CHAPITRE IV : DYNAMIQUE **DES FLUIDES REELS INCOMPRESSIBLES**

Pré-requis :

Généralité sur les fluides.

Dynamique des fluides parfaits incompressibles.

Objectifs spécifiques :

Au terme de ce chapitre l'étudiant doit être capable :

- de distinguer les différents régimes d'écoulement d'un fluide.
- d'appliquer le théorème de Bernoulli pour un écoulement permanent d'un fluide réel incompressible avec ou sans échange d'énergie.
- de déterminer les pertes de charge et les puissances mises en jeu.

CHAPITRE IV :

DYNAMIQUE DES FLUIDES REELS INCOMPRESSIBLES

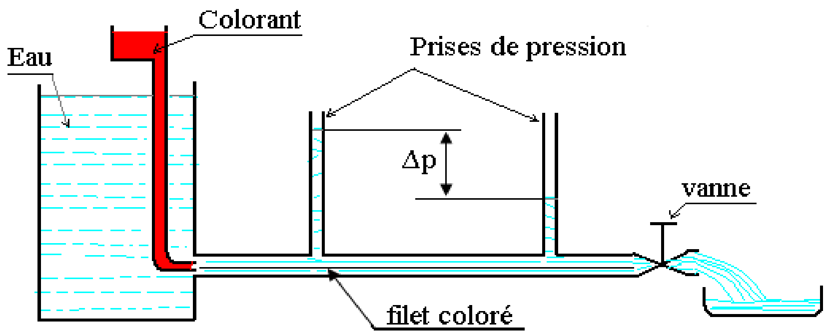
I- Introduction :

Contrairement à un fluide parfait par lequel, le frottement est négligeable, un fluide réel (ou visqueux) en écoulement est le siège de frottement qui peut être important. Cette perte d'énergie est due au frottement entre deux couches de fluide voisines ou entre le fluide et la paroi d'une conduite.

II- Les régimes d'écoulement :

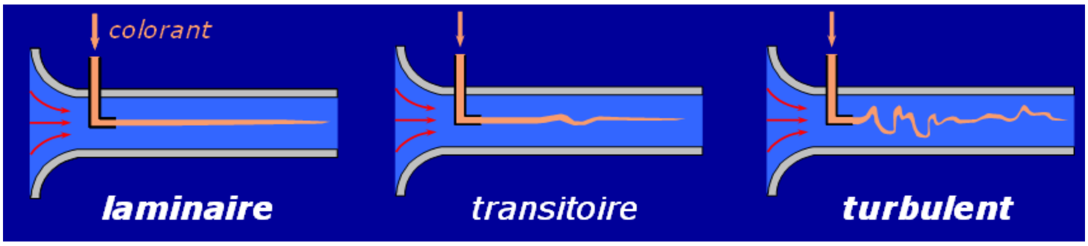
Depuis longtemps les hydrauliciens avaient constaté qu'il existe des différents régimes d'écoulement, mais **Osborne Reynolds** les a étudié expérimentalement, et a dégagé les critères permettant de les différencier.

1) Expérience : Un tube horizontal en verre comportant deux prises de pression est alimenté par un réservoir en charge. Une vanne placée à l'extrémité permet de faire varier la vitesse de l'écoulement. Un tube effilé alimenté par un réservoir de colorant permet d'obtenir un filet fluide coloré au centre du tube. On observe l'allure de l'écoulement en faisant varier la vitesse.



2) Observations :

- Aux faibles vitesses, le filet coloré conserve son individualité jusqu'à l'extrémité. La perte de pression Δ**p** est faible, alors le régime est dit laminaire.
- A partir d'une certaine vitesse de l'écoulement, le filet coloré se mélange brusquement dans l'eau après avoir parcouru une distance.
- Si on augmente encore la vitesse, le filet coloré se mélange à l'écoulement presque aussitôt après son introduction. On constate une augmentation brutale de Δ**p.**



b)Vitesse plus élevée **c) Vitesse très élevée**

3) Interprétation :

Pour le cas (a) : le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales. On dit que le fluide s'écoule en régime laminaire.

Pour le cas (b) : c'est une transition entre le régime laminaire et celui turbulent. On dit que le fluide s'écoule en régime transitoire.

