



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté des sciences et de génie
Laboratoire d'instrumentation [GPH-2003]
Hiver 2019

DÉBITMÈTRE

Date de l'expérience : 14 mars 2019
Coéquipiers : Anaïs Parrot & Étienne Ransford & Quentin Perry-Auger

Réalisé par

MARC-ANDRÉ VIGNEAULT
marc-andre.vigneault.2@ulaval.ca

Date de remise : 29 mars 2019

Table des matières

1	Introduction	1
2	Théorie	1
3	Méthodologie	2
4	Résultats	4
5	Discussion	5
5.1	Débitmètre à temps de transit	5
5.2	Débitmètre à déphasage	5
6	Conclusion	6
	Annexe A Mesures reliées au débitmètre à temps de propagation	7
	Annexe B Mesures reliées au débitmètre à déphasage	7
	Annexe C Signaux pour le débitmètre à temps de propagation	8

1 Introduction

Les entreprises de production et d'extraction de matière ont souvent affaire à des quantités de matériel importantes, dangereuses, visqueuses, etc. Afin d'augmenter l'efficacité du transport de ces matières, ceux-ci doivent se doter de tuyauterie et de pompe afin d'acheminer leur produit dans un autre endroit. Afin d'estimer la quantité de matériel circulant dans les tuyau, il est nécessaire d'avoir des capteurs de débit, aussi appelés débitmètres. Les techniques de mesure de débit sont variées et possèdent chacune leur particularité.

Cette étude s'est intéressée à la caractérisation de capteurs de débit par ondes acoustiques : Le capteur à déphasage et le capteur à temps de déformation. Un modèle théorique sera premièrement établi, suivit par un méthodologie de l'expérience effectuée. Les résultats seront montrés et comparés avec le modèle théorique. Les différents capteurs seront comparés entres-eux afin de déterminer les avantages et désavantages de l'un par rapport à l'autre.

2 Théorie

Dans un débitmètre à temps de propagation, l'onde sonore, propagée dans le fluide, est dirigée vers un capteur avec un certain angle θ , tel qu'illustré à la figure 1.

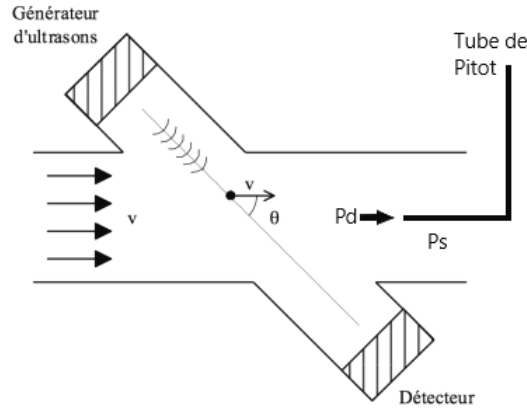


FIGURE 1 – Principe du débitmètre par temps de propagation et par déphasage utilisant des ondes mécaniques ultrasoniques.

Le tube de Pitot permet ici de mesurer la différence entre la pression totale du système et la pression statique (P_s) qui est la pression intrinsèque du fluide, ce qui permet de retrouver la pression dynamique (P_d), qui provient du mouvement du fluide et de laquelle on peut retrouver la vitesse du fluide. Selon les équations de Bernoulli,

$$p_t = p_s + \left(\frac{\rho v^2}{2} \right)$$

Isolant pour v , on retrouve une vitesse de fluide qui devrait être égale à

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

Le fluide a vitesse non-nulle poussera l'onde mécanique avec un certain angle, lui ajoutant ainsi une composante de vitesse et diminuant le temps nécessaire pour atteindre le capteur. Pour une impulsion sonore, la réception sera alors plus rapide, pour la comparaison de phase, il y aura modification du déphasage entre les ondes émises et reçues. La vitesse du fluide mesurée à l'aide du tube de Pitot permettra d'étalonner les deux autres capteurs en fournissant la référence pour la vitesse. Ainsi, lorsque qu'une courbe d'étalonnage sera mesurée, il sera possible de convertir un décalage en temps ou phase directement en vitesse, et alors directement en débit, connaissant la section du tuyau. On peut calculer soit le débit volumique ou le débit massique. Le débit sera donnée par vA [m^3/s] ou en $vA\rho$ [kg/s].

