



Mesure et Instrumentation

Mesure du débit

Présenté par:

Mme N.Drici

Le 22 novembre 2016



Présentation

- **Introduction**

- **Mesures de débit**

- **Les débitmètres**

- **Débitmètres à pression différentielle**

- 1) **organe déprimogène**

- **Débitmètres à flotteur**

- **Débitmètre électromagnétique**

- **Débitmètre ultrasonique**

- 1) *à temps de parcours*

- 2) **à effet Doppler ADV (Acoustic Doppler**



Introduction

- En physique, un débit permet de mesurer un volume ou une quantité de matière par unité de temps. Les exemples les plus courants sont:

- 1/ un débit d'électrons (on parle alors d'intensité du courant)
- 2/ débit d'un fluide à travers une surface.

- Cette dernière définition appliquée au sang donne le débit cardiaque.
- Le débit des cours d'eau est visé par l'hydrométrie, branche de la métrologie relative aux mesures d'écoulement d'eau.
- En informatique et en télécommunication, on parle de débit binaire (*bit rate* en anglais).

- Dans le domaine de l'hydraulique et de l'hydrologie, le mot « débit » est utilisé au moins depuis le début du xix^e siècle avec les notions de vitesse d'écoulement et de géométrie transversale.
- L'hydrométrie est la science de la mesure du débit des eaux continentales, superficielles ou souterraines.
- Le débitmètre est l'appareil qui permet la mesure directe du débit dans une section constante (exemple: un tuyau). Il en existe de différents types.
- L'unité de mesure dérivée du Système international d'unités d'un débit volumique est le mètre cube par seconde (m³/s).
- L'action de mesure du débit d'un cours d'eau s'appelle un jaugeage. Elle s'effectue souvent dans un lieu équipé de façon adéquate que l'on appelle *station de jaugeage*.
- La lettre Q est aussi souvent utilisée pour signifier le débit, en particulier à l'international.



Mesures de débit

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

$$Q_m = \rho \cdot Q_v$$

Dans le cas d'un écoulement laminaire, on peut déterminer le débit d'un fluide à partir de sa vitesse : $Q(\text{m}^3/\text{s}) = V (\text{m/s}) \times S(\text{m}^2)$

Avec Q le débit du fluide, V la vitesse du fluide et S la section de la canalisation.

