Chapitre 4 : DYNAMIQUE DES FLUIDES ou HYDRODYNAMIQUE

I- DEFINITIONS

1- Débit

Le débit est la quantité de fluide qui traverse une section droite de la conduite par la durée de cet écoulement.

2- Débit-masse

Si Δm est la masse de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps Δt, par définition le débit-masse est :

$$\boxed{q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t}}$$

Unité *: kg.s^{-1}*

3- Débit-volume

Si ΔV est le volume de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps Δt, par définition le débit-volume est :

$$\boxed{q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t}}$$

Unité *: m^3.s^{-1}.*

4- Relation entre q_m et q_V

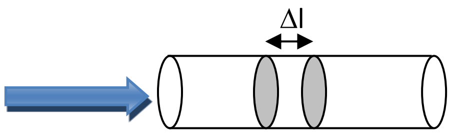
La masse volumique ρ est donnée par la relation : $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$ *d'où :*

$$\boxed{q_m = \rho . q_V}$$

II- ÉQUATION DE CONSERVATION DE LA MASSE OU EQUATION DE CONTINUITE

1. Expression du débit en fonction de la vitesse v

Le débit-volume est $\boxed{q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t}}$ Avec $\boxed{\Delta V = S\Delta l}$



Alors $\boxed{q_v = \frac{S\Delta l}{\Delta t} = Sv}$

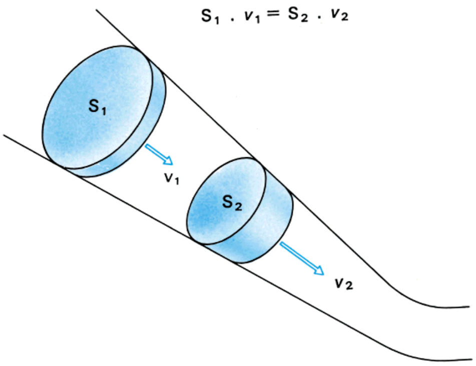
2. Vitesse moyenne

En général la vitesse v n'est pas constante sur la section S d'un tube de courant ; on dit qu'il existe un **profil de vitesse** (à cause des forces de frottement).

Dans une section droite S de la canalisation, on appelle **vitesse moyenne v_m** la vitesse telle que : $\boxed{v_{moy} = \frac{q_V}{S}}$ et $\boxed{V_{moy} = \frac{V_{max}}{2}}$

3. Conservation du débit

Le débit-volume est le même à travers toutes les sections droites d'un même tube de courant.

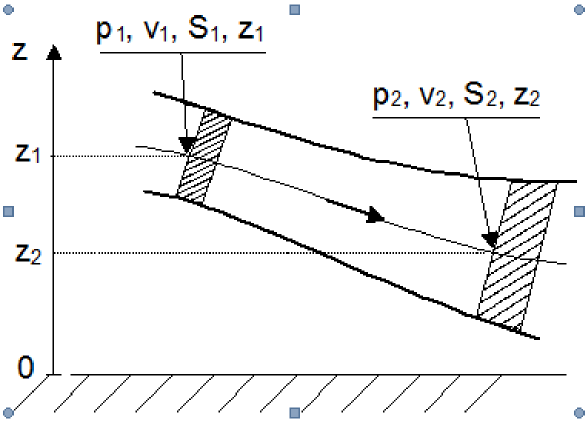


Alors $\boxed{q_V = v_{1moy}.S_1 = v_{2moy}.S_2 = ... = Cte}$ C'est **l'équation de continuité** $\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$ La vitesse moyenne est d'autant plus grande que la section est faible.

$$\boxed{Q = A_1V_1 = A_2V_2 = C^{ste}}$$

<u>III- THEOREME DE BERNOULLI POUR UNECOULEMENT PERMANENT D'UN FLUIDE PARFAIT INCOMPRESSIBLE</u>

$$\boxed{\frac{1}{2}\rho\left(v_2^2 - v_1^2\right) + \rho g(z_2 - z_1) + \left(p_2 - p_1\right) = 0}$$