3 Méthodologie

Le protocole détaillé se trouve en référence [1].

Le premier montage est un débitmètre à temps de propagation dont le schéma est illustré à la figure 2.

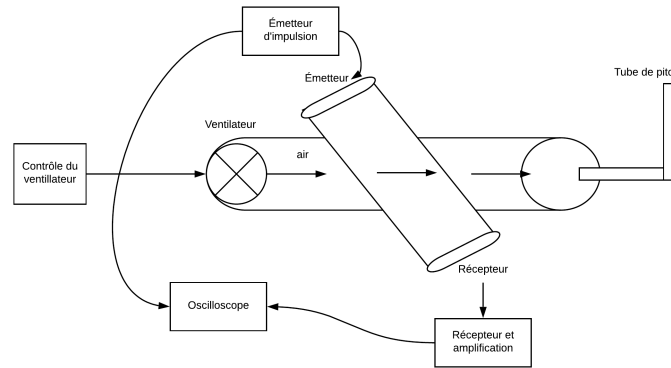


FIGURE 2 – Montage utilisé lors de l'étalonnage du capteur à temps de propagation.

Tout d'abord, le moteur du ventilateur est allumé et une vérification de l'état des fusibles a confirmé qu'ils étaient fonctionnels. L'émetteur et le récepteur d'ultrasons ont été allumés et le signal émis et le signal reçu ont été affichés sur un oscilloscope Tektronix TDS-1002. Le signal émis est une impulsion. Une première mesure a été prise, avec une vitesse du fluide dans le conduit de 0 m/s, afin de mesurer le temps de propagation initial de l'onde. La vitesse de la turbine a ensuite été augmentée à l'aide du variac par incréments irréguliers, dû à l'imprécision du variac et de la non-linéarité de la commande du moteur. Pour chaque incrément, la pression au tube de Pitot a été mesurée afin d'obtenir une vitesse de fluide de référence. Finalement, le décalage temporel a été mesuré à l'oscilloscope. La mesure du temps de propagation a été faite à partir du pic de plus haute intensité pour le signal reçu.

La figure 3 illustre le deuxième montage : il s'agit d'un débitmètre à déphasage.

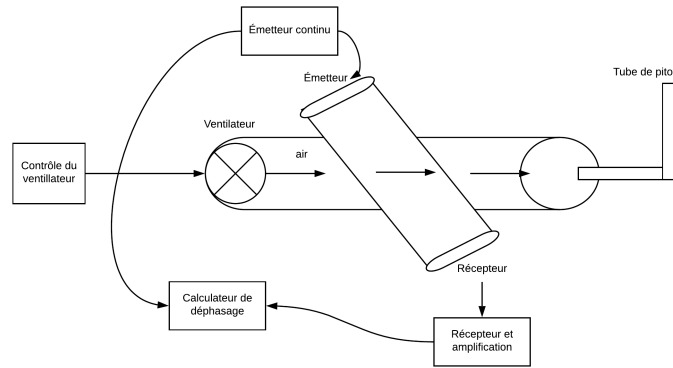


FIGURE 3 – Montage utilisé lors de l'étalonnage du capteur à déphasage.

Comme pour le débitmètre à temps de propagation, le moteur est allumé et l'état des fusibles est vérifié. L'émetteur et le récepteur d'ultrasons ont été allumés et le signal émis et le signal reçu sont acheminés vers un appareil de mesure de déphasage. Le signal émis et reçu sont des signaux continus sinusoïdaux ayant la même fréquence. Une première mesure a été faite avec une vitesse du fluide dans le conduit de 0 m/s, afin de mesurer déphase initial entre les deux signaux. La vitesse de la turbine a ensuite été augmentée à l'aide du variac par incréments les plus réguliers possible. La pression au tube de Pitot est mesurée afin d'obtenir une vitesse de référence et le déphasage est noté pour chaque incrément.

