

## I - Débits

### 1. Débit volumique

Le débit est le volume de fluide qui traverse une section par unité de temps :

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\Delta t} \quad Q \text{ en } m^3.s^{-1}$$

Le débit qui circule dans la conduite est aussi égal au produit de  $V$  par  $S$ , d'où la formule générale :

$$Q = \text{Section} \times \text{Vitesse d'écoulement} \quad Q = S \times v$$

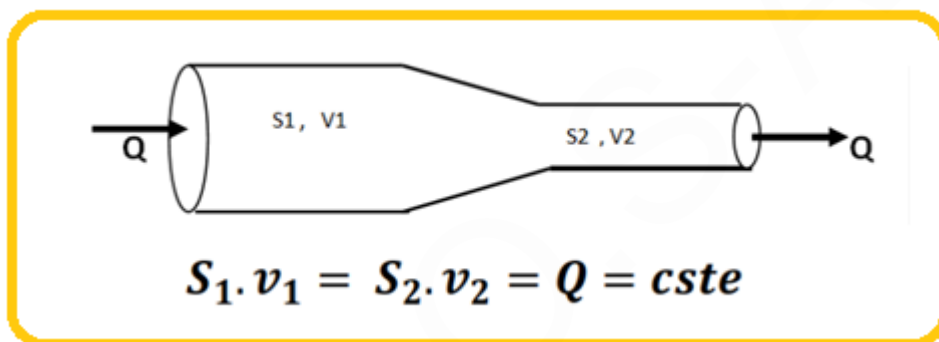
### 2. Le débit massique

Le débit massique est la masse de fluide qui traverse une section par unité de temps.

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad Q_m = \rho \cdot S \cdot v$$

## II- Principe de continuité du débit

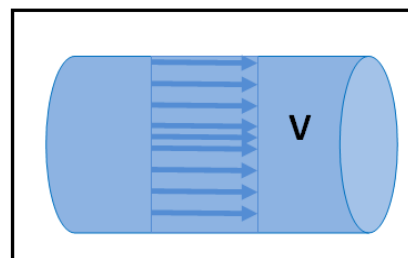
Débit entrant = débit sortant



## III- Théorème de Bernoulli pour les fluides parfaits

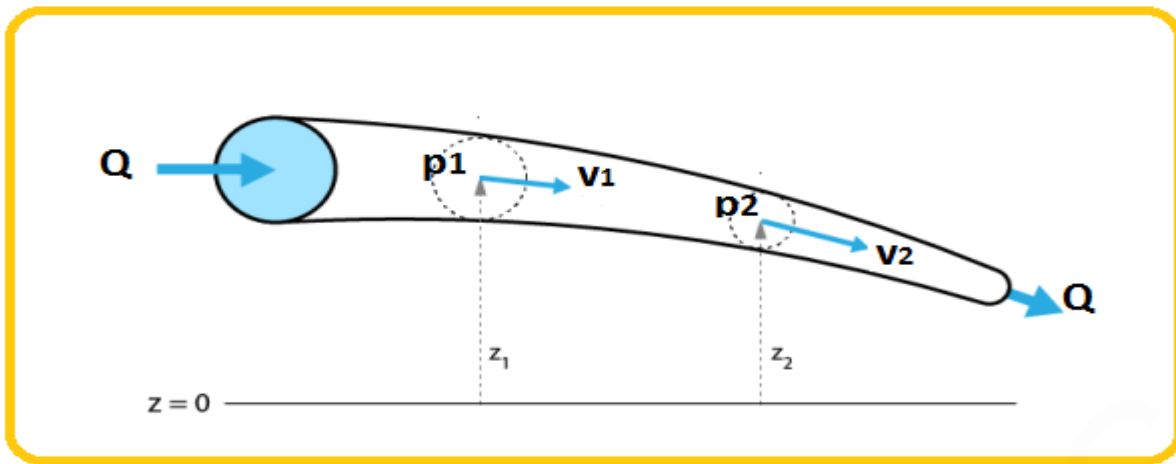
un fluide parfait est un fluide idéal, non visqueux, en s'écoulant il présente les caractéristiques suivantes :

- \* Pas de frottement ; donc pas de perte d'énergie.
- \* Le fluide s'écoule en glissant.
- \* La vitesse est uniforme en toute section.



