MEC1210 - Heures 12 à 17

I) <u>Introduction</u>: définition et utilité de la thermodynamique

II) Notions de base et définitions

III) 1er principe de la thermodynamique (systèmes fermés)

IV) Propriétés des corps purs, simples et compressibles

V) 1er principe de la thermodynamique (systèmes ouverts)

heures 12,13 →
- ***Conservation de la masse***
- ***Bilan d’énergie***
- *Écoulement permanent*

VI) 2ème principe de la thermodynamique

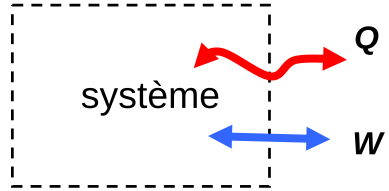
VII) Entropie

VIII) Cycles thermodynamiques communs

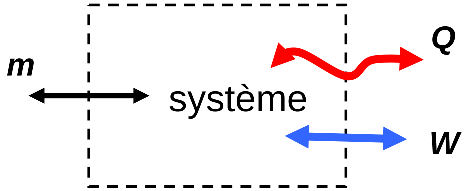
IX) Mélanges non réactifs

V) Analyse des systèmes ouverts

<u>Révision</u>: i) système fermé: quantité de matière fixe, frontière <u>*imperméable*</u> à la masse, mais perméable à l'énergie (chaleur ou travail)

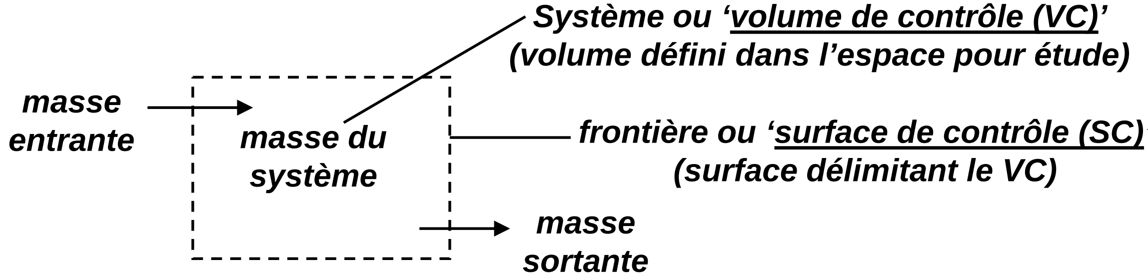


ii) système ouvert: frontière <u>***perméable***</u> à la masse et à l'énergie



1) <u>Conservation de la masse</u>

a) <u>Relation simplifiée</u>



a) forme simplifiée (cont.)

$$\begin{pmatrix}\text{changement} \\ \text{net de la masse} \\ \text{du système en} \\ \text{temps } \Delta t\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}\text{masse entrante} \\ \text{en temps } \Delta t\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\text{masse sortante} \\ \text{en temps } \Delta t\end{bmatrix}$$

(Δm_{sys}) (δm_{in}) (δm_{out})

analogie: $\begin{pmatrix}\textbf{changement net de} \\ \textbf{la balance du} \\ \textbf{compte bancaire en} \\ \textbf{temps } \boldsymbol{\Delta t}\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}\textbf{argent déposé en} \\ \textbf{temps } \boldsymbol{\Delta t}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\textbf{argent retiré en} \\ \textbf{temps } \boldsymbol{\Delta t}\end{bmatrix}$

$$\Delta m_{sys} = \delta m_{in} - \delta m_{out}$$

$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta m_{sys}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\delta m_{in}}{\Delta t} - \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\delta m_{out}}{\Delta t}$$

$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\delta m_{in}}{\Delta t} = \frac{dm_{in}}{dt} = \dot{m}_{in} =$ **débit massique entrant**

$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\delta m_{out}}{\Delta t} = \frac{dm_{out}}{dt} = \dot{m}_{out} =$ **débit massique sortant**

