

LP 28. Phénomènes de transport

Niveau: L2 (BCPST 2)

Prerequis

- * Premier principe
- * Enthalpie
- * Débit massique
- * Energie et puissance

Bibliographie

- * Grecias BCPST 1 et 2
- * Sonz PC-PC*
- * Salomito NP-NP*, j'intègre, etc

Expérience Modélisation loi des noeuds
le mélangeur

Introduction Pédagogique

- * Ce cours se place dans une partie sur les phénomènes de transport en BCPST 2
- * On a fait le choix de ne pas parler de diffusion dans ce cours, on suppose que ce cours a été fait plus tôt dans l'année.
- * On parlera dans ce cours de transport de masse et d'énergie dans le cadre des systèmes ouverts.
- * C'est la première fois que les élèves travaillent sur des systèmes ouverts, on essaiera au maximum de se ramener à ce que les élèves connaissent et on fera l'étude pas à pas par que les élèves acquièrent une méthode de résolution systématique.
- * Ce cours va permettre de poser les principes qui serviront dans un prochain cours à étudier les machines thermiques.
- * Le but sera de faire faire un maximum de bilan par les élèves, on aura besoin par so qu'ils maîtrisent les notions de débit, puissance, énergie et d'enthalpie, ainsi que le premier principe de la thermodynamique.
- * On ne parlera pas non plus du phénomène de transport dans le cas de l'électricité dans ce programme.
- * Une difficulté est de comprendre le système que l'on va étudier. par ailleurs l'état, on va faire des schémas et tableaux, en précisant bien le système pris ainsi que les volumes entrant et sortant.
- * Un des points abstraits pourrait être de comprendre que l'énergie est aussi transportée, on mettra en place une expérience par modéliser un moteur et essayer de faire appréhender le transport d'énergie.

TD : Étude des composants d'une machine ⊕ écoulement de H_2O ⊕ Tuyère

TP : Étude de machine thermique par introduction le prochain cours

Introduction

- * On a vu au cours précédent qu'on pouvait transporter de la matière ou de l'énergie par diffusion
- * Mais dans beaucoup de cas la diffusion est très lente et nous en va chercher à avoir un transport plus rapide, par là on va regarder la convection.
- * C'est un transport de matière ou d'énergie avec mouvement global de matière

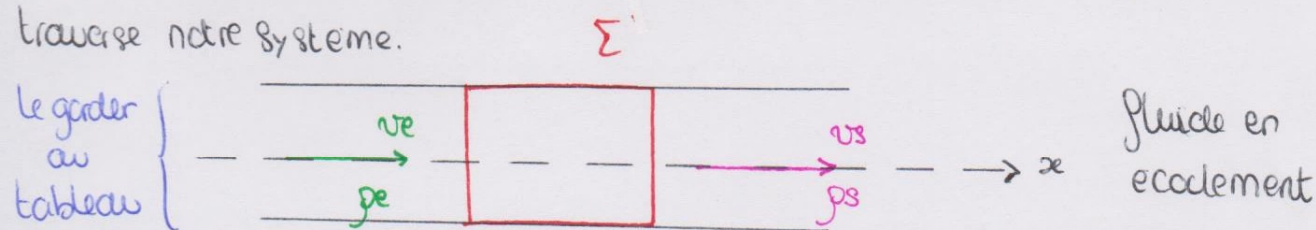
Objectif : Comprendre les phénomènes de transport et étudier les grandeurs pertinentes

Transition : Pour étudier la convection, on étudie des systèmes ouverts, mais qu'est-ce que c'est ?

I. Transport de masse

A. Les systèmes ouverts

* On va étudier des systèmes ouverts, c'est à dire qu'il y a un fluide qui traverse notre système.



* Comme on ne sait pas comment les étudier on va se ramener à des systèmes fermés

* On prend un volume fixe de contrôle qu'on va appeler Σ''

* On va définir des grandeurs qui vont nous permettre d'étudier ce genre de systèmes:

- v_e : la vitesse en entrée
- v_s : la vitesse en sortie
- ρ_e : la masse volumique en entrée
- ρ_s : la " " " en sortie

* Ce qu'il se passe c'est qu'il y a de la matière qui entre et qui sort.

