

TD21 : TH4 – Second Principe

Compétence 1 : Calculer les entropies totales / créées / échangées

Exercice 1 : Méthode des mélanges

Un solide de masse $m_1 = 50\text{g}$ et de capacité thermique $c_1 = 444 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, initialement à la température $t_1 = 80^\circ\text{C}$, est mis en contact avec une masse $m_2 = 100\text{g}$ d'eau, de capacité thermique massique $c_{\text{eau}} = 4,18.10^3 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, à la température $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Les transferts thermiques s'effectuent à l'intérieur d'une enceinte adiabatique sous pression atmosphérique.

1. Equilibre Final

- 1.a) Que peut-on dire du système solide + eau ?
- 1.b) En déduire la température finale T_f du mélange à l'équilibre.

2. Etude de chaque élément seul

- 2.a) Calculer la variation d'entropie du solide ΔS_1 .
- 2.b) Calculer son entropie d'échange S_1^{ech} .
- 2.c) En déduire son entropie de création $S_1^{\text{créée}}$.
- 2.d) Pour l'eau, poser directement ΔS_2 , S_2^{ech} , et $S_2^{\text{créée}}$, et faire les applications numériques. Que remarque-t-on pour les entropies créées ?

3. Etude du système global

- 3.a) Calculer la variation d'entropie du système global ΔS
- 3.b) En déduire l'entropie échangée S^{ech} et l'entropie créée $S^{\text{créée}}$ par le système global.
- 3.c) Refaire le tableau suivant, le compléter et essayer d'interpréter tous les signes.

	SOLIDE	EAU	SYST TOTAL
ΔS			
S^{ech}			
$S^{\text{créée}}$			

- 3.d) Quel lien existe-t-il entre $S_1^{\text{créée}}$, $S_2^{\text{créée}}$, et $S^{\text{créée}}$? Et entre ΔS , ΔS_1 et ΔS_2 ? Et entre S_1^{ech} , S_2^{ech} , et S^{ech} ? Conclure.

Compétence 2 : Exprimer l'entropie d'un GP

Exercice 2 : Mélange de Gaz Parfaits

1. Cas d'un gaz parfait seul

On étudie l'hélium, gaz monoatomique assimilé à un gaz parfait de coefficient $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$ indépendant de la température.

- 1.a) Rappeler les identités thermodynamiques (avec et sans travail autre que la pression). Sont-elles valables pour une transformation irréversible ?
- 1.b) En déduire l'expression de l'entropie de ce GPM en fonction des variables (T, V).
- 1.c) Redémontrer la loi de Laplace relative à une évolution isentropique.
- 1.d) Une transformation infiniment lente et mécaniquement réversible est en outre adiabatique. Est-elle isentropique ?
- 1.e) Une adiabatique irréversible peut-elle vérifier la loi de Laplace ?

2. Mélange de deux gaz parfaits

Une enceinte parfaitement calorifugée est séparée en deux compartiments de volumes respectifs V_1 et V_2 par une cloison rigide et adiabatique. Chaque compartiment contient un gaz parfait diatomique : n_1 moles de dioxygène sont dans le compartiment 1, à l'état initial (P_1, T_1, V_1) alors que n_2 moles de diazote occupent le compartiment 2, à l'état initial $(P_2 = \frac{P_1}{4}, T_2 = 2T_1, V_2 = 2V_1)$. La paroi est supprimée, les gaz se mélangent.

- 2.a) Déterminer l'état d'équilibre final : (P_f, T_f, V_f) en fonction de (P_1, T_1, V_1) .
- 2.b) Préciser les pressions partielles du dioxygène et du diazote en fonction de P_1 .
- 2.c) Pour $n_1 = 2$ moles, calculer la variation d'entropie de chacun des deux gaz et celle de l'ensemble entre l'état initial et l'état final. En déduire la création d'entropie.

Compétence 3 : Faire des bilans d'entropie

Exercice 3.1 : Condition de réversibilité

Pour chacune des transformations d'un GP suivantes :

- Préciser le procédé permettant de réaliser la transformation et dire si elle est réalisable
- Calculer la variation d'entropie totale du GP
- Calculer l'entropie échangée par le GP avec le milieu extérieur
- En déduire l'entropie créée et dire si la transformation peut être réversible

Conclusion : Quelles sont les transformations réversibles possibles ?

	EI	Transfo	Piston calorifugé	EF
Compression	(P ₀ , T ₀ , V ₀)	Isotherme	OUI	(2P ₀ , T ₀ , V = ?)
			NON	
		Isochore	OUI	(2P ₀ , T = ?, V ₀)
			NON	
Isobare	OUI	(P ₀ , T = ?, V ₀ /2)		
	NON			
Isentropique	OUI	(2P ₀ , T = ?, V = ?)		
	NON			
Détente	(P ₀ , T ₀ , V ₀)	Raisonnement similaire...		

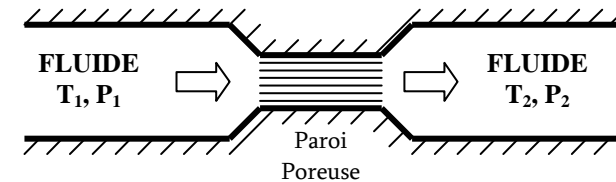
Exercice 3.2 : Solide jeté dans un lac

Un solide, de masse m, de capacité thermique C supposée constante et de température initiale T_s est jeté dans un lac, pouvant être considéré comme un thermostat à la température T₀.

1. Exprimer entre l'état initial et un état quelconque du solide à la température T :
 - La variation d'entropie ΔS_{solide} du solide
 - La variation d'entropie $\Delta S_{thermostat}$ de la source de chaleur.
 - La création d'entropie due au transfert thermique
2. Faire l'application numérique pour 1kg de fer de capacité calorifique massique $c = 444 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, passant de la température T_s = 3T₀/2 = 432K à la température de l'eau T₀ = 15°C = 288K. Commenter son signe.

Exercice 3.3 : Détente de Joule – Thompson (ou de Joule – Kelvin)

Un fluide s'écoule dans une canalisation calorifugée en présence d'un étranglement (ou d'une paroi poreuse) qui a pour rôle de réduire la pression en aval (par frottements). On considère qu'un régime permanent est atteint. On note P₁ et T₁ les température et pression en amont, P₂ (avec P₂ < P₁) et T₂ en aval. L'écoulement est suffisamment lent pour que l'on puisse négliger la vitesse d'ensemble du fluide en tout point de l'écoulement.



1. Montrer que le premier principe appliqué à un système fermé que vous préciserez permet de conclure au caractère isenthalpique de cette détente : elle s'effectue à enthalpie constante quelle que soit la nature du gaz.
2. Que penser de la réversibilité de cette détente ?
3. Le gaz subissant une telle détente est supposé parfait et monoatomique.
 - 3.a) Rappeler l'expression de son enthalpie molaire H_m. En déduire la valeur de C_{Pm}.
 - 3.b) Rappeler la seconde loi de Joule. En déduire la variation de température ΔT, ainsi que le travail des forces pressantes W_P qu'il reçoit au cours de la transfo.
 - 3.c) Quelle est la variation d'entropie ΔS_{GP} du GP ? Une COMPRESSION de Joule-Thomson est-elle possible dans la pratique.

Dans la pratique, cette détente est beaucoup plus facile à réaliser que la détente de Joule Gay Lussac, et permet de refroidir un fluide réel. Elle est très utilisée pour atteindre le domaine des basses températures, notamment par Kamerlingh-Onnes en 1908 pour atteindre pour la première fois la liquéfaction de l'hélium à 4,2K.