

1 - DEBITMETRE A ORGANE DEPRIMOGENE

Il s'agit de créer au sein de la canalisation une restriction localisée de la section (ou constriction) qui engendrera une différence de pression statique dont la mesure nous permettra d'en déduire le débit.

Les débitmètres à pression différentielle sont les plus anciens appareils de mesure de débit. Ils étaient en effet mis en œuvre de façon empirique pour la facturation de l'eau distribuée par les aqueducs romains. Les premières études scientifiques furent réalisées au début du 17ème siècle par Castelli et Torricelli puis par Bernoulli en 1738 qui établit sa célèbre équation de conservation de l'énergie.

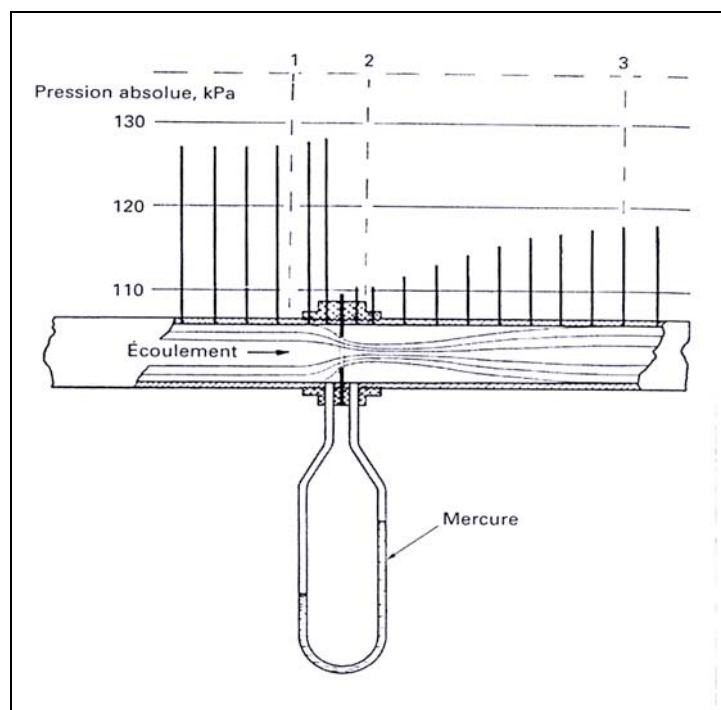
Dans l'industrie les premiers dispositifs standardisés tels que les plaques à orifice apparurent au début du 20ème siècle dans l'industrie du pétrole aux Etats-Unis. Les premières tuyères apparurent en Allemagne vers 1930.

Il existe trois types d'organe déprimogène : les diaphragmes, les Venturi et les tuyères. Nous étudierons plus particulièrement ici les diaphragmes sachant que leur étude permet de comprendre aisément les deux autres types.

11 - LE DIAPHRAGME

111 - PRINCIPE

Un diaphragme est une plaque rigide de faible épaisseur et percée d'un orifice. Cette plaque s'introduit dans la canalisation perpendiculairement au sens d'écoulement.



Le liquide dont le débit est constant voit obligatoirement sa vitesse augmenter au passage de l'orifice. Dans le même temps on observe une variation opposée de la pression, c'est-à-dire une chute de la pression statique au niveau de l'orifice.

Des prises de pression installées de part et d'autre du diaphragme permettent la mesure de la différence de pression statique.

Cette mesure permet d'en déduire directement le débit volumique instantané. Il est à noter que cette chute de pression localisée au niveau du diaphragme n'est pas une perte d'énergie (perte de charge) mais un transfert d'énergie « de pression » en énergie « de vitesse ».

