

Chap. IV : Mécanique des fluides

A. Généralités – Statique des fluides

1. Définition de l'état fluide

1.1. Explication macroscopique

Fluide = corps sans forme propre et susceptible de s'écouler (\neq solide)

2 types de fluide :

<u>Liquides</u>	<u>Gaz</u>
- incompressibles ($P < 10^8$ Pa)	- compressibles
- inexpansebles	- expansibles
- V constant à T constante	- pas de V propre
- surface libre plane et horiz. (dans ch. de pesanteur)	- pas de surface libre

1.2. Explication microscopique

a. Gaz

- molécules très éloignées \rightarrow compressibilité et absence de volume propre
- molécules animées d'1 mouvement permanent désordonné : mouvement brownien
- forces d'interaction entre molécules très faibles
modèle GP \rightarrow forces d'interaction nulles

b. Liquides

- molécules très proches → incompressibilité et volume propre
- forces d'attraction entre molécules mais insuffisantes pour les maintenir en position fixe → moléc. animées de mouvements désordonnés de translation et de rotation ↔ propriété d'écoulement.

c. Solides

- molécules (ou atomes) très proches
- forces d'interaction importantes → maintien en position fixe
- mouvements de vibration uniquement.

2. Fluides parfaits et fluides réels

phénomène d'écoulement → distinction

2.1. Fluide parfait

Fluide qui s'écoule sans force de frottement interne donc sans perte d'E mécanique.

Modèle théorique → étude simplifiée du phénomène d'écoulement.

2.2. Fluide réel

Dans 1 fluide réel en écoulement, \exists des forces de frottement interne, opposées au sens de l'écoulement

→ phénomène de viscosité qui provoque 1 perte d'E mécanique

Remarque :

Fluides au repos → pas de forces de frottement
 ⇒ statique des fluides réels identique à celle des fluides parfaits.

3. Relation fondamentale de la statique des fluides

3.1. Définitions

a. **Statique des fluides**

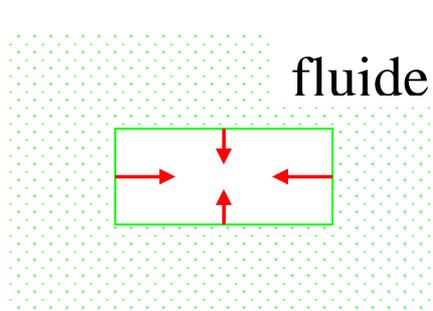
Etude des fluides au repos dans le champ de pesanteur (= fluides en équilibre)

Hydrostatique : cas particulier de la statique des liquides

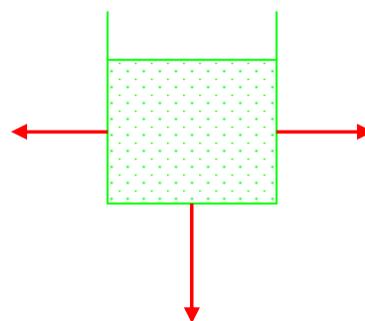
b. **Forces de pression**

Forces exercées par 1 fluide sur la surface d'1 objet en contact avec lui.

⊥ en chaque point à la surface



objet immergé

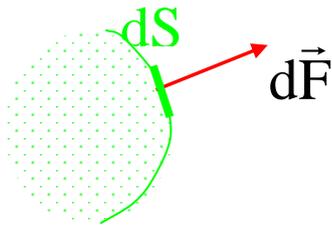


paroi d'1 récipient

c. Pression d'1 fluide

Propriété d'1 fluide exprimée par la norme de la force de pression par unité d'aire de la surface sur laquelle elle s'exerce.

Niveau microscopique : chocs sur parois



$$P = \frac{\|\vec{dF}\|}{dS}$$

Pression : grandeur scalaire toujours positive

$$[P] = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$$

SI → le pascal (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$$

uua : le bar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} (\sim P \text{ atm})$$

