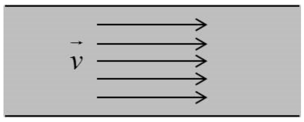
# Énergétique des fluides en écoulement laminaire stationnaire dans une conduite

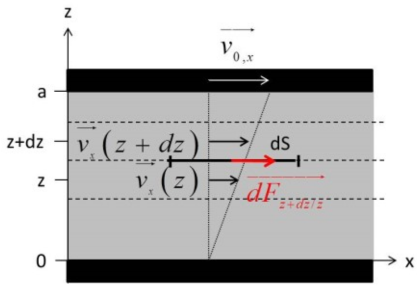
## Fluide parfait

**Fluide parfait** : profil de vitesse uniforme au sein d'une section du fluide. Le fluide glisse sur les parois de la conduite, il n'y a aucune adhérence.



## Fluide newtonien

L'immobilité de la paroi impose celle du fluide à son contact. Le fluide est dit **visqueux**.




<u>OdG</u>

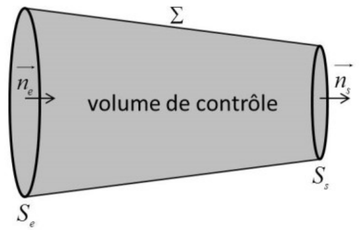
$$\eta(air\ à\ 15°C) = 1{,}8.10^{-5}Pl$$
$$\eta(eau\ à\ 20°C) = 1{,}0.10^{-3}Pl$$
$$\eta(huile\ pour\ moteur\ à\ 40°C) \approx 0{,}1Pl$$

En thermodynamique : viscosité implique irréversibilité
En énergétique : dissipation de l'énergie cinétique en thermique

## Système étudié

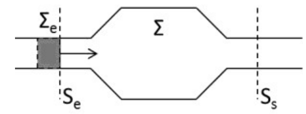
**Surface de contrôle** = surface fermée, $\Sigma$, fixe dans le référentiel d'étude s'appuyant sur deux sections d'entrée et de sortie, $S_e$ et $S_s$, reliées par des lignes de courants.
**Volume de contrôle** = Intérieur de $\Sigma$
Cette surface de contrôle délimite un **système ouvert**.
En régime stationnaire, **égalité des débits massiques** : $D_{me} = D_{ms} = D_m$

tube de courant = surface de contrôle

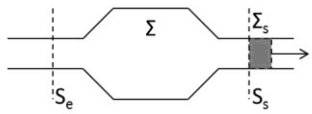



Pour effectuer les bilans d'énergie suivants, il faut définir un système fermé, $\Sigma'$.

A $t$ , $\Sigma' = \Sigma \cup \Sigma_e$
- Fluide contenu dans $\Sigma$ à l'instant $t$
- $\Sigma_e$ = masse de fluide $\delta m$ qui pénètre dans $\Sigma$ pendant $dt$




At $+ dt$, $\Sigma' = \Sigma \cup \Sigma_s$
- le fluide contenu dans $\Sigma$ à l'instant $t + dt$
- $\Sigma_s$ = masse de fluide $\delta m$ qui sort de $\Sigma$ pendant $dt$




## Relation de Bernoulli

<u>Théorème de l'énergie cinétique</u> : $\boldsymbol{dE_{c,\Sigma'} = \delta W}$

Sur le système fermé $\Sigma'$, par extensivité de l'énergie cinétique, en régime stationnaire :

$$dE_{c,\Sigma'} = E_{c,\Sigma'}(t+dt) - E_{c,\Sigma'}(t) = E_{c,\Sigma}(t+dt) + E_{c,\Sigma_s}(t+dt) - E_{c,\Sigma}(t) - E_{c,\Sigma_e}(t) = \delta m\left(e_{c,s} - e_{c,e}\right)$$

$$\boldsymbol{dE_{c,\Sigma'} = \delta m\left(\frac{1}{2}v_s^2 - \frac{1}{2}v_e^2\right)}$$

<u>Travail des forces de pesanteur</u> : $\boldsymbol{\delta W_{pes}} = -\delta m\left(e_{pp,s} - e_{pp,e}\right) = \boldsymbol{-\delta m(gz_s - gz_e)}$

<u>Travail des forces pressantes</u> : $\boldsymbol{\delta W_P = \left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s}\right)\delta m}$

