

Techniques de mesure des débits des fluides industriels

2 – 1 ° / Introduction :

Le transport des fluides industriels dans les conduites et les mesures de leurs débits sont nécessaires pour la plus part des opérations de la production et de la commercialisation. Comme les fluides industriels sont corrosives ou érosives, leurs nature peut être modifiée en causant des variations dans la composition ou dans les paramètres de ces derniers (la température, la pression ou la vitesse).

Pour ces raisons les fluides influent sur les conduites et les instruments de mesure de débits. En pratique, les débitmètres à pression différentielle sont soumis à des pressions considérables qui peut être exercer des déformations élastiques et même des déformations plastiques en cas où les pressions dépasse les contraintes admissibles des matériaux des débitmètres.

L'objectif de ce chapitre est de mentionner les débitmètres les plus utilisés dans l'industrie et les conditions de ces installations dont le but d'assurer les bonnes performances.

2 – 2 ° / Mesure des débits :

Le débit est la quantité de matière ou de fluide, liquide ou gazeux, qui s'écoule par unité de temps. En pratique on distingue deux débits :

- Débit-masse ou débit massique Q_m qui s'exprime en kg/s
- Débit-volume ou débit volumique Q_v qui s'exprime en m³/s

Si ρ est la masse volumique du fluide (kg/ m³) on a la relation liant le débit-masse au débit-volume :

$$Q_m = \rho \cdot Q_v \quad (1 - 1)$$

Les appareils mesurant le débit s'appellent débitmètres. Les appareils mesurant le volume de fluide (quelle que soit la durée) ou la masse écoulée s'appellent des compteurs.

Les mesures des débits des fluides industriels ont une grande importance, car elles sont toujours présentées dans les opérations de commercialisation de ces produits soit en liquide ou en état gazeuse.

Pour assurer le transport et la distribution de ces fluides sans une grande perte, des appareils de mesure de débit sont nécessaires afin de minimiser ces pertes.

Les débitmètres sont classés suivant des principes très divers, certains sont des appareils de laboratoire (à fil chaud, à laser, à effet Doppler) assurent les mesures de petit débit.

La figure (2 – 1) présente la répartition des différents types de débitmètres dans l'industrie.

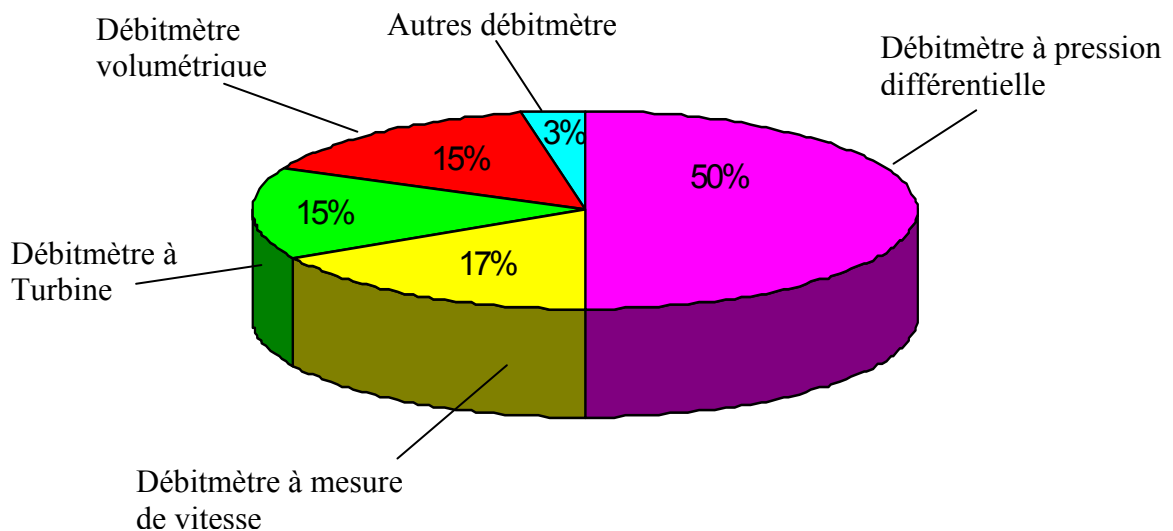


Figure 2 – 1 : Répartition des débitmètres dans l'industrie (Baker 1988)

2 – 3 ° / Classification des principaux débitmètres :**2 – 3 – 1 ° / Débitmètres à pression différentielle :***2 – 3 – 1 – 1 ° / Principe et théorie :*

Le principe est basé sur un système perturbateur statique constitué d'un organe d'étranglement ou organe déprimogène qui provoque une chute de pression dont la valeur est fonction du débit de l'écoulement et des caractéristiques thermodynamiques du fluide à mesurer.

A – Cas des fluides incompressibles :

La théorie de l'organe déprimogène repose sur l'application des équations de Bernoulli et de continuité de conservation de l'énergie et de la masse. L'écoulement dans un organe déprimogène est schématisé dans la figure (2 – 2) ; L'application des deux principes de conservation de la masse et de l'énergie, pour un écoulement de fluide incompressible, entre les sections de l'écoulement (1) et (2) permet d'écrire :

$$Q_v = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = Cte \quad (1 - 2)$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Cte \quad (1 - 3)$$

Avec :

P: est la pression statique du fluide ;

Z : est la hauteur (cote) par rapport à un plan de référence ;

V : est la vitesse de l'écoulement ;

ρ : est la masse volumique du fluide ;

g : est l'accélération de la pesanteur ;

S1 : Aire de section de la conduite.

A : L'aire de section de l'orifice $A=S_2$

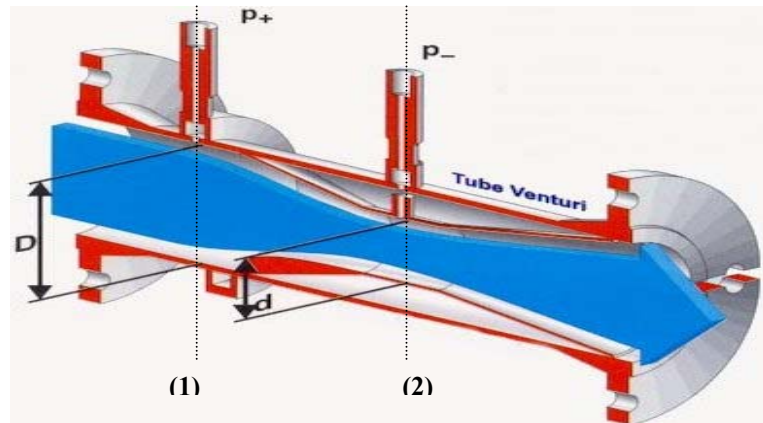


Figure 2 – 2 : principe d'un organe déprimogène.