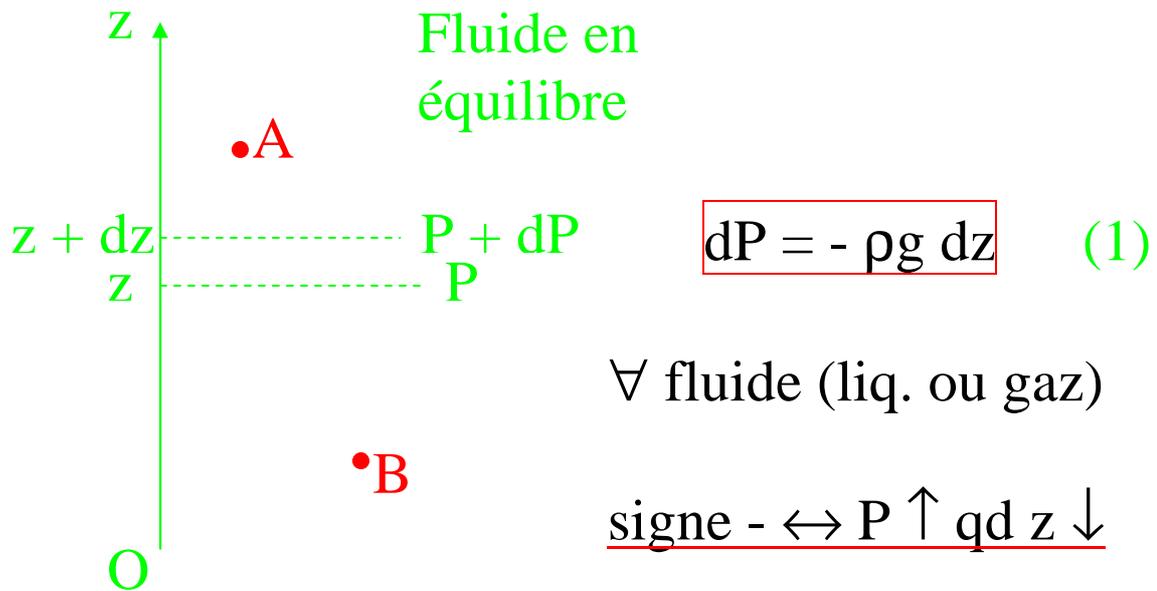
3.2. Expression de la rel. fond. statique des fluides

→ variation de pression au sein d'1 fluide en équilibre en fonction de l'altitude z .

Surfaces équipotentiellles dans champ de pesanteur = plans horizontaux (à notre échelle)

⇒ dans 1 fluide en équilibre, P est la même en tout point d'1 plan horizontal.

Ex : surface libre d'1 liq. plane et horizontale car tous ses points sont à P_0 .



ΔP entre A et B ?

$$\Delta P = P_B - P_A = - \int_{z_A}^{z_B} \rho g dz \quad \forall \text{ fluide} \quad (2)$$

Si $\Delta z = z_B - z_A$ est faible \Rightarrow $g \sim \text{cte}$

- fluide incompressible (liquide)
masse volumique $\rho = \text{cte}$

(2) \Rightarrow $\Delta P = -\rho g \Delta z$ (3)

- fluide compressible (gaz)

ρ dépend de P donc de z : $\rho = f(P)$

cas d'1 gaz à température uniforme :

ρ proportionnelle à P en chaque point

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{P}{P_0} \quad P_0 \text{ et } \rho_0 \text{ valeurs à } z = 0$$

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P_0}$$

$$(1) \Rightarrow dP = -\rho_0 \frac{P}{P_0} g dz$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{\rho_0}{P_0} g dz$$

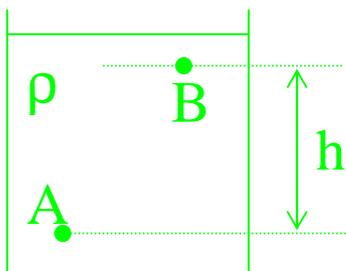
$$\ln P = -\frac{\rho_0 g}{P_0} z + \text{cte}$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \\ P = P_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{cte} = \ln P_0$$

$$\ln \frac{P}{P_0} = -\frac{\rho_0 g}{P_0} z$$

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho_0 g}{P_0} z} \quad (4)$$

3.3. Application : transmission des pressions par les liquides (théorème de Pascal)



$$P_A > P_B \quad P_A - P_B = \rho g h$$

on modifie la pression en A :

$$P_A \rightarrow P'_A = P_A + \Delta P_A$$

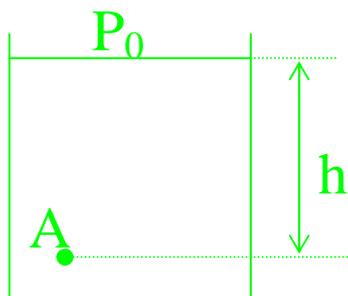
$$P'_B ?$$

$$P'_A - P'_B = \rho g h \quad \left\{ \begin{array}{l} g \text{ et } h \text{ inchangés} \\ \text{liq. incompressible} \Rightarrow \rho = \text{cte} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow P'_B = P_B + \Delta P_A$$

