

Mesures sans contact des débits de crue : avancées et perspectives

Guillaume Dramais¹, Jérôme Le Coz¹, Antoine Gallavardin¹, Patrick Duby², Alexandre Hauet³, John Laronne⁴

¹ Cemagref de Lyon, Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique

guillaume.dramais@cemagref.fr, jerome.lecoz@cemagref.fr, antoine.gallavardin@cemagref.fr

² Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement – Rhône Alpes
Patrick.DUBY@developpement-durable.gouv.fr

³ Electricité de France, Direction technique Générale, Toulouse alexandre.hauet@edf.fr

⁴ Department of Geography and Environmental Development, University of the Negev, Israel.
john@bgu.ac.il

Résumé : La mesure du débit des rivières en crue est très complexe, et les techniques traditionnelles (ADCP, moulinet) sont limitées par les vitesses trop importantes et le transport solide en surface ou en suspension. Depuis 2005, l'équipe métrologie du Cemagref de Lyon travaille avec différents partenaires sur le développement des méthodes de mesure du débit sans contact. Les deux techniques présentées et testées dans cette étude permettent des mesures de vitesse de surface sans contact par analyse de séquences d'images (LSPIV) et par radar. Les chaînes de mesure sans contact présentées dans cette étude offrent de nouvelles solutions opérationnelles pour mesurer les débits, et permettent de réduire l'incertitude considérable qui affecte souvent les hydrogrammes de crue.

Mots clés : Hydrométrie, Crue, LSPIV, Radar, Jaugeage

1 Introduction

La connaissance des débits des rivières est stratégique pour la sécurité des personnes et des biens mais aussi pour la gestion de la ressource en eau. Lors des crues il est souvent très difficile pour les équipes d'hydrométrie de réaliser des jaugeages. Pourtant les mesures des débits de crue ont un impact direct sur le dimensionnement des ouvrages de protection, la cartographie des risques, les dispositifs d'alerte, etc. Il est donc très important d'arriver à mesurer ces débits en maîtrisant les incertitudes. Les techniques traditionnelles (moulinets, profileurs, courantmètres électromagnétiques ou acoustiques, dilution de traceur) trouvent souvent leurs limites lors des crues, dans les écoulements rapides, très chargés en matières en suspension ou flottantes. Dans cette étude nous présentons deux techniques innovantes et leur déploiement appliqués sur l'Arc en Maurienne et sur l'Ardèche.

2 Matériels et méthodes

2.1 Mesures de vitesse par LSPIV

La LSPIV (pour Large Scale Particle Image Velocimetry) est étendue du laboratoire aux rivières à la fin des années 90. Cette technique de mesure des vitesses de surface a été testée et validée par plusieurs équipes dans différentes configurations d'écoulement [2, 3, 4]. Les algorithmes de calcul et les déploiements fixes et mobiles ont été testés et validés sur différents cours d'eau [2, 3, 4]. L'hydrométrie par analyse d'images consiste à reconnaître, de manière statistique, le déplacement de formes visibles (traceurs de l'écoulement) sur deux images successives. L'analyse d'images permet de mesurer le champ 2D de vitesse en surface d'un écoulement à condition que des traceurs visibles, tels que des particules solides, des bulles ou des figures de turbulence soient advectées avec l'écoulement. Une mesure LSPIV comprend 4 étapes : (1) L'enregistrement d'une séquence d'images horodatées de

l'écoulement par une caméra ou un appareil photo fixe permettant une connaissance très fine de l'intervalle de temps entre les images ; (2) Une correction géométrique des images pour s'affranchir des effets de distorsion de perspective (ortho-rectification), réalisée par mesure topographique de cibles présentes dans l'image lors de la mise en place de la caméra ; (3) Un calcul du déplacement des traceurs de l'écoulement grâce à une analyse statistique en corrélation des motifs ; (4) La correction des vecteurs erronés et vérification de la qualité des vecteurs. Les trois dernières étapes sont implémentées dans les codes de calculs LSPIV.

2.2 Mesures de vitesse par Radar

La plupart des capteurs radars utilisés en hydrométrie émettent dans les bandes de fréquence ISM (Industriel, Scientifique, et Médical). Les radars testés dans cette étude sont le capteur Kalesto (Ott), le SVR (Decatur Electronic) et le RQ 24 (Sommer), ils utilisent la technologie FMCW (Frequency Modulated Continuous Waves) de fréquence 24.1 GHz. Les ondes émises par le radar sont réfléchies par la rugosité de la surface de l'écoulement, la fréquence rétrodiffusée est alors modifiée proportionnellement à la vitesse de l'écoulement, selon un décalage Doppler. Deux grandeurs sont mesurées par le Kalesto : la vitesse de surface en m/s et le gain en dB. Le gain correspond à l'intensité du signal réceptionné et permet de valider la mesure de vitesse. La valeur de gain doit être supérieure à 50 dB pour que la valeur de vitesse soit cohérente. Pour mesurer correctement la vitesse de l'écoulement le niveau de signal reçu doit donc être suffisant, pour cela la longueur d'onde des vaguelettes résonantes doit respecter la condition de Bragg [1]. En pratique, une surface libre trop lisse peut compromettre les mesures de vitesse par manque de rétrodiffusion radar.

