

Exercice 1 : Freinage d'un satellite (Centrale 1 2025)

Un satellite de masse $m = 1 \text{ t}$ se situe en orbite circulaire à une altitude $h_0 = 1000 \text{ km}$ de la Terre.

- Établir l'expression de la vitesse du satellite et de son énergie mécanique en fonction de G , M_T , R_T et h_0 . Calculer numériquement la vitesse et la période de révolution. (On rappelle que $R_T = 6400 \text{ km}$, $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.)
- On souhaite ramener le satellite à une altitude de 200 km . On déploie depuis le satellite un câble en aluminium de conductivité électrique $\gamma = 3,7 \times 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, orienté radialement vers la Terre. Le circuit se ferme via l'ionosphère, milieu plasma conducteur entourant la Terre. Expliquer qualitativement comment ce dispositif permet au satellite de changer d'orbite.

Le champ magnétique terrestre est modélisé par un dipôle de moment magnétique \vec{M} :

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

avec $|\vec{M}| = 8 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$.

On admet qu'en un point P du câble, la force électromotrice par unité de charge due au mouvement s'écrit :

$$\vec{e}(P) = \vec{v}(P) \wedge \vec{B}(P)$$

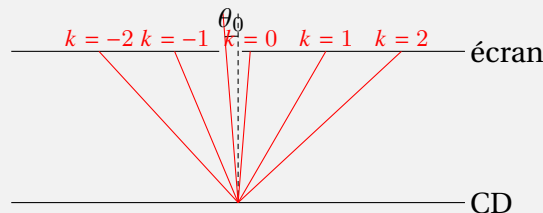
où $\vec{v}(P)$ est la vitesse du point P et $\vec{B}(P)$ le champ magnétique en P .

- Le câble est de longueur L , de diamètre $d = 1 \text{ mm}$, orienté radialement.
 - Calculer la variation d'énergie mécanique nécessaire pour passer de l'orbite à 1000 km à l'orbite à 200 km .
 - En déduire la puissance moyenne de freinage à fournir sur une durée de 4 mois.
 - Exprimer la fem induite ε dans le câble, puis sa résistance R . En déduire la puissance dissipée $P(L)$.
 - En déduire la longueur L et la masse m_c du câble nécessaires.
- Commenter la faisabilité de cette méthode.

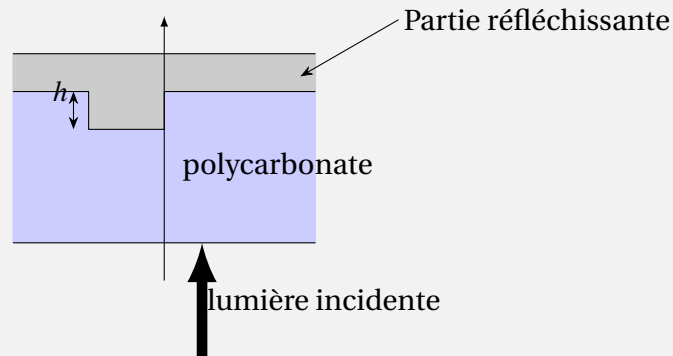
Exercice 2 : Capacité d'un CD (Centrale 2 2025)

- Démontrer la formule des réseaux par réflexion.

On envoie un faisceau laser sur un CD et on observe le retour sur un écran.



- Comment assurer que le faisceau a une incidence normale?
- Sachant que $\lambda = 532 \text{ nm}$, que l'écran est à une distance $D = 15 \text{ cm}$ du CD, et que le faisceau incident est normal, les tâches d'ordre $k = +1$ et $k = -1$ sont distantes de $d = 10,8 \text{ cm}$. Trouver le pas a du réseau.
- Donner l'incertitude sur a , sachant que l'incertitude est de 3 mm sur D et sur d , et de $0,3 \%$ sur λ .



Un document décrit la composition du CD.

Le CD est un disque de données compris entre $R_1 = 2,5$ cm et $R_2 = 5,6$ cm. Les bits sont codés par des creux (pits) ou des surfaces planes (lands) dans la couche réfléchissante, avec une différence de profondeur $h = 120$ nm et une longueur minimale de $0,85$ μ m le long de la piste, séparées par le pas du réseau a trouvé précédemment. La lecture s'effectue avec un laser de longueur d'onde $\lambda' = 780$ nm dans le polycarbonate : un creux produit une interférence destructive, une surface plane une réflexion forte.

- 5) Trouver l'indice de réfraction absolu du polycarbonate.
- 6) Donner la capacité du CD en Mo.

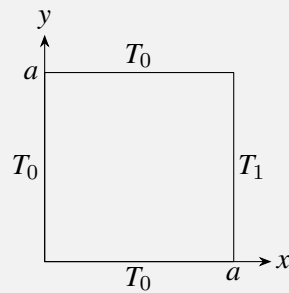
On enregistre de la musique, numérisée sur N bits par échantillon et par canal, à une fréquence d'échantillonnage $f_e = 44,1$ kHz.

- 7) Donner les fréquences audibles pour l'homme.
- 8) Expliquer le choix de f_e .
- 9) Un bruit parasite au cours de l'enregistrement apparaît à $f_p = 40,1$ kHz. À quelle fréquence ce bruit sera-t-il entendu? Commenter.
- 10) On enregistre une tension analogique variant entre 0 V et 13 V. Après numérisation sur N bits, la plus petite variation de tension détectable est de 0,2 mV. Retrouver N .
- 11) Retrouver N sachant que sur un CD de 700 Mo on enregistre 70 minutes de musique stéréo (2 canaux).

Exercice 3 : Profil de température dans une plaque (Centrale 1 2025)

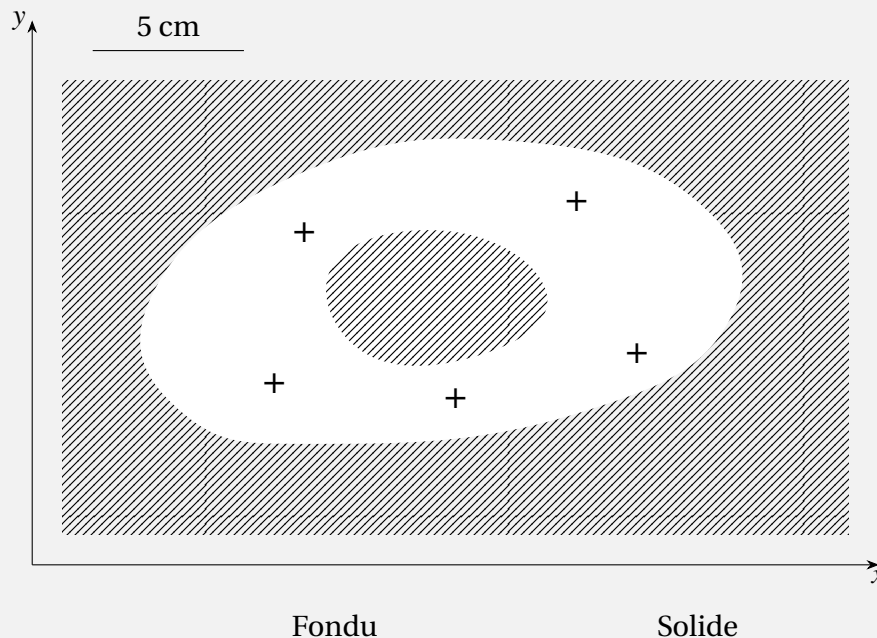
- 1) Retrouver l'équation de diffusion thermique.
- 2) Donner une expression du temps de "propagation". Donner un ordre de grandeur de celui-ci sur une taille caractéristique a .

On considère le problème bidimensionnel suivant. Une plaque carrée de côté a est soumise à des conditions limites différentes.



- 3) On se place en régime permanent et on pose $\theta(M) = T(M) - T_0$. A quelle équation la fonction $\theta(x, y)$ est-elle soumise?
- 4) On cherche les solutions sous la forme : $\theta(x, y) = f(x)g(y)$. Déterminer la forme de f et de g .

Exercice 4 : Micro-onde (Centrale 2025)



On place du chocolat sur une plaque fixe dans un micro-onde. Il fond principalement en 5 points, indiqués par des croix sur la figure ci-dessus. L'échelle est fournie par le segment en haut à gauche.

On modélise le micro-onde comme une cavité bidimensionnelle de dimension a selon x et b selon y , dont les parois sont des conducteurs parfaits et dont l'intérieur est assimilé au vide.

