DEVOIR SURVEILLÉ DE PHYSIQUE-CHIMIE N°1

Consignes générales

- L'emploi de la calculatrice scientifique est interdit.
- La plus grande importance sera donnée à la qualité de la rédaction (claire et concise) et à la présentation des résultats obtenus. Les pages doivent être numérotées (1/10, 2/10... etc) et les résultats encadrés.
- Tout résultat fourni sans justification et toute application numérique sans unité seront sans valeur.
- Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par les candidat(e)s.

I. Tracé de rayons (*Durée conseillée* : 20 min)

Soit une lentille convergente de distance focale $f' = 3\,\text{cm}$. On considère un objet AB tel que $\overline{OA} = +6\,\text{cm} > 0$ et $\overline{AB} = +3\,\text{cm}$.

1. (a) Compléter la Fig. 4a en annexe, et tracer les rayons permettant de déterminer la position de l'image $A'B'$.
   (b) Déterminer l'expression de la distance algébrique $\overline{OA'}$. Faire l'application numérique et comparer avec votre schéma.
   (c) L'objet est-il réel ou virtuel ?
   (d) L'image est-elle réelle ou virtuelle ?
2. (a) Tracer les rayons permettant de déterminer la position de l'image $A'B'$ sur la Fig. 4b en annexe. Noter les points remarquables.
   (b) L'objet est-il réel ou virtuel ?
   (c) L'image est-elle réelle ou virtuelle ?
3. (a) Tracer les rayons permettant de déterminer la position de l'image $A'_2B'_2$ à la sortie des deux lentilles L_1 et L_2 sur la Fig. 4c en annexe.
   (b) Quel est l'intérêt d'un tel dispositif ?

II. Analyse dimensionnelle (*Durée conseillée* : 45 min)

À partir du moment où l'on rentre un lingot froid dans un four chaud, la vitesse à laquelle augmente la température au centre dépend du facteur géométrique ℓ (la longueur du lingot), de la conductibilité thermique k mais aussi de l'inertie thermique dans laquelle interviennent la capacité thermique massique à pression constante c_P et la masse volumique ρ. Notons Δt la durée nécessaire pour atteindre une température donnée au centre du lingot. Cette durée doit dépendre des paramètres du système. On pose donc :

$$\Delta t = \ell^\alpha k^\beta c_P^\gamma \rho^\delta. \tag{1}$$

On donne que $c_P = \frac{1}{m}\frac{\Delta E}{\Delta T}$ avec E l'énergie du système de masse m et T sa température. La « conductibilité » thermique est donnée par $j = -k\frac{\Delta T}{\Delta x}$ avec x une longueur et j homogène à une puissance par unité de surface.

4. Déterminer la dimension de l'énergie puis en déduire celle de la puissance.
5. Montrer que la dimension de la conductibilité thermique k est $M \cdot L \cdot T^{-3} \cdot \theta^{-1}$.
6. Quelle est la dimension de la capacité thermique massique à pression constante c_P ?
7. Calculer les exposants de l'expression $\Delta t = \ell^\alpha k^\beta c_P^\gamma \rho^\delta$.
8. En déduire t sous la forme littérale la plus simple.

L'élasticité d'un solide est décrite par son module d'Young $Y = \frac{F/S}{\Delta L/L}$. Une force de traction F appliquée sur une poutre de section S, conduit à une variation relative de longueur $\frac{\Delta L}{L}$.

9. Par analyse dimensionnelle déterminer l'expression de la célérité des ondes sonores dans un solide en fonction de sa masse volumique ρ et de son module d'Young Y.
10. La loi des gaz parfaits en thermodynamique est $PV = nRT$ avec P la pression, V le volume occupé, n la quantité de matière et T la température. Établir la dimension de la constante R des gaz parfaits.
11. Dans le système SI, donner l'unité de R. Commenter.

Le modèle d'atmosphère isotherme (température indépendante de l'altitude) permet d'établir théoriquement une loi de variation de la pression atmosphérique P avec l'altitude z. Cette loi reproduit assez bien les mesures :

$$P(z) = P_0 \exp(\frac{-Mgz}{RT})$$

où g est l'accélération de la pesanteur, R la constante des gaz parfait et T la température de l'atmosphère.

