

Chapitre I.

I.1 Notions et définitions

Dans l'hydraulique, il est important de comprendre le milieu de l'écoulement par le calcul des grandeurs comme la vitesse, la pression, la charge hydraulique, les pertes de charge et autres.

Fluide réel : est un milieu continu ayant une viscosité, durant le mouvement assujéti aux frottements (intermoléculaires, contre la paroi rigide) et que ces frottements induisent des pertes d'énergie.

Fluide incompressible : est un milieu continu où la compressibilité est négligeable. Un fluide est incompressible lorsque la divergence de vitesse de l'écoulement est nulle.

I.1.1 Vitesse instantanée et vitesse moyenne

La vitesse instantanée \vec{V} est la vitesse d'une particule de fluide $M(x_i)$ (volume élémentaire) à l'instant t par rapport à un repère Eulérien.

La vitesse moyenne U est la vitesse d'un ensemble de volumes élémentaires de fluide qui s'écoule dans la même direction. Cette vitesse est une grandeur de calcul seulement.

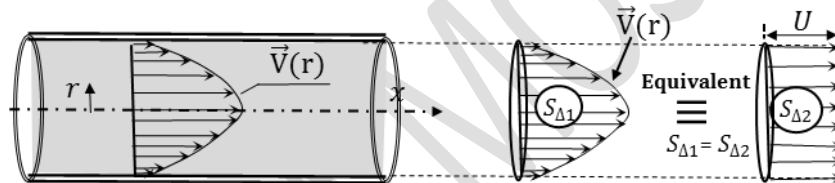


Figure I.1 Répartition de la vitesse instantanée sur une section transversale d'une conduite cylindrique, et notion de la vitesse moyenne

Pour un fluide incompressible, la vitesse moyenne est donnée par :

$$U = \frac{1}{S} \iint_S \vec{V} \cdot \vec{n} dS = \frac{1}{S} \iint_S \vec{V}_n dS = \frac{1}{S} \cdot Q \quad [\text{m/s}]$$

Avec : Q est le débit volumique [m^3/s], S est la section traversée en [m^2] et \vec{n} est le vecteur normal de S .

Dans ce cas, le débit volumique est en fonction de la vitesse moyenne : $Q = S \cdot U$

I.1.2 Ecoulement en charge

Les écoulements monophasiques en charge sont des écoulements confinés à l'intérieur des conduites sans surface libre et sous une différence de pression dynamique, voir la figure (I.2).

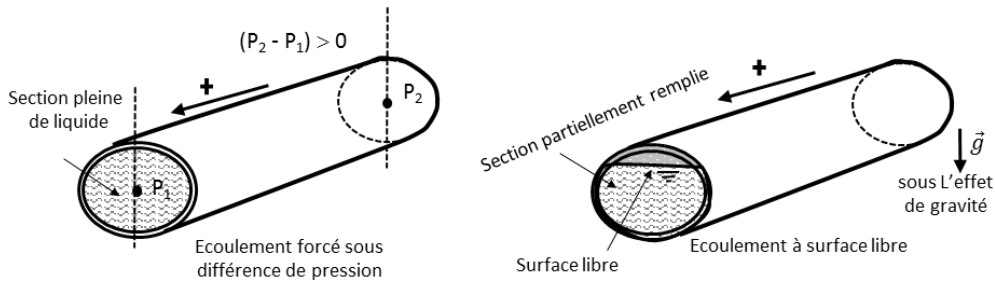


Figure I.2 Ecoulement en charge dans une conduite de section pleine

Les grandeurs de contrôle des écoulements en charge sont : la vitesse moyenne (U), la pression (P), le débit (Q) et la charge hydraulique (H).

I.1.3 Ecoulement permanent

Un écoulement est dit permanent lorsque toutes les grandeurs (variables) de contrôle sont indépendantes du temps (vitesse, pression, masse volumique... etc.), c.-à-d., lorsque les dérivées de celles-ci par rapport au temps sont nulles ($\frac{\partial(\cdot)}{\partial t} = 0$). Par contre, l'écoulement qui dépend au temps est appelé tout naturellement instationnaire.

