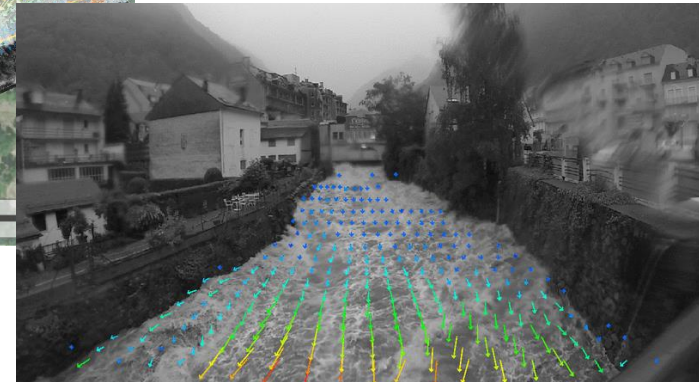
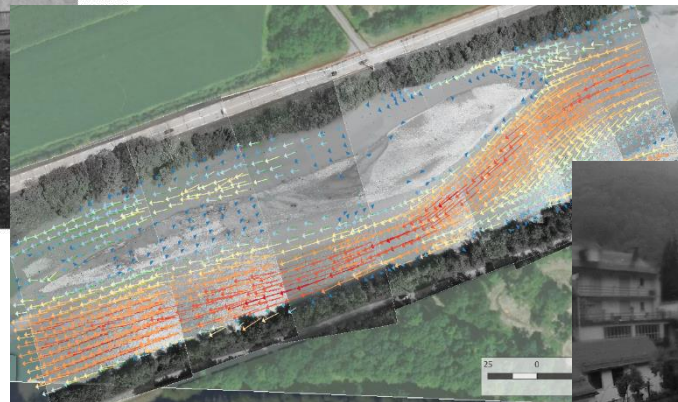


MESURES DE VITESSES ET DE DÉBIT D'ÉCOULEMENTS PAR ANALYSE D'IMAGES - MÉTHODE LSPIV

LOGICIEL FUDAA-LSPIV v1.9.2

Journées Utilisateurs 2022



DÉROULEMENT DES JOURNÉES UTILISATEURS

▪ Animateurs :

- Magali Jodeau, Guillaume Bodart : EDF R&D LNHE, Chatou
- Alexandre Hauet : EDF DTG, Grenoble
- Jérôme Le Coz, Théophile Terraz, Lionel Pénard, Guillaume Bodart : INRAE, Lyon

▪ Planning et logistique :

- Mercredi 22/06
 - 13h00-13h30 : Accueil et tour de table rapide en salle
 - 13h30-14h00 : Présentation du déroulé des journées
 - 14h00-17h30 : Présentation du logiciel Fudaa-LSPIV et travaux pratiques guidés en commun
- Jeudi 23/06
 - 09h00 – 12h00 : 2 travaux pratiques imposés : vidéo depuis une berge, et vidéo depuis un drone
 - 13h30 – 17h00 : Travaux pratiques libres, à choisir dans un jeu de vidéos proposées
 - 15h00 : Interlude & Petit jeu « y'a la bonne et la mauvaise vidéo LSPIV »
- Vendredi 24/06
 - 09h00 – 10h00 : Présentation des travaux en cours sur la méthode LSPIV, le logiciel Fudaa-LSPIV et l'appli Smartphone FlowPic
 - 10h00 – 11h30 : discussion sur vos besoins d'amélioration sur le logiciels, vos bonnes idées, vos critiques (constructives !!)
 - 11h30 – 12h00 : cérémonie de clôture du stage et défilé des délégations

JOURNÉES UTILISATEURS À DISTANCE



Quelques conseils

- Couper les micros par défaut

(Nous pouvons désactiver les micros parasites)

- Utiliser la main levée pour prendre la parole
- Utiliser le tchat pour les questions, problèmes de fonctionnement



OBJECTIF DE LA FORMATION

- **Se former et en apprendre plus sur la LSPIV et Fudaa-LSPIV**
- **Échanger sur la méthode et le logiciel, entre débutant, confirmés et experts**
- **Prendre vos bonnes idées pour améliorer le logiciel !!**

OBJECTIF DE LA FORMATION

- Se former et en apprendre plus sur la LSPIV et Fudaa-LSPIV
- Échanger sur la méthode et le logiciel, entre débutant, confirmés et experts
- Prendre vos bonnes idées pour améliorer le logiciel !!
- Faire de vous des Walker Texas Jaugeurs Imageurs !!!

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

LSPIV : KÉSAKO ?

■ LSPIV : Large Scale Particle Image Velocimetry

- Une méthode **non intrusive** pour mesurer des **vitesses de surface**
- A partir **d'images de l'écoulement**

■ Concept en 4 points :

1. Enregistrer **des images** horodatées de la surface d'un écoulement
 - Film ou Rafale d'images
 - Stabilisation si nécessaire
2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : **Orthorectification**
3. Suivre le **déplacement** de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Méthode statistique
 - Si il n'y a pas de traceurs visibles, ça ne marchera pas
 - Si on ne voit pas l'écoulement sur les images, ça ne marchera pas
 - Permet de calculer les vitesses d'écoulement (2D) en surface ⇒ **Courantométrie**
4. Cadeau Bonus : Calcul du débit ⇒ **Débitmétrie**
 - Si on connaît des bathymétries de transects dans la zone imagée
 - Si on peut faire le lien entre la vitesse de surface (LSPIV) et la vitesse moyennée sur la profondeur

TP : CANAL DE PONT DE CLAIX

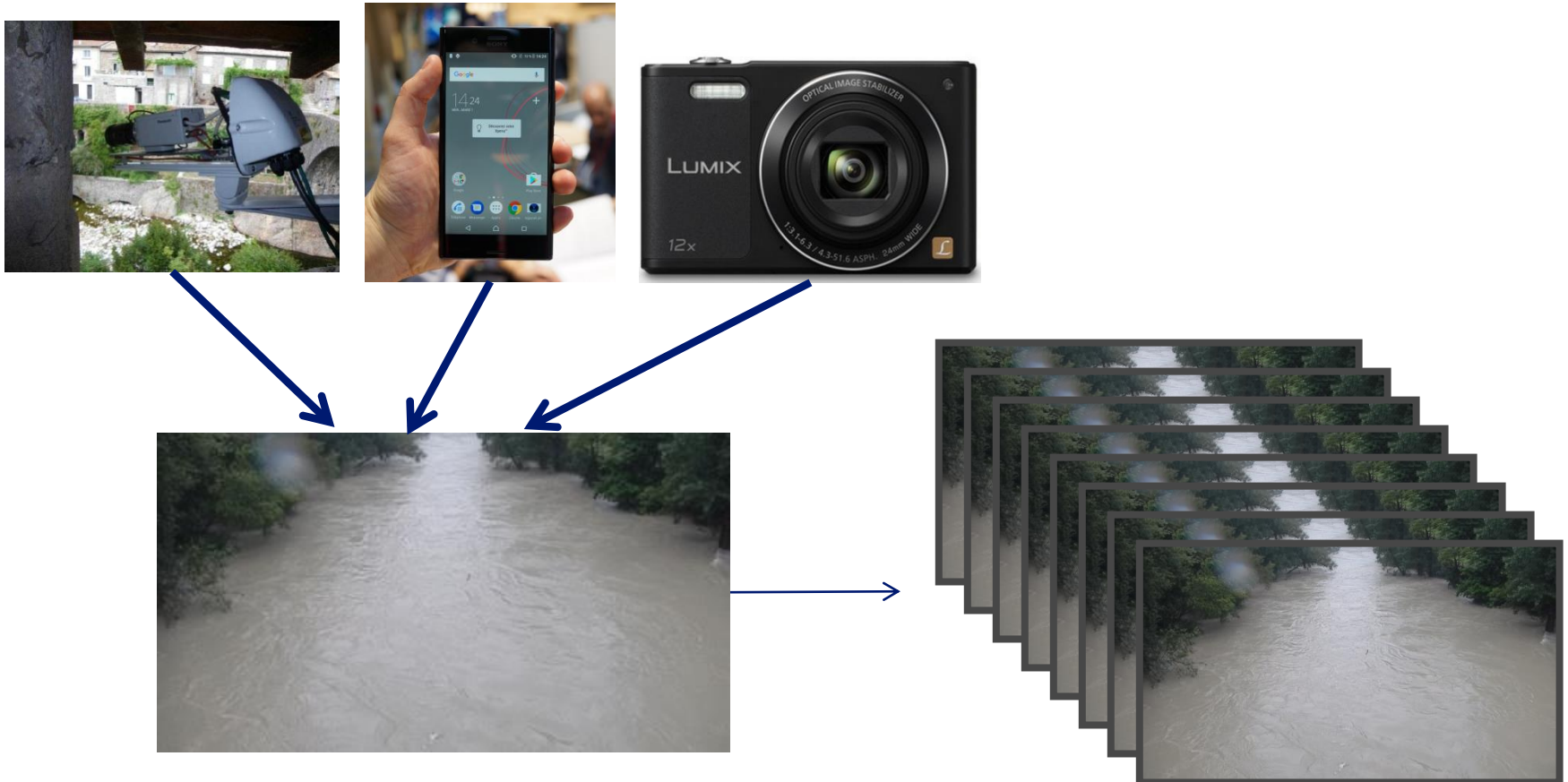
- Canal d'amenée à l'usine de Pont de Claix

- Quelles sont les vitesses de surface de l'écoulement dans le canal pour P_{max} turbinés?



LSPIV : LES IMAGES

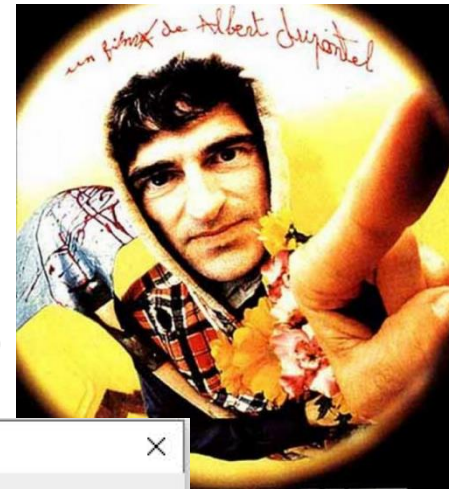
1. Enregistrer des images horodatées de la surface d'un écoulement
 - Film ou rafale d'images
 - Sans bouger, sinon, il faut stabiliser les images (inclus dans Fudaa-LSPIV depuis la v1.7.0)



LSPIV : LES IMAGES

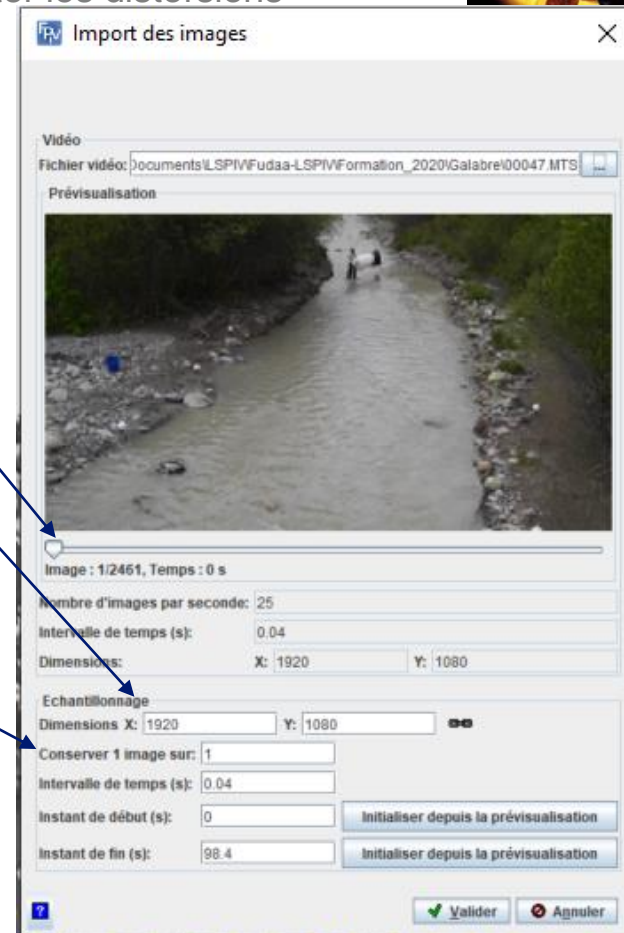
■ Prise d'images :

- Préférer HD (a minima VGA)
- Fréquence la plus élevée possible (a minima 30 fps)
- Au moins 10s
- Objectif sans déformations de lentille (éviter les grands angles et effets fisheye)
- Avec un angle incident le plus fort possible pour éviter les distorsions



■ De la vidéo à la rafale :

- Sélection de la période d'intérêt de la vidéo
- Redimensionnement des images extraites
- Sous échantillonnage :
 - Garder 1 images sur XXX

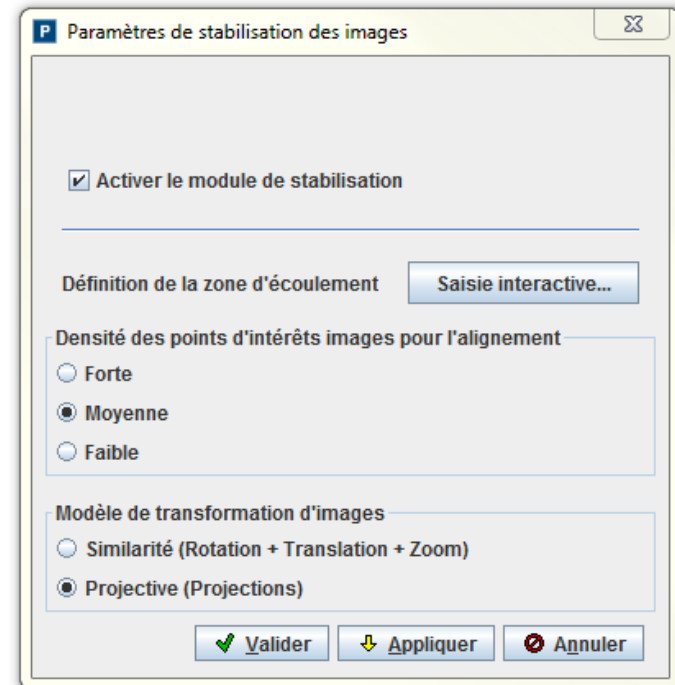


LSPIV : LES IMAGES

- Stabilisation :
 - Pour les vidéo enregistrées sans trépied, mouvements type « tremblement »
 - Correction dans Fudaa-LSPIV → Nouveau module à partir de la v1.7.0
- Pourquoi intégrer un module dans Fudaa-LSPIV ?
 - Problème des images d'écoulement : une grande partie de l'image n'est pas un objet fixe !
 - Contrainte utilisateur : proposer un paramétrage simplifié pour l'outil



Mouvements lors de l'acquisition

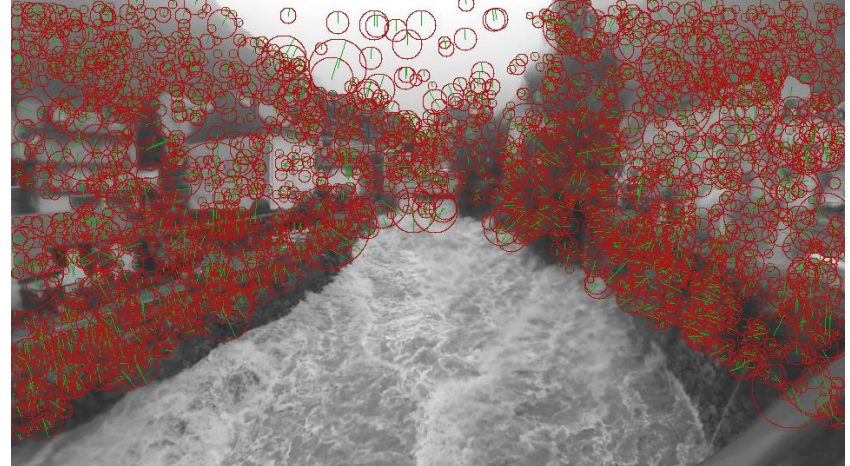


Paramétrage de l'outil

LSPIV : LES IMAGES

- Adaptation d'un algorithme classique de stabilisation : SURF (Speeded Up Robust Features)
 - Extrait des points remarquables dans l'image
 - Associe à chaque point un descripteur
 - Retrouve chaque point dans l'image suivante grâce à son descripteur
 - Détermine et applique la transformation géométrique permettant de recalibrer l'image

Extraction hors zone écoulement (définie par l'utilisateur)

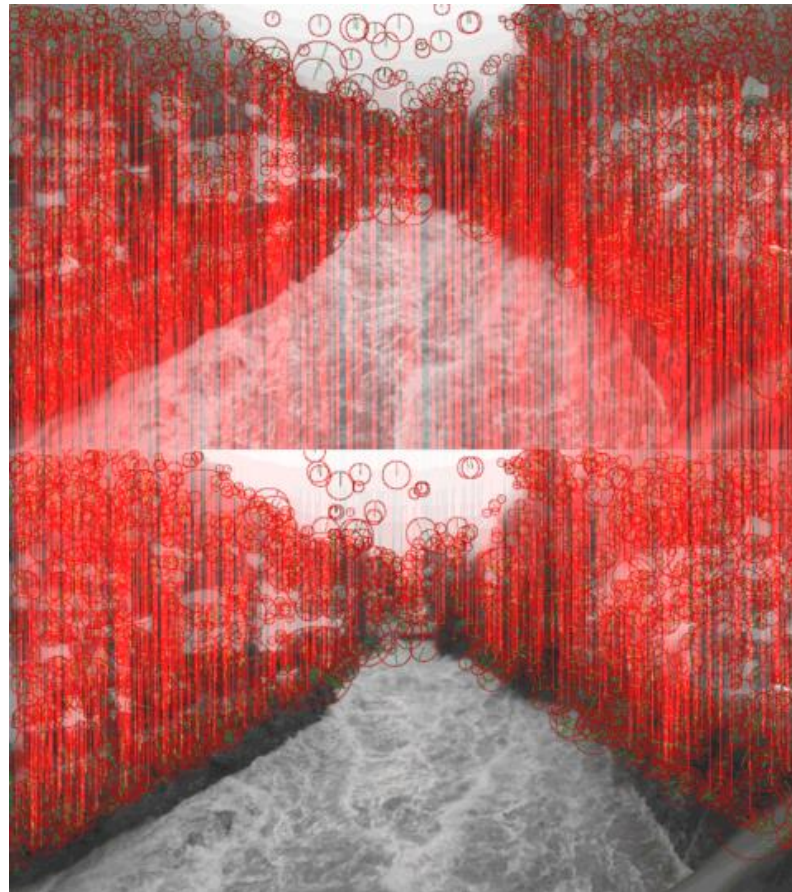


Quantité de point définie par l'utilisateur

LSPIV : LES IMAGES

- Adaptation d'un algorithme classique de stabilisation : SURF (Speeded Up Robust Features)
 - Extrait des points remarquables dans l'image
 - Associe à chaque point un descripteur
 - Retrouve chaque point dans l'image suivante grâce à son descripteur
 - Détermine et applique la transformation géométrique permettant de recalibrer l'image

Points appariés entre l'image N et l'image 1



LSPIV : LES IMAGES

- Adaptation d'un algorithme classique de stabilisation : SURF (Speeded Up Robust Features)
 - Extrait des points remarquables dans l'image
 - Associe à chaque point un descripteur
 - Retrouve chaque point dans l'image suivante grâce à son descripteur
 - Détermine et applique la transformation géométrique permettant de recaler l'image

Application de la transformation géométrique pour recaler chaque image



Avant



Après

LSPIV : LES IMAGES

▪ Recommandations :

- Format HD de préférence (minimum VGA)
- Fréquence d'acquisition classique (30 fps est largement suffisant pour la plupart des applications rivières)
- → il suffit d'utiliser le mode par défaut de sa caméra ou de son téléphone

- Au moins 10s de vidéo
 - Pour avoir assez d'images pour moyenner et réduire les incertitudes aléatoires LSPIV
 - Pour moyenner les vitesses turbulentes et calculer une vitesse moyenne débitante
 - Et tant qu'à y être, faire plusieurs vidéos avec différents points de vue

- Éviter des distorsions de lentille (grand angle ou effet fish-eye)
 - Et centrer la zone d'intérêt au milieu de l'image

- Préférez un angle d'incidence important pour réduire les distorsions de perspective
 - Camera aussi haute que possible → depuis un pont, une berge haute, un bâtiment proche, utilisation de perches...

- Caméra la plus stable possible
 - Utilisation d'un trépied
 - Fixer la caméra sur rambarde de pont



LSPIV : LES IMAGES

▪ Recommandations :

- Zone d'intérêt au centre de l'image
 - Pour maximiser la résolution sur la zone d'intérêt
 - Attention à ne pas avoir trop de zone inutile sur l'image
 - Même si c'est joli, les montagnes...



LSPIV : LES IMAGES

▪ Recommandations :

- Zone d'intérêt au centre de l'image
 - Pour maximiser la résolution sur la zone d'intérêt
 - Attention à ne pas avoir trop de zone inutile sur l'image
 - Même si c'est joli, les montagnes...



LSPIV : LES IMAGES

■ Recommandations :

- Zone d'intérêt au centre de l'image
 - Pour maximiser la résolution sur la zone d'intérêt
 - Attention à ne pas avoir trop de zone inutile sur l'image
 - Même si c'est joli, les montagnes...

- Mais attention à bien voir les deux berges et des points de repère !
 - Si on ne voit pas de points de repère, on ne pourra pas orthorectifier les images
 - Pour le calcul du débit, il faut voir l'intégralité d'une section en tracers de la rivière



Démo Logiciel !

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image : coordonnées i et j (pixels), dans le repère image



Point	i (pix)	j (pix)
1	157	197
2	153	210
3	155	160
4	80	159
5	104	250
6	29	385
...

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

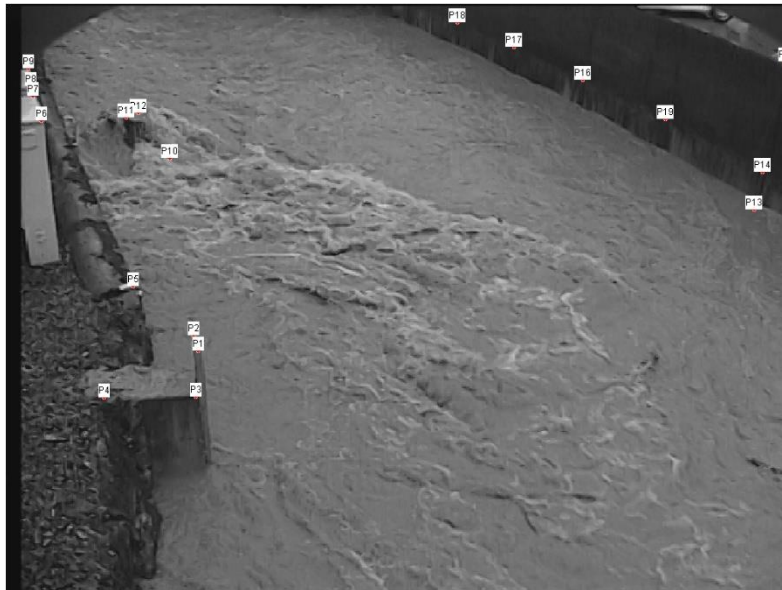
2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image : **coordonnées i et j (pixels), dans le repère image**
 - Relevé topographique de ces points : **coordonnées X,Y,Z (m), dans le repère monde**



Point	i (pix)	j (pix)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	157	197	6.9	-1.14	2.95
2	153	210	6.74	-1.09	2.95
3	155	160	6.96	-1.2	2.61
4	80	159	6.82	-1.7	2.62
5	104	250	5.49	-1.32	2.73
6	29	385	4.49	-1.84	3.94
...

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

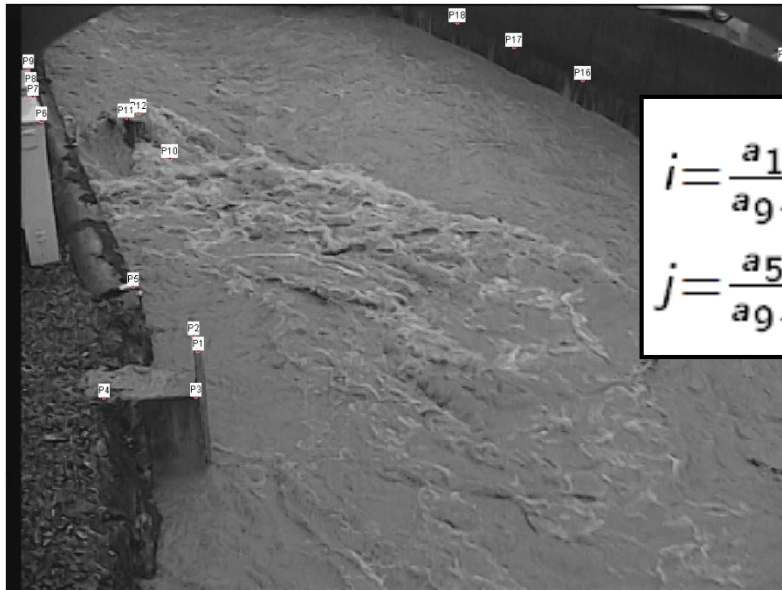
2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image : coordonnées i et j (pixels), dans le repère image
 - Relevé topographique de ces points : coordonnées X, Y, Z (m), dans le repère monde
 - Lien entre le repère image et le repère monde \Rightarrow Équations photogrammétriques : $i, j = f(X, Y, Z)$



Point	i (pix)	j (pix)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	157	197	6.9	-1.14	2.95
2	153	210	6.74	-1.09	2.95
3	155	160	6.96	-1.2	2.61
4	80	159	6.82	-1.7	2.62
5	104	250	5.49	-1.32	2.73
6	29	385	4.49	-1.84	3.94
...

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image : coordonnées i et j (pixels), dans le repère image
 - Relevé topographique de ces points : coordonnées X, Y, Z (m), dans le repère monde
 - Lien entre le repère image et le repère monde \Rightarrow Équations photogrammétriques : $i, j = f(X, Y, Z)$
 - Modèle de caméra sténopé à 11 paramètres
 - Calage des paramètres sur les points de repère (au moins 6)
- \Rightarrow Pour tout pixel (i, j) au niveau de la surface libre, on peut trouver sa position (X, Y)
- Avec une hypothèse de planéité de la surface libre



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

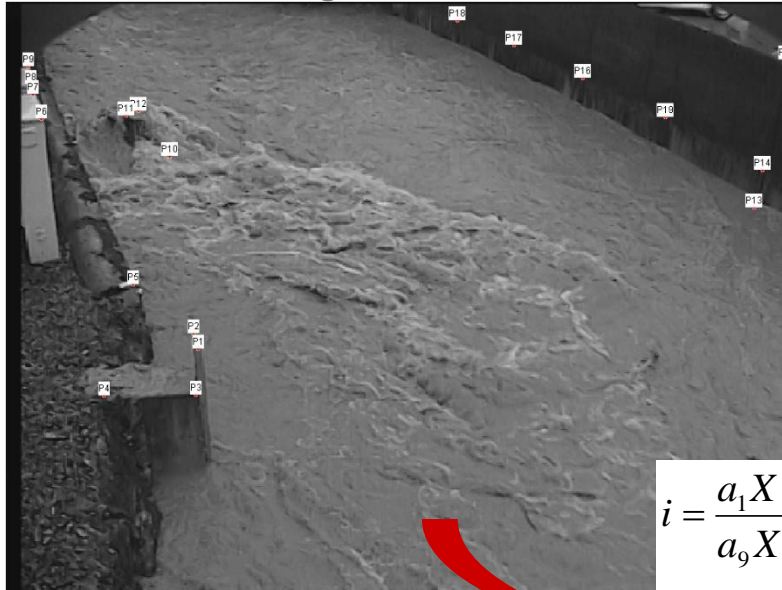
$$j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$

Point	i (pix)	j (pix)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	157	197	6.9	-1.14	2.95
2	157	210	6.74	-1.09	2.95
3	160	160	6.96	-1.2	2.61
4	159	159	6.82	-1.7	2.62
5	104	250	5.49	-1.32	2.73
6	29	385	4.49	-1.84	3.94
...

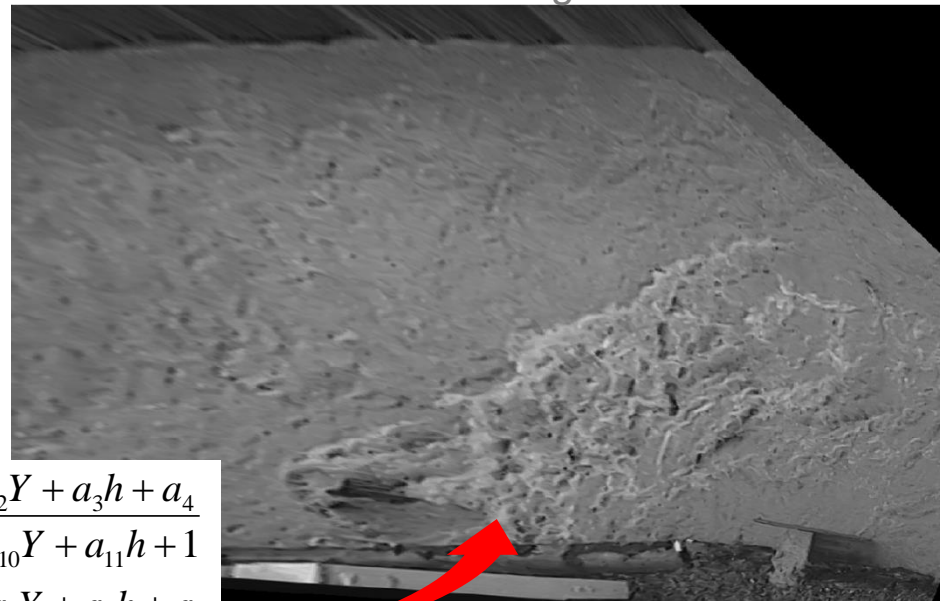
LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Points de repère visibles dans l'image : coordonnées i et j (pixels), dans le repère image
 - Relevé topographique de ces points : coordonnées X, Y, Z (m), dans le repère monde
 - Lien entre le repère image et le repère monde \Rightarrow Équations photogrammétriques : $i, j = f(X, Y, Z)$
 - Modèle de caméra sténopé à 11 paramètres
 - Calage des paramètres sur les points de repère (au moins 6)
 - \Rightarrow Pour tout pixel (i, j) au niveau de la surface libre, on peut trouver sa position (X, Y)
 - Avec une hypothèse de planéité de la surface libre
 - Création des orthoimages :
 - Correction de la perspective et mise à l'échelle (m/pixel)

Image brute



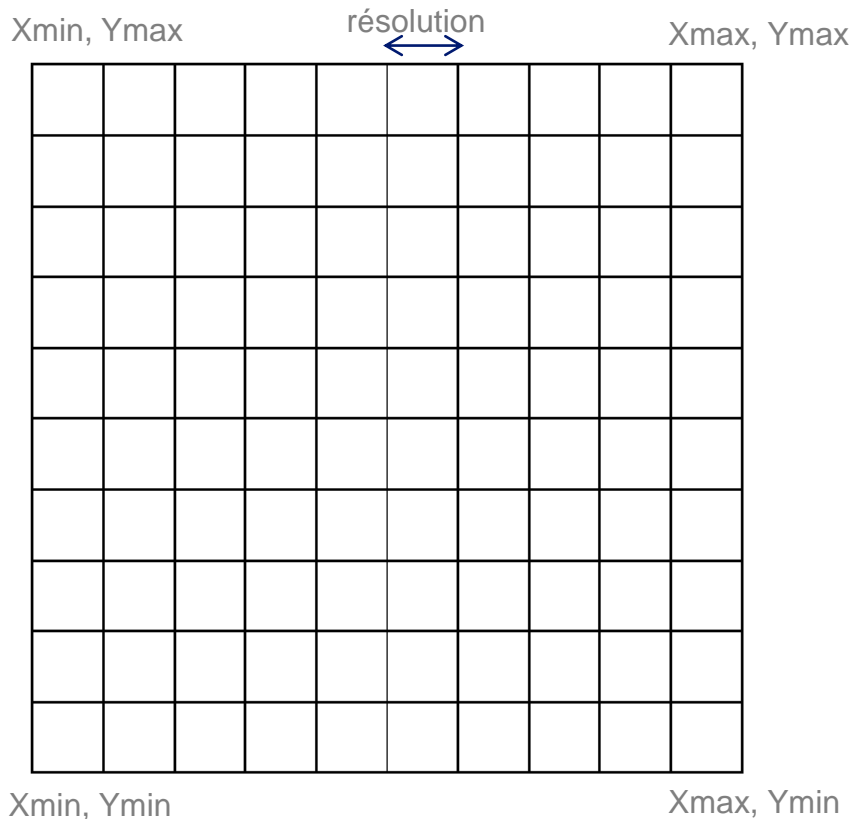
Orthoimage



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

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

- Comment les orthoimages sont elles construites ?
 - Création d'une grille régulière dans le « repère monde (en m) » suivant les paramètres utilisateur

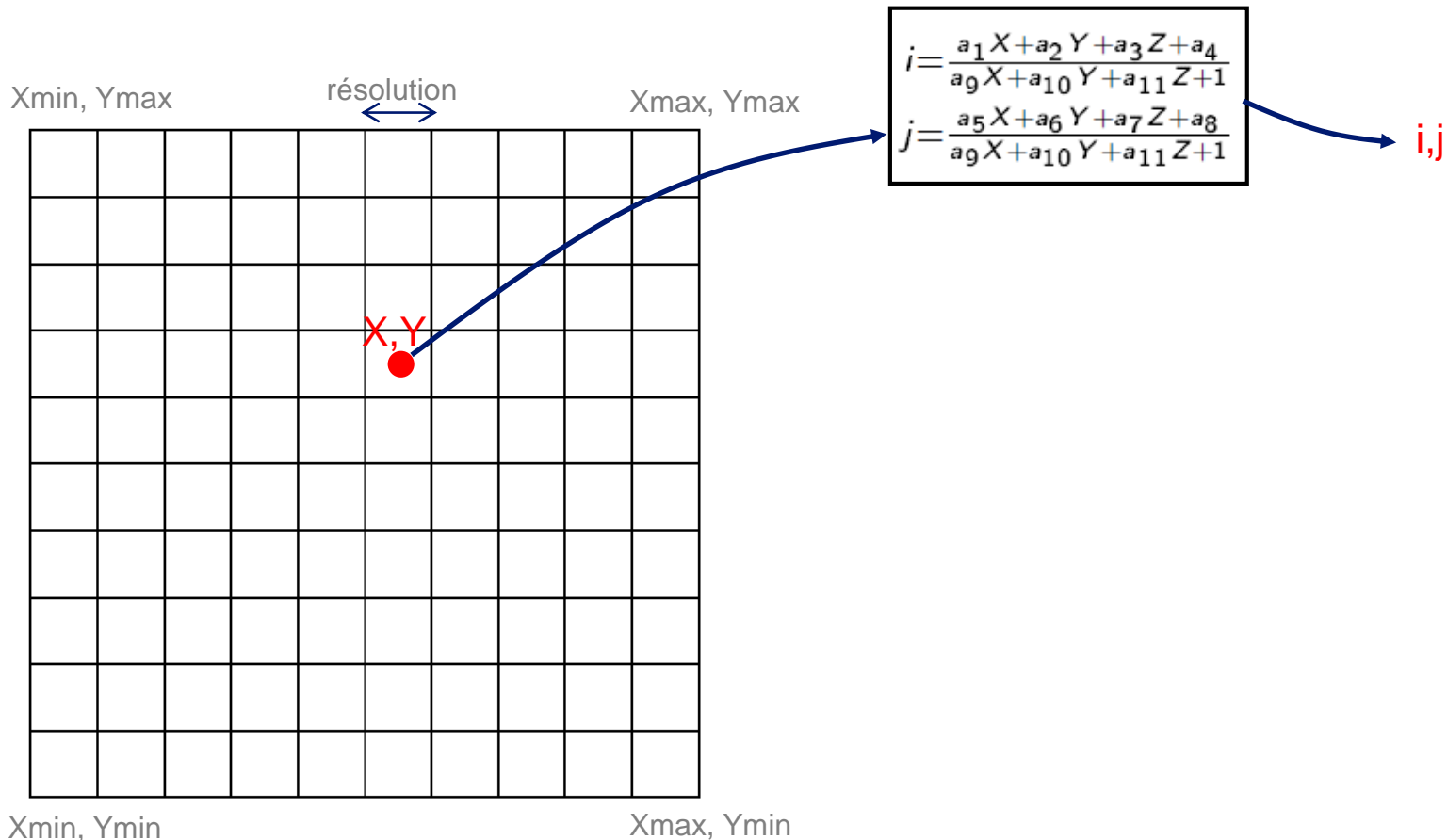


LSPIV : ORTHORECTIFICATION

- Comment les orthoimages sont elles construites ?

