PRESSION

1. GENERALITES

1.1. Définition : pression exercée par une force $\vec{F}$ agissant uniformément et perpendiculairement à une surface de grandeur S

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

UNITE SI : le Pascal [Pa] ou [$N.m^{-2}$]

Autres unités usuelles : - le millimètre de mercure ; 1 mm de Hg = 1 33,4 Pa
- l'atmosphère ; 1 atm = 760 mm de Hg = $1{,}014.10^5$ Pa.
- le bar et le millibar ; 1 bar $\approx 10^5$ Pa

1.2. Remarque :

Rq1 : La pression n'est pas une grandeur vectorielle, mais une grandeur scalaire. Une pression n'est pas une force : ce sont des grandeurs de nature différente :

- les solides ont une forme propre et ils transmettent les forces.
- les liquides n'ont pas de forme propre, mais ils transmettent intégralement les pressions (liquide = fluide incompressible)
- les gaz n'ont pas de forme propre et sont expansifs (ils occupent tout le volume qu'on leur offre. (gaz = fluide compressible)

Rq2 : L'HYDROSTATIQUE étudie les propriétés des fluides en équilibres, toutes les parties étant parfaitement immobiles (Archimède, Pascal)

2. PRESSION EXERCEE PAR UN SOLIDE :

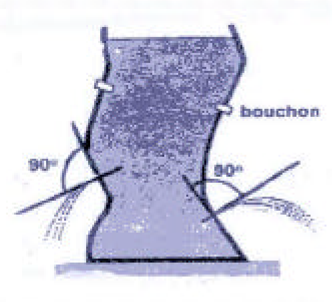
La ***déformation*** de la surface d'un solide ***dépend de la pression*** exercée sur ce solide. Selon l'effet qu'on désire obtenir, on cherchera :

- soit à ***réduire la pression*** : en augmentant la surface de contact (skis, raquettes de neige, véhicules à chenilles, socle, semelles pour fondation, ...)
- soit à ***augmenter la pression*** : en réduisant la surface de contact (punaise, clou, couteau, cisailles, ...)

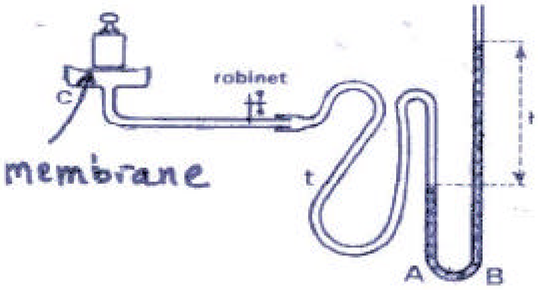
3. PRESSION EXERCEE PAR UN LIQUIDE EN EQUILIBRE :

3.1. Forces pressantes :

Expérience : récipient percés de trous :
on constate que le jet est perpendiculaire à la paroi. Donc le liquide exerce sur les parois du récipient qui le contient des forces pressantes perpendiculaires à la paroi en chaque point.

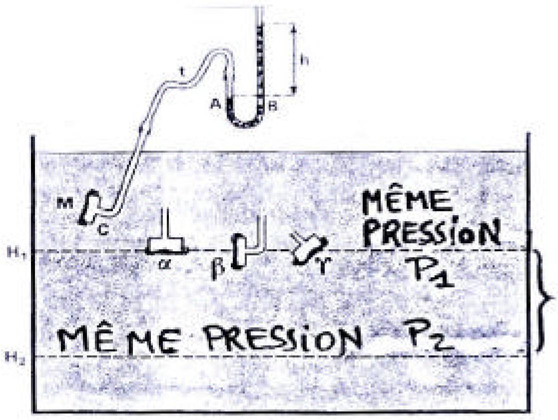


3.2. <u>Pression à l'intérieur d'un liquide</u> :



CAPSULE MANOMETRIQUE :
Lorsque la membrane subit une déformation due à une pression, la dénivellation h du liquide dans le tube change :
Ainsi à tout point d'un liquide en équilibre correspond une pression p bien déterminée.