I.1.4 Ecoulement uniforme

L'écoulement est dit uniforme lorsque le champ de vitesse reste constant par rapport aux variables d'espace (x, y, z) : soit par exemple, un écoulement dans une conduite la composante de vitesse devient ($\frac{\partial u}{\partial x} = 0$), on dit que l'écoulement est uniforme suivant l'axe \vec{ox} . Cette notion d'uniformité permet de classer les écoulements en tridimensionnels, bidimensionnels et même monodimensionnels.

Un écoulement permanent et uniforme dans une conduite est un écoulement conservatif où le débit volumique reste constant ($Q = Ct$).

I.1.5 Régimes d'écoulement

On rencontre dans la nature trois régimes d'écoulement : laminaire, transitoire et turbulent.

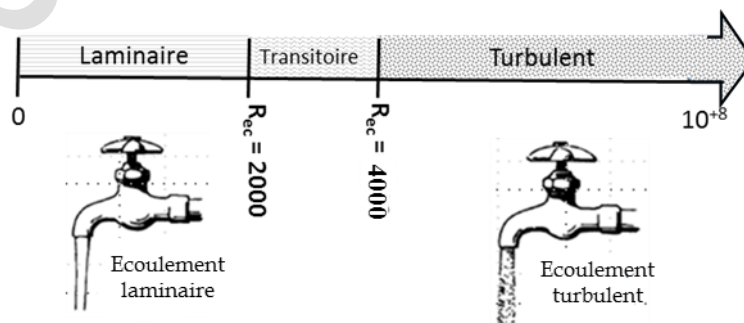


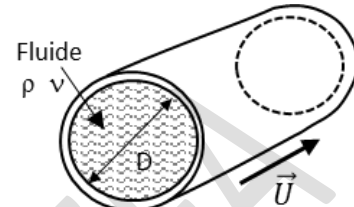
Figure I.3 Différents régimes d'écoulement

Le calcul du nombre de Reynolds ($Re = \frac{UD}{\nu}$) détermine le régime d'écoulement dans une conduite en charge.

Avec : U est la vitesse moyenne de l'écoulement [m/s], D est le diamètre intérieur de la conduite [m], ν est la viscosité cinématique du fluide à telle température [m²/s].

Suivant l'expérience de Reynolds, la caractérisation du régime d'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique est faite pour :

- Régime laminaire : $Re \leq 2000$
- Régime transitoire : $2000 < Re < 4000$
- Régime turbulent : $Re \geq 4000$



I.1.6 Profils de vitesse dans une conduite cylindrique

Le profil de vitesse dans une section transversale d'une conduite varie en fonction du régime d'écoulement.

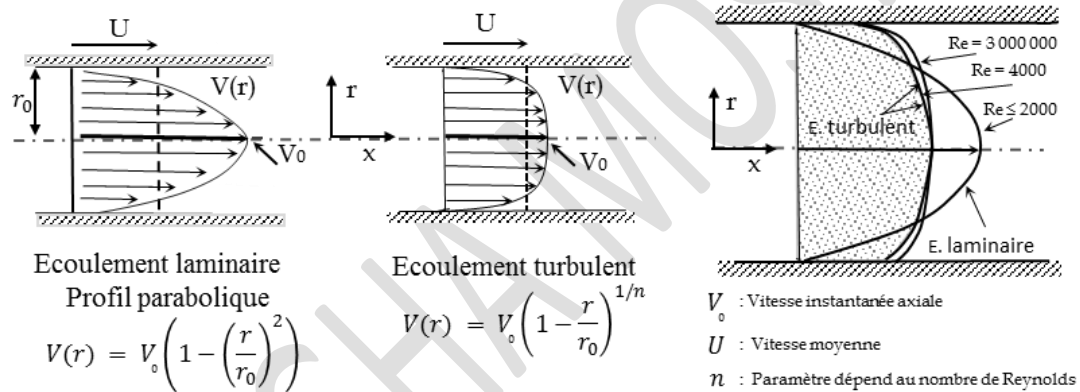
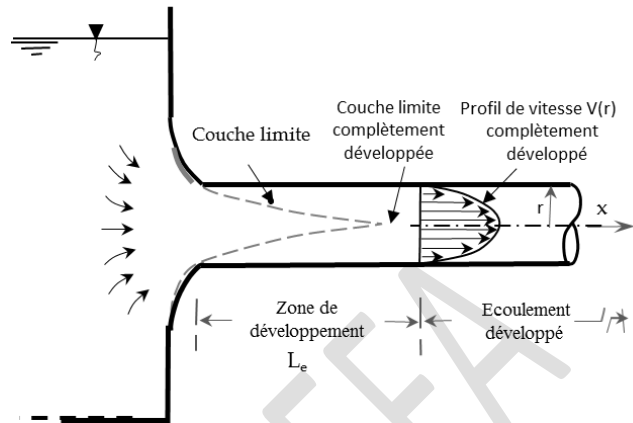