2.3 Déploiement sur le terrain

2.3.1 Les déploiements mobiles

Le matériel déployé pour réaliser les mesures en LSPIV mobile est une caméra numérique Mvi 750 (Canon), fixée sur le haut d'un mât télescopique sur une plateforme orientable commandée depuis le sol. Les séquences de film sont enregistrées sur PC directement. Pour les mesures au radar mobile, le capteur Kalesto est fixé sur un support (cyclopotence) adaptable à des rambardes de pont de différentes tailles, tandis que le radar SVR est monté sur un trépied photo. Il est indispensable de mesurer et de contrôler l'angle du capteur par rapport à la verticale, ainsi que l'alignement longitudinal par rapport au transect de jaugeage. En effet, la mesure de vitesse est unidimensionnelle dans l'axe du faisceau radar. Une fois paramétré, le radar est déplacé sur des verticales successives réparties dans la section conformément aux recommandations de la norme ISO EN 748 [5].

2.3.2 Les stations fixes

Trois stations LSPIV fixes sont installées sur le bassin versant de l'Ardèche dans le cadre de l'OHMCV (Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes Vivarais). Ces stations comportent une caméra analogique WV BP330 (Panasonic) reliée à un ordinateur robuste (système d'exploitation Linux/Fedora), ce qui permet un séquençage précis de rafales d'images. Par ailleurs, l'information de hauteur d'eau est obtenue depuis les capteurs grâce aux protocoles de communication Modbus et SDI12. Le système est connecté via le web aux serveurs du Cemagref qui rapatrient automatiquement images et hauteurs d'eau. Les calculs sont ensuite réalisés sur les séquences d'images intéressantes. Ces stations de mesure couplent l'enregistrement des images via les caméras et des mesures de hauteur d'eau par radar fixe (Ott RLS), ce qui en fait des stations totalement sans contact. L'architecture de ces stations est originale et a été développée dans le cadre du projet OHMCV.

La station radar fixe Arvan Aval est équipée d'un double radar (Sommer RQ24) à deux fréquences. L'un des radars (6 GHz, vertical) mesure la hauteur d'eau, et l'autre (24 GHz, angle réglable 30-60°) mesure la vitesse de surface. Ces capteurs ont des sorties 4-20mA reliées à une centrale d'acquisition classique. Dans ce cas-là, on ne mesure pas un champ de vitesse complet mais une vitesse locale, de préférence au centre de l'écoulement. Une relation entre la vitesse moyenne sur la section et la vitesse de surface doit être calculée pour

une gamme de débit étendue à partir de jaugeages classiques. Ce type de station, encore rare, est toutefois plus répandu que les stations LSPIV.

2.4 Calcul du débit

Les mesures LSPIV et radar permettent la mesure partielle du champ de vitesse à la surface de l'écoulement.

Pour calculer un débit, on doit utiliser un modèle de distribution verticale des vitesses pour calculer une vitesse moyenne sur la hauteur d'eau à partir de cette vitesse de surface. On suppose que la distribution verticale des vitesses suit une loi logarithmique et un rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse de surface nommé α généralement évalué entre 0,80 pour les rivières au fond rugueux et 0,90 pour des chenaux profonds à fond plus lisse, avec une valeur moyenne de 0,85. Ce coefficient peut être déterminé expérimentalement [2, 3, 4]. Pour obtenir le débit, il est nécessaire de calculer l'aire mouillée, ce qui nécessite une bonne connaissance de la bathymétrie de la section instrumentée (souvent mesurée avant et/ou après la crue), et un suivi fin de la hauteur d'eau pendant l'événement.

