

Intitulé du Master : Hydrogéologie appliquée

Semestre : 1

Intitulé de la matière :

**Hydrodynamique souterraine 1 (Cours)**

**I. Propriétés des fluides**, (Ph. Marty 2012-13, Kateb S., 2015 ; Marie T., et al., 2005)

### I.1. Définition d'un fluide,

Un fluide peut être considéré comme étant un milieu matériel continu formé d'un grand nombre de particules, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les fluides peuvent se classer en deux familles par leur viscosité :

- Fluides "newtoniens" (viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température : l'eau, l'air et la plupart des gaz)

- Fluides "non newtoniens" (viscosité qui varie en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent lorsque ceux-ci s'écoulent : le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions...).

Ce cours est limité uniquement aux 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  $\Sigma$  (fig.I.1), fictive ou non.

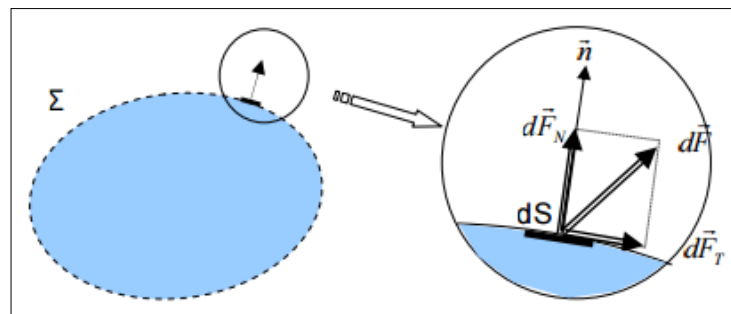


Figure I.1 : Système fluide

Considérons  $dF$ , la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire  $dS$  de normale  $n$  entre le fluide et le milieu extérieur. On peut toujours décomposer  $dF$  en deux composantes:

- une composante  $dF_T$  tangentielle à  $dS$ .
- une composante  $dF_N$  normale à  $dS$ .

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait ou non visqueux, si l'écoulement se fait « sans frottements internes » d'aucune sorte. C'est-à-dire, quand la composante  $dF_T$  est nulle. Autrement dit, la force  $dF$  est normale à l'élément de surface  $dS$ .

#### I.1.2. Fluide réel

Dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération. C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait.

#### I.1.3. Fluide incompressible, compressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure (eau, huile, etc....).

Il est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Ex : Les gaz

Le coefficient de compressibilité est :

$$\beta = -\frac{dV/V}{dp} = -\frac{dV}{dpV} \quad (\text{Pa}^{-1}), (\text{m}^2/\text{N}) \quad (\text{I.1})$$

$\beta$  : coefficient de compressibilité ( $\text{m}^2/\text{N}$ ,  $\text{Pa}^{-1}$ )

$V$  : volume de fluide ( $\text{m}^3$ )

$dV$  : variation de volume ( $\text{m}^3$ )

### I.2. Masse spécifique, (masse volumique)

Est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. Elle est généralement notée par les lettres grecques  $\rho$  (*rhô*) ou  $\mu$  (*mu*).

Elle est déterminée par le rapport :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{I.2})$$

où :

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

$m$  : masse en (kg),

$V$  : volume en ( $\text{m}^3$ ).

Tab. I.1 : Masse volumiques de quelques fluides

Fluides	mercure	eau de mer	eau pure	huile	essence	butane	air
$\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	13 600	1030	1000	900	700	2	1.293

### I.3. Densité d'un corps (sans unité).

Est le rapport de la masse volumique du fluide à celle du fluide de référence

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \quad (\text{I.3})$$

Dans le cas des liquides et solides on prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

### I.4. Poids spécifique, (poids volumique)

Le poids spécifique ou poids volumique est le poids par unité de volume d'un matériau. Le symbole du poids spécifique est  $\omega$ .

$$\omega = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad (\text{I.4})$$

$\omega$  : Poids volumique en ( $\text{N}/\text{m}^3$ ).

