plan du cours de thermodynamique

ÉTUDE D'ÉCOULEMENTS STATIONNAIRES

I) DESCRIPTION D'UN FLUIDE EN ECOULEMENT :

1) Systèmes ouverts, systèmes fermés :

définition : un système ouvert peut échanger de la matière avec l'extérieur ; un système fermé ne peut pas échanger de matière avec l'extérieur

2) Cas d'un écoulement unidimensionnel :

définition : un écoulement est unidimensionnel si, et seulement si une seule variable d'espace (l'abscisse curviligne le long de l'écoulement) suffit, avec le temps t , à décrire tous les champs relatifs à l'écoulement

on se limitera ici aux écoulements unidimensionnels

3) Description d'un écoulement unidimensionnel et notations :

grandeurs intensives d'entrée : v_e, P_e, μ_e , plus généralement : g_e

grandeurs intensives de sortie : v_s, P_s, μ_s , plus généralement : g_s

différence entre grandeur intensive d'entrée et grandeur intensive de sortie : $\Delta g = g_s - g_e$

sauf mention contraire, on utilisera comme grandeurs intensives définies à partir de grandeurs extensives des

grandeurs massiques (et non volumiques) : $g = \frac{dG}{dm}$ (quantité de G par unité de masse)

en cas de besoin on pourra aussi utiliser des grandeurs volumiques : $g_v = \frac{dG}{d\tau}$

on a alors immédiatement la relation suivante entre g et g_v : $g_v = \frac{dG}{d\tau} = \frac{dG}{dm} \cdot \frac{dm}{d\tau} = g \cdot \mu$ ou bien : $g = \frac{g_v}{\mu}$

4) Débit d'une grandeur extensive G à travers une surface :

définition : le débit $D_G(\Sigma)$ de la grandeur extensive G à travers une surface (Σ) orientée est la quantité de la grandeur G traversant la surface Σ par unité de temps (dans le sens de l'orientation choisie pour (Σ))

théorème : si g représente la densité massique de la grandeur extensive G et si g_v représente la densité volumique de la grandeur extensive G , alors :

$$D_G(\Sigma)(t) = \iint_{\Sigma} g_v(M, t) v(M, t) \cdot n(M) dS(M) = \iint_{\Sigma} g(M, t) \mu(M, t) v(M, t) \cdot n(M) dS(M)$$

théorème : pour un écoulement unidimensionnel : $D_G = g \cdot D_m = g_v \cdot D_v$

5) Cas d'un écoulement permanent ou stationnaire :

définition : un écoulement est permanent ou stationnaire si, et seulement si tous les champs le caractérisant sont indépendants du temps

théorème : pour un tube de courant, dans un écoulement permanent, le débit de masse se conserve à un instant t le long du tube de courant et se conserve aussi au cours du temps

théorème : pour un tube de courant, dans un écoulement permanent, le débit de n'importe quelle grandeur extensive G se conserve à un instant t le long du tube de courant et se conserve aussi au cours du temps

II) BILANS ÉNERGÉTIQUE ET ENTROPIQUE POUR UN ECOULEMENT STATIONNAIRE UNIDIMENSIONNEL :

1) Puissance ou travail des forces de pression ou puissance ou travail utile :

théorème : pour un écoulement permanent unidimensionnel à l'intérieur d'un tube de courant, la puissance des forces de pression est :

$$P_{pression} = D_m \left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s} \right)$$

2) Premier principe pour un écoulement stationnaire unidimensionnel :

théorème : bilan enthalpique massique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel :

$$\Phi_{th} + P_u = D_m \left[(h_s - h_e) + \frac{1}{2} (v_s^2 - v_e^2) + (e_s - e_e) \right]$$

ou encore : $q + w_u = (h_s - h_e) + \frac{1}{2} (v_s^2 - v_e^2) + (e_s - e_e) = \Delta h + \frac{1}{2} \Delta(v^2) + \Delta e$

3) Bilan entropique :

théorème : bilan entropique massique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel :

$$\Delta s = s_e + s_c$$

cas particuliers :

- dans le cas d'une transformation adiabatique $S_e = 0$ et $\Delta s = s_c > 0 : S_s > S_e$
- dans le cas d'une transformation adiabatique réversible : $\Delta s = s_c = 0 : S_s = S_e$

4) Exemple : détente de Joule-Thomson ou Joule-Kelvin :

définition : une détente de Joule-Thomson ou Joule-Kelvin est une détente isenthalpique

III) EXEMPLES D'ÉTUDE À L'AIDE DE DIAGRAMMES :

1) Diagramme (p,h) : diagramme de Mollier :

exemple : diagramme de Mollier (h, ln(P)) pour l'étude du changement d'état liquide-vapeur

2) Détente d'un fluide dans une turbine :

définition : une turbine est un système recevant un fluide qui va se détendre (c'est-à-dire diminuer sa pression) et ainsi acquérir de l'énergie cinétique (macroscopique)

hypothèses fréquemment utilisées :

- le régime est stationnaire
- les énergies cinétique et potentielle macroscopique des fluides sont négligées
- la turbine est calorifugée ; la détente est donc adiabatique

3) Association de différents éléments : un exemple