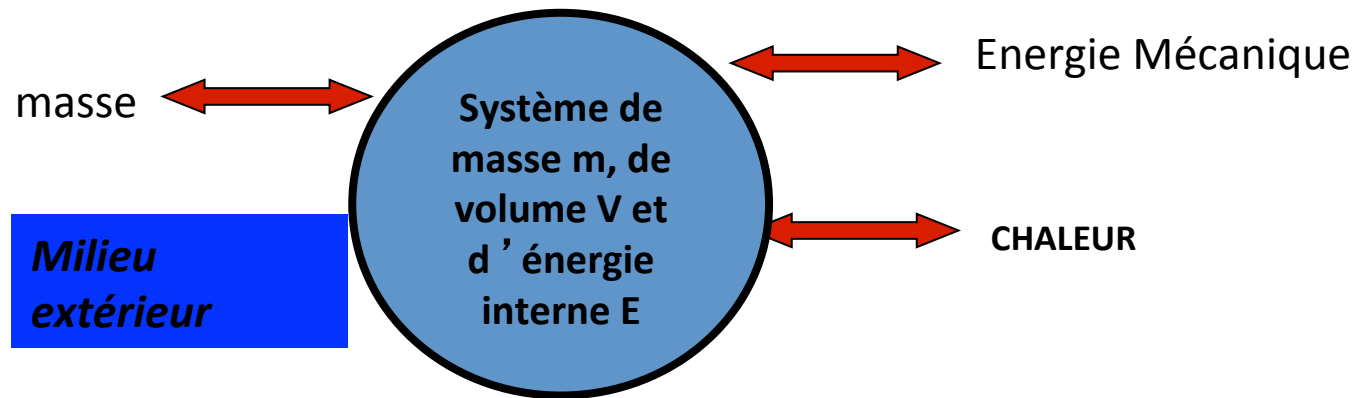


**RAPPELS DE**  
**THERMODYNAMIQUE**

# Le système thermodynamique

## Représentation symbolique

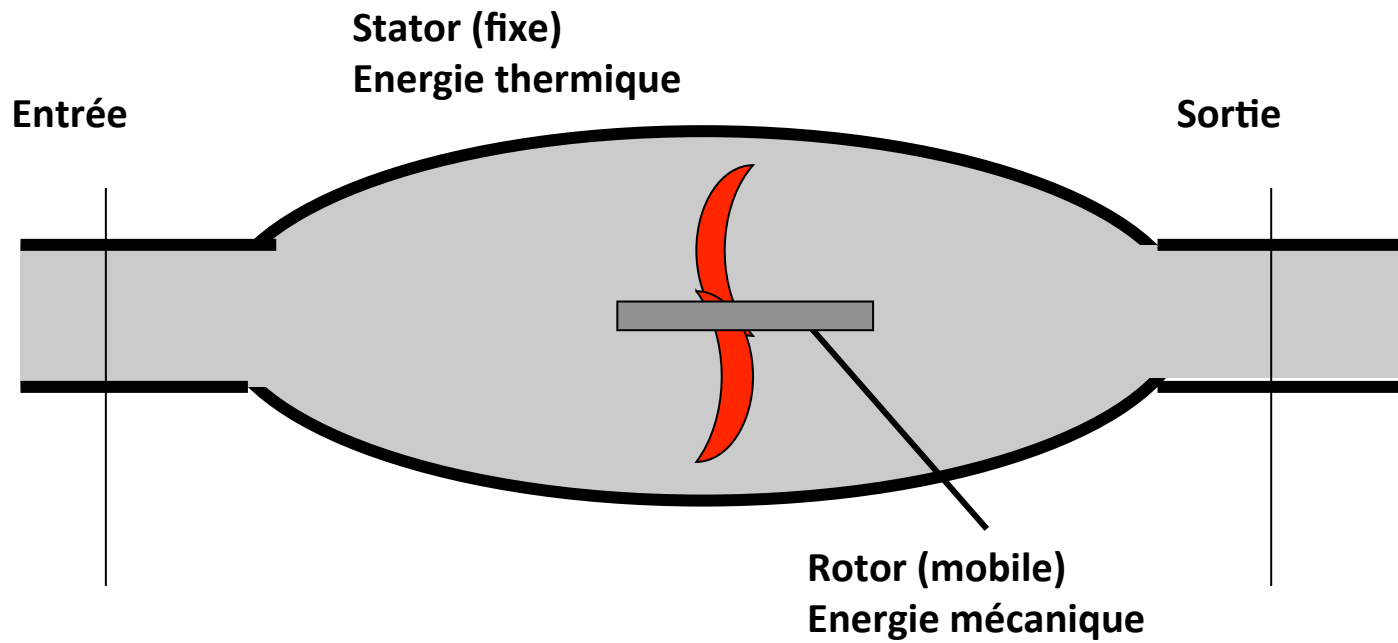