4 Résultats

Les valeurs de l'expérience sont montrées sous forme de tableau en annexe A et B. L'ensemble des incertitudes proviennent des documents des spécifications du matériel utilisé.

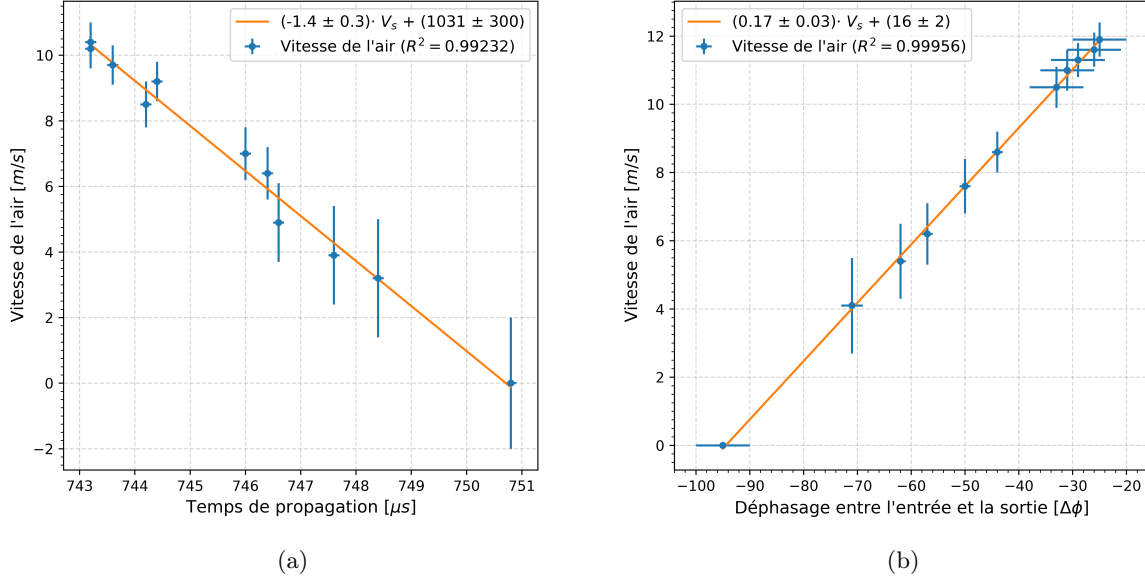


FIGURE 4 – En (b), on observe le déphasage entre l'onde sonore continue envoyée de l'émetteur et celle reçue par le récepteur selon la vitesse de l'air dans le tuyau. En (a), on observe le temps de propagation d'une impulsion sonore selon la vitesse de l'air. Les mesures sont laissées en vitesse plutôt qu'en débit, car le diamètre de la section peut varier. Pour obtenir le débit, il ne s'agit que de multiplier par l'aire de la section.

On observe ici les courbes d'étalonnage produites à partir de la mesure de la vitesse à l'aide d'un tube de Pitot. Sur ces figures, il est possible de relier la vitesse du fluide directement avec la mesure envoyée par les capteurs.

Pour le capteur à déphasage les signaux d'entrée et de sortie possédaient une amplitude de 7.2V PP et de 308mV PP. Le module d'amplification possédait un gain fixe. Il est raisonnable de croire qu'une partie de l'information s'est atténuée lors de sa propagation dans l'air, mais comme l'information sur les capteurs n'est pas disponible, il n'est pas possible de caractériser cette atténuation.

Pour le capteur à temps de propagation, le pulse envoyé avait une largeur d'environ 160 ns. À son arrivée au capteur, celui-ci était très étalé temporellement, formant un sinus cardinal. Les mesures de temps, comme expliqué dans la méthodologie, ont été faites sur le pic central du sinc. Une représentation des signaux est disponible en annexe C.