3.3. <u>PRINCIPE FONDAMENTAL DE L'HYDROSTATIQUE</u> :



<u>*Expérience 1*</u> :

* Au sein d'un liquide au repos, la pression en un point s'exerce avec la même valeur en tous sens

* dans un liquide au repos, la pression est la même partout dans un plan horizontal

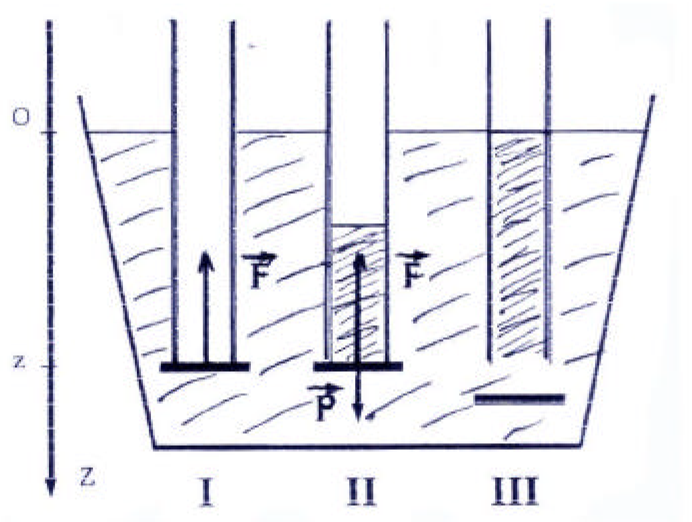
* ***la pression dépend de la profondeur*** :

si $z = h_1$ alors $p = p_1$
et si $z = h_2$ alors $p = p_2$
$h_1 < h_2 \Rightarrow p_1 < p_2$

<u>*Expérience 2*</u> : si on prend deux liquides différents (eau, alcool) , à profondeur égale, la pression p dépend de la nature du liquide.

La pression dépend de la masse volumique r du liquide

<u>*Expérience 3*</u> *:*



Etape I : l'obturateur reste en place à cause de la force pressante

Etape II : l'obturateur reste en place parce que le poids de la colonne d'eau est plus petit que la force pressante

Etape III : l'obturateur se détache dès que l'eau atteint le même niveau : à ce moment-là, le poids de la colonne d'eau est égal, en intensité, à la force pressante

On peut donc écrire : $P = m\,g = \rho\,V\,g = \rho\,g\,S\,z$
$F = p\,S$

Donc on peut dire que : $P = F \Rightarrow \rho\,g\,S\,z = p\,S \Rightarrow$ $\mathbf{p = \rho\,g\,z}$

Pour une autre profondeur z' , on pourra écrire : **$p' = \rho\ g\ z'$**

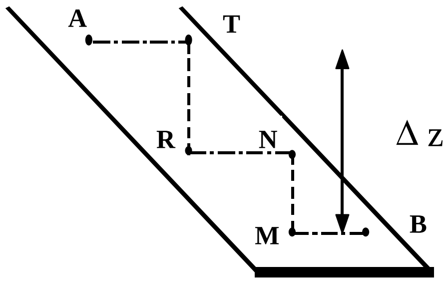
Le principe fondamental de l'hydrostatique pourra s'écrire : **$p' - p = \rho\ g\ (z' - z)$**

$$\boxed{\Delta p = \rho\ g\ \Delta z}$$

Remarques **:**

Rq 1 : la pression p est bien la même dans un plan horizontal donné.

