

TRAVAUX DIRIGÉS DE T₃

Conseils pour ce TD :

- Le cours doit être connu, les applications directes qui y figurent refaites.
- Il ne faut surtout pas appliquer des formules à tort et à travers, posez-vous systématiquement les questions suivantes :
 - ★ Sur quel système suis-je en train de travailler (phase condensée, gaz parfait ...)?
 - ★ Quel est le type de transformation qu'il subit?
- Même si cela n'est pas demandé explicitement par l'énoncé, dans le cas d'une transformation d'un gaz parfait, tracer systématiquement l'allure du graphe $p(V)$ (diagramme de Watt).
- Dans le cas d'une suite de transformations, il peut être souvent utile de résumer les données de l'énoncé dans un tableau.
- On donne les variations d'entropie molaire suivantes :
 - pour un GP si la température est constante : $s(T, p_f) - s(T, p_i) = -R \ln \left(\frac{p_f}{p_i} \right)$
 - pour un GP si la pression est constante : $s(T_f, p) - s(T_i, p) = C_{p,m} \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right)$
 - pour une phase condensée : $s(T_f) - s(T_i) = C_m \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right)$

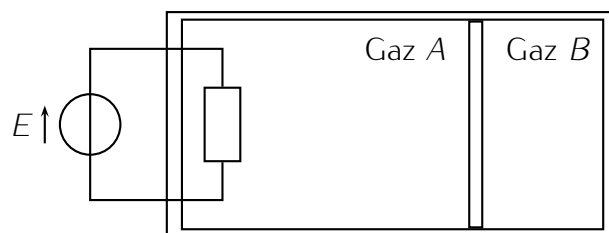
Exercice 1 : Transformations couplées, suite

Un récipient à parois rigides et calorifugées contient deux gaz parfaits diatomiques séparés par une paroi adiabatique qui peut se déplacer sans frottement (fig. ci-dessous) et un conducteur ohmique de résistance $R = 10 \, \Omega$ et de capacité thermique négligeable parcourue par un courant d'intensité $I = 1 \, \text{A}$ pendant une durée τ .

Initialement, $V_A = V_B = 1 \, \text{L}$, $p_A = 1 \, \text{bar}$ et $T_A = T_B = 300 \, \text{K}$.

Après le temps τ , $V'_A = 1,1 \, \text{L}$.

1. Calculer p'_B , p'_A , T'_B et T'_A .
2. Calculer τ .
3. Calculer W_B , le travail reçu par le gaz B.
4. Calculer ΔS_B la variation d'entropie du gaz B puis ΔS_A celle de A.



Exercice 2 : Compressions d'un GP : la suite

Un gaz parfait est enfermé dans un cylindre de volume $V_1 = 5 \, \text{L}$ à l'intérieur duquel peut coulisser (sans frottement) un piston de masse négligeable.

À l'extérieur du piston, la température est $T_{\text{ext}} = 293 \, \text{K}$, la pression est $P_{\text{ext}} = 1 \, \text{atm}$.

La paroi du cylindre étant parfaitement diatherme (diathermane), à l'équilibre la température du gaz est toujours $T_{\text{ext}} = 293 \, \text{K}$.

Au départ, la pression du gaz est $p = P_1 = P_{\text{ext}}$.

1. En appuyant sur le piston, on augmente très lentement la pression jusqu'à $P_2 = 10 \, \text{atm}$. Calculer le travail W_1 fourni au gaz. Que vaut l'entropie créée lors de cette transformation?

2. On passe maintenant instantanément de P_1 à P_2 puis on attend l'équilibre qui interviendra forcément après quelques oscillations du piston si on considère la viscosité du gaz. Que vaut le travail W_2 fourni au gaz ? Que vaut l'entropie créée $S_{c,2}$ lors de cette transformation ? Montrer que le produit $T_A S_{c,2}$ est égal au travail supplémentaire qu'il a fallu fournir par rapport à la première compression ($T_A S_{c,2} = W_2 - W_1$). Quel phénomène physique est à l'origine de la dégradation de l'énergie fournie ?

