

Préparation aux oraux

TD5' – Sujets CCS

1 **CCS1** : Neige artificielle

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide supposées sphériques de rayon $R = 0,2 \text{ mm}$ d'eau liquide à $T_i = 10 \text{ °C}$ dans l'air ambiant à la température $T_e = -15 \text{ °C}$.

À l'interface eau-air, le flux thermique $d\phi$ à travers une surface dS dans le sens de la normale extérieure \vec{n} est donné par la loi

$$d\phi = h(T(t) - T_e) dS$$

1. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de la température de la goutte $T(t)$.
2. Déterminer le temps t_0 mis par la goutte d'eau liquide pour atteindre la température de surfusion $T(t_0) = -5 \text{ °C}$.
3. Lorsque la goutte a atteint la température de -5 °C , il y a rupture de la surfusion : la température remonte brutalement à 0 °C et la goutte est partiellement solidifiée (phénomène également brutal). Moyennant des hypothèses que vous explicitez, calculer la fraction x de liquide restant à solidifier après la rupture de la surfusion.
4. Calculer le temps nécessaire à la solidification du reste de l'eau liquide.

Données

Coefficient conducto-convectif	$h = 65 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
Chaleur latente de changement de phase solide-liquide	$\ell_f = 333 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$c_\ell = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Capacité thermique massique de l'eau solide	$c_s = 2,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Vous introduirez au cours de l'exercice toutes les grandeurs qui vous semblent pertinentes et vous proposerez, si besoin, des ordres de grandeur pour les applications numériques.

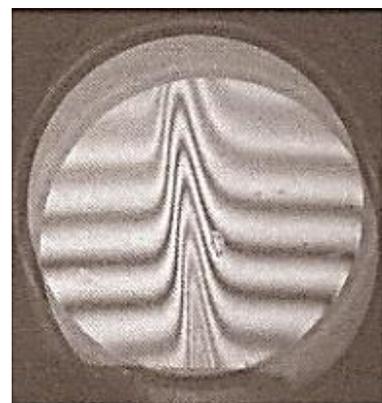
2 **CCS1** Montoloy 2022 : Mesure de l'indice optique d'un gaz

On considère un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air et éclairé avec une lampe au sodium qui émet une lumière considérée comme monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$.

On place un écran à une distance $D = 80 \text{ cm}$ du miroir (M1) et une lentille convergente entre les deux telle que le grandissement transversal $|\gamma| = 5$.

On émet un jet de gaz avec un briquet au voisinage d'un miroir.

On obtient alors sur l'écran la figure ci-contre (à l'échelle).



- 1) Décrire le montage expérimental.
- 2) Déterminer l'interfrange i de la figure d'interférences dont l'image est observée sur l'écran.
- 3) Déterminer la distance focale image de la lentille.
- 4) Déterminer l'indice optique du gaz du briquet.

Ondes dans un barreau unidimensionnel

Soit une onde longitudinale dans un barreau très long, de masse volumique ρ_0 uniforme au repos. On admet qu'au passage de l'onde longitudinale, la masse volumique dans le barreau s'écrit : $\rho(x, t) \simeq \rho_0$. La figure 1 définit les notations.

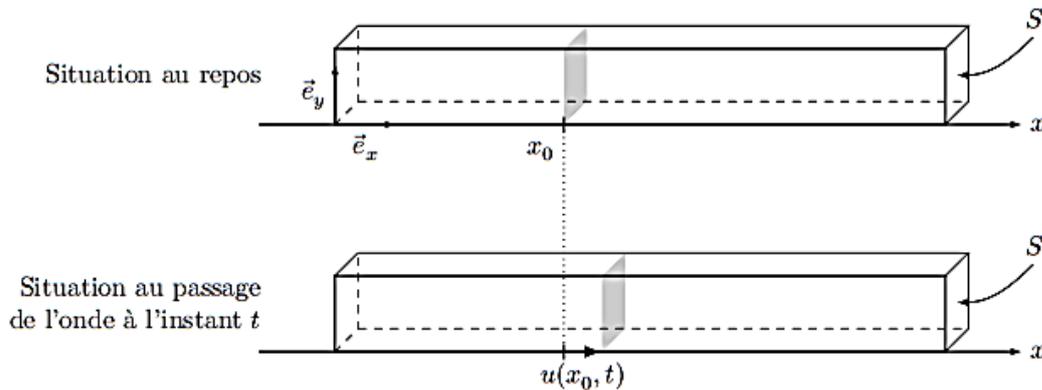


Figure 1 Déplacement longitudinal dans un barreau unidimensionnel

Les développements limités seront effectués à l'ordre 1.