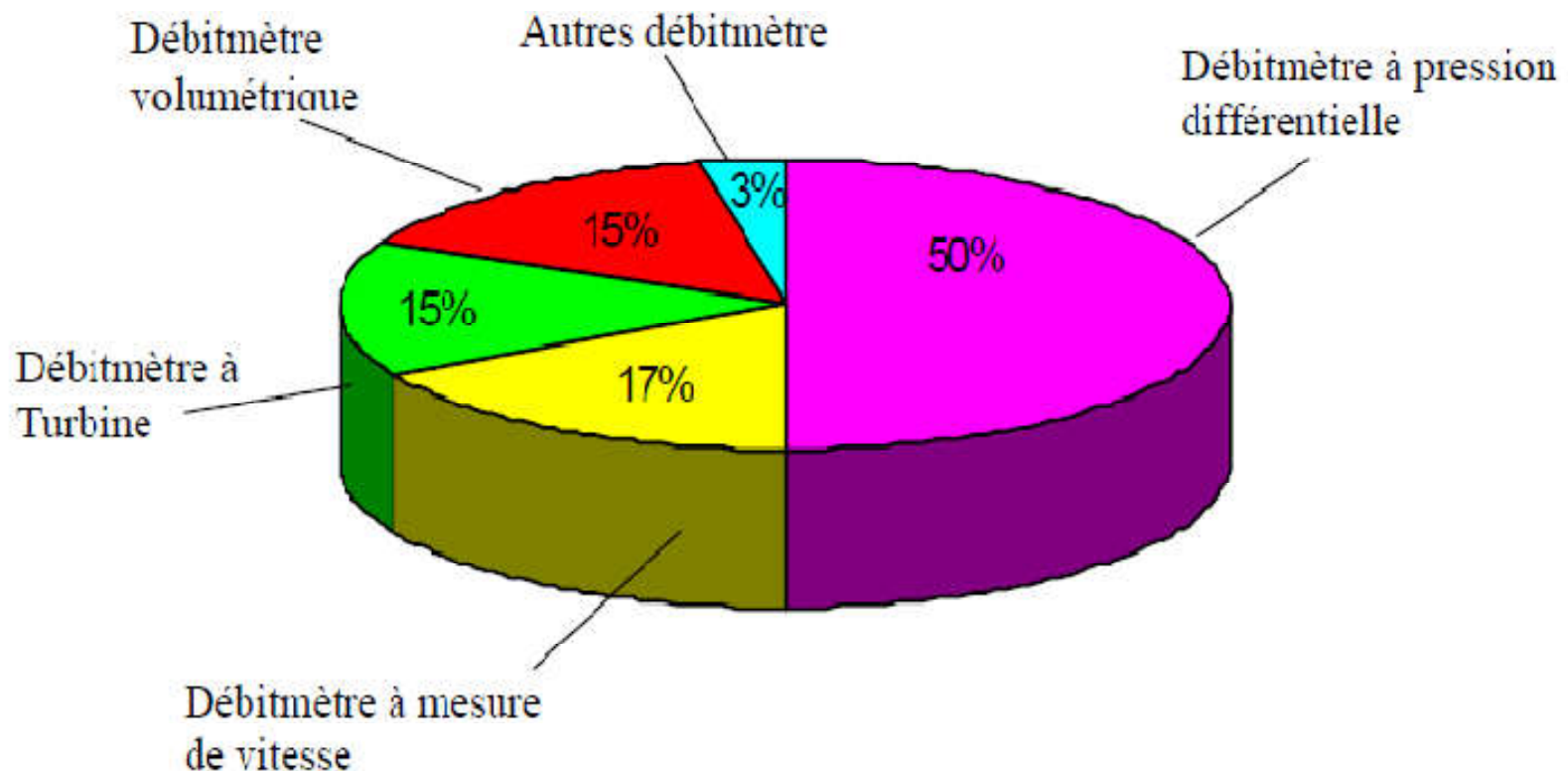


Les débitmètres

- Les appareils mesurant le débit s'appellent **débitmètres**
- 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.

Les débitmètres

La figure suivante présente la répartition des différents types de débitmètres dans l'industrie.





Les débitmètres

Le choix d'un débitmètre

Le choix d'un débitmètre repose sur 3 critères essentielles :

1/ Nature du fluide transporté (fluide ou gaz)

2/ Type du signal de mesure

➤ Sortie analogique :

- Flotteur rotatif (Rotamètre)

➤ Sortie numérique :

- Compteur volumétrique

➤ Sortie logique

- *La grandeur directement mesurée:*

(Vitesse, masse ou volume, pression)



Débitmètres à pression différentielle

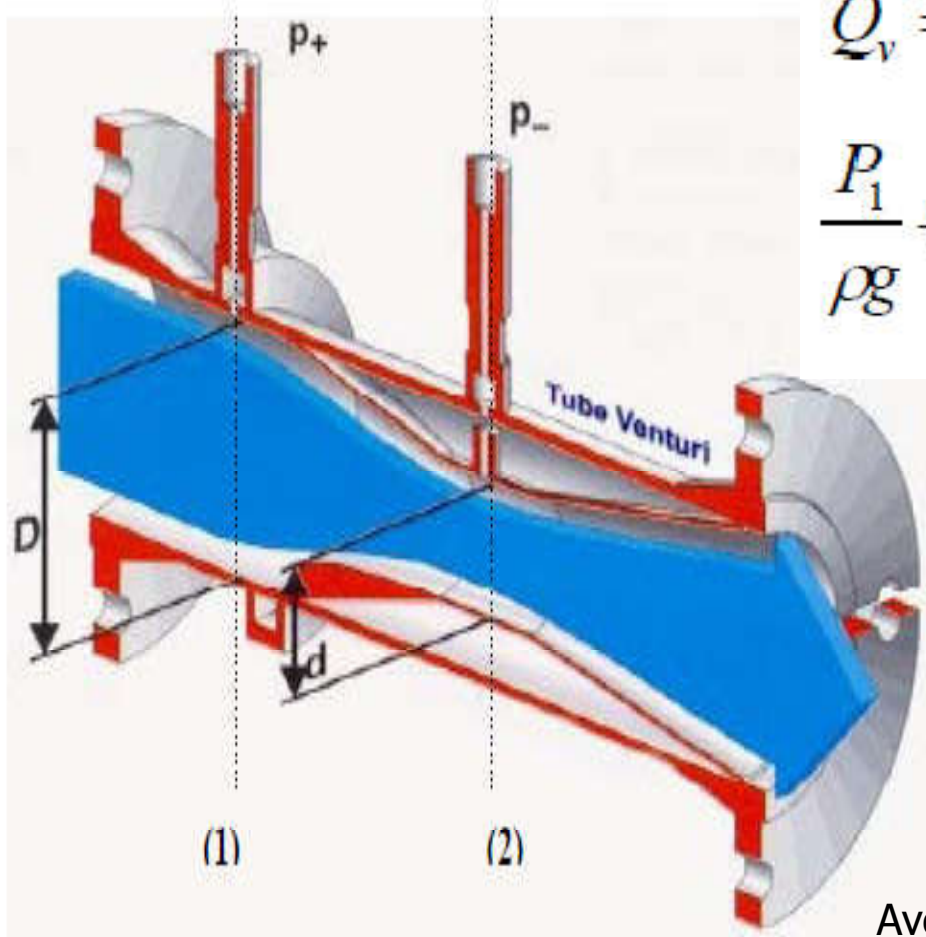
Principe et théorie :

