

# Module de Biophysique

Département de Médecine Dentaire  
Faculté de Médecine  
UNIVERSITE ALGER 1

e-mail : biophysique\_facmed-alger@hotmail.com

## BIOMECANIQUE DES FLUIDES

circulation de fluides et physiologie : hydrostatique – hydrodynamique

- partie A : notions à retenir -

Professeur M. CHEREF

1<sup>ère</sup> année de médecine dentaire

# Biomécanique des fluides (1)

Introduction et définitions

# Notion d'états physiques (1)

FORCES D'ATTRACTION  
ENTRE PARTICULES



ATTRACTION

AGITATION THERMIQUE  
FORCES DE REPULSION  
INTERMOLECULAIRES

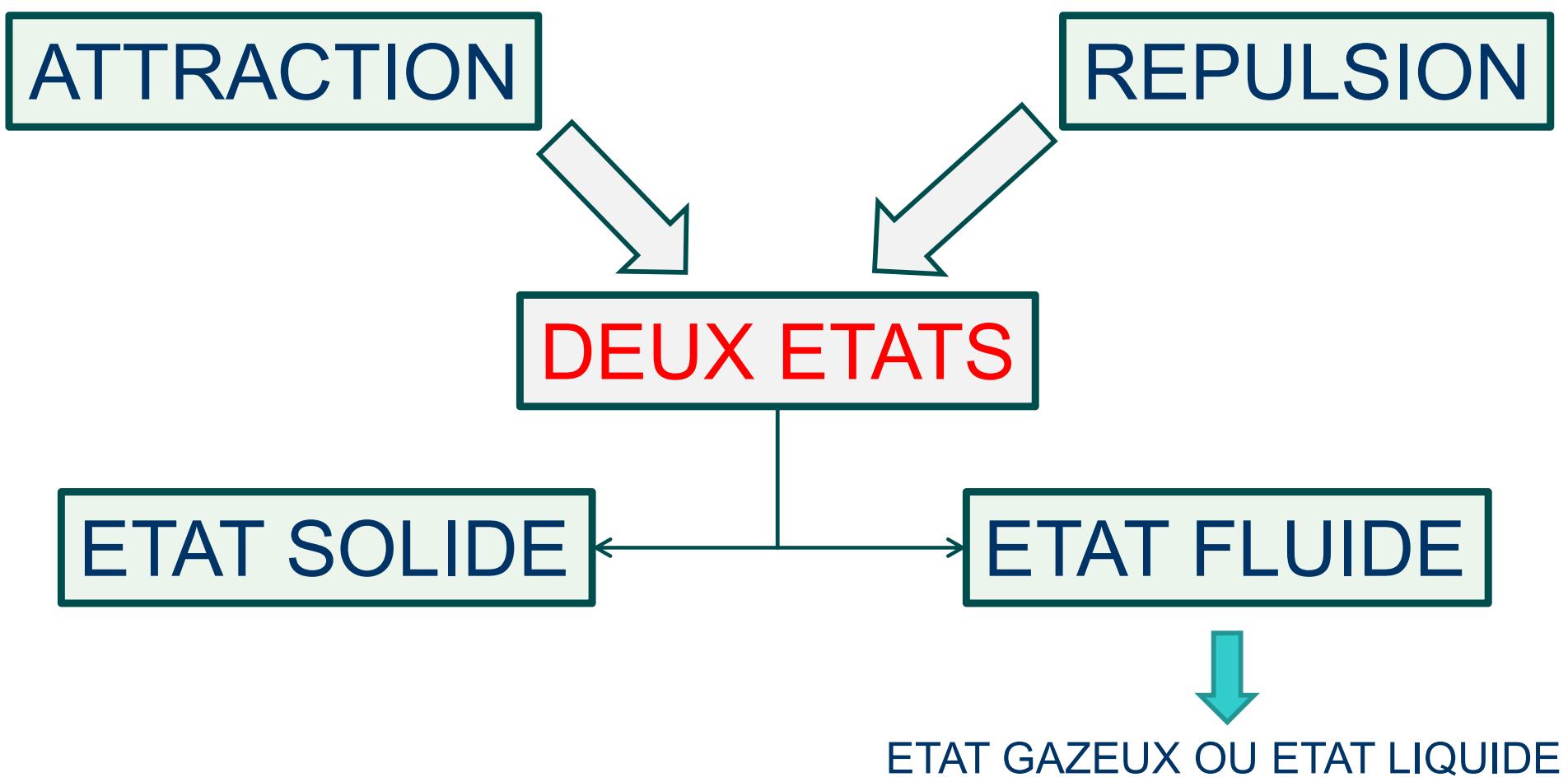


REPULSION



ETAT DE LA MATIERE

## Notion d'états physiques (2)



# Biomécanique des fluides (2)

Rappel de quelques  
notions de base

# masse volumique $\rho$

---

La masse volumique  $\rho$  exprime le rapport de la masse  $m$  d'un corps rapporté à son volume  $V$

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

$\rho$  s'exprime dans le système SI (MKSA) en  $\text{kg/m}^3$

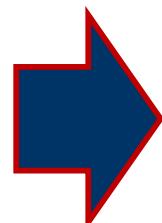


# Volume massique $V_m$

Le volume massique  $V_m$  exprime le rapport du volume d'un corps rapporté à sa masse m

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

$V_m$  s'exprime dans le système SI (MKSA) en  $\text{m}^3/\text{kg}$



$V_m$  est l'inverse de  $\rho$

peut être utilisée pour exprimer la compressibilité des matériaux polymères (dépendance vis-à-vis de la température et de la pression)

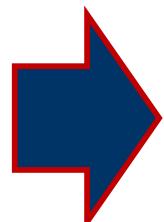
# Poids volumique $\gamma$

---

