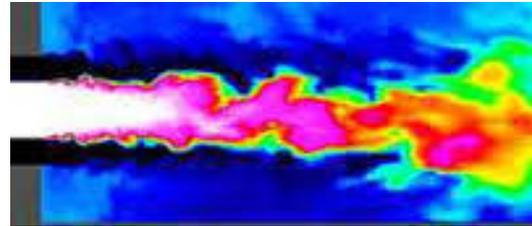


# Cours Mécanique des fluides

*Cours MDF, CHAPITRE 1*



Djarallah.R

# Table des matières



<b>I - Chapitre1</b>	<b>3</b>
1. Propriétés physiques des fluides .....	3
1.1. <i>Qu'est-ce qu'un fluide ?</i> .....	3
2. Masse volumique .....	4
3. Compressibilité .....	4
4. Relation entre masse volumique et compressibilité .....	5
5. Viscosité .....	5
6. Forces subies par un fluide .....	5
6.1. <i>Force de volume : force de pesanteur</i> .....	6
6.2. <i>Forces de surface : force de pression et force de frottement</i> .....	6

# Chapitre1

Propriétés physiques des fluides	3
Masse volumique	4
Compressibilité	4
Relation entre masse volumique et compressibilité	5
Viscosité	5
Forces subies par un fluide	5

## 1. Propriétés physiques des fluides

### 1.1. Qu'est-ce qu'un fluide ?

C'est un milieu matériel :

- continu ; ses propriétés varient d'une façon continue, propriétés considérées comme caractéristiques non d'un point sans volume mais d'une particule, volume de fluide

extrêmement petit autour d'un point géométrique ; par exemple, on affecte à chaque point P, pour chaque instant t, une masse volumique  $\rho$  représentative de la population des molécules

intérieures au volume dV de la particule ;

- déformable (il n'a pas de forme propre) ; les molécules peuvent facilement glisser les unes sur les autres ; cette mobilité fait que le fluide prendra la forme du récipient qui le contient;
- qui peut s'écouler ; mais tout fluide peut s'écouler plus ou moins facilement d'un récipient à un autre ou dans une conduite : des forces de frottements qui s'opposent au glissement des particules de fluide les unes contre les autres peuvent apparaître car tout fluide réel a une viscosité.

L'état fluide englobe deux des trois états de la matière : le liquide et le gaz. Les liquides et gaz habituellement étudiés sont isotropes, c'est-à-dire que leurs propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace.

*La particule fluide :*

La particule fluide est une portion de fluide à laquelle correspondent, à un instant t, une vitesse, une pression, une température, une masse volumique, etc. Le volume envisagé est très petit à notre échelle, mais doit contenir encore un très grand nombre de molécules pour que les chocs moléculaires puissent être remplacés par la pression moyenne. Les particules fluides ne sont pas des particules microscopiques sur lesquelles le mouvement brownien dû à l'agitation moléculaire est très perceptible ; la notion de continuité repose sur celle de la compacité du réseau moléculaire intrinsèquement lacunaire 1.

Chaque particule d'un fluide est soumise à des « *forces de volume* » qui sont des forces à longue distance induites par des champs de forces - le plus banal étant le champ de pesanteur - et à des « *forces de surface* », forces de contact transmises à la surface de la particule par les éléments environnants. On peut dire qu'un fluide est un corps homogène et continu dont les diverses particules peuvent se déplacer ou se déformer sous l'action d'une force très faible.

## 2. Masse volumique

Considérons un milieu continu fluide à l'intérieur d'un volume  $V$ , et soit  $dV$  un volume élémentaire défini autour d'un point  $M$  du volume  $V$ . Désignons par  $dm$  la masse de fluide contenue dans le volume  $dV$ .

Le rapport  $\rho = dm/dV$  représente la masse volumique moyenne du fluide contenu dans le volume  $dV$ .

On définit la masse volumique au point  $M$  par :

$$\rho = \lim_{dV \rightarrow 0} (dm/dV) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

*math*

Eau	1000 kg /m <sup>3</sup>
Huile	914 kg /m <sup>3</sup>
Mercure	13400 kg /m <sup>3</sup>
Air	1.2 kg /m <sup>3</sup>

*Ordres de grandeur des masses volumiques (à 20°C)*

## 3. Compressibilité

La propriété physique qui permet de faire la différence entre un liquide et un gaz est la compressibilité. Un liquide est un fluide occupant un volume déterminé, ou du moins ce volume ne peut varier que très peu, et seulement sous l'action de fortes variations de pression ou de température. Un gaz, au contraire, occupe toujours le volume maximal qui lui est offert : c'est un fluide essentiellement compressible (ou expansible).

