

EXERCICES TH1 – TH2

I. 1^{ER} ET 2ND PRINCIPES

1. COEFFICIENTS DE COMPRESSIBILITE (*)

Un thermomètre à alcool est à une température telle que **son réservoir et sa hauteur sont complètement remplis de liquide**.

On fait augmenter alors sa température de 0,5°C : Que se passe-t-il ?

Une réponse quantitative est attendue, pour cela on utilisera le document ci-dessous.

Document :

Une substance homogène, dont l'équation d'état est de la forme $V = f(T, P)$, peut être caractérisée par les coefficients de compressibilité :

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}_P = \text{coefficient de compressibilité isobare} \\ \chi_T = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P}_T = \text{coefficient de compressibilité isotherme} \end{cases}$$

On montre alors que, pour une évolution infinitésimale de la substance, on a : $\frac{dV}{V} = \alpha dT - \chi_T dP$.

Les coefficients thermoélastiques de l'alcool dans les CNTP sont : $\alpha = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ et $\chi_T = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{atm}^{-1}$,

2. ETUDE THERMODYNAMIQUE D'UNE BARRE (*)

Un fil d'acier de 1 mm de diamètre est tendu entre deux parois indéformables distantes de 1m. La tension s'exerçant sur le fil est égale à 20 N, la température est de 20°C.

On considère que le système {fil} est défini par trois variables d'état : sa longueur L , la tension F à laquelle il est soumis et sa température T .

On définit alors les coefficients suivants :

$$\checkmark Y = \frac{L}{S} \left(\frac{\partial F}{\partial L} \right)_T = 2 \times 10^{11} \text{ SI}$$

$$\checkmark \alpha = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_F = 12 \times 10^{-6} \text{ SI}$$

- Donner une signification physique à ces coefficients, les nommer et donner leurs dimensions.
- On augmente la température de la pièce de 1°C, comment varie la tension du fil ?

3. OSCILLATIONS D'UN PISTON SEPARANT DEUX GAZ (*)

Un cylindre adiabatique, horizontal, séparé en deux compartiments par un piston adiabatique, de masse m , mobile sans frottement, contient à l'état initial une mole de gaz parfait (P_0, V_0, T_0) de chaque côté. A l'instant $t = 0$, l'opérateur écarte le piston de sa position d'équilibre de x_0 faible devant la longueur du compartiment l_0 ($V_0 = l_0 \cdot S$). En appelant, à l'instant t , x la coordonnée de position du piston, exprimer en supposant les transformations réversibles :

Les pressions instantanées à droite et à gauche et la force résultante.

La période des petites oscillations obtenues.

4. DETENTE 1 (*)

Un gaz parfait est enfermé dans un tube scellé de section s et de hauteur $2L + h$ partagé en deux compartiments A et B par un index de mercure de masse volumique ρ et de hauteur h . Le tube est placé dans un thermostat à la température T . Initialement le gaz est en équilibre à la température T dans chaque compartiment de volume identique V . Le compartiment A est en haut et la pression du gaz dans A est $H_A = 76$ cm de mercure.

On retourne le tube bout pour bout et l'on attend que l'équilibre soit rétabli.

1. Expliquer sans calcul pourquoi l'index s'est déplacé et indiquer dans quel sens.
2. Calculer le déplacement x de l'index pour $L = 25$ cm et $h = 2$ cm.

5. DETENTE 2 (**)

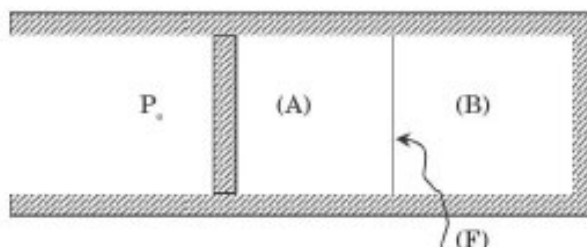


Figure 70

Un piston calorifugé peut coulisser sans frottement le long d'un cylindre calorifugé; leurs capacités thermiques sont supposées nulles. Le cylindre est séparé en deux compartiments (A) et (B) par une paroi fixe (F). Sur la face extérieure du piston s'exerce la pression atmosphérique P_0 qu'on suppose uniforme et constante. Dans la situation initiale, le compartiment A de volume V_A contient n moles d'un gaz parfait de coefficient γ constant. Le compartiment B de volume V_B est initialement vide.

On perce un orifice dans la paroi fixe (F) et on cherche à décrire les caractéristiques du nouvel état d'équilibre qu'on supposera atteint.

1. En analysant qualitativement le problème, montrer que selon la valeur de V_B par rapport à une valeur seuil V_{B_s} (qu'on ne cherchera pas à ce stade de l'étude), deux types de solutions existent.
2. En supposant que V_B est inférieur à la valeur seuil, déterminer les caractéristiques P_1, V_1, T_1 du gaz enfermé dans le cylindre A + B quand le nouvel état d'équilibre est atteint; on exprimera ces grandeurs en fonction de toutes ou de certaines des données : P_0, γ, n, V_A, V_B et de R . Déterminer la valeur seuil V_{B_s} en fonction de V_A et de γ .
3. On suppose cette fois V_B supérieure à V_{B_s} . Déterminer P_2, V_2, T_2 du gaz enfermé à l'intérieur du cylindre dans le nouvel état d'équilibre; on exprimera ces grandeurs en fonction de toutes ou de certaines des données P_0, γ, n, V_A, V_B et de R .
4. Calculer l'expression de la variation d'entropie ΔS_1 du gaz en fonction de n, γ, V_A, V_B dans le cas où l'état final est celui de la question 2. Ce résultat est-il conforme au second principe? Déterminer de la même façon la variation d'entropie ΔS_2 l'état final étant celui de la question 3. Ce résultat est-il conforme au second principe?