12. Déterminer la dimension de P_0. Dans quelle unité s'exprime-t-elle généralement ?
13. Connaissant la dimension de R, quelle est la dimension de la grandeur M ? Dans quelle unité s'exprime-t-elle généralement ?

III. Fibre optique (*Durée conseillée* : 50 min)

Dans cette partie, les rayons lumineux sont supposés issus d'une radiation monochromatique de fréquence f, de pulsation ω et de longueur d'onde λ dans le milieu constituant le cœur.

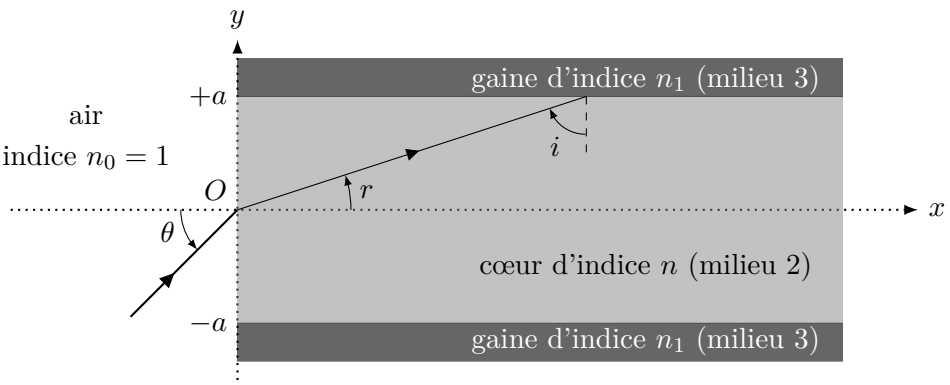


Fig. 1 Fibre optique en coupe.

14. Les différents angles utiles sont représentés sur la Fig. 1. À quelle condition sur i, angle d'incidence à l'interface cœur/gaine, le rayon reste-t-il confiné à l'intérieur du cœur ? On note i_ℓ l'angle d'incidence limite.
15. Est-ce une condition suffisante ? Justifier.
16. Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence θ est inférieur à un angle limite θ_ℓ dont on exprimera le sinus en fonction de n et n_1. En déduire que l'ouverture numérique $ON = \sin\theta_\ell$ de la fibre peut s'écrire sous la forme
$$ON = \sin\theta_\ell = \sqrt{n^2 - n_1^2}.$$
17. Donner la valeur numérique de ON avec un chiffre significatif pour $n = 1,50$ et $\frac{\Delta n}{n} = 10\%$.

On considère une fibre optique de longueur L. Le rayon entre dans la fibre avec un angle d'incidence θ variable compris entre 0 et θ_ℓ . On note c la vitesse de la lumière dans le vide.

18. Pour quelle valeur de l'angle θ, le temps de parcours de la lumière dans la fibre est-il minimal ? maximal ? Exprimer alors l'intervalle de temps δt entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de L, c, n et n_1.
19. On pose $2\Delta = 1 - \left(\frac{n_1}{n}\right)^2$. On admet que pour les fibres optiques $\Delta \ll 1$, donc $\frac{1}{\sqrt{1-2\Delta}} \simeq 1 + \Delta$ Montrer que, dans ce cas, l'expression approchée de δt en fonction de L, c, n et Δ s'écrit

$$\delta t \approx \frac{nL\Delta}{c}.$$

On conservera cette expression de δt pour la suite du problème. On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse d'une durée caractéristique $t_0 = t_2 - t_1$ formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_ℓ. La Fig. 2 ci-contre représente l'allure de l'amplitude A du signal lumineux en fonction du temps t.

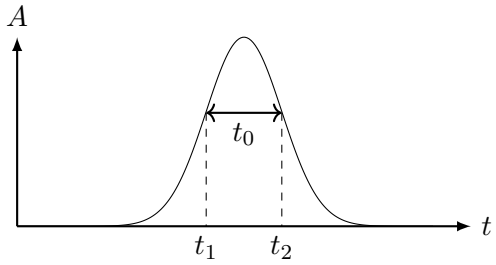


Fig. 2 Impulsion lumineuse.

