

HYDRAULIQUE GENERALE

L'hydraulique est l'étude des fluides incompressibles (les liquides)

Par opposition,
À l'aérodynamique qui est l'études des fluides compressibles (les gaz)

L'orthographe surprenante du mot hydraulique
vient de son origine grecque.

• Il est composée de :
la racine **Hydro** qui veut dire **eau**

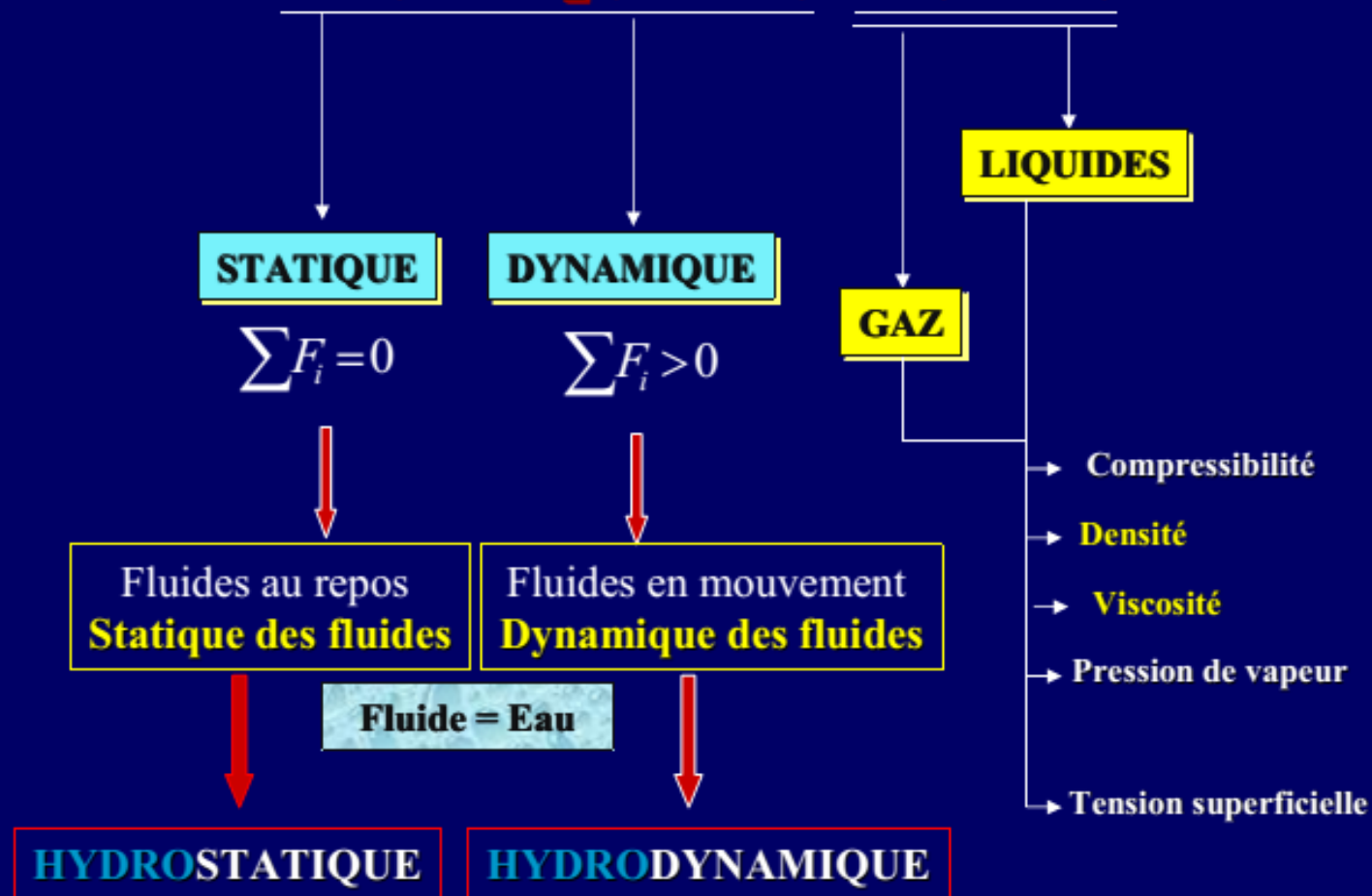
Et

du suffixe **aulos** qui veut dire **flûte (tuyau musical)**

En effet la première application connue, abordée scientifiquement, de la technologie de l'eau a été la réalisation d'un orgue à eau.

SCHEMA GENERAL

MECANIQUE DES FLUIDES



Généralités

Chapitre I : État liquide

- La matière peut se trouver, schématiquement, dans trois états : état solide, état fluide et état gazeux.
- On peut introduire deux notions pour expliquer la différence entre état et autre :
la rigidité et la cohésion
- **A tenir:** Lorsqu'on applique une force à un élément de matière:
 - sa **rigidité** caractérise: son aptitude à conserver son volume
 - sa **cohésion** son aptitude à conserver sa forme.

On peut alors donner ce schéma qui permet de fixer les idées :

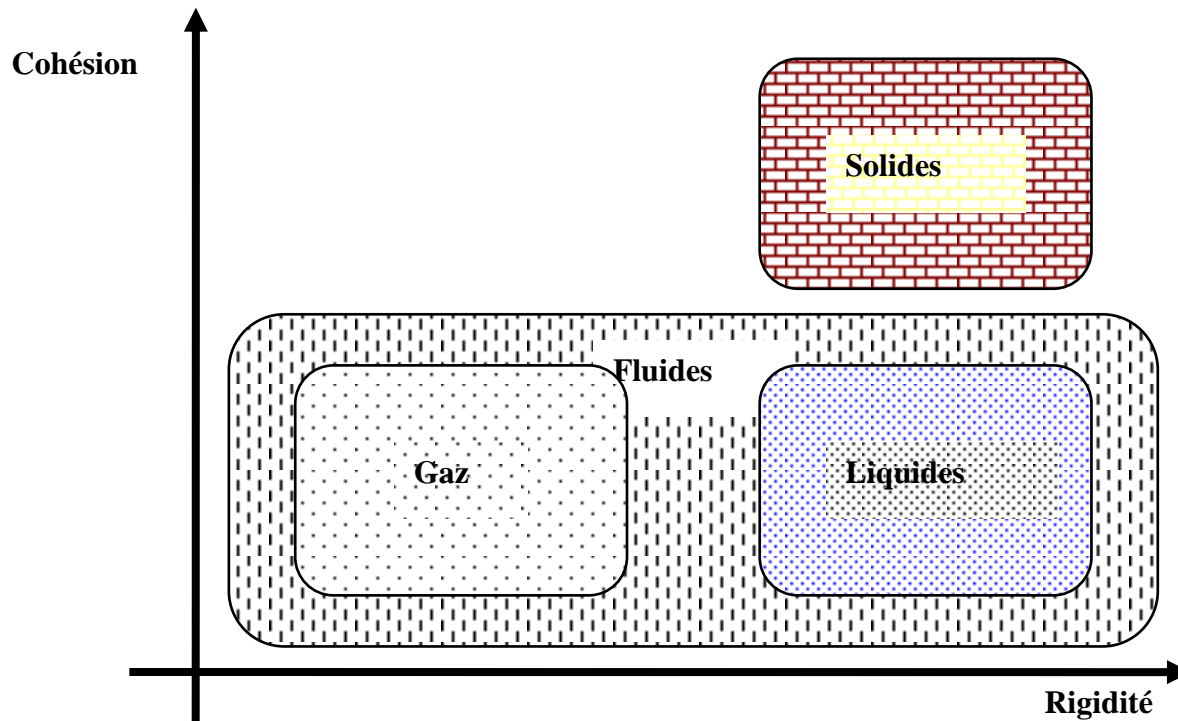


Figure : Les différents états de la matière

En résumé on peut dire qu'un **liquide idéal** est une forme de matière **parfaitement rigide** mais n'ayant **aucune cohésion** (un élément de matière sans cohésion est un fluide)

2.1 Rigidité parfaite

En réalité, l'absence de rigidité parfaite en gendre l'élasticité des solides/liquides idéaux.

