



HAL
open science

Etude prospective de la méthode STIV pour une application aux films amateurs : comparaison STIV - LSPIV

R. Le Boursicaud, Jérôme Le Coz, L. Pénard

► To cite this version:

R. Le Boursicaud, Jérôme Le Coz, L. Pénard. Etude prospective de la méthode STIV pour une application aux films amateurs : comparaison STIV - LSPIV. irstea. 2014, pp.22. hal-02601044

HAL Id: hal-02601044

<https://hal.inrae.fr/hal-02601044>

Submitted on 16 May 2020

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.

Etude prospective de la méthode STIV pour une application aux films amateurs

Comparaison STIV - LSPIV



Décembre 2014

Raphaël Le Boursicaud, Jérôme Le Coz, Lionel Pénard

Unité de recherche Hydrologie - Hydraulique

Irstea (Lyon)

Introduction

A ce jour, les mesures de débit en crue lors d'épisodes violents restent un défi en raison du temps de mise en place trop important et de la mise en danger des opérateurs et du matériel. Devant ce constat, les méthodes de mesure sans contact se développent. L'utilisation de radars (Costa et al. 2006, Dramais et al. 2013) ainsi que les méthodes par analyse d'image (Muste et al. 2010, Le Coz et al. 2010) sont en constant développement et permettent aujourd'hui d'améliorer la précision des données hydrométriques en crue sur de nombreux bassins.

Nous présentons ici l'un des plus récents développements parmi les méthodes de mesure de débit par analyse d'image : la vélocimétrie à l'aide d'images espace-temps, ou Space-Time Image Velocimetry (STIV), développée par l'équipe du professeur Ichiro Fujita, de l'Université de Kobé, Japon, également à l'origine de la LSPIV.

Le présent rapport propose de présenter le fonctionnement de cette méthode et de passer en revue ses avantages et ses faiblesses en comparaison de la méthode LSPIV. Nous présentons également dans ce rapport les premiers avancements du travail de collaboration engagé avec l'équipe d'Ichiro Fujita, sur des cas d'étude français, avec des images issues de films amateurs.

Ces travaux sont réalisés en préparation de la thèse Irstea 2014-2017 financée par le SCHAPI et EDF/DTG sur le développement des méthodes de mesures en crue par analyse d'image.

Table des matières

1.	Principe général de la STIV	3
1.1.	Construction de la STI – image espace-temps	3
1.2.	Analyse de la STI.....	4
1.3.	Calcul de la vitesse.....	4
1.4.	Bibliographie existante	6
2.	Comparaison avec la LSPIV	7
2.1.	Nombre d’images par séquence	7
2.2.	Sensibilité aux images dégradées.....	8
2.3.	Sensibilité aux reflets.....	9
2.4.	Paramétrage.....	11
2.5.	Ecoulement 1D (STIV) vs. Champ de vitesse 2D (LSPIV)	11
2.6.	Synthèse et perspectives	11
3.	Application de la STIV aux films amateurs et comparaison à la LSPIV	13
3.1.	Le torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis	13
3.2.	Le gave de Cauterets à Cauterets.....	17
4.	Conclusion et perspectives	20
5.	Références	21

1. Principe général de la STIV

Les éléments de compréhension donnés ici sont principalement tirés de l'article de I. Fujita, H. Watanabe et R. Tsubaki, paru dans l'International Journal of River Basin Management en 2007, intitulé « *Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV)* ».

Les lecteurs souhaitant obtenir plus de détails sur les méthodes de calcul de la STIV sont invités à se référer à cet article.

1.1. Construction de la STI - image espace-temps

Tout comme la LSPIV, la STIV propose de mesurer la vitesse du courant à travers la quantification du déplacement des motifs en surface de la rivière.

La STIV repose sur l'utilisation d'images espace-temps (STI - space-time images) formées par la juxtaposition de segments de pixels extraits à la même place dans chacune des images, et alignés sur la direction du courant (cf. Figure 1).

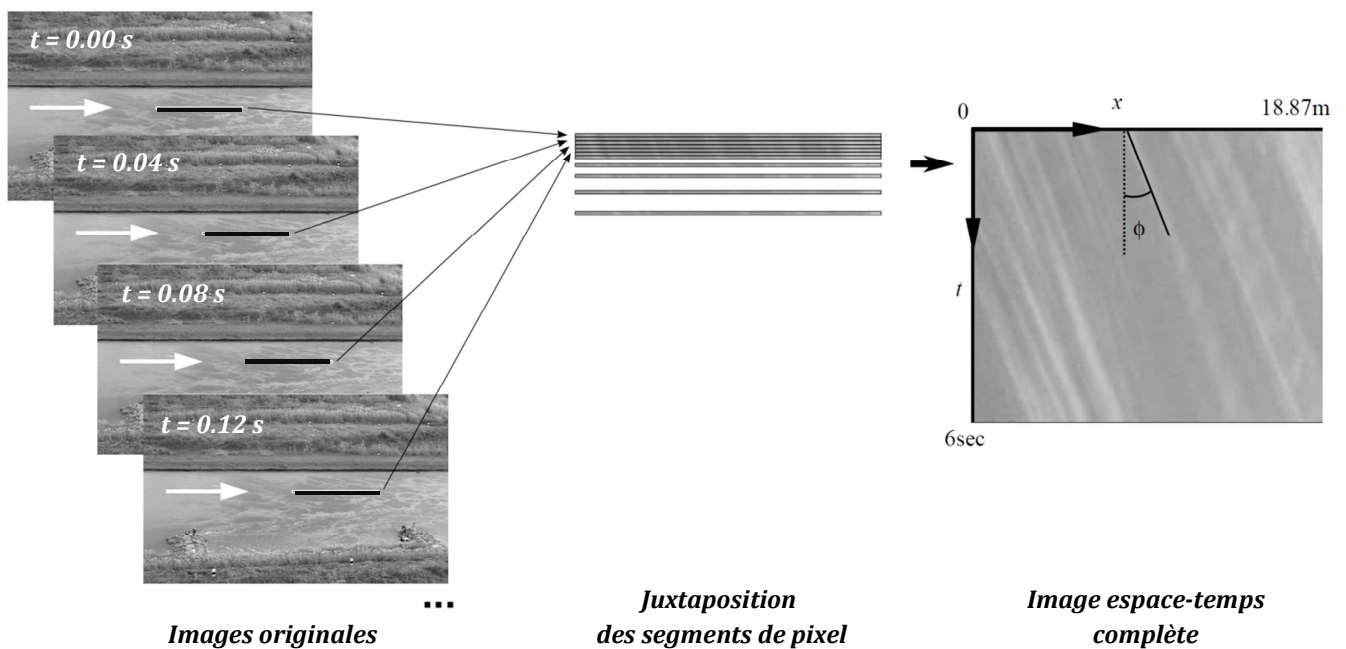


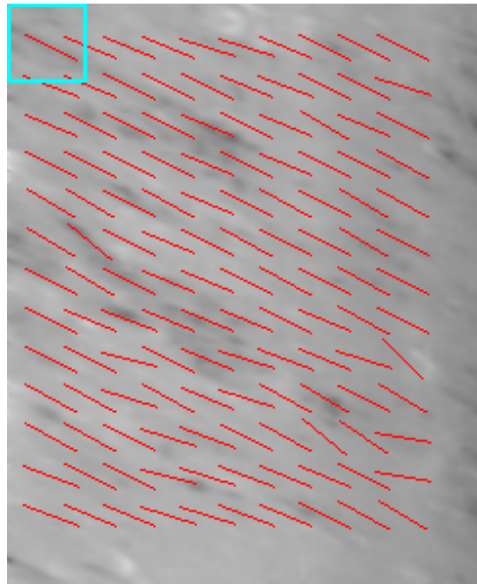
Figure 1 : Schéma de construction d'une image espace-temps, d'après Fujita et al. (2007).

