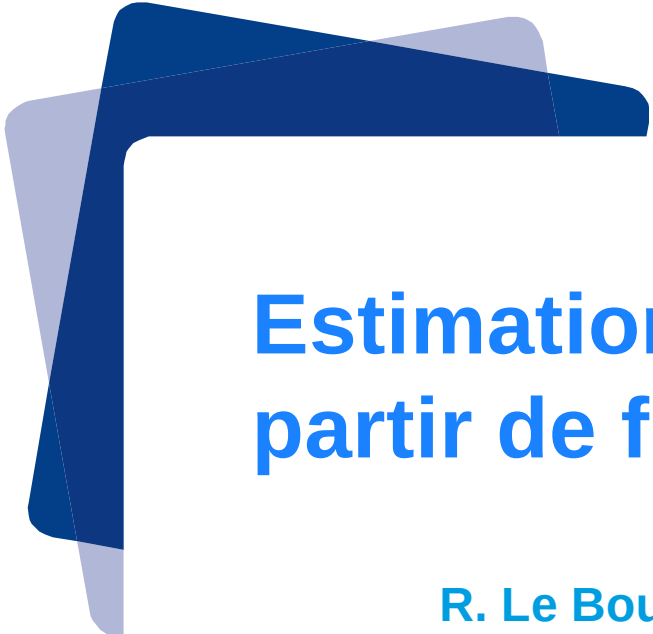




Estimation des débits de crue à partir de films de témoins

R. Le Boursicaud₁, L. Pénard₁, A. Hauet₂, J. Le Coz₁

3 – 4 février 2014, Toulouse

Journées Hydrométrie, SCHAPI

1. IRSTEA Lyon, UR Hydrologie-Hydraulique

2. EDF, DTG Grenoble



Introduction

Nous parlons ici d'évènements extrêmes



Crues dans le Var, 2010



Crues du gave de Pau, 2012, 2013

Crues de référence pour l'aménagement et la gestion des rivières,
pour améliorer la compréhension et l'anticipation de ces événements

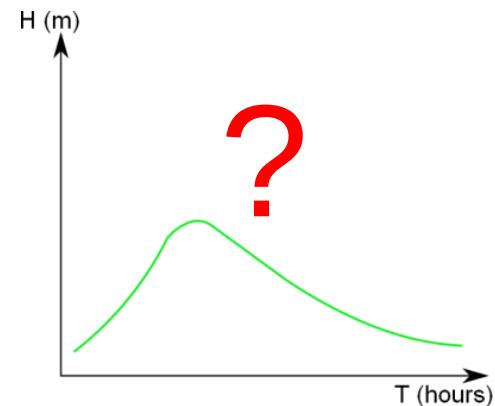
Introduction

L'estimation des débits lors de ces évènements pose problème

Jaugeages classiques trop dangereux,
trop longs à mettre en place



Mesures de hauteur d'eau souvent
discontinues ou très incertaines





Introduction

Les estimations de débit *a posteriori* reposent sur le croisement de plusieurs méthodes :

- Formules/modèles hydrauliques à partir des laisses de crue, photos, vidéos de témoin
→ hypothèses de calcul parfois difficiles à vérifier
- Bilans en volumes amont-aval, modèles pluie-débit
- Comparaison aux crues de référence précédentes
- Extrapolation des courbes de tarage bien au-delà des gammes jaugées
- ...

→ **Appel à de nouveaux outils de la part des experts**



Introduction



Et si on essayait d'appliquer les techniques de jaugeage par analyse d'image
aux films de crue amateurs ?



Introduction

Pourrait permettre de répondre à certaines questions classiques en REX :

- **Quelles étaient les vitesses d'écoulement, les débits ?**
→ vidéo vs. hypothèses sur les Froude, surélévation contre des obstacles,...
- **Les formules hydrauliques sont-elles applicables ?**
- **Le niveau d'eau indiqué par les laisses est-il représentatif ?**
→ mise en évidence d'influences, de présence d'embâcles, d'écoulements pulsés, écoulements complexes en milieu urbain, de régime torrentiel
- **Quelle est la dynamique de la crue à l'échelle de l'événement et du bassin versant ?**
→ possibilité de comparer les estimations en différents points du bassin.
A condition de pouvoir retrouver la date et l'heure de l'enregistrement (nécessité de contacter l'auteur)



Plan de la présentation

Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives



Plan de la présentation

Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

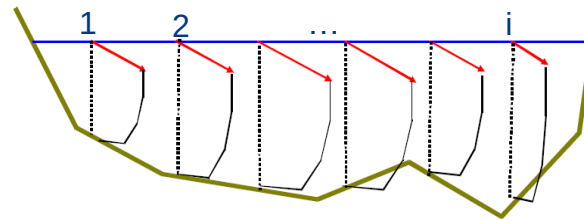
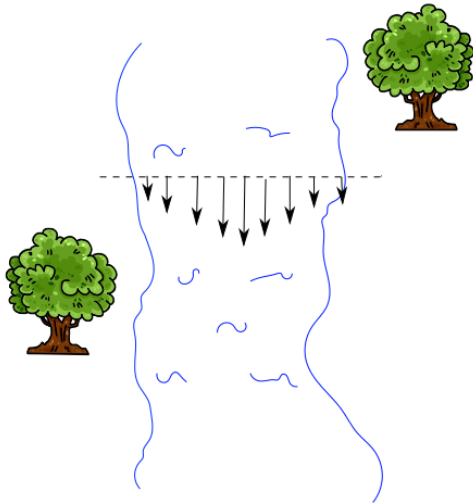
Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives

