

Evaluation d'un Profileur Acoustique Haute Résolution pour l'Étude du Transport Solide en Rivière

Stéphane Fischer

Ubertone, 4 rue Boussingault, 03 67 100 883, stephane.fischer@ubertone.fr

Résumé : L'utilisation des techniques ultrasonores permet de mesurer des profils de vitesse et de turbidité acoustique dans les écoulements tels que les rivières et les réseaux d'assainissement. En particulier, la technique Doppler cohérente permet d'obtenir des résolutions spatiale et temporelle fines associées à une très bonne précision. Ces informations permettent d'étudier les phénomènes hydrauliques de transport solide en apportant des renseignements sur le gradient de vitesse, la turbulence et la concentration de sédiments en suspension. Le profileur d'Ubertone a été évalué en rivière dans différentes conditions d'écoulement et de concentration. Les résultats de ces essais montrent l'intérêt de cette technologie pour l'étude des écoulements dans les applications environnementales.

Mots clés : profil de vitesse, turbidité acoustique, ultrasons, sédiments, résolution spatiale, résolution temporelle.

Introduction

La compréhension du comportement hydraulique des rivières nécessite des mesures précises de vitesse avec une bonne résolution spatiale et temporelle. Les techniques de mesure de profil de vitesses par ultrasons font partie des outils les plus performants en recherche hydraulique [1, 2]. Elles permettent en outre d'étudier finement un écoulement et de valider des modèles numériques. La société Ubertone a développé un profileur acoustique, l'UB-flow F156, qui combine la performance d'un instrument scientifique avec la robustesse et l'ergonomie d'un instrument de terrain.

L'estimation de la vitesse dans un ensemble de volumes répartis le long d'un axe (profil) par l'UB-flow F156 repose sur l'utilisation d'une méthode Doppler pulsée cohérente [3]. Cette méthode utilise l'observation du décalage de phase de l'écho acoustique dans le même volume au cours de plusieurs cycles d'émission-réception. Ce décalage de phase permet le calcul de la vitesse par effet Doppler avec de très bonnes résolutions spatiale et temporelle. La turbidité acoustique permet d'évaluer la concentration de matière en suspension ainsi que la granulométrie des particules [4].

L'instrument est équipé de deux transducteurs et d'une électronique intégrés dans un boîtier immergé dans l'écoulement.

Principe de mesure

L'un des principaux avantages de la méthode par ultrasons pulsés est la possibilité de mesurer à distance sans perturbation de l'écoulement. L'émission d'une onde ultrasonore pulsée dans un faisceau étroit permet d'observer un profil composé de cellules (volumes) de mesure distribuées le long de l'axe du faisceau. En effet, l'onde est propagée le long du faisceau et est diffusée par les particules en suspension dans le milieu. Les échos des particules sont reçues par le même transducteur, le signal est conditionné, amplifié, démodulé et échantillonné. Ce signal contient les informations de vitesse et de concentration, le temps de parcours des ultrasons dépend de la position des particules concernées. Ainsi le fenêtrage du signal rétrodiffusé permet d'obtenir un profil.

Estimation de la vitesse

Le profileur UB-Flow F156 utilise la méthode Doppler pulsée cohérente pour l'estimation de la vitesse. Cette méthode utilise le déphasage du signal acoustique dans le même volume

durant plusieurs cycles d'émission-réception. Chaque cycle génère un échantillon par volume. Un ensemble d'échantillons provenant du même volume définit le "signal Doppler" dont la fréquence f_D est proportionnelle à la vitesse v du liquide selon :

$$v = \frac{c \cdot f_D}{2 f_0 \cdot \cos \beta}$$

où c est la célérité du son dans le milieu, f_0 la fréquence porteuse et β l'angle entre la direction de l'écoulement et le faisceau acoustique.

La méthode Doppler pulsée cohérente a été largement étudiée [5]. Elle garantit une bonne résolution spatiale et temporelle associée à une faible variance sur l'estimation de vitesse.

Calcul de la turbidité acoustique

La turbidité d'un fluide est généralement mesurée par des techniques optiques. Ce paramètre est utilisé pour l'étude du transport solide en réseau d'assainissement et en rivière car il est lié à la concentration de sédiments en suspension.

La turbidité acoustique est définie par la capacité des particules en suspension à diffuser une onde acoustique. On peut l'exprimer, pour une fréquence donnée par le ratio :

$$T_r = \frac{v_r^2}{v_e^2 \cdot \Delta t_p \cdot G_t(z) \left(\frac{z}{R_t} \right)^2}$$

avec :

v_r la tension reçue,

v_e la tension émise,

Δt_p la durée du pulse d'émission,

$G_t(z)$ le gain électro-mécanique du transducteur (incluant la correction de champ proche),

z la distance au transducteur,

R_t le rayon du transducteur.