Donc:

un liquide (un solide) idéal est parfaitement rigide,

un liquide (un solide) réel est élastique.

2.2 Fluidité parfaite

L'hypothèse de l'absence totale de cohésion dans les liquides n'est que très mal respectée par les liquides réels.

La **détermination de la force** ainsi engendrée par un changement de forme du liquide **dépend** d'un coefficient appelé sa viscosité.

Donc:

Un liquide idéal est parfaitement fluide.

Un liquide réel est visqueux.

2.3 Modèle du liquide idéal

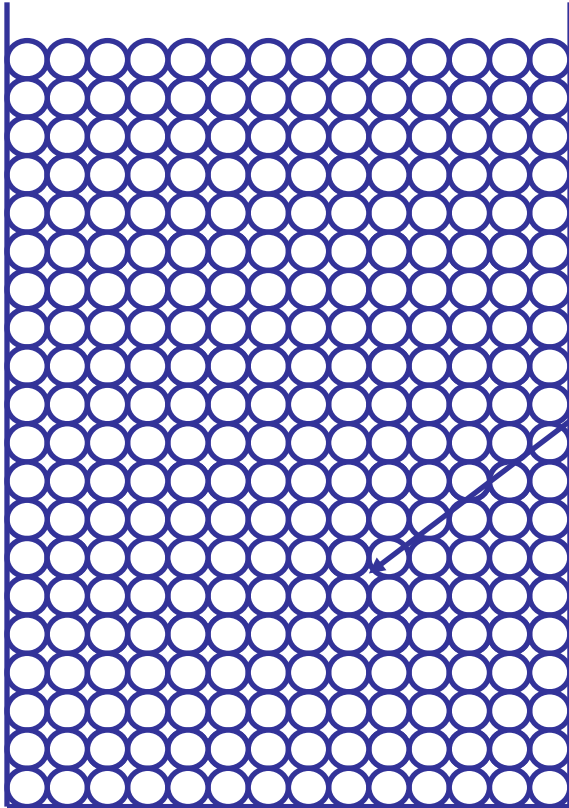
Un liquide est *quelque chose de très paradoxal*,

Comment peut-on conserver son volume sous l'effet d'une force élevée et se déforme sous l'effet d'une force infime (minime) ?

C'est cet *aspect paradoxal* qui rend l'étude des liquides à l'état naturel si difficile. C'est pourquoi nous nous contenterons d'étudier les liquides contenus dans des récipients.

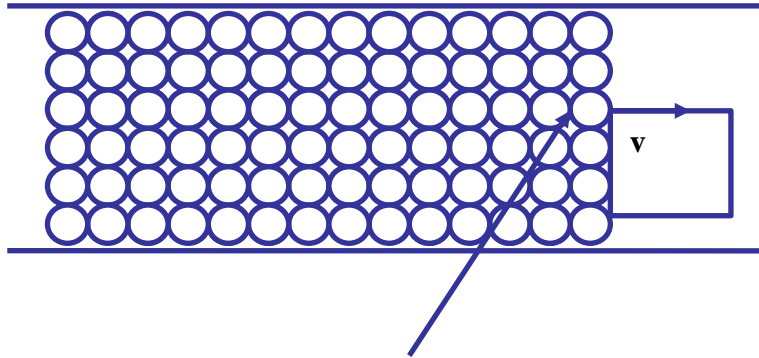
A tenir: *Pour pouvoir raisonner à propos des liquides :*

nous allons les donner l'image d'un ensemble de particules.



Particule liquide de masse m
Son énergie potentielle

$$E_p = g \cdot h \cdot m$$



Particule liquide de masse m
animée d'une vitesse V :
l'énergie cinétique est

$$E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

A noter: Les considérations énergétique ne permet pas toujours une étude simple des **phénomènes hydrauliques** : nous allons devoir introduire d'autres notions comme :

la pression et le débit

11 Les propriétés des fluides

111 Les Densités

La densité d'une substance est **la quantité de matière contenue** dans une unité de volume de cette substance.

Elle est exprimée de différentes manières :

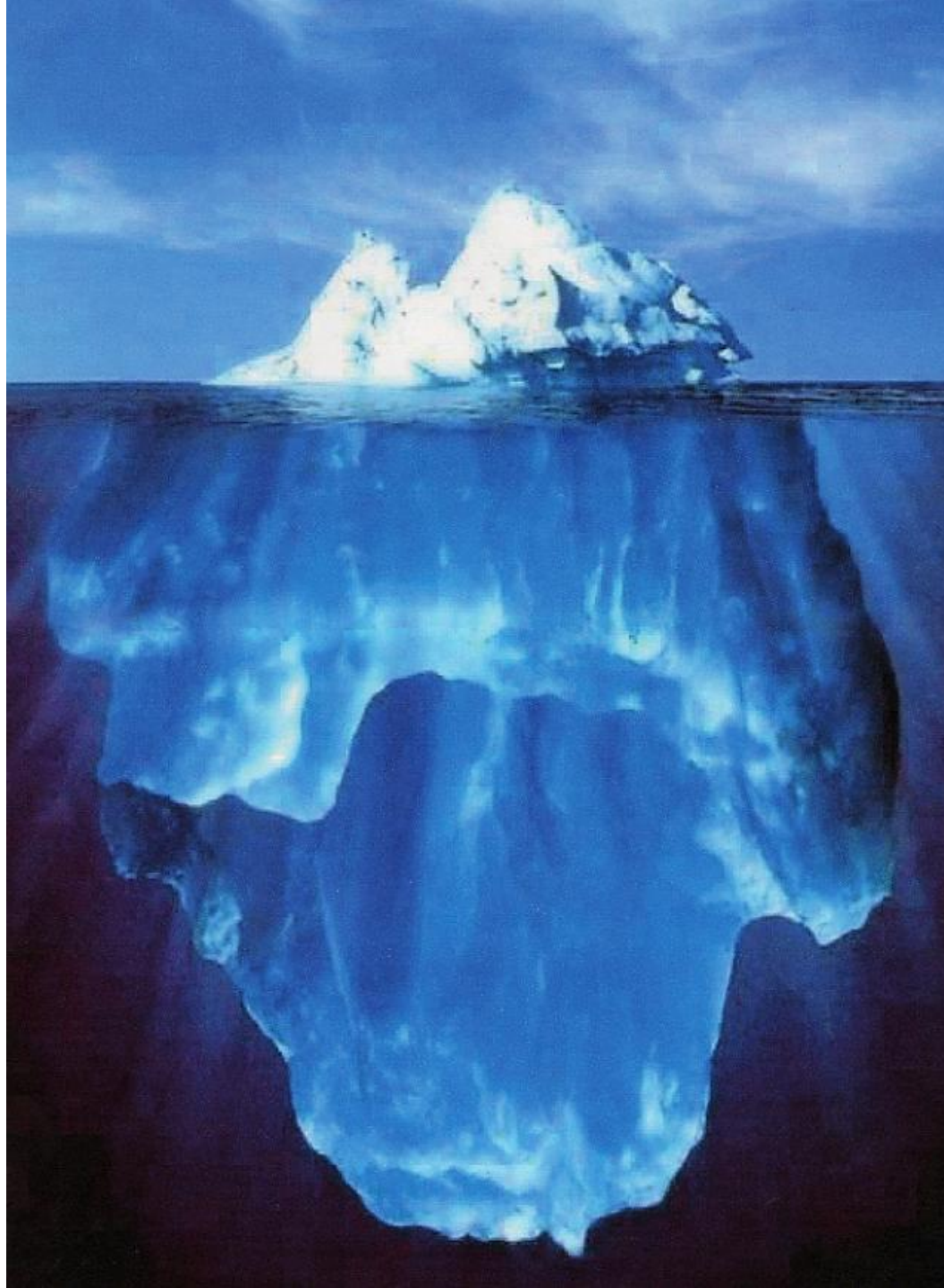
1111 *Densité d'une masse ou « masse volumique »*