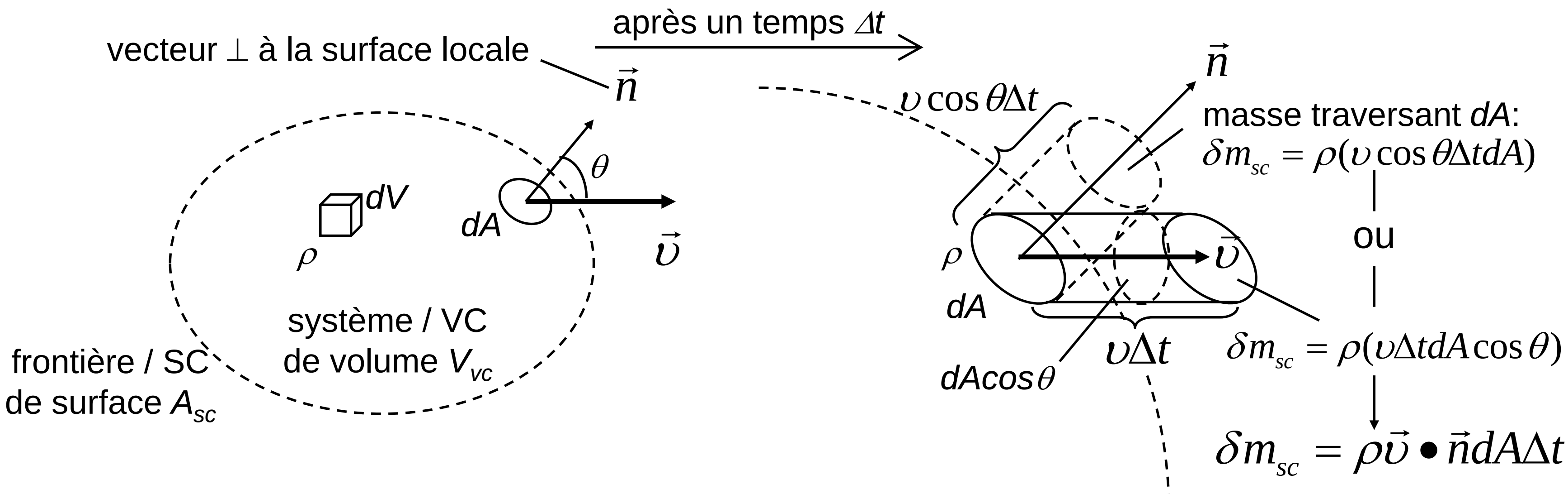
$$\boxed{\frac{dm_{sys}}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}}$$

conservation de masse (forme simplifiée)
une entrée/une sortie

$$\boxed{\frac{dm_{sys}}{dt} = \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in} - \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}}$$

conservation de masse (forme simplifiée)
multiples entrées et sorties

b) Relation générale



i) masse dans le système:

$$m_{sys} = \int_{V_{vc}} \rho dV \rightarrow \frac{dm_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV$$

ii) masse traversant la frontière:

$$m_{sc} = \int_{A_{sc}} \delta m_{sc} = \int_{A_{sc}} \rho\vec{\upsilon}\bullet\vec{n}dA\Delta t = \Delta t\int_{A_{sc}} \rho\vec{\upsilon}\bullet\vec{n}dA$$

$$\dot{m}_{sc} = \frac{dm_{sc}}{dt} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{m_{sc}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta t}{\Delta t}\int_{A_{sc}} \rho\vec{\upsilon}\bullet\vec{n}dA = \int_{A_{sc}} \rho\vec{\upsilon}\bullet\vec{n}dA$$

Note: $\vec{n}$ **toujours pointé vers l'extérieur**

$-90^o < \theta < 90^o\,(\vec{\upsilon}\bullet\vec{n} > 0)$: **débit sortant**

$-90^o, 90^o\,(\vec{\upsilon}\bullet\vec{n} = 0)$: **débit zéro**

$90^o < \theta < 270^o\,(\vec{\upsilon}\bullet\vec{n} < 0)$: **débit entrant**

b) Relation générale (cont.)

iii) conservation de la masse:

$$\frac{dm_{sys}}{dt} = -\dot{m}_{sc}$$

car $\dot{m}_{sc}$ est positif pour débit sortant

$$\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV = -\int_{A_{sc}} \rho \vec{\upsilon} \bullet \vec{n} dA$$

$$\boxed{\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV + \int_{A_{sc}} \rho \vec{\upsilon} \bullet \vec{n} dA = 0}$$

$$\boxed{\underbrace{\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV}_{} + \underbrace{\int_{A_{sc}} \rho \upsilon_n dA}_{} = 0} \rightarrow \boxed{\upsilon_n \equiv \vec{\upsilon} \bullet \vec{n}}$$

conservation de masse (forme générale)

taux de changement de masse du système + **débit de masse net traversant la frontière** = 0

où υ_n est la composante de $\vec{\upsilon}$ parallèle à $\vec{n}$ c'est-à-dire ⊥ à la frontière locale

système → $\vec{n}$, → υ_n — υ_n positif, débit sortant

système → $\vec{n}$, υ_n ← — υ_n négatif, débit entrant

c) <u>cas spéciaux (simplifications)</u>

i) <u>écoulement permanent</u>: aucun changement de propriété avec le temps pour n'importe quel point dans l'espace, donc, la conservation de masse devient:

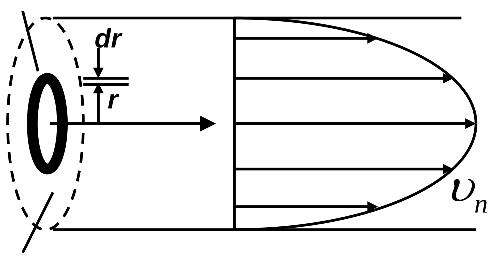
<u>note</u>: m_{sys} est une propriété, $\dot{m}_{in}, \dot{m}_{out}$ sont des interactions et non des propriétés

forme simplifiée: $$\cancelto{0}{\frac{dm_{sys}}{dt}} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = 0 \rightarrow \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

forme générale: $$\cancelto{0}{\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV} + \int_{A_{sc}} \rho \upsilon_n dA = 0 \rightarrow \int_{A_{sc}} \rho \upsilon_n dA = 0$$

ii) <u>écoulement dans un tube</u> (cas le plus commun dans ce cours)

