

# CHAPITRE 1 : Rappels

## 1- INTRODUCTION

La mécanique des fluides est la science des lois de l'écoulement des fluides. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert des fluides. C'est une branche de la physique qui étudie les écoulements de fluides c'est-à-dire des liquides et des gaz lorsque ceux-ci subissent des forces ou des contraintes. Elle comprend deux grandes sous branches:

- la statique des fluides, ou hydrostatique qui étudie les fluides au repos. C'est historiquement le début de la mécanique des fluides, avec la poussée d'Archimède et l'étude de la pression.
- la dynamique des fluides qui étudie les fluides en mouvement. Comme autres branches de la mécanique des fluides.

On distingue également d'autres branches liées à la mécanique des fluides : l'hydraulique, l'hydrodynamique, l'aérodynamique, ... Une nouvelle approche a vu le jour depuis quelques décennies: la mécanique des fluides numérique (CFD ou Computational Fluid Dynamics en anglais), qui simule l'écoulement des fluides en résolvant les équations qui les régissent à l'aide d'ordinateurs très puissants : les supercalculateurs.

La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines comme l'ingénierie navale, l'aéronautique, mais aussi la météorologie, la climatologie ou encore l'océanographie.

## 2- DEFINITIONS

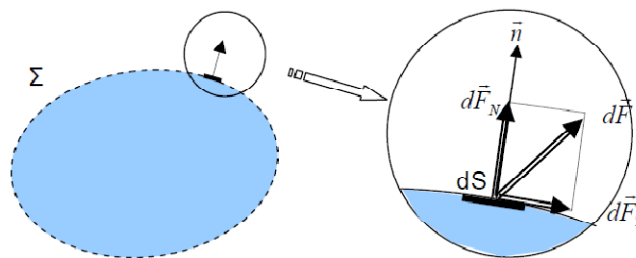
Un fluide peut être considéré comme étant une substance formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entre particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient, par exemple: les métaux en fusion sont des fluides qui permettent par moulage d'obtenir des pièces brutes de formes complexes.

On insiste sur le fait qu'un fluide est supposé être un milieu continu : même si l'on choisit un très petit élément de volume, il sera toujours beaucoup plus grand que la dimension des molécules qui le constitue. Par exemple, une gouttelette de brouillard, aussi petite soit-elle à notre échelle, est toujours immense à l'échelle moléculaire. Elle sera toujours considérée comme un milieu continu. Parmi les fluides, on fait souvent la distinction entre liquides et gaz.

Les fluides peuvent aussi se classer en deux familles relativement par leur viscosité. La viscosité est une de leur caractéristique physico-chimique qui sera définie dans la suite du cours et qui définit le frottement interne des fluides. Les fluides peuvent être classés en deux grande familles : La famille des fluides "newtoniens" (comme l'eau, l'air et la plupart des gaz) et celle des fluides "non newtoniens" (quasiment tout le reste... le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions...). Les fluides "newtoniens" ont une viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température. La deuxième famille est constituée par les fluides "non newtoniens" qui ont la particularité d'avoir leur viscosité qui varie en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent lorsque ceux-ci s'écoulent. Ce cours est limité uniquement à des fluides newtoniens qui seront classés comme suit.

## 2.1 Fluide parfait

Soit un système fluide, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée  $\Sigma$  fictive ou non.



Considérons  $dF$  la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire  $dS$  de normale  $n$  entre le fluide et le milieu extérieur.

On peut toujours décomposer  $dF$  en deux composantes:

- une composante  $T dF$  tangentielle à  $dS$ .
- une composante  $N dF$  normale à  $dS$ .

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est à dire quand la composante  $T dF$  est nulle. Autrement dit, la force  $dF$  est normale à l'élément de surface  $dS$ .

## 2.2 Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prise en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, et on suppose que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface

sur lesquels elles s'exercent. La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits.

### 2.3 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.)

### 2.4 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, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.

## 3- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

### 3.1 Masse volumique

$\rho = m / V$  où :  $\rho$  : Masse volumique en (kg/m<sup>3</sup>),

m : masse en (kg),

V : volume en (m<sup>3</sup>).

#### Exemples :

Fluide	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Type de fluide
Benzène	0,880. 10 <sup>3</sup>	Incompressible
Chloroforme	1,489. 10 <sup>3</sup>	
Eau	10 <sup>3</sup>	
Huile d'olive	0,918. 10 <sup>3</sup>	
Mercure	13,546. 10 <sup>3</sup>	
Air	0,001205. 10 <sup>3</sup>	compressible <sup>1</sup>
Hydrogène	0,000085. 10 <sup>3</sup>	
Méthane	0,000717. 10 <sup>3</sup>	

### 3.2 Poids volumique

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

$\varpi$  : Poids volumique en (N/m<sup>3</sup>).

m : masse en (kg),

g : accélération de la pesanteur en (m/s<sup>2</sup>),

V : volume en (m<sup>3</sup>).