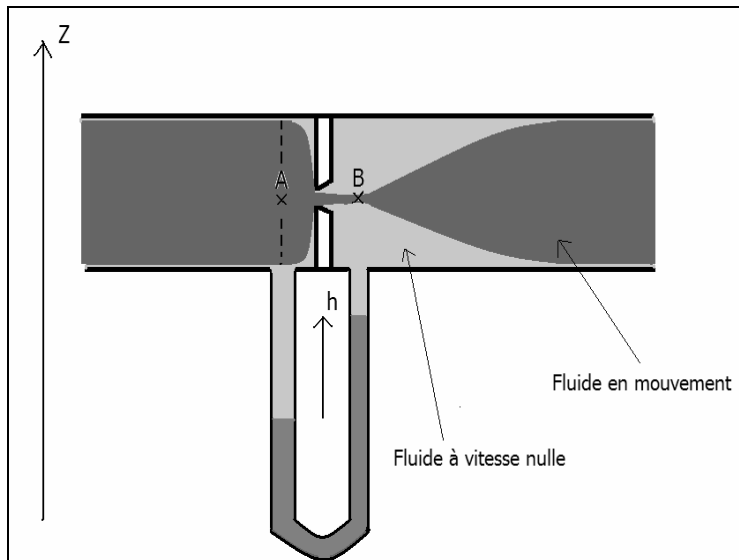
Doc. Techniques de l'ingénieur « mesures et contrôles »

Il existe en outre une perte de charge engendrée par le diaphragme.

Sur le schéma, la différence de pression entre les points 1 et 2, $P_1 - P_2$, nous permet de mesurer le débit et celle entre les points 1 et 3, $P_1 - P_3$, correspond à la perte de charge engendrée par l'appareil.

112 - THEORIE

On simplifie les calculs en supposant négligeable la perte d'énergie par frottement (perte de charge), en se plaçant dans le cas d'un fluide en écoulement incompressible, et dans le cas d'une canalisation horizontale.



Il est important de rappeler que la pression peut être considérée comme une énergie volumique.

En effet une analyse dimensionnelle rapide montre que l'unité de pression, le Pascal est équivalent à l'unité Joule par mètre cube.

$$\text{Pa} \equiv \text{J/m}^3$$

L'équation de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie volumique totale, ou pression totale.

La pression totale P_t se décompose en trois termes, la pression interne P , la pression de pesanteur $\rho g z$ et la pression cinétique $\frac{1}{2} \rho u_m^2$, où u_m est la vitesse moyenne du fluide.

Entre le point A et le point B, l'énergie totale se conserve (perte par frottement négligeable), on peut donc écrire :

$$\begin{aligned} P_{tA} &= P_{tB} \\ \text{Soit } P_A + \rho g z_A + \frac{1}{2} \rho u_{mA}^2 &= P_B + \rho g z_B + \frac{1}{2} \rho u_{mB}^2 \\ \text{Or } z_A = z_B, \text{ d'où } P_A + \frac{1}{2} \rho u_{mA}^2 &= P_B + \frac{1}{2} \rho u_{mB}^2 \end{aligned}$$

Soit S la section interne de la canalisation, s la section de l'orifice et Q_v le débit volumique, On a $Q_v = u_{mA} S = u_{mB} s$, on peut donc facilement en déduire :

$$P_A - P_B = 2\rho(1 - d^2/D^2)Q_v^2/\pi d^2$$

$$\text{D'où } Q_v = s \sqrt{\frac{2}{\rho(1 - d^4/D^4)}} \sqrt{P_A - P_B}$$

Le débit massique s'écrit $Q_m = \rho Q_v$

$$\text{D'où } Q_m = s \sqrt{\frac{2\rho}{(1 - d^4/D^4)}} \sqrt{P_A - P_B}$$

Nous obtenons donc une relation relativement simple entre la différence de pression et le débit massique ou volumique.

Dans la pratique on s'aperçoit que cette équation n'est pas vraiment vérifiée.

En effet, pour des raisons inertielles, le jet de fluide se contracte encore pendant quelques centimètres après l'orifice. Sa section de passage au niveau de la prise de pression aval est donc plus faible que la section de l'orifice; cette section est difficile à calculer.

Il a donc été établi de façon expérimentale un coefficient **C** appelé **coefficient de décharge** dont la valeur dépend de l'écoulement (valeur nombre de Reynolds) et du rapport d/D.

En outre le rapport d/D est appelé **rapport d'ouverture** et noté **β** .

On a donc la relation suivante :

$$Q_m = sC \sqrt{\frac{2\rho}{(1-\beta^4)}} \sqrt{\Delta P}$$

La valeur de C pourra varier classiquement entre 0,5 et 0,7.

La caractérisation de l'écoulement à l'aide du nombre de Reynolds $Re = \rho u_m D / \eta$ permettra d'obtenir la valeur de C directement à l'aide des normes AFNOR.

