

MECANIQUE DES FLUIDES

HYDROSTATIQUE

I. Définition

Un fluide est un milieu déformable lorsqu'il est soumis à une force, c'est-à-dire qu'il a la capacité de prendre la forme du contenant dans lequel il se trouve.

On regroupe sous cette appellation les gaz, qui sont des fluides compressibles, et les liquides, qui sont des fluides incompressibles.

II. Caractéristiques des fluides

1. La masse volumique

La masse volumique d'un corps de masse m et de volume V est donnée par :

$$\rho = \frac{\text{masse}}{\text{Volume}} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

m = la masse

V = volume

2. Poids volumique

Le Poids volumique d'un corps de masse m et de volume V est donnée par :

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{v} \quad \gamma = \rho \cdot g$$

γ = Poids volumique en N/kg.

m : masse en (kg),

g : accélération de la pesanteur

V : volume en m^3

3. Volume massique

Le Volume massique d'un corps est le rapport de son volume rapporté à sa masse, il est donné par :

$$V_m = \frac{V}{m}$$

$(V_m) = m^3/kg$

4. Compressibilité

Un fluide est dit incompressible lorsque son volume reste constant pour toute force qui lui est appliquée, (donc sa masse volumique reste constante) les liquides sont pratiquement incompressibles.

Un fluide est dit compressible (figure1) lorsque son volume varie lorsqu'il est soumis à une force, (sa masse volumique est variable) Les gaz sont des fluides compressibles.

La compressibilité est la diminution de volume d'un fluide suite à une pression qui lui est appliquée, elle est caractérisée par le coefficient de compressibilité donné par :

$$\beta = -\frac{dV/V}{dp} = -\frac{dV}{dpV}$$

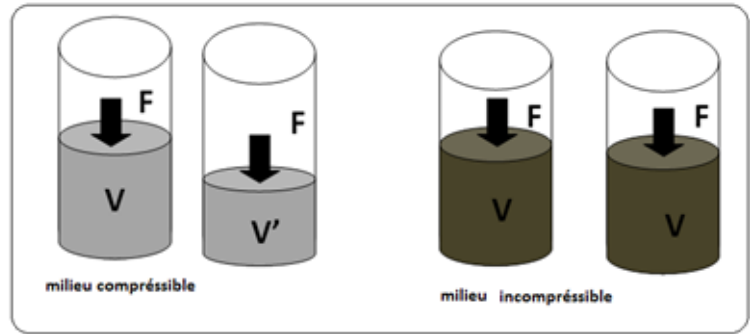


figure1

B = coefficient de compressibilité

V = volume

P = pression

5. Viscosité

La viscosité est la résistance qu'oppose un fluide à son écoulement. Si la viscosité est faible, le liquide s'écoulera facilement, et, à l'inverse, il s'écoulera plus lentement en cas de forte viscosité.

Elle représente les frottements intermoléculaires et ceux entre le liquide et la paroi de son contenant.

Elle correspond aussi à une perte d'énergie du fluide, sous forme de chaleur.

La viscosité est donnée par :

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

τ = Contrainte de déformation tangentielle

$\frac{dv}{dy}$ = Gradient de vitesse d'écoulement

μ = coefficient de viscosité dynamique

L'unité de la viscosité dynamique est le Pascal. Seconde (Pa.s) ou Poiseuille (Pl).

1 Pa.s = 1 Pl = 1 kg.m⁻¹.s⁻¹.

Il existe une sous unité la Poise (Po) : 1Po = 0.1 Pa.s

- Si $\mu = 0$, le fluide est dit parfait ou idéal, il s'écoule sans frottement.

- Si $\mu \neq 0$, le fluide est dit réel, il s'écoule avec frottement.

Selon la viscosité, à température donnée, on distingue 2 types de liquides :

- fluide newtonien : c'est un fluide dont la viscosité est indépendante de la force qu'on lui applique.

- fluide non newtonien : c'est un fluide dont la viscosité varie en fonction de la force qu'on lui applique. (Exemple : le sang)



6. La viscosité cinématique

Elle est égale au quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide. Elle est donnée par :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Son unité dans le S.I. est le (m²/s).

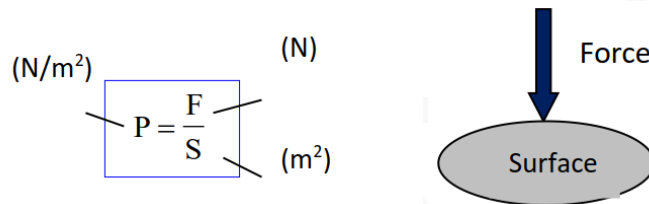
On utilise souvent le Stokes (St), $1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Influence de la température

La viscosité dépend de la température, elle diminue lorsque la température augmente et augmente lorsque la température diminue.

III. Notion de pression

La pression exercée par une force F agissant perpendiculairement sur une surface S (figure2) est donnée par :



La pression peut être exprimée par :

figure2

- Une force (F) exercée par unité de surface (m²).
- Une énergie (E) contenue dans une unité de volume d'un fluide (m³) (c'est l'énergie des molécules du fluide).

L'équation aux dimensions donne : $[P] = \frac{[Energie]}{[Volume]} = \frac{[Force]}{[Surface]}$

- **Unité de pression** est le Pascal (Pa), dont il existe plusieurs équivalents :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ J/m}^3$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa} \quad (\text{atm : atmosphère})$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} \quad (\text{mm Hg : millimètre de mercure}).$$

$$1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa}$$

IV. Equation fondamentale de l'hydrostatique

Soit un récipient contenant un fluide incompressible dans lequel on découpe une colonne verticale de hauteur H , et de section transversale S (figure3). Etudions son équilibre en prenant la base du récipient comme référence $Z=0$). La colonne est en équilibre sous l'action de 3 forces ; 2 forces de pression F_1 Et F_2 et son propre poids π .

La face supérieure de section S_1 est soumise à la pression, P_1 donc à une force $F_1 = P_1 \cdot S$
 La face inférieure de section S_2 est soumise à la pression, P_2 donc à une force $F_2 = P_2 \cdot S$
 Le poids de la colonne est égale $\pi = m \cdot g$ avec $m = \rho \cdot V$ et $V = S \cdot h$ $V = S \cdot (Z_1 - Z_2)$
 Donc $\pi = \rho \cdot g \cdot S \cdot (Z_1 - Z_2)$
 On écrit la relation de la condition d'équilibre $\sum \vec{F} = \vec{0}$
 $-F_1 + F_2 - \pi = 0$