Figure I.4 Profil-vitesse dans différents régimes d'écoulement

Suivant la figure ci-dessus, on constate une zone centrale de pleine turbulence où le gradient de vitesse est très faible et le profil est aplati au centre de conduite (Ecoulement turbulent). La zone proche de paroi est de très faible épaisseur. Le gradient de vitesse est très important et les forces de viscosité sont donc très importantes dans cette couche. Des approches du profil de vitesse sont construites par des travaux d'origine empirique.

I.1.7 Ecoulement établi

Un écoulement établi est un écoulement où le profil de vitesse reste identique le long de l'axe de conduite. La figure ci-face montre qu'au début de la conduite, la couche limite de liquide se développe et son épaisseur augmente au fur et à mesure jusqu'à complètement envahir la section de l'écoulement à la distance L_e (longueur d'entrée). Après cette distance l'écoulement est devenu pleinement développé.



Il existe des relations semi-empiriques liant cette distance au nombre de Reynolds de l'écoulement :

Dans le régime laminaire ($Re \leq 2000$), la relation est donnée par : $\frac{L_e}{D} \approx 0,0065 Re$ (Boussinesq Nikuradse)

Dans le régime turbulent ($Re > 4000$), plusieurs formules proposées :

$$\frac{L_e}{D} \approx 4,4 Re^{1/6} ; \frac{L_e}{D} \approx 0,693 Re^{1/4} \text{ (Latzko)} ; \frac{L_e}{D} \approx 25 \text{ à } 40 \text{ (Nikuradse).}$$

I.2 Lois de conservation

I.2.1 Loi de conservation de matière (Equation de continuité)

Pour un écoulement permanent d'un fluide incompressible circule dans une conduite de section circulaire, il s'agit d'étudier le principe de conservation de la matière en présence des grandeurs moyennes de vitesse et de pression. Considérons un tube de lignes de courant d'un fluide de masse volumique ρ .

On désigne par S_1 et S_2 respectivement les sections d'entrée et de sortie du volume de contrôle, \vec{U}_1 et \vec{U}_2 sont les vecteurs de vitesse moyenne d'écoulement au centre des masses de fluide (ensemble de volumes élémentaires) dm_1 et dm_2 , voir la figure ci-face.

A l'instant ($t + dt$), le volume de contrôle reçoit une nouvelle masse dm_1 et en même temps, libère une autre masse dm_2 .

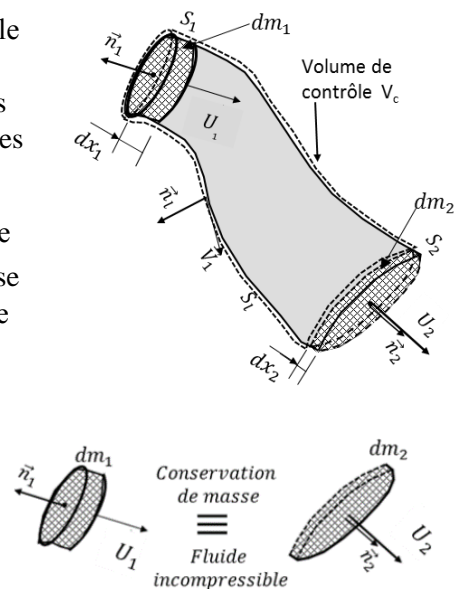
Par conservation de la masse d'un fluide incompressible : $dm_1 = dm_2$

