

Document associé à la Charte Qualité de l'hydrométrie 2017 – Chapitre 4		
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE	<h2 style="color: red;">Fiche 4.4 :</h2> <h1 style="color: red;">Jaugeage par exploration du champ des vitesses avec ajout de verticales bathymétriques</h1>	
<u>Rédacteur</u> : Hauet A., alexandre.hauet@edf.fr <u>Vérificateurs</u> : Le Coz J. (Irstea), Bechon P.M.		<u>Mise à jour</u> : Janvier 2018

1. Contexte

Les méthodes de calcul des incertitudes liées aux mesures par exploration du champ des vitesses au courantomètre (ISO748, IVE, Q+, Flaure) convergent sur l'importance d'une bonne description de la forme du fond de la rivière (et donc de la surface mouillée de l'écoulement). La bathymétrie montre en général des changements et gradients transversaux plus importants que les vitesses d'écoulement. Il est donc intéressant d'augmenter le nombre de mesures de profondeur, sans pénaliser le temps de réalisation du jaugeage. La méthode dite d'ajout de verticales bathymétriques consiste à intercaler entre les verticales de mesure complètes (où l'on mesure la profondeur et les vitesses, en point par point ou en intégration), une ou plusieurs verticales où l'on ne mesure que la profondeur. Cette méthode est proposée dans la nouvelle version de la norme ISO 748 en cours de révision (2017).

Cette stratégie s'avère efficace voire nécessaire dans plusieurs situations fréquemment rencontrées : nombre de verticales traditionnelles insuffisant pour décrire la complexité de la géométrie du fond, notamment pour les jaugeages en crue avec évolution rapide du débit, ou encore pour les jaugeages surfaciques, notamment par radar portable SVR, pour lesquels la géométrie de la section est mesurée indépendamment des mesures de vitesse et souvent avec une plus haute résolution spatiale.

2. Protocole

De façon générale, il est possible d'insérer autant de verticales bathymétriques entre les verticales complètes que nécessaire pour décrire correctement le profil transversal du fond. Si le débit est susceptible de varier pendant les mesures, mieux vaut effectuer les verticales bathymétriques à la fin, une fois effectuées toutes les verticales complètes avec mesure des vitesses.

En pratique, un protocole peut consister à réaliser, sur un transect, un jaugeage « classique » à n verticales complètes (en respectant le nombre de verticales complètes nécessaire à assurer une bonne qualité au jaugeage), puis d'intercaler sur le retour $n-1$ verticales bathymétriques entre les verticales complètes. Le temps ajouté au jaugeage pour réaliser les verticales bathymétriques est très faible. La Figure 1 illustre le protocole de mesure avec ajout de verticales bathymétriques.

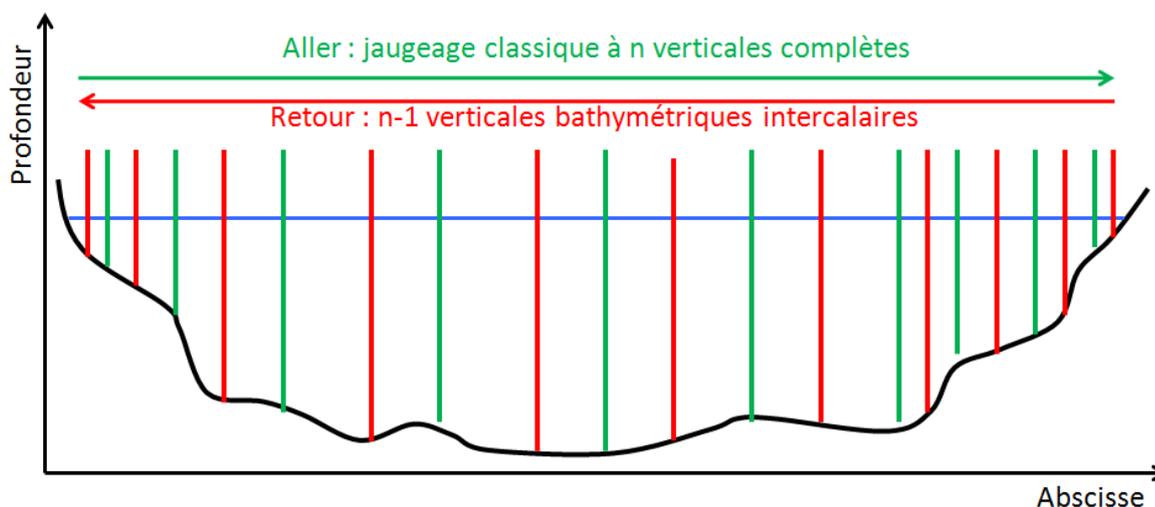


Figure 1 : illustration du protocole typique de jaugeage en crue avec ajout de verticales bathymétriques (noter qu'il est également possible insérer un nombre quelconque de verticales bathymétriques entre deux verticales traditionnelles).

