

LP 28 : Phénomènes de transport

Éléments imposés : Applications (échangeur thermique, mélangeur, tuyère...), premier principe industriel, si en rapport avec diffusion voir LP22

Niveau : L2

Pré-requis : - électrocinétique (loi des nœuds) (L1)

- Thermodynamique (premier principe, énergie système, définition système, enthalpie) (L1/L2)
- Débit massique et volumique (L2)
- Conduction (vecteur densité de courant) (L2)

Biblio : - Physique BCPST 2, Tec & Doc, Grecias

- Physique BCPST2, Baude
- Physique tout-en-un PC-PC*, Dunod, Sanz
- (Fruchart p.423 = vase de Mariott)

Intro péda :

On se place en 2ème année de prépa BCPST ou il y a plusieurs types de phénomènes de transport étudiés. Ici on va se concentrer sur les phénomènes de transport liés à la convection sur un système ouvert.

La diffusion aura déjà été vue par les élèves qui connaîtront donc déjà les notions de débit, vecteur densité de courant que l'on utilisera dans ce cours.

Les élèves devront aussi être au point sur les notions de thermodynamique vues en 1ère année tels que la définition des systèmes (ouverts/fermés), le premier principe de la thermo pour un système fermé et des notions de 2ème année comme l'enthalpie puisqu'elle intervient dans le premier principe pour un système ouvert.

Obj : - Savoir faire un bilan de matière et d'énergie pour un système ouvert

- Savoir utiliser le premier principe pour un système ouvert en fonction des hypothèses données

Difficultés : - Réussir à bien définir les systèmes ouverts et fermés et faire bilan sur système fermé
→ on va faire beaucoup de schéma et méthodes

TD : étude d'autres applications pour que les élèves fassent des bilans d'énergie ou de matière par eux-même

Etude de doc sur les échanges d'énergie dans une machine thermique ce qui permettra de faire le lien avec le cours suivant sur les machines thermiques.

Intro :

On a déjà vu des phénomènes de transport par diffusion mais vous le savez bien, la convection est un autre phénomène de transport qui permet de transporter, entre autre, de l'énergie et de la matière cette fois-ci (contrairement à diffusion). En effet, la convection est un phénomène de transport avec mouvement macroscopique de matière.

Dans ce cours, on va se limiter à l'étude de système ouvert où on va avoir un écoulement d'un fluide (par exemple dans un tuyau).

I) Transport de masse dans un système ouvert

A) Description du système ouvert

cf Grécias p. 314 ou 211 ? Faire schéma conduite de section S et volume V selon l'axe Ox, si on prend un tronçon de ce cylindre (on l'appelle S.O.) : fluide entre et sort → syst ouvert

Rappel : **système ouvert** : échange de la matière avec milieu extérieur

Entre t et t+dt un quantité élémentaire δm_e entre dans système et une quantité δm_s en sort.

On va alors définir un débit massique de matière $Dm = dm/dt$ de matière qui traverse S.

On peut aussi le définir comme $Dm = \iint \vec{j}_m \cdot \vec{dS}$

avec $\vec{j}_m =$ vecteur densité de courant massique $= \rho^* \vec{v}$

Si le fluide est incompressible, on a $Dm = \rho \iint \vec{v} \cdot \vec{dS}$

Et on peut aussi définir un débit volumique et : $Dm = \rho Dv$

Tr : on a donc un transport de masse, on va l'étudier un peu plus en détail

B) Bilan de masse

cf Grécias p. 214

On suppose qu'il n'y a ni création ni consommation de matière dans le système.

Méthode (cf diapo)

- 1) Faire schéma (avec système ouvert, vecteur courant massique entrant et sortant et δm_e et δm_s)
- 2) On définit un système fermé Σ (car compliqué de travailler sur syst ouvert) → le dessiner : $\Sigma(t) = S.O(t) + \delta m_e$ et $\Sigma(t+dt) = S.O(t+dt) + \delta m_s$
- 3) Système fermé (donc pas d'échange de matière avec milieu extérieur) et pas de création ni conso → $\Sigma(t) = \Sigma(t+dt) \rightarrow m_{SO}(t) + \delta m_e = m_{SO}(t+dt) + \delta m_s$

$$\text{Donc } dm_{SO} = \delta m_e - \delta m_s \text{ donc } \frac{dm_{SO}}{dt} = Dm_e - Dm_s$$