20. Reproduire la Fig. 2 en ajoutant à la suite l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre. Quelle est la durée caractéristique de l'impulsion lumineuse en sortie de fibre ? Le codage binaire de l'information consiste à envoyer des impulsions lumineuses (appelées « bits ») périodiquement avec une fréquence d'émission F.
21. En supposant t_0 négligeable devant δt, quelle condition portant sur la fréquence d'émission F exprime le non-recouvrement des impulsions à la sortie de la fibre optique ?

Pour une fréquence F donnée, on définit la longueur maximale $L_{\max}$ de la fibre optique permettant d'éviter le phénomène de recouvrement des impulsions. On appelle bande passante de la fibre le produit $B = L_{\max} \times F$.

22. Exprimer la bande passante B en fonction de c, n et Δ.

IV. Détermination d'un indice (*Durée conseillée* : 20 min)

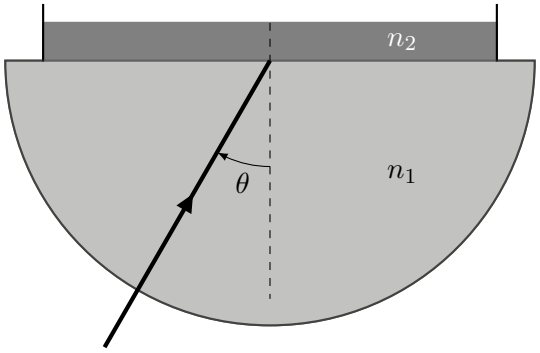


Fig. 3 Schéma du dispositif.

Un liquide d'indice inconnu d'indice n_2 est placé sur un disque hémisphérique d'indice n_1 inconnu. Un rayon lumineux pénètre dans l'hémisphère suivant une direction radiale. L'ensemble du dispositif est dans l'air d'indice $n_{\text{air}} \simeq 1$.

23. Comment peut-on déterminer n_1 avec ce montage en mesurant seulement l'angle θ ? Établir l'expression de n_1 en fonction des données. On distinguera deux situations. **Toute démarche sera valorisée.**

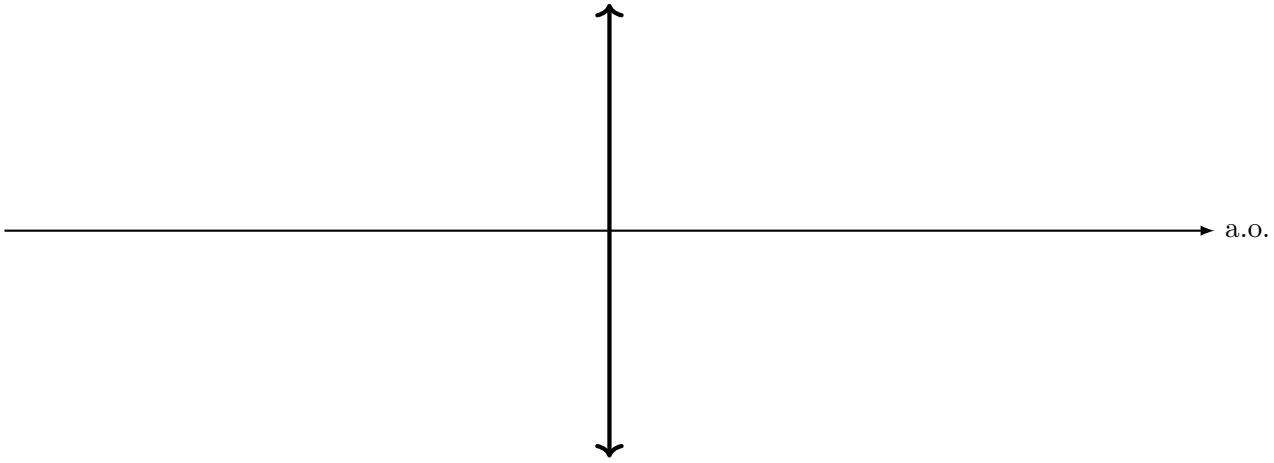
24. (Bonus) Quel club français a remporté 8 fois la Ligue des champions ?

