

Hydrauliques & Pneumatiques

Chapitre 01 :

Généralités sur les propriétés des Fluides

1/ Introduction

La mécanique des fluides est la science qui étudie l'écoulement des fluides (liquide et gaz) lorsque ceux-ci subissent des forces extérieures. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert des fluides. On distingue deux cas :

- **la statique des fluides**, ou hydrostatique qui étudie les fluides au repos.
- **la dynamique des fluides** qui étudie les fluides en mouvement.

2/ Définition des liquides

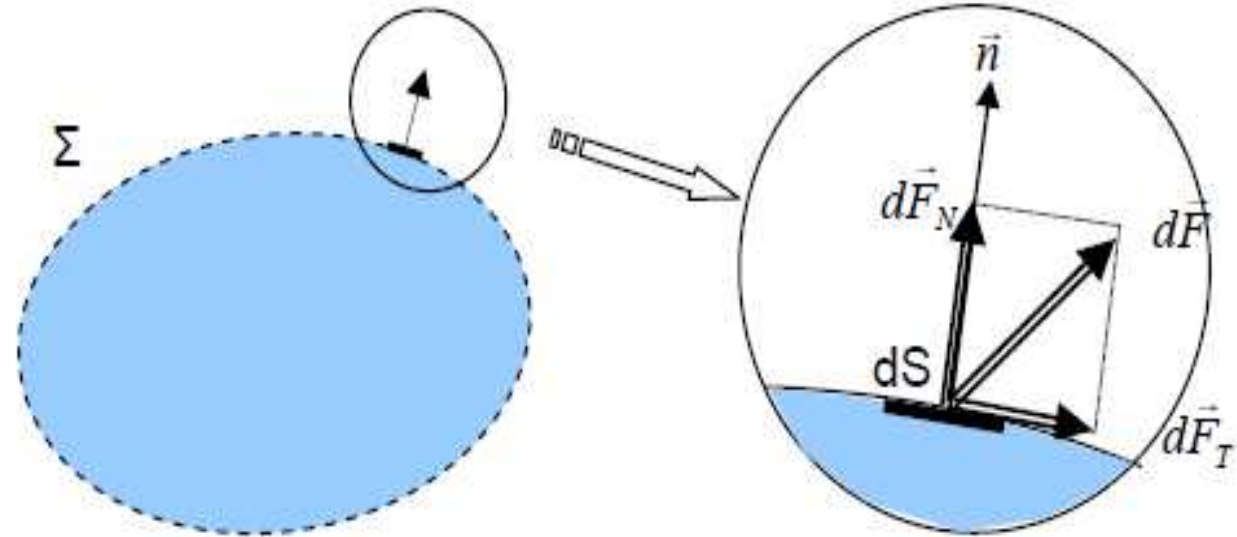
Un liquide est un assemblage de particules matérielles mobiles les unes par rapport aux autres.

Soit un système fluide, c-à-d un volume délimité par une surface fermée Σ .

Considérons $d\vec{F}$ la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale \vec{n} entre le fluide et le milieu extérieur.

On peut toujours décomposer $d\vec{F}$ en deux composantes:

- une composante $d\vec{F}_T$ tangentielle à dS .
- une composante $d\vec{F}_N$ normale à dS .



Fluide parfait :

- Un fluide est dit parfait s'il est possible d'étudier son mouvement sans prendre en compte les effets de **frottement**.
- C'est à dire la composante **Tangentielle** dF_T est nulle. Autrement dit, la force dF est normale à l'élément de surface dS .

Fluide réel :

Dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne sont prises en considération.

Au repos, on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, (La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits).

Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure.

Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc...).

Fluide compressible

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. **Les gaz sont des fluides compressibles.**

Par exemple : l'air, l'hydrogène,... sont considérés comme des fluides compressibles.

3/ Caractéristiques physiques

3.1. Masse volumique :

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

ρ : Masse volumique en (kg/m³),
 m : masse en (kg),
 V : volume en (m³).