6. CHAUFFAGE ET RETROACTION (**)

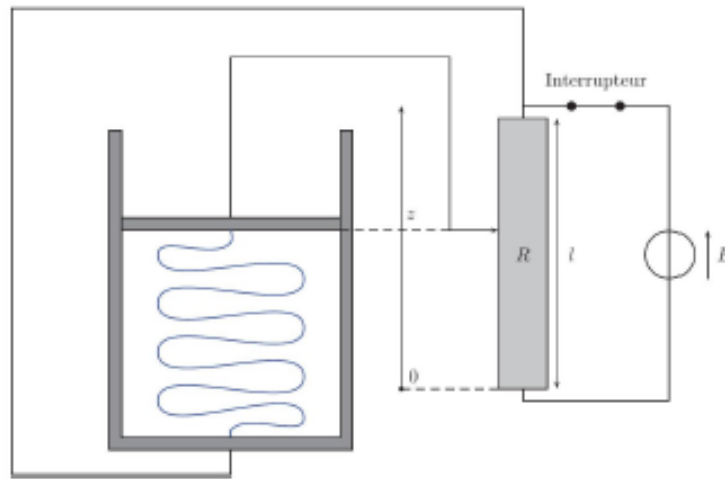


Figure 92

Un cylindre de section circulaire de rayon 3 cm et un piston, considéré de masse nulle, enferment un gaz parfait. Le piston peut coulisser sans frottement. Le système constitué du cylindre et du piston est isolé thermiquement. La pression de l'atmosphère est constante et vaut $p_0 = 1,0$ bar. L'intérieur du cylindre contient un fil résistif de résistance r et de capacité calorifique négligeable. Ce fil est alimenté par un diviseur de tension obtenu grâce à une piste résistive de résistance totale $R = 10\Omega$ et de longueur l . On pose $Z = z/l$. On ferme l'interrupteur à la date $t = 0$, date pour laquelle $z = 0$. Sur le schéma l'interrupteur est fermé et les segments de droite sont rigides.

Toute l'évolution est suffisamment lente pour pouvoir considérer que la température du gaz est uniforme.

1. Expliquer qualitativement ce qui se passe.
2. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par Z en ne mettant en évidence qu'un seul paramètre. Ecrire ce paramètre de façon à ce qu'il soit homogène à un temps et en donner sa valeur numérique. Commenter l'équation différentielle et calculer $\dot{z}(0)$.

Valeurs numériques :

- ✗ $\gamma = 1,4$
- ✗ $E = 10$ V
- ✗ $r = 10\Omega$

7. ORAL ENS (***)

On considère une bouteille indéformable et vide. On l'ouvre pendant $\tau = 0.5$ s et on la referme. On attend un peu. Quelle est la température à l'intérieur de la bouteille ?

8. EXERCICE OUVERT (**)

Expérience de Ruchardt

Un ballon de grand volume à col très fin est fermé par une bille d'acier coulisant sans frottement dans le col. On déplace légèrement la bille de sa position d'équilibre et on la laisse osciller librement.

Montrer que cette expérience permet de déterminer le coefficient γ de l'air.



9. ANALYSE DE DOCUMENTS : EXPERIENCE DE CLEMENT DESORMES (**)

Énoncé :

Le document 1 présente le protocole expérimental de l'expérience de Clément Desormes.

Le document 2 présente une série de mesures des hauteurs

Déterminer le coefficient γ de l'air et évaluer son incertitude

DOCUMENT 1

On dispose d'une bonbonne de volume V fermée par un bouchon présentant deux ouvertures.

Dans la 1^{ère} ouverture, on place un tube creux en « U », ouvert à ses deux extrémités et contenant une colonne d'un liquide de masse volumique ρ .

Dans la 2^{ème} ouverture, on place un tuyau dont l'extrémité située dans la bonbonne est ouverte et dont l'autre extrémité est reliée à une poire (P). Le tuyau est muni d'un robinet (R) permettant l'ouverture du tuyau sur l'air extérieur.

L'expérience se déroule à pression extérieure P_0 et température extérieure T_0 .

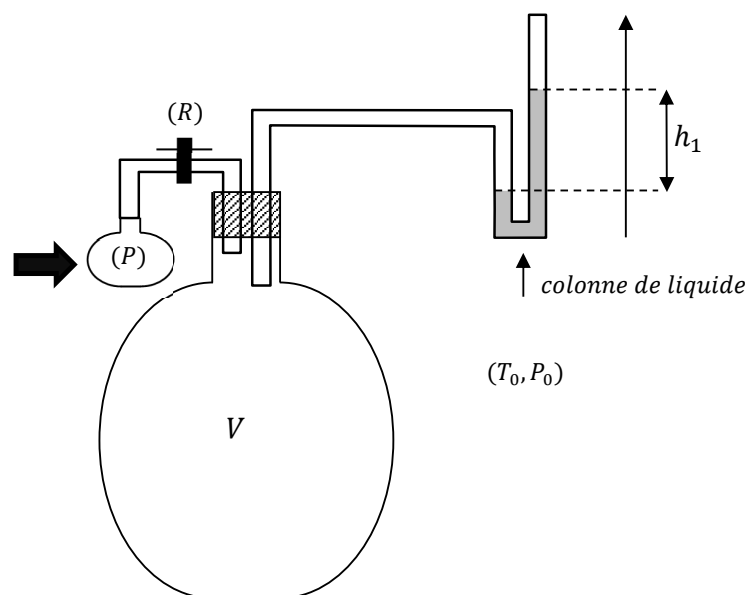


L'expérience se déroule en plusieurs étapes :

