

Introduction

Un **fluide** peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. Les ondes élastiques peuvent se propager au sein des fluides.

Un fluide épouse sans résistance la forme du récipient qui le contient, c'est ce qui constitue sa **fluidité**

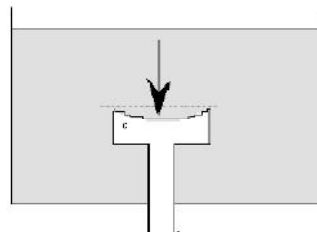
Pratiquement le fluide parfait n'existe pas, les fluides naturels sont constitués par des molécules présentant quelque adhérence entre elles, ce qui tend à gêner leurs mouvements relatifs, c'est ce qui constitue la viscosité. En hydrostatique on supposera que le fluide est parfait car la viscosité n'intervient pas.

Un fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler.

Un fluide est capable d'exercer une force sur un solide.

$$\text{Pression} = \frac{\text{norme de la force pressante perpendiculaire}}{\text{surface sur laquelle elle s'exerce}}$$

$$P = \frac{\|df\|}{dS}$$



La **pression** $p = F/S$

En **hydraulique** on ne s'intéresse qu'au **liquide**

Un **liquide** nécessite un contenant, sans quoi il coulerait, il peut prendre une forme quelconque, lorsqu'il est soumis à un système de forces convenables, ces forces pouvant être aussi faibles que l'on veut, à condition que l'on attende un temps suffisant. Le désordre prédomine à longue distance. Les ondes élastiques peuvent se propager au sein des liquides (Par exemple on peut déterminer la vitesse de propagation d'une variation de pression dans un liquide).

Un liquide est un fluide particulier.

Le liquide parfait est supposé isotrope, c'est-à-dire possédant les mêmes propriétés dans toutes les directions (sauf pour la cavitation). De plus il est incompressible.

2- Propriétés ou caractéristiques des liquides :

Les **liquides** sont isotropes, mobiles et visqueux.

L'**isotropie** assure que les propriétés sont identiques dans toutes les directions de l'espace.

La **mobilité** fait qu'ils n'ont pas de forme propre et qu'ils prennent la forme du récipient qui les contient.

La **viscosité** caractérise le fait que tout changement de forme d'un fluide réel s'accompagne d'une résistance (frottements).

2-1 Poids spécifique γ est la force d'attraction que la terre exerce sur l'unité de volume, c'est le rapport de son poids et de son volume ; et en particulier le poids de l'unité de volume. L'expression dimensionnelle est $MLT^{-2}/L^3 = ML^{-2}T^{-2}$

Pour les liquides, on peut considérer que γ est constant au cours des variations de pression :

$\gamma = \rho \cdot g$; ρ : densité ; g représente l'accélération de la pesanteur on la prend généralement égale à 10 ou 9.81m/s²

2-2 Masse spécifique ρ : C'est la mesure de la masse dans une certaine quantité de fluide. Elle correspond au nombre de molécules contenues dans le volume. La masse spécifique de l'eau est $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$ à 4° elle varie en fonction de la température

L'expression dimensionnelle est ML^{-3}

Tableau 1 : masse volumique/viscosité de quelques corps (D'après P.FRIENDS, 1979)

Substance	Masse volumique ρ en Kg/ m ³	Viscosité dynamique ou encore moléculaire μ en Ns/m
Eau	1000	$1.15 \cdot 10^{-3}$
Air	1.3	$1.75 \cdot 10^{-5}$
Glace	917	10^{-3}
Roche	2500 à 3000	10^{17} (gypse)

La masse spécifique de l'eau est $\rho = 1000 \text{ Kg/ m}^3$ $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

2-3 La densité d : c'est le rapport du poids ou de masse d'un corps au poids ou masse d'un égal volume d'eau à 4° Celsius. Ce paramètre n'a pas d'unité. $d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{eau}}}$

Si la température augmente, les molécules du fluide s'écartent et la densité diminue. Si la température baisse, c'est l'inverse.

L'eau a un comportement exceptionnel ; sa densité est maximale à 4°C (par suite de changement dans la disposition cristalline des molécules).

2-4 Fluides compressibles et incompressibles

Un fluide incompressible est un fluide dont la masse volumique ρ est constante quelque soit la variation de la pression. Le liquide est un fluide incompressible.