Exemples :

Fluide	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Type de fluide
Benzène	0,880. 10 ³	Incompressible
Eau	10 ³	
Huile d'olive	0,918. 10 ³	
Mercure	13,546. 10 ³	
Air	0,001205. 10 ³	compressible ¹
Hydrogène	0,000085. 10 ³	
Méthane	0,000717. 10 ³	

3.2. Poids volumique :

$$\varpi = \frac{m.g}{V} = \rho.g$$

ϖ : Poids volumique en (N/m³).

m : masse en (kg),

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

V : volume en (m³).

3.3. Densité :

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}}$$

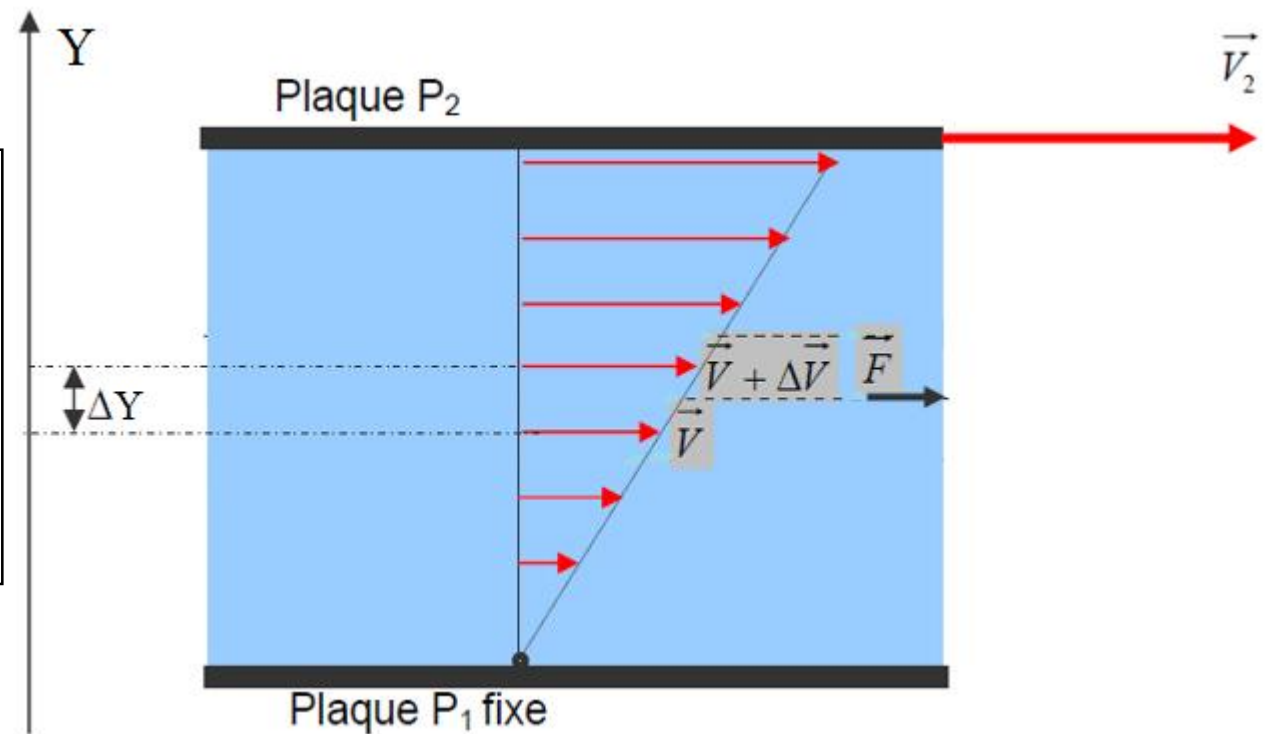
- Dans le cas des liquides on prendra l'eau comme fluide de référence.
- Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

3.4. Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler.

Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques P1 et P2, tel que la plaque P1 est fixe et la plaque P2 est animée d'une vitesse V_2 .

- Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres.
- La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance Y .