Pour le cas (c) : formation de mouvement tourbillonnant dans le fluide. On dit que le fluide s'écoule en régime turbulent.

Cette expérience est faite par Reynolds en faisant varier le diamètre de la conduite, la température, le débit, etc…, pour des divers fluides. La détermination du régime d'écoulement est par le calcul d'un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds (Re).

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

Avec :
- D : diamètre de la conduite (en m)
- V : vitesse moyenne d'écoulement (en m/s)
- ρ : masse volumique du fluide (en kg/m^3)
- μ : coefficient de viscosité dynamique (en Pa.s)
- ν : coefficient de viscosité cinématique (en m²/s)

Si Re < 2000	le régime est laminaire
Si 2000 < Re < 3000	le régime est transitoire
Si Re > 3000	le régime est turbulent

Remarque : si la section n'est pas circulaire, on définit le diamètre équivalent (De) par : $De = \frac{4 * \text{la section de la conduite}}{\text{le périmètre mouillé par le fluide}}$

III- Théorème de BERNOULLI pour un fluide réel :

Lors d'un écoulement de fluide réel, il se produit du frottement entre deux couches voisines ou entre le fluide et paroi du conduit. Ces frottements engendrent des pertes d'énergie .La relation de Bernoulli s'écrit sous la forme :

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + J_{12}$$

J_{12} : quantité positive, unité (Pa), c'est l'énergie par unité de volume perdue entre les sections 1 et 2

$$J_{12} = (p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2) - (p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2)$$

= Charge du fluide en 1 – charge du fluide en 2

J_{12} est alors appelée « perte de charge »

IV- Détermination de la perte de charge J_{12} :

On distingue deux types de perte de charge :

- la perte décharge linéaire ou répartie. C'est la perte d'énergie due aux frottements dans une conduite de section constante et de longueur donnée.
- La perte de charge singulière ou locale. C'est la perte due aux accidents de parcours du fluide (changement de direction. Changement de section, vanne…)

1) Perte de charge linéaire : J_L

$$\boxed{\mathbf{J_L = \lambda \frac{L}{d} 1/2 \rho V^2}}$$

D : diamètre de la conduite considérée (m)

L : longueur de la conduite considérée (m)

V : vitesse moyenne (m/s)

λ (Sans dimension) : cœfficient de perte de charge linéaire. Il dépend de la nature de l'écoulement et de l'état de surface de la conduite.

- la nature de l'écoulement est caractérisée par le nombre de Reynolds R_e
- l'état de surface est défini par l'épaisseur moyenne des rugosités :

Alors $\lambda = f(R_e, \varepsilon/d)$

Selon le nombre de Reynolds, on distingue différents cas :

1^er^ cas : R_e< 2000 l'écoulement est laminaire, c'est un écoulement organisé pour lequel λ ne dépend que de R_e. On utilise la loi de Poiseuille :

$$\boxed{\lambda = \frac{64}{R}}$$

2^eme^ cas : R_e > 3000 l'écoulement est turbulent, c'est un écoulement agité. Différentes lois sont proposées à partir d'études expérimentales.

- pour 3000< R_e < 10^5 l'écoulement est dit turbulent hydrauliquement lisse. λ ne dépend que de R_e. La loi la plus utilisée est celle de Blasius :

