

## Chapitre I : Propriétés des fluides

### I.1 Définition d'un fluide

Le fluide est un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité, qui peut se déformer sous l'action d'une force très faible. Un fluide représente les états gazeux et liquide de la matière.

De cette définition, on peut tirer les caractéristiques suivantes d'un fluide :

- Un fluide n'a pas de forme propre, donc il se déforme facilement ; Les molécules d'un fluide sont peu liées entre elles (le cas du liquide) voir même libres et sans interaction mutuelle (le cas du 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.

### I.2 Forces de volume et forces de surface

Comme tout problème de mécanique, la résolution d'un problème de mécanique des fluides passe par la définition du système matériel  $S$ , particules de fluide à l'intérieur d'une surface fermée limitant  $S$  (Figure II.1).



**Figure II .1 :** Ensembles des particules fluides à l'intérieur d'une surface  $S$ .

À ce système on applique les principes et théorèmes généraux de mécanique et thermodynamique :

Principe de la conservation de la masse (Principe de continuité) ;

Principe de conservation de la quantité de mouvement (principe fondamental de la dynamique) ;

Principe de la conservation de l'énergie (premier principe de la thermodynamique).

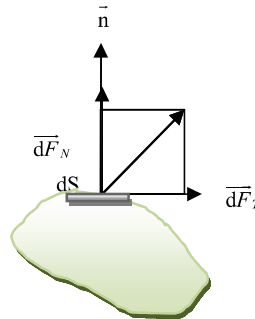
Par ailleurs, les forces qui agissent sur les particules situées à l'intérieur de  $S$  peuvent être classées en deux catégories :

**Les forces de surface :** ce sont les forces qui s'exercent uniquement sur les particules de la surface  $S$ . Elles sont proportionnelles aux éléments de surface, par exemple les forces de pression et les forces de frottement.

**Les forces de volume :** ce sont les forces qui s'exercent sur les molécules intérieures à  $S$ , elles sont proportionnelles aux éléments de volume. Exemple : force de pesanteur, force magnétique et électrique...). Les seules de ce type que nous aurons à considérer habituellement seront les forces de pesanteur.

### I.3 Fluide parfait

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 tangentielle est nulle ( $\overline{dF}_T = 0$ ). Autrement dit, la force d'interaction est normale à l'élément de surface  $dS$  ( $\overline{dF} = \overline{dF}_N$ ).



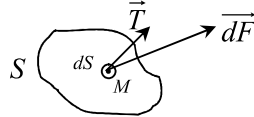
**Figure II.2 :** Schéma explicatif d'un fluide parfait ou réel.

### I.4 Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, un fluide réel est un fluide dont le mouvement s'accompagne d'une résistance dite force de viscosité, s'opposant au glissement des couches fluides les unes sur les autres. Le fluide est alors dit visqueux.

### I.5 Contrainte en un point

Considérons un élément de surface  $dS$  tracé sur  $S$  et entourant un point  $M$  de  $S$  (Figure II.3). Le système des forces de surface agissant sur  $dS$  est réductible à une force unique  $\overline{dF}$  appliquée en  $M$  et un couple  $\overline{dC}$ . On suppose que  $\overline{dF}$  est infiniment petit.



**Figure II.3 :** Contrainte en un point.

Lorsque  $dS$  tend vers zéro, autour de  $M$  fixe, le vecteur  $\frac{\overline{dF}}{dS}$  tend vers le vecteur  $\vec{T}$  qu'on appelle contrainte en  $M$  sur l'élément  $dS$ .

La force  $\overline{dF}$  est donnée donc par :

$$\overline{dF} = \vec{T} dS$$

### I.6 Propriétés physiques du fluide

#### I.6.1 Masse volumique

La masse volumique d'un fluide est la masse d'une unité de volume de ce fluide.

On la calcule par la relation :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (I.1)$$

avec

$\rho$  : La masse volumique ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ),

$m$  : La masse (kg),

$V$  : Le volume ( $\text{m}^3$ ),

#### Exemple .1 : Calcul d'une masse volumique

**Question :** Un flacon contient 200 mL d'alcool. La masse de cet alcool est de 170 g.

Quelle est la masse volumique de cet alcool ?

**Réponse :** D'après la définition :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{170}{0.200} = 875 \text{ g} / \text{L}$$

**Exemple.2 : Calcul d'une masse**

Question : L'essence a une masse volumique de  $800 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pour remplir le réservoir, un conducteur met  $40,0 \text{ L}$  d'essence.