Les liquides sont **incompressibles** ce qui constitue une approximation excellente car β est constante

et donc $\frac{\Delta \rho}{\rho} = 0$

2-5 Elasticité

Par analogie avec l'élasticité d'un solide, on définit le coefficient d'élasticité β ou module de Young par le rapport de l'augmentation de pression à l'augmentation relative de volume ou de masse spécifique,

soit $\beta = - \frac{\Delta p}{\Delta \rho / \rho} = \frac{\Delta p}{\Delta \rho / \rho}$ Le signe moins (β) indique qu'une augmentation de pression entraîne une

diminution de volume, et donc une augmentation de la masse spécifique.

β a les dimensions d'une pression et s'exprime dans les mêmes unités.

L'inverse du coefficient d'élasticité β s'appelle le coefficient de compressibilité soit $K=1/\beta$

2-6 Volatilité- tension de vapeur-cavitation

Si l'eau à l'état liquide est mise en présence du vide une partie se vaporise jusqu'à ce que la pression ait atteint une valeur limite appelée : « pression ou tension de vapeur saturante », seuil bien déterminé pour une température déterminée.

A cette pression et cette température le liquide se transforme en vapeur. Ainsi à une température de 700°C et à la pression atmosphérique ordinaire, l'eau bout, c'est-à-dire se transforme en vapeur d'eau.

A la température ordinaire, la tension de vapeur saturante est de l'ordre de 0.03Kgf/cm², c'est-à-dire 3% de la pression atmosphérique.

L'apparition de vapeur au sein de la masse n'est pas à craindre dans un liquide au repos puisque la pression y augmente avec la profondeur.

Par contre dans le cas d'un liquide en mouvement, la variation de vitesse dans un écoulement se traduit par une variation corrélative de la pression. Si la pression devient inférieure à la tension de vapeur saturante, il y a apparition du phénomène de **cavitation**.

La **cavitation** : c'est l'apparition d'une cavité de vapeur d'eau qui en se résorbant à grande vitesse produit des dégradations graves des parois de la conduite sur lesquelles elles peuvent prendre naissance. La cavitation est influencée par la présence d'air dissous (25cm³/Litre par exemple à la température ordinaire sous 2bars de pression)

2-7 Tension superficielle-capillarité

Une molécule située à l'intérieur d'un liquide est soumise à des forces d'attraction agissant dans toutes les directions, et la somme vectorielle de celles-ci est nulle. Cependant, une molécule située à la surface d'un liquide est soumise à une force de cohésion bien déterminée, dirigée vers l'intérieur et

perpendiculaire à la surface. Ainsi pour déplacer les molécules vers la surface, il faut fournir un travail résistant contre cette force (de cohésion) et ainsi les molécules de la surface ont plus d'énergie que les molécules internes.

La tension superficielle d'un liquide est le travail nécessaire pour amener à la surface suffisamment de molécules de l'intérieur du liquide pour former une nouvelle unité de cette surface. Dimension : $M \cdot T^{-2}$

Ce travail est égal à la force tangentielle de contraction agissant le long d'un segment de longueur unité sur la surface (Kg/m)

Les phénomènes de capillarité qui se produisent à la surface libre d'un liquide dans un tube étroit sont dus à la tension superficielle. On constate une surélévation de la surface libre avec formation d'un ménisque concave, si le liquide mouille la paroi un abaissement de la surface libre avec formation d'un ménisque convexe si le liquide ne mouille pas la paroi.

La modification du niveau de la surface libre due à la capillarité pour le point du ménisque à tangente

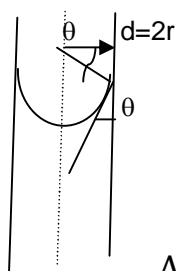
horizontale est donné par : $\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \left(\frac{2}{\rho g} \right) \left(\frac{\sigma}{R_1} \right) + \left(\frac{\sigma}{R_2} \right)$

R_1 et R_2 étant les rayons de courbures principaux de la surface de séparation.

Cette séparation de niveau est due à une diminution de pression.

Dans le cas d'un tube capillaire cylindrique la surface de séparation est une demi sphère.

$\Delta h = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g D}$ D est le diamètre du tube



θ : est l'angle de raccordement du liquide avec la paroi du tube

$\theta = 0$ si le liquide mouille complètement la paroi du tube.