Principes de la LSPIV

Calcul du débit

La LSPIV repose sur la mesure de la vitesse de surface



$$V_m = \alpha \times V_s$$

V_s : vitesse de surface
 V_m : vitesse moyenne sur la verticale
 α : coefficient de vitesse

$$Q = \sum s_i \times Vm_i$$

- Nécessite une mesure de bathymétrie (avant et/ou après crue)
 → soumis aux modifications de section en cours de crue
- α est déterminé de manière empirique. Varie entre 0,8 et 0,9, par défaut à 0,85



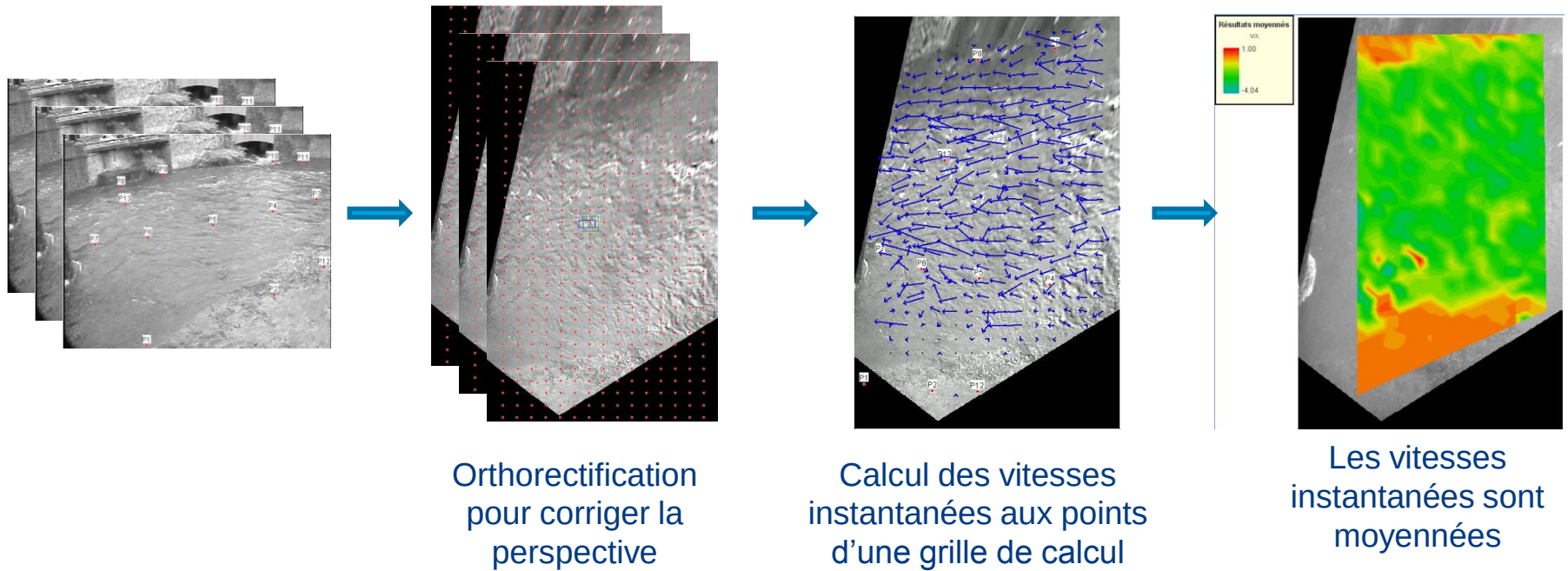
Principes de la LSPIV

Calcul des vitesses de surface

- La vitesse de surface est calculée à partir des motifs en surface de la rivière (feuilles mortes, écume, remous,...) dont on suppose que la vitesse de déplacement est égale à la vitesse de l'eau en surface
- La distance parcourue par ces motifs entre deux acquisitions d'image (à Δt connu) permet de déterminer leur vitesse de déplacement
- Calcul avec Fudaa-LSPIV, logiciel gratuit développé en collaboration IRSTEA-EDF

Principes de la LSPIV

Calcul des vitesses de surface





Plan de la présentation

Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives



Adaptation aux films amateurs

Conditions minimales

La LSPIV classique (telle que nous la pratiquons) nécessite :

1. Une série d'images **acquises d'un point de vue fixe**,
2. Coordonnées (x, y, **z**) de points visibles dans les images pour orthorectification,
3. Levé bathymétrique d'une section visible à l'image,
4. Un écoulement à surface libre **plane**. On fait l'hypothèse d'un écoulement en 2D (pas de vagues !)

Pour l'appliquer aux films amateurs, on se rapporte à la LSPIV classique
→ pré-traitement des images.

Tous les films ne sont pas éligibles !