Le poids volumique (ou spécifique) exprime le rapport du poids P d'un corps rapporté à son volume V

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

$\gamma$  s'exprime dans le système SI (MKSA) en N/m<sup>3</sup>



$\rho$  est la masse volumique du corps et « g » traduit la gravité  
le poids volumique P dépend de « g », souvent assimilée à 9,81 m/s<sup>2</sup>

# Densité d

La densité  $d$  d'un corps exprime le rapport de la masse volumique  $\rho$  de ce corps vis-à-vis de la masse volumique d'un corps de référence  $\rho_F$

$$d = \frac{\rho}{\rho_F}$$



$d > 1$  : le corps étudié est plus lourd que le corps de référence

$d < 1$  : le corps étudié est plus léger que le corps de référence  
le corps de référence est souvent l'eau ( $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

# Biomécanique des fluides (3)

Notions fondamentales

# Mécanique des fluides : définition (1)

dans le cadre de la Théorie de la Mécanique des Milieux Continus,

la Mécanique des fluides constitue une extension de la Mécanique Rationnelle à une catégorie particulière de systèmes déformables,

LES FLUIDES,

dont les propriétés essentielles sont d'exhiber des valeurs de déformation aussi grandes que l'on veut (en d'autres termes d'être continus et de pouvoir s'écouler).

# Notion de « Particule fluide »

## Définition :

Soit une masse déterminée d'un fluide occupant un volume bien défini. Chaque élément de volume (surface fermée infiniment petite) de ce fluide, appelé « particule fluide », est dit macroscopiquement petit.

