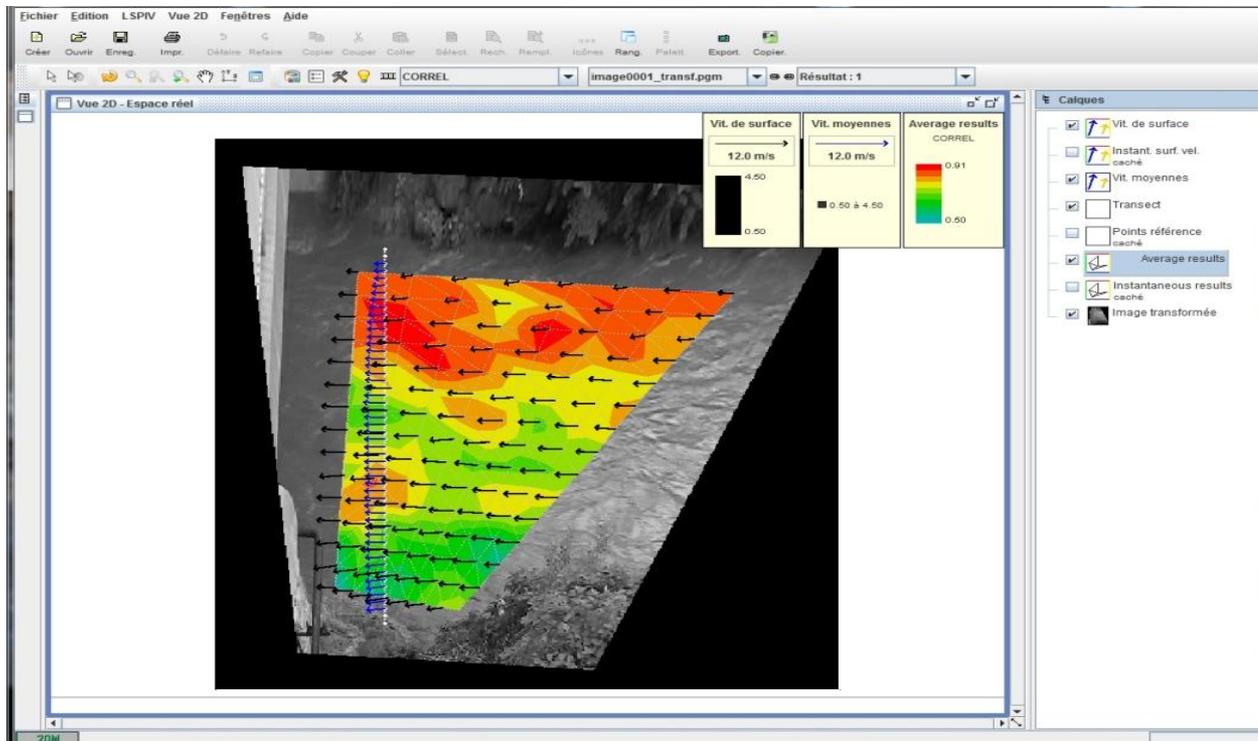


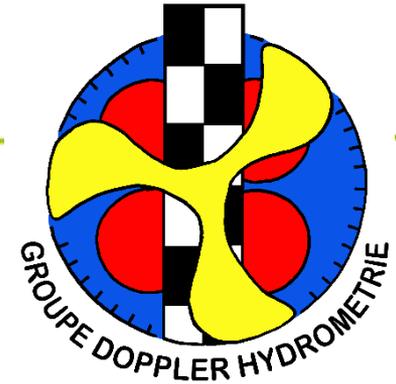
# Vélocimétrie et débitmétrerie par vidéo : le logiciel Fudaa-LSPIV



# Il y a 5 ans jour pour jour...

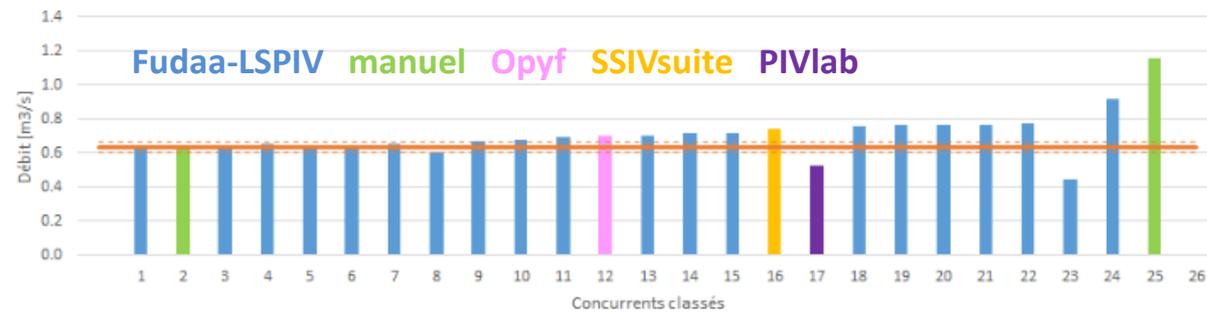
Départ du **Video Globe Challenge 2020** en 8 étapes  
(France, Norvège, Australie)

1<sup>ère</sup> intercomparaison de jaugeages vidéo du GDH,  
pendant le 1<sup>er</sup> confinement dû au Covid-19...



casque de Stør Åne avec verres progressifs antireflets

Vidéo GDH8 - Finsalbekken à Ridabu, Norvège



Sir R.L. Herbold (1831–1905) et son prototype de pontonnière mono-place anti-crocodile (les traces de morsure indiquent que cet exemplaire a déjà servi).

Retrouvez les  
rapports d'étape et  
tous les classements  
sur le site web du  
GDH [ici](#)

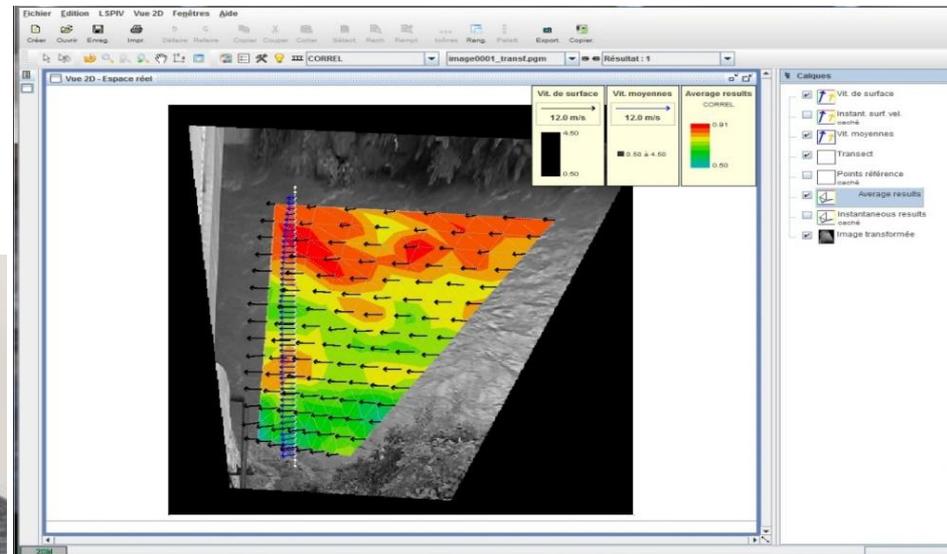
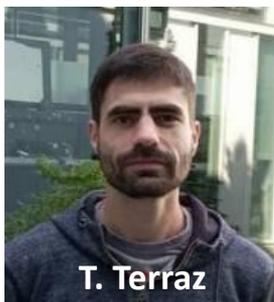


Cliché Gauging Viking©

# Le logiciel libre Fudaa-LSPIV

Co-développement par EDF, INRAE, CNR et la société DeltaCAD

- Exécutables Fortran (parallélisés) développés par EDF et INRAE
- Environnement graphique Java développé par DeltaCAD (depuis 2009)



# Le logiciel libre Fudaa-LSPIV

Co-développement par EDF, INRAE, CNR et la société DeltaCAD

- Exécutables Fortran (parallélisés) développés par EDF et INRAE
- Environnement graphique Java développé par DeltaCAD (depuis 2009)

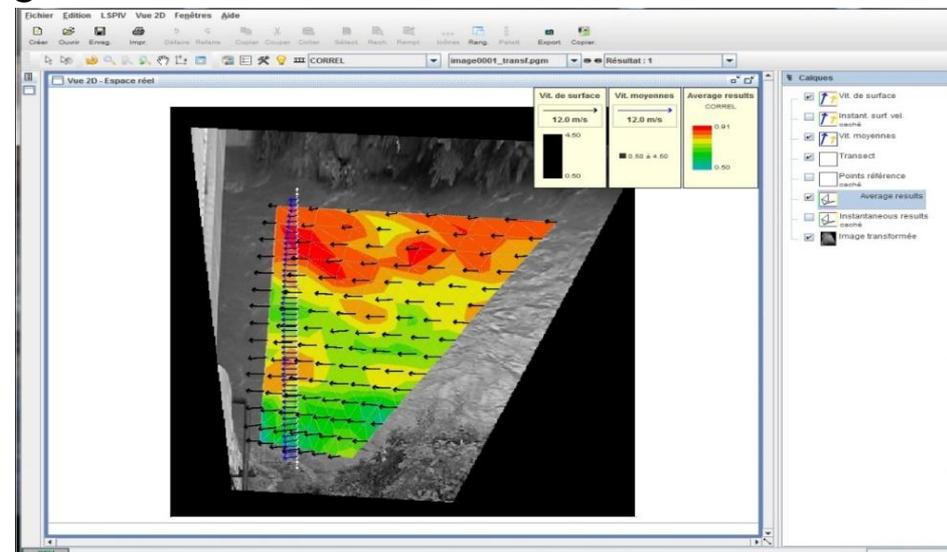
Diffusion de la méthode et du logiciel

- Licence libre GPL (open-source) : exes et interface
- Binaires Windows / Linux sur forges publiques
- Manuel utilisateur en français et anglais
- Interface : français et anglais

