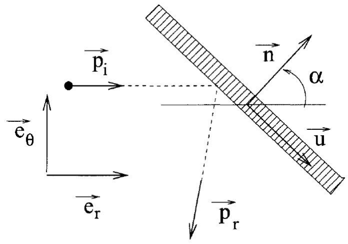
Exercice I Voile Solaire

Ce problème traite de la possibilité de rallier l'orbite de Mars depuis l'orbite terrestre à l'aide d'une voile solaire.
Une voile solaire, supposée légère, est assimilée à une surface plane d'aire S pourvue d'un revêtement réfléchissant, dont la fonction est de tirer profit de la pression de radiation associée au rayonnement lumineux du Soleil.



1. Une particule incidente de quantité de mouvement incidente $\overrightarrow{p_i}$ subit une collision élastique sur la surface et repart avec une quantité de mouvement $\overrightarrow{p_r}$ située dans le plan d'incidence (qui coïncide avec le plan de la figure). L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence α et les impulsions $\overrightarrow{p_i}$ et $\overrightarrow{p_r}$ sont égales en norme : $\|\overrightarrow{p_i}\| = \|\overrightarrow{p_r}\| = p$.
Exprimer en fonction de p et α, d'abord dans le repère $(\overrightarrow{u}, \overrightarrow{n})$ lié à la voile puis dans le repère $(\overrightarrow{e_r}, \overrightarrow{e_\theta})$ lié à la direction de la particule incidente, la variation de la quantité de mouvement $d\overrightarrow{p}$ d'une particule ayant subit une réflexion.
2. La voile est plongée dans un flux de particules incidentes, dont les directions sont toutes parallèles entre elles, c'est-à-dire suivant la direction du vecteur $\overrightarrow{e_r}$ de la figure précédente. On appelle ϕ_i le nombre de particules incidentes traversant une surface unité normale à la direction d'incidence $\overrightarrow{e_r}$ par unité de temps. Ces particules n'interagissent pas entre elles et subissent toutes la réflexion décrite à la question 1.. Montrer que le nombre de particules N_i qui subissent la collision avec la voile solaire par unité de temps a pour expression : $N_i = \phi_i S cos\alpha$.
3. Relier la force moyenne $\overrightarrow{F}$ exercée par les particules incidentes sur la voile à la quantité $d\overrightarrow{p}$. Exprimer $\overrightarrow{F}$ dans le repère $(\overrightarrow{u}, \overrightarrow{n})$ puis dans le repère $(\overrightarrow{e_r}, \overrightarrow{e_\theta})$.
4. Les particules incidentes sont des photons. L'énergie E et la norme de la quantité de mouvement p d'un photon sont reliés par la relation $E = pc$. Le flux incident d'énergie lumineuse s'écrit alors $\Phi = E\phi_i$. Exprimer la force $\overrightarrow{F}$ en fonction de Φ, α, S, c et $\overrightarrow{n}$.
5. Comment faut-il orienter la voile solaire pour que la composante $F_\theta = \overrightarrow{F}.\overrightarrow{e_\theta}$ soit la plus grande possible ? Calculer en degrés la valeur de l'angle α_m pour laquelle cette condition est réalisée.
6. Calculer la valeur de l'accélération $a = \frac{F_\theta}{m}$ subie par une voile solaire de surface $S = 1000\ m^2$, de masse $m = 100\ kg$, inclinée de α_m, située au voisinage de l'orbite terrestre ($r = r_T$) et recevant un flux incident de lumière égal à $\Phi = 1350\ W.m^{-2}$.

Exercice II Étude d'une Locomotive Diesel

Le moteur des premières locomotives diesels fut inventé en 1892 par l'ingénieur allemand Rudolf Diesel. Mais ces premières locomotives furent un échec : le nombre de vitesses de leur transmission mécanique était insuffisant. La locomotive diesel électrique se passe de boîte de vitesse mécanique : elle est munie d'un moteur diesel qui, en tournant, entraîne un alternateur. Ce dernier fournit de l'énergie à plusieurs moteurs électriques de traction : en somme, cette locomotive fabrique grâce au moteur thermique sa propre électricité.