### 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.

**Exemple 1 :**

Calculer la masse volumique, le poids volumique et la densité de 6 m<sup>3</sup> d'huile pèsent 47 kN.

**Solution :**

$$P = 47000N = Mg \Rightarrow M = \frac{P}{g} = \frac{47000}{9.81} = 4791.03kg$$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{4791.03}{6} = 798.5 kg/m^3$$

$$\varpi = \rho g = 7833.33 N/m^3$$

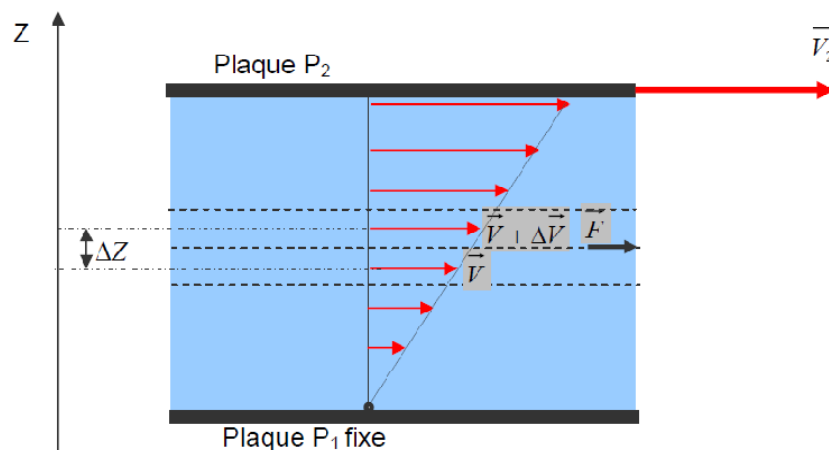
$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}} = \frac{798.5}{1000} = 0.798$$

**3.4 Viscosité**

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes.

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  $V_2$ .



Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. 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 Z. On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

- **Viscosité dynamique**

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ...Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière.

Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de  $\Delta z$ . 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  $\Delta v$ , à leur surface S et inversement proportionnelle à  $\Delta z$  :

Le facteur de proportionnalité  $\mu$  est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{\Delta V}{\Delta Z}$$

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

$\mu$  : Viscosité dynamique en (kg/m.s),

S : surface de contact entre deux couches en (m<sup>2</sup>),

$\Delta V$  : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),

$\Delta Z$  : Distance entre deux couches en (m).

**Remarque :** Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pa.s) ou Poiseuille (Pl) : 1 Pa.s = 1 Pl = 1 kg/m.s

**Exemple :**

Fluide	$\mu$ (Pa.s)
eau (0 °C)	$1,787 \cdot 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1,002 \cdot 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0,2818 \cdot 10^{-3}$
Huile d'olive (20 °C)	$\approx 100 \cdot 10^{-3}$
glycérol (20 °C)	$\approx 1000 \cdot 10^{-3}$
Hydrogène (20 °C)	$0,86 \cdot 10^{-5}$
Oxygène (20 °C)	$1,95 \cdot 10^{-5}$

- **Viscosité cinématique**

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

L'unité de la viscosité cinématique est le (m<sup>2</sup>/s).

**Remarque 1** (unité):

On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique.

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

**Remarque 2** (Influence de la température) :

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

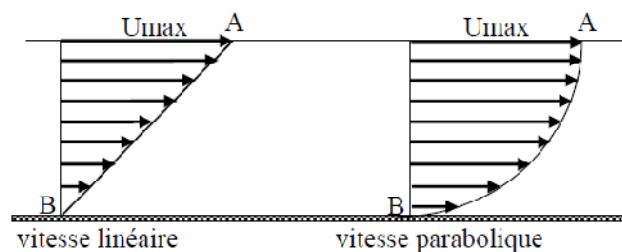
**Remarque 3** (différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique)

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement.

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{\Delta V}{\Delta Z}$$

**Exemple 2:**

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  $y=0$ , 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 a 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  $y=0.075$   $U=U_{\text{max}}$  c.-a-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 <sup>-1</sup> )	$\tau=4,8 \cdot 10^{-2} dU/dy$ (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

## 4- CONCLUSION

Les fluides peuvent être classés en **fluides parfaits** (sans frottement), **fluides réels** (avec frottement), **fluides incompressibles** (liquides) et **fluides compressibles** (gaz). Les fluides sont caractérisés par les propriétés suivantes: la masse volumique, le poids volumique, la densité et la viscosité. Ces propriétés seront utilisées ultérieurement.

Le comportement mécanique et les propriétés physiques des fluides compressibles et ceux des fluides incompressibles sont différents. En effet, les lois de la mécanique des fluides ne sont pas universelles. Elles sont applicables uniquement pour une classe de fluides donnée. Conformément à la classification qui a été faite, les lois relatives à chaque type de fluides seront exposées dans la suite du cours d'une façon indépendante.