- ~200 utilisateurs
- Journées utilisateurs annuelles
- Page web :

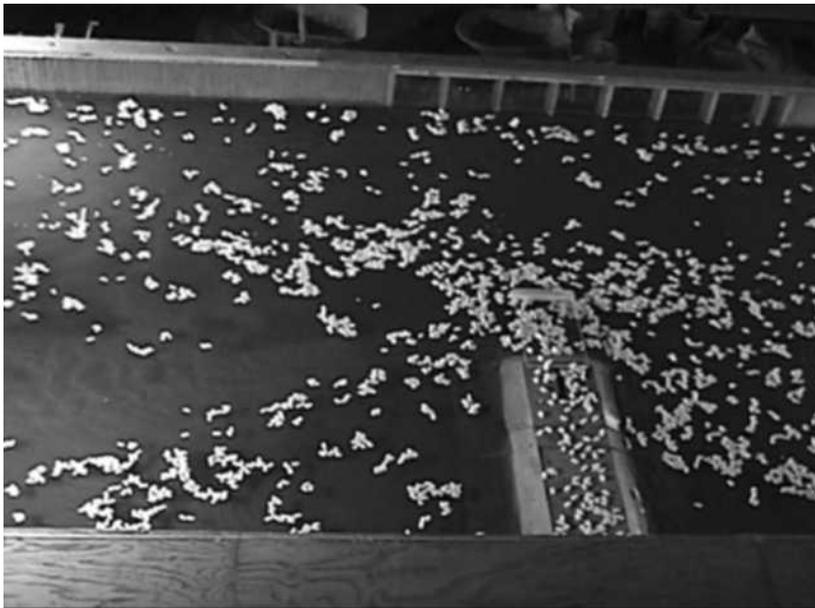
<https://riverhydraulics.inrae.fr/outils/logiciels/fudaa-lspiv/>

- Contact développeurs :  
[fudaa-lspiv.dev@inrae.fr](mailto:fudaa-lspiv.dev@inrae.fr)



# Avantages de la vélocimétrie par vidéo

- Champ de vitesse 2-D instantané à la surface
- Mesures sans contact (sécurité, efficacité)
- Développement de l'imagerie numérique



**Expériences de laboratoire  
(IHR, Université d'Iowa, USA)**



**Crue-éclair de l'Ouvèze  
(1992), France**

# Applications hydrométriques de la LSPIV

Mesures de débit  
(jaugeages)



Stations  
automatiques



Estimations après crue,  
hydrométrie participative



debris flow - 22 août 2011 -  
Crue torrentielle à Saint Julien

Alexandre MODESTO

561 k vues

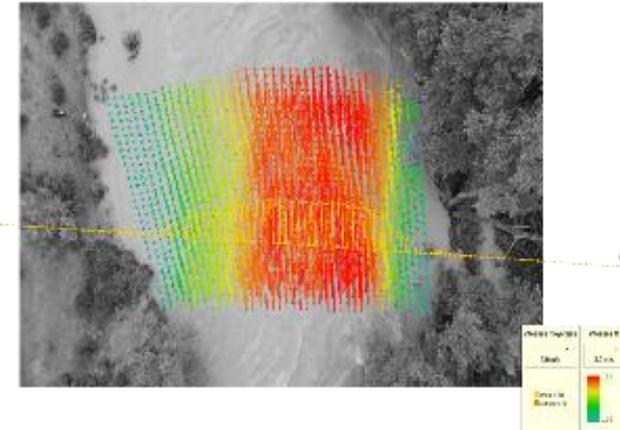
# Applications hydrométriques de la LSPIV

- Jaugeages par drone aérien (DREAL Corse)

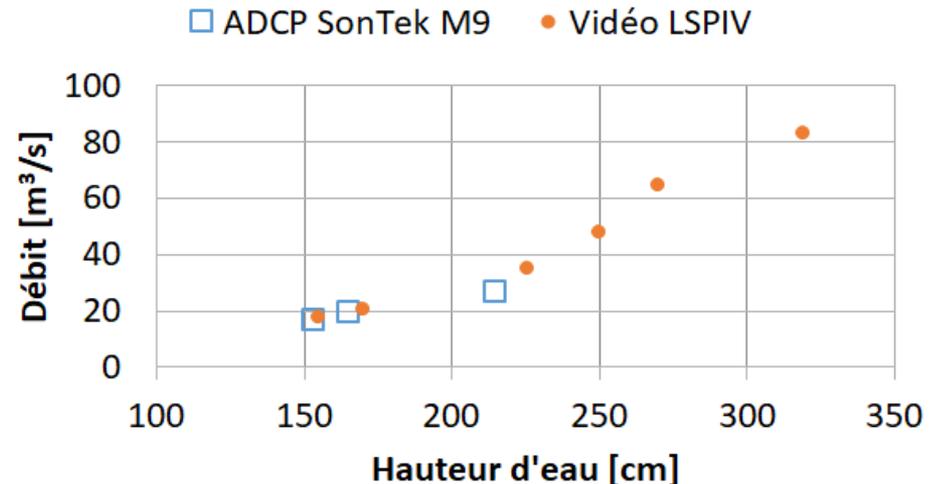


*DJI Mavic2 Pro avec caméra  
Hasselblad au décollage pour jauger  
la Gravona à Peri*

*L'Ascu à Morosaglia en crue*

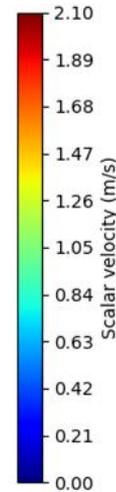
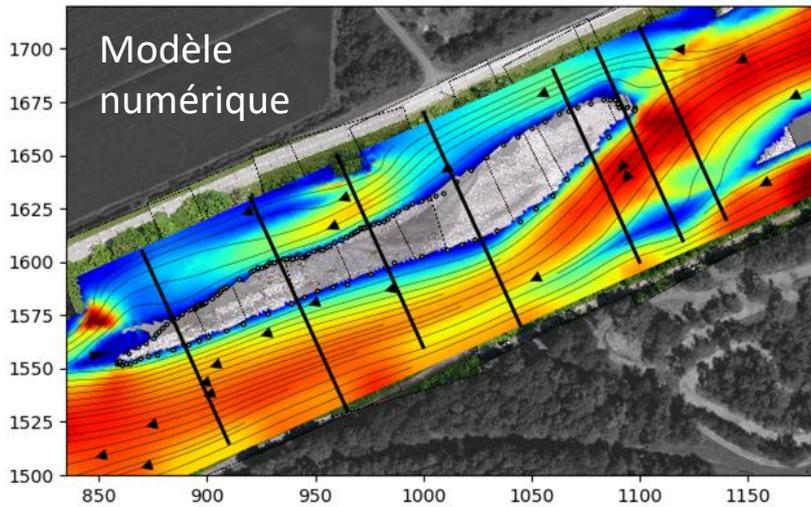


*Ajout d'un nouveau point en haut de la  
courbe de tarage, au-delà de ce qui  
peut être jaugé à l'ADCP*



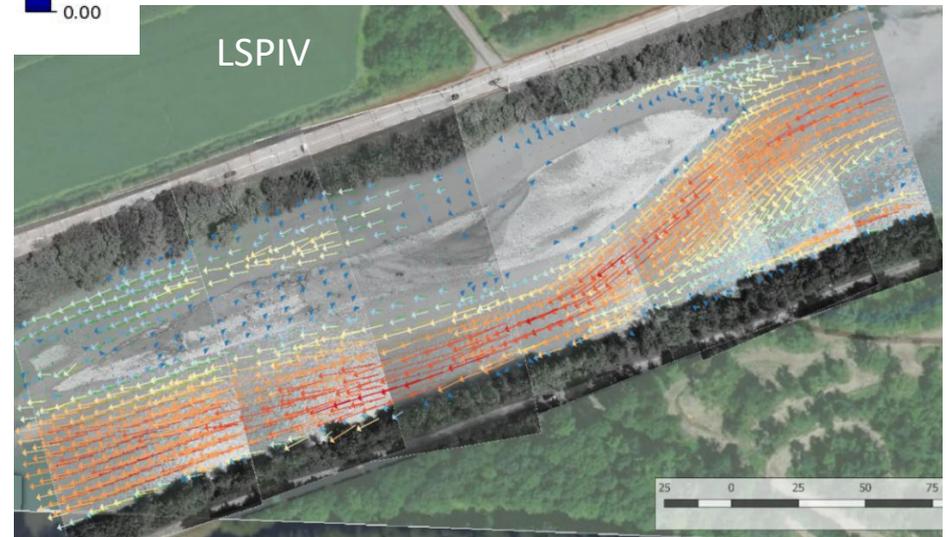
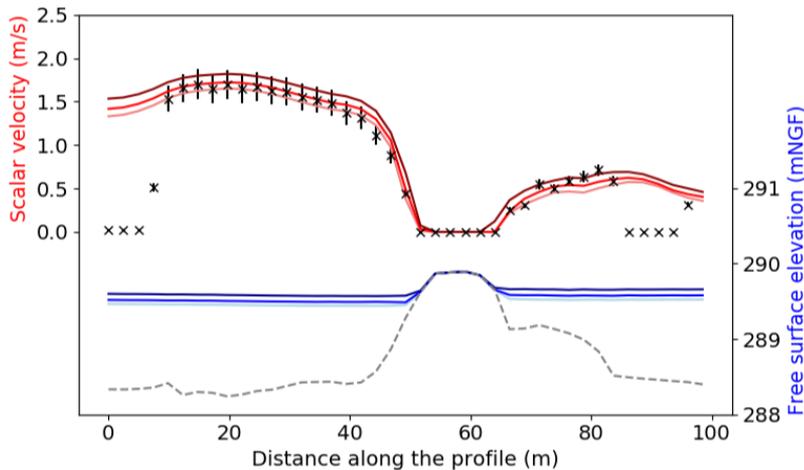
# Applications courantologiques de la LSPIV