3.4.1. Viscosité dynamique (Loi de Newton)

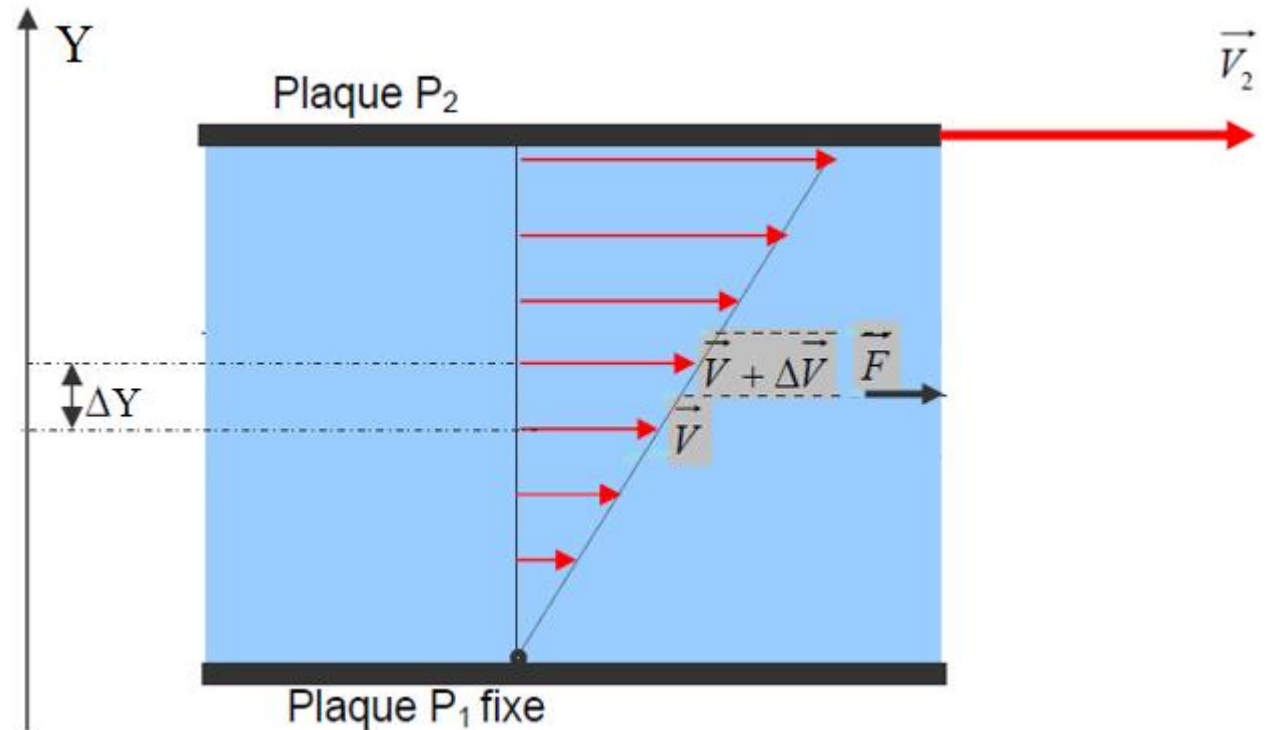
La viscosité dynamique exprime la proportionnalité de la force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de deux couches adjacentes distantes de ΔY .

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

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{dV}{dy}$$

F : force de glissement entre les couches en (N),
 μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s),
 S : surface de contact entre deux couches en (m²),
 dV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),
 dy : Distance entre deux couches en (m).
(dV/dy) : Vitesse de déformation.

1 Pa·s = 1 Poiseuille (PI) = 1 kg/m·s



La viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort).

3.4.2. Viscosité cinématique

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide.