Ce paramètre T_r est proportionnel à l'intensité acoustique rétrodiffusée et compense les effets du transducteur et de l'amplification. Ainsi, T_r dépend uniquement des caractéristiques du liquide (atténuation) et des particules en suspension (concentration, taille, nature, forme). Ce paramètre peut permettre d'évaluer la concentration de sédiment en fonction de la classe granulométrique [4].

Résultats

Mesure de vitesse

Des mesures sur la rivière Aar, à Strasbourg, ont été réalisées avec l'instrument UB-flow F156. Le profil de vitesse moyen (figure 1) mesuré en bordure de rivière est caractéristique de l'écoulement observé.

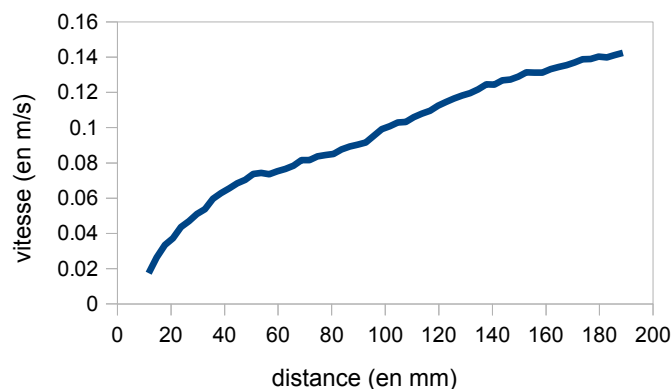


Figure 1: Profil de vitesse dans les premiers centimètres en bordure de rivière

Un exemple d'évolution de vitesse en fonction du temps est présenté figure 2. Elle est observée à une distance de 36 cm du transducteur et montre les turbulences présentes dans ces volumes de mesure. La corrélation très forte entre les volumes distants de 7.5cm est due à la cohérence dans les structures turbulentes.

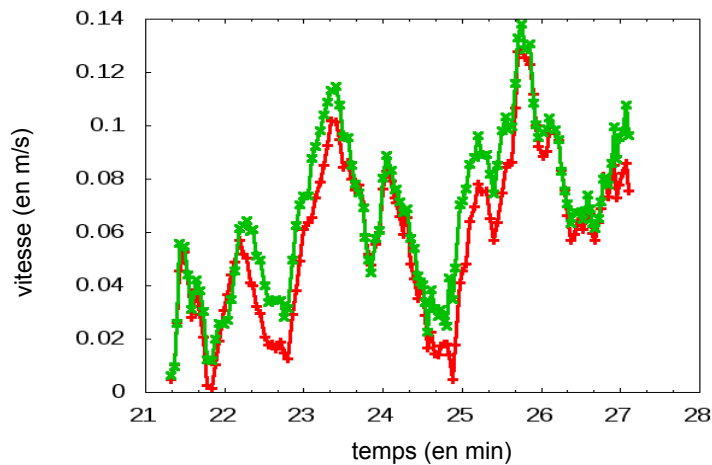


Figure 2: Evolution de la vitesse dans deux volumes de mesures distant de 7.5 cm à 36 cm du transducteur.

Mesure de turbidité

La figure 3 compare la turbidité acoustique Tr dans le même volume de mesure pour deux conditions météorologiques différentes. La première mesure a été obtenue en étiage en juillet, et la seconde par temps de pluie en décembre. On peut observer dans le premier cas (courbe rouge) la faible turbidité acoustique du milieu, ponctuée d'une turbidité plus forte correspondant à quelques particules de taille plus importantes transportées par le fluide, et pour le second cas (courbe verte) une turbidité globale bien plus grande correspondant à la concentration plus importante en particules.

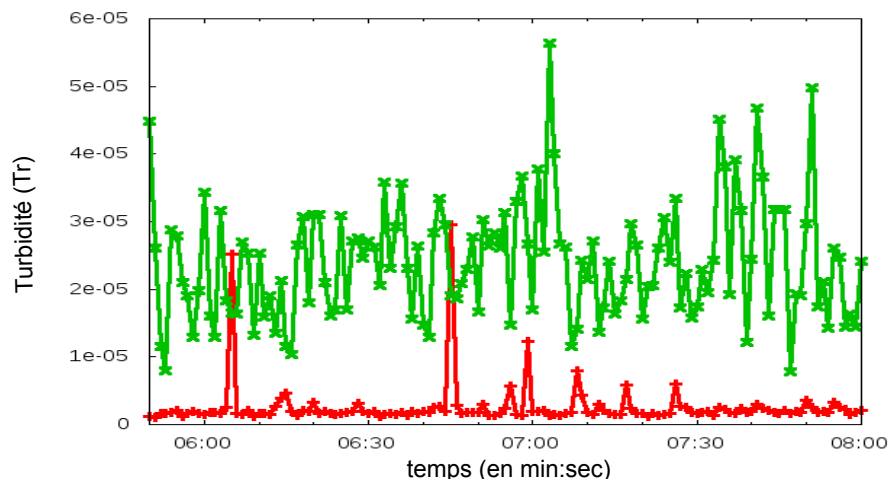


Figure 3: Evolution de la turbidité Tr en fonction du temps dans deux conditions de concentration différentes (ligne rouge : temps sec, ligne verte : temps de pluie)