- 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.

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 suivante. 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 :

Principe d'un organe déprimogène



$$Q_v = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = Cte$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Cte$$

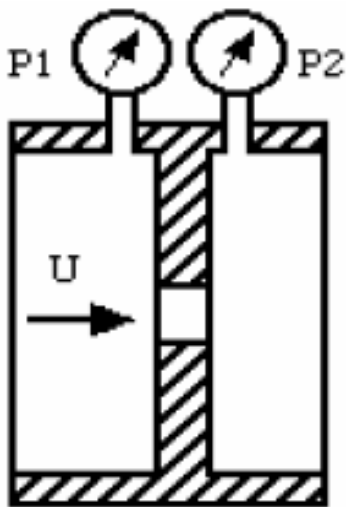
$$Q_v = C \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}\right)}} A \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Avec: **C** le coefficient de décharge de débitmètre

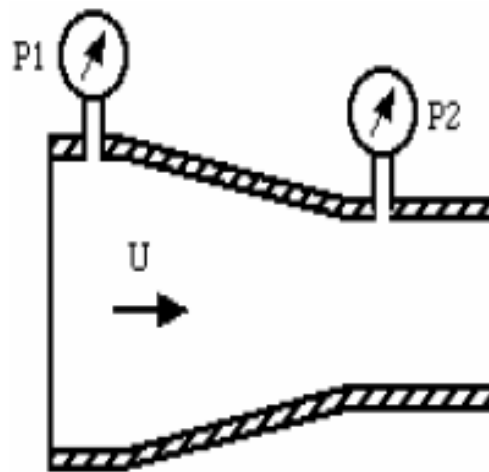
Les organes déprimogènes

Les principaux types d'organes déprimogènes:

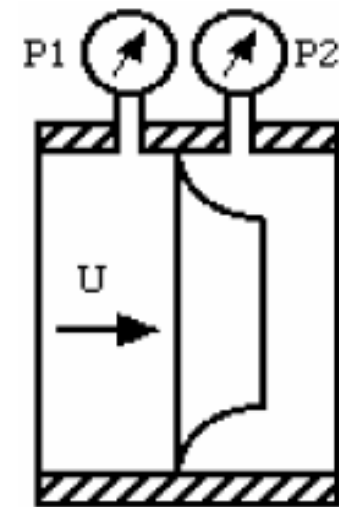
1. Les diaphragme ou plaque à orifice concentrique
2. Les orifices profilés (tuyères, tubes de Venturi et les Venturi-tuyères)



Diaphragme



Tube de Venturi



Tuyère



Les organes déprimogènes: avantages et inconvénients

- 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. le plus utilisé ; Ce sont des systèmes qui présentent les avantages suivants :
 1. Peu coûteux,
 2. Faciles à installer et à exploiter,
 3. permettent de mesurer de grandes quantités de fluides à haute pression

Les inconvénients de ces débitmètres sont :

- Ils provoquent une perte de charge ou perte d'énergie massique importante, en raison de leur géométrie profilée.
- Une faible dynamique de mesure.
- Sensibles aux perturbations de l'écoulement (coudes, vannes, élargissements, pulsations etc..)