La STI ainsi obtenue est composée de rayures obliques formées par les traceurs transportés par le courant, traversant le segment de pixel au cours de la séquence d'acquisition des images, et dont la vitesse peut être calculée à partir de la mesure de l'angle Φ formé par ces rayures avec l'axe vertical (cf. Figure 1).

Comme pour la LSPIV il est donc nécessaire que la surface de la rivière soit marquée par des motifs (écume, débris, objets flottants) dont la vitesse peut être considérée égale à celle du courant de surface.

1.2. Analyse de la STI

Une fois formée, la STI est divisée en sous-parties, que l'on peut appeler Aires d'Interrogation (AI) par analogie avec la LSPIV, à l'intérieur desquelles l'angle Φ est déterminé de façon automatique par un algorithme de détection de contraste de proche en proche (cf. Figure 2).



**Figure 2 : Détermination de l'orientation des rayures de la STI.
Le carré en haut à gauche représente une Aire d'Interrogation.
D'après Fujita et al. 2014.**

Pour chacune des Aires d'Interrogation il est possible de calculer un indice de cohérence C dont la valeur est comprise entre 0 et 1 : pour une AI grise homogène elle vaut 0, et se rapproche de 1 pour des rayures plus contrastées.

L'angle Φ d'une STI est une moyenne des angles mesurés pour chaque Aire d'Interrogation pondérés par l'indice de cohérence.

1.3. Calcul de la vitesse

Une fois l'angle Φ déterminé, la vitesse est calculée comme suit :

$$U = \frac{S_x}{S_t} \tan \Phi \quad \text{Équation 1}$$

avec U la vitesse en m/s, S_x la résolution du segment de pixel en m/pixel, S_t l'échelle de l'axe du temps de la STI en seconde/pixel, et Φ l'angle d'inclinaison moyen de la STI.

Par exemple, pour une séquence d'images enregistrées à 25 images par seconde, le terme S_t vaut 0,04 sec/pixel.

Pour obtenir un champ de vitesse représentatif de l'ensemble de la section de mesure, une STI est établie et analysée pour autant de segments que nécessaire répartis le long de la section de mesure, comme indiqué à la Figure 3.

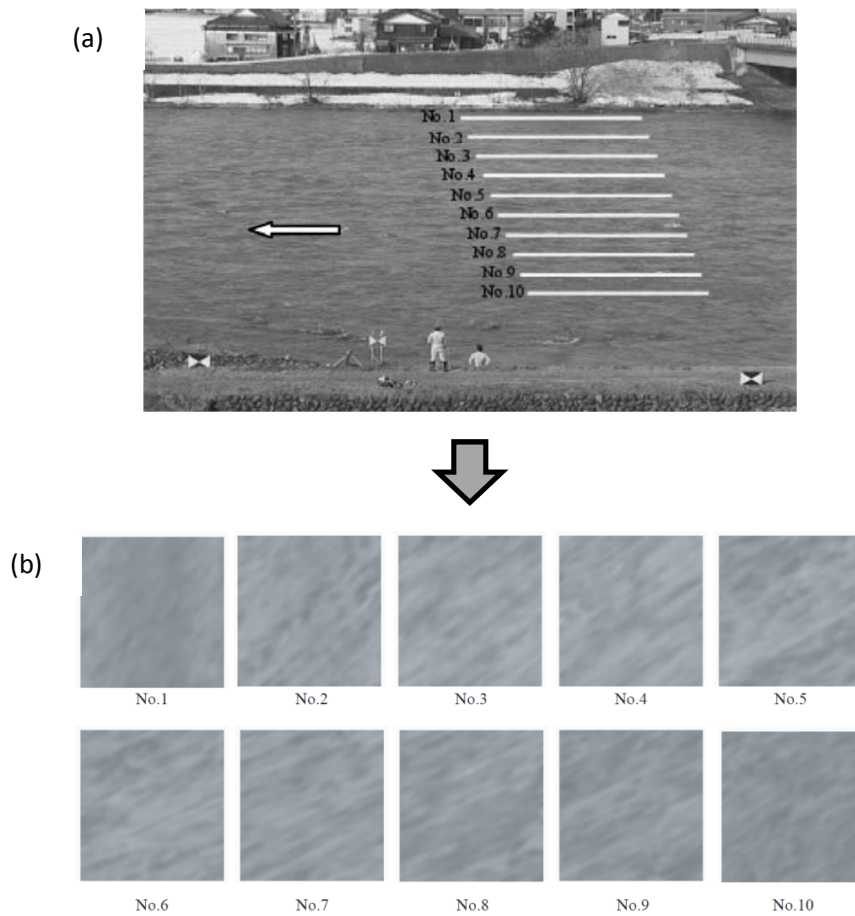


Figure 3 : (a) Représentation des segments de mesure sur la rivière Uono, (b) et des STI correspondantes. D'après Fujita et al. (2007).

1.4. Bibliographie existante

A l'heure actuelle cette méthode a été appliquée à une dizaine de cas d'étude, principalement au Japon.

La méthode est introduite en 2007 par Fujita et al. Pour développer la méthode les auteurs se sont basés à la fois sur des rivières naturelles (Uji river et Uono river, toutes deux au Japon) et sur des analyses en conditions contrôlées dans un canal en laboratoire. En plus d'y introduire la méthode STIV, les auteurs y présentent des comparaisons de résultats entre LSPIV et STIV (Figure 4).

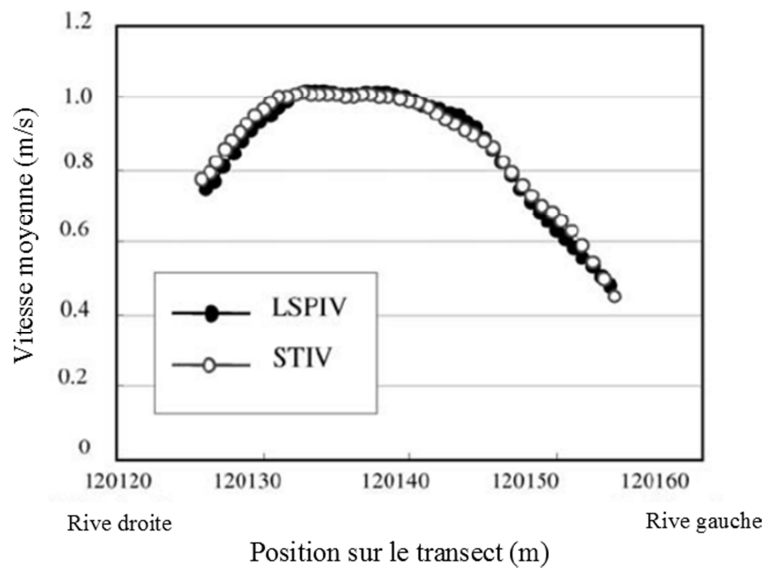


Figure 4 : Comparaison de mesures de vitesses obtenues par STIV et LSPIV sur la rivière Uji, d'après Fujita et al. (2007).

Dans un article paru en 2010, Tsubaki et al. présentent des mesures réalisées sur la rivière Tenpaku à partir d'images issues d'une caméra de surveillance, dans différentes conditions météorologiques. L'étude, qui contient également une comparaison avec la LSPIV (Figure 5), conclue à une sous-estimation des deux mesures dues à des mauvaises conditions d'éclairage, avec une sous-estimation plus grande pour la LSPIV que pour la STIV, imputée à une mauvaise résolution des images.

