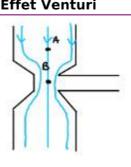
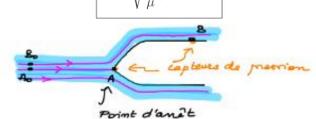
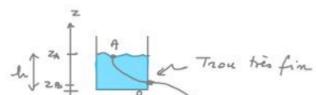


Étranglement local
 $z_A \approx z_B$
 Application du théorème de Bernoulli
 $p_A + \mu \frac{v_A^2}{2} \approx p_B + \mu \frac{v_B^2}{2}$
 Conservation du débit volumique
 $v_A S_A = v_B S_B$
 Diminution de pression dans l'étranglement
 $p_B \approx p_A - \mu \frac{v_A^2}{2} \left(\frac{S_A^2}{S_B^2} - 1 \right) < p_A$

Effet Venturi


Application du théorème de Bernoulli
 $p_A + \mu g z_A + \mu \frac{v_A^2}{2} = p_B + \mu g z_B + \mu \frac{v_B^2}{2}$
 Conservation du débit volumique
 $v_A S = v_B S$
Zones d'immobilité du fluide
 $p_A = p_0 + \mu g (z_A - z_A')$
 $p_B = p_0 + \mu g (z_B - z_B')$
Vitesse d'écoulement
 $v_A = \sqrt{\frac{2gh}{\frac{S^2}{S'^2} - 1}}$

Tube de Pitot
 $v \approx \sqrt{\frac{2}{\mu} (p_A - p_B)}$
 Vitesse relative du tube par rapport au fluide


Formule de Torricelli
 $v_B \approx \sqrt{2gh}$


ou en terme de puissance
 $\phi_m \cdot \Delta h_{AB} = p_{comp}$

Compresseur
 $\Delta h_{AB} = h_B - h_A = w_{comp}$

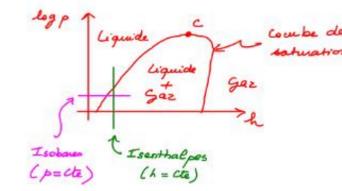
Condenseur
 $\Delta h_{BC} = h_C - h_B = q_{ch}$

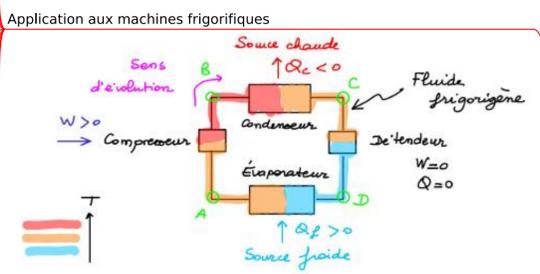
Détendeur
 $\Delta h_{CD} = 0$

Évaporateur
 $\Delta h_{DA} = h_A - h_D = q_{fr}$

Efficacité en fonctionnement réfrigérateur
 $\eta = \frac{q_{fr}}{w_{comp}} = \frac{h_A - h_D}{h_B - h_A}$

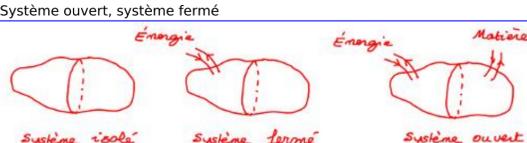
Efficacité en fonctionnement pompe à chaleur
 $\eta = -\frac{q_{ch}}{w_{comp}} = \frac{h_B - h_C}{h_B - h_A}$

Diagramme des frigorigères




Bilans macroscopiques

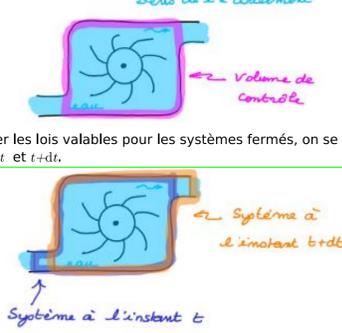
Système ouvert, système fermé



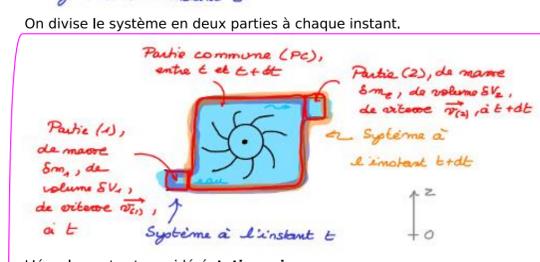
Système isolé
Système fermé
Système ouvert

Le système est a priori un **système ouvert**. On définit un **volume de contrôle** où se produisent les transferts énergétiques.

Cas d'un écoulement
 Pour pouvoir appliquer les lois valables pour les systèmes fermés, on se ramène à un **système fermé** entre t et $t+dt$.



Système à l'instant t
 Système à l'instant $t+dt$



L'écoulement est considéré **stationnaire**.

$\phi_m = Cte = \frac{\delta m_1}{dt} = \frac{\delta m_2}{dt}$ soit $\delta m_1 = \delta m_2 = \delta m$

On applique le **premier principe** au **système fermé** ainsi défini.