$$-P_1 \cdot S + P_2 \cdot S - \rho \cdot g \cdot S \cdot (Z_1 - Z_2) = 0$$

$$-P_1 \cdot S + P_2 \cdot S = \rho \cdot g \cdot S \cdot (Z_1 - Z_2)$$

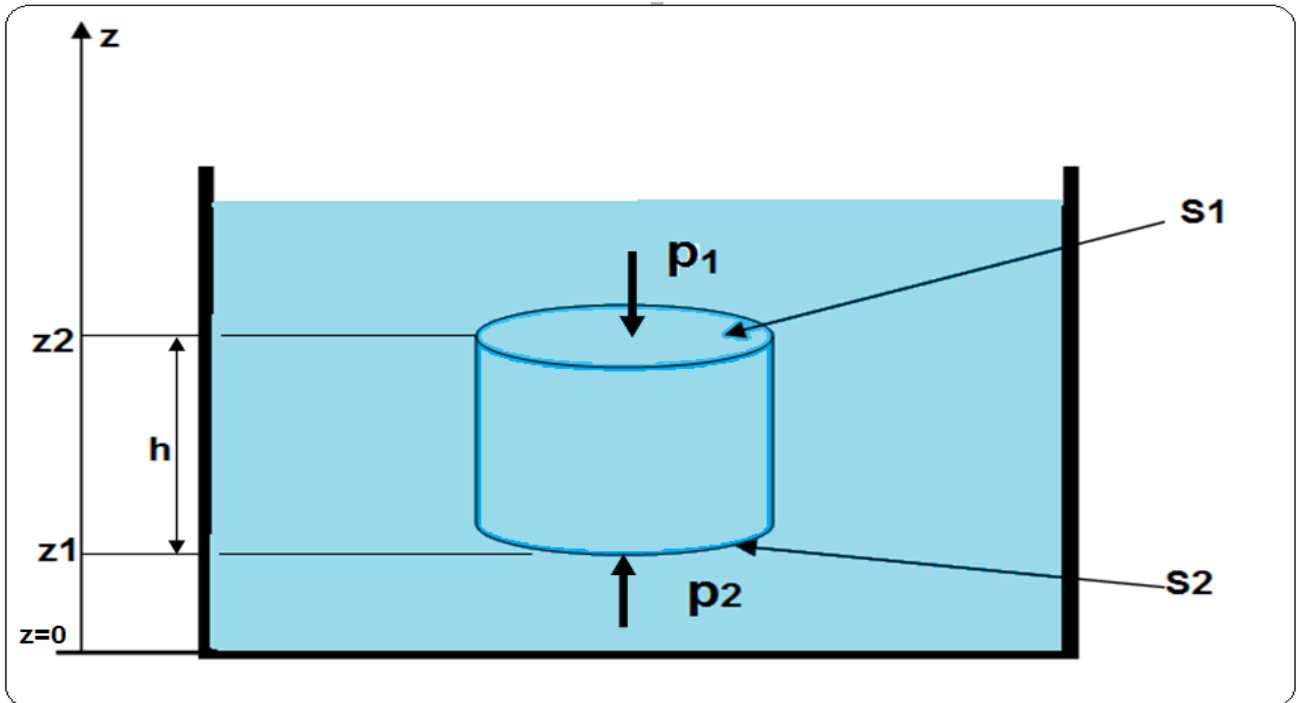


Figure3

On obtient la relation $P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (Z_1 - Z_2)$ (1)

On a alors : $P_1 + \rho \cdot g \cdot Z_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot Z_2$

On déduit la Loi de la statique des fluides : $P + \rho \cdot g \cdot Z = \text{cste}$

On a $Z_1 - Z_2 = h$

L'équation (1) donne $P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot h$ $P_2 = \rho \cdot g \cdot h + P_1$

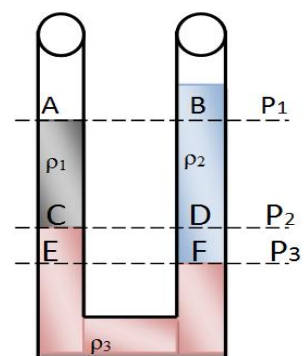


figure 4

Remarque : la pression ne dépend que de la hauteur du fluide, elle est la même dans toutes les directions (isotropie). Les surfaces de même profondeur h sont à la même pression, on parle de surfaces isobares (figure4).

$P_A \neq P_B$ car le plan P_1 traverse deux liquides différents.

$P_C \neq P_D$ car le plan P_2 traverse deux liquides différents.

$P_E = P_F$ car le plan P3 traverse le même liquide et il y a continuité du liquide.

V. Pression atmosphérique-expérience de Torricelli

On remplit un tube en U et un récipient de mercure, puis on fait retourner le tube dans le récipient comme indiqué sur le schéma (figure5); En mesurant la colonne de mercure dans le tube, on la trouve égale à 76 cm. Calculons la pression atmosphérique.

La surface libre du mercure constitue une surface isobare donc on peut écrire :

$$P_A = P_B$$

$$P_A = P_{\text{atm}}$$

$$P_B = P_{\text{vide}} + \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h$$

$$P_{\text{vide}} = 0 \longrightarrow P_{\text{atm}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h$$

$$P_{\text{atm}} = 13600 \cdot 9.81 \cdot 0.76$$

$$P_{\text{atm}} = 101300 \text{ Pa}$$

Donc la pression atmosphérique vaut 101300 Pa ou encore 76 cm de mercure.

Remarque on peut calculer l'équivalent en hauteur d'eau de la pression atmosphérique :

$$\text{On } P_{\text{atm}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot h_{\text{eau}} \longrightarrow h_{\text{eau}} = P_{\text{atm}} / \rho_{\text{eau}} \cdot g \longrightarrow h_{\text{eau}} = 10,33 \text{ m}$$

$$P_{\text{atm}} \# 76 \text{ cm de Hg} \# 10,33 \text{ m d'eau}$$

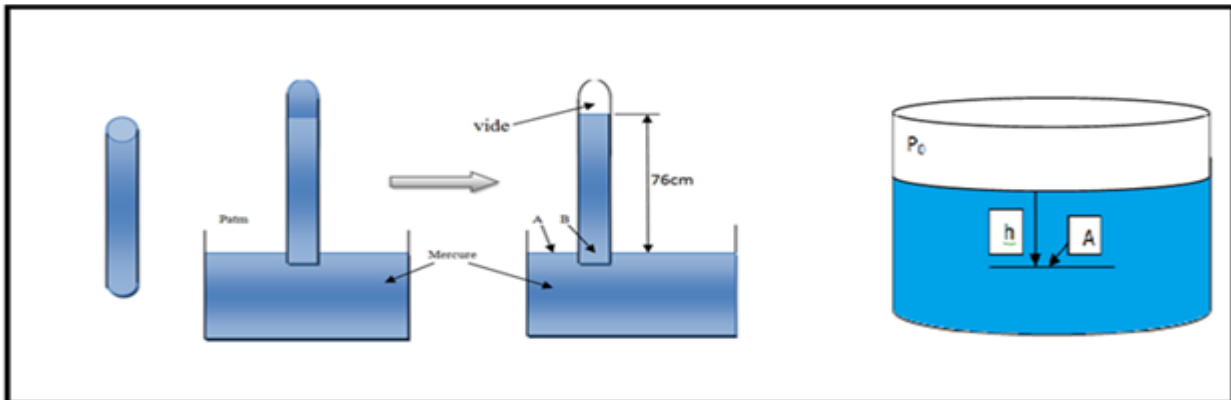


Figure 5

Pression relative, pression absolue

la Pression absolue est donnée par : $P_A = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h$

P_{atm} = pression atmosphérique

La pression relative (éfféctive) est donnée sans considérée la pression atmosphérique on écrit : $P_A = \rho \cdot g \cdot h$

VI. Principe des vases communicants

Au fond des deux vases (figure 6) les pressions sont égales puisque c'est le même liquide et la même hauteur $P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$

Par contre les forces sont différentes car

$P = F / S$ $F = P \cdot S$ Comme $S_1 \neq S_2 \rightarrow F_1 \neq F_2$, C'est le paradoxe de Steven.

