

TD4 – Systèmes ouverts

1 Bilan énergétique de l'écoulement d'un fluide

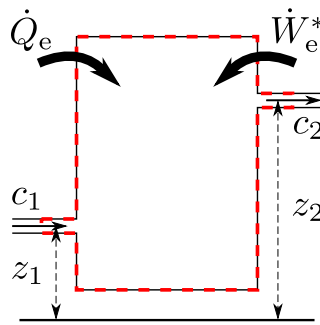


Figure 1: Écoulement d'un fluide.

Un fluide pénètre par l'entrée en 1 d'un volume de contrôle (Σ) à la vitesse c_1 et à l'altitude z_1 par rapport au sol, et sort de (Σ) en 2 à la vitesse c_2 et à l'altitude z_2 (voir fig. 1). On désignera par u , h , ν et P respectivement l'énergie interne massique, l'enthalpie massique, le volume massique et la pression du fluide. Entre les instants t et $t + dt$, il pénètre dans (Σ) une masse dm_1 du fluide, et il sort une masse dm_2 . (Σ) reçoit du milieu extérieur une chaleur δQ_e et un travail δW_e^* , autre que celui des forces de pression. Écrire le bilan généralisé des transferts énergétiques en régime permanent.

2 Turboréacteur

Un turboréacteur, destiné à la propulsion d'avions, fonctionne suivant la suite de transformations suivante : l'air est comprimé dans un compresseur calorifugé ; il traverse ensuite une chambre de combustion où il subit un échauffement isobare ; puis il se détend dans une turbine calorifugée ; enfin, il traverse une tuyère de section variable, calorifugée et indéformable, où il acquiert une vitesse importante c_s .

L'installation fonctionne en régime stationnaire. On néglige l'énergie potentielle de pesanteur dans toute l'installation, ainsi que l'énergie cinétique, partout sauf à la sortie de la tuyère. L'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29 \text{ g mol}^{-1}$ et l'on prendra $\gamma = 7/5$, $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

1. Exprimer les chaleurs massiques c_v et c_p en fonction de M , R et γ .
2. Sachant que les températures en entrée et sortie de tuyère valent $T_4 = 955 \text{ K}$ et $T_5 = 735 \text{ K}$, déterminer c_s .
3. Exprimer la puissance \dot{W}_{comp} reçue pour un débit massique \dot{m} de gaz pendant son transfert dans le compresseur en fonction des températures d'entrée et de sortie, T_1 et T_2 , \dot{m} , M , R et γ .

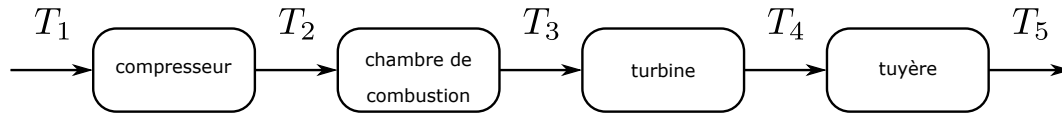


Figure 2: Turboréacteur.

4. Exprimer la puissance \dot{W}_{turb} reçue par le gaz pendant son transfert dans la turbine en fonction des températures d'entrée et de sortie, T_3 et T_4 , \dot{m} , M , R et γ .
5. Sachant que la puissance récupérée dans la turbine sert exactement à entraîner le compresseur, déterminer T_2 en fonction de T_1 , T_3 et T_4 . Application numérique : $T_1 = 288 \text{ K}$, $T_3 = 1123 \text{ K}$ et $T_4 = 955 \text{ K}$.
6. Soit \dot{Q} la puissance reçue pour un débit \dot{m} de gaz pendant son transit dans la chambre de combustion. Déterminer le rendement thermodynamique du turboréacteur, défini par

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}\dot{m}c_s^2}{\dot{Q}}.$$

3 Débit massique d'eau dans un condensateur

Un condensateur utilise du fréon comme réfrigérant. Le fréon entre sous forme vapeur pour sortir sous forme liquide, grâce à un refroidissement réalisé au moyen d'un serpentin d'eau. Lorsque le régime permanent est établi, les caractéristiques de l'eau en entrée et en sortie du condensateur sont respectivement,

- En entrée : $h_e = 42 \text{ kJ kg}^{-1}$ (T_e à déterminer) ;
- En sortie : $h_s = 83.9 \text{ kJ kg}^{-1}$ et $T_s = 20^\circ \text{C}$.