A Transformations d'un gaz parfait

On supposera que le gaz n'est soumis qu'aux forces de pression. On s'intéresse à une transformation de ce gaz parfait qui le fait passer de l'état initial de pression P_i et de volume V_i à l'état final de pression P_f et de volume V_f. On exprimera les réponses aux questions qui suivent, uniquement en fonction de P_i, V_i, P_f, V_f, et de γ.

A.1 Exprimer le travail W_{isoV} échangé par ce gaz lors d'une transformation isochore réversible.

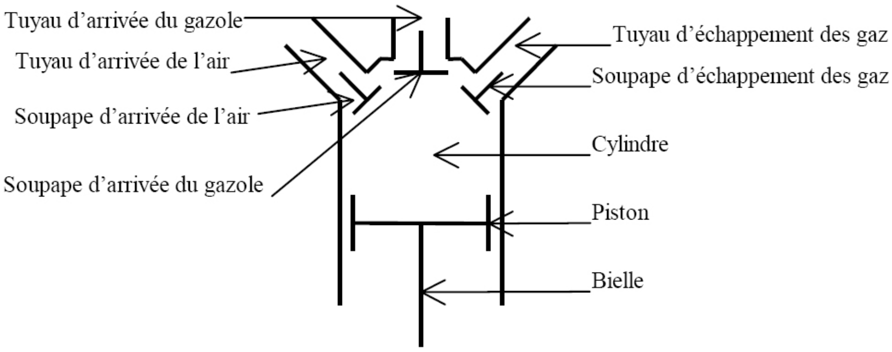
A.2 Exprimer le travail W_{isoP} échangé par ce gaz lors d'une transformation isobare réversible.

A.3 Exprimer le transfert thermique Q_{isoV} échangé par ce gaz lors d'une transformation isochore réversible.

A.4 Exprimer le transfert thermique Q_{isoP} échangé par ce gaz lors d'une transformation isobare réversible.

A.5 Exprimer le transfert thermique Q_{isoS} échangé par ce gaz lors d'une transformation adiabatique réversible. On admettra que lors d'une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait la loi de Laplace $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ s'applique.

B États thermodynamiques successifs lors du cycle diesel :



On s'intéresse à un gaz parfait ($\gamma = 1,40$) dans un cylindre de volume variable, entre $V_{min} = 150\ mL$ et $V_{max} = 400\ mL$, fermé par un piston, qui subit un cycle réversible dont les caractéristiques sont :

- Admission : la soupape d'arrivée de l'air est ouverte (la pression est $P_{atm} = 1,00.10^5\ Pa$, la température $T_{atm} = 300\ K$), les autres fermées. Le volume passe de V_{min} à V_{max} de façon isobare et isotherme.
- $A \longrightarrow B$: compression. Les soupapes sont fermées. Le volume passe de V_{max} à V_{min} de façon adiabatique et réversible.
- $B \longrightarrow C$: injection. Les soupapes sont fermées, sauf celle d'injection du gazole. Le volume augmente jusqu'à $V_C = 250\ mL$, on modélise cette phase de combustion par une évolution isobare ($P = P_{max}$) au cours de laquelle le gaz reçoit un transfert thermique lié à l'injection de gazole.
- $C \longrightarrow D$: détente. Les soupapes sont toutes fermées. Le volume augmente encore (jusqu'à V_{max}) mais la pression diminue (il s'agit d'une détente adiabatique et réversible).
- $D \longrightarrow A$: ouverture de la soupape d'échappement des gaz. La pression diminue brutalement jusqu'à P_{atm}, le volume restant constant.
- Éjection des gaz : la soupape d'échappement des gaz est ouverte, les autres fermées. Le volume passe de V_{max} à V_{min} de façon isobare.

Déterminer numériquement (dans les unités du système international) les caractéristiques de chaque état thermodynamique intermédiaire (pression, température, volume) :

B.1 en A : la pression P_A, le volume V_A, et la température T_A ;

B.2 en B : la pression P_B, le volume V_B, et la température T_B ;

B.3 en C : la pression P_C, le volume V_C, et la température T_C ;

B.4 en D : la pression P_D, le volume V_D, et la température T_D.