- Rappeler les équations de Maxwell dans le vide ainsi que la condition aux limites imposée par un conducteur parfait sur le champ électrique tangentiel.
En déduire l'équation vérifiée par \vec{E} .
- Quelle forme prendre pour \vec{E} dans cette cavité, en tenant compte des conditions aux limites? On se limitera aux modes TM (champ électrique polarisé selon z).
- En substituant cette expression dans l'équation d'onde, trouver une relation entre f , c , a , b , et les indices de mode m et n .
- À partir du nombre et de la disposition des points chauds, identifier le mode (m, n) excité dans le four. En lisant les dimensions a et b sur la figure, vérifier la cohérence avec la fréquence standard

d'un micro-onde $f = 2,45$ GHz en en déduisant une valeur numérique de c .

Exercice 5 : Décollage d'une fusée (Centrale 2 2025)

I-Étude d'une fusée dans un champ uniforme

On étudie une fusée qui décolle dans un champ de pesanteur uniforme g dont la structure est de masse m_S et emportant une masse m_C de carburant. La masse initiale est donc $m_0 = m_S + m_C$. Le carburant est expulsé sous forme de gaz à raison d'un débit massique $D_m = -\frac{dm}{dt}$ à une vitesse u par rapport à la fusée. On considère D_m et u constants.

- 1) Exprimer la quantité de mouvement de la fusée à t et à $t + dt$.
- 2) Exprimer la quantité de mouvement du gaz éjecté pendant dt .
- 3) À l'aide d'un PFD sur le système fusée + gaz, établir l'équation suivante :

$$m \frac{dv}{dt} = D_m u - mg$$

- 4) Résoudre l'équation pour trouver la vitesse finale atteinte par la fusée après la consommation de l'intégralité du carburant (on néglige pour le moment la variation de g).
- 5) Faire l'application numérique.

II-Étude de la fusée dans un champ non uniforme On ne considère plus le champ de pesanteur uniforme.

- 6) Établir la nouvelle équation du mouvement.
- 7) (code python fourni qui trace $v(t)$ par une méthode d'Euler) Commenter la structure et le principe du code python.
- 8) Commenter les résultats fournis par le code.
- 9) Déterminer l'altitude maximale atteinte par la fusée.

III-Étude d'une fusée en 2 parties On étudie maintenant une fusée en 2 parties, la partie inférieure représentant 80% de la masse (en structure et carburant) se détachant lorsqu'elle ne contient plus de carburant.

- 10) Adapter le code python.
- 11) Commenter les résultats.

Données : $m_S = 100$ t, $m_C = 400$ t, $D_m = 1$ t · s⁻¹, $u = 8$ km · s⁻¹. $M_T = 6 \times 10^{24}$ kg, $R_T = 6,4 \times 10^3$ km, $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻², $g = 9,8$ m · s⁻².

Exercice 6 : Température ressentie (Centrale 1 2025)

- 1) Définir la notion de résistance thermique? L'exprimer pour une résistance parallélépipédique de longueur e et de section S .

On définit $T_p = 33$ °C le température de confort de la peau. On donne :

- h_1 le coefficient de conducto-convection naturel de l'air (avec du coton je suppose) $h_1 = 10$ usi
- h_2 le coefficient de conducto-convection forcée de l'air (avec du coton je suppose) $h_2 = 20$ usi

- λ_c la conductivité thermique du coton $\lambda_c = 0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- λ_a la conductivité thermique de l'air $\lambda_a = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

2) Calculer la température extérieure pour laquelle le corps est à sa température de confort si le corps émet une puissance de 100 W et qu'on porte un vêtement en coton.

En présence de vent de vitesse v , h devient :

$$h = 10\sqrt{v}$$

On définit la température ressentie T_r comme la température qui correspondrait à un flux sans vent égale au flux avec avec vent à la température extérieure.

3) Calculer T_r pour $T_{ext} = 10^\circ\text{C}$ et $v = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Exercice 7 : Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre (Centrale 2 2025)

On cherche à mesurer l'épaisseur d'une plaque de verre.

Partie 1 : Utilisation d'un pachomètre.

Un pachomètre est une carte en plastique qu'on plaque contre une vitre avec un angle de 45° . Le pachomètre des vitriers le plus utilisé est le bi-pachomètre Relda de chez Adler. Une face sert à mesurer l'épaisseur du vitrage.

Le mode d'emploi est inscrit sur le pachomètre même. Pour mesurer l'épaisseur d'un vitrage une flèche indique la face à appliquer contre le vitrage. Ensuite il est indiqué : Lire l'épaisseur du vitrage en repérant la pointe du triangle touchant la base de son image réfléchie.



- 1) Rappeler les lois de Snell Descartes.
- 2) Tracer les rayons (en réfraction et en réflexion) partant de la pointe et d'un sommet d'un triangle.
- 3) Trouver la relation entre l'épaisseur de la vitre e et l'indice optique du verre n .

Partie 2 : Utilisation d'un viseur.

Un viseur permet de voir net un objet situé à une distance D , on peut alors lire la position x de ce viseur.

- 4) Rappeler à quoi correspondent les conditions de Gauss. Quelles sont les conséquences de ces conditions?

On marque une lame de verre de deux points A et B sur chacune de ses faces ainsi qu'une feuille blanche d'un point C . On pose la lame de verre sur la feuille de sorte que A et C soient confondus. On regarde le point B à travers le viseur et on marque x_1 l'abscisse à laquelle le point B à travers le viseur est net.

On regarde le point A à travers le viseur et on marque x_2 l'abscisse à laquelle le point A à travers le viseur est net.

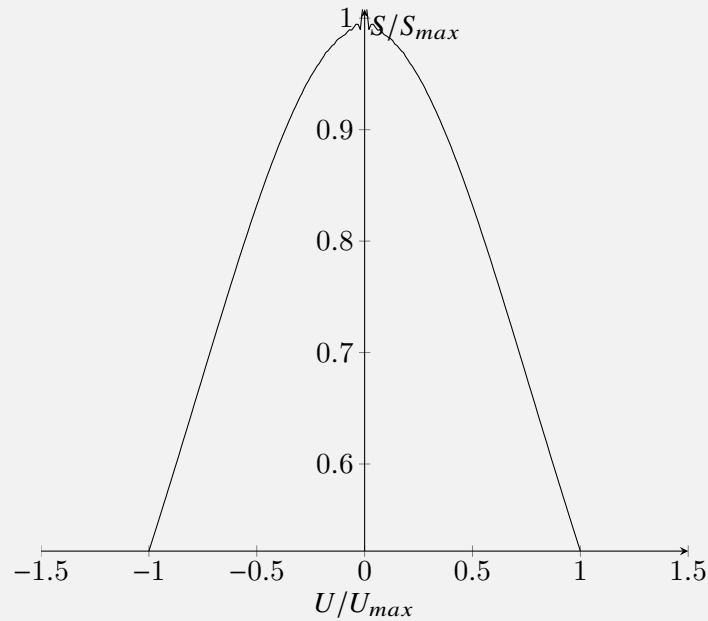
- 5) Donner la relation entre x_1 , x_2 , n et e .
- 6) On enlève la lame de verre et on vise le point C . x_3 est alors l'abscisse à laquelle ce point est vu net.
A quelle grandeur avons nous accès grâce à cette mesure?

Partie 3

- 7) Comment choisir une lentille d'entrée afin qu'un objet situé à une distance D soit envoyé à l'infini par une lunette afocale (!)

Exercice 8 : Système à deux niveaux (Centrale 1 2025)

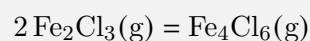
- 1) Rappeler la loi de Boltzmann et son interprétation.
- 2.a) On a 2 niveaux d'énergie ε et $-\varepsilon$. Donner l'énergie moyenne pour N particules.
- 2.b) Exprimer $1/T$ en fonction de ε , E , N et k_b . (On a $\operatorname{argth}(x) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+x}{1-x} \right)$)
- 3.a) On considère un électron en rotation autour d'un noyau de charge $+e$, montrer que cette électron est équivalent à un moment magnétique $\vec{\mu}$ tel que
- $$\vec{\mu} = \gamma \vec{L} \quad \text{où } \vec{L} \text{ est le moment cinétique de l'électron}$$
- On admet qu'on a $L_z = \pm \hbar$ pour l'électron.
- 3.b) Donner l'énergie d'interaction de l'électron avec un champ magnétique $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$ (on rappelle que l'énergie d'interaction d'un moment magnétique dans un champ magnétique est $E_p = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$) puis $1/T$.
- 4.a) On rappelle qu'on a $dU = TdS - pdV$.
Sachant que U correspond à l'énergie moyenne, exprimer S en fonction de U sachant qu'on a un solide indéformable.
On donne : $\int \ln \left(\frac{1+x}{1-x} \right) = (x+1) \ln \left(\frac{1+x}{1-x} \right) + 2 \ln(1-x)$
- 4.b) On donne le graphe de $S = f(U)$. Commenter.