Quelle est la masse d'essence dans le réservoir ?

**Réponse :** Il faut convertir les unités :  $40,0 \text{ L} = 40,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

On utilise ensuite la définition de la masse volumique :

$$m = \rho \times V = 800 \times 40 \cdot 10^{-3} = 32 \text{ kg}$$

**Exemple.3:Calcul d'un volume**

Question : Le mercure est le liquide le plus dense Sa masse volumique est de  $13,6 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Quelle est le volume de  $1,0 \text{ kg}$  de mercure ?

**Réponse :** On utilise la définition de la masse volumique :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1}{13,6 \cdot 10^3} = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 74 \text{ cm}^3 = 74 \text{ ml}$$

**I.6.2 Densité**

La densité est une grandeur sans unité définie par :

$$d = \frac{\text{la masse volumique du fluide}}{\text{la masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (I .2)$$

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 : Calcul d'une densité**

Question : La pesée de  $100 \text{ mL}$  d'huile donne une masse de  $72 \text{ g}$ . Quelle est la densité de l'huile ?

**Réponse :** La masse volumique est :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{72}{0,100} = 720 \text{ g/L}$$

Comme  $1,0 \text{ L}$  d'eau pèse  $1000 \text{ g}$ , on a :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{ref}} = \frac{720}{1000} = 0,720$$

### I.6.3 Poids volumique

$$w = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (I.3)$$

#### Exemple : Calcul d'un poids volumique

**Question :** Déterminer le poids volumique de l'essence sachant que sa densité  $d=0,7$ . On donne :

- l'accélération de la pesanteur  $g=9,81 \text{ m/s}^2$
- la masse volumique de l'eau  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

**Réponse :**

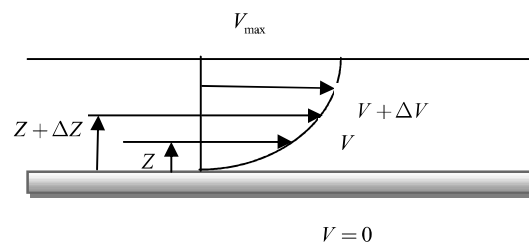
$$w = \rho g = d \rho_{ref} g = 0,7 \times 1000 \times 9,81 = 6867 \text{ N/m}^3$$

### I.6.4 Viscosité

On peut définir la viscosité d'un fluide comme étant le frottement interne entre les couches durant l'écoulement. La conséquence importante de cette propriété est l'adhérence du fluide à la surface du solide en contact avec lui. Aussi, à cause de cette propriété visqueuse des fluides, il existe des contraintes de cisaillement (force de glissement tangentielle exprimée par unité de surface).

#### Viscosité dynamique

Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et les forces d'interaction entre les molécules de fluide et celles de la paroi, chaque molécule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse. On dit qu'il existe un profil de vitesse (Figure II.4).



**Figure II.4 :** Profil de vitesse d'une particule.

Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, 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  $z$ .

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.

$$F = -\mu.S.\frac{\Delta V}{\Delta Z} \quad (I.4)$$

$F$  : 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).

### Viscosité cinématique

La viscosité cinématique c'est le rapport de la viscosité dynamique  $\mu$  et de la masse volumique  $\rho$  :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (I.5)$$

### Exemple1 : Calcul d'une viscosité dynamique

**Question** : Déterminer la viscosité dynamique de l'huile d'olive sachant que sa densité est 0,918 et sa viscosité cinématique est 1,089 Stockes.

**Réponse** :

On a :

$$\nu = 1,089st = 1,089.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Et comme 1,0 L d'eau pèse 1000 g, on a :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \Rightarrow \rho = \rho_{ref} \times d = 918kg / m^3$$

Donc

$$\mu = \nu \times \rho = 1,089.10^{-4} \times 918 \approx 0,1 \text{ kg} / \text{m.s} = 0,1 \text{ Pa.s}$$

**Exemple2 : Calcul d'une viscosité cinématique**

**Question** Du fuel porté à une température  $T=20^\circ\text{C}$  a une viscosité dynamique  $\mu = 95.10^{-3} \text{ Pa.s}$  . Calculer sa viscosité cinématique  $\nu$  en stockes sachant que sa densité est  $d=0,95$ . On donne la masse volumique de l'eau est  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$

**Réponse :**

On a :

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \Rightarrow \rho = \rho_{\text{eau}} \times d = 0,95 \times 1000 = 950 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Donc

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{95.10^{-3}}{950} = 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s} = 1 \text{ st}$$