

(27/11/2023)

## VI. Mécanique des Fluides

### 1. Hydrostatique

Corps ponctuels, corps solides

ensemble de corps ponctuels  
avec forces internes qui  
gardent les distances fixes.

Fluide : système de corps ponctuels dont  
les distances mutuelles ne sont  
plus constantes.

Sembler extrêmement compliqué ...

Le problème général de la dynamique  
des fluides est un problème ouvert.

→ un des problèmes les plus complexes  
de la physique !

Prix de  $10^6$  \$ pour la résolution ...

(Fondation Clay - Problèmes du Millénaire).

Exemples de fluides :

- air, eau
- LCR, sang
- plasma

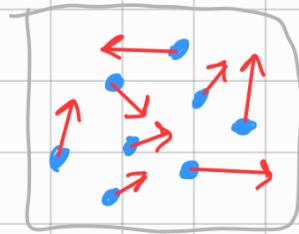
Applications :

- respiration
- hémodynamique
- climat, fission nucléaire
- aérodynamique.

Première partie de ce chapitre :

"Fluides au repos"

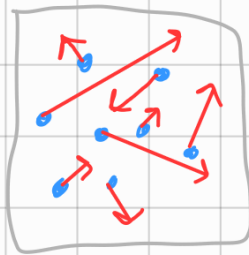
D'un point de vue microscopique,  
un fluide n'est jamais au repos.



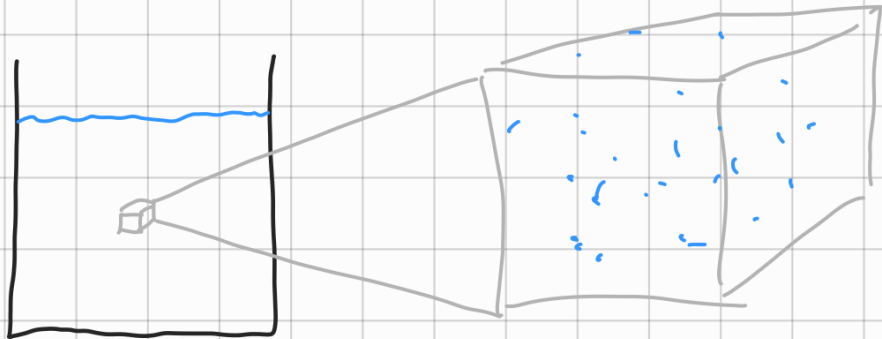
"Agitation thermique".

•  $\vec{v} = \vec{0}$  : pas de vitesse moyenne

Fluide au repos = absence de mouvement collectif.



→ vitesse moyenne non-nulle.



Cellule à l'échelle mésoscopique  $l$

Echelle microscopique  $\ll l \ll$  Echelle macroscopique  
 $10^{-8}m$   $1m$

⇒ on néglige tous les effets collectifs dû à l'agitation thermique.

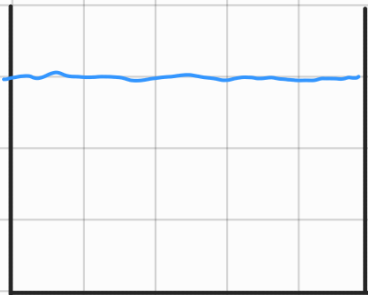
on ne peut pas parler des propriétés du fluide en chaque point de celui-ci.

Les cellules de fluides sont donc, en bonne approximation, localisées en un point du fluide.

Les cellules de fluide sont appelées des "particules de fluides".

"Modèle du continu" des fluides.

## A. Masse Volumique et Pression



Contenant avec de l'eau au repos.

Masse de l'eau :  $M$ .

Volume occupé :  $V$ .

Définition : la masse volumique  $\rho$  est

donnée par : 
$$\rho = \frac{M}{V}$$

Dimensions :  $[\rho] = \text{ML}^{-3}$       SI :  $\text{kg m}^{-3}$ .

