Exemples d'épreuves orales de Physique

Concours commun Mines-Ponts

Avril 2025

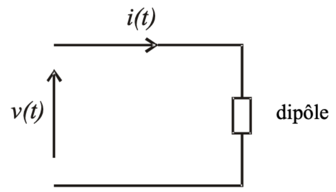
Ce document contient quelques exemples d'exercices qui peuvent être posés à l'oral de Physique.

Le déroulement de l'oral est décrit dans le règlement du concours, page 4, §1.1.3.

Le candidats sont invités à lire le rapport d'oral 2024.

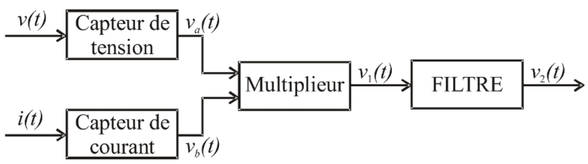
Épreuve N° 1 - Filière MP

On considère un dipôle d'impédance complexe $Z = 5 + 10j\ \Omega$ alimenté par une tension sinusoïdale $v(t) = V_{eff}\sqrt{2}\cos(\omega t)$.



On exprime le courant $i(t)$ de la façon suivante : $i(t) = I_{eff}\sqrt{2}\cos(\omega t - \phi)$.
On prendra : $V_{eff} = 230V$ et $f = 50Hz$.

1. Calculer I_{eff} et ϕ.
2. Proposer un montage permettant de réaliser un filtre passe-bas du deuxième ordre.
3. Pour mesurer $V_{eff}.I_{eff}\cos\phi$, on réalise le montage suivant :



Le capteur de tension fournit une tension image de $v(t)$: $v_a(t) = k_a v(t)$.
Le capteur de courant fournit une tension image de $i(t)$: $v_b(t) = k_b i(t)$.
Le multiplieur produit la tension : $v_1(t) = k v_a(t) v_b(t)$.
Proposer une valeur de la fréquence propre et du facteur de qualité du filtre étudié précédemment permettant d'obtenir une tension de sortie v_2 proportionnelle à $V_{eff}.I_{eff}\cos\phi$.

Épreuve N° 2 - Filière MP

Soit un milieu métallique homogène et isotrope, de conductivité γ, délimité par le plan Oxy et occupant le demi-espace $z > 0$ (approximation d'une plaque métallique épaisse). Il est le siège d'un courant sinusoïdal de pulsation ω dont le vecteur densité de courant s'écrit :

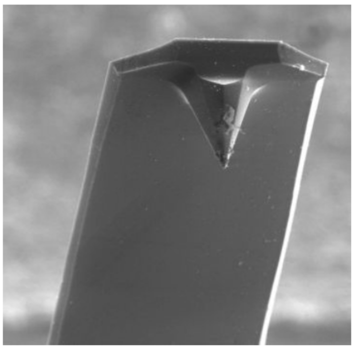
$$\vec{j}(z,t) = j_0(z)e^{-i\omega t}\ u_x.$$

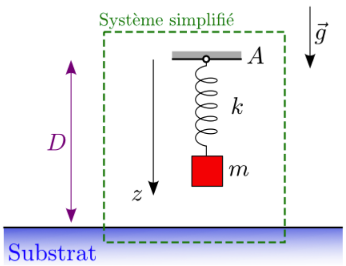
1. Écrire les expressions du champ électrique $\vec{E}$ et du champ magnétique $\vec{B}$.
2. Dans le cas de pulsations $\omega \ll \gamma/\epsilon_0$, établir l'équation différentielle satisfaite par $j_0(z)$.
3. En déduire l'expression de $\vec{j}(z,t)$ en posant $\delta = \sqrt{2/\mu_0\gamma\omega}$ dont on donnera la signification physique. Commenter l'expression obtenue. Exprimer la vitesse de phase et de groupe.
4. Calculer δ pour du cuivre ($\gamma = 6.0 \times 10^7\ \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$) et des fréquences de 50 Hz et de 1.0 MHz. L'approximation de la question 2 est-elle valable ?