<u>Autres travaux (réaction de la conduite, phénomènes de dissipation)</u> : $\boldsymbol{\delta W_f = \delta W_d = 0}$ pour un **fluide parfait**

Avec : $v_e$ et $v_s$ les vitesses de l'écoulement, $z_e$ et $z_s$ les hauteurs de l'écoulement, $P_e$ et $P_s$ les pressions de l'écoulement en entrée et en sortie respectivement

Dans un référentiel galiléen dont l'axe (Oz) est vertical ascendant, lorsqu'un écoulement est parfait, stationnaire, homogène et incompressible, la **relation de Bernoulli** s'écrit le long d'une ligne de courant :

$$\boxed{P + \frac{1}{2}\mu v^2 + \mu g z = cte}$$

## Perte de charge

Définition :
On définit la **perte de charge** en Pa par la différence entre ces deux termes homogènes à une pression :

$$\Delta P_C = \left(P_e + \frac{1}{2}\mu v_e^2 + \mu g z_e\right) - \left(P_s + \frac{1}{2}\mu v_s^2 + \mu g z_s\right)$$

Pertes de charges régulières : définie pour un tronçon de conduite parcouru par un fluide incompressible, en régime stationnaire.
Pertes de charges singulières : apparaissent de manière localisée, sur des coudes, des raccords entre canalisations …

## Bilan de puissance pour un circuit hydraulique

Travail indiqué : dû à un élément actif, à la présence de parties mobiles dans la conduite ou la machine.
Il représente la somme des travaux autres que ceux des forces de pression d'admission et de refoulement.

$$\boldsymbol{\delta W_i = w_i \delta m = \phi_i dt}$$

$$D_m \left[\left(\frac{P_s}{\mu} + \frac{1}{2}v_s^2 + g z_s\right) - \left(\frac{P_e}{\mu} + \frac{1}{2}v_e^2 + g z_e\right)\right] = \phi_i$$

Avec : puissance indiquée $\phi_i = D_m w_i$

## Premier principe pour un système ouvert

Premier principe sur le système fermé $\Sigma'$ : $\boldsymbol{dU_{\Sigma'} + dE_{c,\Sigma'} = \delta W + \delta Q}$
Par extensivité de l'énergie interne, en régime stationnaire :

$$dU_{\Sigma'} = U_{\Sigma'}(t+dt) - U_{\Sigma'}(t) = U_{\Sigma}(t+dt) + U_{\Sigma_s}(t+dt) - U_{\Sigma}(t) - U_{\Sigma_e}(t) = U_{\Sigma_s}(t+dt) - U_{\Sigma_e}(t)$$

$$\boldsymbol{dU_{\Sigma'} = \delta m(u_s - u_e)}$$

Transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur du système, à travers les parois avec :

$$\boldsymbol{\delta Q = q\delta m = \Phi dt}$$

Avec le bilan des travaux effectués pour un fluide et dans le cas de la présence de parties mobiles :

$$\delta m(u_s - u_e) + \delta m\left(e_{c,s} - e_{c,e}\right) = -\delta m\left(e_{pp,s} - e_{pp,e}\right) + \delta m\left(\frac{P_e}{\mu_e} - \frac{P_s}{\mu_s}\right) + \delta m w_i + \delta m q$$

**Enthalpie** : $H = U + PV \quad \Rightarrow \quad h = u + \frac{P}{\mu}$ en massique

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un écoulement est stationnaire et homogène et lorsque les seules forces volumiques sont celles de pesanteur, considérées uniformes, le **premier principe pour un système ouvert** à une entrée et une sortie s'écrit :

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_{pp} = w_i + q_e$$

Dans la plupart des cas usuels, $\Delta e_c$ et $\Delta e_{pp}$ seront négligeables.
Exceptions : - usine hydroélectrique, pour $\Delta e_{pp}$
- tuyère de réacteur, pour $\Delta e_c$

## Deuxième principe pour un système ouvert

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un écoulement est stationnaire et homogène, le **second principe pour un système ouvert** à une entrée et une sortie s'écrit :

$$\Delta s = s_{ech} + s_{créé}$$

$s_{créé}$ sera donc liée aux causes d'irréversibilité le long de l'écoulement dans la conduite.