Débitmètres à flotteur

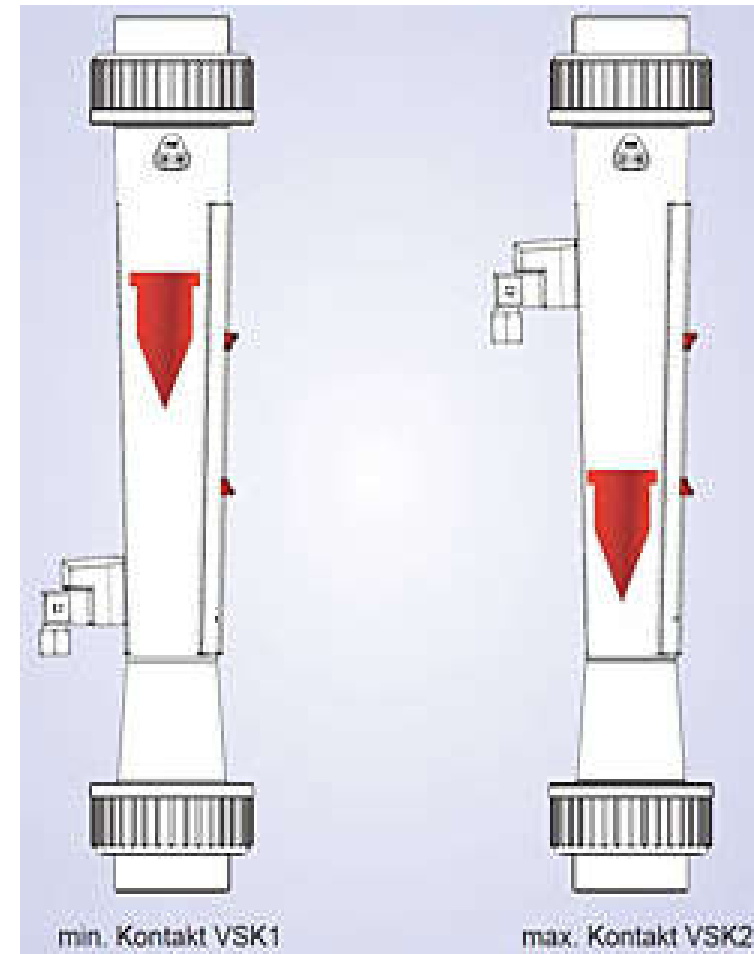
Le débitmètre à flotteur, également appelé **Rotamètre**, ou encore **spiromètre** ou **gyromètre**, est un appareil pour la mesure du débit de liquides et de gaz dans des tuyauteries, constitué d'un tube vertical transparent faiblement conique et d'un flotteur.

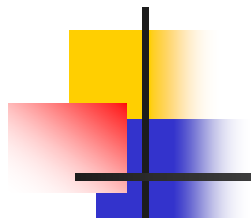


Le principe de fonctionnement

Le fluide entre par la partie inférieure du tube de mesure. Une force de frottement est générée par le passage du fluide entre l'espace annulaire, le flotteur et la paroi du tube. Le flotteur se soulève jusqu'à ce que toutes les forces en présences - friction, l'apesanteur et la flottabilité du flotteur - soient en équilibre.

Le tube de mesure est conçu de telle sorte que l'espace entre le tube et le flotteur soit plus important en partie supérieure permettant de passer un débit plus conséquent. Comme l'effet d'apesanteur est uniquement effectif dans une orientation verticale, le tube de mesure doit être orienté verticalement..





poussée d'Archimède : $\rho \cdot V_f \cdot g$
 poids du flotteur : $\rho_f \cdot V \cdot g = M \cdot g$
 force de traînée : $\rho \cdot S_f \cdot C_x \cdot V_f^2 / 2$

Condition d'équilibre :

$$\rho \cdot v_f \cdot g + \rho \cdot S_f \cdot C_x \cdot V^2 / 2 = \rho_f \cdot v \cdot g$$

Conservation de débit :