1^{ère} étape :

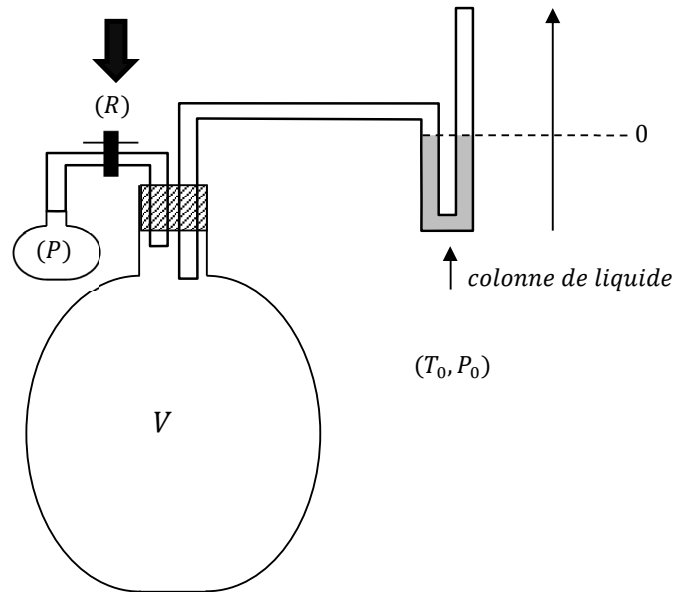
On introduit de l'air dans la bonbonne en pompant avec la poire (P), le robinet (R) étant fermé.

On note h_1 la différence de hauteur entre les deux interfaces mercure/air.



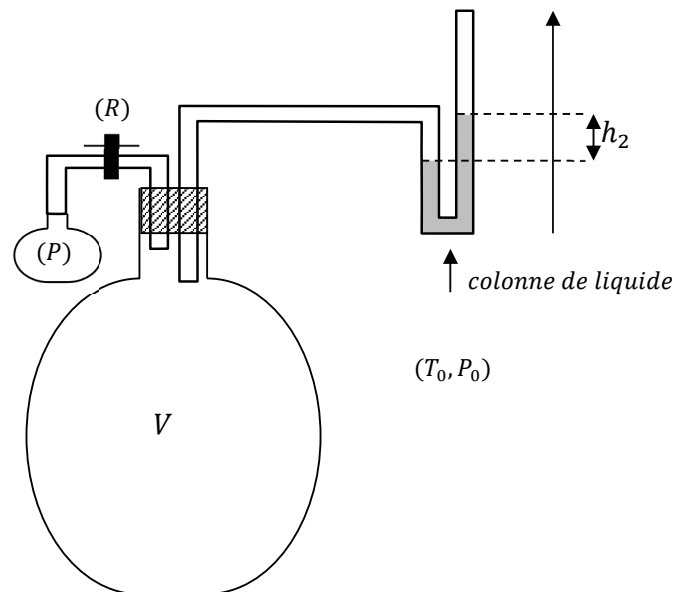
2^{ème} étape :

On ouvre le robinet (R) rapidement puis on le referme. La colonne de fluide « tombe ».



3^{ème} étape :

On constate qu'une différence de hauteur h_2 apparaît après quelques minutes. On note la valeur de h_2 .



II. THEORIE CINETIQUE DES GAZ PARFAITS

10. ASPECT PROBABILISTE DU LIBRE PARCOURS MOYEN (**)

On considère un gaz parfait constitué de molécules identiques en équilibre thermique à la température T , dans un volume V invariable. On appelle $N(x)$ le nombre de molécules qui, à un instant t , ont parcouru une distance x , depuis l'instant initial $t = 0$, sans subir de collision avec d'autres molécules. Lorsqu'une molécule parcourt une distance très petite, la probabilité pour qu'elle en rencontre une autre est proportionnelle à la dx ; on appelle α le coefficient de proportionnalité (probabilité par unité de longueur); α est indépendante de la vitesse de la molécule.

On se propose d'établir la loi de répartition des parcours effectués par les molécules sans subir de collision, soit $N(x)$ en fonction de x .

- 1) Quel est le nombre de molécules qui, n'ayant pas subi de collision entre 0 et x , en subissent une en parcourant dx ? Etablir l'équation différentielle régissant les variations de $N(x)$ en fonction de x .
- 2) Donner la solution de cette équation différentielle, on appellera N_0 le nombre de molécules considéré au départ à $x=0$. Calculer la valeur moyenne $\langle x \rangle$ de la distance parcourue par la molécule sans subir de collision, en fonction de α . Représenter graphiquement la loi de distribution des distances parcourues sans collision, soit $N(x)$ en fonction de x ; placer la valeur de $\langle x \rangle$ sur ce graphe.
- 3) La valeur de $\langle x \rangle$ calculée est appelé libre parcours moyen des molécules du gaz (noté λ). On peut montrer que pour un gaz parfait constitué de molécules identiques de diamètre d , son expression est :

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}$$

où n est le nombre de molécules par unité de volume.