Adaptation aux films amateurs

Conditions minimales

Le film doit réunir a minima les conditions suivantes :

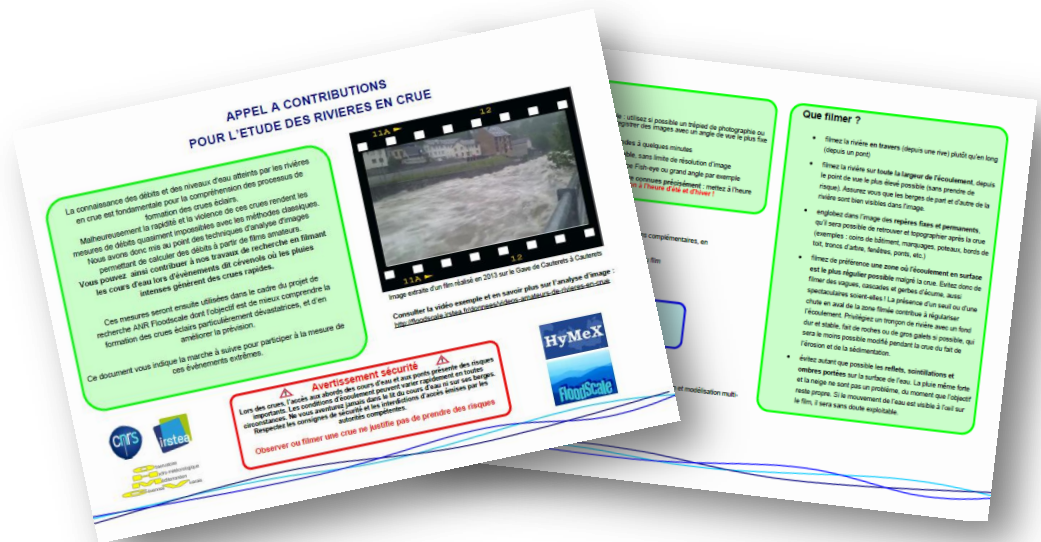
1. Avoir à l'image des points de repères fixes (signalisation, maisons, mobilier urbain) de part et d'autre du cours d'eau
→ **indispensables pour orthorectifier les images**
2. Avoir à l'image une section complète,
3. La séquence doit avoir été enregistrée d'un point de vue fixe : la caméra peut bouger mais le caméraman ne doit pas se déplacer pendant l'enregistrement,
4. L'écoulement est le plus régulier possible. Globalement on élimine tout ce qui est spectaculaire : très forts remous, écoulements sur obstacle,...
5. Etre enregistré d'un point plus élevé que la rivière, pas au ras de l'eau
6. Etre localisable

Adaptation aux films amateurs

Conditions minimales

Réalisation d'un guide
dans le cadre du projet FloodScale :

- Rappel des consignes de sécurité
- Conditions minimales d'éligibilité
- Création d'une adresse mail de contact
- Diffusion auprès des particuliers, des associations de kayak,...



Adaptation aux films amateurs

Prétraitement des images

1. Extraction des images : Logiciel AvConv (libre et gratuit)
2. Alignement des images, correction des distorsions : Hugin (libre et gratuit)



Capture d'écran de Hugin



Image moyenne avant alignement

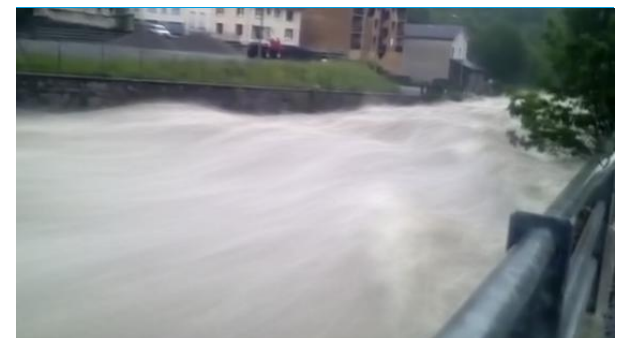


Image moyenne après alignement

Adaptation aux films amateurs

Mesures de terrain

Levés de section et des coordonnées des points de référence (GRP)



