# Document de préparation à l'oral 2025

Vous allez bientôt passer un oral de physique-chimie. Épreuve exigeante, elle nécessite de l'attention tant sur le fond (connaissance du cours, raisonner rapidement et rigoureusement) que sur la forme (parler de manière fluide, audible et avec dynamisme, interagir avec l'interrogateur, bien présenter le tableau... etc).
Voici les principales modalités des épreuves de physique vous concernant. Il est fortement recommandé de lire le descriptif de l'épreuve en entier sur la notice du concours pour bien comprendre le cadre attendu.

- CCINP :

  L'épreuve orale de physique-chimie du CCINP, filières MP et MPI, se déroule de la manière suivante :

  — Entre 25 et 30 min de préparation sur table (en comptant l'installation).
  — Entre 25 et 30 min de passage à l'oral (en comptant les formalités de fin d'épreuve).

  Chaque sujet est constitué de deux exercices, sachant que les deux exercices proposés portent sur des domaines différents du programme de physique-chimie, et qu'ils peuvent être sous forme classique (académique) ou sous forme de sujet ouvert. Le but de la préparation n'est pas forcément de résoudre entièrement les exercices, mais de mettre au point une stratégie de résolution et de rassembler les éléments du cours nécessaires à leur résolution.

  La présentation orale est un moment d'échange avec l'examinateur. L'épreuve orale de physique-chimie ne peut pas être abordée comme une épreuve écrite. Certes les connaissances disciplinaires seront évidemment évaluées, mais les attentes principales résident dans l'autonomie, la prise d'initiatives du candidat et les compétences à pratiquer une démarche scientifique.

- Concours Centrale-Supélec :

  — Physique-Chimie (MP et MPI) : 30 minutes **sans préparation**.
  — Physique-chimie-Informatique (MP) : 30 minutes de passage précédées de 30 minutes de préparation. Un ordinateur avec les logiciels utiles (à prise en main immédiate) est fourni.

- Pour les autres concours, on se reportera à leurs notices, accessibles via leur site internet.

Lors des séances de préparation à l'oral, vous vous entraînerez sur des exercices posés au concours les années précédentes.

Un groupe de colle sera responsable de la préparation d'un exercice et l'un de ses membres sera susceptible de passer au tableau. Il est impératif que le groupe concernés ait bien préparé l'exercice avant le passage pour que cela soit le plus efficace possible. Dans la mesure du possible, j'essaierai de jouer à chaque fois le rôle d'un interrogateur typique (neutre) pour vous y habituer.

| Exercice | Groupe de colle Présentation |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 4 | 4 |
| 5 | 5 |
| 6 | 6 |
| 7 | 7 |
| 8 | 8 |
| 9 | 9 |
| 10 | 10 |
| 11 | 11 |
| 12 | 12 |
| 13 | 13 |
| 14 | 14 |
| 15 | 15 |
| 16 | 1 |
| 17 | 2 |
| 18 | 3 |
| 19 | 4 |
| 20 | 5 |
| 21 | 6 |
| 22 | 7 |
| 23 | 8 |
| 24 | 9 |
| 25 | 10 |
| 26 | 11 |
| 27 | 12 |
| 28 | 13 |
| 29 | 14 |
| 30 | 15 |
| 31 | 1 |

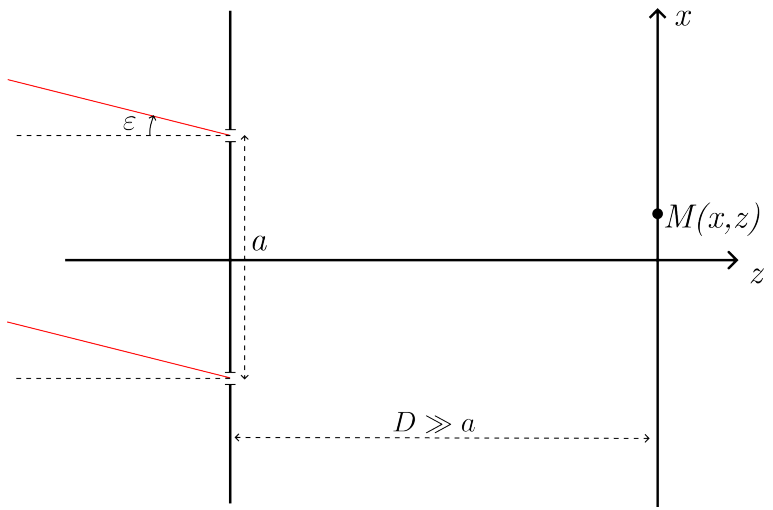
| Exercice | Groupe de colle Présentation |
|---|---|
| 32 | 2 |
| 33 | 3 |
| 34 | 4 |
| 35 | 5 |
| 36 | 6 |
| 37 | 7 |
| 38 | 8 |
| 39 | 9 |
| 40 | 10 |
| 41 | 11 |
| 42 | 12 |
| 43 | 13 |
| 44 | 14 |
| 45 | 15 |
| 46 | 1 |
| 47 | 2 |
| 48 | 3 |
| 49 | 4 |
| 50 | 5 |
| 51 | 6 |
| 52 | 7 |
| 53 | 8 |
| 54 | 9 |
| 55 | 10 |
| 56 | 11 |
| 57 | 12 |
| 58 | 13 |
| 59 | 14 |
| 60 | 15 |
| 61 | 1 |
| 62 | 2 |

| Exercice | Groupe de colle Présentation |
|---|---|
| 63 | 3 |
| 64 | 6 |
| 65 | 9 |
| 66 | 12 |
| 67 | 15 |

# Exercices de type CCINP

## Exercice 1: 2 étoiles

*Eliot M. (MP 2024)*




On considère le dispositif suivant, éclairé par une source ponctuelle à l'infini, inclinée d'un angle $\varepsilon \ll 1$ par rapport à l'axe $Oz$.

1. Calculer la différence de marche entre les deux rayons.
2. Quelle est l'expression de l'ordre d'interférence associé ?
3. Décrire la figure observée sur l'écran.

On place alors une deuxième source symétrique à la première par rapport à l'axe $z$. Les deux sources sont incohérentes.

4. Décrire et expliquer la figure observée
5. Explicitez les valeurs de $a$ (en fonction de $\lambda$ et $\varepsilon$) qui donnent une intensité lumineuse uniforme sur l'écran.
6. Application numérique : on observe deux étoiles jumelles très proches et émettant une lumière de $\lambda = 650\,\text{nm}$. On mesure pour la situation de la question précédente $a = 87{,}3\,\text{cm}$. Calculer l'angle entre ces deux étoiles.

## Exercice 2: Pompe à chaleur

*Eliot M. (MP 2024)*

On considère une pompe à chaleur domestique fonctionnant entre deux sources de température $T_c$ et $T_f$. On note $Q_c$ et $Q_f$ l'énergie thermique reçue par le fluide caloporteur de la PAC en provenance de chacune des sources.

1. Expliquer le fonctionnement d'une pompe à chaleur ditherme, préciser le sens des échanges thermiques qui ont lieu.
2. On suppose le fonctionnement réversible. Exprimer $Q_c$ en fonction de $Q_f$, $T_c$ et $T_f$.
3. La pièce à chauffer possède une mauvaise isolation et perd une puissance thermique de $\Phi = K(T_c - T_f)$. Exprimer $Q_c$ en fonction de $K$, $T_c$, $T_f$ et $\tau$ le temps écoulé en régime stationnaire.
4. Calculer l'efficacité de cette pompe à chaleur en fonction de $T_f$ et $T_c$.
5. Déterminer la puissance électrique consommée par la PAC pour maintenir la pièce à une température constante. Faire l'application numérique pour $T_f = 278\,\text{K}$, $T_c = 293\,\text{K}$ et $K = 50\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$.

## Exercice 3: Mouvement d'un électron

*Etienne F. (MP 2023)*

On se place dans un repère orthonormé $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. Soient deux plans verticaux, supposés infinis, placés en $x = a$ et $x = -a$. L'espace entre ces plans est rempli d'une charge volumique uniforme $\rho > 0$.

1. (a) Soit $M$ un point de l'espace. Déterminer les invariances et les symétries du champ $\vec{E}$.
   (b) En déduire l'expression de $\vec{E}$ et représenter graphiquement $E$ en fonction de $x$.
2. On place un troisième plan en $x = 0$. Maintenant, l'espace entre $x = -a$ et $x = 0$ est rempli d'une charge volumique $-\rho_0$ (avec $\rho_0 > 0$), et l'espace entre $x = 0$ et $x = a$ est rempli d'une charge volumique $+\rho_0$.
   (a) Déduire de Q1 les expressions de $\vec{E}$ pour $0 < x < a$ et pour $-a < x < 0$.
   (b) Déterminer ainsi $\vec{E}$ pour $-a < x < a$.
3. On lance un électron de charge $q = -e$ vers le dispositif avec une vitesse $v = \vec{v}\,\vec{e}_x$.
   (a) Décrire qualitativement le mouvement de l'électron selon qu'il arrive des $x$ négatifs ou des $x$ positifs.
   (b) Déterminer l'énergie potentielle de l'électron $E_p(x)$, et tracer son allure. Commenter.

*Sans doute d'autres questions après...*

## Exercice 4: Réactions autour de l'iode

*Etienne F. (MP 2023)*

On introduit dans une solution aqueuse de l'acide chlorhydrique, du $NaIO_3$ et de Na I, que l'on suppose tous les deux totalement solubles.
Données : $E^\circ(IO_3^-/I_2) = 1{,}19\,\text{V}$ ; $E^\circ(I_2/I^-) = 0{,}54\,\text{V}$ ; $E^\circ(I_3^-/I^-) = 0{,}53\,\text{V}$ ; $\frac{RT}{F}\ln = 0{,}059\log$. Les espèces sont totalement solubles et $Na^+$ et les anions de l'acide chlorhydriques sont spectateurs.

1. (a) Définir totalement solubles.
   (b) Donner la formule de l'acide chlorhydrique.
   (c) Donner les nombres d'oxydation de l'iode dans $I_2$ et $IO_3^-$, puis écrire l'équation de la réaction qui se produit (pour une mole d'$IO_3^-$). Calculer la constante de réaction $K_1^\circ$ associée, commenter.
2. Initialement, on a introduit 0,1 mol de $NaIO_3$, 0,1 mol de NaI et $10^{-3}$ mol d'acide chlorhydrique. A l'aide d'un tableau d'avancement, calculer la quantité d'$I_2$ produits.
3. En réalité, $I_2$ est très peu soluble, c'est donc plutôt l'espèce $I_3^-$ qui est formée. Écrire l'équation de la réaction.

## Exercice 5: Champ électrique

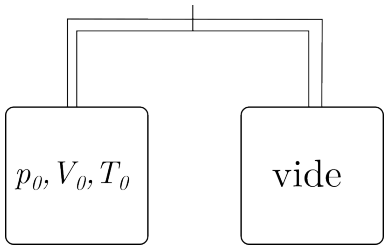
*Arthur M. (MP 2024)*
Un demi-espace $z > 0$ conducteur de conductivité $\gamma$. On considère dans ce milieu un champ complexe $\underline{\vec{E}} = E_0 \exp(-\alpha z) \exp(j(\omega t - \alpha z)) \vec{e}_x$.

1. Donner en justifiant les caractéristiques de cette onde.
2. Déterminer l'expression de $\alpha$. Que représente $\dfrac{1}{\alpha}$ ?
3. Donner le champ $\vec{B}$ associé à $\vec{E}$.
4. Calculer la valeur moyenne du vecteur de Poynting.
5. Effectuer un bilan de puissance sur une section de surface $S$ et de longueur d$z$, déterminer la puissance Joule moyenne dissipée par unité de volume.
6. Retrouver le résultat à l'aide de la loi d'Ohm locale.

## Exercice 6: Interaction entre deux dipôles

*Margot M. (MP 2024)*

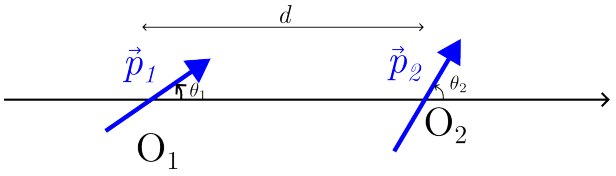
1. Rappeler les hypothèses du gaz parfait.
2. Soit une détente de Joule et Gay-Lussac (adiabatique). Prouver que l'énergie interne initiale est égale à l'énergie interne finale. Que peut on dire de plus si le gaz est parfait ?