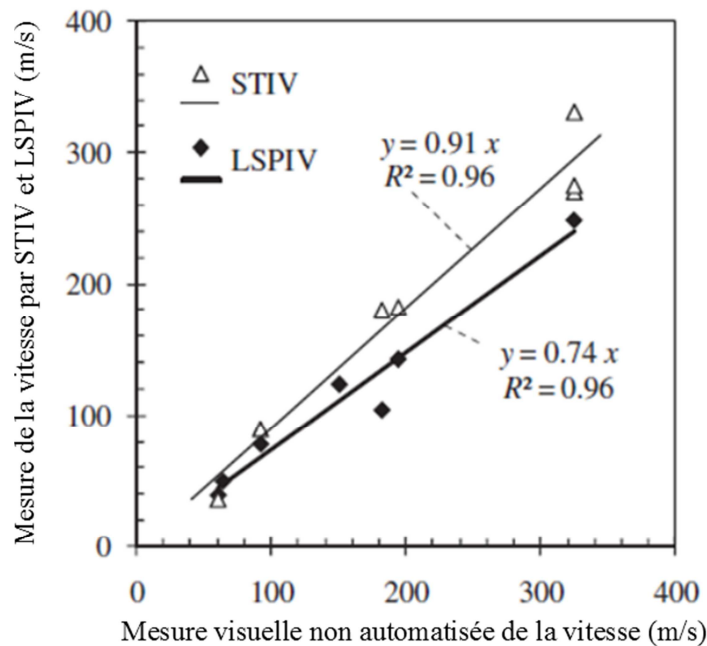


Figure 5 : Comparaison de mesures de vitesses obtenues par méthode visuelle et par méthodes d'analyse d'image (STIV et LSPIV), d'après Tsubaki et al. (2010).

Fujita et al., dans un article paru en 2013 dans Australian Journal of Water Resources, présentent une utilisation de la STIV sur une crue de 2008 de la rivière Toga à partir d'images issues d'un film amateur. Les mesures obtenues sont cohérentes avec les valeurs obtenues par un calcul pluie-débit grossier et confirment à la fois l'intérêt et la faisabilité de l'application des méthodes par analyse d'image sur film amateur lors d'évènements extrêmes. Dans ce cas d'étude la loi Manning-Strickler, utilisée classiquement en retour d'expérience, ne pouvait être appliquée en raison de la difficulté d'estimer un coefficient de rugosité fiable pour un écoulement avec si peu de hauteur d'eau par rapport aux structures hydrauliques présentes dans le lit de la rivière (seuils et éléments rocheux).

2. Comparaison avec la LSPIV

2.1. Nombre d'images par séquence

Tandis que la LSPIV peut donner des résultats fiables à partir de 20 images, voire 10 images en conditions idéales (Le Boursicaud et al. 2014, en révision), la STIV nécessite beaucoup d'images : Fujita recommande d'utiliser 300 images pour une séquence. A titre d'exemple, sur une vidéo classique enregistrée à 25 images par seconde, une séquence de 12 secondes sera nécessaire à la construction des images espace-temps. Un nombre d'images plus réduit peut être envisagé, mais ne devrait pas être inférieur à 150 images.

Ce paramètre représente un frein à l'utilisation de la méthode STIV sur les stations de mesures LSPIV déjà en place à l'heure actuelle ; les capacités de stockage et de rapatriement des stations dans leur configuration actuelle n'étant pas adaptées à un si grand nombre d'images par rafale.

Dans le cadre de l'utilisation sur films amateurs, il est à noter que la STIV ne nécessite pas de sous-échantillonnage, quelles que soient les vitesses observées. En revanche une mesure LSPIV nécessite de pouvoir observer un déplacement significatif des traceurs entre deux images successives, il sera donc souvent indispensable de procéder à un sous-échantillonnage, afin d'allonger le temps écoulé entre deux images successives.

Ainsi la durée de la séquence nécessaire sera conditionnée par la vitesse du courant et la résolution des images pour la LSPIV, tandis qu'elle sera conditionnée par la fréquence d'images par seconde de l'enregistrement pour la STIV.

Quelle que soit la technique utilisée, il est important de retenir que lorsque les conditions d'écoulement le permettent, augmenter le nombre d'images et/ou allonger la durée de la séquence de travail permet d'obtenir une meilleure moyenne temporelle et des résultats plus robustes.

Dans le cadre de mesures sur films amateurs, la majorité des vidéos rencontrées ont un nombre d'images par seconde compris entre 25 et 30. La durée nécessaire pour le déploiement d'une mesure STIV devrait alors se situer autour d'une dizaine de secondes. Cette durée, plus longue que pour une mesure LSPIV, pourrait être un facteur limitant de l'application de cette méthode aux films amateurs, dans lesquels les plans fixes sont généralement de courte durée.

Des tests de sensibilité sont à mener afin de déterminer le nombre minimal d'images nécessaire à une mesure robuste dans différentes conditions hydrauliques.

2.2. Sensibilité aux images dégradées

Les deux méthodes comparées ici reposent sur le suivi de traceurs à la surface de la rivière, dont la visibilité peut être altérée par la qualité de la vidéo.

Afin d'estimer l'impact de la résolution d'une vidéo et de sa compression sur les mesures de vitesse par LSPIV, des tests de sensibilité ont été menés sur une vidéo du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis (73) repérée sur YouTube¹.

La Figure 6 montre les moyennes cumulées des mesures de vitesse pour les différentes résolutions proposées par le site YouTube. La LSPIV se révèle être très robuste à la dégradation de la résolution. Avec 50 images la différence de résultats entre la vidéo à 1080p (full HD) et à 240p est inférieure à 5%. De plus quelle que soit la qualité les résultats sont relativement stables à partir de 25 images.

¹ <http://youtu.be/jgWbYDUm-ME>

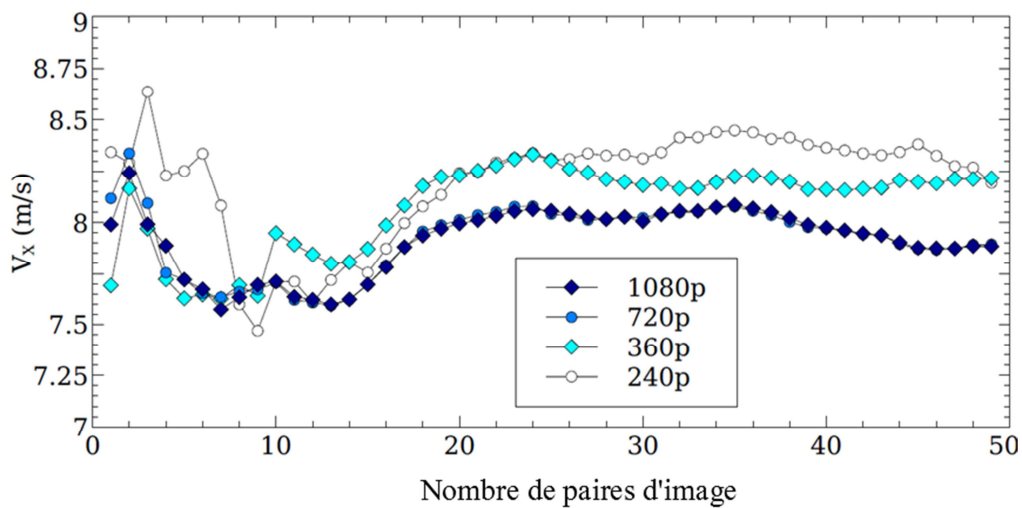


Figure 6 : Impact de la résolution de l'image sur la moyenne cumulée de la vitesse d'écoulement mesurée par LSPIV, d'après Le Boursicaud et al. (2014), en révision.

Nous n'avons pas connaissance de tests similaires sur des mesures STIV. Cependant le mode de fonctionnement cette méthode reposant sur le suivi d'une variation de luminance plutôt que sur la reconnaissance de motifs en deux dimensions laisse penser que la STIV pourrait être encore plus robuste que la LSPIV à de faibles résolutions d'image.

