



HAL
open science

Débitmètre à effet vortex avec capteur à jauges de contraintes et mesure dans une section quadrangulaire

Abdelkader Zaaraoui, S. Khelladi

► To cite this version:

Abdelkader Zaaraoui, S. Khelladi. Débitmètre à effet vortex avec capteur à jauges de contraintes et mesure dans une section quadrangulaire. CFM 2011 - 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. <hal-03421265>

HAL Id: hal-03421265

<https://hal.science/hal-03421265v1>

Submitted on 9 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Débitmètre à effet vortex avec capteur à jauges de contraintes et mesure dans une section quadrangulaire

A. ZAARAOUI ^a, S. KHELLADI ^b

a. Laboratoire Fluides Industriels Mesures et Applications, Centre Universitaire de Khemis Miliana, route de Théniet El Had, 44225 Khemis Miliana, Algérie

b. Arts et Métiers ParisTech DynFluid Lab, 151 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

Résumé

Un appareil de mesure de débit à effet vortex est présenté. Celui-ci est constitué d'un tronçon de conduit de section quadrangulaire, où sont placés un obstacle bidimensionnel de section trapézoïdale et un capteur de forces à jauges de contraintes. Nous avons optimisé la disposition géométrique pour en déduire les performances. On trouve une répétitivité de 0,1% de la valeur du nombre de Strouhal et une linéarité assurée dans une gamme de débits allant de 5 à 50 m³/h. Pour la mesure de débit, la constante de l'appareil est le nombre Strouhal constitué avec la vitesse moyenne dans la section contractée à l'aval de l'obstacle générateur, il est indépendant de la géométrie.

Abstract

A vortex shedding flowmeter is presented. This one consists of a pipe section of quadrangular section, which is placed a trapezoidal bluff body section and a force transducer with strain gauges. We have optimized the geometrical arrangement to deduce performance. There is a repeatability of 0.1% of the value of Strouhal number and assured linearity in a range of flow rate from 5 to 50 m³ / h. For flow rate measurement, the device constant Strouhal number is set up with the average velocity in the contracted section downstream of the bluff body generator, it is independent of geometry.

Mots clés : Sillage ; Obstacle trapézoïdal ; Capteur à jauges ; Section quadrangulaire ; Débitmètre à vortex.

1. Introduction

Les mesures des débits de fluides en mouvement sont des opérations courantes en hydraulique et en aéraulique. Les appareils offerts par le marché et les techniques correspondantes sont variées mais garantissent en général une précision qui ne dépasse guère 1%. Toutefois, les besoins actuels de certaines industries (pétrolières, chimique etc....) vont au delà de ce chiffre. Pour satisfaire cette demande, les méthodes de mesure par effet vortex fondées sur le comptage des tourbillons générés par un obstacle peuvent apporter une solution simple à mettre en œuvre. L'allée tourbillonnaire derrière les obstacles profilés ou non, dans un écoulement bidimensionnel ou tridimensionnel, a fait l'objet de plusieurs recherches jusqu'à nos jours. L'étude qui nous intéresse concerne le sillage en aval d'un obstacle non profilé dans un écoulement bidimensionnel. En se basant sur ce principe plusieurs techniques ont été utilisées pour réaliser des débitmètres à effet vortex qui diffèrent par la façon de générer ou par la façon de capter les tourbillons et parmi lesquelles on cite :

[1 et 2] mesurent la différence de pression d'où la fréquence au niveau du détachement des tourbillons pour le capteur à l'aide d'un organe déprimogène et en utilisant un générateur à arêtes vifs. [3 et 4] utilisent des configurations avec doubles obstacles pour la génération des tourbillons. La fréquence est déterminée par la mesure des fluctuations à l'aide de deux capteurs de pression piézoélectriques placés au niveau du deuxième obstacle. [5] présentent une technique qui utilise un obstacle à base triangulaire et une détection à l'aide de deux sondes à ultrasons. [6] utilisent une technique nommée inductive pick-up qui consiste à utiliser une bande magnétique flexible en acier inoxydable placée à l'aval de l'obstacle pour déterminer la fréquence. [7] ont utilisés un obstacle de section carré et un capteur FBG double, c'est une technique qui utilise la détection interférométrique pour contrer l'interférence électromagnétique. [8] présentent dans leur papier une technique où l'obstacle et le capteur forment la même pièce, un obstacle en Té sur lequel est fixé un capteur de pression piézoélectrique pour déterminer la fréquence.