3. En coordonnées sphériques, on rappelle le champ électrique crée par un dipôle à grande distance :

$$\vec{E} = E_r \vec{e}_r + E_\theta \vec{e}_\theta$$

Avec $E_r = \dfrac{2qa\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$ et $E_\theta = \dfrac{qa\sin\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$
On a la situation suivante avec $\vec{p_1}$ et $\vec{p_2}$ deux dipôles.

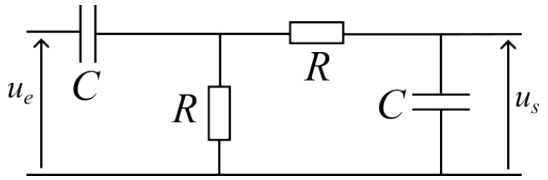



Quelle doit être la valeur de l'angle $\theta_1$ pour que le champ en $O_2$ soit maximal ?

4. Dans cette configuration, quel doit être l'angle $\theta_2$ pour que le dipôle soit stable ?
5. Une augmentation de $d$ augmente ou diminue-t-elle la valeur de l'énergie potentielle ?
6. La détente d'un gaz de Joule et Gay-Lussac constitué de molécules polaires s'accompagne-elle d'un refroidissement ou d'un réchauffement de ce gaz ?

## Exercice 7: Filtrage

*Eliott C. (MPI 2023)*
On considère le filtre suivant :




1. A l'aide d'une étude du comportement asymptotique du filtre ci-dessus, déterminer la nature de celui-ci.
2. On pose $\underline{H} = \dfrac{\underline{u_s}}{\underline{u_e}}$. Déterminer $\underline{H}$ et la mettre sous la forme : $\underline{H} = \dfrac{A}{1 + jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}$
3. Tracer l'allure de $|\underline{H}|$ en justifiant. Justifiez qu'il existe une résonance en tension.
4. Tracer l'allure du diagrammme de Bode en amplitude, en justifiant les pentes asymptotiques en basses et hautes fréquences.

**Exercice 8: Deux cylindres imbriqués**

*Louis D. (MPI 2023)*

On considère deux cylindres imbriqués l'un dans l'autre, chargés en surface, de rayons et potentiels respectifs $a$ et $V_1$ puis $b$ et $V_2$. Un courant $I$ constant parcourt le cylindre intérieur, et un courant $-I$ parcourt le cylindre extérieur.

1. (a) Étudier les symétries du champ $\vec{E}$.
   (b) En appliquant le théorème de Gauss, déterminer l'expression de $\vec{E}$ entre les cylindres en fonction de $a$, $b$, $V_A$, $V_B$ et $r$.
2. Déterminer l'expression de $\vec{B}$ dans tout l'espace.
3. (a) Calculer le flux du vecteur Poynting sur une section orthogonale à l'axe des cylindres.
   (b) Interpréter le résultat.

**Exercice 9: Quanton dans un puits de potentiel**

*Louis D. (MPI 2023)*

On étudie un quanton dans un puits de potentiel infini de taille $a$.

1. (a) Dessiner sans démonstration l'allure des fonctions d'onde avec $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$.
   (b) Déterminer les expressions des 3 longueurs d'onde associées.
   (c) En déduire la quantité de mouvement et l'énergie du quanton dans chaque état.
   (d) En déduire les expressions de tous ces paramètres au rang $n$.
2. Retrouver ces résultats en partant de l'équation de Schrödinger.

**Exercice 10: Paradoxe de l'isolant**

*Victor B. (MPI 2023)*

On considère un barreau cylindrique rempli d'eau. On l'isole par l'extérieur. On remarque que :

— Pour un bon isolant, plus l'épaisseur d'isolant est importante, plus les pertes thermiques seront faibles.

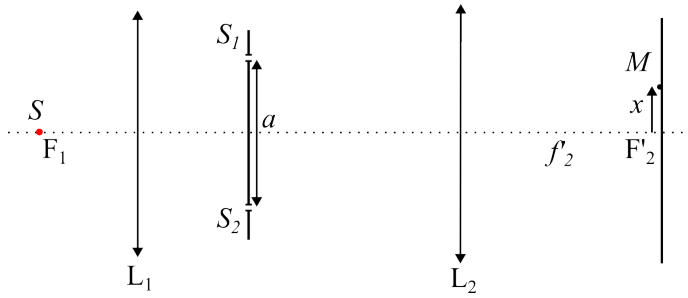
— Pour un mauvais isolant, au début plus l'épaisseur d'isolant est importante plus les pertes thermiques seront importantes puis à partir d'une certaine épaisseur les pertes thermiques commencent à diminuer.

Expliquer.

Données : $\lambda(\text{laine de verre}) = 3\times10^{-2}\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, $\lambda(\text{caoutchouc}) = 0{,}16\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, $h = 10\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (pour la formule de Newton)

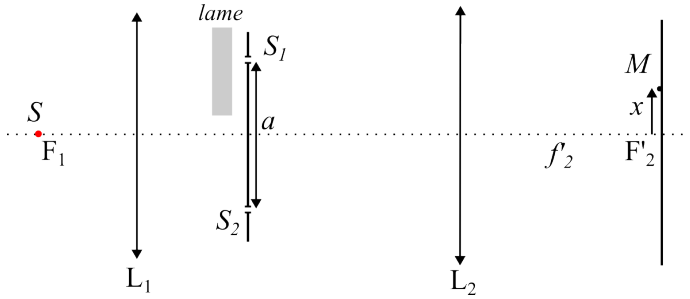
**Exercice 11: Optique interférentielle**

*Victor B. (MPI 2023)*




La source monochromatique ($\lambda = 650\,\text{nm}$) est située sur le foyer objet de la première lentille et l'écran sur le foyer image de la deuxième lentille.

1. Calculer l'intensité sur l'écran $I(x)$ et l'interfrange.
2. On place une lame de verre d'épaisseur $e = 0,5\text{mm}$ d'indice $n = 1,5$ entre la première lentille et le trou supérieur.




   De combien de franges se déplace la frange en F (centre de l'écran) ?
3. On incline la lame de verre d'un angle $i$, ce qui rajoute $ne(\dfrac{1}{\sqrt{1-n^2\sin^2 i}}-1)$ à la différence de marche par rapport au cas où la lame est droite. Sachant qu'on sait observer des décalages sur l'écran d'au plus 0,1 frange, à quelle précision peut-on détecter la position angulaire de la lame au voisinage de $i = 0$ ?

**Exercice 12: Cycle moteur**

*Tom M. (MPI 2023), Edouard B. (MP 2024)*

Un moteur transforme un gaz parfait selon le cycle de Lenoir, constitué des trois étapes suivantes :

— $1 \to 2$ : combustion isochore du gaz

— $2 \to 3$ : détente adiabatique réversible

— $3 \to 1$ : retour à l'état initial de manière isobare

Initialement, le gaz est à la température $T_1 = 300\,\text{K}$ et à la pression $p = 1$ bar. On note $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v} = \dfrac{7}{5}$ et $\beta = \dfrac{p_2}{p_1}$.

1. Représenter le cycle moteur de Lenoir dans un diagramme $(p, V)$ en justifiant.
2. Déterminer $T_3$ en fonction de $T_2$, $\beta$ et $\gamma$.
3. Déterminer $Q_{i\to j}$ pour toutes les étapes.
4. On admet que lors de la transformation $1 \to 2$, l'énergie thermique reçue par le gaz peut être modélisée comme un échange avec un thermostat à la température $T_2$. En faisant un bilan d'entropie sur la transformation $1 \to 2$, déterminer si celle-ci est réversible.

   Données : $\forall x > 0, \ln(x) < x - 1$, pour un gaz parfait on a $S(T, V) = \dfrac{nR}{\gamma - 1}\ln(T) + nR\ln(V)$
5. Déterminer le rendement de ce moteur en fonction de $\beta$ et $\gamma$. Faire l'application numérique pour $\beta = 5$.

## Exercice 13: 2 bobines...

*Pierre T. (MPI 2023)*

On considère deux bobines identiques, de résistance interne $r$ et d'inductance propre $L$. On note $A_1$ et $B_1$ les bornes de la première bobine et $A_2$ et $B_2$ les bornes de la deuxième bobine.

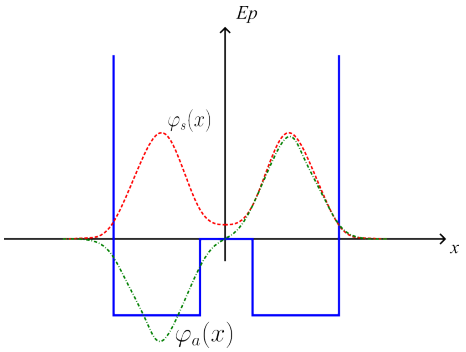
On connecte une borne d'une des bobines à une borne de l'autre, et on ferme le circuit en branchant un RLC-mètre (appareil capable de mesurer au choix la résistance, l'inductance ou la capacité du circuit à ses bornes) sur les bornes restantes.

1. Les deux bobines sont éloignées l'une de l'autre. La valeur lue sur l'ohm-mètre dépend elle des bornes choisies ? Même question pour l'inductance-mètre.
2. On rapproche les bobines l'une de l'autre. La valeur lue sur l'ohm-mètre dépend-elle des bornes choisies ? Même question pour l'inductance-mètre.

## Exercice 14: Transitions quantiques dans une molécule d'ammoniac

*Pierre T. (MPI 2023)*

On considère une molécule d'ammoniac. On admet que son comportement équivaut à celui d'un quanton placé dans un potentiel de forme ci-contre.




Les deux états stationnaires de plus basses énergies du quanton dans ce puits sont notés par $\varphi_s(x)$, d'énergie $E_s$, et $\varphi_a(x)$, d'énergie $E_a > E_s$. On donne si après l'allure de ces fonctions d'ondes. On rappelle l'équation de Schrödinger à une dimension :

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x)$$

1. A $t = 0$, le quanton est préparé dans l'état tel que $\Psi(x, t = 0) = \varphi_a(x)$. Quelle est l'expression de $\Psi(x, t)$ ? Pourquoi qualifie-on cet état d'état stationnaire ?
2. On prépare maintenant le quanton dans l'état $\Psi(x, t = 0) = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(\varphi_s(x) + \varphi_a(x))$.

   Montrer que la densité de probabilité de présence effectue des oscillations à une fréquence à définir, et décrire qualitativement l'évolution de la fonction d'onde et de la probabilité de présence au cours d'une période d'oscillation.

## Exercice 15: Flûte et clarinette

*Lenny T. (MP 2023)*

On suppose que les instrument à vents constituent une cavité. Lorsqu'un extrêmité de la cavité est fermée (resp. ouverte), on admet que cela correspond à un ventre (resp noeud) de pression pour l'onde sonore stationnaire dans le tuyau.
Une flûte a ses deux côtés fermés, alors qu'une clarinette a un côté fermé et l'autre ouvert.

1. Représenter l'onde pour une flûte (fondamental et premiers harmoniques)
2. Trouver la longueur $L$ de la flûte en fonction de $f_{1,\text{flute}}$ et de $c$, célérité du son dans l'air.

   Faire l'application numérique avec $f_{1,\text{flute}} = 330\text{Hz}$ et $c = 340\text{m/s}$
3. Représenter l'onde pour une clarinette (fondamental et premiers harmoniques)
4. Sachant que la longueur de la clarinette est presque égale à la longueur de la flûte, trouver $f_{1,\text{clarinette}}$. Lequel de ces deux instrument sonne le plus grave ?

## Exercice 16: Potentiel de Yukawa

Le physicien japonais Hideki Yukawa (Prix Nobel 1949) a postulé une forme de potentiel pour traduire les interactions entre particules dans le noyau atomique. On étudie ici ce potentiel comme s'il s'agissait d'un potentiel électrostatique. Une distribution de charges à symétrie sphérique crée, à une distance $r$, un potentiel électrostatique de la forme :

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}\exp\left(-\frac{r}{a}\right)$$

$Q$ et $a$ étant des constantes positives.

1. Déterminer les unités de $Q$ et $a$.
2. Déterminer le champ électrique correspondant.
3. En déduire la charge $q(r)$ contenue dans une sphère de centre O et de rayon $r$.
4. Déterminer $q(r)$ dans les deux cas extrêmes : $r$ tend vers zéro et $r$ tend vers l'infini. En déduire qualitativement la nature de la distribution de charge et donner une interprétation de $a$.
5. Déterminer la densité volumique de charge $\rho(r)$.