Values typiques :

1. Eau liquide :  $\rho_0 = 997 \text{ kg m}^{-3}$ .

Dans le cours on se prendra

$$\rho_0 = 1000 \text{ kg m}^{-3}.$$

2. Sang :  $\rho_{\text{sang}} = 1.06 \text{ g/mL} = 1060 \text{ kg m}^{-3}$

En bonne approximation :  $\rho_{\text{sang}} \approx \rho_0$ .

3. LCR :  $\rho_{\text{LCR}} \approx \rho_0$  (99% d'eau).

4. Air ( $T = 0^\circ\text{C}$ ;  $n_c$ , 1 atm)

$$\rho_{\text{air}} = 1.292 \text{ kg m}^{-3}$$

Observation expérimentale : un fluide exerce une force sur les parois de son contenant.

Définition : on note  $A$  l'aire de la surface sur laquelle la force de pression  $\vec{f}_p$  s'exerce. On déf. la pression  $p$  :

$$p = \frac{f_p}{A}$$

Dimensions :  $[p] = \frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$

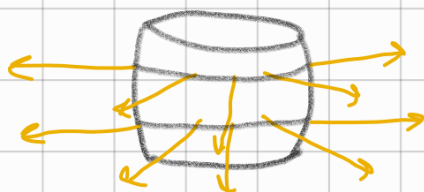
SI :  $1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} = 1 \text{ Pa}$  (Pascal).

Pression de l'air dans cette pièce :  $101325 \text{ Pa}$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \quad (\text{unité alternative}).$$

Remarques : 1. direction de  $\vec{f}_p$  ?

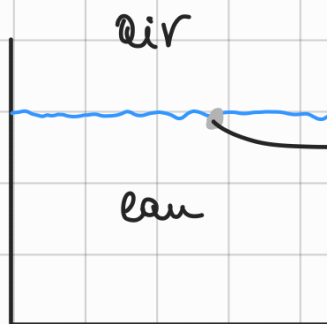
$\Rightarrow$  toujours vers l'extérieur du fluide, normale (perpendiculaire) à la surface sur laquelle elle s'exerce.



2. Origine microscopique de la pression : collision des constituants du fluide avec la parois.



## B. La loi de Pascal



particule de fluide à la surface.

Equilibre de la particule de fluide :

nécessite l'équilibre des forces exercées sur

la surface de l'eau :

$$\text{Force exercée par l'eau sur l'air} = \text{Force exercée par l'air sur l'eau}$$

$$p_{\text{eau}} A = p_{\text{air}} A$$

$A$  = aire de la surface de l'eau.

$\Rightarrow$  L'équilibre des forces à la surface du fluide se traduit par l'équilibre des pressions :

$$p_{\text{eau, à la surface}} = p_{\text{air}}$$

$$= p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

Question : comment la pression change-t-elle si on descend dans le fluide ?

Question intermédiaire :

$$p_{\text{fond}} = ?$$



$\vec{P}$  = poids de l'eau

$$\vec{F}_{\text{air}} = p_{\text{atm}} A$$

$\rightarrow$  norme de  $\vec{P}$ .

$$P = Mg$$

$$V = Ah$$

$$M = \rho_0 V$$

$$p_{\text{fond}} = \frac{P + F_{\text{air}}}{A} = \frac{Mg}{A} + p_{\text{air}} = \rho_0 \frac{V}{A} g + p_{\text{air}}$$



$$= \rho_0 g h + p_{atm}$$

$$\Rightarrow P_{fond} = \rho_0 g h + p_{atm}$$

Exemple:  $h = 15 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \rho_0 g h &= (15 \text{ m}) (10^3 \text{ kg m}^{-3}) (10 \text{ m s}^{-2}) \\ &= 1.5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

But: généraliser cette formule pour des formes quelconques du contenant.



$$P_A = p_{air}$$

$$P_C = p_{air}$$

$$P_B = p_{air} + \rho_0 g h_A$$

$$P_D = p_{air} + \rho_0 g h_C$$

$$P_B = P_D \Rightarrow h_A = h_C$$

## Application :



$$P_{ic} = P_{air} + \rho g h$$

$\Rightarrow$  même de  $P_{ic}$  par "colonne de pression".

Unité alternative pour la pression :

$$1 \text{ mm Hg} = 133,322 \text{ Pa}$$