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

Unités : kg/m³

Dimensions : ML⁻³

Valeurs particulières : Eau : $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
Mercure : $\rho_{\text{Hg}} = 13546 \text{ kg/m}^3$



1113 *Densité relative :*

La *densité relative* de l'or est d'une substance est le rapport de *la densité de cette substance* à *celle d'une autre substance*.

$$D = \frac{\rho}{\rho_W}$$

Valeurs Particulières : Eau : $D_W = 1$ Mercure : $D_{Hg} = 13.6$

Chapitre II :

STATIQUE DES FLUIDES

Hydrostatique



2.1.LA NOTION DE PRESSION

2.1.1/ Première notion de pression:

Lorsqu'on marche sur du sable,

- Les pieds laissent une empreinte plus ou moins profonde;
- L'expérience journalière montre que l'enfoncement dépend non seulement du poids de la personne, mais aussi de la surface de contact des pieds;

Rappel sur les unités

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow \text{unité} * \left(\frac{\text{newton}}{m^2} \right) \rightarrow \text{pascal}$$

Plusieurs unités existent:

- le pascal (Pa) : unité SI, peu employée en pratique
- le bar (bar) et son sous multiple le millibar (mbar)
- le millimètre de mercure ou Torr
- le millimètre de colonne d'eau ou le mètre de colonne d'eau (m CE)
- l'atmosphère (atm)

La correspondance entre ces unités est la suivante:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1000 \text{ mbar} \approx 750 \text{ mm de mercure} \approx 10,2 \text{ m CE} \approx 0,987 \text{ atm}$$

Un newton est la force capable de communiquer à une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 m s^{-2} .
Il faut donc 1 newton pour augmenter la vitesse d'une masse de 1 kg de 1 m s^{-1} chaque seconde.
Cette unité dérivée du Système international s'exprime en unités de base ainsi :

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

- Les techniciens emploient encore fréquemment le kilogramme-force par centimètre carré (symbole **kgf/cm²**)
- Comme **1kgf = 9.8 N** et **1cm² = 10⁻⁴ m²** on a:

$$1\text{kgf} / \text{cm}^2 = \frac{9.8\text{N}}{10^{-4}\text{m}^2} = 98000\text{Pa} = 0.98\text{bar}$$

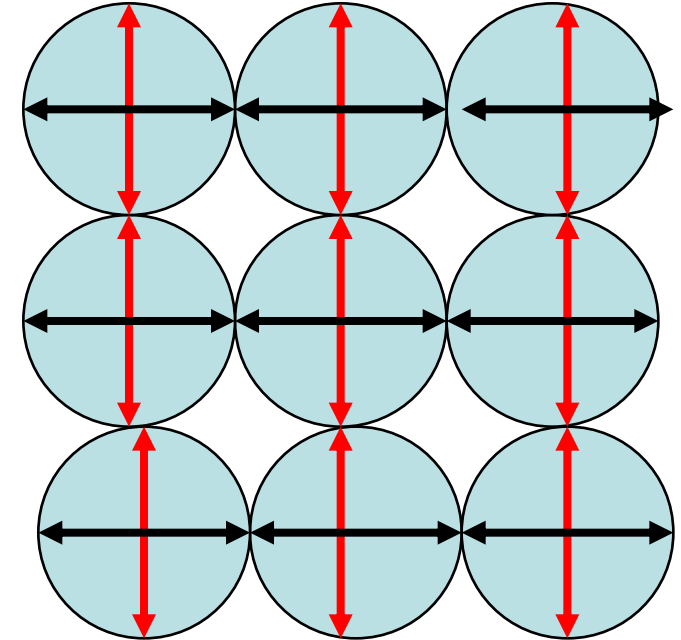
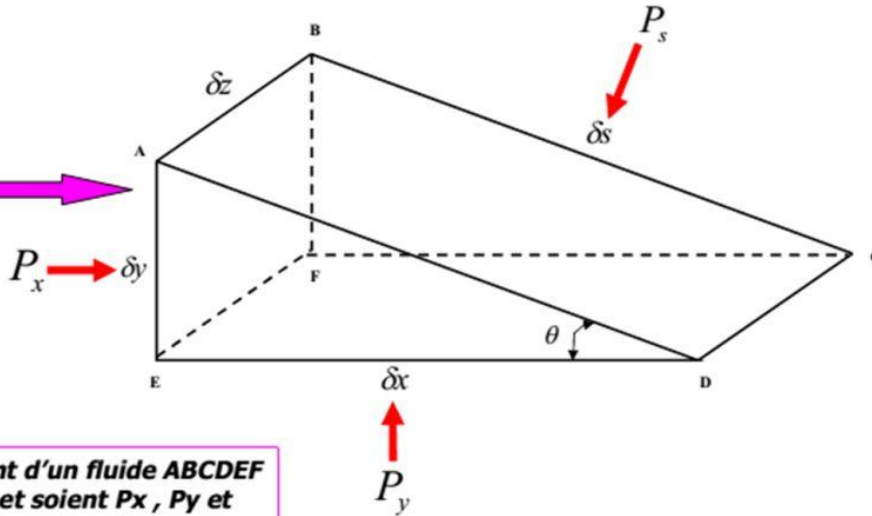
Lorsque la précision ne dépasse pas **2%** on peut prendre:

$$\mathbf{1\text{kgf} = 1\text{bar} = 10^5\text{ Pa}}$$

2.2.LA RELATION FONDAMENTALE DE LA STATIQUE DES FLUIDES

- Nous avons défini jusqu'à maintenant la pression en un point d'un fluides en équilibre;
- Nous cherchons maintenant comment **varie la pression** quand on passe d'un point de fluide à un autre.


2.2.1- la première loi de la statique des fluides : « ISOTROPIE » de la pression ou la loi de pascal



Considérons un élément d'un fluide ABCDEF (prisme triangulaire) et soient P_x , P_y et P_s les pressions dans les 3 directions x , y et s :
Etablissons la relation entre P_x , P_y et P_s !

La pression d'un fluide en un point est la même dans toutes les directions (isotrope).

Conclusion : Loi de Pascal


$$\left. \begin{array}{l} P_x = P_s \\ P_y = P_s \end{array} \right\} P_x = P_y = P_s$$

La pression d'un fluide en un point est la même dans toutes les directions

NB:

la pression **exercée sur un liquide enfermé** se transmet **intégralement dans toutes les directions** ; agissant avec une force égale sur des surfaces égales.

