

BASES PHYSIQUES DE L'HEMODYNAMIQUE

1°) Pression statique d'un fluide

Pression statique : Poids d'une colonne fluide qui s'applique en un point

Pression absolue : Pression atmosphérique + Pression liée à la colonne

Pression relative dans le liquide : Pression liée à la colonne de liquide.

$$\Delta P = \rho gh$$

Dimension [P] = $ML^{-1}T^{-2}$

$\frac{\text{Energie}}{\text{Volume}} = ML^2T^{-2} * L^{-3}$ SI : 1 Pa = 1 N/m²
1 Pascal \leftrightarrow pression de 102 g sur 1m² (1 hPa = 100 Pa ; P_{atmosphère} = 1013 hPa)

$\frac{\text{Force}}{\text{Surface}} = MLT^{-2} * L^{-2}$ 1 Bar = 10⁵ Pa (1 mBar = 1 hPa)

2°) Ecoulement d'un liquide idéal : équation de Bernoulli

Liquide parfait si frottements (perte d'Énergie, $\eta = 0$)

Energie totale = Charge responsable de l'écoulement

$$E_t = E_p + E_c + E_s = mgh + 0.5mv^2 + PV = cste$$

$$\rho gh + 0.5\rho v^2 + P = cste$$

tt court

latérale

transmurale

statique

élastique (artérielle)

3°) Débit

Débit = Volume de fluide qui traverse une section S par unité de temps [m³/s]

$$Q = \frac{V}{t}$$

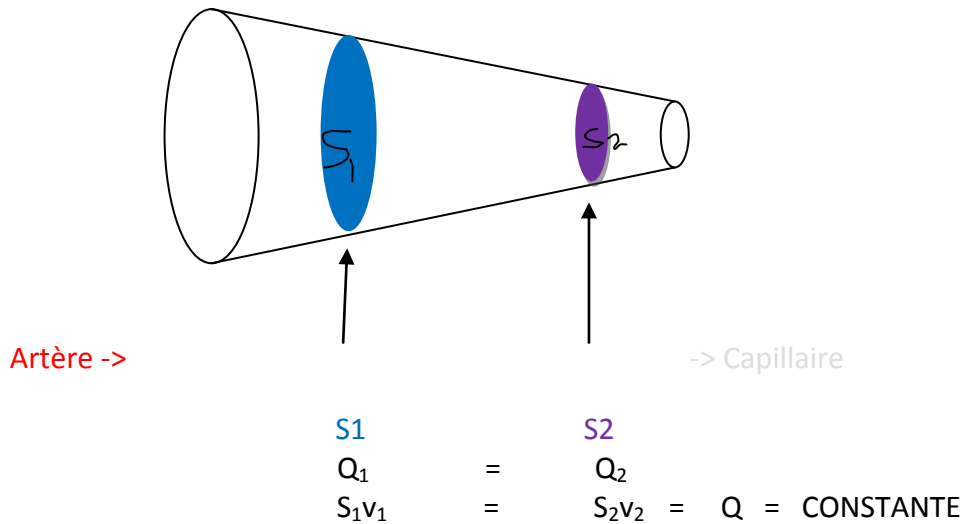
$$\text{Volume} = S * L \text{ et } Q = \frac{V}{t} = \frac{SL}{t} = \frac{Svt}{t} \text{ car } l = v * t$$

Donc

$$Q = S * v$$

De plus en régime stationnaire (vitesse en 1 pt cste) et dans ces conditions d'incompressibilité (ρ cste) il y a conservation de la masse :

$$Q = Q_1 = Q_2$$



C'est le **principe de continuité des débits**

Un fluide incompressible circule en régime stationnaire dans un conduit de débit constant tout le long du conduit

$Q = Sv$ donc si S augmente v diminue et vis versa donc en S_1 $S \uparrow$ d'où en S_2 $v \uparrow$

IV°) Situations particulières

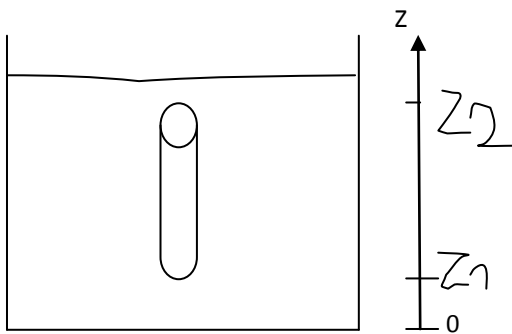
1) Conditions statiques (v=0)