On considère de l'air humide à 308K et à la pression atmosphérique normale; cet air est composé, en nombre de molécules, de 75% d'azote, de 20% d'oxygène et de 5% de vapeur d'eau. Pour simplifier, on admettra que toutes les molécules constituant le mélange ont un diamètre de 3.10^{-10} m.

- ✓ Quel est le libre parcours moyen d'une molécule d'eau dans cet air humide ?
- ✓ Quelle distance parcourt, en moyenne, une telle molécule avant de rencontrer une autre molécule d'eau ?

11. ETUDE DE LAMPES SPECTRALES (**)

- 1) *Température et pression dans une lampe à vapeur à vapeur d'Hélium.*

Une lampe spectrale, de volume intérieur $V=3 \text{ cm}^3$, contient de l'Hélium, sous une pression de $P = 0.01 \text{ bar}$ et une température de $T= 300\text{K}$.

- a) Calculer l'énergie interne U , la masse totale M ainsi que la vitesse quadratique moyenne u du gaz.
- b) On augmente la pression du gaz de 5% sans modifier le volume de l'enceinte. Calculer les variations de température et d'énergie interne qui en résultent.

On rappelle que la masse molaire de l'Hélium est $M_a= 4\text{g.mol}^{-1}$

- 2) *Théorie des gaz parfaits.*

Afin de retrouver l'expression de la vitesse quadratique moyenne on utilise la théorie cinétique des gaz parfaits.

La loi de Maxwell, que nous admettons, indique que pour un gaz en équilibre interne constitué de N particules identiques, le nombre dN de particules, dont la vitesse est comprise entre v et $v + dv$, est donné par :

$$dN = A.v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)dv$$

Où : m =masse d'une particule (ici masse d'un atome d'Hélium)

T = température absolue

$$k_B = \text{constante de Boltzmann} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$A = \text{Constante}$

On considérera lors des différentes intégrations que lorsque le nombre d'atomes varie de 0 à N , la vitesse v varie de 0 à « l'infini. »

- En écrivant que le nombre total de molécules est N , déterminer la valeur de A
- Calculer la vitesse quadratique moyenne u donnée par la relation :

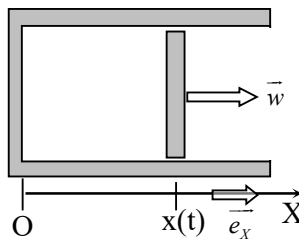
$$u^2 = \langle v^2 \rangle = \frac{1}{N} \int_0^N v^2 dN$$

On donne : $I_n = \int_0^\infty x^n \exp(-ax^2) dx$, $I_2 = \frac{1}{4a} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$, $I_4 = \frac{3}{8a^2} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$

Conclusion ?

12. PRESSION CINÉTIQUE (***)

On considère un gaz parfait, constitué d'atomes identiques de masse m , contenu dans un cylindre horizontal fermé par un piston d'aire A , de masse $M \gg m$ pouvant se déplacer sans frottement le long de l'axe (OX) . Le piston mobile est repéré par rapport au référentiel galiléen du laboratoire par son abscisse x ; sa vitesse est notée $\vec{w} = \dot{x} \vec{e}_x$. On fait l'hypothèse que la vitesse de déplacement du piston est suffisamment lente pour que le gaz soit constamment dans un état proche de l'état d'équilibre. On adopte ce modèle explicitement au programme : « les atomes ont tous la même vitesse v en norme et ne se déplacent que dans les deux sens de trois directions privilégiées ».



- Justifier que la variation de la quantité de mouvement d'un atome qui frappe le piston à la date t s'écrit

$$\Delta \vec{p} = 2m(\dot{x} - v) \vec{e}_x$$

- Établir l'expression de la pression cinétique P en fonction de $\|\vec{w}\|$, m , k_B (constante de Boltzmann), n^* (densité volumique d'atomes), et T la température du gaz; en déduire une condition sur $\|\vec{w}\|$ afin qu'il soit légitime de considérer que le gaz est constamment proche d'un état d'équilibre.

- On se propose d'utiliser le modèle de pression cinétique précédent pour étudier le mouvement du piston au voisinage de sa position d'équilibre si l'on suppose que les parois du cylindre sont diathermanes en contact avec un thermostat de température T_0 . Par souci de simplicité, on négligera le terme en $\|\vec{w}\|^2$ dans l'expression de P . On note P_{ext} la pression qui s'exerce sur la face extérieure du piston, supposée constante et uniforme sur sa section. Quelle est l'évolution du piston au voisinage de sa position d'équilibre ? Commenter.

III. CHANGEMENTS D'ETAT

13. COMPRESSION AVEC CHANGEMENT D'ETAT(*)

On enferme n moles d'eau dans un cylindre horizontal de longueur $L = 2$ m et de section $\sigma = 2000$ cm², initialement vide. On le sépare en deux compartiments par un piston vertical placé initialement au milieu. L'ensemble étant thermostaté à $T = 293$ K, on déplace le piston avec une vitesse supposée infiniment faible. Pour les différentes situations d'équilibre, on mesure la composante F de la force exercée par l'opérateur sur le piston suivant l'axe (Ox) orienté vers la droite. On obtient une courbe d'allure suivante :