- 5) Deux autres questions sur le signe de $1/T$ (je pense qu'il s'agissait de discuter de la désaimantation adiabatique qui permet de refroidir un système. Le principe est le suivant :
- aimantation adiabatique : au départ, le matériau est en équilibre thermique avec le système à réfrigérer. Puis, on élève la température du matériau au-dessus de celle du réservoir chaud en lui appliquant un champ magnétique B ;
 - transfert isomagnétique d'entropie : en gardant B constant, le matériau est mis en contact thermique avec le réservoir chaud. De l'énergie thermique est alors transférée du matériau vers le réservoir ;
 - désaimantation adiabatique : le matériau est à nouveau isolé thermiquement. On ramène B à zéro. Le matériau voit donc sa température baisser en dessous de celle du système à réfrigérer ;
 - transfert isomagnétique d'entropie : le matériau est maintenant mis en contact thermique avec le système à réfrigérer. Il en résulte un transfert d'énergie thermique du système vers le matériau jusqu'à ce que l'équilibre thermique s'établisse. Le cycle peut alors recommencer.

Exercice 9 : Dimérisation (Centrale 1 2025)

On considère la dimérisation de $\text{Fe}_2\text{Cl}_3(\text{g})$



La réaction se déroule sous une pression totale constante $P_{tot} = 2 \text{ bar}$. On note $x = \frac{n_{\text{dimérisé}}}{n_{\text{initial}}}$ le taux de conversion.

- 1) On donne $x(750 \text{ K}) = 0,923$ et $x(650 \text{ K}) = 0,973$. Trouver K° aux deux températures.
- 2) Déterminer $\Delta_r H^\circ$.
- 3) Déterminer $\Delta_r S^\circ$.
- 4) Comment optimiser la dimérisation? Paramètres, gaz inerte? Qu'entend-t-on usuellement par température et pression des processus industriels.

Exercice 10 : Électron à l'interface entre deux milieux (Centrale 2025)

Soit une interface hélium air. (l'air est le demi-espace $z \geq 0$). On observe un électron dans l'air au voisinage de l'interface entre des deux milieux. On admet l'existence d'un potentiel $V = -a/z$ avec $a = \frac{Ke^2}{16\pi\epsilon_0}$ avec $K = 2,8 \times 10^{-2}$ (NdR : le potentiel est similaire à celui des images électrostatiques dans la feuille de TD...).

On rappelle l'équation de Schrödinger :

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

- 1) Retrouver l'équation de Schrödinger indépendante du temps
- 2) Chercher le niveau d'énergie minimal on posera $\varphi(z) = cz \exp(-kz)$. On exprimera aussi k
- 3) Par normalisation, trouver c
- 4) Calculer $\langle z \rangle$
- 5) A.N à foison (E_1, k, a)

On place maintenant deux électrodes d'une part et d'autre de l'interface air-hélium, on impose un champ \vec{E} entre les deux électrodes afin d'extraire l'électron "loin" de l'interface. L'électron "oscille" avec un temps caractéristique T

- 6) Déterminer le sens du champ pour que celui-ci soit favorable à la sortie de l'électron (vers l'air loin de l'interface donc)
 - 7) Faire un schéma traçant $W(z)$ (l'énergie potentielle) et indiquer E_1 et L (largeur du puits) sur le schéma
- On note $p = \exp(-2kL)$ la probabilité que l'électron franchisse la barrière par effet tunnel. On a $p \ll 1$
- 8) Montrer que $T \simeq h/E_1$
 - 9) Déterminer P_n la probabilité que l'électron soit encore bloqué après n tentatives de sortie. Montrer que $P_n \propto \exp(-np)$. En déduire $P(t) = \exp(-t/\tau)$ et déterminer τ en fonction de p et T . (ici $P(t)$ représente la probabilité que l'électron soit encore dans le puits à l'instant t)
 - 10) Calculer p, T (A.N)
 - 11) Dernière q que je n'ai pas traité.

Exercice 11 : Tir d'un obus (Centrale 2025)

On considère un obus de masse $M = 15$ kg et de diamètre $d = 105$ mm.

On donne $M_{air} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $p = 1$ bar et $T = 20$ °C.

On note v_0 la norme de la vitesse initiale.

- 1) On considère dans un premier temps un tir sans frottement. Quelle est l'expression de $x(t)$ et $z(t)$ ainsi que la portée?
- 2) Comment optimiser la portée?

On considère à présent un tir en prenant en compte les frottements fluides. Il existe alors une force de frottement de la forme :

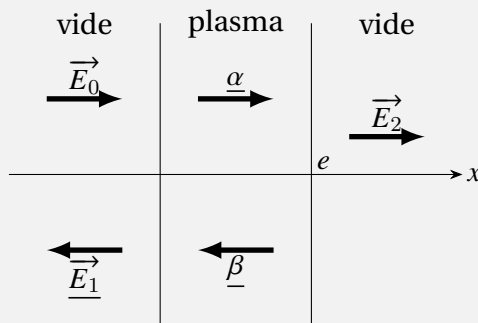
$$\vec{F} = -k v \vec{v} \quad \text{avec } k = C_x \rho_{air} S$$

où S est la section transverse exposée à l'air.

- 3) Quel est le système d'équations différentielles vérifiées par $\frac{dx}{dt}$ et $\frac{dz}{dt}$?
- 4) Calculer k .
- 5) A l'aide du script python fourni, déterminer la portée maximal et l'angle optimal qui lui est associée.
- 6) Si on ajoute du vent que se passe-t-il ?
- 7) Pouvez vous penser à d'autres paramètres à prendre en compte ?

Exercice 12 : Traversée d'un plasma (Centrale 2 2025)

On envoie une onde électromagnétique sur une zone occupée par un plasma d'épaisseur e . La situation peut alors être modélisée par le schéma suivant.



On a les différents champs qui sont de la forme :

$$\vec{E}_i = \underline{E}_0 \exp i(\omega t - k_0 x) \vec{e}_z \quad (1)$$

$$\vec{E}_1 = \underline{E}_1 \exp i(\omega t + k_0 x) \vec{e}_z \quad (2)$$

$$\vec{E}_{\text{plasma}} = \left(\underline{\alpha} \exp(-ikx) + \underline{\beta} \exp(ikx) \right) \exp i\omega t \vec{e}_z \quad (3)$$

$$\vec{E}_2 = \underline{E}_2 \exp i(\omega t - k_0(x - e)) \vec{e}_z \quad (4)$$

1.a) Exprimer k_0

1.b) Sachant qu'on a

$$\vec{j} = \underline{\gamma} \vec{E} \quad \text{avec } \underline{\gamma} = \frac{ne^2}{i\omega} \left(\frac{1}{m_+} + \frac{1}{m_-} \right)$$

Déterminer k en fonction de c , ω et ω_p (que l'on définira ...).

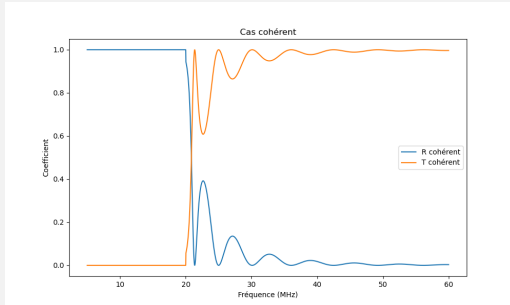
1.c) On admet la continuité du champ électromagnétique. Montrer qu'on a :

$$\begin{cases} \underline{E}_0 = \underline{\alpha} + \underline{\beta} - \underline{E}_1 \\ \underline{E}_0 = \frac{k}{k_0} \underline{\alpha} - \frac{k}{k_0} \underline{\beta} + \underline{E}_1 \end{cases} \quad \begin{cases} \underline{E}_2 = \underline{\alpha} \exp(-ike) + \underline{\beta} \exp(ike) \\ \underline{E}_2 = \frac{k}{k_0} \underline{\alpha} \exp(-ike) - \frac{k}{k_0} \underline{\beta} \exp(ike) \end{cases}$$

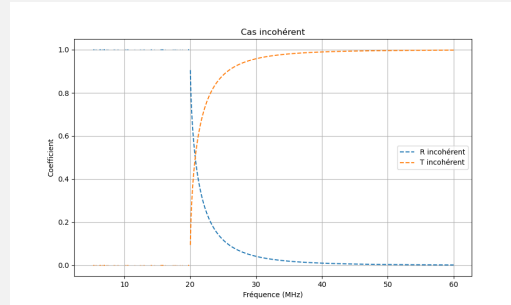
2.a) Expliquer le code Python fourni (disjonction des cas entre si k^2 positif ou pas et discussion sur le signe - dans le cas $k^2 < 0$).