Paroi mobile, perméable et diathermane

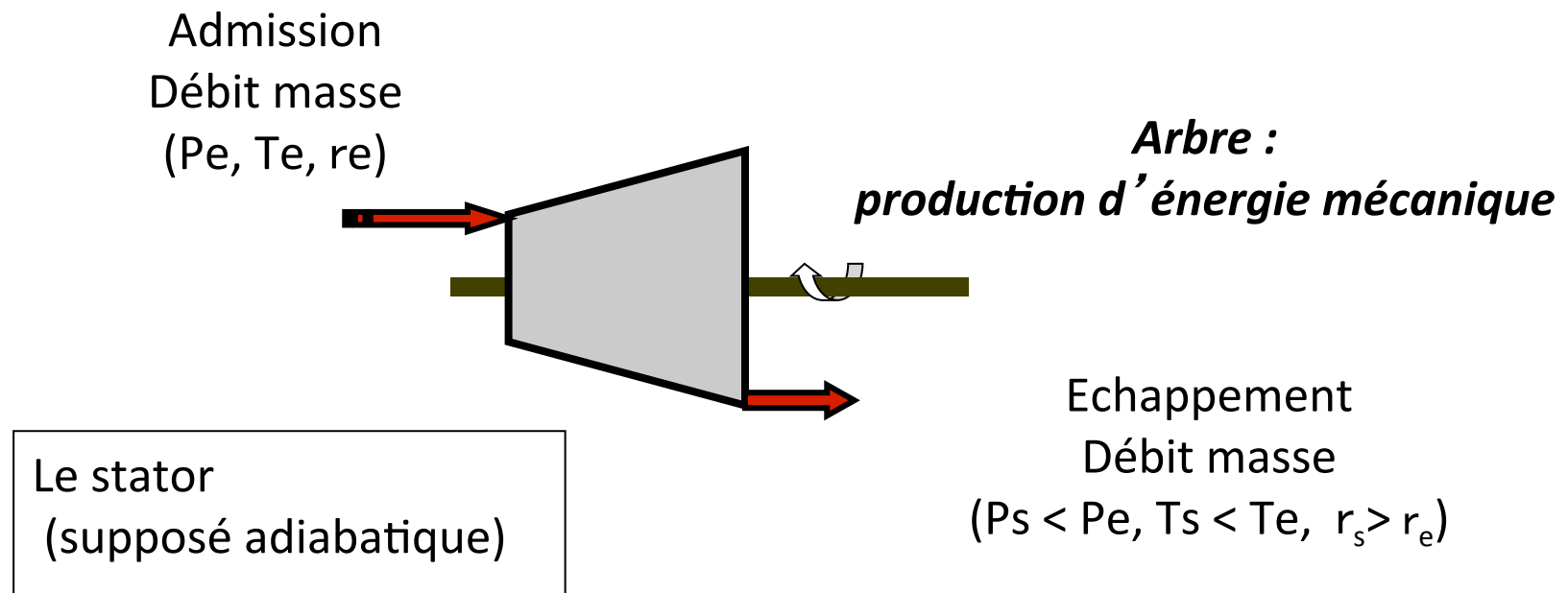
Système isolé :  
Paroi est rigide, imperméable et adiabatique

