

---

## Chapitre 6

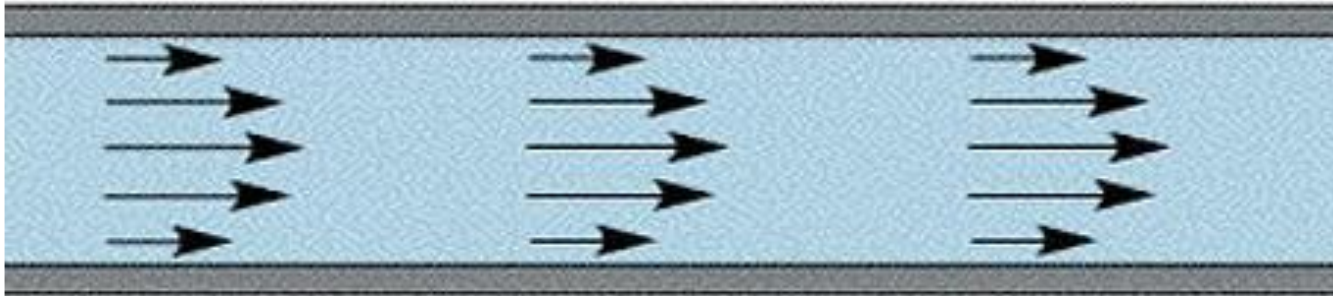
# Perte de Charge de Fluides Visqueux Incompressibles

---

## 6.1 RÉGIMES D'ÉCOULEMENTS

### Écoulement laminaire

- ▶ Couches du fluide s'écoulent concentriquement les unes par rapport aux autres sans se mélanger.
- ▶ Près de paroi : écoulement stationnaire (faible vitesse)
- ▶ Au centre : écoulement avec plus grande vitesse



### Écoulement turbulent

- ▶ Mélange aléatoire des couches du fluide : effet positif sur transfert de chaleur



- ▶ Mélange → pulsation vitesse & pression pouvant provoquer des vibrations

## 6.1 RÉGIMES D'ÉCOULEMENTS

**Expériences de Reynolds** : fluides à différentes viscosités, variation de débit et diamètre de conduit (canalisation) :

$$R_e = v \cdot d / \nu$$

$v$  : vitesse moyenne d'écoulement (m/s) ,  $d$  : diamètre conduite (m),  $\nu$  viscosité cinématique fluide (m<sup>2</sup>/s)

