

Transfert thermique (4^{ème} Année ECPk)

Nelson IBASETA

Maître de conférences en génie des procédés

nelson.ibaseta@centrale-marseille.fr



INTRODUCTION

Energie

- **Energie**: Capacité d'un système à effectuer un travail ou échanger de la chaleur
 - **Energie cinétique**: énergie du système comme conséquence de sa vitesse relative par rapport à son environnement
 - **Energie potentielle**: énergie du système comme conséquence de la force exercée sur celui-ci par un champ (gravitationnel ou électromagnétique), par rapport à une surface de référence
 - **Energie interne**: terme macroscopique prenant en compte les différentes termes d'énergie à l'échelle microscopique

Energie interne

- Energie translationnelle
- Energie rotationnelle
- Energie vibrationnelle
- Energie électronique
- Energie potentielle d'interaction des molécules
- Energie relativiste de la masse en repos des électrons et du noyau

Echanges d'énergie

- **Systeme**: partie de l'univers qui est considérée pour l'étude
- **Environnement**: partie de l'univers qui peut interagir avec le système
- **Volume de contrôle (VC)**: volume du système
- **Surface de contrôle (SC)**: surface (réelle ou virtuelle) enveloppant le VC
- Entrées de matière dans le système
- Sorties de matière dans le système
- **Travail**: énergie échangée par le système avec son environnement, conséquence de l'application d'une force
 - **Travail des forces de pression**
- **Chaleur**: énergie échangée par le système avec son environnement, conséquence d'une différence de température

Conservation de l'énergie (système fermé)

- **1^{er} Principe de la Thermodynamique** : au cours d'une transformation quelconque d'un système, la variation de son énergie est égale à la quantité d'énergie échangée avec son environnement

$$(\text{Entrée}) - (\text{Sortie}) = (\text{Accumulation}) = (\text{Finale} - \text{Initiale})$$

- Pour un système fermé:

$$Q + W_{\text{autres}} + W_{p-V} = m(\Delta\hat{E}_k + \Delta\hat{E}_p + \Delta\hat{U})$$

$$Q + W_{\text{autres}} - mp\Delta\hat{V} = m(\Delta\hat{E}_k + \Delta\hat{E}_p + \Delta\hat{U})$$

$$Q + W_{\text{autres}} = m(\Delta\hat{E}_k + \Delta\hat{E}_p + \Delta\hat{H})$$

$$H \equiv U + pV$$

- Souvent on négligera les variations d'énergie cinétique et potentielle)

$$Q + W_{\text{autres}} = m\Delta\hat{H}$$

Conservation de l'énergie (système ouvert)

$$\begin{aligned} & \sum_{in} \dot{m}_i (\hat{E}_{k(i)} + \hat{E}_{p(i)} + \hat{U}_i + p\hat{V}_i) - \sum_{out} \dot{m}_i (\hat{E}_{k(i)} + \hat{E}_{p(i)} + \hat{U}_i + p\hat{V}_i) + \dot{W}_{autres} + \dot{Q} = \\ & \sum_{in} \dot{m}_i (\hat{E}_{k(i)} + \hat{E}_{p(i)} + \hat{H}_i) - \sum_{out} \dot{m}_i (\hat{E}_{k(i)} + \hat{E}_{p(i)} + \hat{H}_i) + \dot{W}_{autres} + \dot{Q} \\ & = \frac{d}{dt} [m_{sys} (\hat{E}_{k(sys)} + \hat{E}_{p(sys)} + \hat{U}_{(sys)})] \end{aligned}$$

- Souvent on négligera les variations d'énergie cinétique et potentielle

$$\sum_{in} \dot{m}_i \hat{H}_i - \sum_{out} \dot{m}_i \hat{H}_i + \dot{W}_{autres} + \dot{Q} = \frac{d}{dt} [m_{sys} \hat{U}_{(sys)}]$$

Variations de l'enthalpie du système

- Les variations de l'enthalpie du système peuvent être décomposées en plusieurs termes:

- La variation due à un changement de température à pression et composition constante (**chaleur sensible**)

$$\Delta\hat{H} = \int_{T_i}^{T_f} \hat{c}_p dT$$

- La variation due à un changement d'état à température et pression constante (**chaleur latente**)
- La variation due à un changement de pression à température et composition constante
- La variation due à un changement de composition à température et pression constante

Modes de transmission de la chaleur

- **Conduction**: transfert d'énergie des particules les plus énergétiques d'une substance aux particules adjacentes moins énergétiques, comme conséquence de leurs interactions
 - Collisions entre molécules ou diffusion de celles-ci (gazes et liquides)
 - Vibration des atomes au sein du réseau (solides)
 - Translation d'électrons libres (solides conducteurs)
- **Convection**: transfert d'énergie entre une surface solide et un fluide adjacent en mouvement
 - Effet combiné de la conduction (mouvement aléatoire microscopique)
 - ET du mouvement global (macroscopique) du fluide
- **Rayonnement**: transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques
 - L'émission d'OEM est due à un changement des configurations électroniques des atomes et des molécules qui constituent le corps qui émet ces ondes
 - L'absorption d'OEM entraîne un changement des configurations électroniques des atomes et des molécules qui constituent le corps qui absorbe ces ondes

Densité de flux thermique

- **Densité de flux (ou flux surfacique), \vec{q} ou $\vec{\varphi}$** : chaleur traversant une unité de surface dans une unité de temps (W/m^2)

- $Q \stackrel{\text{def}}{=} \vec{q} \cdot \vec{n} \cdot dS \cdot dt$

- Surface quelconque: $\dot{Q} = \iint_S \vec{q} \cdot \vec{n} dS$

- Surface fermée :

$$\dot{Q} = \iint_S \vec{q} \cdot \vec{n}_{ext} dS = \iiint_V \text{div}(\vec{q}) \cdot dV$$