- Isère – Combe de Savoie (EDF R&D)



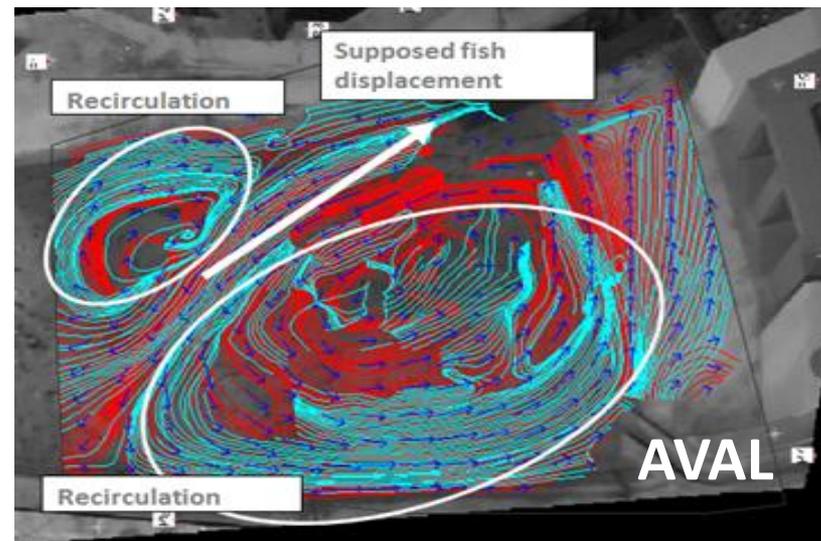
Calibration du module hydraulique du modèle hydro-sédimentaire (Telemac 2D)

Bel et al. (2020), Jodeau et al. (2020)

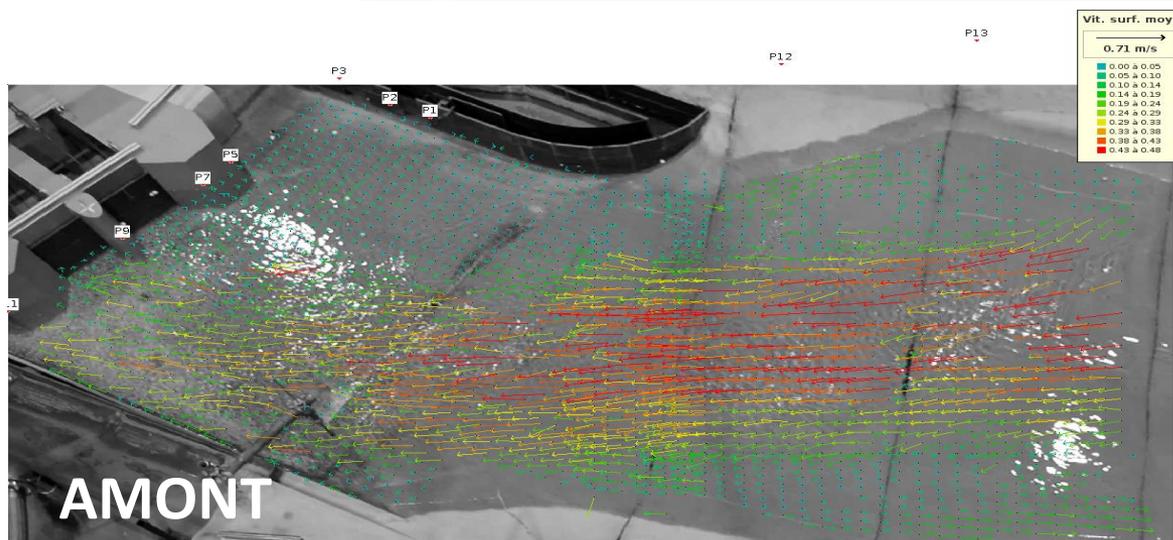


# Applications courantologiques de la LSPIV

- Modèle physique de Poutès (EDF R&D)



Objectif : définir une nouvelle configuration du barrage avec un impact limité sur la migration piscicole



# Vélocimétrie image (vidéo)

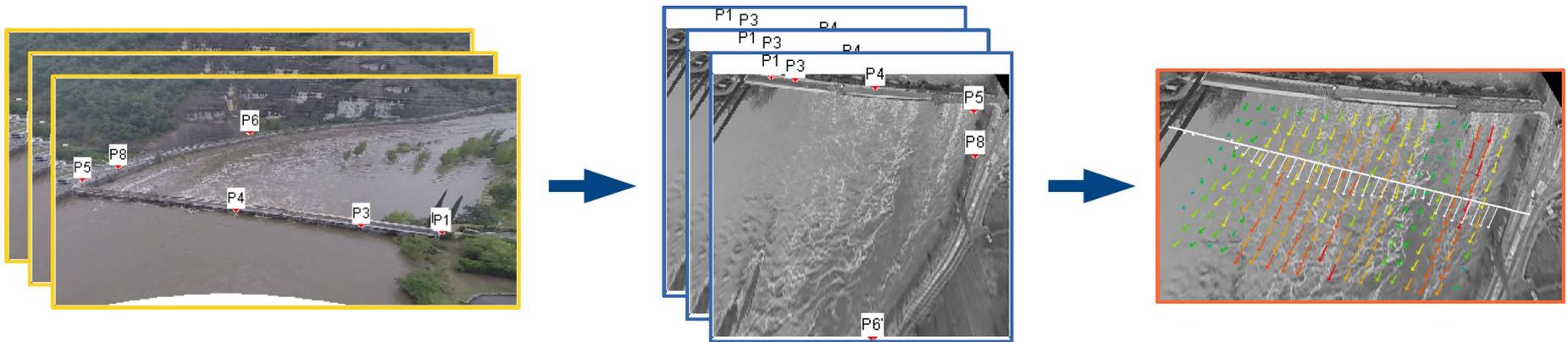


Vidéo drone de l'Ardèche en crue

Source : <http://www.ardechevideo.com/>

## Principales étapes

1. Enregistrer une séquence d'images séparées d'un intervalle de temps connu
2. Ortho-rectifier et dimensionner les images
3. Calculer les vitesses de surface (instantanées et moyennes)
4. Calculer le débit



# Vélocimétrie image (vidéo)

- N'importe quel type de caméra peut convenir (en général)
- La résolution image peut poser problème dans le champ lointain de l'image, et pour des points de vue rasants



# Principes de la technique LSPIV

Etape 1. Enregistrer des séquences d'images séparées d'un intervalle de temps précis et connu

- Des traceurs doivent être visibles, denses et représentatifs de l'écoulement
- Eclairage : éviter reflets, ombres, scintillement, etc.



# Principes de la technique LSPIV

Etape 2. Calibration implicite de la caméra en utilisant des points de référence au sol (GRPs)



$$i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$
$$j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$