5 Discussion

5.1 Débitmètre à temps de transit

On remarque que la tendance entre le temps de propagation et l'impulsion est négativement proportionnel. À cause de l'imprécision des appareils utilisés, une grande incertitude est présente sur la droite d'étalonnage effectuée. La cause principale est le tube de Pitot qui avait une lecture très imprécise, puisqu'il s'agissait d'un affichage à aiguille avec très peu de divisions. Malgré ces incertitudes, on remarque une tendance linéaire avec un coefficient $R^2 = 0.99232$, ce qui appuie la relation linéaire. Comme mentionné, une augmentation de la vitesse du fluide donnera un composante supplémentaire de vitesse à l'onde sonore qui parcourra la distance entre l'émetteur et le capteur plus rapidement. Cette relation est en nature inversement proportionnelle si on veut qu'elle reste la physique classique, où, dans le cas du débitmètre à temps de transit, ce temps devrait être de :

$$\Delta t = t_{\text{propagation}} + t_{\text{délai}} = \frac{d_{\text{ext}}}{c} + \frac{d_{\text{tube}}}{c + v \cos(\theta)}$$

Cependant, l'observation d'une relation linéaire n'est pas surprenante, puisque les vitesses de l'air n'étaient pas très importantes. Il se peut que les mesures aient été prises dans le régime où la relation entre le temps de propagation semble linéaire avec la vitesse. Afin de vérifier la relation proposée, il serait intéressant qu'une expérience soit effectuée avec des vitesses de fluide plus importante afin d'observer la non-linéarité.

5.2 Débitmètre à déphasage

On remarque que la tendance entre le déphasage entre l'onde émise et celle reçue semble varier linéairement ($R^2 = 99956$) avec la vitesse du fluide. Cependant, il s'agit encore une fois d'une relation linéaire apparente, puisque la phase d'une onde à un point quelconque dépend directement de du temps de transit. On sait que la propagation d'une onde peut être décrite comme suit :

$$e^{i\phi} = e^{i\omega t}$$

Ainsi, on voit que la phase ϕ d'une onde dépend du temps t qu'elle a parcourue. Puisque le temps de transit est une mesure régie par une loi inversement proportionnelle, on comprend que la phase d'une onde à un point particulier ne sera pas linéaire avec la modification d'un paramètre. Or, la vitesse du fluide devrait être augmentée à tel point que la relation n'est plus linéaire afin de s'assurer de la plage de validité des relations trouvées lors de l'étalonnage des capteurs.

6 Conclusion

Finalement, les deux techniques étudiées semblent être des techniques fiables et simples pour la mesure du débit, mais des instruments de précision auraient intérêt à être utilisés si une plus grande précision est désirée. Également, afin de confirmer la relation vitesse du fluide et temps de propagation, des mesures pourraient être effectuées sur une plus grande plage afin de s'assurer de ne pas approximer une relation linéaire pour des vitesses où cette approximation n'est plus applicable. Même si les relations présentées semblent linéaires, avec un $R^2 = 99232$ pour le débitmètre à temps de propagation et un $R^2 = 0.99956$ pour le débitmètre à déphasage, on comprend que ces relations ne sont que des approximations, il s'agit d'une plage approximativement linéaire dans une relation générale non-linéaire.

En somme, chaque méthode étudiée est intéressante et permet de mesurer un débit, à l'intérieur de certaines limites. Afin de confirmer la relation non-linéaire évoquée en Discussion et d'étalonner les capteurs dans cette zone, il serait important d'effectuer des mesures sur une plage plus importante afin d'observer ces non-linéarités. Également, il serait intéressant de caractériser d'autres méthodes modernes de mesure de débit afin de comparer leurs performances et de mieux attribuer les capteurs pour des utilisations dans des conditions de mesure spécifiques où ils risquent d'être utilisés de façon plus appropriée.

