

Chapitre I : Généralités sur les liquides

Introduction

L'hydraulique générale c'est une partie de la mécanique des fluides qui concerne le comportement des liquides (l'eau) au repos ou en mouvement. Il désigne également les mécanismes régissant les liquides (eau) sous –pression ou à surface libre dans les ouvrages de l'eau : Réservoirs d'eau, les canalisations hydrauliques pompes et stations de pompages, vannes..... etc.

Le mot hydraulique vient de son origine grecque. Il est composée de : la racine Hydro qui veut dire **eau** et du suffixe aulos qui veut dire **flûte (tuyau musical)**

I.2 Intérêt de l'hydraulique générale

Elle a pour objectif de donner les outils d'approches pour aborder des problèmes de diagnostic, de dimensionnement, de gestion d'équipements des réseaux d'irrigation.

I.3 Définition d'un fluide

Généralement un fluide désigne la catégorie des liquides et des gaz.

La principale différence entre les liquides et les gaz réside dans le fait que les liquides sont pratiquement incompressibles et occupent un volume défini. Tandis que les gaz sont incompressibles et occupent toute la place disponible.

I.4 Propriétés physique des fluides

I.4.1 Structure

Un fluide peut être liquide ou à l'état gazeux.

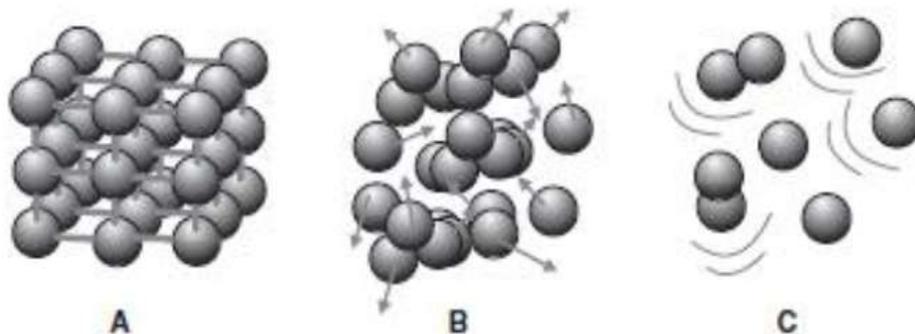


Figure I.1.Structure moléculaire. A : solide, B : liquide, C : gaz

I.4.2 La densité

La densité d'une substance est la **quantité de matière contenue** dans une unité de volume de cette substance.

Elle est exprimée de différentes manières :

a- Densité d'une masse ou « masse volumique » ρ

La masse volumique est définie comme la masse par unité de volume :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Exemple : masse volumique de quelques fluides

$$\text{Eau : } \rho_w = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\text{Mercure : } \rho_{HG} = 13546 \text{ kg.m}^{-3}$$

La masse volumique d'un gaz change avec la pression mais celle d'un liquide peut être considérée comme constante en général. Par Application, la masse volumique de l'eau à 4 °C et à une pression de 1 atm (dans les conditions standard) est d'environ 1000 kg.m⁻³ alors celle de l'air dans les conditions standard est d'environ 1,3 kg.m⁻³.

On trouve aussi une relation proportionnelle entre la masse volumique et la température.

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P(273 + t_0)}{P_0(273 + t)}$$

ρ_0, P_0 sont consécutivement la masse volumique initiale et la pression initiale.

b- Densité relative d

La densité relative d'une substance est le rapport de la masse volumique de cette substance à celle d'une de l'eau. Elle est sans dimension :

$$d = \frac{\rho}{\rho_w}$$

Exemples

$$\text{Eau : } d_w = 1$$

$$\text{Mercure : } d_{HG} = 13.6$$

c- Poids spécifique

L'inverse de la masse volumique par unité de masse est appelé poids spécifique (ou poids volumique). Le poids volumique est en réalité la force qu'exerce le liquide contenu dans l'unité de volume, (m^3) soumis à la pesanteur. Le poids volumique diminue si la température augmente et vice versa.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{M \cdot g}{V} \rightarrow \gamma = \rho \cdot g \text{ N/m}^3$$

Exemples : Eau $\gamma_w = 9814 \text{ N/m}^3$

Mercure : $\gamma_{Hg} = 132943 \text{ N/m}^3$, Air : $\gamma_{air} = 1.3 \text{ N/m}^3$

Application 1

Calculer le poids P_0 d'un volume $V=3$ litres d'huile d'olive ayant une densité $d=0,918$.