Cet élément , ou « particule fluide », se caractérise :

I- du point de vue de la cinématique (définis tous deux par rapport à un référentiel galiléen ou non) :

- par sa vitesse
- par son accélération

II- du point de vue dynamique :

- par une masse élémentaire

# Notion de contrainte $\sigma$

## Définition :

Soit une « particule fluide » de surface fermée  $dS$  (et sa normale orientée  $\vec{n}$ ) au sein d'un volume  $V$  de fluide, soumise à une force résultante  $d\vec{F}$  (sur toute la surface  $S$  délimitant le volume  $V$ , le milieu extérieur exerce une action qui se traduit localement par une force  $d\vec{F}$  )

La contrainte  $\vec{\sigma}$  s'écrit comme la limite du rapport  $\frac{\overrightarrow{dF}}{dS}$  quand  $dS$  tend vers 0:

$$\text{ou encore } \vec{\sigma} = \lim_{dS \rightarrow 0} \left[ \frac{\overrightarrow{dF}}{dS} \right]$$

# Notion de pression P

## Définition :

Soit une « particule fluide » de surface fermée  $dS$  (et sa normale orientée  $\vec{n}$ ) au sein d'un volume  $V$  de fluide, soumise à une force résultante  $d\vec{F}$  (sur toute la surface  $S$  délimitant le volume  $V$ , le milieu extérieur exerce une action qui se traduit localement par une force  $d\vec{F}$  )

La contrainte de pression (ou tout simplement pression)  $\vec{\sigma}_n$  est définie comme la composante de la contrainte  $\vec{\sigma}$  dans la direction normale à la surface  $dS$ .

$\vec{\sigma}_n$  (plus simplement indiquée  $P$ ) s'exprime comme :

$$P = \left\| \frac{d\vec{F}}{dS} \right\| \quad \text{et plus simplement} \quad P = \frac{F}{S}$$

L'unité de la pression est le Pa dans le système SI ( MKSA)  
[1 Pa = 1 N/mm<sup>2</sup> ; 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa ; 1 bar = 1 daN/cm<sup>2</sup>]

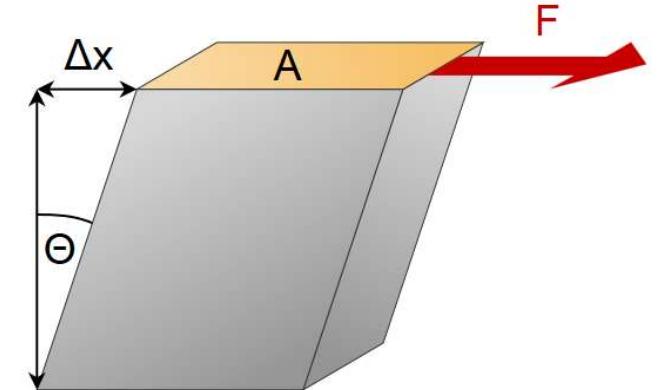
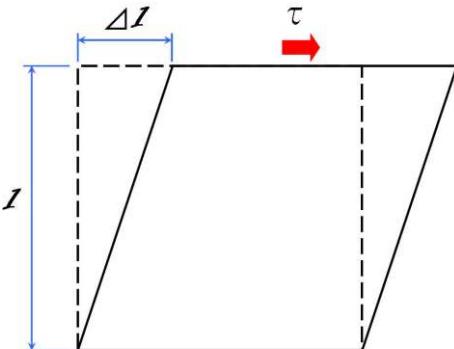
# Notion de cisaillement

## Définition :

Il s'agit d'une contrainte appliquée de manière parallèle ou tangentielle, par opposition à la contrainte dite normale (pression) à la surface  $dS$ .

Sans qu'il soit nécessaire de s'étendre sur cette notion, il semble opportun de la définir, en raison de son rôle comme facteur de diagnostic par exemple : un fort taux de cisaillement au niveau de parois vasculaires peut donner des indications précieuses quant à une éventuelle pathologie.

Visualisation du cisaillement



# Notion de compressibilité

## Définition :

La notion de compressibilité est directement liée à la notion de masse volumique  $\rho = dm/dv$ .

Si celle-ci est constante, on dira que le fluide est incompressible.