C Transformations lors du cycle diesel :

Déterminer numériquement lors des phases :

C.1 $A \longrightarrow B$: le travail W_{AB} et la chaleur Q_{AB} échangés par le gaz parfait ;

C.2 $B \longrightarrow C$: le travail W_{BC} et la chaleur Q_{BC} échangés par le gaz parfait ;

C.3 $C \longrightarrow D$: le travail W_{CD} et la chaleur Q_{CD} échangés par le gaz parfait ;

C.4 $D \longrightarrow A$: le travail W_{DA} et la chaleur Q_{DA} échangés par le gaz parfait.

D Diagramme de Clapeyron du cycle diesel :

D.1 Exprimer numériquement la somme des travaux échangés W_{tot} par le gaz parfait sur un cycle. Que penser de son signe ?

D.2 Tracer le cycle $P = f(V)$ dans les coordonnées de Clapeyron.

D.3 Dans quel sens est parcouru le cycle diesel dans le diagramme de Clapeyron ? Est-ce normal ?

E Rendement du moteur diesel :

E.1 Le rendement thermodynamique η correspond au rapport de ce que l'on souhaite sur ce que l'on dépense. Exprimer η en fonction des échanges énergétiques.

E.2 Calculer η.

E.3 La vitesse maximale de rotation est $N = 1,5.10^3\ tr/min$, calculer la puissance maximale P_{moteur} de ce moteur diesel.

Exercice III Transformations d'une masse de dioxyde de soufre

Un piston idéal sans masse et sans frottement, d'aire A, peut se déplacer dans un cylindre d'axe vertical. L'ensemble est thermostaté et est maintenu à la température constante T_0.

Dans ce récipient, de volume variable, est placée une masse m de dioxyde de soufre SO_2 (corps pur). Á la température de l'expérience , la pression de vapeur saturante de ce corps pur est $P^*(T_0)$. Dans l'état initial, noté A, un opérateur maintient le piston à une distance H du fond du cylindre pour laquelle le corps pur SO_2 se présente à l'état de vapeur saturante : la vapeur $SO_{2(vap)}$ est en équilibre avec une petite goutte de liquide $SO_{2(liq)}$.

Hypothèses et données :

- la température de l'expérience est $T_0 = 263\ K$;
- le dioxyde de soufre vapeur (en équilibre avec le liquide peut être considéré comme un gaz parfait ;
- le volume de la phase liquide est négligé devant le volume de la phase vapeur ;
- M est la masse molaire du dioxyde de souffre : $M = 64{,}0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$;
- $P^*(T)$ est la pression de vapeur saturante du corps pur SO_2 à la température T : $P^*(T_0) = P° = 1,00.10^5\ Pa$
- $\Delta_{vap}h(T)$ est l'enthalpie massique de vaporisation de SO_2 à la température T : $\Delta_{vap}h(T_0) = 4,00.10^5\ Jkg^{-1}$
- R est la constante des gaz parfait $R = 8,31\ J.mol^{-1}K^{-1}$.

A Généralités

A.1 Dessiner l'allure du diagramme (P,T) d'équilibre du dioxyde de souffre. On fera apparaître sur ce diagramme les différentes phases ainsi que les points triple et critique dont on donnera la définition.