3 Résultats et discussion

3.1 Comparaisons de débit

Les mesures mobiles par LSPIV et Radar ont été confrontées à plusieurs reprises à des jaugeages par exploration du champ des vitesses (ADCP, Moulinet). La concordance des débits entre ADCP et LSPIV a pu être montrée sur l'Ardèche à Sauze [4]. Les écarts observés en crue entre les deux techniques sont de l'ordre de 3%. Sur l'Arc lors des chasses de la chaîne de barrages de la Maurienne de 2009, 2010 et 2011, des mesures LSPIV ont été confrontées aux mesures d'un camion jaugeur équipé d'un moulinet hydrométrique C31 (Ott). Les écarts en débit sont également inférieurs à 10%. Lors des événements de 2010 et 2011 des radars mobiles ont été déployés pour compléter la comparaison. La figure 1 montre les champs de vitesse de surface mesurés par les différentes techniques sur l'Arc à Randens en juin 2011. On remarque une sous estimation en rive gauche par le radar SVR sans doute à cause des perturbations dues à la végétation de rive interceptée par le faisceau. Les données LSPIV et Radar Kalesto et moulinet sont cohérentes sur toute la largeur, et au centre avec le radar SVR.

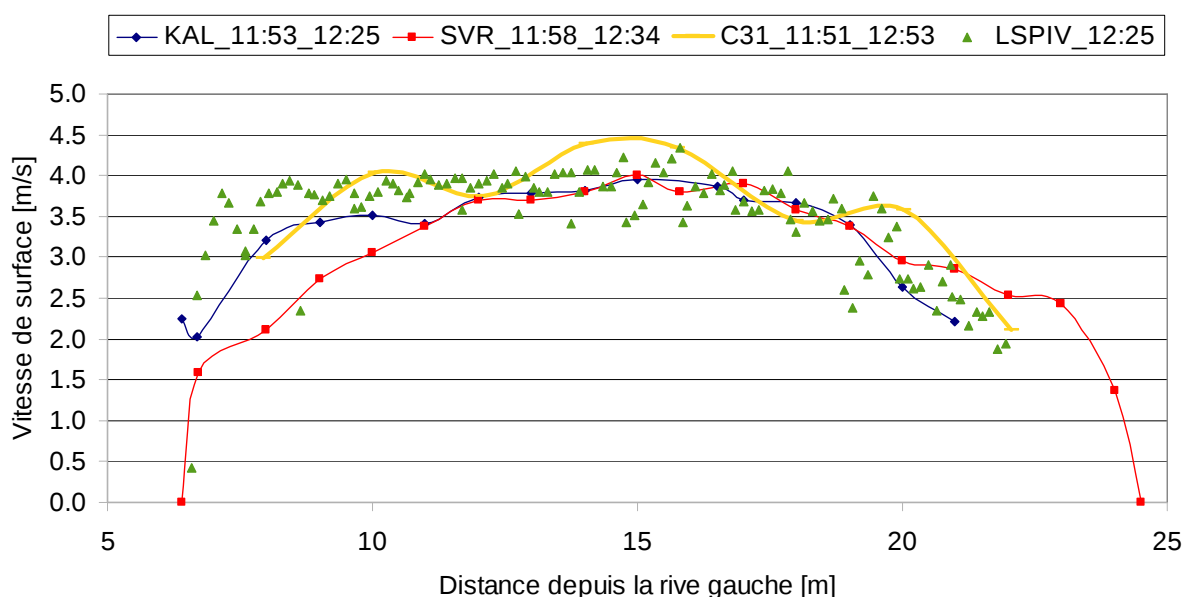


Fig. 1 : Comparaison des vitesses de surface, Randens sur l'Arc, juin 2011.

3.2 Amélioration des courbes de tarage

En 2008, lors d'une forte crue de l'Arc l'unité mobile de LSPIV a été déployée et les jaugeages réalisées ont été les seules mesures possibles pour cet événement, ces mesures ont permis d'améliorer l'extrapolation de la courbe de tarage de la station de référence au seuil de Pontamafrey (figure 3). Sur cette figure sont représentés tous les jaugeages disponibles. La courbe rouge est la courbe proposée par le Cemagref sur la station de Pontamafrey à partir de lois hydrauliques simples. En Ardèche à Vals-les-bains, la station LSPIV fixe a également permis de mieux connaître haut de la courbe de tarage de la Volane (Figure 2) grâce aux mesures réalisées sur la crue du 23 décembre 2010.

