

Chapitre 1 : Propriétés des fluides

1.1. Définition d'un fluide

1.2. Système d'unités

1.3. Propriétés physiques des fluides

- Masse volumique
- Densité
- Poids volumique
- Compressibilité
- Viscosité
- Tension superficielle

Applications : TD n-01

Chapitre 1 : Propriétés des fluides

1.1. Définition d'un fluide :

Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres.

Un fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Le terme « fluide » englobe principalement deux états physiques : l'état gazeux et l'état liquide.

1.2. Système d'unités :

Un système d'unités est l'ensemble des unités cohérentes qui expriment un certain nombre de grandeur physique. Toutes les grandeurs physiques sont exprimées par des dimensions et ces dimensions sont quantifiées par des unités. Actuellement on utilise le système international (SI).

Les unités principales du système international (SI), sont rassemblées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Principales unités dans le système international (SI)

Longueur	(m)	L
Masse	(Kg)	M
Temps	(s)	T
Force	(N)	MLT^{-2}
Pression	(N/m^2) (Pa)	$ML^{-1}T^{-2}$
Energie	(J)	ML^2T^{-2}

1.3. Propriétés physiques des fluides :

Tous les fluides possèdent des caractéristiques permettant de décrire leurs conditions physiques dans un état donné. Parmi ces caractéristiques qu'on appelle propriétés des fluides on a :

1.3.1.Surface libre :

Aux température et pression courantes, lorsqu'un liquide est en contact avec un gaz, les deux milieux sont nettement séparés, la surface qui les sépare s'appelle la « surface libre » du liquide.

1.3.2. Masse volumique : ρ

La masse volumique ' ρ ' d'un fluide, c'est le rapport de sa masse et de son volume. C'est la mesure de la masse dans une certaine quantité de liquide. Elle correspond aux nombres de molécules contenues dans le volume.

Expression dimensionnelle est ML^{-3} , donc s'exprime en (Kg/m^3) dans le système unités internationales des (SI), elle donnée par

$$\rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volume}} = \frac{M}{V}$$

M : Masse du fluide (kg) ;

V : Volume du fluide (m^3) ;

ρ : Masse volumique (kg/m^3).

La masse volumique de l'eau ordinaire pure ne diffère pratiquement pas de celle de l'eau distillée, et elle est prise pour les calculs hydrauliques égale à $1000 \text{ kg} / m^3$ à 4°Celsius ou encore égale $1g/cm^3$

Tableau 2 : Quelque valeur de masses volumique pour différents fluides :

Fluides	Mercure	Eau de mer	Eau pure	Huile	Essence	Air
ρ (kg/m^3)	13600	1030	1000	900	700	1,293

1.3.3.La densité : d ou S_G

Elle définit comme étant le rapport de la masse volumique du fluide rapportée à un corps de référence. C'est une grandeur sans unité donnée par : $S_G = \frac{\rho}{\rho_{ref}}$

Le corps de référence dépend de l'état physique du corps

Eau : Pour les solides et les liquides.

Air : Pour les gaz.

$$\text{Exemples : } S_{G \text{ eau}} = \frac{\rho_{\text{eau}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{1000}{1000} = 1$$

$$S_{G \text{ Mercure (Hg)}} = \frac{\rho_{\text{Mercure}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{13600}{1000} = 13,6$$

Les liquides sont caractérisés par une masse volumique relativement importante :

$$\rho_{\text{fluide}} \gg \rho_{\text{gaz}}$$

1.3.4. Poids volumique (poids spécifique) γ (N/m³) :

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.

$$\gamma = \frac{p}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{\rho V g}{V} = \rho g \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

1.3.5. La Compressibilité :

La compressibilité est une caractéristique d'un corps quantifiant sa variation relative de volume sous l'effet d'une pression appliquée. La compressibilité est une grandeur intensive homogène avec l'inverse d'une pression, elle s'exprime en (Pa⁻¹).

Le coefficient de compressibilité β donné par : $\beta = - \left(\frac{1}{V} \right) \frac{\Delta P}{\Delta V}$

Avec :

V : Le volume (m³), ΔV : Variation du volume

P : La pression (pa) , ΔP : Variation de pression

1.3. 6. Viscosité dynamique - Viscosité cinématique

▪ Profil des vitesses

Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et des 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.