Donc $\rho \cdot dV_1 = \rho \cdot dV_2$ ou encore $\rho \cdot S_1 \cdot dx_1 = \rho \cdot S_2 \cdot dx_2$

En divisant par dt :

$$\frac{\rho \cdot S_1 \cdot dx_1}{dt} = \frac{\rho \cdot S_2 \cdot dx_2}{dt} \Rightarrow \rho \cdot S_1 \cdot U_1 = \rho \cdot S_2 \cdot U_2$$

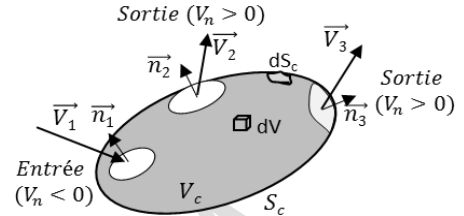
Nous pouvons aboutir à :



$$\underbrace{S_1 \cdot U_1}_{\text{Débit volumique } (Q_1)} = \underbrace{S_2 \cdot U_2}_{\text{Débit volumique } (Q_2)} \quad (I-1)$$

I.2.2 Loi de conservation des quantités de mouvement (Equation d'Euler)

Ce théorème traduit l'équilibre de la résultante des forces extérieures appliquées au fluide dans le domaine (V_c) limité par la surface (S_c) d'un côté et la variation temporelle de la quantité de mouvement de fluide dans ce domaine d'autre côté.



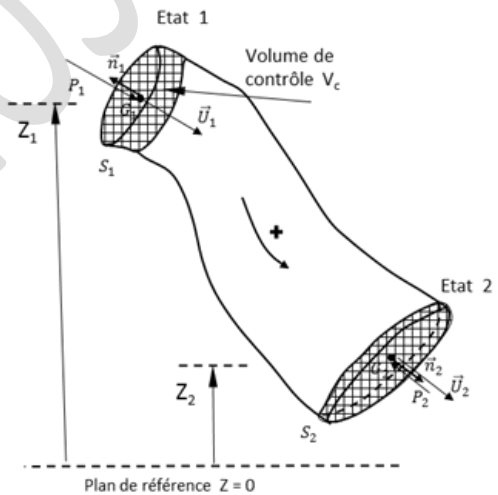
$$\sum \vec{F}_{Ext} = \rho \sum (Q_{Sortant} \cdot \vec{U}_{Sortante} - Q_{Entrant} \cdot \vec{U}_{Entrante}) \quad (I-2)$$

Cette équation d'Euler est d'un usage très large tant pour des applications hydrauliques qu'aérodynamiques. Certaines, parmi les plus classiques sont présentées ci-après, l'application d'un effort \vec{R} du coude sur le volume de contrôle de fluide.

I.2.3 Loi de conservation d'énergie (Equation de Bernoulli)

Hypothèses de travail :

- Fluide incompressible,
- Ecoulement permanent (stationnaire),
- Fluide newtonien,
- Fluide réel visqueux (Présence des pertes d'énergie).



Charge hydraulique d'un écoulement

La charge hydraulique est l'énergie mécanique totale exprimée par unité de poids de fluide en mouvement.

Par définition l'énergie totale d'un volume de contrôle V_c est : $E_T = E_C + E_P + E_Z$

$$E_T = \underbrace{\frac{1}{2} m \cdot U^2}_{\text{Energie cinétique}} + \underbrace{P \cdot \frac{m}{\rho}}_{\text{Energie potentielle due à la pression}} + \underbrace{m \cdot g \cdot Z}_{\text{Energie potentielle due à l'altitude}}$$

m : est la masse du volume V_c en [Kg], ρ est la masse volumique [Kg/m^3], U est la vitesse moyenne [m/s], P est la pression dynamique [N/m^2], Z : est l'élévation par rapport à une référence [m] et g est l'accélération gravitationnelle [m/s^2].

Donc, la charge hydraulique (H) fait référence à la quantité d'énergie cinétique et potentielle de pression et de différence d'altitude dans un écoulement.

$$H = \frac{E_T}{mg} = \frac{U^2}{2\rho} + \frac{P}{\rho g} + Z \quad (I-1)$$