- Création d'une grille régulière dans le « repère monde » suivant les paramètres utilisateur

- Calcul des coordonnées i,j de chaque centre de maille $i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$ $j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$



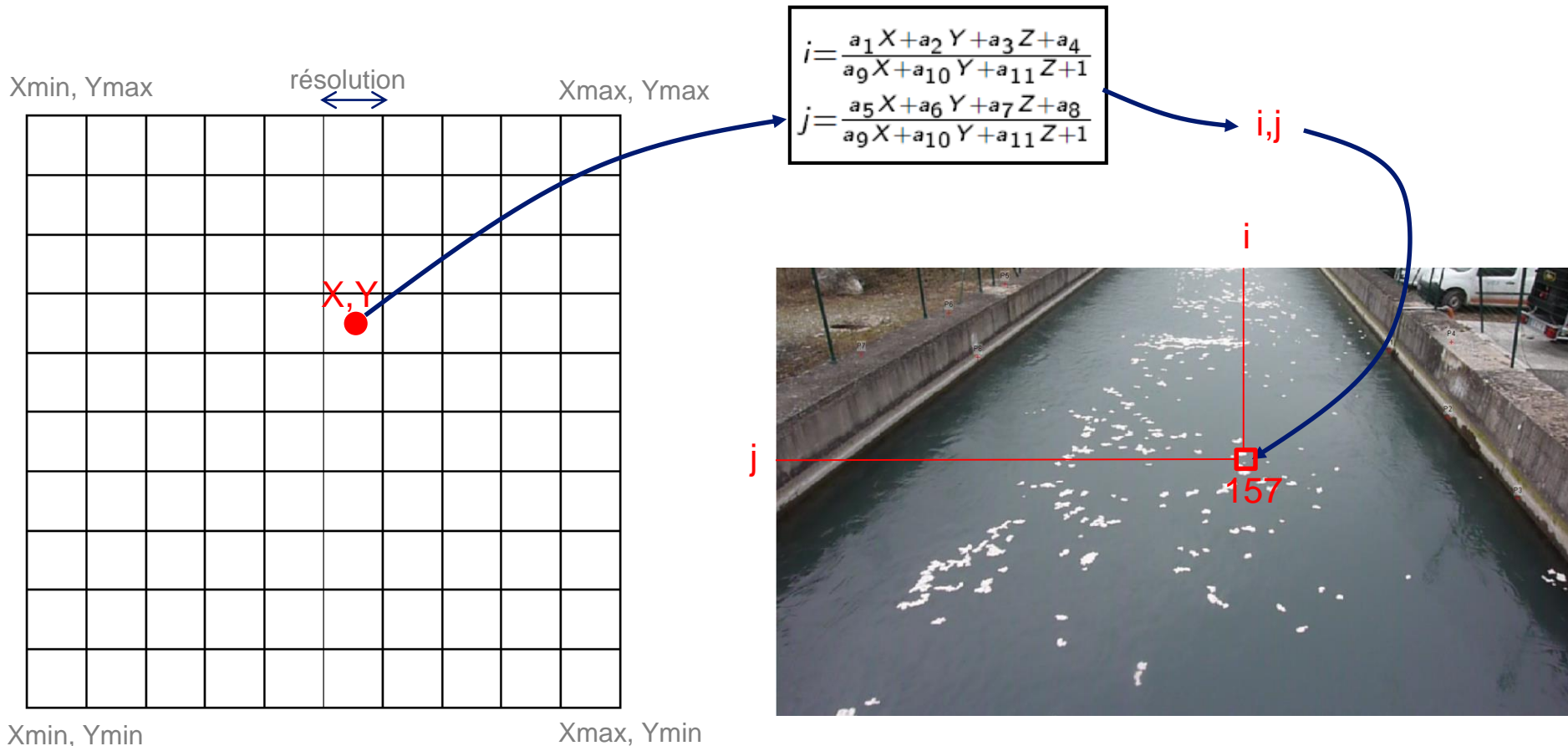
LSPIV : ORTHORECTIFICATION

- Comment les orthoimages sont elles construites ?

- Création d'une grille régulière dans le « repère monde » suivant les paramètres utilisateur

- Calcul des coordonnées i,j de chaque centre de maille $i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$ $j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$

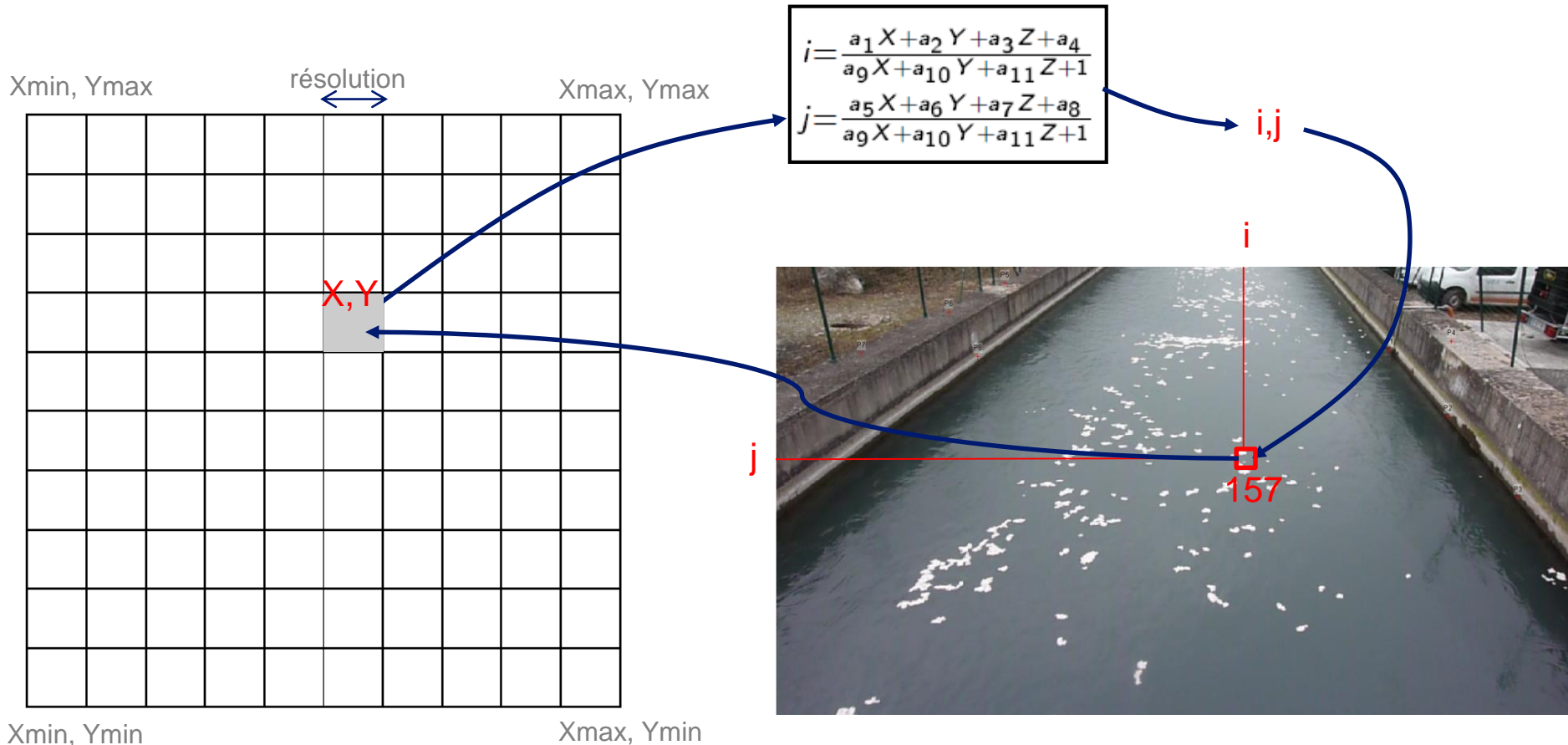
- Récupération de l'intensité du pixel i,j (nuance de gris 256 niveaux) dans l'image brute



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

▪ Comment les orthoimages sont elles construites ?

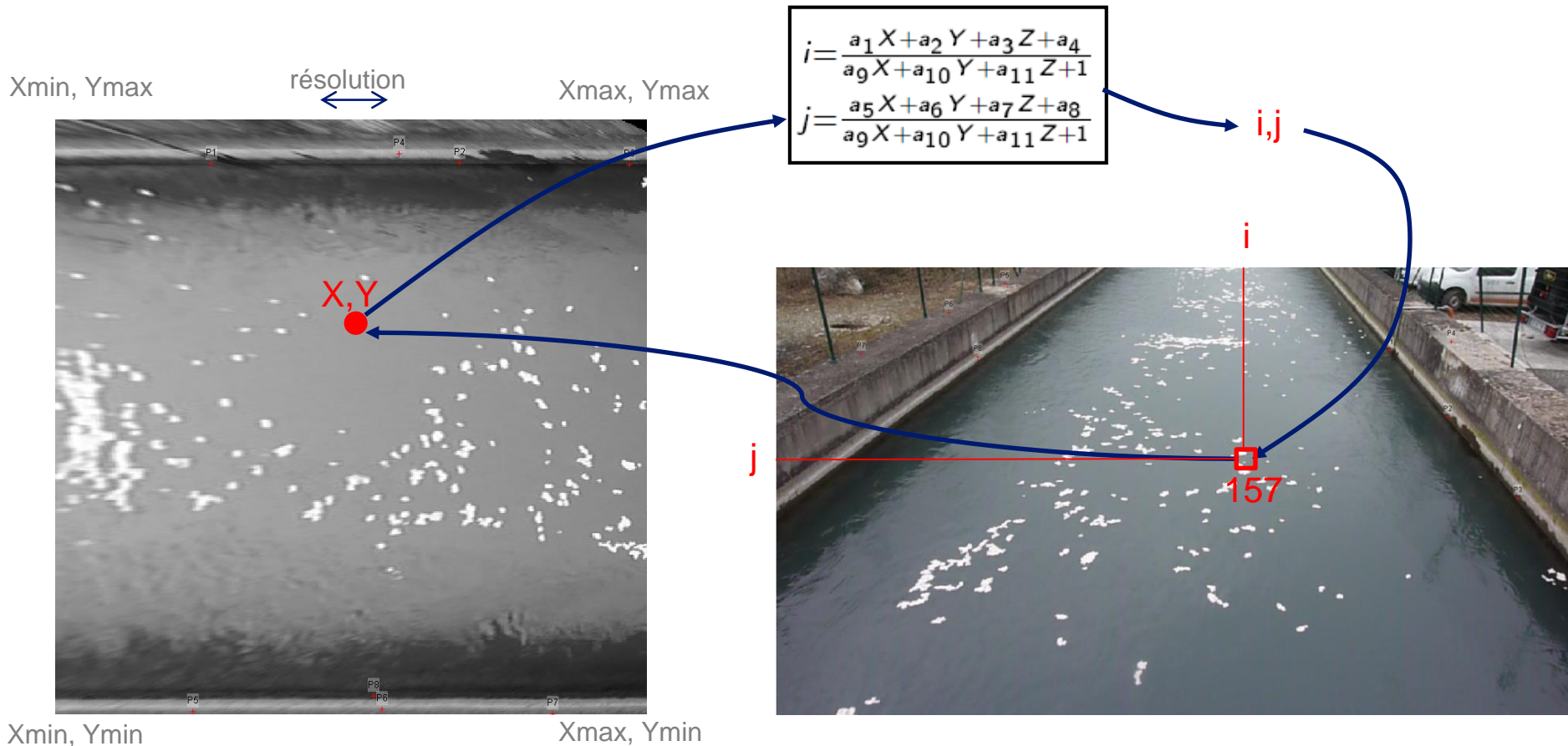
- Création d'une grille régulière dans le « repère monde » suivant les paramètres utilisateur
- Calcul des coordonnées i, j de chaque centre de maille $i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$ $j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$
- Récupération de l'intensité du pixel i, j (nuance de gris 256 niveaux) dans l'image brute
- Affectation de cette valeur d'intensité à la maille considérée



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

■ Comment les orthoimages sont elles construites ?

- Création d'une grille régulière dans le « repère monde » suivant les paramètres utilisateur
- Calcul des coordonnées i, j de chaque centre de maille $i = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$ $j = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$
- Récupération de l'intensité du pixel i, j (nuance de gris 256 niveaux) dans l'image brute
- Affectation de cette valeur d'intensité à la maille considérée



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

Assurer une bonne orthorectification

- Vérifier la qualité des points de repère
 - On cale les paramètres a_i des équations photogrammétriques
 - Pour les points de repère GRP, on recalcule X, Y à partir des i, j en utilisant
 - On compare les X, Y calculés aux X, Y mesurés des GRPs
 - Si les écarts sont importants, on s'inquiète !
 - → enlever des points au besoin

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



Verification of the reference points

#	Real X	Real Y	Recalculated...	Recalculated...	Gap
1	-12.630	8.325	-12.820	8.389	0.200
2	-8.880	8.336	-8.783	8.274	0.115
3	-6.319	8.313	-6.319	8.296	0.017
4	-9.796	8.477	-9.745	8.485	0.052
5	-12.917	0.043	-12.593	0.058	0.324
6	-10.051	0.081	-10.009	0.034	0.063
7	-7.473	-0.010	-7.656	-0.053	0.188
8	-10.182	0.281	-10.526	0.418	0.371
9	-8.500	0.280	-8.290	0.225	0.218

Validate

Points de contrôle

- Pts calculés
- Pts réels

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

Assurer une bonne orthorectification

- Vérifier la qualité des points de repère
 - On cale les paramètres a_i des équations photogrammétriques
 - Pour les points de repère GRP, on recalcule X, Y à partir des i, j en utilisant
 - On compare les X, Y calculés aux X, Y mesurés des GRPs
 - Si les écarts sont importants, on s'inquiète !
 - → enlever des points au besoin

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



P1 P4 P2 P3

P Verification of the reference points

#	Real X	Real Y	Recalculated..	Recalculated..	Gap
1	-12.630	8.325	-12.685	8.339	0.057
2	-8.880	8.336	-8.770	8.292	0.118
3	-6.319	8.313	-6.367	8.341	0.055
4	-9.796	8.477	-9.806	8.480	0.010
5	-12.917	0.043	-12.909	0.056	0.015
6	-10.051	0.081	-10.058	0.064	0.018
7	-7.473	-0.010	-7.468	-0.002	0.010
8	-10.182	0.281	-10.187	0.278	0.006

Validate

Points de contrôle

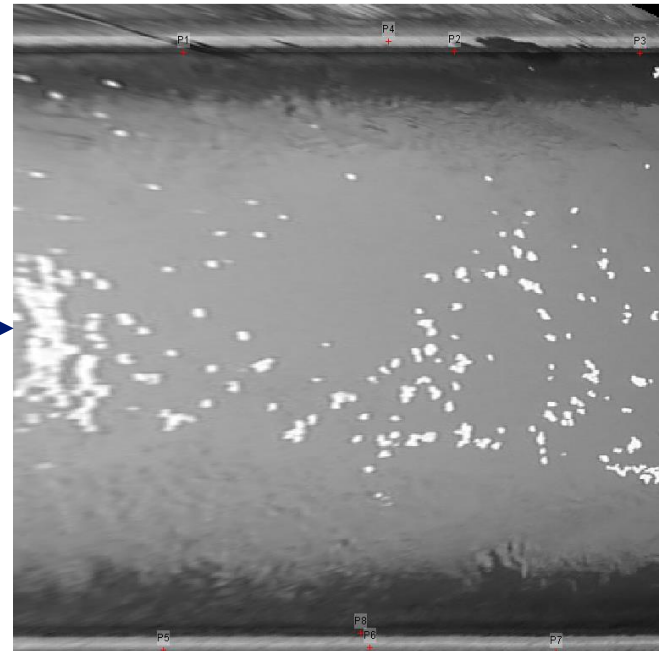
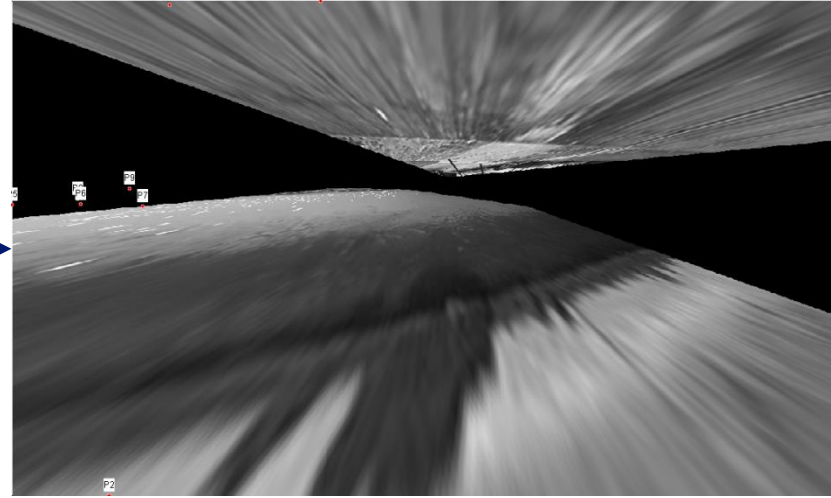
- Pts calculés
- Pts réels

P5 P8 P6 P7

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

- Assurer une bonne orthorectification

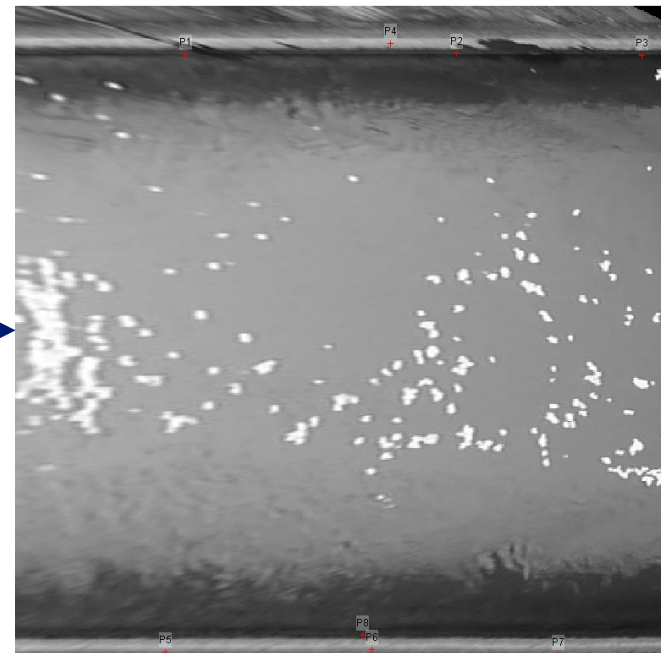
- L'orthoimage doit « ressembler » à une vue de dessus de la scène filmée



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

- Assurer une bonne orthorectification

- L'orthoimage doit « ressembler » à une vue de dessus de la scène filmée
- GRP bien répartis dans l'image



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

▪ Assurer une bonne orthorectification

□ Choisir la résolution de l'orthoimage

- En fonction de la taille de l'image brute : ne pas sur-échantillonner l'image brute
- En fonction de la taille des traceurs à suivre : résolution < taille traceurs



Largeur canal = 8 m

Largeur image = 1280 pixels

Traceurs = 5 cm

→ Résolution maxi = $8/1280 = 6\text{mm} / \text{pix}$

→ Résolution mini > 5 cm / pix

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

▪ Assurer une bonne orthorectification

□ Choisir la résolution de l'orthoimage

- En fonction de la taille de l'image brute : ne pas sur-échantillonner l'image brute
- En fonction de la taille des traceurs à suivre : résolution < taille traceurs



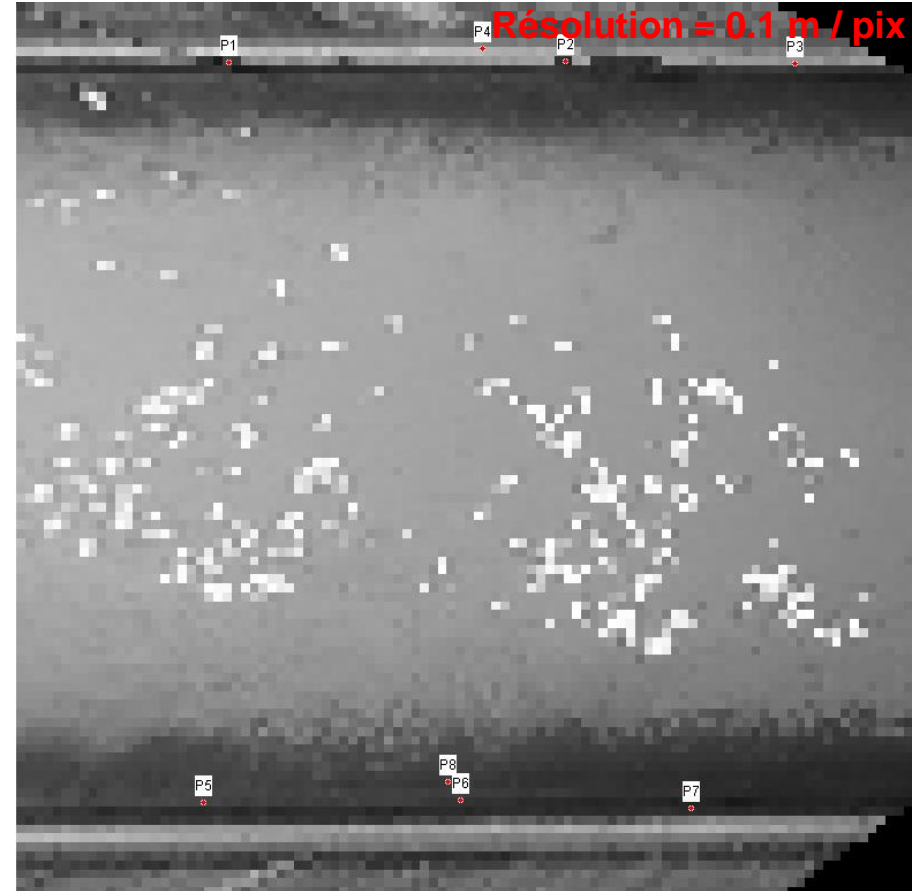
Largeur canal = 8 m

Largeur image = 1280 pixels

Traceurs = 5 cm

→ Résolution maxi = $8/1280 = 6\text{mm} / \text{pix}$

→ Résolution mini > 5 cm / pix



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

▪ Assurer une bonne orthorectification

□ Choisir la résolution de l'orthoimage

- En fonction de la taille de l'image brute : ne pas sur-échantillonner l'image brute
- En fonction de la taille des traceurs à suivre : résolution < taille traceurs



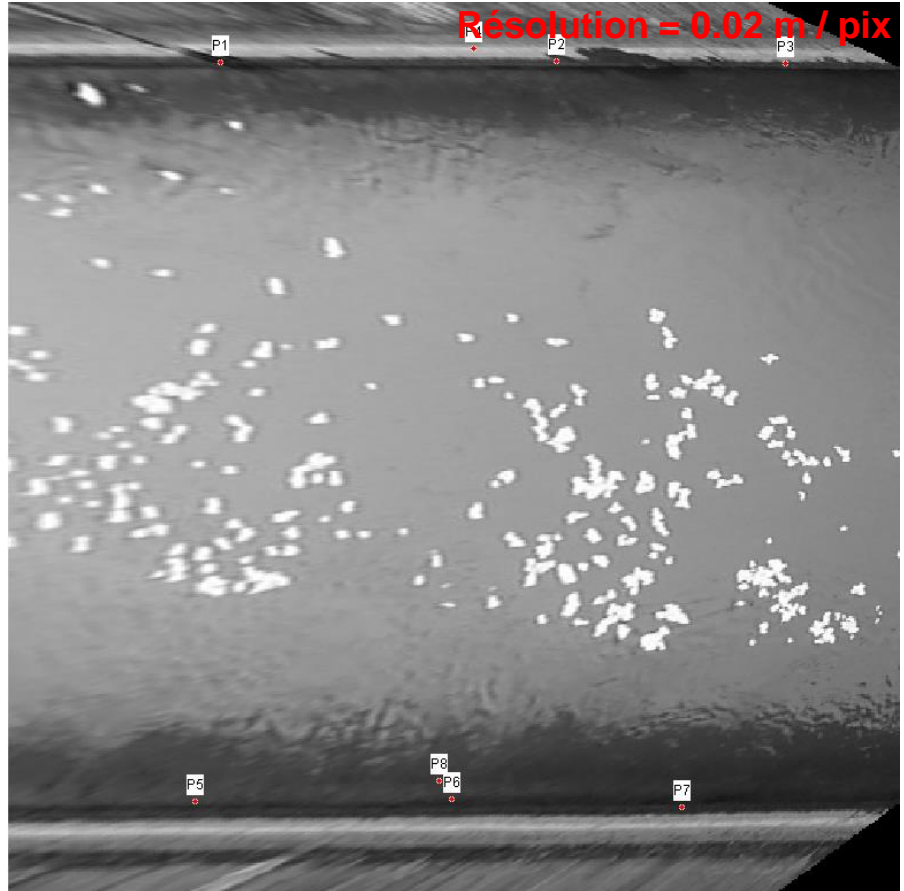
Largeur canal = 8 m

Largeur image = 1280 pixels

Traceurs = 5 cm

→ Résolution maxi = $8/1280 = 6\text{mm} / \text{pix}$

→ Résolution mini > 5 cm / pix



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

▪ Assurer une bonne orthorectification

- Choisir la résolution de l'orthoimage
 - En fonction de la taille de l'image brute : ne pas sur-échantillonner l'image brute
 - En fonction de la taille des traceurs à suivre : résolution < taille traceurs



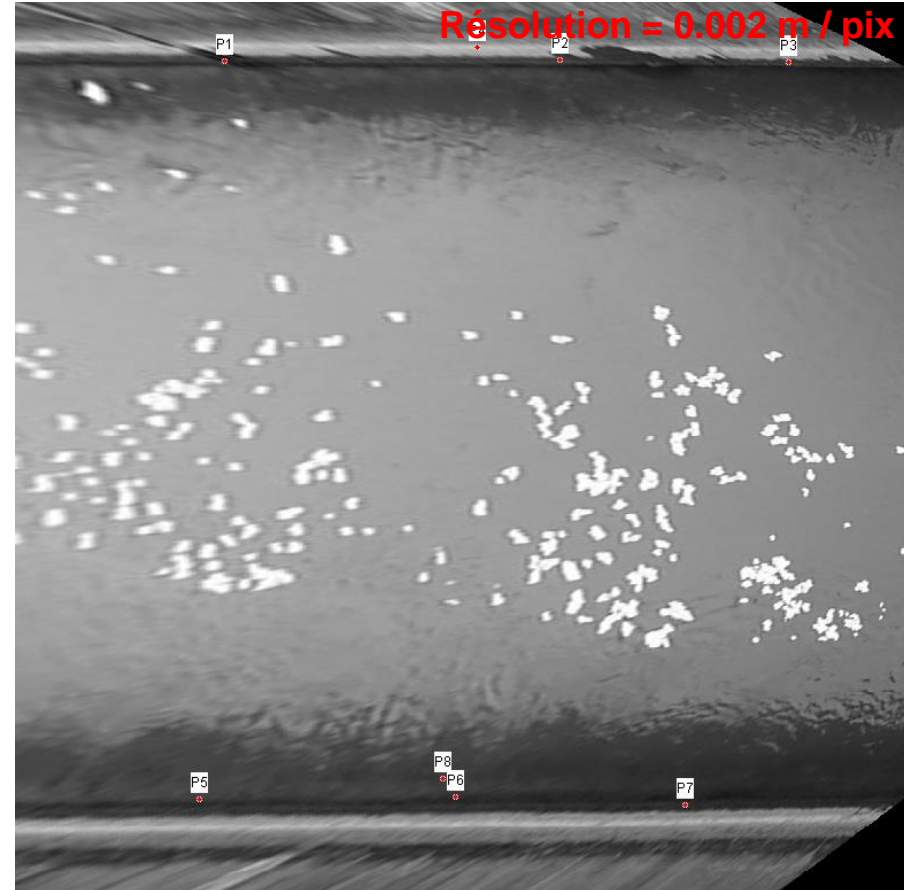
Largeur canal = 8 m

Largeur image = 1280 pixels

Traceurs = 5 cm

→ Résolution maxi = $8/1280 = 6\text{mm} / \text{pix}$

→ Résolution mini > 5 cm / pix



- Proposition d'une résolution optimale par le logiciel

- Ici → 2 cm / pixels

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification

□ Simplification 2D

→ si tous les GRP sont placés sur l'altitude de la surface libre de l'écoulement

- $z_{GRP} = z_0$ pour tous les GRPs, avec z_0 : niveau d'eau
- Le niveau d'eau doit être constant → pas pour les stations
- 8 paramètres a_i → Uniquement besoin de 4 GRP
 - Coordonnées des GRP

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



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification

□ Simplification 2D

→ si tous les GRP sont placés sur l'altitude de la surface libre de l'écoulement

- $z_{GRP} = z_0$ pour tous les GRPs, avec z_0 : niveau d'eau
- Le niveau d'eau doit être constant → pas pour les stations
- 8 paramètres a_i → Uniquement besoin de 4 GRP
 - Coordonnées des GRP
 - Distances entre les GRP (nouveau version 1.9!)

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



LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification

□ Simplification 2D

→ si tous les GRP sont placés sur l'altitude de la surface libre de l'écoulement

- $z_{GRP} = z_0$ pour tous les GRPs, avec z_0 : niveau d'eau
- Le niveau d'eau doit être constant → pas pour les stations
- 8 paramètres a_i → Uniquement besoin de 4 GRP
 - Coordonnées des GRP
 - Distances entre les GRP (nouveau version 1.9!)

Saisir les GRP dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

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

Mode 4 points en distances

Distances

Saisissez les 4 points dans le sens trigo

Renseignez les distances

Segment	Distance
P1-P2	
P1-P3	
P1-P4	
P2-P3	
P2-P4	

Saisie interactive...