La combinaison des équations (2) et (3) permet d'obtenir une relation pour le débit volumique Q_v :

$$Q_v = C \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}\right)}} A \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (1 - 4)$$

C est le coefficient de décharge du débitmètre

On définit le rapport d'ouverture ou rapport des diamètres $\beta = d/D$ (1 - 5)

Le coefficient de vitesse d'approche E :

$$E = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (1 - 6)$$

La relation (1 - 4) fait apparaître que le signal primaire de la pression différentielle ($\Delta P = P_1 - P_2$) et par conséquent les erreurs de mesure sur le débit se trouvent multipliées par

le coefficient de vitesse d'approche E ; Donc, et afin de réduire cette erreur on doit éviter que le coefficient β ne soit proche de 1, c'est à dire V_1 proche de V_2 .

Il faut noter encore qu'on appelle coefficient de débit : $C_d = C.E$.

Le coefficient de décharge C dépend de la géométrie de la conduite et du débitmètre, donc du coefficient β , et du nombre de Reynolds, Re . Le nombre de Reynolds caractérise la nature du régime de l'écoulement et permet de voir si l'écoulement est laminaire ou turbulent. Il est important de noter que les débitmètres à organe déprimogène sont beaucoup plus adaptés pour mesurer les écoulements turbulents. Leur précision devient moins bonne au régime laminaire.

Les valeurs du coefficient de décharge C des divers éléments primaires ont été obtenues par expérimentation sur banc d'essai et sont disponibles dans la norme ISO 5167. Des formules empiriques telles que la formule de Stolz ou de celle de Reader-Harris/Galagher qui a été adoptée récemment par la norme ISO 5167 (1998) permettent le calcul du coefficient C .

B – Cas des fluides compressibles :

Dans le cas où le fluide est compressible, cas des gaz et de la vapeur d'eau, au passage de l'étranglement l'augmentation de la vitesse est accompagnée d'une diminution de la masse volumique avec la pression. On suppose que le fluide s'écoulant de (1) à (2) subit une transformation adiabatique, c'est à dire sans échange significatif de chaleur avec le milieu extérieur ; Ceci se traduit par la relation :

$$\left(\frac{P}{\rho}\right)^\gamma = \text{Constante} \quad (1 - 7)$$

Avec γ est le coefficient isentropique défini comme le rapport des variations relatives de la pression et de la masse volumique dans une transformation adiabatique réversible élémentaire (ISO 5167).

Pour les gaz parfaits : γ est le rapport des capacités thermiques massiques à pression et à volume constant, c'est à dire : $\gamma = C_p/C_v$. (1 - 8)

Le débit volume sera corrigé par un coefficient d'expansion ε :

$$Q_v = C \frac{1}{\sqrt{\left(1 - V_1^2/V_2^2\right)}} \varepsilon \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (1 - 9)$$

On peut facilement montrer que le débit-masse est déterminé par la relation :

$$Q_m = C \cdot E \cdot \varepsilon \cdot \left(\pi d^2/4\right) \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_1} \quad (1 - 10)$$

avec ρ_1 est la masse volumique du fluide en amont de la restriction.

ΔP est la différence de pression mesurée entre les prises amont et aval.

Dans le cas de fluide incompressible, le coefficient de détente $\varepsilon = 1$.

2 - 3 - 1 - 2 ° / Description technique et normative:

Les normes internationales ISO 5167 et ISO 5168 de 1980, révisées en 1995 et amendées en 1999 définissent les spécifications de construction et les conditions d'utilisation de ces débitmètres ainsi que les procédures de calcul.

Les principaux types d'organes déprimogènes décrits par la norme sont :

- Les diaphragme ou plaque à orifice concentrique
- Les orifices profilés (tuyères, tubes de Venturi et les Venturi-tuyères)

La figure (2 - 3) montre une schématisation de ces débitmètres.

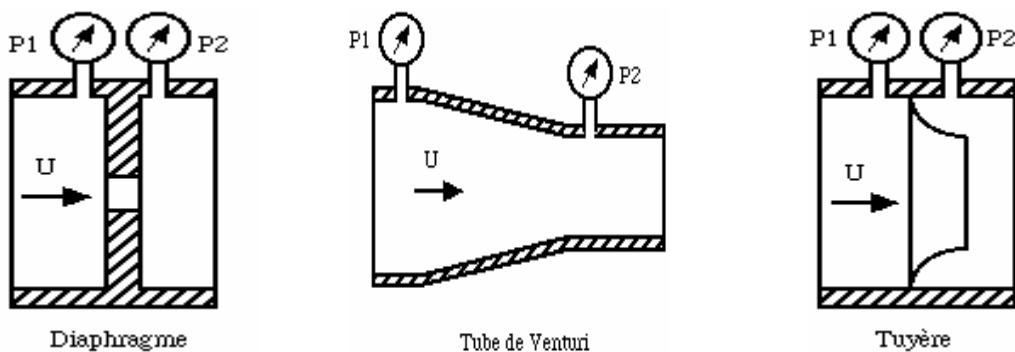


Figure 2 - 3 : Les principaux débitmètres à organes déprimogènes

D'autres types de débitmètres à pression différentielle non normalisés sont disponibles :

- Débitmètre à cible, Débitmètre à coude, Élément déprimogène en V, Diaphragme à orifice à entrée conique ou en quart de cercle, Diaphragme ou plaque à orifice excentrique ou segmental.
- Sonde de Pitot et Sonde multi-Pitot (Sonde annubar)
- Pitot-Venturi et l'Orifice intégré

L'ensemble de mesure comprend :

- Un élément primaire composé de l'organe déprimogène (diaphragme, Venturi, tuyère) et des prises de pressions associées ;
- Les appareils secondaires nécessaires au mesurage (transducteurs de pression et de pression différentielle, ..).

Les paramètres de base d'un élément primaire (organe déprimogène) sont :

- Le rapport d'ouverture β qui définit la géométrie de la contraction de l'écoulement, et,
- Le nombre de Reynolds, Re , qui définit l'aspect dynamique de l'écoulement.

b – Incertitude de mesure :

Les normes permettent de déterminer les incertitudes ou les erreurs de mesure pour les organes déprimogènes ; Elles sont de l'ordre de :

- $\pm 2 \%$ pour le diaphragme et la tuyère normalisés
- $\pm 1.5 \%$ pour le tube de Venturi normalisé

Il est important de noter ici que ces valeurs limites de l'erreur tolérée par la norme sont obtenues dans des conditions de référence d'écoulement (écoulement établi) et de géométrie (propre).