**Exercice 17: Photographie d'un sprinter**

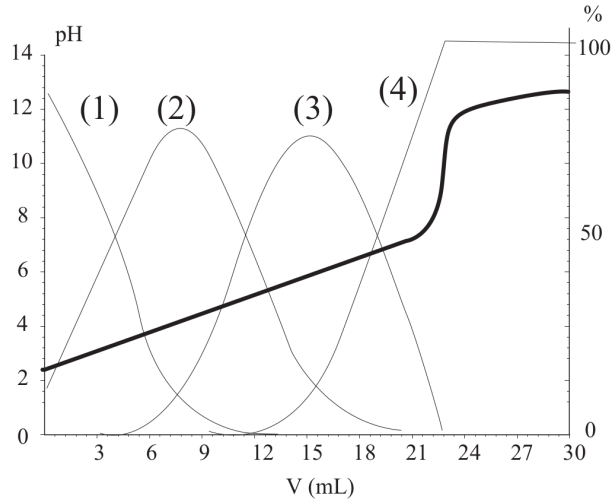
On considère un appareil photo dont l'objectif est assimilé à une lentille mince de distance focale $f_0 = 38$ cm. Le capteur de l'appareil photo est constitué d'une multitude de pixels carrés de côté $a = 30\,\mu$m. Un sprinteur courant dans une direction perpendiculaire à l'axe optique passe à la distance $d = 30$ m de l'objectif (on suppose que la mise au point de l'appareil photo est correctement effectuée) à une vitesse $v = 36\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Quel doit être le temps de pose de l'appareil pour que la photo soit nette ?

**Exercice 18: Dosage de l'acide citrique**

Pour doser l'acide citrique (ici désigné sous la forme $H_3A$) dans un soda, le mode opératoire suivant est utilisé : « A l'aide d'une trompe à eau, dégazer environ 80 ml de soda en créant une dépression au dessus du liquide constamment agité, pendant une dizaine de minutes. Prélever alors exactement 50 ml de soda, les verser dans un erlenmeyer. Effectuer le dosage par de la soude décimolaire ($c = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) ».

1. A quoi sert le dégazage ? Quel matériel faut-il utiliser pour prélever exactement 50 ml de limonade ?

La simulation du dosage d'un volume $V_a = 50$ ml d'acide citrique $H_3A$ par de la soude ($Na^+$ ,$OH^-$) de concentration $c_b = 0{,}1\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ est représentée ci-dessous. Les diagrammes de distribution des différentes espèces ($H_3A$, $H_2A^-$ , $HA^{2-}$ et $A_3{}^-$) y sont également représentés.




2. Identifier les courbes 1 à 4. Déterminer en justifiant les $pK_A$ des différents couples.
3. Donner la (les) réaction(s) de dosage ainsi que leur(s) constante(s) d'équilibre.
4. Expliquer pourquoi il n'y a qu'un seul saut de pH en exploitant les réponses données aux questions précédentes.

Lors du dosage des 50 ml de limonade par de la soude décimolaire, on trouve un volume équivalent vers $V_{eq} = 24$ mL.

5. Écrire la condition réalisée à l'équivalence.
6. En déduire la concentration de l'acide citrique dans le soda.

**Exercice 19: Mesure de la conductivité thermique d'un matériau**

Une tige de longueur $L$ et de rayon $R$ a une masse volumique $\rho$, une capacité thermique massique $c$ et une conductivité thermique $\lambda$.

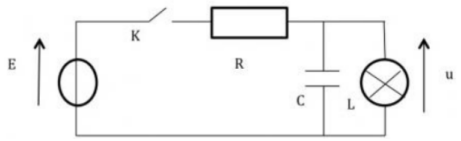
1. L'équation de diffusion dans la tige est $\dfrac{\partial T}{\partial t} = a\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ avec $a$ la diffusivité thermique. Retrouver l'expression de $a$ en fonction de $\rho$, $c$ et $\lambda$ par analyse dimensionnelle.
2. On donne $L = 40$ cm et $a = 2.10^{-5}$ u.s.i. Calculer le temps caractéristique de diffusion thermique dans la tige.
3. En $x = 0$, la tige est portée à la température constante $T_0$. La température de l'air ambiant est $T_a$ . On suppose que les transferts thermiques entre la tige et l'air sont conducto-convectifs : la puissance cédée par un surface $dS$ de surface de la tige en $x$ s'écrit $dP = h(T(x,t) - T_a)dS$. Quelle est l'équation aux dérivées partielles vérifiée par la température $T(x,t)$ dans la tige ?
4. Résoudre cette équation en régime permanent en introduisant une longueur caractéristique et en supposant que la tige est de longueur infinie.
5. Pourquoi peut-on faire cette hypothèse de tige infinie ?
6. On dispose de deux tiges de conductivités thermiques $\lambda_1$ connue et $\lambda_2$ inconnue. Ces tiges sont recouvertes de paraffine dont la température de fusion vaut $T_f = 343$ K. Proposer une méthode pour déterminer $\lambda_2$.

**Exercice 20: Lampe à Néon**

On étudie le circuit suivant, où L est une lampe au néon vérifiant :

— L ne s'allume que si la tension à ses bornes atteint la valeur dite tension d'allumage $E_A$ . Elle reste alors allumée tant que la tension entre ses bornes reste supérieure à la valeur dite tension d'extinction $E_E < E_A < E$.

— Lorsque L est éteinte, sa résistance est pratiquement infinie ; elle prend la valeur $r$ lorsque L est allumée.

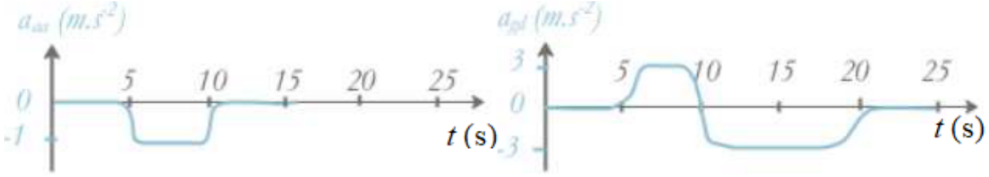



À l'instant initial, on ferme l'interrupteur $K$, $C$ étant déchargé.

1. Décrire qualitativement le phénomène observé en fermant K.
2. On suppose que L est éteinte initialement et on ferme K.
   (a) Trouver l'équation différentielle vérifiée par $u$, en faisant apparaître un temps caractéristique.
   (b) Trouver la date $t_a$ pour laquelle la lampe s'allume.
   (c) Dessiner le graphe de $u(t)$ entre $t = 0$ et $t_a$ .
3. La lampe est allumée.
   (a) On suppose que l'équation différentielle est inchangée en changeant $\tau = RC$ en $\tau' = \dfrac{r}{r+R}RC$ et $E$ en $E' = \dfrac{r}{r+R}E$. Déterminer $u(t)$.
   (b) A quelle date la lampe s'éteint ?
4. Discuter en fonction de la valeur de $E'$ l'évolution de $u(t)$.

**Exercice 21: Rond-point**

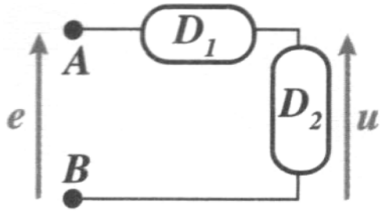
Un accéléromètre est placé sous une voiture. Celle-ci aborde un rond point avec une vitesse initiale de 50 km/h. Les chronogrammes $a_{aa}$ (accélération avant-arrière, positive lorsque l'accélération est vers l'avant)) et $a_{dg}$ (accélération gauche-droite, positive lorsque l'accélération est vers la droite)) sont représentés ci-dessous, la voiture faisant un tour complet du rond point.




1. Identifier chaque phase du mouvement.
2. Déterminer le rayon du rond point.

**Exercice 22: Circuit mystère**

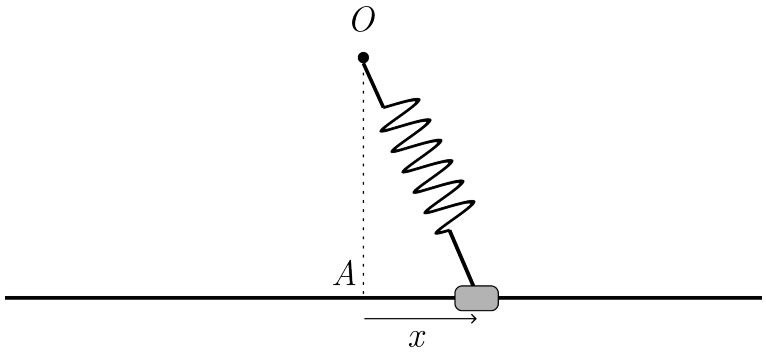
On considère un dipôle AB formé de deux éléments $D_1$ et $D_2$ en série. Le dipôle AB est constitué d'une résistance $R$, d'une bobine idéale d'inductance $L$ et d'un condensateur de capacité $C$. Les dipôles $D_1$ et $D_2$ contiennent au moins un composant. Déterminer la façon dont sont branchés ces trois composants, ainsi que leurs valeurs, compte-tenu des informations suivantes :




— Si le dipôle AB est alimenté en régime continu par une source de tension $E = 15$ V, il est parcouru par un courant d'intensité $I = 15$ mA.

— Si on travaille en régime sinusoïdal, la fonction de transfert montre qu'il s'agit d'un filtre passe-bande, dont le gain est maximal à la fréquence $f_0 = 1,16$ kHz et dont la bande passante est $\Delta f = 0,34$ kHz.

**Exercice 23: Équilibre d'un système**




Le point $M$, de masse $m$, est attaché à un ressort de longueur à vide $\ell_0$, de raideur $k$ et peut se déplacer sans frottement le long de l'axe Ax. Le point $O$ est fixe. On note $AO = a$.

1. Que dire de l'énergie potentielle de pesanteur de $M$ au cours du mouvement ?
2. Que vaut l'énergie potentielle totale de $M$ ? (à une constante près)
3. Étudier les positions d'équilibre possibles pour $M$ et leur stabilité en distinguant les cas $a > \ell_0$ et $a < \ell_0$. On pourra pour cela tracer dans ces deux cas la courbe $E_p(x)$.
4. Déterminer la période d'oscillation de la masse autour de la position $x = 0$ lorsque cette position d'équilibre est stable.

**Exercice 24: Mesure de l'épaisseur d'une lame**

1. Faire un schéma de l'interféromètre de Michelson en précisant le nom des divers éléments.
2. Décrire les différentes étapes permettant de passer l'interféromètre de Michelson en configuration du coin d'air et d'observer sur un écran la figure d'interférence correspondante. Décrire la figure d'interférence.
3. On dispose d'un interféromètre de Michelson en configuration du coin d'air et éclairé par une une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 589$ nm. On place parallèlement au miroir $M_1$ une lame d'indice $n = 1,520$ et d'épaisseur $\varepsilon$. On doit alors translater le miroir $M_1$ d'une distance de $1,2 \times 10^{-4}$ m afin de retrouver au centre de la figure d'interférence la frange centrale (la plus contrastée). Que vaut $\varepsilon$ ?

**Exercice 25: Le mug**

On considère un mug contenant une masse $m = 200\,\text{g}$ de boisson chaude de température $\theta_C = 80\,^\circ\text{C}$ posé sur une table. L'air extérieur est à $\theta_{ext} = 20\,^\circ\text{C}$.

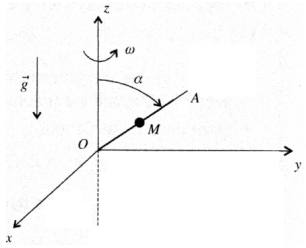
1. Déterminer l'équation différentielle sur la température du contenu du mug.
2. Représenter l'allure de l'évolution de la température en fonction du temps.
3. Sachant que le seuil de la douleur d'un liquide à boire est de 60 °C, calculer le temps nécessaire à attendre pour que le contenu puisse être bu sans que l'on se brûle.