Coordonnées équivalentes

N°	X img	Y img	X réel (m)	Y réel (m)
1	1537	57.15		
2	1657	825.3		
3	1057	909.4		
4	185.1	764.0		

✓ Valider ✗ Annuler

Avec le mode « distances entre 4 points », un décamètre et une perche graduée suffisent pour lever les GRP.

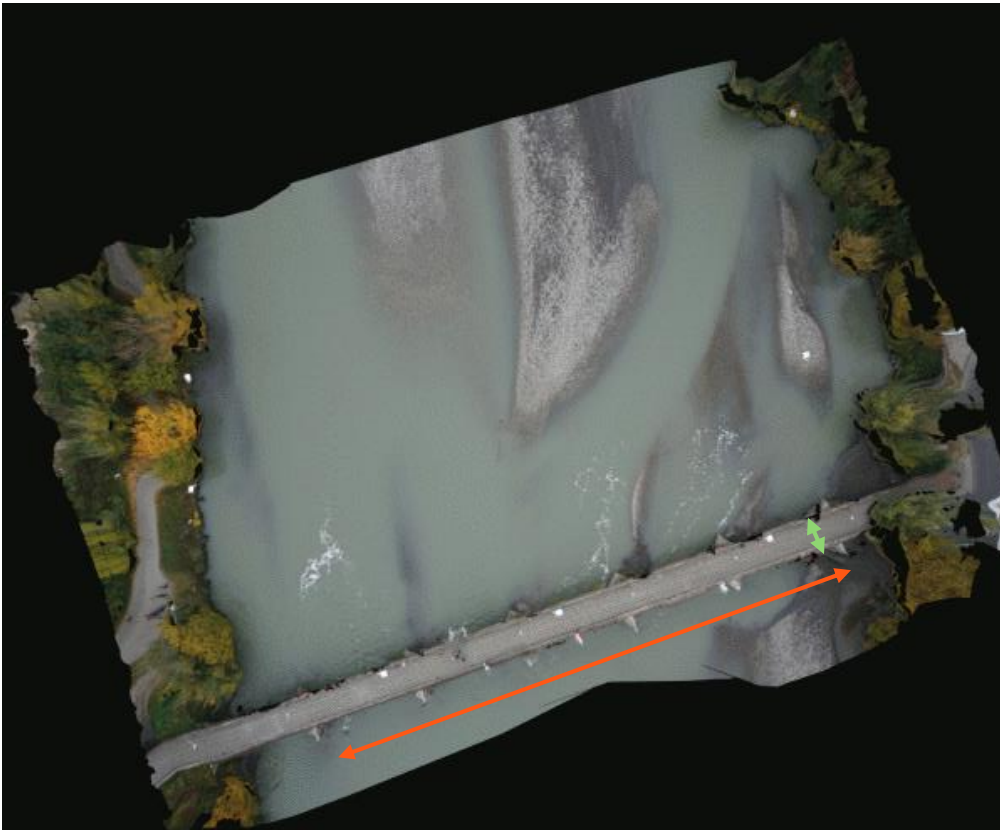
Le logiciel recalcule des coordonnées pour les 4 points, dans un repère arbitraire.

LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification
 - Simplification Mise à l'échelle → si prise de vue au Nadir, sans déformation de lentille
 - Point de vue vertical
 - Pas de déformation due à la perspective
 - Pas besoin de GRP → Mise à l'échelle (m/pix)
 - Au moins un segment de taille connue, **au niveau du plan d'eau**
 - Mesure au mètre, distance mètre, ou sur Géoportail ou Google Earth
 - Application prise de vue par drone pour les très grandes surfaces

Exemple Isère@Montmélian :

Objet	Taille réelle (m)	Taille image (pixels)	Résolution (m/pix)
Entre piles	95	4667	0.02
Largeur pont	11.25	592	0.019

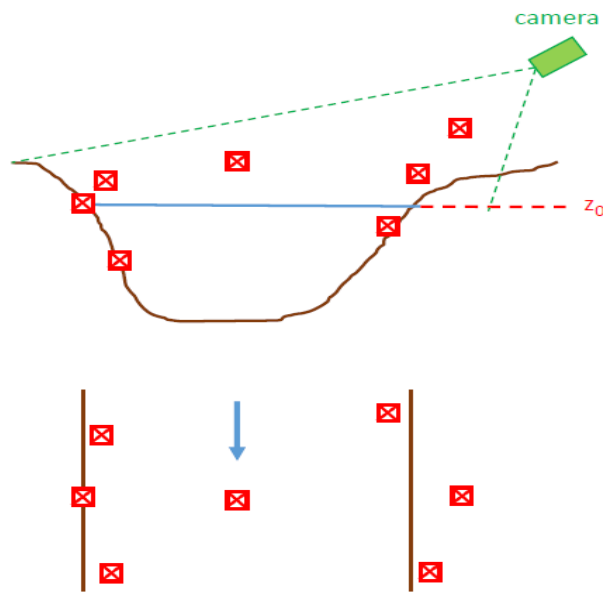


LSPIV : ORTHORECTIFICATION

2. Corriger les images des effets de perspective et mettre à l'échelle : Orthorectification

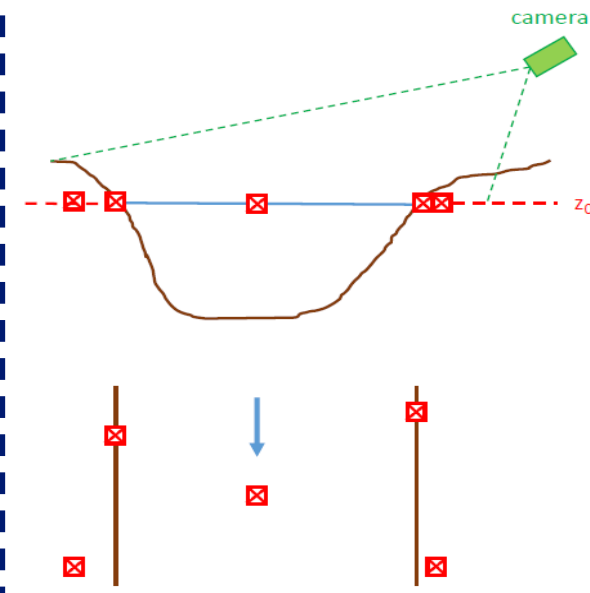
Orthorectification 3D

- Au moins 6 GRPs
- Non coplanaires en X, Y et Z
- Bien repartis sur l'images en X et Y
- Couvrant la gamme de variation possible des Z



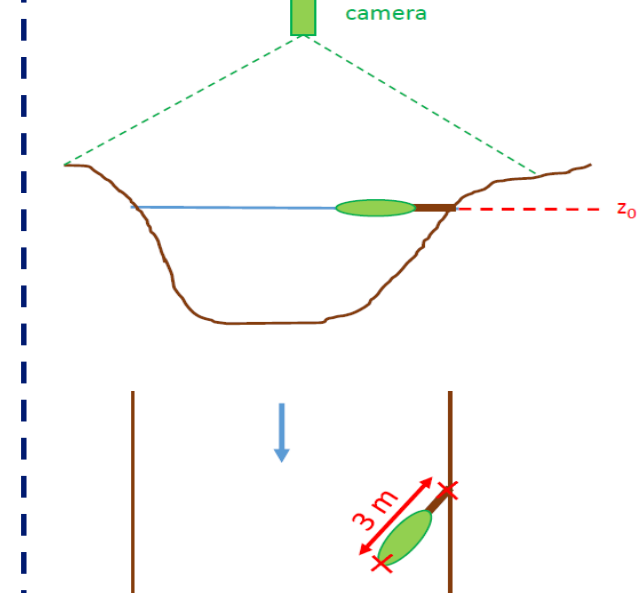
Orthorectification 2D

- Au moins 4 GRPs
- Non coplanaires en X, Y
- Bien repartis sur l'images en X et Y
- Au niveau de la surface libre
- Pas de variation de niveau possible



Mise à l'échelle

- Pas de GRP
- Au moins un élément d'échelle au niveau de la surface libre
- Prise de vue au Nadir
- Pas de déformation

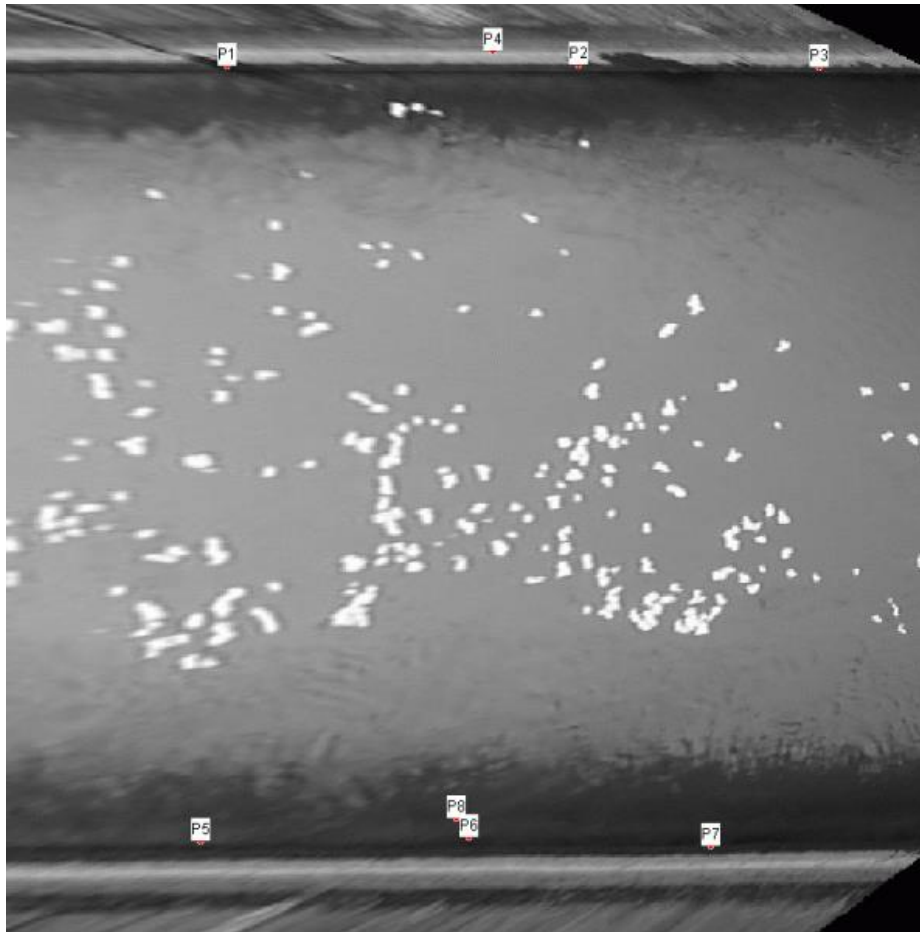


Trois modes proposés dans Fudaa-LSPIV !

Démo Logiciel !

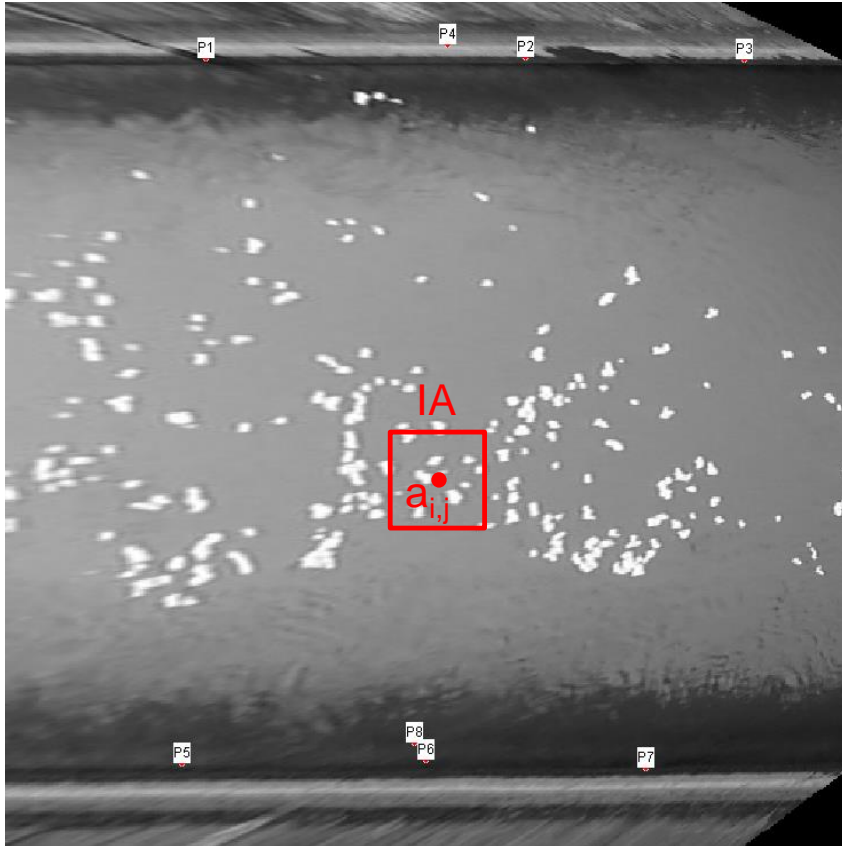
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » composés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - Naturels : figures de turbulence, écume, débris flottants...
 - Artificiels : ensemencement avec des chips de maïs, des copeaux, des confettis, du bois, de l'herbe...



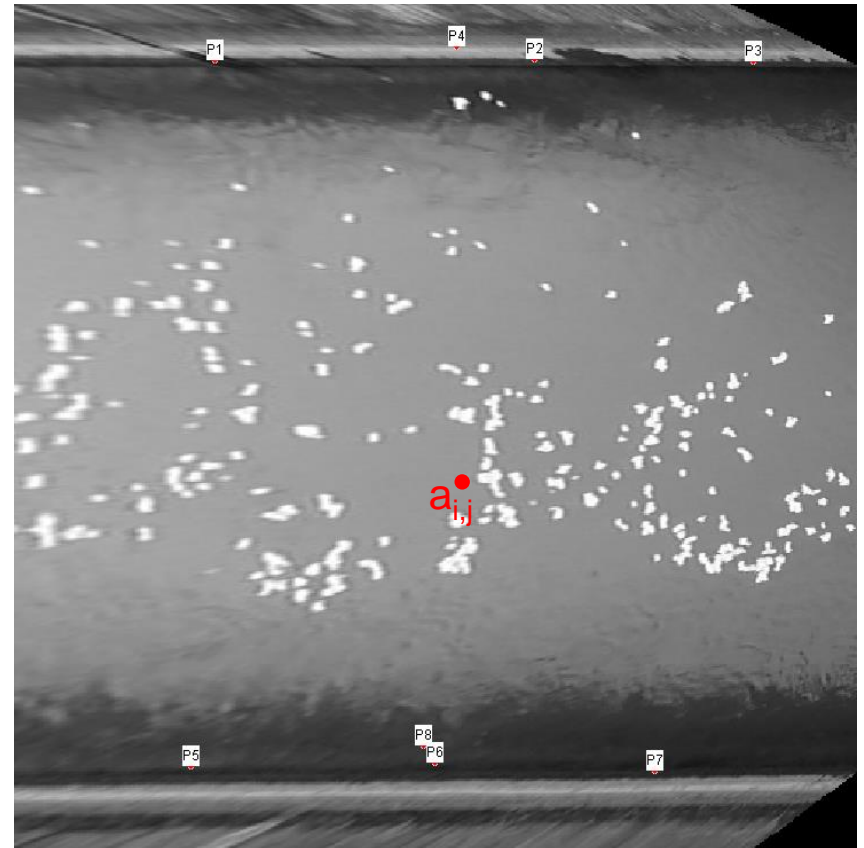
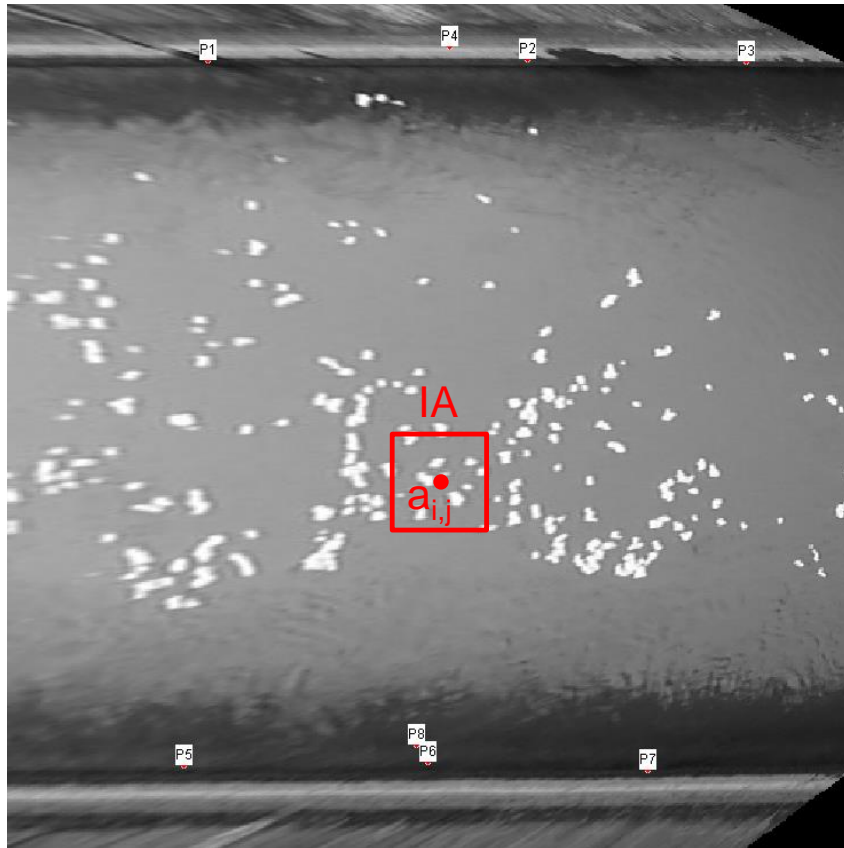
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » composés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Motif = distribution des intensités de luminosité des pixels



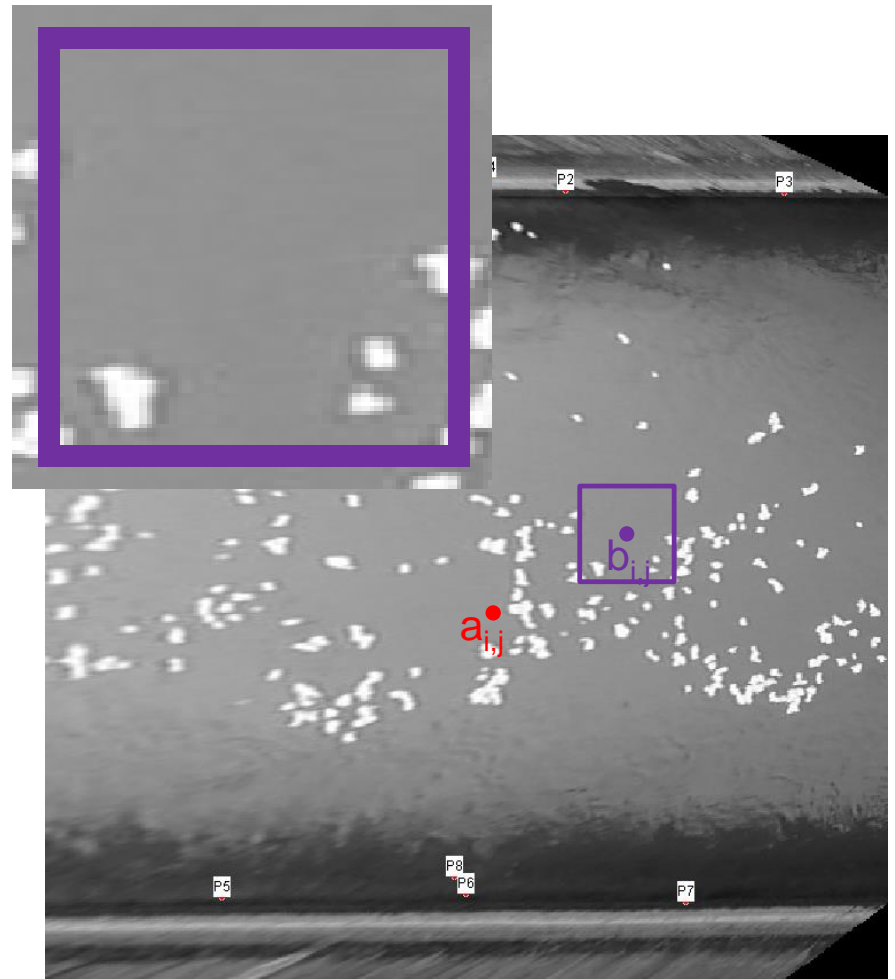
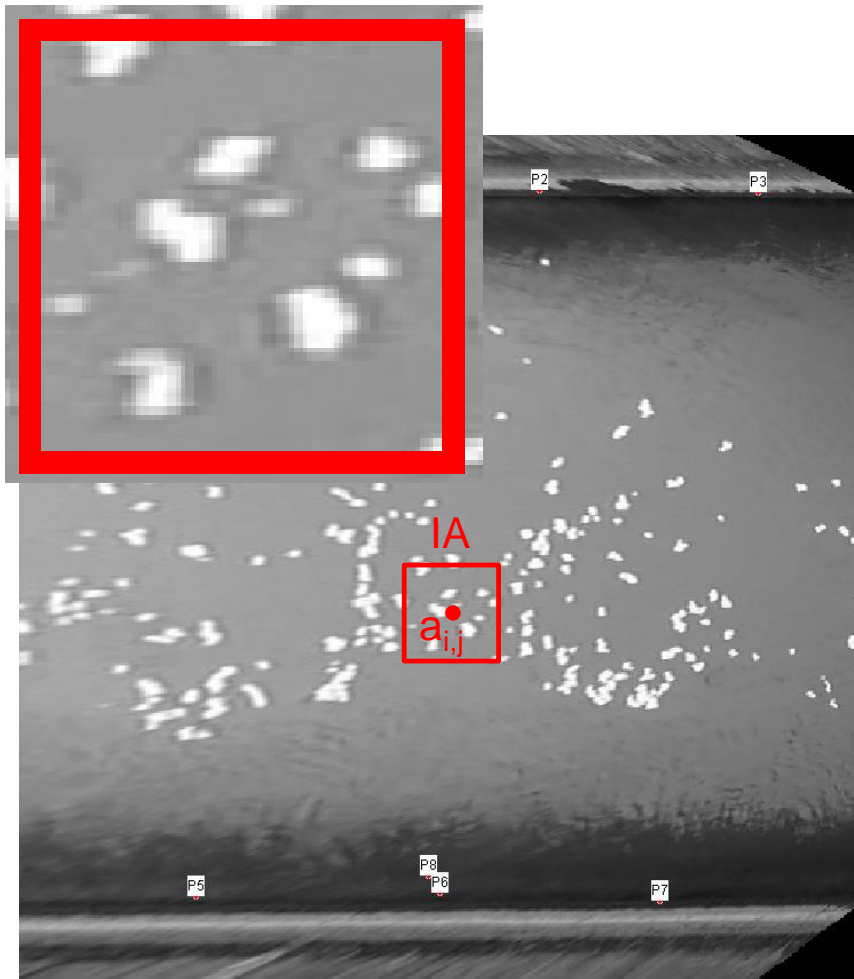
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$



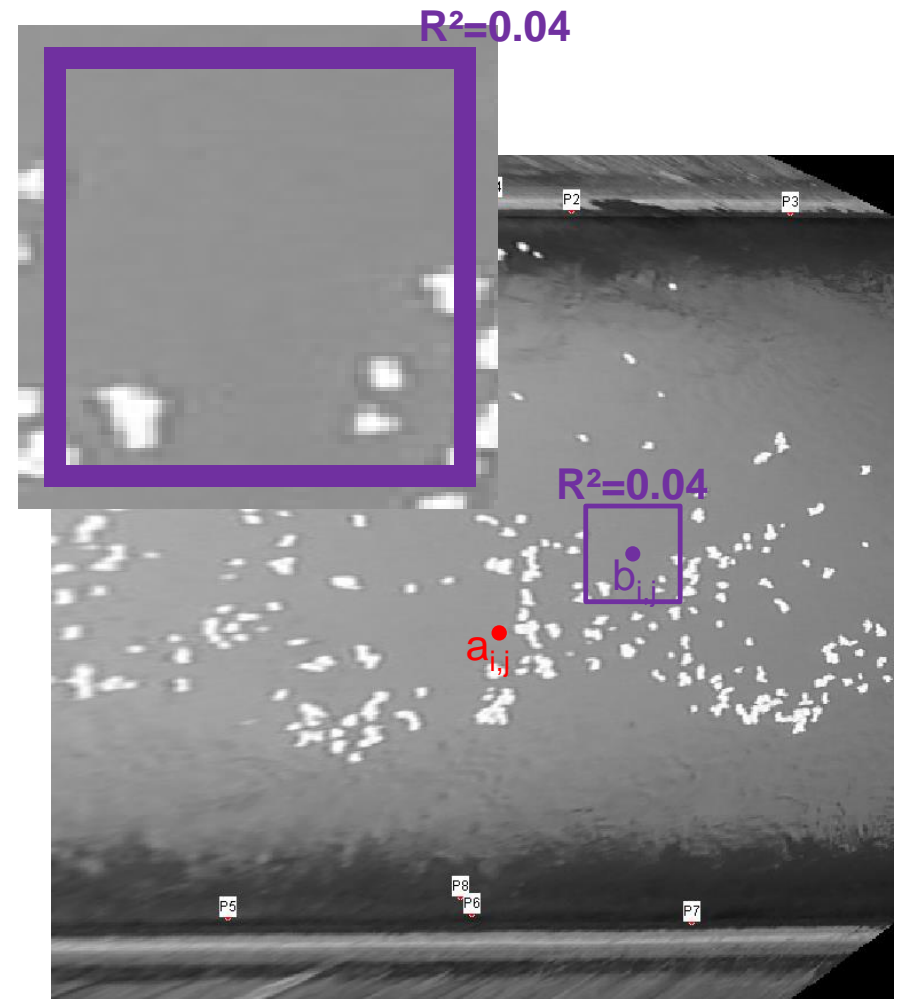
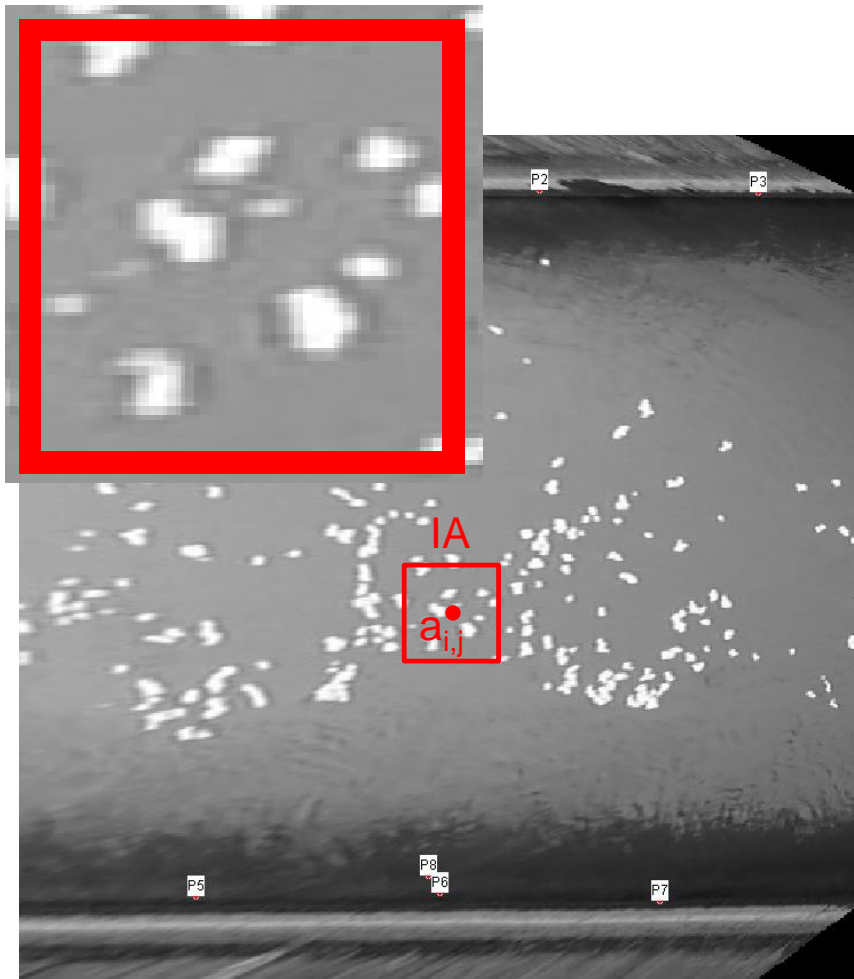
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour **Interrogation Area**) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$



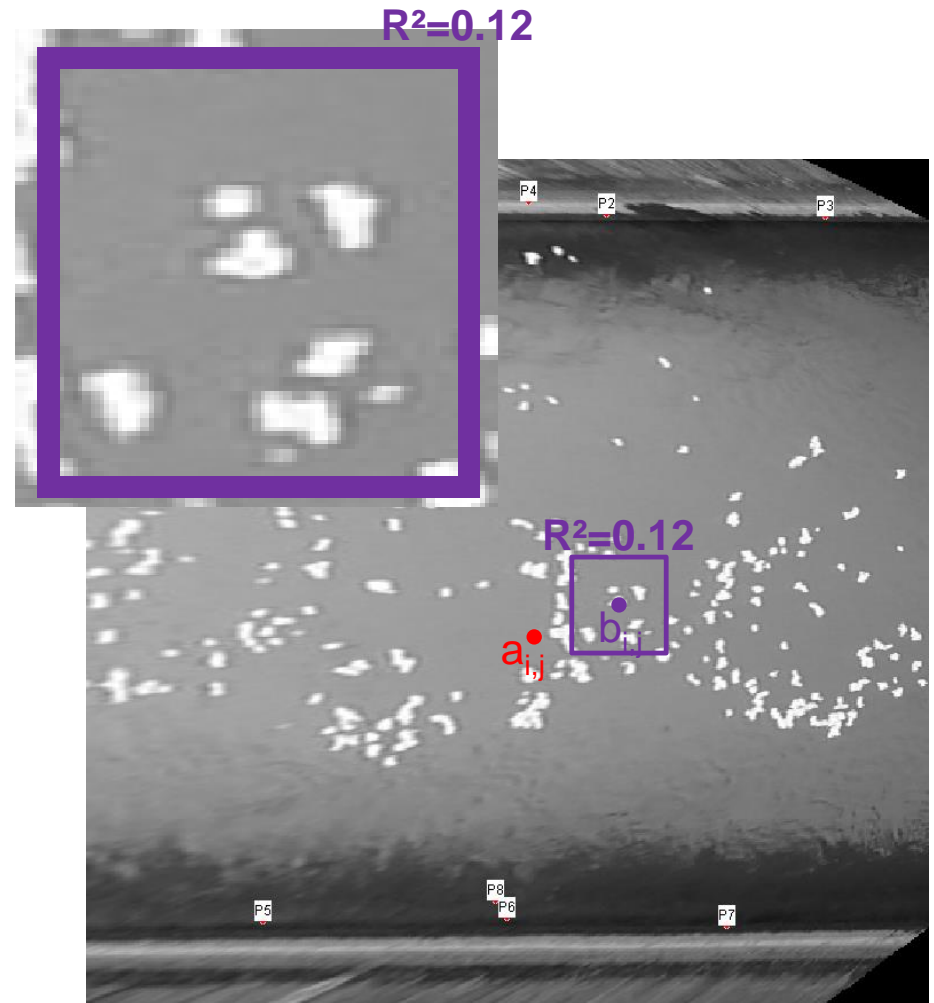
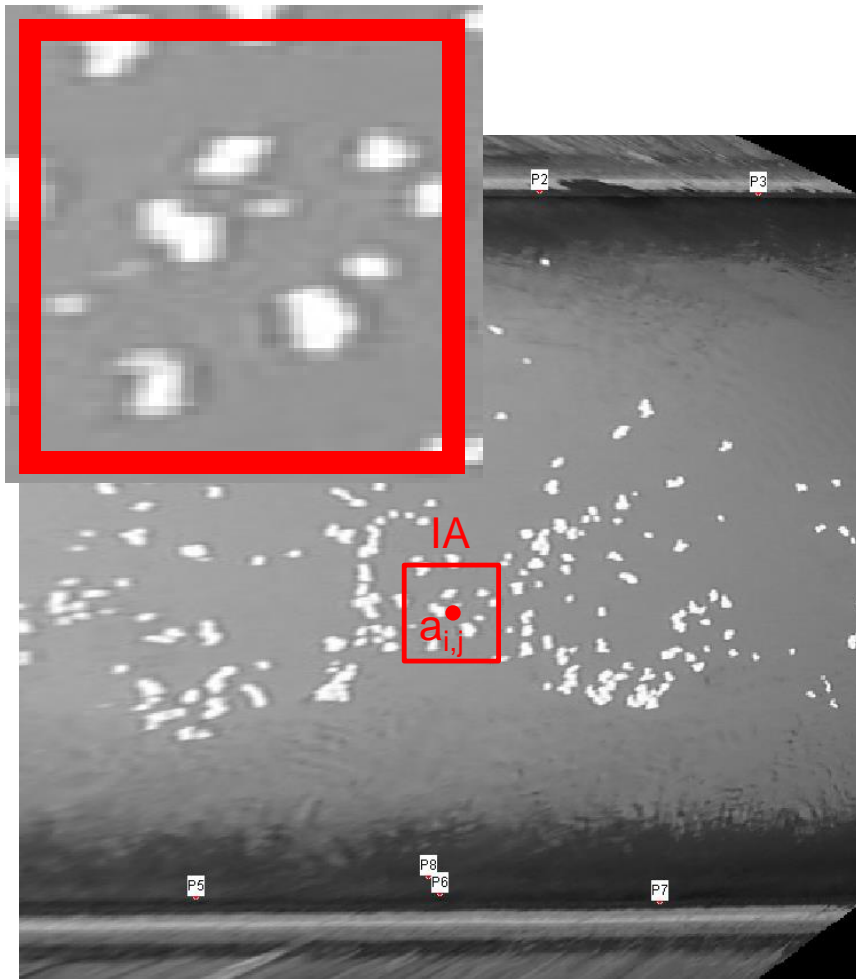
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$