2.3. Sensibilité aux reflets

Hauet (2006) a montré dans sa thèse l'influence de la présence de zones d'ombre dans le champ de vision dans les mesures LSPIV (cf. Figure 7).

La reconnaissance de motif nécessaire à la LSPIV est gênée par la présence de reflets, de zone d'ombre, ou de tout autre élément fixe dans la zone d'étude ; l'optimum de corrélation dans la recherche de déplacement des motifs étant alors trouvé pour un vecteur nul ou quasi-nul, malgré la présence de traceurs visibles.

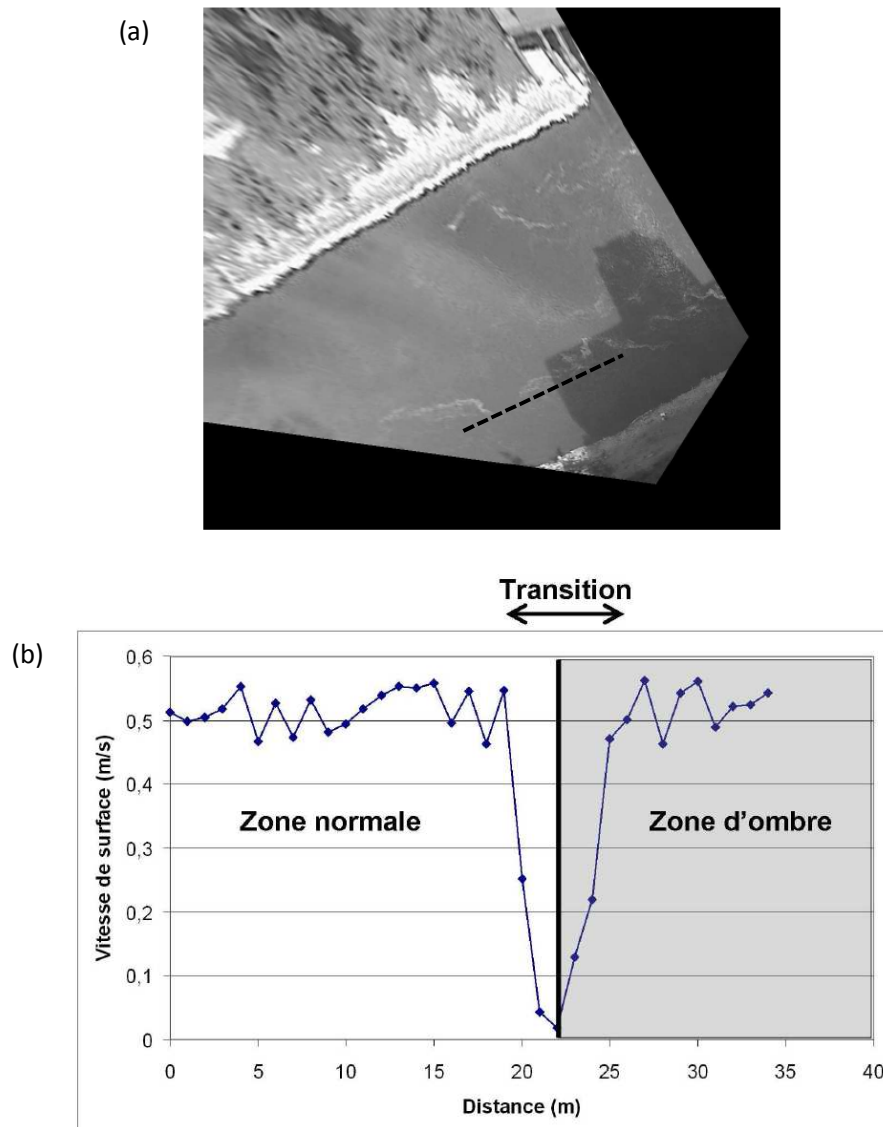
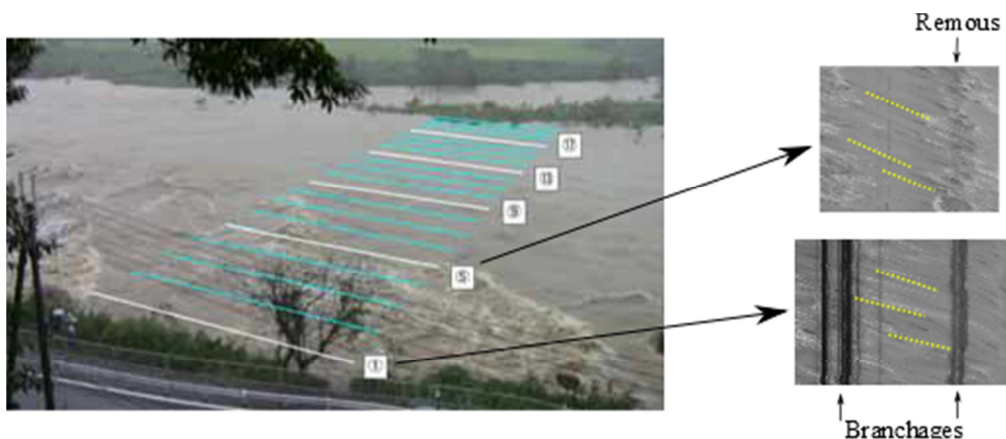


Figure 7 : Impact d'une zone d'ombre sur la méthode LSPIV.
(a) Photo orthorectifiée de l'Iowa River. La ligne en pointillé représente la ligne de courant utilisée pour la construction du graphique (b).
D'après Hauet (2006).

La STIV semble plus robuste à ce genre de problème. En effet pour un segment de mesure traversant une zone contenant des éléments parasites fixes, la STI présente des rayures verticales qu'il est facile de séparer des lignes obliques correspondant au transport de traceur par le courant (cf. Figure 8).



**Figure 8 : Impact de la présence d'un objet fixe dans le champ de vision.
Les STI obtenues pour des segments chevauchant une zone contenant
un objet fixe (arbre) ou des remous restent valides pour la mesure de vitesse.
D'après Fujita (2014)**

2.4. Paramétrage

La LSPIV fait appel à de nombreux paramètres fixés par l'utilisateur, dont certains ont un impact fort sur le calcul des vitesses et du débit. Les dimensionnements de l'Aire d'Interrogation, de l'Aire de Recherche et de la grille de calcul, par exemple, sont des étapes nécessitant une bonne connaissance de la méthode et du cas d'étude, et dont dépendent le temps de calcul et la fiabilité des résultats (Creutin et al. 2003).

Les paramètres réglés par l'utilisateur en STIV sont moins nombreux et semblent moins sensibles que pour la LSPIV. Ces paramètres concernent essentiellement les segments de mesure dont il faut choisir l'orientation, les emplacements et la longueur. En pratique ces choix sont largement conditionnés par la direction de l'écoulement, la position de la section de mesure et la portion d'image exploitable.

La collaboration engagée avec l'équipe du professeur Ichiro Fujita, ayant développé la méthode, devrait nous permettre d'approfondir ce point. Une méthode automatique de détermination de l'orientation des segments de mesure est d'ores et déjà à l'étude.

2.5. Ecoulement 1D (STIV) vs. Champ de vitesse 2D (LSPIV)

La LSPIV permet d'obtenir une visualisation des vitesses de surface en deux dimensions, tandis que la STIV ne mesure qu'une seule composante de la vitesse. Il est toutefois à noter qu'une réflexion est en cours sur un développement de la méthode STIV qui permettrait d'obtenir les deux composantes des vecteurs de vitesse. Notons enfin que dans le cadre de l'hydrométrie, on ne s'intéressera généralement qu'à la composante de vitesse perpendiculaire à la section en travers du cours d'eau. Il ne semble donc pas que cette différence soit limitante pour le type d'utilisation discutée ici.