Dans le cas Contraire, le fluide est dit compressible.



les gaz : compressibles et expansibles

les liquides : souvent considérés comme peu compressibles, voire incompressibles

# Notion de viscosité

## Définition :

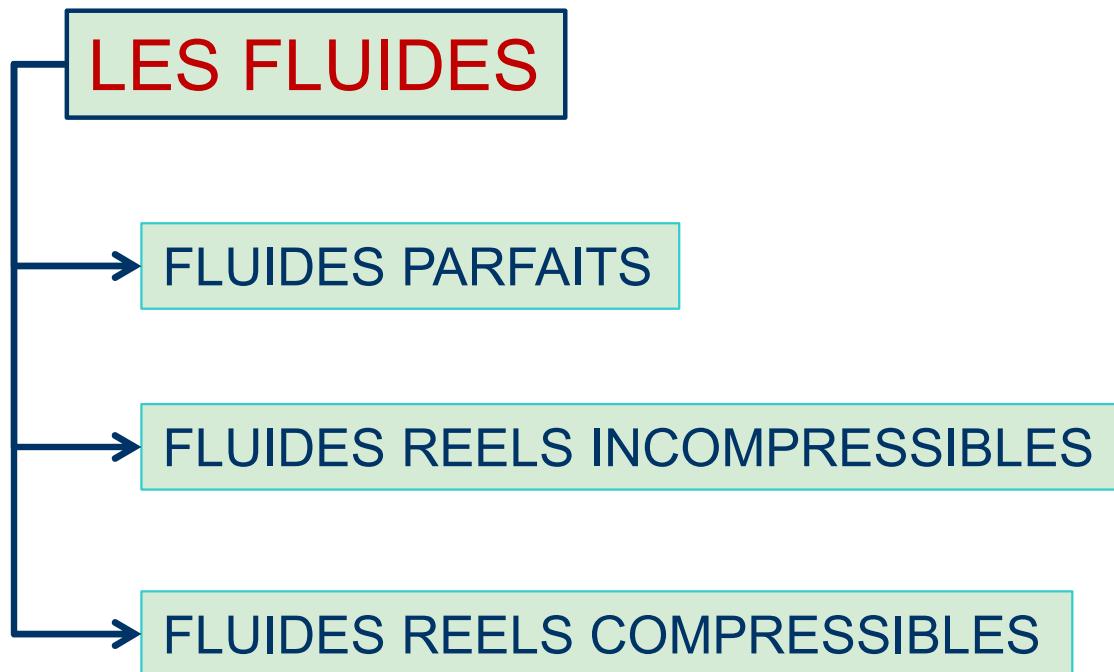
Dans le cas de fluides réels, une « particule fluide » en mouvement engendre les effets suivants :

- a- Le mouvement de celle-ci se communique de proche en proche aux régions voisines.
- b- Le mouvement s'affaiblit progressivement si l'on cesse de l'entretenir.

Un liquide réel est donc le siège de frottements internes. On leur donne le nom de viscosité :

si celle-ci est constante, on dira que le fluide est incompressible  
dans le cas contraire, le fluide est dit compressible.

# Notions de Fluide : caractérisation (1)



dans le sens de l'application des principes fondamentaux de la mécanique des fluides

# Notions de Fluide : caractérisation (3)

## Un Fluide réel incompressible

Son volume est indépendant de la pression mais il varie avec la température (dilatation). Pour un liquide à une température donnée, il n'existe qu'une seule masse volumique  $\rho$ . c'est l'image abstraite d'un liquide.

## Un Fluide réel compressible

Son volume varie avec la pression et la température. Pour définir sa masse volumique, il faudra préciser sa température et sa pression.  
C'est l'image abstraite d'un gaz.