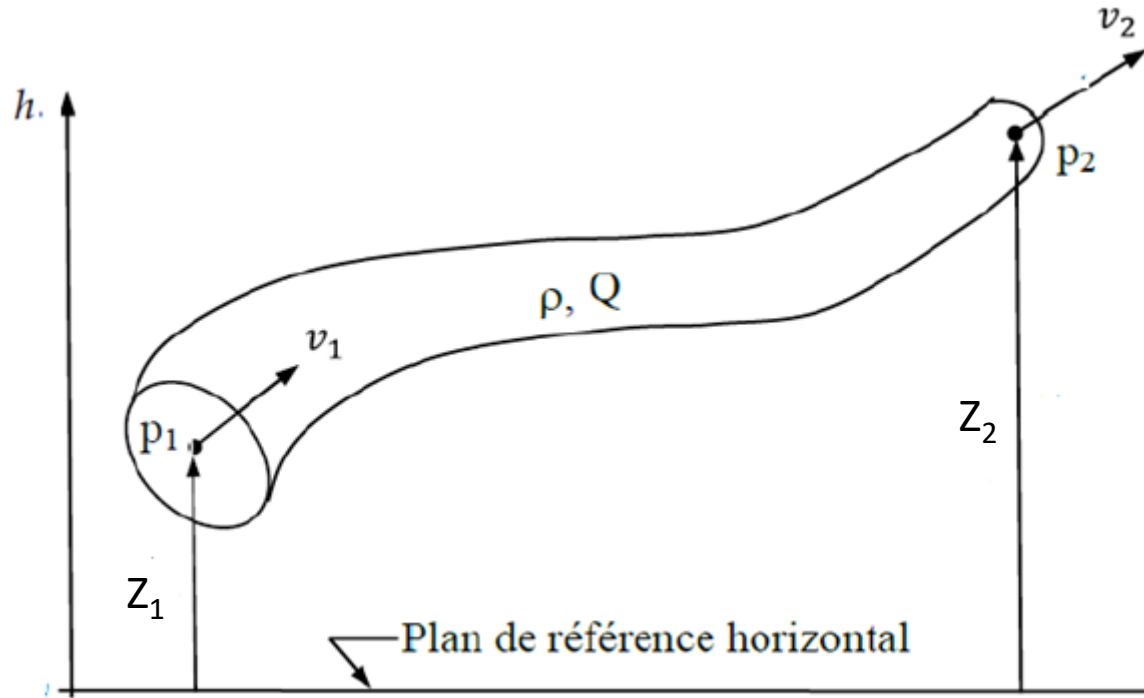
➤ Différentes valeurs de  $R_e$

- $R_e \leq 2300$  : écoulement laminaire (organisé)
- $R_e \geq 4000$  : écoulement turbulent (agité)
- $2300 \leq R_e \leq 4000$  : écoulement transitoire (entre laminaire et turbulent)

## 6.2 PERTES DE CHARGE ET D'ÉNERGIE

- Viscosité  $\Rightarrow$  frottements dans le fluide, entre fluide et parois tuyau ou canalisation
- Frottements :
  - Convertir en chaleur une partie d'énergie de pression du fluide en déplacement
  - Augmenter la température du fluide et de la tuyauterie
  - Critiques dans le fonctionnement de certaines pièces d'équipement
  - Entraînent production de chaleur = perte d'énergie pour le fluide : perte de charge
  - Canalisation horizontale, pertes = diminution de pression dans le sens d'écoulement
- Pertes de charge dépendent de :
  - Longueur de canalisation : pertes  $\uparrow$  quand  $L \uparrow$
  - Viscosité du liquide : liquide + visqueux, pertes  $\uparrow$
  - Diamètre intérieur du tuyau :  $d \downarrow$ , pertes  $\uparrow$
  - Débit : pertes (frottements)  $\uparrow$  lorsque  $Q \uparrow$
  - Rugosité de la canalisation : rugosité  $\uparrow$  les frottements, d'où  $\uparrow$  des pertes