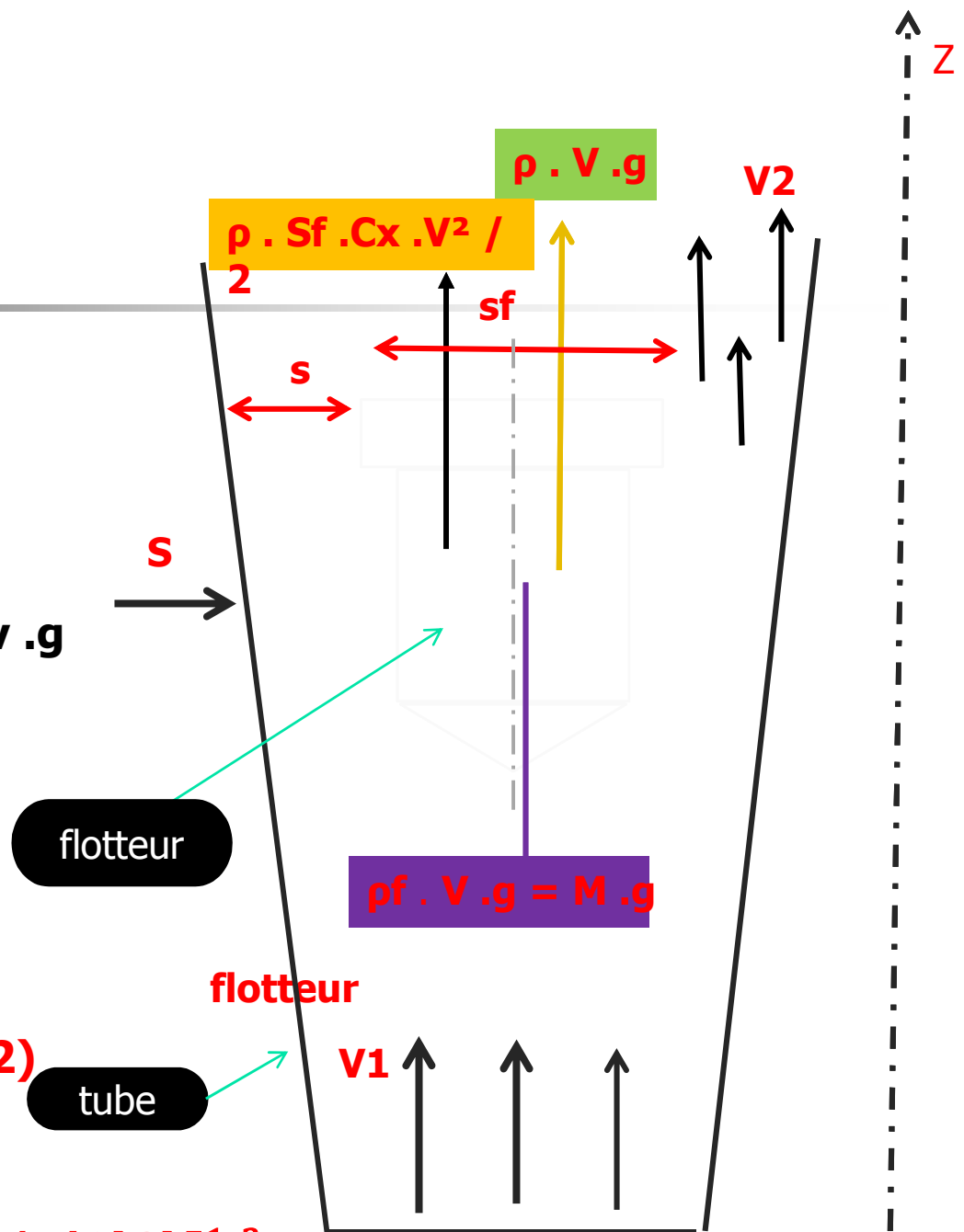
$$Q = S \cdot v_1 = s \cdot v_2 \dots\dots\dots(1)$$

Equation de Bernouilli

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 \dots\dots\dots(2)$$

De 1 et 2 : on aura

$$Q = [2(\rho_f - \rho) \cdot v_f \cdot g] / [\rho \cdot S_f (1 - (s/S)^2)]^{1/2}$$





