

# CHAPITRE 3 : Cinématique des fluides incompressibles

## 1/- Description d'un écoulement :

### 1-1/ Définitions :

L'écoulement d'un fluide peut être permanent ou non permanent, uniforme ou non uniforme, laminaire ou turbulent.

- **Écoulement permanent :** un écoulement est dit permanent si la vitesse des particules de fluide qui se succèdent en un même point, et quel que soit ce point, reste la même (constante) au cours du temps.
- **Écoulement uniforme :** un écoulement est dit uniforme si la vitesse des particules de fluide est la même en tout point de l'écoulement (même direction, même intensité et même sens en chaque point).
- **Fluide parfait ou idéal :** un fluide parfait est un fluide dont la viscosité est supposée nulle. Il n'y a pas de contraintes de cisaillement dues au frottement interne entre molécules et frottement contre les parois. Il n'y a pas de rotation des particules de fluide autour de leur centre de masse (elles sont dites irrotationnelles). Il ne supporte que des forces de pression et les écoulements puissent être représentés par des lignes de courant.



Figure 16: Profils de vitesse

- **Lignes de courant :** les lignes de courant sont des lignes imaginaires de l'écoulement indiquant la direction du mouvement du fluide. C'est la courbe suivant laquelle se déplace un élément de fluide. Une ligne de courant est tangente en chaque point aux vecteurs vitesses des particules.
- **Tube de courant :** C'est l'ensemble formé à partir d'un faisceau de lignes (sorte de canalisation). Il n'y a pas d'écoulement de fluide latéralement ou transversalement au tube. L'écoulement s'effectue par les sections d'entrée ( $S_1$ ) et de sortie ( $S_2$ ).
- **Filet de courant :** C'est un tube de courant s'appuyant sur un petit élément de surface  $\Delta S$ .

La section de base  $\Delta S$  du tube ainsi définie est suffisamment petite pour que la vitesse du fluide soit la même en tous ses points (répartition uniforme).

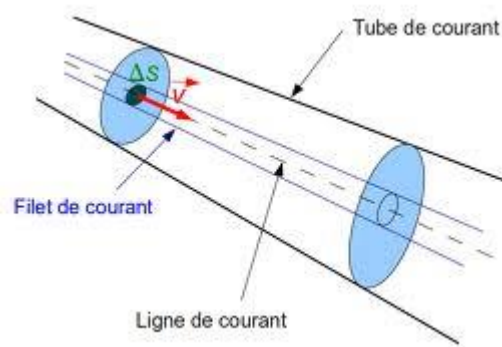


Figure 17: Ligne, Tube et Filet de courant

- **Lignes d'émission** : à un instant donné, c'est la courbe géométrique décrite par les particules de fluide qui passent en un point choisi de l'écoulement

En écoulement permanent, les lignes de courant, les trajectoires et les lignes d'émission sont identiques ou confondues.

\* Remarque : En écoulement permanent, les lignes de courant, les trajectoires et les lignes d'émission sont identiques ou confondues.

#### 1-2/Débits :

Le débit est le quotient de la quantité de fluide qui traverse une section droite de la conduite par la durée de cet écoulement. On distingue deux types de débit à savoir :

a/ Débit volumique :

Soit  $\Delta V$  le volume de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps  $\Delta t$ , par définition le débit-volume est :  $q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$  avec  $q_v$  en  $m^3.s^{-1}$ .

b/ Débit massique :

Soit  $\Delta m$  la masse de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps  $\Delta t$ , par définition le débit-masse est :  $q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t}$  avec  $q_m$  en  $kg.s^{-1}$ .

\* Relation entre  $q_m$  et  $q_v$  :

La masse volumique  $\rho$  est donnée par la relation :  $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$

On multiplie le numérateur et le dénominateur par  $\Delta t$  on trouve  $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V}$

D'où  $\rho = \frac{q_m}{q_v}$

## 2/- Equation de conservation de la masse ou équation de continuité :

### 2-1/ Conservation du débit :

Considérons un tube de courant entre deux sections  $S_1$  et  $S_2$ . Pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$ , infiniment petit, la masse  $\Delta m_1$  de fluide ayant traversé la section  $S_1$  est la même que la masse  $\Delta m_2$  ayant traversé la section  $S_2$ .

$$q_{m1} = q_{m2}$$

En régime stationnaire, le débit-masse est le même à travers toutes les sections droites d'un même tube de courant.

Dans le cas d'un écoulement isovolume ( $\rho = \text{Cte}$ ) :  $q_{v1} = q_{v2}$

### 2-2/ Expression du débit en fonction de la vitesse v :

Le débit volumique est aussi la quantité de liquide occupant un volume cylindrique de base  $S$  et de longueur égale à  $x$ , correspondant à la longueur du trajet effectué pendant l'unité de temps, par une particule de fluide traversant  $S$ .

Il en résulte la relation importante :  $q_v = v \cdot S$

a/ 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) (figure 16).

Dans une section droite  $S$  de la canalisation, on appelle vitesse moyenne  $v_m$  la vitesse telle que :

$$v_{\text{moy}} = \frac{q_v}{S}$$

La vitesse moyenne  $v_m$  apparaît comme la vitesse uniforme à travers la section  $S$  qui assure le même débit que la répartition réelle des vitesses.

Si l'écoulement est isovolume, cette vitesse moyenne est inversement proportionnelle à l'aire de la section droite.

$$q_v = v_{1\text{moy}} \cdot S_1 = v_{2\text{moy}} \cdot S_2 = \text{Cte}$$

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.