Rq 2 : si la verticale de B n'est plus dans le liquide, le résultat reste valable :



$p_B - p_M = 0$

$p_M - p_N = \rho\ g\ MN$

$p_N - p_R = 0$

$p_R - p_T = \rho\ g\ RT$

$p_T - p_A = 0$

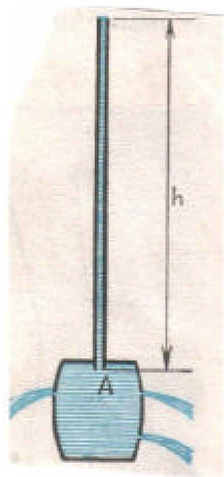
En faisant la somme : $p_B - p_A = \rho\ g\ (MN + RT) = \rho\ g\ \Delta z$

Rq 3 : importance du choix de l'axe vertical :

* **si OZ est orienté vers le bas** : en descendant dans un liquide, $\Delta z > 0$ puisque z augmente , **alors : $\Delta p = \rho\ g\ \Delta z$**
donc $\Delta p > 0$ ce qui veut dire que la pression augmente.

* **si OZ est orienté vers le haut** : en descendant dans un liquide, $\Delta z < 0$ puisque z diminue , **alors : $\Delta p = -\rho\ g\ \Delta z$**
donc $\Delta p > 0$ ce qui veut dire que la pression augmente.

Rq 4 : Expérience du crève-tonneau de Pascal (Rouen : 1647)



Un tube de fer, de section faible et de grande longueur, est fixé sur un tonneau plein d'eau : en remplissant le tube, la pression p dans le tonneau augmente et il commence à fuir.

Donc la différence de pression Δp entre 2 points d'un liquide ne dépend pas du volume du liquide, mais uniquement de la dénivellation entre ces 2 points.

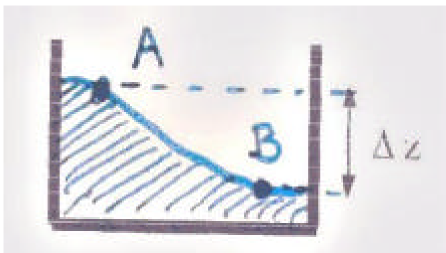
4. APPLICATIONS DU PRINCIPE DE L'HYDROSTATIQUE

4.1 Applications directes :

* SURFACE LIBRE d'un liquide : A et B appartiennent à la surface :

donc : - à l'air : $p_A = p_B =$ pression atmosphérique

- au liquide : $p_B - p_A = \rho\ g\ \Delta z$



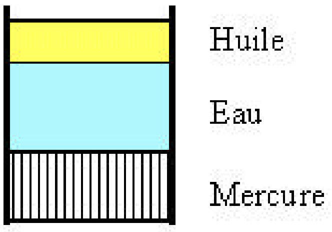
Comme $p_B - p_A = 0 \Rightarrow \Delta z = 0$: A et B sont dans le même plan horizontal.

Conclusion : la **surface libre** d'un liquide en équilibre est **plane et horizontale**.

* VASES COMMUNIQUANTS : niveau d'eau, indicateur de niveau, fonctionnement d'une écluse, principe du siphon, distribution d'eau dans les agglomérations, …

4.2. Equilibre des liquides non miscibles

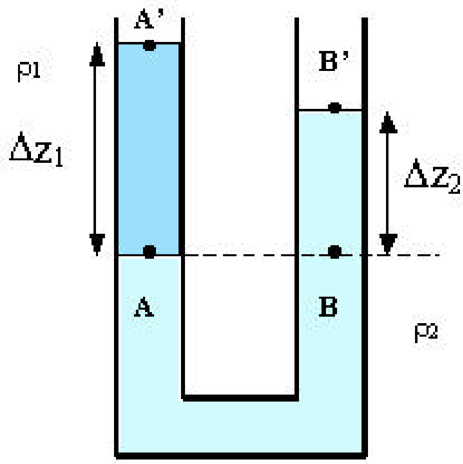
⇒ dans le même récipient :



* Le liquide le plus dense se met au fond, le moins dense au-dessus .
(le centre de gravité de l'ensemble sera le plus bas possible)

* Les surfaces de séparation sont planes et horizontales .