2 – 3 – 1 – 3 ° / Domaine d'utilisation :

Les débitmètres à organes déprimogènes sont utilisés pour la mesure des gaz et des liquides. Ces débitmètres ont connu une large utilisation dans le secteur de l'industrie pétrolière et gazière ainsi que pour la mesure de l'eau. On estime que plus de 50% du parc de débitmètres installés sont du type à pression différentielle. Le diaphragme est le plus utilisé ; Ce sont des systèmes qui présentent les avantages suivants :

- Peu coûteux,
- Faciles à installer et à exploiter,
- Ils permettent de mesurer de grandes quantités de fluides à haute pression, supérieurs aux débits maximaux mesurables par d'autres type de débitmètres (compteurs volumétriques, turbines etc..).

Les inconvénients de ces débitmètres sont :

- Ils provoquent une perte de charge ou perte d'énergie massique importante : Elle peut aller jusqu'à 90% de la pression différentielle mesurée sur un diaphragme ; Le Venturi et la tuyère provoque une perte de charge beaucoup moins importante en raison de leur géométrie profilée.
- Une faible dynamique de mesure.
- Sensibles aux perturbations de l'écoulement (coudes, vannes, élargissements, pulsations etc..) ce qui nécessitent des conditions d'installation pénalisantes.

Pour les fluides visqueux tels que les produits pétroliers, l'aspect dynamique de l'écoulement constitue une considération très importante pour le choix d'un élément déprimogène. La norme ISO 5167 spécifie, pour chaque type d'élément, une limite inférieure du nombre de Reynolds. La limite supérieure du nombre de Reynolds est théoriquement $(+\infty)$; Mais en pratique pour des considérations techniques de pompage, la valeur de la vitesse est limitée. Le nombre de Reynolds associé est de l'ordre de 10^7 . La figure 2 - 4 qui montre les limites d'utilisation, peut être considérée comme guide de choix d'un débitmètre à organe déprimogène en fonction du nombre de Reynolds.

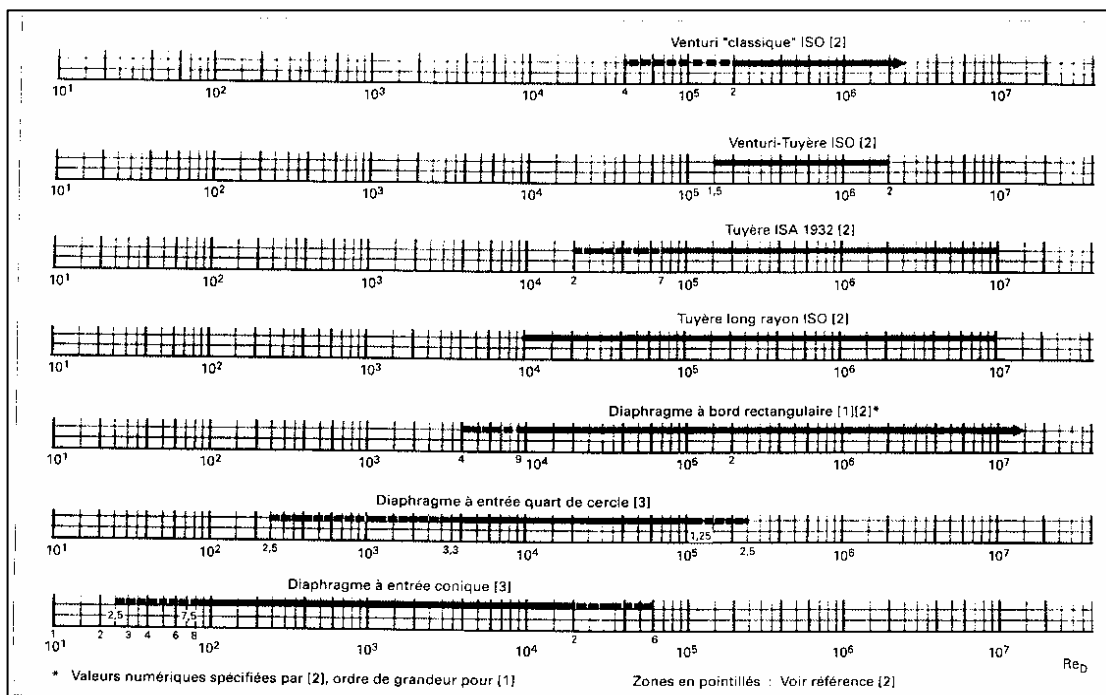


Figure 2 – 4 : Etendue du Nombre de Reynolds pour les débitmètres à organe déprimogène décrit par la norme ISO 5167.

2 – 3 – 1 - 4 ° / Différents types d’organes déprimogènes :

Les organes déprimogènes sont caractérisés par leur rapport de diamètres $\beta = d / D$. Ils sont constitués par les tubes de venturi, les tuyères et les diaphragmes.

2 – 3 – 1 – 4 – 1 ° / Tube de venturi :

Les tubes de venturi sont constitués d’un convergent suivi d’un divergent, ils sont caractérisés par une faible perte de charge et ne nécessitent pas de longueur droite. Ils sont tout particulièrement adaptés aux fluides chargés. Le venturi peut être réalisé en acier ou en alliages divers.

Ils existe deux types de venturi :

A) Le venturi classique :

La géométrie du venturi classique décrite par la norme internationale ISO 5167 est schématisée sur la figure (2 - 5). Elle consiste :

Une divergente de 7 à 15 ° dont le rôle est de guider le fluide et de réduire la perte de charge.

Un convergent de 21 ° qui constitue l'appareil déprimogène.

B) Le venturi tuyère :

Le venturi tuyère est une tuyère minces d'un divergent, le convergent est identique à celui de la tuyère ISA 1932, la longueur du col est de $0,3 d$, le divergent est relié au col à angle vif, l'angle totale doit être inférieure à 30° , la valeur de cette angle n'influe pas sur le coefficient de décharge mais joue sur la perte de charge.

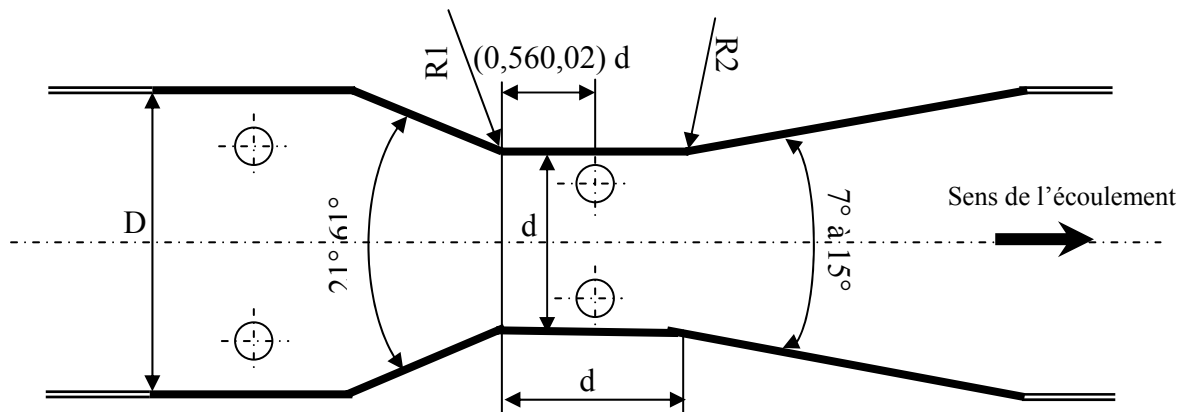


Figure 2 - 5 : Tube de venturi classique

2 – 3 – 1 – 4 – 2 °/ Tuyère :

Elle est constituée d'un col cylindrique précédé d'un convergent, elle est devisée en deux types :

A) la tuyère ISA 1932 :

Le convergent est d'allure torique de plusieurs rayons, le col de diamètre d est de longueur $0,3 d$ (figure 2 – 6).