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

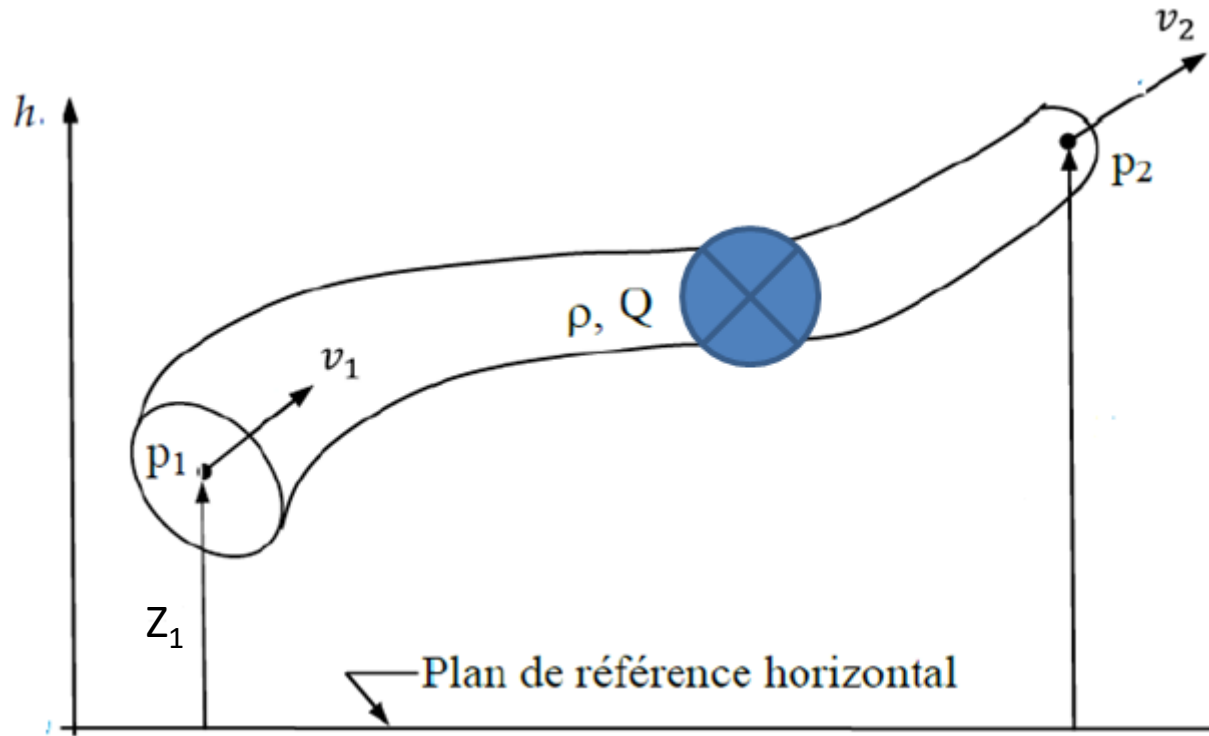


Équation de conservation d'énergie :  $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$

$$h_L = \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

$h_L$  : perte de charge

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE



Équation de conservation d'énergie : 
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \pm E = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

$E$  = énergie fournie (pompe) ou absorbée (turbine)

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Types de pertes de charge :

- *Perte de charge linéaire* : frottements dans une conduite à  $A$  constante et  $L$  donnée.

$$h_L = \frac{\lambda L v^2}{d 2g}$$

$v$  : vitesse moyenne d'écoulement (m/s),  $L$  longueur conduite (m),  $d$  diamètre conduite (m),  $\lambda$  coefficient de perte de charge linéaire dépendant de  $R_e$

### Coefficients de perte de charge linéaire :

- Écoulement laminaire :  $R_e \leq 2300$  (formule de Poiseuille)

$$\lambda = 64/R_e$$

- Écoulement turbulent lisse :  $2300 \leq R_e \leq 10^5$  (formule de Blasius)

$$\lambda = 0.316 R_e^{-0.25}$$

- Écoulement turbulent rugueux :  $R_e > 10^5$  (formule de Blench)