Si le diaphragme est hors norme, un étalonnage sur unité pilote ou directement sur site permettra de mesurer C pour une gamme de débit donnée.

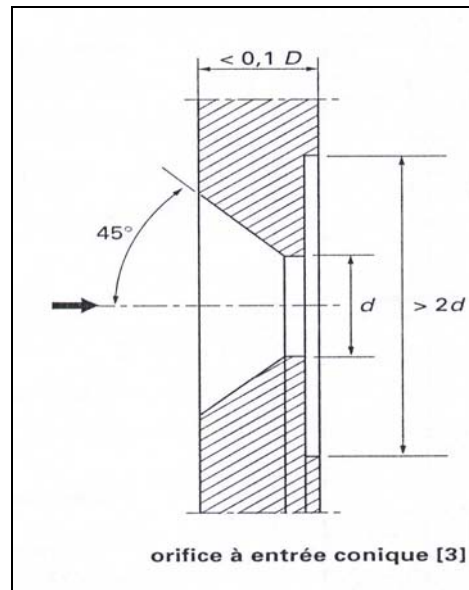
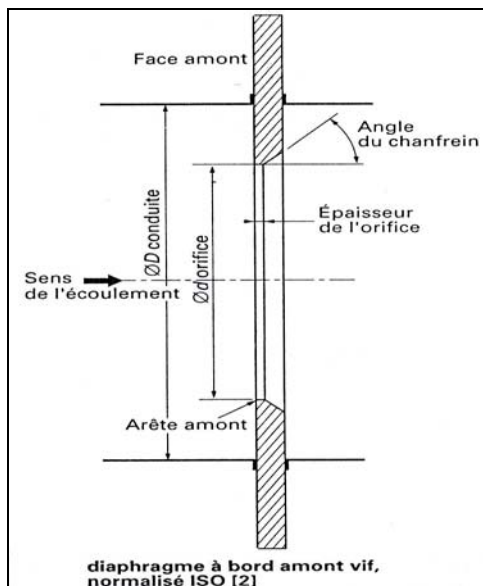
Remarque pour les fluides compressibles :

Dans le cas où on ne peut ignorer la diminution de masse volumique au passage de la restriction de section (ce qui est le cas en général pour les gaz et vapeur), on devra tenir compte du coefficient d'expansion ϵ du fluide .

L'équation de base est légèrement modifiée :

$$Q_m = s\epsilon C \sqrt{\frac{2\rho}{(1-\beta^4)}} \sqrt{\Delta P}$$

Les valeurs de ϵ sont accessibles dans les normes.



Doc. Techniques de l'ingénieur « mesures et contrôles »

L'élément primaire (diaphragme, venturi, tuyère) est en général normalisé. Toutes les données permettant de déduire le débit à partir de la pression différentielle sont alors facilement accessibles.