2.6. Synthèse et perspectives

Le Tableau 1 propose une synthèse des éléments de comparaison détaillés dans les paragraphes précédents.

	LSPIV	STIV
Nombre d'images nécessaires par défaut (minimum)	20 (10)	300 (150)
Sous échantillonnage temporel des images	Oui, dans la plupart des cas	Non
Sensibilité aux motifs parasites fixes	Forte	Faible
Sensibilité aux faibles mouvements de caméra	Faible	Forte (stabilisation des images obligatoire)
Écoulement 2D	Oui	Non (en développement, 2 x 1D)
Indice de qualité des résultats	Non (le coefficient de corrélation est ambigu)	Oui (Indice de cohérence)
Paramétrage	Complexe, beaucoup de paramètres	Peu de paramètres mais sensible à l'orientation des segments de calcul
Temps de calcul	Selon paramétrage	Plus rapide
Utilisation possible sur films amateurs	Oui	Oui
Utilisation possible sur stations LSPIV	Oui	Non, modifications nécessaires

Tableau 1 : Synthèse des éléments de comparaison des méthodes STIV et LSPIV

Cette première analyse montre que la STIV possède plusieurs atouts pour l'utilisation sur films amateurs. Cette méthode peu coûteuse en temps et en coût de fonctionnement apparaît comme un complément de la LSPIV. Un travail de collaboration avec l'équipe d'Ichiro Fujita de l'Université de Kobé, Japon, a d'ores et déjà été engagé dans l'objectif de confronter les méthodes STIV et LSPIV sur des cas d'applications français de vidéos amateurs.

Ce travail devrait se poursuivre en 2015 avec la prise en main du logiciel KU-STIV, développé par le professeur Ichiro Fujita, dont une version anglaise est en cours d'élaboration et sera mise à disposition gratuitement pour des applications académiques en 2015. Les travaux menés à l'université de Busan (Corée du Sud) et à l'université Dankook (Corée du Sud) sur la STIV sont également suivis de près. Redévelopper un équivalent de KU-STIV ou l'implémenter dans Fudaa-LSPIV² ne semble donc pas pertinent, d'autant plus que cela impliquerait de gérer des fichiers films en entrée, ce qui est complexe et n'a pas été retenu lors du développement de Fudaa-LSPIV.

La thèse de Musaab MOHAMMED financée par le SCHAPI et EDF/DTG, et encadrée par Lionel Pénard à Irstea, permettra de développer une approche alternative adaptée au cas des vidéos amateurs.

² <https://forge.irstea.fr/projects/fudaa-lspiv>

3. Application de la STIV aux films amateurs et comparaison à la LSPIV

Les traitements STIV ont été réalisés par Fujita, Akita et Notoya de l'université de Kobe à l'aide de leur logiciel KU-STIV, actuellement uniquement disponible en japonais. Parallèlement des mesures LSPIV sont menées sur les mêmes cas d'étude au sein du laboratoire d'Hydrologie-Hydraulique d'Irstea Lyon, à l'aide du logiciel gratuit Fudaa-LSPIV, développé par un partenariat EDF-Irstea et implémenté par la société DeltaCAD.

3.1. Le torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis

Une première série de mesures comparatives ont été menées sur la crue du 22 août 2011 du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis, Savoie, France.

La crue a été filmée par Alexandre Modesto, photographe et vidéaste amateur chasseurs de crue, sans trépied, avec un appareil photo Canon 5D mark II, équipé d'un objectif fisheye 16 mm Zenitar, et mis en ligne sur YouTube.com³ (cf Figure 9).

Les images montrent une montée de crue extrêmement rapide, un écoulement turbulent, et le passage d'écoulements pulsés pseudo-périodiques.

Bien que les conditions d'écoulements ne soient pas idéales pour des traitements de vélocimétrie par analyse d'image, ce film a été choisi car il illustre de nombreuses problématiques propres aux vidéos amateurs de rivière en crue. Le mouvement de caméra dû à l'absence de trépied, la distorsion de l'image due à l'objectif fish-eye, ou encore la difficulté d'estimer précisément la hauteur d'eau en font un cas d'étude intéressant permettant de tester les limites de l'application des méthodes LSPIV et STIV aux films amateurs.

³ <http://www.youtube.com/watch?v=V1H7V90o8JY>



© Alexandre Modesto

Figure 9 : Image extraite du film de la crue du 22 août 2011 du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis

Cette vidéo a déjà fait l'objet de mesures approfondies dans le cadre du développement de la méthode LSPIV appliquée aux films amateurs (Le Boursicaud et al. 2014, en révision).

Les analyses LSPIV et STIV ont été réalisées sur une même séquence, sur une même section en travers (cf. Figure 10, Figure 11 et Figure 12). Au préalable, la distorsion de l'image a été corrigée, les images alignées entre elles, les GRP repérés et la hauteur d'eau estimée. Ces paramètres sont donc communs aux deux mesures.

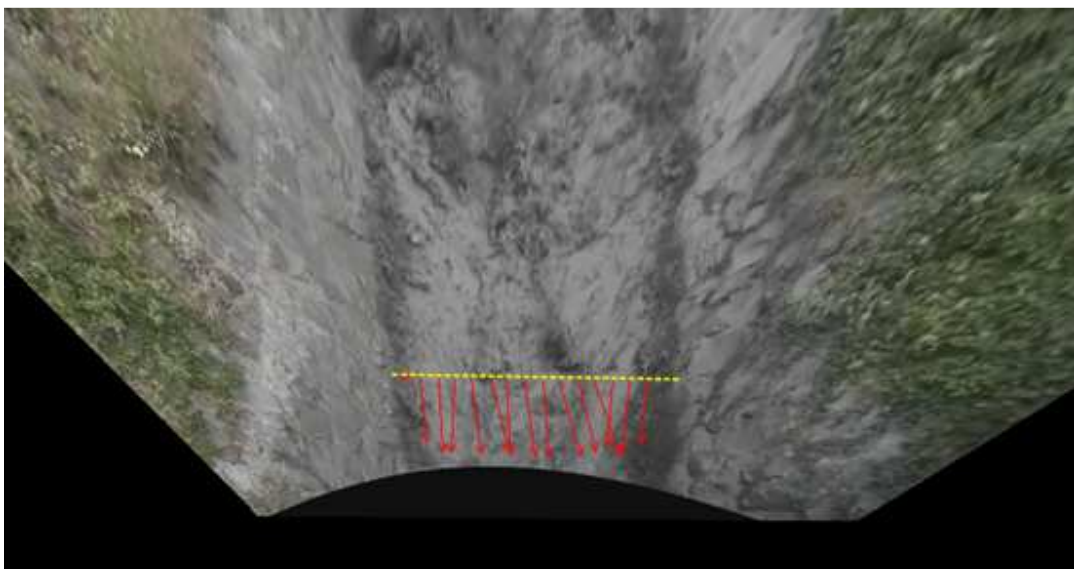


Figure 10 : Mesure LSPIV de la vitesse. Les flèches rouges représentent les vitesses le long de la section de mesure.