$dU + dE_c + dE_{pp} = \delta W + \delta Q$

$dU \approx U(t+dt) - U(t) = U_{(PC)}(t+dt) + U_{(2)} - U_{(PC)}(t) - U_{(1)} = U_{(2)} - U_{(1)}$

$dE_c \approx E_{c(2)} - E_{c(1)} = \frac{1}{2} \delta m v_{(2)}^2 - \frac{1}{2} \delta m v_{(1)}^2$

$\delta W = \delta W_{pression} + \delta W_{utile} = p_{(1)} \delta V_1 - p_{(2)} \delta V_2 + \delta W_{utile}$

Premier principe en version industrielle : Pour un écoulement **stationnaire**, traversant un volume de contrôle, le premier principe s'écrit :

$\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_{utile} + q$

$\phi_m (\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz)) = P_{utile} + P_{thermique}$

Les grandeurs sont massiques.

Enthalpie massique
 $h = \frac{1}{\delta m} (U + p\delta V) = \left(u + \frac{p}{\mu} \right)$

Énergie cinétique massique
 $e_c = \frac{v^2}{2}$

Travail utile massique
 $w_{utile} = \frac{\delta W}{\delta m}$

Transfert thermique massique
 $q = \frac{\delta Q}{\delta m}$

Les variations sont entre l'entrée et la sortie.

$\Delta h = h_{(2)} - h_{(1)}$
 $\Delta e_c = e_{c(2)} - e_{c(1)}$
 $\Delta(gz) = g(z_{(2)} - z_{(1)})$

Second principe en version industrielle : Pour un écoulement **stationnaire**, traversant un volume de contrôle, le second principe s'écrit :

$\Delta s = s_e + s_c$

Entropie massique
 s

Entropie d'échange massique
 s_c

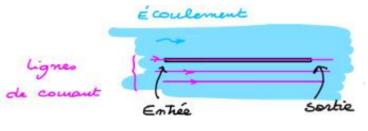
Entropie massique créée
 s_e

Modèle de l'écoulement parfait : un écoulement est dit parfait si on peut **négliger les phénomènes de diffusion** (viscosité, transfert thermique).

Théorème de Bernoulli : pour un écoulement **parfait, stationnaire, incompressible et homogène** (PSIH), si le fluide ne subit pas d'autres actions mécaniques que celle de la pesanteur et que l'axe Oz est ascendant, le long d'une ligne de courant,

$p + \mu \frac{v^2}{2} + \mu g z = Cte$

Cela traduit la **conservation de l'énergie mécanique volumique d'une particule de fluide** le long d'une ligne de courant.



Le système choisi reste fermé entre t et $t+dt$.

Bilan de quantité de mouvement
 $d\vec{p} \approx \vec{p}(t+dt) - \vec{p}(t) \approx m(t)d\vec{v} + \delta m\vec{u}$

Application du TQM
 $\frac{d\vec{p}}{dt} = m(t) \frac{d\vec{v}}{dt} + \phi_m \vec{u}$

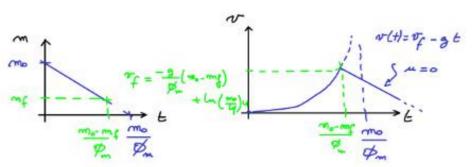
Bilan des forces
 $\sum_i \vec{F}_{i,ext} = m(t) \vec{g}$

Equation différentielle projetée
 $\frac{dv}{dt} = -g + \frac{\phi_m}{m(t)} u$

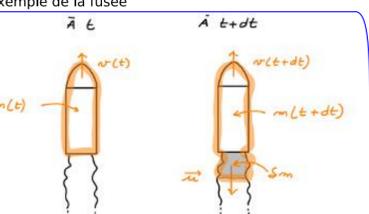
Décollage de la fusée
 $\phi_m u > m g$

Évolution de la masse
 $m(t) = -\phi_m t + m_0$

Vitesse de la fusée
 $v(t) = -gt + u \ln \left(\frac{m_0}{m_0 - \phi_m t} \right)$



Exemple de la fusée



\vec{a} à t
 \vec{a} à $t+dt$
 Bilan de quantité de mouvement

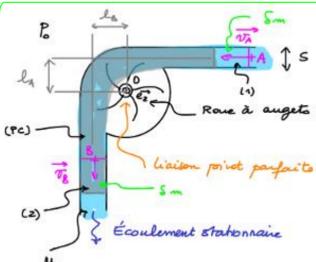
Bilan de moment cinétique
 $\frac{d\vec{L}_O}{dt} = \phi_m (\ell_B v_B - \ell_A v_A) \vec{e}_z$

Bilan des moments des forces
 $\sum_i \vec{M}(\vec{F}_{i,ext}) = -\vec{r}_{O \rightarrow roue} \times \vec{F}_{pression} = -\vec{r}_{O \rightarrow roue} \times \vec{F}_p$

Bilan
 $\vec{r}_{O \rightarrow roue} \times \vec{F}_p = \phi_m (\ell_A v_A - \ell_B v_B) \vec{e}_z$

Application du TMC
 $\frac{d\vec{L}_O}{dt} = \sum_i \vec{M}(\vec{F}_{i,ext})$

Exemple d'une turbine simple



Bilan de moment cinétique