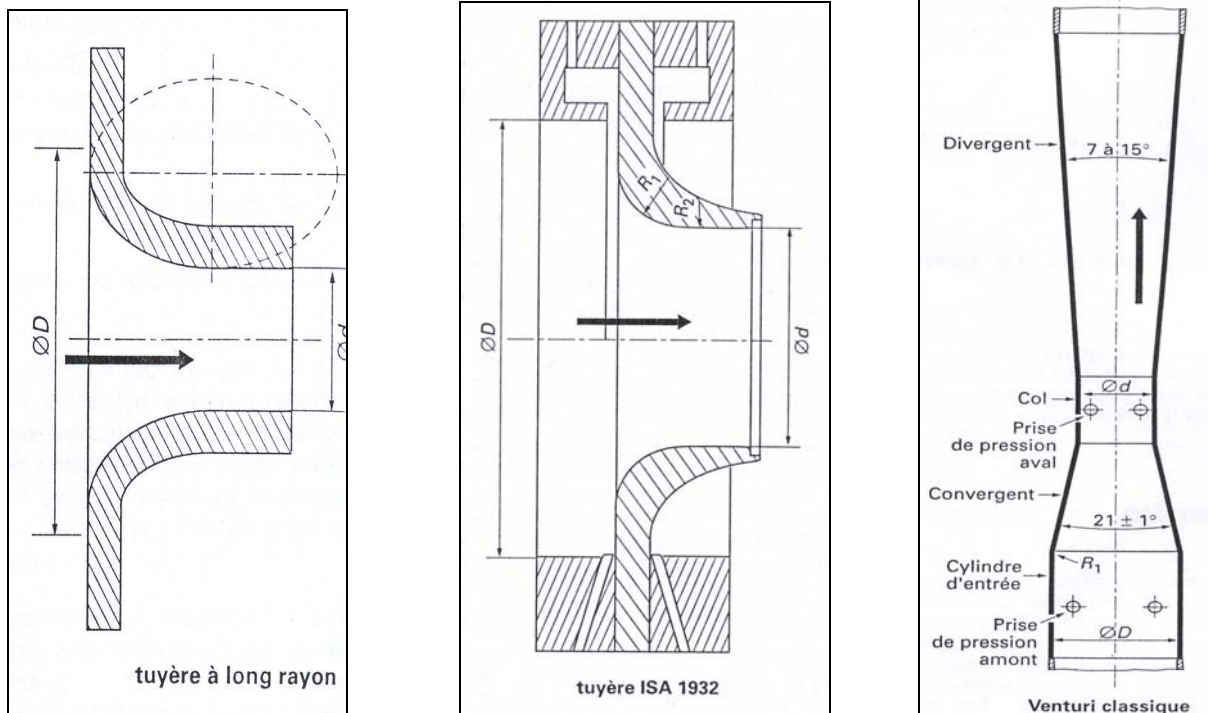
Dans le cas contraire, un étalonnage pour déterminer le coefficient de proportionnalité entre Q et $(\Delta P)^{1/2}$ est simple à réaliser.

Dans la pratique, les deux prises de pression en amont et en aval de l'élément primaire sont reliées à un capteur de pression différentielle.

Ce capteur est souvent géré par un transmetteur qui communique le signal primaire de pression différentielle à un calculateur qui convertit ce signal en une grandeur proportionnelle au débit. Cette grandeur peut alors être affichée localement ou sur un superviseur, enregistrée ou exploitée par un régulateur.

12 - VENTURI ET TUYERES

Les Venturi et Tuyères sont des appareils à restriction continue de section, qui épouse plus ou moins bien la veine de fluide, s'efforçant de suivre la configuration naturelle des lignes d'écoulement tout en restant relativement facile à réaliser.



Doc. Techniques de l'ingénieur « mesures et contrôles »

Les avantages principaux sont une moindre perte de charge et un faible encrassement. Ils sont donc bien adaptés à la mesure de fluide visqueux ou chargé. Ils sont cependant plus chers à l'achat qu'un diaphragme.

13 - PRISES DE PRESSION

Pour les diaphragmes :

L'écart maximum de pression est observé entre une distance amont d'environ 1 diamètre de canalisation ou plus et le plan de contraction maximum de la veine de fluide. Il est donc intéressant de placer les deux prises de pression à ces endroits particuliers.

La distance de la prise de pression aval est difficile à déterminer de façon exacte, d'autant plus qu'elle dépend du diamètre de l'orifice du diaphragme qui peut être amené à être remplacé.

Comme on ne peut placer la prise de pression aval de façon idéale, des positions normalisées qui conviennent à une large gamme de diamètre d'orifice et de régime d'écoulement sont choisies. La perte de signal est alors minimale.

On observe trois types d'emplacement :

| <u>distance amont</u> | <u>distance aval</u> |
|-----------------------|----------------------------|
| -D | D/2 |
| -25mm (1pouce) | 25mm |
| -0 | 0 (prises dans les angles) |

Le choix d'un type de prise de pression n'a que peu d'incidence sur l'ordre de grandeur de la pression différentielle. Ce choix pourra donc reposer sur des considérations de commodités de montage ou de maintenance.

Bien sûr dans le cas de la nécessité d'une mesure réversible, on évitera de prendre des prises de pression asymétriques.

Exemples :

Pour les Venturis : au milieu du cylindre d'entrée pour la prise amont et au milieu du col pour la prise aval

Pour les tuyères : dans les angles pour la tuyère ISA 1932 et à la bride ou à D-D/2 pour la tuyère à long rayon.