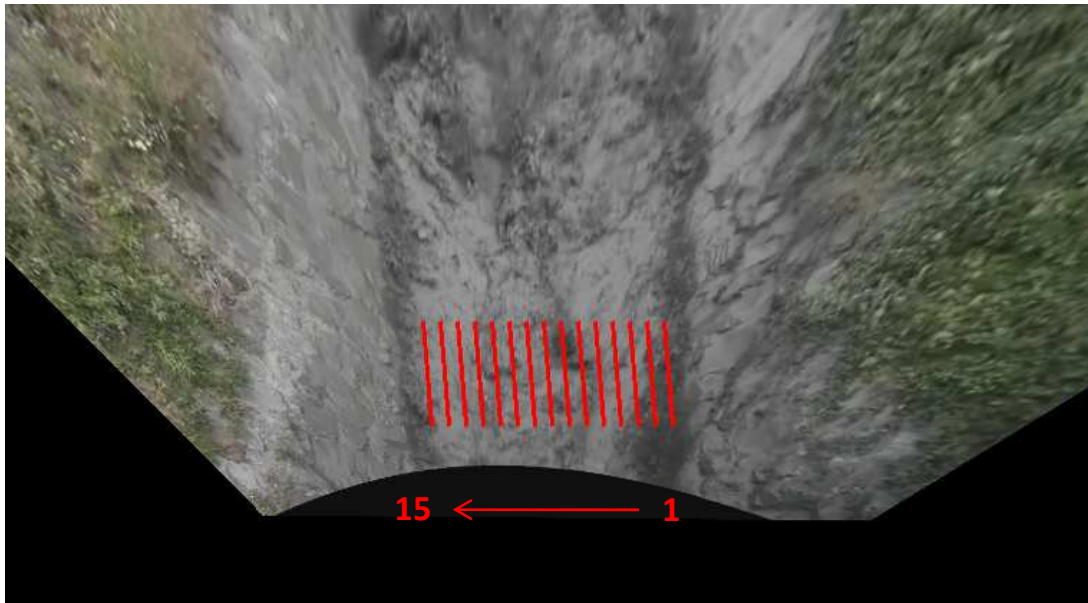


Figure 11 : Mesure STIV de la vitesse.
 Les lignes rouges représentent les segments de pixels utilisés pour la construction des STI.

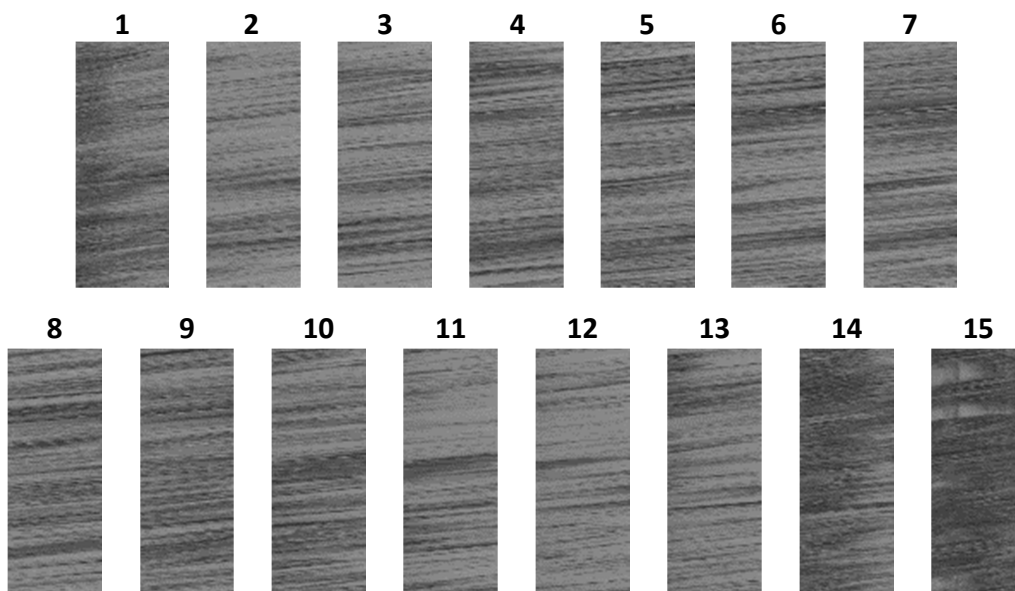


Figure 12 : STI du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis.

Les STI obtenues sur ce cas d'étude (Figure 12) présentent des rayures dont l'angle Φ est proche de 90° en raison des fortes vitesses et du nombre d'images par seconde relativement faible, presque limitante. Notons ici que la sensibilité de $\tan \Phi$, et donc de la vitesse U , augmente avec Φ (cf. Equation 1). En

pratique, la valeur de vitesse calculée sera d'autant plus fiable que les rayures des STI sont proches de la verticale ($\Phi = 0^\circ$) plutôt que de l'horizontal ($\Phi = 90^\circ$).

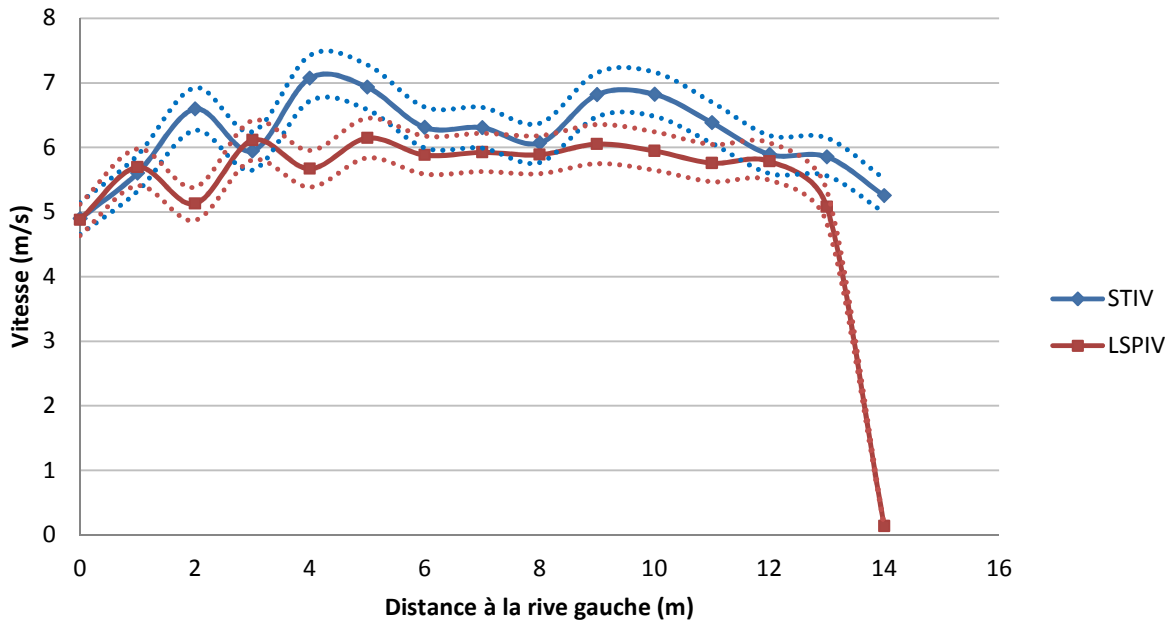


Figure 13 : Vitesses de surface du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis. Les pointillés représentent une incertitude de 5% autour des valeurs calculées par STIV et LSPIV, représentées en traits pleins.

En raison des turbulences de l'écoulement, les profils de vitesses obtenus (Figure 13) ne correspondent pas aux profils de vitesses classiques observées sur ce type de bathymétrie, pour lesquelles la vitesse maximale est observée pour le point de mesure le plus éloigné des rives, et les vitesses décroissent en se rapprochant des berges. Dans le cas présent les vitesses sont relativement homogènes le long de la section, avec des variations locales qui pourraient être dues à la présence de remous, ou au fait que les berges sont relativement lisses, et le rapport Largeur/Profondeur faible.

On observe également que les vitesses calculées par LSPIV sont quasiment systématiquement inférieures aux vitesses calculées par STIV. Ce décalage pourrait s'expliquer par une différence d'alignement entre l'orientation des segments de mesures de la STIV et l'axe de projection des vecteurs vitesses obtenus par LSPIV. Toutefois cet écart reste très faible pour ce type d'application ; les résultats obtenus avec chacune des méthodes sont très cohérents.

