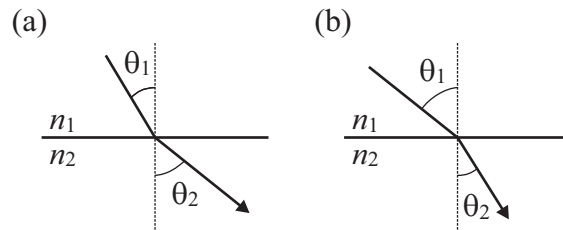
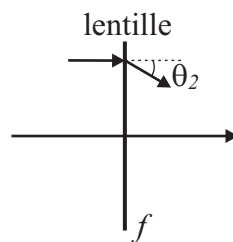


# Ingénierie optique, série d'exercices 1, du 9 septembre 2024

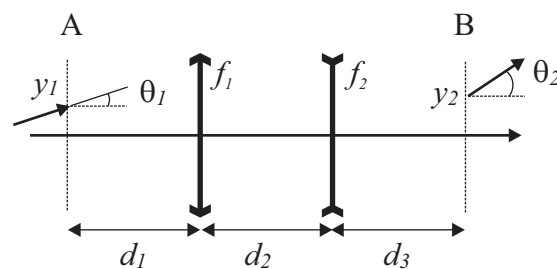
## Exercice 1 Compréhension immédiate du cours



a) On considère la réfraction de la lumière entre deux milieux  $n_1$  et  $n_2$ , selon la figure ci-dessus. Dire dans chacun des cas (a) et (b) quel est l'indice de réfraction le plus grand.

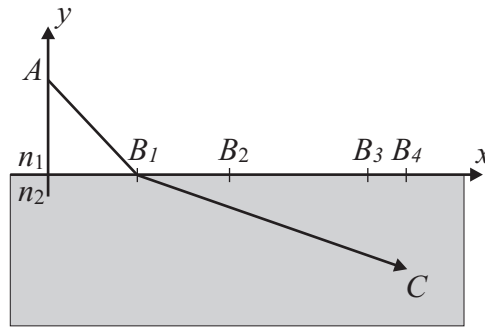


b) Un rayon lumineux se propage parallèlement à l'axe optique et arrive sur une lentille de focale  $f$  avec les coordonnées  $(y_1, \theta_1 = 0)$ ;  $\theta_1$  est nul car le rayon est parallèle. Utiliser la matrice  $ABCD$  de la lentille pour calculer l'angle  $\theta_2$  avec lequel le rayon sort de la lentille et discuter les différents cas suivant que la lentille est convergente ou divergente.



c) On s'intéresse à la propagation dans le vide d'un rayon lumineux dans le système optique ci-dessus, depuis le plan A vers le plan B. Le rayon incident est défini dans le plan A par ses coordonnées  $(y_1, \theta_1)$  et on souhaite calculer ses coordonnées  $(y_2, \theta_2)$  dans le plan B. En utilisant les matrices  $ABCD$  définies dans le cours, écrire les différentes matrices nécessaires pour calculer  $(y_2, \theta_2)$  à partir de  $(y_1, \theta_1)$ , en prenant en compte les différents éléments du système optique. Ecrire simplement les différentes matrices dans le bon ordre, ne pas calculer la matrice résultante pour l'entier de la propagation.

## Exercice 2



On a les coordonnées  $(x; y)$  suivantes pour les points dans le schéma ci-dessus :  $A = (0; 100)$ ,  $B_1 = (48.9; 0)$ ,  $B_2 = (97.7; 0)$ ,  $B_3 = (173.2; 0)$ ,  $B_4 = (195.5; 0)$  et  $C = (195.5; -100)$ . Les indices de réfraction sont  $n_1 = 1$  et  $n_2 = 4$ ; toutes les distances sont en mètres.

Calculer le temps que la lumière met pour parcourir les différents chemins  $AB_1C$ ,  $AB_2C$ ,  $AB_3C$  et  $AB_4C$ . Quel chemin prendra vraisemblablement lumière ?