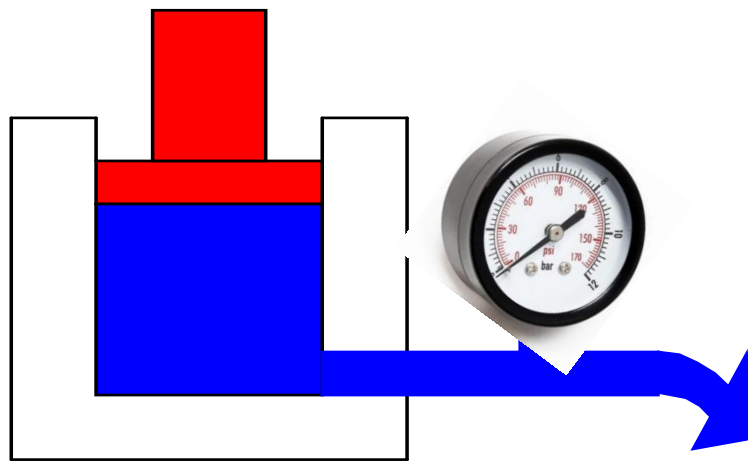
Theorème de Pascal:

Dans un fluide incompressible statique
les variations de pression en un point se
transmettent intégralement en tout points
de ce fluide.

Exemple: la **pression** est créée par la **résistance** du **liquide** à la compression.

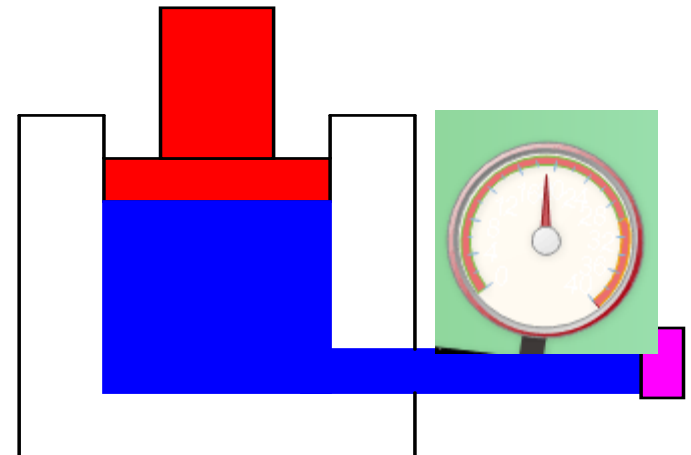
L'appareil qui permet de *mesurer la pression* est le **MANOMETRE**.

Circuit ouvert



Pas de résistance = Pression nulle

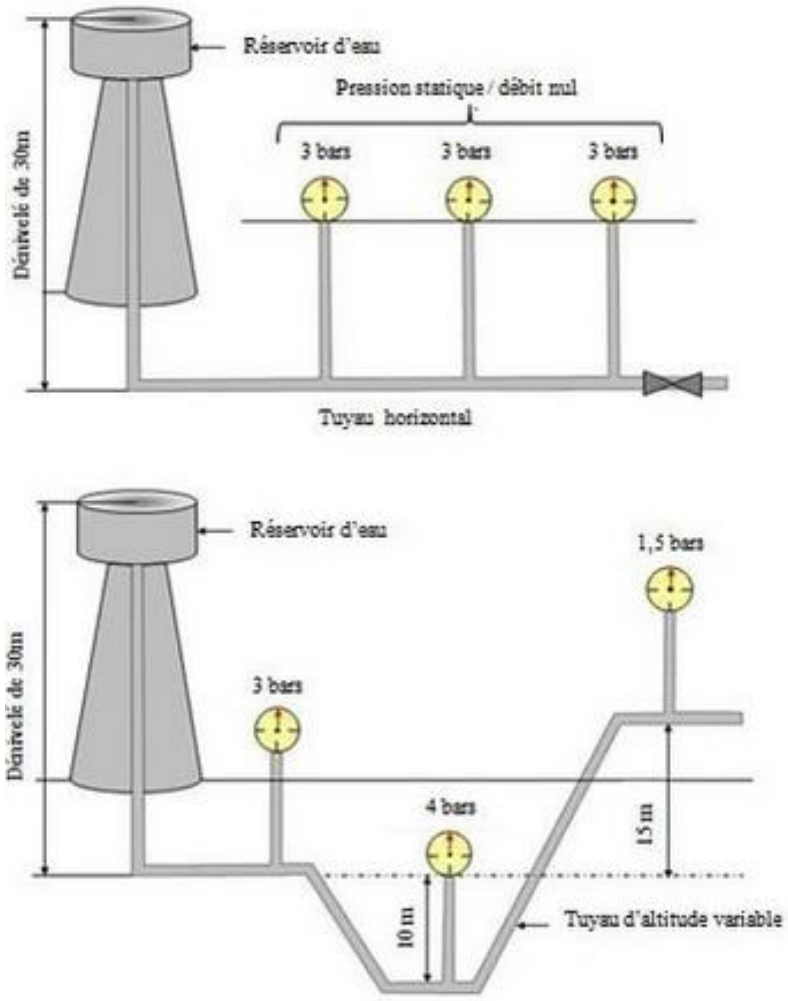
Circuit fermé



Résistance = pression

Le fluide étant au repos, la pression est identique en tout point du circuit, il s'agit du principe de PASCAL.

- Exemple: la **pression-château** d'eau.



Pour distribuer l'eau sur l'ensemble des réseaux, nous avons besoin de pression. Celle-ci est liée à la dénivelée entre le point de stockage et le point de distribution.

Pour avoir 1 bars de pression, il faut 10 mètres de colonne d'eau donc de dénivelée. Dans la majorité des cas, on utilise le relief du terrain pour créer la pression. En effet, les châteaux d'eau sont en général situés sur les hauteurs. Si cela n'est pas suffisant, ils sont surélevés afin d'obtenir la pression souhaitée.

La distribution d'eau potable est donc majoritairement gravitaire, cependant s'il n'est pas possible d'obtenir la pression par dénivelée, il faut avoir recours à des pompes.

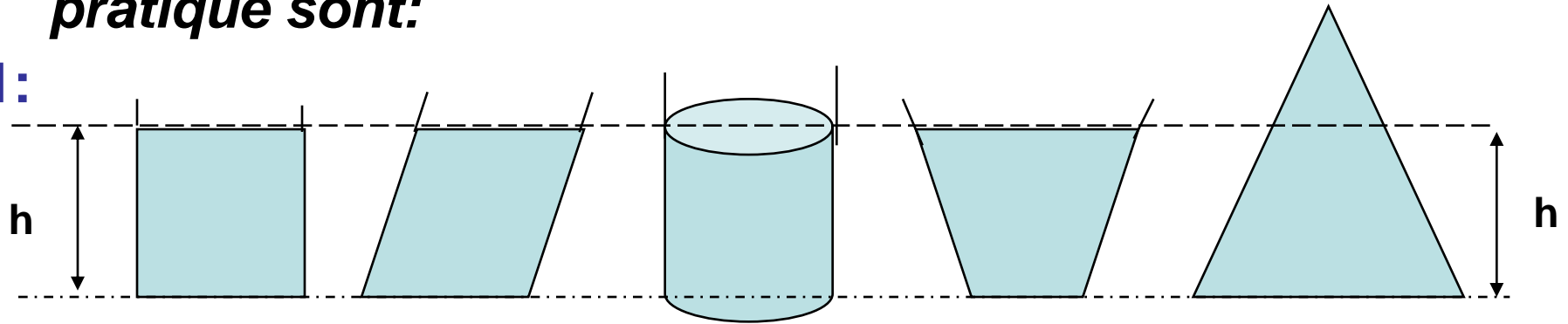
La pression normale dans un logement est de 2 bars.

La conception d'un réseau serait relativement simple si il n'y avait pas les pertes de charges.