Cette observation confirme la nécessité de réaliser des tests de sensibilité sur le paramétrage de l'orientation des segments de mesure STIV, ainsi que sur l'alignement de la section de mesure LSPIV.

Enfin, nous observons que la STI numéro 15 (Figure 12), correspondant au segment de mesure situé à 14 mètres de la rive gauche (Figure 11), présente des motifs irréguliers dans sa partie supérieure. Ces motifs sont la conséquence du caractère agité de l'écoulement et sont formés par le lit rocheux de la rivière lorsque celui-ci n'est pas immergé. Sur la Figure 13, on peut voir que ces motifs n'influencent pas le

calcul de la vitesse par STIV, tandis que le calcul par LSPIV est gêné par la présence de motifs immobiles, et donne une vitesse nulle. Ce résultat confirme la plus grande robustesse de la méthode STIV à la présence d'éléments parasites immobiles dans le périmètre de calcul.

3.2. Le gave de Cauterets à Cauterets

Une seconde série de mesures a été réalisée sur un film de la crue du 18 juin 2013 du gave de Cauterets à Cauterets enregistrée par Fabien Lamouroux à l'aide d'une caméra GoPro puis diffusée sur YouTube⁴ (Figure 14).



© Fabien Lamouroux

Figure 14 : Capture d'écran du gave de Cauterets à Cauterets lors de la crue du 18 juin 2013. L'écoulement se fait du bas de l'image vers le haut.

Les informations tirées de cette vidéo ont été utilisées dans le cadre du retour d'expérience mené en juillet 2013 par Olivier Payrastre et Eric Gaume de l'IFSTTAR.

Comme pour le premier cas d'étude, les images présentent une forte distorsion et un léger mouvement de caméra dû à l'absence de trépied lors de l'enregistrement. Cependant, les mouvements étant très faibles, et afin de tester la sensibilité des méthodes à l'alignement des images, celles-ci n'ont pas fait l'objet d'une stabilisation, contrairement au cas d'étude du torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis.

⁴ <http://youtu.be/Lx7bx615R9g>

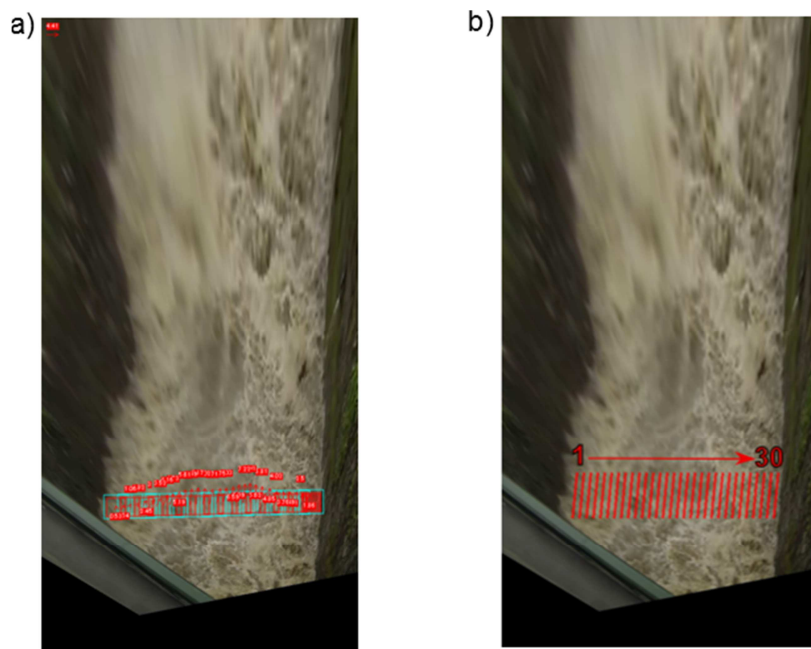


Figure 15 : Analyse du gawe de Cauterets à Cauterets par LSPIV (a) et par STIV (b)

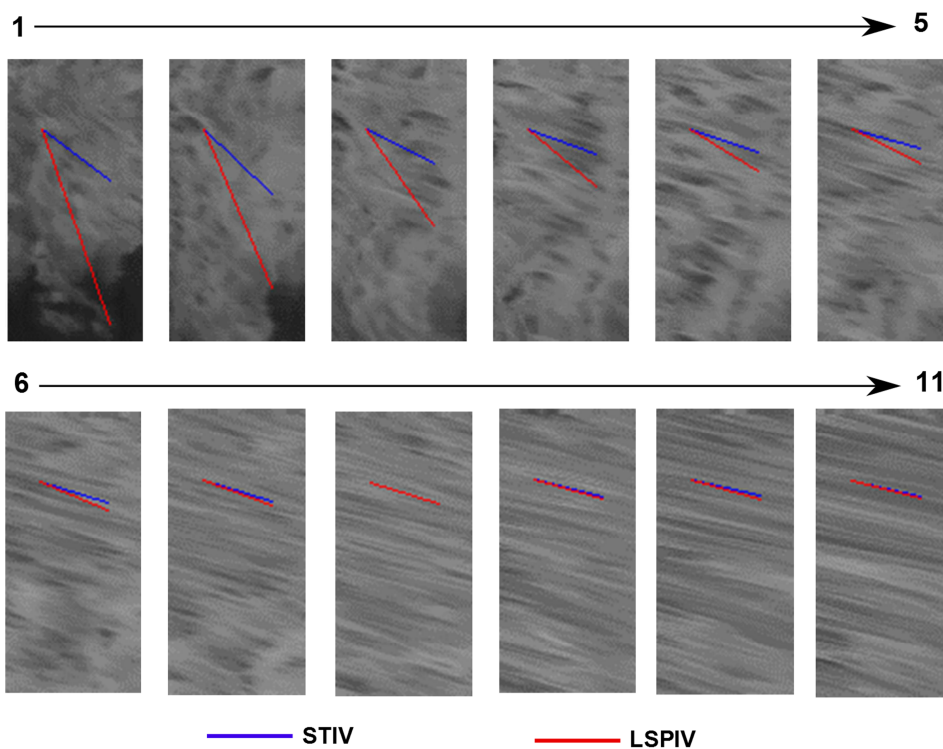


Figure 16 : STI du gawe de Cauterets à Cauterets, et comparaison aux résultats obtenus par LSPIV. Les traits rouges représentent la norme et la direction des vecteurs vitesses mesurés par LSPIV, les traits bleus représentent l'orientation de l'angle Φ mesuré pour chacune des STI.

Sur les STI 1 à 5, les rayures caractéristiques de la méthode STIV sont peu marquées (Figure 16). On remarque par ailleurs que les valeurs obtenues pour ces points de mesures par LSPIV et STIV diffèrent significativement (Figure 17). Ce résultat s'explique par le fait que ces points de mesures sont situés à proximité du mur en rive gauche, à l'opposé du point où se tenait l'auteur de la vidéo. Les remous et ressauts dans cette partie du cours d'eau sont perçus de côté, tandis qu'en rive droite ils sont vus du dessus. Les mouvements verticaux dus aux forts remous ne sont donc pas visibles en rive droite, alors qu'ils apparaissent clairement en rive gauche. Sur les images ortho-rectifiées, cela se traduit par l'apparition artificielle d'une forte composante de vitesse ayant une direction différente de celle du courant. Cet artefact est mesuré par la LSPIV, qui donne une mesure en 2 dimensions du champ de vitesse, tandis que la STIV ne retient que la composante dirigée dans le sens du courant. Il en résulte donc une mesure de vitesse sous-estimée par la LSPIV, et probablement peu fiable pour la STIV.

