

I La pression

rappel : le poids est une *force* $F = m \cdot g$

F en newtons [N], la *masse* m en kg et g est l'*accélération de la pesanteur* $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

La pression est égale au rapport de l'intensité la force pressante sur l'aire S de la surface pressée

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

P	La pression en pascals [Pa]
F	La norme de la force pressante en newtons [N]
S	La surface pressée par la force en mètres ² [m ²]

Unités usuelles
de pression :

le pascal : Pa	0 Pa	100 000 Pa
le bar	0	...
le millibar	0	...
le cm H ₂ O	0	...
le cm Hg	0	...
le PSI	0	...

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$= 1,013 \text{ bar}$$

Définition des pressions

La pression **absolue** est la pression réelle, dont on tient compte dans les calculs sur les gaz.

La pression **atmosphérique** ou pression barométrique est la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15°C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier, de ± 25 mbar, avec la pluie ou le beau temps.

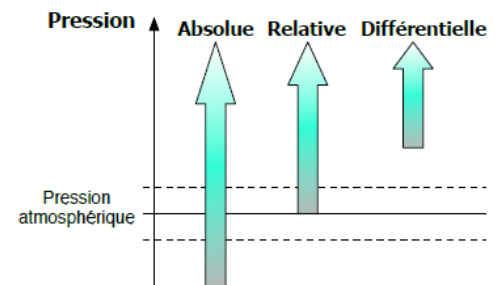
Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique).

La pression **relative** est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est le plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, sont soumis à la pression atmosphérique. Pour mesurer une pression absolue, il faut faire un vide poussé dans une chambre dite de référence.

Pression **différentielle** : C'est une différence entre deux pressions, dont l'une sert de référence. Une pression différentielle peut prendre une valeur négative.

Le **vide** : Il correspond théoriquement à une pression absolue nulle.

Il ne peut être atteint, ni dépassé. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé.

**II La pression d'un point d'un liquide**

La pression en un point d'un liquide dépend de la profondeur de ce point et de la masse volumique du liquide.

$$P = \rho g h$$

P	La pression en pascals [Pa]
ρ	La masse volumique en [kg/m ³]
g	L'accélération de la pesanteur [m/s ²]
h	La hauteur en mètres [m]

La pression est donc la même en tout point d'un plan horizontal.

La pression d'un fluide en un point donné est indépendante de la forme du récipient et de la quantité du fluide.

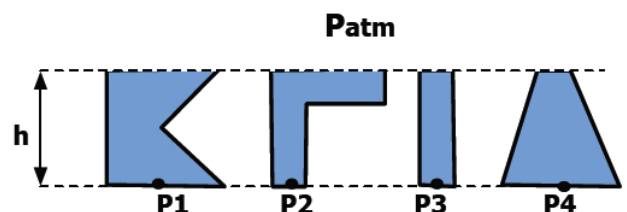
$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_{\text{atm}} + \rho g h$$

Pour un point donné, la pression est d'autant plus grande que la masse volumique du fluide est plus grande.

→ masses volumiques : pour l'eau $\rho_{\text{eau}} =$

pour le mercure $\rho_{\text{Hg}} =$, pour l'huile $\rho =$, pour l'alcool $\rho =$, pour l'air $\rho =$

→ calculer la pression au fond d'une piscine de profondeur 2 m



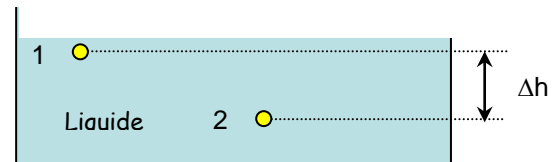
III Le principe fondamental de l'hydrostatique

Le principe fondamental de la hydrostatique donne la différence de pression P_1 et P_2 entre deux points quelconques 1 et 2 d'un liquide de masse volumique ρ .