En outre, l'UB-flow F156 permet d'ajuster la sensibilité à la taille des particules en suspension par le choix de la fréquence d'émission allant de 1 à 7.5 MHz.

Mesures conjointes

Des essais du profileur UB-flow F156 ont été réalisés sur la rivière du Couesnon en baie du Mont Saint Michel. Cette rivière subie quotidiennement des chasses destinées à désensabler

le mont afin de lui rendre son caractère insulaire. L'appareil a été installé de manière à observer le profil près du fond. L'illustration ci-dessous présente l'évolution dans le temps (axe des ordonnées) des profils de vitesse et de turbidité acoustique obtenus au début de la chasse. Dans le graphique représentant la turbidité acoustique, on distingue nettement le fond de la rivière qui se présente sous la forme d'un pic à environ 17 cm du capteur. On distingue nettement l'évolution conjointe de la vitesse et de la turbidité acoustique. Passé un seuil de vitesse, on observe dans le graphique de la turbidité la mise en suspension des sédiments. Le graphique des vitesses permet également de visualiser les structures cohérentes par la présence de zone de même vitesse.

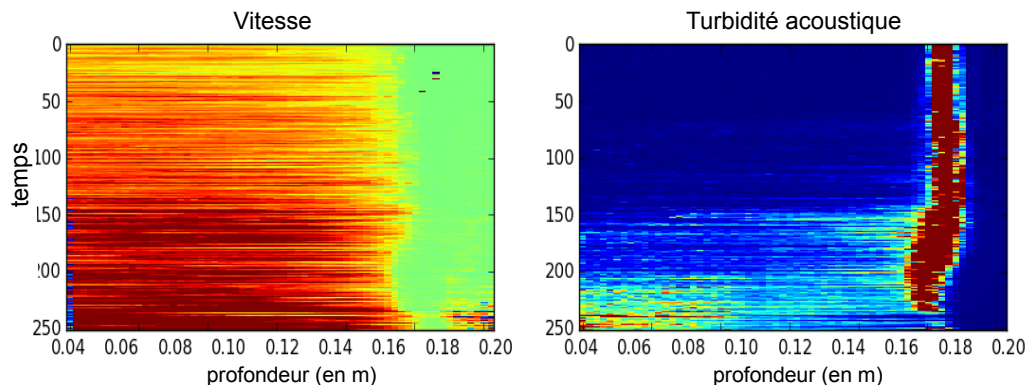


Figure 4: évolution conjointe de la vitesse et de la turbidité acoustique en début de chasse dans le Couesnon

Conclusion

Les mesures de profil de vitesse et de turbidité acoustique réalisées avec l'UB-flow F156 montrent l'intérêt de ce profileur pour l'étude du transport solide en rivière. La technique Doppler cohérente apporte une résolution spatiale et temporelle permettant d'analyser finement le champ de vitesse moyen ainsi que la turbulence. Le calcul de la turbidité acoustique à partir de l'intensité rétrodiffusée donne accès à la concentration de matière en suspension.

Bibliographie

- [1] G. De Cesare and J.-L. Boillat, Flow velocity measurements using ultrasound Doppler method - 10 years experience in hydraulic modeling, Proceedings of the Fifth International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, 2006.
- [2] P. Schmitt, F. Abda, S. Fischer et A. Pallarès, Utilisation de l'effet Doppler dans la mesure par ultrasons pulsés de profils de vitesses, Congrès de la SHF : 30es Journées Mesures Hydrologiques et Incertitudes en Hydrométrie et Qualité de l'eau, 2008
- [3] Miller KS, Rochwarger MM. A covariance approach to spectral moment, IEEE Transactions on Information Theory 1972;18:588–96.
- [4] Abda F., Azbaid A., Ensminger D., Fischer S., François P., Schmitt P., Pallarès A. : Ultrasonic device for real-time sewage velocity and suspended particles concentration measurements, Water Science & Technology, 60.1(2009) 117-125.
- [5] Abeysekera S., Performance of pulse-pair method of Doppler estimation. Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions, vol.34 (1998) 520-531.