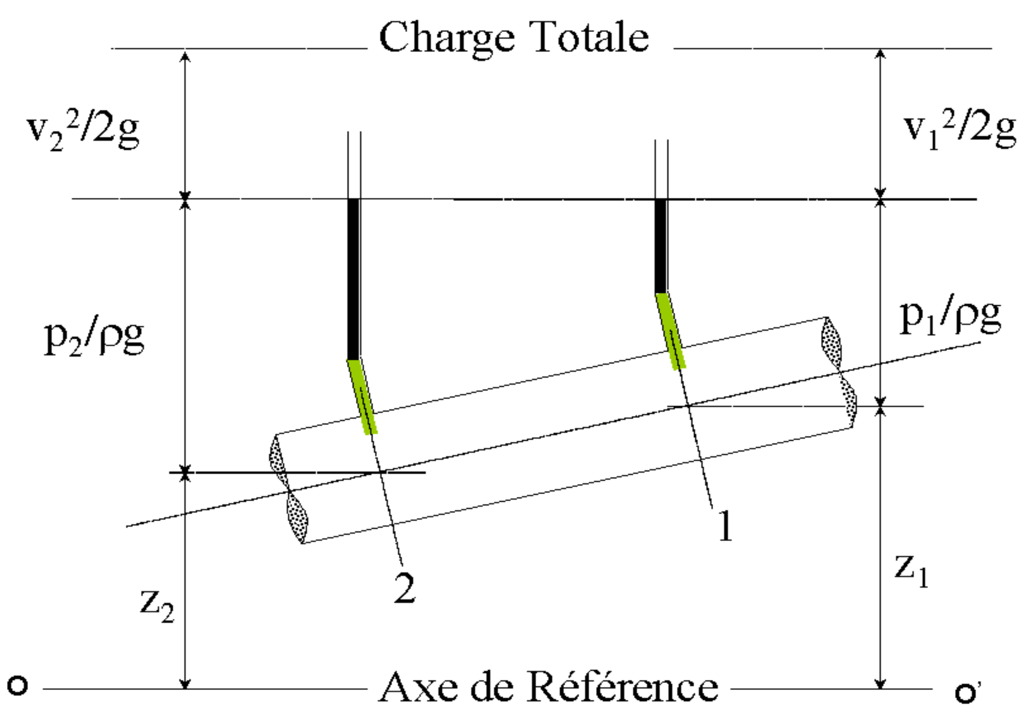
En général : $$\boxed{\rho\frac{v^2}{2} + \rho gz + p = Cte}$$

p est la <u>pression statique</u>, ρgz est la <u>pression de pesanteur</u>, $\rho\frac{v^2}{2}$ est la <u>pression cinétique</u>.

En divisant tous les termes de la relation précédente par le produit ρg, on écrit tous les termes dans la dimension d'une hauteur (pressions exprimées en mètres de colonne de fluide).

$$\boxed{\frac{v^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g} = H = Cte}$$

H est la <u>Hauteur totale</u>, $\frac{P}{\rho g}$ est la <u>Hauteur de Pression</u>, z est la <u>cote</u>, $\frac{v^2}{2g}$ est la <u>Hauteur cinétique</u>.



L'équation de Bernoulli exprime que , tout le long d'un filet liquide en mouvement permanent , l'énergie totale par unité de poids du liquide reste constante) . D'après le schéma , on peut donc écrire que :

$$\boxed{Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^{\,2}}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^{\,2}}{2g} = H = C^{ste}}$$

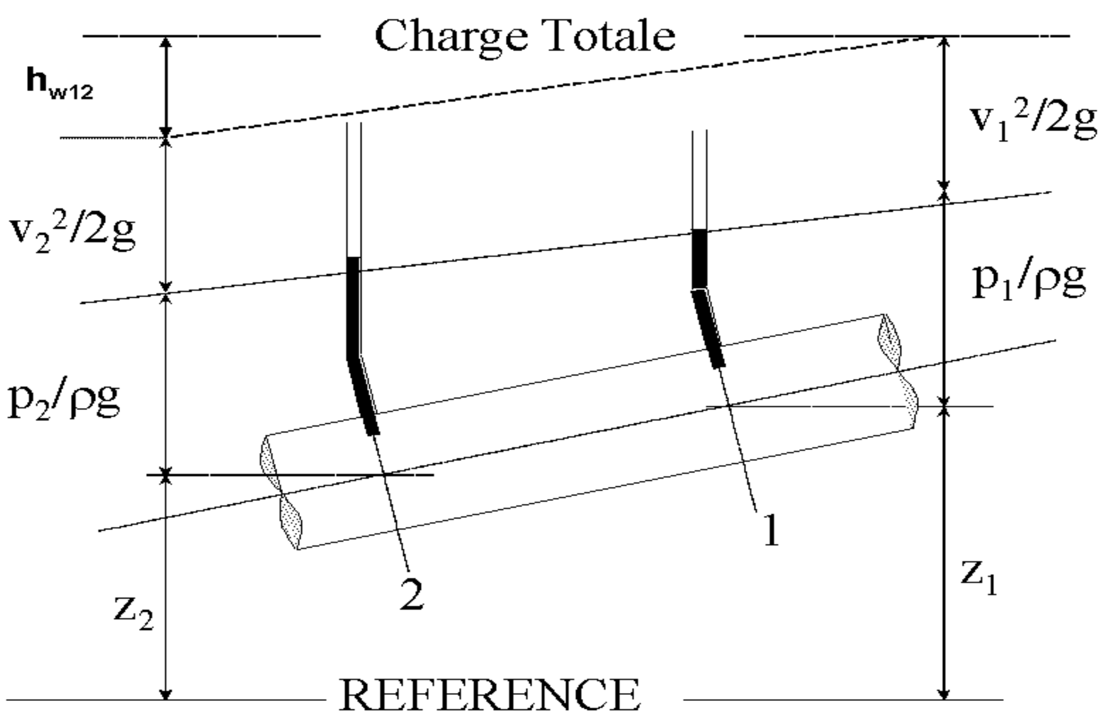
Cette équation s'écrit donc dans le cas général :