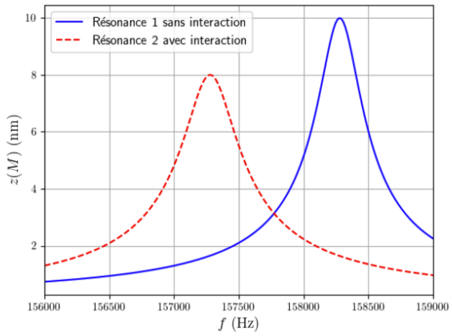
Épreuve N^o 3 - Filière MP

Le principe du MFM

Le microscope MFM (Magnetic force microscope) fait partie de la famille des microscopes de champ proche capable détecter des interactions magnétiques sur des échelles spatiales de l'ordre du nanomètre. Il est constitué d'une poutre vibrante de silicium aux dimensions micrométriques terminée par une pointe magnétique de rayon R de dimension nanométrique. Le comportement mécanique de cet ensemble est ramené à celui d'un oscillateur vertical constitué d'une masse m et d'un ressort de constante k (amorti par des frottements fluides suffisamment faibles pour que la poutre puisse osciller).



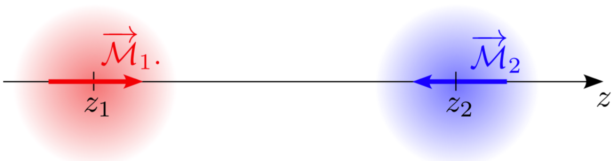




Si l'on considère une poutre, encastrée à sa base, de longueur $\ell = 100\,\mu\text{m}$ et de section rectangulaire de largeur $w = 20\,\mu\text{m}$ et de hauteur $t = 2.27\,\mu\text{m}$, pour toute petite déformation dans la direction z orthogonale à la largeur, on obtient une raideur équivalente à $k = Ewt^3/4\ell^3$.

- Masse volumique du silicium : $\rho_{Si} = 2330\,\text{kg}\,\text{m}^{-3}$.
- Module d'Young du silicium : $E = 1.79 \times 10^{11}\,\text{N}\,\text{m}^{-2}$ où E est le module d'Young lié à la rigidité du matériaux.

1. Déterminer la fréquence propre (= sans frottement) du système simplifié si A est immobile dans le référentiel galiléen d'étude.
2. Le point A est mis en mouvement harmonique par rapport au référentiel galiléen d'étude : $z_A = a_{exc}\cos(\omega t)$. Montrer qu'une résonance peut se produire si les frottements de l'air sont suffisamment faibles.
3. À l'aide de la courbe de résonance de la figure précédente(sans interaction), déterminer le facteur de qualité Q de l'oscillateur.
4. Dans un MFM, l'interaction entre la pointe et le substrat est une interaction à distance de type magnétique. Pour modéliser l'interaction, on considère deux dipôles alignés sur un axe (Oz), espacés d'une distance $z = z_2 - z_1$ de direction fixe.



   (a) Déterminer la force qu'exerce le substrat $\overrightarrow{\mathcal{M}_2}$ sur la pointe $\overrightarrow{\mathcal{M}_1}$.

   (b) Quel est l'effet d'une telle interaction sur l'oscillateur du microscope ? Quantifier cet effet dans le cas de « petites oscillations».

(c) La poutre oscille et se déplace dans un plan parallèle au substrat. Expliquer comment mesurer les interactions magnétiques.

Formulaire

- Champ créé par un dipôle magnétique de moment $\overrightarrow{\mathcal{M}}$ en coordonnées sphériques ($\overrightarrow{\mathcal{M}}$ pointe vers la direction $\theta = 0$) :

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{4\pi r^3}\left(2\cos\theta \vec{e}_r + \sin\theta \vec{e}_\theta\right)$$

- Force subie par un dipôle magnétique $\overrightarrow{\mathcal{M}}$ dans un champ magnétostatique extérieur non uniforme $\vec{B}_{ext}$:

$$\vec{F} - \overrightarrow{grad}\left(\overrightarrow{\mathcal{M}}\vec{B}_{ext}\right).$$

Épreuve N° 4 - Filière MPI

Deux cylindres verticaux de rayons R_1 et R_2, de moments d'inertie J_1 et J_2 tournent autour de leurs axes respectifs à des vitesses angulaires ω_{O1} et ω_{O2}. À $t = 0$ on met les cylindres en contact.