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

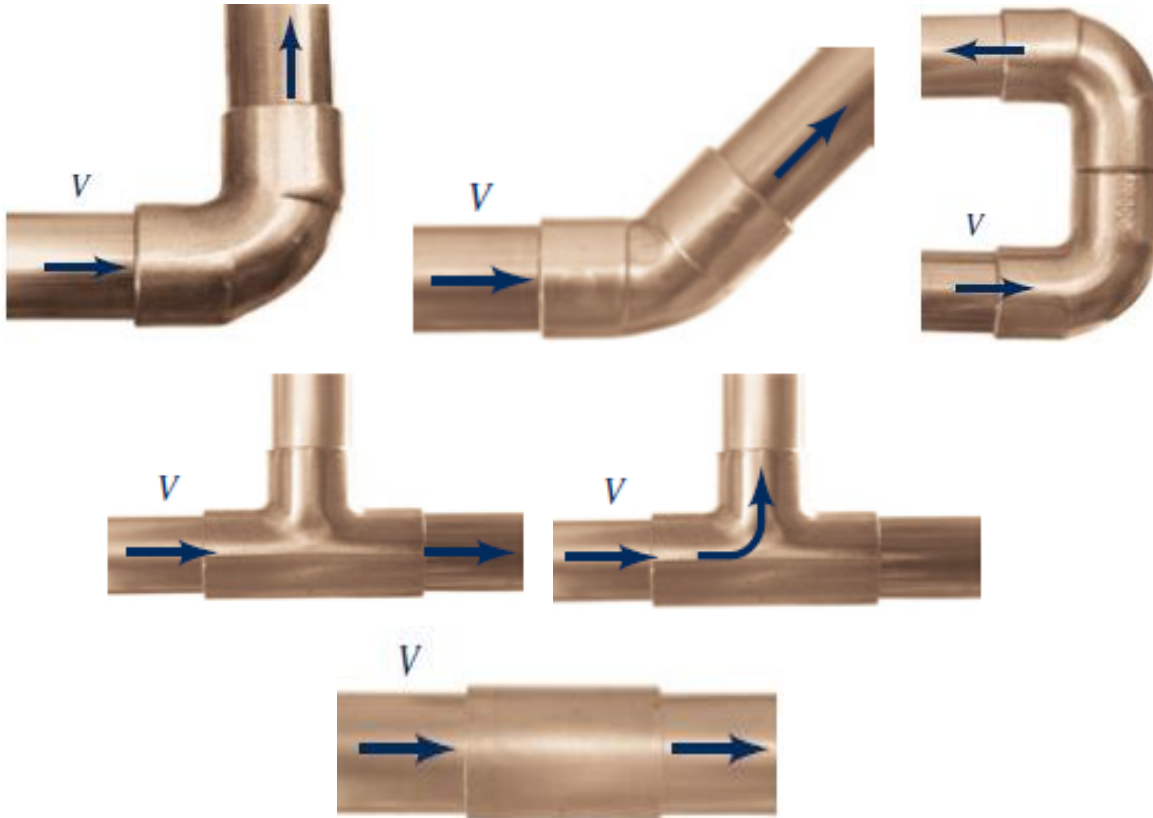
$\varepsilon$  : rugosité de la surface interne de la conduite (tuyau)

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Types de pertes de charges :

- ▶ *Perte de charge singulière* (locale) : accidents de parcours fluide (changement de direction, changement de section, vanne, ...)

Exemples de quelques changements de direction





## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Types de pertes de charges :

- ♦ *Perte de charge singulière* (locale) :

$$h_S = K_S \frac{v^2}{2}$$

$K_S$  coefficient (adimensionnel) de perte de charge (nature & géométrie de forme de l'accident)

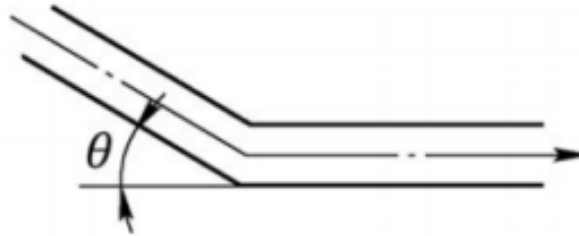
### Perte totale de charge

$h_F = h_L + h_S$  : somme de pertes de charge singulières et linéaires entre (1) et (2)

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Exemple de pertes de charges singulières :

Tuyau plié



$\theta$	20°	40°	60°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	160°
$K_s$	0.046	0.139	0.364	0.741	0.985	1.260	1.560	1.861	2.150	2.431

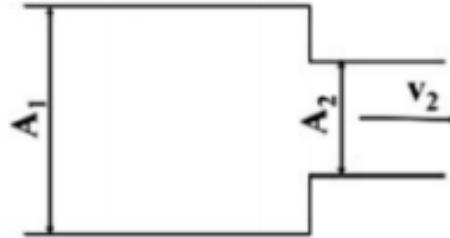
Tuyau à 3 voies

Tuyau à 3 voies à 90°				
$K_s$	0.1	1.3	1.3	3
Tuyau à 3 voies à 45°				
$K_s$	0.15	0.005	0.5	3

