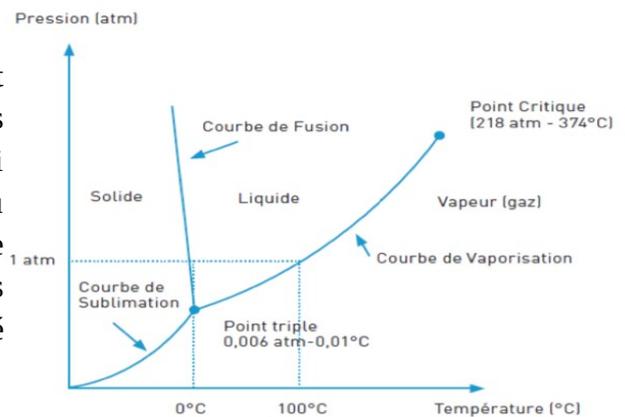


22 avril – 25 avril
28 avril – 2 mai
Préparation

Exercice n°1

La lyophilisation est une opération de déshydratation à basse température, couramment utilisée dans les industries pharmaceutiques et alimentaires pour la conservation de produits. Elle met en jeu différents changements d'état de l'eau permettant d'éliminer cette dernière sans altérer le produit ainsi séché.

Une solution de café est ainsi préparée, elle est solidifiée à -40°C , elle est découpée en lingot puis broyée en fines particules. Les paillettes ainsi obtenues sont ensuite admises dans des chambres où règnent une pression réduite. Là, elles sont ensuite réchauffées. L'eau est ainsi éliminée. Il ne reste plus que l'extrait sec de la solution, celui-ci est conditionné puis mis en vente.



On supposera que l'eau sous forme vapeur a un comportement de **gaz parfait** et que tous les liquides et les solides se comportent comme des phases condensées **incompressibles** et **indilatables**. Le café, contient 86,0 % en masse d'eau susceptible de subir des changements d'état. Lors de la lyophilisation on peut identifier les transformations suivantes, sachant qu'initialement, le produit est dans l'état 1, $P_1 = 1,013 \cdot 10^5\text{ Pa}$ et $T_1 = 293\text{ K}$.

- Transformation 1-2 : refroidissement isobare de l'état 1 à l'état 2 ($P_2, T_2 = 233\text{ K}$)
- Transformation 2-3 : mise sous vide isotherme de l'état 2 à l'état 3 ($P_3 = 13,3\text{ Pa}$; T_3)
- Transformation 3-4 : réchauffement isobare de l'état 3 à l'état 4 : (P_4 ; $T_4 = 293\text{ K}$).

Coordonnées du point triple de l'eau : $610,5\text{ Pa}$; $273,16\text{ K}$.

1. Sur le diagramme de phase, représenter ces différentes transformations, en précisant pour chaque état 1, 2, 3, 4 l'état physique sous lequel se trouve l'eau contenue dans le produit à lyophiliser.
2. Définir les termes **gaz parfait**, **incompressibles**, **indilatables**, **point triple** et **point critique**.
3. Quel changement d'état se produit lors de la transformation 1-2 et lors de la transformation 2-3 ?

Exercice n°2

Immergée dans l'eau, une couronne de $m = 14,7$ kg a une masse **apparente** de 13,4 kg.

Cette couronne est-elle en or pur ?

Données : masses volumiques de l'or, de l'argent et du plomb :

$$\rho_{\text{Au}} = 19,3 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}, \rho_{\text{Ag}} = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}, \rho_{\text{Pb}} = 11,3 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Exercice n°3

On souhaite construire un dispositif permettant de chauffer une cuve de chauffe-eau de 10 litres. L'eau chaude doit être chauffée pendant la nuit pour être disponible au matin (temps de chauffe: 8 heures). Le chauffe-eau est constitué d'une résistance électrique. Le constructeur indique que, alimenté sous la tension secteur de 230V, elle développe une puissance électrique de 1 kW.

On souhaite que l'eau chaude sorte à une température de 55 °C du chauffe-eau, alors qu'elle y entre et y est stockée à 5°C. On donne la chaleur massique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

1. Quelle quantité de chaleur doit-on apporter pour chauffer cette eau ?
2. Calculez la valeur de la résistance électrique du chauffe-eau.
3. En combien de temps un tel chauffe - eau permet t-il de chauffer les 10 litres d'eau (pour élever sa température de 5°C à 55°C) ?