Levé des données de terrain pour le gage de Cauterets à Cauterets



Plan de la présentation

Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

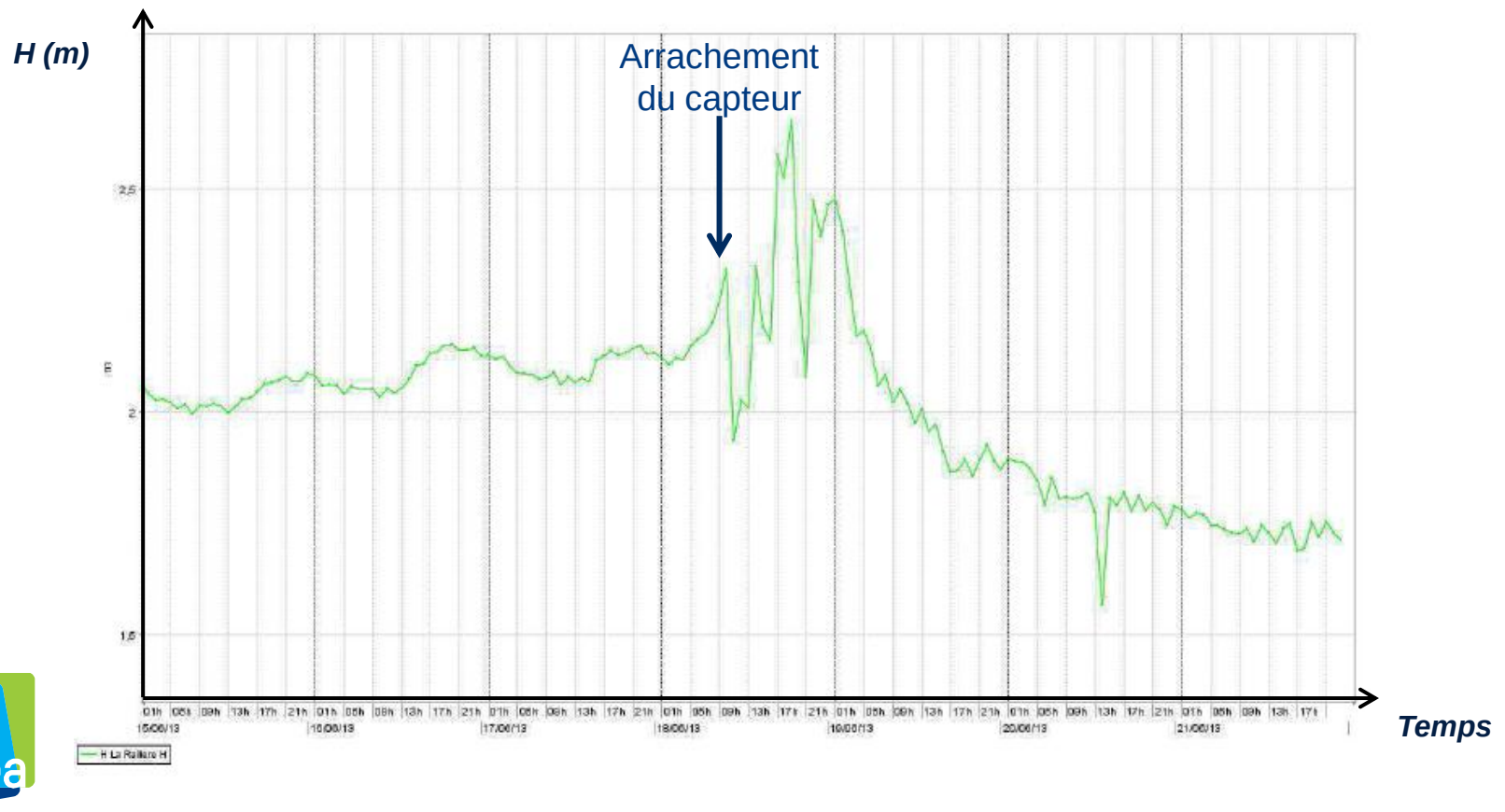
- Fortes pluies, ajoutées à la fonte des neiges tardive
→ crue du gave de Pau et de ses affluents
- Organisation d'un retour d'expérience du 22 au 26 juillet 2013



Application au gage de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

Limnigramme de la station EDF de La Raillère, en amont de Cauterets



Application au gave de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

- Vidéo originale :