Avantages et Inconvénients

AVANTAGES

- appareils simples et polyvalents ne nécessitant pas de grandes longueurs droites à l'amont et à l'aval du point de mesure
- indication linéaire et lecture rapide du débit
- faible perte de charge
- possibilité de mesurer le débit de certains liquides très corrosifs, opaques ou contenant des dépôts
- entretien réduit à un nettoyage périodique
- bonne précision (2%) dans une gamme de 1 à 10 des débits, cette précision pouvant descendre à 0,25% en cas d'étalonnage de l'appareil dans les conditions d'utilisation

INCONVENIENTS

- appareils pouvant être chers (à cause du tube conique) et fragiles (si le tube est en verre)
- précautions à prendre pour leur positionnement dans la conduite, ils doivent être parfaitement verticaux

Débitmètre électromagnétique

LE DEBITMETRE ELECTROMAGNETIQUE

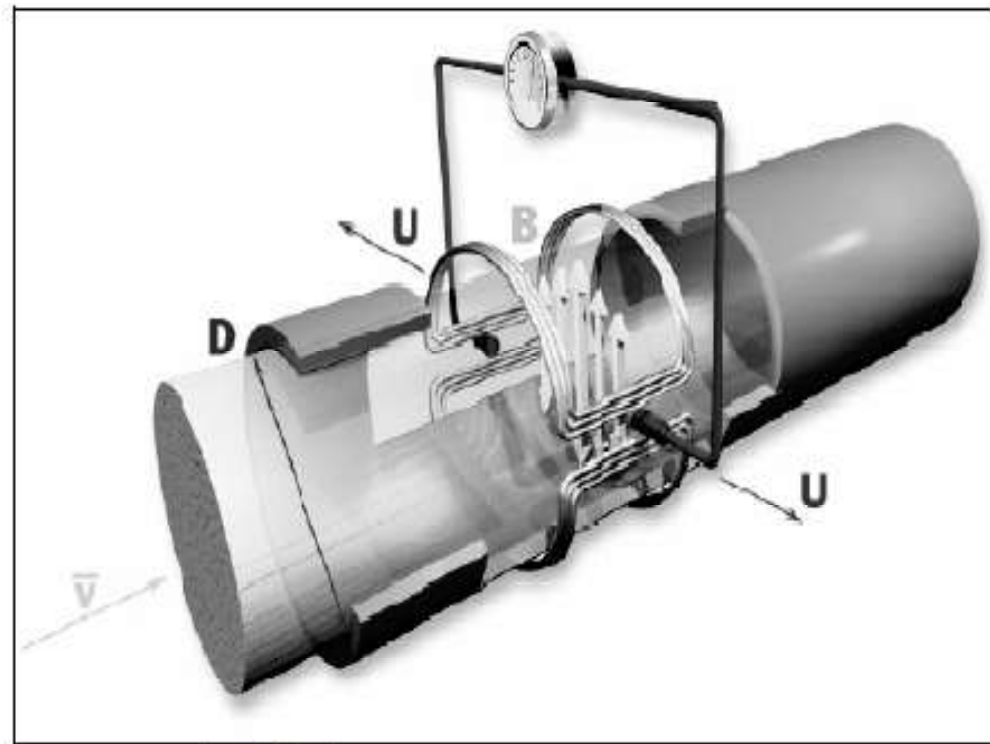
C'est M. Faraday, à Londres, en 1832 qui tenta la première fois d'utiliser ce type de débitmètre ; il voulait mesurer le débit volumique de la Tamise. Le débitmètre électromagnétique est aujourd'hui un outil de mesure incontournable.



Le principe de fonctionnement

Principe est le suivant :

Le débitmètre électromagnétique fonctionne suivant le principe de Faraday. Quand un liquide conducteur s'écoule perpendiculairement à travers un champ magnétique, une différence de potentiel électrique est créée au sein du liquide. Cette différence de potentiel, captée à l'aide de deux électrodes permet, par le calcul, d'en déduire la vitesse puis le débit du fluide.