« Toute variation de pression en 1 point d'un liquide en équilibre entraîne la même variation en tous ses points »

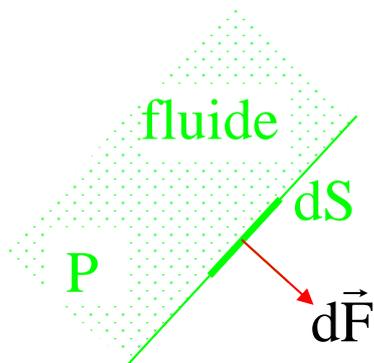
→ Les liquides transmettent intégralement les P.
Conséquence :



$$P_A = P_0 + \rho gh$$

4. Forces de pression exercées sur les parois d'un récipient

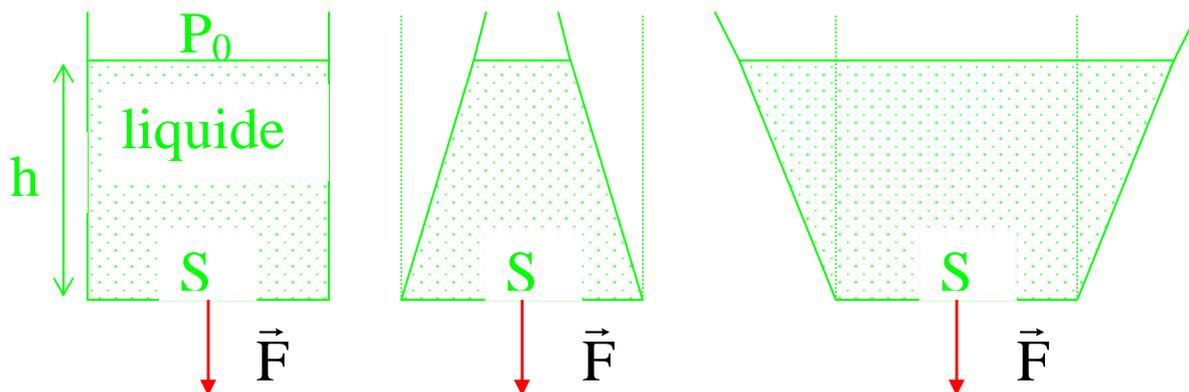
4.1. Cas général



$$\|d\vec{F}\| = P dS$$

$$\|\vec{F}\| = \iint_S P dS$$

4.2. Cas d'un fond plat et horizontal



\vec{F} résultante des forces de pression sur le fond

$$\|\vec{F}\| = (P_0 + \rho gh)S - P_0S$$

$$\|\vec{F}\| = \rho ghS$$

Pour 1 liquide donné, $\|\vec{F}\|$ ne dépend que de h et S.

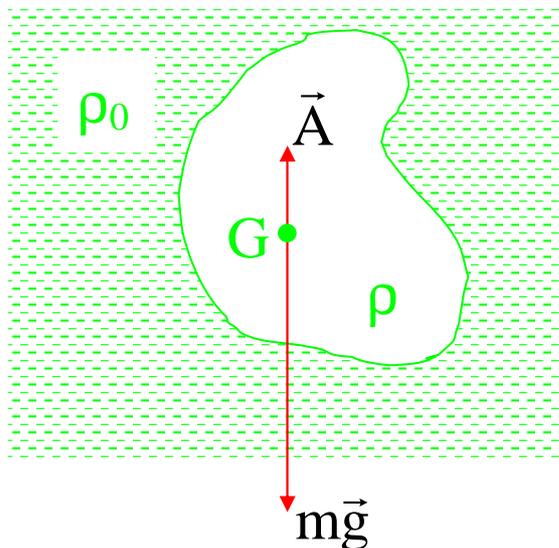
$\|\vec{F}\|$ est égale au poids de la colonne de liquide.

réelle ou virtuelle située à la verticale du fond

5. Forces exercées par 1 fluide sur un objet immergé

Un objet immergé dans 1 fluide est soumis à des forces de pression \perp et dirigées vers l'intérieur.

Leur résultante = Force ou poussée d'Archimède



ρ_0 masse volumique du fluide

ρ masse volumique du corps immergé de volume V

$$m\vec{g} = \rho V\vec{g}$$

$$\vec{A} = -\rho_0 V\vec{g}$$

poids de fluide déplacé

Force verticale ascendante

Résultante de ces deux forces :

$$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{A} = (\rho - \rho_0)V\vec{g}$$