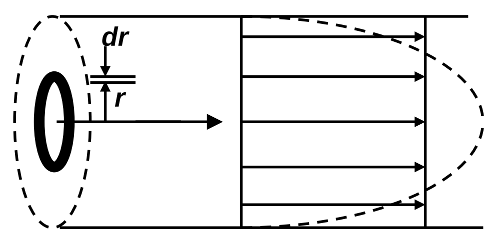
$dA = 2\pi r dr$



$\upsilon_n = \upsilon_n(r)$

frontière (aire *A*)

υ *(moyenne)*



Dans ce cas , ρ est aprrox. uniforme sur *A* mais υ_n est une fonction de *r.* On définit alors une vitesse υ moyenne (uniforme) qui donnerait le même débit

c) cas spéciaux (cont.)

ii) écoulement dans un tube (cont.)

$$\dot{m}_{sc} = \rho\upsilon A = \int_A \rho\upsilon_n dA = \rho\int_A \upsilon_n dA \longrightarrow$$

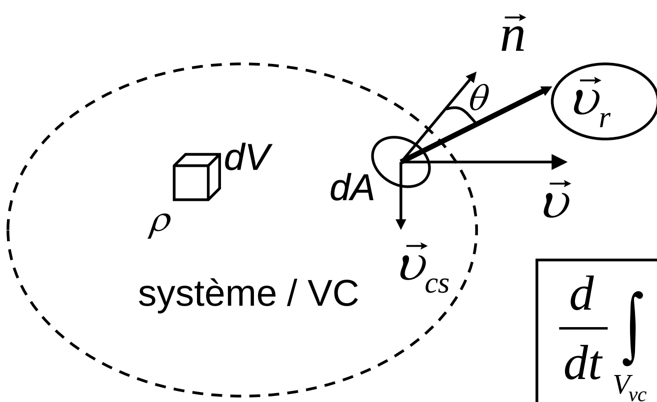
notez que:

$$\boxed{\int_A \upsilon_n dA = \upsilon A = \dot{V} = \text{ débit volumétrique}}$$

$$\upsilon = \frac{1}{A}\int_A \upsilon_n dA$$

$$\boxed{\dot{m}_{sc} = \rho\upsilon A = \frac{\upsilon A}{v}} \longrightarrow \boxed{\dot{m}_{sc} = \rho\dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}}$$

d) surface de contrôle en mouvement



vitesse *relative* à la surface

$$\vec{\upsilon}_r = \vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_{cs}$$

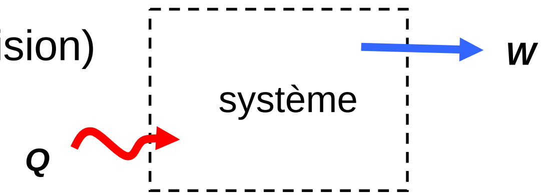
$$\boxed{\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho dV + \int_{A_{sc}} \rho\upsilon_{rn} dA = 0} \longrightarrow \boxed{\upsilon_{rn} \equiv \vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}}$$

exemple 1 (classe): débits entrants et sortant d'un mélangeur

2) Bilan d'énergie (1er principe de la thermo. pour systèmes ouverts)

a) Forme simplifiée

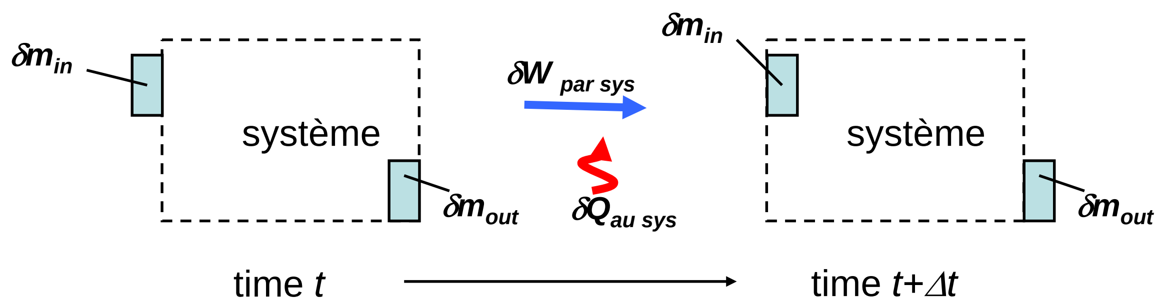
système fermé (révision)



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

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

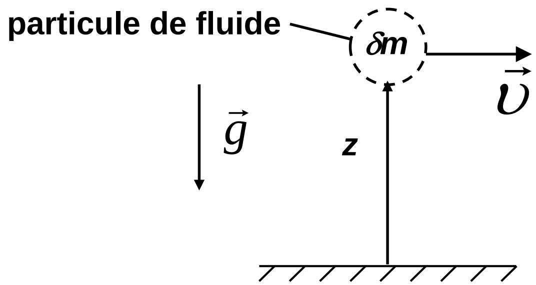
système ouvert



[changement d'énergie du système] = [transfert de chaleur ***au*** système] - [travail fait ***par*** système] + [énergie du fluide entrant (δm_{in})] - [énergie du fluide sortant (δm_{out})]

on doit maintenant quantifier ces termes

a) Forme simplifiée (cont.)