*Données :*

— Surface latérale du mug : $S_{lat} = 200\,\text{cm}^2$
— Surface supérieure du mug : $S_{lat} = 30\,\text{cm}^2$
— Épaisseur de la céramique : $e = 5,0\,\text{mm}$
— Coefficient conducto-convectif fluide/air et céramique/air : $h = 10\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$
— Conductivité thermique de la céramique : $\lambda = 5,0\,\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
— Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,2\,\text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

**Exercice 26: Anneau sur tige en rotation uniforme**

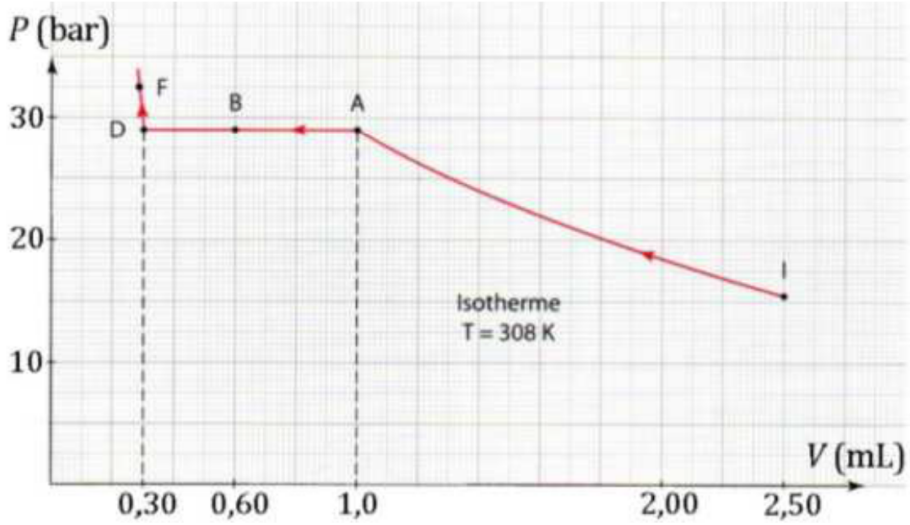
Une tige $OA$ de longueur $\ell$ tourne autour de l'axe vertical $(Oz)$ à la vitesse angulaire constante $\omega$, et fait un angle $\alpha < \pi/2$ constant avec cet axe. Un anneau de masse $m$ est libéré sans vitesse initiale par rapport à la tige à une distance $r_0$ du point $O$, il peut coulisser sur la tige sans frottement. On repère la position de l'anneau sur la tige par la distance $r = OM$.




1. Déterminer $r(t)$. On posera $\omega_0 = \omega \sin(\alpha)$.
2. Déterminer la position d'équilibre $r_{eq}$ de l'anneau sur la tige. Montrer qu'il ne peut exister une position d'équilibre de l'anneau sur la tige que si $\omega > \omega_0$.
3. On se place dans le cas où $\omega > \omega_0$, l'anneau étant dans sa position d'équilibre. On écarte légèrement l'anneau de cette position d'équilibre. L'équilibre est-il stable ?

**Exercice 27: Liquéfaction de $SF_6$**

On souhaite étudier l'équilibre liquide-gaz : $SF_6(l) = SF_6(g)$ . On étudie alors le diagramme $P(V)$ lors d'un compression isotherme de $m_0 = 2,25.10^{-4}$ kg de $SF_6$.




On assimilera $SF_6(g)$ à un gaz parfait. On donne :

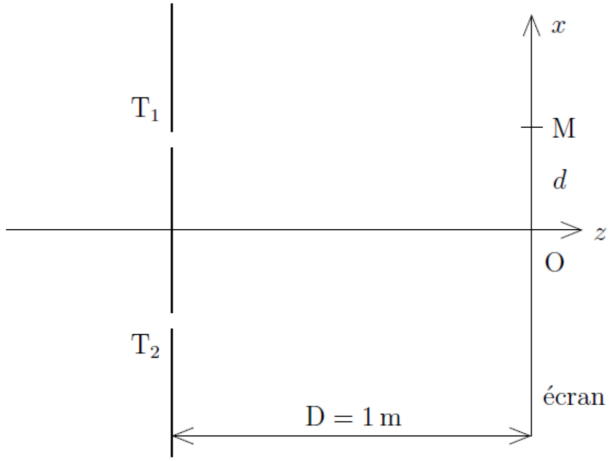
| $T$ en K | 297 | 302 | 306 | 312 | 317 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pression de vapeur saturante (bar) | 23 | 25 | 28 | 32 | 35 |

On donne aussi $M(F) = 19\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; $M(S) = 32\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et à 308 K $\Delta h_{\text{vap}} = 67,8\,\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour $SF_6$.

1. Donner l'état physique de SF6 en chaque point I, A, B, D, F.
2. Définir la fraction molaire en vapeur $x$ en B. La calculer.
3. Tracer $P_{\text{sat}}$ en fonction de $T$. Indiquer les domaines de stabilité des phases. Tracer l'évolution I → F sur ce graphe.
4. Calculer $Q$, $W$ et $\Delta U$ pour la transformation I → B.
5. Calculer $\Delta S$ pour la transformation I → B. Conclure.

## Exercice 28: Brouillage d'une figure d'interférence

On éclaire, à partir d'une seule source et en incidence normale, deux trous d'Young $T_1$ et $T_2$ tels que $T_1T_2 = a = 1,0$ mm.




1. Que se passe-t-il si la source est monochromatique. Où se situe l'ordre $p = 0$ ? Décrire l'aspect des franges.

2. La source contient en fait tout le spectre visible avec une même intensité pour toutes les longueurs d'onde. Que se passe-t-il en $x = 0$, pour $x$ proche de 0, pour $x$ loin de 0 ?

3. On place un récepteur à $d = OM = 4,0$ mm de O. On observe des annulations dans le spectre obtenu, pourquoi ?

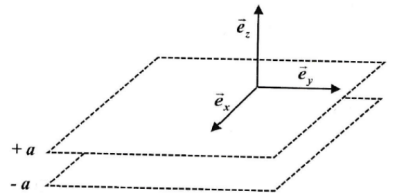
4. Trouver le nombre d'annulations et les longueurs d'onde associées.

5. On considère que si la variation de l'ordre $p$ en un point est très grande devant 1, on a un brouillage. Pourquoi ?

6. A partir de quel $x$ a t-on un brouillage ?

## Exercice 29: Champ magnétique crée par une nappe de courant épaisse

Un courant de densité volumique $\vec{j} = j_0 \vec{e}_x$ circule entre les deux plans infinis $z = -a$ et $z = a$. Le reste de l'espace est supposé vide de courant.




1. Étudier les symétries et les invariances de la distribution des courants. En déduire la forme du champ magnétique $\vec{B}$ en tout point $M$ de l'espace.
2. Déterminer le champ $\vec{B}$ en tout point $M$ de l'espace.

## Exercice 30: Réflexion et transmission sur un plasma

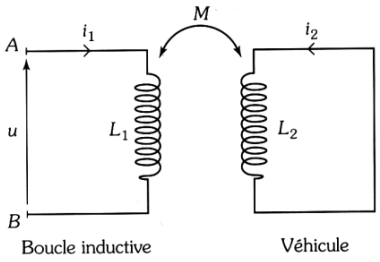
On considère un plasma non relativiste constitué de cations de masse $M$, de charge $+e$ et de densité $n$, ainsi que d'électrons de masse $m$, de charge $-e$ et de densité $n$. Une onde électromagnétique s'y propage, de champ électrique complexe :

$$\underline{\vec{E}} = E_0 \exp(i(\omega t - kz))\,\vec{e}_x$$

1. Pourquoi peut-on négliger le mouvement des cations devant celui des électrons ? Pourquoi peut-on négliger l'effet de la force magnétique devant celui de la force électrique ?
2. Trouver la relation de dispersion.
3. Montrer que dans un cas (cas 1), l'onde se propage. Et dans l'autre cas (cas 2) ?
4. Calculer le champ magnétique $\vec{B}$ dans les deux cas.
5. Le plasma n'occupe maintenant qu'une couche d'épaisseur finie. Montrer que même dans le cas 2, une onde peut se propager derrière la couche. Dans quel autre domaine de la physique rencontre t-on ce phénomène ?

## Exercice 31: Détection par boucle inductive

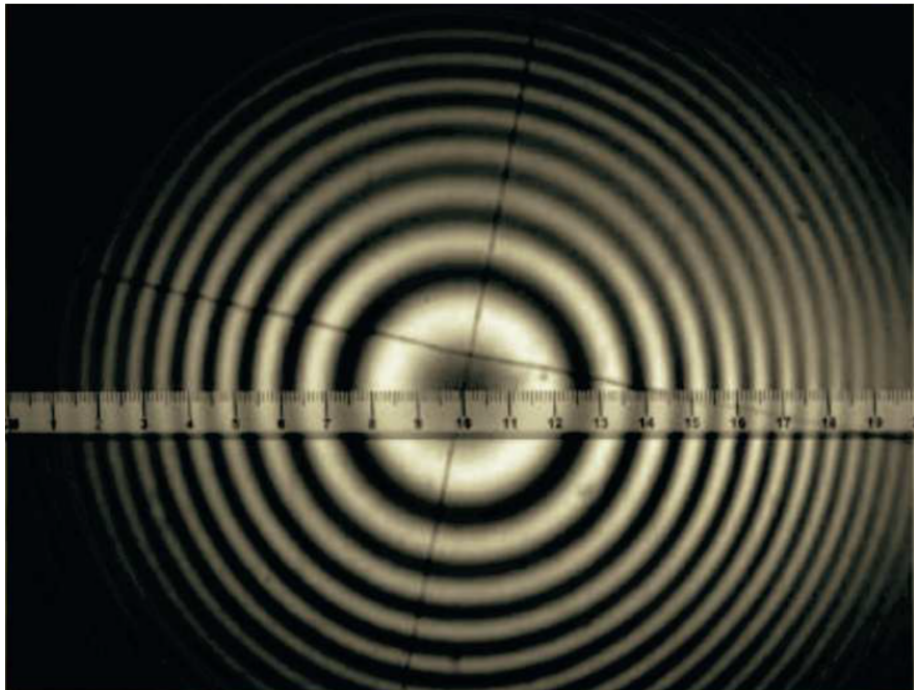
En milieu urbain, la détection par boucle inductive est très souvent utilisée par exemple pour la gestion des temps d'attente aux feux tricolores. Le capteur est une boucle conductrice d'inductance propre $L_1$ implantée dans la chaussée, formée de spires de la taille de l'ordre du mètre (dipôle $AB$ parcouru par un courant $i_1(t)$ de la figure ci-contre). Lorsqu'un véhicule passe sur cette boucle, des courants de Foucault sont induits dans ses parties métalliques. On modélise alors le véhicule par un circuit d'inductance $L_2$ parcouru par le courant $i_2(t)$. On note $M$ le coefficient de mutuelle inductance. On négligera la résistance des circuits.



1. Écrire les deux équations différentielles couplées vérifiées par les courants $i_1$ et $i_2$.
2. Éliminer $i_2$ entre ces deux équations et donner l'équation différentielle liant $u$ et $i_1$. En déduire, qu'en présence du véhicule, le dipôle $AB$ est équivalent à une inductance propre $L_0$ qu'on exprimera en fonction de $L_1$, $L_2$ et $M$.
3. Cette boucle fait partie d'un circuit électronique oscillant dont la fréquence est fonction de son inductance. Ce circuit est composé d'un condensateur en série avec le dipôle $AB$. Quelle est sa pulsation de résonance ? Calculer sa variation relative en fonction de la variation relative d'inductance du circuit et proposer un dispositif de détection du véhicule.

## Exercice 32: Mesure de l'épaisseur d'une lame d'air

La figure ci-dessous a été obtenue à l'aide d'un interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue de longueur d'onde dominante $\lambda = 589\,\text{nm}$



1. Proposer un montage permettant d'obtenir cette figure avec tout le matériel usuellement disponible en salle de TP.
2. Déduire de la figure l'épaisseur de la lame d'air équivalente, sachant que l'image est observée sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale image $f' = 100$ cm. Évaluer l'incertitude associée.