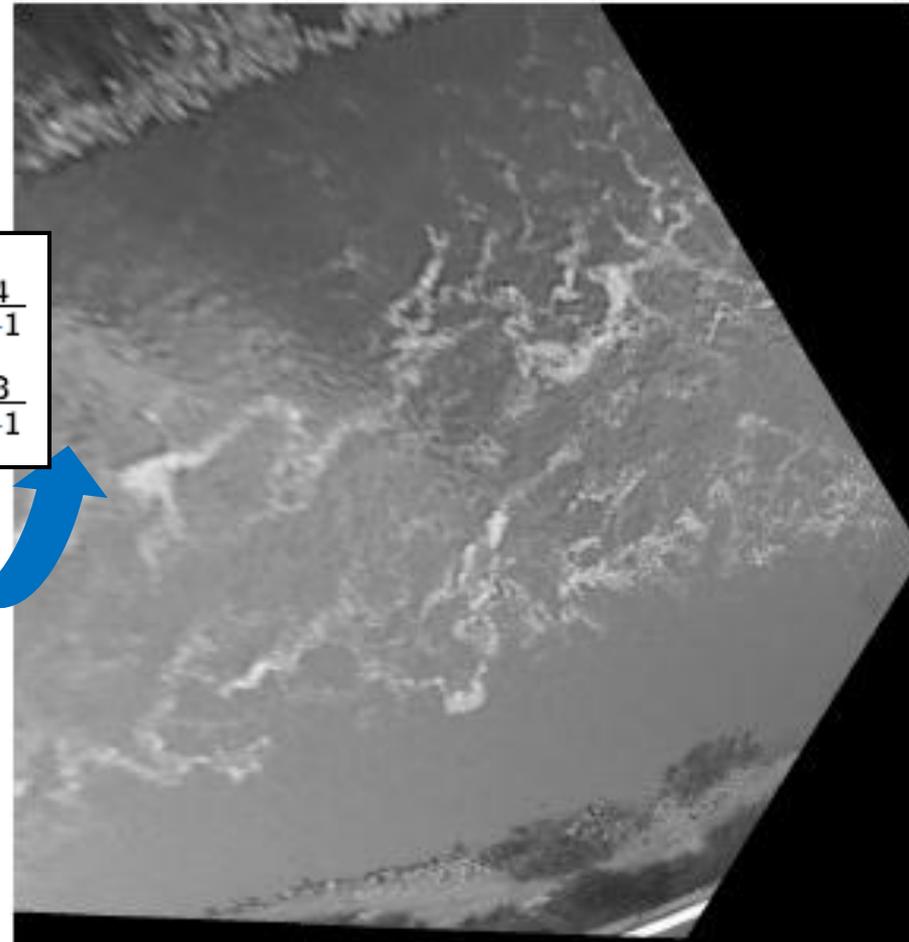


# Principes de la technique LSPIV

Etape 2. Orthorectification des images en niveaux de gris



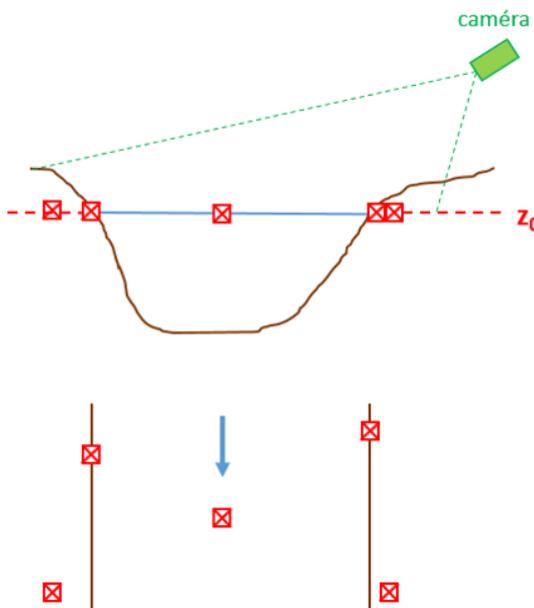
$$i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$
$$j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$



# Options de transformation des images

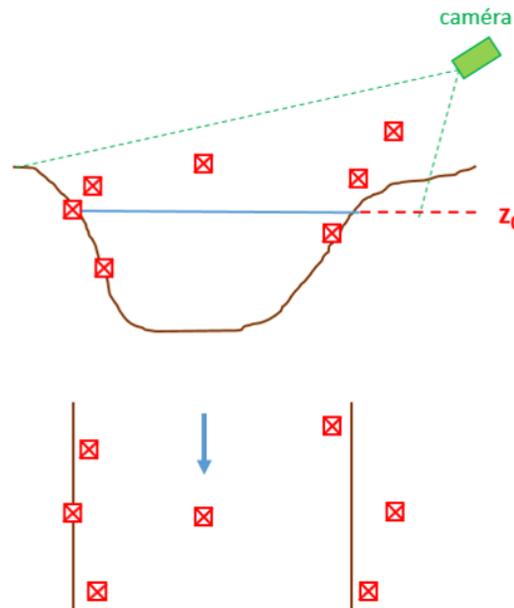
## Orthorectification 2D

- Au moins 4 GRPs au niveau de l'eau  $z_0$
- Option distances entre 4 points



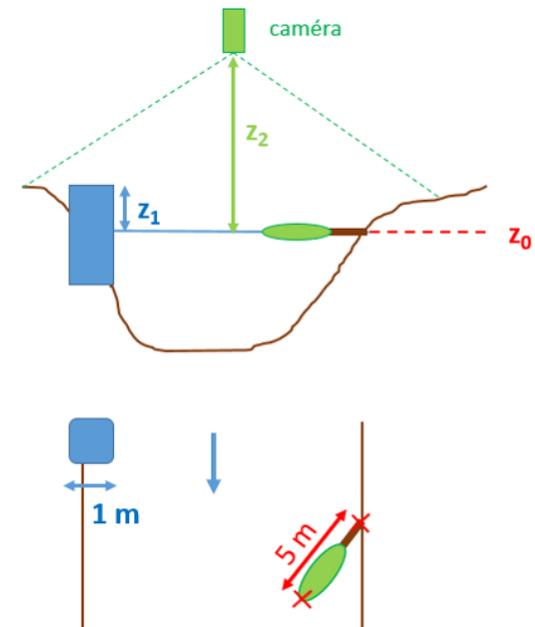
## Orthorectification 3D

- Au moins 6 GRPs bien répartis
- Coordonnées XYZ requises



## Mise à l'échelle

- Au moins 1 segment de longueur connue
- Altitudes  $z_1$  et  $z_2$  si  $z_1 \neq z_0$

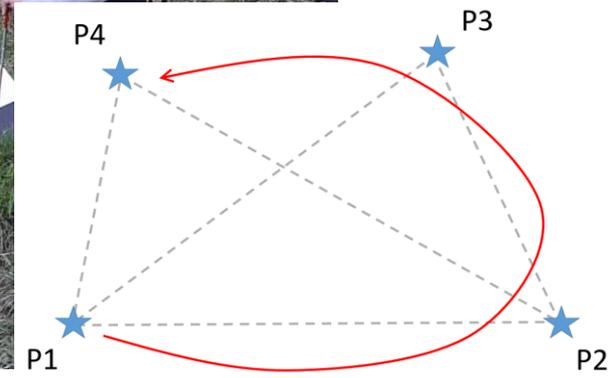
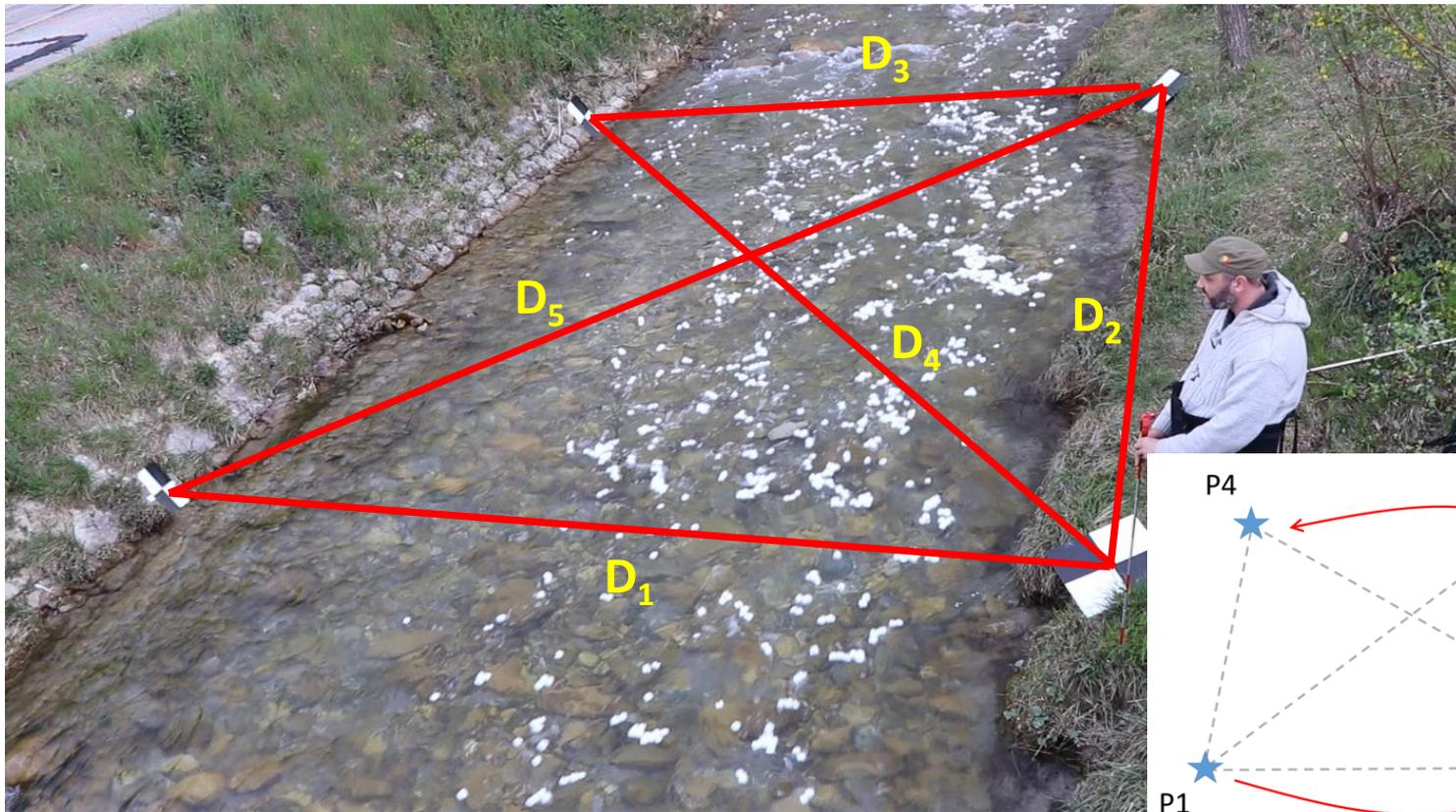


# Options de transformation des images

## Orthorectification 2D

- Procédure terrain la plus simple : mesurer 5 distances entre 4 points de repère situés au niveau de l'eau

