

Devoir à la Maison 0 : révisions de Thermodynamique

A rendre le mardi 6 septembre.

Bienvenue en PC ! J'espère que vous profitez pleinement de l'été. Ce premier devoir à la maison en physique¹ a pour but de vous faire réviser la thermodynamique en vue des deux premiers chapitres que nous effectuerons ensemble : "Révisions de thermodynamiques" puis "Thermodynamique des systèmes ouverts". L'année sera intense d'un point de vue du programme. Rencontrer la difficulté que ce soit en maths, anglais, chimie... est normal en deuxième année de prépa, restez donc serein même si c'est dur. Rappelez vous toujours que vous avez de très bonnes chances de réussir si les cours et devoirs sont systématiquement suivis et faits. Bonne poursuite de vacances !

Exercice 1 : Statique des fluides

L'atmosphère est assimilée à un gaz parfait de masse molaire M_a . Au niveau du sol sa pression, sa température et sa masse volumique sont P_0 , T_0 et μ_0 .

L'axe vertical (Oz) est dirigé vers le haut, tel que $z = 0$ au niveau du sol. Le champ de pesanteur est noté \vec{g} (avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

- Calculer la valeur de μ_0 sachant que :

$$M_a = 28,8 \text{ g.mol}^{-1}, T_0 = 293 \text{ K}, P_0 = 10^5 \text{ Pa et } R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}.$$

- Le modèle de l'atmosphère isotherme n'est pas très réaliste. Des mesures de température T de l'atmosphère supposée en équilibre en fonction de l'altitude donnent les résultats suivant :

z (m)	0	1000	2000	5000	7500	10000
T (K)	293	286	280	260	244	227

En déduire graphiquement que l'on peut prendre le modèle suivant pour z compris entre 0 et 10000 m :

$$T(z) = T_0 \left(1 - \frac{z}{H} \right)$$

Donner la valeur numérique de H en précisant son unité.

- Établir la relation donnant la pression $P(z)$ à l'altitude z en fonction de z , P_0 , H et la constante q définie par

$$q = \frac{M_a g H}{R T_0}$$

Calculer q .

- Calculer P pour les différentes valeurs de z figurant dans le tableau de mesures.
- Établir la relation donnant la masse volumique de l'air $\mu_a(z)$ en fonction de z , μ_0 , H et q .
- Montrer qu'il existe deux relations simples : l'une entre T , P , T_0 , P_0 et q ; et l'autre entre P , P_0 , μ_a , μ et q .

Ces relations caractérisent ce modèle de *l'atmosphère polytropique*.

Exercice 2 : Changements d'états

Une enceinte indéformable de volume $V = 1 \text{ L}$ contient initialement de la vapeur d'eau à saturation ($P_1 = 20 \text{ bar}$, $T_1 = 480 \text{ K}$). On la met en contact avec un thermostat à la température $T_2 = 373 \text{ K}$.

Données :

$$M_{\text{eau}} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$$

Pression de vapeur saturante de l'eau à T_2 : $P_2 = P_{\text{vap}}(T_2) = 1 \text{ bar}$

Capacité calorifique massique de l'eau liquide : $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}$

1. Tout devoir à la maison non rendu s'accompagne d'une note nulle.

Chaleurs latentes de vaporisation : $L_{vap}(T_1) = 1893 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$; $L_{vap}(T_2) = 2256 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

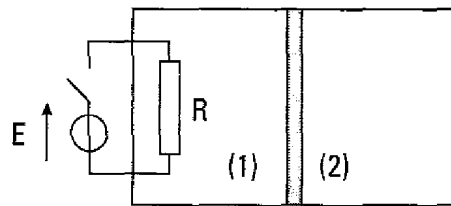
Volumes massiques de l'eau : $v_{liq}(T_1) \approx v_{liq}(T_2) = 1,044 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$

1. Représenter l'allure des isothermes dans un diagramme d'Andrews (P, v). On placera le point critique, la courbe de saturation et on explicitera l'état physique du fluide dans les trois zones.
2. Déterminer la nature de l'état final.
3. Déterminer l'énergie thermique échangée. Faire l'application numérique.
4. Déterminer la variation d'entropie de l'eau, ainsi que l'entropie échangée et l'entropie créée au cours de cette transformation.

Données : Variation d'entropie d'une masse m de liquide passant de T_0 à T_1 : $\Delta S = mc \ln \frac{T_1}{T_0}$

Exercice 3 : Résistance chauffante

Un récipient de volume $2V$ parfaitement calorifugé est partagé en deux compartiments (1) et (2) par un piston mobile sans frottements, également calorifugé. Chaque compartiment contient n moles de gaz parfait diatomique ($\gamma = 1,4$) qui occupe initialement un volume $V = 2 \text{ L}$ sous la pression $P = 1 \text{ bar}$, à la température $T = 300 \text{ K}$. Dans le compartiment (1), un conducteur ohmique de résistance R peut fournir un transfert thermique Q_1 par effet Joule. On fait passer un courant d'intensité I dans la résistance R jusqu'à ce que la pression p_1 dans le compartiment (1) soit égale à $2p$. Le chauffage est suffisamment lent pour considérer les évolutions comme quasi-statiques.