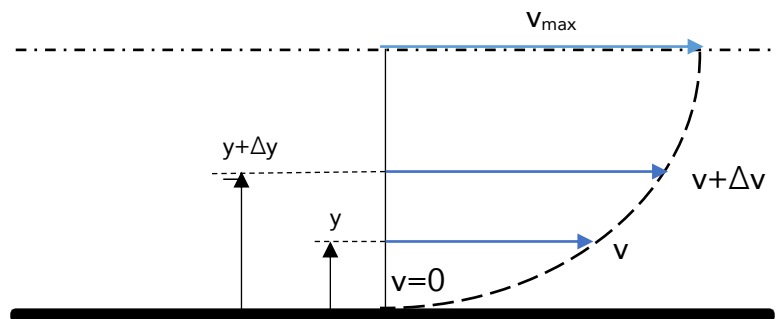


Fig.1. Profil de vitesse $v=v(y)$

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 y de cette couche au plan fixe :
 $\mathbf{v} = \mathbf{v}(y)$.

1.3.6. 1. Viscosité dynamique :

Considérons deux couches de fluide contiguës distantes de Δy . La force de frottement \mathbf{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 $\Delta \mathbf{v}$, à leur surface \mathbf{S} et inversement proportionnelle à Δy :

$$F/S = \mu(\Delta v / \Delta y)$$

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

La contrainte tangentielle τ s'écrit :

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

1.3. 6. 2. Viscosité cinématique :

Dans de nombreuses formules apparaît le rapport de la viscosité dynamique et de la masse volumique

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

Dans le système SI, l'unité de la viscosité dynamique est le (Pa.s) ou (kg/m.s) ou Pl

Pa.s : Pascal seconde

Pl : Poiseuille avec 1 Pa.s = 1 Pl = 1kg /m.s

Dans le système CGS l'unité est le Poise (Po) avec 1 Po = 10⁻¹ Pl

Dans le système SI, l'unité de la viscosité cinématique, ν , est le (m²/s) ; dans le système CGS l'unité est le stokes où 1 stokes = 1 cm²/s = 10⁻⁴ m²/s.

1.3. 7. Tension superficielle :

La tension superficielle est définie comme la force, existant à la surface d'un liquide, due à l'attraction entre les molécules qui s'opposent à la rupture de la surface.

La tension superficielle ' σ ' est la force de traction agissant sur un élément de surface situé dans un plan tangent à la surface et qui s'oppose à la dilatation de celle-ci. Ce coefficient est homogène au quotient d'une force par une longueur.

La tension superficielle a souvent été exprimée en (N/m).

1.3. 7. 1. Ascension capillaire:

Un tube de verre de faible diamètre est plongé dans un liquide mouillant, de l'eau par exemple, le, le niveau du liquide dans le tube est supérieur au niveau de la surface libre du récipient, le ménisque concave fait un angle θ avec la surface du tube, l'ascension capillaire est due aux forces superficielles appliquées en tout point du contour du ménisque. La résultante F de ces forces équilibre le poids p du liquide soulevé, l'élévation du liquide dans le tube compense la différence de pression entre les deux côtés de la paroi.

Le poids de la colonne de liquide dans le tube :

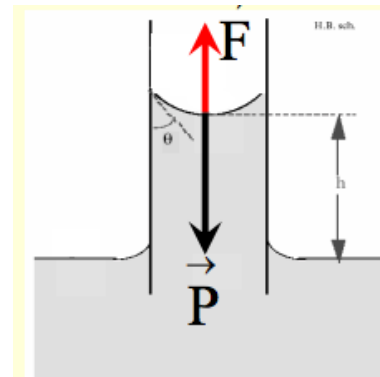
$$p = mg = \pi R^2 h \rho g$$

Est équilibré par la force de tension superficielle s'exerçant sur la ligne de raccordement entre le liquide et la paroi du tube :

$$F = 2\pi R \sigma \cos\theta$$

On obtient ainsi la relation:

$$h = 2\sigma \cos\theta / R\rho g$$



Que l'on appelle Loi de Jurin.

Applications : TD n- 01. Propriétés des liquides**Exercice 1 :**

1/ Soit un volume d'huile, $V= 6\text{m}^3$ qui pèse un poids, $p= 47\text{KN}$.

- Calculer la masse volumique,
- Le poids spécifique et la densité de cette huile sachant que $g= 9.81 \text{ m/s}^2$.

2/ Calculer le poids et la masse d'un volume $V= 3$ litres d'huile de boîte de vitesse ayant une densité égale à 0.9.

Réponse :

1/ $\rho = 798.5 \text{ kg/m}^3$, $\gamma = 7833,3 \text{ N/m}^3$, $S_G = 0.7985$,

2/ $p = 26.48\text{N}$, $m = 2.7\text{kg}$

Exercice 2 :

Déterminer la viscosité dynamique d'une huile moteur de densité $d = 0.9$, et de viscosité cinématique $\nu = 1.1 \text{ St}$.

Solution

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \implies \mu = \nu \cdot \rho = 1.1 \cdot 10^{-4} \cdot 900 = \underline{0.099 \text{ Pa}\cdot\text{s}}$$

Exercice 3 :

La viscosité de l'eau à 20°C est de 0.01008 Poise.