2.b) Pourquoi peut-on arbitrairement fixer \underline{E}_0 ?

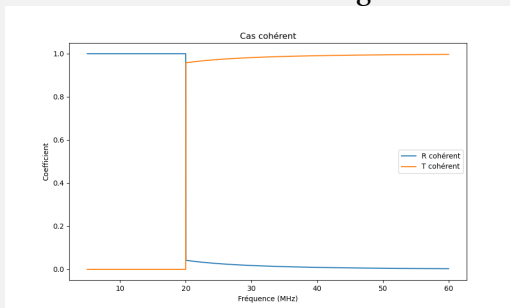
- 2.c) Commenter les valeurs de R et T pour $f = 8,5$ MHz et 95 MHz.
- 3) Expliquer dans le code Python à quoi correspond le booléen `coher`. (j'ai proposé un code python ...) Mais je ne promets rien!
- 4) On fait varier les paramètres `coher` et e . On obtient les résultats suivants



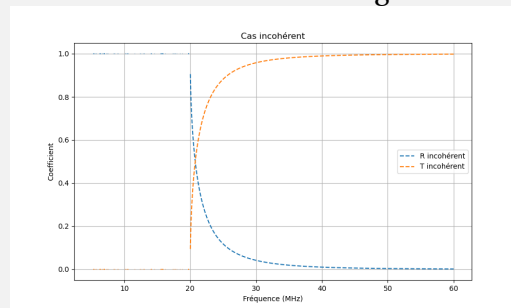
Cas cohérent avec e "grand"



Cas incohérent avec e "grand"



Cas cohérent avec e "petit"



Cas incohérent avec e "petit"

- 5) Je pense qu'il s'agit de la modélisation du plasma (première partie sur le fait de négliger F_{mag}).

Exercice 13 : (Centrale 2025)

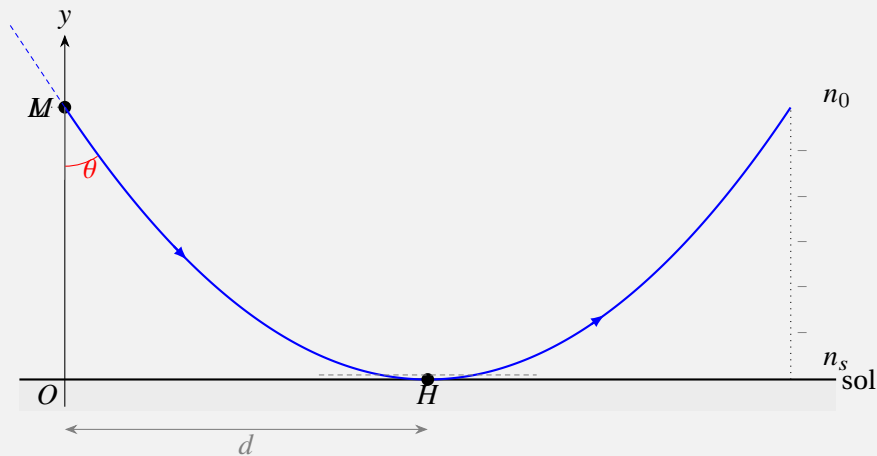
Données :

- paramètre de la maille $a = 509$ pm,
- rayon des atomes ioniques $R(\text{Zr}^{4+}) = R_+ = 84$ pm et $R(\text{O}^{2-}) = R_- = 140$ pm,
- Masses molaires : $M(\text{Zr}) = 91 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- 1) On donne $Z = 40$ pour le zirconium Zr. Montrer qu'il n'appartient pas au bloc s ni au bloc p. L'ion Zr^{4+} déroge-t-il à la règle de l'octet?
- 2) On considère la zircone, maille composée de cations Zr^{4+} et anions O^{2-} . Les atomes sont considérés comme des sphères dures. Les cations sont en CFC et les anions dans les sites tétraédriques. Représenter la maille, en déduire sa formule. Déterminer la densité de la maille et sa compacité. Coordinences.
- 3) Déterminer le rayon maximal que peut avoir un anion situé dans un site tétraédrique d'une maille CFC composée de cations Zr^{4+} en fonction de R_+ (rayon d'un cation). Commenter.
- 4) Dopage. On substitue une fraction $x = 9\%$ des cations Zr^{4+} par des atomes d'yttrium Y. En sachant que l'yttrium est situé juste avant le Zr dans le tableau périodique, commenter.

Exercice 14 : Les mirages♥ (Centrale 2025)

On considère un modèle où l'indice de l'air dépend de l'altitude : pour une hauteur L , $n(y) = n_0$ si $y \geq L$, $n(0) = n_s$, et n varie de façon continue et monotone entre 0 et L .



- 1) Pour un rayon arrivant en M avec l'incidence θ , calculer la distance minimale d à laquelle doit être situé l'objet pour qu'un mirage apparaisse.
- 2) On considère le modèle $n = 1 + \alpha \frac{P}{T}$. Un Michelson en lame d'air, éclairé par une lampe sodium ($\lambda = 589 \text{ nm}$), est muni d'une cuve de longueur $l = 5 \text{ cm}$ dans laquelle on impose une dépression $\Delta P = 200 \text{ mbar}$ à température ambiante $T = 293 \text{ K}$. On observe 9 minima et 9 maxima. En déduire α .
- 3) Pour un observateur de taille $h = 1,70 \text{ m}$, quelle est la distance minimale d'apparition d'un mirage?

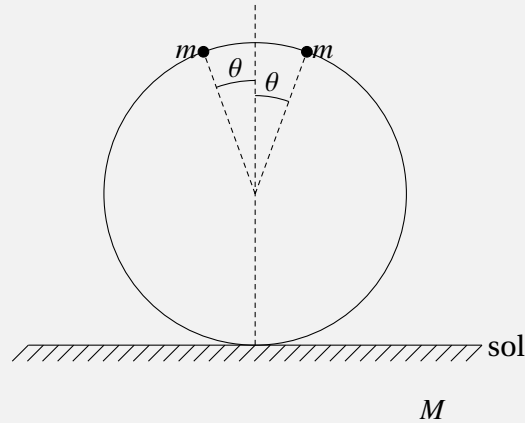
Exercice 15 : Réflexion sur un plasma (Mines 2025)

Exercice 1 (avec préparation 15min) :

Soit un plasma de densité n . On note $\underline{\gamma} = \frac{nq^2}{im\omega}$ la conductivité complexe du plasma.

On envoie une onde EM de la forme : $\vec{E} = E_0 \vec{e}_y \exp i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$.

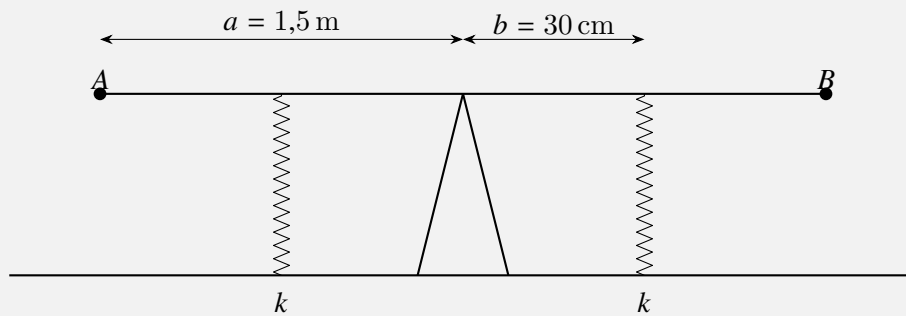
- 1) Déterminer la relation de dispersion d'une OPPM au sein du plasma.
- 2) Le plasma occupe de demi-espace $z \geq 0$. Il n'y a pas de charge surfacique en $z = 0$. On envoie une onde incidente sur le plasma avec une incidence i . Montrer qu'il existe une onde réfléchie et distinguer les cas pour l'exprimer.

Exercice 16 : Décollage d'un cerceau (Mines 2025)

Soit un cerceau de masse M . Deux masses glissent sans frottement autour du cerceau. À l'instant initial, elles partent du haut avec une vitesse v_0 . Il n'y a pas de frottement entre le sol et le cerceau. Donner les conditions sur les paramètres pour que le cerceau décolle.

Exercice 17 : Balançoire (Mines 2025)

On considère une balançoire de moment d'inertie à vide J , reliée par deux ressorts identiques de raideur k au sol.