$m$  : masse en (kg),

$g$  : accélération de la pesanteur en ( $\text{m}/\text{s}^2$ ),

$V$  : volume en ( $\text{m}^3$ ).

## I.5. Viscosité d'un fluide

Définition : Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

### I.5.1. Viscosité dynamique ( $\mu$ )

Considérons deux couches de fluide adjacentes **distantes** de  $\Delta z$  (fig. I.2). 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  $\Delta v$  des couches, à leur surface  $S$  et inversement proportionnelle à  $\Delta z$  :

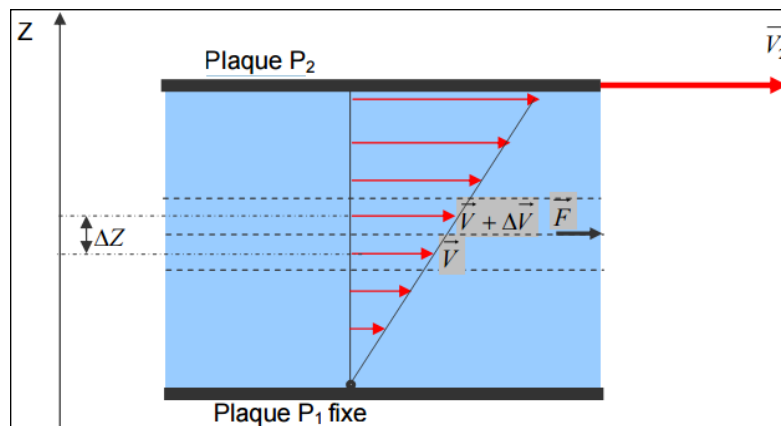


Figure I.2 : Viscosité dynamique d'un fluide

Le facteur de proportionnalité  $\mu$  est le coefficient de viscosité dynamique du fluide, appelé aussi coefficient de cisaillement. Il dépend de la nature du fluide, de sa température et éventuellement d'autres grandeurs thermodynamiques, mais il ne dépend pas de l'écoulement.

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

où :

$F$  : force qui s'oppose au glissement entre les couches en (N),

$\mu$  : Viscosité dynamique en (kg/m.s, Poiseuille, Pa.s),

$S$  : surface de contact entre deux couches en ( $m^2$ ),

$\Delta v$  : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),

$\Delta Z$  : Distance entre deux couches en (m).

**Remarque** : Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pa.s) ou Poiseuille (Pl) :  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

### I.5.2. Viscosité cinématique

Est le rapport de la viscosité dynamique ( $\mu$ ) du liquide à sa masse volumique ( $\rho$ )

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

$\nu$  : viscosité cinématique est le ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $\mu$  : viscosité dynamique en ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ,  $\text{PI}$ ,  $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )  
 $\rho$  : masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

- Remarque 1 (unité):

Dans le système SI, l'unité de la viscosité dynamique est le ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) ou ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ) ou  $\text{PI}$  (Poiseuille).  
 Avec  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ PI} = 1 \text{ kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ . Dans le système CGS l'unité est le Poise ( $\text{Po}$ ) avec  $1 \text{ Po} = 10^{-1} \text{ PI}$

Dans le système SI, l'unité de la viscosité cinématique  $\nu$ , est le ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ; dans le système CGS l'unité est le stokes où  $1 \text{ stokes} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

- Remarque 3 (différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique) : La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement.

## I.6. Pression d'un fluide.

Introduction : L'étude de la répartition de la pression dans un fluide au repos, ainsi que les forces pressantes qui en résultent, constitue la mécanique des fluides.