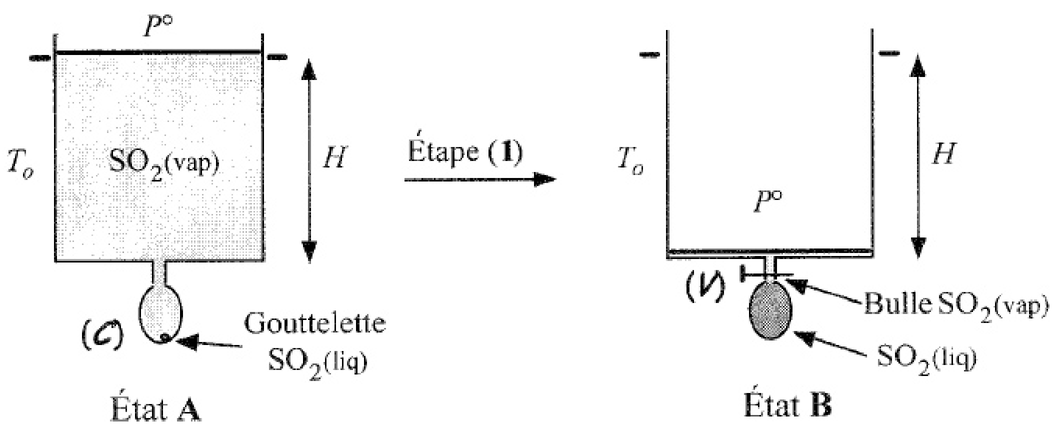
A.2 Tracer l'allure du diagramme de Clapeyron du dioxyde de soufre en définissant les divers domaines du diagramme ainsi que le nom des courbes. On se limitera aux zones correspondant au liquide et à la vapeur puis on placer une isotherme et le point critique.

A.3 Définir l'enthalpie massique de vaporisation du SO_2 à la température T.

A.4 On considère une phase gazeuse et une phase liquide en équilibre et souhaite déterminer la composition du mélange en fonction du titre massique en vapeur : x. Expliquer comment on peut déterminer x à partir de du diagramme de Clapeyron (Une démonstration est attendue).

B Étape $A \to B$

L'expérimentateur fait descendre lentement le piston, de manière quasi-statique jusqu'au fond du cylindre, afin que le corps pur se loge dans un petit conteneur, noté $(\mathcal{C})$ de dimensions négligeables et relié au cylindre par un petit tube muni d'une vanne, notée (V). Cette dernière est alors fermée. Dans $(\mathcal{C})$ le corps pur se présente sous forme de liquide saturant : $SO_{2(liq)}$ est en équilibre avec une petite bulle de vapeur (état B).



Dans les questions qui suivent les expression littérales devront être exprimées en fonction des données suivantes : m, A, H, $P^*(T_0)$, T_0 et $\Delta_{vap}h(T_0)$.

B.1 Exprimer le travail W_{AB} reçu par le corps pur.

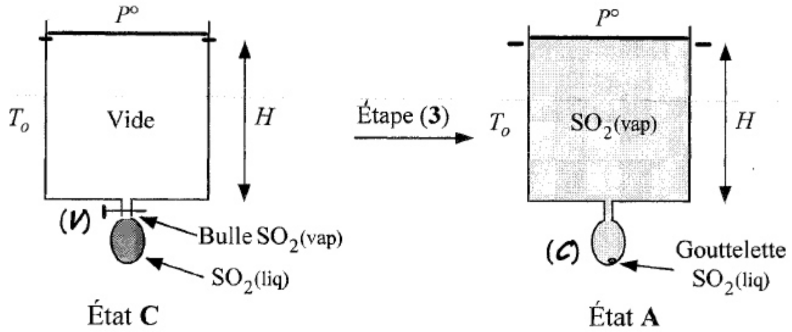
B.2 Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique Q_{AB} reçu par le corps pur. On prendra $A = 2,0.10^{-2}\ m^2$ et $H = 5,0.10^{-1}\ m$.

B.3 Exprimer la variation d'énergie interne ΔU_{AB}.

B.4 Calculer la variation d'entropie ΔS_{AB} du fluide. Cette transformation est-elle réversible ?

C Étapes $B \to C$ et $C \to A$

Lors de l'étape $B \to C$, la vanne (V) reste fermée. Le piston est remonté, puis fixé dans sa position initiale : le vide règne alors dans le cylindre (état C). Lors de l'étape $C \to A$, la vanne (V) est ouverte et le liquide se vaporise pratiquement instantanément : le corps pur se retrouve dans son état initial A.



C.1 Le corps pur a-t-il subi une transformation au cours de la seconde étape $B \to C$.

C.2 Évaluer le travail W_{CA} reçu par le corps pur pendant l'étape $C \to A$.

C.3 Que vaut le transfert thermique Q_{CA} reçu par le corps pur ?