La compressibilité traduit la diminution de volume en réponse à un accroissement de pression. Pour quantifier cet effet on introduit le coefficient de compressibilité isotherme défini par :

$$\chi = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)$$

*math\_02*

où:  $\rho = 1/v$  est le volume massique (m<sup>3</sup>/kg).

Un accroissement de pression entraîne une diminution de volume, et inversement ; d'où la nécessité de mettre un signe moins devant le coefficient de compressibilité.

Un accroissement de pression entraîne une diminution de volume, et inversement ; d'où la nécessité de mettre un signe moins devant le coefficient de compressibilité.

Eau	4,1 10 <sup>-10</sup> Pa <sup>-1</sup>
Mercure	4,4 10 <sup>-10</sup> Pa <sup>-1</sup>
Air	≈ 10 <sup>-5</sup> Pa <sup>-1</sup>

*Ordres de grandeur des compressibilités*

## 4. Relation entre masse volumique et compressibilité

Le volume (et donc la masse volumique) peut varier sous l'effet de la pression ou de la température. En plus du coefficient de compressibilité isotherme, on définit donc un coefficient de dilatation thermique à pression constante :

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)$$

*math*

Dans un fluide en mouvement les trois grandeurs  $p$ ,  $v = 1/\rho$  et  $T$  ne sont pas uniformes et l'équilibre thermodynamique n'est réalisé que localement, à l'échelle de la particule. L'équation différentielle d'état :

$$dV = \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right) dp + \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right) dT$$

*math\_02*

peut être transformée en faisant apparaître les deux coefficients  $\chi$  et  $\alpha$  :

$$dv = -\chi v dp + \alpha v dT$$

Nous n'étudierons que des écoulements de liquides ou de gaz dans lesquels la température peut être considérée comme constante ( $dT = 0$ ). L'approximation suivante sera donc faite :

*Liquide = fluide incompressible ( $\chi = 0$ ) = cte : fluide isovolume ( $dv = 0$ )*

## 5. Viscosité

L'agitation des molécules est responsable d'un transfert microscopique de quantité de mouvement d'une particule à sa voisine s'il existe entre elles une différence de vitesse. Ce transfert est traduit par la propriété appelée viscosité.

La « *viscosité* » caractérise l'aptitude d'un fluide à s'écouler. Tout « *fluide réel* » présente une « *viscosité* » qui se manifeste par une résistance à la mise en mouvement du fluide. Par opposition, dans un fluide parfait aucune force de frottement ne s'oppose au glissement des particules fluide les unes contre les autres.

Les fluides parfaits n'existent pas ; ils constituent un modèle.

## 6. Forces subies par un fluide

L'un des buts de la mécanique étant de définir la position ou le mouvement des particules matérielles sous l'action des forces qui les sollicitent, il faut donc définir le genre de forces que nous aurons à considérer en mécanique des fluides.

## 6.1. Force de volume : force de pesanteur

Les champs de force (de pesanteur, magnétique, électrique, etc.) exercent sur les particules fluides des actions à distance qui sont proportionnelles aux volumes des particules. Ce sont les forces de volume.

Considérons un petit volume élémentaire  $dV$  et soit  $dF$  la force élémentaire qui s'exerce sur  $dV$ . On désigne par force volumique  $f$  (ou densité de force par unité de volume) la limite, si elle existe, de la quantité :

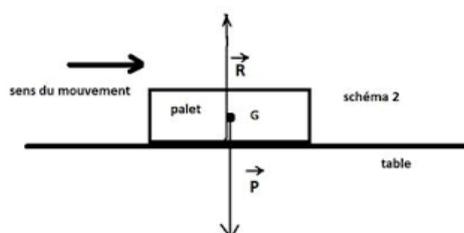
$$f = \lim_{dV \rightarrow 0} \frac{dF}{dV}$$

math\_03

La densité des forces exercées par la gravité sur un milieu continu est l'un des exemples les plus classiques. C'est celle qui interviendra dans nos problèmes :

$$\vec{dF} = dm \vec{g} = \rho \vec{g} dV$$

math\_04



force de pesanteur

Par conséquent, la « densité volumique de force » à laquelle est soumis le fluide est  $f = \rho g$ .

## 6.2. Forces de surface : force de pression et force de frottement

Imaginons une surface  $S$  fictive qui, au sein du fluide, sépare le fluide en deux domaines  $D1$  et  $D2$ . Les particules qui se trouvent du côté de  $D2$ , mais contiguës à  $S$ , agissent sur les particules de  $D1$  qui le touchent. Ce sont des actions à courte distance proportionnelles à l'aire de contact et on les appelle

forces de surface.

