Chapitre 4 Dynamique des fluides incompressibles réels

4.1 Régimes d'écoulement, expérience de Reynolds

En 1883 Osborne Reynolds (1842-1912) professeur de l'ingénierie à l'université de Manchester a réalisé des expériences lors de l'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique rectiligne. En injectant sur l'axe de la conduite un colorant

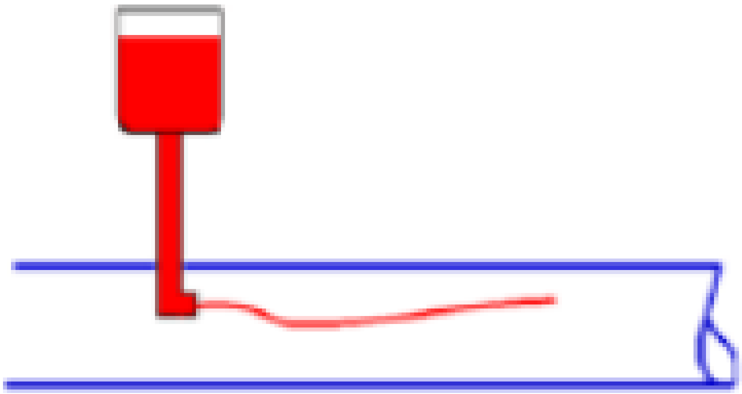

Figure 1: Expérience de Reynolds

il a remarqué qu'à faible vitesse, le colorant reste concentré très près de l'axe, caractéristique d'un écoulement stable laminaire (a),

puis à vitesse/débit plus important, des structures tourbillonnaires se forment, de plus en plus énergétiques, provoquant une diffusion rapide due à la turbulence (b et c) qui prend largement le dessus sur la diffusion moléculaire à peine observable à faible vitesse.

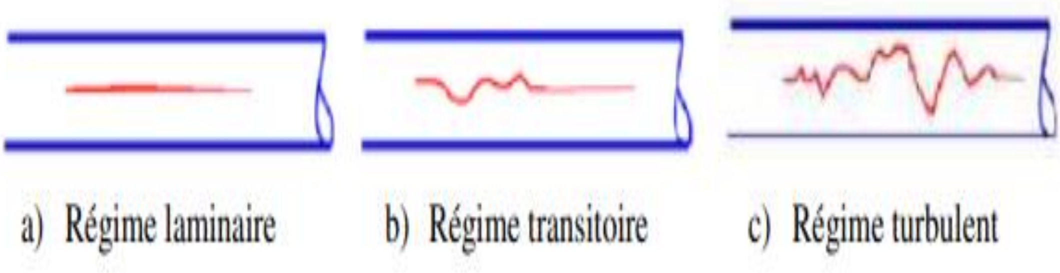

Figure 2: Les régimes d'écoulement

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, 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 R_e. Il exprime le rapport entre la force d'inertie $\rho.u^2$ et la force visqueuse $\mu.u/d$. Il est donné par la relation suivante :

R_e= Force d′inertie / Force visqueuse = $\rho.u^2.d/\mu.u = \rho.u.d/\mu = u.d/\upsilon$

u: Vitesse moyenne d'écoulement en m/s
d : Diamètre de la conduite en m

μ : Viscosité dynamique du fluide en $N.m^{-2}.s$

υ: Viscosité cinématique du fluide en m^2/s.

- Si Re < 2000 : l'écoulement est laminaire,
- Si 2000 < Re < 3000 : : l'écoulement est transitoire,
- Si Re > 3000 l'écoulement est turbulent.

Ces valeurs peuvent varier légèrement d'un ouvrage à un autre.

4.2 Cas des conduites non-circulaire

Dans le cas où la conduite n'est pas circulaire, on définit ce que l'on appelle le diamètre hydraulique :

d_H= 4.section droite de la conduite/périmètre mouillé

On peut également définir le rayon hydraulique en correspondance avec le rayon de la conduite:

r_H= section droite de la conduite/périmètre mouillé

dans le cas d'une conduite circulaire de diamètre d, on retrouve d_H= d.

dans le cas d'une conduite carrée, le diamètre hydraulique n'est autre que le côté du carré.

- ✓ pour un fluide circulant dans un espace annulaire, on peut montrer que :

$$d_H = 2.\ e = d_{ext} - d_{int}$$

où e est l'épaisseur de l'espace annulaire.

4.2 Théorème de Bernoulli (fluide parfait)

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 (dH/dl = 0, perte de charge qui se produit le long de dl).

