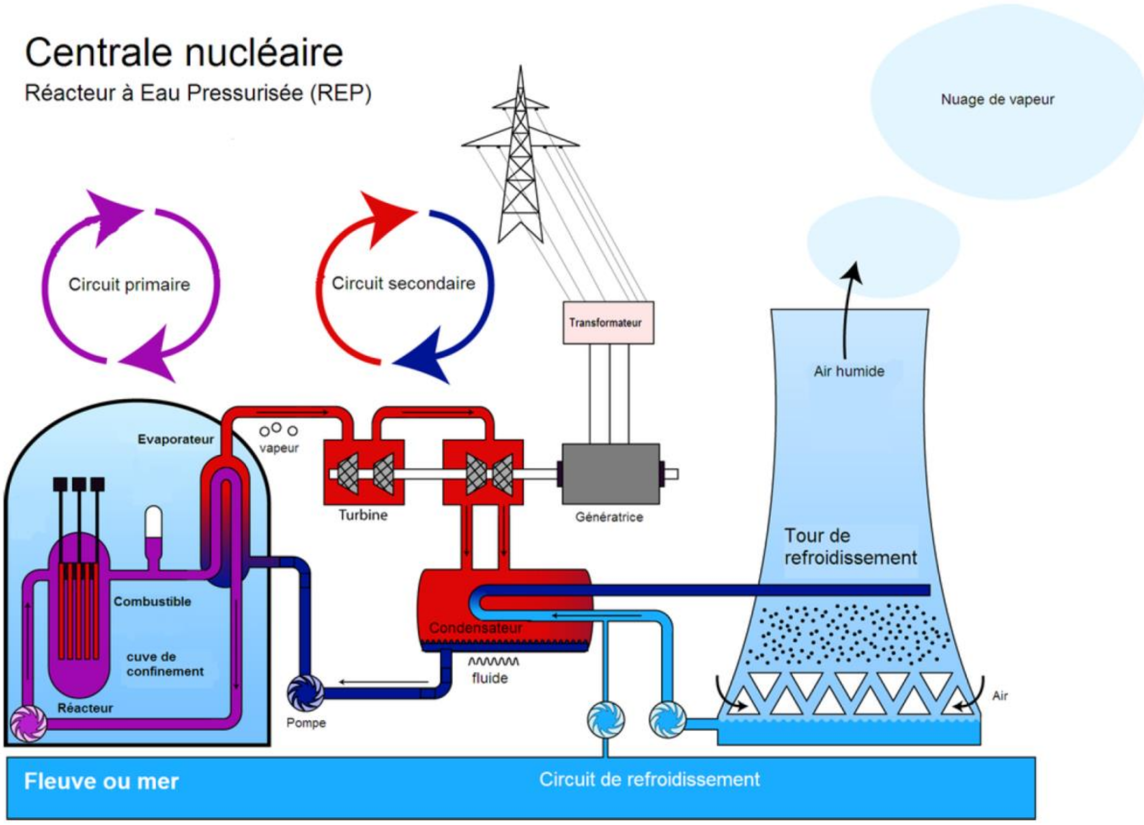
PREMIER ET SECOND PRINCIPE INDUSTRIEL

De nombreuses machines thermiques (ainsi que d'autres dispositifs, mécaniques notamment, que nous étudierons aussi dans l'année) fonctionnent sur le principe suivant :

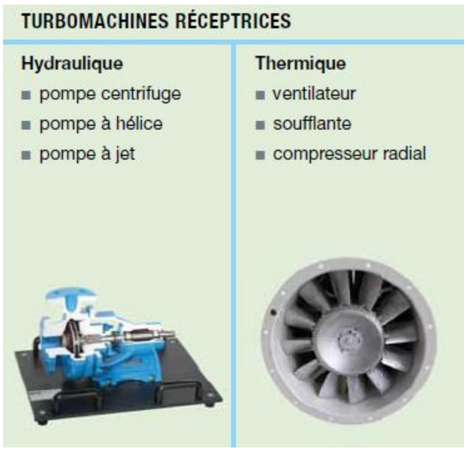
Un fluide en écoulement (eau, air, HFC – hydrofluorocarbures, etc.) échange de l'énergie sous forme de chaleur ou de travail avec un élément ou une succession d'éléments de machine thermique :