D Étude du cycle $A \to B \to C \to A$

D.1 Rappeler la variation de l'énergie interne ΔU du corps pur au cours du cycle.

D.2 Calculer la variation d'entropie du thermostat ΔS_{th} au cours de ce cycle.

D.3 A partir d'un calcul d'entropie judicieux, déterminer si ce cycle est réversible ou irréversible.

Exercice IV Air humide

L'air sec, de masse molaire $\overline{M_a}$, est constitué de diazote $N_{2(g)}$, de masse molaire M_{N_2} et de dioxygène $O_{2(g)}$ de masse molaire M_{O_2} (pour simplifier, la présence d'autres gaz rares est négligée).

L'air humide, noté **AH**, est un mélange de vapeur d'eau $H_2O_{(g)}$, de pression partielle p_e et d'air sec, de pression partielle p_a.

L'air est saturé en humidité lorsque la pression partielle p_e de vapeur d'eau devient égale à sa pression de vapeur saturante $P_e^*(T)$ à la température T considérée.

L'air humide non saturé, pour lequel $p_e < P_e^*(T)$, peut être décrit par les principaux paramètres suivants :

- le degré hygrométrique h défini par le rapport $h = \dfrac{p_e}{P_e^*(T)}$, rapport qui varie entre 0 et 1.
- l'humidité relative ε (en %) telle que $\varepsilon = 100h$.

Données et hypothèses de travail

- La vapeur d'eau ainsi que les gaz considérés dans cet exercice, se comportent comme des gaz parfaits de constante $R = 8{,}31\,\mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$.
- Masses molaires : $\overline{M_a} = 28{,}9\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$, $M_{N_2} = 28\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$; $M_{O_2} = 32\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$; $M_{H_2O} = 18\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$.
- Capacité thermique massique, à pression constante, de l'eau à l'état de vapeur : $c_p = 1{,}50 \times 10^3\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ (constant en fonction de T).
- Fraction molaire x_i d'un composant i : rapport de la quantité de matière du composant i n_i et de la quantité de matière totale du mélange n_{tot} : $x_i = \dfrac{n_i}{n_{\text{tot}}}$.
- Pression de vapeur saturante $P_e^*(T)$ de l'eau à différentes températures :

T (K)	277	278	279	280	281	282	283	284	285
$P_e^*(T)$ (Pa)	813	872	935	1000	1070	1150	1230	1310	1400

T (K)	286	287	288	289	290	291	292	293	294
$P_e^*(T)$ (Pa)	1500	1600	1700	1820	1940	2060	2200	2340	2490

- Enthalpie massique $\Delta_{\text{vap}}h(T)$ de vaporiation de l'eau à différentes températures :

T (K)	278	283	293
$\Delta_{\text{vap}}h(T)$ $\mathrm{J\,kg^{-1}}$	$2{,}49 \times 10^6$	$2{,}47 \times 10^6$	$2{,}45 \times 10^6$

A Généralités

A.1 Déterminer la composition de l'air sec (sans vapeur d'eau) en calculant, numériquement, la fraction molaire x_{O_2} en dioxygène O_2.

A.2 Rappeler la relation qui existe, dans l'air humide, entre la pression totale P_{tot} et les pressions partielles p_e et p_a.

A.3 Tracer l'allure du diagramme pression-température de l'eau. Indiquer sur ce diagramme les domaines associés aux phases en présence et définir soigneusement les deux points caractéristiques qui interviennent dans ce diagramme.

A.4 On appelle diagramme de Clapeyron le diagramme (p, v) où v représente le volume massique de l'eau. Tracer son allure dans le cas de l'eau. Donner le nom des deux parties de la courbe de saturation puis représenter une isotherme en justifiant dans les différents domaines l'allure de l'isotherme.

A.5 Décrire qualitativement le phénomène observé lorsque de la vapeur d'eau pure est ajoutée, à T et V constants, à un air saturé en humidité.