Réponse 1 :

$$P_0 = d \cdot V \cdot \rho g = 0,918 \cdot 1000 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 27N$$

Application 2

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 2

$$\gamma = d \cdot \rho g = 0,7 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 6867 \text{ N/m}^3$$

I.4.3 La viscosité

La cohésion est l'aptitude d'un fluide à conserver sa forme. La détermination de la force ainsi engendrée par un changement de forme du liquide dépend d'un coefficient appelé viscosité. Elle est définie par la résistance à une déformation ou un glissement (force tangentielle), elle est due principalement à l'interaction entre les molécules du fluide.

Dans le cas d'un liquide, lorsque la température augmente les molécules se séparent entre elles, décroissant l'attraction entre elles et donc la viscosité diminue. La viscosité varie également en fonction de la pression. Ces variations sont moins

importantes que celles dues à la température dans la gamme d'utilisation classique en hydraulique industrielle (5 à 500 bars) et peuvent être négligées pour une première approche.

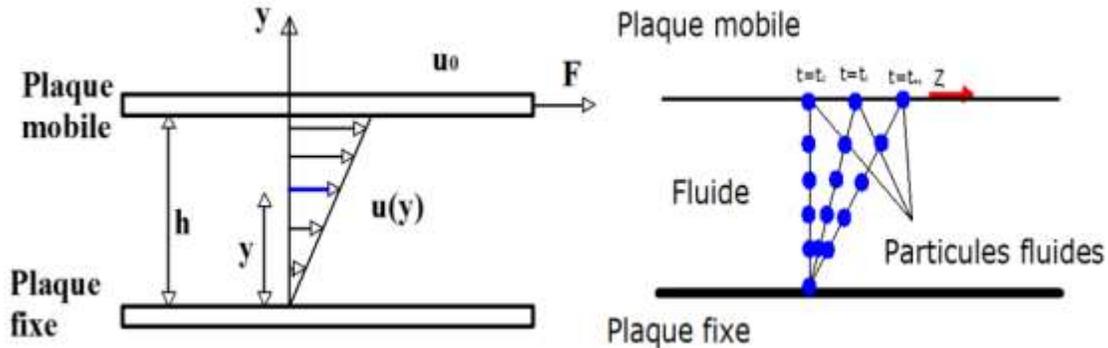


Figure I.2. Vue qualitative de la déformation d'un fluide après application d'une contrainte à la paroi supérieure.

a- Viscosité dynamique (μ)

$$\mu = \frac{\zeta_{xy}}{\frac{du_x}{dy}} = \frac{\frac{\text{Force}}{\text{Surface}}}{\frac{\text{Vitesse}}{\text{Distance}}} = \frac{\text{Force} \cdot \text{Temps}}{\text{Surface}} = N \cdot s \cdot m^{-2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

Remarque :

Eau: $\mu = 1.14 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Mercure: $\mu = 1.552 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

μ est généralement exprimée en Poise (Po) $10\text{Po} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Application 3

On suppose que de l'huile ayant une viscosité $\mu = 0.29 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; s'écoule entre les deux plaques dont l'une est soumise à la force F (Calculer la contrainte visqueuse dans l'huile si la vitesse de la plaque supérieure est de $U = 3 \text{ m/s}$ et que la distance entre plaque est de $h = 2 \text{ cm}$).

Réponse 3

L'accélération est nulle et en supposant qu'il n'y a pas de variation de pression dans la direction de l'écoulement, on peut montrer (par un équilibre de force sur un élément de fluide) que la contrainte de cisaillement *est* constante à travers tout le fluide.

On peut donc calculer :

$$\zeta = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{h} = \frac{0.29 \times 3}{0.02} = 43 \text{ N.s.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = 43 \text{N.m}^{-2} = 43 \text{Pa}$$

b- Viscosité cinématique ν

Elle représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse spécifique d'un fluide.

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

Remarque: ν est généralement exprimée en Stokes (St) : $10^4 \text{ St} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Eau: $\nu = 1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Mercure: $\nu = 1.145 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Application 4

fioul porté à une température $T=20^\circ\text{C}$ a une viscosité dynamique $\mu = 95 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$.