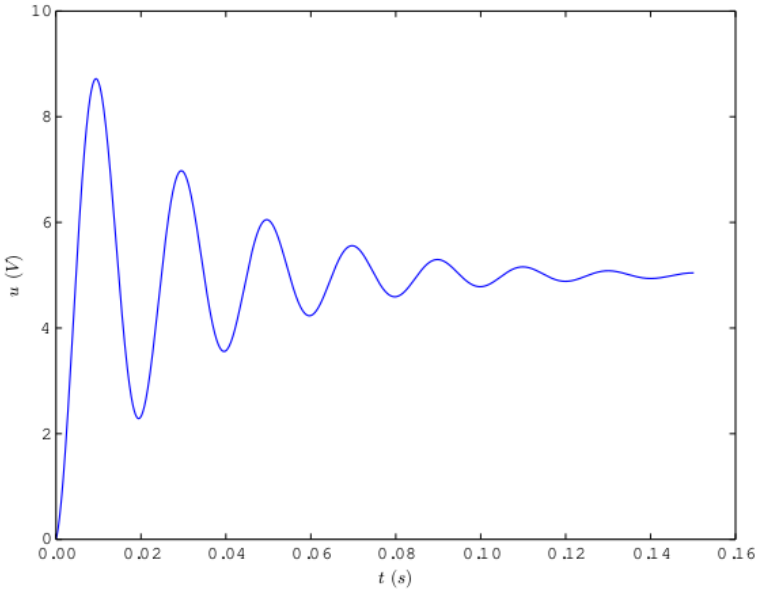
## Exercice 33: Recharge d'un condensateur

Un générateur de tension continue $E$ est placé dans un circuit RLC série afin de charger un condensateur de capacité $C = 1\,\mu\text{F}$ initialement déchargé. On note $u$ la tension aux bornes du condensateur orientée de sorte qu'au bout d'un temps infini : $u \to E$.

1. Montrer que :

$$\frac{\mathrm{d}^2u}{\mathrm{d}t^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 u = \omega_0^2 E$$

   en exprimant $\omega_0$ et $Q$ à l'aide de R,L et C.
2. A l'aide de la courbe ci-dessous, déterminer $E$, $\omega_0$ et $Q$ puis $L$ et $R$.




## Exercice 34: Auto-décharge d'un condensateur sphérique

On considère le condensateur sphérique composé d'un milieu isolant entre deux sphères de rayon $a$ et $b$. Initialement la charge $+Q_0$ est portée par l'armature de rayon $a$ et $-Q_0$ par l'armature de rayon $b$. À $t = 0$, on rend le milieu inter-armatures conducteur (conductivité électrique $\gamma$, $\varepsilon_0$ et $\mu_0$). On suppose que dans l'espace entre les armatures $\vec{E} = E(r,t)\vec{e}_r$ et que le condensateur reste à tout instant globalement neutre.

1. Montrer, à l'aide des symétries du problème, que $\vec{B}(r,t) = \vec{0}$.
2. Donner les équations de Maxwell dans le milieu conducteur.

3. Donner l'équation différentielle dont $E(r,t)$ est solution en faisant apparaître un temps caractéristique $\tau$.
4. La résoudre pour $a \leq r \leq b$.
5. Calculer la puissance dissipée par effet Joule.
6. Trouver $i(t)$, courant allant d'une armature à l'autre. En déduire la résistance interne du condensateur.
7. Comment, avec les seuls résultats précédents, trouver la capacité $C$ du condensateur ?

**Exercice 35: Spire en rotation dans un champ magnétique**

On considère une spire conductrice circulaire de rayon $a$, de résistance $R$, en rotation autour d'un de ses diamètres, qui constitue l'axe $\Delta$ vertical. On note $J_\Delta$ son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation. Cette spire est soumise à un champ magnétique extérieur $\vec{B}$ uniforme et stationnaire, orthogonal à $\Delta$. On néglige le phénomène d'auto-induction ainsi que tout frottement. Initialement, la spire possède une vitesse angulaire $\omega_0$.

1. Justifier qualitativement le mouvement ultérieur de la spire en l'absence de forces motrices extérieures.
2. Déterminer la force électromotrice induite par le mouvement de la spire.
3. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $\theta$.
4. Déterminer le moment $\Gamma_{Oz}$ par rapport à l'axe de rotation qu'il faut exercer pour entretenir la rotation à vitesse angulaire constante $\omega_0$ , puis sa valeur moyenne.

**Exercice 36: Mesure de la viscosité d'un fluide**

On considère une sphère de rayon $b$ et de masse $m$, attachée à un ressort (de raideur $k$, de longueur à vide $\ell_0$), trempant dans un fluide de viscosité $\eta$ de masse volumique $\rho$. Dans l'étude on donne la force de frottement suivant la loi de Stockes : $\vec{f} = -6\pi b\eta\vec{v}$ avec $\vec{V}$ la vitesse de la sphère. On ne néglige ni le poids ni la poussée d'Archimède.

1. Déterminer la longueur $\ell_e$ à l'équilibre du ressort.
2. En notant $z$ la position de la sphère depuis la position d'équilibre, montrer que $z$ est solution de :

$$\ddot{z} + 2\lambda\dot{z} + \omega_0^2 z = 0$$

   Exprimer $\lambda$ et $\omega_0$.
3. Donner une relation entre $\lambda$ et $\omega_0$ pour que la sphère oscille. Exprimer la période $T$ des pseudo-oscillations de la sphère dans le fluide.
4. On considère le même système sans la présence du fluide. Déterminer la période $T_0$ des pseudo-oscillations de la sphère dans le vide.
5. Donner une méthode expérimentale permettant de déterminer le coefficient de viscosité $\eta$.

**Exercice 37: Piscine et patinoire**

Une ville construit une piscine et une patinoire et veut utiliser une même machine thermique ditherme pour chauffer l'eau de piscine et geler celle de la patinoire. La masse d'eau à chauffer de la piscine est $m_c = 10^6$ kg et celle à geler de la patinoire est $m_f = 10^5$ kg. Au départ ces deux masses d'eau se trouvent à la température $t_0 = 10°C$. On donne :

— $c_1 = 4180\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}kg^{-1}}$, capacité thermique massique de l'eau liquide ;

— $c_2 = 2000\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}kg^{-1}}$ , capacité thermique massique de l'eau solide ;

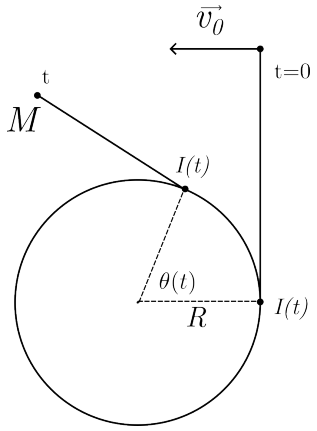
— $L = 335\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}}$ , enthalpie massique de fusion de l'eau à 0°C.

La machine ditherme fonctionne en recevant la puissance $P = 10$kW. On rappelle aussi les expressions de la variation d'entropie, pour une masse $m$ de phase condensée de capacité thermique $c$, passant de la température $T_1$ à la température $T_2$ : $\Delta S = mc\ln\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)$ et la variation d'entropie lors d'un changement d'état à la température T : $\Delta S = m\dfrac{\Delta H}{T}$ où $\Delta H$ est la variation d'enthalpie au cours de ce changement d'état.

1. Schématiser la machine ditherme et la nommer.
2. Déterminer l'énergie à échanger avec l'eau de la patinoire pour la former (glace à -5°C) en supposant qu'elle échange seulement avec le fluide caloporteur circulant dans la machine thermique.
3. En supposant le fonctionnement de la machine thermique réversible, déterminer la température finale de la piscine.
4. Déterminer le temps nécessaire pour mettre en place les deux installations (patinoire gelée et piscine chauffée).
5. En réalité ce temps est de 7 jours, expliquer la différence.

**Exercice 38: Fil qui s'enroule**

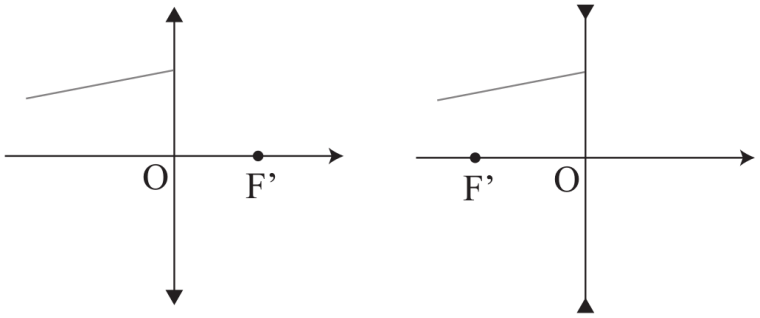
*Edouard B. MP 2024*




On considère un fil qui s'enroule autour d'une bobine (de rayon $R$).

1. Montrer que $\overrightarrow{OM} = R\vec{e}_r + (L - R\theta)\vec{e}_\theta$ et déterminer les vecteurs vitesse et accélération.
2. Montrer que la vitesse radiale est constante, la déterminer.
3. Déterminer le temps $\tau$ nécessaire pour que le fil s'enroule complètement autour de la bobine.
4. Montrer que $\theta(t) = \frac{L}{R}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{t}{\tau}}\right)$.

## Exercice 39: Photographie d'une tour



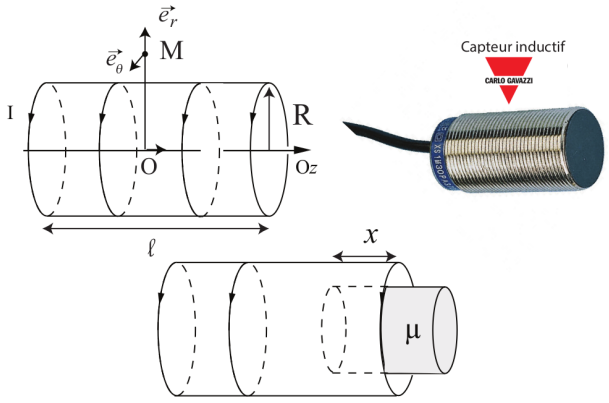

1. Pour les deux lentilles ci-dessous, continuer le tracé du rayon lumineux.

Un objectif d'appareil photo est assimilé à une lentille convergente. On désire prendre un cliché d'une tour haute de $h = 10\,\text{m}$ située à une distance $d = 50$ m de l'appareil. La distance focale est de $f' = 80$ cm et la taille du récepteur est $15 \times 25$ mm.

2. Déterminer la taille de l'image.
3. Quelle doit être la distance entre le photographe et la tour pour que celle ci soit sur la photo dans son intégralité ?
4. Expliquer pourquoi il faut changer de lentille pour avoir un grossissement deux fois plus grand.

## Exercice 40: Capteur de position inductif

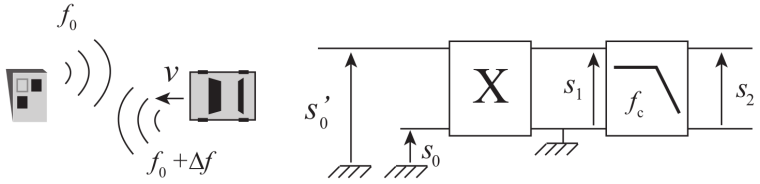
Un capteur de position inductif est constitué d'un solénoïde de longueur $\ell$ et de rayon $R$ dans lequel coulisse un matériau ferromagnétique de longueur $\ell \gg R$. On note $N$ le nombre de spires parcourue par un courant $I$.




1. Déterminer l'orientation du champ $\vec{B}(M)$ créée par le solénoïde.
2. Montrer que le champ est uniforme à l'intérieur du solénoïde.
3. On suppose que le champ est nul à l'extérieur du solénoïde, exprimer le champ à l'intérieur en fonction de $\mu_0$, $N$ et $\ell$.
4. Tracer l'allure des lignes de champ magnétique.
5. Déterminer l'expression littérale du coefficient d'auto-inductance $L_0$ du solénoïde en l'absence de matériau ferromagnétique. On admettra que l'insertion d'un matériau sur une distance $x$ du solénoïde conduit à une multiplication du coefficient d'auto-inductance du solénoïde de longueur $x$ équivalent par un coefficient $\mu$.
6. Déterminer en fonction de $N$, $\ell$ et $x$ le nombre $N(x)$ de spires qui entourent le matériau ferromagnétique.
7. En déduire l'inductance propre totale, en décomposant le système en deux solénoïdes de longueur $x$ et $\ell - x$ connectés en série.

## Exercice 41: Radar routier

Un radar routier utilise l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'un véhicule. Une onde sinusoïdale notée $s_0(t)$, de fréquence $f_0 = 24$ GHz est émise par le radar et est réfléchie sur la voiture. L'onde réfléchie est notée $s_0'(t)$. Sa fréquence est légèrement augmentée de $\Delta f = 2f_0 v/c$ où $v$ est la vitesse de l'automobile et $c$ la vitesse de l'onde. La chaîne de détection suivante permet d'isoler le décalage en fréquence. Elle est constituée d'un multiplieur et d'un filtre passe-bas idéal de fréquence de coupure $f_c = 50$ kHz.