B Apparition de buée sur les vitres

Une salle de classe de volume constant $V_o = 200\,\mathrm{m}^3$, est remplie d'air humide. Il est admis que, dans ce local, la masse totale d'eau $m_{\mathrm{e,tot}}$ (eau vapeur et éventuellement liquide s'il s'y produit une liquéfaction) reste invariable. La température est maintenue uniforme et constante ($T_o = 293\,\mathrm{K}$) à l'intérieur de toute la salle, sauf aux environs immédiats des surfaces vitrées intérieures des fenêtres où elle est égale à T_v. L'espace, où règne une température intermédiaire entre les valeurs T_o et T_v, est de volume négligeable.

Les pressions partielles p_e et p_a sont uniformes et constantes dans tout le local, y compris au niveau des fenêtres. La pression totale, constante, vaut $P_{tot} = 1{,}01 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$.

La température T_v diminue par refroidissement de l'atmosphère extérieure : de la buée (microgoutelette, résultat de la liquéfaction de la vapeur d'eau sur une surface froide) commence à apparaître sur les vitres, à l'intérieur de la pièce, lorsque la température T_v atteint la valeur $T_{v,1} = 283\,\mathrm{K}$.

L'étude est envisagée à l'instant où la buée commence à apparaître sur les vitres : état **(1)**. On considère alors que la masse d'eau liquide dans la salle (donc le long des vitres) est encore négligeable : $m_{\mathrm{e,liq}} \ll m_{\mathrm{e,tot}}$.

B.1 Donner la valeur numérique de la pression partielle de l'eau $p_{e,1}$ dans l'air humide (AH) à l'état **(1)**.

B.2 On souhaite caractériser l'état **1** en adaptant le diagramme de Clapeyron de l'eau (corps pur) au cas présent :

B.2.1 Tracer le diagramme p_e en fonction de v. On tracera l'allure de l'isotherme $T_o = 293\,\mathrm{K}$ et on repèrera $P^*(T_o)$.

B.2.2 Tracer l'allure de l'isotherme $T_{v,1}$ sur le diagramme précédent.

B.2.3 Repérer sur le diagramme le point B représentatif du corps pur eau, constituant de l'air humide dans la salle de classe.

B.2.4 Repérer le point C représentatif du corps pur eau sur la surface des vitres.

B.3 Calculer toujours pour l'état **1**, les paramètres de l'atmosphère **AH** suivants :

B.3.1 l'humidité relative ε_1 ;

B.3.2 la fraction molaire $x_{e,1}$ de l'eau dans l'air humide ;

B.3.3 la masse volumique $\rho_{\mathrm{AH},1}$.

B.4 Calculer la masse $m_{e,tot}$.

C Évolution du système

À partir de l'état **(1)** précédent, un second refroidissement de l'atmosphère extérieure au local entraîne une diminution de la température des surfaces intérieures vitrées : T_v atteint la nouvelle valeur $T_{v,2} = 278\,\mathrm{K}$. Il est admis que, dans la pièce, la pression P_{tot} et la température T_o demeurent inchangées.

C.1 Comment va évoluer la composition du système **AH**, après l'apparition des premières traces de buée ?

C.2 Quelle est, après un temps infini qui correspond à l'état **(2)**, la pression partielle finale $p_{e,2}$ de vapeur d'eau dans la salle de classe.

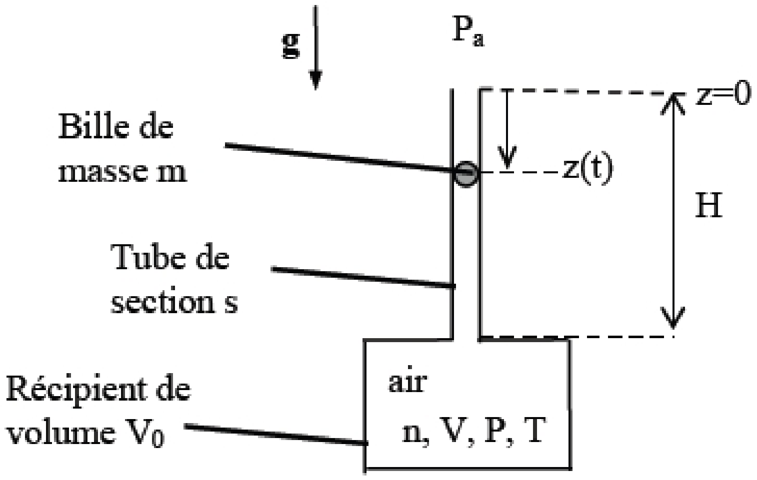
C.3 Entre les états **(1)** et **(2)**, calculer :

C.3.1 la masse m d'eau qui se liquéfie ;

C.3.2 la variation d'enthalpie ΔH_{1-2} de cette masse m.

