

CHAPITRE V : ÉCOULEMENT EN CHARGE.

V.1 Les régimes d'écoulement :

Le régime d'un écoulement se caractérise par la fluctuation temporelle des vitesses et des pressions au sein de la veine liquide.

V.1.1 Expérience de Reynolds:

L'expérience fondamentale de Reynolds (Fig. V.1) consiste à envoyer à l'aide du dispositif représenté en liquide coloré au sein d'une masse liquide en mouvement dans un tube en verre.

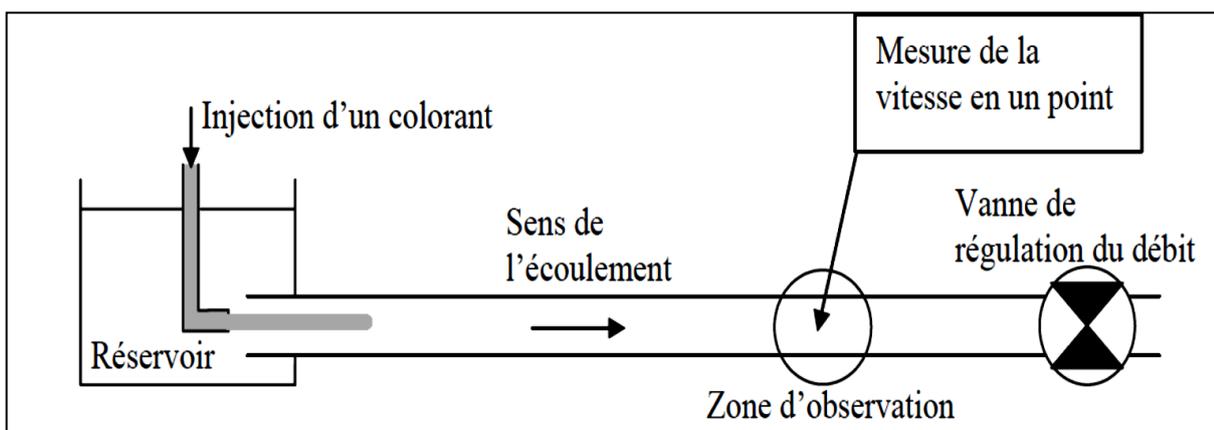


Fig. (V.1) : Expérience de Reynolds.

Si on désigne par U la vitesse moyenne dans le tube, D est le diamètre du tube et par ν la viscosité cinématique du liquide en mouvement, le nombre adimensionnel appelé **nombre de Reynolds** est le suivant :

$$R = \frac{U \cdot D}{\nu} \dots \dots \dots V.1$$

Le nombre de Reynolds peut servir à caractériser les régimes d'écoulement.

- Si $R < 2320 \Rightarrow$ le régime est tranquille ou laminaire.
- Si $R > 2320 \Rightarrow$ le régime est turbulent.

1. En ouvrant légèrement le robinet de vidange, le filet liquide coloré commence à passer lentement dans le tube de verre et ne se mélange pas avec les autres couches du liquide (fig. V.2). Les lignes de courant dans le liquide sont toujours rectilignes de telle sorte que la coloration reste uniforme. Ce régime est dit **Régime laminaire**.

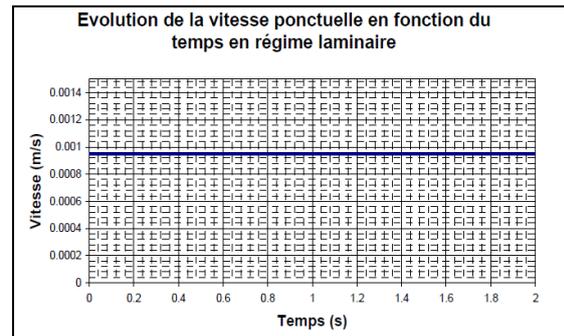
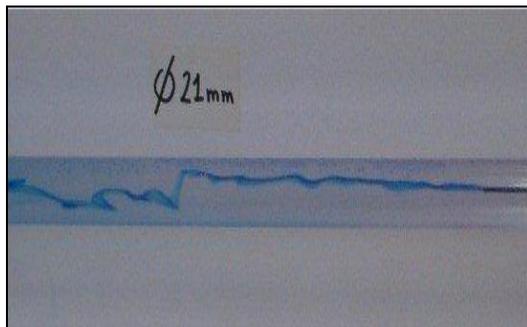


Fig. (V.2) Régime laminaire.

