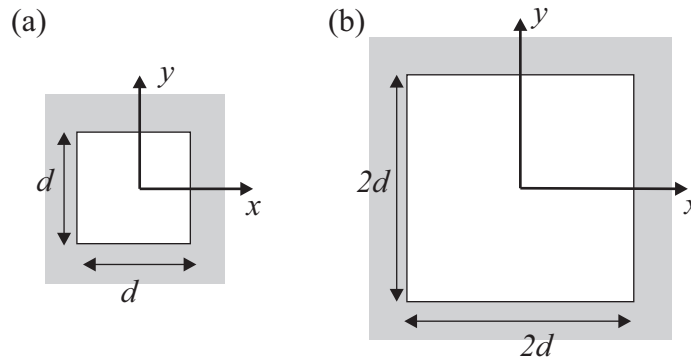
On considère un guide miroir de largeur  $d = 1 \mu\text{m}$  rempli de diélectrique d'indice  $n = 1.6$ . On travaille avec une longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 600\text{nm}$ .

- Calculer le nombre de modes TE pour ce guide à cette longueur d'onde.
- Calculer les angles de propagation  $\theta_m$  pour le premier et le dernier mode. Vérifier que le dernier mode fait plus de zig-zags que le premier mode.
- Une impulsion très brève entre dans ce guide et son énergie se distribue sur tous les modes du guide; on suppose que la vitesse de propagation de chaque mode est simplement  $c_0/n$  et pour  $c_0$  on prendra la valeur  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Calculer l'élargissement temporel de l'impulsion

durant sa propagation dans le guide en fonction de la longueur du guide  $L$  (l'élargissement temporel résulte de la différence des chemins parcourus par le premier et le dernier mode).

d) Quel est l'élargissement temporel pour  $L = 1$  km. Quelle est la fréquence de modulation maximale qui peut être transmise dans ce cas ?

### Exercice 3



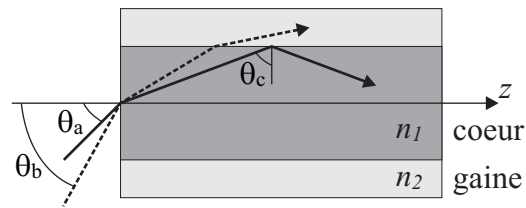
On considère les deux guides d'onde miroirs ci-dessus. Le premier a une section carrée de dimension  $d = \pi \mu\text{m}$ , figure (a). Le second a une section carrée  $2d \times 2d$ , figure (b). Dans un premier temps, les guides sont remplis d'air et on travaille à la longueur d'onde  $\lambda_0 = 2 \mu\text{m}$ .

- Faire un dessin de la distribution des modes dans l'espace  $k_x-k_y$  pour le guide (a). Indiquer sur le dessin les différents paramètres nécessaires au calcul du nombre de modes et donner leurs valeurs numériques. Donner une estimation du nombre de modes du guide.
- On souhaite que le guide (a) supporte au moins 15 modes. Faut-il augmenter ou diminuer la longueur d'onde, justifier la réponse ?
- Faire un dessin de la distribution des modes dans l'espace  $k_x-k_y$  pour le guide (b) (pour  $\lambda_0 = 2 \mu\text{m}$ ). Indiquer les différents paramètres nécessaires au calcul du nombre de modes et donner leurs valeurs numériques.
- On souhaite que les deux guides aient le même nombre de modes. Pour cela, on remplit un des guides avec un matériau diélectrique d'indice de réfraction  $n$ . Quel guide faut-il remplir de diélectrique ? Quelle doit être la valeur de l'indice  $n$  ? Est-ce que cette condition dépend de la longueur d'onde  $\lambda_0$  ?

### Exercice 4

A l'entrée d'une fibre on injecte une puissance  $P_1 = 10^{-6}$  W. Au bout d'un kilomètre on mesure une puissance  $P_2 = 10^{-7}$  W. Calculer le coefficient d'atténuation de la fibre et la puissance  $P_3$  transmise pour une longueur de fibre totale de 2.5 km.

## Exercice 5



On considère une fibre à saut d'indice avec  $n_1 = 1.5$  pour le coeur et  $\Delta = (n_1^2 - n_2^2)/(2n_1^2) = 10^{-2}$ .

En regardant la figure, on remarque que certains rayons peuvent se propager par réflexions successives sur l'interface coeur-gaine (c'est le cas du rayon incident avec l'angle  $\theta_a$ ); par contre le rayon incident  $\theta_b$  n'est pas réfléchi et ne peut donc pas se propager dans la fibre). On souhaite calculer l'angle  $\theta_{\max}$  tel que si l'angle d'incidence  $\theta$  est inférieur à  $\theta_{\max}$ , la lumière se propage dans la fibre par réflexions successives; cet angle correspond à l'ouverture numérique (NA) de la fibre. Commencer par calculer  $\theta_{\max}$  en utilisant la réfraction à l'entrée de la fibre ainsi que la condition de réflexion totale  $\theta_c$  entre l'interface coeur-gaine. Vérifier ensuite que vous obtenez la même valeur en utilisant l'approximation que nous avons vue au cours  $\text{NA} = \sin \theta_{\max} = n_1 \sqrt{2\Delta}$ .