Exercice V Autour de l'expérience de Rüchardt

On note $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ le rapport de la capacité thermique à pression constante sur la capacité thermique à volume constant d'un gaz. Le fil conducteur de ce sujet est l'étude de l'expérience de Rüchardt servant à mesurer le coefficient γ d'un gaz, ici l'air. Cet air est contenu dans un récipient de volume $V_0 = 4,0L$ surmonté d'un tube en verre de section $s = 2,0\ cm^2$ et de hauteur $H = 80cm$. le volume V_0 est grand devant la volume $H.s$ d tube. Une bille en acier de masse $m = 17g$ peut se déplacer dans ce tube. La diamètre de la bille est très voisin de celui du tube si bien que la bille se comporte comme un piston étanche.



On note $P_a = 1,0\ bar$ la pression atmosphérique. On néglige les frottements dans un premier temps, l'intensité du champ de pesanteur vaut $g = 10\ m.s^{-2}$. Dans tout le problème, les gaz sont supposés parfaits. On note n le nombre de moles d'air enfermé dans le système, P sa pression, V son volume et T sa température.

La constante des gaz parfaits vaut $R = 8,31 J.K^{-1}.mol^{-1}$ et la masse volumique de l'air sera prise égale à $M = 29\ g.mol^{-1}$.

A Préliminaires

A.1 Soit dU la variation de l'énergie interne d'un gaz parfait entre deux états d'équilibre proches, de température T et $T + dT$. Montrer que $dU = \frac{nR}{\gamma-1}dT$. Citer une expérience (nom et description en quelques mots) montrant que l'énergie interne U d'un gaz parfait ne dépend pas du volume V.

A.2 Monter que pour un gaz parfait de coefficient γ constant, on a $PV^\gamma = c^{ste}$ lors d'une transformation adiabatique réversible.

B Étude du mouvement de la bille en régime libre

Lors des mouvements de m, on repère la position de la bille par sa cote $z(t)$ comptée par rapport au haut du tube ; l'axe de z est orienté vers le bas. On lâche la bille sans vitesse initiale depuis le haut du tube ($z = 0$). La bille effectue des oscillations dans le tube. En $z = 0$, la pression vaut bien sûr P_a.

B.1 Pourquoi peut-on considérer que l'air subit une transformation adiabatique ? Réversible ?

B.2 En tenant compte de la faible variation du volume V provoquée par les mouvements de la bille, monter que

$$\frac{P-P_a}{P_a} - \gamma\frac{sz}{Hs+V_0} = 0$$

B.3 Rappeler l'expression de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur un corps de volume V totalement immergé dans un fluide de masse volumique ρ. Calculer l'ordre de grandeur de la masse volumique de l'air à 300 K et 1,0 bar, en l'assimilant à un gaz parfait. Sachant que la masse volumique de l'acier est $7,8.10^3\ kg.m^{-3}$, doit-on tenir compte de la poussée d'Archimède dans cette expérience ?

B.4 On néglige les frottements. Donner l'équation différentielle vérifiée par $z(t)$. En déduire que la période T_0 des oscillations est donnée par :

$$T_0^2 = \frac{4\pi^2 m(V_0+Hs)}{\gamma s^2 P_a}$$

La mesure de T_0 permet donc de déterminer γ.

B.5 En tenant compte des conditions initiales, donner l'expression de $z(t)$ en fonction de g, t et $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$.

B.6 En déduire la valeur maximale z_{max} de z atteinte au cours de cette transformation en fonction de g et ω_0. Proposer alors une deuxième méthode pour mesurer γ.

