

TD 23 | T3- Second principe de la thermodynamique

	I	II	III	IV	V
Appliquer le second principe	✓	✓	✓	✓	✓
Gerer des calculs			✓	✓	✓
Faire preuve de sens physique			✓		
Appliquer le premier principe	✓	✓	✓	✓	✓
Modeliser une compression			✓		✓
Appliquer une équation d'état		✓	✓		✓
Appliquer la loi de Laplace	✓		✓		✓

I Lois de Laplace (★)

On admet que dans le cas d'une transformation adiabatique reversible, on a

$$PV^\gamma = Cste$$

- Obtenir l'expression de la loi de Laplace pour les variables P et T .
- Obtenir l'expression de la loi de Laplace pour les variables V et T .
- (★★) Démontrer l'une des lois de Laplace, pour une transformation adiabatique et quasi-statique (donc réversible) pour un gaz parfait, sans utiliser la notion d'entropie.
On pourra pour cela utiliser la version différentielle du premier principe.

II Bilan entropique (★)

Un cylindre, thermodynamiquement isolé, de volume total $2V_0 = 20\text{ L}$, est séparé en deux compartiments par une paroi escamotable.

À l'état initial, chaque compartiment a un volume V_0 et la même température $T_0 = 300\text{ K}$. L'un des compartiments contient de l'hélium sous une pression $P_1 = 10\text{ atm}$, l'autre contient de l'argon sous une pression $P_2 = 20\text{ atm}$. Les deux gaz sont assimilables à des gaz parfaits de même capacité molaire à volume constant $C_{v,m}$.

On enlève la paroi. Les deux gaz se mélangent jusqu'à uniformisation de la température et de la pression.

- Montrer que la température finale T_f est égale à la température initiale T_0 .
- Déterminer la pression finale P_f du système global, puis les pressions partielles $P_{f,\text{He}}$ et $P_{f,\text{Ar}}$.
- Exprimer la variation d'entropie ΔS_{He} du système constitué uniquement de l'hélium.

- Exprimer, puis calculer, la variation d'entropie ΔS du système global. Conclure. Préciser les sources éventuelles d'irréversibilité.

On rappelle l'entropie molaire S_m pour :

- un gaz parfait de capacité thermique molaire $C_{v,m}$ à volume constant et $C_{p,m}$ à pression constante :

$$S_m(T, V) = C_{v,m} \ln(T) + R \ln(V) + cste \quad \text{ou} \quad S_m(T, P) = C_{p,m} \ln(T) - R \ln(P) + cste$$

- un corps condensé incompressible et indilatable de capacité thermique molaire C_m :
 $S_m(T) = C_m \ln(T) + cste$

III Évolutions adiabatiques (★★)

Un cylindre parfaitement calorifugé, muni d'un piston mobile sans frottement, également calorifugé, contient un gaz parfait diatomique de coefficient $\gamma = 1,4$.

Initialement, la pression du gaz à l'intérieur du cylindre est $P = 0,5\text{ bar}$. La pression extérieure est $P_{ext} = 2P = 1\text{ bar}$, $T = 298\text{ K}$ et $V = 1\text{ L}$.

- On amène le gaz de façon réversible à la pression $P' = P_{ext} = 2P$. Calculez le volume V' et la température T' à l'état final.
- Calculez alors la création d'entropie.
- (★★★) En partant du même état initial que précédemment, on abandonne le piston et on laisse l'équilibre s'établir. Calculez le volume V'' et la température T'' à l'état final.
- Calculez la nouvelle création d'entropie et comparez avec le résultat précédent en effectuant les A.N.s.

IV Cuisson des frites (★★)

On plonge 300 g de frites (de pommes de terre ou de plantains selon les goûts) à température $T_{F0} = 0\text{ °C}$ dans un bain d'huile de 2,00 L à la température initiale $T_{H0} = 180\text{ °C}$.

Données. $c_{\text{huile}} = 4,80\text{ kJ K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$, $c_{\text{frite}} \approx c_{\text{eau}} = 4,20\text{ kJ K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$, $\rho_{\text{huile}} = 920\text{ g/L}$. Dans un premier temps, la température de l'ensemble s'homogénéise jusqu'à la valeur T_1 . On néglige les transferts thermiques avec l'extérieur durant cette transformation.

- Déterminer l'expression de T_1 et effectuer l'application numérique.
- Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette étape.

Afin d'assurer la cuisson, la résistance électrique de la friteuse se remet à chauffer avec une puissance $P = 1500\text{ W}$, elle s'éteint dès que la température atteint T_{H0} . On suppose que la température de la résistance est égale à celle de l'huile T_{H0} .

3. Déterminer la capacité thermique de l'ensemble { huile + frites }.
4. Combien de temps la friteuse va-t-elle rester allumée ?
5. Déterminer et calculer l'entropie créée durant cette étape.

V Etude d'un cycle thermodynamique (***)

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

- AB : compression adiabatique réversible
- BC : détente isotherme réversible
- CA : isochore non quasi-statique en contact avec un thermostat à la température extérieure $T_e = T_A$

On donne $P_A = 1,0$ bar, $V_A = 500$ cm³, $T_A = 100$ K et $T_B = 300$ K.

1. Tracez l'allure de ce cycle dans le diagramme de CLAPEYRON ($P = f(V_m)$). Pour cette question, n'hésitez pas à essayer plusieurs possibilité pour placer les points A , B et C les uns par rapport aux autres. Il conviendra de respecter l'allure des adiabatique réversible ($P \propto 1/V^\gamma$) par rapport aux isothermes ($P \propto 1/V$).
2. Calculez P_B , V_B et P_C en fonction de P_A, V_A, T_A, γ et T_B
3. Pour chaque transformation, calculez la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée ($S_{c,i}$, $i \in [1, 3]$) par irréversibilité. (exprimez ces quantités en fonction de n, R, γ, T_A et T_B uniquement)
4. En posant $\epsilon = \frac{T_B}{T_A} - 1$, vérifiez que l'entropie créée est positive ou nulle pour chaque étapes.

Éléments de réponses :

E3 Q3 : On trouve $T'' = \frac{2\gamma-1}{\gamma}T$

E4 Q5 : $C_{HF} \ln\left(\frac{T_{H0}}{T_1}\right) - \frac{C_{HF}(T_{H0}-T_1)}{T_{H0}} \approx 13$ J/K

E5 Q2 : On trouve $P_C = P_A \frac{T_B}{T_A}$

E5 Q3 : $S_{c,3}(\epsilon) = \frac{nR}{\gamma-1}(\epsilon - \ln(1 + \epsilon))$