On remarque que dans pratiquement tous les travaux cités la conduite est de section circulaire ce qui gêne la formation du rouleau de tourbillon vu qu'il est écrasé sur ses deux extrémités, la détection se fait ponctuellement et au début de la formation du tourbillon. Les résultats trouvés parlent de l'analyse de la fréquence de détachement des tourbillons, de la variation du nombre de Strouhal avec le nombre de Reynolds et de l'influence de configuration géométrique sur la mesure des débits.

Une technique de génération et de comptage des tourbillons allant bien dans ce sens, sera utilisée lors du présent travail et dont l'originalité consiste à utiliser un tronçon de conduit de section quadrangulaire et de séparer les fonctions génération et détection des tourbillons du type surfacique placé à une certaine distance à l'aval de l'obstacle et où on vise une grande précision de mesure.

2. Allée tourbillonnaire et sillage

En milieu indéfini l'allée de Von Karman, est formée de tourbillons alternés qui se détachent en mouvement laminaire derrière un obstacle immobile dans un fluide en écoulement (figure 1), ou bien à l'aval d'un obstacle mobile dans un fluide au repos. Cette allée peut être illustrée par le schéma simplifié d'une configuration périodique, stable et régulière. Si l'on admet que le fluide est parfait, la configuration est formée de deux files tourbillonnaires parallèles distantes de $\langle h \rangle$ et de deux tourbillons espacés de $\langle a \rangle$ emportant chacun une circulation Γ de signe positif ou bien négatif selon la file [9 et 10].

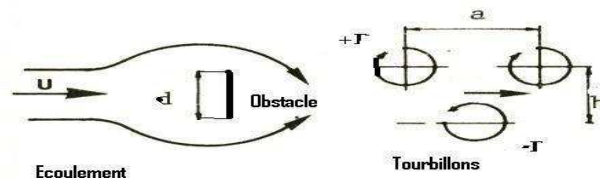


Figure 1 : allée de Von Karman

Selon la gamme du nombre de Reynolds, l'étude de l'allée tourbillonnaire en aval d'un obstacle, nous permet de dégager deux points forts.

Le premier vient du fait que nous pouvons avoir une allée stable, régulière et périodique.

Le deuxième vient du fait que malgré une irrégularité de l'allée (on parle plutôt d'un sillage qui présente une certaine périodicité), il apparaît, dans le sillage, une fréquence (F) pour laquelle le nombre de Strouhal (St) est pratiquement constant. Ce dernier est donné par la relation suivante :

$$S_t = \frac{F \cdot d}{U} = Cte$$

En écoulement confiné et en introduisant dans cette relation, le débit de fluide $Q_v = S \cdot U$ (S étant la section droite du tunnel d'essais), nous obtenons l'expression suivante :

$$\frac{Q_v}{F} = \frac{d \cdot S}{S_t} = C^{te}$$

Cette relation montre que le débit est proportionnel à la fréquence de détachement des tourbillons. Le coefficient de proportionnalité $\frac{d \cdot S}{S_t}$, caractérise le passage du tourbillon en question et dont la performance dépend de la disposition géométrique des éléments qui constituent l'appareil [10, 11, 12 et 13].

3. Dispositif expérimental.

L'installation hydraulique est conçue pour couvrir une gamme de débits allant de 0 à 50 m³/h, elle est représentée sur la figure 3, on trouve successivement :

un réservoir d'alimentation (1) en charge à surface libre situé à une hauteur de chute de 11 mètres, sa capacité est de 20 m³.

Une conduite de distribution en laiton (2 et 3) de 10 mètres de longueur et de 200 mm de diamètre intérieur, terminée par une vanne d'alimentation.

Une autre conduite constituée de tubes en PVC de 80 mm de diamètre.

Un tunnel d'essais (4) où sont logés le générateur et le capteur de tourbillons, relié à une chaîne de mesure siége des appareils de mesure d'acquisition et de visualisation.

Enfin une autre conduite de 80 mm de diamètre en PVC qui se termine en col de cygne et muni d'une vanne (6) à fermeture progressive. En parallèle se trouve un tuyau flexible (7) muni d'une buse (8) à ouverture rapide (système analogue aux distributeurs d'essence des stations services).