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Exemple de pertes de charges singulières :

Contraction soudaine du diamètre du tuyau

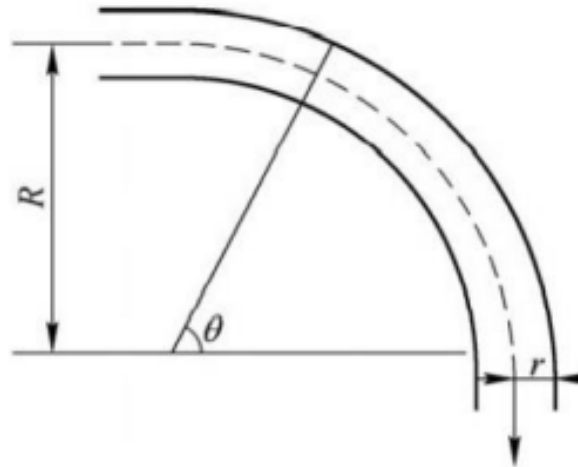


$A_2/A_1$	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$K_s$	0.490	0.469	0.431	0.387	0.343	0.298	0.257	0.212	0.161	0.070	0.000

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Exemple de pertes de charges singulières :

Tuyau courbé (coude)

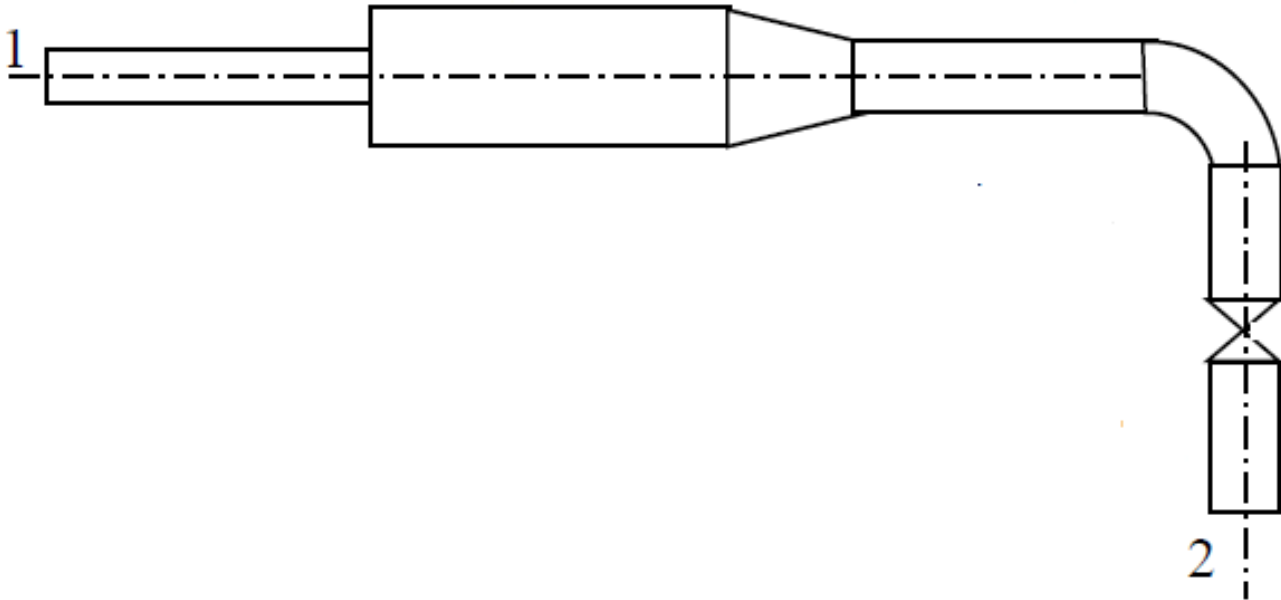


Coude à 90°

$r/R$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$K_s$	0.132	0.138	0.158	0.206	0.294	0.440	0.661	0.977	1.408	1.978