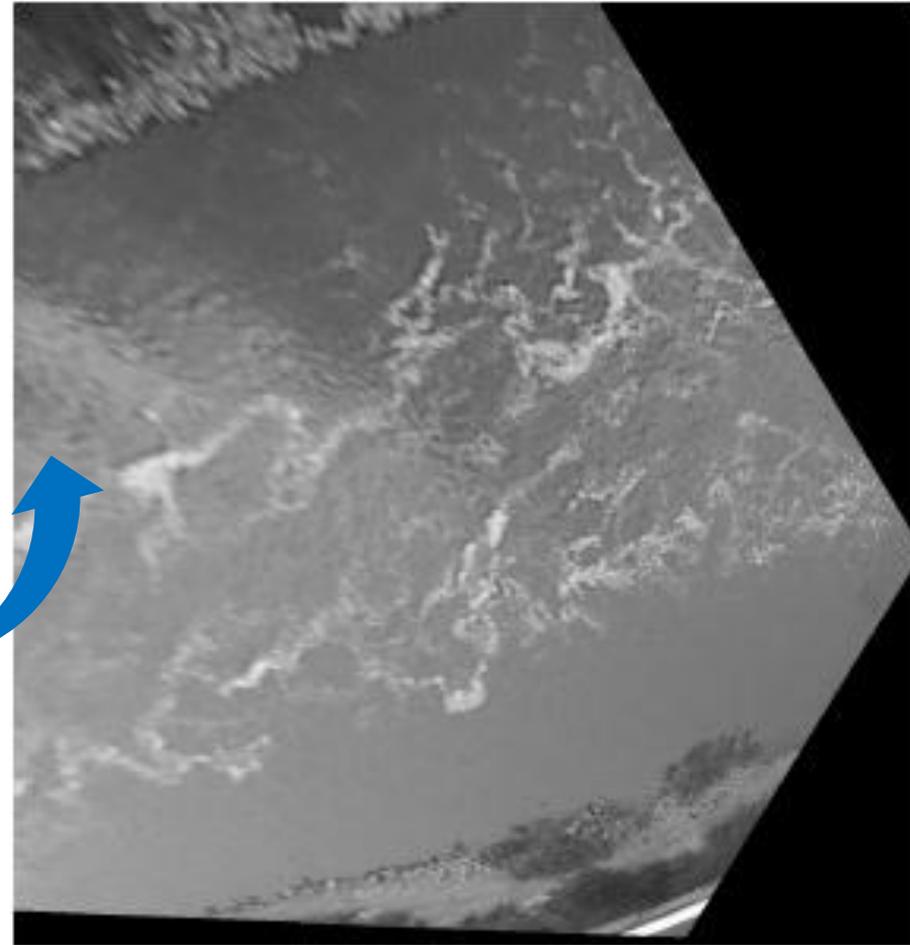
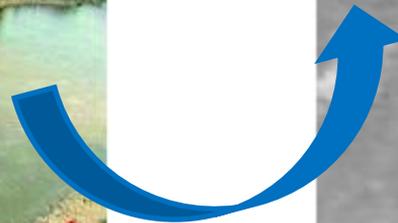
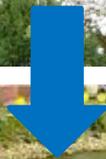
*(Les coordonnées relatives des 4 points seront calculées automatiquement)*



# Principes de la technique LSPIV

## Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs

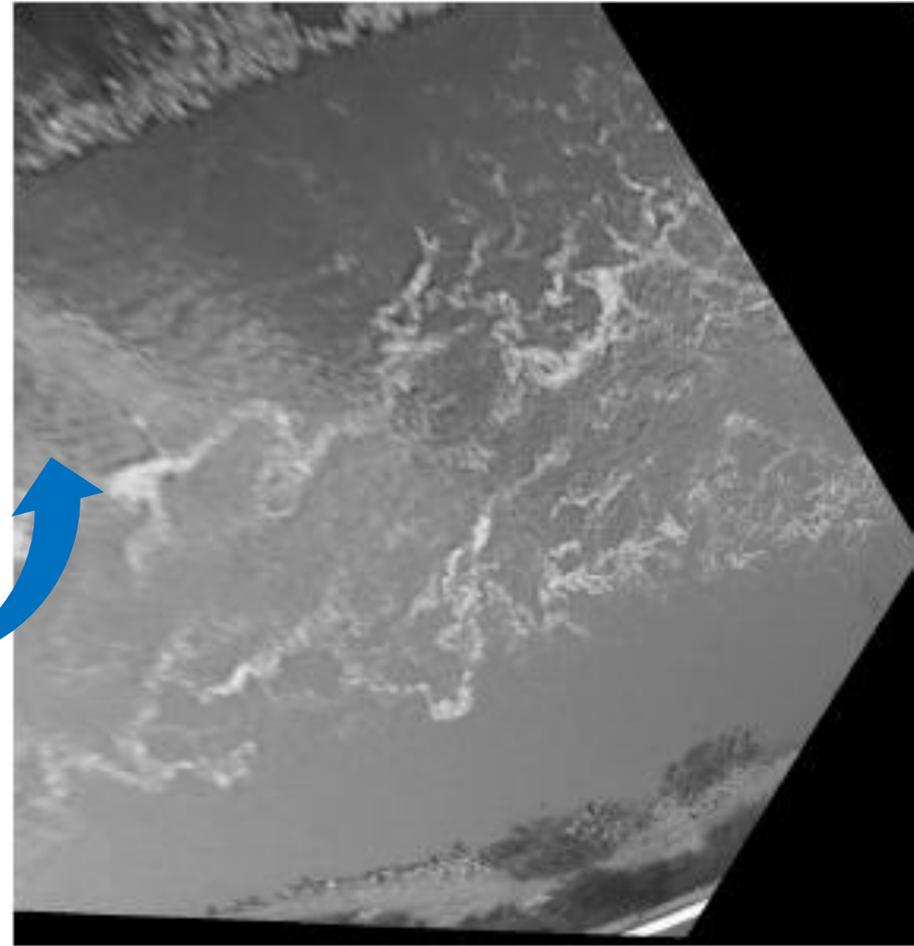
→ traceurs artificiels (chips d'amidon de maïs) ou naturels (écume, débris flottant, motifs de turbulence, etc.)



# Principes de la technique LSPIV

## Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs

→ traceurs artificiels (chips d'amidon de maïs) ou naturels (écume, débris flottant, motifs de turbulence, etc.)