Un réservoir de réception jaugé (jauge de volume d'une capacité de 1000 litres (9)), en parallèle se trouve une fosse de récupération (cuve3) située à quelques mètres au dessous du plancher.

Par manœuvre du conduit flexible (7) fixé sur le col de cygne, nous pouvons orienter au choix le jet, soit vers la fosse ou bien vers la jauge de volume pour effectuer les mesures.

Une motopompe centrifuge (11), permet de pomper le fluide entre la fosse et le réservoir d'alimentation.

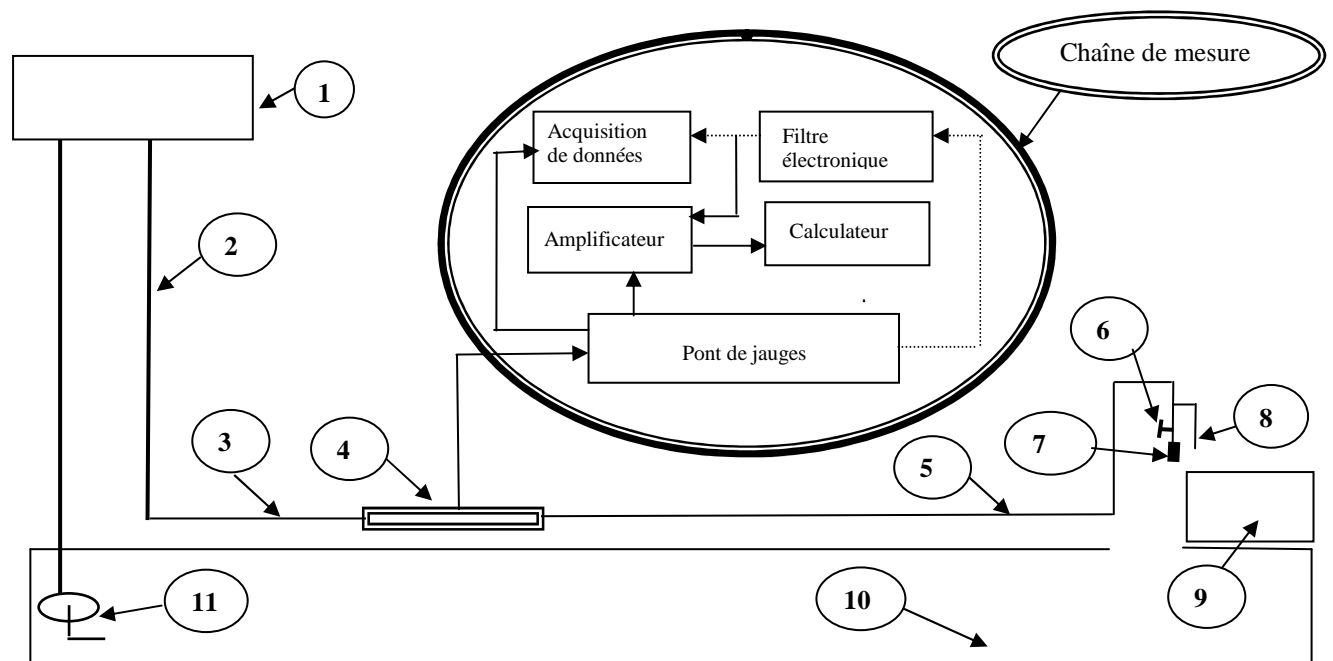


Figure 3 : Dispositif expérimental

4. Technique proposée et disposition géométrique du débitmètre.

La technique utilisée dans le prototype testé, est basée sur la génération et la détection des tourbillons à travers respectivement un générateur et un capteur. Pour effectuer les mesures, on dispose d'une section quadrangulaire (rectangulaire ou carrée) constituant le tunnel de mesure, d'un obstacle générateur bidimensionnel à deux arêtes vives, et d'un capteur à plaque plane parallèle à l'écoulement. Celui-ci est solidaire d'une poutre de flexion sur laquelle sont fixées des jauges extenso métriques. On remarque pour cet appareil de mesure par détachement de l'allée tourbillonnaire (Sillage), les deux fonctions génération et détection des tourbillons sont séparés.

