

MEC1210 THERMODYNAMIQUE

ENSEIGNANT: MARTIN GARIÉPY
BUREAU: JAB-5067
TELEPHONE: (514)340-4711 ext. 7450
COURRIEL: martin.gariepy@polymtl.ca

SEPTEMBRE 2011

D'après les notes de cours de Pr. Huu Duc Vo



Chapitre 5: 1er principe de la thermodynamique (systèmes ouverts)

OBJECTIFS

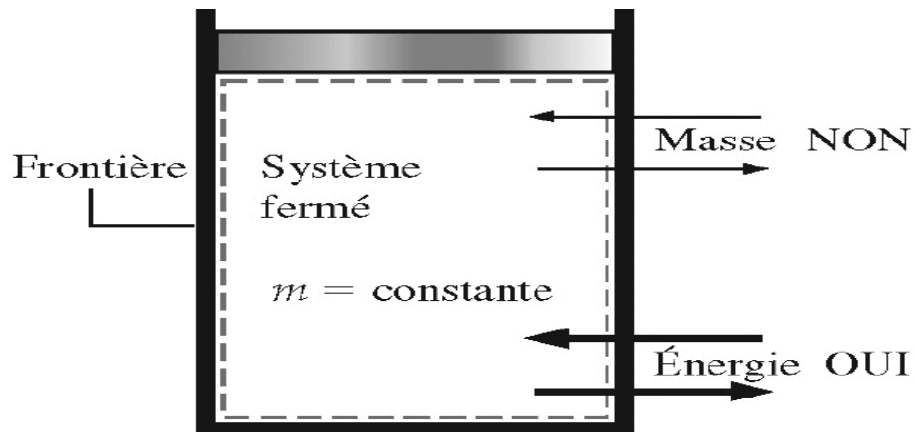
- Développer et maîtriser les **principes de conservation de la masse et de l'énergie** dans un volume de contrôle.
- Appliquer ces principes aux écoulements dans les systèmes suivants: les tuyères, les diffuseurs, les turbines, les compresseurs et les échangeurs de chaleur.



Rappel:

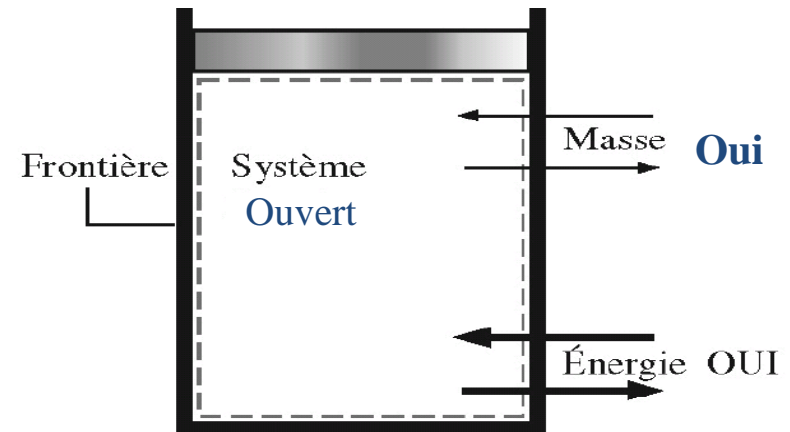
- **système fermé:**

Quantité de matière fixe, frontière imperméable à la masse, mais perméable à l'énergie (chaleur ou travail)