2. Quand la vitesse est plus élevée (augmentera l'ouverture du robinet). Le filet coloré devient ondulé et instable; il se mélange rapidement au liquide ambiant. Les autres couches du liquide dont lesquelles chaque particule est projetée dans toutes les directions d'une manière irrégulière et désordonnée (Fig. V.3). ce régime est dit **turbulents**.

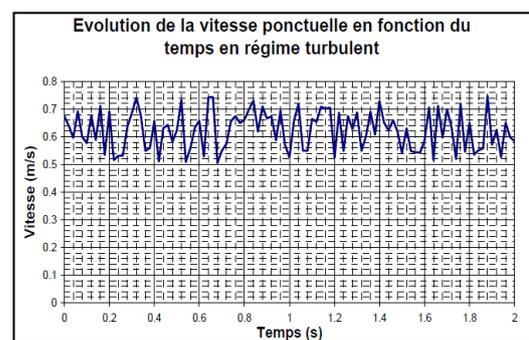
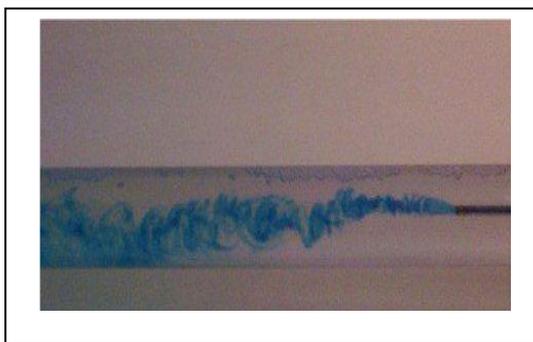


Fig. (V.3) régime turbulent.

3. Le changement du régime d'écoulement de laminaire à turbulent est un problème de stabilité de l'écoulement. La valeur du nombre de Reynolds est devient R critique (R_{cr}).

$$R = 2320 \Rightarrow \text{régime de transition (transitoire)}$$

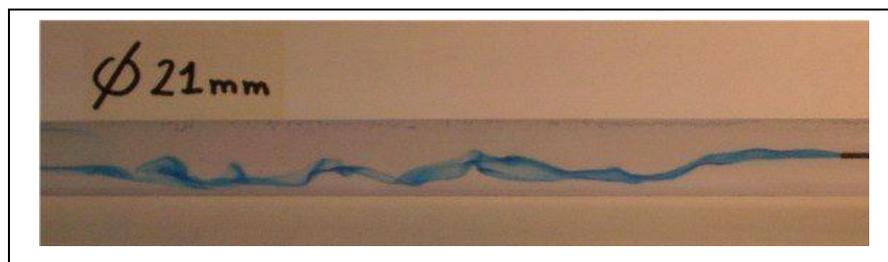


Fig. (V.4) Régime transitoire.

V.1.2 Distribution des vitesses dans un tuyau rectiligne:

Le graphique suivant compare la forme du profil de la vitesse en régimes laminaire et turbulent dans une conduite circulaire. En ordonnée est représenté le rapport entre la distance à la paroi (r) et le rayon de la conduite (R). L'abscisse représente le pourcentage du rapport entre la vitesse maximale du profil et la vitesse ponctuelle V(r/R) .

On constate que la vitesse maximale est au centre de la canalisation. Par contre, le profil de vitesse turbulent varie beaucoup plus qu'en laminaire au voisinage de la paroi. Cette zone de fort gradient de vitesse est appelée couche limite.

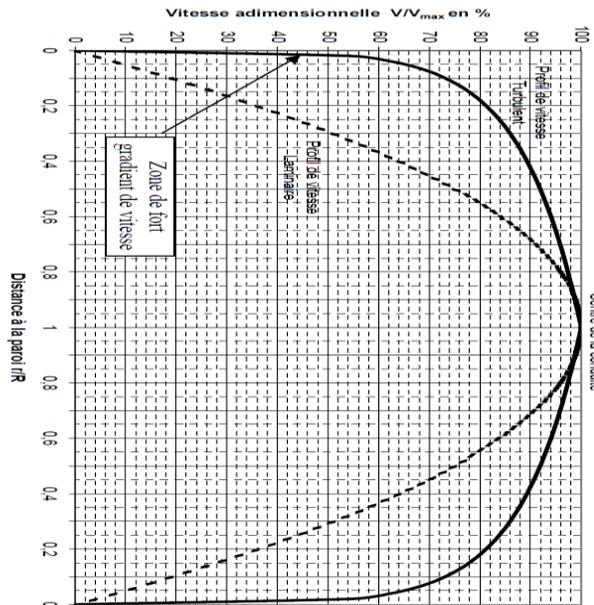


Fig. V.5 : Evolution de la vitesse dans une conduite circulaire.