La disposition géométrique (figure 2) influe directement sur la qualité et l'allure du signal électrique recueilli à la sortie du pont de jauges de contraintes. Le choix du type de détection surfacique par rapport aux détections ponctuelle et volumique nous assure un signal qui facilite aisément son exploitation. Le décentrage du générateur de tourbillons dans le tunnel d'essais, montre un phénomène assez curieux et très important qu'il faut prendre en considération. Le signal inexploitable délivré, fausse complètement la mesure. Les paramètres géométriques capables d'influencer le fonctionnement correct du débitmètre et assurer ainsi la précision sont : la largeur de plaque du capteur, la distance entre le générateur et le capteur, l'influence du matériau et de l'épaisseur de la plaque de détection des tourbillons, l'orientation dans l'écoulement de la plaque du capteur, et la présence de cavités au niveau du détecteur.

La précision cherchée sur la fréquence est élevée, pour cela on est obligé de prendre le plus grand soin et le maximum de précautions, pour obtenir des signaux bien répétitifs et significatifs. Nous avons effectué des centaines d'observations, nous avons retenus celles qui nous ont paru les plus significatives.

En optimisant la disposition géométrique, la recherche d'un signal significatif a montré qu'il était tout à fait possible d'avoir un signal quasi-périodique dans toute la gamme de débits. Celle-ci, pour un obstacle de dimension d , se caractérise par les paramètres suivants :

- Une épaisseur de la plaque du capteur de 0,7 mm.
- Une largeur de plaque du capteur de $1,5.d$ à $2.d$.
- Une distance obstacle générateur plaque de $3,5.d$ à $4,5.d$.

Il faut tout de même noter aussi l'influence des paramètres tels que le décentrage de l'obstacle, les matériaux de la poutre de flexion et la plaque du capteur et enfin l'orientation de cette dernière par rapport à la direction de l'écoulement.

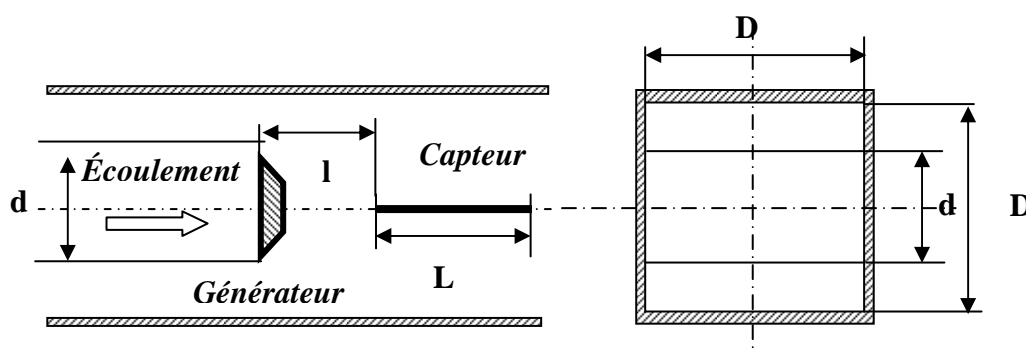


Figure 4 : disposition géométrique pour la technique proposée

5. Résultats et commentaires

Dans une première étape, pour une configuration donnée, nous avons fait des essais pour savoir avec quelle précision se répète, à débit moyen plus ou moins constant, la valeur du nombre de Strouhal. Les résultats montrent que si on répète les mesures dans les mêmes conditions, on trouve une valeur constante à mieux que 0,001 et une variation du nombre de Strouhal avec le débit. Pour un confinement de 0,25, on a :

Débit q_v (l/s)	Nombre de Strouhal St				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
1,56	0,21760	0,21740	0,21701	0,21720	0,21754
4,53	0,21281	0,21280	0,21263	0,21261	0,21255

Dans une deuxième étape, nous présentons dans la figure 5 la variation de la fréquence de détachement tourbillonnaire (F) avec le débit pour différentes valeurs du diamètre de l'obstacle (d), elle montre que la fréquence augmente quand le confinement diminue. La relation fréquence, débit est une fonction linéaire croissante, dont la pente diminue lorsque le confinement augmente

