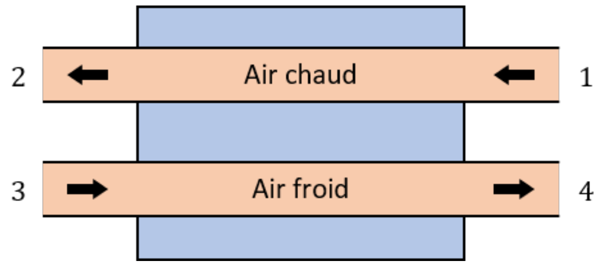
Ventilation double flux

Les ventilations « double-flux » permettent aux logements de renouveler l'air intérieur tout en minimisant les déperditions thermiques associées à une ventilation simple. L'air vicié (chaud à $T_1 = 18$ °C) qu'on souhaite évacuer de l'habitation passe par un échangeur thermique dont l'objectif est de récupérer l'énergie thermique de l'air chaud pour la transférer à l'air neuf (froid à $T_3 = 8$ °C) prélevé depuis l'extérieur.

L'échangeur thermique est donc constitué de deux circulations d'air : dans l'une l'air chaud passe de l'état 1 à l'état 2, dans l'autre de l'état 3 à l'état 4. Les débits massiques D_m sont identiques dans les deux voies. Le régime est stationnaire. Toutes les transformations sont isobares à pression atmosphériques et les températures sont notées T_i avec $i = 1, 2, 3, 4$.



L'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29$ g · mol^{-1}, de coefficient $\gamma = 1{,}40$. On donne $R = 8{,}314$ J · K^{-1} · mol^{-1}. On néglige les énergies potentielle et cinétique. On rappelle que pour un gaz parfait, la variation d'entropie pour une transformation isobare : $\Delta S = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$.

On suppose l'échangeur thermique parfaitement calorifugé et réversible.

1) Écrire les deux premier principes de la thermodynamique sur un système fermé qui s'appuie sur l'échangeur thermique ouvert.

Correction

Le premier principe appliqué à l'échangeur complet (parfaitement calorifugé, sans pièces mobiles) englobant les deux canaux affirme que :

$$\Delta h = 0 \quad \Rightarrow \quad h_s - h_e = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{h_2 + h_4 - h_1 - h_3 = 0}$$

Le second principe (réversible et calorifugé) donne

$$\Delta s = s_c \quad \Rightarrow \quad \boxed{s_2 + s_4 - s_1 - s_3 = 0}$$

2) Déterminer T_2 et T_4.

Correction

Puisque $\delta h = c_p \Delta T$, le premier principe donne :

$$T_2 + T_4 - T_1 - T_3 = 0$$

Avec l'expression de l'entropie donnée dans l'énoncé, on obtient :

$$c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + c_p \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) = 0 \quad \Rightarrow \quad T_2 T_4 = T_1 T_3$$

On isole T_2 :

$$T_2 + \frac{T_1 T_3}{T_2} - (T_1 + T_3) = 0 \quad \Rightarrow \quad T_2^2 - (T_1 + T_3)\, T_2 + T_1 T_3 = 0$$

La solution de cette équation polynomiale de degré 2 est :

$$\boxed{T_2 = T_3 = 8 \text{ °C} \quad \Rightarrow \quad T_4 = T_1 = 18 \text{ °C}}$$

3) En réalité, on mesure : $T_2 = 10$ °C et $T_4 = 16$ °C. Conclure : l'échangeur thermique est-il parfaitement calorifugé et réversible ? Calculer, le cas échéant, q_{ext} la chaleur massique échangée avec le milieu extérieur et s_c l'entropie massique créée.

Correction

On a toujours :

$$T_2 + T_4 - T_1 - T_3 = 0 \quad \Rightarrow \quad h_2 + h_4 - h_1 - h_3 = \boxed{0 = q_{ext}}$$

Il n'y a donc aucune transfert avec le milieu extérieur. On en déduit que l'échangeur n'est pas réversible :

$$c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + c_p \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) = s_c \quad \text{avec :} \quad c_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \times \frac{R}{M}$$

Ainsi,

$$\boxed{s_c = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \times \frac{R}{M} \ln\left(\frac{T_2 T_4}{T_1 T_3}\right) = 2{,}0 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}}$$