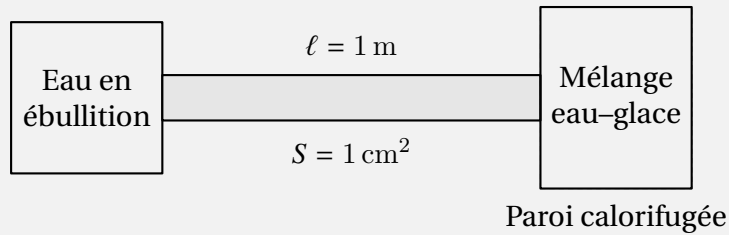


Un enfant de masse $m = 15 \text{ kg}$ est au point A . À l'équilibre, il a descendu de 15 cm .
On note

$$a = 1,5 \text{ m} \quad \text{et} \quad b = 30 \text{ cm}$$

les distances indiquées sur la figure.

- Un enfant de masse m est au point B (il y a toujours l'enfant au point A). Une personne extérieure applique une force $\vec{F}(t)$ verticalement au point A de sorte à obtenir un mouvement sinusoïdal de pulsation Ω et d'amplitude $z_0 = 15 \text{ cm}$.
On considère que les enfants ne décollent pas et ont un mouvement vertical.
Exprimer $\vec{F}(t)$ et interpréter son expression.
- Pour quelles valeurs de Ω les enfants ne décollent-ils pas?
- À la limite du décollage, quelle est la norme de $\vec{F}(t)$? Quelle puissance a dû fournir la personne?
- La personne extérieure n'intervient plus; elle laisse initialement le point B descendre de 15 cm . Quel est le mouvement de la balançoire?

Exercice 18 : Conduction thermique (Mines 2025)

On considère un barreau calorifugé sur les bords au contact de l'air de longueur $\ell = 1 \text{ m}$ et de section $S = 1 \text{ cm}^2$, reliant une enceinte d'eau en ébullition à un mélange eau-glace contenu dans une paroi calorifugée.

- On attend le régime stationnaire. On observe que pour une durée $\Delta t = 1 \text{ h}$, une masse $m = 8,6 \text{ g}$ de glace a fondu.
En déduire la conductivité thermique du barreau.
On donne la chaleur latente de fusion :

$$L_f = 333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Il y avait deux autres questions qui n'ont pas été traitées.

Exercice 19 : Identification de dipôles (Mines 2025)**Exercice de cours :**

- Puits quantique fini : solution et niveaux d'énergie.
- Analogie avec d'autres phénomènes physiques.

Exercice

On dispose d'une résistance, d'une bobine et d'un condensateur et on réalise deux dipôles D_1 et D_2 .

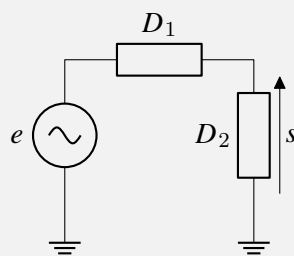
En régime continu on mesure :

$$I = 1,0 \text{ mA} \quad \text{et} \quad E = 3,0 \text{ V}.$$

En régime sinusoïdal on observe un passe-bande tel que :

$$f_0 = 1,0 \text{ kHz} \quad \text{et} \quad \Delta f = 200 \text{ Hz}.$$

Proposer la/les constitutions possibles de D_1 et D_2 ainsi que la valeur des composants. Avec le montage suivant :



Exercice 20 : Diode à vide (Mines 2025)**Question de cours**

Interféromètre de Michelson en configuration lame d'air, éclairé par une source étendue.

Exercice

1. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour obtenir une relation entre la vitesse des électrons et le potentiel en un point M quelconque.
2. Trouver une relation entre la densité de charge volumique et l'intensité.
3. En déduire une équation différentielle vérifiée par V .
4. Donner alors la loi $I(U)$ sachant que le champ électrique est nul en $x = 0$.

NdR : c'est la diode à vide si je ne dis pas de bêtise (la version "méchante" où on ne propose pas de forme de solution ...)

Exercice 21 : Interaction charge monopôle magnétique (Mines 2025)

Soit une particule de charge q et de masse m , soumise à un champ magnétique

$$\vec{B} = \frac{\lambda\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{r}}{r^3}.$$

1. Trouver les variations de r^2 . On pourra calculer $\frac{dr^2}{dt}$ et $\frac{d^2r^2}{dt^2}$.
2. Trouver une relation entre le moment cinétique \vec{L}_O et \vec{u}_r . En déduire la forme géométrique dans laquelle reste la particule.
3. Question oubliée (je ne serais pas surpris que la question porte sur le caractère lié ou pas du mouvement).

Exercice 22 : Réponse d'un RC (Mines 2025)

Soit un circuit RC classique avec

$$u_e(t) = \begin{cases} \frac{u_0}{\alpha\tau} t & \text{si } t \leq \alpha\tau, \\ u_0 & \text{sinon,} \end{cases}$$

(affine jusqu'à $\alpha\tau$ puis constante égale à u_0), où $\tau = RC$.

1. Calculer $u_s(t)$.
2. Calculer l'énergie dissipée par effet Joule.

Analyse dimensionnelle

Montrer que

$$[\varepsilon_0 \vec{E} \wedge \vec{B}] = [\text{qdm}] [\text{volume}]^{-3}.$$

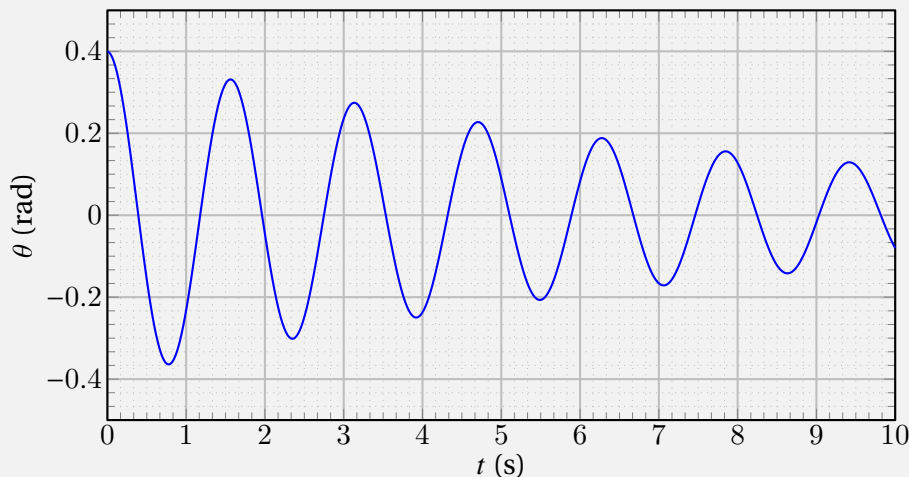
où qdm désigne la quantité de mouvement.

Exercice 23 : Identification des paramètres d'un pendule (Mines 2025)

Soit un pendule d'axe de rotation (Oz). On place un contrepoids tel qu'à vide, le centre d'inertie soit confondu avec O .

On repère θ , angle entre le pendule et la verticale.

On place une masse $m = 500 \text{ g}$ à une distance $\ell = 50 \text{ cm}$. de l'axe de rotation.



1. Déterminer J à partir du graphe.
2. Estimer le facteur de qualité de l'oscillateur.
3. On considère deux pendules identiques au précédent (sans la masse pour le déséquilibrer) et reliés par un fil de torsion qui crée un couple de rappel de la forme $\Gamma = C(\theta_2 - \theta_1)$ sur le pendule 1. Donner l'équation du mouvement.
4. La résoudre. (non traité)

Exercice 24 : Champ d'un cylindre en rotation (Mines 2025)

Soit un cylindre chargé uniformément en rotation selon son axe de révolution.
Déterminer le champ magnétique créé.

Exercice 25 : Lunette (Mines 2025)

Question de cours : Tout sur les lentilles minces : définition, propriétés, conventions. (Il fallait vraiment expliquer tout le cours de sup, même les différents tracés des lentilles divergentes.)

Exercice d'application : On a un objectif de focale

$$f' = 50 \text{ cm},$$

un objet à l'infini et une image à l'infini. On veut un grossissement angulaire de 10.
Donner les caractéristiques de l'oculaire.

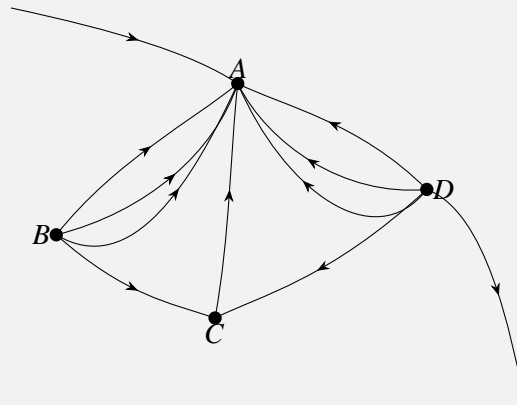
Exercice 26 : Lecture d'une carte de champ (Mines 2025)

On donne le tracé des lignes de champ pour un système de charges.