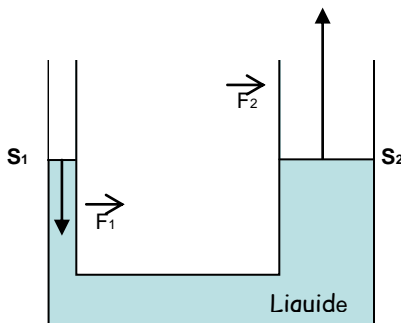
Si les points, 1 et 2, possèdent une différence de profondeur égale à h , l'expression de ce principe est alors de la forme.

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

P_1	La pression au point 1 en pascals [Pa]
P_2	La pression au point 2 en pascals [Pa]
ρ	La masse volumique du liquide en kilogrammes/m ³ [kg.m ⁻³]
g	La valeur de l'intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$
Δh	La différence entre les deux points en mètres [m]



IV La transmission de la pression dans un liquide

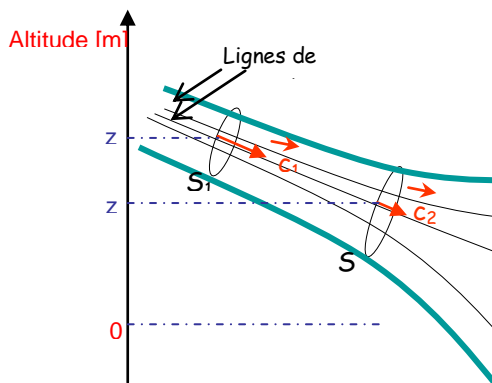


Un liquide est incompressible, il transmet intégralement une variation de pression en l'un de ses points à tous les autres points, d'où la relation

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

F_1	La force de pression au point 1 en newtons [N]
F_2	La force de pression au point 2 en newtons [N]
S_1	La surface pressée 1 en mètres ² [m ²]
S_2	La surface pressée 2 en mètres ² [m ²]

V L'écoulement d'un fluide idéal



a Le débit volumique

Un fluide s'écoule à l'intérieur d'un tube, l'écoulement est permanent si les lignes de courant ne varient pas au cours du temps.

Le débit volumique Q est le volume V de fluide écoulé par unité de temps, il s'exprime par la relation :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q	Le débit du fluide en mètres ³ /seconde [m ³ .s ⁻¹] (parfois nommé D , Q pour distinguer de diamètre du tube)
V	Le volume du fluide écoulé en mètres ³ [m ³]
t	Le temps d'écoulement du fluide en secondes [s]

Pour un écoulement permanent, le débit volumique Q d'un fluide qui s'écoule par une section S , à une vitesse c est égal au produit de cette vitesse par la section, ainsi :

$$Q = c \cdot S$$

Q	Le débit du fluide en mètres ³ /seconde [m ³ .s ⁻¹]
c	La vitesse d'écoulement du fluide en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
S	La section droite du conduit en mètres ² [m ²]

b Conservation du débit volumique

Le fluide s'écoule à l'intérieur d'un tube qui passe d'une section S_1 à une section S_2 , il passe également d'une vitesse d'écoulement c_1 à la vitesse c_2 .

Le débit volumique est le même à travers toute section d'un circuit, donc le débit Q_1 au niveau de la première section est égal au débit Q_2 .

L'équation de la conservation du débit s'exprime par la relation

$$Q = c_1 \cdot S_1 = c_2 \cdot S_2 = \text{Cte}$$

c_1	La vitesse d'écoulement du fluide en 1 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
S_1	La section d'écoulement 1 en mètres ² [m ²]
c_2	La vitesse d'écoulement du fluide en 2 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
S_2	La section d'écoulement 2 en mètres ² [m ²]

➔ Nous constatons qu'une section plus petite implique une vitesse d'écoulement plus importante du liquide qui la traverse.

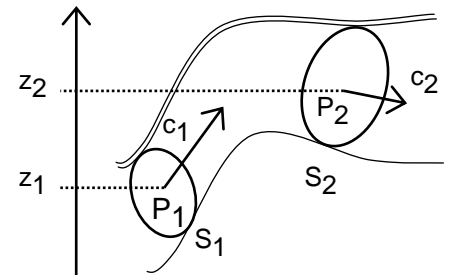
c Equation de Bernoulli

Nous sommes dans le cas d'un écoulement en régime établi et sans frottement d'un fluide parfait et incompressible.