Calculer sa viscosité cinématique ν en stockes sachant que sa densité est $d=0,95$.

On donne la masse volumique de l'eau est 1000 kg/m^3 .

Réponse 4

$$\nu = \frac{\mu \cdot \rho}{d} = \frac{95 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 0,95} = 1 \cdot \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{\text{s}} = 1 \text{ stokes}$$

Application 5

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 5

$$\mu = \rho \cdot \nu = 981 \times 1,089 \cdot 10^{-4} = 0,1 \text{Pa. S}$$

I.4.4 Pression de vapeur saturante

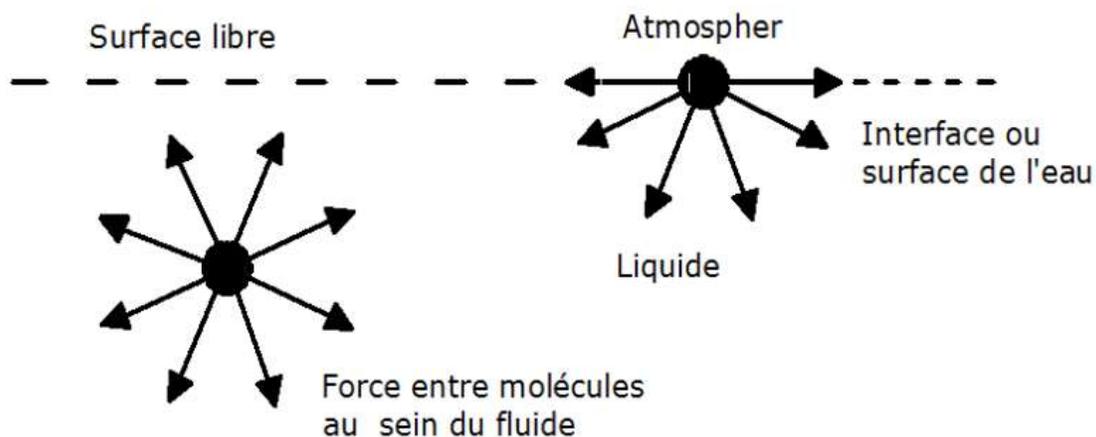
Lors de l'évaporation de l'eau à l'intérieur d'une enceinte ferme, on appelle la tension partielle créée par les molécules de vapeurs, la pression de vapeur saturation. C'est la pression à laquelle la phase gazeuse de cette substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide. Elle est proportionnelle à la température et augmente avec celle-ci. Dans le cas de l'eau, la pression de vapeur (p_s) croît avec une augmentation de la température (T). La pression de vapeur saturante pour l'eau est donnée par la relation empirique suivante :

$$\log_{10}(P_s) = 22.435 - \frac{2795}{T + 273.15} - 3.868 \log_{10}(T + 273.15)$$

Avec P_s en Pa et T en °Celsius.

I.4.5 Tension superficielle

Une molécule liquide au repos est soumise aux forces d'attractions que les molécules voisines exercent sur elle. Une molécule à la surface libre d'un liquide ou à la surface de séparation de deux liquides non miscibles n'est plus soumise à l'action de forces symétriques, puisqu'elle n'est plus entourée symétriquement par d'autres molécules de même nature. Ainsi la résultante des forces moléculaires n'est plus nulle. La surface de séparation se comporte comme une membrane tendue. La force d'attraction tangentielle à la surface nécessaire pour arracher des particules agissant le long d'un segment de longueur unitaire est appelée tension superficielle.



La tension superficielle est définie par la relation $T_s = \frac{F}{L}$, (en N/m) :

Avec L, la longueur virtuelle tracée à la surface du liquide au repos, sur laquelle agissant des forces F tangentielle à l'interface.

Les effets de tension superficielle ne sont pas importants dans les écoulements en eau potable ou en assainissement et ne sont donc pas pris en compte.

Tension de surface : Air – eau à 20°C : 0,0724 N/m.

I.4.6 Compressibilité (β_p)

C'est l'aptitude d'un fluide à changer de volume sous l'action de la variation de la pression. Elle s'écrit par la relation :

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dP} \text{ en } m^2/N$$

$\frac{dW}{dP}$: gradient de volume (W)

Le signe (-) correspond à la formation du volume quand la pression augmente.