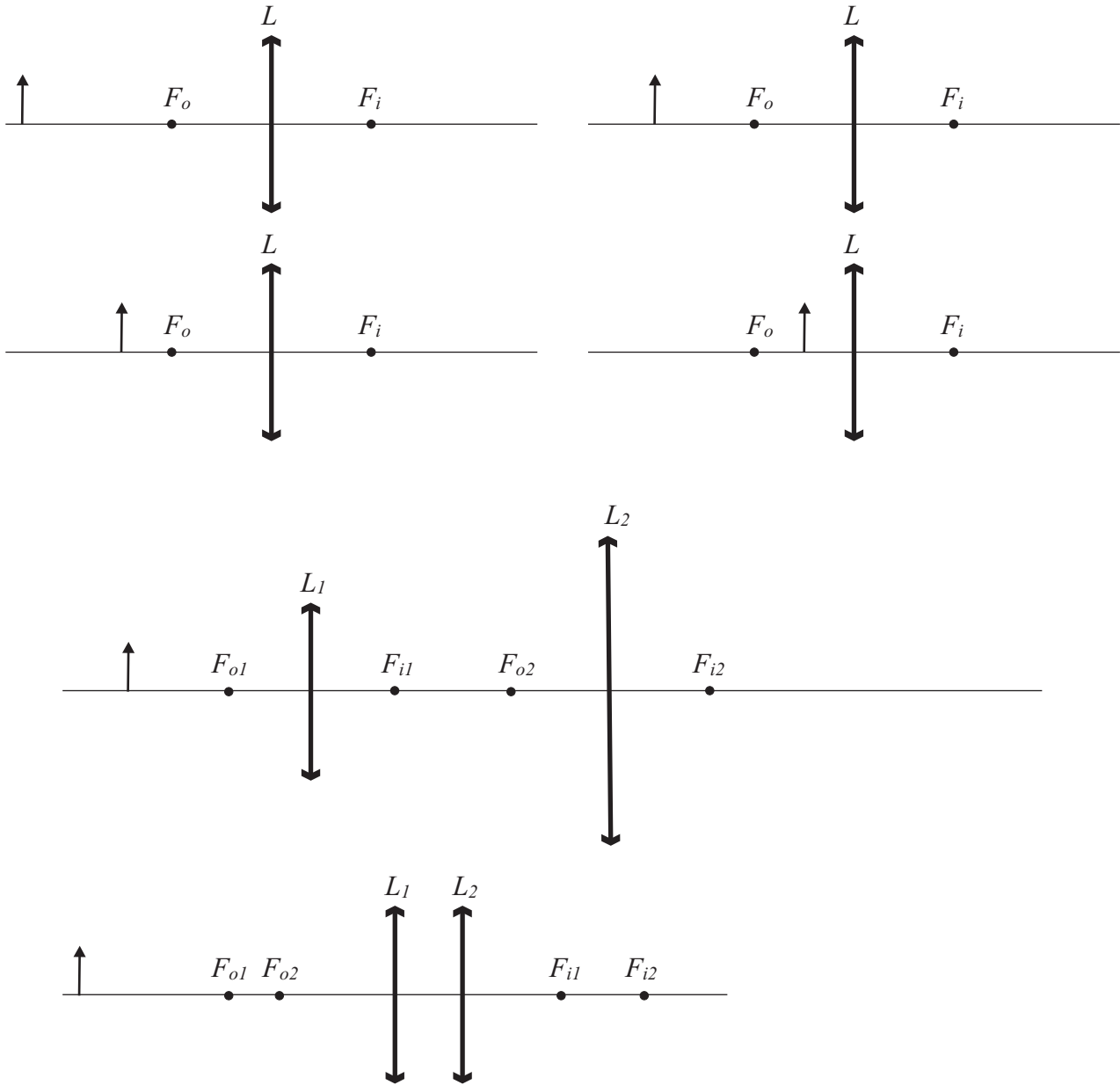
## Exercice 3

Lors d'une croisière aux Caraïbes vous profitez d'une nuit sans lune pour faire une plongée sous-marine. Vous vous trouvez à une profondeur  $h = 10\text{ m}$  et voyez dans la distance la lampe se trouvant au sommet du mat de votre voilier (hauteur du mat :  $h = 10\text{ m}$ ); votre regard se porte avec un angle  $\alpha = 45^\circ$  par rapport à l'horizontale. L'indice de réfraction de l'air vaut  $n_1 = 1$  et celui de l'eau  $n_2 = 1.3$ .