1. Calculer le déphasage en fréquence pour une voiture se déplaçant à une vitesse de $v = 150\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.
2. Représenter sur un même graphique le spectre de $s_0(t)$ et $s_0'(t)$. On supposera pour simplifier que les amplitudes sont identiques noté $A$. Justifier que le signal $s_0'$ est difficilement exploitable directement.
3. Calculer le signal $s_1(t)$ et l'exprimer en fonction d'une somme de fonctions trigonométriques. Représenter son spectre.
4. Donner l'expression de $s_2(t)$, et représenter son spectre.
5. Expliquer comment mesurer la vitesse du véhicule.

Données : $c = 3{,}0 \times 10^8\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\cos a \cos b = \dfrac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b))$

**Exercice 42: Fonte d'un glaçon**

Un cylindre de rayon $R = 2,0$ cm contient un glaçon de volume $V_0 = 15\,\text{cm}^3$ et de l'eau liquide. La hauteur initiale de l'eau dans le verre est $h_0 = 10,0$ cm. La température initiale de l'eau est de $T_1 = 293$ K, celle du glaçon est de $T_0 = 268$ K. On néglige tout transfert thermique avec l'extérieur.

1. Déterminer le volume immergé $V_1$ du glaçon.
2. Déterminer la hauteur d'eau dans le verre après la fonte du glaçon.
3. Déterminer la température finale de l'ensemble.
4. Calculer l'entropie créée.

*Données :*

— Masses volumique de l'eau liquide et de la glaçe : $\rho_l = 1{,}0 \times 10^3\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , $\rho_g = 920\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

— Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4{,}18\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

— Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 2{,}1\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

— Enthalpie massique de fusion de l'eau : $\Delta h_{\text{fus}} = 334\,\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

## Exercices de type Mines-Télécom

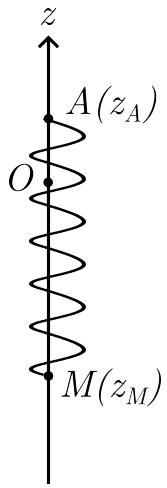
**Exercice 43: Thermodynamique d'une planète**

*Arthur M. (MP 2024)*
Une planète est modélisée par une boule de rayon R dans laquelle il y a le noyau de rayon $R'$. Le noyau de par ses réactions nucléaires produit une puissance volumique $p$. L'extérieur du noyau constitué du manteau et de la croûte est supposé homogène. On note $T_s$ la température à la surface de la planète. Le noyau a une conductivité thermique $\lambda$ et l'extérieur du noyau $\lambda'$. On se place en régime stationnaire.

1. Établir une expression de $T(r)$ et en déduire la température à l'interface Noyau/-Manteau
2. *Autre question mais je ne m'en souviens plus...*

**Exercice 44: Sismographe**

*Arthur M. (MP 2024)*




Une masselotte de centre d'inertie $M$ et de masse $m$ est suspendue par un ressort de raideur $k$ et de longueur à vide $\ell_0$. Le ressort est fixé en $A$, dont on pose $z_A$ sa coordonnées sur z.

1. Rappelez la force qu'exerce le ressort sur $M$.
2. On pose $z_{eq}$ la position d'équilibre. Exprimez $z_{eq}$.
3. On pose $\varepsilon(t) = z_M(t) - z_{eq}$ On a $\varepsilon(0) = a$ et $\dot{\varepsilon}(0) = 0$. Trouvez l'équation différentielle vérifiée par $\varepsilon(t)$ puis exprimez $\varepsilon(t)$.
4. Le point $A$ est maintenant mis en mouvement selon la loi $z_A(t) = A\cos(\omega t)$. Exprimer l'amplitude complexe $\underline{z_M}$.
5. Identifier une pulsation caractéristique. Que se passe t-il si $\omega$ est proche de cette pulsation caractéristique ? Commenter.

**Exercice 45: Pesée**
*Etienne F. (MP 2023)*

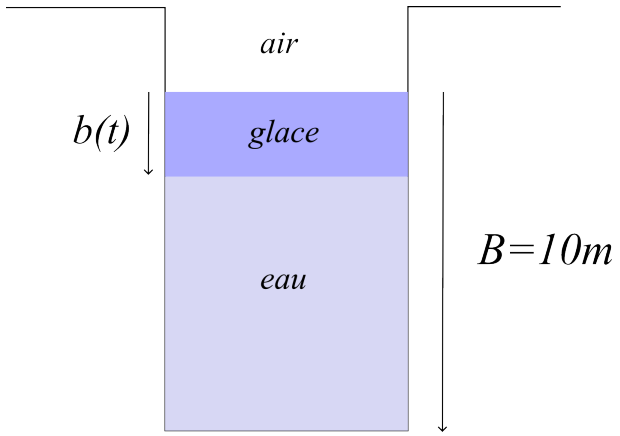
A l'aide d'une balance de précision, on remarque que peser un objet au rez de chaussée et au troisième étage ne donne pas la même valeur.

1. Expliquer pourquoi

2. Calculer la précision minimale de la balance pour observer ce phénomène.

**Exercice 46: Gel d'une colonne d'eau**
*Lenny T. (MP 2023)*

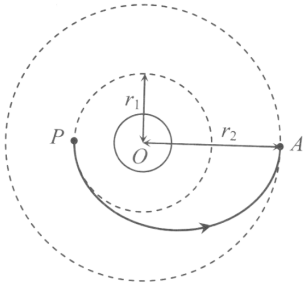
Une colonne d'eau, de profondeur $B$ de température $T_{\text{eau}} = 0\,°\text{C}$ est en contact avec l'air, de température $T_{\text{air}} = -10\,°\text{C}$. Un couche de glace se forme, on note $b(t)$ l'épaisseur de cette couche de glace en fonction du temps.




Déterminer la durée $\tau$ au bout de laquelle toute l'eau est transformée en glace.
Données : $T_{\text{eau}} = 0\,^\circ\text{C}$, $T_{\text{glace}} = -10\,^\circ\text{C}$, $\lambda_g = 2{,}1\,\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, $\Delta_{\text{fus}}h_g = 330\,\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

**Exercice 47: Changement d'orbite**

*Oral Mines Télécom*
Un satellite artificiel, assimilé à un point matériel $M$ de masse $m = 900$kg, se trouve sur une orbite circulaire provisoire de rayon $r_1 = 7500$ km autour de la Terre, de masse $M_T = 6,0.10^{24}$ kg. On souhaite le faire passer sur son orbite définitive de rayon $r_2 = 42200$km (orbite géostationnaire). Pour cela, on le fait d'abord passer sur une orbite de transfert elliptique dont le périgée $P$ est à la distance $r_1$ et l'apogée $A$ à la distance $r_2$ du centre de la Terre ; lorsque le satellite arrive à cet apogée, on le fait passer sur l'orbite circulaire de rayon $r_2$.




Ces deux changements d'orbite sont obtenus par allumage d'un moteur placé sur le satellite : ce processus est très bref (par rapport à la période orbitale), donc on considérera que la vitesse passe instantanément de $v_1$ à $v_{e1}$ en P, puis de $v_{e2}$ à $v_2$ en A (sans changer de direction dans chaque cas).

1. Calculer la vitesse $v_1$.
2. Déterminer l'expression de l'énergie mécanique du satellite sur chacune des trois orbites en fonction de $G$, $M_T$ , $m$, $r_1$ et $r_2$.
3. Calculer la vitesse $v_{e1}$ après le premier transfert, et la variation $\Delta v_P = v_{e1} - v_1$. Calculer également le travail $W_P$ fourni par le moteur au satellite en ce point.
4. Déterminer une relation entre $v_{e1}$ , $v_{e2}$ , $r_1$ et $r_2$ . Calculer $v_{e2}$.
5. Calculer la variation de vitesse $\Delta v_A = v_2 - v_{e2}$ lors du second transfert, et le second travail $W_A$ fourni par le moteur au satellite.
6. Exprimer la durée du trajet pour l'orbite de transfert.

**Exercice 48: Courant dans un fil électrique**

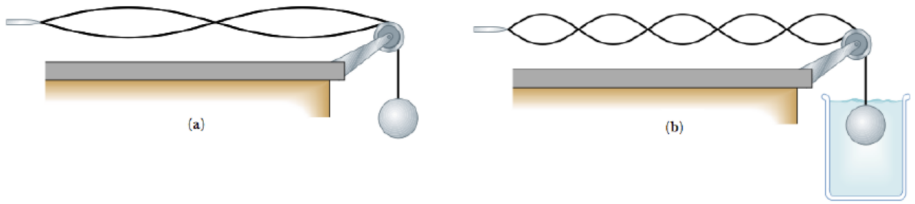
Les fils électriques domestiques sont en général des fils de cuivre cylindriques de section $s = 2{,}5\,\text{mm}^2$ . On rappelle la conductivité du cuivre $\gamma = 6{,}0 \times 10^7\,\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ et la perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H.m$^{-1}$.

1. Le courant domestique, sinusoïdal et de fréquence $f = 50$ Hz, occupe-t-il tout le volume du fil de cuivre ?
2. Qu'en est-il si on utilise du courant continu ?
3. Dans ce cas, déterminer le champ magnétique créé par un fil rectiligne infini parcouru par un courant $I = 1$ A.

## Exercices de type Centrale/Mines-Ponts

**Exercice 49: Corde vibrante avec une masse immergée**

*Oral Mines Ponts*
L'extrémité d'une corde horizontale est attachée à une lame vibrante et l'autre extrémité passe par une poulie. La lame vibre à la fréquence $f$. Une sphère de masse $m = 2$kg est suspendue à l'extrémité de la corde. La corde vibre dans sa seconde harmonique (dessin a). Un récipient d'eau est amené par dessous la sphère et soulevé jusqu'à ce que toute la sphère soit immergée. La corde vibre alors dans sa cinquième harmonique (dessin b).




1. Par analyse dimensionnelle, on cherche une expression de la célérité des ondes sous la forme $c = T^\alpha \mu^\beta$ où $T$ est la tension de la corde et $\mu$ sa masse linéique. Déterminer $\alpha$ et $\beta$.
2. Déterminer le rayon de la sphère.

**Exercice 50: Formation de la neige artificielle**

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide supposées sphériques de rayon $R = 0,2$ mm à $T_1 = 10°$C dans l'air ambiant à la température $T_a$

= -15°C. À l'interface eau-air, le flux thermique d$\phi$ à travers une surface d$S$ dans le sens de la normale extérieure $\vec{n}$ est donné par la loi :

$$\mathrm{d}\phi = h(T(t) - T_a)\mathrm{d}S$$

Données :

— Coefficient conducto-convectif $h = 65\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$

— Enthalpie massique de fusion $\ell_f = 333\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}}$

— Capacité thermique massique de l'eau liquide $c_\ell = 4{,}2\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$

— Capacité thermique massique de l'eau solide $c_s = 2{,}1\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$

**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 $T(t_0) = -5°\mathrm{C}$.

**3**. Lorsque la goutte atteint la température de $-5°\mathrm{C}$, il y a rupture de la surfusion : la température remonte brutalement à $0°\mathrm{C}$ et la goutte est partiellement solidifiée (phénomène également brutal). Moyennant des hypothèses que vous expliciterez, calculer la fraction massique $x$ 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.

## Exercice 51: Charge traversant une zone chargée

*Oral Mines-ponts*

On considère la répartition de charge volumique suivant :

$$\begin{cases} \rho(x) = 0 & \text{si} \quad x < -a \text{ et } x > a \\ \rho(x) = \rho_0 \sin\left(\dfrac{\pi x}{a}\right) & \text{si} \quad -a \leq x \leq a \end{cases}$$

où $\rho$ et $a$ sont des constantes positives. On envoie une particule chargée de masse $m$ et de charge $q > 0$ avec une vitesse initiale $\vec{v_0} = v_0\vec{e}_x$. On rappelle qu'en absence de densité surfacique de charge, le champ électrique est défini et continu.
A quelles conditions la charge traverse-t-elle la zone chargée ?

## Exercice 52: Effet Hall

*Oral Centrale*

Soit un parallélépipède de largeur $a$, de hauteur $b$. On se place dans un repère orthonormé direct $(Oxyz)$. Ce conducteur est parcouru par un courant $\vec{j} = j\vec{e}_x$. Les porteurs de charge $q$ ont une densité $n$ uniforme et une vitesse moyenne $\vec{v}$ À $t = 0$, on applique un champ uniforme $\vec{B} = B\vec{e}_z$.

