Statique des fluides

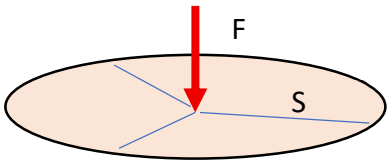
1. Définition

La statique des fluides étudie les fluides au repos, c'est-à-dire sans mouvement macroscopique.
Un fluide peut être :

- un liquide : eau, huile, mercure…
- un gaz : air, azote…

On s'intéresse principalement à la pression et aux forces exercées par le fluide.

2. La pression



La pression correspond à une force exercée perpendiculairement à une surface.

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

avec :

- p : pression en pascals (Pa)
- F : force normale en newtons (N)
- S : surface en m²

Unité

1 Pa=1 N/m2

Quelques unités courantes :

1 bar=10^5 Pa et 1 atm≈1,013×10^5 Pa

3 La masse volumique

La masse volumique d'un fluide est :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

avec :

- ρ : masse volumique en kg m^{-3}
- m : masse en kg
- V : volume en m^3

Quelques valeurs utiles :

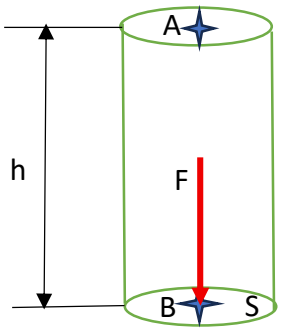
$\rho_{eau} \approx 1000\ kg\ m^{-3}$

$\rho_{huile} \approx 800–900\ kg\ m^{-3}$

$\rho_{air} \approx 1{,}2\ kg\ m^{-3}$

4 Loi fondamentale de l'hydrostatique.

Considérons une colonne de liquide de hauteur h et de volume V.



Au point B la force exercée sur la surface inférieure de la colonne d'eau est égale à :

$$\overrightarrow{F} = m \times g$$

Avec m = ρ x V nous pouvons écrire :

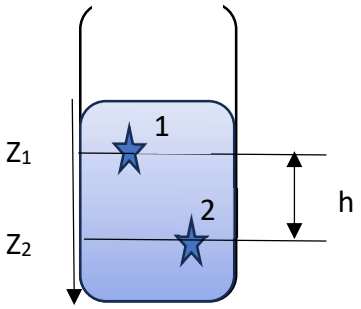
$$\overrightarrow{F} = \rho \text{ x } V \times g$$

Le volume de la colonne d'eau étant égale à : V= S x h nous avons :

$$\overrightarrow{F} = \rho \text{ x } S \text{ x } h \times g \quad \rightarrow \quad \frac{\overrightarrow{F}}{S} = \rho \times g \times h$$

Ce qui donne la loi fondamentale de l'hydrostatique

Dans un liquide la différence de pression entre deux points est proportionnel à la différence d'altitude entre les deux points.



Pour un fluide incompressible au repos :

$P_2 - P_1 = \rho \times g \times (Z_1 - Z_2)$

Avec

P en Pa, ρ en kg m^{-3}, g= 9,81 m s^{-2} et Z en m

Donc on peut écrire :

$\Delta P = \rho \times g \times h$

5. Pression absolue et pression relative

Il faut distinguer deux pressions.

Pression absolue

C'est la pression mesurée par rapport au vide :

$$p_{abs} = p_{atm} + \rho \text{ x } g \text{ x } h$$

Pression relative

C'est la différence par rapport à la pression atmosphérique :

$$p_{rel} = p_{abs} - p_{atm}$$

Donc, dans un liquide ouvert à l'atmosphère :

$$p_{rel} = \rho \times g \times h$$

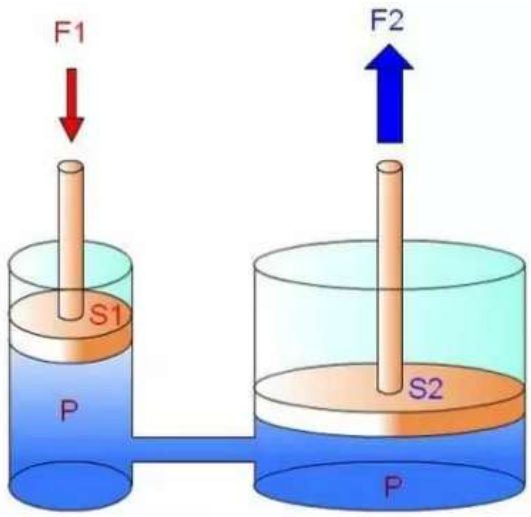
La pression en un point quelconque d'un liquide est donc :

$p = p_0 + \rho \times g \times h$ avec p_0 pression à la surface du liquide qui est le pression atmosphérique si le liquide est à l'air libre.

6. Principe de Pascal

Le principe de Pascal affirme qu'une variation de pression appliquée à un fluide incompressible enfermé se transmet intégralement à tout le fluide. Δp1=Δp2

C'est le principe utilisé dans les presses hydrauliques et les systèmes de freinage hydrauliques.