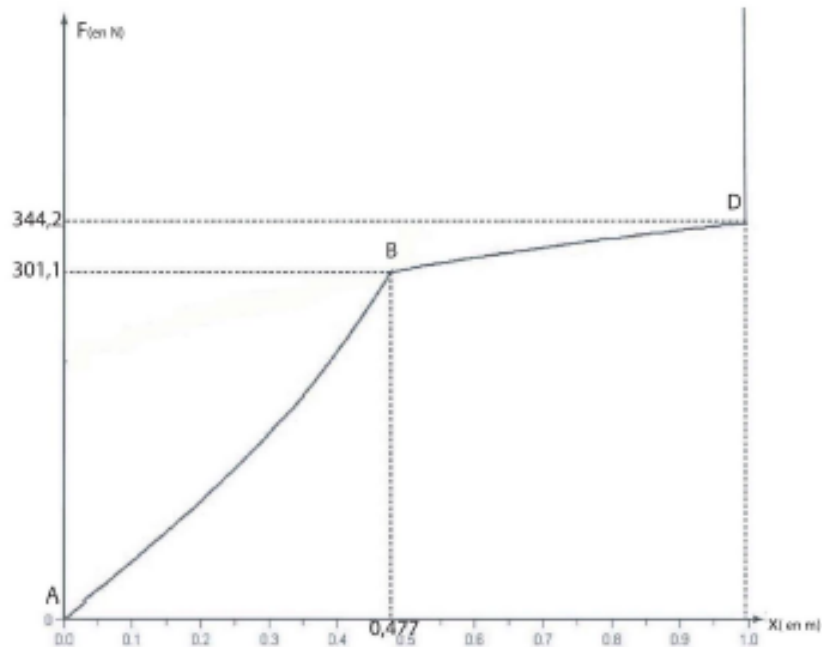


Figure 72

- On admet que les seuls états pouvant intervenir ici sont le liquide (incompressible de masse volumique $\rho = 10^3$ kg · m⁻³ et la vapeur (gaz parfait de masse molaire $M = 18$ g · mol⁻¹). On note P_s la pression de vapeur saturante de l'eau. Interpréter le graphe et en déduire :
 - ✗ Les états physiques observés dans chaque compartiment.
 - ✗ L'allure de la courbe $F(x < 0)$.
 - ✗ Les expressions théoriques de F dans les différents domaines de x .
 - ✗ Les valeurs numériques de n et P_s .
- Faire un bilan énergétique et entropique pour le contenu du cylindre sur une évolution $A \rightarrow B \rightarrow D$. L'enthalpie massique de vaporisation de l'eau à la température de travail vaut $L_v = 2455$ kJ · kg⁻¹
- Quelles allures de $F(x)$ aurait-on eu pour d'autres valeurs de L , (le reste des paramètres étant inchangé) ?

14. QUELQUES QUESTIONS AUTOUR DE L'EAU(**)

- Dans une buanderie, de surface au sol = 12 m², la température de l'air est $T = 20^\circ\text{C}$ et le taux d'humidité est de 60% . Une personne renverse accidentellement 1L d'eau qui forme une flaque sur le sol. L'eau peut-elle entièrement s'évaporer ? Dans le cas contraire, quel est le volume d'eau restant au sol ?
- Pourquoi est-il déconseillé d'ouvrir trop fréquemment la porte d'un congélateur, alors que cela ne fait pas baisser immédiatement la température des aliments ?

3. Au pied d'un pic haut de $h = 600 \text{ m}$, la pression atmosphérique est $P_0 = 1 \text{ atm}$, la température est $T_0 = 15^\circ\text{C}$ et le taux d'humidité est $x = 80\%$. En présence de vent, l'air initialement au niveau du sol s'élève jusqu'au sommet du pic. Y-a-t-il formation de nuage au sommet du pic ?

On utilisera le diagramme (T, s) de l'eau.

15. MESURE DE LA CHALEUR LATENTE DE L'EAU (**)

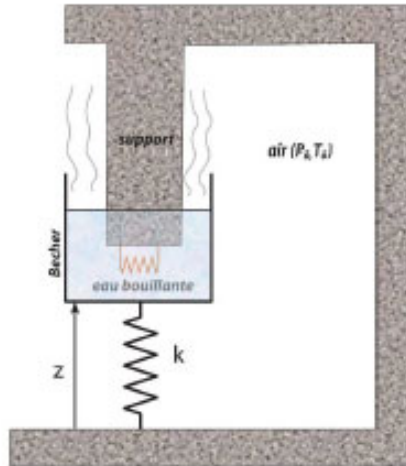


Figure 71

Dans le montage représenté, la section horizontale du becher est $S = 100 \text{ cm}^2$, le support de la résistance chauffante qui plonge dans le becher a pour section horizontale $\sigma = \alpha S$. L'ensemble du support est fixe et le ressort qui soutient le becher a pour constante de raideur k . La masse volumique de l'eau liquide est $\rho = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, le champ de pesanteur terrestre \vec{g} est vertical, vers le bas, de norme $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Que se passe-t-il au cours du temps ? On définit la sensibilité du dispositif par $\frac{dz}{\delta m_v}$, où δm_v représente la masse d'eau vaporisée sur un faible intervalle de temps. Comment choisir k et α pour avoir la sensibilité la plus grande possible ?
2. On choisit $k = 50 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ et $\alpha = \frac{1}{50}$. On étudie l'évolution de z pour différentes puissances de chauffage \mathcal{P} . On obtient les résultats suivants :

- ✗ $\mathcal{P}_0 = 50 \text{ W}$: Pas d'ébullition ; variation de z insignifiante.
- ✗ $\mathcal{P}_1 = 200 \text{ W}$: Ebullition avec une variation $\Delta z = 5 \text{ mm}$ sur une durée $\tau_1 = 590 \text{ s}$.
- ✗ $\mathcal{P}_2 = 300 \text{ W}$: Ebullition avec une variation $\Delta z = 5 \text{ mm}$ sur une durée $\tau_2 = 295 \text{ s}$.

