

Chapitre II MESURE DE PRESSION

La pression est un paramètre important entrant dans le comportement des phénomènes liés aux fluides. De même les corps solides exercent ou subissent des pressions.

II – 1 La pression grandeur et unités

La pression est la force appliquée perpendiculairement à une surface ou répartie sur celle-ci.

Elle est définie par :

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

où P : pression en Pa (1 Pa = 1 N/m²) , F : force en Newton et S : surface en m²

Il en ressort que les unités de pression correspondent à des unités de force divisées sur des unités de surface. Par exemple le pascal (Pa) est la pression uniforme qui, agissant sur une surface plane d'un mètre carré, exerce perpendiculairement à cette surface une force totale d'un newton.

Unités de pression	Pa	bar	kgf/cm ²	atm	cm eau	mm Hg	psi
1 pascal	1	10 ⁻⁵	1,02 10 ⁻⁵	0,9869 10 ⁻⁵	1,02 10 ⁻²	7,5 10 ⁻³	1,451 10 ⁻⁴
1 bar	10 ⁵	1	1,02	0,9869	1,02 10 ³	750	14,51
1 kgf/cm ²	98 10 ³	0,980	1	0,968	1000	735	14,22
1 atmosphere	101325	1,013	1,033	1	1033	760	14,70
1 cm eau	98	98 10 ⁻⁵	10 ⁻³	0,968 10 ⁻³	1	0,735	0,01422
1 mm Hg (torr)	133,33	13,33 10 ⁻³	1,36 10 ⁻³	1,315 10 ⁻³	1,36	1	0,01934
1 inch (pouce) Hg	3386	33,86 10 ⁻³	0,03453	0,03345	34,53	25,4	0,4910
1pound per square inch (psi)	6895	6,89 10 ⁻²	0,07032	0,068	70,3	51,75	1

Tableau de correspondance entre les unités de pression

II – 2 Les différents types de pression

Pression absolue

C'est la pression mesurée par rapport au vide ou au zéro absolu, Le zéro absolu représentant une absence de pression.

Pression atmosphérique

C'est la pression exercée par l'atmosphère de la terre. Au niveau de la mer elle est de 1,012 bar et elle peut varier de +/- 25 mbar avec la pluie ou le beau temps. La valeur de la pression atmosphérique décroît lorsque l'altitude augmente.

Pression relative

C'est la pression au dessus de la pression atmosphérique. Elle représente la différence entre la pression mesurée et la pression atmosphérique existante. C'est celle qui est le plus souvent utilisée, parce que la plupart des capteurs sont soumis à la pression atmosphérique.

En ajoutant la pression relative et la pression atmosphérique, on obtient la pression absolue.

Pression différentielle

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

Pression hydrostatique

Les fluides sont également soumis à la force de pesanteur. C'est pourquoi, par exemple, dans le cas d'une colonne liquide contenue dans un tube ouvert, placé verticalement, la pression en un point M, distant d'une hauteur h de la surface libre, est égale à la pression atmosphérique P_a augmentée du poids de la colonne s'exerçant sur l'unité de surface :

$$P_m = P_a + \rho g h$$

Dans le cas de deux fluides non miscibles de masses volumiques ρ_1 et ρ_2 et de hauteurs h_1 et h_2 , la pression au fond du tube est :

$$P_m = P_a + (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2)g$$

Pression hydrodynamique

Dans un fluide en mouvement on distingue deux sortes de pression :

- **La pression statique** : qui est la pression que mesurerait un capteur qui se déplacerait à la vitesse du fluide. C'est en fait la pression du fluide au repos.
- **La pression dynamique** : qui est due au déplacement du fluide. Si V est la vitesse d'écoulement et ρ la masse volumique du fluide, alors le mouvement crée une pression supplémentaire $P = \frac{1}{2} \rho V^2$

II – 3 Mesure de pression

Lors de la mesure d'une pression il faut toujours préciser si l'indication correspond à une pression absolue, une pression relative ou à une pression différentielle. Ainsi, suivant le type de mesure et donc de l'instrument utilisé, le zéro de l'indication correspond au vide, à la pression atmosphérique ou à une autre pression connue utilisée comme référence, ou alors à l'égalité de deux pressions.

