

? À rendre jeudi 10 avril 2025

Devoir Maison n°19 – Thermodynamique

Travail à faire :

- Pour celles et ceux qui se sentent les moins à l'aise en thermo : exercices n°1 et n°2 (applications directes du cours).
- Pour celles et ceux qui se sentent plutôt à l'aise en thermo : exercices n°3 et n°4 (exercices moins proches du cours).

Données

- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Capacité massique de l'eau solide : $c_s = 2,09 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Enthalpie massique de fusion de l'eau à $T_0 = 0 \text{ °C}$ et sous 1 bar : $\Delta_{\text{fus}}h(T_0) = 335 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Entropies molaires du gaz parfait :
 - $S_m(T, P) = C_{P,m} \ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R \ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
 - $S_m(T, V) = C_{V,m} \ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R \ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
 - $S_m(P, V) = C_{V,m} \ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m} \ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c \ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$

Exercice n°1 Transformation lente ou brutale

On considère un gaz parfait monoatomique de n moles enfermé dans un volume $V_0 = 20 \text{ cL}$, en équilibre avec l'extérieur de température $T_0 = 20 \text{ °C}$ et de pression $p_0 = 1,0 \text{ bar}$. Les parois sont diathermanes.

Au-dessus de ce volume on peut déposer différentes masses afin de faire baisser un piston (imperméable, de masse négligeable et sans frottements).

On se propose d'étudier l'effet des différentes transformations possibles sur les paramètres finaux V_1, T_1 et p_1 (équilibre) ainsi que sur les énergies échangées.

- Transformation 1 : On fait couler lentement des grains de sable sur le piston, jusqu'à avoir déposé une masse m . Cette transformation laisse le temps au système de rester en permanence à l'équilibre thermodynamique.
- Transformation 2 : On pose une masse m instantanément sur le piston, et on laisse le système évoluer vers l'équilibre avec l'extérieur.

Notation : Pour simplifier l'écriture des résultats, on pose $x = \frac{p_1}{p_0}$

Q1. Associer à chaque transformation un ou plusieurs adjectif.s du cours.

Q2. Exprimer $\frac{V_1}{V_0}$ en fonction de x .

Q3. Calculer le travail reçu par le piston dans chacun des cas décrits en fonction notamment de x .
Dans quelle transformation, le gaz reçoit-il le plus de travail ?

Q4. Que vaut la variation d'énergie interne ΔU dans chacune des transformations ?

Q5. En déduire dans quelle situation le gaz rejette le plus de transfert thermique*.

Q6. Effectuer le bilan d'entropie de la transformation 2 : exprimer la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée.

*. Pour cela, on exprimera le transfert thermique reçu pour les deux transformations. Puis on comparera leurs expressions. Pour cela, on se rappellera que $\forall x > 0 \ln(x) \leq x - 1$

Exercice n°2 Fabrication d'un glaçon

Vous remplissez les bacs à glaçon d'une masse $m = 10$ g d'eau liquide, initialement à $T_i = 20$ °C, et vous le placez dans le congélateur de température $T_c = -18$ °C.

Q1. Qualifiez la transformation :

- (a) Est-elle isochore ? Pourquoi ?
- (b) Est-elle monotherme ? Pourquoi ?
- (c) Est-elle isotherme ? Pourquoi ?
- (d) Est-elle monobare ? Pourquoi ?
- (e) Est-elle adiabatique ? Pourquoi ?

Q2. Que peut-on dire sur l'état d'équilibre final du système ?

Q3. Quelle version du premier principe est-il pertinent d'utiliser ici ?

Q4. Définir le chemin fictif permettant d'exprimer la variation de l'enthalpie du système.

Exprimer la variation de l'enthalpie

Q5. Par application du premier principe, déterminer le transfert thermique reçu par le système au cours de la transformation. Faire l'application numérique. Commenter le signe.

Q6. Exprimer la variation d'entropie du glaçon.

Q7. Exprimer l'entropie échangée algébriquement reçue par le glaçon.

Q8. Exprimer l'entropie créée, et calculer sa valeur numérique. Commenter son signe. Était-ce prévisible ?

Exercice n°3 Surfusion de l'eau

La surfusion est un phénomène souvent observé :

- pluies verglaçantes : de la pluie (c'est-à-dire de l'eau liquide) à une température inférieure à 0 °C, se solidifie au moment où elle touche le sol ;
- sur votre pare-brise de l'eau liquide s'est déposée (à une température inférieure à 0 °C), vous mettez en marche vos essuies-glaces et l'eau se solidifie instantanément ;
- Expérience que vous pouvez faire chez vous dans un congélateur : <https://www.youtube.com/watch?v=LiPvvPJpULE>
- c'est un problème important dans l'aviation.

À chaque fois, l'eau est liquide à une température où elle devrait être solide : c'est un état métastable de surfusion. Une perturbation la fait passer instantanément à l'état stable : l'état solide.

Une masse $m = 20,0$ g d'eau liquide très pure a été refroidie très lentement à la température $T_1 = -12$ °C. Cet état dans lequel l'eau est encore à l'état liquide malgré une température inférieure à $T_0 = 0$ °C est qualifiée de métastable : la moindre perturbation (choc, introduction d'une poussière ...) conduit à une solidification très rapide du liquide. On se propose ici d'étudier ce phénomène. On supposera que toutes les transformations ont lieu à la pression atmosphérique $P = 1,01$ bar.

Q1. Pourquoi peut-on supposer la solidification comme étant adiabatique ici ?

Q2. Quelle version du premier principe est-il pertinent d'utiliser ?

Compte tenu de la nature de la transformation, en déduire la valeur de ΔH .

Q3. Exprimer la masse de glace m_g obtenue.

Faire l'application numérique.

Q4. Effectuer un bilan d'entropie de la transformation étudiée.

Exercice n°4 Cycle d'un gaz réel

Trois moles d'un gaz monoatomique contenues dans un cylindre décrit de manière quasi-statique le cycle ABCA.

L'évolution AB est isotherme à la température $T_A = 301$ K. Au point A, on donne $V_A = 5,0$ L et au point B, $V_B = 0,50$ L. L'évolution BC est isobare à la pression p_B : l'évolution CA est isochore.

Ce gaz est décrit par son équation d'état et l'expression de son énergie interne est :

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)V = nRT \quad \text{et} \quad U(T, V) = nC_{V,m}T - \frac{an^2}{V} \quad \text{avec} \quad C_{V,m} = \frac{3}{2}R$$

où $a = 0,135 \text{ m}^6 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-2}$

- Q1. Comparer l'expression de U_m de ce gaz réel à celle d'un gaz parfait monoatomique. Que prend en compte le terme supplémentaire ?
- Q2. Calculer p_A , p_B , p_C et T_C .
- Q3. Exprimer le travail et le transfert thermique reçus par le gaz au cours de chacune des évolutions AB, BC et CA. Faire les applications numériques.