Pour un fluide parfait (absence des frottements dus à la viscosité) il n'y a pas de dissipation d'énergie au cours de l'écoulement, et selon le principe de conservation de l'énergie, il y'a conservation de l'énergie totale (mécanique),

L'équation de Bernoulli traduit le principe de conservation de l'énergie totale (mécanique).



$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}$$

$v_1$  et  $v_2$  : vitesses d'écoulement du fluide dans les sections  $S_1$  et  $S_2$  (en m/s)

$p_1$  et  $p_2$  : pressions statiques (en Pa)

$z_1$  et  $z_2$  : altitudes des sections  $S_1$  et  $S_2$  (en m)

## I V- Théorème de Bernoulli pour les fluides réels

Lorsque le fluide est réel, la viscosité est non nulle, alors au cours du déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre la paroi d'où il y a une perte d'énergie ; cette perte est appelée « perte de charge ».

La relation de Bernoulli peut s'écrire sous la forme

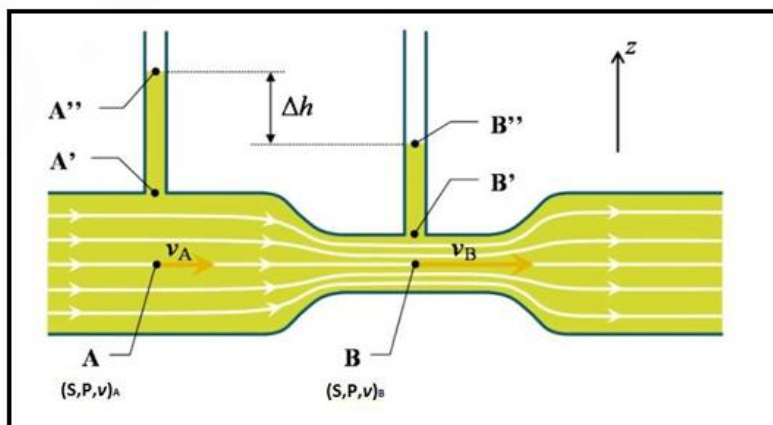
$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$  : pertes de charge entre les points 1 et 2.

### V-Effet Venturi

Considérons une canalisation horizontale dans laquelle circule un fluide incompressible (figure 16). Elle est composée d'une partie large  $SA$  et d'un étranglement  $SB$ .

- $SA \cdot v_A = SB \cdot v_B$       $SA > SB$  implique une vitesse  $v_A < v_B$



Conservation de l'énergie entre (1) et (2) : pour  $z = z$  l'équation de Bernoulli devient :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

$$P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho v_B^2 - \frac{1}{2}\rho v_A^2 = \frac{1}{2}\rho(v_B^2 - v_A^2)$$

$$\text{or } v_B > v_A, \text{ donc } v_B^2 - v_A^2 > 0 \text{ et } P_A - P_B > 0$$

$$\Rightarrow P_B < P_A : \text{chute de pression dans le rétrécissement}$$

**Effet-Venturi :** « lors d'un rétrécissement, il y a une chute de pression, au bénéfice d'une élévation de la vitesse » si S ↓ alors P ↓

## VI - Le nombre de Reynolds-régimes d'écoulement

Le nombre de Reynolds permet de déterminer le régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), c'est un nombre sans dimension, donné par :

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\mu} \quad Re = \frac{V.D}{\nu}$$

D : Diamètre intérieur de la conduite en (m) V :

V : Vitesse moyenne d'écoulement en (m/s)

$\rho$  : Masse volumique du fluide en (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  : Viscosité dynamique en (Pa.s)

$\nu$  : Viscosité cinématique en (m<sup>2</sup>/s)

- Si  $Re < 2400$  , le régime est Laminaire.
- Si  $Re > 3000$  , le régime est turbulent.
- Si  $2400 < Re < 3000$  , le régime est transitoire

L'écoulement laminaire : c'est un écoulement rectiligne, le fluide s'écoule en filets parallèles à l'axe de la conduite, sans mélange.