On peut classer les capteurs de pression en deux catégories :

- Les capteurs utilisant le déplacement d'un liquide : On trouve, parmi ces instruments le plus simple de tous les indicateurs de pression, le manomètre à tube en U. Lorsque les pressions statiques sont faibles et que seule une indication visuelle est requise, on se sert de manomètres à liquide.
- Les capteurs à déformation de solides : On utilise ces capteurs en cas de besoin d'une indication ou d'un enregistrement direct de la pression différentielle et là où un fluide de remplissage sera nocif pour le procédé. Sous l'action de la pression, un solide se déforme de manière élastique. Différents matériaux sont utilisés, caoutchouc, matières plastiques, alliages métalliques, acier inoxydable. La membrane peut être soumise à une pression sur l'une de ses faces ou à deux pressions (une par face). La pression peut agir directement sur la membrane ou indirectement par l'intermédiaire d'une tige ou d'une liaison hydraulique.

II - 3 - 1 Manomètres hydrostatiques

Les manomètres à colonne de liquide couvrent un domaine de 0 à $5 \cdot 10^5$ Pa pour la mesure de pression de gaz uniquement. Ils sont plutôt réservés pour des usages en laboratoire ou comme appareils étalons et ils permettent la mesure des pressions absolues, relatives ou différentielles.

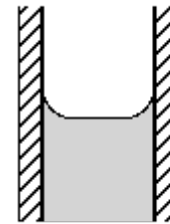
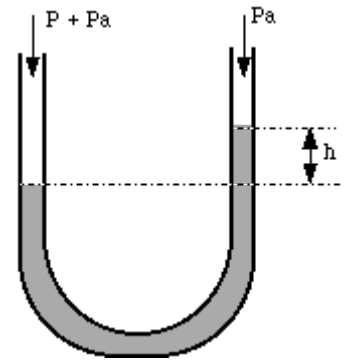
a) Manomètre à tube en U

C'est la hauteur du liquide qui fournit la mesure de la pression : $P = \rho g h$

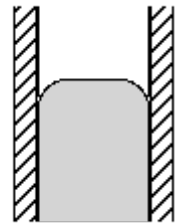
Où ρ est la masse volumique du liquide et g l'accélération de la pesanteur.

La sensibilité de l'appareil $S = \frac{dh}{dp} = \frac{1}{\rho g}$ est d'autant plus importante que la masse volumique ρ du liquide est faible.

Dans les tubes en U de faible section ($< 5 \text{ mm}$), contenant un liquide manométrique, il existe d'une part, des forces de cohésion entre les molécules du liquide, et d'autre part, des forces d'adhésion entre les molécules du liquide et celle du tube (phénomène de capillarité). Si les forces d'adhésion sont supérieures aux forces de cohésion, on dit que le liquide mouille les parois du tube, ce qui se traduit par l'apparition d'un ménisque convexe. Par contre, si les forces de cohésion sont supérieures aux forces d'adhésion, le liquide ne mouille pas les parois du tube et il se forme un ménisque concave.



Eau + verre



Mercure + verre

b) Manomètre à réservoir

Le manomètre à tube en U présente l'inconvénient de multiplier par deux l'erreur de lecture (parallaxe et problème de capillarité), puisque la hauteur est mesurée sur les branches gauche et droite du tube. Pour y remédier, on remplace la branche gauche par un réservoir de grand diamètre, de sorte à pouvoir négliger les variations de la hauteur h_1 dans ce dernier.

