TH01 Systèmes ouverts en régime stationnaire

Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel au niveau de la section d'entrée et de la section de sortie	Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T, s) et (P, h)

- Premier principe sous forme infinitésimale,

$$\mathrm{d}U + \mathrm{d}E_c = \delta Q + \delta W$$

- Second principe sous forme infinitésimale,

$$\mathrm{d}S = \delta S_{\text{ech}} + \delta S_{\text{creee}}$$

avec $\delta S_{ech} = \dfrac{\delta Q}{T_{\text{therm}}}$ et $\delta S_{\text{creee}} \geq 0$

- Débit massique, définition
- Passage d'un système ouvert à un système fermé, bilan sur une grandeur extensive

$$\mathrm{d}G = D_m \mathrm{d}t(g_s - g_e)$$

- Premier principe pour un système ouvert,

$$[h + e_c + e_p]_e^s = q + w_u$$

- Diagramme entropique (T, s),
- Diagramme du frigoriste (p, h).

Outils mathématiques

Fonctions de plusieurs variables à valeurs réelles. Dérivées partielles. Différentielle. Théorème de Schwarz.	Relier la différentielle et les dérivées partielles premières. Utiliser le théorème de Schwarz (admis).
Gradient	Relier le gradient à la différentielle d'un champ scalaire à une date fixée. Exprimer les composantes du gradient en coordonnées cartésiennes.
Divergence	Citer et utiliser le théorème d'Ostrogradski. Exprimer la divergence en coordonnées cartésiennes.
Laplacien d'un champ scalaire	Définir le laplacien à l'aide de la divergence et du gradient. Exprimer le laplacien en coordonnées cartésiennes.

TH02 **Diffusion de particules**

Vecteur densité de flux de particules $\overrightarrow{j_N}$	Exprimer le flux de particules traversant une surface orientée en utilisant le vecteur $\overrightarrow{j_N}$
Bilan de particules	Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Établir l'équation locale traduisant un bilan de particules dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local de particules dans le cas d'une géométrie quelconque.
Loi de Fick	Utiliser la loi de Fick Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles
Régimes stationnaires	Utiliser, en régime stationnaire, la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de sources internes
Équation de diffusion en l'absence de sources internes	Établir l'équation de la diffusion en l'absence de sources internes. Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque. Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.
Approche microscopique du phénomène de diffusion	Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne

- Flux de particules à travers une surface fermée orientée :

$$\Phi_{\mathcal{S}} = \frac{\delta N}{\mathrm{d}t}$$

- Vecteur densité de flux de particules $\vec{j}_N$:

$$\Phi_{\mathcal{S}}(t) = \iint_{M\in\mathcal{S}} \overrightarrow{j_N}(M,t)\cdot\overrightarrow{\mathrm{d}S_M}$$

- Bilans de particules : établir un bilan global de particules dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule variable spatiale en géométrie cartésienne, cylindriqque et sphérique, éventuellement en présence de sources internes.

  En repère cartésien :

$$\frac{\partial\, n(x,t)}{\partial\, t} + \frac{\partial\, j_N(x,t)}{\partial\, x} = \begin{cases} 0 \\ p(x,t) \end{cases}$$

  En repère cylindrique :

$$\frac{\partial\, n(r,t)}{\partial\, t} + \frac{1}{r}\frac{\partial\,(r j_N(r,t))}{\partial\, r} = \begin{cases} 0 \\ p(r,t) \end{cases}$$

  En repère sphérique :

$$\frac{\partial\, n(r,t)}{\partial\, t} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial\, r^2 j_N(r,t)}{\partial\, r} = \begin{cases} 0 \\ p(r,t) \end{cases}$$

- Loi de Fick : $\overrightarrow{j_N} = -D\,\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,n$
- Régimes stationnaires : établir la conservation du flux de particules sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.
- Équation de diffusion en l'absence de sources internes : savoir l'établir.

$$\frac{\partial\, n}{\partial\, t} = D\Delta n$$

- Analyser l'équation de diffusion en ordre de grandeur : $L^2 = D\tau$.
- Passage discret - continu.

TH03 **Diffusion thermique**

Vecteur densité de flux thermique $\overrightarrow{j_Q}$	Exprimer le flux thermique à travers une surface orientée en utilisant le vecteur $\overrightarrow{j_Q}$.
Premier principe de la thermodynamique.	Établir, pour un milieu solide, l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local dans le cas d'une géométrie quelconque, éventuellement en présence de sources internes.
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, métaux.

- Vecteur densité de courant thermique $\overrightarrow{j_{\text{Q}}}(M,t)$ est tel

$$\delta Q = \overrightarrow{j_{\text{th}}} \cdot \text{d}\overrightarrow{S_M}\ \text{d}t$$

- Le flux thermique noté Φ_{th} est la puissance du transfert thermique à travers une surface orientée $\mathscr{S}$

$$\Phi_{\text{th}}(t) = \iint_{M\in\mathscr{S}} \overrightarrow{j_{\text{Q}}}(M,t) \cdot \text{d}\overrightarrow{S_M}$$

- Loi de Fourier :

$$\overrightarrow{j_{\text{Q}}} = -\lambda\, \overrightarrow{\text{grad}}\, T$$

- Bilan thermique local (savoir l'établir) :

<u>En 1DD :</u>

$$\rho c \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial j_{\text{th}}(x,t)}{\partial x} = \begin{cases} 0 & \text{en l'absence de sources} \\ p(x,t) & \text{avec un taux production interne } p \end{cases}$$

<u>En symétrie cylindrique :</u>

$$\rho c \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} + \frac{1}{r}\frac{\partial\, r\, j_{\text{th}}(r,t)}{\partial r} = \begin{cases} 0 & \text{en l'absence de sources} \\ p(r,t) & \text{avec une source} \end{cases}$$

<u>En symétrie sphérique :</u>

$$\rho c \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial\, r^2\, j_{\text{th}}(r,t)}{\partial r} = \begin{cases} 0 & \text{en l'absence de sources} \\ p(r,t) & \text{avec une source} \end{cases}$$