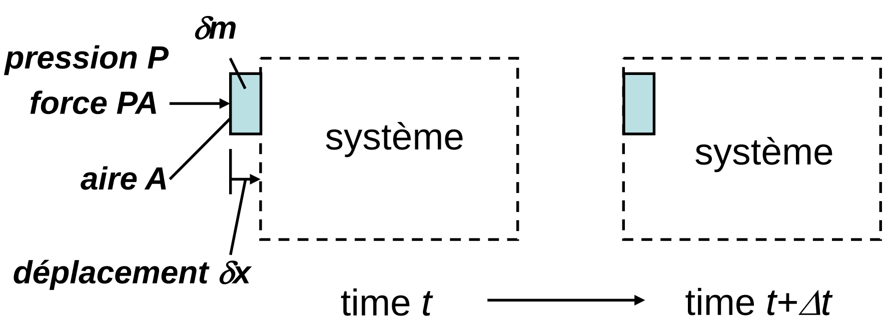
énergie d’un fluide (e_f):

$$E_f = U + E_c + E_p = \delta m u + \frac{1}{2}\delta m \upsilon^2 + \delta m g z$$

$$e_f = \frac{E_f}{\delta m} = u + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz$$

Le bilan d’énergie devient alors: $\Delta E_{sys} = \delta Q_{\substack{au\\sys}} - \delta W_{\substack{par\\sys}} + \delta m_{in} e_{fin} - \delta m_{out} e_{fout}$

Mais il faut tenir compte d’un travail particulier associé à l’écoulement entrant/sortant:



Travail fait sur système (δW_e) pour pousser la quantité de masse δm de δx dans le système en temps Δt :

$$\delta W_e = force \cdot déplacement$$

$$\delta W_e = PA \cdot \delta x = P(A\delta x)$$

$$\delta W_e = P\delta V = P v \delta m$$

“*<u>Travail d’écoulement</u>*” (w_e) ⟵ $w_e = \frac{\delta W_e}{\delta m} = Pv$

- ***positif*** **pour δm_{in} (w_e <u>sur</u> système)**
- ***négatif*** **pour δm_{out} (w_e <u>par</u> système)**

a) Forme simplifiée (cont.)

En séparant le travail traditionnel et d'écoulement, le bilan d'énergie devient:

$$\Delta E_{sys} = \delta Q_{\substack{au\\sys}} - \Big[\underbrace{\delta W_{\substack{par\\sys}}}_{\substack{\textbf{travail traditionnel}\\\textbf{(PdV, électrique,…)}\\\textbf{comme pour système}\\\textbf{fermé}}} + \underbrace{\delta m_{out}(Pv)_{out} - \delta m_{in}(Pv)_{in}}_{\substack{\textbf{travail}\\\textbf{d'écoulement}}} \Big] + \delta m_{in} e_{fin} - \delta m_{out} e_{fout}$$

$$e_f = u + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz$$

$$\Delta E_{sys} = \delta Q_{\substack{au\\sys}} - \delta W_{\substack{par\\sys}} + \delta m_{in}(\underbrace{Pv+u}_{h\ (enthalpie)} + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)_{in} - \delta m_{out}(Pv+u+\frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)_{out}$$

On définit ***l'énergie totale d'un fluide*** ***(θ)*** : $\boxed{\theta \equiv h + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz}$

Ce qui donne: $\Delta E_{sys} = \delta Q_{\substack{au\\sys}} - \delta W_{\substack{par\\sys}} + \delta m_{in}\theta_{in} - \delta m_{out}\theta_{out}$

Prenons la limite $\Delta t \to 0$ pour mettre le bilan d'énergie en terme de taux:

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta E_{sys}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\delta Q_{\substack{au\\sys}}}{\Delta t} - \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\delta W_{\substack{par\\sys}}}{\Delta t} + \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\delta m_{in}}{\Delta t}\theta_{in} - \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\delta m_{out}}{\Delta t}\theta_{out}$$

$$\boxed{\dot{E}_{sys} = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} + \dot{m}_{in}\theta_{in} - \dot{m}_{out}\theta_{out}}$$

bilan d'énergie (forme simplifiée)
(une entrée/une sortie)

a) Forme simplifiée (cont.)

$$\dot{E}_{sys} = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} + \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\theta_{in} - \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}\theta_{out}$$

bilan d'énergie (forme simplifiée) (multiples entrées et sorties)

<u>notes</u>: - en mettant le travail d'écoulement (***Pv***) dans le terme θ pour l'énergie du fluide entrant/sortant pour ainsi utiliser ***h*** <u>au lieu de</u> ***u***, dans le bilan d'énergie d'un système ouvert, on inclut implicitement ce travail.