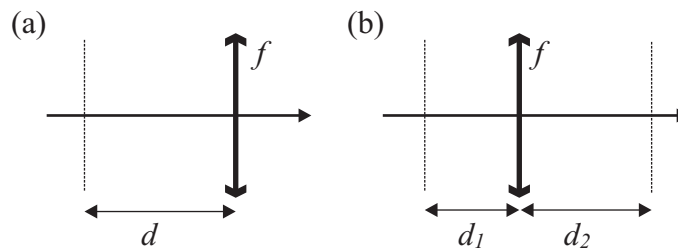
- Faire un dessin de la situation, tracer les rayons lumineux.
- A quelle distance à vol d'oiseau  $d$  vous trouvez-vous du mât de votre voilier ?
- Un collègue plonge sous le voilier et se trouve aussi à une profondeur  $h = 10\text{ m}$  à l'aplomb du mât. Vous souhaitez lui faire un signal avec votre lampe de poche ; vous pouvez évidemment pointer la lampe de poche dans sa direction, mais pouvez-vous utiliser un autre trajet lumineux pour lui faire ce signal ?

## Exercice 4

Tracer les rayons et construire les images pour ces systèmes optiques.



### Exercice 5

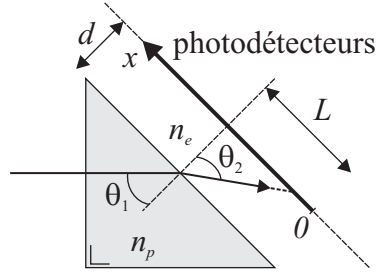


a) Montrer que la matrice de transfert pour la propagation dans l'espace libre suivie par une lentille mince est

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & d \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{d}{f} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

b) Calculer la matrice de transfert pour le système illustré Fig. (b). Montrer que si les conditions d'image sont satisfaites ( $1/d_1 + 1/d_2 = 1/f$ ) tous les rayons – quel que soit leur angle – émanant d'un point dans le plan objet rejoignent le plan image en un seul point  $y_2$ . Toujours en satisfaisant les conditions d'image, montrer aussi que si  $d_2 = f$  tous les rayons incidents parallèles sont focalisés en un seul point dans le plan image.

### Exercice 6



On considère le prisme ci-dessus fabriqué dans un matériau dont l'indice de réfraction  $n_p(\lambda_0)$  change avec la longueur d'onde de la lumière dans le vide  $\lambda_0$  :

$$n_p(\lambda_0) = n_0 + \frac{60}{\lambda_0}, \quad (2)$$

où la longueur d'onde est donnée en nanomètres et  $n_0 = 1.1$ . Le prisme forme un triangle isocèle et on considère un faisceau de lumière incident perpendiculairement sur le prisme depuis la gauche. Le faisceau est composé des trois longueurs d'ondes dans le vide suivantes  $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 500 \text{ nm}$  et  $\lambda_3 = 600 \text{ nm}$ . On place une ligne de photodétecteurs à une distance  $d = 100 \mu\text{m}$  du prisme, parallèle à la face du prisme, comme indiqué sur la figure ci-dessus. Cette ligne de photodétecteurs mesure selon l'axe  $x$  la position du rayon lumineux. La position  $x = 0$  se trouve à  $L = 188.9 \mu\text{m}$  par rapport à la normale du prisme.

- Dans un premier temps, on considère que le milieu environnant entre le prisme et le photodétecteur est de l'air ( $n_e = 1$ ). Faire un dessin pour indiquer le trajet des rayons lumineux des trois longueurs d'ondes  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$  entre le moment où ils entrent dans le prisme et ils arrivent sur le photodétecteur.
- Calculer pour chaque longueur d'onde l'angle  $\theta_2$  avec lequel le rayon émerge du prisme.
- Calculer la position  $x$  sur le photodétecteur pour chacun des rayons lumineux des trois longueurs d'ondes  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$ .
- On souhaite utiliser ce dispositif pour mesurer l'indice de réfraction  $n_e$  du milieu environnant entre le prisme et le détecteur. En effet, lorsque  $n_e$  change, la position  $x$  où arrive le rayon lumineux sur le photodétecteur change. Calculer cette position  $x$  pour chacun des rayons lumineux  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$  lorsque  $n_e = 1.1$ .
- Que se passe-t-il pour le rayon lumineux si  $n_e = n_p$  ?
- Peut-on utiliser ce dispositif pour mesurer des environnements dont l'indice de réfraction  $n_e$  est supérieur à  $n_p$ , justifier la réponse ?