La quantité de chaleur échangée par unité de temps (\dot{Q}) entre l'eau et le fréon est de 3.9 kW . En considérant d'une part que les variations d'énergie cinétique et potentielle sont négligeables, et que le condensateur est isolé thermiquement, calculer le débit massique de l'eau de refroidissement ainsi que la température de l'eau à l'entrée (T_e).

Donnée : chaleur massique de l'eau $c_e = 4.185 \text{ kJ kg}^{-1}$.

4 Échangeur avec changement d'état

Un échangeur thermique assure le transfert thermique d'un fluide qui constitue le réseau primaire à un second qui constitue le réseau secondaire. Si l'on suppose l'échangeur parfaitement calorifugé, c'est qu'il n'y a aucun échange de chaleur avec le milieu extérieur. Dans ce cas la chaleur reçue par l'un correspond à la chaleur cédée par l'autre. On appelle puissance utile de l'échangeur, la chaleur reçue par unité de temps par le secondaire.

Le primaire d'un échangeur contre-courant est de la vapeur d'eau à la température $T_1^e = 100^\circ \text{C}$ et de débit massique $\dot{m}_1 = 0.05 \text{ kg s}^{-1}$. On considérera la pression constante et égale à 1 bar.

Le secondaire de l'échangeur est un courant d'eau liquide de débit massique $\dot{m}_2 = 0.25 \text{ kg s}^{-1}$, sous une pression de 1 bar, entrant à $T_2^e = 10^\circ \text{C}$ et sortant à $T_2^s = 30^\circ \text{C}$.

On considérera que les variations d'énergie cinétique et potentielle sont négligeables.

1. En sortie de primaire, la vapeur d'eau est-elle entièrement condensée ?
2. La condensation n'étant pas totale, calculer la proportion d'eau et de vapeur en sortie de primaire.
3. Calculer le débit d'eau dans le secondaire qui permettrait la condensation totale de la vapeur d'eau dans le primaire.

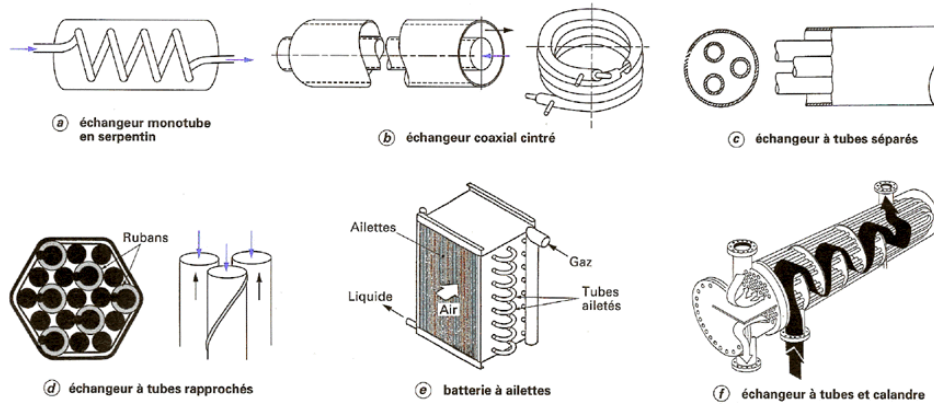


Figure 3: Échangeurs.

Données : la chaleur massique de l'eau vaut $c_e = 4.185 \text{ kJ kg}^{-1}$ et sa chaleur latente de condensation à pression atmosphérique $L_{\text{cond}} = 2260 \text{ kJ kg}^{-1}$.

5 Chauffe-eau

Un chauffe-eau électrique a une capacité de $V = 200 \text{ L}$. Un agitateur permet d'uniformiser la température dans le chauffe-eau. La température de sortie d'eau est donc celle de l'eau à l'intérieur du chauffe-eau.

Calculer la puissance électrique nécessaire pour réchauffer en régime permanent un débit d'eau froide de $\dot{q}_v = 10 \text{ L min}^{-1}$ de la température $T_1 = 17^\circ\text{C}$ à la température $T_2 = 62^\circ\text{C}$.

Donnée : chaleur massique de l'eau $c_e = 4.185 \text{ kJ kg}^{-1}$.