$$\boxed{\lambda = 0.316R^{-1/4} = (100R)^{-1/4}}$$

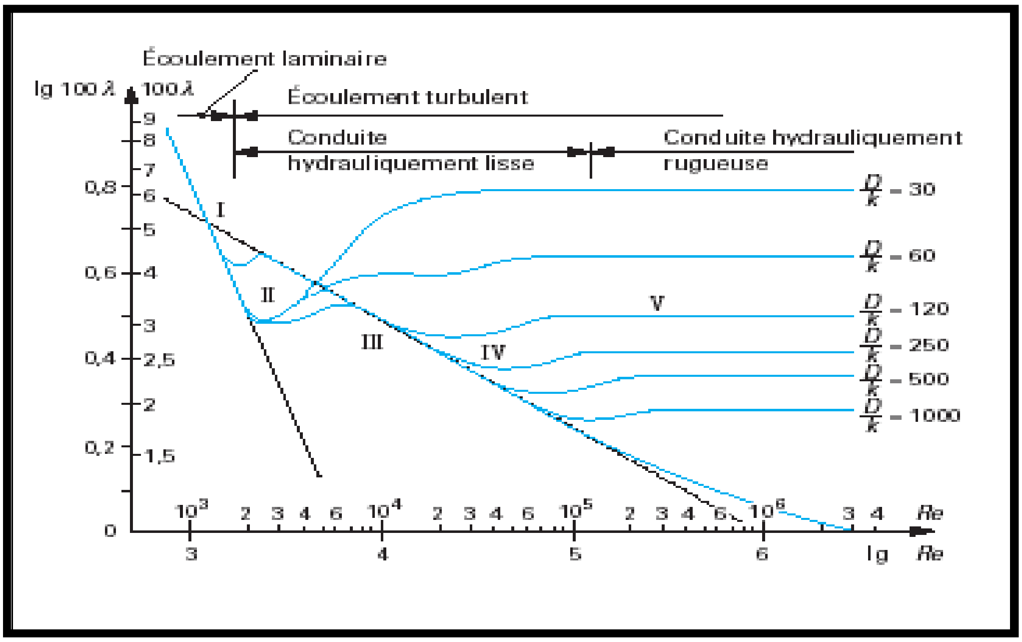
- pour $R_e > 10^5$ l'écoulement est dit turbulent hydrauliquement rugueux. λ ne dépend que de ε/d .On peut utiliser la loi de Blench. :

$$\boxed{\lambda = 0.79\sqrt{\varepsilon/\mathrm{d}}}$$

3 ^éme^ cas : 2000< R_e < 3000, c'est le régime transitoire entre le laminaire organisé et le turbulent. Pour ce cas, il n'y a pas de loi. Mais on peut utiliser la loi de Blasius.

Remarque :

Dans la pratique on utilise souvent un abaque qui permet de déterminer **λ** connaissant **Re** et **ε/d.**



Abaque des pertes de charge.

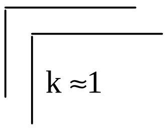
2)Perte de charge singulière : J_s

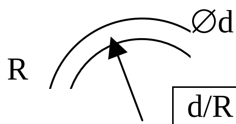
$$\boxed{J_s = k\ \tfrac{1}{2}\ \rho\ V^2}$$

K coefficient de perte de charge singulière. Il dépend de la nature de la singularité.

Exemple :

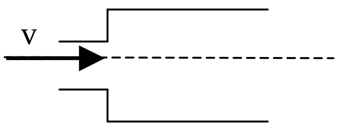
Coude à angle droit :