$\Delta h = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g D}$ dans le cas d'un tube cylindrique et pour le point du

ménisque à tangente horizontale, c'est la loi de **Jurin**

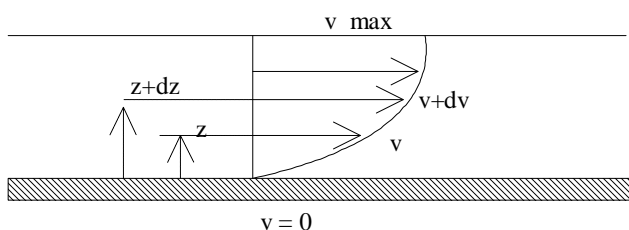
Pour le mercure $\Delta h = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g D}$

Cette caractéristique du fluide n'est importante qu'en laboratoire (exemple expérience du vase tournant), où on devra essayer soit d'en tenir compte soit d'utiliser des appareillages qui permettent d'éviter une capillarité trop importante.

2-8 La viscosité

Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et des forces d'interaction entre les molécules de fluide et celles de la paroi, chaque molécule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse. La viscosité mesure la résistance d'un fluide au changement de forme: la viscosité détermine la vitesse de mouvement du fluide (par exemple, la vitesse de déplacement d'une cuillère dans un bol: plus le liquide est visqueux, plus le mouvement est lent). L'addition d'une faible quantité de substance en suspension ou en solution peut augmenter grandement la viscosité du liquide. La viscosité moléculaire est désigné par μ ; elle est exprimée en N.s.m^{-2} . Les liquides ont une viscosité supérieure à celle des gaz. La viscosité varie en sens inverse de la température.

On dit qu'il existe un *profil de vitesse*



Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, la courbe représente le profil de vitesse.

Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de

fluide les unes sur les autres.

La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance z de cette courbe au plan fixe : $v = v(z)$.

Définition de la viscosité dynamique Ë Loi de Newton :

Considérons 2 couches distantes de dz .

La force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches

soit dv , à leur surface S et inversement proportionnelle à dz : $F = - \mu \frac{dv}{dz} S$

Le facteur de proportionnalité μ est le **coefficient de viscosité dynamique** du fluide.

dv/dz : *gradient de vitesse* ; le gradient de vitesse varie en fonction inverse de la viscosité fluide
T:contrainte tangentielle

Dimension : $[\mu] = \text{M} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$.

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité est le **Pa.s** ou **Poiseuille (PI)** : $1 \text{ PI} = 1 \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

On trouve encore les tables de valeurs numériques le coefficient de viscosité dans un *ancien système d'unités (CGS)* : L'unité est le **Poise (Po)** ; $1 \text{ PI} = 10 \text{ Po} = 1 \text{ daPo} = 10^3 \text{ cPo}$.

Autres unités : La viscosité de produits industriels (huiles en particulier) est exprimées au moyen d'*unités empiriques* : degré ENGLER en Europe, degré Redwood en Angleterre, degré Saybolt aux USA.

Viscosité cinématique :

Dans de nombreuses formules apparaît le rapport de la viscosité dynamique η et de la masse volumique ρ .

Ce rapport est appelé **viscosité cinématique** ν :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Dimension : $[\nu] = L^2 \cdot T^{-1}$.

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité n'a pas de nom particulier : (m^2/s) .

Dans le système CGS, l'unité est le Stoke (St) : $1 m^2/s = 10^4 \text{ St}$.

Influence de la température :

La viscosité des liquides diminue beaucoup lorsque la température augmente.

Ainsi pour l'eau :	à 10°C	$\eta = 1,3 \times 10^{-3} \text{ PI}$
	à 20°C	$\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ PI}$
	à 90°C	$\eta = 0,3 \times 10^{-3} \text{ PI}$

Il n'existe pas de relation rigoureuse liant η et T . On peut cependant utiliser un modèle utilisant l'équation empirique de Guzman-Andrade de la forme :

$\eta = a e^{b/T}$ a et b étant des constantes dépendant de la nature du liquide et T la température absolue.