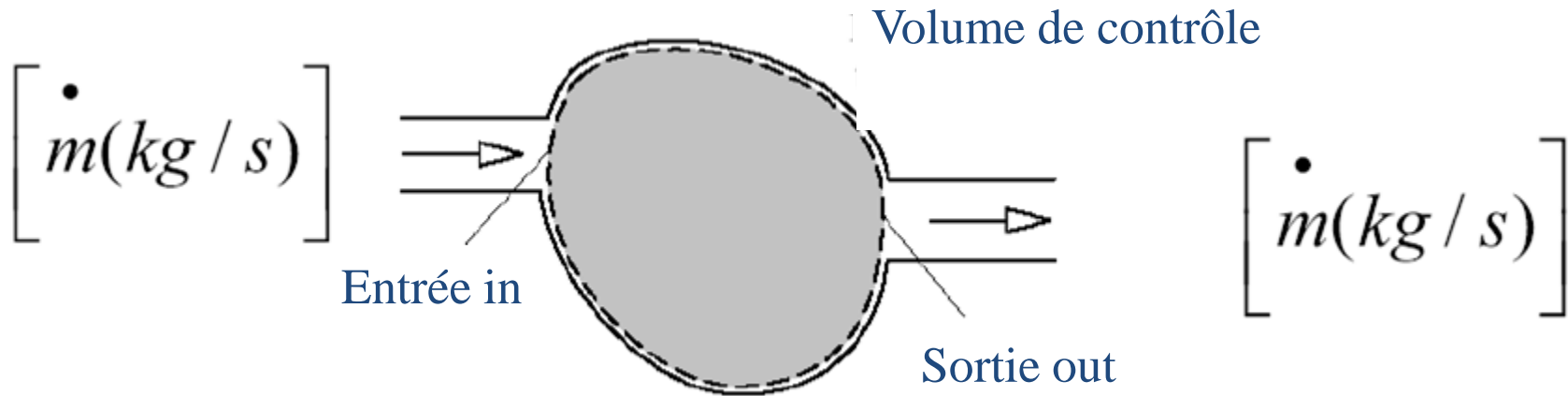
- **système ouvert:**

Frontière perméable à la masse et à l'énergie



Conservation de la masse

- Rien ne se perd et rien ne se crée
- Débit massique: $\dot{m} = \rho V A_n$

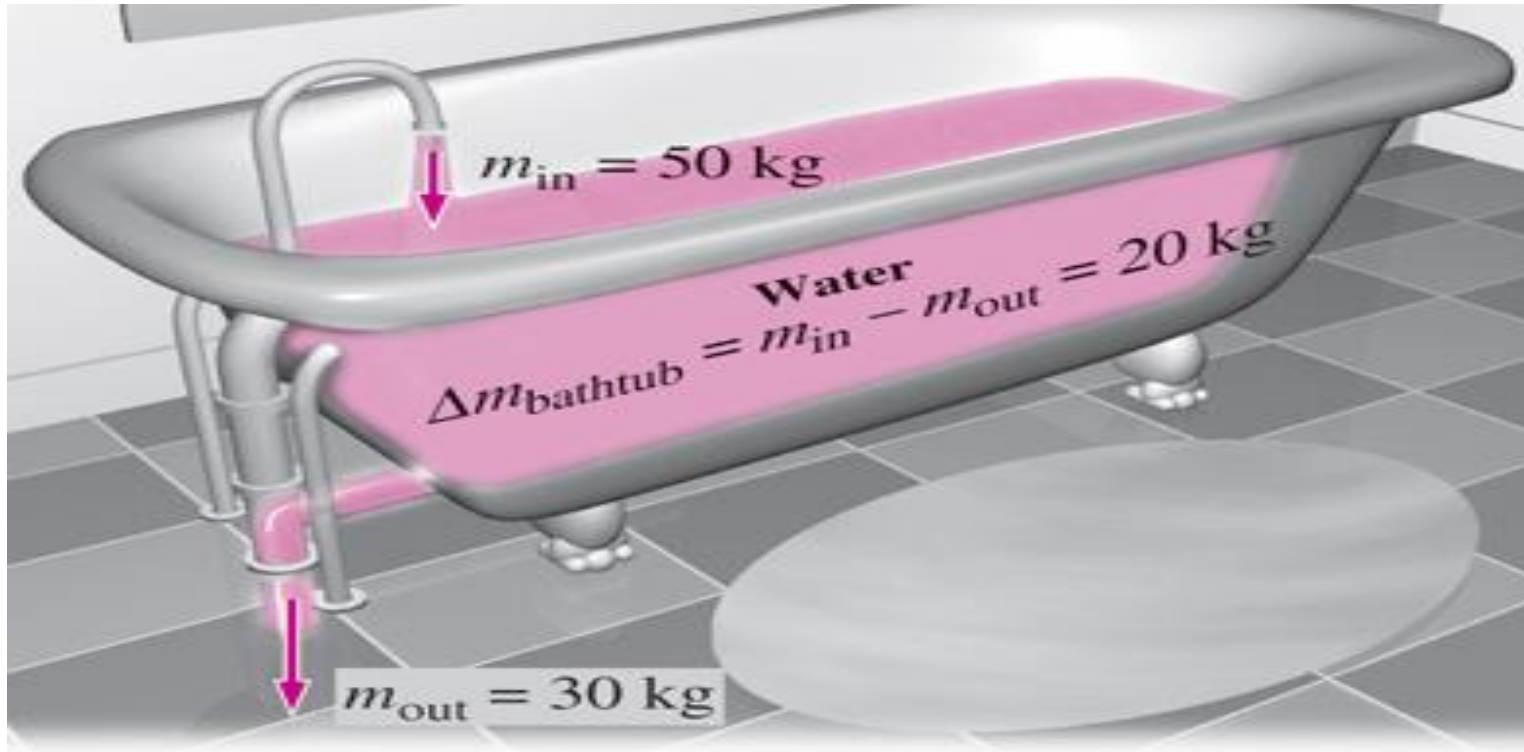


Conservation de la masse pour un système

ouvert: $\Delta m_{CV} = m_{in} - m_{out}$



Exemple

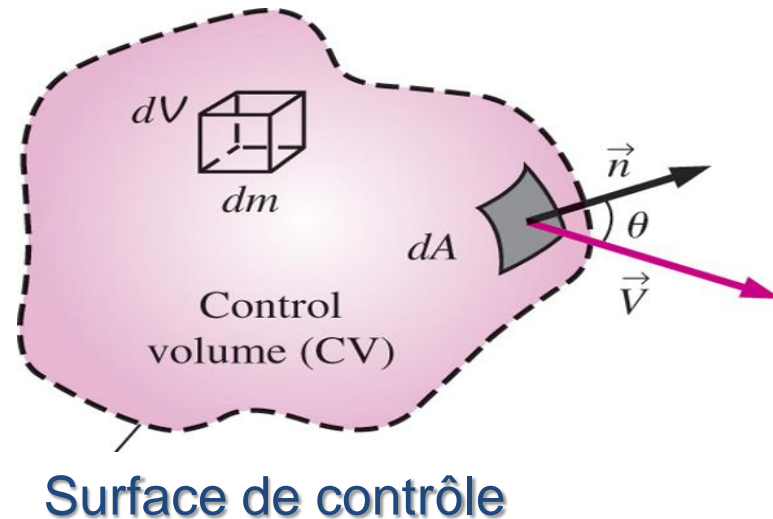


Conservation de la masse

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = V \cos \theta \begin{cases} \geq 0 \text{ si } \theta \leq 90^\circ \text{ (écoulement sortant)} \\ \leq 0 \text{ si } \theta \geq 90^\circ \text{ (écoulement entrant)} \end{cases}$$

$$\delta \dot{m} = \rho V_n dA = \rho V \cos \theta dA = \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA$$