A Mesures reliées au débitmètre à temps de propagation

Temps de propagation [$\mu s \pm 0.1$]	V_{fluide} [m]	ΔP [Pascals ± 1]
750.8	0 ± 2	0
748.4	3.2 ± 1.8	6
747.6	3.9 ± 1.5	9
746.6	4.9 ± 1.2	14
746.4	6.4 ± 0.8	24
746.0	7.0 ± 0.8	29
744.2	8.5 ± 0.7	43
744.4	9.2 ± 0.6	50
743.6	9.7 ± 0.6	56
743.2	10.2 ± 0.6	62
743.2	10.4 ± 0.6	64

B Mesures reliées au débitmètre à déphasage

Déphasage [$\Delta\phi \pm 5$]	Vitesse de l'air [m/s]
-95	0.0 ± 0.5
-71 ± 2	4.1 ± 1.4
-62 ± 1	5.4 ± 1.1
-57 ± 1	6.2 ± 0.9
-50 ± 1	7.6 ± 0.8
-44 ± 1	8.6 ± 0.6
-33	10.5 ± 0.6
-31	11.0 ± 0.6
-29	11.3 ± 0.5
-26	11.6 ± 0.5
-25	11.9 ± 0.5

C Signaux pour le débitmètre à temps de propagation

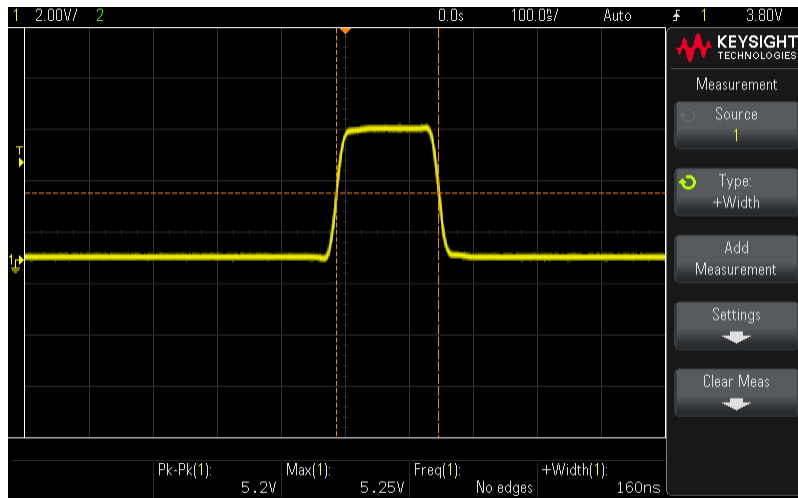


FIGURE 5 – Signal pulsé émis par l'émetteur

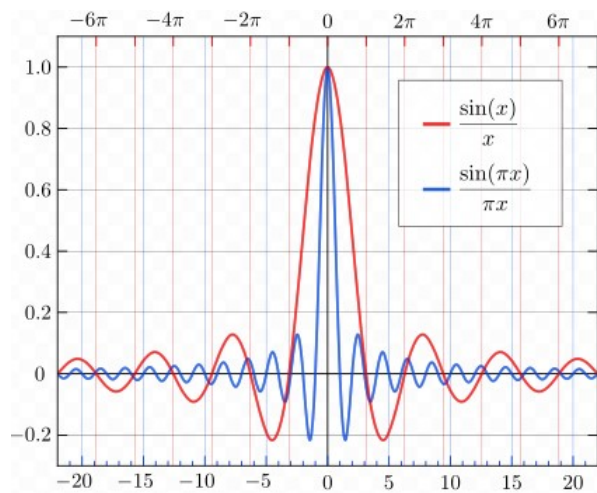


FIGURE 6 – Forme du signal reçu. On remarque un étirement de l'impulsion, ce qui est caractéristique à la propagation d'impulsions.

Références

- [1] *Laboratoire d'instrumentation - Conditionnement et circuit de transmission [p.23]*. URL : <https://siteducours.monportail.ulaval.ca/contenu/siteducours/036/03613/201901/site103274/accueil/bloctexte545794/ressourcetexte/NotesDeCours%5C%20GPH-2003.pdf> (visité le 01/03/2018).