

### A - Régime permanent

**Exercice 1.** Une alimentation en eau chaude, fonctionnant en *régime permanent*, a deux entrées et une sortie. Par l'une des entrées, arrive de la *vapeur d'eau* à une certaine pression, à une température assez élevée et à un débit massique de 40 kg/s. Par l'autre entrée, arrive de l'*eau liquide* à la même pression et à une température légèrement supérieure à la température ambiante à travers une conduite dont la section a une aire de 25 cm<sup>2</sup>. A la sortie, on récupère de l'*eau liquide* à la même pression et à un *débit volumique* de 0,06 m<sup>3</sup>/s. On rappelle que le débit volumique est le volume qui traverse par unité de temps une section droite d'une conduite.

1. Exprimer le *débit massique* en fonction du *débit volumique*.
2. Déterminer les débits massiques de l'eau liquide à l'entrée et à la sortie.
3. Déterminer la vitesse de l'eau liquide à l'entrée.

**Exercice 2.** Une pompe fonctionnant en régime permanent délivre de l'eau liquide à travers une conduite cylindrique terminée par un convergent. La section de sortie a une aire de 5 cm<sup>2</sup> et se trouve à 5,5 m au dessus du niveau de la conduite d'entrée dont la section a une aire de 10 cm<sup>2</sup>. La pression est de 1 bar aussi bien à l'entrée qu'à la sortie, et la température est constante et égale à 20°C. La puissance requise pour cette opération est de 5,871 kW. On donne  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

1. Etablir l'équation satisfaite par le débit massique.
2. Vérifier qu'un débit de 15 kg/s est solution de l'équation précédente. En déduire les vitesses correspondantes à l'entrée et à la sortie.

**Exercice 3.** De l'air entre dans un compresseur à une pression de 1 bar, une température de 290 K et une vitesse de 6 m/s à travers une entrée dont la section a une aire de 0,1 m<sup>2</sup>. A la sortie, la pression est de 7 bars, la température de 450 K et la vitesse de 2 m/s. Le transfert de chaleur du compresseur vers le milieu extérieur est de 180 kJ/mn. Le compresseur fonctionne en *régime permanent*. L'air, de masse molaire  $M = 29 \text{ g/mol}$  et de  $\gamma = 1,4$ , est un *gaz parfait*.

1. Déterminer le *débit massique* de l'air.
2. Déterminer en kW la *puissance absorbée* par le compresseur.

**Exercice 4.** De l'azote entre dans une turbine sous une pression de 25 bars et une température de 650°C avec une vitesse de 160 m/s. A la sortie, l'azote quitte la turbine sous une pression de 1 bar et une température de 120°C avec une vitesse de 100 m/s. En *régime permanent*, la turbine développe un travail de 540 kJ par kg d'azote circulant à travers la turbine. La température moyenne de la surface de la turbine à travers laquelle a lieu l'échange de chaleur avec le milieu extérieur est de 350 K. L'azote, gaz diatomique de masse molaire  $M = 28 \text{ g/mol}$ , est supposé être un *gaz parfait*. On donne  $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ .

1. Calculer en kJ/kg la *chaleur échangée* par la turbine avec le milieu extérieur.
2. Effectuer le *bilan entropique* du fonctionnement de la turbine.

**Exercice 5.** A l'altitude où se trouve un avion, l'air atmosphérique est à la température de  $-45^{\circ}\text{C}$  et à la pression de 60 kPa. Cet air entre à la vitesse de 900 km/h dans le *diffuseur* d'admission du turboréacteur de l'avion, dont l'*efficacité isentropique* est de 90%. A la sortie du diffuseur, fonctionnant en *régime permanent*, la pression de l'air est de 85 kPa. On donne  $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ , masse molaire de l'air  $M = 29 \text{ g/mol}$  et  $\gamma = 1,4$ .

1. Entre quelles formes la conversion de l'énergie a-t-elle eu lieu au sein du diffuseur ? Citer deux autres dispositifs dans lesquels a lieu la même conversion.
2. Déterminer la vitesse et la température de l'air à la sortie du diffuseur.

**Exercice 6.** Une turbine, opérant en *régime permanent* et d'une manière adiabatique, reçoit de l'air à la pression de 3 bars et à la température de 390 K. A la sortie de la turbine, la pression de l'air est de 1 bar. On mesure le travail développé par cette turbine. On trouve que le travail développé est de 75 kJ par kg d'air circulant à travers la turbine. Déterminer le *rendement isentropique* de cette turbine. On néglige les variations des énergies cinétique et potentielle. On donne  $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ , masse molaire de l'air  $M = 29 \text{ g/mol}$  et  $\gamma = 1,4$ .

## B - Régime transitoire

**Exercice 7.** Un récipient de forme cylindrique de section de base  $A = 0,2 \text{ m}^2$  est alimenté en eau liquide à l'aide d'un robinet avec un débit massique de 7 kg/s. A travers une petite conduite horizontale située à la base du cylindre, cette eau s'écoule avec un débit massique de  $aL$  où  $a = 1,4$  et  $L$  la *hauteur instantanée* de l'eau dans le récipient. Le récipient est initialement vide.

1. Déterminer  $L$  en fonction du temps et représenter ses variations.
2. L'eau peut-elle déborder si la hauteur du récipient est de 5 m? Commenter.

**Exercice 8.** On remplit rapidement un réservoir à l'aide d'un compresseur à air avec de l'air ambiant à  $t_0 = 21^{\circ}\text{C}$  et à  $P_0 = 1 \text{ bar}$ . Le volume du réservoir est de  $0,28 \text{ m}^3$  et contient initialement de l'air à la même température et à la même pression. Durant l'opération de remplissage, la *pression*  $P$  de l'air dans le réservoir est lié au *volume massique*  $v$  de cet air par la relation  $Pv^n = \text{const}$ . L'air est assimilé à un gaz parfait. Le volume d'air dans le compresseur peut être négligé devant celui de l'air contenu dans le réservoir. On néglige les variations des énergies cinétique et potentielle.

1. Exprimer la pression  $P$  et la température  $T$  de l'air contenu dans le réservoir en fonction de  $m/m_0$  où  $m$  est la masse de l'air dans le réservoir à l'instant  $t$  et  $m_0$  sa masse à l'instant  $t = 0$ .
2. Déterminer le travail  $W$  nécessaire à cette compression en fonction de  $m/m_0$ .
3. *Application numérique.* Calculer  $m_0$  ainsi que  $P$ ,  $T$  et  $W$  pour  $m/m_0 = 2$  et  $n = 1,4$  sachant que  $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ , masse molaire de l'air  $M = 29 \text{ g/mol}$  et  $\gamma = 1,4$ . Energies internes massiques de l'air :  $u(21^{\circ}\text{C}) = 209,8 \text{ kJ/kg}$  et  $u(114,9^{\circ}\text{C}) = 277,5 \text{ kJ/kg}$ . Enthalpie massique de l'air :  $h(21^{\circ}\text{C}) = 294,2 \text{ kJ/kg}$ .