$$\dot{m}_{net} = \int_{SC} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA$$



Conservation de la masse

- Conservation de la masse (Volumes de contrôles arbitraires)

$$\underbrace{\frac{d}{dt} \int_{VC} \rho dV}_{\text{taux de changement de masse du système}} + \underbrace{\int_{SC} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA}_{\text{débit de masse net traversant la frontière}} = 0$$

- Conservation de la masse (in and out)

$$\frac{d}{dt} \int_{VC} \rho dV + \sum_{out} \int_{SC} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA - \sum_{in} \int_{SC} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = 0$$



Débit volumique

- Débit volumique

$$\dot{V} = \int_{VC} V_n dA = VA_n$$

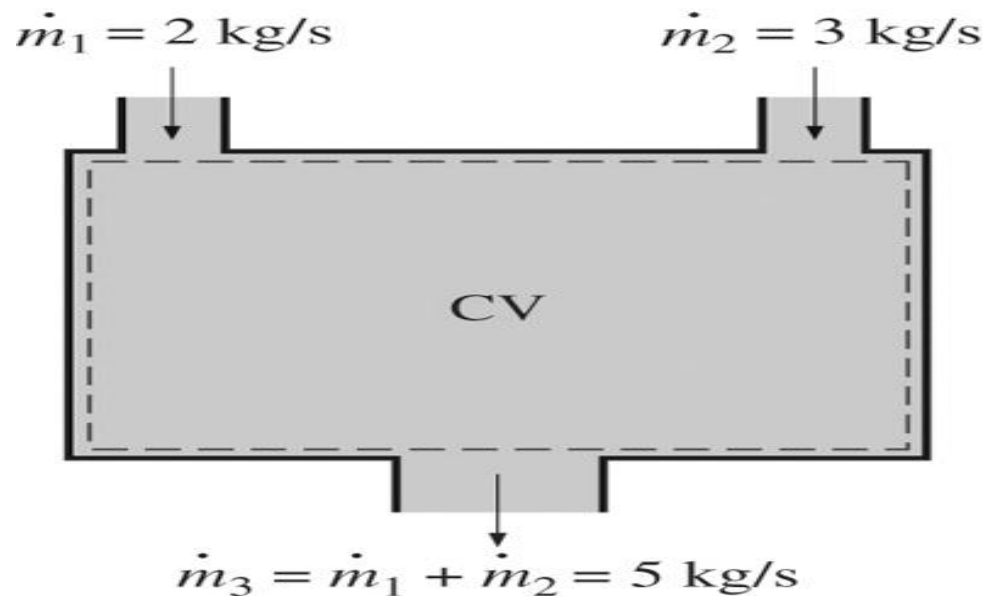
- Relation entre débit massique et débit volumique