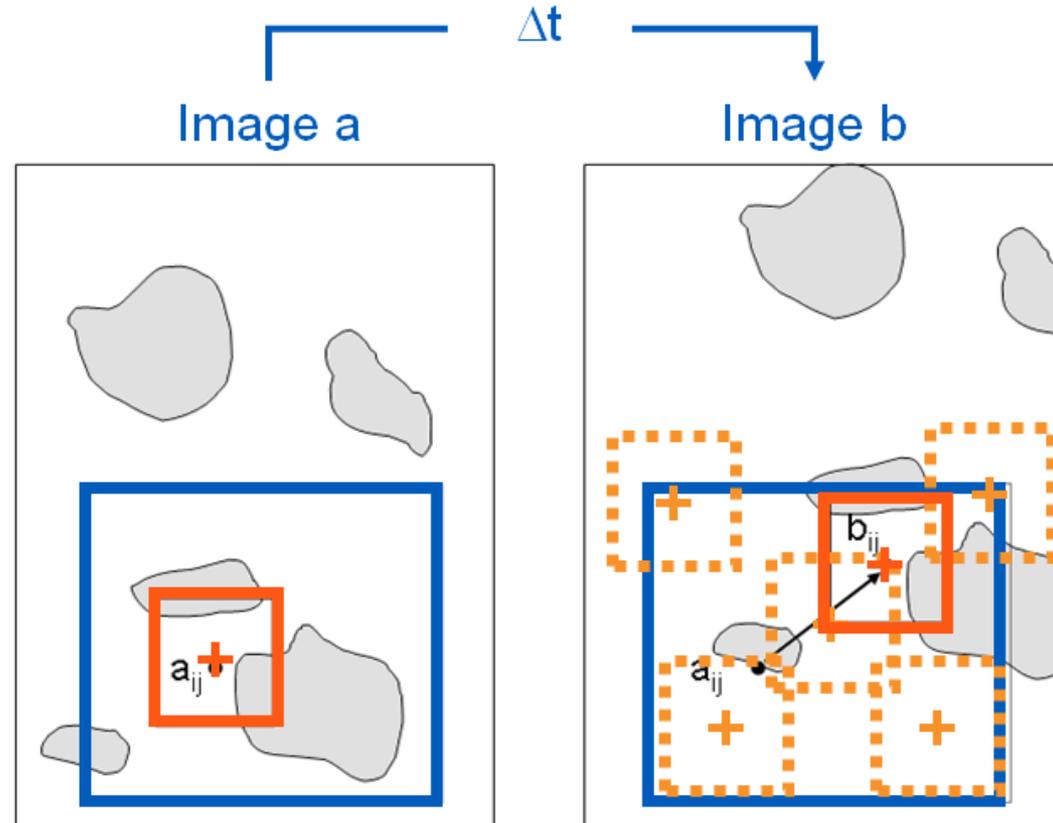
# Principes de la technique LSPIV

## Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs

→ analyse d'auto-corrélation

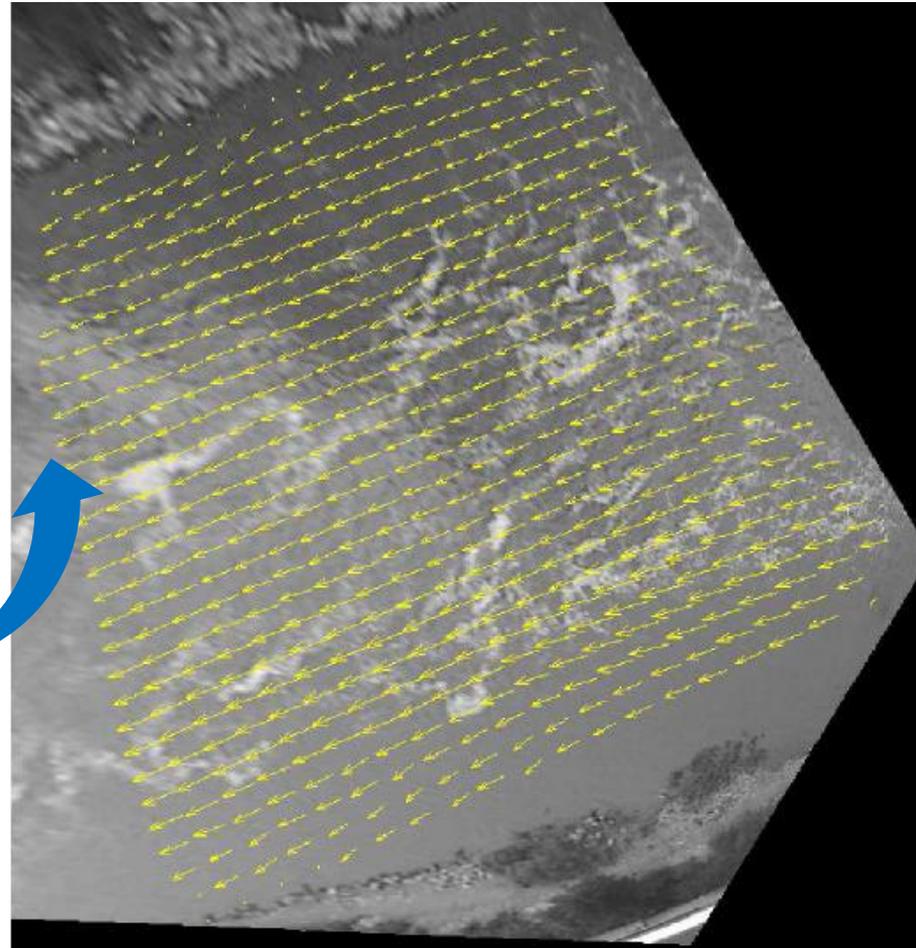
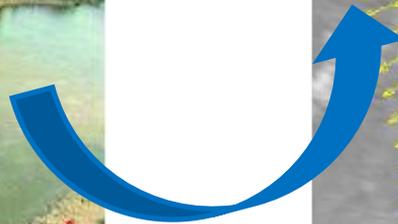
→ centre de la **Fenêtre Interrogation (IA)** carrée recherché au sein d'une

**Fenêtre de Recherche (SA)**



# Principes de la technique LSPIV

Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs  
→ calcul des vecteurs vitesse de surface