3. Calcul du débit

Afin de calculer le débit, une vitesse moyenne doit être calculée pour chaque verticale bathymétrique. Cette vitesse moyenne est estimée à partir des vitesses moyennes des verticales complètes voisines. Afin de valoriser au mieux la mesure de profondeur réalisée sur la verticale bathymétrique, il est intéressant d'utiliser une hypothèse hydraulique d'évolution linéaire du nombre de Froude local, au lieu de simplement corriger les surfaces des sous-sections mouillées. L'interpolation linéaire des nombres de Froude locaux est proposée par plusieurs références : Boiten (2000), Despax (2016), Fulford et Sauer (1986), ISO/TR 9823 (1990), Le Coz et al. (2008, 2012, 2014).

Soit une verticale bathymétrique positionnée à l'abscisse x_i , dont les verticales complètes (avec profondeur et vitesses) les plus proches de chaque côté sont positionnées en x_{i-1} et x_{i+1} (Figure 2).

En $i-1$, la verticale complète permet d'avoir la profondeur h_{i-1} ainsi que la vitesse moyenne sur la profondeur V_{i-1} . On calcule le nombre de Froude local :

$$Fr_{i-1} = \frac{V_{i-1}}{\sqrt{g \cdot h_{i-1}}}$$

avec g l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

En $i+1$, le nombre de Froude local vaut :

$$Fr_{i+1} = \frac{V_{i+1}}{\sqrt{g \cdot h_{i+1}}}$$

Le nombre de Froude de la verticale bathymétrique, positionnée en i , est calculé par interpolation linéaire comme :

$$Fr_i = \frac{[(x_{i+1} - x_i) \cdot Fr_{i-1} + (x_i - x_{i-1}) \cdot Fr_{i+1}]}{x_{i+1} - x_{i-1}}$$

Connaissant la profondeur en i , h_i , on calcule la vitesse moyenne associée comme :

$$V_i = Fr_i \cdot \sqrt{g \cdot h_i}$$

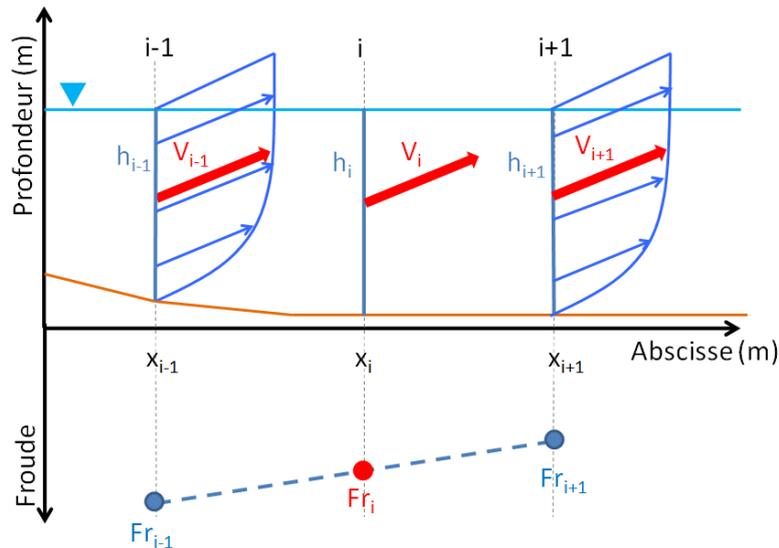


Figure 2 : Calcul de la vitesse moyenne associée à une verticale bathymétrique par interpolation du nombre de Froude local Fr_i

Dans le cas d'une verticale bathymétrique située entre la rive et les autres verticales, il convient de faire une hypothèse sur la vitesse en rive : elle est théoriquement nulle, mais une extrapolation constante ou vers une vitesse fictive en rive calculée avec un coefficient de rive (cas du logiciel Barème) peut être plus réaliste qu'une extrapolation linéaire vers zéro, en pratique.

Le calcul du débit peut finalement se faire normalement sur l'ensemble des verticales traditionnelles et bathymétriques, désormais munies d'une vitesse moyenne estimée.