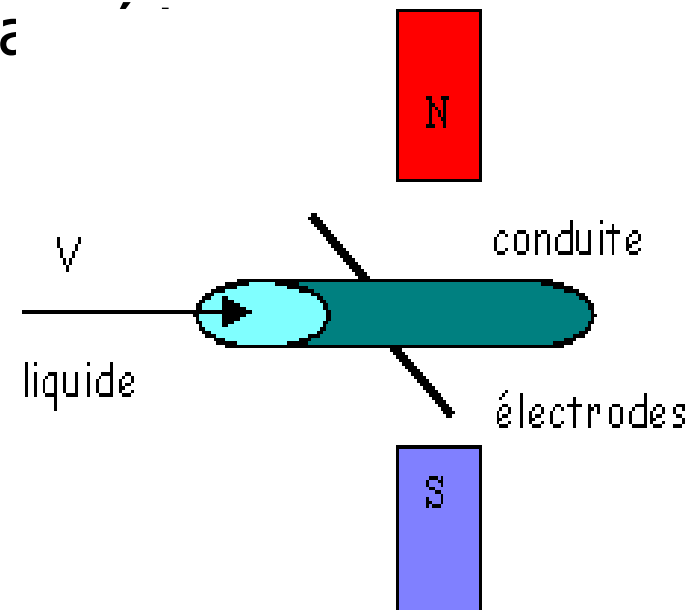


Documentation Krohne

Le principe

- Loi d'induction de FARADAY :
 - La tension induite dans un conducteur se déplaçant à travers un champ magnétique est proportionnelle à la vitesse de déplacement du conducteur

$$FEM = B \cdot D \cdot v$$



- v : Vitesse du fluide [m/s]
- D : Diamètre de la conduite [m]
- B : Induction électromagnétique [teslas]
- $FEM = \text{Volts}$



Avantages et Inconvénients

Avantages

- aucune perte de charge
- la grandeur mesurée est directement proportionnel au débit (réponse linéaire)
- large gamme de diamètres de conduite possible (de quelques mm à 2 m)
- peut mesurer un écoulement bidirectionnel
- utilisable avec des liquides agressifs et corrosifs, avec des boues
- relativement insensible à la densité, viscosité et profil d'écoulement du fluide
- le facteur d'étalonnage ne varie pas au cours du temps (si la maintenance est suffisamment fréquente)
- peut être précédé d'une longueur droite courte (inférieure à 20 fois le diamètre)

Inconvénients

- son prix
- ne peut être utilisé que pour des liquides conducteurs du courant électrique (ce qui exclu les hydrocarbures et solvants organiques)



Débitmètre ultrasonique

- Le débitmètre à ultrason est une nouvelle technologie qui commence à connaître un champs d'application de plus en plus croissant

Deux techniques :

1) à temps de parcours : Pour les liquides

2) à effet Doppler : Pour les liquides ayant des bulles ou des particules en suspension

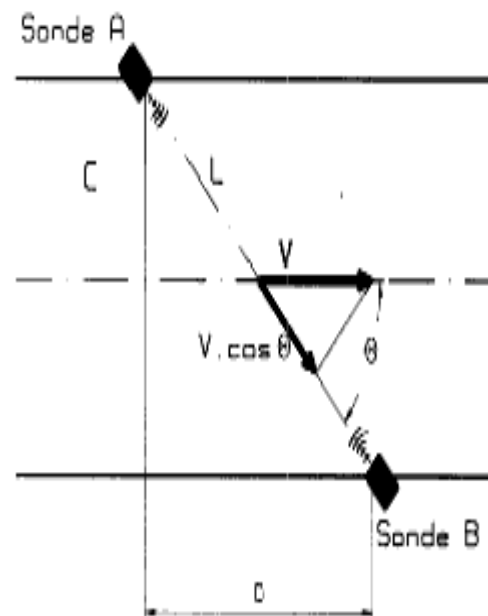
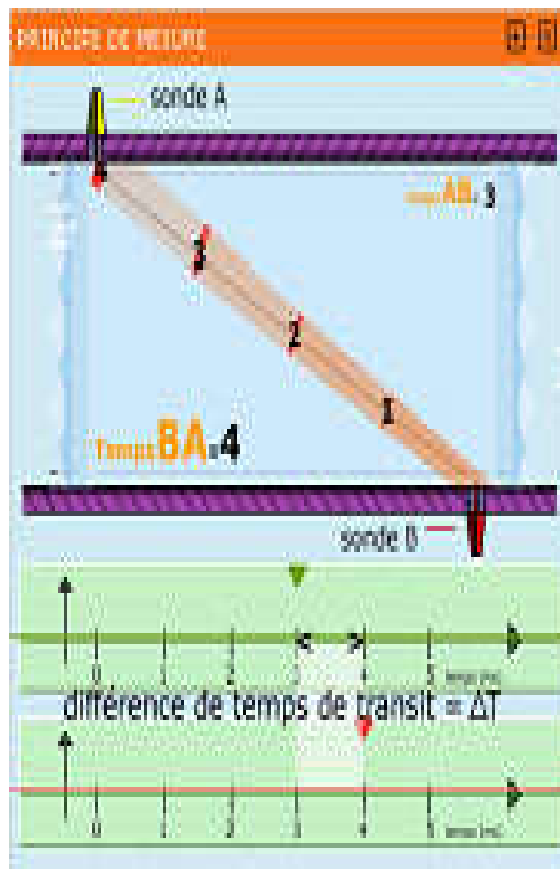