L'écoulement turbulent : l'écoulement se fait avec de grands tourbillons, et un mélange important.

## VII - Ecoulement d'un fluide réel : loi de poiseuille

Considérons un fluide visqueux dans une conduite horizontale, cylindrique, de petit diamètre , l'écoulement étant laminaire, la perte d'énergie due aux forces de frottement entraîne une diminution de la pression d'un point à un autre. La loi de poiseuille permet de calculer la variation (chute) de pression entre ces 2 points, elle est donnée par :

$$\Delta P = \frac{8 \cdot \mu \cdot L}{\pi \cdot r^4} Q \quad \Delta P = R \cdot Q \quad R = \frac{8 \cdot \mu \cdot L}{\pi \cdot r^4}$$

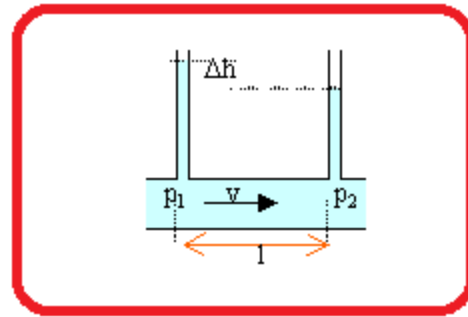
$R$  = résistance à l'écoulement

$r$  = rayon de la conduite

$L$  = longueur de la conduite

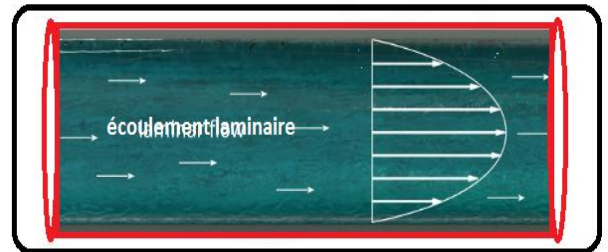
$Q$  = débit

$\mu$  = viscosité dynamique

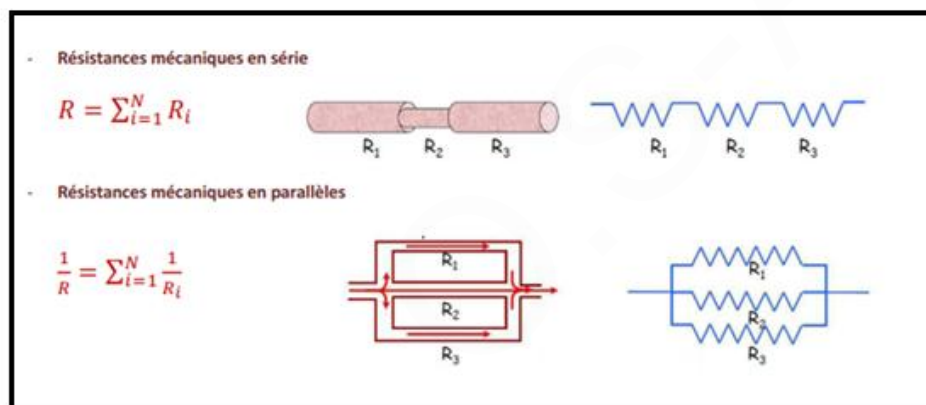


### Caractéristiques de l'écoulement de poiseuille

- Vitesses sont faibles.
- La vitesse est nulle au contact de la paroi.
- La vitesse est maximale au milieu.
- Le profil des vitesses est parabolique.
- relation linéaire entre  $\Delta P$  et  $Q$



### Calcul des résistances équivalentes



### Écoulement d'un fluide réel : écoulement turbulent

Dans un écoulement turbulent, les vecteurs vitesses peuvent prendre toutes les directions, ce qui se traduit par l'apparition de tourbillons

### Caractéristiques de l'écoulement turbulent

- Les vitesses sont élevées
- Les particules tourbillonnent dans toutes les directions à des vitesses différentes.
- Les lignes empruntées par les particules fluides se croisent.
- Pas de relation linéaire entre  $\Delta P$  et  $Q$

