TD 24 – SECOND PRINCIPE

1. Poisson bouilli

On introduit un poisson de masse $m=500\,\mathrm{g}$ de capacité thermique massique $c=4{,}2\ \mathrm{J.g^{-1}.K^{-1}}$ dans une marmite d'eau frémissante à la température $T_C=95\,°\mathrm{C}$, assimilée idéalement à un thermostat. La température initiale de l'animal est $T_F=5\,°\mathrm{C}$ et on assimile celui-ci à une phase condensée idéale.

Faire les AN au fur et à mesure, après obtention de l'expression littérale complète.

(a) Calculer le transfert thermique Q reçu par le poisson.

(b) En déduire l'entropie S_e qu'il reçoit de la marmite.

(c) Calculer sa variation d'entropie ΔS.

(d) En déduire l'entropie S_c créée dans le poisson. Conclure sur la transformation qu'il subit.

(e) Reprendre le problème avec le minimum de calculs lorsqu'on introduit le poisson chaud, à T_C dans un réfrigérateur à $T_F=5\,°\mathrm{C}$ assimilable à un thermostat. Conclure.

2. Isobare infiniment lente du gaz parfait

On réduit le volume de la quantité n de gaz parfait de l'état $A(P_0;V_A;T_A)$ jusqu'à l'état $B(P_0;V_B;T_B)$ où $V_B=kV_A, k<1$ avec un piston se déplaçant très lentement.

Le coefficient adiabatique du gaz est noté γ.

1. Exprimer, pendant la transformation, le transfert thermique infinitésimal δQ reçu par le gaz, en fonction de dT, sa variation de température.

   En déduire l'entropie qu'il reçoit pendant la transformation.
2. Exprimer, en utilisant l'expression admise, la variation d'entropie du gaz.
3. Conclure sur la réversibilité de la transformation.

3. Deux méthodes de vaporisation

Dans une enceinte <u>en contact avec un thermostat</u> à $T_1=100\,°\mathrm{C}$, on procède à la détente d'un litre (V_i) d'eau pure de masse $m=1\,\mathrm{kg}$ vers son état vapeur pure, où (en la supposant assimilable à un gaz parfait) son volume est $V_f=1{,}72\,\mathrm{m^3}$, de deux façons différentes :

a) On procède à une augmentation de volume isobare infiniment lente ;

b) On procède à une détente dans le vide (similaire à l'expérience de Joule – Gay-Lussac).

Faire un bilan d'entropie complet dans chaque cas et conclure.

Donnée : $L_{\mathrm{vap}}(100\,°\mathrm{C})=2257\,\mathrm{kJ/kg}$

4. Adiabatiques réversibles du GP dans Clapeyron

On rappelle que l'équation des ces courbes est (adia) $PV^\gamma=\mathrm{cte}$, alors que celles des isothermes est (isoT) $PV=\mathrm{cte}$. On considère une adiabatique réversible et une isotherme réversible se croisant au point $A(V_A;P_A)$.

Calculer par différenciation la pente de chaque courbe en A, faire le rapport des deux pentes et conclure sur la position des adiabatiques par rapport à celle des isothermes.

Justifier en pensant au bilan énergétique lors d'une compression ou d'une détente adiabatique.

5. Adiabatique monobare du gaz parfait

On considère un GP de coefficient γ donné et constant, dont l'état initial d'équilibre est défini par les valeurs P_0, V_0, T_0.

On procède à une compression adiabatique et monobare à la pression $P_1 > P_0$, et l'on note $x = \frac{P_1}{P_0}$.

a) *Question difficile* : on peut directement utiliser le résultat pour la suite.

Démontrer que T_1 s'exprime en fonction de T_0 par $T_1 = \frac{1}{\gamma}[1 + (\gamma - 1)x]T_0$.

b) En déduire que $V_1 = \frac{1}{\gamma x}[1 + (\gamma - 1)x]V_0$.

c) Déterminer l'entropie créée S_C en fonction de C_V, x et γ.
Dans Python, fixer γ à 1,40 (puis refaire le tracé avec 1,67), et tracer S_C / C_V en fonction de x, au voisinage de 1 (prendre aussi des valeurs inférieures à 1).
Conclure.

6. Étude d'un cycle

Un gaz parfait de quantité de matière constante et caractérisé par un $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1{,}4$ parcourt le cycle constitué des transformations suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible
- $B \rightarrow C$: détente isotherme réversible
- $C \rightarrow A$: isochore et monotherme à la température T_A

On donne $P_A = 1{,}0\,\text{bar}$, $V_A = 500\,\text{cm}^3$, $T_A = 100\,\text{K}$, $T_B = 300\,\text{K}$.

(a) Représenter le cycle dans un diagramme de Clapeyron. Calculer P_B, V_B et P_C.

(b) Calculer les variations d'entropie ΔS_{XY} sur chaque portion du cycle, et celle sur le cycle complet ΔS.

(c) Faire de même les bilans d'entropie échangée et d'entropie créée sur chaque portion et pour le cycle entier.

(d) Le cycle inverse existe-t-il ? Justifier.

7. Contact entre deux solides identiques

Les deux solides, initialement aux températures respectives T_1 et T_2, ont la même capacité thermique *C*. On admet de plus que la température à la frontière T_F entre eux est à tout instant égale à la température finale d'équilibre.

(a) Calculer T_F.

(b) Faire un bilan d'entropie (variation, échangée, créée) sur le système complet. Conclure.

(c) Plus difficile – Faire un bilan d'entropie dans chacun des deux solides.

On introduira le rapport des 2 températures initiales, noté *k*.

(d) Déterminer pour lequel des deux solides, celui qui était le plus chaud ou celui qui était le plus froid à l'état initial, la transformation qui a lieu est la plus irréversible.

8. Diagramme (T,S)

Rappel : en thermo : (ordonnée, abscisse) pour les diagrammes.

On considère un gaz parfait défini par $A(n;P_0;V_0;T_0)$ et son coefficient γ.

Son entropie dans cet état *A* est notée S_0.

1. Obtenir l'équation $T(S)$ de l'isochore passant par le point A.

   Quelle est la nature et quelle est l'allure de cette courbe ?
2. Même question pour l'isobare passant par *A*. Comparer avec l'isochore.
3. Tracer ces 2 courbes passant par A, ainsi que l'isotherme et l'adiabatique réversible passant aussi par A, avec 4 couleurs évocatrices…
4. Tracer (cf exo 4) avec les mêmes conventions de couleur ces 4 courbes dans un diagramme de Clapeyron (P,V).

9. Détente adiabatique réversible de l'eau bouillante

On considère $m=1\,\text{kg}$ d'eau bouillante pure à $T_1=100\,°\text{C}$: état A, où l'enthalpie massique de changement d'état est $L_1=2258\,\text{kJ/kg}$, et l'entropie massique est $s_1=1{,}307\,\text{kJ/K.kg}$

1. Placer A sur un diagramme de Clapeyron

On procède à une détente adiabatique réversible de l'eau jusqu'à la température $T_0=86\,°\text{C}$ pour laquelle la pression est $P_0=0{,}60\,\text{bar}$, l'enthalpie massique de changement d'état est $L_0=2294\,\text{kJ/kg}$, et l'entropie massique de l'eau liquide est $s_0=1{,}147\,\text{kJ/K.kg}$: état B.

2. Placer sans précision le point B sur le diagramme.
3. Déterminer la composition finale du système, ainsi que le volume V de vapeur produite, en litres, en assimilant celle-ci à un gaz parfait.