Pour un liquide à la même hauteur, la pression exercée est la même (loi de Pascal), par contre les forces sont différentes car les surfaces sont différentes.

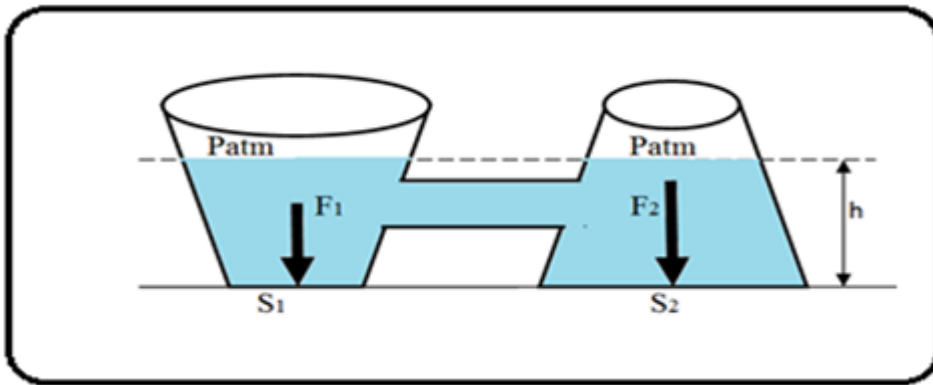


Figure 6

VII. Principe de Pascal

On considère deux points A et B d'un fluide incompressible (Figure 7). En écrivant l'équation fondamentale de la statique, on a :

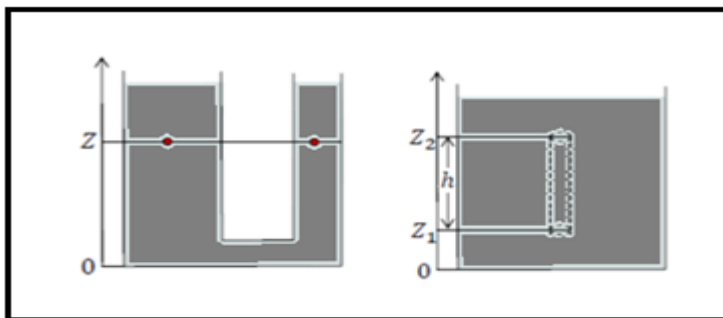


Figure 7

$$(P_A - P_B) = \rho \times g \times (z_B - z_A) \text{ ou bien } (P_A - P_B) - \rho \times g \times (z_B - z_A) = 0$$

Au point A on crée une augmentation de pression Δp_A , il se produit au point B une variation Δp_B , et on peut écrire :

$$(P_A + \Delta p_A) - (P_B + \Delta p_B) = \rho \times g \times (z_B - z_A)$$

$$(P_A - P_B) - \rho \times g \times (z_B - z_A) + \Delta p_A - \Delta p_B = 0$$

$$\text{Puisque on a } (P_A - P_B) - \rho \times g \times (z_B - z_A) = 0 \longrightarrow \Delta p_A - \Delta p_B = 0$$

Ce qui donne $\Delta p_A = \Delta p_B$

Conclusion : Dans un liquide incompressible en équilibre toute variation de pression se transmet intégralement.

Principe de Pascal : Dans un liquide incompressible une variation de pression se transmet intégralement et dans toutes les directions.

- 1^{ère} loi: La pression est la même dans toutes les directions.
- 2^{ème} loi: La pression est la même en tout point de même profondeur (isobare).
- 3^{ème} loi: La différence de pression entre 2 points est proportionnelle à leur différence de hauteur.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho gh$$

Application : la presse hydraulique

Au niveau du petit piston on exerce une force F_1 donc une pression p qui sera transmise au grand piston (Figure 8), On a alors :

On exerce une force F_A sur la surface S_A ; la pression est alors $P_A = F_A / S_A$

D'après le Théorème de Pascal, la pression est transmise intégralement, on a donc : $P_B = P_A$

Or, $P_B = F_B / S_B$, on a donc : $F_B / S_B = F_A / S_A \Rightarrow F_B = F_A \times \frac{S_B}{S_A}$

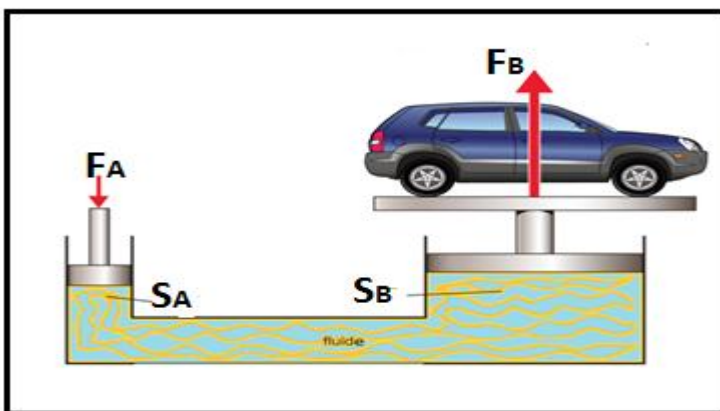


Figure 8

(S_B / S_A) est appelé le facteur multiplicateur de la force

Remarque : importance du facteur multiplicateur de la force.

On considère deux pistons de diamètres respectifs $D_1 = 1 \text{ cm}$ et $D_2 = 10 \text{ cm}$

On a $S_2/S_1 = (\pi D_2^2) / (\pi D_1^2)$

$$S_2/S_1 = (10)^2 / (1)^2$$

$S_2/S_1 = 100$, si on exerce une force de 1 N sur le petit piston, on recueille une force de 100 N au niveau du grand piston.