En supposant que les variations de niveau de l'eau dans le becher restent assez faibles lors de ces expériences, proposer une interprétation des mesures permettant de calculer l'enthalpie massique de vaporisation (« chaleur latente de vaporisation ») de l'eau sous $P_0 = 1 \text{ bar}$.

16. VAPORISATION DANS LE VIDE (**).

Un récipient, initialement vide, de volume invariable $V_0 = 1,0 \text{ dm}^3$, est placé dans un thermostat maintenu à la température $T_1 = 400 \text{ K}$. On y introduit $3,30 \text{ g}$ d'eau liquide ($M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$), pris à la pression atmosphérique $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$ et à la température $T_0 = 300 \text{ K}$.

1. Que se passe-t-il ?

Ensuite le récipient et son contenu sont portés de la température $T_1 = 400 \text{ K}$ (état 1) à la température $T_2 = 500 \text{ K}$ (état 2).

2. Indiquer dans un diagramme (P,V) ces deux états.
3. Calculer le transfert thermique reçu par l'eau lors de chacune des deux opérations.
4. Y a-t-il eu création d'entropie lors de ces deux opérations ?

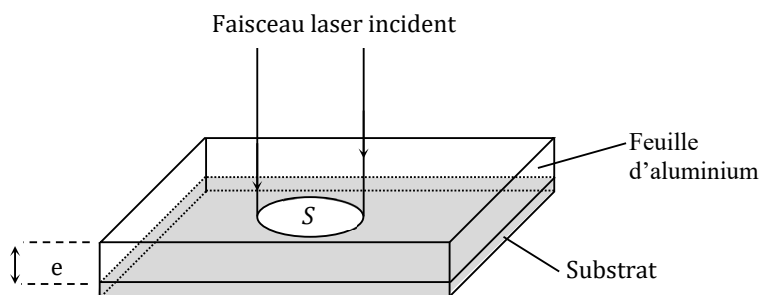
On donne pour l'eau en équilibre liquide-vapeur :

T (en K)	P_s (en bar)	v_l (en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	v_v (en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	h_l (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	h_v (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
300	0,036	0,001	39,42		
400	2,52	0,001	0,722	529,85	2712
500	26,45	0,001	0,076	973,88	2802

- ✓ h_l et h_v désignent respectivement les enthalpies massiques du liquide saturant (titre massique en vapeur $x=0$) et de la vapeur saturante (titre massique en vapeur $x=1$).
- ✓ v_l et v_v désignent respectivement les volumes massiques du liquide saturant et de la vapeur saturante.
- ✓ La capacité thermique massique de l'eau liquide vaut $c_l = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- ✓ La vapeur sèche entre 400 K et 500 K est assimilable à un gaz parfait de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 1,8 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

17. DECOUPE LASER (**).

Une feuille métallique horizontale reçoit perpendiculairement à sa surface un pulse laser de durée $t_p = 50,0 \text{ ms}$ et de densité surfacique de puissance J_L . Le faisceau est cylindrique de diamètre $\Phi = 0,80 \text{ mm}$. La température initiale de la feuille d'aluminium vaut 293 K. L'irradiation de l'aluminium provoque la vaporisation totale. L'épaisseur e vaut 0,50 mm.



1. Calculer les durées correspondant à chacune des étapes du processus en fonction de t_p .
2. Calculer la puissance du laser sachant que la réflectivité de l'aluminium vaut $R = 0,72$.
3. Ce même laser sert maintenant à découper une feuille d'aluminium selon un mouvement de translation uniforme de vitesse V . Il est utilisé en mode continu. Calculer la vitesse de découpe de la feuille. Comment doit être la vitesse de découpe réelle par rapport à la vitesse maximale. Pourquoi ?

Grandeurs thermodynamiques relatives à l'aluminium		
T_F	Température de fusion (K)	933
T_V	Température de vaporisation (K)	2 740
l_F	Chaleur latente massique de fusion ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	397
l_V	Chaleur latente massique de vaporisation ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$10,5 \times 10^3$

ρ_s	Masse volumique du solide ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2 700
$c_{p(s)}$	Capacité thermique massique à pression constante du solide ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	900
$c_{p(l)}$	Capacité thermique massique à pression constante du liquide ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	1 090

Les températures de changement d'état ainsi que les chaleurs latentes sont données pour la pression $P_{atm} = 1,00 \text{ bar}$.

18. UTILISATION DE DIAGRAMMES (P,h) (**)

Les propriétés de l'air sont-elles celles d'un gaz parfait dans les conditions usuelles de températures et de pression ?

On donne le diagramme (P, h) de l'air entre 0,1 et 200 bar. La masse molaire de l'air vaut environ $M = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. On convient de définir les conditions ambiantes par les valeurs $P_a = 1 \text{ bar}$ et $T_a = 20^\circ\text{C}$.

1. L'air vérifie-t-il l'équation d'état des gaz parfaits dans ces conditions ambiantes ? On placera le point A correspondant sur le diagramme.
2. Sur le diagramme (P, h) , les isenthalpes sont-elles conformes aux propriétés des gaz parfaits ? Qu'en est-il au voisinage de A ?
3. Mesurer la capacité thermique massique à pression constante au voisinage de A. En déduire le coefficient γ en adoptant le modèle des gaz parfaits.
4. En considérant l'isentropique $s = 4 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, valider ou invalider la loi de Laplace à l'aide d'une représentation graphique adaptée.

s ($\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	4,00	4,00	4,00	4,00
T ($^\circ\text{C}$)	-100	0	100	200
P (bar)	0,121	0,603	1,82	4,23
v ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	4,06	1,30	0,589	0,322

5. Conclure sur l'intérêt du modèle de gaz parfait dans les conditions ambiantes.

On utilisera le diagramme (P, h) de l'air sec (R729) ci-joint.

