

## PHYS-F-201 : exercices

### Systèmes multiphasiques et transitions de phases

- 
1. La hauteur de la flamme d'un briquet à butane est de 0.5 cm à 10 °C et de 1 cm à 37°C. On suppose que la hauteur de la flamme est proportionnelle à la tension de vapeur dans le briquet. Calculez la chaleur de vaporisation supposée constante dans l'intervalle de température considéré.

---

  2. Calculez la température d'ébullition dans une casserole à pression contenant de l'eau, où règne une pression de 1.4 atmosphères. La chaleur de vaporisation de l'eau est 40.6 kJ mol<sup>-1</sup>.

---

  3. On connaît la température d'ébullition de l'eau à une atmosphère : 100 °C. On dispose des mesures suivantes pour la pression de vapeur  $P$  :  $P = P_1 = 757.299$  mm Hg à  $T = T_1 = 99.90$  °C ;  $P = P_2 = 762.720$  mm Hg à  $T = T_2 = 100.10$  °C. Sachant que la chaleur de vaporisation de l'eau à la température d'ébullition est de 40.6 kJ mol<sup>-1</sup>, estimez le zéro absolu en assimilant la vapeur d'eau à un gaz parfait.

---

  4. L'intensité du rayonnement solaire par temps beau et sec à Los Angeles est de 1.2 kW/m<sup>2</sup>. Sachant que la chaleur d'évaporation de l'eau est de 40.7 kJ/mol, calculez la quantité d'eau s'évaporant par seconde d'une piscine de 5m × 10m. Quelle est l'épaisseur de la couche d'eau s'évaporant par heure?

---

  5. Une personne essaie de perdre 10 kg de graisse en mangeant des cubes de glace. Combien de cubes de glace de 50g à -20°C cette personne doit-elle manger sachant que
    - \*  $\Delta_c H(\text{graisse}) = -38$  kJ g<sup>-1</sup>,
    - \*  $\Delta_f H(\text{glace}) = 333$  J g<sup>-1</sup>
    - \*  $c_p(\text{glace}) = 2.09$  J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

---

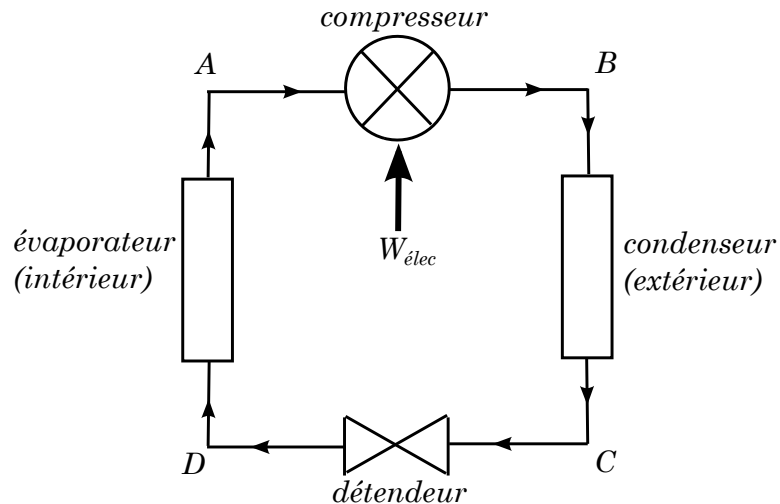
  6. Calculez la variation d'entropie de l'eau et de tous les autres corps, lorsqu'une mole d'eau surfondue gèle à -10°C et 1 atm. Considérez que les capacités calorifiques molaires de l'eau et de la glace sont constantes et respectivement égales à 75 et 38 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> et que la chaleur latente de fusion à 0°C est 6026 J mol<sup>-1</sup>.