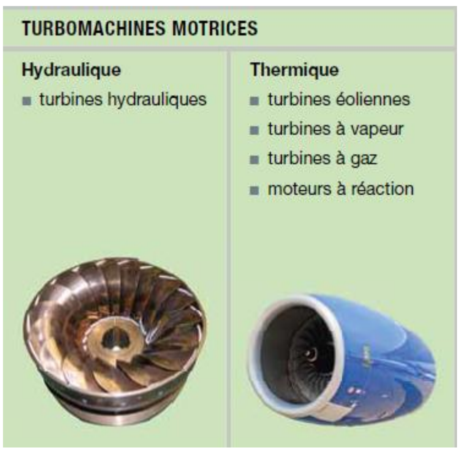


Les éléments de machines usuellement rencontrés sont listés ci-dessous :

- Compresseur, pompe, détendeur
- Echangeur thermique
- Tuyère CV ou DV
- Condenseur
- Evaporateur
- Turbine

Une turbine, une pompe ou un compresseur possèdent des pièces mobiles, ce qui n'est généralement pas le cas des autres éléments.





Ces turbomachines sont différentes, dans la conception et dans l'application des lois physiques, des machines dites « volumétriques », où le fluide échange de l'énergie par variation de volume due à un piston ou un plongeur. Dans les machines vues en première année, les pompes à chaleur, réfrigérateurs, climatiseurs sont des machines à écoulement ; par contre les moteurs thermiques de type moteur à explosion ou diesel sont des machines volumétriques.

Notre objectif est d'exprimer les grandeurs de sortie du fluide en fonction des grandeurs d'entrée de celui-ci en tenant compte des échanges énergétiques au niveau de la machine.

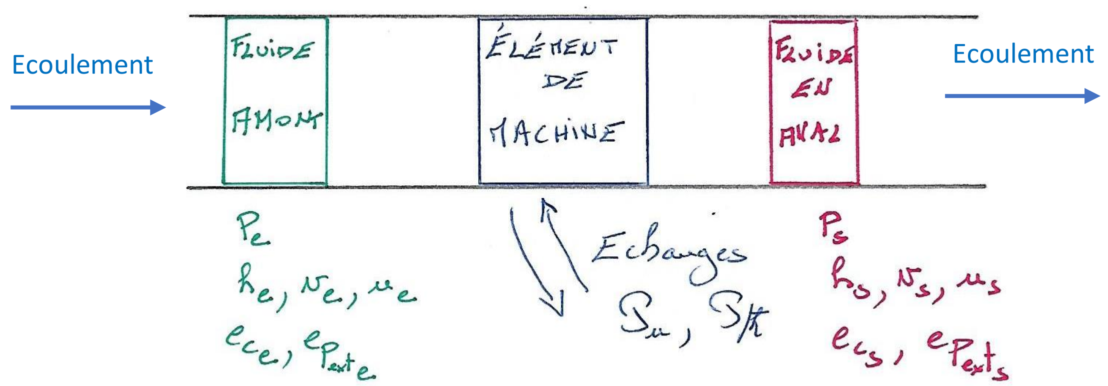


Figure 1

P : pression ; v, h et u : volume, enthalpie et énergie interne *massiques*, e_c et $e_{P,ext}$: énergies cinétique et potentielle extérieures *massiques* du fluide.

Les grandeurs indicées « e » et « s » ci-dessus sont donc les grandeurs *intensives* associées au fluide respectivement en amont et en aval de la machine.

$\mathscr{P}_u$ et $\mathscr{P}_{th}$ sont la puissance mécanique utile et la puissance thermique échangées au niveau de la machine.

Le problème est le suivant :

- L'élément de machine est fixe et le fluide s'écoule, donc la partie de système qui nous intéresse est un ***système ouvert***. Or, les lois de la thermodynamique que nous avons rappelées la semaine dernière sont valables pour des ***systèmes fermés***.