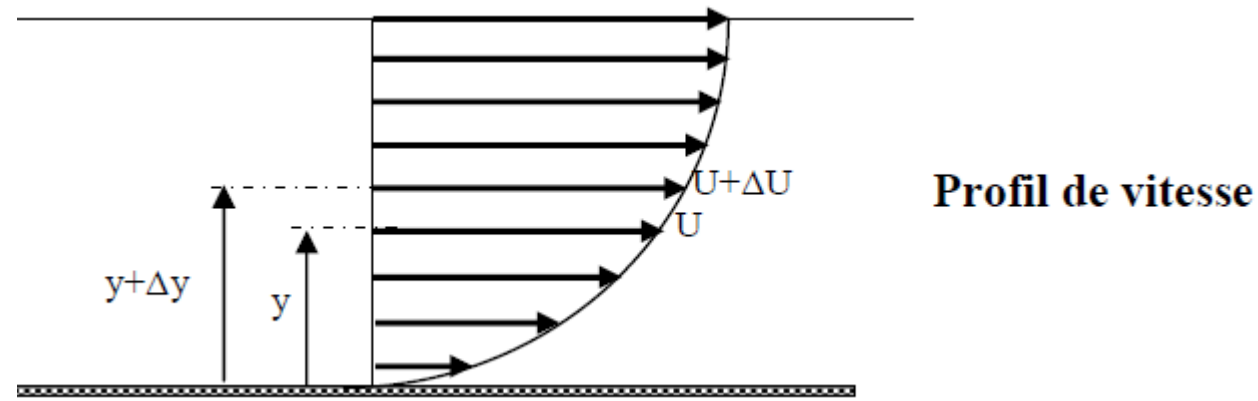
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

L'unité de la viscosité cinématique est le (m²/s) ou bien le Stokes (St).

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

a/ Profil de vitesse dans un tube cylindrique :

Sous l'effet des forces d'interaction entre les particules de fluide et des forces d'interaction entre les particules de fluide et celles de la paroi, chaque particule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse. On dit qu'il existe un *profil de vitesse* (figure).



Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δy , la force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit ΔU , à leur surface S et inversement proportionnelle à Δy :

Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu S \frac{\Delta U}{\Delta y} \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{\Delta U}{\Delta y}$$

où :

F : force de frottement entre les couches en (N),

τ : contrainte de cisaillement (N/m^2),

μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s),

S : surface de contact entre deux couches en (m^2),

ΔU : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),

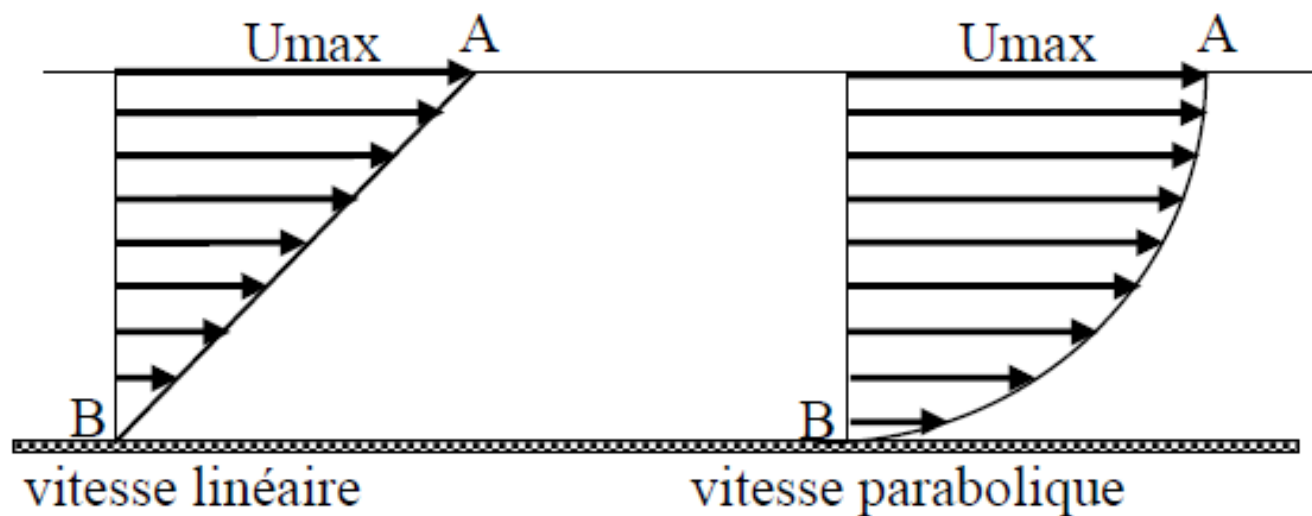
Δy : Distance entre deux couches en (m).