- donc, le terme $\dot{W}_{par\ sys}$ ne représente que les mêmes types de travail (PdV, électrique, …) qu'on a vu pour un système fermé.

<u>forme simplifiée alternative</u>:

$$\dot{E}_{sys} = \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}$$

<u>où</u>

$$\dot{E}_{in} \equiv \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\theta_{in}$$

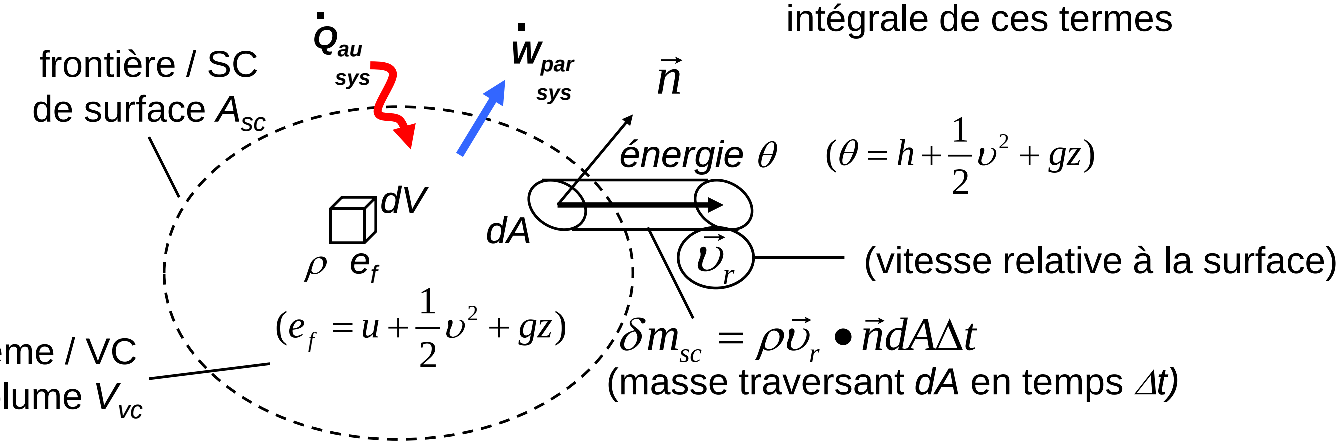
$$\dot{E}_{out} \equiv \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}\theta_{out}$$

2) Bilan d'énergie (1^{er} principe de la thermo. pour systèmes ouverts)

b) Forme générale

forme simplifiée: $$\dot{E}_{sys} = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} + \dot{m}_{in}\theta_{in} - \dot{m}_{out}\theta_{out}$$

Il faut trouver la forme intégrale de ces termes



i) taux de change d'énergie du système:

$$E_{sys} = \int_{V_{vc}} e_f \rho dV$$

$$\dot{E}_{sys} = \frac{dE_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho e_f dV = \frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho(u + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)dV$$

b) Forme générale (cont.)

ii) énergie du fluide entrant/sortant:

$$\delta m_{out}\theta_{out} - \delta m_{in}\theta_{in} = \int_{A_{sc}} \delta m_{sc}\theta = \int_{A_{sc}} \rho\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA\Delta t\theta = \Delta t \int_{A_{sc}} \rho\theta\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA$$

$$\underline{\dot{m}_{out}\theta_{out}} - \dot{m}_{in}\theta_{in} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta t}{\Delta t}\int_{A_{sc}} \rho\theta\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA = \int_{A_{sc}} \rho\theta\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA$$

$$\underline{\dot{m}_{in}\theta_{in}} - \dot{m}_{out}\theta_{out} = -\int_{A_{sc}} \rho(h + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA$$

<u>note</u>: si la frontière est fixe

$$\vec{\upsilon}_r = \vec{\upsilon}$$

Le bilan d'énergie devient alors:

$$\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho(u + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)dV = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} - \int_{A_{sc}} \rho(h + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA$$

$$\boxed{\frac{d}{dt}\int_{V_{vc}} \rho(u + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)dV + \int_{A_{sc}} \rho(h + \frac{1}{2}\upsilon^2 + gz)\vec{\upsilon}_r \bullet \vec{n}dA = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}}}$$

bilan d'énergie (forme générale)

<u>exemple 2</u> (en classe): bilan d'énergie pour maison chauffée

Où on en est

I) <u>Introduction</u>: définition et utilité de la thermodynamique

II) Notions de base et définitions

III) 1er principe de la thermodynamique (systèmes fermés)

IV) Propriétés des corps purs, simples et compressibles

V) 1er principe de la thermodynamique (systèmes ouverts)

- Conservation de la masse
- Bilan d'énergie
- Écoulement permanent

heures 14-17 ⇨

VI) 2ème principe de la thermodynamique

VII) Entropie

VIII) Cycles thermodynamiques communs

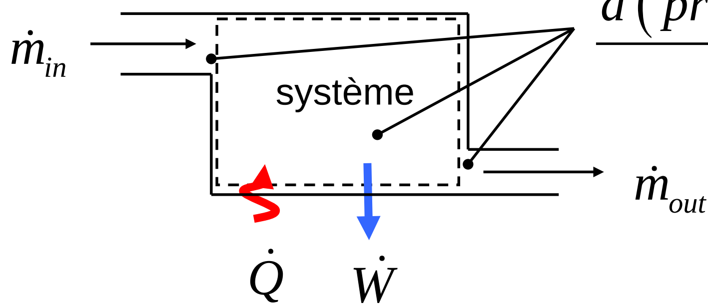
IX) Mélanges non réactifs

V) Analyse des systèmes ouverts (cont.)