Débitmètre ultrasonique *à temps de parcours*

Principe de fonctionnement

- Les sondes A et B sont à la fois émettrices et réceptrices. Elles émettent alternativement l'une vers l'autre. Le signal acoustique qui se propage dans le fluide est capté par la sonde opposée. Les temps de propagation Amont/Aval et Aval/Amont sont mesurés avec grande précision (typiquement 0.2 ns). A partir de ces temps et de la position géométrique des sondes, la vitesse moyenne sur le trajet acoustique peut être calculée.

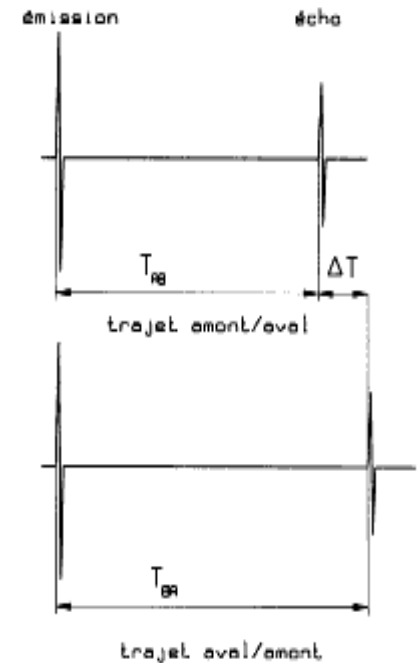
Schéma



$$T_{AB} = \frac{L}{C + V \cdot \cos \theta}$$

$$T_{BA} = \frac{L}{C - V \cdot \cos \theta}$$

$$V = \frac{L^2}{2D} \cdot \left(\frac{1}{T_{AB}} - \frac{1}{T_{BA}} \right) = \frac{L^2}{2D} \cdot \left(\frac{\Delta T}{T_{AB} \cdot T_{BA}} \right)$$





Débitmètre ultrasonique

- Le débitmètre à ultrasons permet de mesurer des débits compris entre $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ et $10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 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 $\pm 2\%$.
- 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
- le passage de l'écoulement par des coudes ou des vannes, sont les sources d'erreur importantes pour ces débitmètres



Débitmètre ultrasonique à effet Doppler

ADV (Acoustic Doppler Velocimeter)

Les débitmètre à effet **Doppler** est l'une des techniques les plus modernes destinées aux mesures de la vitesse moyenne et ses fluctuations dans un écoulement de suspension de **particules solides**. Cette technique permet, sans perturber l'écoulement, d'obtenir le sens, le taux de fluctuation et le module d'une composante de la vitesse. Le principe de mesure repose sur l'effet Doppler, qui traduit la **différence** qui existe entre la **fréquence** d'un signal émis par une particule de fluide en mouvement et celle recueillie par le récepteur fixe.

Principe

Une onde ultrasonore est émise dans le fluide. Elle est réfléchie par des solides ou des bulles en mouvement dans le fluide en provoquant un glissement de fréquence. La variation de fréquence est proportionnelle à la vitesse moyenne du fluide.

Avantages et Inconvénients

- *Exige la présence des particules solides ou des bulles d'air dans le fluide*
- *Diamètre de canalisations généralement important*





Débitmètre

Type	Avantages	Inconvénients
Electromagnétique	Précis / immergeable	Coûteux / Intrusif
Ultrasonique	Amovible	Moins précis