Entropie  $S = S(E, m, V)$  détermine l'état d'équilibre du système

# Systeme ouvert

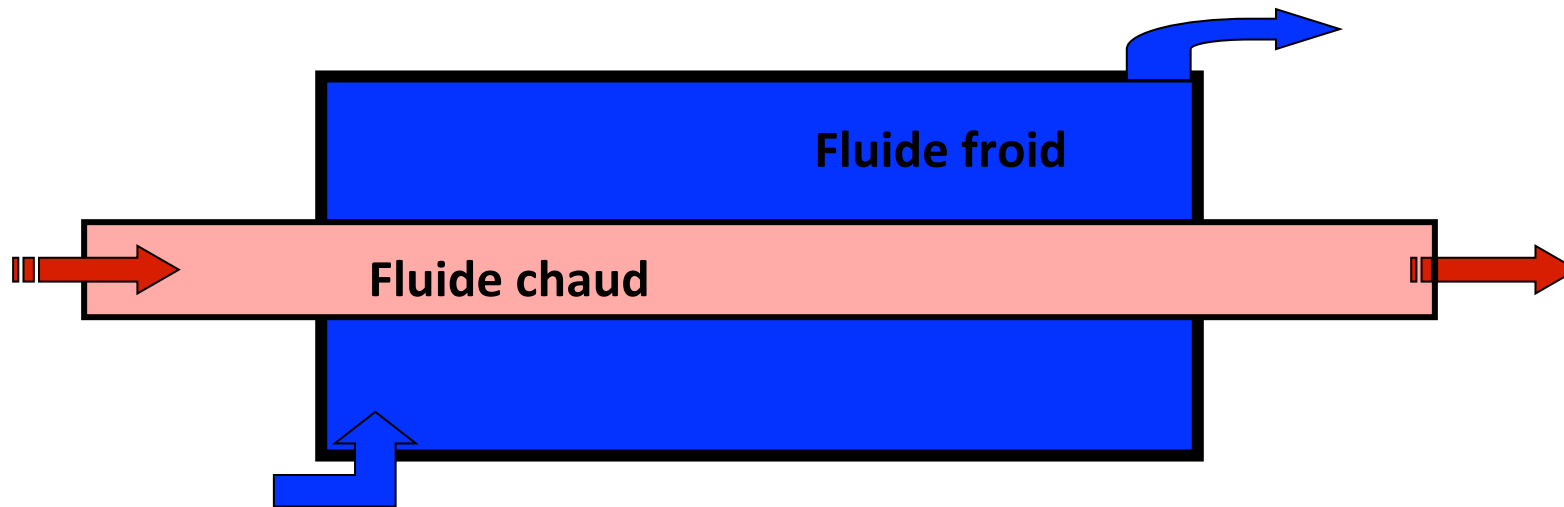


# Systeme ouvert



*Turbine à Gaz*

# Systeme ouvert



*Echangeur de chaleur*

**Si on choisit la totalité du système**

$$\dot{Q}=0 \text{ et } \dot{W}=0$$

**Si on choisit un seul fluide**

$$\dot{Q} \neq 0 \text{ et } \dot{W}=0$$

# Conservation de l' énergie

Système fermé :

Energie totale (premier principe) :

$$(E_{C2} + E_2 + E_{p2}) - (E_{C1} + E_1 + E_{p1}) = W_A + Q$$

**E** **énergie interne**

$E_c = m \frac{U^2}{2}$  énergie cinétique

$E_p = mgZ$  énergie potentielle des force de volume (gravité)

$W_A$  travail des forces de surface

# Conservation de l'énergie

Système ouvert :

Energie totale (premier principe) :

$$\left( \dot{E}_{Cs} + \dot{H}_s + \dot{E}_{ps} \right) - \left( \dot{E}_{Ce} + \dot{H}_e + \dot{E}_{pe} \right) = \dot{W}_u + \dot{Q}$$

$$\dot{H} = \dot{m} h$$

**enthalpie**

$$E_C = \dot{m} \frac{U^2}{2}$$

énergie cinétique

$$E_P = \dot{m} g Z$$

énergie potentielle

$$\dot{W}_u$$

Puissance utile

# Inégalité de CLAUSIUS – Egalité de JOUQUET

## INEGALITE DE CLAUSIUS

Pour un système isolé :

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

Pour un système non isolé:

$$TdS \geq \delta Q.$$

Pour une transformation supposée réversible :  $TdS_{\text{rev}} = \delta Q$

## Egalité de JOUQUET

$$TdS = TdS_{\text{rev}} + TdS_{\text{irrev}} = \delta Q + \delta\Psi \quad \text{avec} \quad \delta\Psi \geq 0$$



# Equations d'état

Equation de Gibbs

$$dE = TdS - pdV + \sum_1^n \mu_i dm_i$$

$$dH = TdS + Vdp + \sum_1^n \mu_i dm_i$$

Energie interne  $E = E(v, T)$

$$dE = m [Cv dT - (1 - \beta T) p dv]$$

Enthalpie  $H = E(p, T)$

$$dH = m [Cp dT + (1 - \alpha T) v dp]$$

Entropie  $S = E(p, T)$

$$dS = m \left[ Cp \frac{dT}{T} - \alpha v dp \right]$$

$$\frac{dV}{V} = \alpha dT - k_T dp$$

**Coefficient thermodynamiques**

Chaleurs massiques

$$Cp = T \left( \frac{dS}{dT} \right)_p \quad Cv = T \left( \frac{dS}{dT} \right)_v$$

Coefficients de dilatation

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \quad \beta = \frac{1}{p} \left( \frac{dp}{dT} \right)_v$$

Coefficients de compressibilité

$$k_T = - \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right)_T \quad k_S = - \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right)_S$$

# Modèle du gaz parfait

Lois d'état : Loi de Mariotte

$$pV = m r T$$

Loi de Joule

$$E = m C_v T \quad \text{ou} \quad H = m C_p T$$

Entropie

$$S - S_0 = m \left[ C_p \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) - r \ln \left( \frac{p}{p_0} \right) \right]$$