Déterminer les vitesses angulaires finales des deux cylindres.

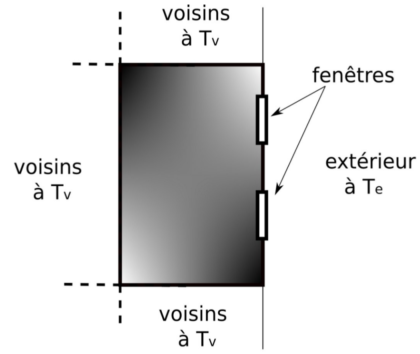
Épreuve N° 5 - Filière MPI

Alexandre vit dans une chambre d'étudiant de $18\,\mathrm{m}^2$ au 3e étage, entourée d'appartements voisins, sauf sur une façade donnant sur la rue, et percée de deux fenêtres sur balcon. Les caractéristiques physiques de son logement sont données ci-dessous.

Proposer une méthode pour estimer sa facture annuelle de chauffage électrique.

DONNÉES

Dimensions de la chambre : $L \times D = 6 \times 3 = 18\,\mathrm{m}^2$. Hauteur $H = 3.5\,\mathrm{m}$.
Murs : épaisseur $e = 25\,\mathrm{cm}$, conductivité $k = 0.9\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$.
Enduit extérieur côté rue : épaisseur $e' = 2\,\mathrm{cm}$, conductivité $k' = 0.1\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$.
Chaque fenêtre : surface $S = 1.5\,\mathrm{m}^2$, épaisseur effective $e_f = 2\,\mathrm{cm}$, conductivité effective $k_f = 0.05\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$.
Coefficient de Newton (statique) : $h = 5\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$.
Coefficient de Newton (ventilé) : $h = 20\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$.
Capacité thermique de l'air : $c = 1.3\,\mathrm{kJ\,m^{-3}\,K^{-1}}$.
Température intérieure (Alexandre présent) : $T_i = 21\,°\mathrm{C}$.
Température en cas d'absence (voisins) : $T_v = 17\,°\mathrm{C}$.
Température extérieure : $T_e = 5\,°\mathrm{C}$.
Coût de l'électricité : 0.16 euro/kWh.
Puissance émise par un adulte : $P_a = 50\,\mathrm{W}$.
Pertes thermiques par ventilation : $P_{vent} = 4\,\mathrm{W}$.



Épreuve N° 6 - Filière PC

GPS(Global Position System)

On s'intéresse au fonctionnement du système GPS (Global Position System), en particulier si la prise en compte de la dispersion due à la traversée de l'ionosphère est nécessaire pour la détermination d'une position.

L'ionosphère d'épaisseur H est peut être modélisée comme un plasma dilué globalement neutre. De plus, le plasma est suffisamment froid pour pouvoir négliger l'effet du champ magnétique d'une onde par rapport à celui de son champ électrique.

On assimilera l'espace en dehors de l'ionosphère au vide.

On s'intéresse à une onde électromagnétique plane pseudo progressive harmonique dont le champ électrique s'écrit :

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp(i(\omega t - \vec{k}.\vec{r})).$$

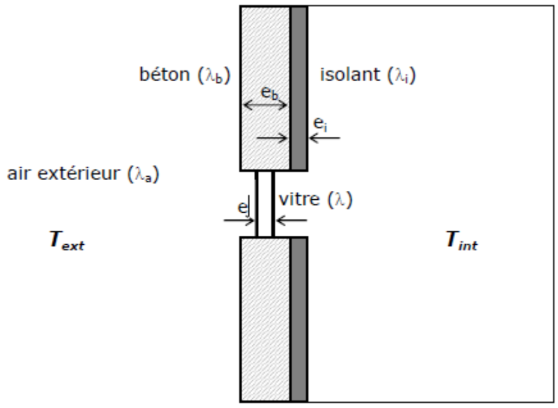
On note $f_p = \frac{\omega_p}{2\pi}$ la fréquence plasma.