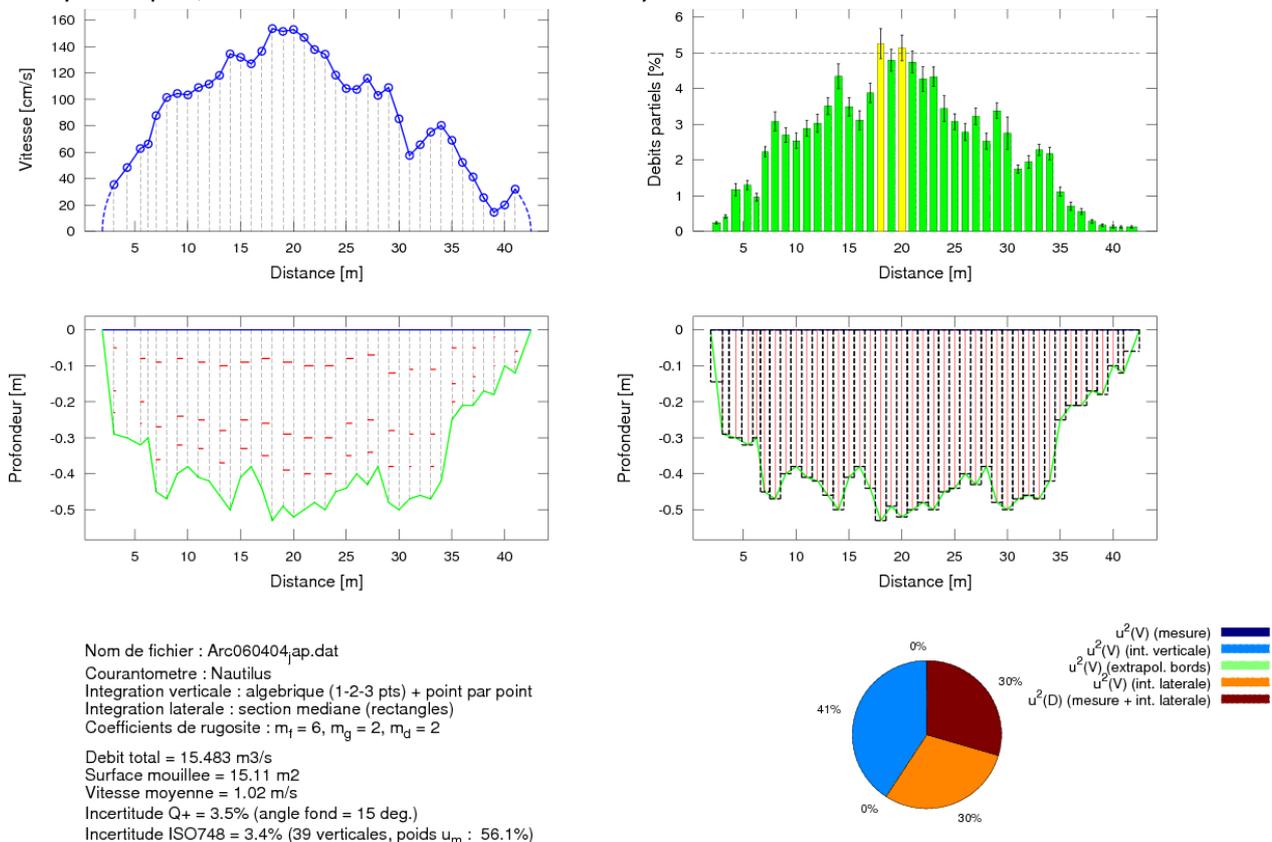


Figure 3 : Application de la méthode des verticales bathymétriques à un jaugeage de l'Arc-en-Maurienne à St-Avre (Le Coz et al., 2014). L'incertitude globale évaluée par la méthode Q+ est réduite à $\pm 3,5\%$ au lieu de $\pm 7,0\%$ sans les verticales intercalaires.

Le calcul d'incertitude peut également se faire normalement, en remplaçant cependant l'incertitude de mesure de la vitesse moyenne sur chaque verticale bathymétrique par une incertitude d'interpolation de cette vitesse (cf. Le Coz et al., 2012, 2014, Despax, 2016). Grâce à l'ajout des verticales bathymétriques, l'incertitude liée aux erreurs d'interpolation transversale des profondeurs est réduite. Dans une moindre mesure, l'incertitude liée aux erreurs d'interpolation transversale des vitesses est également réduite, à travers le modèle d'interpolation linéaire des nombres de Froude locaux.

4. Références bibliographiques

Boiten W. (2000). Hydrometry, Francis and Taylor publishers, 242 p.

Despax, A. (2016). Incertitude des mesures de débit des cours d'eau au courantomètre. Amélioration des méthodes analytiques et apports des essais interlaboratoires. Thèse de doctorat, Université Grenoble-Alpes, 265 p.

Fulford, J., Sauer, V. (1986). Comparison of velocity interpolation methods for computing open-channel discharge. U.S. Geological Survey Water-supply Paper 2290, 139–144.

ISO/TR 9823 (1990). Liquid flow measurement in open channels. Velocity-area method using a restricted number of verticals, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 16 p. (plus en vigueur)

Le Coz, J., Pierrefeu, G., Paquier A. (2008). Evaluation of river discharges monitored by a fixed side-looking Doppler profiler, Water Resources Research, 44, W00D09, doi:10.1029/2008WR006967.

Le Coz, J., Camenen, B., Peyrard, X., Dramais, G. (2012) Uncertainty in open-channel discharges measured with the velocity-area method, Flow Measurement and Instrumentation, 26, 18-29

Le Coz, J., Bechon, P.-M., Camenen, B., Dramais, G. (2014) Quantification des incertitudes sur les jaugeages par exploration du champ des vitesses, La Houille Blanche, 5, 2014, 31-39