FIN

Nom :

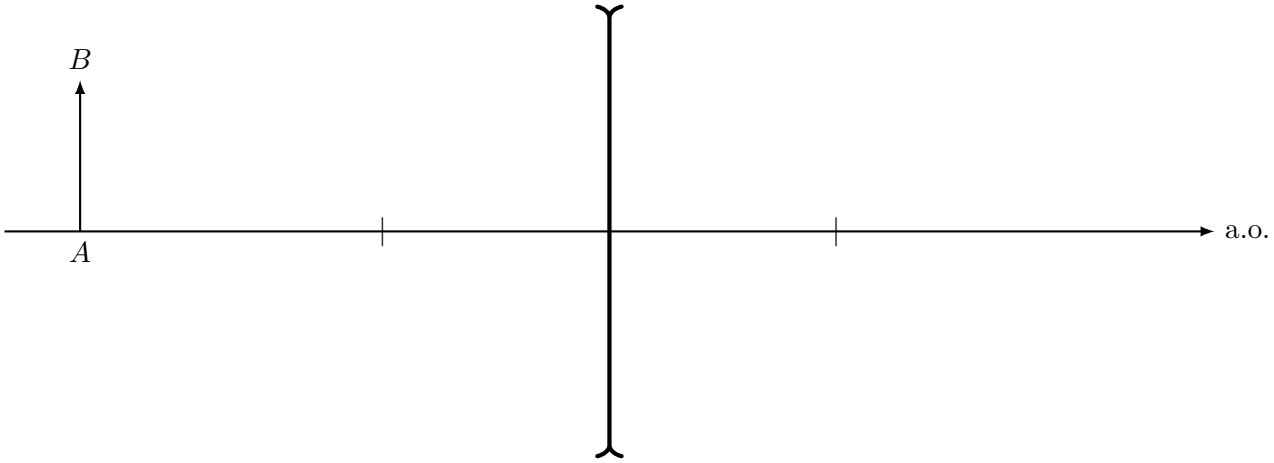
Annexe **à rendre avec la copie**

1.



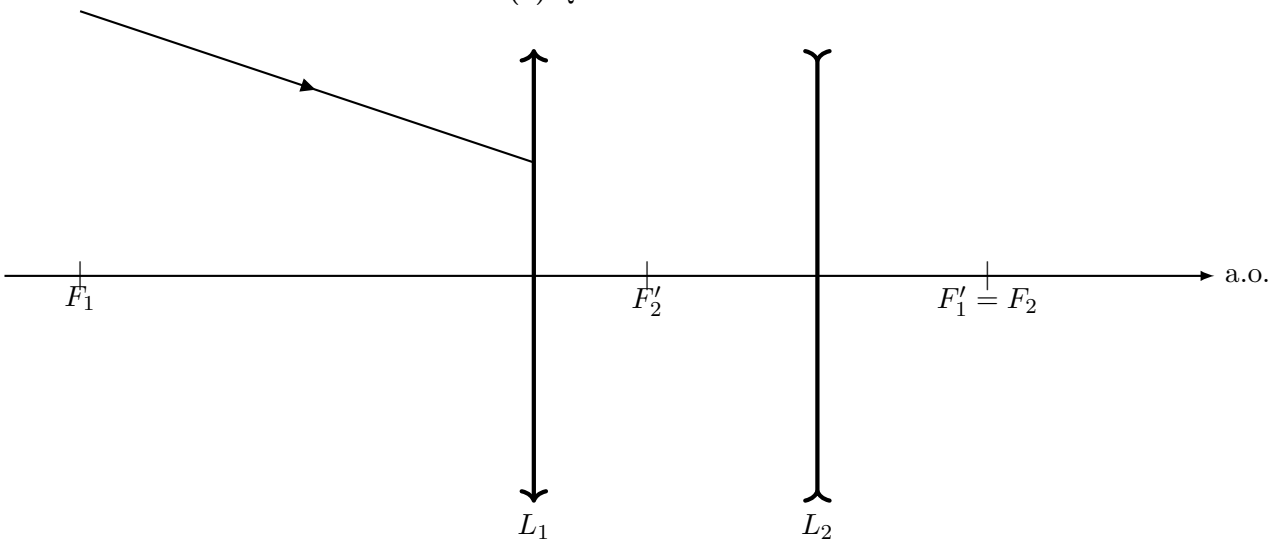
(a) Question 1.

2.



(b) Question 2.

3.



(c) Question 3.

Fig. 4 Exercice I.