Travaux Dirigés de Physique

Charles Tuchendler

MPSI 4 – Lycée Saint-Louis

Année 2017/2018

Table des matières

TD n° 21

Deuxième principe de la thermodynamique

Remarque : on donne, pour une phase condensée idéale de capacité calorifique C (c pour la variable massique), l'expression de l'entropie :

$$S(T) = S_0 + C \ln T$$

avec S_0 une constante.

Pour un gaz, supposé parfait, de capacité calorifique à volume constant C_V, l'entropie aura pour expression avec les variables T, V :

$$S(T,V) = S_1 + C_V \ln T + nR \ln V$$

avec S_1 une constante.

Exercice n° 1 - Evolution vers l'équilibre thermique

Dans un calorimètre dont la capacité thermique est négligeable, on mélange une masse m_1 d'eau (de capacité thermique massique c_e) à une température t_1, avec une masse m_2 d'eau à une température t_2.

1. Déterminer la température d'équilibre.
2. Déterminer la variation d'entropie de chacune des masses d'eau. Quelle est l'entropie créée ? Conclusion ?

Données : $m_1 = 300$ g ; $m_2 = 200$ g ; $t_1 = 20$ °C ; $t_2 = 80$ °C ; $c_\mathrm{e} = 4,18$ J.g^{-1}.K^{-1}.

Exercice n° 2 - Compression brutale d'un gaz parfait

Une mole d'un gaz parfait de capacité thermique à volume constant $C_V = \frac{5nR}{2}$ est contenue dans un cylindre vertical calorifugé comportant un piston mobile calorifugé de section $s = 0,01$ m^2, de masse négligeable, en contact avec une atmosphère extérieure à la pression constante $P_0 = 1$ bar. Initialement, le piston est libre et le gaz est en équilibre dans l'état E_0, sa température vaut $T_0 = 300$ K et son volume vaut V_0.

1. Calculer V_0.
2. On lache sur le piston une masse $M = 102$ kg et on laisse le système évoluer.
   (a) Déterminer P_1, T_1 et V_1 lorsqu'on atteint un nouvel état d'équilibre E_1.
   (b) Calculer la variation d'entropie du gaz ΔS_{01}.
3. Pour ramener le système dans son état initial, on supprime la surcharge et on déplace lentement le piston pour faire subir au gaz une détente réversible dans le cylindre calorifugé jusqu'à l'état E_2 ($P_2, T_2, V_2 = V_0$).
   On bloque ensuite le piston, on supprime l'isolation thermique du cylindre et on met le système en contact avec un thermostat (T_0). Le système évolue jusqu'à l'état d'équilibre E_3 ($P_3, T_3, V_3 = V_0$).
   (a) Déterminer P_2, T_2 et V_2 lorsqu'on atteint un nouvel état d'équilibre E_2.
   (b) Calculer la variation d'entropie du gaz ΔS_{12}.

   (c) Déterminer P_3, T_3 et V_3 lorsqu'on atteint un nouvel état d'équilibre E_3.
   (d) Calculer les variations d'entropie du gaz ΔS_{23} puis ΔS_{13}, et enfin l'entropie créée au cours de l'évolution de E_1 vers E_3. Commenter.

4. Proposer un moyen de réaliser approximativement une évolution réversible de E_2 à E_3 et représenter la nouvelle évolution E_1 , E_2 et E_3 dans un diagramme de Clapeyron. Que deviennent les variations d'entropie ?

Exercice n° 3 - Entropie du dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone possède une capacité thermique molaire à volume constant entre 273 K et 500 K donnée par la relation : $C_{V\text{m}} = a + bT$ avec $a = 23,83$ J.mol^{-1}.K^{-1} et $b = 22,15.10^{-3}$ J.mol^{-1}.K^{-2}.

1. Etablir à une constante additive près l'expression de l'entropie de ce gaz supposé parfait en fonction des variables T et V.
2. Calculer la variation d'entropie pour un échauffement isochore de 5 moles de ce gaz de 298 K à 400 K.

Exercice n° 4 - Recherche de la réversibilité pour une transformation

Un kilogramme d'eau à $t_0 = 20$ °C, est mis en contact avec un thermostat à la température $t_\text{f} = 80$ °C.
Données : $c_\text{e} = 4,18$ J.g^{-1}.K^{-1}.