---

  7. Un matin d'hiver, la température atteint - 5°C et la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air tombe à 2 mm Hg. Le givre va-t-il sublimer? A quelle pression partielle de l'eau la sublimation s'arrêterait-elle? A son point triple ( $T = 273.16$  K,  $P = 4.58$  mm Hg), la chaleur latente de fusion de l'eau vaut 6kJ mol<sup>-1</sup> et sa chaleur latente de vaporisation vaut 45 kJ mol<sup>-1</sup>. L'air ambiant n'influence pas l'équilibre des phases de l'eau.

## Question posée à l'examen de janvier 2016

Le fonctionnement d'un réfrigérateur repose sur la circulation d'un fluide réfrigérant en partie à l'intérieur et pour l'autre partie à l'extérieur de l'enceinte à refroidir comme l'illustre le schéma ci-dessous.



Une masse  $m$  de fluide initialement à une température  $T_A$  traverse d'abord un compresseur sous forme gazeuse. Le gaz en ressort sous haute pression avec une température  $T_B > T_A$ . La circulation du gaz au sein du compresseur nécessite un travail électrique  $W_{\text{elec}}$ . Le gaz est ensuite refroidi à une température  $T_C < T_B$  puis liquéfié dans un condenseur situé à l'extérieur et à l'arrière du réfrigérateur. Un détendeur réduit ensuite la pression du liquide de sorte que  $T_D = T_A$ . Le liquide se vaporise alors partiellement. Enfin, le fluide pénètre dans l'enceinte à refroidir à travers un évaporateur qui provoque la vaporisation du liquide restant en absorbant la chaleur. Les transformations  $A \rightarrow B$  et  $C \rightarrow D$  sont adiabatiques, tandis que les transformations  $B \rightarrow C$  et  $D \rightarrow A$  sont monobares.

Soient  $\mathcal{L}_C$  et  $\mathcal{L}_D$  les chaleurs latentes massiques de vaporisation du liquide dans les états  $C$  et  $D$  respectivement. Le gaz est supposé parfait d'indice adiabatique  $\gamma = c_p/c_v$ , où  $c_p$  et  $c_v$  désignent les capacités calorifiques massiques du gaz à pression constante et à volume constant respectivement.

Rappelons que la variation  $\Delta H$  d'enthalpie lors d'une transformation s'exprime sous la forme  $\Delta H = Q + W_{\text{ext}}$ , où  $Q$  représente la chaleur échangée et  $W_{\text{ext}}$  le travail fourni par les forces extérieures autres que les forces de pression ( $W_{\text{ext}} = W_{\text{elec}}$  pour la transformation  $A \rightarrow B$ , et  $W_{\text{ext}} = 0$  pour les autres transformations).

- Précisez dans quel cas les performances des réfrigérateurs sont optimales. Nous nous placerons dans ce cas dans la suite.
- En effectuant le bilan d'enthalpie entre les états  $A$  et  $B$ , montrez que le travail électrique  $W_{\text{elec}}$  fourni au compresseur pour faire circuler le fluide est donné par  $W_{\text{elec}} = m \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M} (T_B - T_A) = m c_p (T_B - T_A)$ .
- Calculez la variation d'enthalpie lors de la transformation de  $B$  à  $C$ .
- En notant  $c_p^{\text{liq}}$  la capacité calorifique massique du liquide et  $x_D$  la fraction massique de vapeur en  $D$ , montrez que  $c_p^{\text{liq}}(T_A - T_C) + x_D \mathcal{L}_D = 0$ . Vous supposerez que la chaleur latente de compression du liquide est négligeable.
- Sachant que le réfrigérateur fonctionne selon un cycle thermodynamique, démontrez la relation suivante :  $c_p(T_C - T_A) - \mathcal{L}_C + (1 - x_D)\mathcal{L}_D = 0$ .
- Exprimez le coefficient de performance du réfrigérateur défini par  $\varepsilon = \frac{Q_{D \rightarrow A}}{W_{\text{elec}}}$  en fonction de  $m$ ,  $c_p$ ,  $c_p^{\text{liq}}$ ,  $\mathcal{L}_C$ ,  $\mathcal{L}_D$  et  $W_{\text{elec}}$ .