
TRAVAUX DIRIGÉS

DE PHYSIQUE

CHARLES TUCHENDLER



MPSI 4 – LYCÉE SAINT-LOUIS

ANNÉE 2019/2020

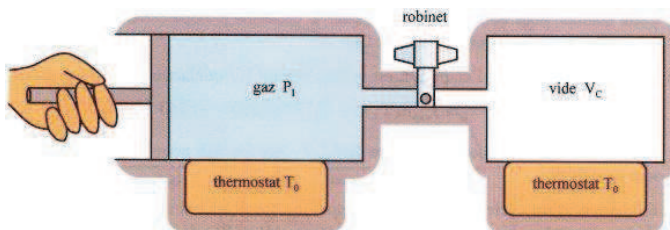
Table des matières

TD N° 23	CHANGEMENTS D'ÉTAT D'UN CORPS PUR	1
Exercice n° 1 - Compression avec changement d'état		1
Exercice n° 2 - Calorimétrie		1
Exercice n° 3 - Jus de fruits		1
Exercice n° 4 - Mesure de la pression de vapeur saturante de l'eau		2
Exercice n° 5 - Cocotte minute		2
Exercice n° 6 - Evolution d'un système diphasé		3
Exercice n° 7 - Diagramme (P,T) de l'eau		3
Exercice n° 8 - Machine à glaçons		4

CHANGEMENTS D'ÉTAT D'UN CORPS PUR

Exercice n° 1 - Compression avec changement d'état

Une mole de gaz est placée dans une enceinte thermostatée à une température T_0 inférieure à sa température critique T_C . À l'aide d'un piston mobile, on réduit progressivement le volume accessible au gaz jusqu'à obtenir sa liquéfaction totale. La pression initiale du gaz est notée P_1 .



À la température T_0 , la pression de vapeur saturante est notée P_0 et l'enthalpie molaire de vaporisation du système $\Delta_{vap}H_m$. Hors de la zone d'équilibre liquide-gaz, le système est assimilé à un gaz parfait ou à une phase condensée idéale de volume molaire V_m .

1. Représenter, dans le diagramme (P, T) , puis dans celui de Clapeyron, l'évolution du système.
2. Effectuer un bilan énergétique complet du système en distinguant deux étapes dans la transformation.
3. Calculer la variation d'entropie du système entre l'état initial et l'état final. Que vaut la variation d'entropie du thermostat pendant cette évolution ?
4. On bloque le piston, puis on ouvre l'accès à une cavité initialement vide de volume V_c . Le volume du tube qui relie les deux parties de l'enceinte est négligé.
 - (a) Exprimer la condition portant sur V_c pour que le gaz se vaporise intégralement au cours de cette détente.
 - (b) Exprimer la fraction molaire de liquide à l'issue de la détente si la condition précédente n'est pas remplie.

Données : $V_c = 5 \text{ L}$; $V_m = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ L}$; $P_1 = 1 \text{ bar}$; $P_0 = 5 \text{ bar}$; $T_0 = 423 \text{ K}$; $\Delta_{vap}H_m = 38 \text{ kJ.mol}^{-1}$

Exercice n° 2 - Calorimétrie

Un calorimètre de capacité thermique $C = 84 \text{ J.K}^{-1}$ contient une masse $m_1 = 530 \text{ g}$ d'eau liquide à température $t_1 = 25 \text{ °C}$. On y introduit une masse $m_2 = 49 \text{ g}$ de glace à la température $t_2 = 0 \text{ °C}$. La température d'équilibre mesurée est de $t_f = 16,5 \text{ °C}$.

Sachant que la capacité thermique de l'eau liquide est $c_{eau} = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$, exprimer puis calculer la chaleur latente de fusion L_{fus} de l'eau sous la pression atmosphérique.

Exercice n° 3 - Jus de fruits

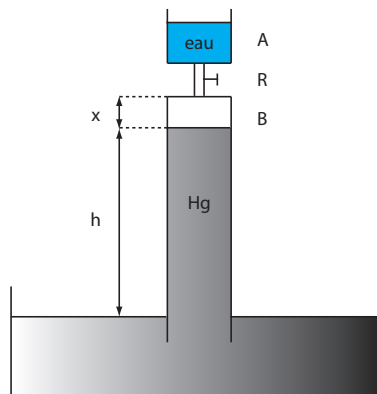
On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à 30 °C . La capacité calorifique du verre et du jus de fruit est de 550 J.K^{-1} . On introduit pour cela des glaçons de glace d'eau (chaleur latente de fusion : $L = 3,3 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$) sortant du compartiment à glaçons (-5 °C) ; chaque glaçon a une masse de 7 g environ. On veut que la température finale de l'ensemble soit de 10 °C . On supposera qu'il n'y a de transfert thermique qu'entre la glace et le verre de jus de fruit.

Calculer le nombre de glaçons nécessaires.