3) Écoulement permanent

a) Définition:

Situation où il n'y a aucun changement de propriétés avec le temps à n'importe quel point dans l'espace.



$$\frac{d\left(propriétés\right)}{dt} = 0$$

à n'importe quel point dans l'espace

notes: - $\boldsymbol{E_{sys}}$, $\boldsymbol{V_{sys}}$, $\boldsymbol{m_{sys}}$ sont toutes des propriétés, ainsi que les propriétés des à fluides entrants et sortant et sont donc toutes constantes dans le temps pour une situation d'écoulement permanent, ce qui veut dire que:

$$\dot{E}_{sys} \equiv \frac{dE_{sys}}{dt} = 0 \;,\; \dot{m}_{sys} \equiv \frac{dm_{sys}}{dt} = 0 \text{ et } \frac{dV_{sys}}{dt} = 0 \text{ (travail PdV=0)}$$

- Cependant, $\dot{Q}, \dot{W}, \dot{m}_{in}, \dot{m}_{out} \neq 0$ car ce sont des ***interactions*** et pas des propriétés. Mais le fait que les propriétés sont constantes dans l'espace implique en général que ces interactions soient aussi constantes

b) Conservation de masse et bilan d'énergie pour écoulement permanent

conservation de la masse:

$$\cancelto{0}{\frac{dm_{sys}}{dt}} = \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in} - \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}$$

$$\boxed{\sum^{\#entrées} \dot{m}_{in} = \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}}$$

bilan d'énergie:

$$\cancelto{0}{\dot{E}_{sys}} = \dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} + \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\theta_{in} - \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}\theta_{out}$$

$$\boxed{\dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} = \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}\theta_{out} - \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\theta_{in}}$$

ou

$$\boxed{\underbrace{\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\theta_{in}}_{\dot{E}_{in}} = \underbrace{\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum^{\#sorties} \dot{m}_{out}\theta_{out}}_{\dot{E}_{out}}}$$

b) Conservation de masse et bilan d'énergie pour écoulement permanent (cont.)

Pour un système avec une entrée et une sortie

conservation de la masse: $$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$$

$$\rho_{in}\upsilon_{in}A_{in} = \rho_{out}\upsilon_{out}A_{out} = \dot{m}$$

bilan d'énergie: $$\dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} = \dot{m}_{out}\theta_{out} - \dot{m}_{in}\theta_{in}$$

$$\dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} = \dot{m}\left(h_{out} + \frac{\upsilon_{out}^2}{2} + gz_{out}\right) - \dot{m}\left(h_{in} + \frac{\upsilon_{in}^2}{2} + gz_{in}\right)$$

$$\dot{Q}_{\substack{au\\sys}} - \dot{W}_{\substack{par\\sys}} = \dot{m}\left[\underbrace{(h_{out} - h_{in})}_{\boldsymbol{\Delta h}} + \underbrace{\frac{(\upsilon_{out}^2 - \upsilon_{in}^2)}{2}}_{\boldsymbol{\Delta e_c}} + \underbrace{g(z_{out} - z_{in})}_{\boldsymbol{\Delta e_p}}\right]$$

notes:

- Δh : tables ou $c_{p\ moyenne}(T_{out}-T_{in})$ pour gaz parfait
- Δe_c: **s**i $\upsilon_{out} \approx \upsilon_{in}$, Δe_c peut être négligeable lorsque υ_{out} et υ_{in} sont petites, mais non négligeable lorsque υ_{out} et υ_{in} sont grandes
- Δe_p: seulement important s'il y a un changement d'hauteur (Δz) important

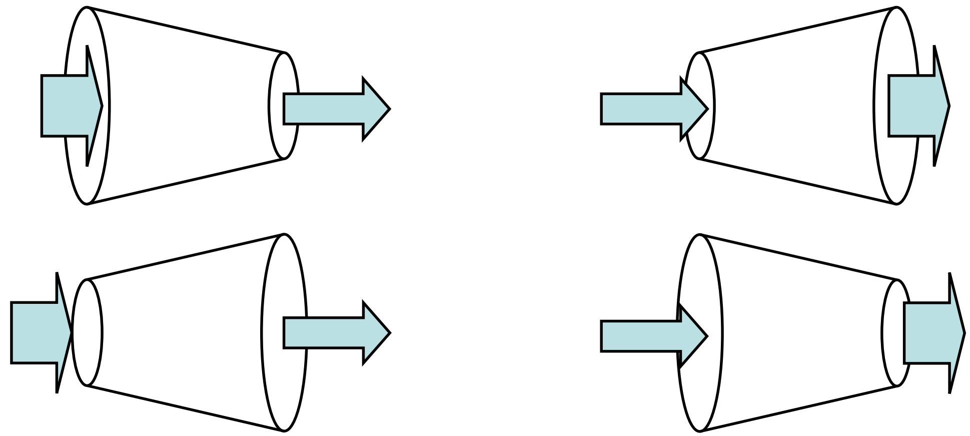
c) <u>Dispositifs communs à écoulement permanent</u>