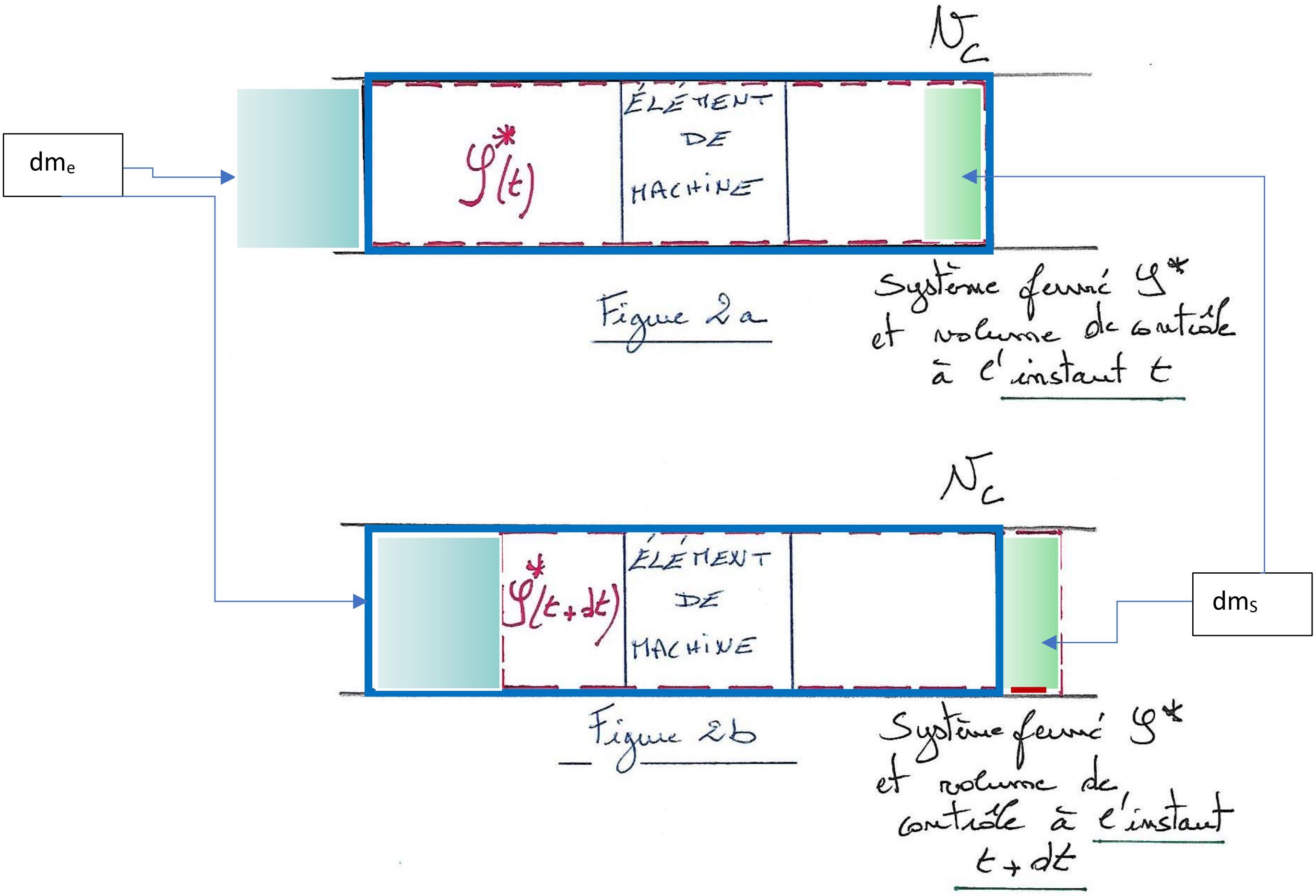
- Nous devons donc trouver un système fermé dont l'étude nous permettra de trouver le lien désiré entre les différentes grandeurs évoquées ci-dessus.

  Pour ce faire, nous définissons :

- Le volume de contrôle $\mathcal{V}_C$, qui contient l'élément de machine et une certaine quantité de fluide à un instant quelconque : ce système est ouvert.

- Le système fermé $\mathbb{S}^*(t)$ qui coïncide à l'instant t avec le fluide situé dans le volume de contrôle.

A l'instant t + dt le système fermé $\mathbb{S}^*$ s'est déplacé ; le volume de contrôle n'a pas bougé comme le montrent les deux schémas ci-dessous :



Nous allons appliquer successivement le principe de conservation de la masse, puis les deux principes de la thermodynamique à ce système fermé $\mathbb{S}^*$ entre les instants t et t + dt.

Nous faisons dans toute la suite de ce chapitre une hypothèse fondamentale sur le régime d'écoulement du fluide : *L'écoulement du fluide dans la machine étudiée est supposé STATIONNAIRE. Autrement dit, les grandeurs caractéristiques du fluide sont, en un point donné, indépendantes du temps.*

1. Conservation de la masse

- $\mathcal{S}^*$ étant fermé, $m_{\mathcal{S}^*}(t) = m_{\mathcal{S}^*}(t+dt)$
- De plus l'écoulement étant stationnaire,

$$m_{\mathcal{V}_c}(t) = m_{\mathcal{V}_c}(t+dt)$$

- Enfin, à t : $m_{\mathcal{S}^*}(t) = m_{\mathcal{V}_c}(t)$ car $\mathcal{S}^*$ coïncide avec $\mathcal{V}_c$