VIII. Poussée d'Archimède :

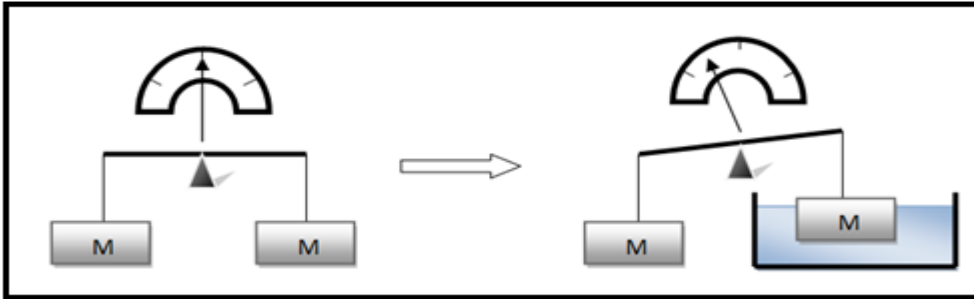


Figure 9

Soient deux masses égales suspendues à une balance, en plongeant l'une des deux dans un récipient contenant l'un liquide, l'équilibre est alors rompu du côté de la masse restant à l'air (Figure 9), on peut conclure de l'existence d'une force dirigée vers le haut de la part du liquide, cette force est appelée force d'Archimède.

Enoncé du principe :

Tout corps plongé dans un liquide au repos (Figure 10), subit de la part de celui-ci une force dirigée de bas vers le haut, appelée poussée d'Archimède, d'intensité égale au poids du volume du liquide déplacé.

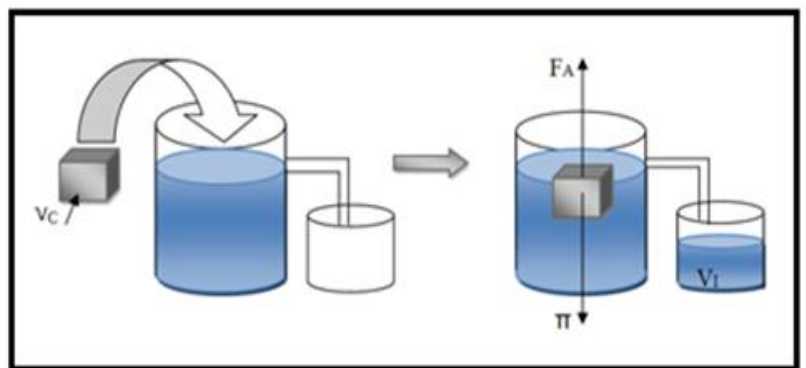


figure 10

V_I = volume immergé.

L'intensité de la poussée d'Archimède est donnée par : $F_A = \rho_L \cdot g \cdot V_I$

Poids apparent

le poids d'un corps immergé dans un liquide est donc inférieur à son poids réel : c'est le

poids apparent : $P_{app} = P_{réel} - P_{archi}$. $P_{app} = P_{réel} - F_A$

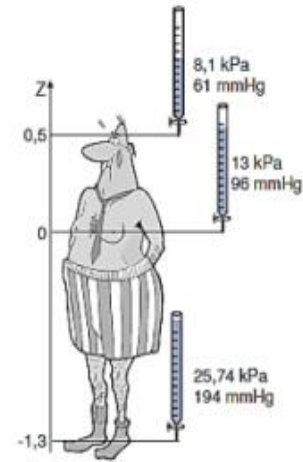
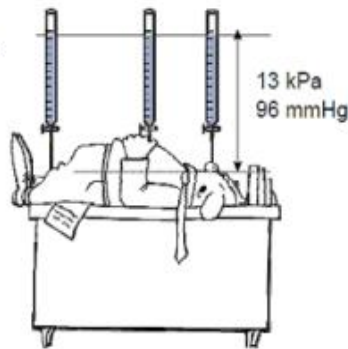
Application mesure de la pression artérielle

La pression artérielle (ou tension artérielle) est la surpression de la pression sanguine par rapport à la pression atmosphérique : $p = p_{\text{sang}} - p_{\text{atm}}$.

Pour un individu allongé : la pression artérielle est pratiquement égale en tout point et elle est égale à la pression au niveau du cœur.

Résultats en fonction de la position :

Valeur de référence
= au niveau du cœur



PA maximale (systolique) = 18 kPa = 135 mmHg

PA minimale (diastolique) = 11 kPa = 85 mmHg

PA moyenne = $\frac{PA_{\text{systolique}} + 2PA_{\text{diastoliques}}}{3} = 13 \text{ kPa} = 96 \text{ mmHg}$

Remarque : une PA/TA de 14/8 signifie :

- Une PA maximale de 14 cmHg
- Une PA minimale de 8 cmHg

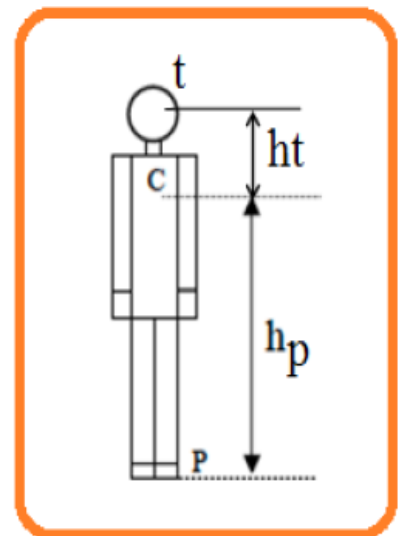
La pression artérielle au niveau de la tête est :

$$P_T = P_C - \rho \times g \times h_t \quad P_T = 13 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^3 \times 9.81 \times 0,5 \quad P_T = 8100 \text{ Pa}$$

Le moins (-) car vers le haut la pression diminue.

La pression artérielle au niveau des pieds est :

$$P_P = P_C + \rho \times g \times h_p \quad P_P = 13 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3 \times 9.81 \times 1,3 \quad P_P = 25750 \text{ Pa}$$



Hydrodynamique

I. Introduction

Les liquides sont de deux types :

Fluides parfaits : en s'écoulant ils ne présentent pas de frottements, donc leur énergie est conservée.

Fluides réels (fluides visqueux) : Un fluide est dit réel si, pendant son mouvement, les forces de contact ne sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent (elles possèdent donc des composantes tangentielles -forces de frottements- qui s'opposent au glissement des couches fluides les unes sur les autres). Dans son mouvement il est soumis à une résistance due aux frottements, qui lui engendre une perte d'énergie.

II. Débits

1. Débit volumique

Le débit est le volume de fluide qui traverse une section par unité de temps :

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\Delta t} \quad Q \text{ en } m^3.s^{-1}$$

Le débit qui circule dans la conduite est aussi égal au produit de V par S, d'où la formule générale :

$$Q = S \times v = \text{Section} \times \text{Vitesse d'écoulement}$$

2. Le débit massique comme

Le débit massique est la masse de fluide qui traverse une section par unité de temps.

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad Q_m = \rho \cdot S \cdot v$$

3. Principe de continuité du débit

Pour un fluide incompressible, qui circule en régime stationnaire (= à vitesse constante en un point donné)(figure 11), le débit sera constant sur toute la longueur du conduit.