i) <u>Tuyères et diffuseurs</u>

Tuyères: $\upsilon\uparrow$, $P\downarrow$ — **Diffuseurs: $\upsilon\downarrow$, $P\uparrow$**

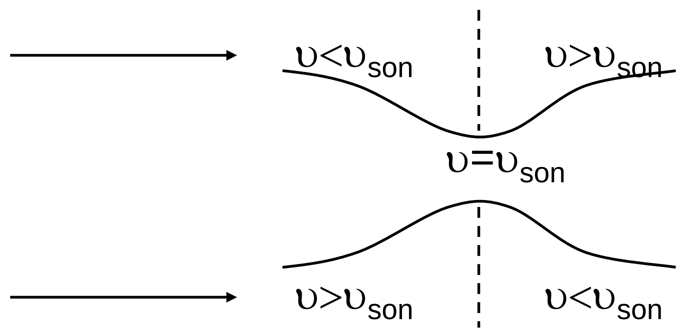
subsonique
($\upsilon<\upsilon_{son}$)

supersonique
($\upsilon>\upsilon_{son}$)



tuyère subsonique et supersonique

diffuseur supersonique et subsonique



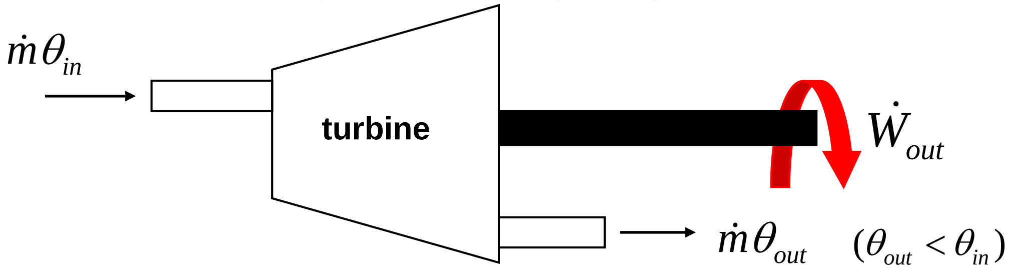
Pour les ***tuyères*** et ***diffuseurs***, on peut supposer, ***<u>à moins d'indication au contraire</u>***,que: $\dot{W} \approx 0,\ \dot{Q} \approx 0\ ,\ \Delta e_p \approx 0$

<u>exemple 3</u> (en classe): CBK&L, problème 5.31 (5.32 dans CB&L, 1ère éd., 5-37 dans C&B, 6ème éd.) (diffuseur)

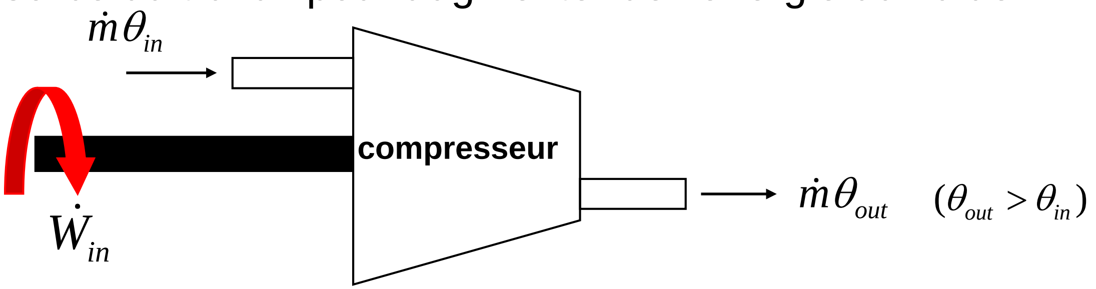
c) Dispositifs communs à écoulement permanent (cont.)

ii) Turbines et compresseurs

Turbine: extrait de l'énergie du fluide pour produire du travail



Compresseur: absorbe du travail pour augmenter de l'énergie du fluide



"pompe": compresseur pour liquide (~incompressible), W va à ΔP
"ventilateur": ΔP petit, W va à $\Delta\upsilon$ (fait bouger l'air)