### I.6.1. Notion de pression en un point d'un fluide

La pression  $P$  exercée par une force  $F$  agissant perpendiculairement sur une surface  $S$  est :

$$P = \frac{F}{S}$$

$(\text{N}/\text{m}^2)$        $(\text{N})$   
 $(\text{m}^2)$

(I.6)

### I.6.2. Unités pratiques :

Dans le système international les pressions sont évaluées en  $\text{N}/\text{m}^2$  ou Pascal ( $\text{Pa}$ ). Il existe cependant de nombreuses autres unités de mesure de la pression :

- Le bar :  $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$  ;
- L'atmosphère normale ( $\text{atm}$ ) :  $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$  ;
- Le mètre de colonne d'eau ( $\text{mCE}$ ) :  $1 \text{ mCE} = 9810 \text{ Pa}$
- Le millimètre de mercure ( $\text{mmHg}$ ) :  $1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$

Tab.I.2 : Unités de pression

	Pascal (Pa)	Bar	Atmosphère
Pascal	1	$10^{-5}$	$9.869 \cdot 10^{-6}$
Bar	$10^5$	1	0.987167
Kgf/cm <sup>2</sup>	98039	0.9803	0.968
Atmosphère	101325	1.0133	1
cm d'eau	98.04	$980 \cdot 10^{-6}$	$968 \cdot 10^{-6}$
mm de Hg	133	$1.333 \cdot 10^{-3}$	$1.316 \cdot 10^{-3}$
mbar	$10^2$	$10^{-3}$	$987 \cdot 10^{-6}$

### I.6.3. Pression absolue et pression relative

- La pression absolue est mesurée par rapport à la pression au vide absolu (c'est-à-dire en l'absence totale de matière) qui correspond à la pression nulle. Elle est toujours positive.

- La pression relative se définit par rapport à la pression atmosphérique existant au moment de la mesure: cette pression peut donc prendre une valeur positive si la pression est supérieure à la pression atmosphérique ou une valeur négative si la pression est inférieure à la pression atmosphérique.

Les deux types de pressions correspondent physiquement à la même pression, elles sont simplement exprimées sur des échelles ayant des "zéros" différents. La relation suivante permet de passer de l'une à l'autre:

$$\text{pression absolue} = \text{pression relative} + \text{pression atmosphérique}$$

(I.7)

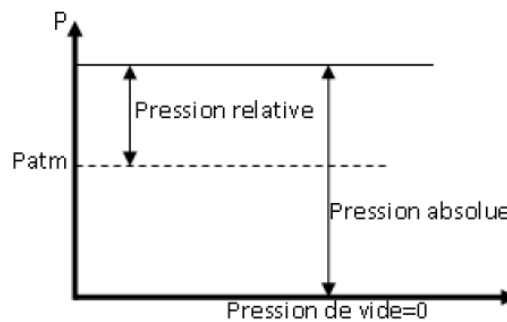


Schéma des différentes pressions

Exemple :

1- La pression dans une conduite est de 3 fois la pression atmosphérique (1 bar), sa pression totale sera de 4 fois la pression atmosphérique ( $3 + 1 = 4$  bars).

2- Pneu gonflé, dégonflé :

- Pneu gonflé à 2 bars :  $\Delta P = 2$  bars de plus que  $P_0$ , donc  $P_{abs.} = \Delta P + P_0 = 2 \text{ bars} + 1 \text{ bar} = 3 \text{ bars}$

- Pneu dégonflé ;  $\Delta P = 0$  bar, donc,  $P_{abs.} = \Delta P + P_0 = 0 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = 1 \text{ bar}$ .

## I.7. Différence de pression

### I.7.1. Principe fondamental de l'hydrostatique)

La différence de pression entre deux points quelconques d'un fluide en équilibre est égale au poids d'un cylindre du fluide, de section unité et ayant pour hauteur la dénivellation entre ces deux points. Elle est donnée par la relation suivante :

$$p_A - p_B = \rho g h$$

(I.8)

$\rho$  est la masse volumique du fluide en ( $\text{kg/m}^3$ )

$h$  est la dénivellation entre les deux points A et B en (m)

$g$  est l'accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ N/kg, m/s}^2$ )

$\Delta P = P_A - P_B$  est la différence de pression en (Pa).