- a. En une section située en x_0 à l'instant t , la partie $x < x_0$ exerce sur la partie $x > x_0$ la force

$$\vec{f}_L(x_0, t) = -(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x}(x_0, t) S \vec{e}_x$$

où λ et μ sont des constantes positives propres au matériau, appelées paramètres de Lamé. Montrer que $u(x, t)$ vérifie l'équation d'onde et donner l'expression de la célérité des ondes longitudinales (ou de compression), c_L .

- b. Un solide peut être le siège d'ondes transversales (ou de cisaillement). Localement, en une section située en x_0 à l'instant t , la partie $x < x_0$ exerce sur la partie $x > x_0$ la force

$$\vec{f}_T(x_0, t) = -\mu \frac{\partial v}{\partial x}(x_0, t) S \vec{e}_y$$

où v est le déplacement par rapport à l'équilibre du barreau selon \vec{e}_y . Par analogie avec la question précédente, donner sans démonstration l'expression de la célérité des ondes transversales (ou de cisaillement), c_T .

- c. En sismique, les ondes de compression et de cisaillement sont désignées respectivement par les lettres P et S , respectivement pour *P*remière et *S*econde. Pourquoi ?

Rai sismique

Un rai (ou rayon) sismique est aux ondes sismiques ce qu'un rayon lumineux est aux ondes électromagnétiques.

- Justifier qu'un rai sismique est perpendiculaire aux surfaces où l'amplitude de l'onde sismique prend une valeur constante. En vous basant sur l'optique, énoncer les lois de Descartes de la réfraction d'un rai sismique à l'interface plane entre deux milieux de vitesse de rai v_1 et v_2 .
- La vitesse des ondes change en fonction de la profondeur. Afin de comprendre comment cela affecte un rai sismique, on considère un rai traversant trois milieux 1, 2 et 3 de vitesses v_1, v_2 et v_3 respectivement. L'interface entre chaque milieu est sphérique, et le rai arrive sur le milieu 1 avec une incidence i_1 . Tracer la marche du rai incident (figure 2).

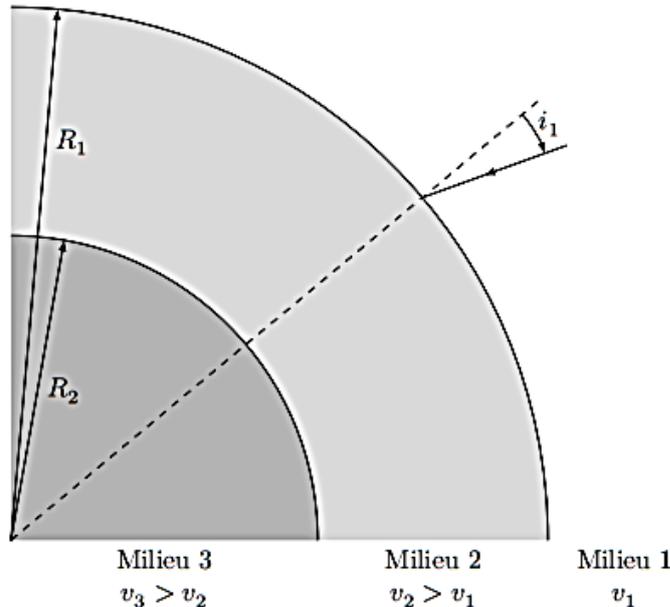


Figure 2

Montrer que la quantité $p = \frac{R_k \sin(i_k)}{v_k}$ est identique pour les deux interfaces ($k = \{1; 2\}$, i_2 est l'angle d'incidence à l'interface 2/3). p s'appelle *paramètre de rai*.