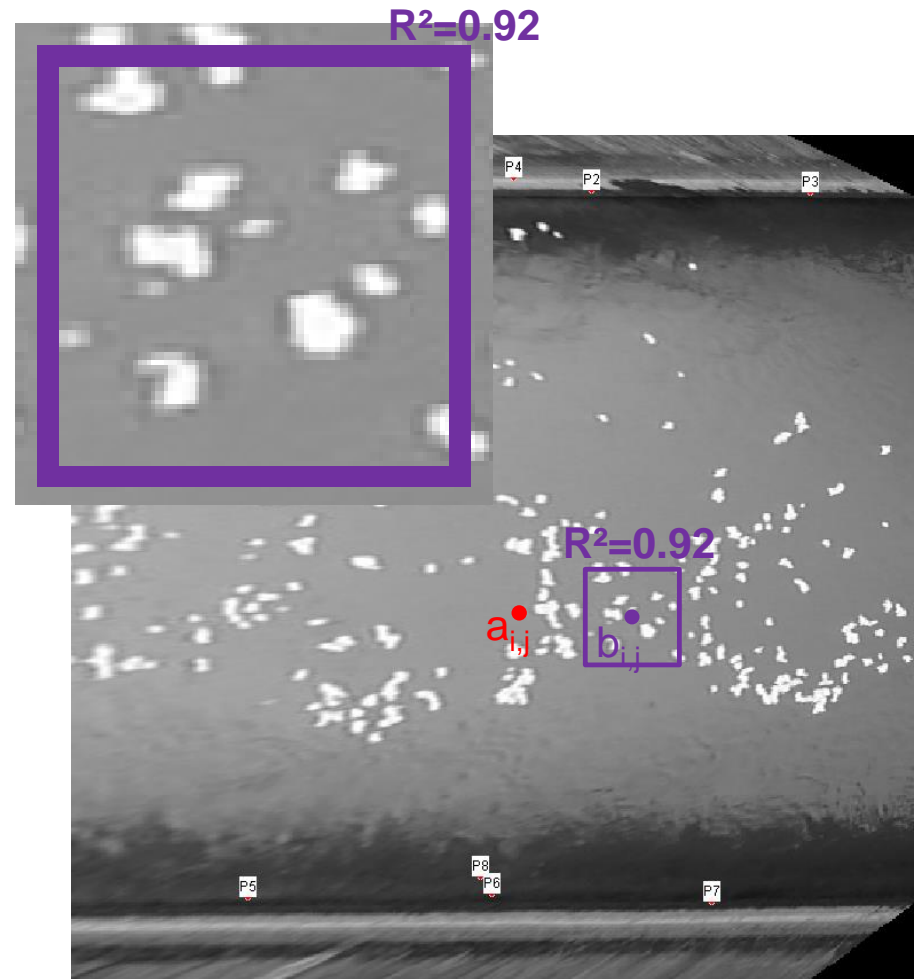
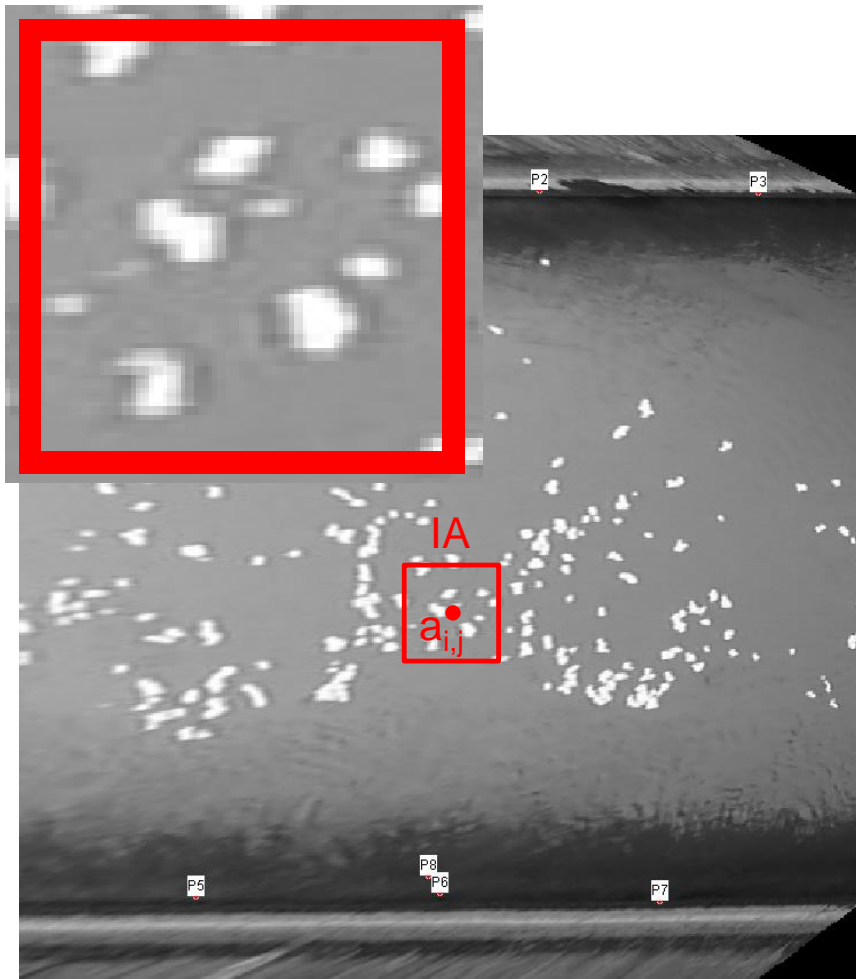
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation



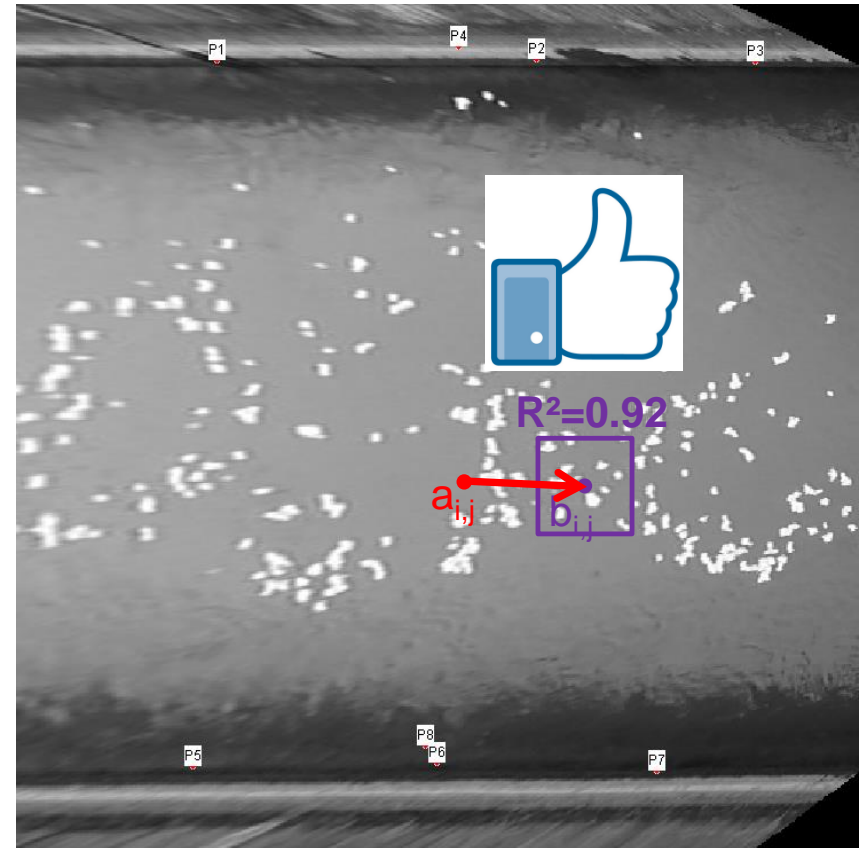
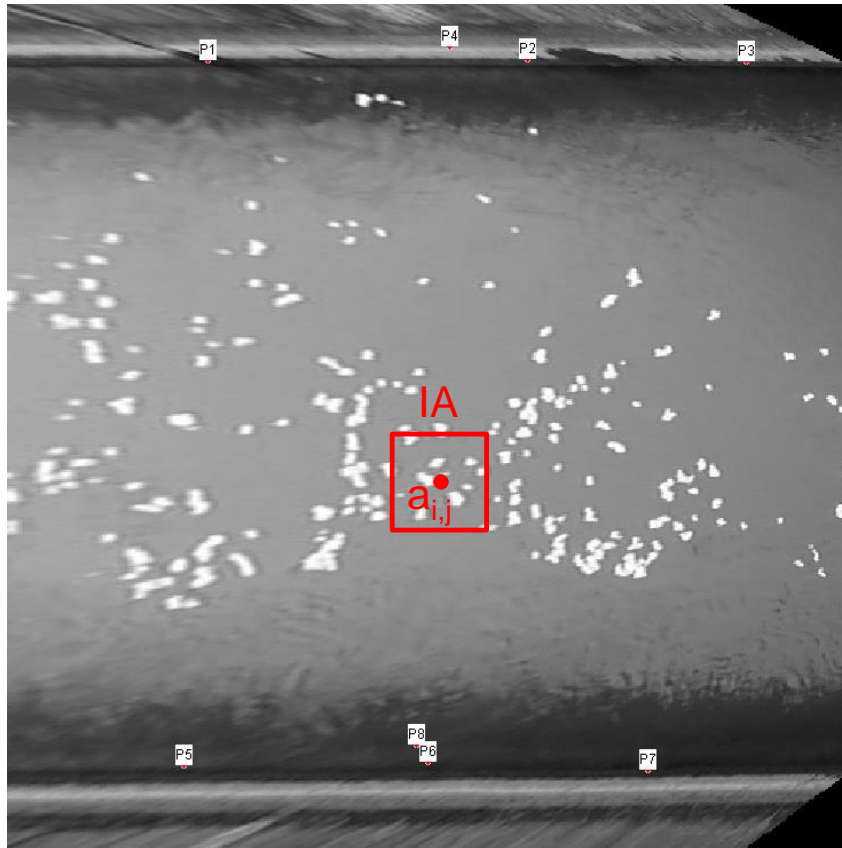
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation



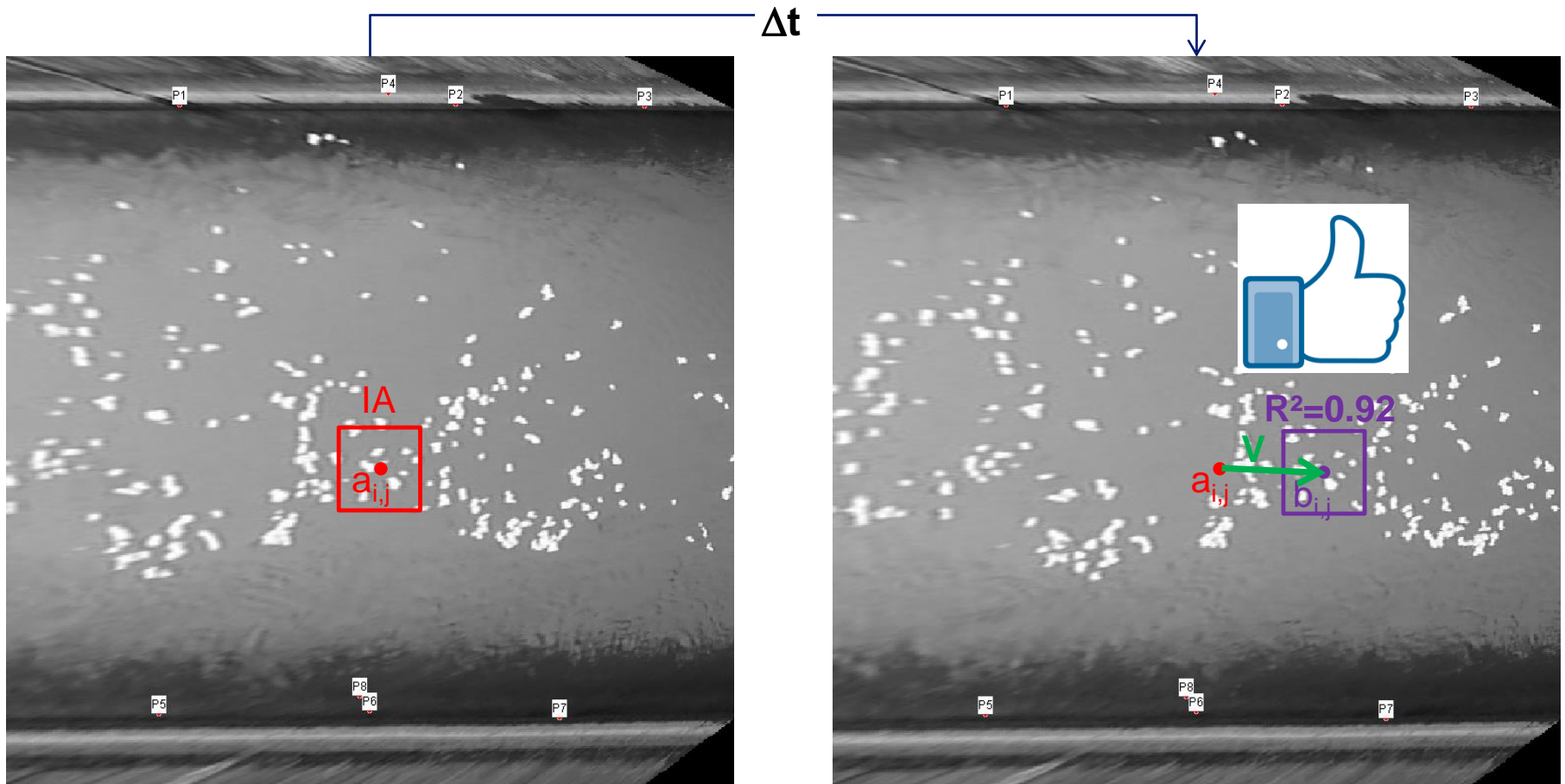
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcule la corrélation
 - La position $b_{i,j}$ donnant la meilleure corrélation donne le déplacement le plus probable



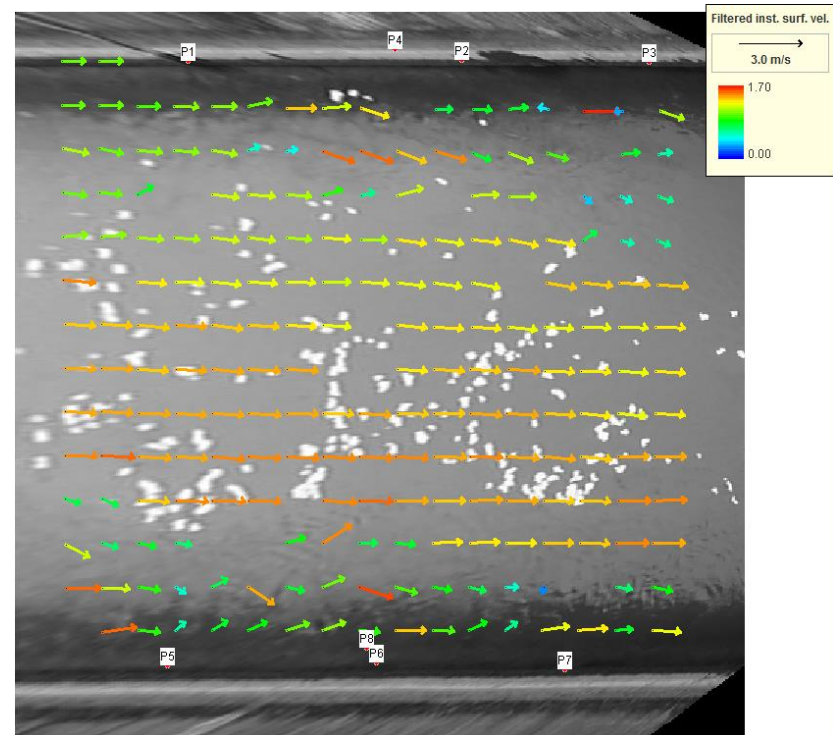
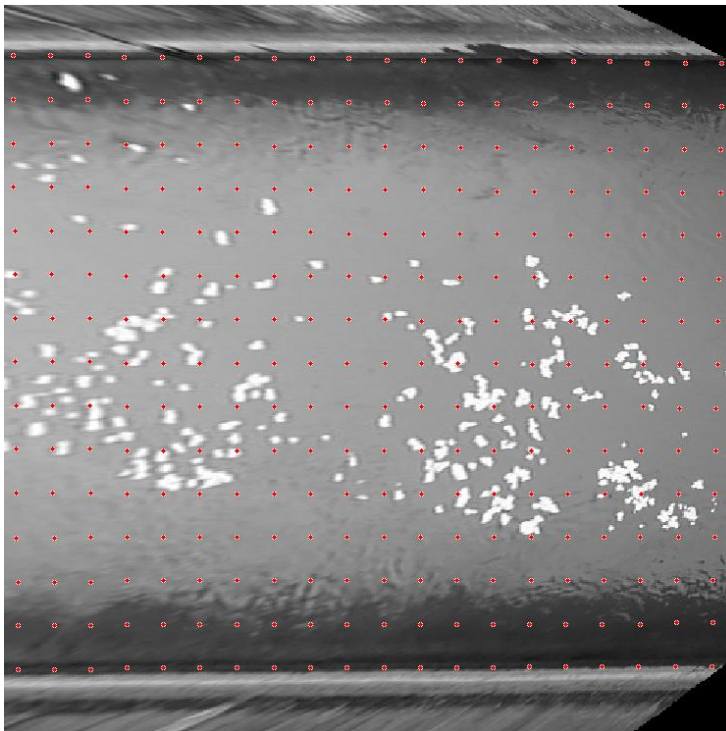
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation
 - La position $b_{i,j}$ donnant la meilleure corrélation donne le déplacement le plus probable
 - Connaissant l'intertemps entre deux images et la résolution (m/pix), on calcule la Vitesse en $a_{i,j}$



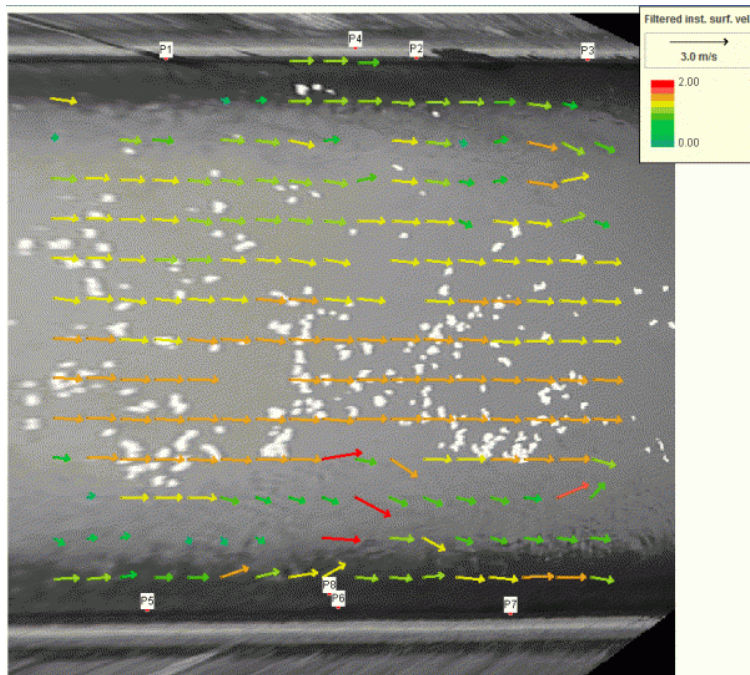
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation
 - La position $b_{i,j}$ donnant la meilleure corrélation donne le déplacement le plus probable
 - Connaissant l'intervalle Δt entre deux images et la résolution (m/pix), on calcule la Vitesse en $a_{i,j}$
 - On répète ce calcul sur toutes les positions $a_{i,j}$ souhaitées (grille définie par l'utilisateur)
⇒ Champ de vitesses 2D (V_x , V_y) instantanées (Δt)



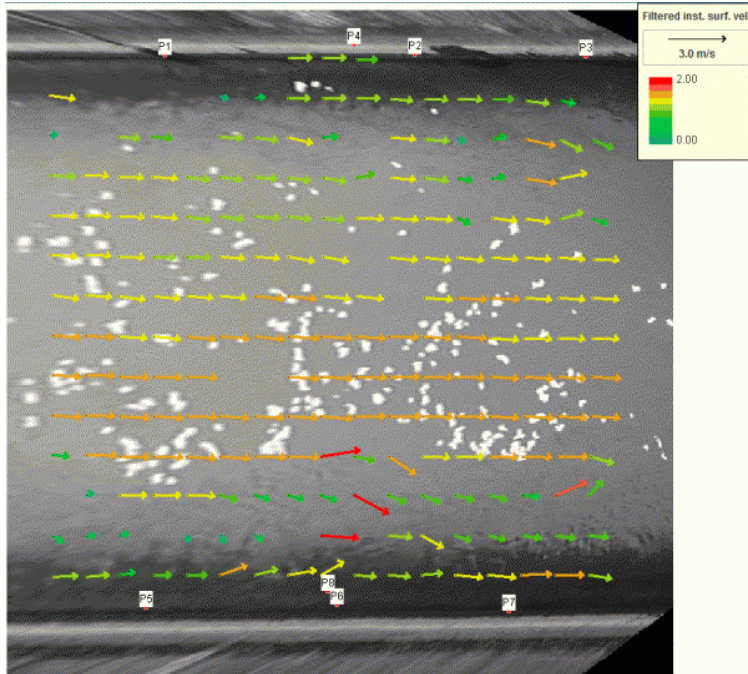
LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation
 - La position $b_{i,j}$ donnant la meilleure corrélation donne le déplacement le plus probable
 - Connaissant l'intertemps Δt entre deux images et la résolution (m/pix), on calcule la Vitesse en $a_{i,j}$
 - On répète ce calcul sur toutes les positions $a_{i,j}$ souhaitées (grille)
⇒ Champ de vitesses 2D (V_x , V_y) instantanées (Δt)
 - On répète ce calcul sur toutes les paires d'images

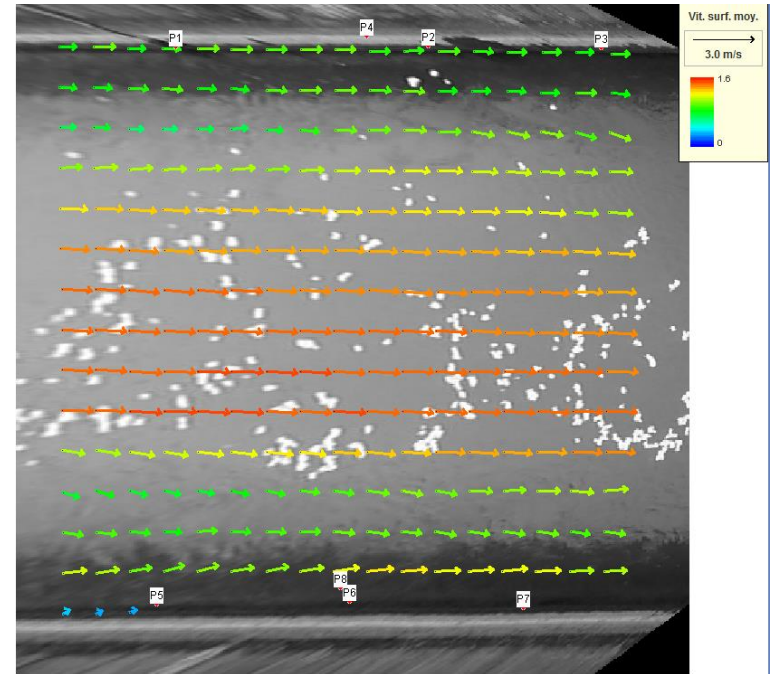


LSPIV : MESURE DE VITESSE

3. Suivre le déplacement de traceurs de l'écoulement en surface : PIV
 - Sur les orthoimages, suivi des « motifs » réalisés par des traceurs (naturels ou artificiels)
 - On regarde un motif dans une zone d'interrogation (IA, pour Interrogation Area) centrée en $a_{i,j}$
 - Sur l'image suivante, on essaie de retrouver le même motif
 - On se place en $b_{i,j}$, et on regarde la corrélation entre l'IA centrée en $a_{i,j}$ et celle centrée en $b_{i,j}$
 - On déplace $b_{i,j}$ de pixel en pixel, et on calcul la corrélation
 - La position $b_{i,j}$ donnant la meilleure corrélation donne le déplacement le plus probable
 - Connaissant l'intervalle Δt entre deux images et la résolution (m/pix), on calcule la Vitesse en $a_{i,j}$
 - On répète ce calcul sur toutes les positions $a_{i,j}$ souhaitées (grille)
 - ⇒ Champ de vitesses 2D (V_x , V_y) instantanées (Δt)
 - On répète ce calcul sur toutes les paires d'images
 - ⇒ Champ de vitesses 2D (V_x , V_y) moyen sur toutes les paires d'images



Vitesses instantanées




Vitesses moyennes

LSPIV : MESURE DE VITESSE

▪ Nouveau! (version 1.9) : statistiques des résultats

- L'utilisateur peut afficher les principales statistiques sur les résultats bruts et filtrés
- Utile pour vérifier la cohérence des résultats et dimensionner des filtres (qu'on verra plus loin)

 **Statistiques résultats** ✕

Pour tous les résultats


Pour le résultat

Résultats bruts

Résultat	Min	Max	Moyenne	Médiane	Ecart type
VX	0	4	1,505	1,645	0,648
VY	-1	1	-0,033	-0,05	0,277
CORREL	0,291	1	0,836	0,912	0,18
NORME	0,004	4,123	1,537	1,66	0,636

Résultats filtrés

Résultat	Min	Max	Moyenne	Médiane	Ecart type
VX	0	4	0,817	0,642	0,884
VY	-1	1	-0,009	0	0,264
CORREL	0,291	1	0,836	0,912	0,18
NORME	0	4,123	0,847	0,724	0,896
OMEGA	4	4	4	4	0
DIVERG	5	5	5	5	0

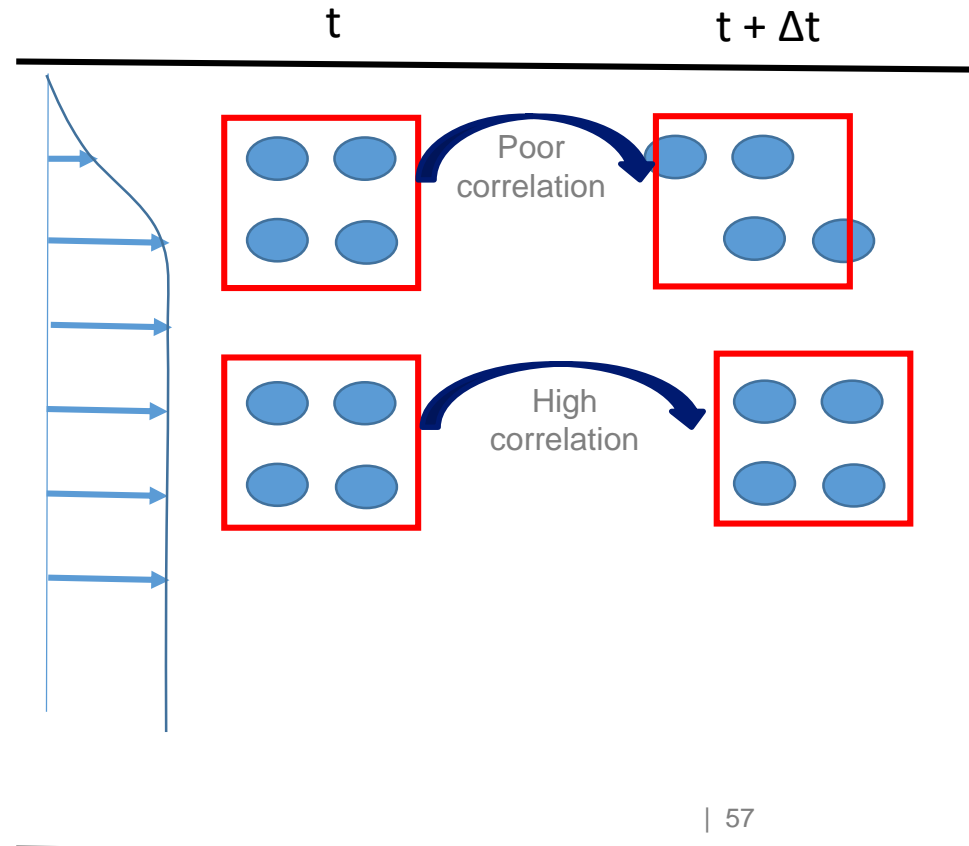
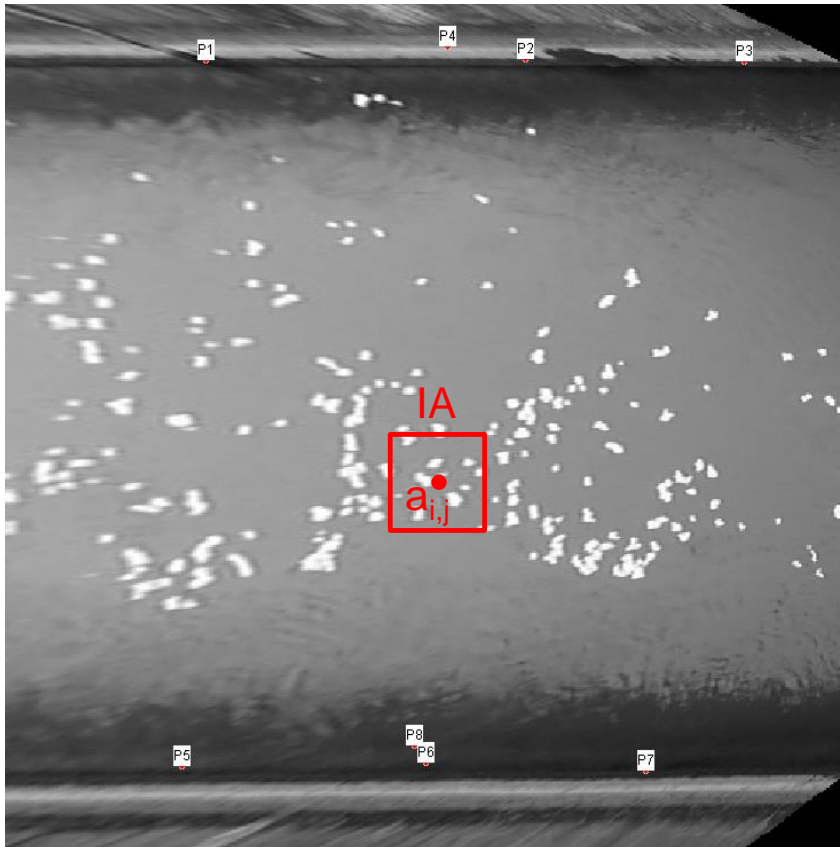
 **Valider**

LSPIV : MESURE DE VITESSE

Assurer un bon calcul de vitesse :

Taille de la cellule d'interrogation IA :

- Doit être assez grande pour contenir suffisamment de traceurs pour former un motif reconnaissable
- Doit être suffisamment petite pour ne pas recouvrir des zones de vitesses différentes (pas de gradient)
 - Vue de l'hydromètre : taille de l'IA \cong espacement entre deux verticales d'un jaugeage au couranto ($1/20$ *largeur rivière)