B) la tuyère à long rayon :

Elle comporte un convergent en quart d'ellipse et un col cylindrique.

* Pour $0,25 \leq \beta \leq 0,8$, on utilise la tuyère à grand rapport d'ouverture.

- Pour $0,20 \leq \beta \leq 0,5$, on utilise la tuyère à petit rapport d'ouverture (figure 2 - 7).

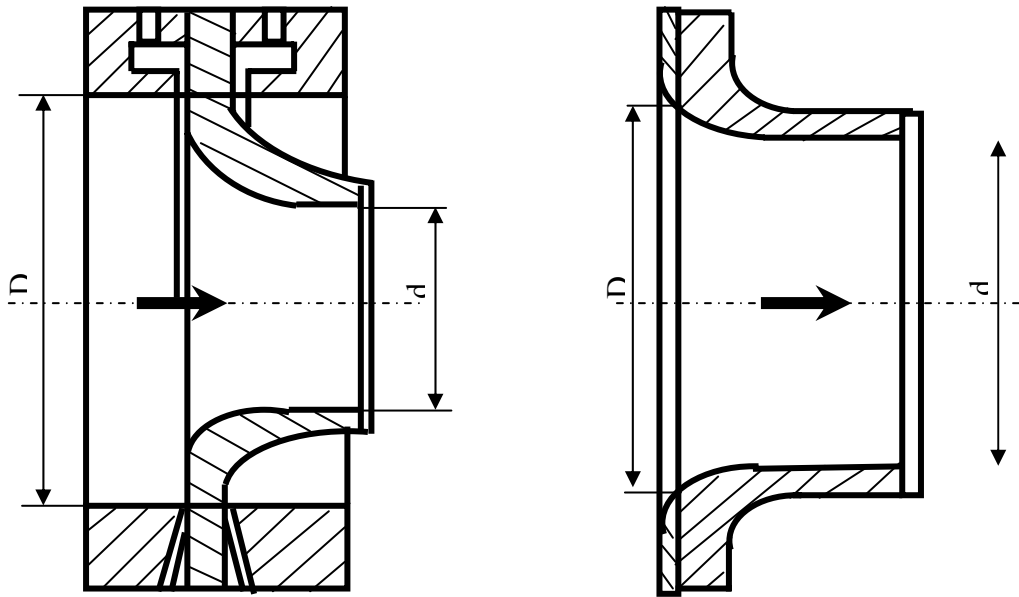


Figure 2 - 6 : Tuyère ISA 1932

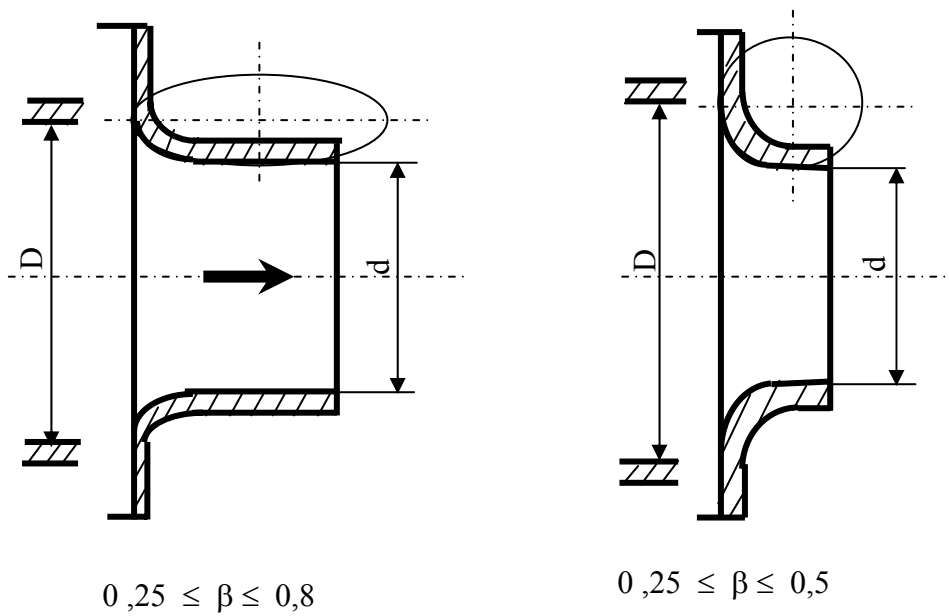


Figure 2 - 7 : Tuyère à long rayon

2 – 3 – 1 – 4 – 3 ° / Diaphragme :

Ils sont constitués d'une plaque percé d'un trou calibré perpendiculaire à la conduite. La version habituelle est munie d'un chanfrein sur la partie aval d'un angle qui doit être compris entre 30 et 45° et d'une arête vive en amont de l'orifice. le diamètre intérieur d doit être tel que β soit compris entre 0,20 et 0,80 selon le type du diaphragme, l'épaisseur de la partie cylindrique e doit être compris entre 0,005 D et 0,02 D et l'épaisseur totale E doit être compris entre e et 0,05 D . les diaphragmes peuvent se mètre dans les deux sens de l'écoulement, et ils doivent être symétriques et doivent comporter des arêtes vives sur les deux faces (figure 2 - 8).

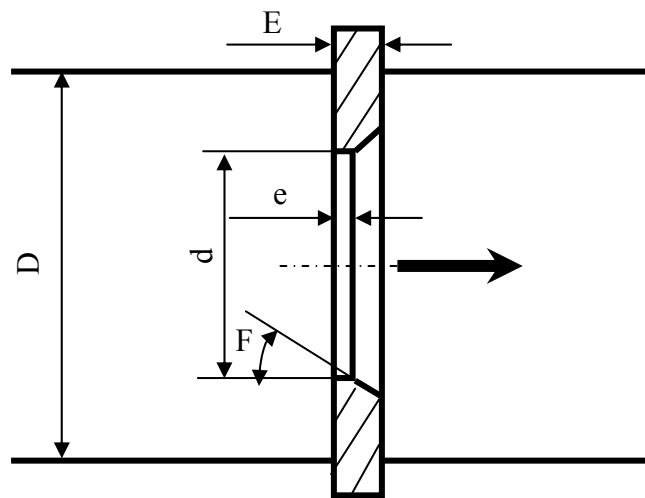


Figure 2 - 8 : Diaphragme

2 – 3 – 2 ° / Débitmètre à turbine

2 – 3 – 2 – 1 ° / Principe et théorie :

Un axe libre de rotation porte une turbine (cas des liquides) ou une hélice (cas des gaz) est placé au centre de la conduite où on veut mesurer le débit; Sous l'action des forces de pression et de viscosité exercées sur les pales, l'hélice de la turbine se met à tourner à une vitesse ω qui dépend du débit de l'écoulement.