Contrairement à celle des liquides, *la viscosité des gaz augmente avec la température.*

lois de comportement des liquides (quelques notions de rhéologie)

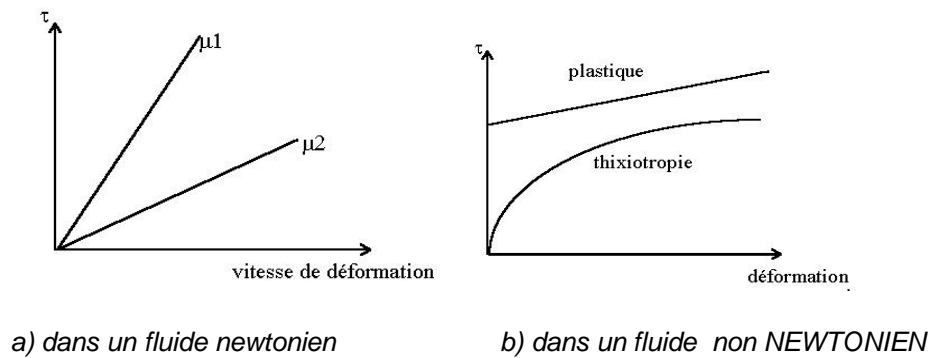
Par rapport aux faits expérimentaux, on est conduit à considérer deux types de fluides :

- D'une part **les fluides newtoniens** qui satisfont à la loi de Newton. Ces fluides ont un coefficient de viscosité indépendant du gradient de vitesse. C'est le cas des gaz, des vapeurs, des liquides purs de faible masse molaire.
- D'autre part **les fluides non-newtoniens**.

La viscosité varie selon la contrainte appliquée. Par exemple, on remue du yogourt dans un pot: il devient moins visqueux si on le bat rapidement (il se fluidifie). Une boue saturée d'eau diminue de viscosité si elle reçoit une secousse: c'est le cas des glissements de terrain déclenchés par les séismes. Les forces de liaison entre les particules sont modifiées; ce phénomène de thixotropie explique le phénomène des sables mouvants.

Exemple de fluides non-Newtoniens : les solutions de polymères, les purées, les gels, les boues, le sang, la plupart des peintures, etc. L'étude de ces fluides relève de la rhéologie : fluides pseudo plastiques, rhéoplastiques, thixotropiques, rhéopectiques.

Figure: relation contrainte/déformation



Les fluides non newtoniens ont généralement une forte masse moléculaire, les molécules sont liées les unes aux autres. Si ces liaisons sont brisées, la viscosité diminue et la déformation, ou le mouvement, est facilitée. Si un fluide coule, ou se déforme, à partir d'un certain seuil de contrainte et garde ensuite sa viscosité, on parle de comportement plastique.

3- Autres caractéristiques de l'eau pure

Etat de l'eau dans la nature

en fonction de la pression et de la température l'eau peut avoir les phases suivantes voir figure 2.

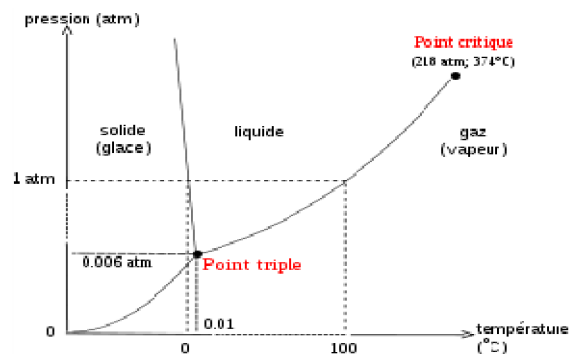


Fig 2 :Diagramme de phase de l'eau, montrant l'état de l'eau pure en fonction de la température et de la pression.

L'état solide de l'eau est la glace ; l'état gazeux est la vapeur d'eau. L'état de l'eau dépend des conditions de pression P et de température T . Il existe une situation unique (P, T) dans laquelle l'eau coexiste sous les trois formes solide, liquide, et gazeux ; cette situation est appelée « point triple de l'eau », elle a lieu à une température de 273,16 K (0,01 °C) et une pression de 611,2 Pa.

Les unités de température (degrés Celsius, kelvin) sont définies en prenant ce point triple de l'eau comme référence.

La conductivité électrique de l'eau pure à 20°C est très faible : $5,5 \times 10^{-6} \text{ S m}^{-1}$. L'eau pure est donc considérée comme un isolant électrique.