L'équation de Bernoulli devient $\rho gh + P = \text{cste} \Rightarrow dP = -\rho gh$

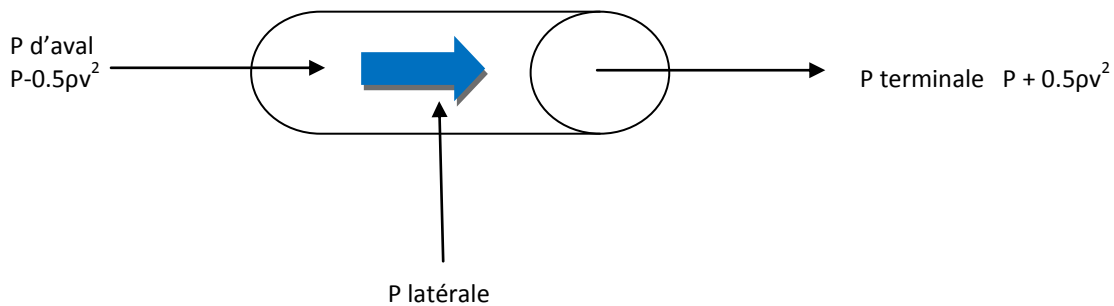
Loi de pascal :

- Pression en 1 pt indépendante de la position des capteurs et s'exerce perpendiculairement aux parois
- Pression égale pour tous points situés au même niveau
- Pression augmente avec la profondeur

La dP entre 2 pts d'un fluide en équilibre correspond au poids de la colonne qui les sépare ayant pour base une unité de surface.

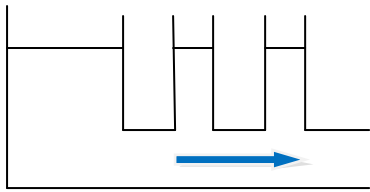


2) Fluide en écoulement horizontal

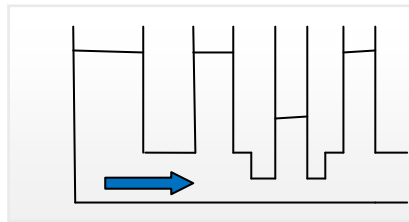


3) Effet de la section pour l'écoulement horizontal

La hauteur est stable donc $h = \text{cste}$ donc $\rho gh = \text{cste} \Rightarrow P + 0.5\rho v^2 = \text{cste}$



S cst, v cste, P_{lat} cste



S variable: S diminue donc v augmente donc $0.5\rho v^2$ augmente donc P_{lat} diminue

La section S modifie la vitesse v car le débit Q est constant.

Quel effet pour la pression ?

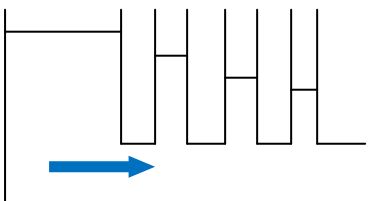
Effet Venturi : à charge constante une sténose est associée à une **augmentation de la vitesse** d'écoulement et à une **diminution de la pression**.

V°) Ecoulement d'un fluide réel

Pour un liquide réel \Rightarrow ~~Bernoulli~~ : charge non constante.

$$\rho gh + 0.5\rho v^2 + P + \text{chaleur} = \text{cste}$$

Il y a une perte d'énergie utilisable lors de l'écoulement (= perte de charge) par dissipation d'En sous forme de chaleur à cause de la viscosité η du liquide.