Étude documentaire

On justifiera les réponses en s'appuyant d'une part sur les résultats des questions précédentes, d'autre part sur les documents fournis.

On considère un séisme de foyer F . On appelle *épicentre* E le projeté de F sur la surface de la Terre. L'étude d'un séisme se fait notamment par deux outils.

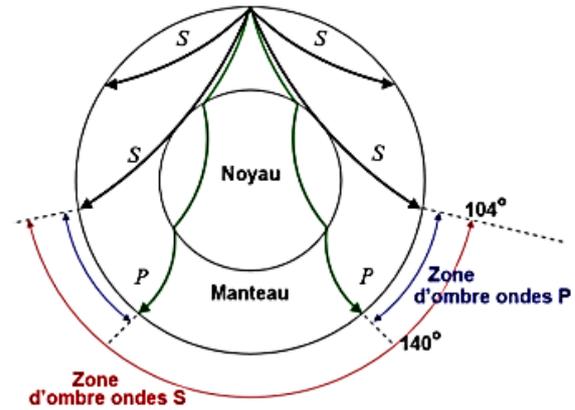
- L'hodochrone des ondes : il s'agit du graphe du temps T mis par l'onde pour arriver en un point M de la surface de la Terre en fonction de Δ , appelée distance épicentrale et définie dans le document 2.
- L'enregistrement, par une station de mesure, des ondes P et S en fonction du temps : c'est le sismogramme.

- Expliquer l'allure des rais sismiques présentés.
- Pourquoi une onde S ne se propage-t-elle pas dans le noyau ? Comment cela se traduit-il sur son hodochrone ?
- À partir des données fournies, déterminer la distance épicentrale du séisme étudié. Connait-on exactement l'emplacement de l'épicentre ?

Document 1 Modèle de la Terre à deux enveloppes

La Terre peut être modélisée en première approximation par un noyau liquide, de rayon approximatif 2900 km, entourée par un manteau solide. Dans le manteau, la vitesse des ondes P et S augmente en fonction de la profondeur. La vitesse des ondes P dans le noyau est plus faible que dans le manteau.

Du fait de la présence du noyau, il existe des zones à la surface de la Terre qui ne reçoivent pas les ondes issues d'un point donné. Ce sont des *zones d'ombre* sismiques.



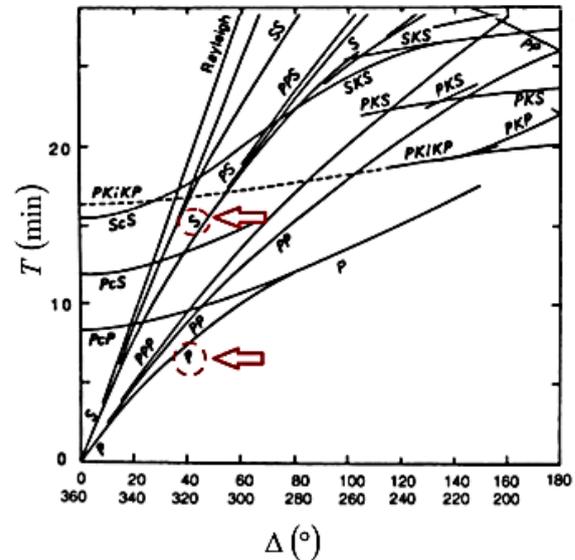
Document 2 Hodochrone

La figure ci-contre représente l'hodochrone des différentes ondes sismiques dans l'ensemble {Manteau + Noyau}.

L'abscisse du graphe est l'angle $\Delta = \widehat{EOM}$ avec : E épicentre du séisme, O le centre de la Terre, M point d'observation.

L'ordonnée est le temps T correspondant à Δ , pour un type d'onde donné.

On exploitera *uniquement* les hodochrones des ondes P et S (voir flèches).



Document 3 Sismogrammes

La figure ci-contre est un enregistrement de l'amplitude des ondes P et S en fonction du temps. Cet enregistrement a été réalisé par un sismographe situé à la surface de la Terre.