Lorsque Δy tend vers zéro on a :

$$F = \mu S \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta y} = \mu S \frac{dU}{dy} \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{dU}{dy}$$

Exemple :

Un fluide newtonien ($\mu = 0,048 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) s'écoule le long d'une paroi. A 75 mm de la paroi, la particule fluide a une vitesse égale à 1,125 m/s. Calculer l'intensité de la contrainte de cisaillement, au niveau de la paroi, à 25 mm, à 50 mm et à 75 mm de celle-ci, en admettant une distribution de vitesse linéaire et une distribution de vitesse parabolique. La parabole de la figure a son sommet en A.



Solution :

1. Vitesse linéaire

$$U = Ay + B$$

Pour $y = 0.0$, on a $U = 0$ alors $B = 0$

Pour $y = 0.075\text{m}$, on a $U = 1.125$, alors $U = 1,125 = A \times 0.075$ donc $A = 15$

On obtient finalement $U = 15 \times y$

Le gradient de vitesse : $dU/dy = 15 \text{ S}^{-1}$ et $\tau = \mu dU/dy = 0.048 \times 15 = 0.72 \text{ Pa}$ pour toute les valeurs de y compris entre 0 à 75 mm .

2. Vitesse parabolique

$$U=Ay^2+By+C$$

Pour $y=0.0$, on a $U=0$ alors $C=0$

Pour $y=0.075$, on a $U=1.125$, alors $U=1.125=A \times (0.075)^2+B \times 0.075$ (1)

Ainsi pour $y=0.075$ $U=U_{\max}$ c.-à-d. $dU/dy=2 \times A \times y+B=0.0$

$$\rightarrow dU/dy=2 A \times 0.075+B=0.0 \rightarrow B=-0,15A$$

En remplaçant la valeur de B dans l'équation (1) de la vitesse, on obtient $A=-200$

$$U=-200 y^2+30 y \text{ et } dU/dy=-400 y+30$$

y (m)	U (m/s)	dU/dy (s ⁻¹)	$\tau=4,8 \cdot 10^{-2} dU/dy$ (Pa)
0.0	0	30	1,44
0.025	0,625	20	0,96
0.05	1,0	10	0,48
0.075	1,125	0	0

5. Variation de la viscosité fonction de T° :

- Lorsque la température augmente, la viscosité d'un liquide décroît car sa densité diminue.

Exemple :

Fluide	μ (Pa·s)
eau (0 °C)	$1,787 \cdot 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1,002 \cdot 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0,2818 \cdot 10^{-3}$

6. Variation de la masse volumique fonction de T° :

La variation de la masse volumique lors d'un changement de température est donnée par :

$$\rho = \frac{\rho_i}{1 + \beta_t (t - t_i)}$$

Avec β_t est le coefficient de dilatation thermique.

7. Le Système d'Unités SI :

En mécanique des fluides, le système d'unités SI (“ *Systeme International* ”) comporte 3 unités primaires à partir desquelles toutes les autres quantités peuvent être décrites :

Grandeur de base	Nom de l'unité	Symbole
Longueur	Mètre	m
Masse	Kilogramme	kg
Temps	Seconde	s

Le tableau suivant résume les unités **SI** des différentes caractéristiques utilisées en mécanique des fluides:

Caractéristiques	Unités
Vitesse	m/s
Accélération	m/s ²
Force	kg.m/s ² où N (Newton)
Energie	kg.m ² /s ² où J (Joule)
Puissance	kg.m ² /s ³ où W (Watt)
Pression	Kg/m/s ² , N/m ² où Pa (Pascal)
Poids spécifiques	Kg/m ² /s ² , N/m ³
viscosité	Kg/m/s, N.s/ m ² où Pa.s