⇒ dans les vases communiquants :



* dans le liquide 2 : $p_A = p_B$
(les points A et B sont à la même profondeur)

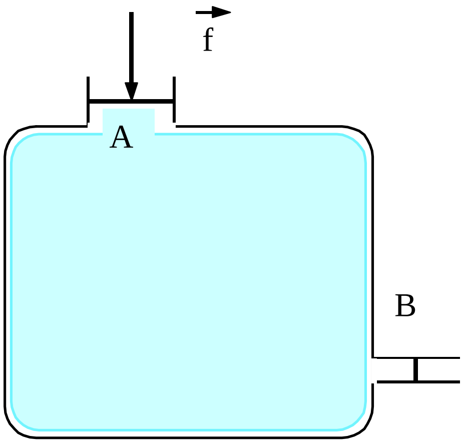
* $p_{A'} = p_{B'}$: c'est la pression atmosphérique
(les points A' et B' sont tous les deux à l'air libre)

Donc $p_A - p_{A'} = p_B - p_{B'}$

$\rho_1 \; g \; \Delta z_1 = \rho_2 \; g \; \Delta z_2 \Rightarrow \boldsymbol{\rho_1 \, \Delta z_1 = \rho_2 \, \Delta z_2}$

4.3. Conséquences du principe de l'Hydrostatique :

4.3.1. Théorème de PASCAL :



* récipient rempli de liquide
* $p_B - p_A = \rho \; g \; \Delta z$
* On augmente la pression en A en exerçant une force d'intensité f :

l'augmentation de pression vaut : $p = \dfrac{f}{S}$

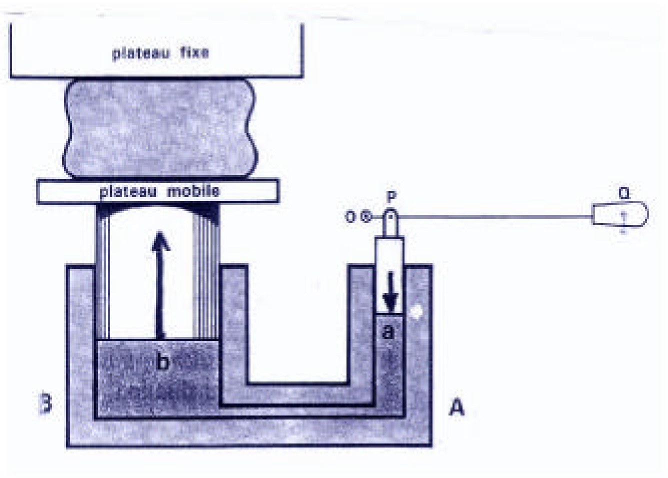
* le liquide est incompressible , c'est-à-dire :
  - pas de modification de volume donc ρ est constant
  - pas de changement de dénivellation : Δz fixe

Conclusion : $\rho \; g \; \Delta z = Cte$ donc $p_B - p_A = Cte$
Comme en A la pression a augmenté de p , la pression en B a aussi augmenté de p .

THEOREME : LES LIQUIDES (FLUIDES INCOMPRESSIBLES) TRANSMETTENT INTEGRALEMENT ET EN TOUS LEURS POINTS TOUTES LES VARIATIONS DE PRESSION

4.3.2 Application : TRANSMISSION HYDRAULIQUE

Exemple : presse hydraulique Augmentation de pression : p



* au niveau du grand piston, la surface de la section vaut S et la force appliquée $\overrightarrow{F}$

* au niveau du petit piston, la surface de la section vaut s et la force appliquée $\overrightarrow{f}$

$p = \frac{F}{S} = \frac{f}{s} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{F = f \cdot \frac{S}{s}}$

Remarque : la force sur le petit piston peur être exercée par un levier

4.3.3 Forces pressantes sur le fond d'un récipient :

$\Delta p = \rho \ g \ \Delta z$

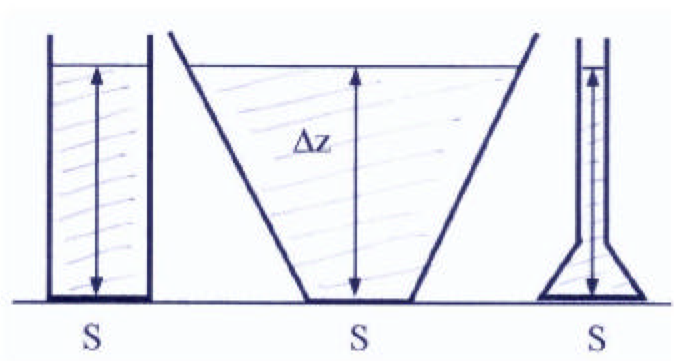
Force pressante sur le fond :