Le débit instantané Q est proportionnel à la vitesse instantanée ω , tel que :

$$Q(t) = k \cdot \omega(t) \quad (1 - 11)$$

Et le volume de gaz écoulé entre les instant t_1 et t_2 est :

$$V = k \cdot \int_{t_1}^{t_2} \omega \cdot dt \quad (1 - 12)$$

La mesure de la vitesse de rotation de la turbine permet de déterminer le débit ou le volume du fluide dans une conduite.

2 – 3 – 2 – 2 ° / *Description technique et normative:*

Les normes ISO 2715 (1981) relative aux hydrocarbures liquides décrit la turbine comme un débitmètre à mesurage volumétrique. Une schématisation du principe d'un compteur à turbine est montrée sur la figure (2 – 9).

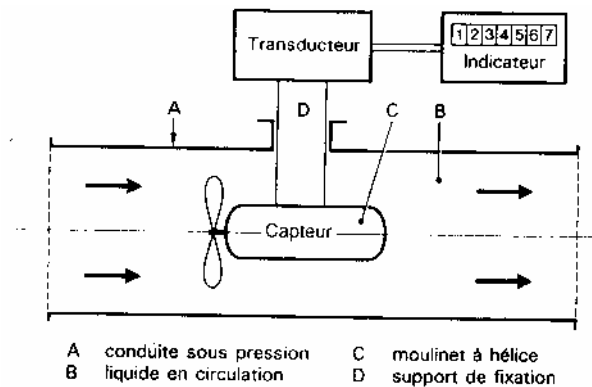


Figure 2 - 9 - Schéma de principe d'un débitmètre à turbine.

L'ensemble de mesurage des compteurs à turbine se composent toujours de trois organes principaux :

- Le capteur (souvent appelé mesureur) constitué par un rotor à pales hélicoïdales placé à l'intérieur d'un corps cylindrique ;
- Un Transducteur (appelé aussi sortie ou émetteur) transformant la rotation du rotor en un signal électrique exploitable par l'indicateur ;
- Un indicateur de débit ou de volume du liquide en circulation.

Il existe de nombreux modèles de mesureur qui diffèrent selon le constructeur, l'importance du débit maximal à mesurer, la nature du fluide à mesurer, le mode de raccordement à la conduite etc... ; On peut toutefois distinguer les principaux organes constitutifs d'un mesureur, d'après la norme internationale ISO 2715 :

- Un corps tubulaire
- Un rotor, coaxial au corps, et muni d'un bulbe central important,
- Des paliers ou coussinets de support pour l'arbre du rotor,
- Une chemise enveloppant le corps,
- Des déflecteurs amont et aval (redresseur ou tranquiliseur d'écoulement).

Il est important de noter ici le rôle du bulbe central de la turbine qui est prévu pour accélérer l'écoulement de fluide au niveau des pales par effet Venturi. Cette accélération de l'écoulement génère une énergie cinétique suffisante pour minimiser les forces de frottement solide et fluide au niveau des pales. Le tranquiliseur d'écoulement permet de réduire les perturbations spatiales de la vitesse amont sur la réponse de la turbine.

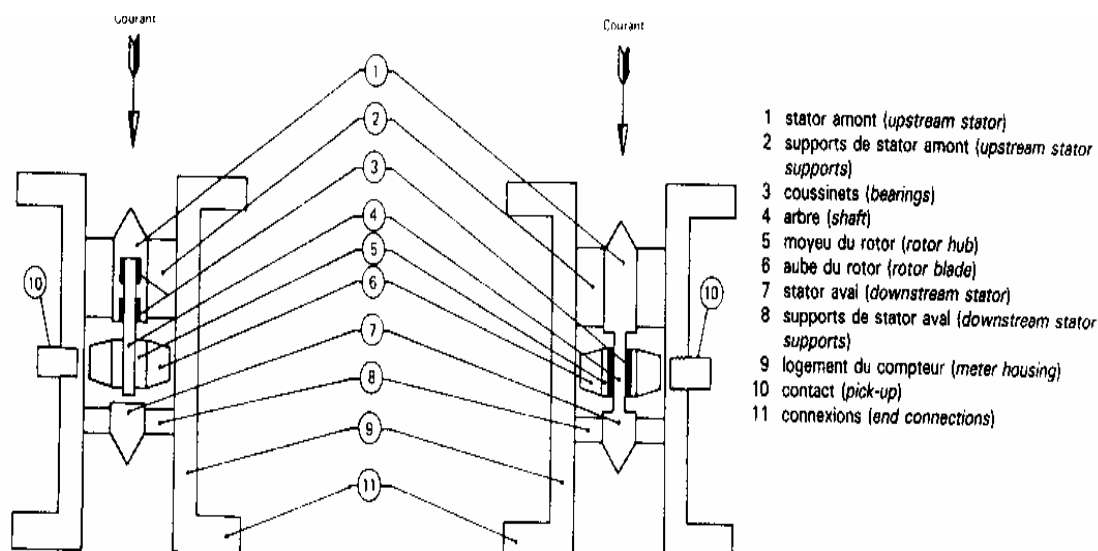


Figure 2 - 10 - Nomenclature des parties d'un compteur à turbine (D'après l'ISO 2715).

Suivant le type de la turbine, la mesure est obtenue :

- Soit par comptage d'impulsions électriques : On utilise un détecteur électromagnétique (capteur de proximité) constitué d'une bobine fixe soumise à des variations de flux magnétique au passage de chaque pale de la turbine. Il en résulte une f.e.m induite dont la fréquence est un multiple de la vitesse de rotation de la turbine. Un compteur d'impulsions ou un fréquencemètre peuvent être utilisés pour donner une indication sur le volume total ayant traversé la turbine.
- Soit au moyen d'un compteur mécanique relié par un jeu d'engrenages à l'axe de la turbine : l'indication est alors directement donnée en valeur de volume ayant traversé la turbine.

2 – 3 – 2 – 3 ° / *Caractéristiques métrologiques :*

Les débitmètres à turbines sont en général très précis et permettent d'obtenir une limite d'exactitude de $\pm 0.25\%$ à $\pm 1\%$ sur la valeur mesurée.