Travail demandé :

- la nature des charges,
- le signe des charges,
- la valeur des charges.

(On note sur le schéma : "unique ligne venant de l'infini" et "unique ligne allant vers l'infini".)



Exercice 27 : Sondage d'un plasma (Mines 2025)

On considère l'ionosphère comme un plasma dilué.

1. Comment s'écrit la longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{f^2 - f_p^2}} \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{c_0}{\sqrt{f^2 - f_p^2}}.$$

2. Établir l'expression de f_p en fonction de \sqrt{n} .
3. On fait un sondage ionosphérique. On sait que

$$n(z) = \begin{cases} A(z - z_0) + C & \text{pour } z < z_1, \\ \text{décroit pour } z > z_1. \end{cases}$$

On note τ le temps d'écho.

- Pour $f \leq f_0$, on a τ_0 indépendant de f .
- Pour $f = f_1$, on a τ_1 .
- Pour $f > f_1$, on n'a aucun écho.

Trouver comment on obtient z_1 , z_0 , C , A .

Exercice 28 : Échangeur thermique (Mines 2025)

Tuyau de rayon R_1 dans un métal d'épaisseur e et de conductivité thermique λ .

De l'eau passe dedans avec un débit massique D_m . L'extérieur est à une température T_A , et l'eau à l'entrée du tuyau est à la température T_E .

Donner l'allure de la température dans le tuyau.

Données :

$$\lambda = 400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad D_m = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \\ R_1 = 7 \text{ cm}, \quad e = 1 \text{ cm}.$$

Exercice 29 : Énergie d'un système (Mines 2025)

On considère un système de charge dont le potentiel électrostatique est à symétrie sphérique et

s'écrit :

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \exp(-2r/a) \left(1 + \frac{r}{a}\right).$$

1. Définir l'énergie électrostatique de liaison du système.
2. Déterminer cette énergie.

Exercice 30 : Mesure de γ (Mines 2025)

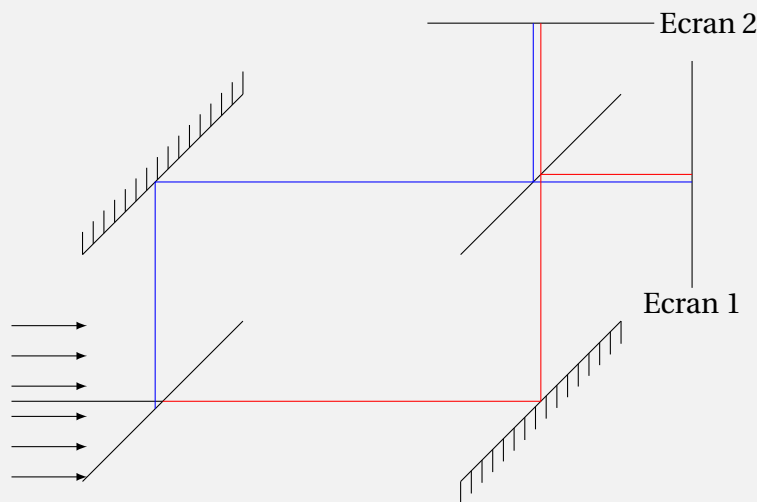
Un piston de section S comprime un gaz parfait constitué de n moles. Le volume d'équilibre est V_0 , connu.

On souhaite déterminer le coefficient

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

à l'aide d'une mesure de la période des petites oscillations du piston.

Exercice 31 : Mach Zender (Mines 2025)



Une onde plane progressive arrive sur un dispositif constitué de deux lames semi-réfléchissantes, deux miroirs et de deux écrans (écran 1 et écran 2). Entre les écrans peuvent être insérées :

- une lame à faces parallèles d'indice n_2 ,
- une plaque d'indice n_{gel} ,
- un petit prisme (ou coin) d'indice n_1 et d'angle α .

1. Déterminer l'éclairement sur les écrans en fonction du déphasage $\Delta\varphi$, uniquement en séparations, après traversée d'une lame d'air.
2. On ajoute une plaque d'indice n_{gel} . Déterminer le nouvel éclairement.
3. On insère un élément d'indice n_1 d'un petit angle α . Déterminer l'éclairement correspondant.

Exercice 32 : Barreau d'uranium (Mines 2025)

On considère un cylindre rempli d'un matériau fissile UO_2 de rayon $R_1 = 4$ mm considéré comme infini selon sa hauteur.

Le matériau a une conductivité thermique $\lambda = 3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

On suppose que la température est constante au bord pour $r = R_1$, $T(R_1) = T_1$.
Le composé UO_2 entraîne le terme $p_v \approx 1 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$ de création volumique.

1. Déterminer la température au centre $T(0)$.
2. Pourquoi le UO_2 n'est-il pas pratique?
3. Que se passerait-il si on doublait le rayon?

Autres questions non traitées.

Exercice 33 : Échauffement d'un pneu (Mines 2025)

On modélise un pneu de voiture comme un tore rempli d'air. La jante a un rayon $R_1 = 18 \text{ cm}$, le rayon extérieur du pneu est $R_2 = 30 \text{ cm}$ et la largeur du pneu est $l = 20 \text{ cm}$.

Le pneu est gonflé à la pression $P_i = 2,3 \text{ bar}$ à la température ambiante $T_a = 20^\circ\text{C}$.

Après avoir roulé à vitesse constante $P_f = 130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ pendant un certain temps, la pression interne mesurée vaut $2,9 \text{ bar}$. On modélise l'air comme un gaz parfait et on suppose que le volume reste constant.

L'échauffement de l'air est dû aux pertes mécaniques liées aux déformations du pneu lors du roulement. On suppose que le système est en régime permanent.

Le transfert thermique est évacué vers l'extérieur selon deux voies :

- par conduction à travers la gomme, d'épaisseur $1,0 \text{ cm}$ et de conductivité thermique $0,20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- par conduction à travers la jante en aluminium, d'épaisseur $5,0 \text{ mm}$ et de conductivité thermique $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

L'échange thermique avec l'air extérieur est modélisé par une conducto-convection caractérisée par un coefficient $h = 80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

On donne la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et, pour l'air, $C_V = \frac{5}{2}R$.

1. Déterminer la température de l'air dans le pneu après échauffement.
2. Identifier l'élément limitant du transfert thermique et discuter la cohérence physique du modèle.
3. En régime permanent, estimer la puissance thermique dissipée par un pneu roulant à $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Exercice 34 : Étoile à neutrons (Mines 2025)

On considère une étoile à neutrons avec les hypothèses et données suivantes.

Données

- Constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Masse d'un neutron : $m = 1,2 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Masse de l'étoile : $M = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Hypothèses

- L'étoile est stable.
- Elle est composée uniquement de neutrons.
- On néglige les interactions neutron–neutron.

— La masse est uniformément répartie.

1. On considère les neutrons comme formant un gaz quantique dégénéré (c'est-à-dire un gaz très dense pour lequel les effets quantiques imposent une énergie cinétique minimale, même à température nulle).

— Montrer que l'énergie est quantifiée.

— Donner l'expression de l'énergie minimale.

— Retrouver cette énergie minimale à l'aide du principe d'incertitude de Heisenberg.

2. Estimer le nombre total de neutrons dans cette étoile (à partir des données fournies).

3. En supposant que chaque neutron est confiné dans un volume V/N , montrer que l'énergie cinétique totale de l'étoile peut s'écrire, à une constante multiplicative près :

$$E_c \sim \frac{\hbar^2}{2mR^2} N^{5/3}.$$

4. On note E_g l'énergie de cohésion gravitationnelle. Par analyse dimensionnelle, établir une expression de E_g en fonction de G , M et R , à une constante multiplicative près.

5. Tracer qualitativement l'énergie totale

$$E(R) = E_c + E_g$$

et donner un ordre de grandeur du rayon d'équilibre de l'étoile à neutrons.

6. En déduire la masse volumique de l'étoile et la comparer à celle d'un noyau atomique de rayon

$$r = r_0 A^{1/3},$$

où A est le nombre de nucléons et $r_0 \simeq 10^{-15}$ m.

Exercice 35 : Pendule à point d'attache mobile (Mines 2025)

1. Retrouver l'équation du mouvement du pendule simple de longueur ℓ et de masse m , dans le cas où le point d'attache est fixe.

2. On suppose maintenant que le point d'attache du pendule suit un mouvement circulaire uniforme de rayon R et de vitesse angulaire Ω .

Le pendule est attaché à ce point mobile par un fil de longueur ℓ et la masse est notée m .

(a) Établir l'équation du mouvement du pendule dans ce cas.

(b) Discuter qualitativement l'influence du mouvement du point d'attache.