Vidéo de Fabien Lamouroux, récupérée sur Youtube avec son accord

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

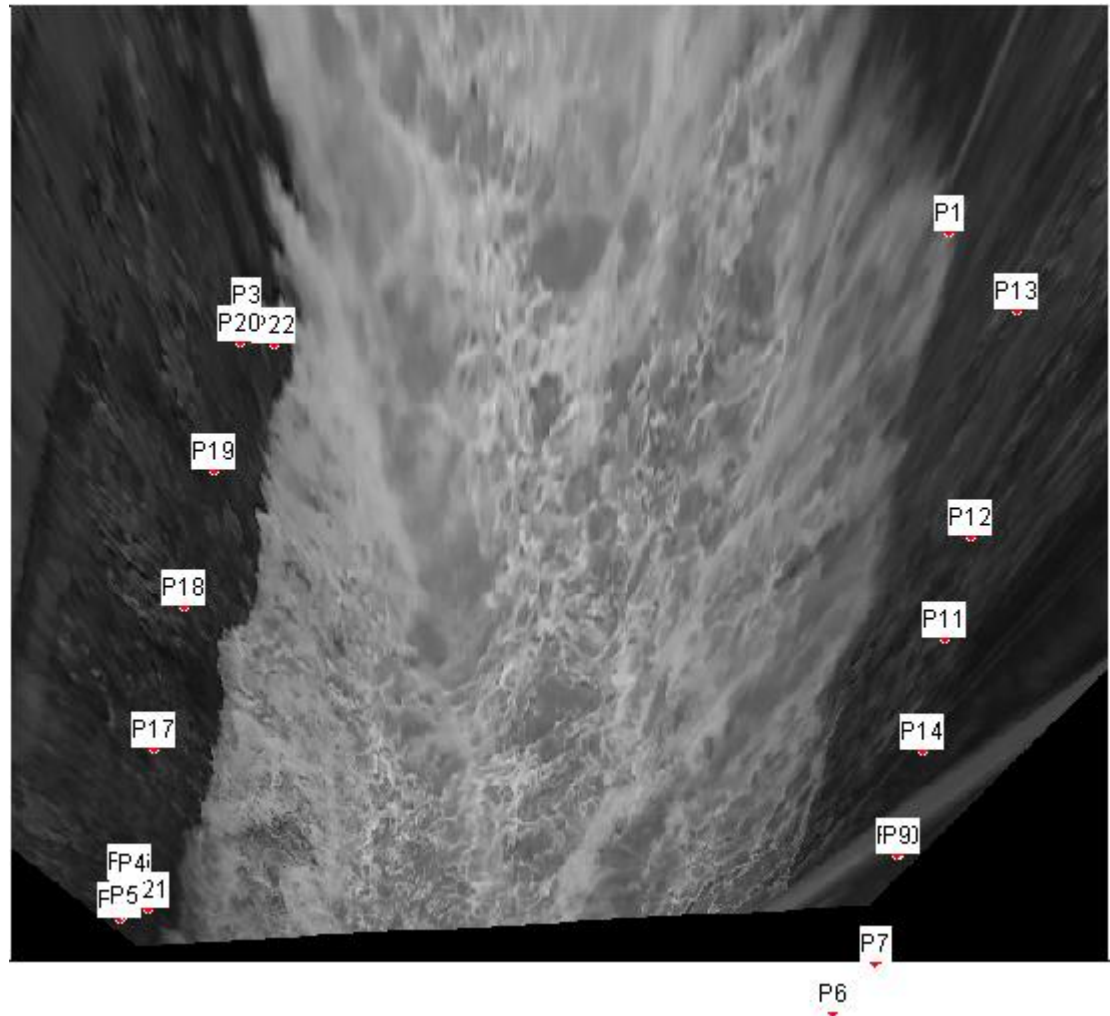
- Points de référence (GRP) levés



Application au gave de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

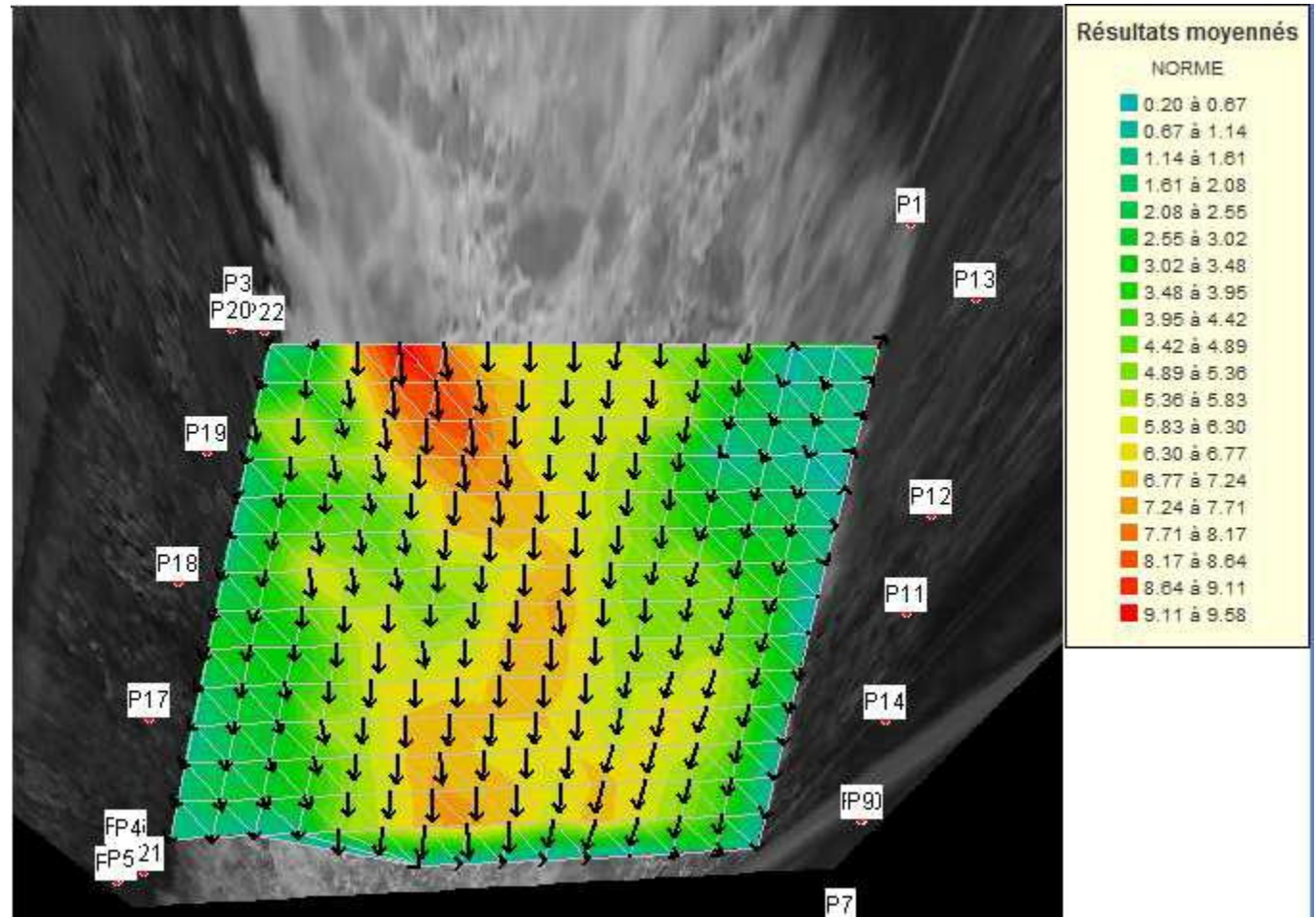
- Image orthorectifiée



Application au gage de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

- Champ de vitesse de surface





Application au gave de Cauterets à Cauterets

Crue du 18 juin 2013

Mesures répétées sur plusieurs séquences de la vidéo, à l'amont et à l'aval du pont :

Mesure	Débit calculé (m ³ /s)	Incertitude estimée (%)	Fourchette basse / haute (m ³ /s)
Amont	103	25	77 / 129
Aval 1	94	25	70 / 118
Aval 2	96	25	72 / 120

→ Bonne répétabilité de la mesure (10%)



Plan de la présentation

Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives

Tests de sensibilité

Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint –Julien-Mont-Denis (73)

Torrent de montagne, filmé par Alexandre Modesto :



- sans trépied → mouvements de caméra,
- avec un objectif fish-eye → distorsions

Tests de sensibilité

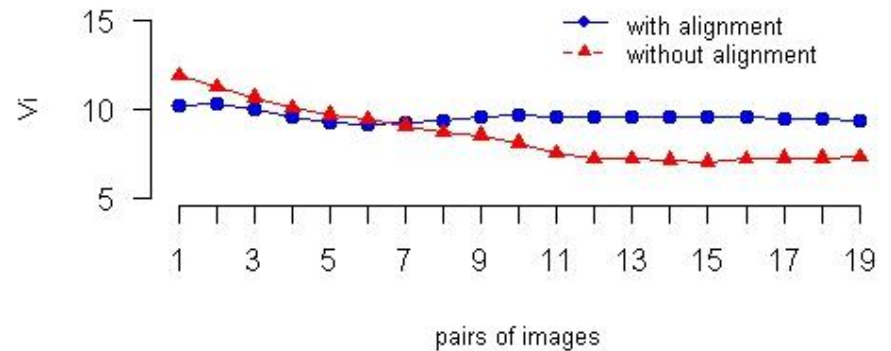
Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis (73)

Test sur alignement des images : dans le cas d'un mouvement fort

Image moyenne avant alignement



Image moyenne après alignement



- Ecart importants
- Vitesse très stable grâce à alignement

Tests de sensibilité

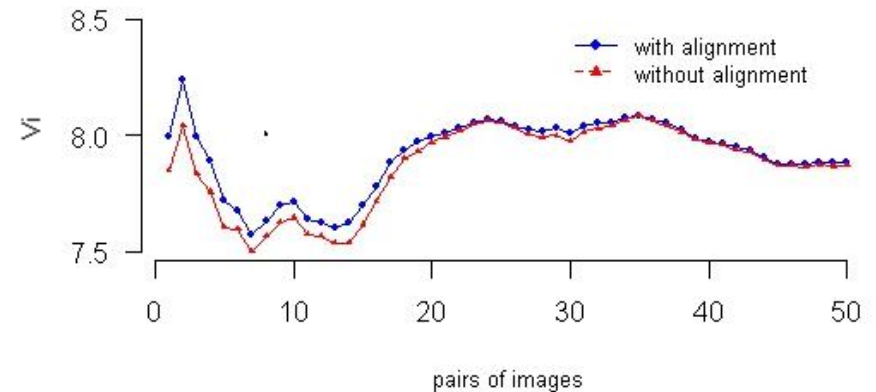
Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint-Julien-Mont-Denis (73)

Test sur alignement des images : cas d'un faible mouvement

Image moyenne avant alignement



Image moyenne après alignement

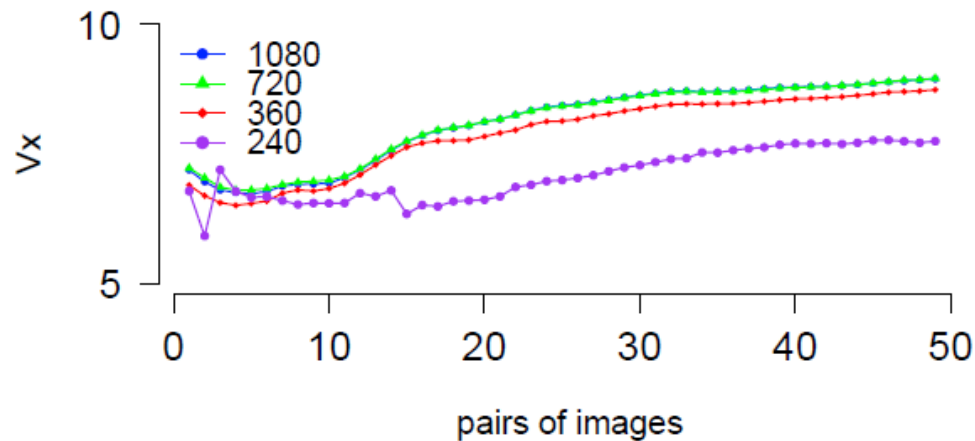


Ecarts peu importants,
en particulier à partir de 25 images (1 seconde)

