

TH1 Les deux principes de la thermodynamique

A1. Ouverture d'une bouteille d'air comprimé ☺

Une bouteille d'acier, munie d'un détendeur, contient 60,0 L d'air comprimé sous 15 bar à 298 K.

- Rappeler le modèle microscopique du gaz parfait.
- Calculer la quantité d'air contenue dans cette bouteille ?
- Quelle est la masse volumique de l'air comprimé dans ces conditions ? Sa densité ?
- Calculer la masse de dioxygène contenue dans cette bouteille.
- On ouvre le détendeur à l'air atmosphérique. Quel volume d'air comprimé s'échappe de la bouteille à température constante ?

A2. Équilibre liquide-vapeur ☺

- Donner et légender le diagramme d'état d'un corps pur.
- Une masse $m = 5,0$ g d'éther liquide ($\rho = 713 \text{ kg.m}^{-3}$, $M = 74 \text{ g.mol}^{-1}$) est placée dans une ampoule scellée de 10 L initialement vide. Déterminer l'état final du système maintenu à 18°C. Pression de vapeur saturante à 18 °C : $P_s(18^\circ\text{C}) = 0,53 \text{ bar}$

A3. Calorimétrie ☺

- Quand peut-on écrire $\Delta H = Q$ (démonstration) ?
- Des petites billes de verre de masse totale $m_1 = 50$ g sont placées dans un four maintenu à $t_1 = 80^\circ\text{C}$ puis plongées dans un calorimètre contenant une masse $m_2 = 100$ g d'eau à $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Calculer la température finale T_f . Qu'est-ce que la valeur en eau du calorimètre ?
 $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $c_{\text{verre}} = 0,87 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, $C_{\text{calorimètre}} = 150 \text{ J.K}^{-1}$.

A4. Chauffage d'une maison ☺

- La puissance P_{th} des pertes thermiques à travers les ouvertures et les parois d'une maison (de capacité thermique $C = 10^7 \text{ J.K}^{-1}$) est proportionnelle à l'écart de température entre la pièce $T(t)$ et l'extérieur $T_0 = 280 \text{ K}$. On note αC le coefficient de proportionnalité, où $\alpha = 10^{-4} \text{ SI}$ est une constante positive.
- À l'instant initial, la température de la maison est $T_i = 295 \text{ K}$. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$ de la maison à l'instant t puis la résoudre.
 - Exprimer puis calculer la puissance thermique P que doit fournir un système de chauffage à la maison pour maintenir la température intérieure constante $T_c = 295 \text{ K}$.

A5. Surfusion du phosphore ☺

Un récipient calorifugé (capacité thermique négligée) contient $m = 10,0$ g de phosphore liquide surfondu à $T = 34^\circ\text{C}$ sous 1 bar. On fait cesser la surfusion en remuant un peu le récipient et on observe un état d'équilibre diphasé du phosphore. Déterminer la masse de chacune des phases.
Pour le phosphore : $T_{fus} = 317 \text{ K}$, $\ell_f = 20,9 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}$, $c_{liq} = 0,795 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $c_{sol} = 0,840 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

A6. Sorbetière ☺

Une sorbetière est une machine permettant de fabriquer des glaces faites maison. La préparation (400 g : fruits, eau et sucre), sortie du réfrigérateur à 0°C , est versée dans un bol sorti du congélateur dont la température est sensiblement constante et égale à -15°C . Ce bol contient une solution saline dont la fusion progressive permet de récupérer une grande quantité d'énergie à basse température, et donc de refroidir efficacement la préparation. Un petit moteur fait tourner une pale qui agite le mélange, jusqu'à la prise en glace.

- Quelle est la durée nécessaire à ce que le mélange solidifie complètement ?



b) La glace est meilleure à déguster à $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Combien de temps supplémentaire faudra-t-il patienter une fois la glace totalement solidifiée avant de se régaler ?

Données : Capacité thermique massique de la glace $2,1\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Enthalpie massique de fusion de la glace 330 kJ.kg^{-1}

La puissance thermique échangée entre le mélange et le bol est proportionnelle à l'écart de température bol/sorbet. Le coefficient de proportionnalité vaut 5 SI.

Expressions de l'entropie (doit être donnée)

Phase condensée idéale : $\Delta S = mc \ln(T_f / T_i)$

Gaz parfait : $dS = nC_{Vm} \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V}$ ou $dS = nC_{pm} \frac{dT}{T} - nR \frac{dP}{P}$

Changement d'état isotherme et isobare ($P_s(T)$) d'une masse m : $\Delta S = m \frac{\ell_{\phi_1 \rightarrow \phi_2}(T)}{T}$

Loi de Laplace (doit être donnée)

Pour une transformation *adiabatique infiniment lente* d'un gaz parfait pour lequel $\gamma = \text{cste}$, la quantité PV^γ est constante au cours de la transformation.

A7. Transformations infiniment lente d'un gaz parfait ☺

a) Donner l'énoncé du 2nd principe de la thermodynamique et préciser la notion de réversibilité.

Une enceinte fermée par un piston contient 500 g d'hélium gazeux (GP, $M = 4\text{ g.mol}^{-1}$) dont l'énergie interne s'écrit $U = 3nRT/2$ où n est le nombre de moles. Dans l'état (1) initial, le volume de l'enceinte est $V_1 = 100\text{ L}$ et la température $T_1 = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Par déplacement du piston, le gaz subit une détente isotherme réversible, qui le conduit à l'état (2) caractérisé par un volume $V_2 = 250\text{ L}$. Caractériser complètement l'état final, calculer le travail reçu par le gaz et la création d'entropie au cours de cette transformation.

c) On envisage une nouvelle évolution infiniment lente, constituée d'une détente adiabatique entre l'état (1) et un état intermédiaire (3) de volume $V_3 = V_2$, suivie d'un chauffage isochore entre l'état (3) et l'état final (2) par mise en contact avec un thermostat à la température T_2 . Déterminer la température T_3 . Calculer le travail reçu et la création d'entropie au cours de ces transformations.

A8. Détente de vapeur d'eau ☺

Lors d'une détente adiabatique réversible de vapeur d'eau entre l'état initial I (vapeur saturante sèche à $T_1 = 485\text{ K}$) et l'état final F (vapeur saturante à $T_2 = 373\text{ K}$).

a) A partir des tables, déterminer la donnée manquante du tableau, et le titre en vapeur en F .

T (K)	P (bar)	Liquide juste saturé $x_v = 0$			Vapeur sèche saturante $x_v = 1$		
		v_ℓ ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)	h_ℓ (kJ.kg^{-1})	s_ℓ ($\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$)	v_v ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)	h_v (kJ.kg^{-1})	s_v ($\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$)
485	20	$1,18.10^{-3}$	909	2,45	$99,8.10^{-3}$	2801	
373	1	$1,04.10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

b) Déterminer le titre en vapeur dans l'état final $x_{v,F}$ à partir des enthalpies massiques de vaporisation à T_1 et T_2 , respectivement $\ell_1 = 1892\text{ kJ.kg}^{-1}$ et $\ell_2 = 2258\text{ kJ.kg}^{-1}$, et de la capacité thermique de l'eau liquide $c = 4,18\text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

A9. Mise en contact de deux corps à des températures différentes ☺

a) Calculer la variation d'entropie du système {billes, calorimètre, eau} pour la transformation décrite en A3. Conclure quant à la réversibilité de la transformation.

b) Calculer la variation d'entropie du système pour la transformation décrite en A5. Commenter.