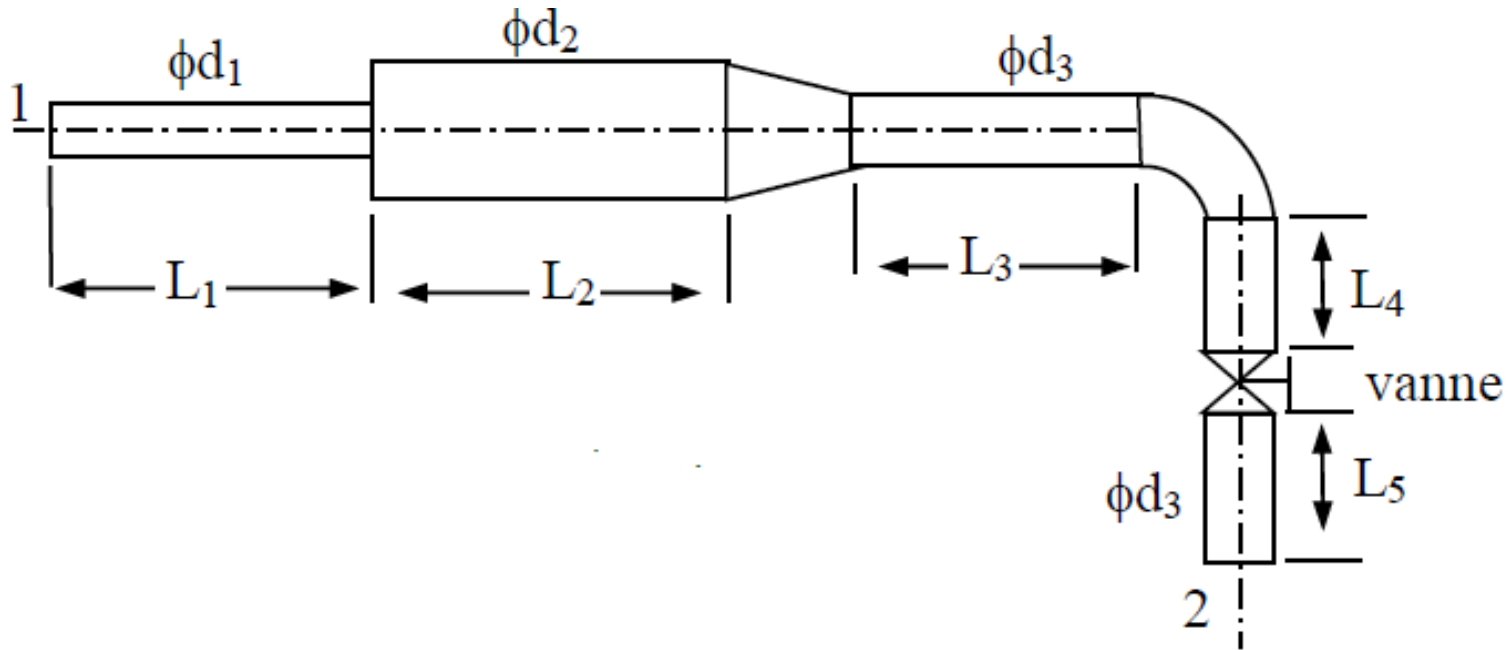
## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

Exemple de pertes de charges :



## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

Exemple de pertes de charges :



$h_{L1}$  = perte linéaire dans la conduite de  $\phi d_1$  et de longueur  $L_1$

$h_{L2}$  = perte linéaire dans la conduite de  $\phi d_2$  et de longueur  $L_2$

$h_{L3}$  = perte linéaire dans la conduite de  $\phi d_3$  et de longueur  $L_3 + L_4 + L_5$