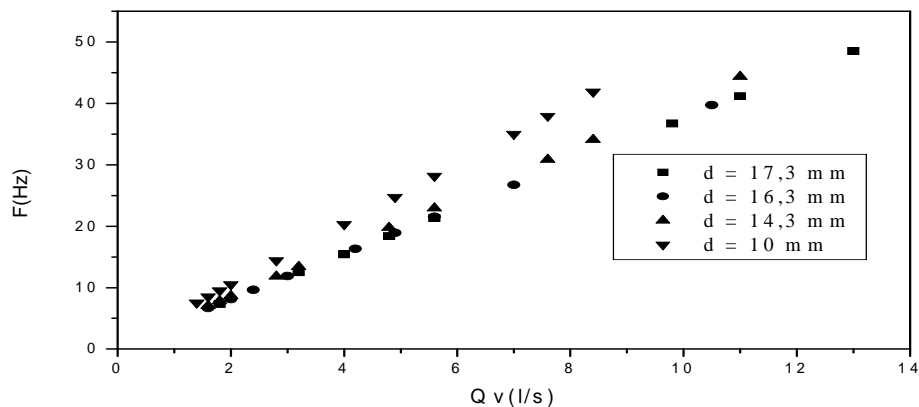


Figure 5 : Variations de la fréquence de détachement des tourbillons avec le débit de la conduite, pour divers dimensions de l'obstacle

6. Conclusion

Pour concevoir et réaliser un appareil de mesure de débit au moyen de l'allée tourbillonnaire ou le sillage généré par un obstacle, donnant une très bonne précision, nous conseillons une disposition géométrique optimale. Le générateur, le capteur et le tunnel doivent assurer un écoulement avec une disposition la plus symétrique possible, éviter les cavités et les aspérités, pour garantir un signal de meilleure qualité possible et minimiser ainsi les erreurs. Le nombre de Strouhal constante de l'appareille qui varie en fonction du confinement, peut être remplacé par un nombre de Strouhal réduit constante universelle indépendante des paramètres géométriques.

Références

- [1] Z. Sun, H. Zhang, J Zhou, Investigation of the pressure probe properties as the sensor in the vortex flowmeter, *Sensors and Actuators A* 136 (2007) 646-655.
- [2] Z Sun, H. Zhang, J Zhou, Evaluation of uncertainty in a vortex flowmeter measurement, *Measurement* 41 (2008) 349-356.
- [3] J. Peng, X. Fu, Y. Chen, Flow measurement by new type vortex flowmeter of dual triangulate bluff body, *Sensors and Actuators A* 115 (2004) 53-59.

- [4] J. Peng, X. Fu, Y. Chen, Experimental investigations of Strouhal number for flows past dual triangulate bluff bodies, *Flow Measurement and instrumentation* 19 (2008) 350-357.
- [5] V. Hans, G. Poppen and all, Vortex Shedding flow meters and ultrasound detect ion: signal processing and influence of bluff body geometry, *Flow Measurement and instrumentation* 9 (1998) 79-82.
- [6] S.C Bera, J.K. Ray, S. Chattopadhyay, A modified inductive pick-up type technique of measurement in a vortex flow meter, *Measurement* 35 (2004) 19-24.
- [7] S. Takashima, H. Asanuma, H. Niitsuma, A water flowmeter using dual fiber Bragg gratting sensors and cross-correlation technique, *Sensors and Actuators A* 116 (2004) 66-74.
- [8] J.J. Miao, C.F. Yeh, C.C. Hu, J.H. Chou, On measurement uncertainty of a vortex flow meter, *Flow Measurement and instrumentation* 16 (2005) 397-404.
- [9] C. H. K. Williamson, R. Govardhan, A brief review of recent results in vortex-induced vibrations series, *Journal of Wind Engineering and Aerodynamics* 96 (2008) 713-735.
- [10] T. Ghaoud, D.W. Clarke, Modelling and Tracking a vortex flow-meter signal, *Flow Measurement and instrumentation* 13 (2002) 103-117.
- [11] J.J. Miao, C. W. Wu, C.C. Hu, J.H. Chou, A study on signal quality of a vortex flow meter downstream of two elbows out-of-plane, *Flow Measurement and instrumentation* 13 (2002) 75-85.
- [12] J.P. Bentley, J...Mudd, Vortex shedding mechanisms in single and dual bluff bodies, *Flow Measurement and instrumentation* 14 (2003) 23-31.
- [13] G. L. Pankanin, A. Kulinczak, J. Berlinski, Investigation of Karman vortex street using flow visualization and image processing, *Sensors and Actuators A* 138 (2007) 366-375.