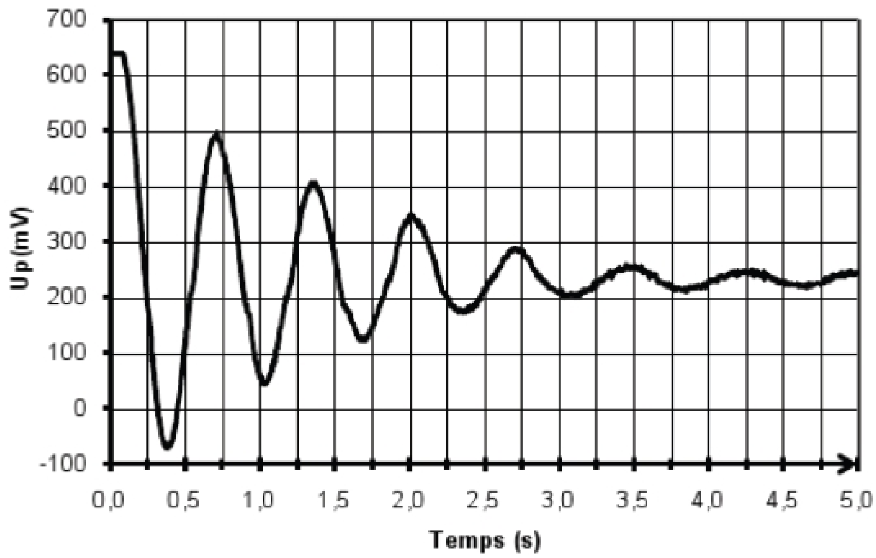
C Mesure et exploitation en régime libre

Un capteur de pression permet de suivre les oscillations grà¢ce aux variations de pression. Il délivre une tension u_P reproduisant les variations de pression P.

Pour améliorer la précision des mesures, on fait varier le volume du récipient V_0 en introduisant de l'eau. Initialement, le volume disponible est minimal et noté V_{0i} et on mesure une période T_{0i}. On peut alors retirer progressivement de l'eau, le volume d'air dans le récipient prenant les valeurs : $V_{0k} = V_{0i} + kV_1$ où k est un entier et V_1 un volume constant. Pour chaque volume V_{0k}, on mesure la période T_k des oscillations de la bille.

C.1 Écrire T_k^2 en fonction de k. Quel type de courbe obtient-on ? En déduire une méthode pour mesurer le coefficient γ de l'air. Dire en quoi cela améliore la première méthode.

C.2 La figure ci-dessous est un enregistrement à l'oscilloscope des oscillations de la bille. On a utilisé pour le faire le mode de déclenchement de l'oscilloscope "single" (monocoup). Pourquoi ?



C.3 Mesurer la pseudo-période T des oscillations amorties. On confondra T et T_0 dans cette question. En déduire γ et commenter la valeur obtenue.

C.4 Les oscillations observées sont donc amorties. Proposer deux sources de dissipation de l'énergie.

C.5 Pour simplifier, on modélise cet amortissement par une force $\vec{F} = -\lambda \vec{v}$. Écrire la nouvelle équation différentielle vérifiée par $z(t)$ en tenant compte de cette force supplémentaire $\vec{F}$.

C.6 La mettre sous la forme $\ddot{z} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{z} + \omega_0^2 z = c^{ste}$. Donner l'expression de Q en fonction des données du problème. Comment s'appelle ω_0 ? Comment s'appelle Q ? Donner l'unité et la dimension de ω_0. Donner la dimension de Q en la justifiant. A quelle condition sur Q obtient-on des oscillations amorties ?

C.7 Etablir l'expression littérale de la pseudo-période T des oscillations amorties en fonction de ω_0 et Q. L'amplitude $A(t)$ des oscillations décroît exponentiellement $A(t) = Ae^{bt}$. Que vaut b en fonction de ω_0 et Q ? On considère que les oscillations sont négligeables quand leur amplitude est inférieure à 5% de l'amplitude initiale. Montrer que l'amplitude $A(t)$ devient négligeable au bout de Q oscillations. En déduire une valeur approximative de Q sans calcul à partir de l'enregistrement précédent. L'expression de la période utilisée est-elle valide ?