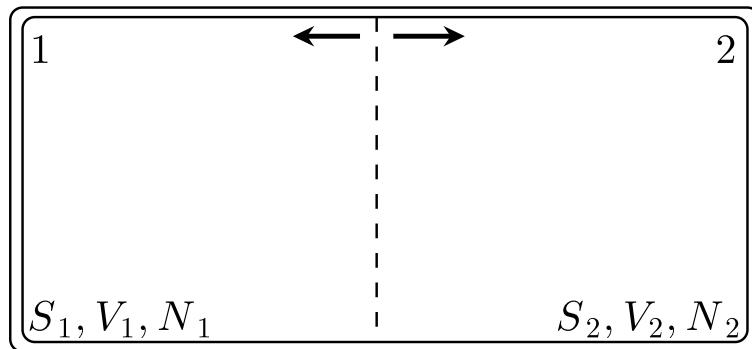


**Exercice 1** Équilibre d'un système général

On considère un système isolé composé d'une seule substance  $A$ . Il est séparé en deux sous-systèmes séparés par une paroi diatherme, mobile et poreuse.



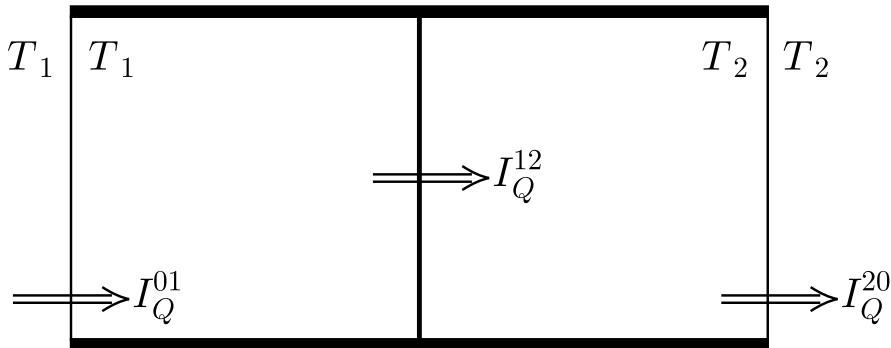
Le sous-système 1 a comme énergie interne  $U_1$ , fonction de  $S_1, V_1$  et  $N_1^A$ , et le sous-système 2 a comme énergie interne  $U_2$ , fonction de  $S_2, V_2$  et  $N_2^A$ .

1. Exprimer  $\dot{S}$  en fonction de  $\dot{U}_1, \dot{V}_1$  et  $\dot{N}_1^A$  et des grandeurs intensives caractéristiques des sous-systèmes.
2. En déduire les dérivées partielles  $\frac{\partial S}{\partial U_1}$ ,  $\frac{\partial S}{\partial V_1}$  et  $\frac{\partial S}{\partial N_1}$ .
3. Montrer que l'équilibre est atteint pour  $T_1 = T_2$ ,  $p_1 = p_2$  et  $\mu_1^A = \mu_2^A$ .

**Exercice 2** Transfert stationnaire de chaleur

On considère deux blocs rigides et ne pouvant pas échanger de matière. L'un est à  $T_1$  et l'autre à  $T_2 < T_1$ . Les deux blocs sont en régime stationnaire. On les place en contact. Chaque bloc est maintenu en température par un thermostat à  $T_1$  (resp.  $T_2$ ). On appelle  $I_Q$  les courants de chaleur aux interfaces :

- $I_Q^{01}$  est le courant de chaleur entre le thermostat à  $T_1$  et le bloc 1 ;
- $I_Q^{12}$  est le courant de chaleur entre les blocs 1 et 2 ;
- $I_Q^{20}$  est le courant de chaleur entre le bloc 2 et le thermostat à  $T_2$ .



1. Montrer que  $I_Q^{01} = I_Q^{12} = I_Q^{20}$ . On appelle alors  $I_Q$  ce courant de chaleur.
2. Calculer  $I_S^{01}$  le courant d'entropie entre l'extérieur et le bloc 1 et  $I_S^{20}$  le courant d'entropie entre le bloc 2 et l'extérieur.
3. Calculer le taux de production d'entropie  $\Sigma_S$ .
4. En prenant comme système le bloc 2, calculer le courant d'entropie  $I_S^{12}$  reçu depuis le bloc 1.