La force de pression : force normale

La pression  $p$  est une grandeur scalaire (positive) définie en tout point du fluide.

L'unité de pression dans le système international est le pascal ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ). Cette unité étant faible (un pascal représente environ la pression exercée par un confetti posé sur votre main), on exprime les pressions en hectopascals (hPa), kilopascals (kPa) ou mégapascals (MPa).

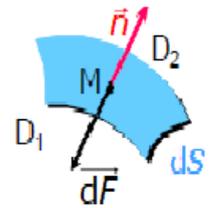
On se souvient des expériences élémentaires qui consistent à percer un petit trou dans un récipient rempli de liquide. On constate que, quelle que soit la forme du récipient et la position de l'orifice, le liquide jaillit toujours perpendiculairement à la paroi. On admet que ce qui a lieu sur la frontière du récipient se produit encore à l'intérieur. En d'autres termes, si  $S$  est une surface non matérielle, qui sépare un domaine  $D$  de fluide en deux sous-domaines  $D1$  et  $D2$ , alors le fluide dans  $D2$  exerce sur  $D1$

une force normale à  $S$  en tout point  $M$  de  $S$ , et vice versa, le fluide dans  $D1$  exerce sur  $D2$  une force égale et opposée, donc normale elle aussi à  $S$  (principe de l'action et de la réaction). Pour exprimer la force exercée par  $D2$  sur  $D1$  on introduit le vecteur unitaire  $n$  orienté vers le milieu qui agit (ici  $D2$ ) et on écrit, pour un élément  $dS$  tracé sur  $S$  et entourant un point  $M$  de  $S$  :

$$\vec{dF} = -p \vec{n} dS$$

$\vec{dF}$  est la force exercée sur l'élément de surface  $dS$

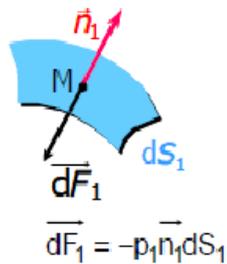
$p$  est la pression régnant au point  $M$



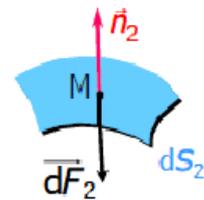
*Force de pression*

Par conséquent  $D_2$  exerce sur  $D_1$ , par l'intermédiaire de  $S$ , une *densité surfacique de force* (force par unité de surface)  $pn$ . La force de pression agit toujours vers l'intérieur du volume délimité par l'élément de surface.

La pression est indépendante de la surface et de l'orientation de cette surface. Si on fait passer une autre surface  $S'$  par le point  $M$ , on obtient la même pression  $p$ . La notion de pression, totalement indépendante de la frontière du fluide (récipient), décrit les efforts exercés à l'intérieur du fluide par une partie  $D_2$  sur son complémentaire  $D_1$ . On dit que l'on a donné une description des *efforts intérieurs* (que les particules exercent les unes sur les autres).



$$\vec{dF}_1 = -p_1 \vec{n}_1 dS_1$$



$$\vec{dF}_2 = -p_2 \vec{n}_2 dS_2$$

$$\vec{dF}_1 \neq \vec{dF}_2 \text{ mais } p_1 = p_2$$

*densité surfacique de force*

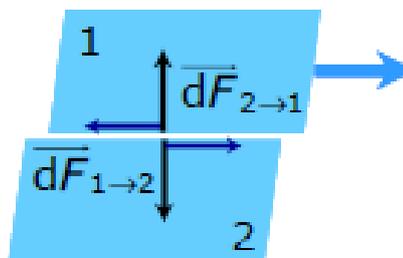
Les frottements : force tangentielle

Il n'existe de *contraintes tangentielles* que si le fluide est visqueux (fluide réel) et en mouvement non uniformément accéléré. L'existence de contraintes tangentielles se manifeste par une résistance à l'écoulement.

Cette force de frottement s'annule avec la vitesse. Pour un fluide au repos, la statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits (non visqueux). Cette distinction n'apparaîtra qu'en dynamique des fluides.

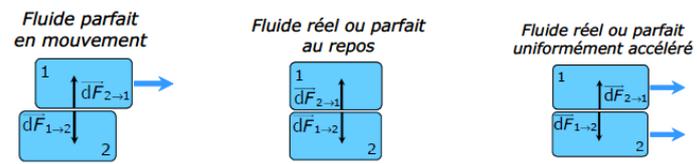
En résumé, il existe des forces de surface normales et tangentielles dans le cas suivant :

**Fluide réel en mouvement**



*Les frottements*

Les forces de surfaces sont normales dans les cas suivants :



*forces de surfaces*