La masse d'un litre d'eau à la température de 4 °C était la première définition du kilogramme. Par approximation, on prend pour masse volumique de l'eau dans les conditions normales la valeur de $1\,000\text{ kg m}^{-3}$, une tonne par mètre cube ou encore un kilogramme par litre.

L'eau est pratiquement considérée comme un fluide incompressible dans la plupart des applications. Son coefficient de compressibilité est de $4,5 \times 10^{-10}\text{ Pa}^{-1}$

Tableau 2 : Quelques propriétés de l'eau en fonction de la température

Temp. (°C)	<u>Masse volumique</u> (g/cm ³)	<u>Chaleur massique</u> (J/g·K)	<u>Viscosité</u> (μPa·s)	<u>Pression saturante</u> (bar)	<u>Enthalpie de vaporisation</u> (kJ/kg)
0	0,99984	4,2176	1793	0,00611	2500,5
10	0,99970	4,1921	1307	0,01228	2467,9
20	0,99821	4,1818	1002	0,02338	2453,4
30	0,99565	4,1784	797,7	0,04245	2429,6
40	0,99222	4,1785	653,2	0,07382	2405,9
50	0,98803	4,1806	547,0	0,12346	2309,9
60	0,98320	4,1843	466,5	0,19936	2357,7
70	0,97778	4,1895	404,0	0,31181	2333,1
80	0,97182	4,1963	354,4	0,47379	2308,2
90	0,96535	4,2050	314,5	0,70123	2282,7
100	0,95840	4,2159	281,8	1,01325	2256,6

Température d'ébullition de l'eau en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Pression (Atm) ⁴	Temp. (°C)
--------------	-----------------------------	------------

0	1,00	100
4 810,9 (Mont Blanc)	0,54	85
8 844 (Everest)	0,32	72
19 200	0,063	37

Forme de l'eau

L'eau peut prendre beaucoup de formes. L'état solide est communément appelé glace (tandis que beaucoup d'autres formes existent ;) ; l'état gazeux est appelé vapeur d'eau (ou vapeur), et la phase liquide ordinaire est tout simplement appelée l'eau. Au-dessus d'une certaine température et pression critique (647 K et 22,064 MPa), les molécules d'eau entrent dans un état dit *supercritique*, dans lequel des agrégats moléculaires présentant des caractéristiques proches de l'eau liquide sont dans une phase de type gaz.

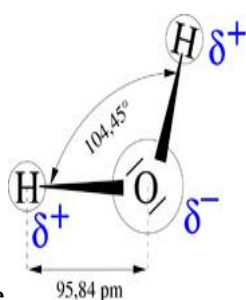


Fig 4 : Nature dipolaire

Une propriété très importante de l'eau est sa nature polaire. La molécule d'eau forme un angle de $104,45^\circ$ au niveau de l'atome d'oxygène entre les deux liaisons avec les atomes d'hydrogène. Puisque l'oxygène a une électronégativité plus forte que l'hydrogène, l'atome d'oxygène a une charge partielle négative δ^- , alors que les atomes d'hydrogène ont une charge partielle positive δ^+ .

Une molécule avec une telle différence de charge est appelée un dipôle (molécule polaire). Ainsi, l'eau a un moment dipolaire de 1,83 D.

Cette polarité fait que les molécules d'eau s'attirent les unes les autres, le côté positif d'une attirant le côté négatif d'une autre. Un tel lien électrique entre deux molécules s'appelle une liaison hydrogène.

À cause des liaisons hydrogènes également, la densité de l'eau liquide est supérieure à la densité de la glace.

L'eau se dissocie naturellement en ion oxonium H_3O^+ (auss appelé hydronium) et ion hydroxyde OH^- : $2 \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ La réaction est dite d'autodissociation ou d'autoprotolyse.

Dans cette réaction, l'eau joue à la fois le rôle d'acide et de base : comme acide, elle perd un proton H^+ et devient l'ion hydroxyde OH^- ; comme base elle gagne un proton H^+ et devient l'ion oxonium H_3O^+ . On dit donc que c'est une espèce amphotère ou un ampholyte.

à 25 °C, le pH de l'eau pure vaut donc 7, il est dit neutre.

Cet équilibre acide/base est d'une importance capitale en chimie minérale comme en chimie organique.