LSPIV : MESURE DE VITESSE

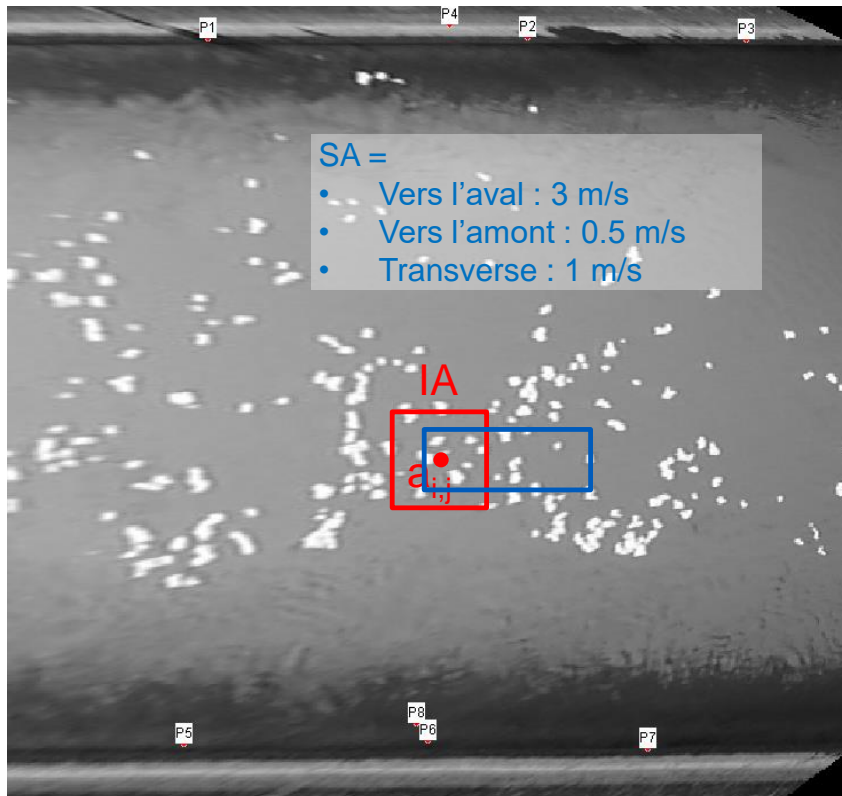
Assurer un bon calcul de vitesse :

Taille de la cellule d'interrogation IA :

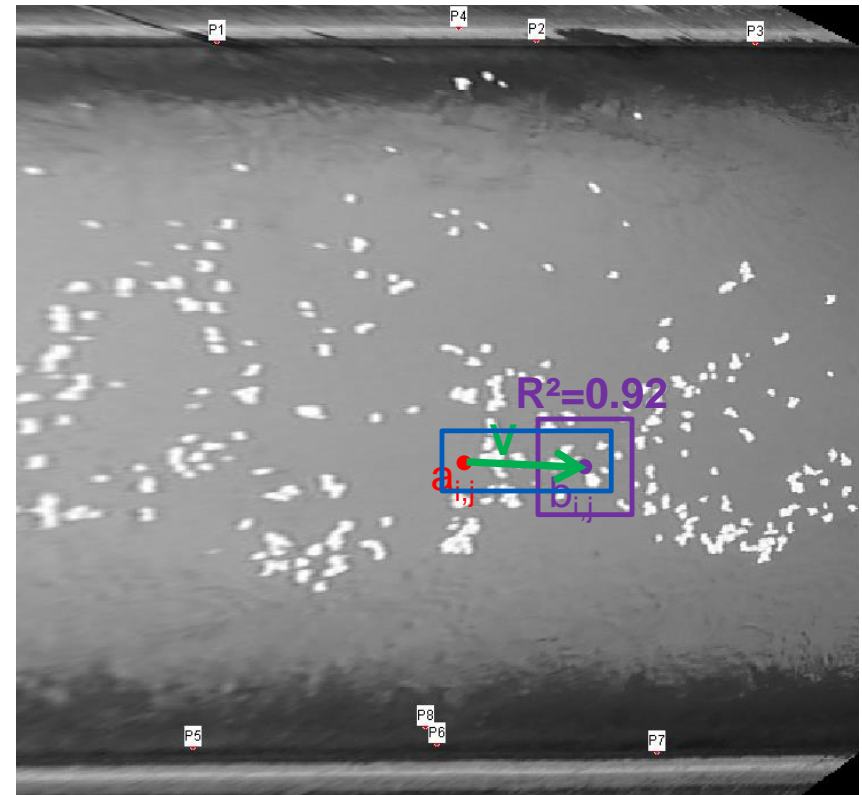
- Doit être assez grande pour contenir suffisamment de traceurs pour former un motif reconnaissable
- Doit être suffisamment petite pour ne pas recouvrir des zones de vitesses différentes (pas de gradient)
 - Vue de l'hydromètre : taille de l'IA \cong espacement entre deux verticales d'un jaugeage au couranto ($1/20 \times$ largeur rivière)

Cellule de recherche SA (Searching Area) :

- Économiser du temps de calcul : ça ne sert à rien de chercher des corrélations où c'est impossible (en amont)
- Zone dans laquelle on cherchera des corrélations entre les IA
 - Déplacement des centre de l'IA, $b_{i,j}$, limités dans la SA
 - A priori sur la connaissance des vitesses maxi d'écoulement, vers l'amont, l'aval et en transverse
- Attention à ne pas être trop restrictif ! Taille SA soit être $>$ aux vitesses vraies



Δt



LSPIV : MESURE DE VITESSE

Assurer un bon calcul de vitesse :

Taille de la cellule d'interrogation IA :

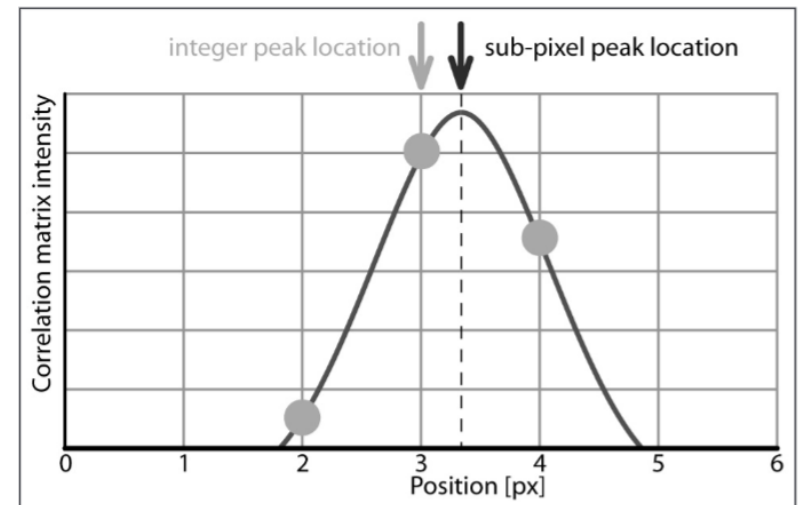
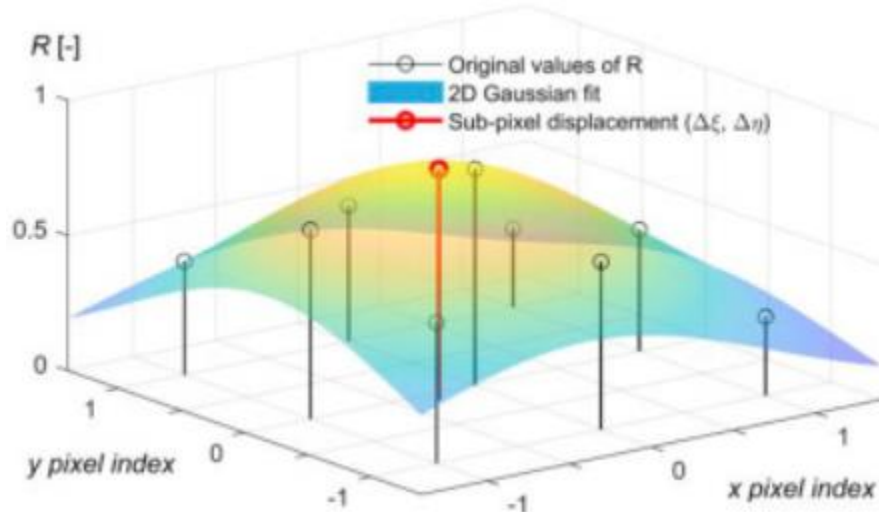
- Doit être assez grande pour contenir suffisamment de traceurs pour former un motif reconnaissable
- Doit être suffisamment petite pour ne pas recouvrir des zones de vitesses différentes (pas de gradient)
 - Vue de l'hydromètre : taille de l'IA \cong espacement entre deux verticales d'un jaugeage au couranto ($1/20$ *largeur rivière)

Cellule de recherche SA (Searching Area) :

- Économiser du temps de calcul : ça ne sert à rien de chercher des corrélations où c'est impossible (en amont)
- Zone dans laquelle on cherchera des corrélations entre les IA
 - Déplacement des centre de l'IA, $b_{i,j}$, limités dans la SA
 - A priori sur la connaissance des vitesses maxi d'écoulement, vers l'amont, l'aval et en transverse
- Attention à ne pas être trop restrictif ! Taille SA soit être $>$ aux vitesses vraies

Interpolation sub-pixel des déplacements

- Ajustement d'une surface Gaussienne sur le champ de corrélation mesuré dans la SA
- Déplacement le plus probable \rightarrow pic de la surface Gaussienne \rightarrow résolution ± 0.2 pix



LSPIV : MESURE DE VITESSE

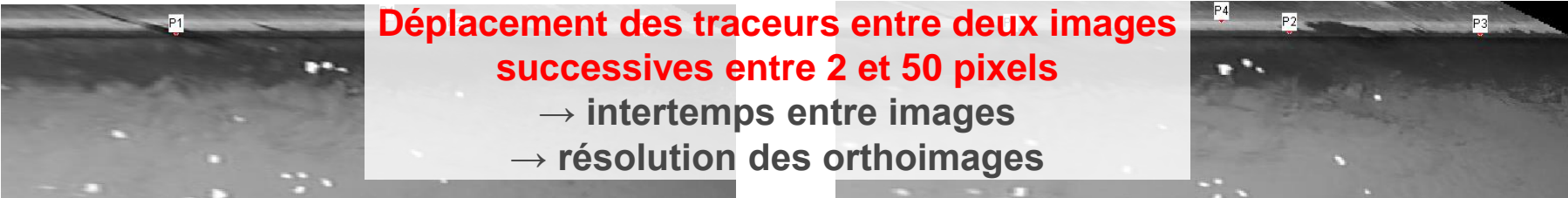
Assurer un bon calcul de vitesse :

Taille de la cellule d'interrogation IA :

- Doit être assez grande pour contenir suffisamment de traceurs pour former un motif reconnaissable
- Doit être suffisamment petite pour ne pas recouvrir des zones de vitesses différentes (pas de gradient)
 - Vue de l'hydromètre : taille de l'IA \cong espacement entre deux verticales d'un jaugeage au couranto ($1/20 \times$ largeur rivière)

Cellule de recherche SA (Searching Area) :

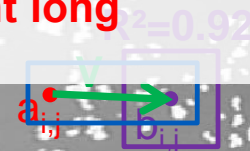
- Économiser du temps de calcul : ça ne sert à rien de chercher des corrélations où c'est impossible (en amont)
- Zone dans laquelle on cherchera des corrélations entre les IA
 - Déplacement des centre de l'IA, b_{ij} , limités dans la SA
 - A priori sur la connaissance des vitesses maxi d'écoulement, vers l'amont, l'aval et en transverse
- Attention à ne pas être trop restrictif ! Taille SA soit être $>$ aux vitesses vraies



Déplacement des traceurs entre deux images successives entre 2 et 50 pixels
→ intertemps entre images
→ résolution des orthoimages

Piège 1 :
Intertemps trop petit → Résolution des images trop importante → Énormes orthoimages → Énormes IA et SA → Temps de calcul extrêmement long

Paramètres à optimiser



Piège 2 :
Intertemps trop grand → Évolution importante de l'aspect des traceurs entre deux images → on ne les reconnaît plus d'une image à l'autre

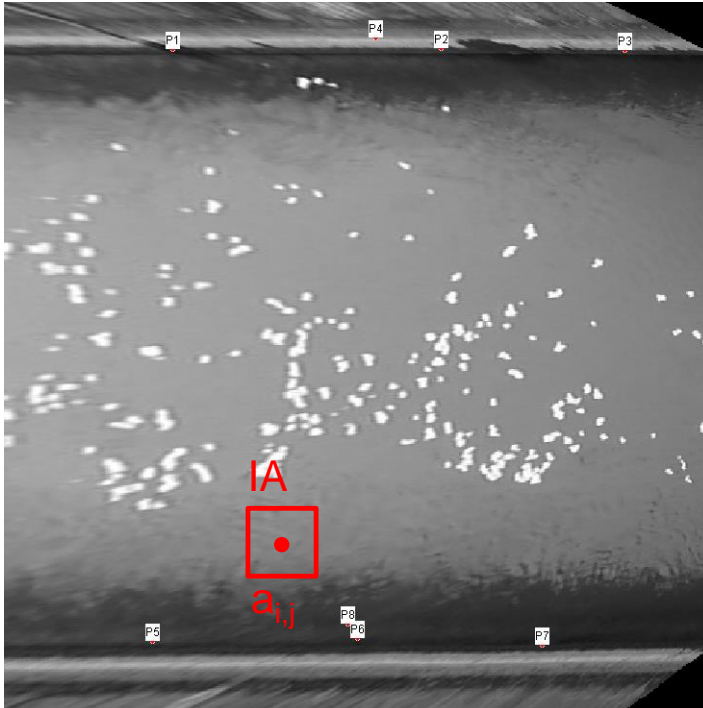
Paramètres à optimiser



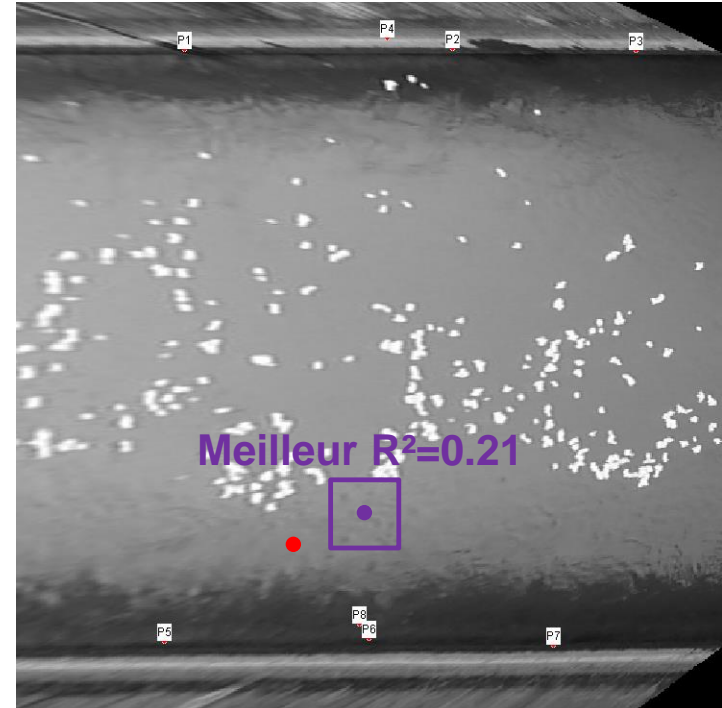
LSPIV : MESURE DE VITESSE

▪ Les filtres:

- LSPIV = méthode statistique
 - Il y aura toujours une « meilleure corrélation », même si elle est très mauvaise
- Filtre sur la corrélation
 - Selon la qualité des images source
 - Selon la netteté et la conservation temporelle des traceurs
 - R^2 mini entre 0.6 et 0.8
 - Enlever les corrélations trop fortes (objets fixes) → R^2 maxi = 0.98
- Filtre sur les vitesses
 - But : enlever les vecteurs aberrants
 - Filtre sur norme et sur les composantes V_x et V_y
 - Attention à ne pas être trop restrictif !!

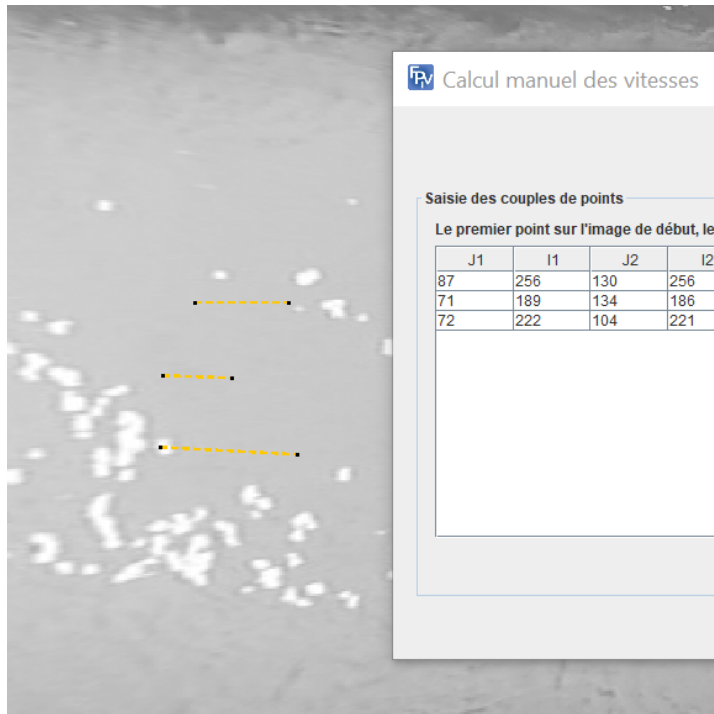


Δt



LSPIV : MESURE DE VITESSE

- **Nouveau! (version 1.9) : relevé manuel des vitesses (manual tracking)**
 - L'utilisateur peut sélectionner la position de n'importe quel traceur dans n'importe quelle paire d'images de la séquence (en avant ou en arrière)
 - Les vitesses déterminées manuellement sont utiles :
 - pour vérifier que les vitesses déterminées automatiquement par PIV dans une zone de l'écoulement sont réalistes
 - Pour paramétrer la taille de la SA
 - Ces vitesses « manuelles » ne sont pas encore exploitables pour compléter le champ de vitesse moyen ni calculer le débit



Calcul manuel des vitesses

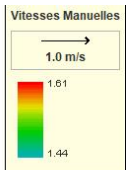
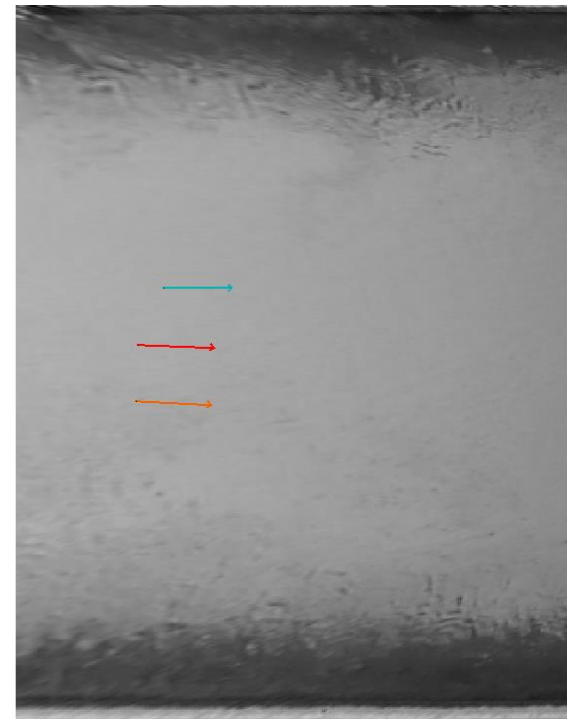
Saisie des couples de points

Le premier point sur l'image de début, le deuxième sur l'image de fin

J1	I1	J2	I2	Image 1	Image 2
87	256	130	256	Image0021	Image0024
71	189	134	186	Image0012	Image0016
72	222	104	221	Image0016	Image0018

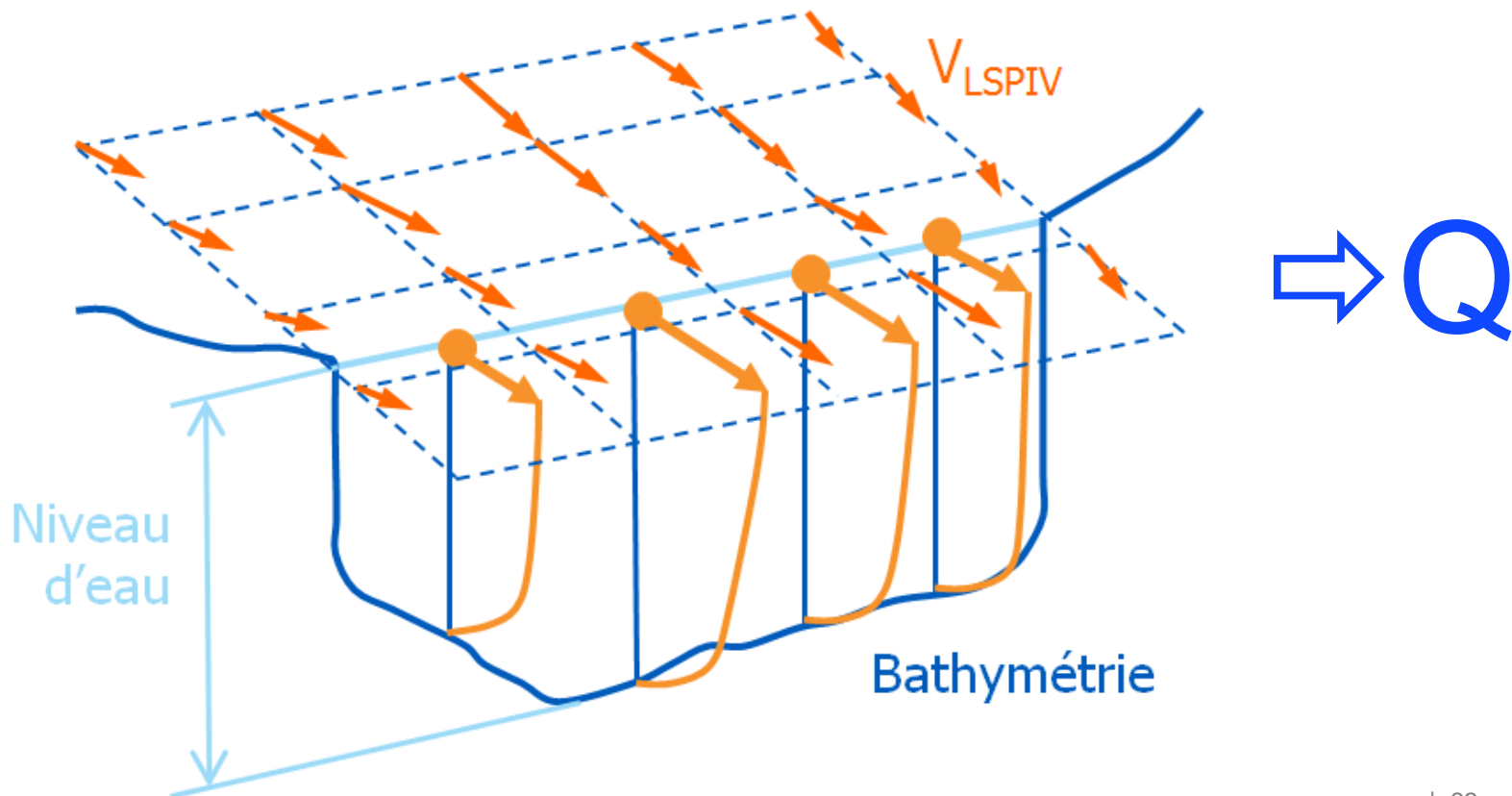
Saisir un couple Supprimer

✓ Valider ✗ Annuler



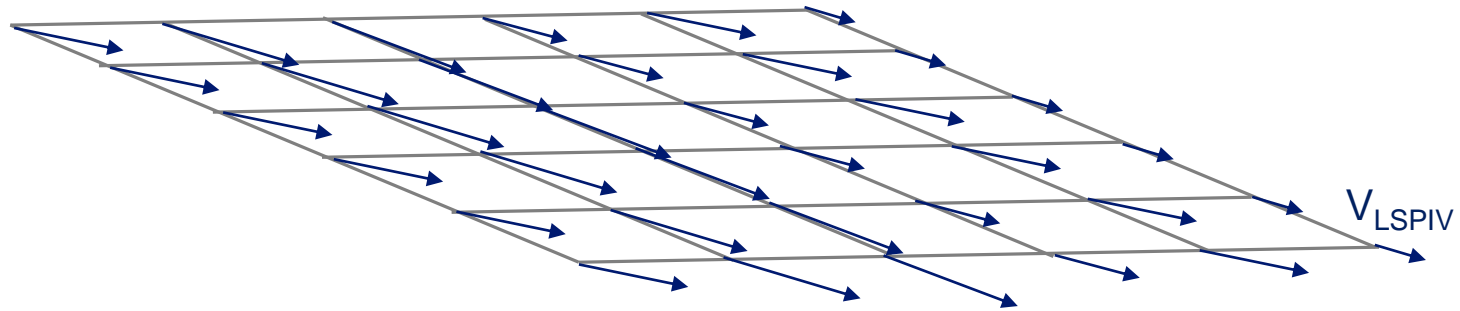
LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

4. Cadeau Bonus : Calcul du débit
 - Connaissant la bathymétrie de une (ou plusieurs) sections en travers
 - Incluse(s) dans la zone imagée...
 - Pour chaque point de profondeur connue, on associe une vitesse de surface V_{surf}
 - Calculée à partir des vitesses LSPIV les plus proches
 - On calcule la vitesse moyennée sur la profondeur $V_{moy} = \alpha * V_{surf}$
 - α dépend de la rugosité ($0.7 < \alpha < 0.9$, en général)
 - On calcule le débit par la méthode de la section médiane



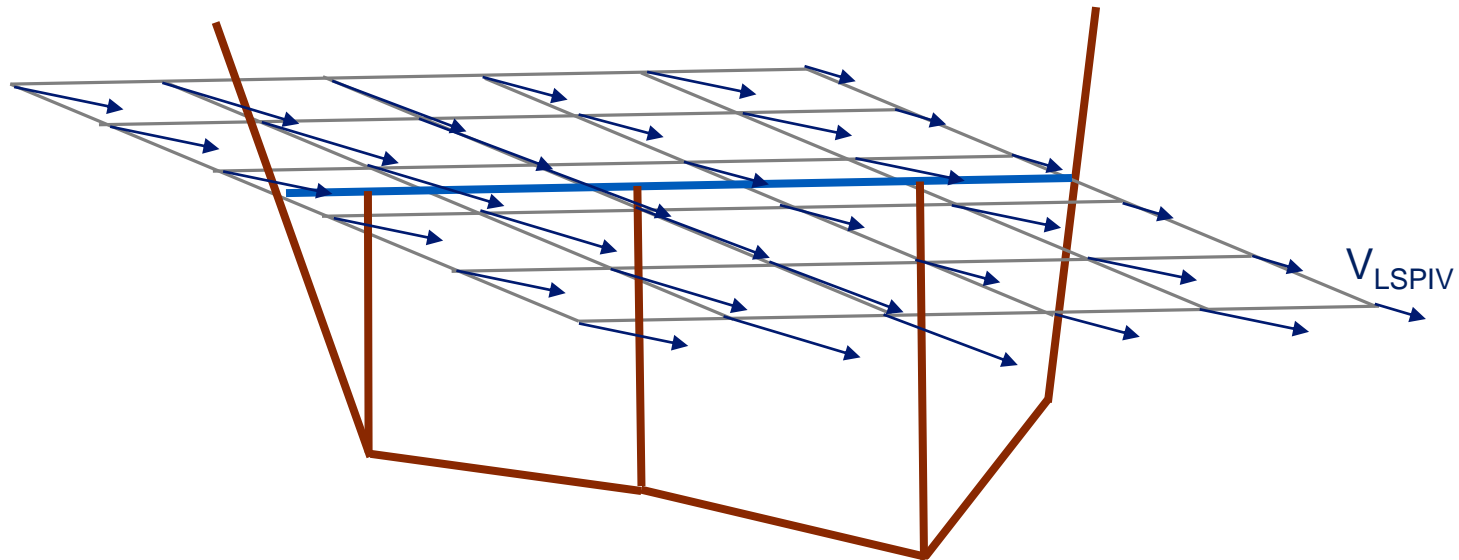
LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

- Calcul du débit
 - LSPIV → vitesses de surface moyennées



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

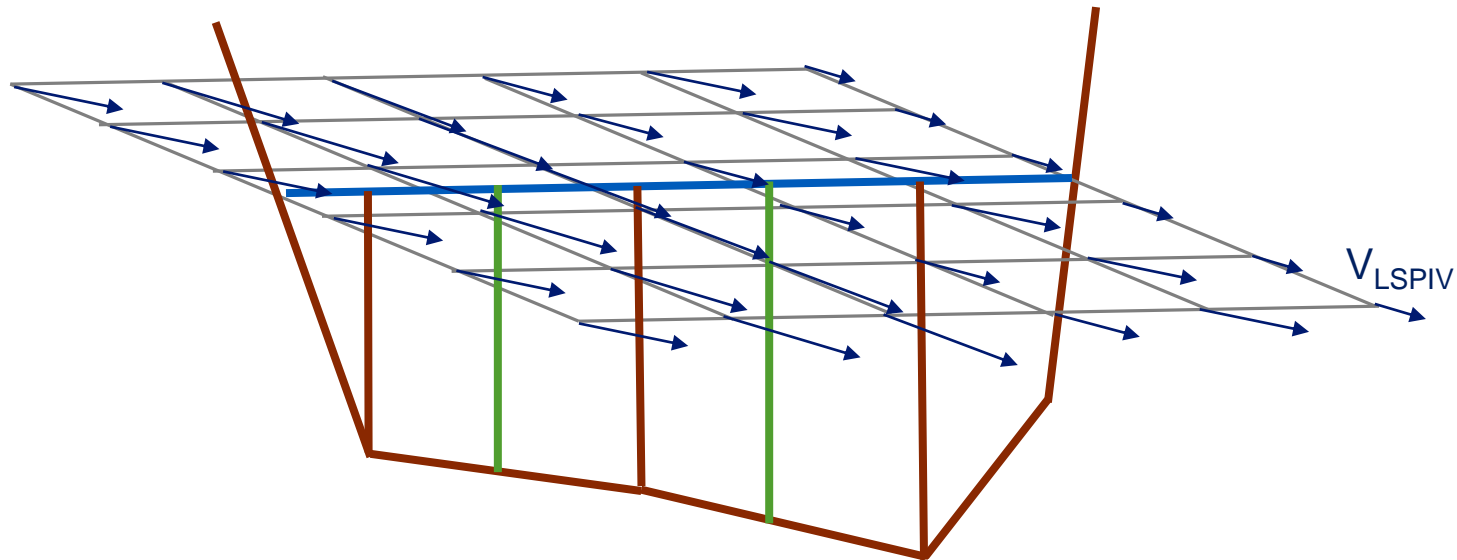
- Calcul du débit
 - LSPIV → vitesses de surface moyennées
 - Affectation d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

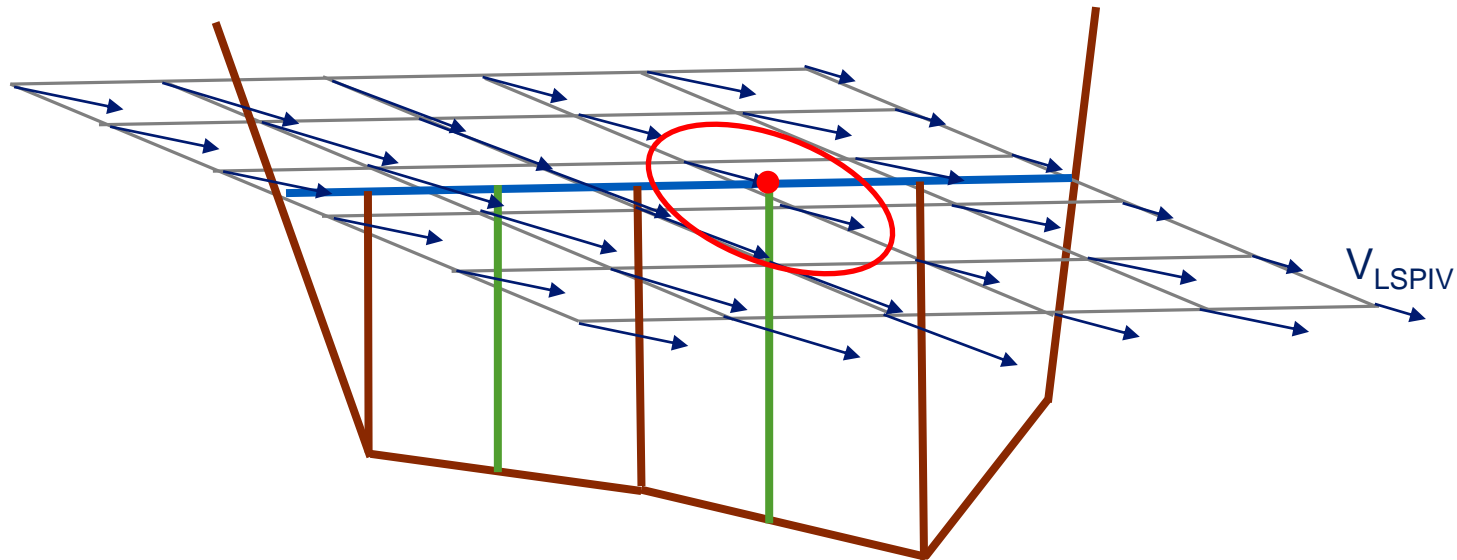
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Affectation d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