* Il faut noter qu'il y a aussi de la diffusion, mais c'est un phénomène beaucoup plus lent donc on le néglige

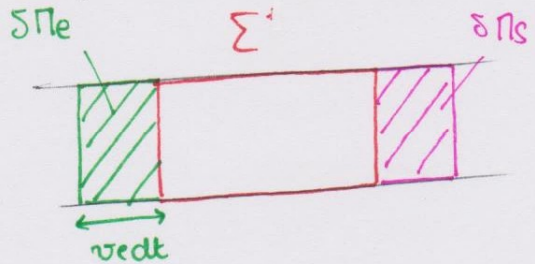
Transition: Il y a de la matière, donc de la masse qui entre et qui sort, on va essayer d'étudier ça.

B. Bilan de masse

* Pour connaître la masse qui entre et qui sort, il faut regarder le débit massique

* $D_{me} = \int_S \rho_e \cdot \vec{v}_e \cdot d\vec{S}_e$ si on a ρ_e et v_e qui sont constant sur la surface.

$D_{me} \approx \rho_e \cdot v_e \cdot S_e$ en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$



* $D_{ms} = \rho_s \cdot v_s \cdot S_s$

* Si on étudie la variation de masse en faisant un bilan:

Variation = entrée - sortie

$\Pi_\Sigma(t + dt) = \Pi_\Sigma(t) + \delta \dot{m}_e - \delta \dot{m}_s$

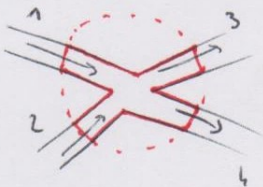
$\Pi_\Sigma(t + dt) - \Pi_\Sigma(t) = \frac{\partial \Pi_\Sigma}{\partial t} dt = \delta \dot{m}_e - \delta \dot{m}_s = \rho_e \cdot v_e dt \cdot S_e - \rho_s \cdot v_s dt \cdot S_s$

$\Rightarrow \frac{\partial \Pi_\Sigma}{\partial t} = \frac{\delta \dot{m}_e}{dt} - \frac{\delta \dot{m}_s}{dt} = \boxed{D_{me} - D_{ms} = \frac{\partial \Pi_\Sigma}{\partial t}}$: Conservation de la masse

* Si on se place en régime permanent on a $\partial \Pi_\Sigma / \partial t = 0 \Rightarrow D_{me} = D_{ms}$

* Le débit massique, qui est en fait un flux de matière est conservatif

* On peut appliquer ça au cas où on a plusieurs sorties ou entrées



$D_{m1} + D_{m2} = D_{m3} + D_{m4}$

$\Rightarrow$ analogue à la loi des nœuds en éle

Transition: On a vu que dans les systèmes ouverts on avait un transport de matière, modélisé par un débit, et qu'on a un débit qui est conservatif.

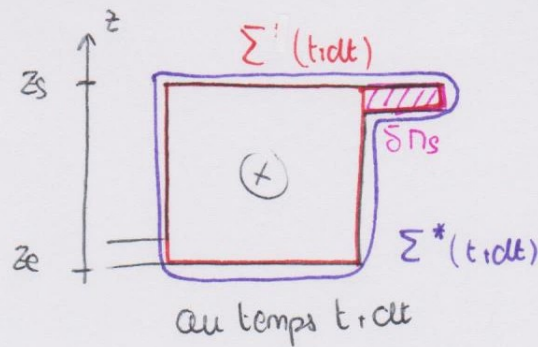
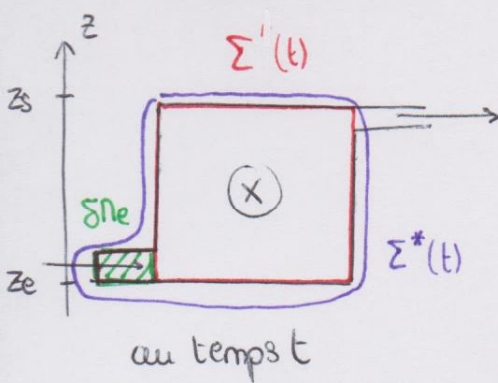
Mais en soit le fluide possède aussi de l'énergie cinétique, potentielle ou interne