V.2. Perte de charge :

La perte de charge ou perte d'énergie est due au frottement des molécules liquides entre elles et contre la paroi.

La perte de charge totale est égale à la somme des pertes de charges linéaires et des pertes de charges singulières.

$$J = j_l + j_s \dots\dots\dots (m) \dots\dots\dots V.2$$

V.2.1 Perte de charge linéaire:

L'expression de la perte de charge le long d'une conduite rectiligne et d'une section transversale constante est:

$$j_l = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot L \dots (m) \dots\dots\dots V.3$$

Où:

λ : C'est un coefficient adimensionnel qui dépend de la nature de l'écoulement (R_e) et de la rugosité de la paroi de la canalisation, appelée aussi coefficient de frottement.

D: diamètre de la conduite (m).

V: vitesse moyenne de l'écoulement (m/s).

g: accélération de la pesanteur (m/s^2).

L: longueur de la conduite (m).

➤ Détermination du coefficient de frottement λ :

1 . Cas d'un régime laminaire:

Dans ce cas $\lambda = f(R_l)$, est donné par la formule suivante:

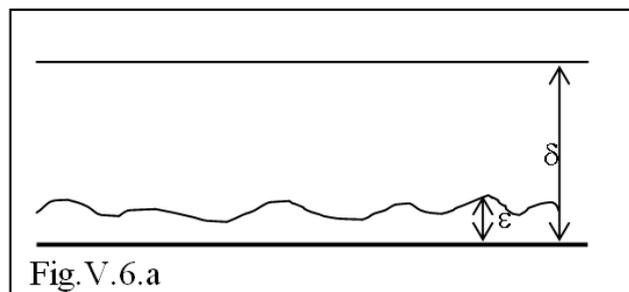
$$\lambda = \frac{64}{R_l} \dots\dots\dots V.4$$

2. Cas d'un régime turbulent:

λ Dépend de plusieurs facteurs, comme : le type des parois de la conduite, la rugosité,.....etc.

a .Ecoulement turbulent lisse:

La surface de la paroi solide n'a pas d'influence sur le corps d'écoulement c à d sur l'intensité d'agitation, celle-ci est appelée surface lisse. Il existe plusieurs formules, par exemple :



* Formule de VAN KARMAN:

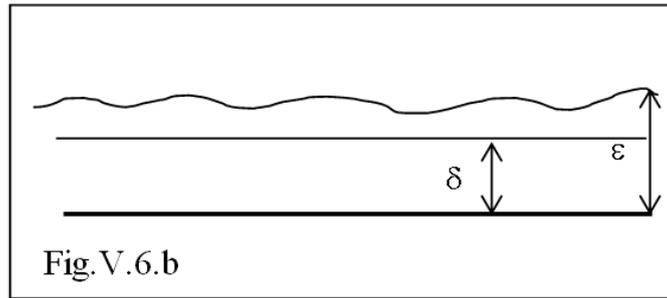
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{2,51}{R \sqrt{\lambda}} \dots\dots\dots V.5$$

* Formule de BLASUIS:

$$\lambda = \frac{0,3164}{R^{0,25}} \dots\dots\dots V.6$$

b. Ecoulement turbulent rugueux:

$\varepsilon > \delta \Rightarrow$ donc la surface de la paroi a une action directe sur le corps de l'écoulement c à d sur l'intensité d'agitation, celle-ci est appelée surface rugueuse ou bien surface à paroi rugueuse.



* Formule de NIKURADZE:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{\varepsilon}{3,7D} \dots\dots\dots V.7$$

c. Si la hauteur des aspérités $\varepsilon = \delta$ à l'épaisseur du film laminaire, dans ce cas, le régime est de faible turbulence ou de transition.