2. 2.2- conséquences d'isotropie de la pression

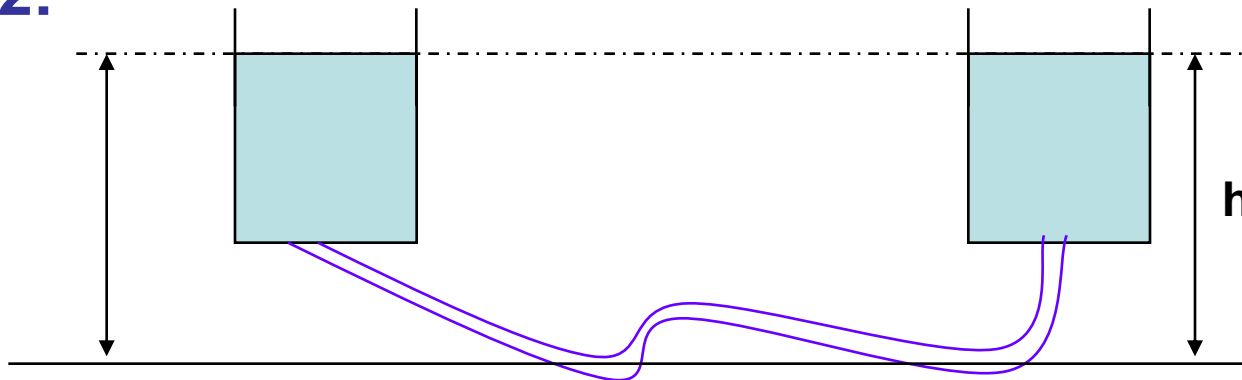
Les conséquences de l'isotropie de la pression sont nombreuses. Les deux les plus important sur le plan pratique sont:

1:



La pression au fond de est la même. Donc la pression ne dépend pas de la forme du récipient mais uniquement de la hauteur de liquide

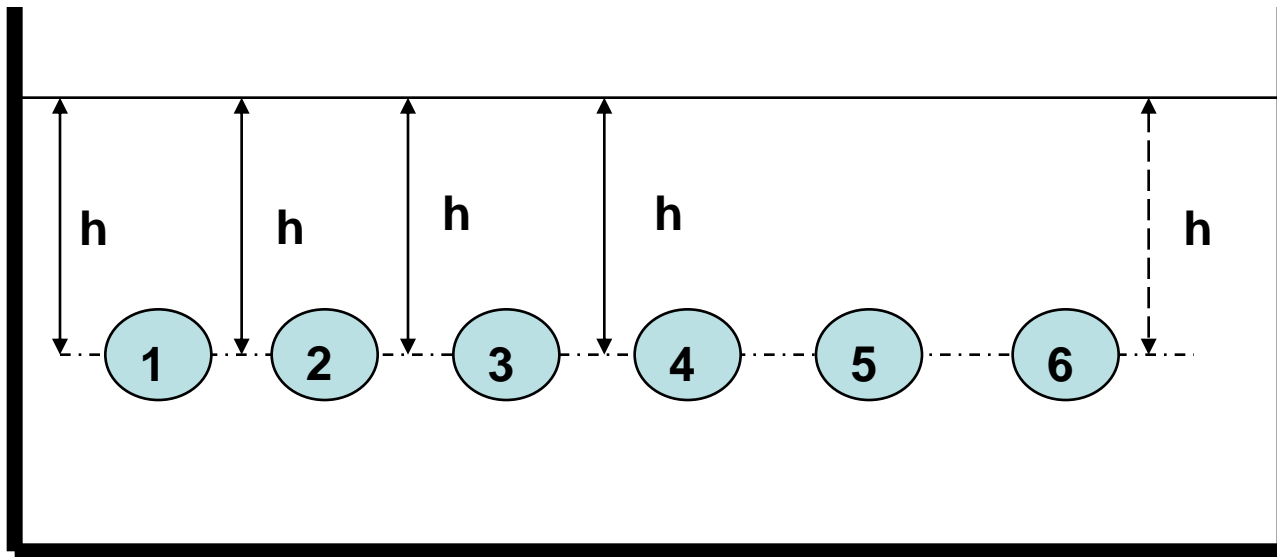
2:



Deux récipients communiquant ont leur surface libre sur un même plan horizontal.

2. 2.3- pression isobare dans un fluide

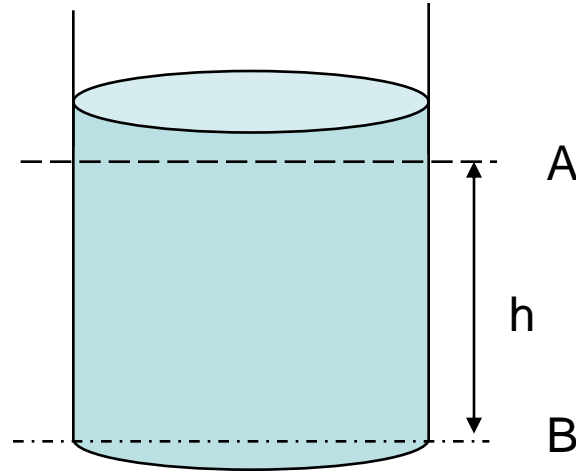
Dans une grande cuve (bassin) pleine d'eau au repos,



*Dans un fluide en équilibre, **la pression** est la même en tous les points d'un plan horizontal*

*(**pression isobare**).*

2.2.4- principe fondamental de l'hydrostatique



La différence de pression en deux points du fluide A et B:

$$P_B - P_A = \frac{m_B \cdot g}{S} - \frac{m_A \cdot g}{S}$$

$$P_B - P_A = \frac{m \cdot g}{S}$$

La masse volumique ρ est indépendante de la pression. Si V le volume du cylindre:

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho.V \quad \text{Puisque } V = S.h$$

$$P_B - P_A = \frac{\rho.S.g.h}{S} = \rho.g.h$$

$$P_B - P_A = \rho.g.h$$

C'est le principe fondamentale de l'hydrostatique des fluides

$$\Rightarrow p_{eff} = \rho \cdot g \cdot h$$

On l'appel **pression effective**

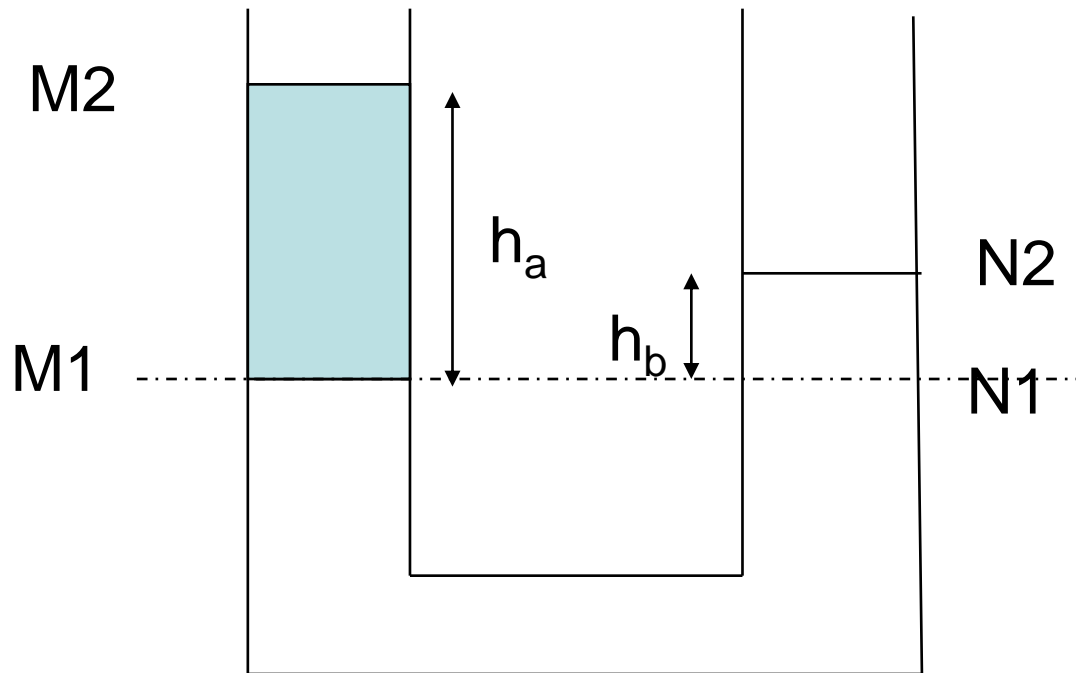
Puisque la pression atmosphérique règne P_{atm} ou P_0
la formule devient:

$$p = \rho \cdot g \cdot h + P_{atm}$$

On l'appel **pression relative**,
la loi fondamentale de l'hydrostatique

2.2.5- équilibre de deux liquides non miscibles

Les deux liquides sont dans des vases communicants. Les deux surfaces libres ne sont pas dans la même plan horizontale.