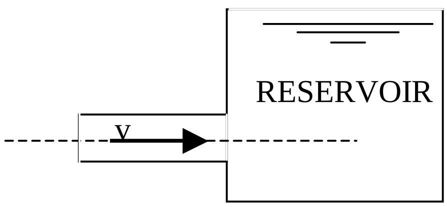


d/R	0.2	0.8	1.4	1.6
K	0.13	0.2	0.66	1

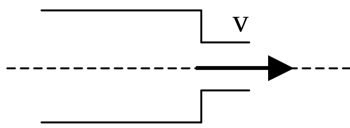
Elargissement brusque



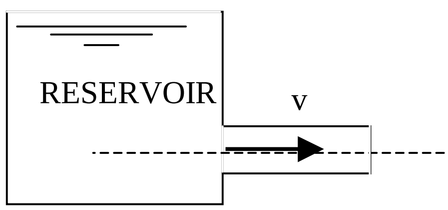
k≈1



Rétrécissement brusque



k= 0.5

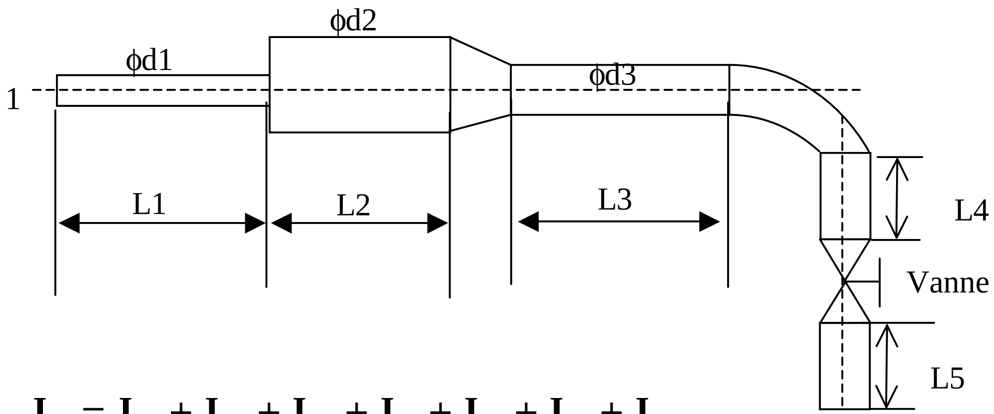


Pour réduire les pertes de charges singulières, on doit éviter les angles vifs et les changements brusques des sections.

La perte de charge totale entre deux points d'un circuit est :

$$\boxed{J_{12}=\sum j_{li}+\sum j_{sj}}$$

Exemple :



$$J_{12} = J_{L1} + J_{L2} + J_{L3} + J_{S1} + J_{S2} + J_{S3} + J_{S4}$$

Avec :

J_{L1} : Perte linéaire dans la conduite de $\varnothing d_1$ et de longueur L_1

J_{L2} : Perte linéaire dans la conduite de $\varnothing d_2$ et de longueur L_2

J_{L3} : Perte linéaire dans la conduite de $\varnothing d_3$ et de longueur $L_3 + L_4 + L_5$

J_{s1} : Perte singulière élargissement

J_{s2} : Perte singulière rétrécissement progressif

J_{s3} : Perte singulière coude

J_{s4} : Perte singulière vanne

<u>APPLICATION</u>

On considère l'écoulement d'huile ρ = 900 Kg/m^3, ν =32 cst dans une portion horizontale d'un circuit. La portion est constituée d'une conduite de ϕd_1= 14 mm et de longueur L_1= 8m terminée par une conduite de ϕd_2= 24 mm et de longueur L_2 = 8m. Le coefficient de perte de charge singulière de l'élargissement est K = 0.7 et le débit dans la portion est Q = 68 1/mn. Calculer :

1/ les différentes pertes de charge

2/ la pression à la sortie de la portion, sachant que la pression à son entrée est de 20 bar.

V- Fluide réel traversant une machine hydraulique :

1) Conservation de l'énergie :

$$\boxed{p_1+\rho g z_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_2+\rho g z_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2 + J_{12} \pm E}$$

E(Pa) > 0 : + E pour récepteur et –E pour un générateur

J_{12} (Pa) > 0 : perte de charge dans la portion avant la machine plus la perte dans la portion après la machine.

On suppose qu'il n'y a pas de perte d'énergie dans la machine. Les pertes d'énergie dans la machine sont traduites par le rendement de la machine.

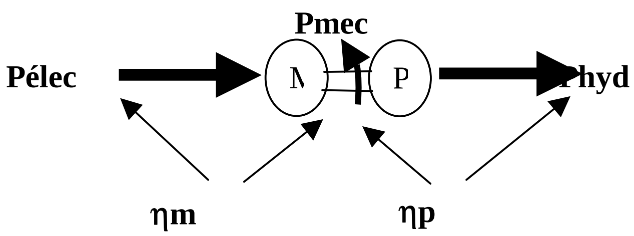
2) Puissance mise en jeu :

- Puissance hydraulique :

$$\boxed{P_{hyd} = E \quad x \quad Q}$$

(w) (Pa) (m^3/s)

- Cas d'une pompe :



η_m et η_p sont respectivement les rendement du moteur électrique et de la pompe

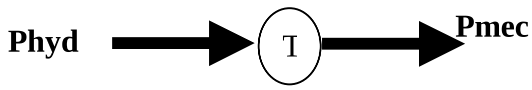
Puissance mécanique :

$$\boxed{P_{mec} = P_{hyd} / \eta_p} \quad (w)$$

Puissance électrique :

$$\boxed{P_{élec} = P_{mec} / \eta_m = P_{hyd} / (\eta_p . \eta_m) = E.Q / (\eta_p . \eta_m)} \quad \text{(w)}$$

- Cas d'une turbine



$$\boxed{P_{méca} = P_{hyd} . \eta_T} \qquad \text{(w)}$$

η_T : Rendement de la turbine