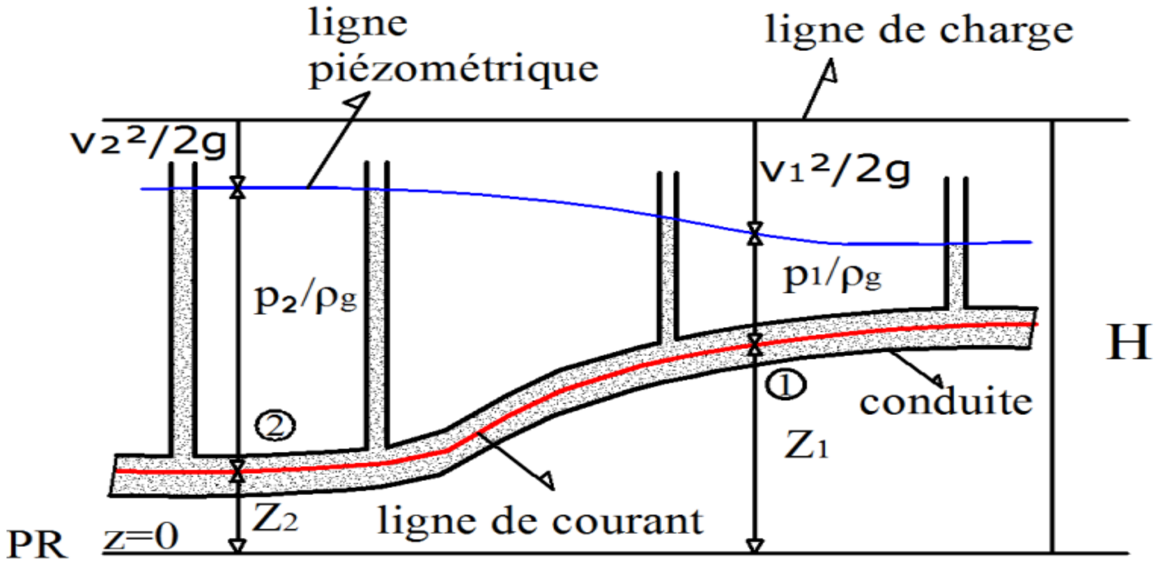

Figure2 : Représentation graphique de théorème de Bernoulli (fluide parfait)

D'après le schéma, on peut donc écrire que :

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

Cette équation s'écrit donc dans le cas général :

$$\frac{p}{\rho g}+\frac{v^2}{2g}+z=\frac{p_t}{\rho g}=\text{H =Constante}$$

$\frac{v^2}{2g}$:Hauteur due à la vitesse

$\frac{p}{\rho g}$: Hauteur due à la pression

Z : Cote du point

$H=\frac{p}{\rho g}$:Charge totale

4.3 Théorème de Bernoulli (fluide réel)

La charge H pour un fluide réel visqueux diminue dans la direction de l'écoulement.

(dH/dx=(H1- H2)/dl< 0=perte de charge qui se produit le long de dl, due principalement à la viscosité, ou pente hydraulique).

$$p_1 /\rho g + v_1^2 / 2g + Z1 = H1 = p_2/\rho g + v_2^2/2g + Z2 + \Delta h_{1-2} = H2$$

Le terme Δh représente la somme des pertes de charge, ΔH_L , linéaires ou uniformément réparties, dues a la viscosité (fonction de la température), aux frottement et ΔH_s singulières ou locales provoquées par les chargement et obstacles le long de l'itinéraire.

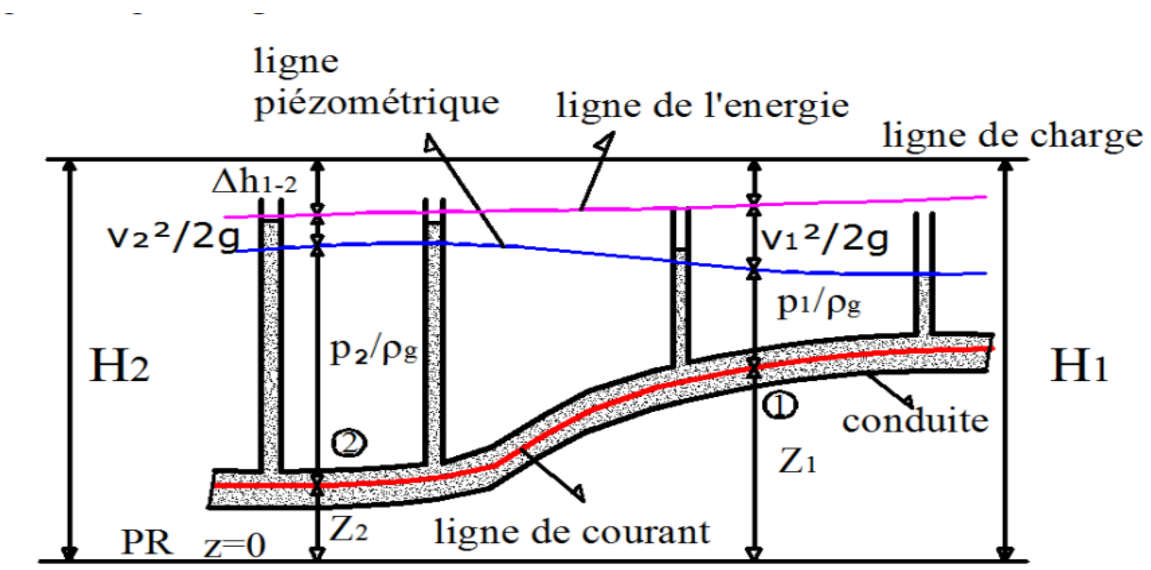

Figure : Représentation graphique de l'équation de Bernoulli pour un fluide réel (visqueux)