**Exercice 3** *Compression réversible et irréversible (suite)*

Suite de l'exercice 4 de la série 2. On reprend le système de la série 2,  $n$  moles de gaz parfait sont comprimées de  $p_0$  à  $p_1$  par deux chemins :

- (a) isotherme réversible ;
  - (b) compression adiabatique brutale à  $p_1$  (b1) suivie (b2) d'une thermalisation pour un retour à  $T_0$ .
1. Tracer sur un diagramme  $(p, V)$  :
    - l'état initial et final (i et f) ;
    - la transformation (a).
  2. On admet que pour un gaz parfait  $U = cpV = cnRT$  avec  $c > 0$  constante.
    - (a) Calculer  $T'_1$  pour le point intermédiaire en fin de transformation (b1) en fonction de  $T_0$ ,  $p_1$ ,  $p_0$  et  $c$ .
    - (b) Montrer que  $T'_1 > T_0$ .
    - (c) Placer ce point dans le diagramme  $(p, V)$ .
  3. On suppose que l'on réalise une compression adiabatique réversible pour arriver à  $p_1$  (trajet (c)).
    - (a) Calculer  $T_2$  la température du gaz et la comparer à  $T_0$  et  $T'_1$ .
    - (b) Placer le point correspondant dans le diagramme  $(p, V)$ .
    - (c) Tracer l'adiabatique réversible.
  4. Calculer la variation d'entropie entre l'état initial et l'état final  $\Delta S_{\text{if}}$ .

**Exercice 4** *Énergie libre de Gibbs*

L'énergie libre de Gibbs ou enthalpie libre  $G$  est définie comme la transformée de Legendre de l'énergie interne  $U(S, V, \{N_A\})$  par rapport à l'entropie et au volume.

1. Exprimer  $G$  en fonction de  $U$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $p$  et  $V$ .
2. En déduire  $G$  en fonction de  $\mu_A$  et  $N_A$ .
3. Donner la différentielle  $dG$  de  $G(T, p, \{N_A\})$
4. En déduire l'expression de  $S$ ,  $V$  et  $\mu_A$  comme dérivées partielles de  $G$ .
5. Pourquoi est-ce qu'on ne peut pas partir de l'expression différentielle obtenue en (3) pour arriver à une expression complète comme on l'a fait avec l'énergie interne (ce qui nous a donné la relation d'Euler) ?

**Exercice 5** *Thermalisation d'un bloc solide*

Le but de cet exercice est de vérifier que le résultat obtenu en utilisant  $I_Q^{\text{irr}} = T^{\text{ext}} I_S^{\text{irr}}$  est le même que si on calcule  $\Sigma_S$  dans un système isolé de l'environnement.

On met un bloc (1) indéformable à la température initiale  $T_{1,0}$  en contact avec un deuxième bloc aussi indéformable à la température initiale  $T_0$ . A chaque instant, la température à l'intérieur de chaque bloc est homogène.

On suppose qu'il y a pour chaque bloc une relation linéaire entre la variation de température et la chaleur reçue :  $\delta Q_1 = CdT_1$  pour le bloc 1 et  $\delta Q_2 = \lambda CdT_2$  pour le bloc 2, avec  $C$  constante positive en  $\text{J.K}^{-1}$  et  $\lambda$  constante positive sans dimension. (Nous verrons ce facteur  $C$  en détail dans la chapitre IV).

On isole les deux blocs de l'environnement, et on considère l'évolution du système constitué des deux blocs.

1. Calculer la température finale des deux blocs en fonction de  $\lambda$ ,  $T_0$  et  $T_{1,0}$ .
2. Calculer l'entropie créée dans le système au cours de la thermalisation.

Maintenant, on place le bloc 1, initialement à  $T_{1,0}$  en contact direct avec un thermostat à  $T_0$

3. Quelle sera la température finale du bloc 1 ?
4. Calculer l'entropie échangée avec le thermostat  $S^{\text{ech}}$ .
5. Calculer la variation d'entropie du bloc. On utilisera pour cela un chemin imaginaire réversible entre les mêmes états initial et final.
6. En déduire l'entropie créée lors de la thermalisation.
7. Vérifier que si on prend  $\lambda \rightarrow \infty$  dans la question 2, on retrouve la même chose.