Evolution de la température dans un réservoir GPL

Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) est un mélange de propane et de butane utilisés comme carburant par certains véhicules. Il est stocké sous la forme d'un mélange liquide/gaz dans un réservoir.



Pour simplifier notre étude, on assimile le GPL à du propane pur initialement stocké à 20°C avec un titre vapeur $x = 0,2$.

1. Quelle pression règne dans le réservoir ? Pour un réservoir de 50 l, quelle masse de propane est stockée ? Le volume massique du liquide saturant étant égal à $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, quelle est la capacité maximale du réservoir ?

2. Le réservoir est éprouvé pour résister à une pression de 30 bar. En cas d'incendie, à quelle température y a-t-il risque d'explosion ?
3. Depuis 2001, les réservoirs GPL sont équipés d'une soupape permettant d'évacuer le fluide dès que la pression dépasse 25 bar. Expliquer l'intérêt de cette soupape.
4. Entre la sortie du réservoir et les injecteurs du moteur, le GPL circule dans un vapo-détendeur. Comment évoluent la température et la pression ?

On utilisera le diagramme (P, h) du propane (R290) ci-joint.

Générateur haute pression.

Un procédé industriel chimique nécessite l'apport d'un débit de vapeur de $2\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ à 4 bar et 875°C . La machine en charge de fournir cette vapeur est alimentée par une canalisation d'eau liquide pressurisée à 10°C et 6 bar.

Quelles puissances sous forme de travail et de chaleur sont nécessaires pour générer ce débit ?

On utilisera le diagramme (P, h) de l'eau (R718) ci-joint

IV. MACHINES THERMIQUES

19. CHAUFFAGE D'UNE SERRE (**)

Pour maintenir une serre à la température T , l'extérieur étant à T_0 , il faut fournir par jour une quantité de chaleur Q provenant d'une chaudière à la température T' ($T' > T$). On propose un autre mode de chauffage en faisant fonctionner deux machines thermiques : un moteur entre la chaudière à T' et la serre à T , une pompe à chaleur entre l'extérieur à T_0 et la serre à T . Que peut-on espérer gagner, les machines étant supposées parfaites ?

20. MOTEUR DE CARNOT FONCTIONNANT AVEC DES PSEUDO-SOURCES (**).

On considère deux corps identiques de volume constant et de températures initiales T_1 et $T_2 < T_1$. On note leur capacité calorifique à volume constant C . On se sert de leur différence de température pour faire fonctionner de manière réversible et cyclique une machine thermique.

Lors d'un cycle de Carnot la température des sources varie de façon infinitésimale.

1. Quelle est la température finale T_f des deux sources quand le moteur s'arrête de fonctionner.
2. Calculer le travail total fourni par ce moteur.

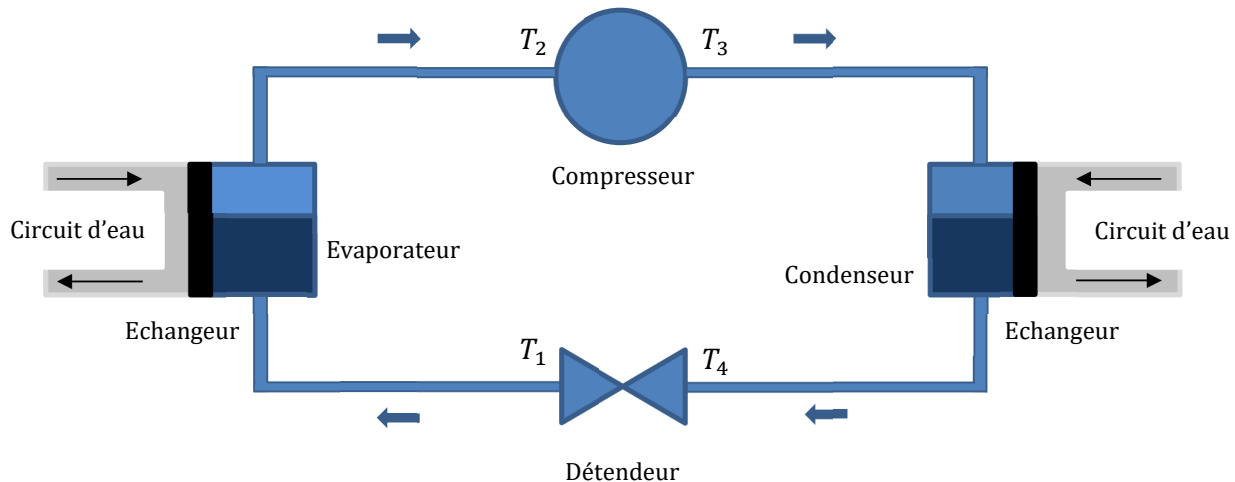
21. POMPE A CHALEUR (**)

Une pompe à chaleur à Fréon 22 prélève de la chaleur à un circuit d'eau froide et en cède à l'eau chaude qui circule dans le sol de l'habitation. Le fluide (Fréon) décrit le cycle thermodynamique suivant :

- ✓ Entre les points 1 et 2, dans l'évaporateur(E), il subit une vaporisation qui le porte au point 2 à l'état de vapeur saturante à la pression P_2 et à la température T_2 .
- ✓ Cette vapeur saturante entre dans un compresseur(CP) et en sort au point 3 à la pression P_3 et à la température T_3 .
- ✓ A la sortie du compresseur, la vapeur entre dans le condenseur(CD) où elle se refroidit de façon isobare jusqu'à la température T_4 , le fréon étant alors à l'état de liquide saturant. On appellera 5 le point où la vapeur devient saturante.