$$\boxed{Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = C^{ste}}$$

: ***Equation de Bernoulli pour un Fluide Parfait***

IV- Cas des Fluides réels (visqueux)

Contrairement au fluide parfait non visqueux , la charge H pour un fluide réel visqueux diminue dans la direction de l'écoulement (dH/dx < 0) .
Ceci est du à la nature visqueuse du fluide qui dissipe une partie de l'énergie: cette perte d'énergie est appelée ''***Perte de charge*** ''.
La représentation graphique en cas de fluide réel est donc montré par le schéma suivant :



L'équation de Bernoulli , pour un liquide réel , devient donc (voir schéma) :

$$\boxed{Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w12}}$$: ***Equation de Bernoulli pour un Fluide Réel***

avec : **h_{w12} :** ***Perte de charge totale entre les sections 1 et 2 .***
Selon l'origine des pertes de charge , on distingue :

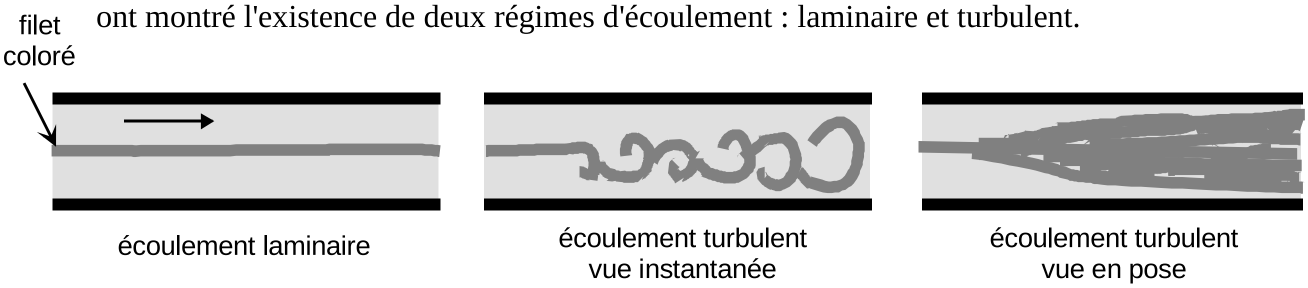
- La perte de charge primaire ou ‘’ **répartie** ‘’ , noté **h_r** , qui est la conséquence de la **viscosité** du fluide et de la **rugosité** des parois de la section d'écoulement
- La perte de charge secondaire ou ‘’ **locale** ‘’ ou ‘’ **singulière** ‘’ , noté **h_s** , qui est la conséquence d'une modification brusque dans la nature physique de la section d'écoulement (élargissement, rétrécissement, changement de direction , etc…).

La perte de charge totale est donc la somme des 2 pertes de charge répartie et singulière :

$$\underline{h_w = h_r + h_s}$$

V- LES DIFFERENTS REGIMES D'ECOULEMENT : NOMBRE DE REYNOLDS

Les expériences réalisées par Reynolds (1883) lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : laminaire et turbulent.



Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds et donné par

$$\boxed{R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{\rho VD}{\mu}}$$

avec :

- **V** = Vitesse moyenne d'écoulement = Q/A
- **D** = Diamètre de la section d'écoulement (circulaire)
- **ν** = Viscosité cinématique du fluide = μ/ρ
- **μ** = viscosité dynamique du fluide

En introduisant l'expression du débit et de la section d'écoulement (circulaire) , le nombre de Reynolds s'écrit :

$$\boxed{R_e = \frac{4Q}{\pi D \upsilon} = \frac{4\rho Q}{\pi D \mu}}$$

Les limites du Nombre de Reynolds définissant les différents régimes d'écoulement peuvent être résumées comme suit :

- $R_e \leq 2000$: Le régime est **'' LAMINAIRE ''**
- $2000 < R_e < 4000$: Le régime est **'' CRITIQUE ''** ou **'' TRANSITOIRE ''**
- $R_e \geq 4000$: Le régime est **'' TURBULENT ''**