L'équation de Bernoulli traduit la variation de vitesse c , de la pression P et de l'altitude z d'une portion de fluide parfait de masse volumique ρ , entre les deux niveaux 1 et 2, ainsi

$$\frac{1}{2} \rho \cdot c_1^2 + P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot c_2^2 + P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

ρ	La masse volumique du liquide en kilogrammes/m ³ [kg.m ⁻³]
c_1	La vitesse d'écoulement du fluide en 1 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
P_1	La pression au point 1 en pascals [Pa]
g	La valeur de l'intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$
z_1	La valeur de l'altitude du point 1 en mètres [m]
c_2	La vitesse d'écoulement du fluide en 2 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
P_2	La pression au point 2 en pascals [Pa]
z_2	La valeur de l'altitude du point 2 en mètres [m]

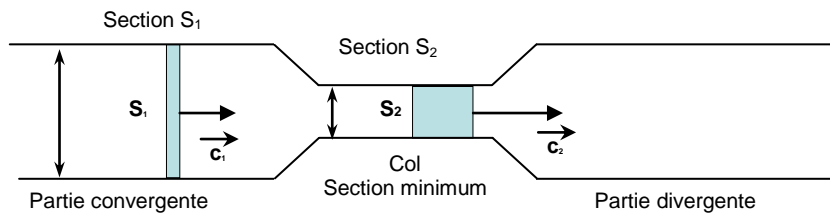


la formule de Bernoulli peut aussi s'écrire $\frac{1}{2} \rho \cdot (c_1^2 - c_2^2) + (P_1 - P_2) + \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2) = 0$

Exemple :

d Tube de Venturi

Dans le cas d'une conduite horizontale



L'équation de Bernoulli se simplifie, en effet chaque ligne de courant est quasiment horizontale, les deux altitudes z_1 et z_2 étant égales $\rho.g.z_1 = \rho.g.z_2$

ainsi

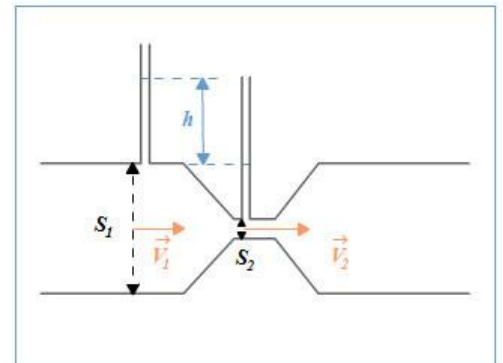
$$\frac{1}{2} \rho.c_1^2 + P_1 = \frac{1}{2} \rho.c_2^2 + P_2$$

ρ	La masse volumique du liquide en kilogrammes/m ³ [kg.m ⁻³]
c_1	La vitesse d'écoulement du fluide en 1 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
P_1	La pression au point 1 en pascals [Pa]
c_2	La vitesse d'écoulement du fluide en 2 en mètres/seconde [m.s ⁻¹]
P_2	La pression au point 2 en pascals [Pa]
z_2	La valeur de l'altitude du point 2 en mètres [m]

➔ Nous constatons que la vitesse d'écoulement d'un fluide augmente lorsque la section qu'il traverse devient plus petite, ce qui implique une pression plus faible.

➔ le tube de Venturi est utilisé pour mesurer le débit Q d'un fluide

Q varie avec h ; on montre que $Q = \sqrt{\frac{2gh}{\frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2}}}$

**VI** L'écoulement d'un fluide réel**a** La viscosité

Un fluide réel en mouvement subit en réalité des pertes d'énergie dues au liquide lui-même ainsi qu'aux frottements sur les parois des canalisations. La viscosité d'un fluide caractérise sa facilité à s'écouler, plus la viscosité est grande plus il s'écoule difficilement. La viscosité cinématique ν est le rapport de la viscosité dynamique η et de la masse volumique ρ du fluide.