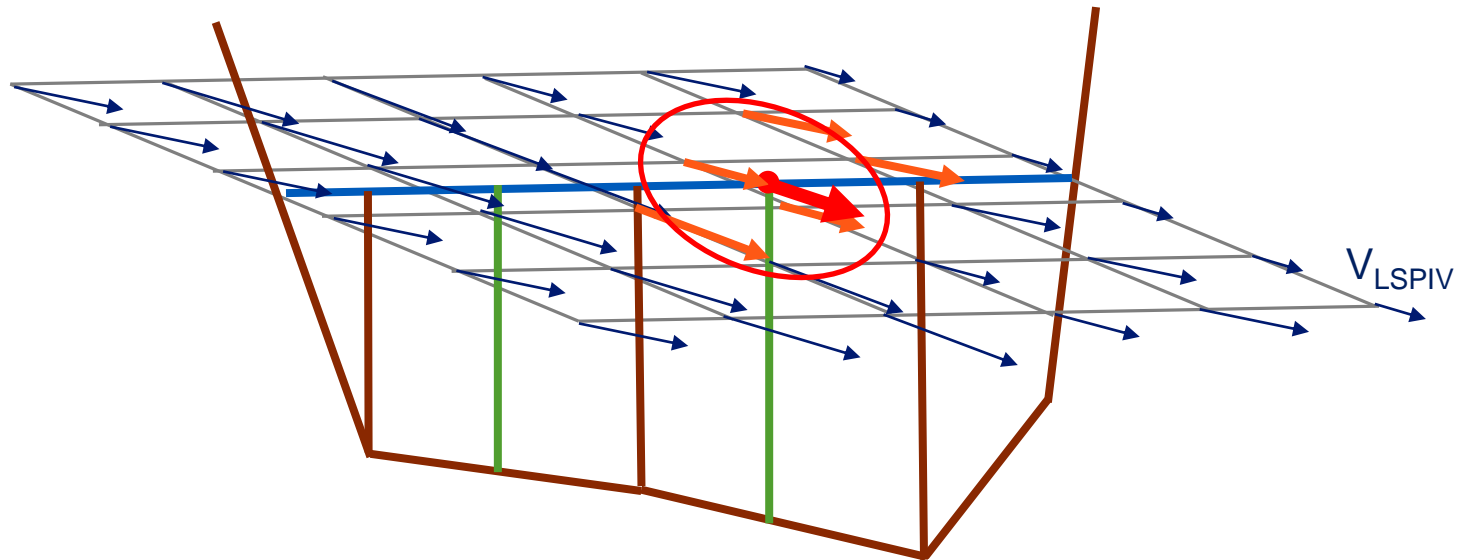
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Affectation d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - Vitesse de surface = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans une ellipse de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

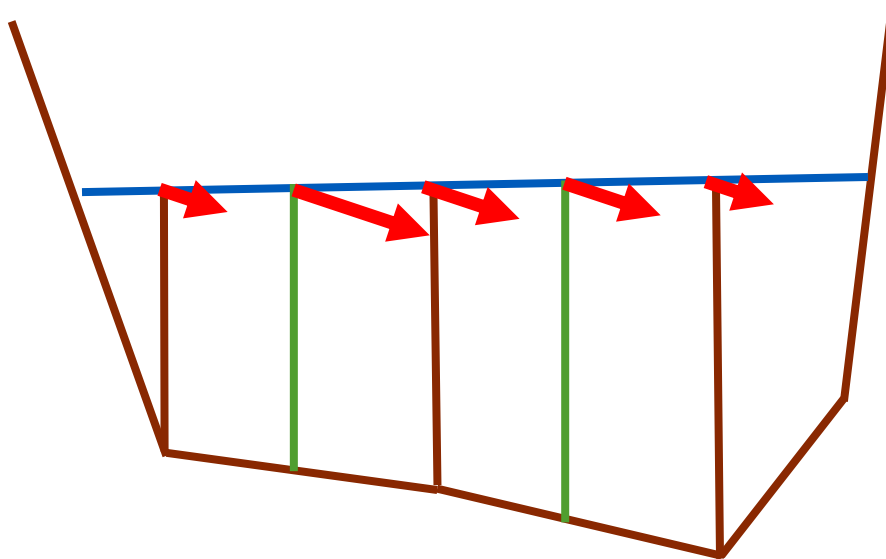
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Affectation d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - Vitesse de surface = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans une ellipse de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

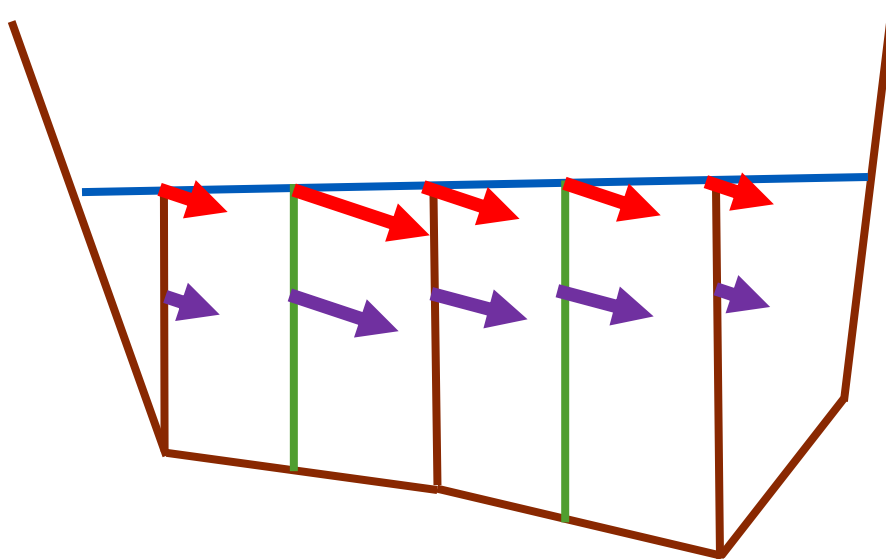
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Calcul d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - **Vitesse de surface** = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans une ellipse de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

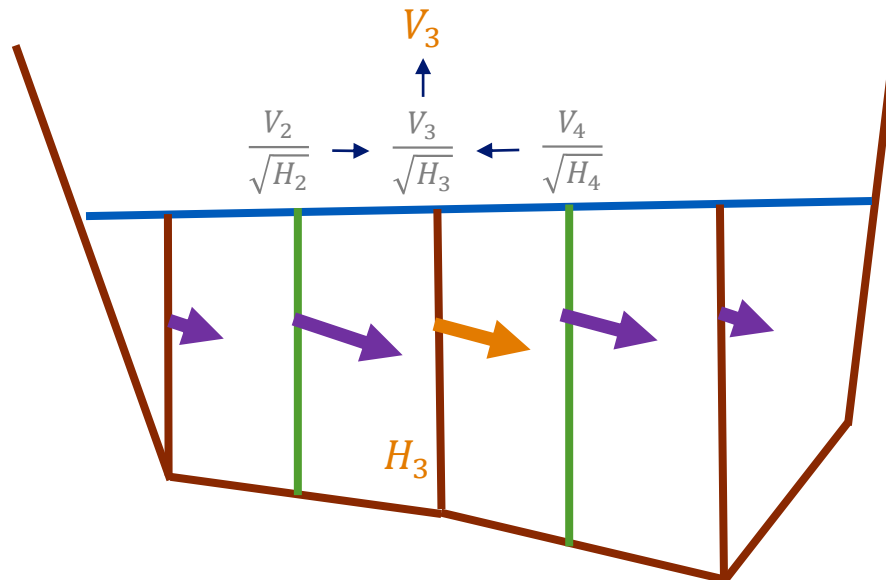
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Calcul d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - **Vitesse de surface** = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans une ellipse de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance
- Calcul d'une **vitesse moyennée sur la profondeur** pour chaque point du transect
 - **Vitesse moyenne** = α * **Vitesse de surface**
 - La valeur du coefficient α peut varier selon les transects (et bientôt, selon chaque point)



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

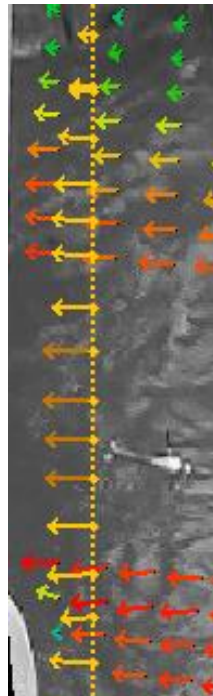
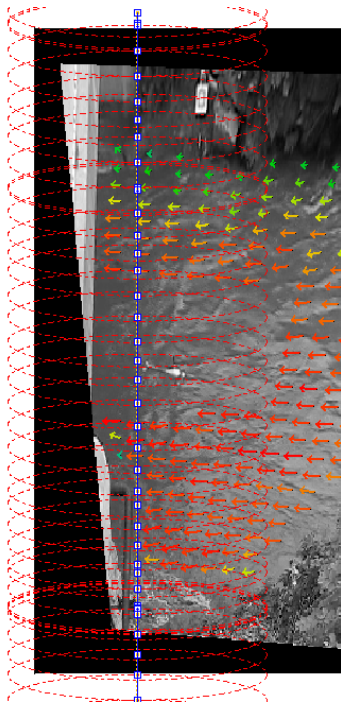
- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Calcul d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - **Vitesse de surface** = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans une ellipse de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance
- Calcul d'une **vitesse moyennée sur la profondeur** pour chaque point du transect
 - **Vitesse moyenne** = α * **Vitesse de surface**
 - Estimation des **vitesses manquantes** : interpolation linéaire du ratio V/\sqrt{H} (= zéro en berge)



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

■ Calcul du débit

- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Calcul d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - **Vitesse de surface** = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans un rayon de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance
- Calcul d'une **vitesse moyennée sur la profondeur** pour chaque point du transect
 - **Vitesse moyenne** = α * **Vitesse de surface**
 - Estimation des **vitesses manquantes** : interpolation linéaire du ratio V/\sqrt{H} (= zéro en berge)



vitesses mesurées

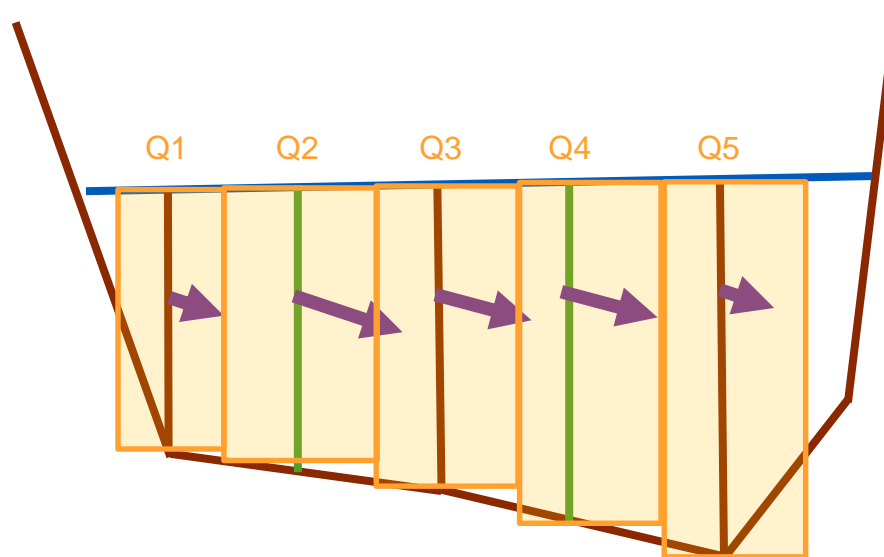
vitesses modélisées

vitesses mesurées

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

▪ Calcul du débit

- LSPIV → vitesses de surface moyennées
- Calcul d'une vitesse de surface pour chaque point de bathymétrie **du transect**
 - Si **échantillonnage bathy trop faible**, on peut **interpoler**
 - Vue de l'hydromètre : espacement bathy = espacement des verticales d'un jaugeage
 - **Vitesse de surface** = moyenne pondérée des vitesses LSPIV comprise dans un rayon de recherche
 - Ellipse définie par ses deux demi-axes R_x et R_y → permet de moyenner dans le sens de l'écoulement
 - Moyenne des (max) 3 vitesses les plus proches; Pondération = inverse carré distance
- Calcul d'une **vitesse moyennée sur la profondeur** pour chaque point du transect
 - **Vitesse moyenne** = α * **Vitesse de surface**
- Calcul du débit par la méthode de la **section médiane**
 - Débit partiel = vitesse normale au transect x largeur x profondeur



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

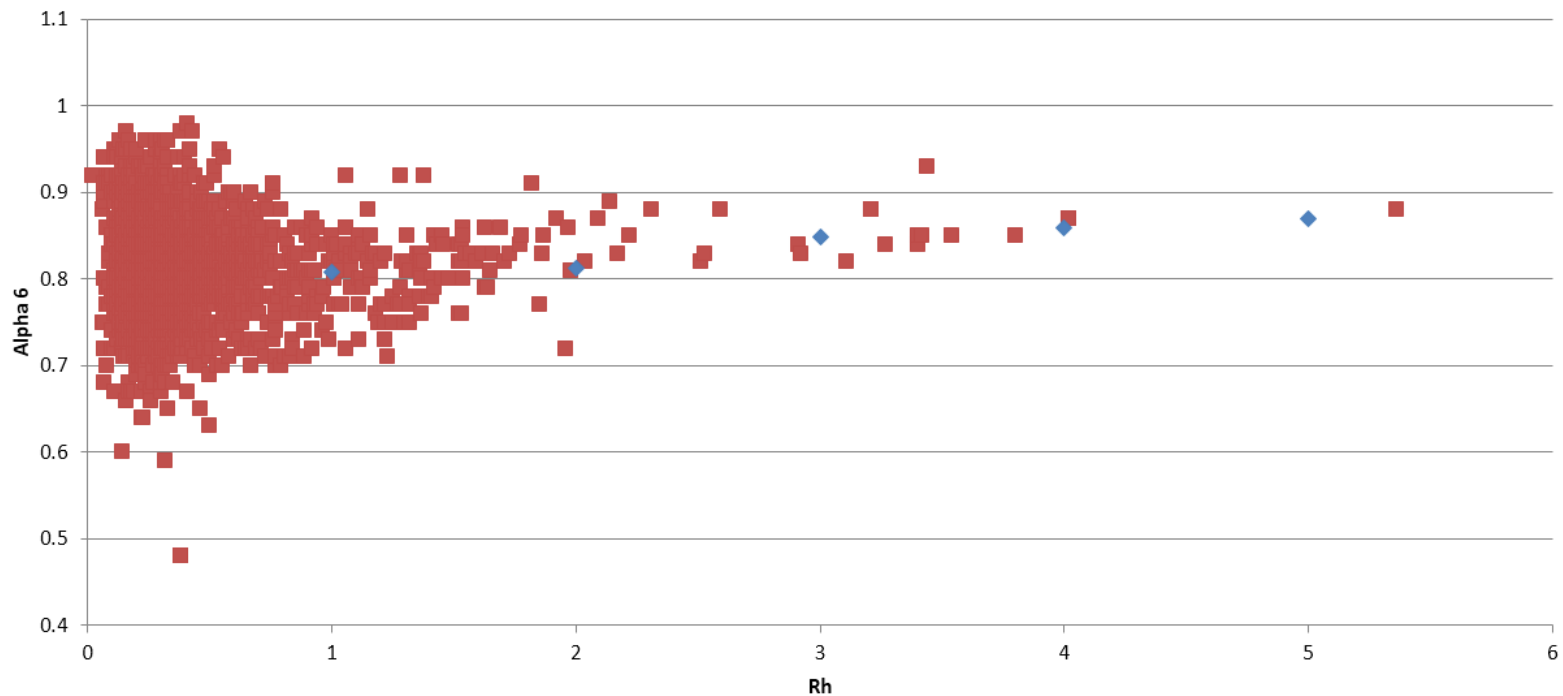
■ Calcul du débit

□ Vitesse moyenne = α * Vitesse de surface

→ Comment connaître α ?

- Des valeurs empiriques ont été documentées par différents auteurs

– retours EDF-DTG sur 3000 jaugeages point par point (Hauet et al. 2018)



- Estimation à partir de la rugosité de la rivière :
 - Canal à fond béton : $\alpha = 0.9$ (0.85 à 0.95)
 - Lit mineur habituel : $\alpha = 0.85$ (0.8 à 0.9)
 - Lit majeur ou mineur très rugueux : $\alpha = 0.75$ (0.7 à 0.8)

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

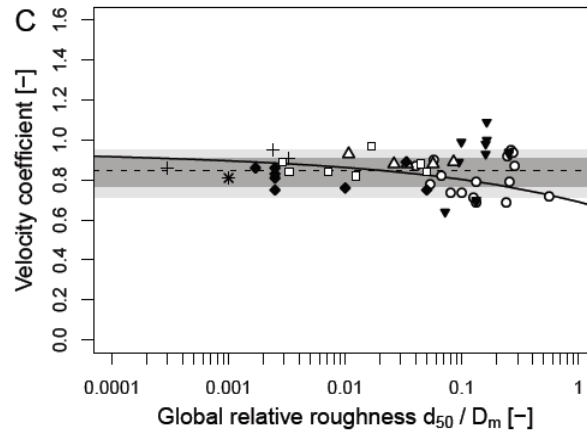
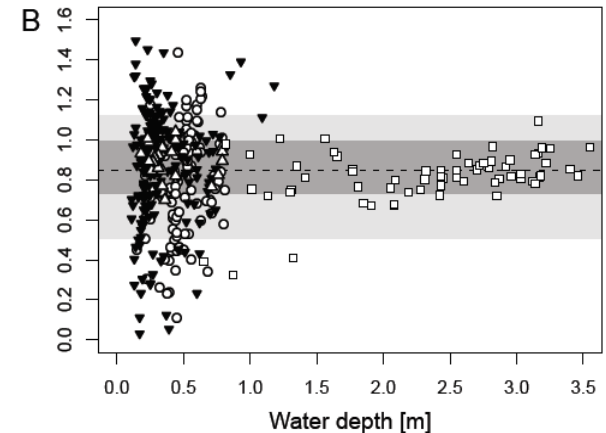
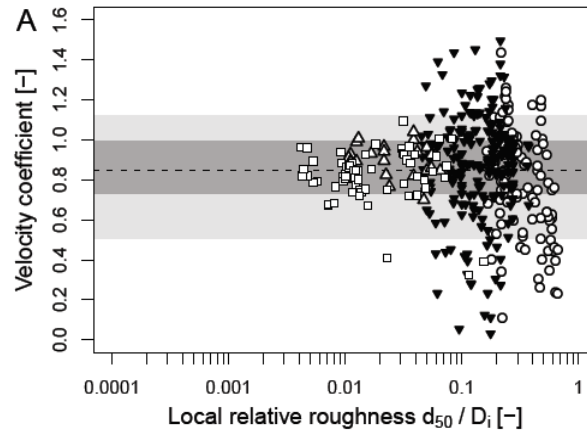
□ Vitesse moyenne = α * Vitesse de surface

→ Comment connaître α ?

- Des valeurs empiriques ont été documentées par différents auteurs

Les coefficients locaux sont d'autant plus dispersés que le rapport rugosité / profondeur est grand.

Les coefficients moyens (par section) sont bien moins dispersés.



- Shallow mountain streams (a): Casies, Noce, Drava, Rienza, Neste, Giffre, Eau d'Olle, Vence, Salat, Arc-en-Maurienne, Volane
- ▼ Braided river anabranches (b): Tagliamento
- △ Semiarid/arid climate streams (c): Eshtemoa, Ein Fesh'ha
- Large piedmont rivers (d): Adige, Rhône, Isère, Ardèche, Ain
- ◆ Small lowland rivers (e): Bienne, Palhère, Bourbre, Ratier, Charbonnières
- +
- Large lowland rivers (f): Garonne, Saône
- * Artificial channels (g): Mezzocorona

Welber et al. (2016)

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

- Vitesse moyenne = α * Vitesse de surface
- Lien entre α et le profil vertical de vitesse

• Profil logarithmique

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \frac{z}{z_0}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} = \sqrt{ghS} \quad K = 0.41 \quad z_0 = \frac{k_s}{10}$$

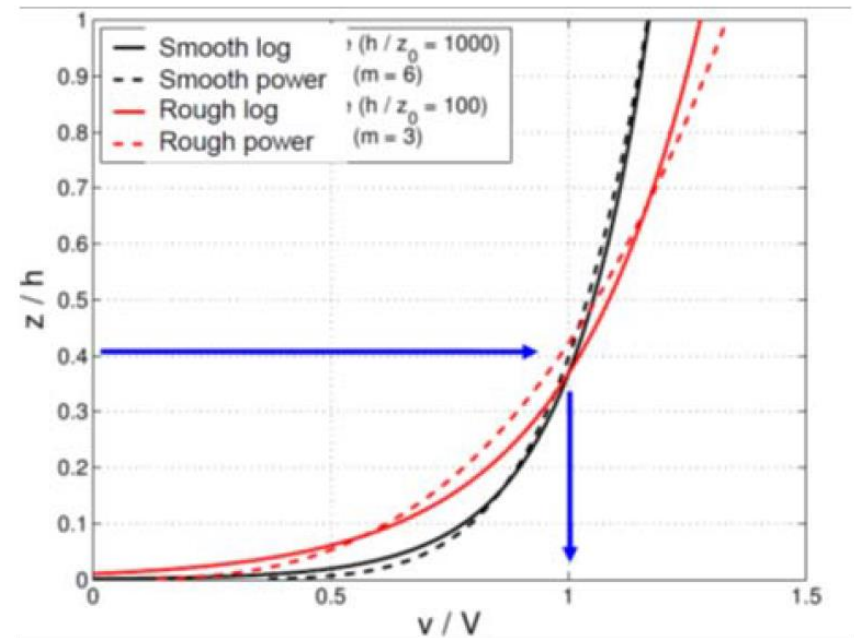
U_* : Vitesse de cisaillement

S : Pente du fond

κ : Constante de Von Karman

k_s : Hauteur de rugosité

$$\alpha_{\log} = \frac{V_m}{V_{surface}} = \frac{h}{h - z_0} - \left[\ln \frac{z}{z_0} \right]^{-1}$$



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

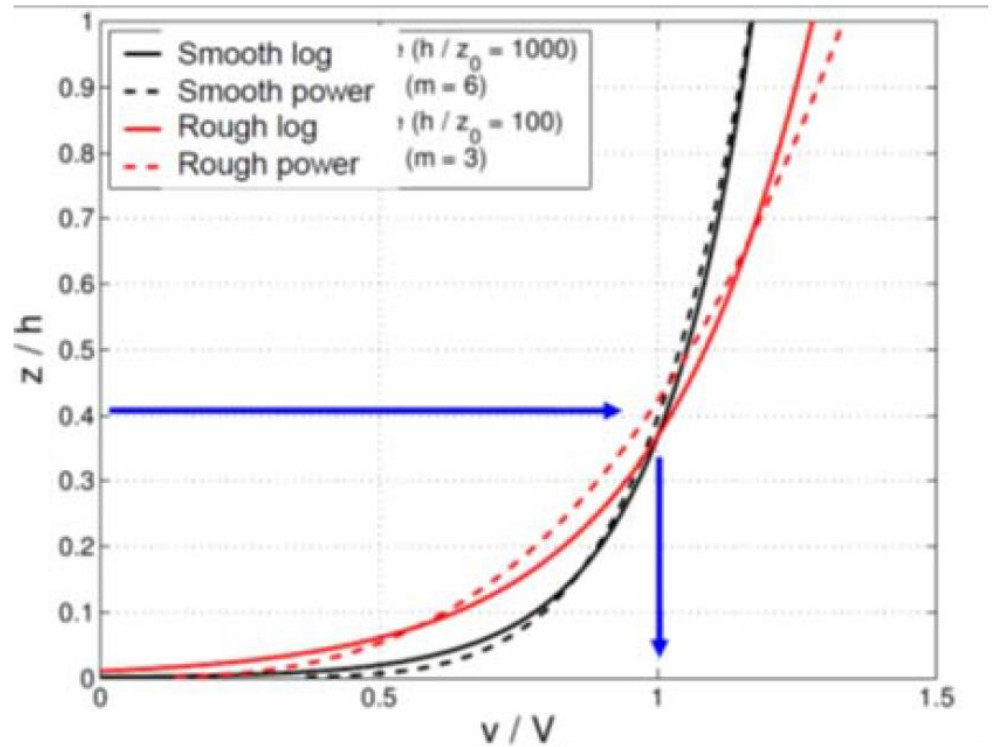
- Vitesse moyenne = α * Vitesse de surface
- Lien entre α et le profil vertical de vitesse

- Profil puissance = approximation pratique du profil log

$$\frac{u(z)}{V_{Surface}} = \left(\frac{z}{h} \right)^{1/m}$$

m : Paramètre de rugosité

$$\alpha_{power} = \frac{V_m}{V_{surface}} = \frac{m}{m+1}$$



LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

□ Vitesse moyenne = α * Vitesse de surface

→ Lien entre α et le profil vertical de vitesse

$$\alpha = \frac{m}{m + 1}$$

Estimation rapide de α selon la norme ISO 748

	normal	lisse	rugueux	très rugueux	valeurs extrêmes
m	6~7	10	4	2~3	
α	0.86 ~ 0.87	0.91	0.80	0.67 ~ 0.75	0.60 ~ 1.2

Valeur par défaut : $\alpha = 0.85$

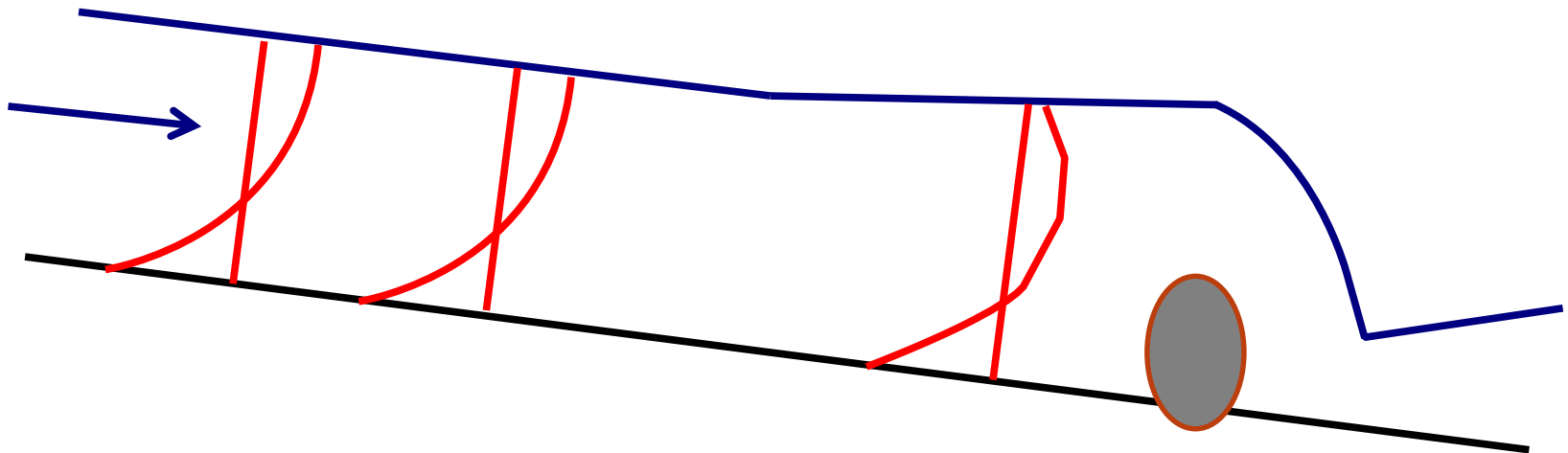
*Mais tout ceci ne vaut que pour un écoulement
uniforme pleinement développé!!*

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

- $V_{\text{moyenne}} = \alpha * V_{\text{surface}}$
- Lien entre α et le profil vertical de vitesse

- En écoulement non uniforme :
 - Le coefficient est souvent plus élevé (mais pas toujours!)
 - Typiquement :
 - À l'amont d'un seuil ou d'obstacles
 - À l'amont d'un resserrement (pont par exemple)

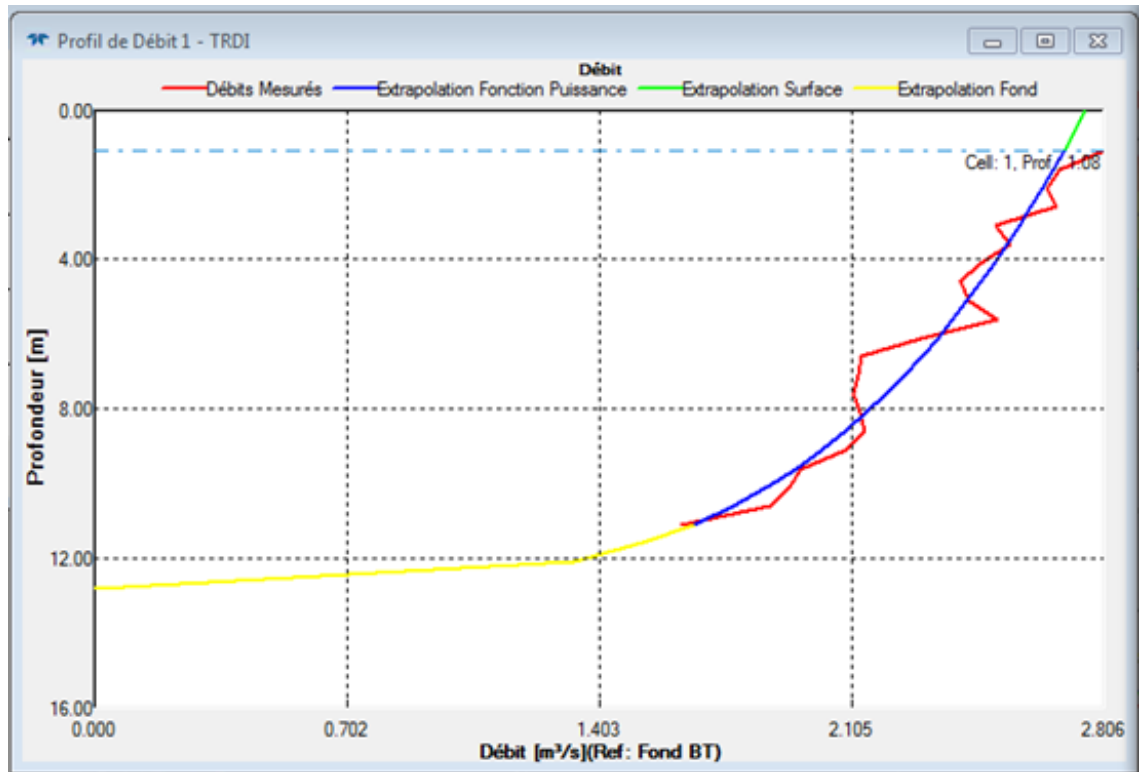


LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

Calcul du débit

- $V_{\text{moyenne}} = \alpha * V_{\text{surface}}$
- Lien entre α et le profil vertical de vitesse

- Le coefficient peut être estimé à partir de l'exposant de la loi puissance (logiciels ADCP, QRevInt...)
- Ou comme le ratio $V_{\text{moy}}/V_{\text{surf}}$ (par exemple, affiché dans Barème)



Exposant ADCP	= 1/m	= 0.1667	0.25	0.10
Coefficient LSPIV	= m/(m+1)	= 0.86	0.80	0.91

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

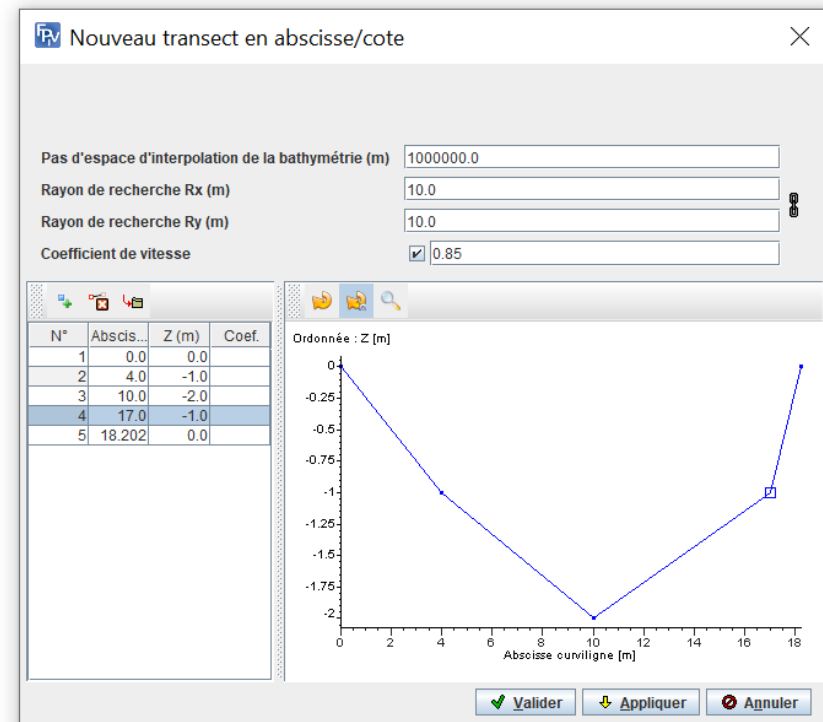
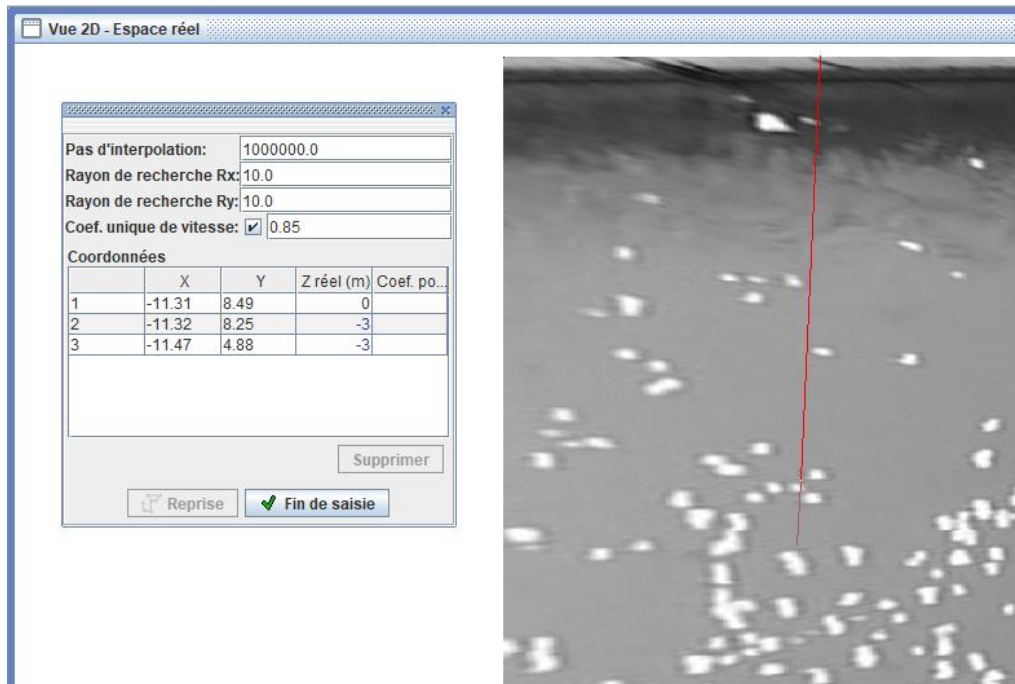
■ Définition d'un transect bathymétrique :

□ Saisie ou import des coordonnées XYZ des points du transect

- Z est la cote du fond (pas la profondeur d'eau!)
- Les coordonnées XYZ doivent être exprimées dans le même repère que les GRP et le niveau d'eau
- Les points vont de la rive gauche vers la rive droite : possibilité d'inverser un transect

□ Nouveau ! (version 1.9) : saisie ou import d'un transect en abscisse-cote

- Définition du point d'origine et de la direction du transect (par un second point)
- Les coordonnées XY sont recalculées à partir des abscisses le long du transect



Avec le mode « transect abscisse-cote », un décamètre et une perche graduée suffisent pour lever les transects.