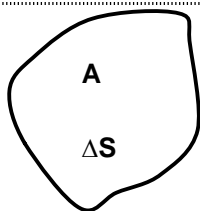
Grâce à sa polarité, l'eau est un excellent solvant. Quand un composé ionique ou polaire pénètre dans l'eau, il est entouré de molécules d'eau. La relative petite taille de ces molécules d'eau fait que plusieurs d'entre elles entourent la molécule de soluté. Les dipôles négatifs de l'eau attirent les régions positivement chargées du soluté, et vice versa pour les dipôles positifs. L'eau fait un excellent écran aux interactions électriques (la permittivité électrique ϵ de l'eau est de 78,5 à 25 °C), il dissocie donc facilement les ions.

4 La pression

4-1 Définition de la pression

La notion de pression est aussi valable pour un liquide au repos que pour un liquide en mouvement c'est-à-dire que ce facteur est très important dans tous les chapitres d'hydraulique.

Considérons un point **A** au sein d'une masse liquide. Faisant passer par ce point une surface ΔS .



comme le fluide est parfait la viscosité est négligée, et tous les éléments sont dans les mêmes conditions physiques, les molécules liquides n'exercent aucun frottement, leurs actions élémentaires respectives n'ont aucune composante dans le plan ΔS (composante tangentielle). Elles sont toutes normales à ΔS et admettent donc une résultante ΔP , également normale à ΔS et qui lui est proportionnelle. Cette résultante ΔP est appelée pression sur la

fraction ΔS . Le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta S}$ est la pression moyenne par unité de surface sur

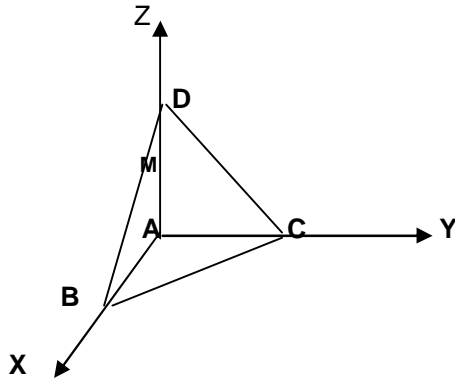
l'étendue ΔS . Si ΔS décroît indéfiniment en entourant le point A, le rapport $\frac{\Delta P}{\Delta S}$

tend vers une limite $\frac{\Delta P}{\Delta S} = p$ qu'on appelle la pression au point A.

4-2 Propriétés de la pression en un point

- fluide parfait

Reprenons l'exemple précédent et faisons passer trois axes **Ax**, **Ay** et **Az** arbitrairement choisis (voir figure suivante). Coupons ce tétraèdre par un plan **BCD** infiniment voisin de **A**.



Posons :

Aire **BCD** = dS ; Aire **ACD** = dS_x ; Aire **BDA** = dS_y ; Aire **CAB** = dS_z

Soient α , β , et γ les angles que fait la normale à **BCD** respectivement avec les 3 axes **Ax**, **Ay** et **Az**

On a évidemment :

$$\left\{ \begin{array}{l} dS_x = dS \cos \alpha \\ dS_y = dS \cos \beta \\ dS_z = dS \cos \gamma \end{array} \right.$$

Désignons par P la pression qu'on peut admettre constante en tout point de la surface dS .

La pression totale sur dS sera $dP = p \cdot dS$. Soit $P_x, P_y, P_z, dP_x, dP_y$ et dP_z les éléments homologues sur les autres faces du tétraèdre élémentaire **ABCD**.

On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} dP_x = P_x dS_x \\ dP_y = P_y dS_y \\ dP_z = P_z dS_z \end{array} \right.$$

dP, dP_x, dP_y et P_z sont normales aux faces du tétraèdre où elles s'appliquent.

Le tétraèdre est en équilibre sous l'action des forces suivantes : Les pressions déjà définies ;

Son poids ; et les forces d'inertie, s'il y a mouvement.

Le poids ($m \cdot g$) et les forces d'inertie ($-m \cdot \gamma$) sont des infiniment petits de l'ordre des volumes (3^{ème} ordre), alors que les poussées sont des forces infiniment petits de l'ordre des surfaces (2^{ème} ordre). On

peut donc les négliger devant les poussées, ce qui revient à dire que les pressions sur les quatre faces du tétraèdre se font équilibre.