1. On envoie 2 trains d'onde de fréquences f_1 et f_2 puis on mesure l'écart Δt entre leurs temps de parcours. Exprimer Δt avec $f_2 > f_1 \gg f_p$.
2. Déterminer l'erreur sur la position faite si la dispersion est négligée puis conclure.

Épreuve N° 7 - Filière PC

Isolation d'un appartement

On maintient un appartement à une température $T_{int} = 20\,°\mathrm{C}$, l'extérieur étant à la température $T_{ext} = 0\,°\mathrm{C}$. La façade extérieure de l'appartement est constituée d'une vitre (conductivité λ, surface S, épaisseur e). Et un mur de surface S_m (épaisseur e_b de béton de conductivité λ_b + épaisseur e_i d'isolant de conductivité λ_i).



On considère qu'une paroi à la température T_p, de surface S, échange par convection avec l'air à la température T_a, une puissance thermique surfacique $\phi_c = h(T_p - T_a)$ où h est le coefficient de convection. On note $h_i = 10\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$ et $h_e = 25\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$, les coefficients de convection pour la surface interne et externe de l'ensemble de la façade.

Les transferts thermiques se font en régime stationnaire et le rayonnement solaire direct n'est pas pris en compte.

Données : $e = 5\,\mathrm{mm}$, $e_b = 30\,\mathrm{cm}$, $S_m = 10\,\mathrm{m^2}$, $S = 1\,\mathrm{m^2}$.

1. Expliquer qualitativement la différence de valeurs entre h_e et h_i. Donner des ordres de grandeur pour les conductivités du verre, du béton, de l'isolant et de l'air.
2. Exprimer les pertes thermiques P_{th} de l'appartement. Donner un ordre de grandeur.
3. Calculer la température de la face intérieure de la vitre et du mur.
4. Qu'est-ce qui change avec un double vitrage : deux vitres d'épaisseur e, séparées par une épaisseur e d'air ?

Épreuve N° **8 - Filière PC**

Un tube cylindrique de section S et de longueur $2L$ (voir figures 1 et 2) est divisé en deux compartiments. Ces deux compartiments contiennent chacun n moles de gaz parfait à la température T_0. La plaque (de masse m) qui sépare ces deux compartiments est mobile sans frottement et on note X la distance de cette plaque à l'axe (Oz). Ce tube est mis en rotation à la vitesse angulaire $\overrightarrow{\Omega} = \Omega\overrightarrow{u_z}$.

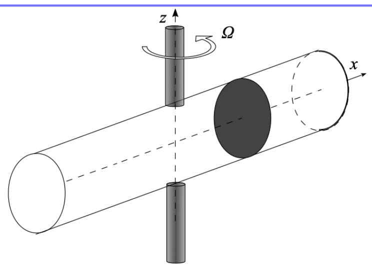


FIGURE 1

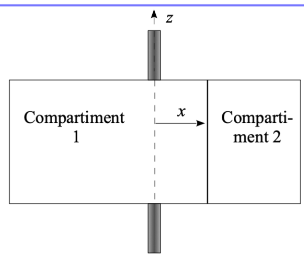


FIGURE 2 – Vue en coupe

1. On étudie l'équilibre relatif de la plaque par rapport au cylindre. Écrire l'équation donnant l'équilibre de la plaque en supposant que les gaz subissent des évolutions isothermes. On notera $x_{éq}$.

2. Déterminer la valeur de $x_{éq}$ en fonction de la valeur de Ω. On introduira une pulsation critique Ω_c. Représenter ces positions d'équilibre en fonction de Ω. Discuter de la stabilité des ces positions.
3. On suppose à présent que les gaz subissent des évolutions adiabatiques et que le régime transitoire qui amène à l'équilibre corresponde à une évolution réversible pour les gaz. Donner la nouvelle position d'équilibre.
4. On donne en figure 3 une résolution numérique de cette équation pour différentes valeurs de Ω. Quels commentaires vous suggère ce graphique. On a pris pour valeur numérique : $m = 10.0g$, $R = 8.314\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$, $T_0 = 293\,\mathrm{K}$ (température de début d'expérience), $\gamma = 1.4$ (rapport des capacités thermiques), $n = 1.0\,\mathrm{mol}$, $L = 20.0\,\mathrm{cm}$ et $S = 7.8 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^2}$.