Application 6

On comprime un liquide dont les paramètres à l'état initial sont : $p_1 = 50 \text{ bar}$ et $V_1 = 30.5 \text{ dm}^3$ et les paramètres à l'état final sont : $p_2 = 250 \text{ bar}$ et $V_2 = 30 \text{ dm}^3$. Calculer le coefficient de compressibilité β_p de ce liquide.

Réponse 6

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dP} = -\frac{(30.5 - 30)}{(250 - 50) \times 30.5} = -8.2 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$$

I.5 Caractérisation des forces agissant dans un fluide

Les forces qui agissent sur un volume fini de fluide sont de deux types :

- Les forces de volumes.
- Les forces de surfaces.

I.5.1 Forces de volumes

Elles se composent des forces suivantes :

a- Les forces de pesanteur provenant de la gravité (force de pesanteur).

Les composantes de la force \vec{F} peuvent s'écrire, Dans le cas où le fluide soumis qui a la pesanteur :

$$F_x = 0$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = -g$$

b- Les forces d'accélération pure

Elles proviennent de la variation de la vitesse (V) de la masse d'un fluide (M) dans le temps.

$$F_{\text{accélération pure}} = M \frac{\partial V}{\partial t}$$

c- Les forces d'accélération convective

Elles proviennent de la variation de la vitesse (V_x, V_y, V_z) dans l'espace (repère [x, y, z]).

$$F_{\text{accélération convection}} = M \left(\frac{\partial V}{\partial X} \cdot V_x + \frac{\partial V}{\partial Y} \cdot V_y + \frac{\partial V}{\partial Z} \cdot V_z \right)$$

I.5.2 Forces de surfaces

Elles se composent des forces suivantes :

a- Les forces de pression

Les particules qui forment un liquide sont en perpétuel mouvement ce qui provoque de nombreux chocs entre elles et avec les parois du récipient qui les contient. On dit alors que le liquide exerce une force de pression sur les parois. Cette force de pression est dirigée vers l'extérieur et perpendiculaire à la surface S sur laquelle elle agit. On peut ainsi définir la pression P comme étant la force qui s'exerce sur chaque unité de surface et la représenter par le rapport suivant :

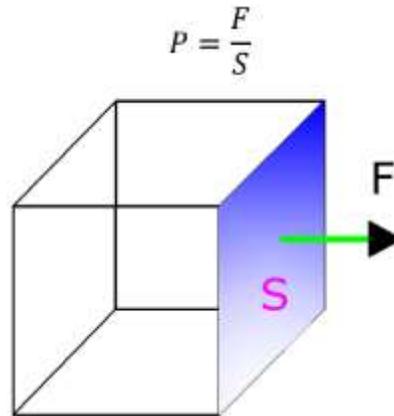


Figure 1.12 : Force de pression sur une paroi

La pression est généralement donnée par Pa (N/m²) ou en bar

b- Les forces de frottement de viscosité

Nous avons vu précédemment qu'un fluide, dont les particules sont en mouvement relatif, génèrent des forces de frottement dues à la viscosité. La force de frottement s'écrit:

$$F = \mu A \frac{\partial U}{\partial y} = \zeta \cdot A$$

c- Les forces générées par la turbulence :

La turbulence décrite au premier chapitre joue un rôle majeur dans l'écoulement des fluides. La turbulence a tendance à « freiner » l'écoulement. Une façon de les représenter mathématiquement consiste à les assimiler à des forces de frottement, ce qui est faux compte tenu de la nature même de la turbulence.

Application : On donne $F_1 = 100$ N et $D_1 = 10$ cm (diamètre du petit piston)

Le petit piston descend d'une hauteur $h_1 = 1$ m

1. Si le diamètre du grand piston est $D_2 = 1$ m, quelle est l'intensité de la force F_2 exercée sur le grand piston ?
2. De quelle hauteur h_2 monte le grand piston ?

$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{100}{\frac{\pi \cdot (0.1)^2}{4}} = 12732 \text{ Pa}$$

$$F_2 = P_2 \cdot S_2 \text{ or } P_2 = P_1$$

Soit

$$F_2 = 12732 \cdot \frac{\pi \cdot (1)^2}{4} = 10.000 \text{ N}$$