Deuxième principe de la thermodynamique - Bilans d'entropie

TD 27

Questions de cours

- Énoncer le second principe de la thermodynamique pour un système fermé. Expliciter le terme d'échange dans le cas d'une transformation monotherme avec un nombre fini de thermostats.
- Définir une transformation réversible et une transformation irréversible à partir de l'entropie crée.
- Que peut-on dire de la variation d'entropie d'un système isolé ?
- Que peut-on dire d'une transformation adiabatique réversible ?
- Énoncer les lois de Laplace (conditions d'application + 3 formules).

Savoir-faire

Savoir-faire 1 - Faire un bilan entropique (=déterminer si une transformation est réversible)

Considérons un solide de masse m, sorti d'un four à la température T_I et placé pour refroidissement à l'air libre à la température T_0. Procéder au bilan entropique de la transformation. Commenter le signe de l'entropie créée.

Savoir-faire 2 - Utiliser la loi de Laplace

On considère un gaz parfait subissant une compression adiabatique réversible, et dont le coefficient adiabatique ne dépend pas de la température et vaut 1,4.
Le gaz est initialement dans un état de paramètres ($P_I = 1$ bar, $T_I = 300$ K). Il arrive à un état de pression $P_f = 5$ bar. Déterminer la température finale.

LES Incontournables

Exercices à maîtriser pour pouvoir appréhender sereinement un sujet de thermodynamique. Le SF1 comme les AD2, 3 et 4 sont des exercices incontournables de ce chapitre !

On rappelle :

- pour une phase condensée idéale si C ne dépend pas de T sur l'intervalle étudié :

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

- pour un gaz parfait, si C_v et C_p ne dépendent pas de T sur l'intervalle étudié :

$$S(T,V) = C_V\ln(T) + nR\ln(V) + cste \quad \text{ou} \quad S(T,P) = C_P\ln(T) - nR\ln(P) + cste$$

Exercice 1 : Contact entre deux solides

Deux blocs de cuivre identiques (1) et (2) de même masse $m = 200$ g sont placés en contact dans une enceinte indéformable adiabatique. ils sont considérés comme indilatables et incompressibles, et peuvent échanger un transfert thermique entre eux. Leurs températures initiales sont $T_{i,1}$ et $T_{i,2}$. On donne la capacité thermique massique du cuivre $c = 385$ J.K^{-1}.kg^{-1}.

1/ Déterminer la température finale T_f des deux corps.

2/ Effectuer un bilan d'entropie pour le système $\{(1) + (2)\}$ et discuter du caractère réversible ou non de la transformation.

3/ Application numérique. Calculer l'entropie créée au sein du système $\{(1) + (2)\}$ dans les cas suivants :

(a) $T_{i,1} = 20,0°$C et $T_{i,2} = 50,0°$C ;

(b) $T_{i,1} = 20,0°$C et $T_{i,2} = 25,0°$C.

Exercice 2 : Étude d'un cycle

On raisonne sur une quantité de matière $n = 1$ mol de gaz parfait qui subit la succession de transformations (idéalisées) suivantes :

- A → B : détente isotherme de $P_A = 2$ bar et $T_A = 300$ K jusqu'à $P_B = 1$ bar en restant en contact avec un thermostat de température $T_0 = T_A$;
- B → C : évolution isobare jusqu'à $V_C = 20,5$ L toujours en restant en contact avec le thermostat à T_0 ;

▷ C → A : compression adiabatique réversible jusqu'à revenir à l'état A.

Le coefficient isentropique γ est pris égal à 7/5.

1/ Représenter ce cycle dans le diagramme de Clapeyron (P, V).

2/ À partir du diagramme, déterminer le signe du travail total des forces de pression au cours du cycle. En déduire s'il s'agit d'un cycle moteur ou d'un cycle récepteur.

3/ Déterminer l'entropie crée entre A et B. Commenter.