Pour les deux pistons :

F1 x S1 = F2 x S2

Donc : F2 = F1 x S2 x S1

Si S2 > S1 alors une petite force sur le petit piston permet d'obtenir une grande force sur le grand piston.

Si une force F_1 est appliquée sur une surface S_1 d'un liquide confiné, il en résulte une force F_2 s'appliquant sur une surface S_2 telles que :

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Pour une force F_1 de 1 N exercée sur 1 m^2 la force F_2 développée sur 2 m^2 sera de :

$$F_2 = \frac{F_1}{S_1} \times S_2 \rightarrow F_2 = \frac{1}{1} \times 2 = 2\,N$$

conservation du travail

Une presse hydraulique ne crée pas d'énergie.

Si le petit piston descend d'une distance d1, le grand piston monte d'une distance d2.

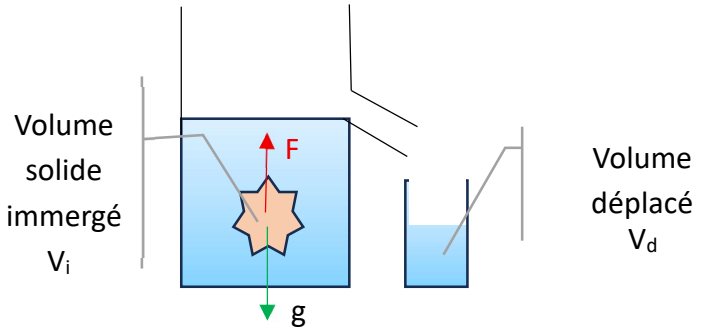
Le volume déplacé est conservé : S1 x d1 =S2 x d2

$$\text{Donc : } \frac{d_2}{d_1} = \frac{S_1}{S_2}$$

Le grand piston se déplace moins, mais avec une force plus importante.

7. Principe d'Archimède

Tout corps immergé dans un fluide subit une force verticale dirigée vers le haut, appelée poussée d'Archimède.



$F = \rho_f \times Vi \times g$

La poussée d'Archimède est égale au poids du fluide déplacé.

Avec :

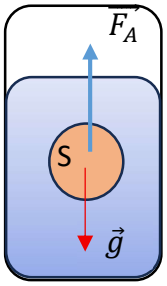
F Poussée d'Archimède en N.

ρ_f Masse volumique du liquide en kg m^{-3}.

Vi Volume de la partie immergée du solide en m^3.

g= 9,81 m s^{-2}

Le volume déplacé est égal au volume de la partie immergée du solide. $V_d = V_i$



Soit une sphère totalement immergée dans de l'eau.
Le volume Va de la sphère est de 2 10^{-3} m^3 et sa masse de 3 kg.
Son poids est de :

$$P = m \times g \rightarrow P = 3 \times 9{,}81 = 29{,}43 \text{ N}$$

Cette force est dirigée vers le bas.
La poussée d'Archimède est de :

$$FA = \rho \times g \times Va \rightarrow FA = 1000 \times 9{,}81 \times 2\ 10^{-3} = 19{,}62 \text{ N}$$

Cette force est dirigée vers le haut.

Force résultante :

$$FR = FA - P \quad \rightarrow \quad PR = 19{,}62 - 29{,}43 = -9{,}81 \text{ N}$$

La force résultante est dirigée vers le bas. La sphère descend.

7.1 Flottabilité

Considérons un objet de poids : $P = m \times g$ et de poussée : $FA = \rho_l \times Vi \times g$
Trois situations sont possibles.
Objet qui coule P> FA
Objet en équilibre dans le fluide P=FA
Objet qui remonte P < FA
Quand un objet flotte P= FA donc :

$$m_{objet} \times g = \rho_f \times Vi \times g \quad \rightarrow \quad m_{objet} = \rho_f \times Vi$$

Si l'objet est homogène : $m_{objet} = \rho_{objet} \times V_{objet}$ donc $\rho_{objet} \times V_{objet} = \rho_f \times Vi$

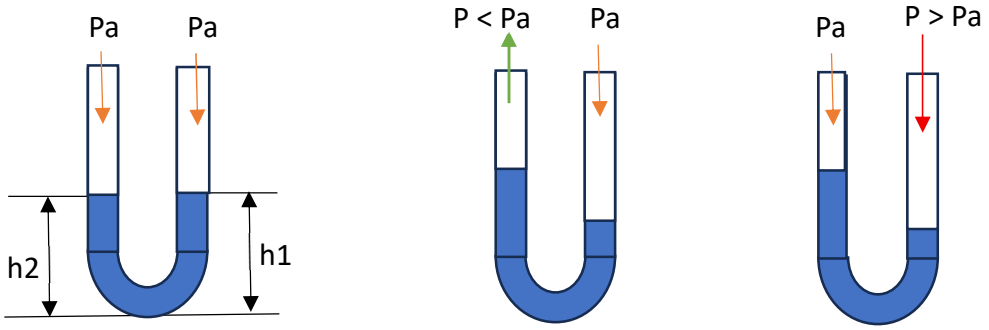
Soit un bloc de bois de masse volumique égale à 600 kg m^{-3} plongé dans l'eau d'une masse volumique égale à 1000 kg m^{-3}. Nous pouvons écrire :

$$\frac{\rho_{objet}}{\rho_f} = \frac{V_i}{V_{objet}} \quad \rightarrow \quad \frac{600}{1000} = \frac{V_i}{V_{objet}} = 0{,}6$$