La pression peut être prise soit ponctuellement par un piquage, soit par plusieurs piquages placés en couronne autour de la conduite, soit grâce à une bague piézométrique s'ouvrant sur toute une section droite de la conduite.

Dans les cas où le fluide à mesurer est trop chaud, trop corrosif...les mesures de pression peuvent être prises par l'intermédiaire d'une membrane séparatrice.

14 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages :

- peu coûteux à l'achat
- appareil normalisé
- appareil normalisé utilisable pour les transactions commerciales (diaphragmes uniquement)
- maintenance très simple
- bien adapté pour le suivi de débit en continu
- bien adapté à la régulation de débit
- toute l'électronique associée est hors installation, pas de nécessité d'arrêt du débit pour la maintenance des appareils

Inconvénients :

- maintenance parfois fréquente
- dynamique (ou rangeabilité) très faible de 3
- mesures possibles uniquement en régime turbulent $Re > 5000$
- perte de charge non négligeable dans le cas des diaphragmes

15 - INSTALLATION

151- LONGUEURS DROITES :

Une mesure correcte nécessite un écoulement en amont bien parallèle et une constriction stable de la veine de fluide .

Il faut donc une longueur droite en amont suffisante et un débit stable ou très lentement variable dans le temps.

Un tranquilliseur en amont peut être utilisé si l'installation ne permet pas une longueur droite suffisante .

La valeur de la longueur droite nécessaire dépend à la fois du rapport d'ouverture β ($=d/D$) et du type de singularité en amont de l'appareil.

Les normes permettent d'estimer cette valeur. Dans les cas les plus défavorables (coudes successifs non coplanaires par exemple), il peut être nécessaire d'avoir une longueur droite équivalente à 80 fois le diamètre.

152 - RUGOSITE DE LA CONDUITE

Les aspérités internes engendrent des tourbillons de petites tailles localisés proches des parois et donc susceptibles de modifier le profil de l'écoulement au niveau des prises de pression.

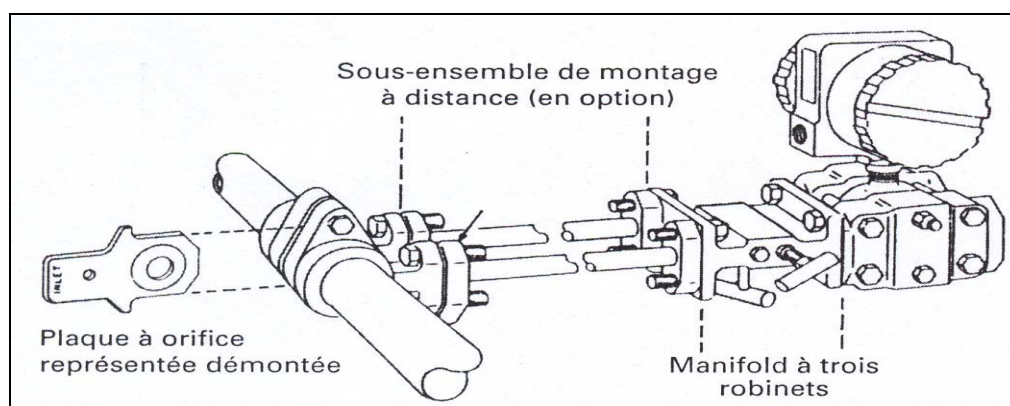
Il est à noter qu'à rugosité égale, les aspérités se font d'autant plus ressentir que la canalisation est de faible diamètre.

C'est pourquoi les appareils normalisés s'utilisent sur des canalisations dont le diamètre interne est d'au moins 50 mm. En deçà , il est nécessaire de réaliser un traitement de surface permettant de diminuer la rugosité de la canalisation amont.

153 - MONTAGE DU TRANSMETTEUR

En général un capteur-transmetteur de pression différentielle comprend les éléments suivants :

- deux robinets d'isolement entre l'élément primaire et le capteur
- les tuyauteries de raccordement des deux chambres du capteur à l'amont et à l'aval de l'élément primaire
- un système de purge des prises de pression dans le cas des liquides
- un by-pass du capteur pour vérification du zéro



Doc. Techniques de l'ingénieur « mesures et contrôles »

Il est préférable de monter le capteur-transmetteur en dessous de la canalisation afin d'éviter l'accumulation de bulles de gaz.