Ce résultat souligne la sensibilité de ces méthodes de vélocimétrie par analyse d'image au positionnement de la caméra par rapport à l'écoulement, en particulier sur des écoulements turbulents, ainsi qu'à l'hypothèse faite d'une surface libre plane et dont on ne s'écarte dans ce cas.

Les STI obtenues pour les points de mesures dans la partie centrale (Figure 16) et en rive droite présentent les rayures caractéristiques de la méthode, et donnent des résultats très cohérents avec ceux obtenus par LSPIV (Figure 17), malgré l'absence de prétraitement visant à corriger les mouvements de caméra.

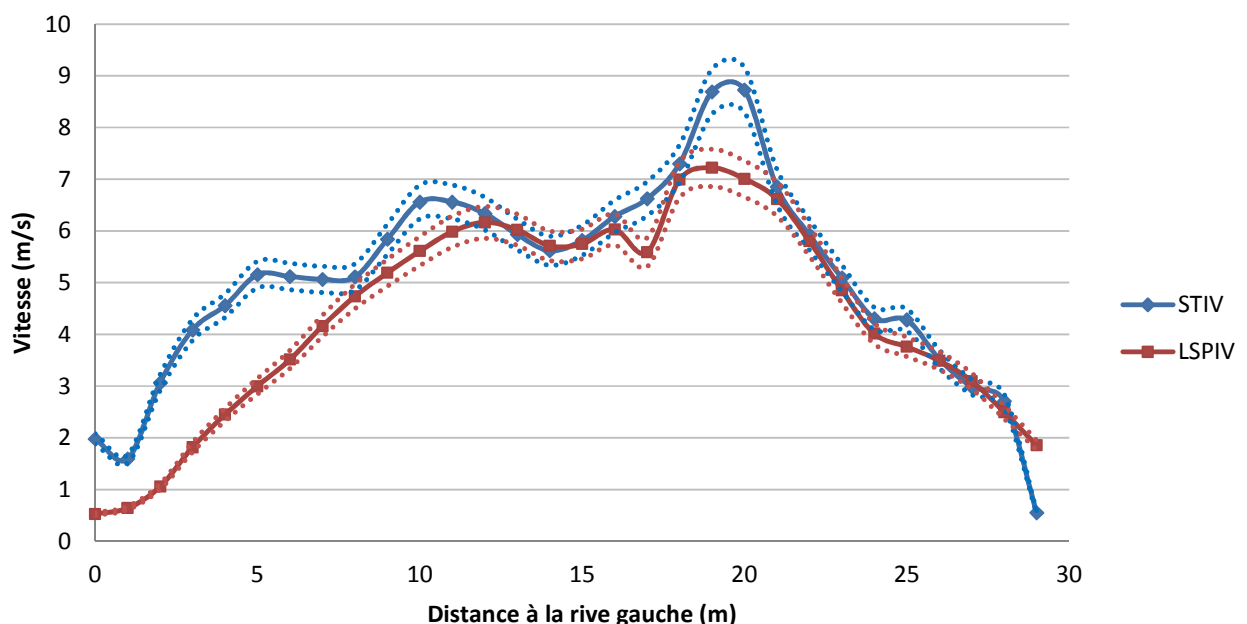


Figure 17 : Vitesses de surface du gave de Cauterets à Cauterets. Les pointillés représentent une incertitude de 5% autour des valeurs calculées par STIV et LSPIV, représentées en traits pleins.

4. Conclusion et perspectives

Les tests de comparaison entre la LSPIV et la STIV ont permis de montrer que ces deux méthodes permettent d'effectuer des mesures de vitesses fiables et cohérentes entre elles, y compris sur des évènements de crue où il n'a pas été possible de déployer des méthodes classiques de vélocimétrie.

Ces premiers tests sont très encourageants quant à l'applicabilité de la STIV aux films amateurs. La faible sensibilité de cette méthode aux mouvements de caméra, à la présence de motifs parasites fixes sur la section de mesure, et le faible nombre de paramètres à fixer par l'utilisateur pourraient en faire un outil précieux pour de futures mesures de vitesses sur des évènements de crue extrêmes. Tout comme la LSPIV cette méthode reste cependant sensible à la qualité de l'orthorectification des images, c'est-à-dire à la présence de points de repères en bordure du cours d'eau, à la précision de la mesure de hauteur d'eau et à l'écart à la planéité de la surface libre de l'écoulement.

L'application de cette méthode à de nouveaux cas et des tests supplémentaires, toujours en partenariat avec le professeur Ichiro Fujita et dans le cadre de la thèse Irstea 2014-2017 financée par le SCHAPI et EDF/DTG sur le développement des méthodes de mesures en crue par analyse d'image, pourront notamment permettre de tester la sensibilité de la méthode à la résolution de l'image, au nombre d'images minimum ou encore à l'alignement des segments de mesures par rapport au courant.

5. Références

Braud I., Ayral P.-A., Bouvie, C., Branger F., Delrieu, G., Le Coz J., Nord G., Vandervaere J.-P., Anquetin S., Adamovic M., Andrieu J., Batiot C., Boudevillain B., Brunet P., Carreau J., Confoland A., Didon-Lescot J.-F., Domergue J.-M., Douvinet J., Dramais G., Freydier R., Gérard S., Huza J., Leblois E., Le Bourgeois O., Le Boursicaud R., Marchand P., Martin P., Nottale L., Patris N., Renard B., Seidel J.-L., Taupin J.-D., Vannier O., Vincendon B., and Wijbrans A. (2014), Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash flood understanding, *Hydrology and Earth System Science.*, 18, 3733-3761, DOI: 10.5194/hess-18-3733-2014,.

Costa J. E., Cheng R. T., Haeni F. P., Melcher N., Spicer K. R., Hayes E., Plant W., Hayes K., Teague C., and Barrick D. (2006), Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods. *Water Resources Research.*, 42, W07422, DOI:10.1029/2005WR004430.

Creutin J.D., Muste M., Bradley A.A., Kim S.C., Kruger A. (2003), River gauging using PIV techniques: a proof of concept experiment on the Iowa River. *Journal of Hydrology* 277, p. 182–194. DOI:10.1016/S0022-1694(03)00081-7

Dramais G., Le Coz J., Le Boursicaud R., Hauet A., Lagouy M. (2013), Jaugeage par radar mobile : protocole et résultats. SHF, Hydrométrie 2013, May 2013, Paris, France. 8 p. <hal-00837730>

Fujita I. (2014), Training Course on Stream Gauging, Hanoi, Vietnam WMO - IAHR

Fujita I., Watanabe H., Tsubaki R. (2007), Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV). *International Journal of River Basin Management*, 5:2, 105-114, DOI: [10.1080/15715124.2007.9635310](https://doi.org/10.1080/15715124.2007.9635310)

Fujita, I., Kunita, Y. & Tsubaki, R. 2013, "Image analysis and reconstruction of the 2008 Toga River Flash Flood in an urbanised area", *Australian Journal of Water Resources*, Vol. 16, No. 2.

Hauet A. (2006), Estimation de débit et mesure de vitesse en rivière par Large-Scale Particle Image Velocimetry. *Hydrology*. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2006. French. <tel-00116889>

Hauet A., Kruger A., Krajewski W., Bradley A., Muste M., Creutin J., and Wilson M. (2008), Experimental system for real-time discharge estimation using an image-based method. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2):105-110.

Le Coz, J., Hauet, A., Dramais, G., and Pierrefeu, G. (2010), Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*, 394:42-52.

Muste, M. and Fujita, I. and Hauet, A. (2010) Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*, 46(4):123-151.

Tsubaki R. , Fujita I., Tsutsumi S. (2010), Measurement of the flood discharge of a small-sized river using an existing digital video recording system. *Journal of Hydro-environment Research* 5 (2011) p. 313-321. DOI:10.1016/j.jher.2010.12.004