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\nu}$$



ÉCOULEMENT EN RÉGIME PERMANENT

$$\left(\frac{dm}{dt} \right)_{VC} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \Rightarrow \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$



ÉCOULEMENT EN RÉGIME PERMANENT

□ Incompressible

□ Une entrée et une sortie

□ Exemple: Une tuyère

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow (\rho VA)_1 = (\rho VA)_2$$



EXEMPLE #1, p. 190

On utilise un tuyau d'arrosage terminé par une lance pour remplir un seau de 50 L. Le diamètre interne du tuyau est de 2 cm, alors que celui de la lance est de 0.8 cm. Le seau est rempli en 50 s. Déterminez:

- Le débit volumique et le débit massique de l'eau dans le tuyau
- La vitesse moyenne de l'écoulement à la sortie de la lance

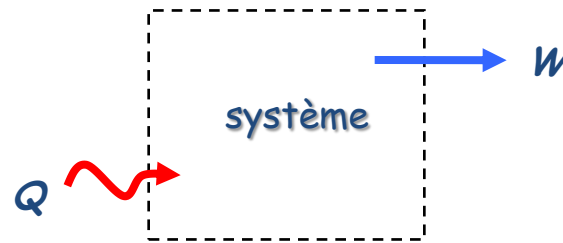
EXEMPLE #2, p.190

Un réservoir d'eau cylindrique ouvert, ayant une hauteur d'eau de 1.2 m et un diamètre de 1 m, est vidangé par une petite ouverture de 1 cm de diamètre située au bas du réservoir. La vitesse moyenne du jet d'eau expulsé de $V = \sqrt{2gh}$, où h est la hauteur de la surface d'eau mesuré du centre de l'ouverture et g est l'accélération gravitationnelle. Déterminez le temps nécessaire pour que le niveau d'eau descende à 60 cm du fond du réservoir.



Bilan d'énergie

système fermé (révision)



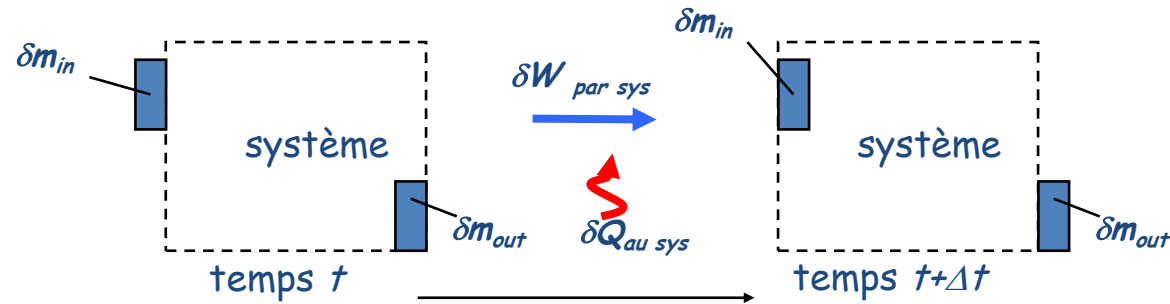
changement
d'énergie du
système = transfert de
chaleur au -
système travail fait
par
système

$$\Delta E_{sys} = Q_{au\ sys} - W_{par\ sys} = E_{in} - E_{out}$$



Bilan d'énergie

- Forme simplifiée (système ouvert)



$$\left[\begin{array}{c} \text{changement} \\ \text{d'énergie du} \\ \text{système} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{transfert de} \\ \text{chaleur } \underline{\text{au}} \\ \text{système} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{travail fait } \underline{\text{par}} \\ \text{système} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{énergie du fluide} \\ \text{entrant } (\delta m_{in}) \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{énergie du fluide} \\ \text{sortant } (\delta m_{out}) \end{array} \right]$$

on doit maintenant quantifier ces termes ←



Bilan d'énergie

- Le travail fait par un écoulement est donné par:

$$W_{\text{écoulement}} = pV \quad [\text{kJ}]$$

- L'énergie totale d'un écoulement est donné par:

$$\theta = Pv + e = Pv + \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad [\text{kJ/kg}]$$