Exercice n° 4 - Mesure de la pression de vapeur saturante de l'eau

Pour mesurer la pression de vapeur saturante d'un liquide, on dispose d'un appareil représenté sur la figure ci dessous, constitué de deux tubes A et B connectés par l'intermédiaire d'un tube de plus petit diamètre dont l'ouverture est contrôlée par un robinet R. Le dispositif fait environ 1m de haut. Le tube B est ouvert en bas et le tube A est ouvert en haut.

Le robinet étant fermé, on remplit de mercure la partie B en retournant l'appareil. On remet ensuite le dispositif à l'endroit en immergeant B dans une grande cuve remplie de mercure, sans faire entrer d'air à l'intérieur du tube B. La pression atmosphérique est $P_0 = 10^5$ Pa et la température ambiante est $T_0 = 293$ K.



- On néglige dans un premier temps l'évaporation du mercure. On peut donc ainsi considérer que le tube B est vide au dessus du mercure. Calculer la dénivellation h_0 du mercure dans le tube par rapport au niveau du mercure dans la grande cuve. On donne $\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg.m}^{-3}$ à 293 K.
- On verse de l'eau dans le tube A et on ouvre le robinet le temps de faire tomber une petite goutte d'eau dans la partie B. On observe que la hauteur de Hg dans le tube a diminué de $\Delta h = 12$ mm. Expliquer pourquoi et calculer la pression de vapeur d'eau au-dessus du mercure dans le tube B.
- On verse ainsi de l'eau progressivement jusqu'à voire apparaître une goutte d'eau à la surface du mercure. La hauteur a alors diminué en tout de $\Delta h' = 17$ mm.
 - Calculer la pression de vapeur d'eau correspondante. Que représente-t-elle ?
 - Que se passe t-il si on continue à verser de l'eau ?
- A l'état d'équilibre obtenu à la question 2, et robinet fermé, on mesure une hauteur libre au dessus du mercure de $x_i = 5$ cm.
 - Sachant que la section du tube est $s = 4 \text{ cm}^2$, calculer le nombre de moles de vapeur d'eau présent au dessus du mercure.
 - On descend alors tout doucement l'appareil dans la cuve. On observe que x et h diminuent. Il y a apparition d'eau liquide à la surface du mercure quand $x_f = 3,58$ cm. Expliquer ce qui se passe et calculer la pression de vapeur à ce moment. Que représente-t-elle ?
 - Représenter la transformation dans un diagramme (P,T) de l'eau.
- L'hypothèse consistant à négliger l'évaporation du mercure dans la question 1 était-elle valide, sachant que la pression de vapeur saturante du mercure à 293 K est de l'ordre de 10 mPa ?

Exercice n° 5 - Cocotte minute

On considère une cocotte-minute formée d'une cuve en acier inoxydable de masse $m_c = 4$ kg (couvercle compris) ; sa capacité thermique massique est $c_c = 460 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, son volume est de 10 L. On place à l'intérieur 1 L d'eau (capacité calorifique massique $c_{eau} = 4,18 \text{ J.g}^{-1}\text{K}^{-1}$), à la température ambiante de 20 °C. A la date $t = 0$, on commence à chauffer l'ensemble{cocotte + eau} à l'aide d'une plaque électrique fournissant une puissance effective $P = 2,0$ kW.

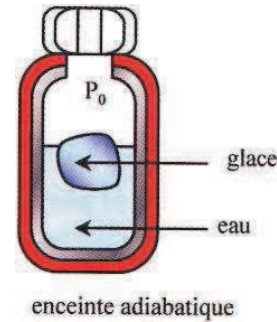
- En négligeant la formation de vapeur d'eau, les pertes thermiques et l'air contenu dans la cocotte, calculer le temps au bout duquel l'ensemble atteindra la température de 100 °C.
 - Est-il réaliste de négliger la formation de vapeur d'eau (masse volumique $0,6 \text{ kg.m}^{-3}$ et chaleur latente de vaporisation $L_v = 2,2.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à 100 °C) avant que l'on ait atteint cette température ?
- En régime établi, la pression et la température sont de 1,7 bar et 115 °C. A cette température, la chaleur latente de vaporisation de l'eau est encore $L_v = 2,2.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$. En arrivant à cette pression, la soupape s'est mise en rotation rapide, l'air a été chassé, et un jet caractéristique est présent. Avec quel débit l'eau s'échappe t-elle ainsi ?
- On arrête le chauffage, la soupape se referme hermétiquement ; on laisse revenir l'ensemble à la température ambiante.

- (a) Expliquer pourquoi le couvercle semble « collé » au récipient. Déterminer la force qu'il faudrait exercer sur le couvercle pour arriver à le décoller. On précise que la pression de vapeur saturante de l'eau à 20 °C est de 23 mbar.
- (b) Pourquoi est-il beaucoup plus simple d'ouvrir alors la soupape ?