$$P_{M1} - P_{M2} = P_{N1} - P_{N2}$$

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

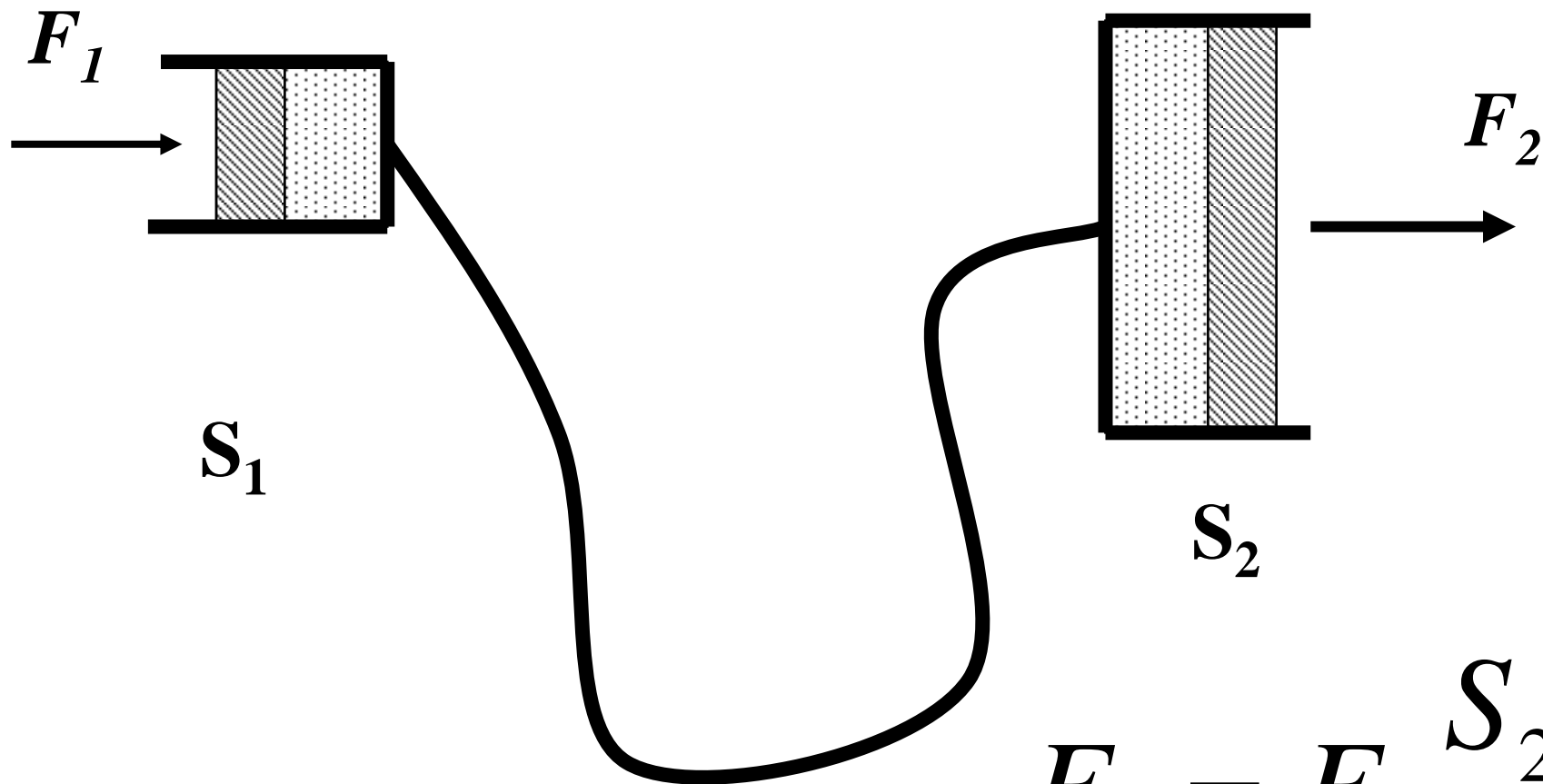
$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$

2.3 Théorème de pascal

Le théorème de pascal est une conséquence de la **rigidité presque parfaite** des liquides et de **l'isotropie de la pression**.

toute variation de pression en un point d'un liquide entraîne la même variation en tous ses points (Ce théorème est valable pour les gaz).

Le principe de fonctionnement d'une presse hydraulique repose sur ce théorème. **Il permet la réalisation de transmetteurs ou d'amplificateur de force**



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

2.4 Pression en un point d'une paroi d'un récipient fermé

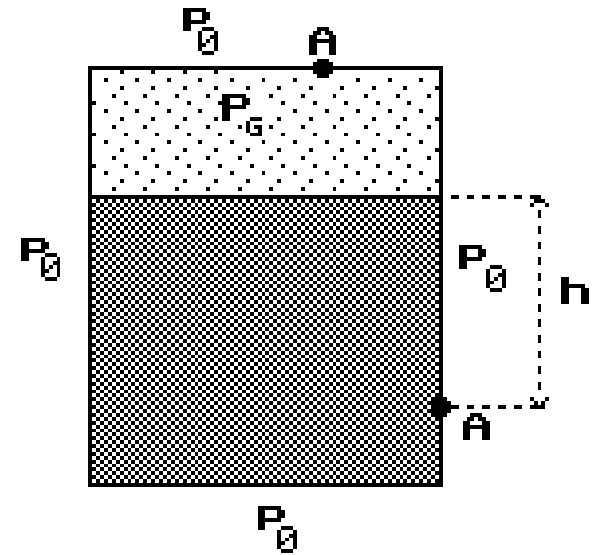
- Si le récipient ne contient que du gaz, la pression effective en un point **A** de la paroi sera :

$$P_{eff} = P_G - P_0$$

Si le récipient contient un liquide surmonté par un gaz, il faudra analyser deux cas.