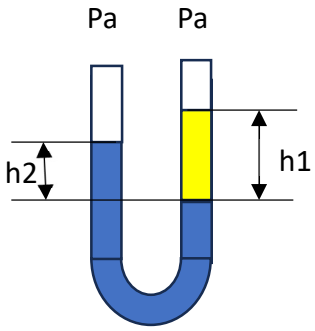
Et conclure que 60% de l'objet est immergé.

8 Vases communicants

Dans un même liquide au repos, deux points situés à la même altitude ont la même pression. Ainsi, dans des vases communicants contenant le même liquide et soumis à la même pression atmosphérique : h1=h2
Les surfaces libres se placent donc à la même hauteur.



Cas de deux liquides différents



Lorsque deux liquides de masse volumique différentes immiscibles se superposent nous pouvons écrire :

$$\rho_{1} \times g \times h_{1} = \rho_{2} \times g \times h_{2}$$

9 Loi des gaz parfaits

A l'échelle macroscopique on peut décrire l'état d'un gaz au repos à l'aide de trois grandeurs physiques suivant la loi des gaz parfaits.

$$p \times V = n \times R \times T$$

Avec :

p La pression de gaz en Pa,

V Le volume du gaz en m^3,

n Le nombre de mole(s) de gaz,

R La constante des gaz parfait égale à 8,314 J mol^{-1} K^{-1},

T La température absolue en K.

La loi des gaz parfait permet de relier ces grandeurs macroscopiques pour un gaz idéal, c'est-à-dire un gaz dont les molécules n'interagissent pas entre elles et dont le volume propre est négligeable .

9.1 Loi de Mariotte

La transformation isotherme d'une même quantité d'un gaz parfait donne la loi de Mariotte.

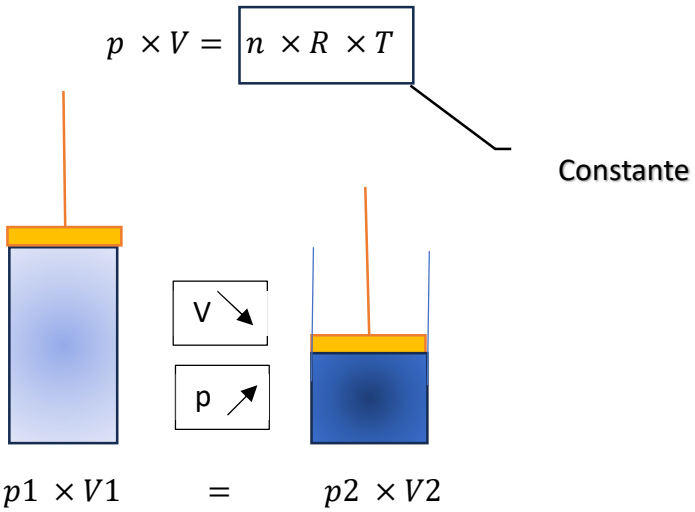


Figure 15.4 La loi de Mariotte

1. S. Amiroudine & J.-L. Battaglia — *Mécanique des fluides : Cours, 70 exercices corrigés*, Dunod, 2022.
   Très bonne référence universitaire : le chapitre 2 est entièrement consacré à la statique des fluides (pression, équation hydrostatique, forces de pression, etc.).
2. R. Comolet — *Mécanique expérimentale des fluides*, vol. 1, Masson.
   Une référence classique francophone, particulièrement intéressante pour la statique et la dynamique des fluides non visqueux.
3. É. Guyon, J.-P. Hulin & L. Petit — *Hydrodynamique physique*, EDP Sciences/CNRS.
   Ouvrage approfondi, privilégiant la compréhension physique des phénomènes.
4. R. Ouziaux & J.-P. Perrier — *Mécanique des fluides appliquée*, Dunod.
   Bonne référence pour passer des principes fondamentaux aux applications techniques.
5. O. Granier — *Éléments de statique des fluides*.
   Directement centrée sur: pression, loi fondamentale de l'hydrostatique, conséquences et atmosphère terrestre. Eenseignementsup-recherche.gouv.fr.
6. C. Ancey — *Mécanique des fluides : une introduction pour les étudiants de génie civil*.
   Un chapitre spécifiquement consacré à la statique des fluides, accompagné de notes de cours et de supports pédagogiques.