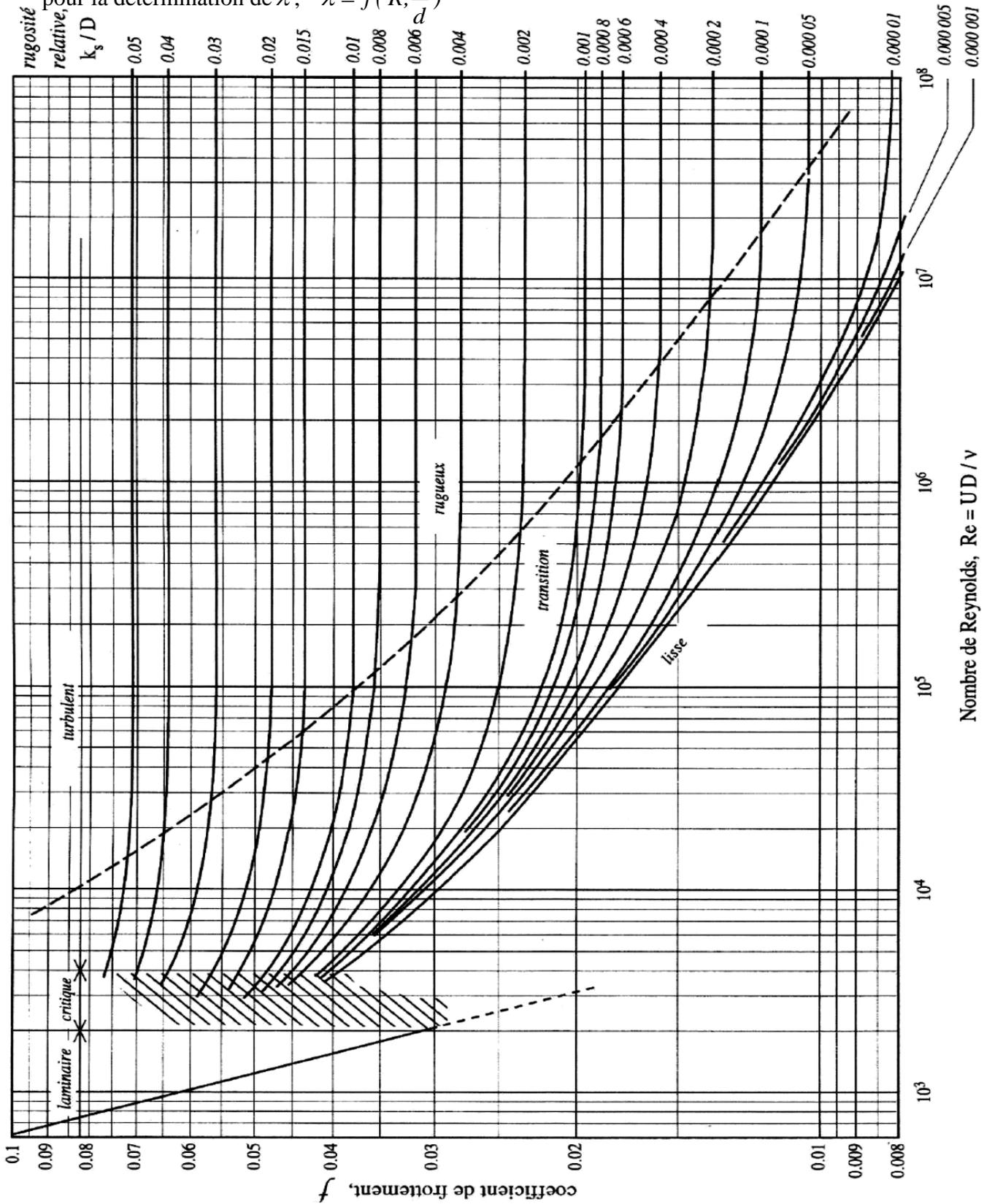
$\lambda = f(R, \frac{\varepsilon}{D})$, on utilise:

* Formule de COLEBROUK-WHITE:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{R\sqrt{\lambda}} \right] \dots\dots\dots V.8$$

3. Diagramme universel de MOODY: On peut utiliser le diagramme de Moody (Fig. V.7)

pour la détermination de λ , $\lambda = f\left(R, \frac{\varepsilon}{d}\right)$



V.2.2 Perte de charge singulière:

La perte de charge singulière J_s , localisée dans une section de la conduite est provoquée par un changement de direction et d'intensité de vitesse, cette perte de charge peut être provoquée par:

- Un changement de section de la conduite
- Un changement de la direction d'écoulement.
- Un branchement ou un raccordement de conduite.
- Les dispositifs mesurent le débit.
- Les dispositifs contrôlent le débit.

La perte de charge singulière est généralement exprimée comme suit:

$$j_s = \zeta \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots V.9$$

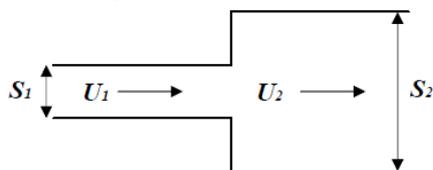
Avec: V: vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

g: accélération de la pesanteur, (m/s²)

: Coefficient de la perte de charge singulière qui dépend de la géométrie (forme, dimension).