$F = \Delta p \cdot S = \rho \cdot g \cdot \Delta z \cdot S$

$F = \frac{M}{V} \cdot g \cdot \Delta z \cdot S$

V : volume de la colonne de liquide de base S .

Donc : $\mathbf{F = m \cdot g}$ = poids de la colonne de liquide de section S .



Donc : $F = m \cdot g$ = poids de la colonne de liquide de section S

PRESSION EFFECTIVE :

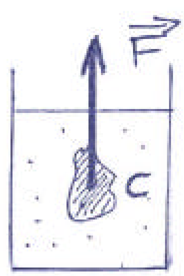
Pour tout point au niveau de la surface d'un liquide à l'air libre , la pression est égale à la pression atmosphérique $P_{atm} = P_o$.

En un point quelconque M d'un liquide, la pression totale vaut : $P_M = h.\rho .g + P_o$

La ***pression effective*** en ce point M du liquide est ***la pression due au liquide seulement***, en ne tenant pas compte de la pression atmosphérique : $p_{eff} = \Delta p = h.\rho .g$

5. *POUSSEE D'ARCHIMEDE*

5.1. Définition : tout corps plongé dans un fluide (liquide ou gaz) subit de la part de ce fluide une **poussée verticale**, de **bas en haut** : cette force $\overrightarrow{F}$ est appliqué au **centre de poussée C** (centre de gravité du fluide déplacé) et son intensité est égale au poids du volume de fluide déplacé :



$$\boxed{\mathbf{F = P = m\,g = \rho\, V\, g}}$$

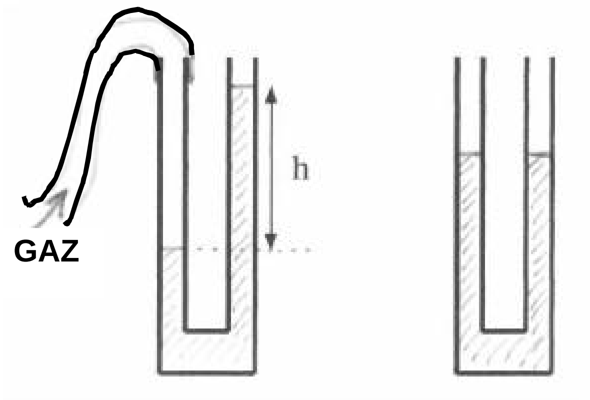
5.2. Applications : mesure de masse volumique, densimètres de toutes sortes

6. PRESSION DANS LES GAZ :

6.1 Mise en évidence :

- les gaz sont EXPANSIBLES : ils occupent tout le volume mis à leur disposition et ils exercent une ***pression*** sur les parois du récipient qui les contient .
- les gaz sont COMPRESSIBLES : à masse et à température constantes, tout changement de pression entraîne un changement de volume .

6.2. Mesure de pression : Manomètre à liquide



* pression faible ⇒ eau

pression forte ⇒ mercure

* la section du tube n'intervient pas :

le manomètre mesure $p_B - p_A = \rho \ g \ h$

Il mesure, en réalité, la différence de pression a
pression absolue.