Si on se met en régime permanent → $\frac{dm_{SO}}{dt} = 0$ donc $Dm_e = Dm_s$

Application à la loi des nœuds : dessiner conduite en Y avec syst ouvert et fermé :

$m_{SF}(t) = m_{SO}(t) + \delta m_1$ et $m_{SF}(t+dt) = m_{SO}(t+dt) + \delta m_2 + \delta m_3$ or on a vu que $m_{SF} = \text{cste}$ et on est en régime stationnaire donc $Dm_1 = Dm_2 + Dm_3$

→ analogie avec loi des nœuds électrocinétique (cf diapo)

Tr : fluide ne transporte pas que de la matière mais aussi de l'énergie

II) Transport d'énergie en système ouvert

Rappel (cf diapo) :

l'énergie peut être séparée en 3 composantes : $E = E_{\text{macro}} (E_c + E_p) + E_{\text{micro}} (U)$

Et pour un système fermé, on a le premier principe : $\Delta E_f = W + Q$

A) Bilan d'énergie et premier principe pour un système ouvert

cf Grécias p. 216-217

Méthode : (cf diapo)

- 1) Faire schéma (avec système ouvert, source d'énergie W et Q, δm_e et δm_s)
- 2) Définir le système fermé Σ en t et t+dt : $\Sigma(t) = S.O(t) + \delta m_e$ et $\Sigma(t+dt) = S.O(t+dt) + \delta m_s$

3) Faire le bilan d'énergie sur Σ entre t et $t+dt$:

$$E_{\Sigma}(t) = E_{SO}(t) + \delta m_e (u_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e)$$

$$E_{\Sigma}(t+dt) = E_{SO}(t+dt) + \delta m_s (u_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s)$$

$$\text{donc } dE_{\Sigma} = dE_{SO} + [\delta m(u + \frac{1}{2} v^2 + g z)]_e^s$$

4) Utilisation du premier principe pour le système fermé :

$$dE_{\Sigma} = \delta W + \delta Q = \delta W' + \delta Q + \delta W_{\text{pression}}$$

$$\text{or on sait que } \delta W_{\text{pression}} = -PdV$$

$$\text{donc } \delta W_{\text{pression},e} = + P_e dV_e = P_e \delta m_e / \rho_e \text{ et } \delta W_{\text{pression},s} = - P_s dV_s = - P_s \delta m_s / \rho_s$$

En régime permanent : $dE_{SO} = 0$ et $\delta m_e = \delta m_s = \delta m$

D'où $0 = \delta W' + \delta Q + \delta m [u + P/\rho + \frac{1}{2} v^2 + g z]_e^s$ et $u + P/\rho = h$

→ Premier principe pour système ouvert en régime permanent : $\delta W' + \delta Q = \delta m [h + \frac{1}{2} v^2 + g z]_e^s$

B) Application : mélangeur de robinet ou échangeur thermique ou tuyère (voir en fonction de l'élément imposé)

Mélangeur de robinet

cf Grécias p.221

On reprend le cas de la loi des nœuds : → une entrée : eau chaude et une eau froide

Hyp : permanent, adiabatique, $W' = 0$ et variation d'énergie macro négligeable (Δv et $\Delta z = 0$)

On applique la méthode donnée juste avant, au final, on a $Dm_s = Dm_f + Dm_c$

et $Dm_s h_s = Dm_f h_f + Dm_c h_c$

$$\text{Or } h = cT + \text{cste} \rightarrow Dm_s T_s = Dm_f T_f + Dm_c T_c \rightarrow T_s = \frac{Dm_f T_f + Dm_c T_c}{Dm_f + Dm_c}$$

Echangeur thermique (cf Grécias p.220) : obj : gaz chaud cède énergie pour chauffer eau

Hyp : permanent, adiabatique, $W' = 0$

$$Dm * c_{\text{gaz}}(T_s - T_e) + dmc_{\text{eau}}(T_s' - T_e') = 0 \quad (Dm * c_{\text{gaz}}(T_s - T_e) = P_{\text{th}} \text{ (puiss fournie par gaz)} < 0$$

Tuyère (cf Grécias p.243)

Conclusion :

cf diapo Méthode + premier principe syst ouvert

Ouverture : Les systèmes ouverts sont la plupart des machines qui nous entourent, ex frigo → fluide qui s'écoule et refroidit intérieur = machine thermique que l'on étudiera au prochain cours

Remarques :

- Flux de chaleur convectif : Loi de Newton : $\phi = hS(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$