1. (a) Déterminer la variation d'entropie de l'eau et celle du thermostat.
   (b) Déterminer l'entropie échangée par l'eau.
   (c) Déterminer l'entropie créée au cours de cette transformation.
2. On recommence en maintenant d'abord l'eau en contact avec un thermostat à $t_1 = 50$ °C, puis avec le thermostat à 80 °C. Répondre aux mêmes questions.
3. Comment faudrait-il procéder pour chauffer réversiblement l'eau de 20 °C à 80 °C ?

Exercice n° 5 - Chauffage par une résistance électrique

Un récipient à parois rigides et calorifugées contient deux gaz parfaits diatomiques séparés par une paroi verticale intérieure adiabatique pouvant se déplacer sans frottement ; les volumes occupés par chaque gaz A et B peuvent donc varier. Initialement, les paramètres pour chacun des deux gaz sont : $P_0 = 10^5$ Pa, $T_0 = 300$ K, $V_0 = 1$ L.

Un générateur électrique fournit l'énergie au gaz A par l'intermédiaire d'un conducteur ohmique, de résistance $R_0 = 10\ \Omega$, de capacité thermique négligeable, parcouru par un courant continu d'intensité $I = 1$ A, pendant une durée τ au bout de laquelle le volume de gaz A atteint la valeur $V_\text{Af} = 1,1$ L.

L'état final de cette évolution lente est défini par les valeurs : V_Af, V_Bf, P_Af, P_Bf, T_Af, T_Bf.

1. Calculer la pression finale dans chacun des compartiments A et B.
2. Déterminer la température finale dans chacun des compartiments.
3. Déterminer le travail reçu par le gaz du compartiment B.
4. Déterminer τ.
5. Quelle est la variation d'entropie du gaz de chacun des compartiments ?

Exercice n° 6 - Compression adiabatique d'un gaz parfait

Un cylindre vertical, de section $10\,\mathrm{cm}^2$, isolé thermiquement et fermé par un piston de masse négligeable, contient n moles d'air à la température de $293\,\mathrm{K}$. Initialement, son volume est $V_1 = 5,0\,\mathrm{L}$ et sa pression est $P_1 = 1$ bar. L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique, $\gamma = C^{te}$, de masse molaire $M = 29\,\mathrm{g.mol^{-1}}$.

1. Calculer n, ainsi que les capacités thermiques molaire et massique à volume constant.
2. On dépose progressivement, de façon infiniment lente et en passant par une suite d'états d'équilibre thermodynamique, des masses très faibles sur le piston, de telle sorte que l'on atteigne une valeur totale des masses déposées égale à $m = 10$ kg.
   (a) Déterminer $\frac{P_2}{P_1}$ et $\frac{T_2}{T_1}$, P_2 et T_2 étant la pression et la température dans l'état final.
   (b) Effectuer le bilan énergétique.
   (c) Effectuer le bilan entropique.
3. A partir du même état d'équilibre initial que précédemment, on applique brusquement une force de compression constante en déposant sur le piston une masse $m = 10\,\mathrm{kg}$. L'air est comprimé sous l'action du piston. Le piston se stabilise à une certaine hauteur, lorsque sa pression atteint une valeur P_3 et sa température une valeur T_3.
   (a) Effectuer le bilan énergétique et en déduire les valeurs de $\frac{P_3}{P_1}$ et de $\frac{T_3}{T_1}$.
   (b) Effectuer le bilan entropique.

Exercice n° 7 - Cycle réversible pour un gaz parfait

Un récipient clos de volume $V_0 = 10\,\mathrm{L}$ contient de l'air (gaz parfait, $\gamma = 1,4$) sous la pression $P_0 = 100\,\mathrm{kPa}$ et à la température $T_0 = 20\ °\mathrm{C}$. On fait subir à ce gaz le cycle de transformations réversibles suivant :

transformation $A \to B$: compression isotherme jusqu'à $P_1 = 10P_0$
transformation $B \to C$: détente adiabatique jusqu'à la pression P_0
transformation $C \to A$: retour à l'état initial par une isobare.

1. Déterminer T et V du gaz dans l'état C.
2. Tracer le diagramme de Clapeyron de ce cycle de transformations.
3. Calculer le travail et la chaleur reçus par le gaz lors de chacune des 3 transformations constituant le cycle.
4. Déterminer les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie du gaz lors de chacune de ces 3 transformations.