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

■ Paramètres à définir sur chaque transect :

- Pas d'interpolation de la bathymétrie, le long du transect
 - Des points sont ajoutés pour réduire l'écartement entre les points du transect
- Rayons Rx et Ry des ellipses de recherche, selon les axes X et Y
- Coefficient de vitesse : soit une valeur unique pour le transect, soit une valeur par point
 - Si aucune valeur n'est saisie pour un point, elle sera interpolée à partir des coefficients adjacents

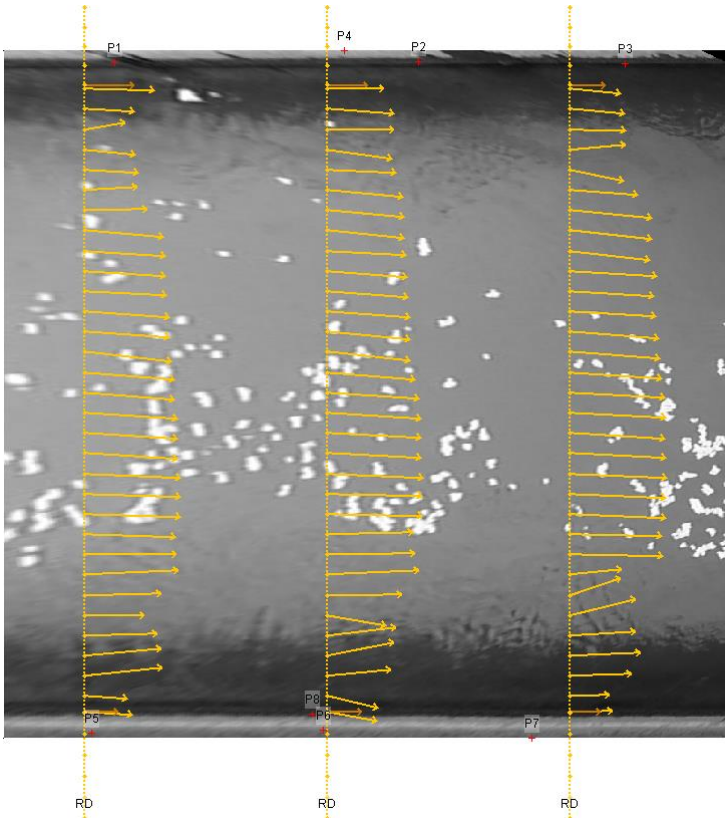
The screenshot displays the 'Transects' window in the LSPIV software. On the left, a bathymetric map shows a vertical transect with red dashed ellipses representing search areas. The transect is labeled with 'P1' at the top and 'RD' at the bottom. The data table on the right lists 26 points along the transect, with columns for Index, X, Y, Z réel (m), Coef. ponctue..., and Label. The 'Coef. ponctue...' column contains values of 0.9 for most points, with some points (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25) having a value of -4.25. The 'Label' column contains 'RG' for the first point and is empty for the others.

Index	X	Y	Z réel (m)	Coef. ponctue...	Label
1	-13	9	1	0.9	RG
2	-13	8.76	1	0.9	
3	-13	8.53	1	0.9	
4	-13	8.29	1	0.9	
5	-13	8.05	1	0.9	
6	-13	8	-4.25	0.9	
7	-13	7.75	-4.25	0.9	
8	-13	7.5	-4.25	0.9	
9	-13	7.25	-4.25	0.9	
10	-13	7	-4.25	0.9	
11	-13	6.75	-4.25	0.9	
12	-13	6.5	-4.25	0.9	
13	-13	6.25	-4.25	0.9	
14	-13	6	-4.25	0.9	
15	-13	5.75	-4.25	0.9	
16	-13	5.5	-4.25	0.9	
17	-13	5.25	-4.25	0.9	
18	-13	5	-4.25	0.9	
19	-13	4.75	-4.25	0.9	
20	-13	4.5	-4.25	0.9	
21	-13	4.25	-4.25	0.9	
22	-13	4	-4.25	0.9	
23	-13	3.75	-4.25	0.9	
24	-13	3.5	-4.25	0.9	
25	-13	3.25	-4.25	0.9	
26	-13	3	-4.25	0.9	

LSPIV : CALCUL DU DÉBIT

■ Assurer un bon calcul de débit :

- Écoulement le plus régulier possible – Hydraulique simple
 - Éviter les phénomènes « spectaculaires » (remous importants, cascades, ressauts hydrauliques...)
- Tronçon de rivière avec un fond dur et stable fait de roches ou de gros galets si possible
 - qui sera le moins possible modifié pendant la crue du fait de l'érosion et de la sédimentation.
- La localisation ainsi que la date et l'heure de l'enregistrement doivent être connues précisément.
- Utiliser plusieurs transects : vérifier la cohérence des débits, moyenne plus robuste



Calcul terminé avec succès

Niveau d'eau (m):

Liste des transects

N°	Coef. vitesse	Q total (m³/s)	Ecart (%)	Aire mouillée (m²)	Ecart (%)	Vit. moy. (m/s)	Ecart (%)	Q mesuré / Q total (%)
1	0.900	32.688	-0.4	32.837	+0.0	0.995	-0.4	99.954
2	0.900	33.367	+1.7	32.837	+0.0	1.016	+1.7	99.961
3	0.900	32.400	-1.3	32.837	+0.0	0.987	-1.2	99.963
Moyenne	0.900	32.818	+0.0	32.837	+0.0	0.999	+0.0	99.959

LSPIV : ET POUR QUOI FAIRE ??

■ Des avantages

- Mesure non intrusive, rapide (qq secondes)
- Mesure de champ de vitesse 2D sur de grandes surfaces

■ Des inconvénients

- Mesure dans le visible : pas la nuit, sauf éclairage (ou en TIR)
- Suivi de motifs : il faut des traceurs (naturels ou artificiels)
- Mesure de débit plus incertaine que les méthodes intrusives

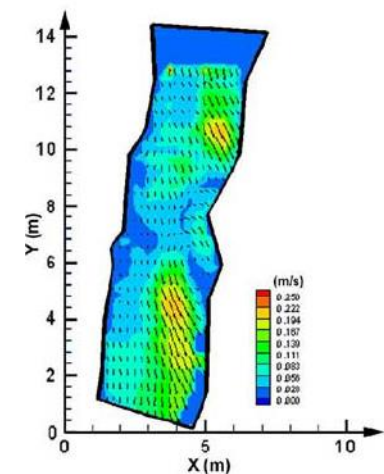
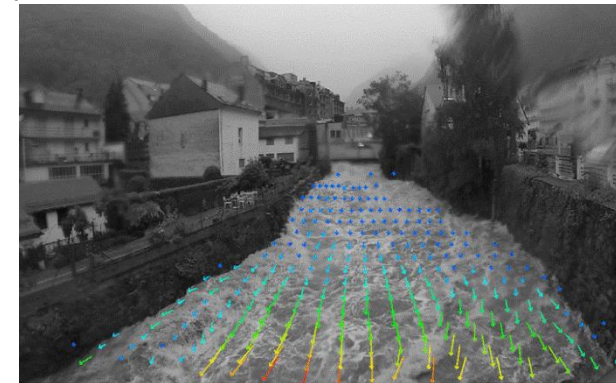
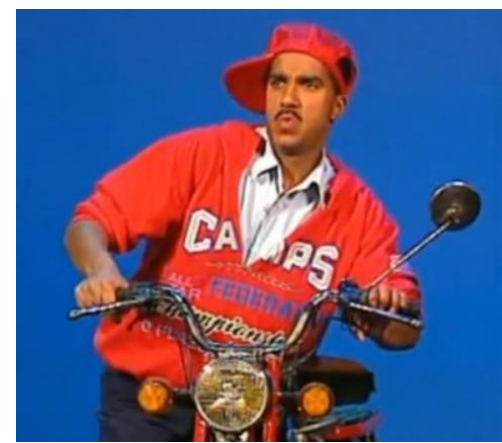
■ Applications :

□ Débitmétrie en crue :

- Stations LSPIV fixes
- Mesures ponctuelles en crue
- Utilisation de films de témoins
- Intérêt du non-intrusif et de la rapidité de la mesure

□ Courantométrie :

- Intérêt de la mesure de vitesses 2D sur une grande surface pour écoulements complexes et calage de modèles 2D ou 3D
- Enjeux piscicoles
- Transport sédimentaire



LOGICIEL DE DÉPOUILLEMENT FUDAA-LSPIV

▪ Développement EDF - Inrae et implémentation par DeltaCAD

- Solveurs Fortran (parallélisés) développés par EDF and Irstea
- IHM Java développé par DeltaCAD (depuis 2009)



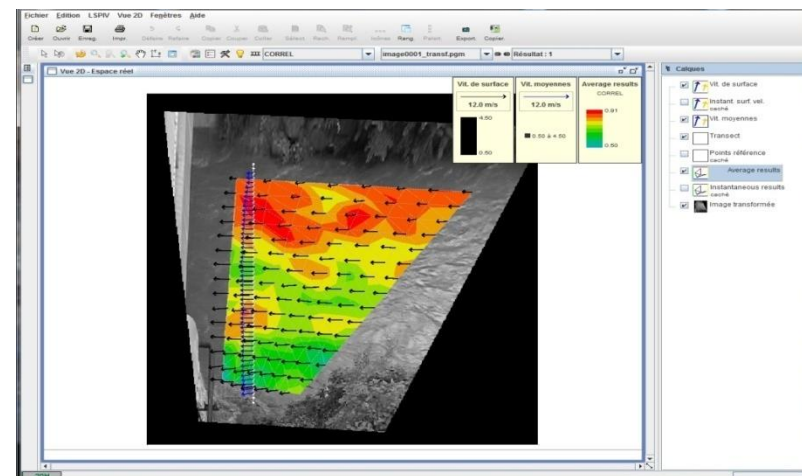
▪ Partage de la méthode et du logiciel

- Logiciel gratuit et libre sous licence GPL (open-source)
- Versions Windows et Linux
- Accessible par une forge (<https://forge.irstea.fr/projects/fudaa-lspiv>)
- Version Française et Anglaise



▪ Historique des développements

- Thèse A. Hauet en 2006 : scripts Fortran en ligne de commande
 - Pour les initiés...
- Soft Matlab Mat_LSPIV en 2008 :
 - IHM Matlab
 - Problèmes Matlab : lenteur calcul, logiciel payant, versions...
- Sortie de Fudaa-LSPIV v.1.0 en 2009
- Dernière sortie : version 1.9.2 en mai 2022 !
- Version script pour stations fixes disponible
- Budget total de 180k€ (EDF / INRAE) pour 21 lots
- Prise en compte des besoins / retours utilisateurs
 - Exprimez vous vendredi matin !



LOGICIEL DE DÉPOUILLEMENT FUDAA-LSPIV

□ Un logiciel éprouvé !

- Calculs et applications publiés dans de nombreux articles de revues scientifiques
- Plus de 30 articles en revue internationales à comité de lecture avec Fudaa-LSPIV
- Utilisé par de nombreux services opérationnel et laboratoires de recherche

□ Une équipe de développeurs.euses impliqué.e.s

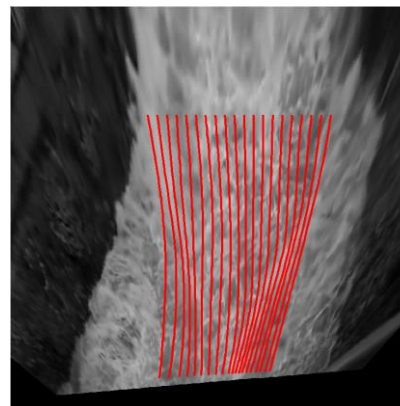
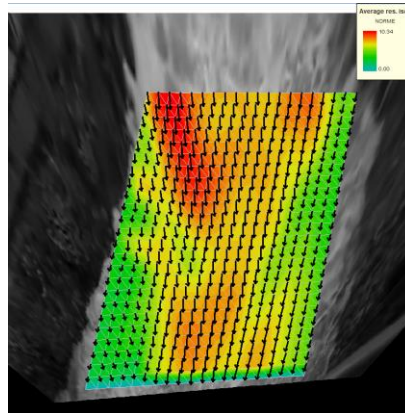
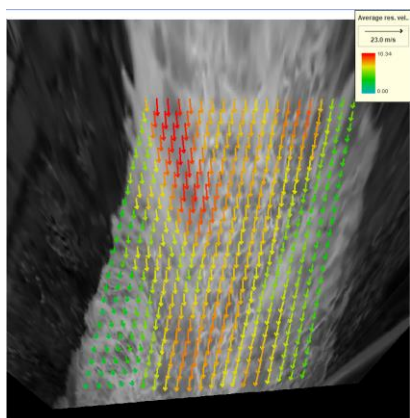
- 6 développeurs (chercheurs, hydromètres, ingénieurs, informaticiens)
- On vous répond gratuitement et aussi rapidement que possible
- Journées utilisateurs annuelles (vous y êtes !)

□ Un logiciel complet et détaillé

- Rien n'est caché – pas d'effet boîte noire
- L'utilisateur peut tout paramétrer (calcul / filtres) → c'est aussi une difficulté du logiciel...
- Options de calcul du débit avancées:
 - Extrapolation des vitesses non mesurées / calcul de débit multi-transect / α paramétrable par transect ou zone

□ Des sorties graphiques sympas

- Vue 3D, animations vidéos, vecteurs, trajectoires, contour plots...

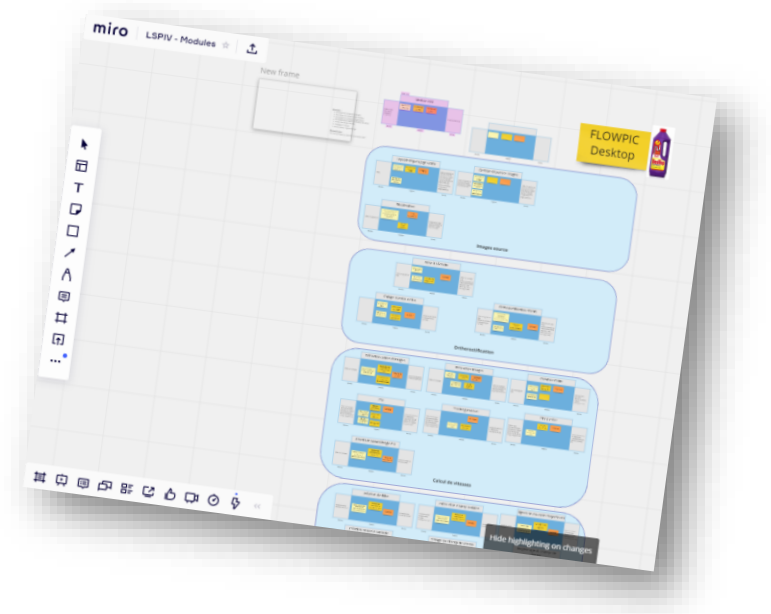


FLOWPIC DESKTOP / APP

- **Réflexion et travail en cours pour changer d'interface logicielle → FlowPic Desktop**
 - Très intéressés par vos retours utilisateurs & besoins

- **Développement d'un appli mobile : prototype en Beta test → RDV vendredi matin pour plus d'info et une démo !**

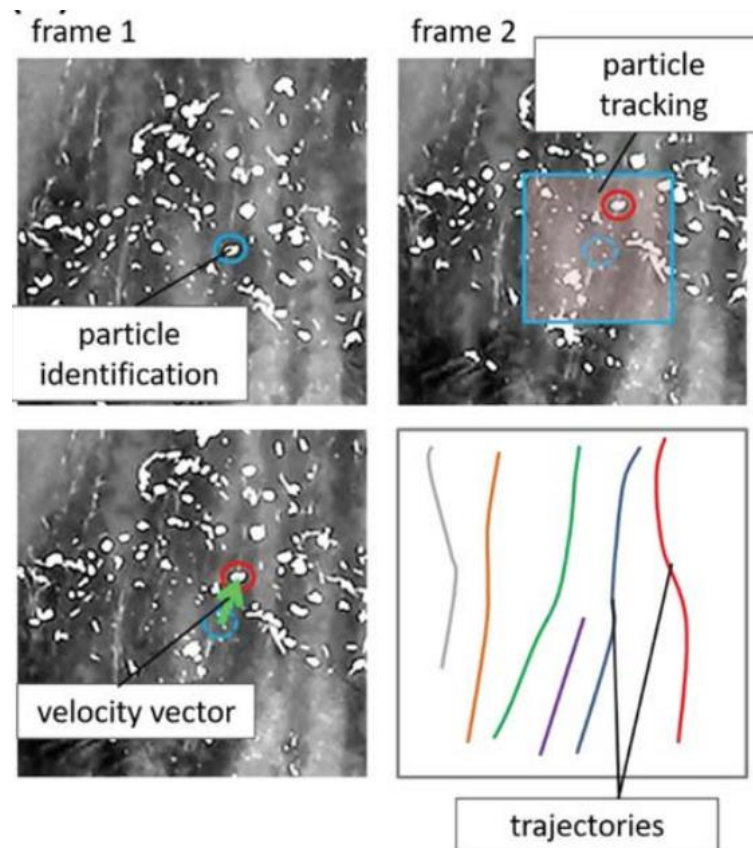
- **Les solveurs LSPIV resteront les mêmes**



LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

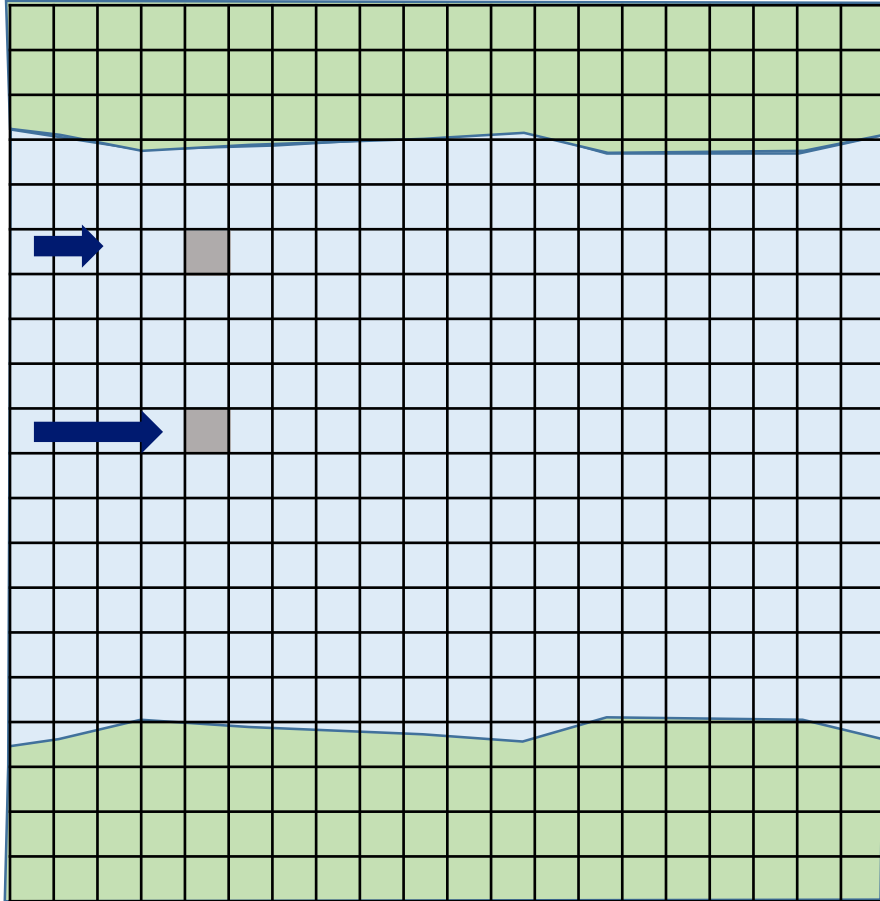
▪ PTV : Particle Tracking Velocimetry

- Identification et suivi de particules individuelles par paire d'images
- Approche Lagrangienne (LSPIV = Eulérienne) → donne des trajectoires
- Besoin de traceurs bien identifiables et non déformables
 - Pas adapté aux traceurs naturels type forme de turbulence
- Bien adapté pour des faibles densité de traceurs



LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites

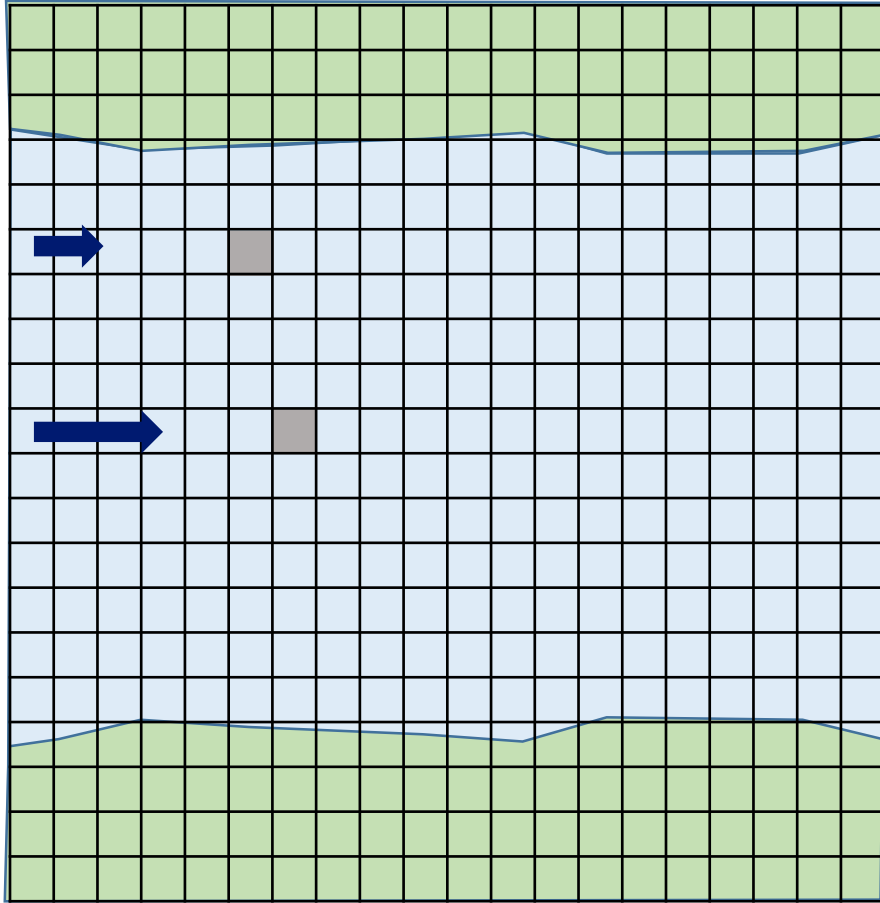


OrthoImage 1



LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

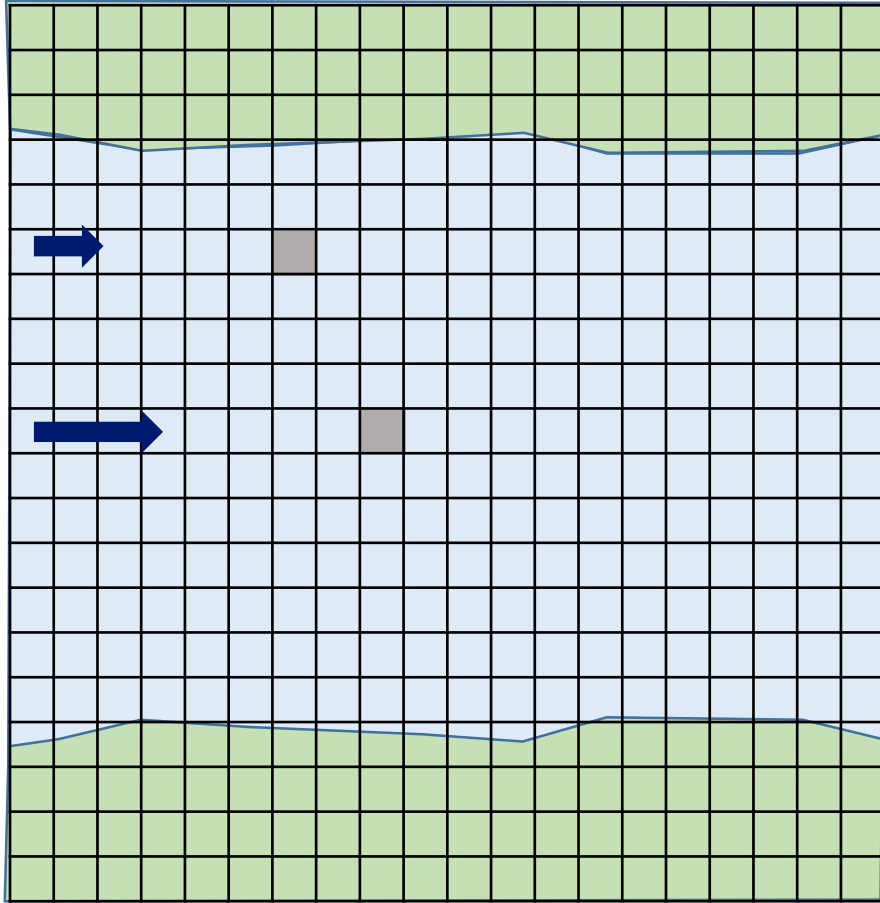
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 2

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

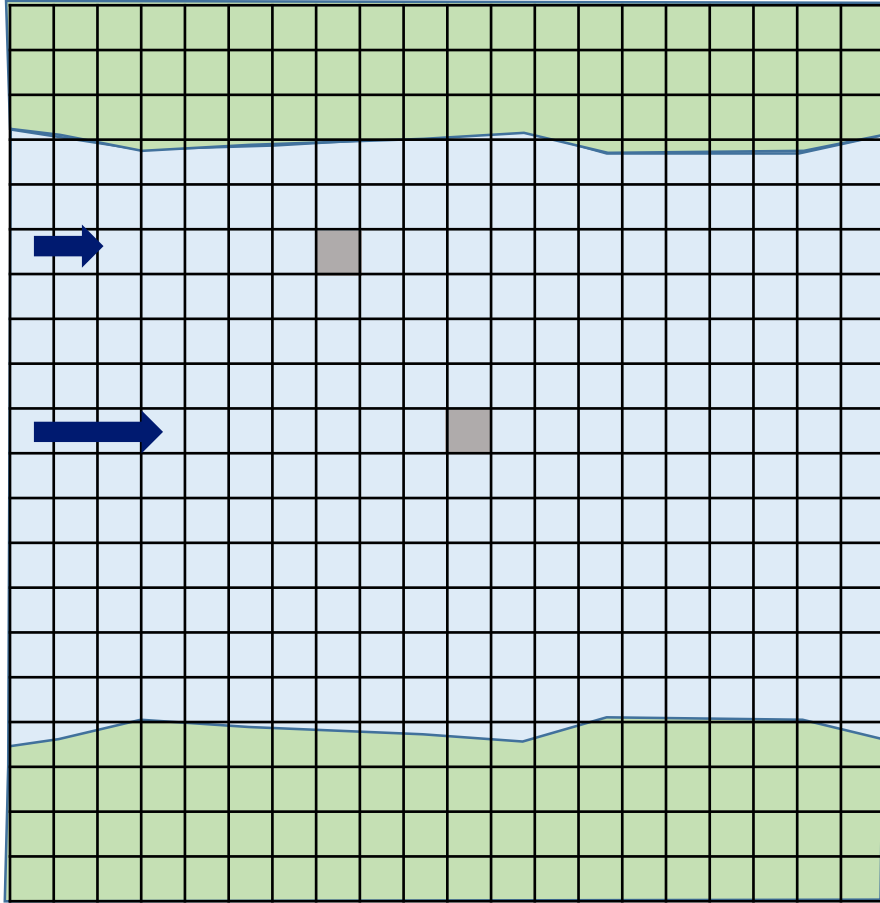
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 3

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

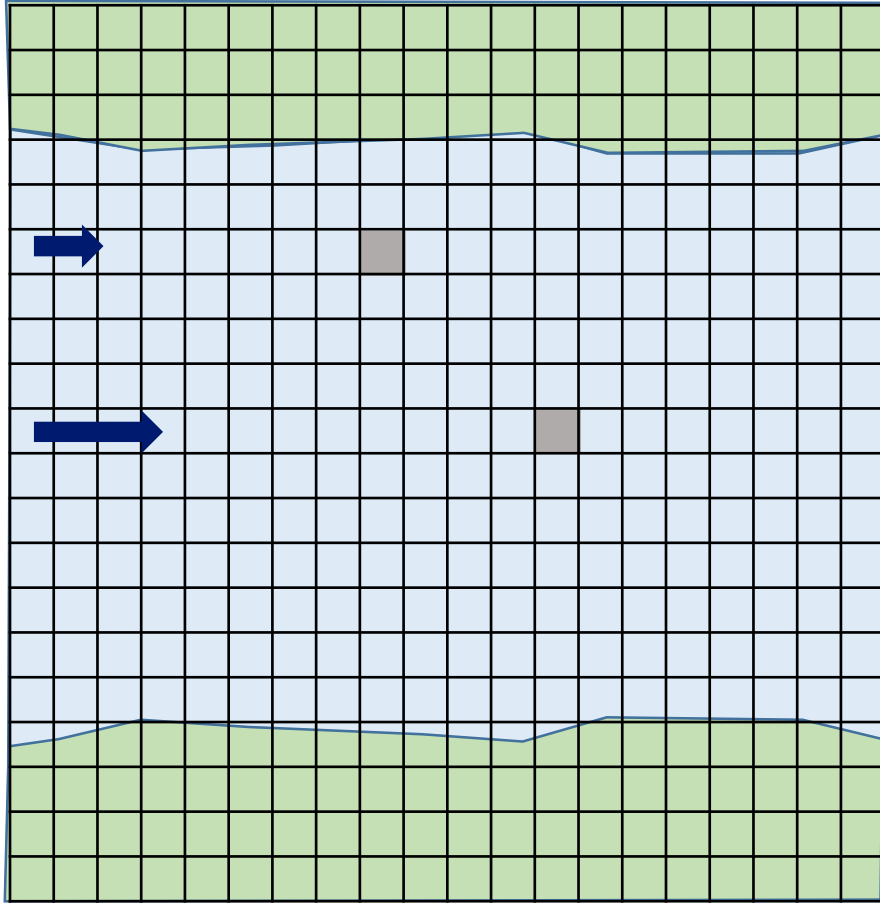
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 4