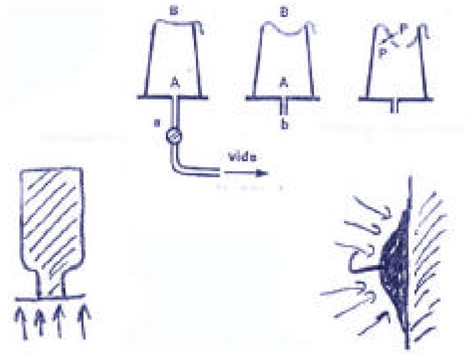
6.3. Pression atmosphérique :

⇒ Mise en évidence :

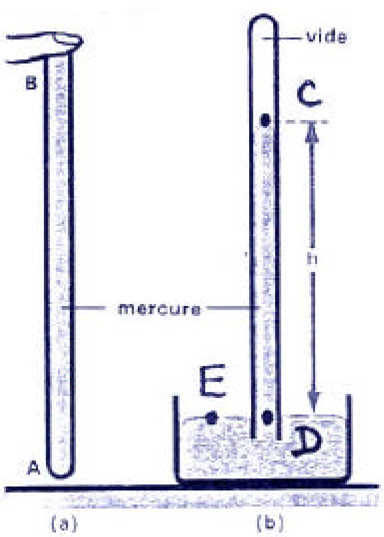
* expérience du crève-vessie :

* récipient rempli d'eau : la feuille reste «collée» à cause des forces pressantes dues à l'air

* principe des ventouses :



⇒ Mesure de la pression atmosphérique : principe du baromètre



Expérience de Torricelli : un tube rempli de mercure est retourné sur une cuve à mercure : le niveau de mercure se stabilise à la hauteur DC : cette hauteur correspond à la pression de l'air exercée sur la surface du mercure.

* $p_E = p_D$: même niveau dans le mercure
* $p_E =$ pression atmosphérique
* $p_C = 0$: c'est le vide
* $p_D - p_C = \rho \ g \ h$

donc $p_D = \rho \ g \ h$: la hauteur h mesure la pression p_D c'est-à-dire la pression atmosphérique

* Pression atmosphérique normale : p_{atm} = 760 mm de mercure à 0°C

6.4. <u>Unités de pression</u> :

* le PASCAL Pa ou N/m² c'est l'unité S I
* le mm de mercure
* le bar : $p = \rho\ g\ h = 13\,600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}760 = 101\,400$ Pa

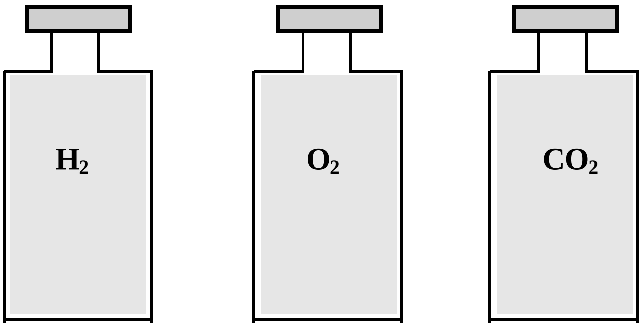
$$\mathbf{1\ bar \approx 10^5\ Pa = 0{,}1\ MPa}$$

6.5. <u>Modèle du GAZ PARFAIT</u> :

⇒ paramètres caractérisant un gaz :

- la quantité de matière : c'est-à-dire le nombre de moles n
- la pression du gaz : P
- le volume occupé par le gaz : V
- la température du gaz : T (température absolue exprimée en Kelvin : K)
  T = 0 : zéro absolu impossible à atteindre

⇒ Loi d'Avogadro-Ampère :



des volumes égaux de gaz différents, pris dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent le même nombre de molécules.
Pour $\theta = 0$°C et P = 760 mm Hg
le volume molaire est le même pour tous les gaz : $\mathbf{V_m = 22{,}4\ L.mol^{-1}}$

⇒ Equation d'état du GAZ PARFAIT :

$$\boxed{P\ V = n\ R\ T}$$

* P en Pa
* V en m^3
* n en mol
* T en K

R = constante des gaz parfaits
$R = 8{,}32\ J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

⇒ RESOLUTION des problèmes :

* soit par calcul direct avec la formule P V = n R T (trois paramètres connus et une grandeur inconnue)
* soit par comparaison entre deux situations différentes du gaz :
  situation 1 : P_1, V_1, n_1, T_1
  situation 2 : P_2, V_2, n_2, T_2
  en isolant les grandeurs variables.