L'équilibre sur Ax : $-dP \cos\alpha + dP_x = 0$ ou $P \cos\alpha = P_x \cos\alpha$ et donc $P = P_x$

en projetant sur les axes Ay et Az on aurait obtenu de la même manière : $P = P_y$ et $P = P_z$

si on rapproche le plan **BCD** du point **A** parallèlement à lui-même jusqu'à ce que **BCD** contienne **A**, les pressions P, P_x, P_y, P_z restent toujours égales entre elles, et deviennent les pressions au point A dans quatre directions normales aux faces du tétraèdre.

Les directions Ax Ay et Az ayant été choisies arbitrairement on peut énoncé le théorème fondamental suivant :

Dans un liquide parfait (sans viscosité) en équilibre ou en mouvement, la pression en un point est la même dans toutes les directions autour de ce point.

La pression est donc une grandeur scalaire, elle ne dépend que de la position du point et non de son orientation.

- **Fluide réel en écoulement**

Dans un fluide réel en écoulement, la pression sur un élément de surface pris dans la masse liquide en mouvement n'est plus normale à cet élément et admet une composante tangentielle dans le plan de l'élément de surface considéré (force de frottement), cette composante n'intervient pas en hydrostatique.

La contrainte tangentielle τ est proportionnelle à la variation ou au gradient de vitesse suivant la normale

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \quad \text{loi de Newton } \mu \text{ est la viscosité dynamique l'unité}$$

est le poise ou encore la centpoise.

Le signe \ddot{E} indique que la force sert à retarder la couche la plus lente (on reviendra à ces notions dans les chapitres suivants)

Définition : *Dans un fluide réel en écoulement, la pression sur un élément de surface est variable suivant l'orientation de l'élément au sein de la masse liquide, la pression en un point d'un liquide ; la pression en un point d'un liquide visqueux (réel) en mouvement varie suivant la direction dans la quelle on la mesure.*

Si le liquide visqueux est au repos, la viscosité n'intervient plus et la pression en un point est la même dans toutes les directions autour de ce point.

Unité de pression :

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)

$$1\text{bar}=10^5\text{pascal}=1000\text{mbar}=750\text{mm de mercure}=10.2\text{m CE}=0.987\text{atm} ; \text{ et } 1\text{ pascal}=1\text{N/m}^2$$

La pression atmosphérique est la pression exercée par l'atmosphère à la surface de la terre. Au niveau de la mer cette pression est équivalente à celle exercée par une colonne d'environ 760 mm de mercure. Elle varie tous les jours légèrement, elle est néanmoins voisine de 1 bar

Mesures de la pression

Il existe deux catégories principales d'instruments de mesures de pression:

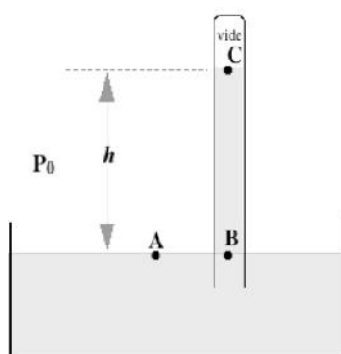
a- les manomètres à tubes en U:

Pour une mesure de pression relative ils sont ouverts à l'atmosphère à une de leurs extrémités et remplis par un liquide (couramment eau ou mercure). L'autre extrémité est reliée à l'enceinte dont on veut connaître la pression relative. Pour une mesure de pression différentielle les deux extrémités du tube sont reliées aux deux points entre lesquelles on cherche à connaître la pression différentielle. La mesure se lit dans les deux cas directement par différence de niveau du liquide dans les deux branches de tube. L'utilisation de l'eau ou du mercure est fonction du but poursuivi: l'eau convient mieux pour de faibles pressions (inférieures à 0,1 bar) grâce à une bien meilleure précision. Par contre le mercure s'impose pour des valeurs supérieures à cause de la très grande taille des tubes nécessaires

b- les manomètres métalliques: type manomètre de Bourdon

Suivant la pression du liquide à l'intérieur du tube métallique, celui-ci va augmenter ou diminuer son rayon de courbure et ce de manière plus ou moins importante en fonction de la valeur de l'écart entre la pression mesurée et la pression atmosphérique, l'aiguille solidaire du tube se déplace donc en fonction de la pression mesurée.

c- mesure de la pression atmosphérique (Torricelli, ~ 1643)