Leur étendue de mesure est importante; Les limites de précision citées ci-dessus ne sont valables que dans un intervalle de débit bien déterminé. Aux faibles débits, l'inertie du rotor et aux débits forts la résistance à l'usure des paliers engendrent des erreurs importantes sur le coefficient k . On définit ainsi une plage de débit comprise entre Q_{\min} et Q_{\max} où la valeur de k ne s'écarte de sa valeur moyenne.

Le coefficient k est appelé coefficient du mesureur est l'une des caractéristiques les plus importante pour un débitmètre turbine. Il doit être maintenu constant pour tout le domaine d'utilisation du débitmètre. Ce coefficient qui détermine la précision de mesure du débit Q_v est influencé par :

- Le débit,
- La viscosité du fluide,
- La température.

2 – 3 – 2 – 4 ° / Domaines d'utilisation :

Les turbines peuvent couvrir des mesures dans une plage de débit importante :

- de débit allant de 0.3 m³/h à 15.000 m³/h pour les liquides et jusqu'à 30.000 m³/h pour les gaz et ;
- pour des pressions absolues allant de 1 à 70 bar et ;
- des températures de fluide allant de –20 à + 50°C ;

La gamme de diamètres couverte peut aller de 5 mm à 660 mm ; Au-delà de ces diamètres, on installe des débitmètres rétractables (dits aussi télescopiques ou à insertion), disponible sur le marché. Ce dernier est constitué d'une petite hélice qui est placée à un emplacement de la section de la conduite où la valeur de la vitesse est connue, exemple $y=3/4 R$ où la vitesse est égale à la vitesse moyenne de l'écoulement. La précision de ces instrument est moindre que les turbine ordinaire.

Une contrainte supplémentaire d'utilisation de la turbine réside dans le fait que l'accélération de la vitesse dans la turbine est accompagnée d'une diminution de la pression (suite à l'équation de Bernoulli) ; Si la pression diminue en dessous de la pression de vapeur saturante p_v , il y'a risque de cavitation qui peut engendrer une détérioration des pales de la turbine et une net erreur de mesure importante. La norme ISO2715, préconise que la pression absolue, P_a , à l'aval de la turbine (à une distance de 4 fois le diamètre de la conduite) soit :

$$P_a > 2.\Delta P + 1.25 p_v$$

Où ΔP est la chute de pression à travers le mesureur pour le débit maximal de l'installation. p_v est la pression de vapeur saturante du liquide à la température maximale de fonctionnement.

La précision de ces instruments de mesure peut se dégrader, donc, à cause de l'usure des paliers ou de la déformation des pales provoquée par les pulsations de débit lors de l'ouverture brusque de vannes par exemple. Pour ces raisons ces débitmètres demandent une surveillances régulière.

La perte de charge occasionnée par les débitmètres turbines est considérée comme assez faible. Elle atteint en général, 0.2 à 0.5 bar au débit maximal.

Remarque :

Pour la mesure de l'eau, la norme ISO 4064-1, révisée, utilise :

- la notion de débit de surcharge pour désigner le débit maximal auquel l'instrument peut fonctionner pendant des durées limitées, et,
- la notion de débit nominal pour désigner le débit auquel l'instrument peut fonctionner en permanence ; Il est égal à la moitié du débit maximal.

2 – 3 – 3 ° / Débitmètre à ultrasons :

Le débitmètre à ultrason est une nouvelle technologie qui commence à connaître un champs d'application de plus en plus croissant dans le comptage transactionnel des fluides industriels.

2 – 3 – 3 – 1 ° / Principe :

Le principe repose sur l'utilisation d'ondes acoustiques pour la mesure de la vitesse de l'écoulement. Un émetteur ultrasonique émet des trains d'ondes qui traversent le fluide à mesurer vers un récepteur placé diamétralement opposé à l'émetteur. (figure 2 - 11).

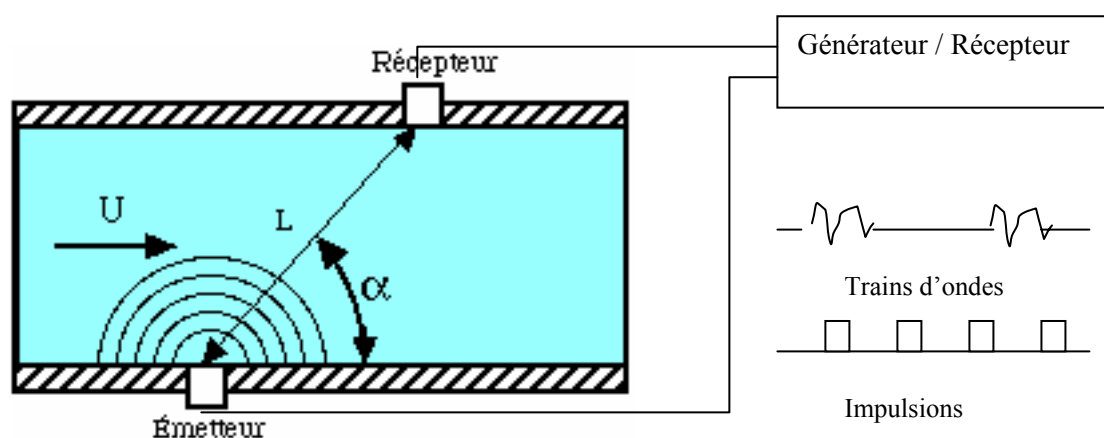


Figure 2 - 11 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre ultrasonique

Le temps mis par l'onde ultrasonique pour parcourir la distance L entre l'émetteur et le récepteur est :

$$t = \frac{L}{c + V \cos(\alpha)} \quad (1 - 13)$$

Où :

c : est la vitesse de propagation du son dans le fluide ;

V : Vitesse du fluide ;

α : angle entre la vitesse V et la direction définie par le couple émetteur/récepteur.

La mesure du temps de transit t permet de déterminer la vitesse moyenne de l'écoulement V et le débit Qv en utilisant l'équation de continuité.

Un deuxième principe est basé sur l'effet Doppler est utilisé pour la mesure du débit : Cette méthode est adéquate pour la mesure des fluides chargés qui transportent des particules solides en suspension, sur lesquelles l'onde sonore est réfléchi. La mesure de la variation de la fréquence de l'onde réfléchi par les particules permet de déterminer la vitesse V. Le débit peut être ainsi déterminé avec une précision relativement faible, de l'ordre de $\pm 10\%$.

2 – 3 – 3 – 3 ° / Caractéristiques Métrologiques :

Le débitmètre à ultrasons permet de mesurer des débits compris entre 0.1 m³/h et 10⁵ m³/h selon le diamètre de la conduite qui peut aller de quelques millimètres jusqu'à plusieurs mètres.

Le débitmètre à ultrasons présente une bonne stabilité et une bonne précision comprise entre $\pm 0.5\%$ à $\pm 2\%$.