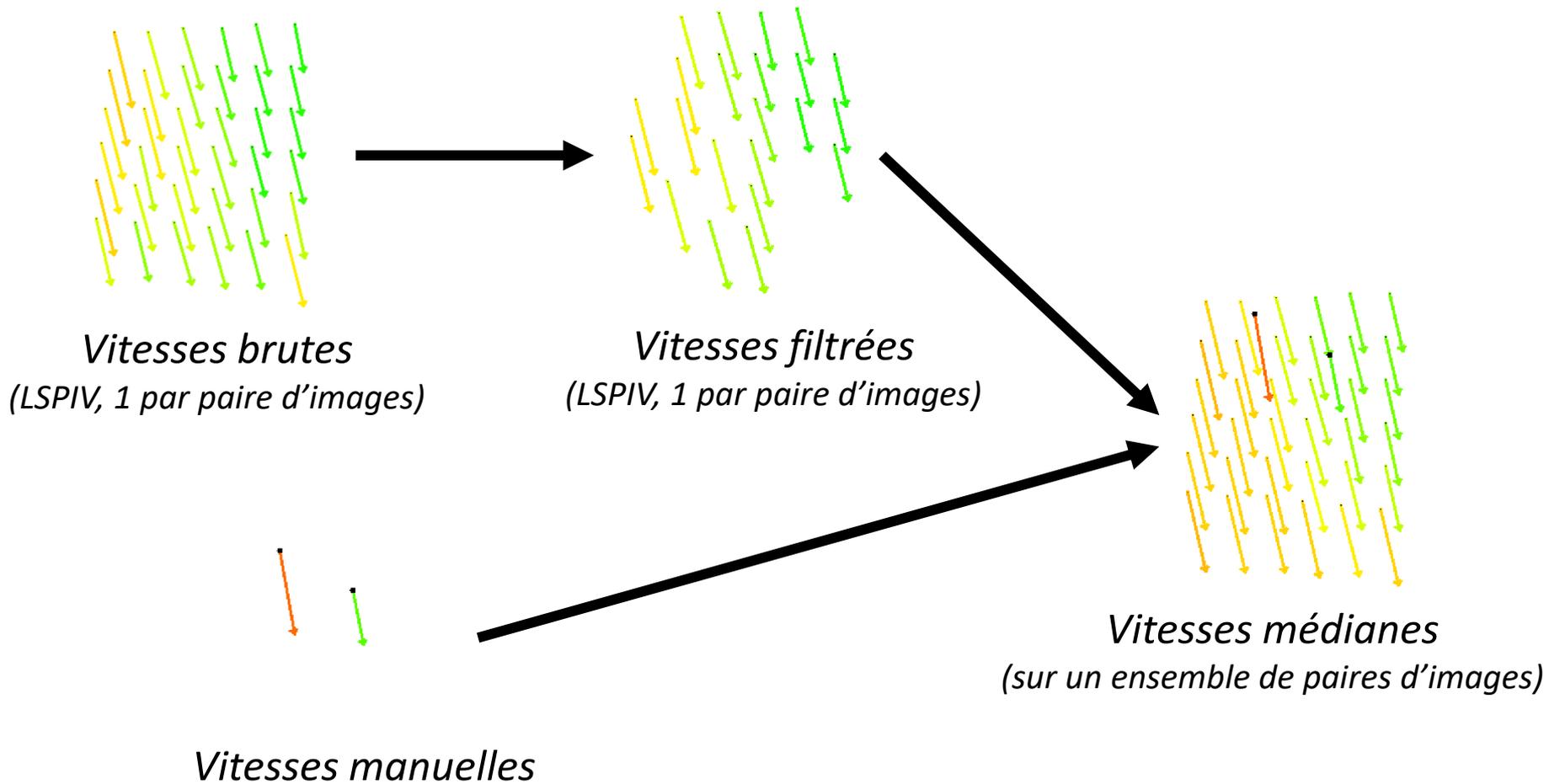


# Principes de la technique LSPIV

Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs

→ calcul des vecteurs vitesse de surface

**Post-traitement** : moyenne/médiane, filtres (corrélation, cohérence spatio-temporelle)

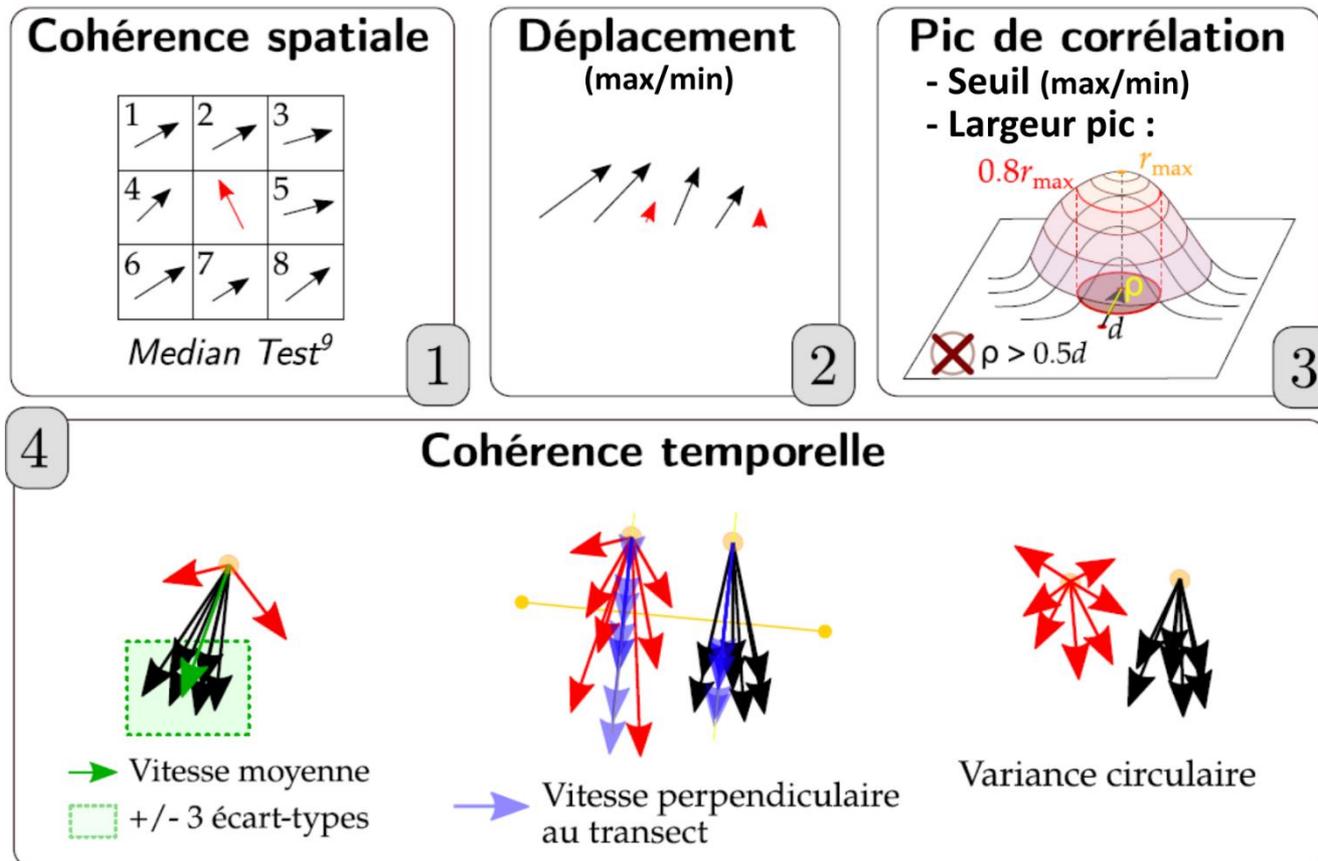


# Principes de la technique LSPIV

Etape 3. Analyse statistique des déplacements des traceurs

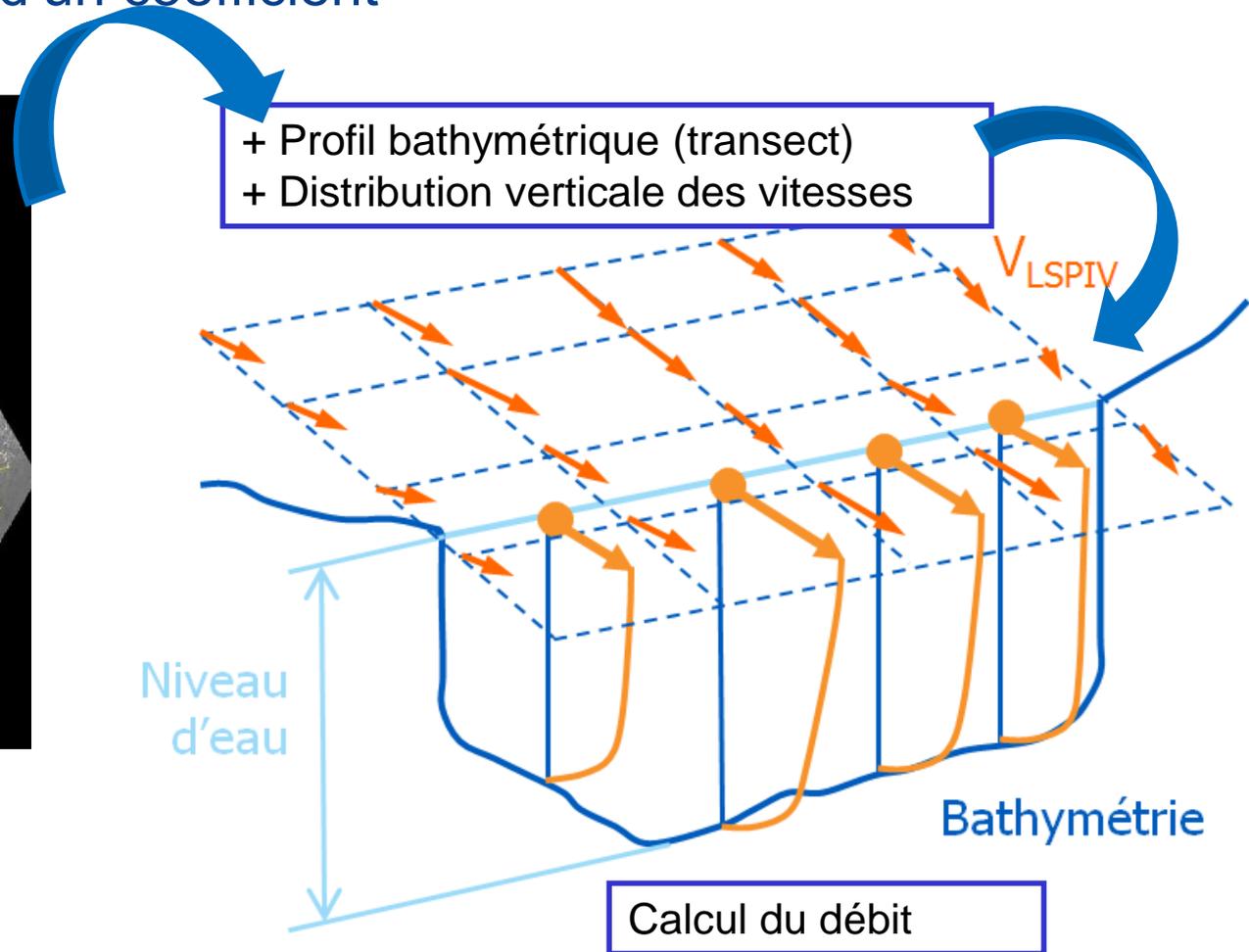
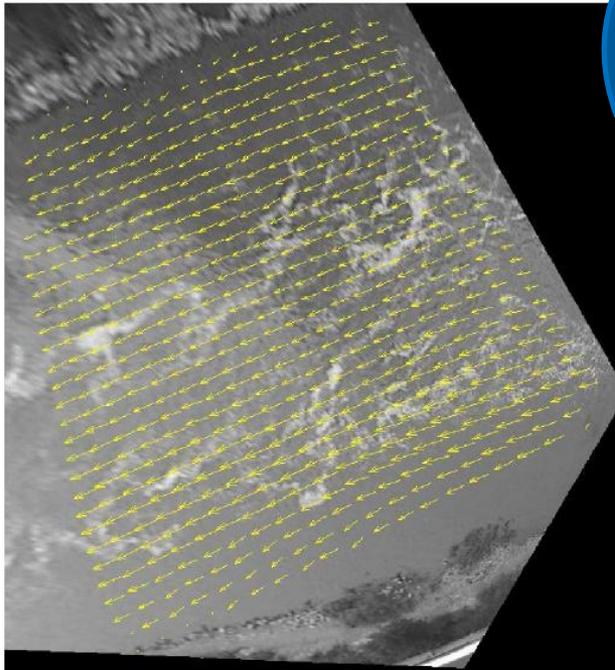
→ calcul des vecteurs vitesse de surface

**Post-traitement** : moyenne/médiane, filtres (corrélation, cohérence spatio-temporelle)



# Principes de la technique LSPIV

Etape 4. Estimation du débit à travers une section en travers  
→ conversion des vitesses de surface en vitesses moyennes sur la verticale à l'aide d'un coefficient

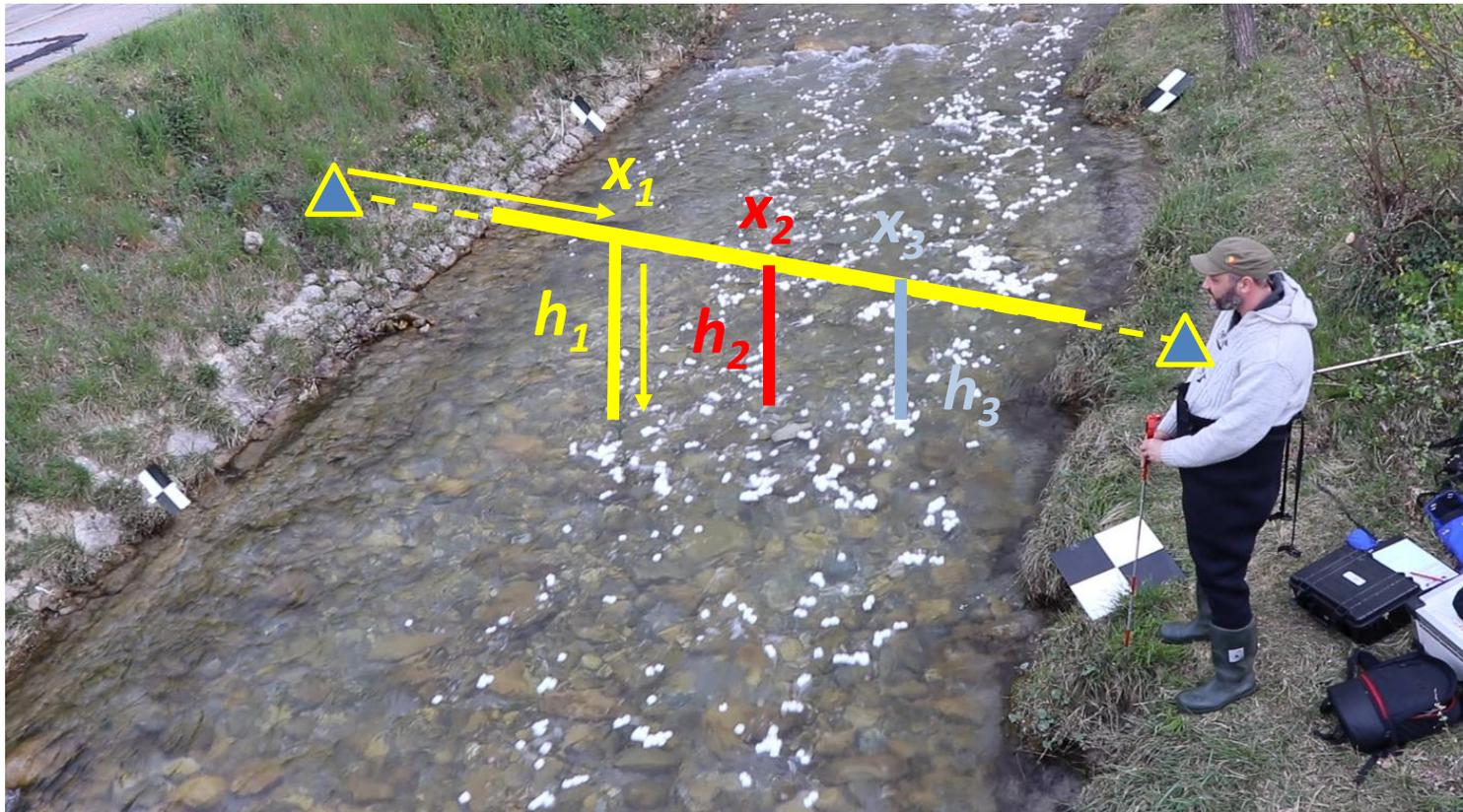


# Principes de la technique LSPIV

Etape 4. Estimation du débit à travers une section en travers

## Définition de la géométrie d'un ou plusieurs transects

- Procédure terrain la plus simple : mesurer un transect en abscisse-cote entre deux points de repère visibles dans l'image



# En résumé...

## Jaugeage traditionnel

*C'est pas ma crue...*



*Jaugeur aguerrri avec son saumon hydrométrique*

**VS**

## Jaugeage par imagerie

*Elle est où la déca-millénale ?*



*Walker Texas Jaugeur Imageur*

## En résumé...

Mais l'évolution des fonds en crue reste une source d'incertitude majeure pour les jaugeages superficiels.