Exercice 36 : Piège harmonique et interaction optique (X 2025)

On considère un ion de masse molaire

$$M = 140 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

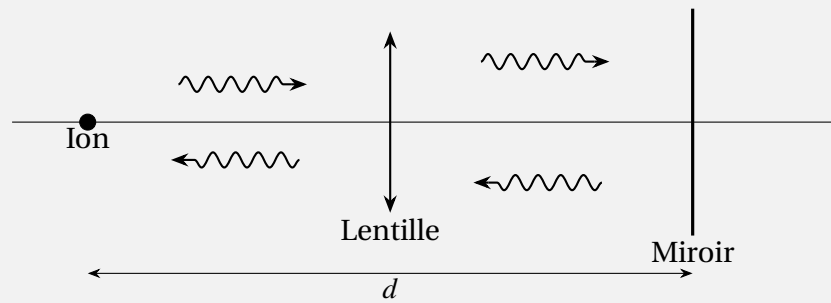
piégé selon l'axe z dans un potentiel harmonique de fréquence

$$f_0 = 1 \text{ MHz}.$$

On rappelle que

$$V(z) = \frac{1}{2} m \omega_0^2 z^2, \quad E_n = \hbar \omega \left(n + \frac{1}{2} \right),$$

avec $\omega_0 = 2\pi f_0$.



L'ion est excité par un laser et émet de la lumière de longueur d'onde

$$\lambda_\ell = 500 \text{ nm}$$

pendant un temps τ .

Une lentille capte une fraction ε de cette lumière, qui est réfléchiée par un miroir plan situé à une distance d de l'ion.

La lumière réfléchiée agit mécaniquement sur l'ion et induit une énergie potentielle de la forme

$$U_m(d) = -\frac{\hbar}{2\tau} \varepsilon P_e \sin(2k_\ell d),$$

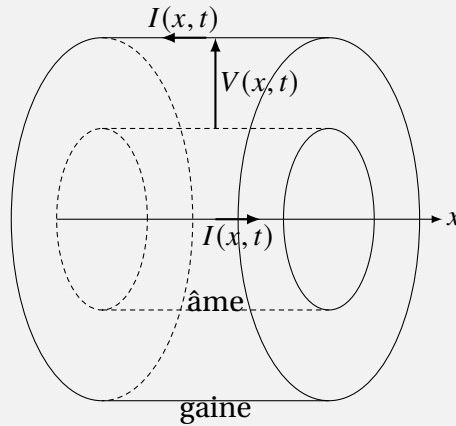
où P_e est la probabilité d'excitation de l'ion et $k_\ell = \frac{2\pi}{\lambda_\ell}$.

Questions :

1. Proposer une méthode expérimentale permettant d'étudier la dépendance de U_m en fonction de d .
2. Discuter les difficultés expérimentales liées au mouvement de l'ion autour de sa position d'équilibre.
3. Établir une condition sur la température T permettant de négliger l'influence des fluctuations thermiques.
4. Reprendre la discussion précédente en se plaçant à un niveau d'énergie quantique n donné. Déterminer la variation spatiale correspondante et en déduire une condition expérimentale.

Exercice 37 : Câble coaxial (X 2025)

On considère un câble coaxial d'axe (Ox) , constitué d'une armature interne et d'une armature externe.



On note $V(x, t)$ la différence de potentiel entre les deux armatures et $I(x, t)$ le courant circulant dans l'armature interne.

Le câble est caractérisé par :

- une résistance linéique ρ ,
- une inductance linéique Λ ,
- une capacité linéique Γ .

On considère un élément infinitésimal de longueur dx du câble.

Questions :

1. Établir les équations locales reliant $V(x, t)$ et $I(x, t)$ à partir des lois des nœuds et des mailles.
2. En déduire une équation aux dérivées partielles vérifiée par $I(x, t)$.
3. Discuter la nature de cette équation et son interprétation physique.

Exercice 38 : Oxygénation (Chimie X 2025)

Données :

- $K_h = 1,3 \times 10^{-3}$: constante de réaction de la réaction $O_2(g) = O_2(aq)$ dans les conditions standards
- $\Delta_r H^\circ = -12 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$: enthalpie molaire de la réaction dans les conditions standards
- Air : 20% de O_2

1. Schéma de Lewis du dioxygène, cette molécule est-elle polaire?
2. Solubilité de O_2 à la surface de l'eau de mer dans les conditions standards?
3. Que devient la solubilité si on augmente la température?
4. On augmente la température de 6°C , calculer la variation relative de la solubilité.

Cinétique de la réaction, on note n la quantité de matière de O_2 dissous à tout instant. On suppose que la réaction suit une cinétique de la forme :

$$\frac{dn}{dt} = -k_t([O_2] - [O_2]_\infty)S$$

où k_t est le coefficient de transfert de matière, S est la surface d'étude considérée.

5. Que représente $[O_2]_\infty$? Quel est le signe de $\frac{dn}{dt}$? En déduire son expression. Donner l'unité de k_t .

[
T (°C)	k_t (m · s ⁻¹)
10	1,20
15	1,45
20	1,75
25	2,10
30	2,55

TABLE 1 : Coefficient de transfert de matière de O₂ en fonction de la température

- On donne un tableau avec des valeurs de k_t en fonction de T . Calculer l'énergie d'activation de la réaction. Commenter.
- On introduit x comme le rapport de la concentration de O₂ à $[O_2]_\infty$. On suppose que n est constant sur une profondeur de 10 cm. On considère une eau de mer à 17 °C, $x = 0,9$. Déterminer le temps qu'il faudra pour que cette eau revienne à $x = 0,99$.
- On considère la réaction de la dissociation de la myoglobine oxygénée $MbO_2(aq) = Mb(aq) + O_2(aq)$ de constante de réaction $K = 5 \times 10^{-6}$. On introduit le coefficient Y défini par : $Y = \frac{[MbO_2]}{[MbO_2] + [Mb]}$. Exprimer Y en fonction de la pression de O₂ et d'une constante P^* qu'on définira.

Exercice 39 : Interaction nappe-dipôle (X 2025)

On considère une nappe de courant avec une densité volumique de courant :

- pour $|z| < a$, $\vec{j} = j_0 \vec{e}_x$
- pour $|z| > a$, $\vec{j} = \vec{0}$

On note \vec{e}_z la verticale.

On considère une particule de masse m de moment \vec{M} . On la laisse s'orienter puis on la laisse libre, sans interactions avec les particules de la nappe. Déterminer le mouvement du dipôle. On suppose que la force s'exerçant sur le dipôle dérive de l'énergie potentielle $E_p = -\vec{M} \cdot \vec{B}$

Exercice 40 : Gravitation modifiée (ENS 2025)

Soit un point O fixe. Soit un point P de masse m pour lequel on note $\|OP\| = r$. P est soumis à une force $\vec{F} = -\frac{mk}{r^2} \exp(-r/a) \vec{e}_r$.

- Déterminer une condition pour avoir une trajectoire circulaire
- Discuter de la stabilité des trajectoires
- Question qualitatives de fin d'oral : Commentez la stabilité de ces trajectoires si $r \ll a$ et si $r \gg a$

Exercice 41 : Anneau conducteur dans un champ magnétique (X 2025)

On considère un tore conducteur homogène, de rayon moyen a et d'épaisseur $\varepsilon \ll a$.

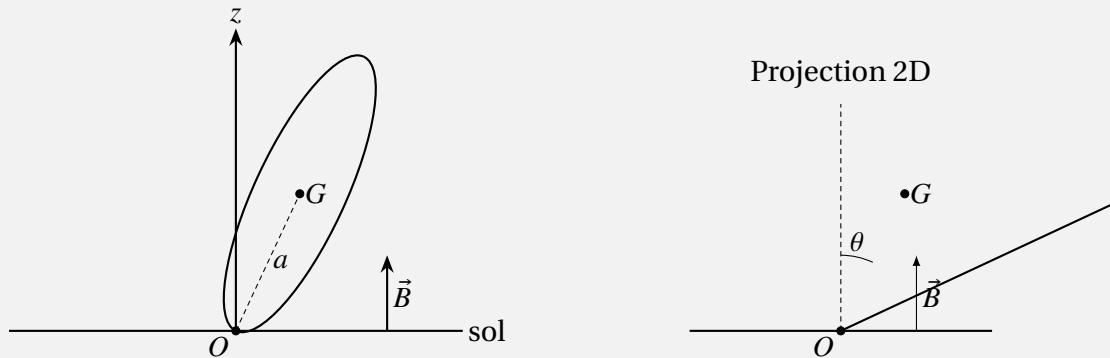
On note J son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation.

Le tore est placé dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , vertical et constant.