Débit entrant = débit sortant



figure 11

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = Q = cste$$

III. Dynamique des fluides incompressibles en écoulement permanent

Écoulement permanent : l'écoulement d'un fluide parfait et incompressible est dit permanent ou stationnaire, si les grandeurs (pression, température, vitesse,...) qui le caractérisent sont constantes au cours du temps.

IV. Conservation de l'énergie : cas du fluide parfait

Le fluide parfait est un fluide idéal, non visqueux, en s'écoulant il présente les caractéristiques suivantes :

- * Pas de frottement ; donc pas de perte d'énergie.
- * Le fluide s'écoule en glissant.
- * La vitesse est uniforme en toute section. (figure 12).

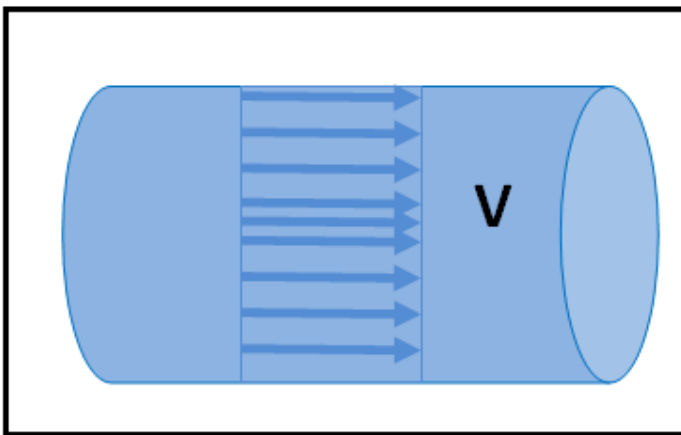


figure 12

Pour un fluide parfait (absence des frottements dus à la viscosité) il n'y a pas de dissipation d'énergie au cours de l'écoulement, et selon le principe de conservation de l'énergie, il y a conservation de l'énergie totale (mécanique). Cette énergie mécanique responsable de l'écoulement, appelée la charge est la somme de trois énergies, l'énergie cinétique (EC), de l'énergie potentielle de pesanteur (E_{pz}) et l'énergie potentielle de pression (E_{pp}).

$$mgz + \frac{1}{2}mv^2 + PV = \text{cte}$$

Énergie potentielle
Énergie cinétique
Énergie de pression

Ou encore, en divisant par V avec $m = \rho V$

$$\rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 + P = \text{cte}$$

P° de pesanteur
dépend de l'altitude h
P° dynamique
dépend de la vitesse v
P° hydrostatique
force exercée sur les parois

V. Théorème de Bernoulli pour les fluides parfaits

L'équation de Bernoulli traduit le principe de conservation de l'énergie mécanique (figure 13)

On considère :

- Écoulement permanent (indépendant du temps),
- Un fluide parfait (sans frottement),
- Un fluide incompressible (la masse volumique ne dépend que de la température),
- Un mouvement du fluide de la section (1) vers la section (2).

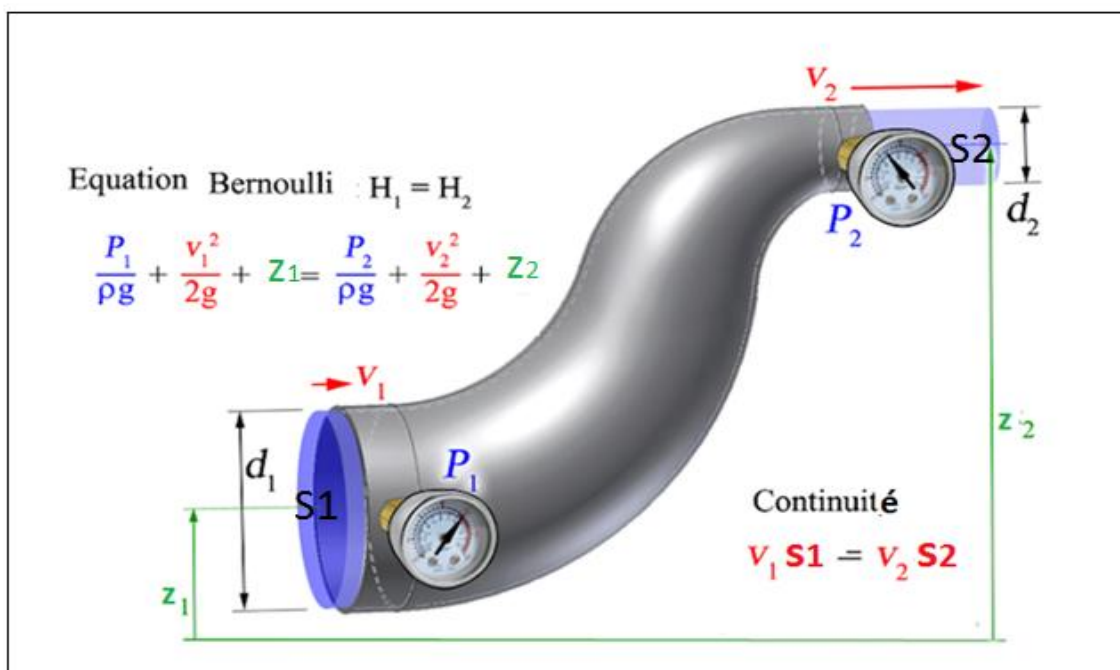


figure13

Dans un fluide parfait incompressible, les pertes d'énergies mécaniques étant nulles, la somme des énergies en un point est égale à la somme des énergies en un autre point : il y a conservation de la charge.

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 = \text{constante}$$

Remarque :

L'équation de Bernoulli peut se rencontrer sous une autre forme (en divisant par $\rho \cdot g$)

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = H = C^{te}$$

Sous cette forme, tous les termes ont la dimension d'une hauteur :

le premier terme est appelé "hauteur piézométrique" ou "charge de pression",

le deuxième (z_1) est l'altitude (appelé aussi "charge de pesanteur"),

le troisième est appelé "hauteur capable" ou "charge cinétique" (ou dynamique).

H est aussi appelé "charge totale" et représente une hauteur manométrique équivalente

N.B. : la pression hydrostatique est bien donnée par $p = \rho \cdot g \cdot h$ donc $\frac{p}{\rho \cdot g}$ est bien une hauteur !