**1**. Expliquer ce qui se passe qualitativement pendant le régime transitoire.

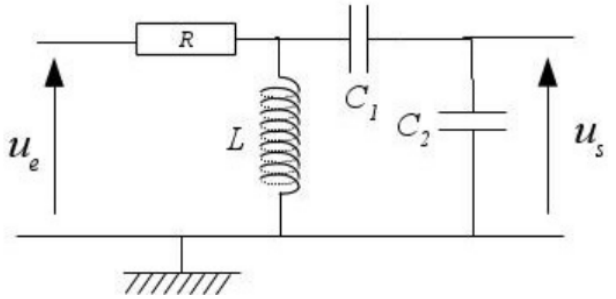
**2**. Calculer le champ transversal $E_H$ (dit champ de Hall) en régime permanent en fonction de $n$, $q$, $j$ , $B$ . Calculer la différence de potentiel en fonction de $n$, $q$, $B$, $b$ et $I$ (courant parcourant le conducteur).

**3**. Quel est l'intérêt de l'effet Hall ?

## Exercice 53: Filtre de Colpitts

*Oral Centrale*

On considère le filtre passif représenté.




**1**. Déterminer la nature de ce filtre en faisant une étude du comportement asymptotique.

**2**. Déterminer la focntion de transfert $\underline{H}$ du filtre, que l'on mettra sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

où l'on précisera les expressions des constantes $H_0$ , $\omega_0$ et $Q$ en fonction de $R$, $L$, $C_1$ et $C_2$

**3**. Donner l'allure de son diagramme de Bode en gain. On précisera avec soin les asymptotes et la position des points remarquables en fonction de $R$, $L$, $C_1$ et $C_2$.

**4**. Un circuit multiplieur fournit le signal d'entrée $u_e(t) = 2E\cos(100\omega_0 t)\cos(101\omega_0 t)$. Déterminer le signal obtenu à la sortie de ce filtre.

## Exercice 54: Température d'un câble électrique

*Oral Mines Ponts*

Un câble électrique est constitué d'un fil de cuivre de rayon $R_1$ (conductivité électrique $\gamma$, conductivité thermique $\lambda_1$) entouré d'une gaine isolante de rayon $R_2$ (conductivité thermique $\lambda_2$). Ce fil est parcouru par un courant $I$ et placé dans un milieu à la

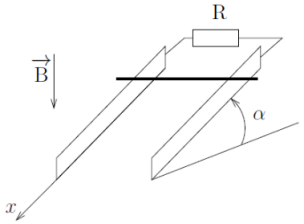
température $T_e$. On considère le problème à symétrie cylindrique, en régime permanent. De plus la température est continue en $r = R_1$. Par contre en $R = R_2$, des transferts thermiques conducto-convectifs ont lieu à la surface de la gaine ; leur puissance surfacique $P_s$ est donnée selon la loi de Newton : $P_s = h(T(R_2) - T_e)$.

1. Déterminer la température $T_0$ au centre du fil ($r = 0$).
2. Montrer qu'il existe une valeur de $R_2$ qui minimise cette température.

## Exercice 55: Rails de Laplace inclinés

*Oral Mines Ponts*

Une barre métallique est posée sur deux rails de Laplace inclinés d'un angle $\alpha$ avec l'horizontale. Les deux rails sont reliés par la résistance $R$ (on néglige la résistance de la barre et des rails). La distance entre les rails est $a$ et l'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme et permanent $\vec{B}$ colinéaire et de même sens que l'accélération de la pesanteur $\vec{g}$. Initialement la barre est au repos et lâchée d'une position $x(0) = 0$.

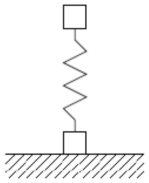



1. Expliquer qualitativement ce qui va se passer.
2. Déterminer la position $x(t)$ de la barre en faisant intervenir un temps caractéristique $\tau$.
3. Faire un bilan énergétique entre les instants $t = 0$ et $t$.

## Exercice 56: Décollement

*Oral Centrale*

Un ressort relie deux solides identiques (cubes de côté $a$ et de masse $m$). On comprime le ressort (constante de raideur $k$, longueur $\ell$) de $\Delta\ell$ par rapport à la situation à l'équilibre et on lâche le tout. Le ressort est sans masse.



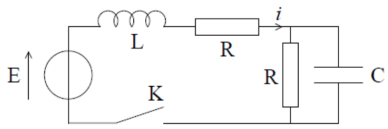
1. Trouver la compression $\Delta\ell_{\min}$ pour qu'il y ait décollement.
2. On suppose que $\Delta\ell > \Delta\ell_{\min}$. Calculer la hauteur maximale atteinte par le centre d'inertie du système au cours du mouvement.

## Exercice 57: Circuit RLC

*Oral mines*

On considère le circuit représenté où l'on ferme initialement l'interrupteur $K$, le condensateur étant déchargé. On pose $\tau = RC = \dfrac{L}{R}$.

Calculer $i(t)$.

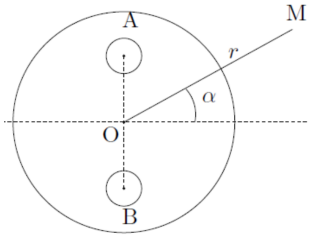



## Exercice 58: Aplatissement de Saturne

*Oral Centrale*

1. À l'aide d'une analogie avec l'électrostatique, déterminer le potentiel gravitationnel $V(M)$ d'un point $M$ situé à l'extérieur d'une boule homogène de masse $m$, de centre $O$ avec $r = OM$. On utilisera la constante de gravitation universelle $G$.

On modélise l'aplatissement de Saturne par un sphère de masse volumique $\rho$, de rayon $R$ qui contient deux cavités sphériques vide et de rayon $a$ centrées en $A$ et $B$ diamétralement opposés, avec $OA = OB = b$.

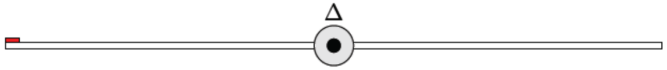



2. Déterminer $V(r, \alpha)$ en supposant $r \gg R$.

## Exercice 59: Déséquilibre d'une planche

*Oral Centrale*

Une planche rectangulaire homogène de masse $M$ et de longueur $L$ est susceptible de tourner autour d'un axe horizontal $\Delta$ (liaison pivot parfaite) délimitant la planche en deux parties égales. On dépose une pièce carrée homogène de côté $a \ll L$ et de masse $m$ à une des extrémités de la planche. Le moment d'inertie de la planche par rapport à l'axe $\Delta$ est : $J = \dfrac{1}{12}ML^2$. L'ensemble est lâché sans vitesse initiale dans une position initiale horizontale. On observe que la pièce commence à glisser après une rotation de 9,0 degrés.




Données : $M = 100\,\text{g}$ ; $m = 10{,}0\,\text{g}$ ; $L = 1{,}0\,\text{m}$ ; $g = 9{,}8\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

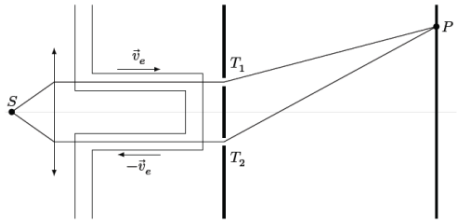
1. Calculer la vitesse angulaire de rotation de la planche au moment où le glissement s'amorce.
2. Déterminer le coefficient de frottement $f$ entre la pièce et la planche.

## Exercice 60: Expérience de Fizeau

*Oral Centrale*

Soit deux trous d'Young $T_1$ et $T_2$ distants de $a = 10\,\text{mm}$, percés dans un écran opaque éclairé sous incidence normale par une source ponctuelle $S$ monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 585{,}0\,\text{nm}$. $S$ est située dans le plan médiateur de $T_1$ et $T_2$, au foyer principal objet d'une lentille convergente. On observe les phénomènes d'interférences sur un écran situé à $D = 20\,\text{m}$ des trous d'Young.

L'expérience de Fizeau consiste à placer devant chaque trou un tube horizontal de longueur $L = 5\,\text{m}$ rempli d'eau ; les deux tubes sont traversés par la lumière sous incidence normale. On crée dans ces tubes deux courants d'eau de même vitesse $v_e = 7\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, de sens opposés. L'indice de l'eau au repos valant $n = 1,337$, la vitesse de la lumière est égale à $c/n$ dans le référentiel de l'eau.




1. Calculer l'ordre d'interférence au point $P$ en l'absence de courants d'eau.
2. On suppose que la vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, mesurée dans le référentiel du laboratoire, vaut : $v = c/n \pm v_e$ (hypothèse H). Calculer la variation de l'ordre d'interférence au point $P$ provoquée par l'établissement des courants d'eau. Sachant qu'on observe un déplacement des franges de $\Delta x = 0,37$ avec l'incertitude-type $u(\Delta x) = 0,05$ mm, que faut-il penser de l'hypothèse (H) ?
3. Un raisonnement plus fin analysant la propagation d'ondes électromagnétiques dans un milieu en mouvement donne une vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, mesurée dans le référentiel du laboratoire, valant : $v = c/n \pm v_e(1 - \frac{1}{n^2})$. Le résultat de ce calcul est-il en accord avec l'expérience ? Conclure.

## Exercice 61: Rotation d'une boussole et champ magnétique terrestre

On considère ici une boussole horizontale dont l'aiguille aimantée est assimilable à un moment dipolaire magnétique $\mathcal{M}$. On rappelle que le moment des actions magnétiques subies par l'aiguille placée dans le champ magnétique $\vec{B}$ s'écrit $\vec{\Gamma} = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}$. On note $\alpha$ l'angle $(\vec{u}, \mathcal{M})$, $\vec{u}$ étant un vecteur unitaire de même direction et même sens que $\vec{B}$. On note $J$ le moment d'inertie de l'aiguille par rapport à l'axe vertical autour duquel elle peut tourner sans frottement.

1. Dans un premier temps, le champ $\vec{B}$ est le champ magnétique terrestre. Montrer que seule sa composante horizontale $\vec{B}_h$ intervient dans l'étude du mouvement de l'aiguille autour de son axe vertical.
2. Établir l'équation qui régit $\alpha$. Quelles sont la/les position(s) d'équilibre et leur stabilité ?
3. Établir $\omega_1$ la pulsation des petites oscillations de l'aiguille ainsi que la période associée $T_1$.
4. Grâce à une bobine on crée un champ $\vec{B}_e$ de même sens et direction que $\vec{B}_h$. Donner alors la pulsation $\omega_2$ des petites oscillations de l'aiguille ainsi que la période associée $T_2$.
5. On mesure les deux périodes et on trouve pour leur rapport $T_2/T_1 = 0,78$. Sachant que $B_e = 1{,}0 \times 10^{-4}\,\text{T}$, en déduire l'intensité du champ magnétique terrestre horizontal en Tesla.
6. La mesure est faite en un lieu de latitude 45°. En déduire le moment magnétique terrestre. On rappelle l'expression du champ crée par une dipôle magnétique $\mathcal{M} = M\vec{e}_z$ en coordonnées sphériques d'axe $Oz$.

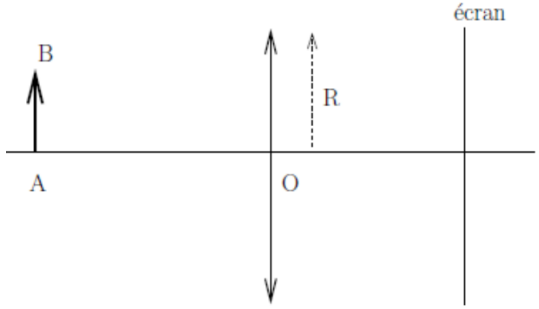
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{4\pi r^3}\left(2\cos(\theta)\vec{e}_r + \sin(\theta)\vec{e}_\theta\right)$$

On donne aussi le rayon terrestre $R_T = 6400\,\text{km}$ et $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\text{H.m}^{-1}$.

## Exercice 62: Système optique

*Oral Centrale*

On modélise un système optique comme ci-contre où l'écran peut être déplacé et est constitué de pixels carrés jointifs de côté $a$. On note $f'$ la distance focale image de la lentille convergente.