La notion d'incompressibilité au sens rigoureux du terme renvoie à la notion de fluide parfait

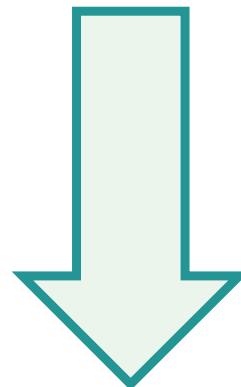
# Hydrostatique

Statique des fluides incompressibles

caractérisation

# Caractérisation : mode d'expression

RELATION FONDAMENTALE DE LA DYNAMIQUE



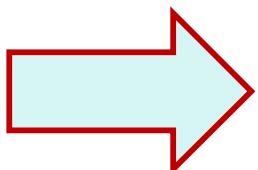
EXPRESSION DE L'EQUILIBRE  
DE CHACUNE DES PARTICULES FLUIDES

LA SOMME DES FORCES APPLIQUEES EST NULLE

# Caractérisation : équation générale (1)

RELATION FONDAMENTALE DE LA DYNAMIQUE

SOMME DES FORCES APPLIQUEES EST NULLE



$$\vec{\text{grad}} P = \rho \vec{g}$$

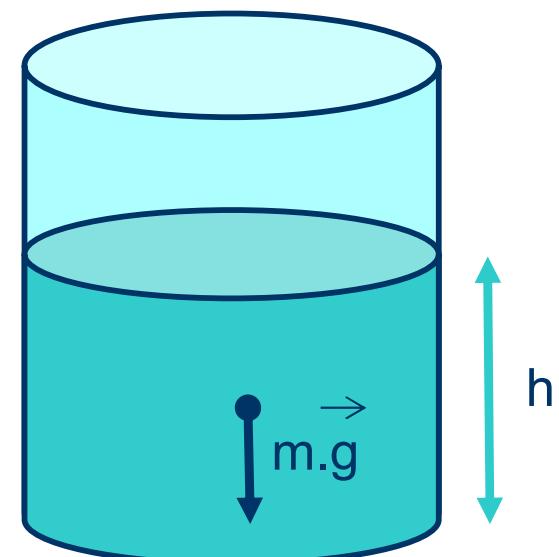
Remarque :

Cette expression mathématique traduit la pression en un point d'un fluide en équilibre : la pression  $P$  en un point d'un fluide en équilibre ne dépend que de la hauteur du fluide au dessus du point considéré et de sa masse volumique

# Caractérisation : équation générale (2)

## EXPLICITATION (1)

→ Pression partielle : exemple simple



Remarque :

soit un récipient à fond plat de section  $S$ , rempli d'un fluide incompressible de masse volumique  $\rho$  et de hauteur  $h$  par rapport au fond du récipient.  
La pression  $P$  (partielle) exercée par ce liquide ne dépend que de  $\rho$ ,  $h$ , et  $g$ , mais aucunement de la section du récipient.

# Caractérisation : équation générale (3)

## EXPLICITATION (2)

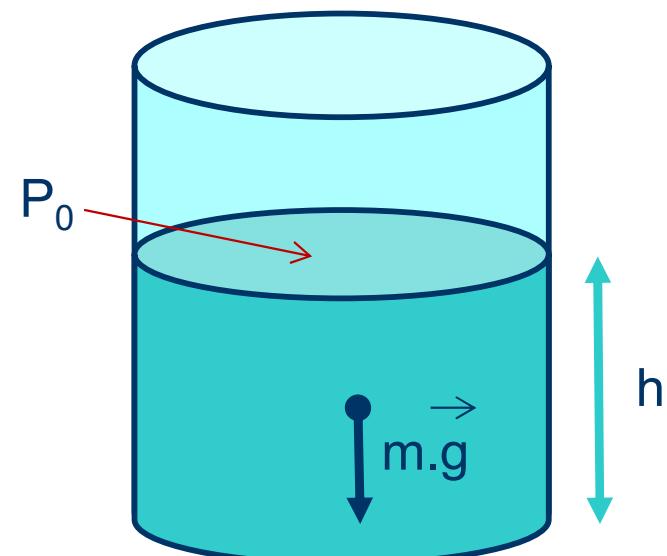
→ Pression totale : exemple simple

Remarque :

soit un récipient à fond plat de section  $S$ , rempli d'un fluide incompressible de masse volumique  $\rho$  et de hauteur  $h$  par rapport au fond du récipient.