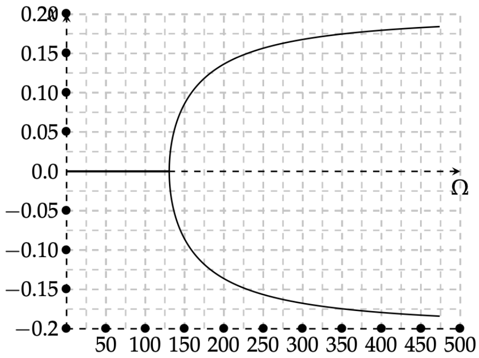


FIGURE 3

Épreuve N° 9 - Filière PSI

Mesure de conductivité thermique

On considère deux fils cylindriques identiques, de longueur ℓ très grande et de section faible, de rayon a, l'un en cuivre, de conductivité thermique connue $\lambda_{Cu} = 390\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$, et l'autre en étain de conductivité λ_{Sn} que l'on souhaite déterminer. On dépose sur les deux fils une fine ligne de paraffine sur toute leur longueur.

Les deux fils sont disposés parallèlement à l'axe (Ox), en contact thermique parfait en $x = 0$ avec un solide maintenu à la température $T_1 > T_f = 60\,°\mathrm{C}$, où T_f est la température de fusion de la paraffine.

L'air extérieur est à une température constante T_e et les transferts thermiques conducto-convectifs entre les fils et l'air suivent la loi de Newton : la puissance échangée par un élément de fil, de surface élémentaire dS et de température T, est $dP = h(T - T_e)dS$ (h étant supposé le même pour les deux fils).

Une fois le régime permanent atteint, on constate que la ligne de paraffine fond jusqu'à $x_1 = 15.6\,\mathrm{cm}$ pour le cuivre et jusqu'à $x_2 = 6.4\,\mathrm{cm}$ pour l'étain.

1. A votre avis, lequel des deux fils a la conductivité la plus grande ?
2. A quelle distance caractéristique δ faut-il comparer ℓ pour pouvoir considérer le fil comme infiniment long ?
3. Calculer numériquement la conductivité thermique de l'étain.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif : conservation du moment cinétique, conservation de l'énergie mécanique, énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Établir la conservation du moment cinétique à partir du théorème du moment cinétique. Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires. Exprimer l'énergie mécanique d'un système conservatif ponctuel à partir de l'équation du mouvement. Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective. Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective. Relier le caractère borné du mouvement radial à la valeur de l'énergie mécanique.

Épreuve N° 10 - Filière PSI

1. **Question de cours :** vous traiterez de l'extrait du programme de la classe de première ou de deuxième année suivant :
2. **Exercice d'application lié à la question de cours :** On place un aimant cylindrique (il s'agit du disque noir sur la figure 1) sous une vitre horizontale. On lance sur cette vitre une goutte de dioxygène liquide en direction de l'aimant : la figure 2 propose des chronophotographies de trajectoires de la goutte qui diffèrent suivant la valeur de la vitesse initiale V_{in} et du paramètre d'impact b.

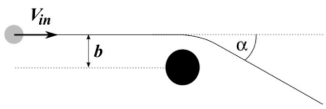
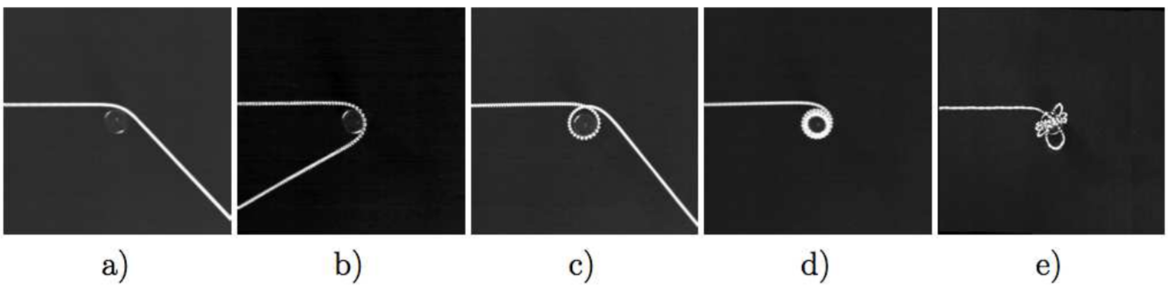