Bilan d'énergie

- Le bilan d'énergie devient alors:

$$\dot{E}_{sys} = \dot{Q}_{au_{sys}} - \dot{W}_{par_{sys}} + \dot{m}_{in} \theta_{in} - \dot{m}_{out} \theta_{out}$$



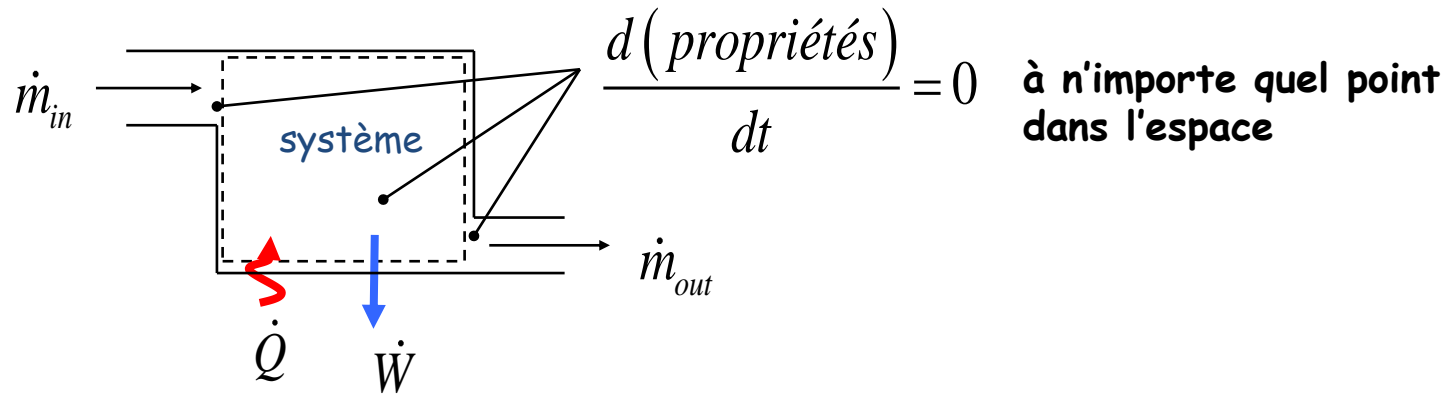
Exemple p. 200

De la vapeur d'eau s'échappe par l'orifice de 8 mm^2 d'un autocuiseur de 4 L pressurisé à 150 kPa. On observe que la quantité de liquide a diminué de 0.6 L, 40 min après que les conditions en régime permanent ont été atteintes. Déterminez:

- Le débit massique et la vitesse de la vapeur qui s'échappe
- L'énergie totale de l'écoulement et l'énergie d'écoulement de la vapeur par unité de masse
- La puissance évacuée par la vapeur.



Écoulement en régime permanent



- Conséquence d'un écoulement en régime permanent

- $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$
- $E_{in} = E_{out}$
- $Q = cste$
- $W = cste$



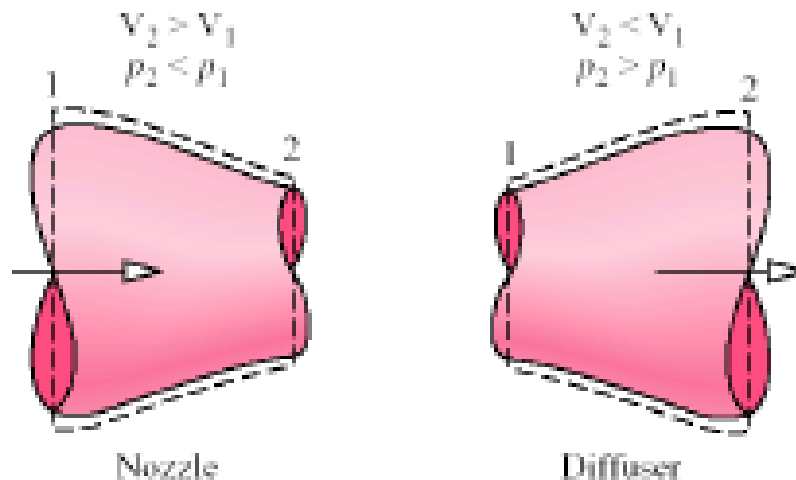
APPLICATIONS

- Tuyère et diffuseur
- Turbine, compresseur et pompe
- Échangeur de chaleur
- Étrangleur et valve



APPLICATIONS

- Tuyère et Diffuseur



- **TUYÈRE:** conduit rétrécissant en vue d'accroître la vitesse d'écoulement d'un fluide.
- **DIFFUSEUR:** conduit évasé en vue d'augmenter la pression d'écoulement d'un fluide.