Tests de sensibilité

Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint -Julien-Mont-Denis (73)

Tests de sensibilité à la **qualité de l'image** :
mesures sur la même séquence, aux
différentes qualités proposées par Youtube

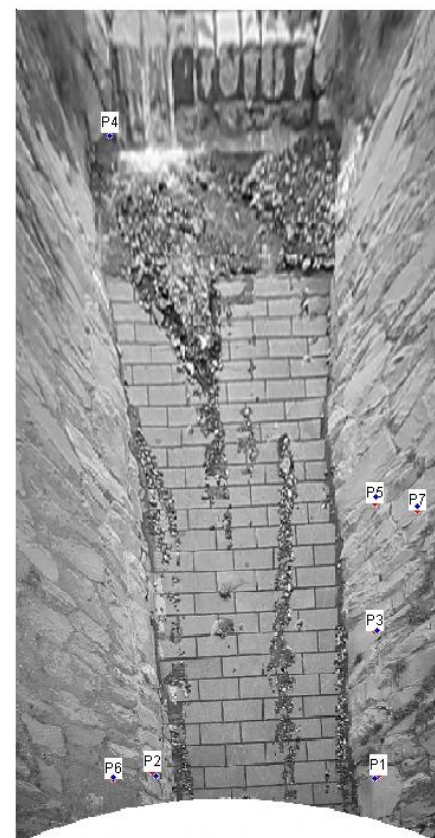
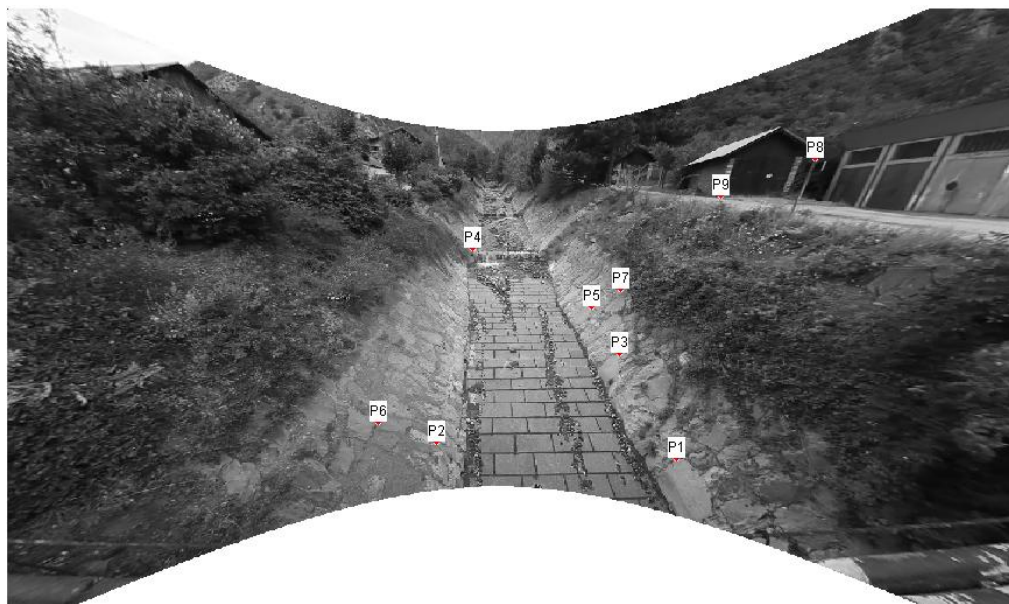


Dimensions	Q (m3/s)	V moy (m/s)	ΔQ (%)
1920 x 1080	21,13	5,82	-
1280 x 720	21,02	5,79	-0,5
640 x 360	20,84	5,74	-1,4
426 x 240	17,69	4,87	-16,3

Tests de sensibilité

Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint -Julien-Mont-Denis (73)