La pression  $P_T$  totale que subit le fond du récipient correspond à celle exercée par ce liquide et celle caractérisée par  $P_0$ :

$$P_T = \rho.g.h + P_0$$



# Equation générale : propriétés

- 1- en chaque point M d'un fluide, il existe une pression hydrostatique s'exerçant dans toutes les directions.
- 2- la pression est la même en tout point de même côte z (suivant l'axe z) d'un fluide continu homogène.  
Les surfaces isobares et les surfaces équipotentielles de pesanteur sont confondues.  
Aussi, la surface libre d'un liquide en équilibre définit localement un plan horizontal (référentiel galiléen).
- 3- dans un liquide incompressible de masse volumique  $\rho$ , en équilibre, la différence de pression  $\Delta P$  entre deux points A et B est égale au poids d'une colonne de ce liquide, de section unité, dont la hauteur est égale à la différence d'altitude  $h$  entre A et B

Plus simplement :

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

# Equation générale : remarques

## Remarque 1 :

Il est indispensable de ne pas oublier l'orientation de l'axe z, par habitude on écrit la valeur absolue h de la différence d'altitude entre la côte A et la côte B.

Mais ne pas tenir compte de l'orientation de cet axe peut amener à des absurdités. En clair, il faut retenir l'équation fondamentale de la statique. Le reste n'est que déduction.

## Remarque 2 :

Soient deux points A de côte  $z_A$  et B de côte  $z_B$  d'un même liquide. Si la pression  $P_A$  au point A varie de  $\Delta P$ , alors la pression  $P_B$  au point B variera de  $\Delta P$ . On dit que les liquides transmettent intégralement les variations de pression.

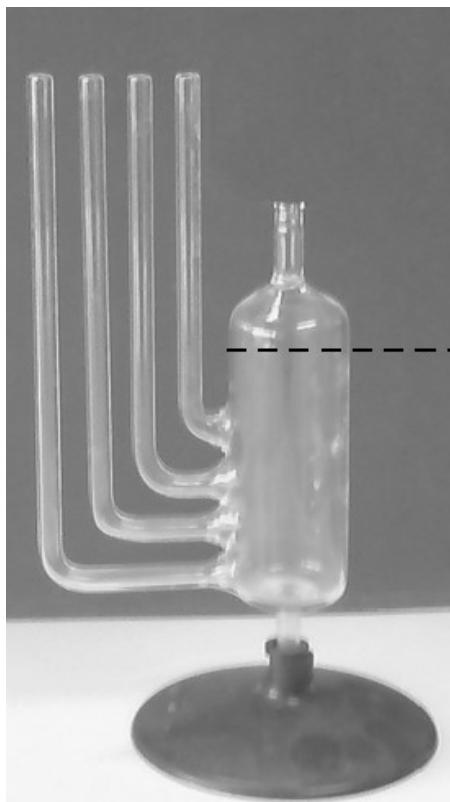
Aussi, la pression va t- elle augmenter avec la profondeur d'une quantité égale à :

$$\Delta P = \rho g(z_A - z_B) = \rho g \Delta z = \rho gh$$

## Remarque 3 :

Surface de séparation de deux liquides non miscibles : La surface de contact entre deux liquides non miscibles au repos est plane.

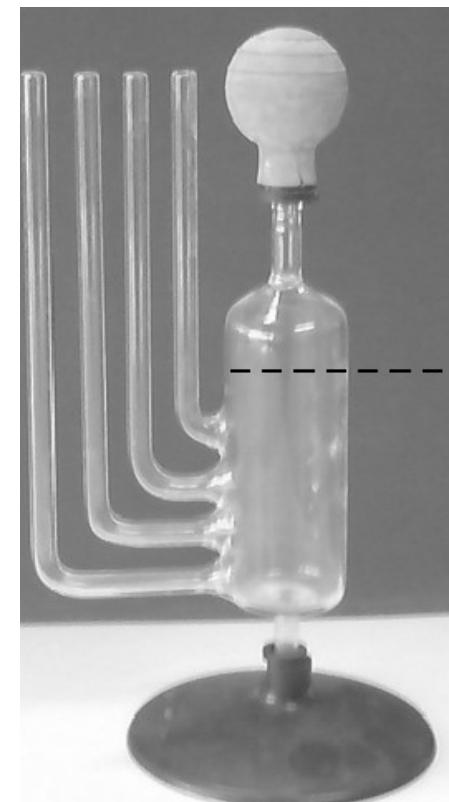
# Principe de Pascal : caractérisation (1)