1) Définition de η

- 2 Lames de fluides qui circulent parallèlement à des vitesses différentes sont soumises à une force de frottement

surface commune aux deux plaques

$$[N] ML^{-2} \leftarrow F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

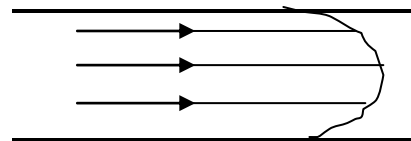
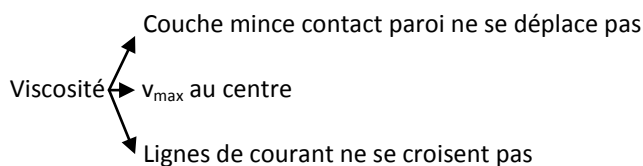
} gradient de vitesse « taux de cisaillement »

Viscosité caractéristique du liquide

- Dimension $ML^{-1}T^{-1}$
- Unité : $\frac{kg}{ms} = \frac{Pa}{s} = \text{Poiseuille}$
- Normalement : Constante caractéristique d'un liquide (dépend de T° : si T augmente η diminue)
 - ✓ Liquides newtoniens : η cste à une température donnée (ex : eau)
 - ✓ Liquides newtoniens : η dépend du taux de cisaillement (ex : sang avec globules rouges : taux de cisaillement diminue donc η augmente) et s'appelle alors viscosité apparente

2) 2 Régimes d'écoulement d'un liquide visqueux :

a) Vitesse moyenne faible : écoulement laminaire



⇒ Profil parabolique, facteur de cohérence

b) Vitesse moyenne élevée : écoulement turbulent

- La viscosité n'est plus un facteur de cohérence
- Les molécules tourbillonnent sans distribution systématique des vitesses
- Les lignes de courant se croisent



3) Frontière entre les deux régimes : Nombre de Reynolds

- Dépend de ρ , d (diamètre), v , η

turbulence si ρdv augmente ou η diminue

$$R = \frac{\rho dv}{\eta}$$

- Si $R < 2000$ c'est laminaire
- $R > 10\,000$ c'est turbulent

- Si seule v varie, la cohérence de l'écoulement laminaire est détruite à la **vitesse critique**

$$v_c = \frac{R\eta}{\rho d}$$

4) Variation de pression en écoulement laminaire : LOI DE POISEUILLE

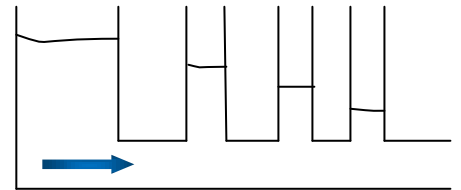
- Canal horizontal cylindrique écoulement laminaire

$\rho gh + 0.5\rho v^2 + P + \text{chaleur} = \text{cste}$

- $Q = Sv = \text{cste} \Rightarrow 0.5\rho v^2 = \text{cste}$ car S ne change pas donc v ne change pas et dans tous les cas ρ ne change pas.
- $\rho gh = \text{cste}$ car on est en écoulement horizontal

⇒ **Seule la pression peut varier**

- η produit une perte d'Énergie qui se manifeste par une perte de charge (P diminue)

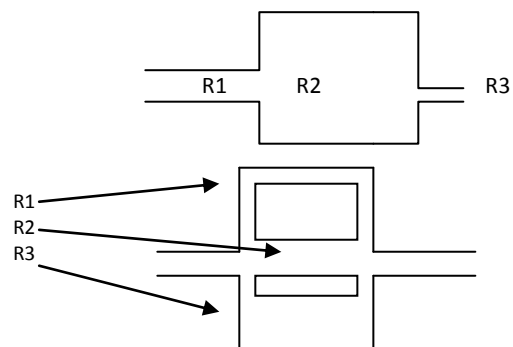


$$\Delta P = Q \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

- On utilise la viscosité apparente pour les fluides non newtoniens

- Effets de la résistance à l'écoulement :

- En série $R_t = R_1 + R_2 + R_3$
- En parallèle $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$



5) Ecoulement en régime :

a) Laminaire

- Toute l'énergie est consommée pour lutter contre η
 $\rho gh + 0.5\rho v^2 + P + \text{chaleur} = \text{cste}$
- Relation linéaire entre ΔP et Q : $\Delta P = RQ = Q \frac{8\eta L}{\pi r^4}$

b) Turbulent

- Tourbillons consomment une partie de l'énergie
Chaleur + Vibration => bruit/souffle (INDICATEUR CLINIQUE)
- Pas de proportionnalité entre ΔP et Q
Régime peu efficace