Calculer :

- La viscosité dynamique
- Si la densité est de 0.988, calculer la valeur de la viscosité cinématique en m^2/s et en Stokes

Solution

$$1 \text{ Po} = 10^{-1} \text{ Pl} \qquad \mu = \underline{0.001008 \text{ Pa}\cdot\text{s}}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \implies \nu = \frac{0.001008}{988}$$

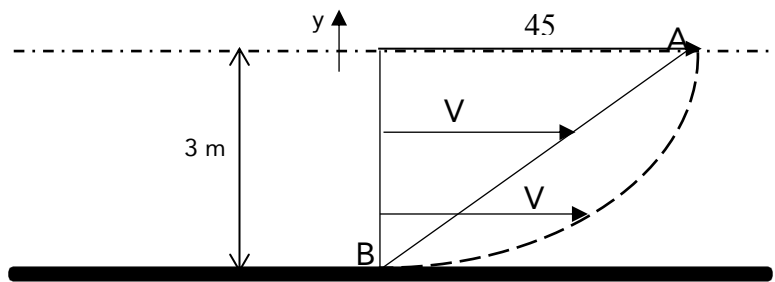
$$\nu = 1.02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1.02 \cdot 10^{-2} \text{ St}$$

Exercice 4 :

Un fluide avec une viscosité dynamique égale à 0.001 (kg/ms) s'écoule sur une plaque.

Déterminer le gradient de vitesse (dv/dy) et l'intensité de la contrainte de cisaillement aux points : $y = 0, 1, 2, 3 \text{ m}$.en supposant entre les points A et B que :

- La vitesse varie de façon linéaire.
- La distribution de vitesse est parabolique avec un gradient de vitesse nulle au point A.



Solution :

- a) Distribution de vitesse : $v = Ay + B$

$$y = 0, v = 0, B = 0$$

$$y = 3, v = 45, A = 45/3 = 15$$

$$v = 15y$$

Donc : $dv/dy = 15 \text{ s}^{-1}$ pour n'importe quelle valeur de y , $\tau = \mu dv/dy = 0,001 \times 15 = 0,015 \text{ N/m}^2$ quelque soit y

- b) Distribution de vitesse : $v = Ay^2 + By + C$

$$y = 0, v = 0, C = 0$$

$$y = 3, v = 45, dv/dy = 0, 9A + 3B = 45, 6A + B = 0, \text{ donc : } A = -5, B = 30$$

$$v = -5y^2 + 30y, dv/dy = -10y + 30$$

$$y = 0, \tau = 0,03 \text{ N/m}^2$$

.

.

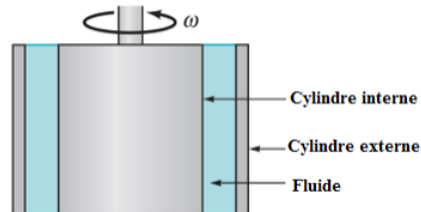
.

$$y = 3, \tau = 0$$

Exercice 5 (Mesure de la viscosité) :

Un viscosimètre (couette) est composé de deux cylindres coaxiaux de rayon 12,2 cm et 12,8 cm respectivement, les deux cylindres ont 30 cm de long.

Un couple de 0,88 N.m est nécessaire pour tourner le cylindre interne à une vitesse de rotation de 2π rad /s. Déterminer la viscosité dynamique du liquide qui remplit l'espace entre les deux cylindres.

**Solution :**

Le couple est transmis du cylindre externe à travers les couches du liquide.

Couple appliquée= couple résistant

$$C = \tau \times \text{surface} \times \text{bras de levier} = \mu S \frac{\Delta U}{\Delta R} R = \mu 2\pi R L \frac{U_1 - U_2}{\Delta R} R$$

Où :

$U_1 = \omega R$ (vitesse linéaire du cylindre intérieur)

$U_2 = 0$ (cylindre extérieur est fixe)

$\Delta R =$ l'espace entre les cylindres

Donc le couple appliquée correspond à :

$$C = \frac{\mu 2\pi R^3 L \omega}{\Delta R}$$

Alors :

$$\mu = \frac{C \Delta R}{2\pi R^3 L \omega} = \frac{0,881 (0,128 - 0,122)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,122^3 \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot 3,14} = 0,246 \text{ Pa.s}$$

****Exercice supplémentaire :**

Une grande plaque mobile est située entre deux grandes plaques fixes.

Deux liquides newtoniens de viscosité $\mu_1 = 0,02$ (Pa.s) , et $\mu_2 = 0,01$ (Pa.s), sont contenus entre les plaques.

Déterminez l'intensité des contraintes sur chacune des parois quand la plaque centrale mobile se déplace à une vitesse de 4 m/s parallèlement aux autres plaques.