La pression atmosphérique (au niveau de la mer) vaut :

$$P_0 = 1,013.10^5 \text{ Pa (i.e. 1013 mbars)}$$

Soit 76 cm de mercure
ou ~ 10 m d'eau
ou ~ 1 kgf / cm²

Pression absolue et pression relative

La pression est définie comme contrainte en RDM, c'est une contrainte vectorielle. $P = F/S$

F : force de poussée

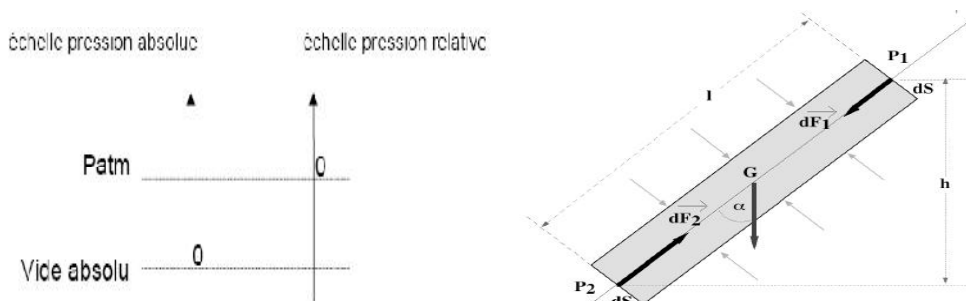
S : est la surface où est appliquée cette pression

La pression absolue est la pression mesurée par rapport au vide absolu (c'est à-dire l'absence totale de matière). Elle est toujours positive.

La pression relative se définit par rapport à la pression atmosphérique existant au moment de la mesure: cette pression peut donc prendre une valeur positive si la pression est supérieure à la pression atmosphérique ou une valeur négative si la pression est inférieure à la pression atmosphérique.

Les deux types de pressions correspondent physiquement à la même pression, elles sont simplement exprimées sur des échelles ayant des "zéros" différents. La relation suivante permet de passer de l'une à l'autre:

$$P_{\text{absolue}} = P_{\text{relative}} + P_{\text{atmosphérique}}$$



En tenant compte du poids (et en supposant le champ de pesanteur *uniforme et constant*)

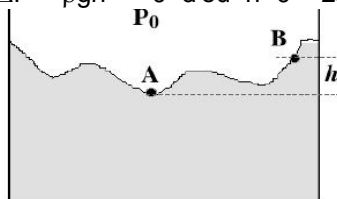
La différence de pression entre deux points quelconque d'un fluide en équilibre est égale au poids d'un cylindre de fluide de section unité et ayant pour hauteur la dénivellation entre les deux points

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

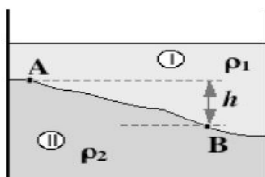
Application

- surface libre d'un liquide (dans un champ de pesanteur *uniforme*)

$\Delta P = \rho g h = 0$ d'où $h=0$ La surface libre d'un liquide au repos est plane et horizontale



- Surface de séparation de deux liquides non miscibles :



dans le fluide I,

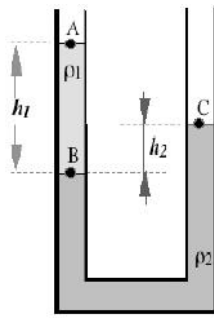
$$P_B - P_A = \rho_1 g h$$

dans le fluide II,

$$P_B - P_A = \rho_2 g h$$

vase communicants contenant plusieurs liquide miscibles :

$$\begin{aligned} \text{d'où } \rho_1 g h &= \rho_2 g h \implies g h (\rho_1 - \rho_2) = 0 \\ \text{or } g &\neq 0 \text{ et } (\rho_1 - \rho_2) \neq 0 \implies h = 0 \end{aligned}$$



$$P_B - P_A = \rho_1 g h_1$$

$$P_B - P_C = \rho_2 g h_2$$

$$\text{Or } P_A = P_C = P_0 \quad \text{d'où} \quad \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

Les dénivellations de deux liquides non miscibles dans des vases communicants sont en rapport inverse de leurs masses volumiques.

Si $\rho_1 = \rho_2$ *Un fluide est à la même hauteur dans deux vases communicants.*