Exemple p. 199

Un écoulement d'air à 80 kPa et à 10°C pénètre dans le diffuseur d'une turbine à gaz avec une vitesse de 200 m/s. L'aire d'entrée du diffuseur est de 0.4 m². L'air ressort du diffuseur avec une vitesse très petite par rapport à sa vitesse d'entrée. Déterminez

1. Le débit massique d'air
2. La température de l'air à la sortie du diffuseur



Exemple p. 200

De la vapeur d'eau à 400°C et à 1.6MPa entre dans une tuyère dont la section est 0.02m^2 . le débit massique de la vapeur est 5kg/s . la vapeur sort de la tuyère à 1.2MPa avec une vitesse de 275m/s . la chaleur perdue par la tuyère au profit du milieu extérieur est de 2.7kJ/Jg .

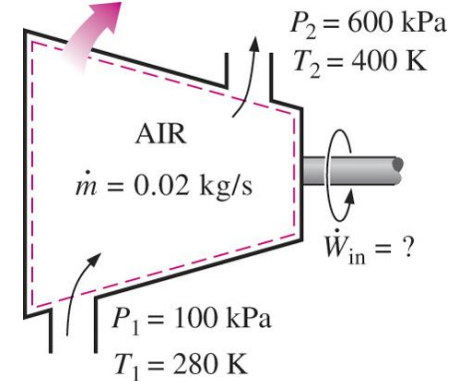
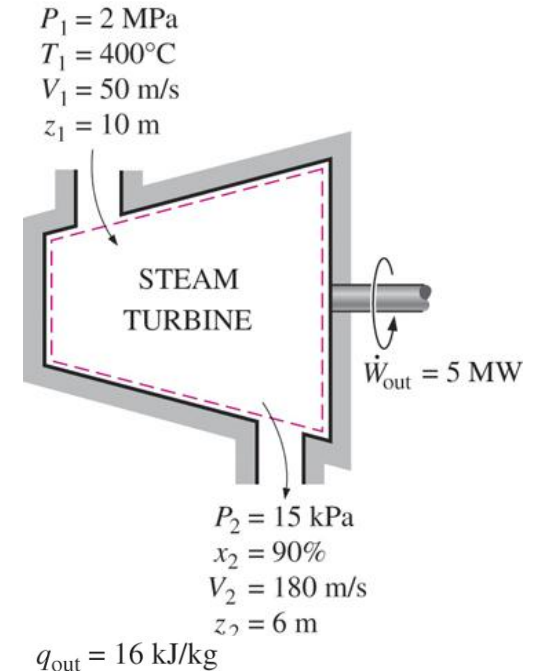
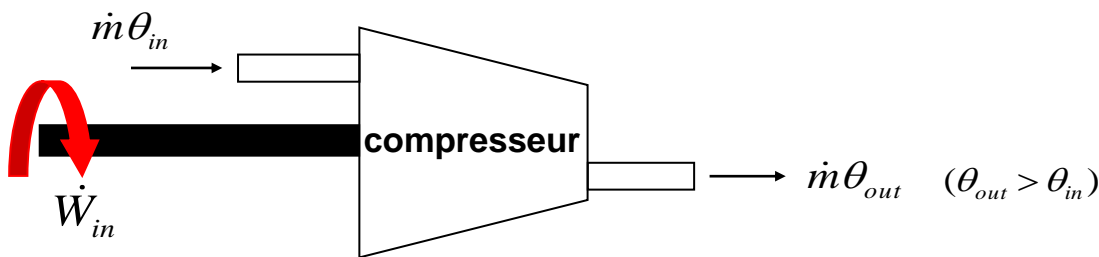
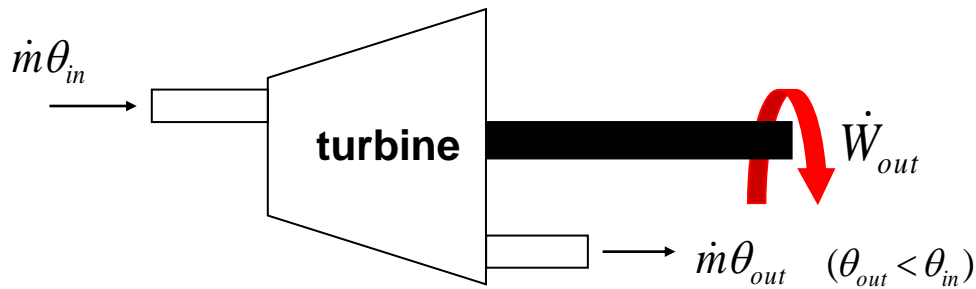
Déterminez:

- a) La vitesse de la vapeur à l'entrée
- b) La température de la vapeur à la sortie



APPLICATIONS

- Turbines, pompes et compresseurs



Exemple p. 201

De l'air à 100 kPa et 280 K est comprimé à 600 kPa et à 400 K. Le débit massique d'air est de 0.02 kg/s, et le compresseur perd 16 kJ/kg de chaleur pendant l'évolution. Déterminez la puissance requise du compresseur. Vous pouvez supposer les variations d'énergie cinétique et potentielle négligeable.

Exemple p. 202

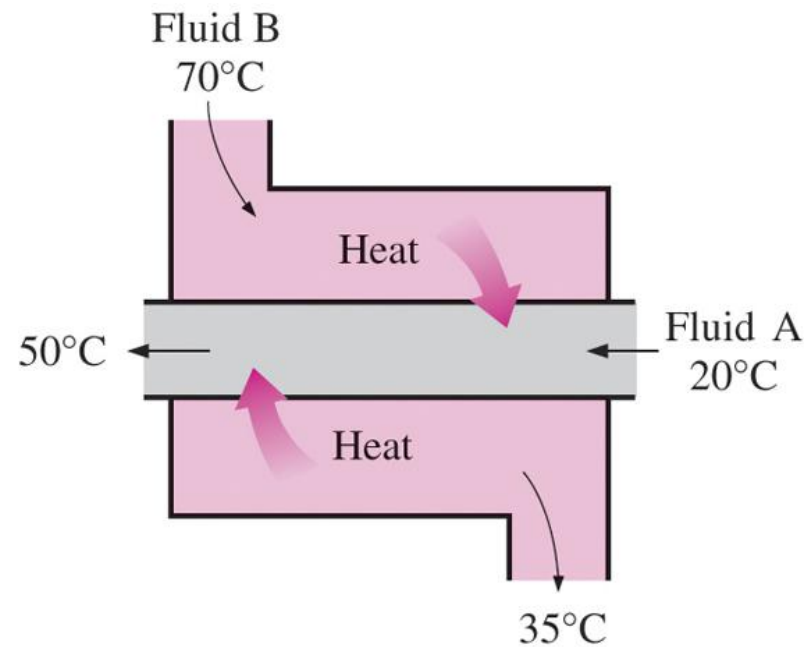
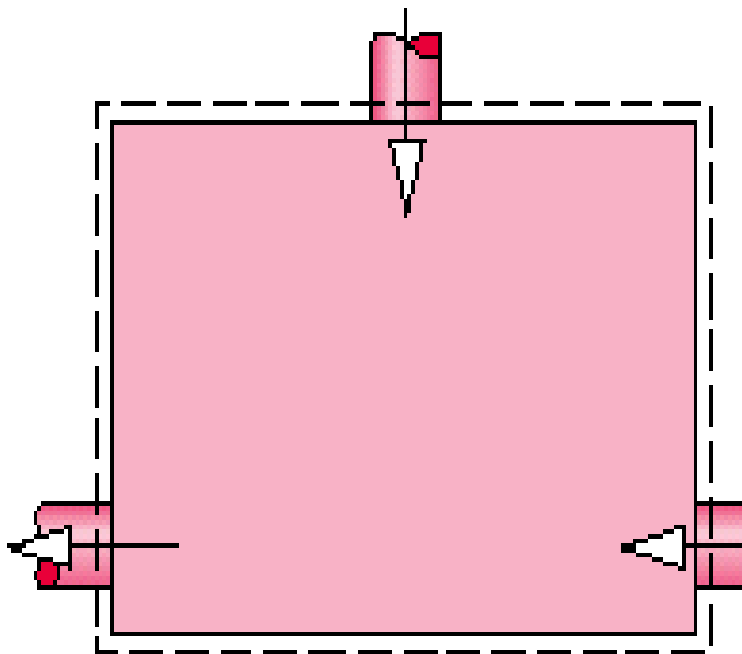
Une turbine à vapeur produit 5 MW. Les conditions en entrées sont une pression de 2 Mpa, une température de 400 °C, une vitesse de 50 m/s et une hauteur de 10 m. Les conditions en sortie sont une pression de 15 kPa, une vitesse de 180 m/s, un titre de 90%, une hauteur de 6 m.