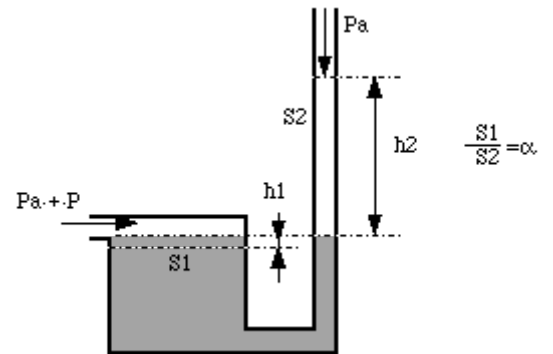
Le volume de liquide chassé du réservoir sous l'effet de la pression

$$\text{est } V = S_1 h_1 = S_2 h_2 \Rightarrow \frac{\pi D^2 h_1}{4} = \frac{\pi d^2 h_2}{4}$$

Avec D : diamètre du réservoir et d : diamètre de la branche droite

Ainsi si on veut que l'appareil ait une précision n , son diamètre D

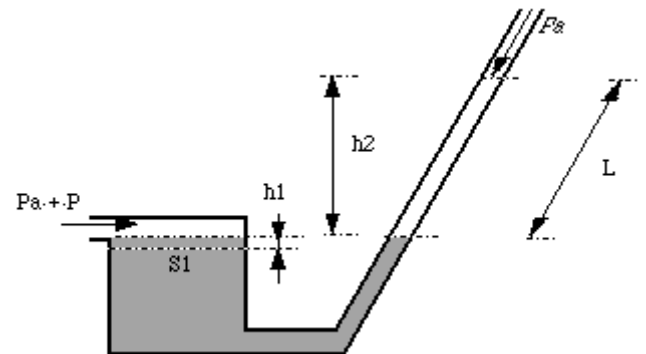
$$\text{doit être : } D = d \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \frac{d}{\sqrt{n}}$$



c) Manomètre à tube incliné

Pour pouvoir mesurer de faibles pressions, on étend l'échelle de lecture en inclinant la branche gauche d'un angle α (généralement 30°). On obtient ainsi la relation :

$$P = \rho g L \sin \alpha \quad \text{et} \quad L = \frac{h_2}{\sin \alpha}$$



d) Avantages et inconvénient des manomètres à tubes

Avantages :

- Bonne précision, on peut dépasser 0,1 %.
- Bonne stabilité.
- Construction simple et peu coûteuse.

Inconvénients :

- Encombrant et fragile.
- Ils sont sensibles à la température et aux vibrations.
- Les tubes doivent être parfaitement calibrés.
- Les liquides visqueux, malpropres, les tubes gras, sont des causes d'erreurs.
- Ces appareils ne traduisent pas la pression mesurée en un signal analogique exploitable en régulation industrielle.

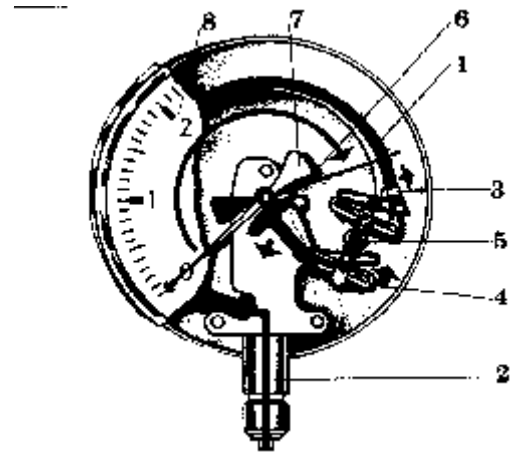
II - 3 - 2 Manomètres à déformation de solide

a) Le manomètre à tube de Bourdon

Le tube de Bourdon est brasé, soudé ou vissé avec le support de tube qui forme généralement une pièce complète avec le raccord. Par l'intermédiaire d'un trou dans le raccord, le fluide à mesurer passe à l'intérieur du tube. La partie mobile finale du tube se déplace lors de changement de pression (effet Bourdon). Ce déplacement qui est proportionnel à la pression à mesurer, est transmis par l'intermédiaire du mouvement à l'aiguille et affiché sur le cadran en tant que valeur de pression. Le système de mesure, le cadran et l'aiguille sont montés dans un boîtier.