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$	ν	La viscosité cinématique du fluide en mètres ² /seconde [m ² .s ⁻¹]
	η	La viscosité dynamique du fluide en pascals . seconde [Pa.s]
	ρ	La masse volumique du liquide en kilogrammes / m ³ [kg.m ⁻³]

b. Les différents régimes d'écoulement

Plusieurs types d'écoulement sont possibles dans une conduite cylindrique, ils sont déterminés par un terme appelé **nombre de Reynolds**, noté Re , nombre sans unités, il se calcule ainsi

$$Re = \frac{cD}{\nu}$$

Re	Le nombre de Reynolds sans dimension [sans unité]
c	La vitesse moyenne d'écoulement du fluide en mètres/seconde [$m.s^{-1}$]
D	Le diamètre du conduit en mètres [m]
ν	La viscosité cinématique du fluide en mètres ² /seconde [$m^2.s^{-1}$]

- $Re < 2000$ L'écoulement est laminaire
- $2000 < Re < 3000$ L'écoulement est intermédiaire
- $Re > 3000$ L'écoulement est turbulent

c. Les pertes de charge

L'ensemble des pertes d'énergie que subit un fluide réel en mouvement s'appelle les pertes de charge. Le débit réel est donc légèrement inférieur au débit théorique comme l'exprime la relation :

$$Q_{\text{réel}} = \alpha \cdot Q_{\text{théorique}}$$

Pour une canalisation le coefficient α est donné par le constructeur, il permet donc de déterminer le débit réel puisque le débit théorique peut être calculé.

d. Equation de Bernoulli

En tenant compte des pertes de charge, que nous notons ΔP , en pascals, l'équation de Bernoulli devient

$$\frac{1}{2} \rho \cdot (c_2^2 - c_1^2) + (P_2 - P_1) + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) = - \Delta P$$

VII Etude d'une pompe

L'équation de Bernoulli permet de décrire les échanges d'énergie entre un fluide et une machine, elle permet donc de dimensionner une pompe. L'énergie W échangée entre une pompe et le fluide est donnée par la relation générale

$$W = P + E_p + E_c + P_e$$

W	L'énergie totale entre la pompe et le fluide en joules [J]
P	La variation d'énergie des différentes pressions en joules [J]
E_p	L'énergie potentielle du fluide en joules [J]
E_c	L'énergie cinétique du système en joules [J]
P_e	L'ensemble des pertes du système en joules [J]

La rotation des palettes d'une pompe crée une aspiration du fluide au niveau de l'entrée et un refoulement de ce fluide vers la sortie de la pompe. La pompe se caractérise par le rapport de son débit par sa fréquence de rotation, ce quotient s'appelle la **cylindrée**, il s'exprime avec la relation

$$Cyl = \frac{Q}{n}$$

Cyl	La cylindrée de la pompe en $m^3/tour$ [$m^3.tr^{-1}$]
Q	Le débit moyen du fluide en mètres ³ /seconde [$m^3.s^{-1}$]
n	La fréquence de rotation de la pompe [$tr.s^{-1}$]

La puissance absorbée par la pompe est d'origine mécanique, elle s'exprime donc par la forme

$$P_a = T.\Omega$$

P_a	La puissance absorbée par la pompe en watts [W]
T	Le moment du couple mécanique en newton-mètres [Nm]
Ω	La vitesse angulaire en radians par seconde [$rad.s^{-1}$]

La puissance utile est le produit de la pression du fluide éjecté par la pompe par le débit du fluide

$$P_u = P.Q$$

P_u	La puissance restituée par la pompe en watts [W]
P	La pression de sortie de pompe du fluide en pascals [Pa]
Q	Le débit moyen du fluide en mètres ³ /seconde [$m^3.s^{-1}$]

puissance = pression x débit