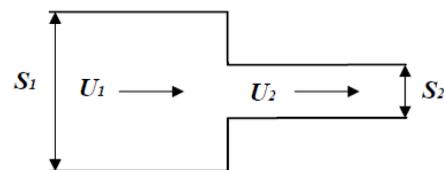
V.4.2.1 Changement de section :

* Elargissement brutal



$$j_s = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{s_1}{s_2}\right)^2 \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

* Rétrécissement brutal

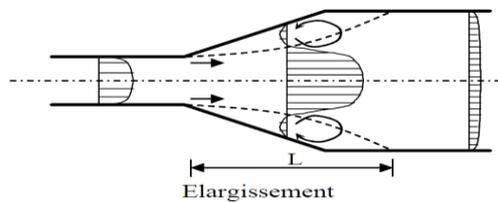


$$j_s = \xi \frac{V_2^2}{2g} \quad \xi = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 / C_c = \frac{S_c}{S_2}$$

S_c : section contractée

$$C_c = 0,63 + 0,37 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^3 \text{ (Formule Wisbatch)}$$

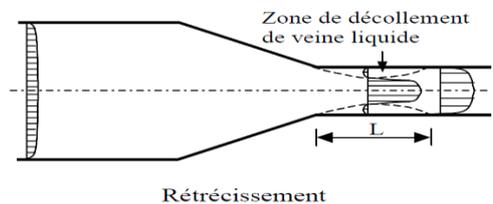
* Elargissement progressif



$$j_s = \xi \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Où $\xi = f(\theta, \frac{s_1}{s_2})$

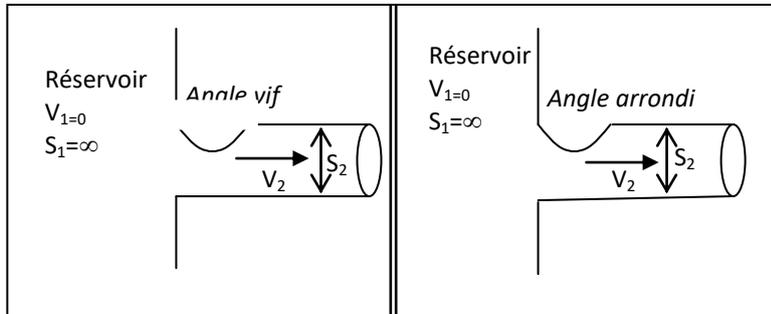
* Rétrécissement progressif



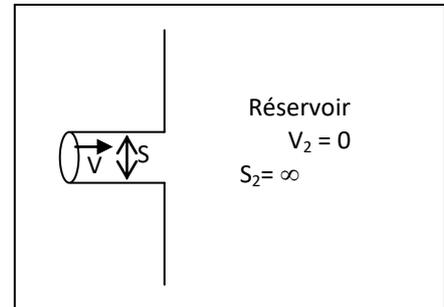
$$\xi = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \sin \theta, \quad C_c = 0,63 + 0,37 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^3$$

- Si $\theta < 7^\circ$, il n'y a pas de décollement et la perte de charge singulière ≈ 0 , mais si le divergent est long, il faut tenir compte de la perte de charge linéaire ;
- Si $120 < \theta < 180^\circ$, l'écoulement se décolle de la paroi, le coefficient $\xi \approx 1$

* *Sortie d'un réservoir :*



* *Entrée dans un réservoir :*



Cas d'une conduite part d'un réservoir

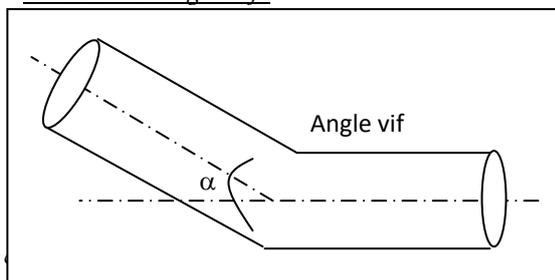
$$\xi = 0,5, C_c = 0,6 \Rightarrow \text{angle.vif}$$

$$\xi = 0,01, C_c = 1 \Rightarrow \text{angle.arrondi}$$

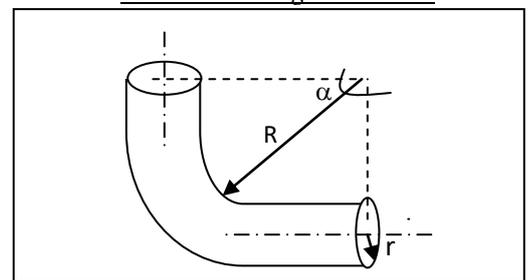
$$\xi \approx 1$$

V.4.2.2 Changement de direction :

* *Coudes à angle vif:*



* *Coudes à angle arrondi:*



V.4.2.3 Vannes :

a : degré d'ouverture de la vanne

$$\zeta = f(a)$$