Conclusion (figure 14)

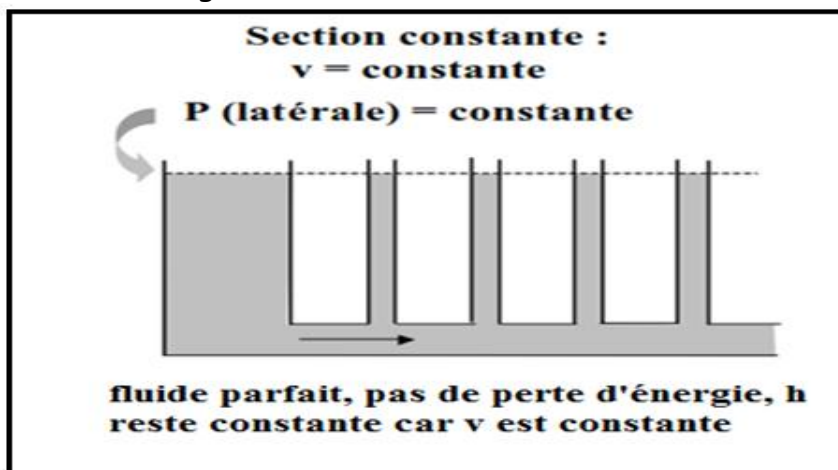


figure 14

VI. Théorème de Bernoulli pour les fluides réels

Lorsque le fluide est réel, la viscosité est non nulle, alors au cours du déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre la paroi d'où il y a une perte d'énergie ; cette perte est appelée « perte de charge ».

La relation de Bernoulli peut s'écrire sous la forme

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$: pertes de charge entre les points 1 et 2.

Conclusion (figure 15)

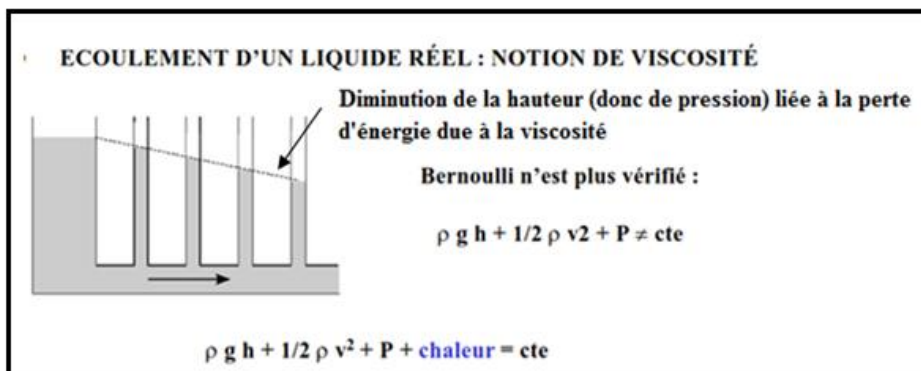


figure 15

VII. Applications de l'équation de Bernoulli

1- théorème de Torricelli (figure 16)

on vide un réservoir assez large à travers un orifice : l'écoulement se faisant très lentement, on peut négliger son caractère instationnaire et considérer la vitesse nulle à la surface du fluide $\Rightarrow v_1 = 0$

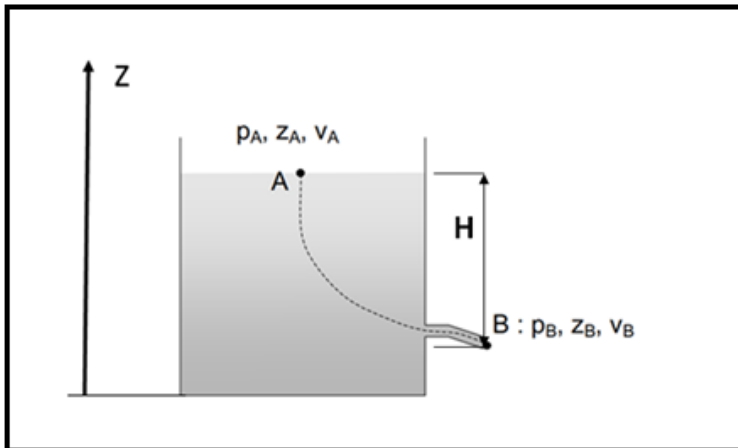


figure 16

On suppose le réservoir très grand $v_A \approx 0$

En A : $p_A = p_{atm}$, $z = z_A$, $v = v_A = 0$

En B : $p_B = p_{atm}$, $z = z_B$, $v = v_B$

La relation de Bernoulli appliquée de A à B :

$$p_A + \rho g z_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = p_B + \rho g z_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

d'où :

$$v_B = \sqrt{2 g (z_A - z_B)} = \sqrt{2 g H}$$

Formule de Torricelli

2- Effet Venturi

Considérons une canalisation horizontale dans laquelle circule un fluide incompressible (figure 16). Elle est composée d'une partie large SA et d'un étranglement SB.

- $SA \cdot v_A = SB \cdot v_B$ $SA > SB$ implique une vitesse $v_A < v_B$

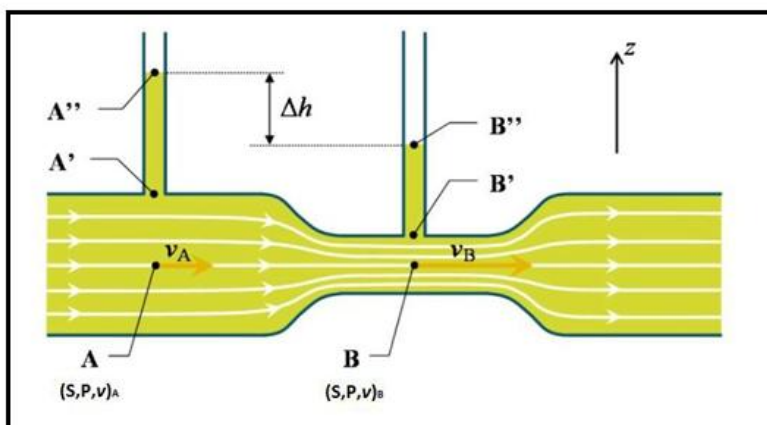


figure 17

Conservation de l'énergie entre (1) et (2) : pour $z = z$ l'équation de Bernoulli devient :

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

$$P_A - P_B = \frac{1}{2} \rho v_B^2 - \frac{1}{2} \rho v_A^2 = \frac{1}{2} \rho (v_B^2 - v_A^2)$$

$$\text{or } v_B > v_A, \text{ donc } v_B^2 - v_A^2 > 0 \text{ et } P_A - P_B > 0$$

$$\Rightarrow P_B < P_A : \text{ chute de pression dans le rétrécissement}$$

Effet-Venturi : « lors d'un rétrécissement, il y a une chute de pression, au bénéfice d'une élévation de la vitesse » si $S \downarrow$ alors $P \downarrow$

Conclusion (figure 18)

