

# 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principes de la thermodynamique appliqués à un système ouvert

## I. Préliminaire:

### ① Définition d'un système ouvert

Un système ouvert est un système thermodynamique qui échange l'énergie et la matière avec le milieu extérieur.

### ② Premier principe:

Soit un système thermodynamique d'énergie totale ( $E$ ). D'après le principe de conservation de l'énergie, la variation de l'énergie totale du système est la somme des travaux et chaleur échangés entre le système et le milieu extérieur.

$$dE = \delta W + \delta Q$$

### ③ Deuxième principe:

A tout système thermodynamique, on peut associer la fonction d'état extensive notée  $S$  et appelée entropie

$$dS \gg \frac{\delta Q}{T}$$

### ④ Premier principe appliqué à un système ouvert:



système: fluide dans une enceinte

$$E = U + E_c + E_p$$

par unité de masse

$$e = u + e_c + e_p$$

Entre deux instants  $t_1 = t$  et  $t_2 = t + dt$

$$\text{on a } e_2 - e_1 = \delta q + \delta w$$

avec  $\delta q$ : chaleur échangée par unité de masse

$$\delta w = \delta w_p + \delta w_{\text{util}} = \delta w_{\text{util}} + (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$\Rightarrow (e_c + e_p + u_1) - (e_c + e_p + u_2) = \delta q + \delta w_{\text{util}} + P_1 V_1 - P_2 V_2$$

$$\Rightarrow (e_c + e_p + h_1) - (e_c + e_p + h_2) = \delta q + \delta w_{\text{util}}$$

$$\Rightarrow dm [e_c + e_p + h]_1^2 = \delta Q + \delta W_{\text{util}}$$

$$\left[ \frac{dm}{dt} (e_c + e_p + h) \right]_1^2 = P_{\text{util}} + P_Q$$

### ⑤ Débit massique et débit volumique: $D_m - D_v$

■ Débit massique: quantité de matière traversant une surface  $S$  par unité de temps:  $D_m = \rho \cdot v \cdot S$

■ Débit volumique:  $D_v = v \cdot S$  ↑ vitesse d'écoulement

$$D_m = \frac{dm}{dt}$$

■ La conservation de la matière impose la conservation du débit massique:  $D_{m1} = D_{m2}$

$$\Rightarrow D_m \left[ \frac{1}{2} v^2 + g z + h \right]_1^2 = P_Q + P_{utile}$$

⚠ Si le fluide est incompressible:  $\rho_1 = \rho_2 \Rightarrow D_{v1} = D_{v2}$   
On dit que la conservation du débit massique entraîne la conservation du débit volumique.

### ⑥ Cas particulier: écoulement unidirectionnel.

L'équation bilan devient:

$$D_m \left[ \frac{1}{2} v^2 + h \right]_1^2 = P_{utile} + P_Q$$

### ⑦ Second principe appliqué à un système ouvert.

En régime permanent:  $\frac{ds}{dt} = 0$  et  $D_m = C^{te}$

$$\Rightarrow D_m \left[ s \right]_1^2 = \dot{S}^c + \dot{S}^R \quad \text{avec } \dot{S}^c = \frac{dS^c}{dt} \quad \dot{S}^R = \frac{dS^R}{dt}$$

⚠ En régime permanent adiabatique

$$\dot{S}^R = 0 \Rightarrow D_m \left[ s \right]_1^2 = \dot{S}^c$$

■ En régime permanent isentropique  $s_1 = s_2$