- Si le point **A** est au-dessus du liquide, la pression effective sera égale à :

$$p_{eff} = p_G - p_0$$



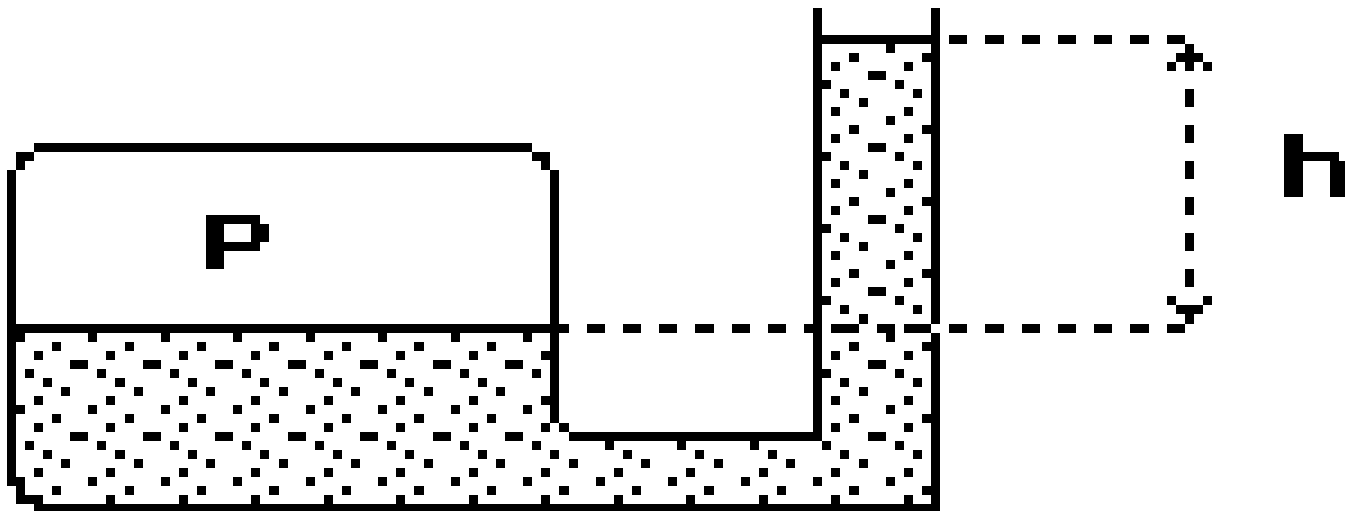
- Si le point **A** est en dessous de la surface du liquide, à une profondeur h , on aura alors :

$$p_{eff} = p_G + h\rho g - p_0$$

Exemple :

Trouver la pression du gaz p .

(ρ du liquide: $13,6 \text{ g.cm}^{-3}$; hauteur h : $20,0 \text{ cm}$)



Exercice : Calculez la pression partielle d'une colonne de mercure de 1,000 millimètre de hauteur.

$$\text{Pression partielle : } P_{\text{partielle}} = \rho \cdot g \cdot h = 13'590 \cdot 9,81 \cdot 0,001000 = 133,3 \text{ [Pa]} .$$

En conséquence, 1,000 [mm-Hg] correspond à 133,3 [Pa].

Cette unité est très utilisée par les météorologues. Cette unité porte aussi le nom de **torr**.

1 atmosphère équivaut à 760 [mm-Hg].

le baromètre à Hg

considère **une colonne d'eau de hauteur h** , dans un **tuyau vertical**, avec **le vide au dessus** et reposant sur une cuvette remplie d'eau à l'air libre. h est compte à partir du niveau de l'eau dans la cuvette.

Cette colonne est soumise à 2 forces :

vers le bas, son **poids P**

vers le haut, la force F exercée par la pression de l'eau.

Comme dans un liquide les points d'une surface horizontale sont à la même pression, c'est la pression atmosphérique **$P_0 = 1,033 \cdot 10^5$ Pascal**.

Supposons le tuyau cylindrique de section **S**

la masse volumique de l'eau **$d = 10^3$ Kg/m³**

$$F = P_0 * S \quad \text{Newton}$$

$$P = m * g \quad \text{Newton} \quad P : \text{poids} \quad m = d * V \quad (m=\text{masse})$$

$$P = d * h * S * g \quad \text{Newton} \quad (h*S=\text{volume})$$

$$F = \text{Poids} \Rightarrow P_0 = d * h * g$$

$$h = P_0 / d * g = 1,033 \cdot 10^5 / 10^3 * 9.81 = 10 \text{ m}$$

Remarque

Au dessus de la colonne d'eau, il n'y a pas le vide mais de la vapeur d'eau saturante, dont la pression dépend de la température.

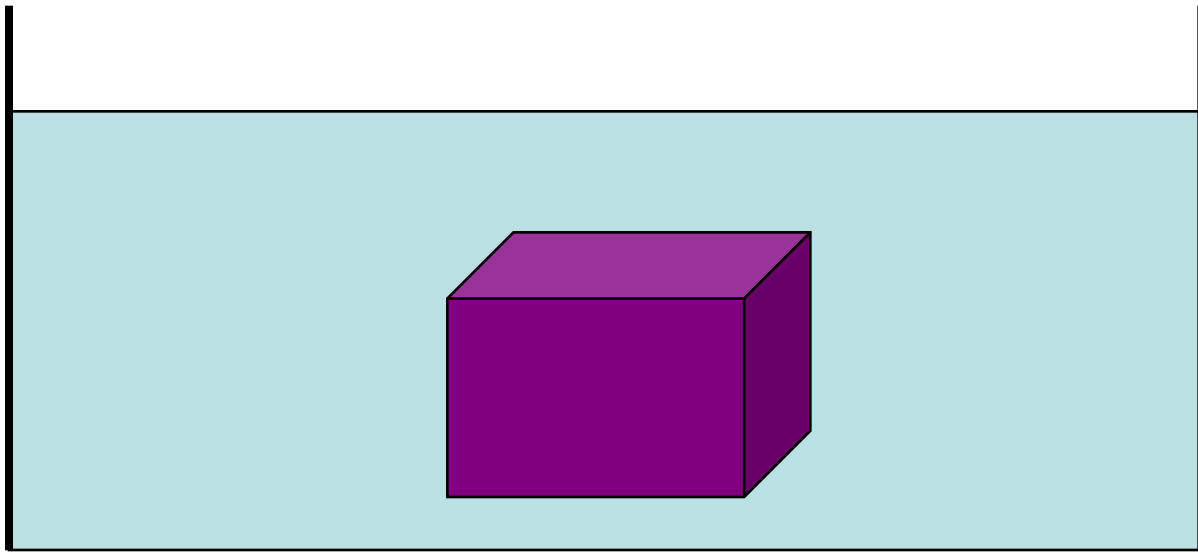
La pression de vap sat à 20°C est de 23 mbar soit une erreur de **2%**.

Théorème ou principe d'Archimède

La force d'Archimède

Ce n'est rien d'autre que la résultante des forces de pression.

Tout est plongé dans un fluide
subit une poussée d'Archimède

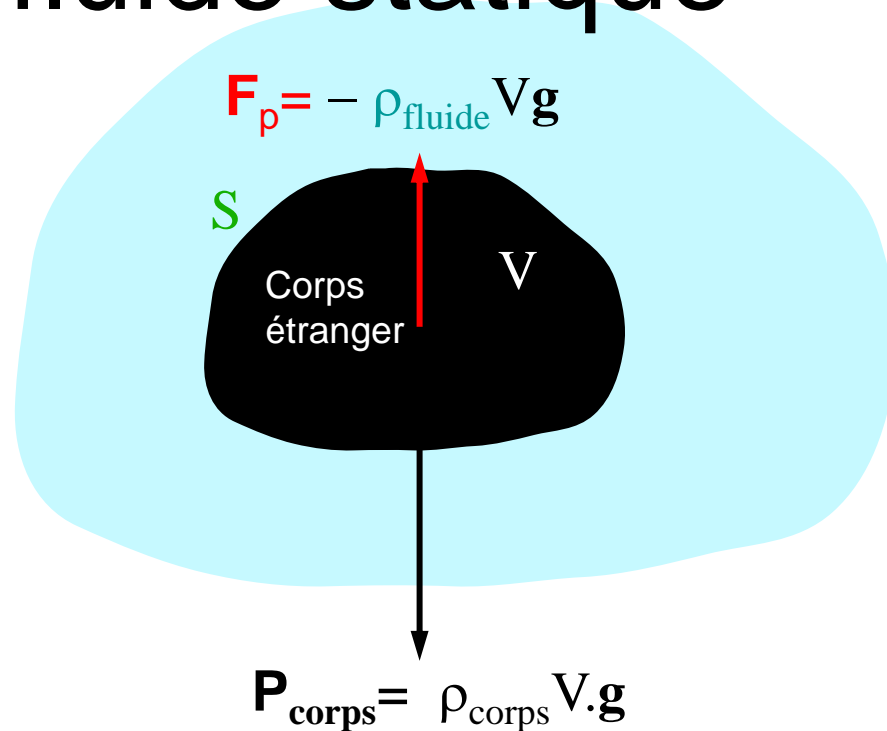


Poussée d'Archimède

=

poids du volume d'eau déplacé

Force sur un corps dans un fluide statique



Le corps n'est pas en équilibre !