Pas encore de mesure bathymétrique non intrusive...



Vallée de la Roya après  
la tempête Alex (2020,  
France)

# Démo : deux cas typiques de jaugeages vidéo

## ■ Le Gave de Cauterets à Cauterets (crue du 18 juin 2013)

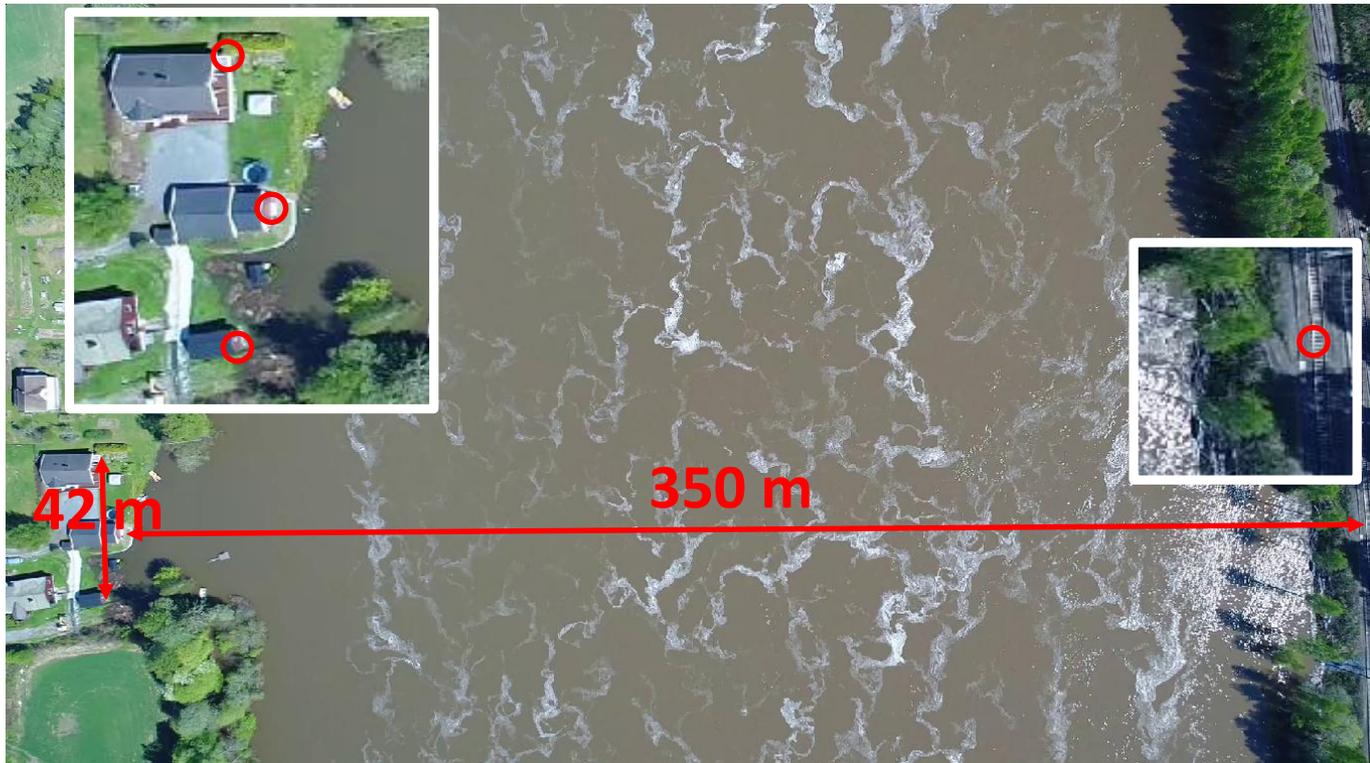
- Vidéo amateur récupérée sur YouTube, prise depuis le pont
- Caméra GoPro : images corrigées (grand angle)
- Traceurs naturels
- Relevés de distances pour l'orthorectification
- Relevés de sections et du niveau d'eau ( $z=0$ )



# Démo : deux cas typiques de jaugeages vidéo

## ■ Jaugeage de crue au drone, en Scandinavie

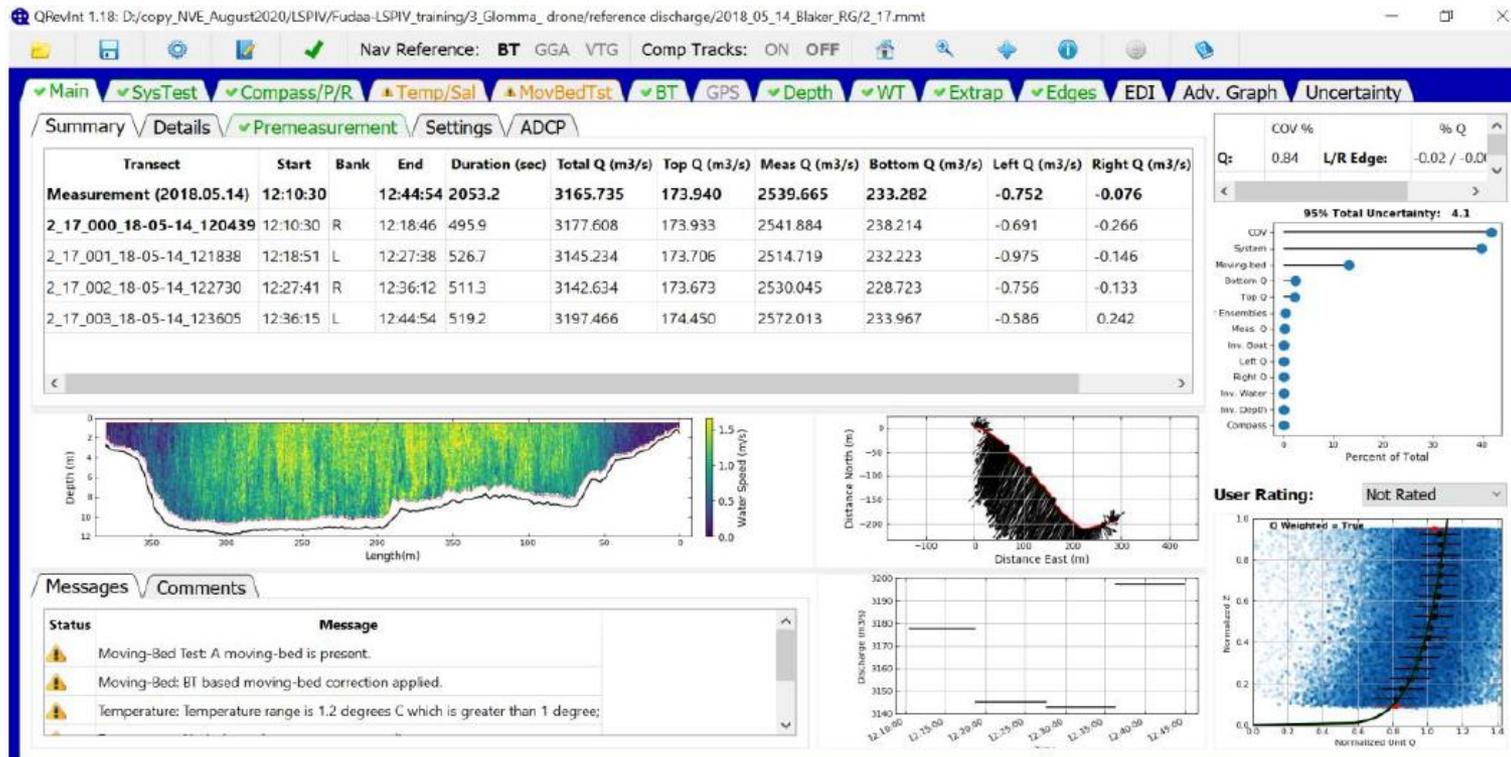
- Drone léger, visée verticale, stable, altitude ~150 m
- Traceurs naturels (écume)
- Relevés de 2 distances pour l'orthorectification



# Démo : deux cas typiques de jaugeages vidéo

## ■ Jaugeage de crue au drone, en Scandinavie

- Drone léger, visée verticale, stable, altitude ~150 m
- Traceurs naturels (écume)
- Relevés de 2 distances pour l'orthorectification
- Jaugeage ADCP : 3170 m<sup>3</sup>/s, transect bathy, exposant  $\frac{1}{m} = 0.14 \Rightarrow \alpha = 0.88$



# Suites et perspectives

## ■ Prochain lot Fudaa-LSPIV

- Faciliter le paramétrage (valeurs par défaut)
- Simplification de l'interface : pour le futur logiciel...

## ■ Vers un nouveau logiciel

- API Python et interface Python
- Interface plus simple à utiliser
- LSPIV et autres algorithmes (cf. Andromède, OFB/IMFT)
- Incertitudes?

## ■ Merci pour vos retours !

- Bugs, corrections
- Suggestions d'évolution
- Documentation
- Cas d'étude...