$h_{S1}$  = perte singulière élargissement

$h_{S2}$  = perte singulière rétrécissement progressif

$h_{S3}$  = perte singulière coude

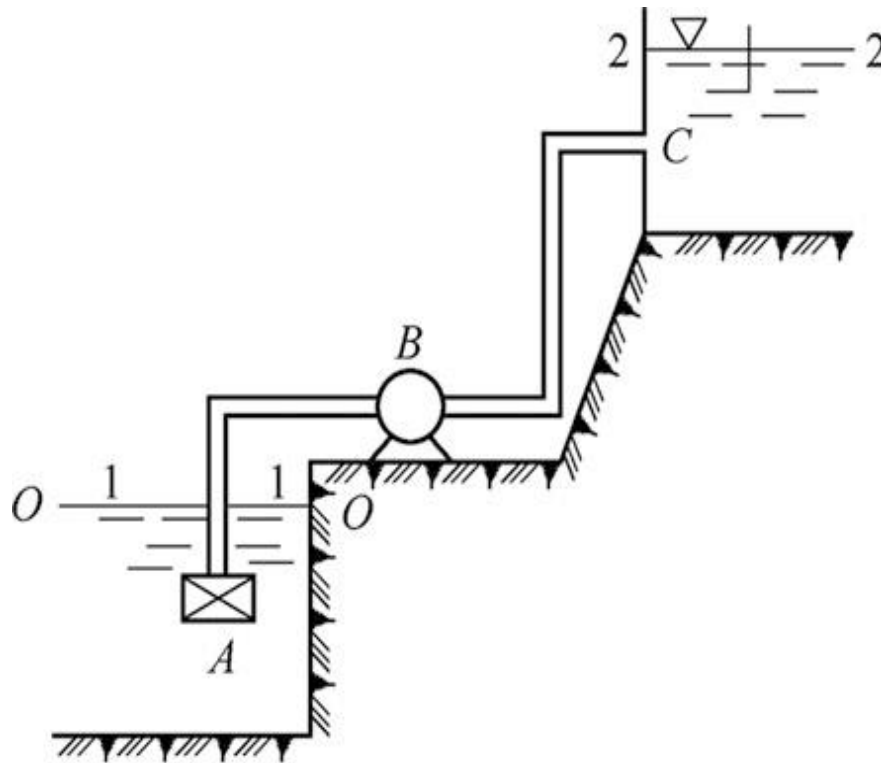
$h_{S4}$  = perte singulière vanne

$h_F = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} + h_{S1} + h_{S2} + h_{S3} + h_{S4}$

## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Exemple 1 :

La figure ci-dessous est un système de tuyauterie avec une pompe à eau. Le diamètre de tous les tuyaux est de 200 mm et le débit  $Q$  est de  $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ . La différence de hauteur entre le réservoir C et le réservoir A est  $h = 25 \text{ m}$ . La perte de charge du pipeline A-B-C est  $J = 5 \text{ m}$ . Déterminer l'énergie  $E$  (en m) fournie par la pompe (B) au système. Si la pompe consomme une énergie de 40 m, quel serait son rendement ?



## 6.3 CONSERVATION D'ÉNERGIE & PERTE DE CHARGE

### Exemple 2 :

Une huile lourde de poids spécifique  $9.31 \text{ kN/m}^3$  est transportée par un pipeline de longueur  $1\,000 \text{ m}$  et de diamètre  $300 \text{ mm}$  grâce à un débit de  $0.0686 \text{ m}^3/\text{s}$ . Déterminer la perte de charge si la température de l'huile est respectivement de  $10^\circ\text{C}$  et  $40^\circ\text{C}$ . La viscosité cinématique de l'huile est  $25 \text{ cm}^2/\text{s}$  à  $10^\circ\text{C}$  et  $1.5 \text{ cm}^2/\text{s}$  à  $40^\circ\text{C}$ . Quelle est la nature de l'écoulement dans les 2 cas (de température) ?