

Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite

Bilan de grandeurs énergétiques extensives

Définition :

Surface de contrôle = surface fermée, Σ , fixe dans le référentiel d'étude s'appuyant sur deux sections d'entrée et de sortie, S_e et S_s , reliées par des lignes de courants.

Volume de contrôle = Intérieur de Σ

Propriété :

Cette surface de contrôle délimite un **système ouvert**.

En régime stationnaire, **égalité des débits massiques** : $D_{me} = D_{ms} = D_m$

Bilan d'énergie

On s'intéresse à l'évolution des grandeurs énergétiques en entrée et en sortie de Σ sur $[t, t + dt]$.

Pour effectuer ce bilan d'énergie, il faut définir un système fermé, Σ' .

A t , $\Sigma' = \Sigma \cup \Sigma_e$

- Fluide contenu dans Σ à l'instant t
- Σ_e = masse de fluide δm qui pénètre dans Σ pendant dt

A $t + dt$, $\Sigma' = \Sigma \cup \Sigma_s$

- le fluide contenu dans Σ à l'instant $t + dt$
- Σ_s = masse de fluide δm qui sort de Σ pendant dt

Energie totale du système Σ' à t : $U_{\Sigma'}(t) + E_{c,\Sigma'}(t) = U_{\Sigma}(t) + E_{c,\Sigma}(t) + U_{\Sigma_e}(t) + E_{c,\Sigma_e}(t)$

à $t + dt$: $U_{\Sigma'}(t + dt) + E_{c,\Sigma'}(t + dt) = U_{\Sigma}(t + dt) + E_{c,\Sigma}(t + dt) + U_{\Sigma_s}(t + dt) + E_{c,\Sigma_s}(t + dt)$

Régime stationnaire : $U_{\Sigma}(t + dt) + E_{c,\Sigma}(t + dt) = U_{\Sigma}(t) + E_{c,\Sigma}(t)$

Variation d'énergie totale dans Σ' pendant dt : $dU_{\Sigma'} + dE_{c,\Sigma'} = U_{\Sigma_s}(t + dt) - U_{\Sigma_e}(t) + E_{c,\Sigma_s}(t + dt) - E_{c,\Sigma_e}(t)$

Le long d'une ligne de courant : $dU_{\Sigma'} + dE_{c,\Sigma'} = \delta m(u_s - u_e + e_{c,s} - e_{c,e})$

u_s et u_e : énergies internes massiques et $e_{c,s} = \frac{1}{2}v_s^2$ et $e_{c,e} = \frac{1}{2}v_e^2$: énergies cinétiques massiques dans Σ_s et Σ_e

Application du premier principe : $dU_{\Sigma'} + dE_{c,\Sigma'} = \delta W + \delta Q$

avec δW : travail de toutes les forces extérieures au système Σ'

avec δQ le transfert thermique reçu par le système : $\delta Q = q_e \delta m$ avec q_e : transfert thermique massique

Travail des forces de pesanteur : $\delta W_{pes} = -\delta m(e_{pp,s} - e_{pp,e})$

$e_{pp,s}$ et $e_{pp,e}$: énergies potentielles de pesanteur massiques du fluide dans Σ_s et Σ_e

Avec l'axe Oz ascendant : $e_{pp,e} = gz_e$ et $e_{pp,s} = gz_s$

Travail des forces pressantes : $\delta W_p = \left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s} \right) \delta m$

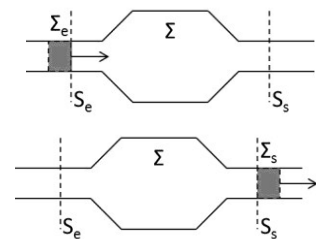
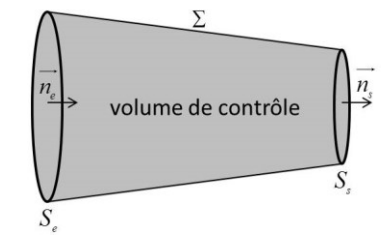
Travail dû à la réaction de la conduite : $\delta W_f = 0$ pour un fluide parfait

Travail dû à des phénomènes de dissipation : $\delta W_d = 0$ pour un fluide parfait

Travail indiqué : dû à un élément actif, à la présence de parties mobiles $\delta W_i = w_i \delta m$ avec w_i : travail massique indiqué.

Bilan d'énergie pour un fluide parfait en écoulement stationnaire : $\Delta u + \Delta e_c + \Delta e_{pp} = \left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s} \right) + w_i + q_e$

tube de courant = surface de contrôle



Relation de Bernoulli

Sans prendre en compte les aspects thermodynamiques : $\Delta e_c + \Delta e_{pp} = \left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s} \right) + w_i$

Dans le cas d'un **fluide incompressible**, où tout **travail massique indiqué est nul** : $\Delta e_c + \Delta e_{pp} = \left(\frac{P_e}{\mu} - \frac{P_s}{\mu} \right)$

Dans un référentiel galiléen dont l'axe (Oz) est vertical ascendant, lorsqu'un écoulement est parfait, stationnaire, homogène et incompressible, la **relation de Bernoulli** s'écrit le long d'une ligne de courant :

$$P + \frac{1}{2} \mu v^2 + \mu g z = cte$$

Perte de charge

Définition :

On définit la **perte de charge** en Pa par la différence entre ces deux termes homogène à une pression :

$$\Delta P_C = \left(P_e + \frac{1}{2} \mu v_e^2 + \mu g z_e \right) - \left(P_s + \frac{1}{2} \mu v_s^2 + \mu g z_s \right)$$

Pertes de charges régulières : définie pour un tronçon de conduite parcouru par un fluide incompressible, en régime stationnaire.

Pertes de charges singulières : apparaissent de manière localisée, sur des coudes, des raccords entre canalisations ...