Les manomètres à tube de Bourdon sont utilisés pour la mesure de pressions positives ou négatives de fluides gazeux ou liquides, à condition que ceux-ci ne soient ni hautement visqueux ni cristallisant. Les étendues de mesure s'étalent sur toutes les plages de 0... 0,6 bar à 0...4000 bars.

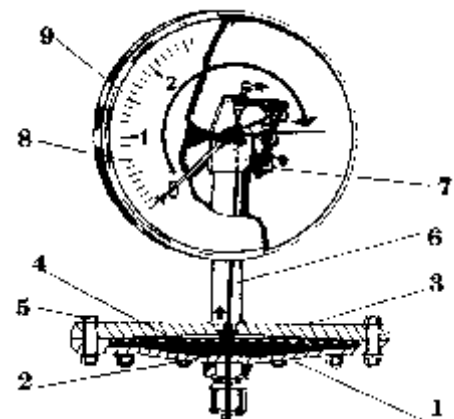
La forme du tube dépend de l'étendue de mesure. Pour les étendues jusqu'à 0... 40 bars inclus on utilise normalement la forme en arc et à partir de 40 bars la forme hélicoïdale. Les appareils sont fabriqués avec le raccordement vertical ou arrière. Il est conseillé de ne les utiliser qu'entre le premier quart et le dernier quart de l'échelle à cause de l'hystérésis. Il convient également de les protéger contre les risques de surpression ou de dépassement d'échelle. Le tube de Bourdon ne permet pas de mesurer les phénomènes rapides et évolutifs de pression. L'incertitude de mesure varie de 0,02 à 0,2 % pour le domaine de mesure de 0 à $3 \cdot 10^8$ Pa.



1.tube de Bourdon 2.Support de tube
3.Capuchon du tube 4.Secteur denté
5.Biellette 6.Engrenage 7.Aiguille 8.Cadran

b) Manomètre à membrane

La membrane est tendue entre deux brides. Par un trou dans le raccord, le fluide à mesurer arrive dans la chambre de pression en dessous de la membrane. La membrane se déplace sous l'effet de la pression. Le déplacement de la membrane est proportionnel à la pression mesurée et est transmis par l'intermédiaire du mouvement à l'aiguille et affiché sur le cadran en tant que valeur de pression. Afin d'être protégés contre des détériorations, le système de mesure, le cadran et l'aiguille sont montés dans un boîtier. En cas de risque de corrosion due à des fluides agressifs, on peut protéger toutes les parties en contact avec le fluide par enduction de plastique ou par un film de protection.

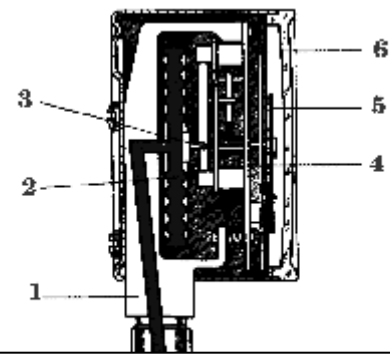


1.Bride inférieure 2.Chambre de pression
3.Bride supérieure 4.Membrane 5. Vis
6.Biellette 7.Engrenage 8.Aiguille 9.Cadran

