

Chapitre I : Introduction à la Mécanique des Fluides

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 option 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 parties :

- ✓ 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, dynamique des fluides incompressibles, l'équation de continuité, théorème de Bernoulli, théorème d'Euler.

On distingue également d'autres disciplines 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.

I.1. Définition :

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formée 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.

Un fluide englobe principalement deux états physiques : l'état gazeux et l'état liquide.

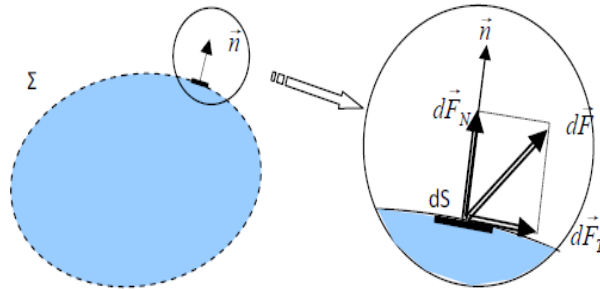
Les fluides peuvent aussi se classer en deux familles relativement par leur viscosité. La viscosité est une de leurs caractéristiques physico-chimiques qui sera définie dans la suite du cours et qui définit le frottement interne des fluides. Les fluides peuvent être classés en deux

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 es 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.

I.1.1. Fluide parfait :

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



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

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

- une composante $d\vec{F}_T$ tangentielle à dS .
- une composante $d\vec{F}_N$ 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 $d\vec{F}_T$ est nulle. Autrement dit, la force $d\vec{F}$ est normale à l'élément de surface dS .

I.1.2. 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 prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

I.1.3. 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.)

I.1.4. 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 comme des fluides compressible.

II.2. Caractéristiques physiques des fluides :**II.2.1. Masse volumique (ρ) :**

C'est la masse par unité de volume de ce fluide $\rho = \frac{\text{masse}}{\text{Volume}} = \frac{m}{V}$ [Kg/m³]

ρ : s'exprime en kg. m⁻³.

V : volume en m³.

m : masse en Kg.

La masse volumique est fonction de la température et de la pression. (Voir tableau I.1)

Fluide	Masse volumique ρ (Kg.m ⁻³)	Type de fluide
Benzène	880	Incompressibles
Chloroforme	1489	
Eau	1000	
Huile d'olive	918	
Mercure	13546	
Air	1,205	Compressibles
Hydrogène	0,085	
Méthane	0,717	

Tableau I.1 : Valeurs des Masses volumiques de quelques fluides.

➤ **Volume massique (Volume spécifique)**

C'est l'inverse de la masse volumique.

$$v = \frac{\text{Volume}}{\text{masse}} = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \text{ [m}^3\text{/Kg]}$$

II.2.2. Poids Volumique (Poids spécifique)

Il représente la force d'attraction exercée par la terre sur l'unité de volume, c'est -à-dire le poids de l'unité de volume.

$$\omega = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{\rho Vg}{V} = \rho g \text{ [N/m}^3\text{]}$$

Où

ω : Poids volumique en (N/m³).

m : masse en (kg),

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

V : volume en (m³).

II.2.3. Densité :

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

✓ 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.

II.2.4. Viscosité :

C'est une grandeur qui caractérise **les frottements internes du fluide**, autrement dit sa capacité à s'écouler. Ces frottements (**contrainte de cisaillement**) apparaissent lorsqu'une tranche de fluide doit se déplacer par rapport à une autre tranche. Les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement.

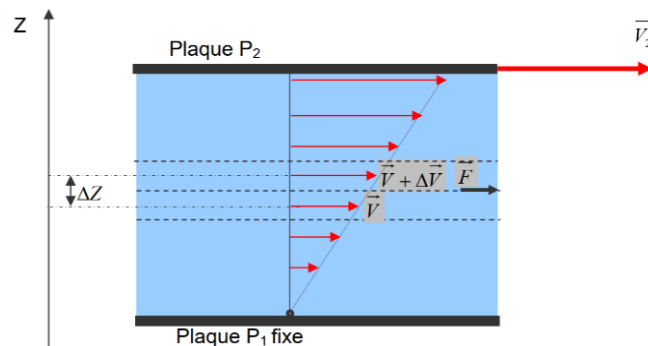


Figure I.1 : Profil de vitesse.

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 I.1). 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 ΔV , à leur surface S et inversement proportionnelle à ΔZ . Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

➤ **Viscosité dynamique :**

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

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

F : force de frottement entre les couches en [N],

μ : Viscosité dynamique en [Pa.s ou PI (Poiseuille) ou Kg/m.s],

S : surface de contact entre deux couches en [m²],

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en [m/s],

ΔZ : Distance entre deux couches en [m]

Exemple :

Fluide	μ (Pa.s)
Eau (0 °C)	$1,787 \cdot 10^{-3}$
Eau (20 °C)	$1,002 \cdot 10^{-3}$
Eau (100 °C)	$0,2818 \cdot 10^{-3}$
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)	$1,95 \cdot 10^{-5}$

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

➤ **Viscosité cinématique :**

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

La viscosité cinématique représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse

volumique d'un fluide : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ [m²/s] [STOCKS] (1 st=10⁻⁴ m²/s)