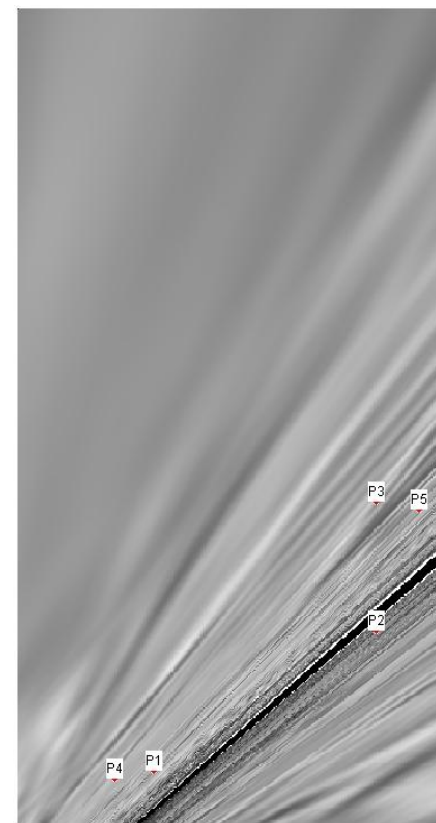
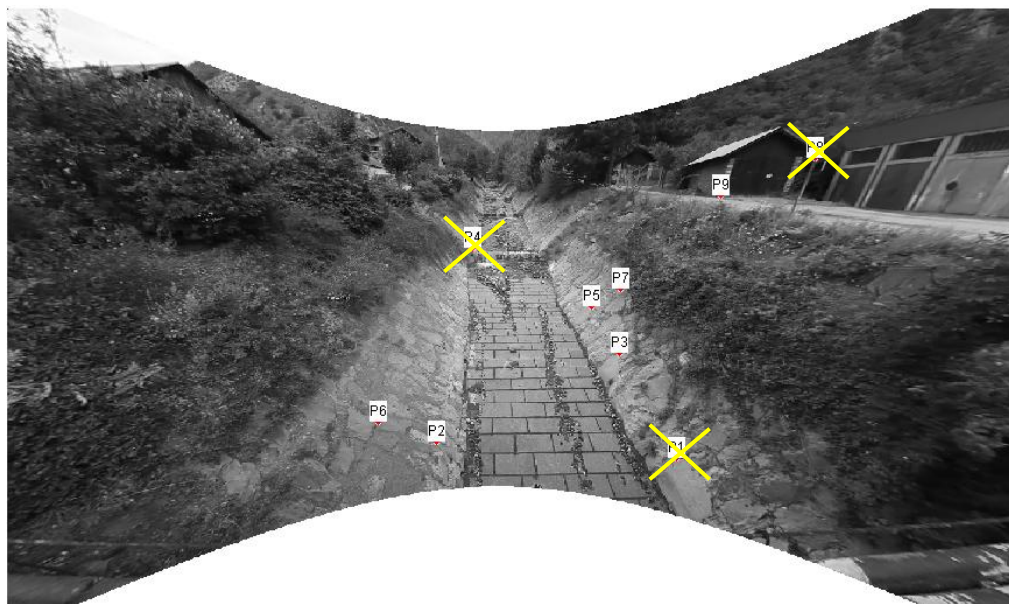
- Test sur l'orthorectification : points de référence bien répartis



Tests de sensibilité

Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint -Julien-Mont-Denis (73)

- Test sur l'orthorectification : points de référence mal répartis



Importance d'avoir des points de référence de part et d'autre du lit, bien répartis dans le plan d'orthorectification



Tests de sensibilité

Tests sur le torrent de Saint Julien à Saint -Julien-Mont-Denis (73)

- Estimation de la hauteur d'eau : positionnement relatif à l'aide d'éléments fixes dont on mesure les coordonnées
- Tests de sensibilité à **l'incertitude sur la hauteur d'eau** :

Cote (m)	Tirant d'eau (m)	Q (m ³ /s)	ΔQ (%)	ΔH (%)
294,70	0,75	26,17	+20	+25
294,65	0,70	24,72	+14	+17
294,55	0,60	21,77	-	-
294,45	0,50	18,54	-15	-17
294,40	0,45	16,77	-23	-25

Certainement le paramètre le plus sensible !



Tests de sensibilité

Bilan

- Sensibilité forte à l'incertitude sur la hauteur d'eau
- Sensibilité à la qualité de l'orthorectification

Obligation d'avoir des points de repères fixes à proximité et de chaque côté du cours d'eau

→ Adapté au milieu urbain, moins aux zones entièrement naturelles

- Méthode d'alignement efficace
- Calcul des vitesses de surface efficace même sur images de faible résolution

certitude sur les estimations de vitesse et de débit acceptables en contexte de REX



Plan de la présentation

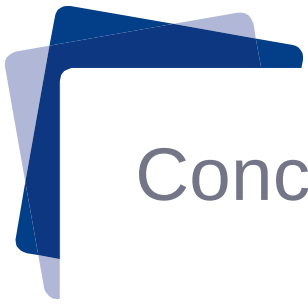
Principe de la LSPIV (Large Scale Particle Image Velocity)

Adaptation aux films amateurs

Application au gave de Cauterets à Cauterets

Tests de sensibilité

Conclusions et perspectives



Conclusions et perspectives

- Méthode bien adaptée à l'étude de crue éclair et à une utilisation en REX :
 - Quelques secondes de film suffisent (1 seconde en conditions optimales),
 - Jaugeage sans contact avec la rivière
 - Peu coûteux
 - Post-traitement et levés de terrain obligatoires
- Conditions d'éligibilité assez restrictives :
 - Peu adapté aux rivières hors milieu urbain
 - Rédaction d'un protocole dans le cadre d'une étude en Ardèche
 - Identification de « chasseurs de crues » ou d'observateurs
- Pour la suite :
 - Identifier les points sensibles et renforcer calcul des incertitudes
 - Publication dans Hydrological Processes
 - Thèse à venir pour développer une méthodologie automatique de traitement



Merci de votre attention.