$$P_{\text{corps}} + F_p = (\rho_{\text{corps}} - \rho_{\text{fluide}}) V \cdot g \neq 0$$

Deux cas possibles

- $\rho_{\text{corps}} > \rho_{\text{fluide}}$: il descend
- $\rho_{\text{corps}} < \rho_{\text{fluide}}$: il monte

Et pourtant, il flotte...

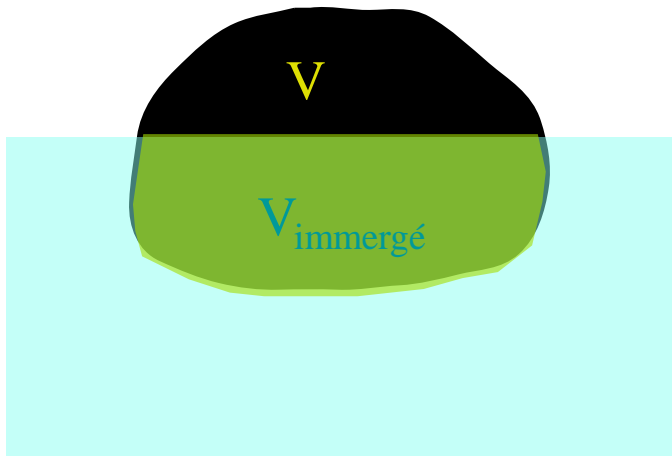
On peut généraliser le raisonnement à un objet **partiellement immergé**.

On retiendra :

$$\mathbf{F}_p = -\rho_{\text{fluide}} V_{\text{immergé}} \mathbf{g}$$

Dans ce cas l'équilibre est possible :

Iceberg



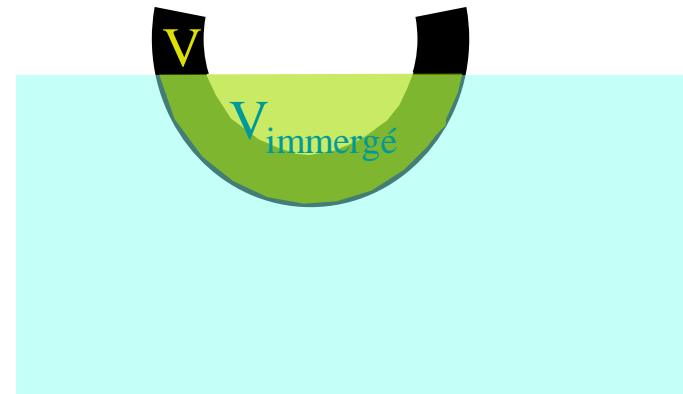
$$\mathbf{P}_{\text{corps}} + \mathbf{F}_p = \mathbf{0} \Rightarrow$$

Le corps est moins dense :

$$\rho_{\text{fluide}} > \rho_{\text{corps}}$$

$$V_{\text{immergé}} < V$$

Bateau en alu



$$\rho_{\text{corps}} V = \rho_{\text{fluide}} V_{\text{immergé}}$$

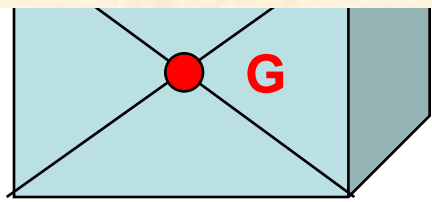
Le corps est pourtant plus dense :

$$\rho_{\text{corps}} > \rho_{\text{fluide}}$$

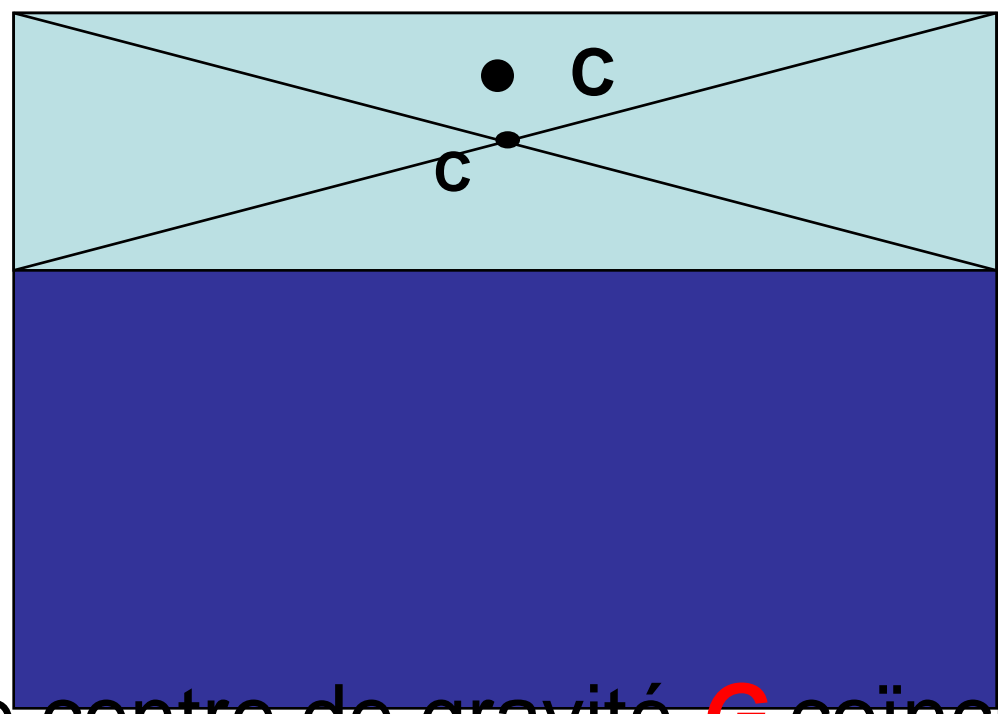
$$\text{mais } V < V_{\text{immergé}}$$

il n'est stable que si **C** est sur la verticale de **G** et au dessus de celui-ci

corps qui va être immergé



G s'appelle hauteur Métacentrique et caractérise la stabilité statique du corps



Quand le centre de gravité **G** coïncide avec le centre de poussée **C**, l'équilibre est indifférent

Soit **C** le centre de gravité de la partie d'eau qui va se déplacer - centre de poussée

La différence de pression entre le haut et le bas du solide engendre une poussée verticale dirigée vers les pressions décroissantes (du bas vers le haut). Cette poussée est appelée poussée d'Archimède PA :

$$PA = \rho \cdot g \cdot h \cdot S = \text{poids du liquide occupant le même volume}$$

Section du solide

FA = poids du volume d'eau déplacé

Volume d'eau déplacé = volume du corps immergé