A



schématisation



B

# Principe de Pascal : caractérisation (2)

Définition (Blaise PASCAL, 1651)

une pression appliquée à un fluide confiné à l'intérieur d'un récipient fermé est transmise intégralement à travers tout le fluide

Remarque :

- 1- le principe de PASCAL explicite la montée égale du liquide dans les quatre tubes. Cette montée de liquide correspond à la pression supplémentaire exercée à l'aide de la poire.
- 2- autre manière de caractériser le principe de PASCAL : dans un liquide incompressible en équilibre, toute variation de pression se transmet intégralement dans toutes les directions.

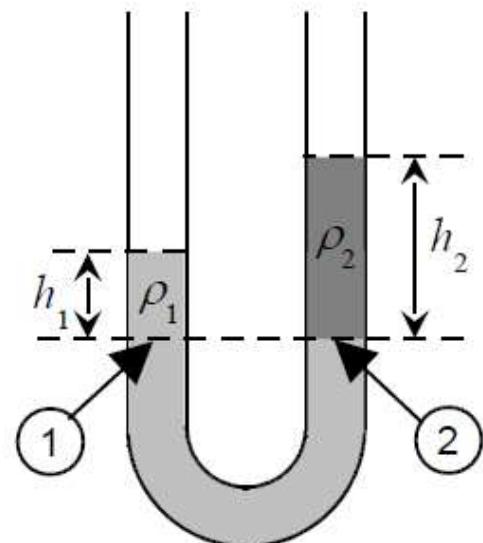
# Principe de Pascal : application

Tube en U rempli de deux liquides non miscibles

Explication :

- 1- selon le principe de PASCAL, les pressions mesurées aux points 1 et 2 sont égales.
- 2- traduction mathématique de cette réalité physique :

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 + P_{\text{surface } 1} = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + P_{\text{surface } 2}$$



Exemple d'application concrète :  
la presse hydraulique

# Principe d'Archimède – Flottabilité (1)

## Notion de poids apparent vis-à-vis du poids réel

### Explication :

1- soit un corps de masse volumique  $\rho$  immergé dans un fluide (liquide ou gaz) de masse volumique  $\rho_e$ .

2- ce corps se caractérise par un poids apparent qui tient compte du volume de fluide déplacé, correspondant au volume du corps considéré.

3- trois cas se présentent alors :

-  $\rho < \rho_e$  : la force résultante est orientée vers le haut

le corps va flotter sur ce liquide (tout en étant partiellement immergé)

-  $\rho > \rho_e$  : la force résultante est orientée vers le bas

le corps migre vers le bas (compte tenu de la gravité)

-  $\rho = \rho_e$  : la force dite d'Archimède équilibre parfaitement le poids P. Le corps reste en équilibre dans le fluide en étant entièrement immergé.

# Principe d'Archimède – Flottabilité (2)

Formulation du principe d'Archimède :

« Tout corps plongé dans un fluide au repos subit une force (dite poussée) ascendante (verticale) de norme égale au poids du volume de fluide déplacé (égal au volume immergé du corps) »

Traduction mathématique : équation qui régit le principe d'Archimède

dans un champ de pesanteur uniforme, l'expression de la force d'Archimède  $\vec{F}_A$  s'écrit (la norme  $F_A$ ) :

$$F_A = \rho_e \cdot V_i \cdot g$$

# Principe d'Archimède – Flottabilité (3)

Formulation du principe d'Archimède : schématisation