Transformation isentropique

$$\frac{T}{p^\gamma} = \text{Cte}$$

Coefficients thermodynamiques :

$$\alpha = \beta = \frac{1}{T} \quad ; \quad k_T = \frac{1}{p} \quad ; \quad k_S = \frac{1}{\gamma p} \quad ; \quad C_p - C_v = r$$

# Modèle du gaz semi-parfait

Pour l'enthalpie on prendra comme modèle :

$$dh = C_p(T) dT \quad \text{soit} \quad h(T) = h_0(T_0) + \int_{T_0}^T C_p(T) dT$$

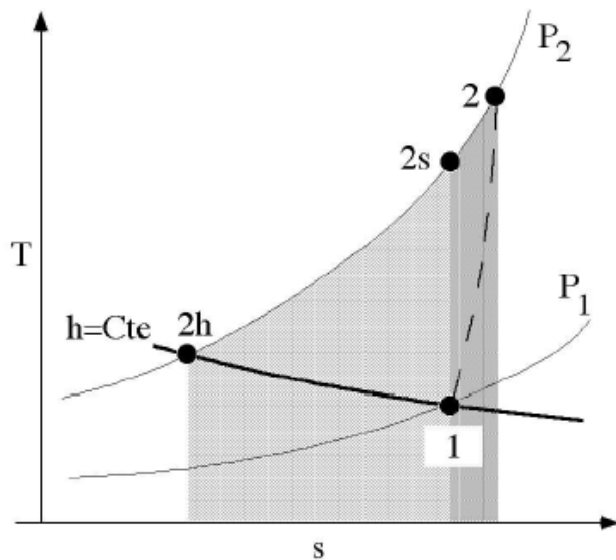
$$\left[ \frac{1}{(T - T_0)} \int_{T_0}^T C_p(T) dT \right] = C_p \Big|_{T_0}^T = C_p \Big|_0^t \quad \text{et} \quad h_0(T_0) = 0 \quad ; \quad T_0 = 273 \text{ K}$$

$$h(T) = C_p \Big|_{T_0}^T (T - T_0) = C_p \Big|_0^t \cdot t$$

Les valeurs de  $C_p$  sont lues dans les tables.

Autres modèles : Van der Waals - Berthelot

# Compressions et détente



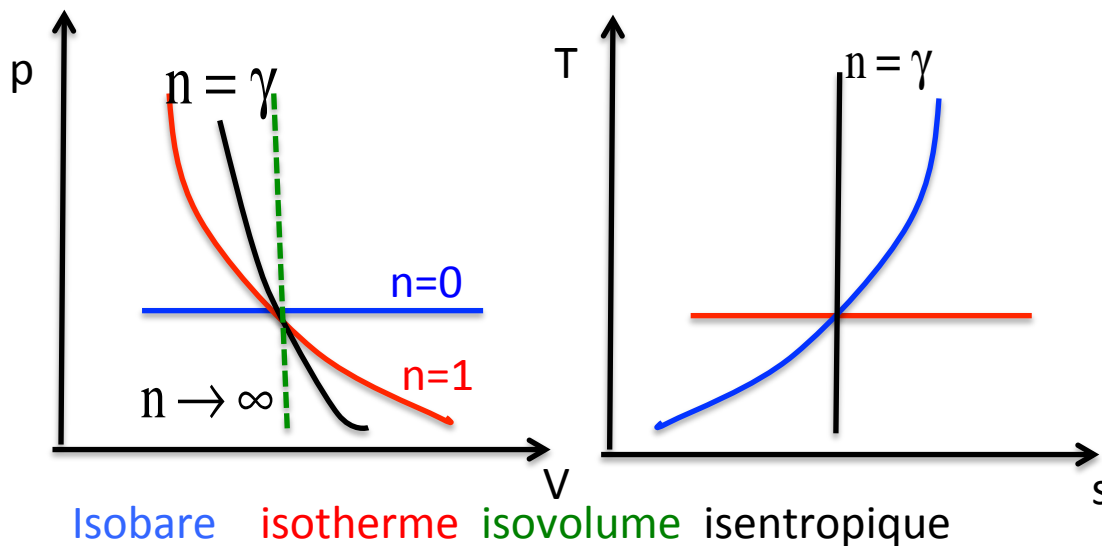
Compression isentropique 1 ->2s

$$GP \rightarrow pV^\gamma = Cte$$

Compression réelle 1 -> 2

Rendement isentropique

$$\eta_s = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad GP$$



Transformation polytropique :  
transformation pour laquelle  $C=Cte$   
 $\rightarrow pV^n=Cte$

Rendement polytropique (compression)

$$\eta_p = \frac{n}{n-1} \frac{\gamma-1}{\gamma} \quad GP$$