On rappelle : $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Exercice 3 : Création d'entropie

On jette un morceau de fer de 2 kg chauffé à blanc (880 K) dans un lac à 5°C. La capacité calorifique du fer est de $460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et on supposera qu'elle ne dépend pas de la température. Calculez l'entropie créée lors de la mise à l'équilibre du morceau de fer.

Exercice 4 : ΔS au cours de N transformations réversibles.

Soit une mole de gaz parfait monoatomique de la pression $p = 1 \text{ bar}$ et à température la $T_0 = 450 \text{ K}$ (état 0). On comprime ce gaz de la pression p à $p' = 10 \text{ bars}$ de façon réversible et isotherme, puis, on détend le gaz de façon réversible et adiabatique de p' à p (état 1).

1. Représenter la suite des transformations dans un diagramme de Watt (p, V).
2. Calculer la variation d'entropie ΔS_1 du gaz ainsi que la température finale T_1 .
3. On recommence la même opération depuis l'état 1 (p, T_1) $\rightarrow$ état 2 (p, T_2) $\rightarrow \dots \rightarrow$ état N (p, T_N). Compléter le diagramme de Watt et déterminer la variation d'entropie du gaz après les N opérations ainsi que la température finale T_N et enfin la variation d'énergie interne ΔU_N . Faire les applications numériques pour $N = 5$.
4. Voyez-vous une application ? Discuter l'hypothèse du gaz parfait si N grand.

Exercice 5 : Effet Joule

On considère un conducteur ohmique de résistance $R = 1,0 \text{ k}\Omega$, de capacité thermique C , parcouru par un courant d'intensité constante $I = 1,0 \text{ A}$, qui permet de maintenir constante la température d'un volume d'eau (baignoire, piscine, bain thermostaté en chimie). La température de l'eau constante est égale à $T_0 = 50^\circ \text{ C}$.

La température extérieure est $T_{\text{ext}} = 20^\circ \text{ C}$ et la pression extérieure constante $P_{\text{ext}} = 1,0 \text{ bar}$. On note Δt la durée d'utilisation. On considère le système constitué de l'eau liquide, du réservoir (de capacité thermique négligée) et de la résistance, modélisés par des phases condensées idéales.

- Exprimer le travail électrique reçu par le système.
- Exprimer le transfert thermique reçu par le système. Interpréter le signe.
- En déduire l'entropie échangée par le système.
- Exprimer l'entropie créée pendant une durée de fonctionnement Δt , en fonction de $R, I, \Delta t$ et T_{ext} .
- Quelles sont les causes d'irréversibilité qui donnent lieu à cette entropie créée ?
- Montrer que $T_{\text{ext}} S_{\text{créée}}$ est égal au travail électrique dégradé (donc au travail électrique consommé et dissipé sous forme de chaleur).

Exercice 6 : Entropie et frottements

Deux solides S_1 et S_2 , considérés comme des phases condensées idéales de capacités thermiques C_1 et C_2 sont en contact.

S_1 est immobile. Lorsqu'un opérateur exerce sur S_2 une force $\vec{F}_{op} = F_{op}\vec{e}_x$, S_2 peut glisser sur S_1 selon un mouvement de translation parallèle à l'axe horizontal (Ox) et S_1 exerce sur S_2 une force de frottement $\vec{F}_{frot} = F_{frot}\vec{e}_x$.

On admet pour la force de frottement le modèle classique des forces de frottement solide/solide :

- Si S_2 est en mouvement, $\vec{F}_{frot}$ est opposée au mouvement et de norme constante égale à ϕ .
- Si le système est immobile, $\vec{F}_{frot}$ est comprise entre $-\phi$ et $+\phi$.

1. Les variables d'état x et F_{frot} sont-elles reliées par une équation d'état de type $f(F_{frot}, x, T) = 0$?
2. On néglige les échanges thermiques entre le système constitué par les deux solides et l'extérieur. Le système est initialement à l'équilibre thermique à la température T_A , puis S_2 est tiré (toujours dans le même sens) sur une distance l et on attend que l'équilibre thermique se rétablisse à une température T_B . Déterminer l'entropie créée au cours de la transformation.