Exercice n° 6 - Evolution d'un système diphasé

Dans une enceinte parfaitement calorifugée, on mélange une masse m_1 d'eau liquide à la température $T_{l1} = 280$ K avec une masse m_2 de glace à la température $T_{l2} = 260$ K. Sous ces deux états, le corps pur est assimilé à une phase condensée idéale. On donne les capacités thermiques massiques de la glace et de l'eau liquide, et on les suppose constantes : $c_g = 2,10 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $c_e = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Le système évolue sous une pression extérieure P_0 constante, pour laquelle la température d'équilibre liquide/solide vaut $T_{fus} = 273$ K et l'enthalpie massique de fusion $\Delta_{fus}H = 334 \text{ J.g}^{-1}$. On néglige le transfert thermique entre le système et le pressostat.



1. Prévoir qualitativement l'état final du système à l'issue de son évolution, en distinguant trois cas selon les proportions relatives de glace et d'eau liquide.
2. (a) Effectuer un bilan énergétique du système au cours de l'évolution. En déduire l'expression de la température finale T_F lorsque l'état final du système correspond à l'état solide. Etablir la condition sur le rapport $\frac{m_1}{m_2}$ pour aboutir à cet état final.
- (b) Reprendre la démarche précédente pour un état final entièrement liquide.
3. Exprimer la fraction massique d'eau lorsque le système final est diphasé.
4. On choisit $m_1 = 500$ g et $m_2 = 200$ g. Déterminer l'état final du système.

Exercice n° 7 - Diagramme (P,T) de l'eau

On s'intéresse à la construction du diagramme (P,T) de l'eau.

1. Quelles sont les 3 phases de l'eau ?
2. Que se passe-t-il lorsqu'on met une bouteille d'eau liquide pleine au congélateur ? Utiliser cette réponse pour comparer les volumes molaires V_m de ces 3 phases. On rappelle que le volume molaire est le volume occupé par une mole.
3. Dans le diagramme de phase (P,T), la pente des limites entre les différents domaines de phases est donnée par la formule de Clapeyron : $\frac{dP}{dT} = -\frac{L_{m1 \rightarrow 2}}{T(V_{m1} - V_{m2})}$, où $L_{m1 \rightarrow 2}$ correspond à la chaleur latente molaire de changement d'état de la phase 1 à la phase 2. Il est important de noter que la pression P correspond à la pression partielle en eau, et devrait normalement être notée P_{eau} , et ne correspond pas à la pression totale.
 - (a) Vérifier l'homogénéité de la formule de Clapeyron
 - (b) Donner le signe de $L_{m1 \rightarrow 2}$ lorsque les phases 1 et 2 désignent (i) solide \rightarrow liquide, (ii) liquide \rightarrow gaz, (iii) gaz \rightarrow solide.
4. Tracer le diagramme (P,T) de l'eau en utilisant les résultats précédents.
5. Au delà de $T_C = 373$ K, pour une pression de $P_C = 220$ bar, on constate qu'il n'y a plus aucune différence entre l'état liquide et l'état gazeux. Comment appelle le fluide au delà de ce point ?
6. Représenter le diagramme (P,T) de l'eau.
7. Expliquer pourquoi on peut faire sécher son linge (phénomène d'évaporation) à la pression atmosphérique, à 20 °C, alors que la pression de vapeur saturante à cette température est de l'ordre de 2000 Pa. Expliquer aussi pourquoi le linge sèche mieux en plein vent que dans une pièce close, et mieux dans les pays secs (degré d'humidité $\varphi = P_{eau}/P_{sat} \simeq 20\%$) que dans les zones équatoriales ($\varphi \simeq 80\%$).
8. En utilisant le diagramme, expliquer pourquoi l'eau boue à une température inférieure à 100 °C en altitude.
9. Expliquer aussi l'intérêt de placer un couvercle sur une casserole lorsque l'on veut faire bouillir de l'eau pour faire cuire les pâtes.

10. En s'aidant du diagramme, expliquer le principe de la cocotte minute.
11. Toujours en utilisant le diagramme, expliquer simplement la possibilité de formation d'une fine pellicule d'eau liquide entre un patin à glace et une patinoire. La glisse lors du patinage est favorisée par la formation de cette pellicule d'eau (frottement fluide au lieu de frottement solide). Proposer un modèle simpliste afin de déterminer la pression exercée par un patineur sur la glace et conclure sur l'interprétation du phénomène si l'on considère que la glace est à $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sachant que la pression nécessaire pour faire apparaître la première goutte de liquide à cette température est de 66 bar ? Quelle est plus vraisemblablement l'origine de la fonte de la glace ?

Exercice n° 8 - Machine à glaçons

Une machine frigorifique fonctionne réversiblement entre une source froide, une grande masse d'eau sous forme liquide à la température $T_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, et une source chaude, l'air extérieur à la température $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. La puissance de la machine frigorifique est $\mathcal{P} = 1\text{ kW}$.

1. Exprimer et calculer le transfert thermique Q_F échangé par la machine avec la source froide, sur une durée $\Delta t = 5\text{ min}$.
2. En déduire la masse m_g de glace formée en 5 min par la machine, sachant que la chaleur latente de fusion de l'eau vaut $L_{fus} = 334\text{ J.g}^{-1}$.