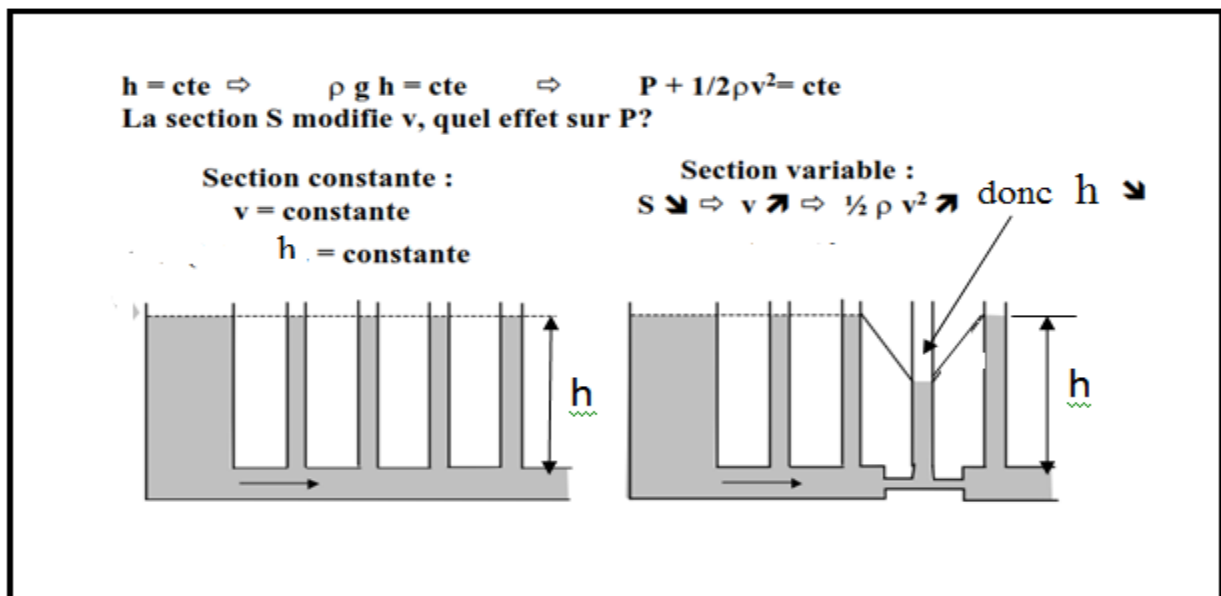


figure 18

VIII. Le nombre de Reynolds-régimes d'écoulement

Le nombre de Reynolds permet de déterminer le régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), c'est un nombre sans dimension, donné par :

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

D : Diamètre intérieur de la conduite en (m) V :

V : Vitesse moyenne d'écoulement en (m/s)

ρ : Masse volumique du fluide en (kg/m^3)

μ : Viscosité dynamique en (Pa.s)

ν : Viscosité cinématique en (m^2/s)

➤ Si $\text{Re} < 2400$; le régime est Laminaire.

- Si $Re > 3000$; le régime est turbulent.
- Si $2400 < Re < 3000$; le régime est transitoire

L'écoulement laminaire : c'est un écoulement rectiligne, le fluide s'écoule en filets parallèles à l'axe de la conduite, sans mélange.

L'écoulement turbulent : l'écoulement se fait avec de grands tourbillons, et un mélange important.

IX. Ecoulement d'un fluide réel : loi de poiseuille

Considérons un fluide visqueux dans une conduite horizontale, cylindrique, de petit diamètre figure 19, l'écoulement étant laminaire, la perte d'énergie due aux forces de frottement entraîne une diminution de la pression d'un point à un autre. La loi de poiseuille permet de calculer la variation (chute) de pression entre ces 2 points, elle est donnée par :

$$\Delta P = \frac{8 * \mu * L}{\pi * r^4} Q \quad \Delta P = R * Q \quad R = \frac{8 * \mu * L}{\pi * r^4}$$

R = résistance à l'écoulement

r = rayon de la conduite

L = longueur de la conduite

Q = débit

μ = viscosité dynamique

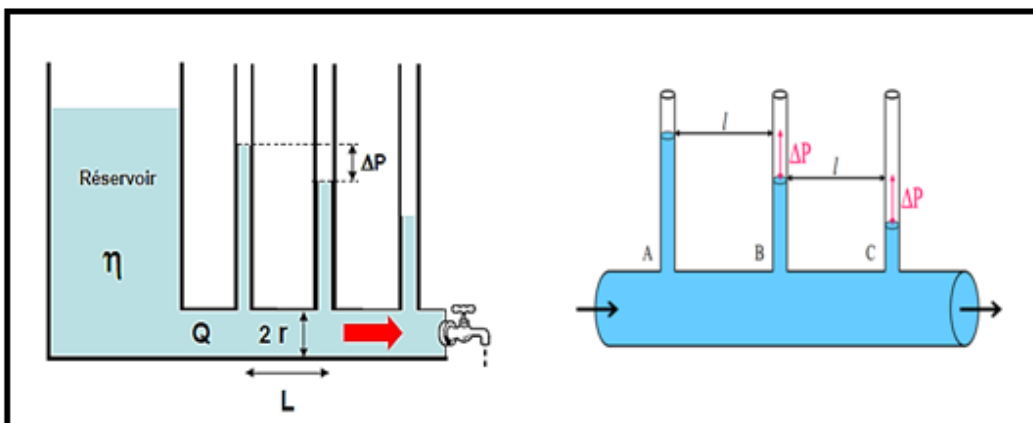


figure 19

Caractéristiques de l'écoulement de poiseuille (figures 20 et 21) :

- Vitesses faibles.
- La vitesse est nulle au contact de la paroi.
- La vitesse est maximale au milieu.
- Le profil des vitesses est parabolique.

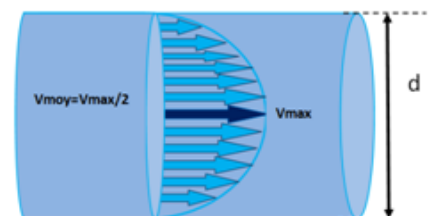


figure 20

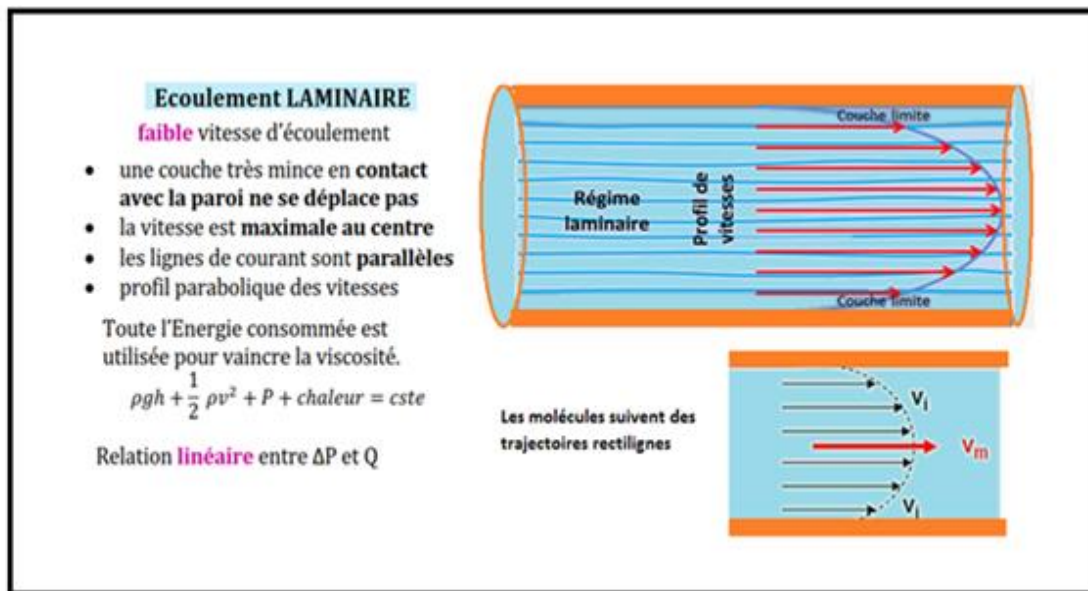


figure 21

Analogie électrique (figure 22)