4/ Calculer la température en C, le travail W_{BC} et le transfert thermique Q_{BC} reçus par le gaz au cours de la transformation BC. En déduire l'entropie échangée avec le thermostat ainsi que l'entropie créée. Conclure : le cycle proposé est-il réalisable ? Le cycle inverse l'est-il ?

Pour s'Entraîner

On creuse un peu plus les incontournables en ajoutant une nouvelle source d'irréversibilité.

Exercice 3 : Effet joule et création d'entropie

On considère une résistance chauffante permettant de maintenir constante la température d'un volume d'eau (une baignoire, piscine, bain thermostaté en chimie...).

On prendra $R = 1,0$ kΩ, $I = 1,0$ A, une température de l'eau constante égale à $T_0 = 50$°C et une température externe $T_{\text{ext}} = 20$°C et pression $P_{\text{ext}} = 1,0$ bar (constantes).

On modélisera l'eau, le réservoir et la résistance comme des phases condensées idéales.

On étudiera le système { eau+réservoir+résistance} pour mener le bilan entropique.

1/ Déterminer l'expression puis la valeur de l'entropie créée pendant une durée de fonctionnement Δt.

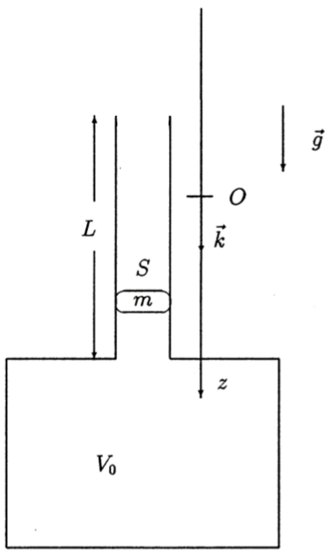
2/ Quelles sont les causes d'irréversibilité qui donnent lieu à cette entropie créée ?

3/ Montrer que $T_{\text{ext}} S_{\text{créée}}$ est égal au travail électrique dégradé.

Devoir-Maison : Tube de Rüchardt

Cet exercice est un premier pas vers le travail du devoir surveillé. N'hésitez pas à rendre un travail incomplet pour que je vous fasse des retours sur vos productions.

Un gaz parfait est enfermé dans un ballon dont le col est un tube de section S dans lequel se trouve une bille de masse m. On suppose que la bille joue le rôle d'un piston étanche qu'on modélisera comme un cylindre de section S, et on négligera les frottements de la bille sur le tube. On note p_a la pression atmosphérique et V_0 le volume total de gaz à l'équilibre. Le ballon est considéré comme calorifugé. On suppose que la dynamique du système est suffisamment lente pour que l'on puisse considérer l'évolution du gaz comme quasi-statique réversible. On choisira un axe vertical descendant Oz et on notera $p(z)$ la pression dans le ballon quand la bille est à la côte z et p_e la pression dans le ballon à l'équilibre. L'origine de l'axe Oz est confondue avec la position d'équilibre ($z_e = 0$).



1/ On lâche la bille dans le tube. Prévoir qualitativement ce qu'il se passe.

2/ Déterminer la pression p_e à l'intérieur du ballon lorsque la bille est à l'équilibre en fonction de p_a, m, g et S.

3/ Déterminer l'équation différentielle du mouvement de la bille en fonction de m, $p(z)$, p_e, S.

4/ Exprimer $p(z)$ en fonction de p_e, γ, V_0, S et z.

5/ En déduire l'équation du mouvement en fonction de m, p_e, S, γ et V_0.

6/ On rappelle que pour $|\epsilon| \ll 1$, on a $(1+\epsilon)^\alpha \sim 1 + \alpha\epsilon$. Montrer que dans l'hypothèse où la section du tube est suffisamment faible pour que le volume balayé par la bille au cours de son mouvement soit négligeable devant le volume du ballon, le mouvement de la bille est sinusoïdal.

7/ Montrer alors que la mesure d'une durée caractéristique du mouvement de la bille permet de déterminer l'exposant adiabatique γ du gaz, et préciser la relation correspondante.