Exercice n°4

Par une chaude journée d'été (30°C), vous avez oublié de mettre au frigo la citronnade . Combien de glaçons de masse $m = 15$ g devez-vous ajouter à votre verre (200 mL) pour qu'il soit aussi rafraîchissant (10°C)? Quelle hypothèse avez-vous du faire ?

Données : enthalpie massique de fusion de l'eau $\Delta h_{\text{fus}} = 3,3 \cdot 10^2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. On prendra cette valeur de capacité pour la citronnade.

Exercice n°5

Un calorimètre contient une masse $m_1 = 250$ g d'eau. La température initiale de l'ensemble est $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$. On ajoute une masse $m_2 = 300$ g d'eau à la température $\theta_2 = 80^\circ\text{C}$. Capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

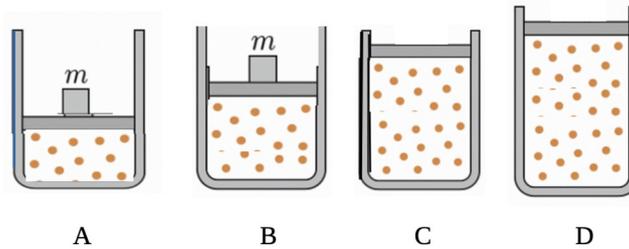
1. Quelle serait la température d'équilibre thermique θ_e de l'ensemble si la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires était négligeable?
2. On mesure en fait une température d'équilibre thermique $\theta_e = 50^\circ\text{C}$. Déterminer la capacité thermique C du calorimètre et de ses accessoires.

Exercice n°6

Un cylindre vertical, de section $S = 50 \text{ cm}^2$, fermé par un piston mobile sans frottement de masse négligeable, contient $n = 1,0 \text{ mol}$ de gaz parfait. Le système est en contact thermique avec un thermostat à température constante $T_0 = 300 \text{ K}$. Données : $R = 8,32 \text{ S.I.}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

L'extérieur est à la pression atmosphérique $P_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

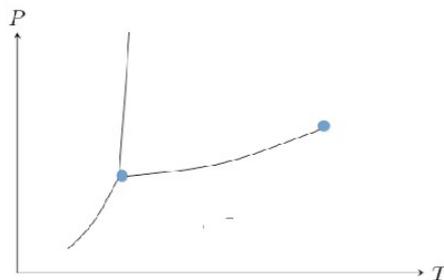
On réalise les étapes suivantes :



1. On place une masse $m = 2,0 \text{ kg}$ sur le piston. Le système atteint un équilibre thermique et mécanique.
2. On chauffe lentement le gaz à température constante jusqu'à ce que le volume ait doublé.
3. On enlève brutalement la masse m , sans laisser le temps à des échanges thermiques d'avoir lieu.
4. On attend que le système retrouve l'équilibre thermique avec l'extérieur.

Questions :

1. (État A) Donner l'expression de la pression P_A du gaz puis celle de la hauteur h_A du piston en équilibre initial.
2. (État B) Comment peut-on qualifier la transformation AB? Quelle est la nouvelle hauteur h_B lorsque le volume a doublé? Quelle est la température du gaz dans cet état?
3. (État C) Juste après le retrait brutal de la masse, déterminer la nouvelle hauteur h_C , en supposant que la transformation est adiabatique. $\gamma = 1,4$. On a alors la relation : $P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$
4. (État D) Lorsque l'équilibre thermique est retrouvé avec le thermostat à T_0 , déterminer la hauteur finale h_D .



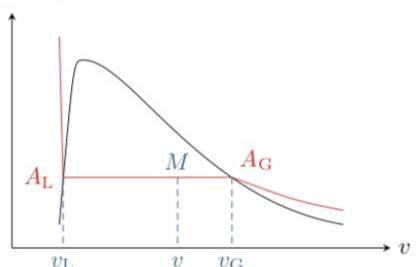
Exercice n°7

1. Compléter le diagramme ci-contre:

2. Une masse $m = 100 \text{ g}$ d'eau liquide est introduite dans une enceinte de volume $V = 1 \text{ L}$ que l'on suppose initialement vide. Cette enceinte est maintenue à température $T = 423 \text{ K}$, température à laquelle la pression de vapeur saturante de l'eau vaut $P_{\text{sat}} = 4,8 \text{ bar}$.

On considère que le système est diphasé.

Déterminer le titre en vapeur: x_v .



Données: Volume massique de l'eau liquide à la température de l'expérience : $v_L = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Masse molaire de l'eau : $M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ $R = 8,32 \text{ S.I.}$