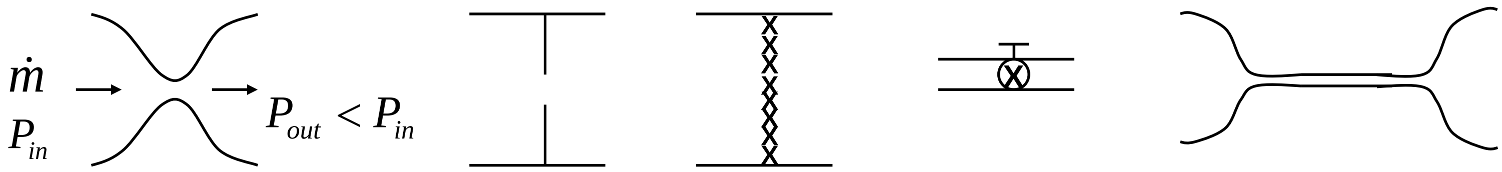
Pour les ***turbines*** et ***compresseurs***, on peut supposer, ***à moins d'indication au contraire***, que: $\dot{Q} \approx 0\,,\ \Delta e_c \approx 0,\ \Delta e_p \approx 0$

exemple 4 (en classe): compresseur de R134a

c) Dispositifs communs à écoulement permanent (cont.)

iii) <u>Étrangleurs et valves</u>

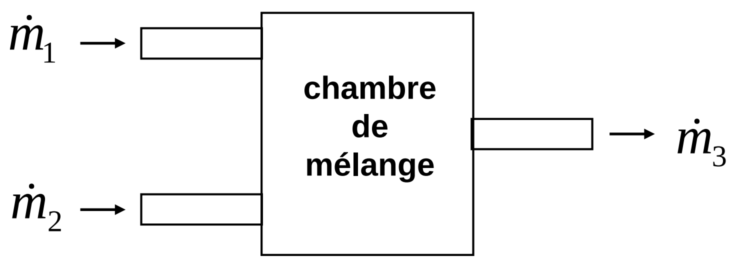
Dispositifs pour principalement faire tomber la pression sans transfert de chaleur, ni travail.



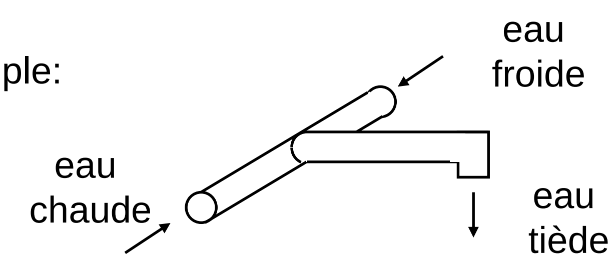
Pour les ***étrangleurs*** et ***valves***, on peut supposer, ***<u>à moins d'indication au contraire</u>***, que: $\dot{W} \approx 0\,,\ \dot{Q} \approx 0\,,\ \Delta e_c \approx 0,\ \Delta e_p \approx 0 \qquad \rightarrow h_{in} \approx h_{out}$

iv) <u>Chambres de mélanges</u>

Dispositifs pour mélanger deux écoulements de fluides.



Exemple:



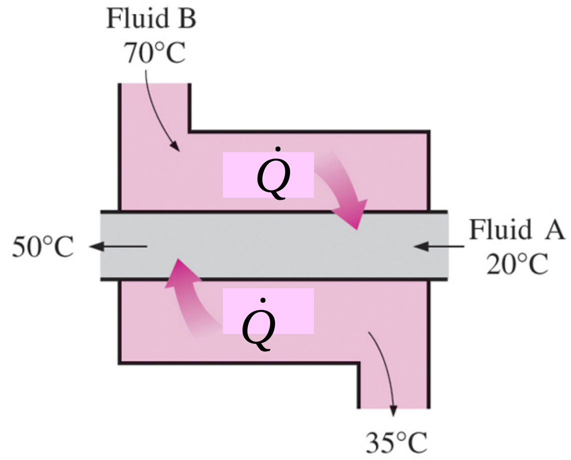
Pour ces dispositifs, on peut supposer, ***<u>à moins d'indication au contraire</u>***, que:

$$\dot{W} \approx 0\,,\ \dot{Q} \approx 0\,,\ \Delta e_c \approx 0,\ \Delta e_p \approx 0 \qquad \rightarrow \sum^{\#entrées} \dot{m}_{in} h_{in} \approx \Big(\sum^{\#entrées} \dot{m}_{in}\Big) h_{out}$$

c) Dispositifs communs à écoulement permanent (cont.)

v) Échangeurs de chaleurs

Dispositifs où deux écoulements de fluide s'échangent de la chaleur sans se mélanger. Donc, en régime permanent, le débit massique est constant pour chaque écoulement.



Pour ces dispositifs, on peut supposer, ***à moins d'indication au contraire***, que:

$$\Delta e_c \approx 0,\ \Delta e_p \approx 0,\ \dot{W} \approx 0 \text{ et } \dot{Q}_{\underline{avec\ l'extérieur}} \approx 0$$

exemple 5 (en classe): condenseur

Note: Il ne s'agit ***pas*** d'apprendre *par cœur* la procédure pour chaque dispositif, mais il faut *plutôt bien comprendre les concepts de conservation de masse et bilan d'énergie* et de les appliquer pour n'importe quel système.