

Thermodynamique des systèmes ouverts

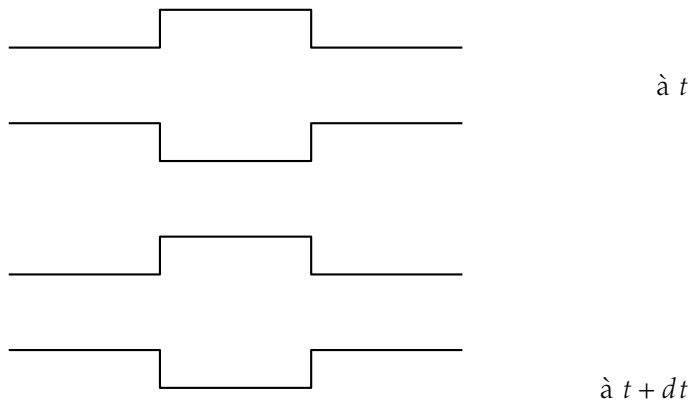
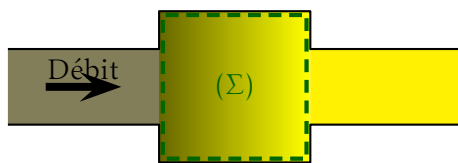
Un système thermodynamique est dit ouvert s'il échange de la matière avec l'extérieur. Ce sera le cas lorsqu'un fluide sera en circulation au travers de différents modules (compresseur, échangeur, détendeur)

I. Bilans thermodynamique

1. Choix du système

Σ est un système ouvert

Σ^* est un système fermé



2. Régime stationnaire

Régime stationnaire

En régime stationnaire, les paramètres caractérisant un volume donné n'évoluent pas avec le temps

Régime stationnaire - Conservation du débit massique

En régime stationnaire, le débit massique le même en tout point de l'écoulement

$$D_m = C^{te}$$

- ✓ Pour une durée dt , écrire les masses δm_1 et δm_2 traversant les sections d'entrée S_1 et de sortie S_2 du système ouvert
- ✓ En déduire l'évolution de la masse $dm = m(t + dt) - m(t)$ en fonction de D_{m1} et D_{m2} .
- ✓ En déduire qu'en régime stationnaire $D_M = C^{te}$

3. Bilan énergétique

On étudie un fluide en circulation traversant un module avec un débit massique constant (on parle de régime stationnaire).

On adopte les notations suivantes :

- ✓ Pour une grandeur thermodynamique G extensive ou g intensive, on la notera G_e (resp. g_e) en amont du module étudié et G_s (resp. g_s) en aval.
- ✓ On note w_u et q les échanges massiques thermique
- ✓ Le module est éventuellement en contact avec une source thermique de température T_{source}

Premier principe des systèmes ouverts

$$(h_s + e_{ps} + e_{cs}) - (h_e + e_{pe} + e_{ce}) = w_u + q$$

- ✓ Définir un système fermé, étudier son évolution sur une durée élémentaire dt
- ✓ Exprimer les variations d'énergie interne, cinétique et potentielle pendant dt en fonctions des paramètres d'état en entrée et sortie et du débit massique
- ✓ Exprimer les transferts énergétiques vers ce système pendant dt (il y a ici un travail utile...)
- ✓ Appliquer le premier principe des systèmes ouverts
- ✓ Exploiter la définition de l'enthalpie

Remarque: Ce principe porte également le nom de premier principe industriel

Hormis pour des systèmes particuliers telles que les tuyères, les variations d'énergie macroscopique cinétique et potentielle seront négligées devant la variation d'enthalpie.

Méthode - Puissance thermique échangée

Il est important de savoir relier q , D_m et la puissance thermique $\mathcal{P}_{th}$

- ✓ Exprimer δQ le transfert thermique reçu par une masse élémentaire δm en fonction de q et δm
- ✓ Relier $\mathcal{P}_{th}$ et δm
- ✓ En déduire la relation $\mathcal{P}_{th} = D_m \cdot q$

Remarque: Le premier principe industriel peut donc s'écrire sous la forme

$$D_m \cdot (h_s + e_{ps} + e_{cs}) - (h_e + e_{pe} + e_{ce}) = \mathcal{P}_u + \mathcal{P}_{th}$$

4. Bilan entropique

Le module étudié est en contact avec une source de température à la température T_{ext}

Bilan entropique

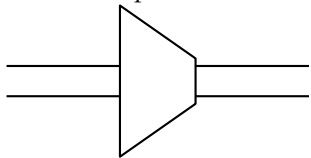
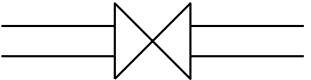
Pour un écoulement stationnaire, en notant $s_2 - s_1$ la variation d'entropie massique entre l'entrée et la sortie,

$$s_2 - s_1 = s^e + s^c \text{ avec } s^e = \frac{q}{T_{ext}}$$

On effectue un bilan sur la durée dt pour le système fermé Σ^* .

- ✓ Montrer que pour $\Sigma^* : S^*(t + dt) - S^*(t) = D_m \cdot dt \cdot (s_2 - s_1)$
- ✓ Exprimer l'entropie élémentaire échangée, δs^e en fonction de δm , q et T_{ext}
- ✓ Appliquer le second principe au système étudié.

II. Modules d'un système ouvert

Nom	Compresseur	Échangeur thermique	Détendeur
Schéma			
w_u	> 0	$= 0$	$= 0$
q	$= 0$	$\neq 0$	$= 0$
p	$\nearrow$	Cte	$\searrow$

III. Bilan pour un système quelconque