- ✓ A la sortie du condenseur, au point 4, le liquide saturant entre dans le détendeur (D), le fluide en sort à la pression P_1 , à la température T_1 et avec le titre en vapeur x_1 .

L'installation représentée figure 1 est entièrement calorifugée, l'énergie cinétique macroscopique est partout négligeable.



Données :

- ✓ Masse molaire du fréon est $M = 86.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- ✓ $P_2 = 5 \text{ bars}$.
- ✓ $P_3 = 15 \text{ bars}$.
- ✓ Chaleur massique de l'eau froide $c_L = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Questions :

1. Rappeler la nature des processus dans les différents éléments (CP); (CD); (D) et (E).
2. Placer les points 1, 2, 3, 4 et 5 sur le diagramme et représenter le cycle.
3. Lire les valeurs des températures T , entropie massique s , enthalpie massique h , pression P aux points 1, 2, 3, 4 et 5. Récapituler vos résultats dans un tableau. Lire également la valeur de x_1 .
4. A partir du diagramme, lire les caractéristiques du fluide suivantes :
 - ✓ Coefficient γ du fréon.
 - ✓ Chaleurs latentes de vaporisation aux température T_2 et T_4 . Commenter.
 - ✓ La chaleur massique du fréon liquide
5. Déterminer les travaux et transfert thermiques échangés par unité de masse dans les différents éléments. Récapituler vos résultats dans un tableau.
6. A partir des résultats précédents, vérifier le 1^{er} principe de la thermodynamique.
7. Définir et calculer l'efficacité de cette pompe à chaleur.
8. Le cycle de Carnot associé à cette pompe à chaleur est le cycle fonctionnant entre les températures suivantes :
 - ✓ Pour la température de la source chaude : c'est la température la plus basse, dans le cycle réel, lors du contact avec la source chaude.

- ✓ Pour la température de la source froide : c'est la température la plus élevée, dans le cycle réel, lors du contact avec la source froide.

Tracer le cycle de Carnot associé et déterminer son rendement. Conclure.

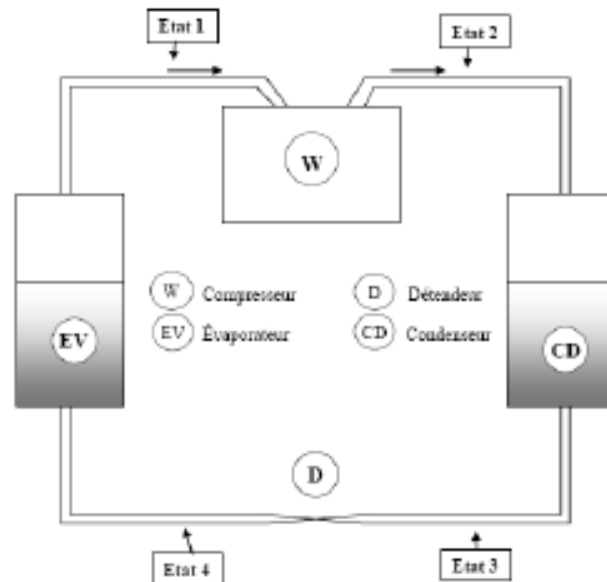
22. CLIMATISEUR (**)

La climatisation est désormais présente sur plus de 9 véhicules neufs sur 10. La climatisation ditherme étudiée ici assure le maintien d'une température de l'habitacle d'une voiture égale à 20°C pour une température de l'air extérieur égale à 35°C. L'agent thermodynamique, le fluide R134a, décrit le cycle ci-contre, à débit massique constant.

On peut considérer que la compression est adiabatique et réversible.

L'évaporateur et le condenseur sont des échangeurs thermiques isobares, dépourvus de pièces mécaniques mobiles.

Le détendeur D, calorifugé et sans pièces mécaniques mobiles, permet d'abaisser la pression du fluide frigorigène irréversiblement.



1) Quel système représente la source froide ? la source chaude ?

Au contact de quelle source doit-on placer le condenseur ? l'évaporateur ?

2) On donne ci-dessous le tracé du cycle du fluide, en trait noir épais, dans un diagramme (P, h) où la pression P est en échelle logarithmique et h désigne l'enthalpie massique.

a) Déterminer la position des différents états sur le cycle.

b) Déterminer la valeur du travail indiqué (ou utile) massique échangé dans le compresseur ?

c) Déterminer la valeur du transfert thermique massique avec l'air de l'habitacle ?

d) Définir puis calculer l'efficacité de l'installation.

e) Déterminer le rendement de l'installation par rapport à un climatiseur de Carnot fonctionnant entre les températures extrêmes du cycle.

f) Comment serait modifié le cycle si la compression n'était plus idéalisée ? Conclure quant à la nouvelle performance du cycle.

3) Lorsque l'on fait fonctionner la climatisation pendant un certain temps et qu'on décide de la stopper, on peut apercevoir un liquide couler sous la voiture. Expliquer.