- Comparez les grandeurs des variations d'énergie cinétique, potentielle et d'enthalpie.
- Déterminez le travail produit par unité de masse de vapeur
- Calculez le débit massique de la vapeur.



APPLICATIONS

- Échangeur de chaleur (Chambres de mélanges)



Exemple p. 205

Soit une chambre de mélange d'une douche. Elle admet de l'eau chaude provenant du chauffe-eau à $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ et l'eau froide provenant de l'aqueduc à $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La pression dans la chambre de mélange est de 150 kPa . Déterminez le rapport entre les débits d'eau chaude et d'eau froide pour que la température de l'eau à la sortie de la chambre soit de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Exemple p. 207

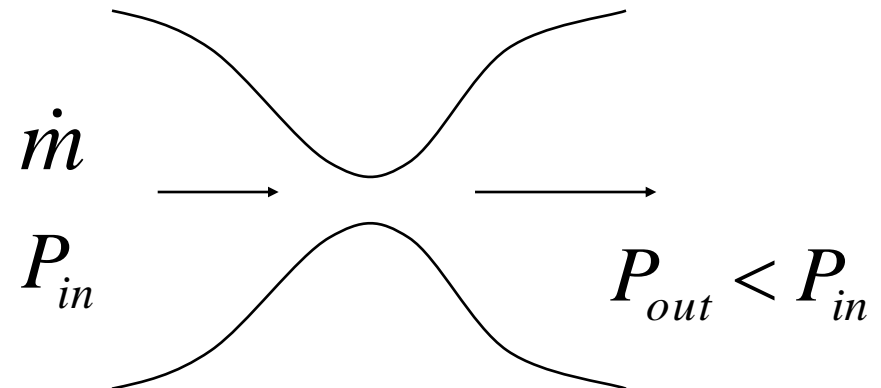
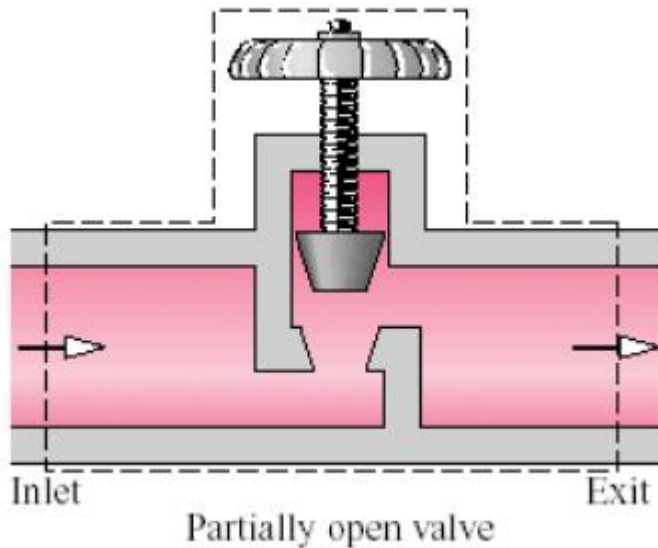
Soit un échangeur de chaleur utilisé pour refroidir l'écoulement de réfrigérant R-134a avec de l'eau. Le réfrigérant entre dans le condensateur à 1 Mpa et à 70 °C avec un débit de 6 kg/min. Il en ressort à 35 °C. D'autre part, l'eau pénètre dans l'échangeur à 300 kPa et 15 °C, et en ressort à 25 °C. Déterminez:

- Le débit massique de l'eau
- La puissance thermique transmise du réfrigérant à l'eau



APPLICATIONS

- Étrangleurs et valves



Exemple p. 204

Un écoulement de réfrigérant R-134A sous forme de liquide saturé entre dans un tube capillaire à la pression de 800 kPa et en ressort à 120 kPa. Déterminez le titre du mélange à la sortie de la soupape ainsi que la chute de température au cours de la détente.



LECTURE SECTION DU LIVRE

Sections 5.1 à 5.4 du livre, «THERMODYNAMIQUE, une approche pragmatique», Y.A. Çengel, M.A. Boles et M. Lacroix, Chenelière-McGraw-Hill, 2008.