Figure 1: Notations



– Chronophotographies de gouttes d'oxygène à proximité d'un aimant, vues du dessus. L'aimant (au centre de l'image) a un rayon de 5 mm et se trouve à 2 mm en dessous de la vitre. a) V_{in} = 45 cm/s, b = 7.3 mm, α = 46°. b) V_{in} = 31 cm/s, b = 8.4 mm, α = 150°. c) V_{in} = 24 cm/s, b = 9.3 mm, α = 410°. d) V_{in} = 21 cm/s, b = 10.3 mm. e) V_{in} = 11 cm/s, b = 6 mm.

Figure 2

Question : une force d'interaction entre la gouttelette et l'aimant, de la forme,

$$\vec{f} = \frac{k}{r^7}\,\vec{e_r}$$

(coordonnées cylindro-polaires de centre O, le centre de l'aimant) permettrait-elle de rendre compte de la variété des trajectoires proposées sur les différentes chronophotographies ?

Épreuve N° 11 - Filière PSI

Nous réalisons ici une étude qualitative d'un chauffage par induction d'un cylindre métallique.

Un cylindre métallique, de conductivité électrique σ, de longueur H, de rayon R est placé à l'intérieur d'un solénoïde de grande longueur. L'axe du cylindre coïncide avec l'axe Oz du solénoïde.

Le solénoïde, caractérisé par un nombre n de spires par unité de longueur, est parcouru par un courant d'intensité $i(t) = i_0 \cos(\omega t)$. On se place dans l'ARQS.

1. Donner l'expression du champ magnétique $\vec{B}(t)$ régnant dans le solénoïde. On écrira $\vec{B}(t) = \overrightarrow{B_m}\cos(\omega t)$ et on donnera l'expression de $\overrightarrow{B_m}$.
2. On montre que les variations temporelles du champ magnétique induisent un champ électrique dans le cylindre métallique dont l'expression admise est :

$$\vec{E}(M,t) = \frac{1}{2}\, r\omega B_m \sin(\omega t)\overrightarrow{u_\theta}.$$

(a) Expliquer comment s'établit un courant dans le cylindre métallique.

(b) Déterminer la densité de courant $j(M,t)$ dans le cylindre en admettant que le cylindre est un conducteur ohmique.

(c) Quelle est la forme des lignes de courant dans le cylindre ?

3. On rappelle que la puissance dissipée par effet Joule dans un volume dV du conducteur ohmique s'écrit :

$$dP = j(M,t).\vec{E}(M,t)\, dV$$

(a) Déterminer l'expression de la puissance dP en fonction des paramètres de l'exercice.

(b) Montrer que la puissance dissipée par effet Joule dans le barreau cylindrique s'écrit :

$$P = \frac{\pi}{8}\,\sigma R^4 H \omega^2 B_m^2 \sin^2(\omega t).$$

(c) Donner l'expression de la puissance moyenne P_m dissipée par effet Joule dans le cylindre.

4. On admet que le conducteur métallique est suffisamment bon conducteur pour qu'on considère sa température $T(t)$ uniforme. Le cylindre échange par sa surface latérale S_{lat} une puissance $P_{ext} = -hS_{lat}(T(t) - T_{ext})$. T_{ext} est la température de l'extérieur du cylindre supposée constante.

(a) Justifier le signe $-$ dans l'expression précédente.

(b) Donner l'expression de S_{lat} en fonction des caractéristiques du cylindre.

(c) Etablir l'équation vérifiée par $T(t)$. On notera c la capacité thermique massique du cylindre et ρ sa masse volumique qu'on suppose indépendantes de $T(t)$.

(d) On se place en régime stationnaire. On note T_{fus} la température de fusion du métal dont est constitué le cylindre. Déterminer la relation que doit vérifier la pulsation ω pour que le cylindre atteigne sa température de fusion.