↳ On va voir que l'énergie est aussi une grandeur qui peut être transportée

II - transport d'énergie

A - Premier principe en système ouvert

* On va étudier le système suivant, et voir comment varie l'énergie totale



* On a un système fermé qui se déplace : on va lui appliquer le premier principe

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

* On va évaluer E^* à t et $t+dt$

$$\begin{aligned} E^*(t) &= E_\Sigma(t) + E_e(t) \\ &= E_\Sigma(t) + \frac{1}{2} \delta N_e v_e^2 + \delta N_e g z_e + \delta N_e \cdot \underbrace{\mu_{e,m}}_{\text{massic Q}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E^*(t+dt) &= E_\Sigma(t+dt) + E_s(t+dt) \\ &= E_\Sigma(t+dt) + \frac{1}{2} \delta N_s v_s^2 + \delta N_s g z_s + \delta N_s \mu_{s,m} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow dE^* = E^*(t+dt) - E(t) = E_\Sigma(t+dt) - E_\Sigma(t) + \delta N_e \left(\frac{1}{2} v_e^2 + g z_e + \mu_{e,m} \right) - \delta N_s \left(\frac{1}{2} v_s^2 + g z_s + \mu_{s,m} \right)$$

* dans le cas stationnaire $E_\Sigma(t+dt) = E_\Sigma(t)$

$$\begin{aligned} dE^* &= \delta m \Delta (e_{c,m} + e_{p,m} + \underbrace{\mu_{e,m}}_{=h}) = \delta W + \delta Q \\ &= \delta m \cdot W_{u,m} + P_e v_e - P_s v_s + \delta Q \\ &= \delta m (W_{u,m} + P_e v_{e,m} - P_s v_{s,m} + q) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \Delta (e_{c,m} + e_{p,m} + \underbrace{\mu_{e,m}}_{=h} - P v_{e,m}) = W_{u,m} + q$$

$$\Rightarrow \text{Premier principe: } \Delta (h + e_c + e_p) = w_u + q$$

$$\text{Si on multiplie par le débit massique, } \delta m \Delta (h + e_c + e_p) = \dot{P}_u + \dot{P}_{th}$$

B. Application: le mélangeur

* Projo: un mélangeur c'est ce qu'on a souvent dans les robinets: on met un débit ± grand d'eau chaude et froide et on obtient de l'eau tiède

* On va réutiliser le résultat précédent pour résoudre un problème

* Pour remplir un bain je veux avoir de l'eau à 35°C , mais mon eau chaude est à 80°C et l'eau froide à 15°C

* De plus on a un débit en sortie de $10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

$\Rightarrow$ Quels débits je dois mettre sur l'eau chaude et froide?

* Il n'y a aucun travail, pas de changement de e_c et e_p , on suppose le système adiabatique

$$\hookrightarrow \dot{Q}_m \cdot \Delta h = 0$$

$$\text{Soit } \dot{Q}_S \cdot h_S = \dot{Q}_F \cdot h_F + \dot{Q}_C \cdot h_C$$

$$\Leftrightarrow \dot{Q}_S \cancel{\text{eau}} T_S = \dot{Q}_F \cancel{\text{eau}} T_F + \dot{Q}_C \cancel{\text{eau}} T_C$$

$$\Leftrightarrow \underline{\dot{Q}_S T_S = \dot{Q}_F T_F + \dot{Q}_C T_C}$$

* Il nous manque une équation: conservaⁿ débit: $\dot{Q}_S = \dot{Q}_F + \dot{Q}_C$

$$\Rightarrow \dot{Q}_S T_S = \dot{Q}_F T_F + (\dot{Q}_S - \dot{Q}_F) T_C$$

$$\Leftrightarrow \dot{Q}_F = \frac{\dot{Q}_S (T_S - T_C)}{T_F - T_C} = \underline{6,9 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}} \quad \text{et} \quad \underline{\dot{Q}_C = 3,1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}}$$

* On pourrait faire une expérience où on envoie dans un récipient de l'eau à $m^\circ \text{C}$ et avec les mêmes $\dot{Q}_m$ voir si on obtient la même chose $\Rightarrow T_D$

Transiⁿ: On a vu une application sans changement d'état, mais comme il y a un grand transfert d'énergie au changeⁿ d'états, on va voir qu'on peut s'en servir

C. Application au frigo

- * cf Salomuto NP-NP*, j'integre, vert p 696
- * cf LP27-Machines Thermiques



Conclusion: Dans ce cours on a vu qu'on pouvait avoir du transport de masse ou d'énergie par les systèmes ouverts

Par étudier ces systèmes: il faut bien définir le système et ce qui rentre, et faire un bilan sur cette grandeur.