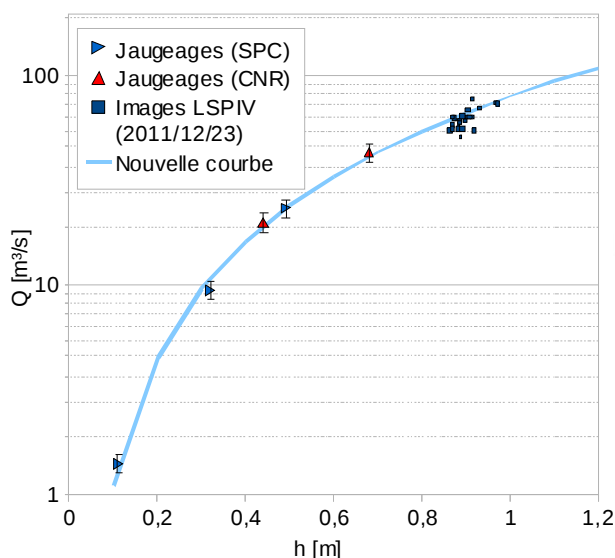


Fig 2 : Courbe de tarage de Vals-les-Bains

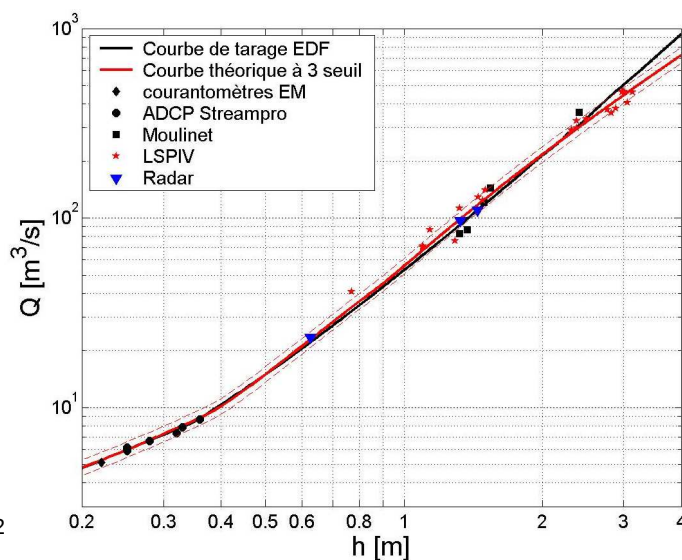


Fig 3 : Courbe de tarage de Pontamafrey

3.3 Test de sensibilité

Plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés sur les différents calculs et jeux de données LSPIV et radar. Le séquençage des images, le coefficient de surface, la bathymétrie de la section, l'erreur sur la mesure de hauteur d'eau, ont été testés et permettent de confirmer la qualité de ces mesures [2].

4 Conclusion

On peut donc obtenir une mesure de débit fiable ($\sim 10\%$) sur un cours d'eau en crue, même violente, en utilisant une méthode de mesure des vitesses de surface sans contact. Plusieurs difficultés sont à prendre en compte dans l'utilisation de ces techniques. Le calcul du coefficient de surface doit faire l'objet d'une expertise particulière du site et de mesures complémentaires au moulinet par exemple ou à l'ADCP. La LSPIV est une technique qui nécessite des mesures de topographie fine et des post-traitements complexes mais elle fournit un champ de vitesse de surface complet mesuré sur quelques secondes (mesure instantanée). La méthode par radar mobile est bien adaptée au jaugeage et plus facile à mettre en œuvre. Dans les deux cas, une bonne connaissance de la bathymétrie et de la hauteur d'eau est indispensable. Les stations de mesure fixes LSPIV sont opérationnelles et vont permettre d'améliorer la connaissance des crues cévenoles souvent dévastatrices. Les stations de mesure avec radar fixe donnent une information moins complète mais permettent de documenter les courbes de tarage en particulier en crue. Ces techniques sont à prendre en compte comme des alternatives intéressantes en conditions extrêmes. Elles pourront à terme être des atouts dans les systèmes d'alerte de crue.

5 Bibliographie

- [1] Costa, J., Cheng, R., Haeni, F., Melcher, N., Spicer, K., Hayes, E., Plant, W., Hayes, K., Teague, C., Barrick, D. (2006). – Use of radars to monitor stream discharge by non-contact methods. *Water Resources Research*, 42 (7), 14 p
- [2] Dramais, G., Le Coz, J., Camenen, B., Hauet, A. (2011 - Accepté) – Advantages of a mobile LSPIV method for measuring flood discharges and improving stage-discharge curves, *Journal of Hydro-Environment Research*.
- [3] Hauet, A., Kruger, A., Krajewski, W. F., Bradley, A., Muste, M., Creutin, J.-D., (2008). – Experimental system for real-time discharge estimation using an image-based method. *Journal of Hydrological Engineering* 13 (2), 105-110.
- [4] Le Coz, J., Hauet, A., Dramais, G., Pierrefeu, G. (2010). – Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*. 394 (1-2) : 42-52.
- [5] NF EN ISO 748 (2009). – Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes d'exploration du champ des vitesses, Norme ISO, 50 p.