1. Déterminer les volumes et températures V_1, T_1 (dans le compartiment (1)) et V_2, T_2 (dans le compartiment (2)) à la fin de l'évolution.
2. Exprimer puis calculer numériquement les travaux W_1 et W_2 reçus par les deux gaz, le transfert thermique Q_2 reçu par le gaz dans le compartiment (2), ainsi que les variations d'énergie interne ΔU_1 et ΔU_2 de chacun des deux gaz.
3. Calculer le transfert thermique Q fourni par le conducteur ohmique.

Exercice 4 : Température de mélange

On introduit deux glaçons de 10 g chacun, initialement à -19°C , dans un verre d'eau de 250 mL , l'eau étant initialement à 25°C . On néglige les échanges thermiques avec l'atmosphère. Déterminer l'état final (état physique et température).

Données :

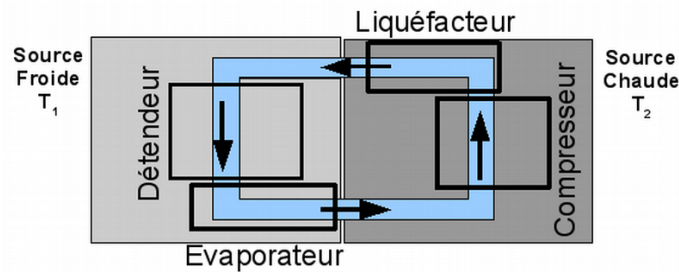
Enthalpie massique de fusion de l'eau : $l_F = 334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ à 0°C ,

Capacité thermique de l'eau liquide : $c_l = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,

Capacité thermique de l'eau solide : $c_s = 2,10 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Exercice 5 : Fluide frigorigène

Un fluide frigorigène de type fréon circule dans un circuit fermé et échange au cours de son cycle de la chaleur avec deux sources de températures $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$ (ou $T_1 = 273\text{K}$, source froide) et $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$ (ou $T_2 = 313 \text{ K}$, source chaude) et du travail avec un dispositif mécanique (piston mobile). Le fluide subit deux changements d'états pendant ce cycle de fonctionnement. Le cycle peut être schématisé de la manière suivante :



Dans toute la suite nous considèrerons une masse $m = 1$ kg de fréon subissant le cycle schématisé.

En entrée d'évaporateur, en A, le fluide est à l'état liquide à la température T_1 et à la pression $P_1 = 1$ bar, pression du changement d'état liquide-vapeur à T_1 . Il est alors au contact avec la source froide et reçoit de celle-ci une énergie thermique positive ce qui le fait passer entièrement sous forme vapeur (point B).

La vapeur est alors mise au contact avec la source chaude (température T_2) et subit un échauffement à pression constante jusqu'en C.

La vapeur à la température T_2 entre alors dans le compresseur où elle est comprimée de manière isotherme jusqu'à la pression $P_2 = 14$ bar où elle est saturante (point D).

Elle est ensuite entièrement liquéfiée jusqu'au point E en restant à la température T_2 et à la pression P_2 .

Le liquide est mis au contact avec la source froide et refroidi de manière isobare jusqu'au point F.

Enfin, le fluide, toujours au contact avec la source froide, est détendu de manière isotherme dans le détendeur jusqu'au point A où le liquide est à la limite de la vaporisation.

Hypothèses du problème et données :

On néglige le volume massique du fluide liquide (considéré quasi indépendant de T et P) devant celui du fluide sous forme vapeur. La vapeur est assimilée à un gaz parfait.

On note l_1 et l_2 les enthalpies massiques de vaporisation du fréon à T_1 et T_2 : $l_1 = 150 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $l_2 = 130 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

La capacité thermique massique à pression constante du fréon liquide est de $c_{pl} = 960 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et celle de la vapeur $c_{p,v} = 412 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Elles sont supposées indépendantes de la température entre θ_1 et θ_2 .

La masse molaire du fréon vaut : $M = 121 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Représenter le cycle parcouru par le fréon en coordonnées de Clapeyron.
2. Exprimer le travail reçu et le transfert thermique échangé au cours de chaque étape de la transformation.
3. Déterminer l'efficacité du climatiseur. Faire l'application numérique.
4. Comparer à l'efficacité maximale d'un réfrigérateur ditherme fonctionnant entre les deux mêmes sources froide et chaude.