1. Donner des exemples de systèmes optiques modélisables comme celui-ci avec ordre de grandeur de $AO$ et de la distance focale $f'$.
2. On se limite au cas où $AO \in [\Delta;\infty[$ avec $\Delta > f'$ . Déterminer la longueur $\delta$ qui correspond à la plage de déplacement de l'écran nécessaire pour obtenir une image de $A$ sur l'écran.
3. On note $\alpha$ l'angle $AOB$ et $D = \overline{AO} > f'$. Déterminer $\alpha_{\min}$ tel que les images $A'$ et $B'$ des points $A$ et $B$ se forment sur deux pixels différents. $\alpha_{\min}$ sera exprimé avec les paramètres nécessaires parmi $D$, $R$, $f'$ et $a$.
4. Pour une mise au point faite sur un objet $A$ tel que $D_0 = AO > f'$ , il y a une zone de netteté telle que $D_{\min} < D_0 < D_{\max}$ (à écran fixe). Montrer que :

$$\frac{1}{D_0} - \frac{1}{D_{\max}} \simeq \frac{1}{D_{\min}} - \frac{1}{D_0} = \frac{1}{H}$$

où $H$ sera exprimé en fonction de $R$, $f'$ , $a$ et $D_0$.

**Les exercices qui suivent concernent le programme de MP uniquement (pas de MPI)**

## Exercice 63: Température de flamme de grillage du sulfure de plomb

*Oral CCINP*

On s'intéresse ici à la réaction du sulfure de plomb PbS(s). Il s'agit de la réaction de combustion de PbS(s) dans le dioxygène qui fournit PbO(s) et $SO_2$(g) . La réaction est supposée totale.

1. Écrire l'équation bilan de cette réaction avec un coefficient stœchiométrique égal à 1 pour PbS(s).
2. Calculer l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ à 298 K pour la réaction précédente.
3. On part d'un mélange PbS(s)/$O_2$(g) dans les proportions stœchiométriques, à la température initiale $T_i = 298$ K. La réaction est menée de façon adiabatique isobare, calculer la température finale atteinte.
4. Reprendre le calcul de la question 3 en supposant que le mélange initial est constitué d'air. La quantité d'air ajoutée est juste suffisante pour provoquer la disparition de la totalité de PbS(s).

Données :

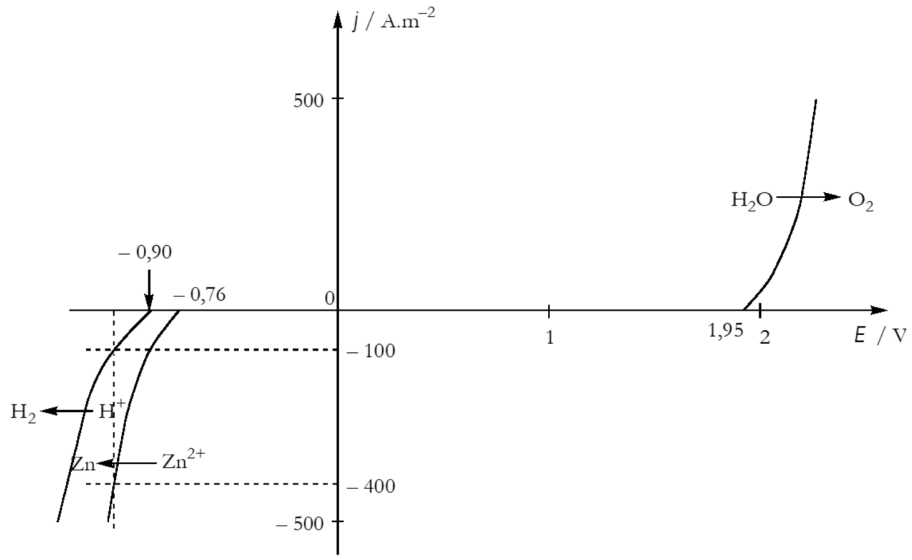
| Espèce | PbS(s) | $O_2$(g) | $N_2$(g) | PbO(s) | $SO_2$(g) |
|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta_f H^\circ$ (kJ/mol) | -100,4 | 0 | 0 | -217,9 | -296,9 |
| $C^\circ_{p,m}$ | 49,5 | 29,4 | 29,1 | 45,8 | 29,9 |

## Exercice 64: Électrolyse du sulfate de zinc

Le procédé industriel de fabrication de zinc de haute pureté consiste à électrolyser une solution de sulfate de zinc (II) à environ $2\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ acidifiée à pH = 0 par de l'acide sulfurique. La cathode est en aluminium, l'anode en plomb passivé (électrodes inattaquables). On donne : $M_{\text{Zn}} = 65{,}4\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , $\rho_{\text{Zn}} = 7{,}14 \times 10^3\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

| Couple | $O_2$(g)/$H_2O$ | $H^+$/$H_2$(g) | $Zn^{2+}$/Zn(s) |
|---|---|---|---|
| E° (V) | 1,23 | 0,00 | -0,76 |

1. Quelles réactions sont envisageables aux électrodes ? Quelles sont celles attendues d'après les données thermodynamiques ? En déduire l'équation de la réaction d'électrolyse attendue.
2. En pratique, l'électrolyse est réalisée à courant imposé $j = 500\,\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$, dans les conditions correspondant aux courbes $j - E$ fournies ci-dessous :




Prévoir la réaction effectivement mise en œuvre lors de cette électrolyse.

3. Évaluer la tension à appliquer pour obtenir une densité de courant $j = 500\,\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$.
4. Expérimentalement, il faut appliquer une tension de 3,6 V pour obtenir cette densité de courant. Interpréter la différence avec la va- leur estimée à la question précédente.
5. Exprimer l'épaisseur de la couche de zinc déposée en fonction de la densité de courant cathodique $j_{\text{Zn}}$ sur le zinc, du temps d'électrolyse $\Delta t$ et des données utiles. Application numérique : $j_{\text{Zn}}$ correspondant à la densité globale $j = 500\,\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$ , $\Delta t = 1,00\text{h}$ : calculer l'épaisseur de la couche de zinc et le volume des gaz (supposés parfaits, pris sous $p^\circ = 1{,}0$ bar à $T = 298$ K) formés par unité de surface aux électrodes.

## Exercice 65: Dimérisation du perchlorure de fer

On considère la réaction chimique de dimérisation du perchlorure de fer FeCl3 en phase gazeuse :

$$2\,\text{FeCl}_3(\text{g}) = \text{Fe}_2\text{Cl}_6(\text{g})$$

La transformation se déroule sous une pression totale constante $P = 2$bar. Initialement, le système contient uniquement $FeCl_3$. On suppose les gaz comme parfaits ($R = 8{,}314\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$). On note $\alpha$ le taux de conversion, c'est-à-dire le quotient de la quantité de matière dimérisée sur la quantité de matière initiale en $FeCl_3$ . On note $d$ la densité du mélange gazeux, définie par $d = \dfrac{\overline{M}}{M_{\text{air}}}$ où $\overline{M}$ est la masse molaire du

mélange gazeux et $M_{\text{air}} = 29\,\text{g·mol}^{-1}$ la masse molaire de l'air. On donne la masse molaire de $FeCl_3$ : $M(FeCl_3) = 163\,\text{g·mol}^{-1}$.

1. Montrer que $d = \dfrac{5,6}{1-\alpha/2}$
2. Exprimer la constante d'équilibre thermodynamique $K^\circ$ en fonction de $\alpha$.

Lorsque la transformation se produit à la température $T_1 = 800\text{K}$, on mesure $d_1 = 9,6$ et à la température $T_2 = 700$ K, on mesure $d_2 = 10,6$.

3. Calculer $K_1^\circ$ et $K_2^\circ$ aux températures $T_1$ et $T_2$.
4. En déduire l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$. La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?
5. Déterminer l'entropie standard de réaction $\Delta_r S^\circ$. Quel est son signe ? Pouvait-on le prévoir ?
6. Que se passe-t-il si on augmente la pression à température constante ? Que se passe-t-il si on augmente la température à pression constante ?

**Exercice 66: Centrale nucléaire**

Soit une centrale nucléaire qui dispose de 4 réacteurs de 900 MW chacun. Pour cette centrale thermique, le rendement est de 36% et elle est refroidie par l'eau du Rhône (capacité thermique massique $c_m = 4180\,\text{J·kg}^{-1}\text{·K}^{-1}$ , $\rho = 1000\,\text{kg·m}^{-3}$). Quel doit être le débit minimum du Rhône pour que son élévation de température soit inférieure à $\Delta t_{\max} = 8\,^\circ\text{C}$ ?

**Exercice 67: Polymérisation en phase gazeuse**

Soit la réaction de polymérisation ionique en phase gazeuse :
$n\,CH_2{-}CH{-}CH{-}CH_2 = (C_4H_6)_n$
On mesure dans un réacteur fermé l'évolution de la pression au cours du temps et on obtient les valeurs suivantes :

| $t$ (minutes) | 0 | 10 | 50 | 150 | 500 |
|---|---|---|---|---|---|
| $p$ (mmHg) à $T_1 = 325\,^\circ\text{C}$ | 630 | 592 | 500 | 420 | 350 |
| $p$ (mmHg) à $T_2 = 390\,^\circ\text{C}$ | 720 | 520 | 410 | 378 | 365 |

1. Déterminer le degré $n$ du polymère.
2. Vérifier que la réaction est en première approximation une réaction d'ordre 2 dont on déterminera les constantes de vitesse $k_1$ et $k_2$ aux températures $T_1$ et $T_2$.
3. En déduire l'énergie d'activation de la réaction.

## Quelques problèmes ouverts

*Rappels : une épreuve d'évaluation basée sur un problème ouvert vise à tester non pas la capacité à obtenir le résultat juste, mais à faire de la physique : faire des schémas pertinents, identifier les grandeurs intéressantes et celles à négliger, modéliser ce qui mérite de l'être, utiliser les théorèmes adaptés pour obtenir des informations, expliquer clairement la démarche, critiquer un résultat numérique ou une modélisation... tout cela constitue l'essentiel de la manière dont un examinateur évalue sur ce genre d'exercices.*

**Exercice 68: Ouverture d'un réfrigérateur**

L'intérieur d'un réfrigérateur est maintenu à une température de 4 °C environ. Il est souvent difficile d'ouvrir la porte juste après avoir refermé le réfrigérateur. Évaluer la force nécessaire pour ouvrir la porte dans les conditions proposées.

**Caractéristiques du réfrigérateur :**

- masse : 66,0 kg
- dimensions : L × H × P : 59.5 × 185.3 × 65,8 cm
- contenance : 220 L

**Milieu environnant :**

- Pression : 1,0 bar
- Température : 298 K

**Exercice 69: Déplacement d'une caisse**

Un homme veut déplacer une caisse cubique de masse $m$ et de côté $a$ d'une distance $L = n \times a$, avec $n$ entier. Le sol est horizontal. Les deux stratégies envisagées sont les suivantes :

- on traîne la caisse ;
- on fait basculer la caisse en la pivotant sur son coin puis on la fait tomber lorsque la hauteur maximale est atteinte.

**Données :**

- coefficient de frottement avec le sol est $f = 0,2$.
- masse de la caisse : $m = 200$ kg
- dimensions de la caisse : $a = 90$ cm
- distance à parcourir : $L = 9,0$ m

Déterminer la méthode nécessitant le moins d'énergie.

**Exercice 70: Inflammation du papier**

On désire amorcer la combustion d'une feuille de papier noir à l'aide d'une loupe.
Déterminer la durée minimale nécessaire à l'auto-inflammation de la feuille de papier.
**Données :**

- masse surfacique du papier $\sigma = 100\,\mathrm{g{\cdot}m^{-2}}$
- capacité thermique massique du papier : $c = 1{,}4\,\mathrm{kJ{\cdot}K^{-1}{\cdot}kg^{-1}}$
- température d'auto-inflammation du papier : $\theta_f = 230\,^\circ\mathrm{C}$
- loupe constituée d'une lentille convergente de distance focale $f' = 10$ cm et de rayon $R = 5$ cm.
- La lentille absorbe environ 25% du rayonnement solaire.

Caractéristiques du milieu environnant

- Pression extérieure : $P_0 = 1,0$ bar
- température extérieure : $T_0 = 298$ K
- le flux solaire surfacique moyen est à $\phi = 800\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$.
- Le Soleil est vu sous un diamètre angulaire apparent $\alpha = 21'$ (1'= $(1/60)^\circ$).

**Exercice 71: Cuisson d'oeufs**

Un oeuf de poule de masse devient dur au bout de $\tau_{\text{poule}} = 10$ min de cuisson. Estimer le temps de cuisson d'un oeuf d'autruche.
Données :

- masse d'un oeuf d'autruche : $m = 1,2$ kg ;
- masse d'un oeuf de poule $m = 60$ g ;

**Exercice 72: Astéroïde B612**

*Oral Mines ponts*
Quelle doit être la taille minimale de la planète du Petit Prince pour qu'en sautant à pieds joints il ne puisse pas s'en éloigner à l'infini ?