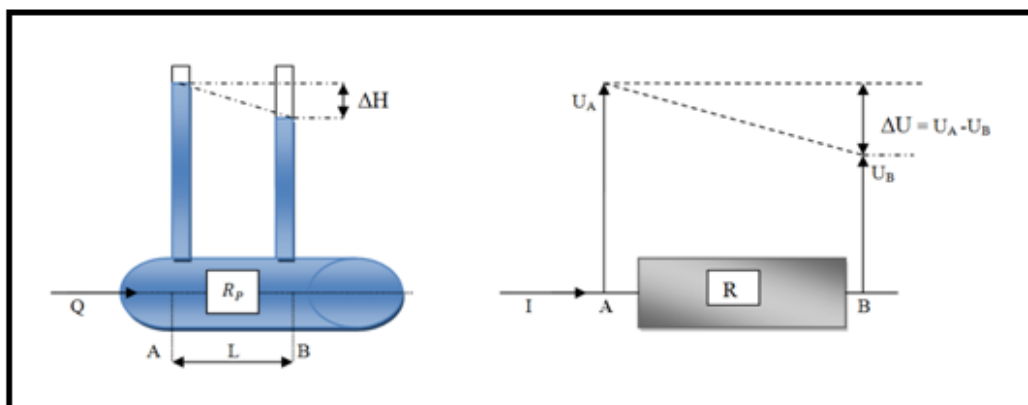


figure 22

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$$

En hydrodynamique on a $\Delta P = R_p \cdot Q$

En électricité on a $\Delta U = R \cdot I$

ΔU = différence de potentiel

R = résistance électrique

I = intensité du courant électrique

Equivalences

{	$\Delta P \equiv \Delta U$	chute de potentiel \equiv chute de pression
	$R \equiv R_p$	Résistance électrique \equiv résistance à l'écoulement
	$I \equiv Q$	Intensité du courant \equiv intensité du débit

a. Calcul des résistances équivalentes (figure 23)

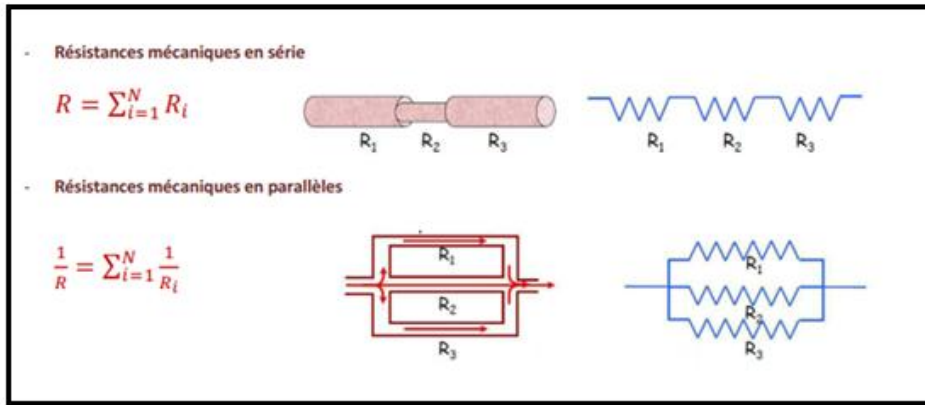


figure 23

X. Écoulement d'un fluide réel : écoulement turbulent

Dans un écoulement turbulent, les vecteurs vitesses peuvent prendre toutes les directions, ce qui se traduit par l'apparition de tourbillons, mais la résultante de ces vitesses reste malgré tout dirigée dans le sens global de l'écoulement.

Caractéristiques de l'écoulement turbulent (figure 24)

- Les vitesses sont élevées
- Les particules tourbillonnent dans toutes les directions à des vitesses différentes.
- Les lignes empruntées par les particules fluides se croisent.
- Pas de relation linéaire entre ΔP et Q

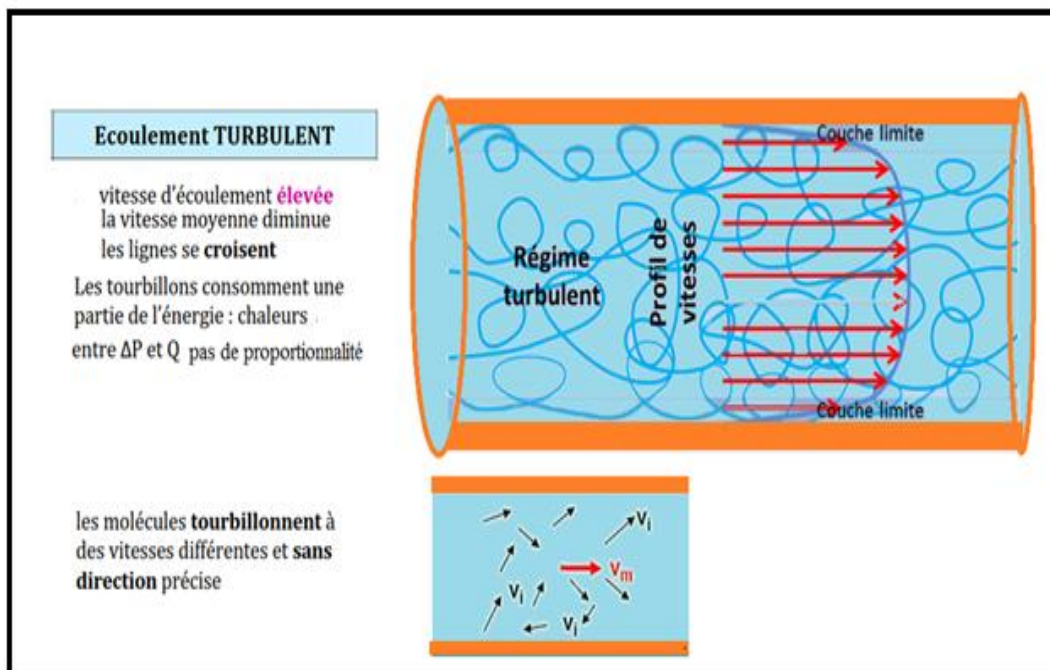


figure 24