à $t+dt$: $m_{\mathcal{S}^*}(t+dt) = m_{\mathcal{V}_c}(t+dt) + dm_S - dm_e$

on obtient alors $dm_S = dm_e$

soit encore $D_{m_s}\,dt = D_{m_e}\,dt$, où D_{m_s} et D_{m_e} sont les débits massiques en sortie et en entrée. Ainsi

$$\underline{D_{m_e} = D_{m_s} = D_m.}$$

2. Premier principe

- À l'instant t : $\mathcal{E}_{\Sigma^*(t)} = \mathcal{E}_{v_c(t)}$; coïncidence de Σ^* avec v_c.

à $t+dt$: $\mathcal{E}_{\Sigma^*(t+dt)} = \mathcal{E}_{v_c(t+dt)} + d\mathcal{E}_s - d\mathcal{E}_e$

Or $\mathcal{E}_{v_c}(t) = \mathcal{E}_{v_c}(t+dt)$; régime stationnaire.

Donc (1) $\underline{\mathcal{E}_{\Sigma^*(t+dt)} - \mathcal{E}_{\Sigma^*(t)} = d\mathcal{E}_s - d\mathcal{E}_e}$.

- D'autre part $d\mathcal{E}_e = dm_e\,(e_c + ep_{ext} + u)_e$

et $d\mathcal{E}_s = dm_s\,(e_c + e_{p_{ext}} + u)_s$

et (2) $\underline{d\mathcal{E}_s - d\mathcal{E}_e = D_m\,dt\left[(e_c + e_{p_{ext}} + u)_s - (e_c + e_{p_{ext}} + u)_e\right]}$

- Enfin le premier principe appliqué à Σ^* entre t et $t+dt$ donne :

$$\mathcal{E}_{\Sigma^*(t+dt)} - \mathcal{E}_{\Sigma^*(t)} = \mathcal{P}_{th}\,dt + \mathcal{P}_u\,dt + \delta W_{pression}.$$

On calcule $\delta W_{pression}$:

– en entrée tout se passe comme si un piston poussait le fluide à la pression P_e constante : $\delta W_{pression_e} = P_e\,dV_e$

– De même en sortie $\delta W_{pression_s} = -P_s\,dV_s$

avec $dV_e = dm_e\,v_e = D_m\,v_e\,dt$

et $dV_s = dm_s\,v_s = D_m\,v_s\,dt$

Soit

(3) $\underline{\mathcal{E}_{\Sigma^*}(t+dt) - \mathcal{E}_{\Sigma^*}(t) = \left[\mathcal{P}_{th} + \mathcal{P}_u + D_m(P_e v_e - P_s v_s)\right]dt}$

Regroupons (1), (2) et (3) :

$$D_m\left[(e_c+e_{p_{ext}}+u)_s+P_s v_s-(e_c+e_{p_{ext}}+u)_e+P_e v_e\right]=\mathcal{P}_{th}+\mathcal{P}_u$$

or $u+Pv=h$, soit

$$\boxed{D_m\left[(e_c+e_{p_{ext}}+h)_s-(e_c+e_{p_{ext}}+h)_e\right]=\mathcal{P}_{th}+\mathcal{P}_u}$$

Premier Principe Industriel

ou Premier Principe en Système Ouvert

R : On le trouve aussi sous la forme "énergie massique" :

$$\left[(h+e_c+e_{p_{ext}})_s-(h+e_c+e_{p_{ext}})_e\right]=q+w_u$$

ou $\Delta(h+e_c+e_{p_{ext}})=q+w_u$

3. Second principe

- $S_{\Sigma^*}(t)=S_{V_c}(t)$ et $S_{\Sigma^*}(t+dt)=S_{V_c(t+dt)}+dS_s-dS_e$

or $S_{V_c}(t+dt)=S_{V_c}(t)$ (R.S.)

et $dS_s=dm_s\,s_s$, $dS_e=dm_e\,s_e$

soit $dS_s-dS_e=D_m(s_s-s_e)dt$

- $S_{\Sigma^*}(t+dt)-S_{\Sigma^*}(t)=\delta S_e+\underbrace{\delta S_c}_{\geq 0}$,

soit avec $\delta S_e=\dfrac{\mathcal{P}_{th}\,.dt}{T_0}$,

$$D_m(s_s-s_e)\geq\frac{\mathcal{P}_{th}}{T_0}$$

ou encore $s_s-s_e\geq\dfrac{q}{T_0}$