On incline initialement le tore d'un angle θ_0 par rapport à la verticale, puis on le lâche sans vitesse

initiale.

On suppose que le tore peut tourner librement autour d'un axe horizontal passant par son centre.



- 1) Décrire qualitativement le phénomène électromagnétique mis en jeu lors du mouvement du tore.
- 2) Établir l'équation du mouvement.

On suppose qu'on peut négliger le terme inertiel.

- 3) En déduire une expression du temps de chute dans le régime où l'induction domine le terme inertiel.

Exercice 42 : Modèle de l'atome d'hydrogène de J. J. Thomson (ENS 2025)

On modélise l'atome d'hydrogène par une sphère de rayon a , uniformément chargée avec une charge totale $+e$.

Un électron de charge $-e$ et de masse m est placé au centre de la sphère.

Questions :

1. L'électron est déplacé d'une petite distance $x \ll a$ par rapport à sa position d'équilibre, sans vitesse initiale.
 - (a) Déterminer le champ électrique à l'intérieur de la sphère.
 - (b) En déduire l'équation du mouvement de l'électron.
 - (c) Interpréter physiquement le résultat.
2. L'électron est à sa position d'équilibre. On applique un champ électrique extérieur uniforme

$$\vec{E}_0 = E_0 \vec{e}_x,$$

supposé suffisamment faible.

- (a) Déterminer la nouvelle position d'équilibre.
 - (b) En déduire le moment dipolaire induit.
 - (c) Exprimer la polarisabilité de l'atome dans ce modèle.
3. On considère maintenant un champ électrique extérieur sinusoïdal :

$$\vec{E}(t) = E_0 \cos(\omega t) \vec{e}_x.$$

- (a) Établir l'équation différentielle vérifiée par $x(t)$.
- (b) Déterminer la réponse en régime forcé.
- (c) Discuter le comportement du système en fonction de la fréquence ω .

Exercice 43 : Porphyrine (X 2025)**Oral : acides aminés et interactions avec une porphyrine****1) Étude générale d'un acide aminé**

On considère un acide aminé de formule générale



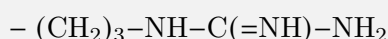
On donne :

$$pK_{a1} = 2.2 \quad pK_{a2} = 9.6 \quad (pK_{a1} < pK_{a2})$$

1. Montrer que cette espèce est amphotère. Identifier les couples acide/base mis en jeu.
2. Tracer le diagramme de prédominance en fonction du pH.
3. Donner le nom de la fonction $-\text{CO}_2\text{H}$.

2) Cas particulier : l'arginine

On considère l'arginine, dont la chaîne latérale est :



On donne :

$$pK_{a1} = 1.8 \quad pK_{a2} = 9.0 \quad pK_{a3} = 13.6$$

1. Identifier les différents sites acido-basiques.
2. Tracer le diagramme de prédominance.
3. Justifier le caractère amphotère de l'arginine.

3) Étude d'une porphyrine Pm

On étudie une porphyrine notée Pm. On donne :

$$pK_a(\text{PmH}^+ / \text{Pm}) \approx 5.5$$

1. Justifier le caractère acido-basique de Pm.
2. Identifier le site acido-basique sur le schéma fourni.
3. Comparer avec le phénol ($pK_a \approx 10$) et commenter.

4) Spectroscopie UV-visible

On fournit les courbes d'absorbance de Pm puis de Pm en présence de différents acides aminés.

On rappelle la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon \ell C$$

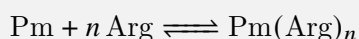
avec :

$$\ell = 1 \text{ cm}$$

1. Interpréter qualitativement l'évolution des spectres.
2. Expliquer l'effet d'une réaction acido-basique sur l'absorbance.

5) Complexation avec l'arginine

On considère la réaction :



On note :

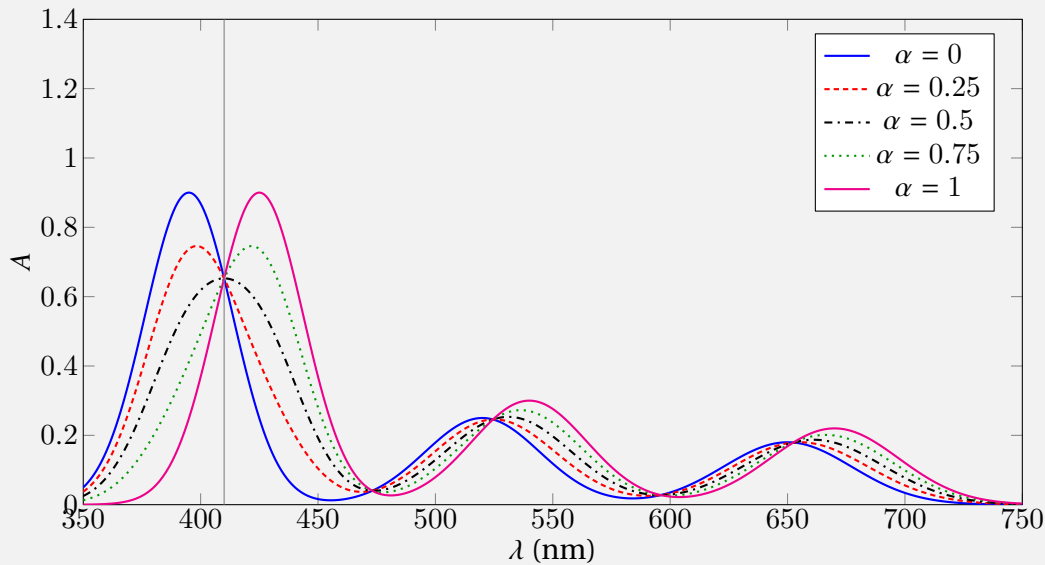
$$C_0 = [\text{Pm}]_0 + [\text{Arg}]_0 \quad R = \frac{[\text{Arg}]_0}{C_0}$$

On donne :

$$\varepsilon_1 = 1,2 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \quad \varepsilon_2 = 3,5 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

avec $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$.

1. Exprimer l'absorbance à l'équilibre.
2. Exprimer $[\text{Pm}]_0$ et $[\text{Arg}]_0$ en fonction de R et C_0 .
3. Déterminer la valeur de R_s dans le cas stœchiométrique en fonction de n .
4. Exprimer $\Delta A = A - A_0$.



Exercice 44 : Pourquoi un solide est-il solide? (X 2025)

On modélise un solide métallique comme un empilement de cubes élémentaires de côté a , chacun contenant un électron libre confiné dans un puits quantique infini tridimensionnel.

On impose au solide une déformation uniaxiale caractérisée par une petite déformation relative ε selon une direction donnée, à volume constant.

On cherchera à relier l'origine quantique du confinement électronique à l'existence d'un module d'Young macroscopique.

On donnera un ordre de grandeur numérique en prenant

$$a \sim 3 \times 10^{-10} \text{ m.}$$

Exercice 45 : Schématisation du deutéron ♠

Considérons un deutéron (noyau de deutérium), constitué d'un proton et d'un neutron. On traite ce problème (à deux corps) en considérant une particule fictive de masse $m = m_p/2$ pouvant se déplacer sur un axe Ox . Cette particule est soumise au potentiel de Yukawa, dont l'allure est représentée ci-contre.

Pour étudier le deutéron (état lié stable d'énergie $E < 0$), on remplace ce potentiel par un puits semi-infini, avec :

- $V(x) = \infty$ pour $x < 0$
- $V(x) = -V_0$ pour $0 < x < a$
- $V(x) = 0$ pour $x > a$



- 1) Commenter l'allure du potentiel $V(x)$.
- 2) On considère seulement les états liés ($E < 0$). Donner la forme générale des solutions dans les différents domaines, en tenant compte des conditions aux limites. On pourra poser :

$$k = \frac{\sqrt{2m(V_0 + E)}}{\hbar} \quad \text{et} \quad k' = \frac{\sqrt{-2mE}}{\hbar}$$

- 3) En déduire que l'énergie est quantifiée. Montrer que la condition de quantification peut s'écrire comme une relation entre $|\sin(ka)|$ et k/k_0 , en notant $k_0 = \frac{\sqrt{2mV_0}}{\hbar}$. Quel est le signe de $\tan(ka)$?
- 4) Proposer une méthode graphique pour trouver l'énergie des états liés du noyau.
- 5) Expérimentalement, on observe que le deutéron ne possède qu'un seul état lié d'énergie $E_1 < 0$. Calculer l'énergie V_0 si $a = 2$ fm. (On pourra faire l'hypothèse que $V_0 \gg |E| = 2,2$ MeV.)
- 6) Pourquoi le deutéron est-il utilisé dans certains accélérateurs de particules pour produire des neutrons de haute énergie ?