2 – 3 – 3 – 4 ° / *Domaine d'utilisation :*

L'intérêt des débitmètres à ultrasons est qu'ils sont intrusifs ; L'ensemble du dispositif est à l'extérieur de la conduite ; Il mesure le débit sans perturber l'écoulement et n'entraîne aucune perte de charge. De même, il est donc insensible à l'agressivité du fluide.

Pourvue que le fluide transmette correctement les ultrasons, le débitmètre est utilisable aussi bien avec les gaz (généralement sous pression) qu'avec les liquides, même très visqueux.

Si la paroi des conduites est perméable aux ultrasons, les transducteurs (émetteur / récepteur) peuvent être placés à l'extérieur de la conduite, sinon un perçage de la conduite est nécessaire.

Ces débitmètres sont sensibles aux variations d'absorptions et aux conditions d'installation. Les perturbations spatiales du profil de la vitesse V , qui peuvent surgir lors du passage de l'écoulement par des coudes ou des vannes, sont les sources d'erreur importantes pour ces débitmètres.

Le domaine d'application des débitmètres à ultrasons n'est pas limité par la taille des cristaux piézoélectriques. La débitmétrie à ultrasons s'applique pareillement à des vaisseaux sanguins, à des conduites industrielles en charge ou à des écoulements à surfaces libres tels que les rivières et les canaux.

2 – 4 ° / **Conditionneur d'écoulement :**

2 – 4 – 1 ° / **principe de fonctionnement :**

En pratique industrielle, afin de réduire la longueur nécessaire au développement et à l'établissement d'écoulement un dispositif de conduite dit redresseur ou conditionneur d'écoulement ou aussi tranquilliseur d'écoulement est placé généralement entre le débitmètre et l'élément perturbateur. Cet élément a pour mission d'accélérer le développement de l'écoulement et d'assurer l'établissement dans une distance généralement comprise entre 20 et 30 fois le diamètre de la conduite (figure 2 – 12) par contre dans l'absence de cet élément, il est nécessaire d'assurer une longueur de développement rectiligne de 80 à 100 fois le diamètre de la conduite entre le débitmètre et la source de perturbation (figure 2 – 13) .

A l'heure actuelle, il n'existe pas de redresseur d'écoulement capable de produire parfaitement la condition de l'écoulement établi dans les distance de développement acceptable.

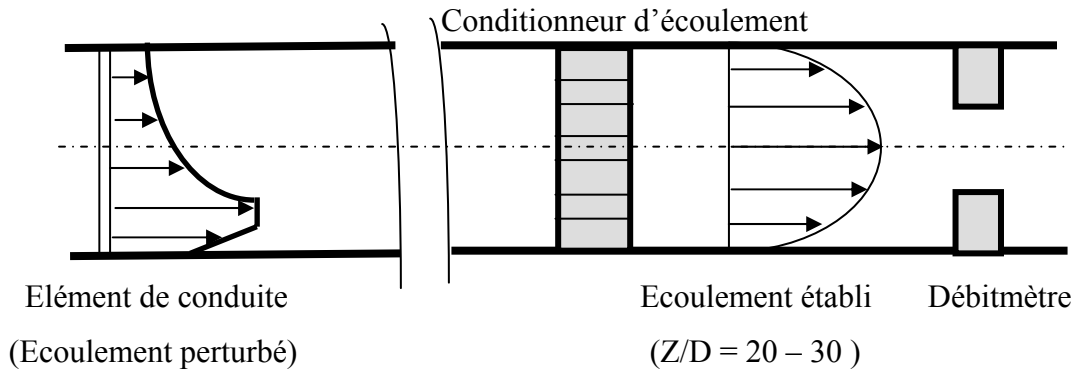


Figure 2 – 12 : conduite avec conditionneur d'écoulement.

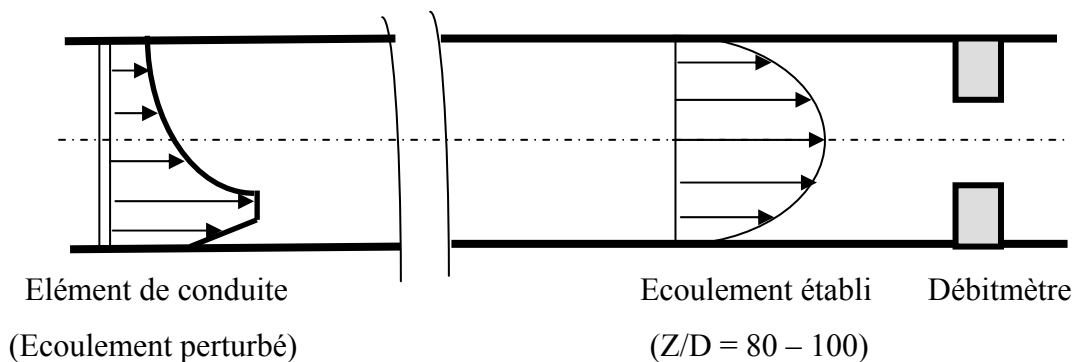


Figure 2 – 13 : développement naturel de l'écoulement dans une conduite.

2 – 4 – 2 ° / Différents types de conditionneur d'écoulement :

Dans le secteur industriel, les conditionneurs d'écoulement les plus utilisés sont le conditionneur Zanker, Sprengle, Etoile et à faisceaux de tubes. Ces conditionneurs sont décrits dans les standards internationales relatives aux écoulements (ISO 5167 et ASME 2530). Autres conditionneurs ont été décrits dans la littérature technique tels que le conditionneur Mitsubishi et le disque perforé nouvellement développé par Laws (1993, 1994) et Gallagher (1998).

2 – 4 – 2 – 1 ° / Conditionneur ZANKER :

Le conditionneur ZANKER consiste à une plaque percée de trous suivis de canaux (un par trou) formés par les intersections des plaques. Les dimensions principales sont données par la figure (2 – 14).

Les différentes plaques doivent assurer à l'ensemble une résistance mécanique suffisante, mais ne doivent pas être épaisses. Il est utilisé pour créer un profil de vitesse proche à l'établi qui est de la forme correcte exigé pour une bonne précision de lecture d'un débitmètre.