Les manomètres à membrane sont utilisés principalement pour la mesure de faibles pressions positives ou négatives de fluides gazeux ou liquides. Les étendues de mesure possibles s'étalent sur toutes les plages de 0...16 mbars à 0... 40 bars. Les membranes de ces manomètres sont très minces et ondulées. De par leur forme, ils sont moins sensibles aux vibrations que les manomètres à tube et sont plus faciles à protéger contre les surcharges et les fluides agressifs. Pour l'utilisation avec des fluides hautement visqueux ou cristallisant il est possible de les équiper de brides ouvertes. Les appareils sont fabriqués avec un montage de membrane horizontal (à angle droit par rapport au cadran) ou vertical (parallèle par rapport au cadran). Étant donné qu'il n'y a pas de différence fondamentale de fonctionnement, la description suivante concerne l'exécution la plus courante, avec la membrane horizontale.

c) Manomètre à capsule

La capsule est montée sur le raccord soit directement soit par l'intermédiaire d'un tube métallique. Par un trou dans le raccord le fluide à mesurer passe à l'intérieur de la capsule. Sous l'effet de la pression les demi-parties de la capsule se bombent. Ce déplacement proportionnel à la pression mesurée est transmis par l'intermédiaire du mouvement à l'aiguille et affiché sur le cadran en tant que valeur de pression. Afin d'être protégés contre des détériorations, le système de mesure, le cadran et l'aiguille sont montés dans un boîtier.

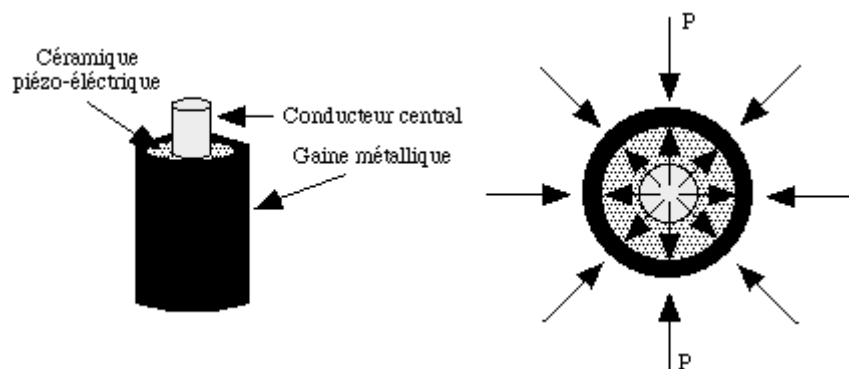


1.support de l'organe moteur 2.Capsule
3.Bielle 4.Mouvement 5.Aiguille 6.Cadran

Les manomètres à capsule sont utilisés pour la mesure de faibles et très faibles pressions positives ou négatives, spécialement pour des fluides gazeux. Il y a certaines restrictions pour la mesure de liquides. Les étendues de mesure possibles s'étalent sur toutes les plages de 0... 2,5 mbar à 0... 600 mbar. Les organes moteurs à capsule sont une forme spéciale de membrane. Ils comportent deux membranes ondulées concentriquement, assemblées de façon étanche en une capsule. Pour les étendues de mesure très basses il est possible d'assembler plusieurs capsules pour en faire un genre de soufflet. Pour les appareils type de profil on utilise un soufflet conventionnel. Les appareils sont fabriqués soit avec la capsule montée verticalement (parallèle au cadran), soit horizontalement (perpendiculaire au cadran). Le raccordement se fait en dessous ou à l'arrière.

d) Capteur piézo-électrique

La piézo-électricité est la particularité que possèdent certains cristaux (quartz, céramique, titanate de baryum...) de se polariser électriquement lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques. La quantité de charges électriques produites est proportionnelle sur une large plage aux efforts appliqués.



Les structures piézo-électriques utilisées comme corps d'épreuve assurent directement la transformation de la contrainte, produite par l'application d'une force F , en un charge électrique Q .

On obtient ainsi à un coût avantageux des capteurs très rapides et permettant la miniaturisation pour mesurer des pressions supérieures à 100 mbar. Par contre ils présentent l'inconvénient d'être peu sensible et influencés par la température.