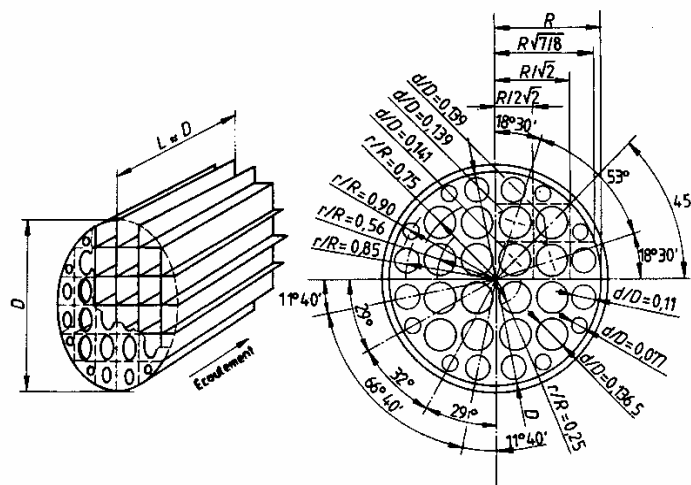


Figure 2 – 14 : conditionneur ZANKER

2 – 4 – 2 – 2 ° / Conditionneur SPRENKLE :

Le conditionneur SPRENKLE est composé de trois plaques perforées, disposées en série (figure 2 – 15). La distance entre deux plaques adjacentes étant égale à un diamètre de conduite. Les perforations doivent, de préférence, être chanfreinées en coté amont. L'aire de la section droite de l'ensemble des trous dans chaque plaque doit être supérieure à 40 % de l'aire de la section droite de la conduite. Le rapport de l'épaisseur de plaque au diamètre des trous doit être au moins égal à 1 ; le diamètre des trous doit être inférieur à $D / 20$.

Ces trois plaques doivent être maintenues entre elles par des tiges situées à leur périphérie au voisinage de la paroi de la conduite. Le diamètre de ces tiges doit être aussi

petit que possible pour ne pas perturber l'écoulement, mais suffisant pour assurer la résistance mécanique de l'appareil.

Figure 2 – 15 : conditionneur SPENRKLE.

2 – 4 – 2 – 3 ° / Conditionneur à faisceau de tubes :

Le conditionneur à faisceau de tubes (figure 2 – 16) consiste a un certain nombre de tubes parallèles fixés les uns aux autres et maintenus solidement à l'intérieur de la conduite. Il est important de s'assurer du parallélisme des axes des différents tubes entre eux et avec l'axe de la conduite, car si ces conditions ne sont pas remplies, c'est le conditionneur lui même qui va introduire des irrégularités et des perturbations à l'écoulement. le faisceau doit comprendre au moins 19 tubes d'une longueur supérieur ou égale à 20 fois le diamètre du tube.

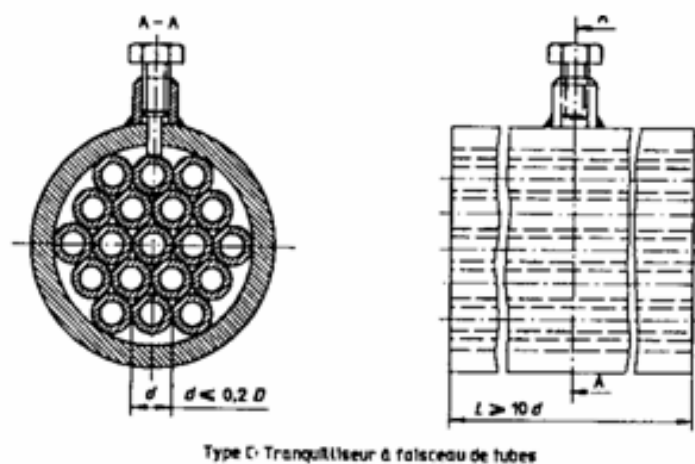


Figure 2 – 16 : conditionneur à faisceau de tubes.

2 – 4 – 2 - 4 ° / Conditionneur d'écoulement CPACL :

Le conditionneur CLACL consiste en une plaque perforée présentant des trous concentriques comme l'illustre la figure (2 – 17) ci-dessous. Le conditionneur d'écoulement CPACL doit être constitué d'une plaque comportant 25 trous alésés et chanfreinés suivant un motif symétrique et circulaire, illustré à la figure (2 – 14) ci-dessous. Les dimensions des trous alésés sont fonction du diamètre intérieur publié (D) de la conduite à laquelle le conditionneur est destiné.

Le conditionneur CPACL doit être installé en amont du débitmètre à l'intérieur d'une longueur droite de conduite de 9 fois le diamètre nominal de la conduite et en aval de la source de turbulence d'au moins 6 fois le diamètre nominal de la conduite.

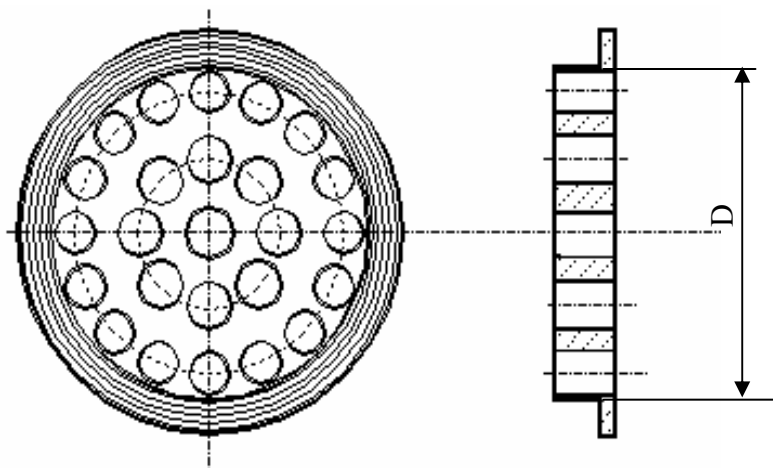


Figure 2 – 17 : Conditionneur d'écoulement CPACL

2 – 4 – 2 – 5 ° / Conditionneur d'écoulement LAWS :

Le conditionneur d'écoulement LAWS est une plaque perforée d'épaisseur 0,123 fois le diamètre nominale de la conduite, il contient en total 19 trous, un trou au centre et de lignes de trous de 6 et 12. (figure 2 – 18). (il y a des conditionneur LAWS qui contient 31 trous 1 : 9 : 21).

Suivant les normes ISO 5167, le conditionneur d'écoulement LAWS doit être placé à 11 fois le diamètre nominale de la conduite en amont de débitmètre et à 3 fois le diamètre en aval de la source de la turbulence.

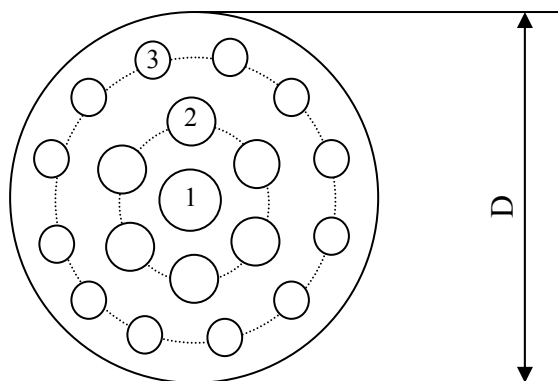


Figure 2 – 18 : Conditionneur d'écoulement LAWS.