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

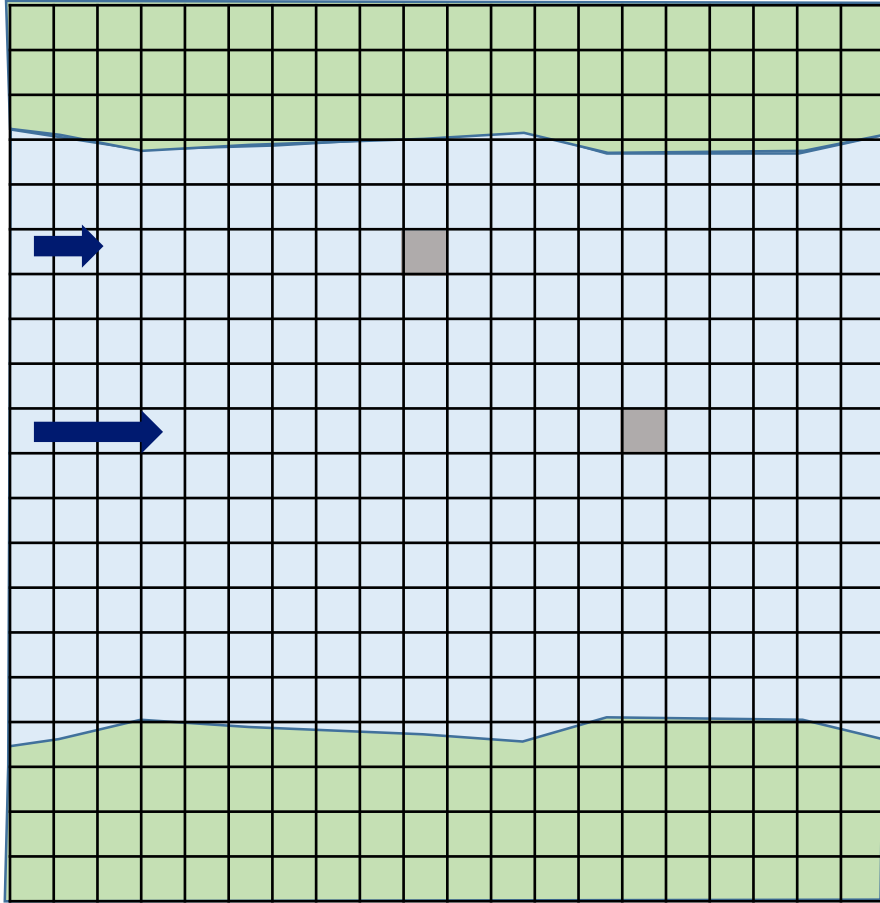
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 5

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

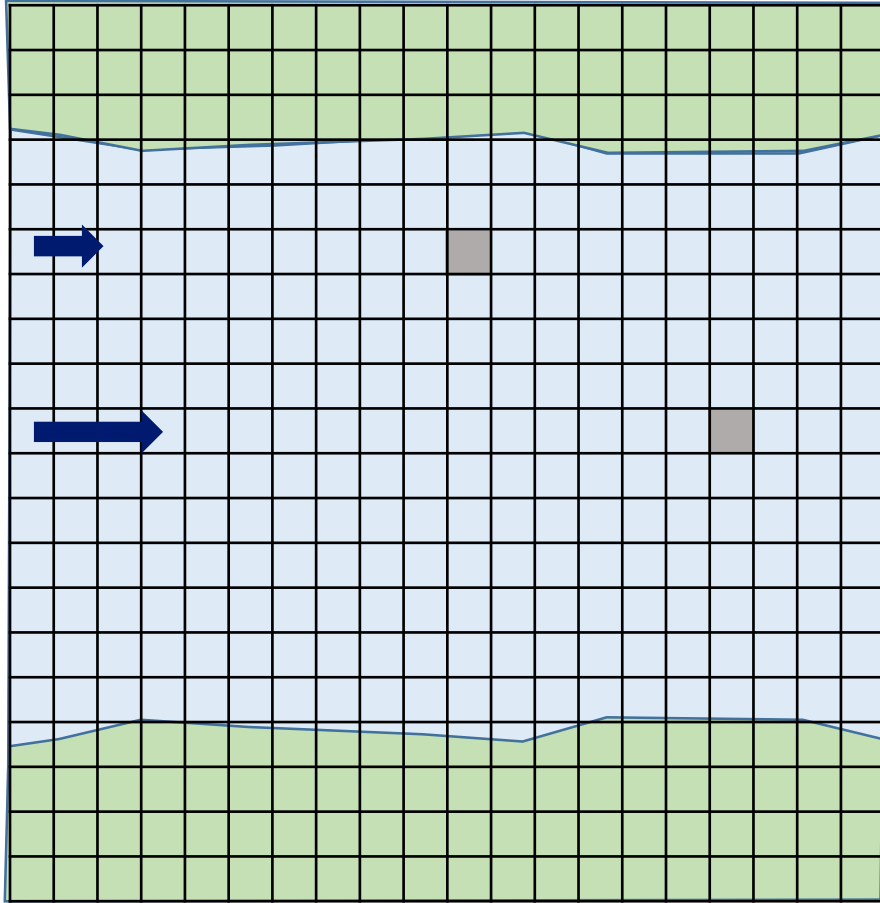
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 6

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

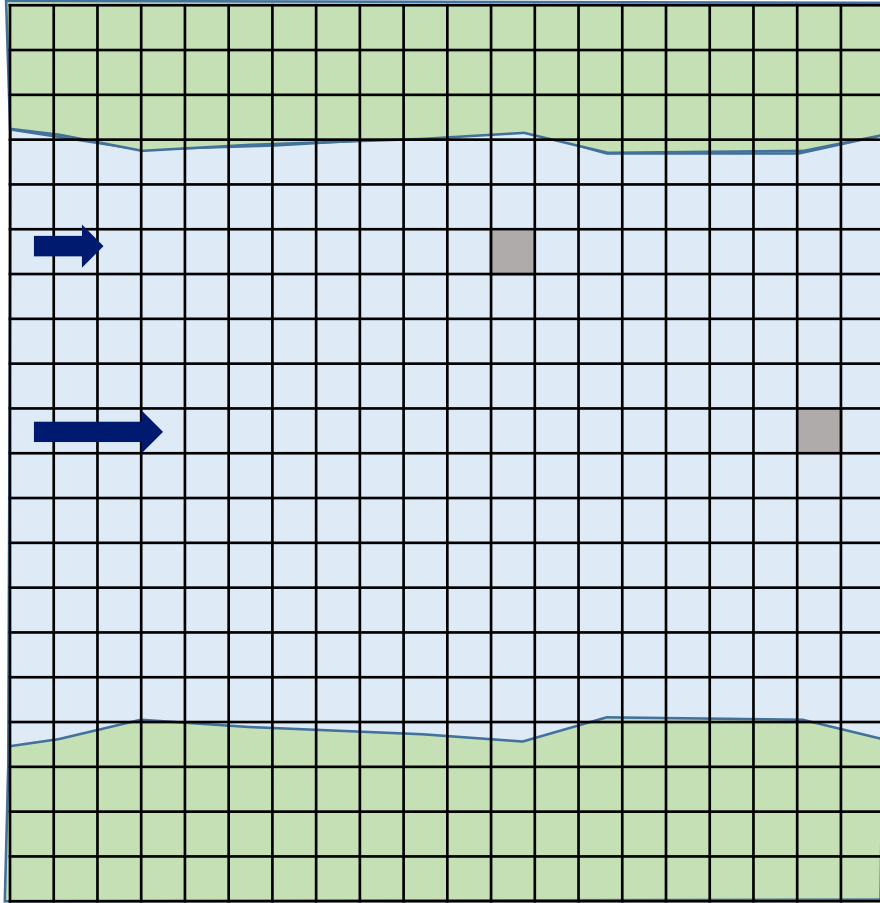
- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites



OrthoImage 7

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**
 - Basé sur des images spatio-temporelles composites

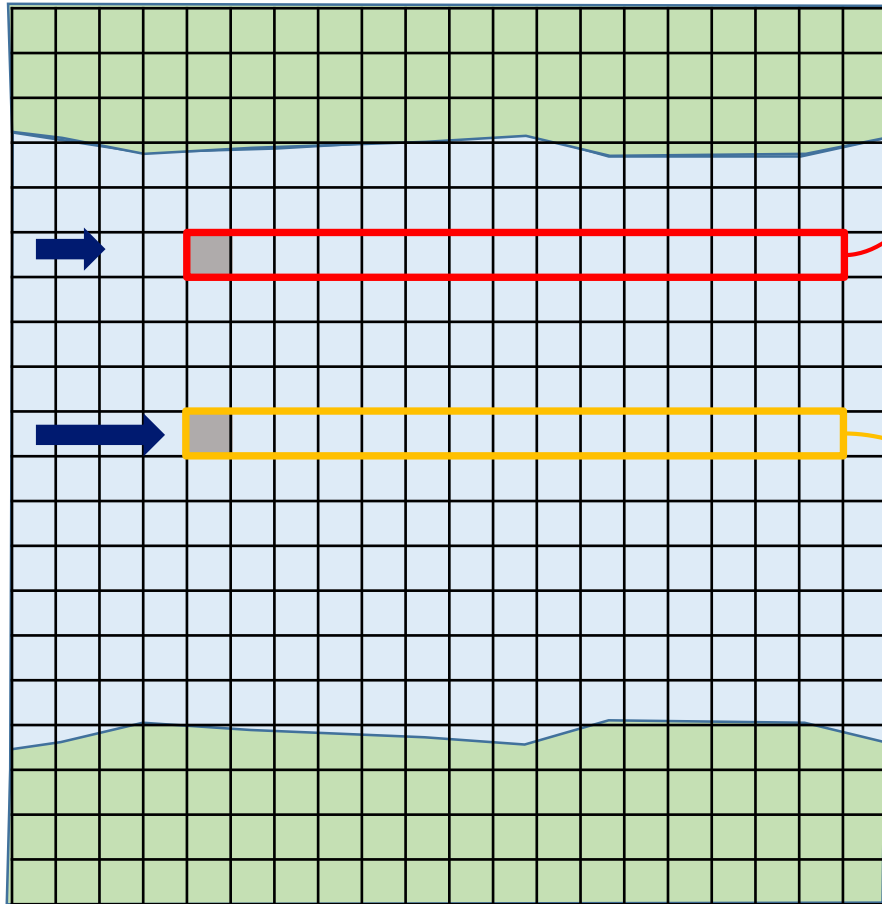


OrthoImage 8

LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



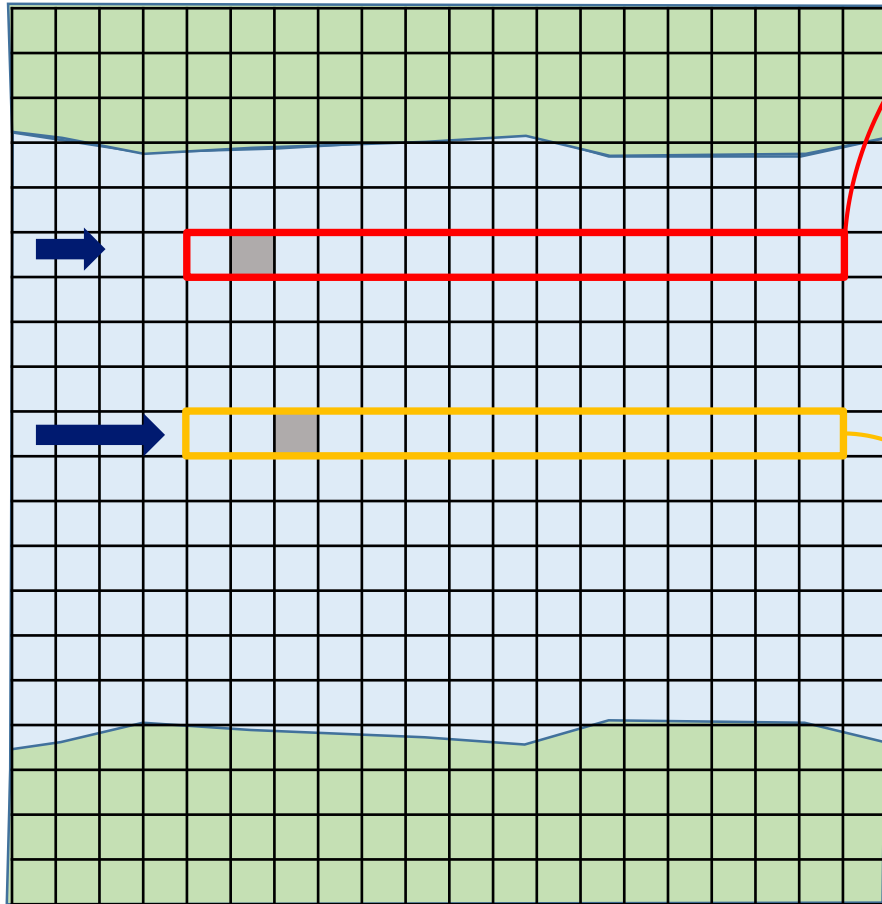
OrthoImage 1



LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites

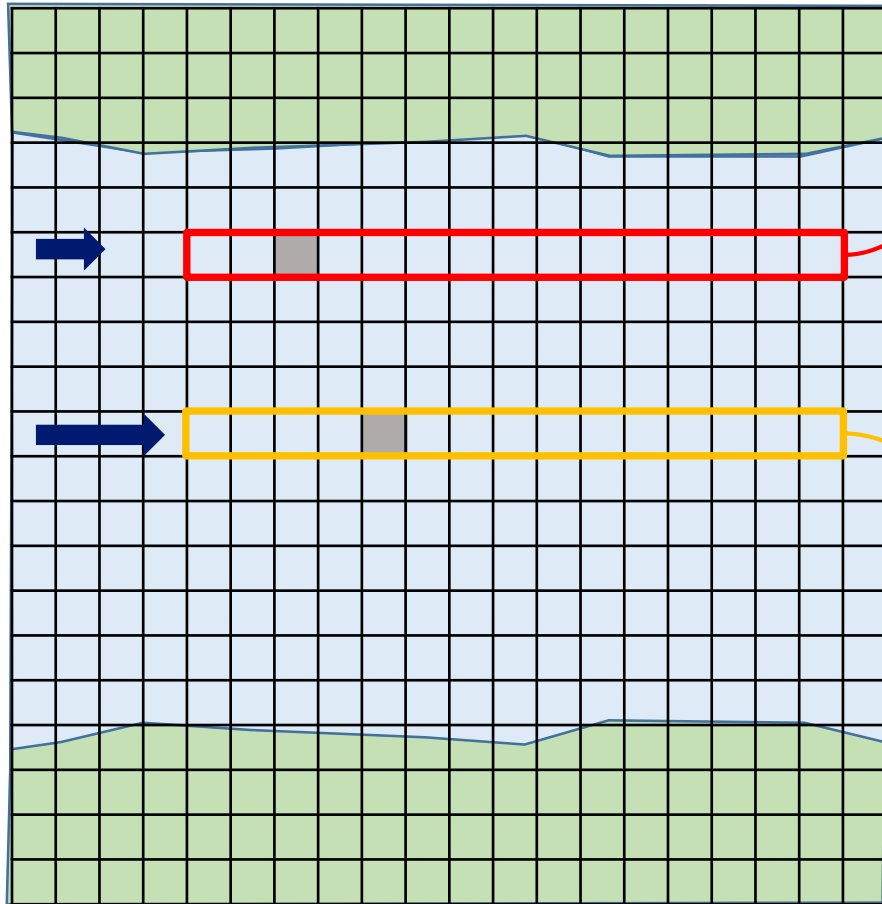


OrthoImage 2

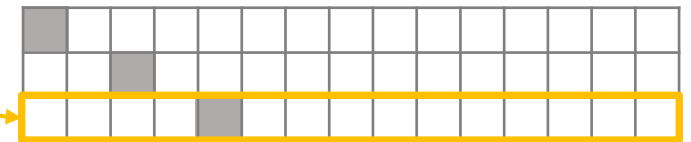
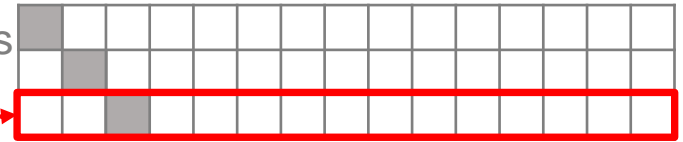
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



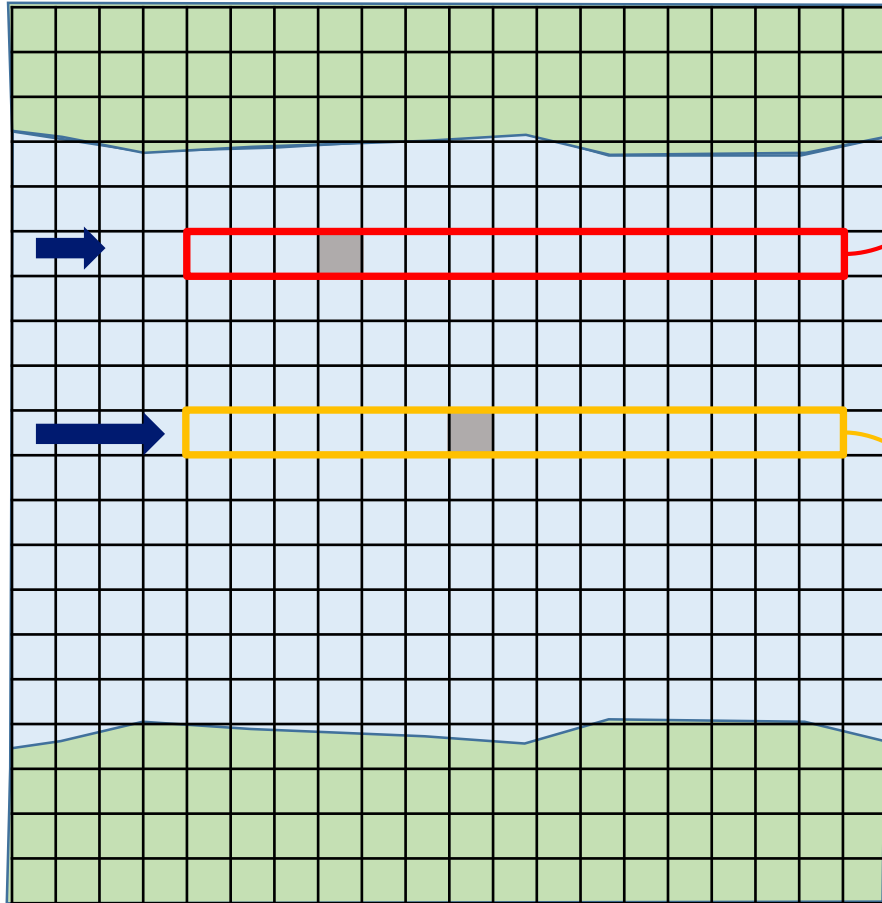
OrthoImage 3



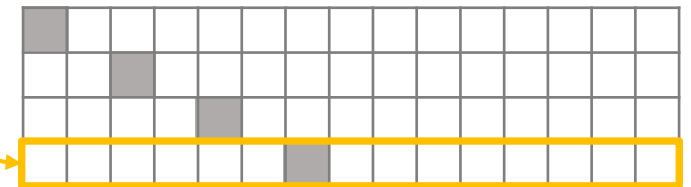
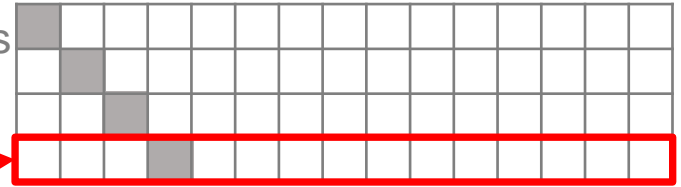
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



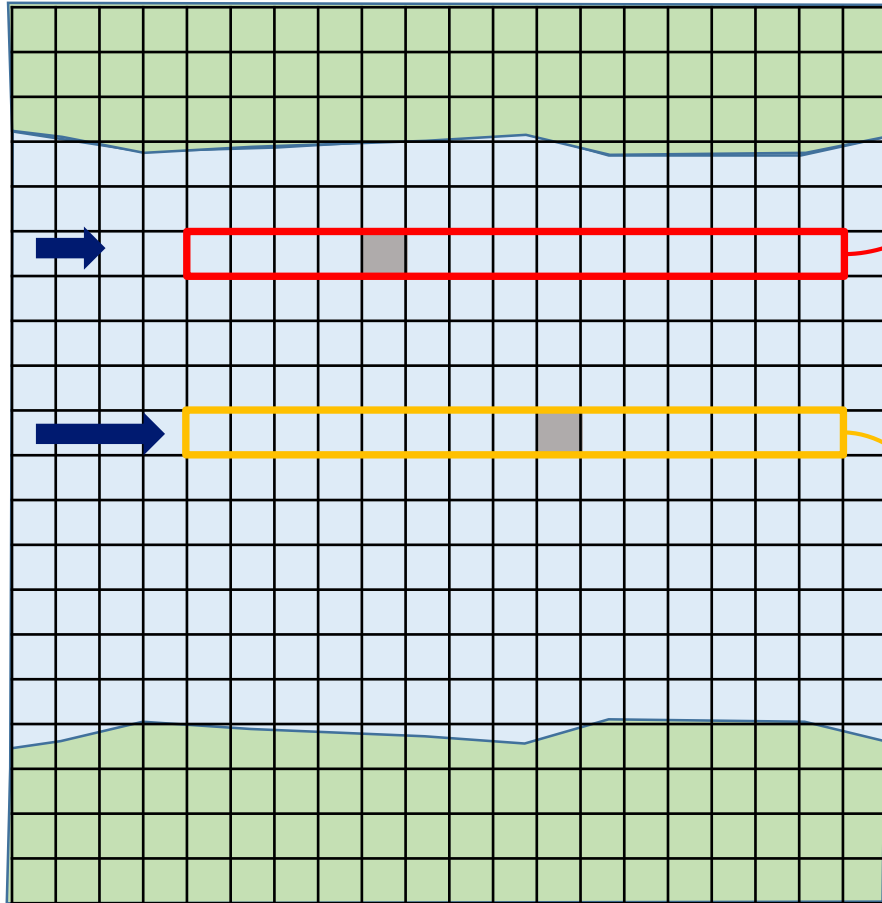
OrthoImage 4



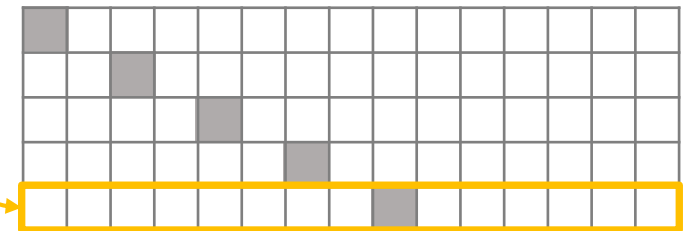
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



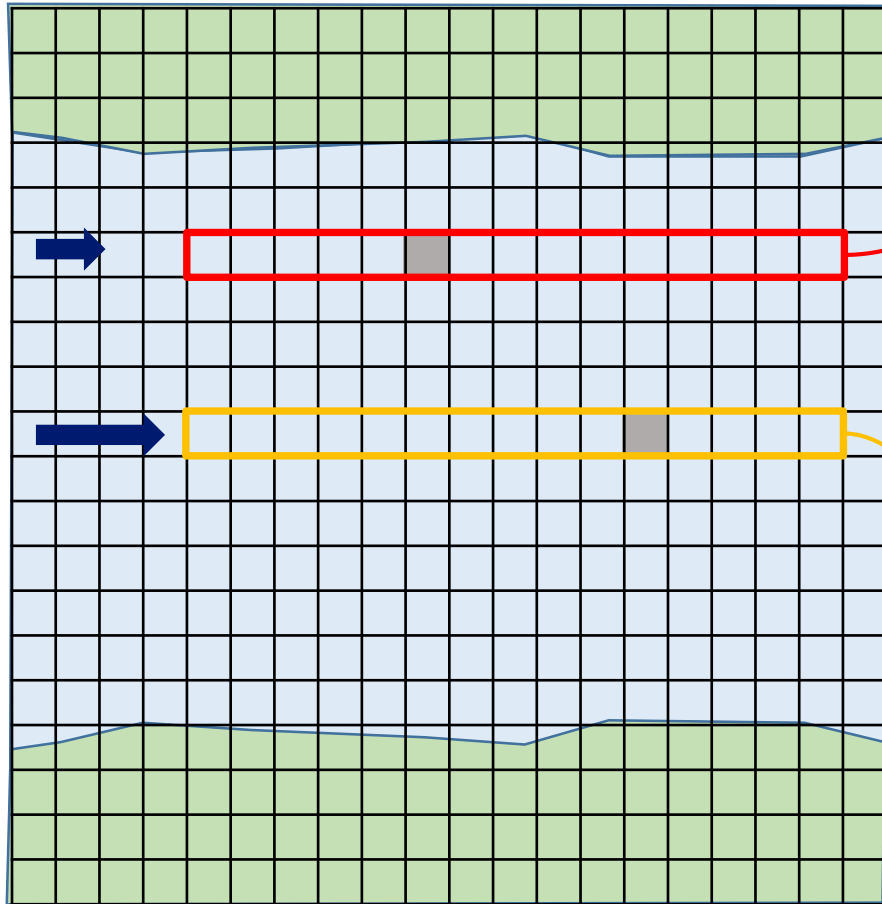
OrthoImage 5



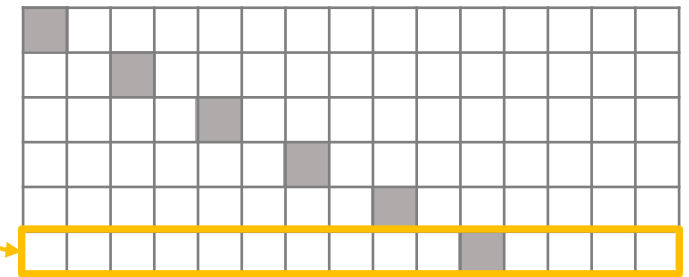
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



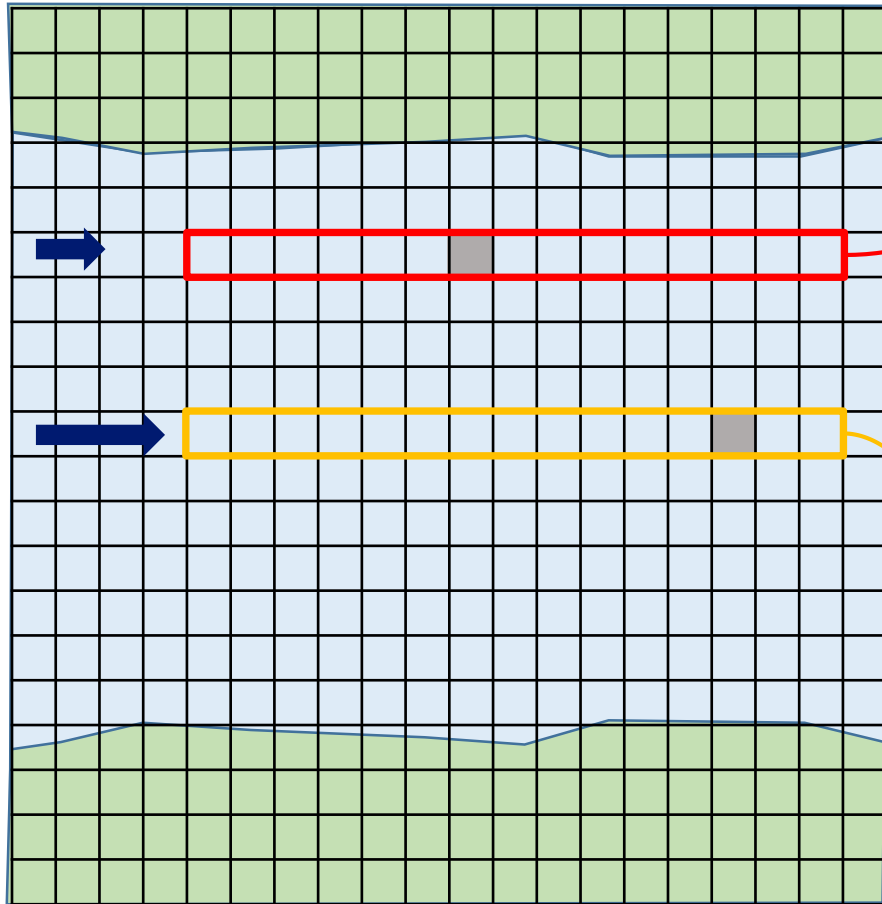
OrthoImage 6



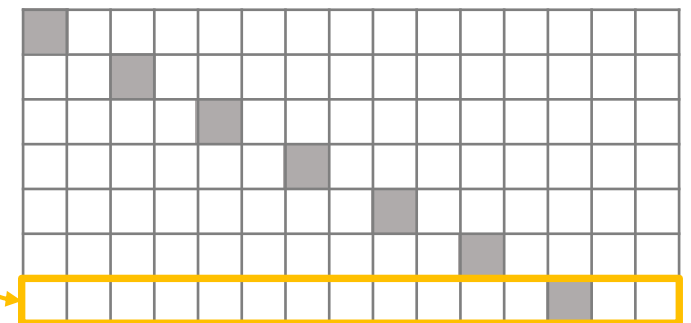
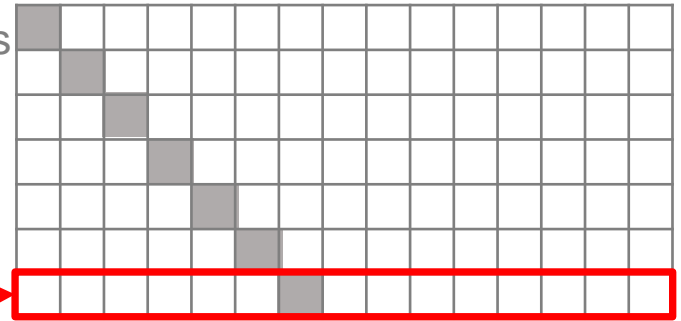
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



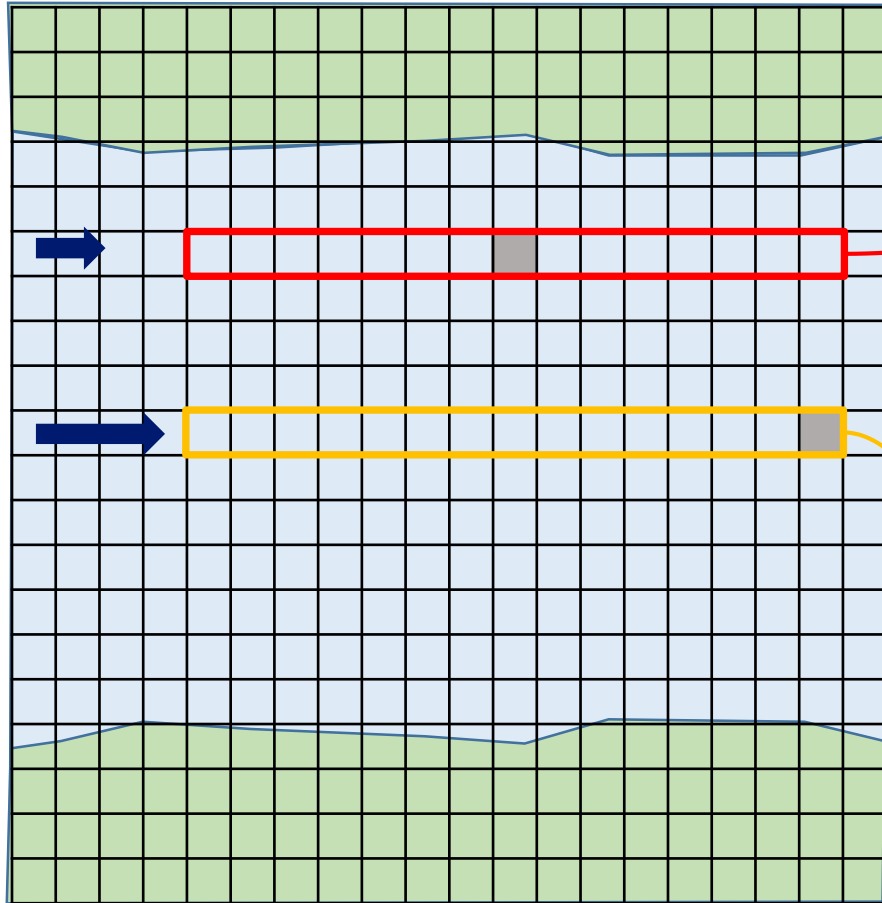
OrthoImage 7



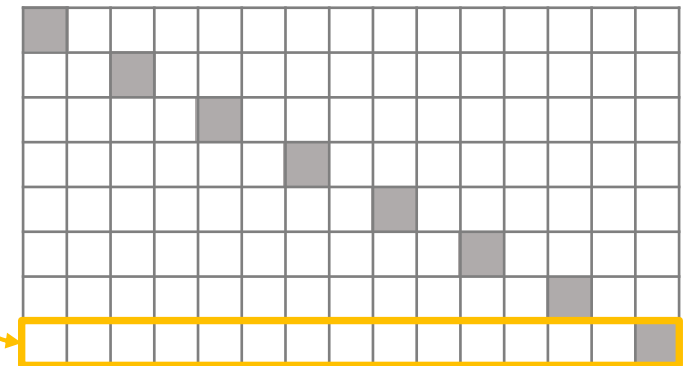
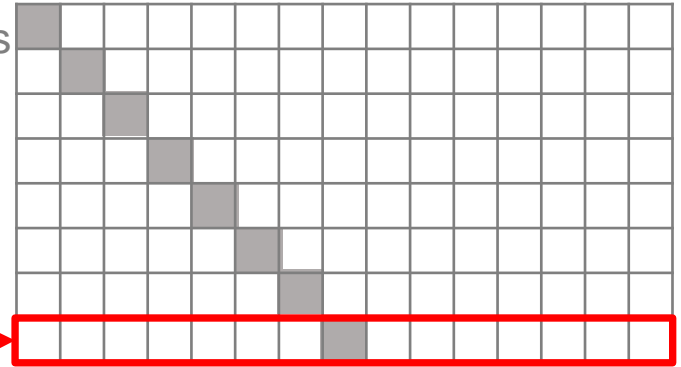
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composites



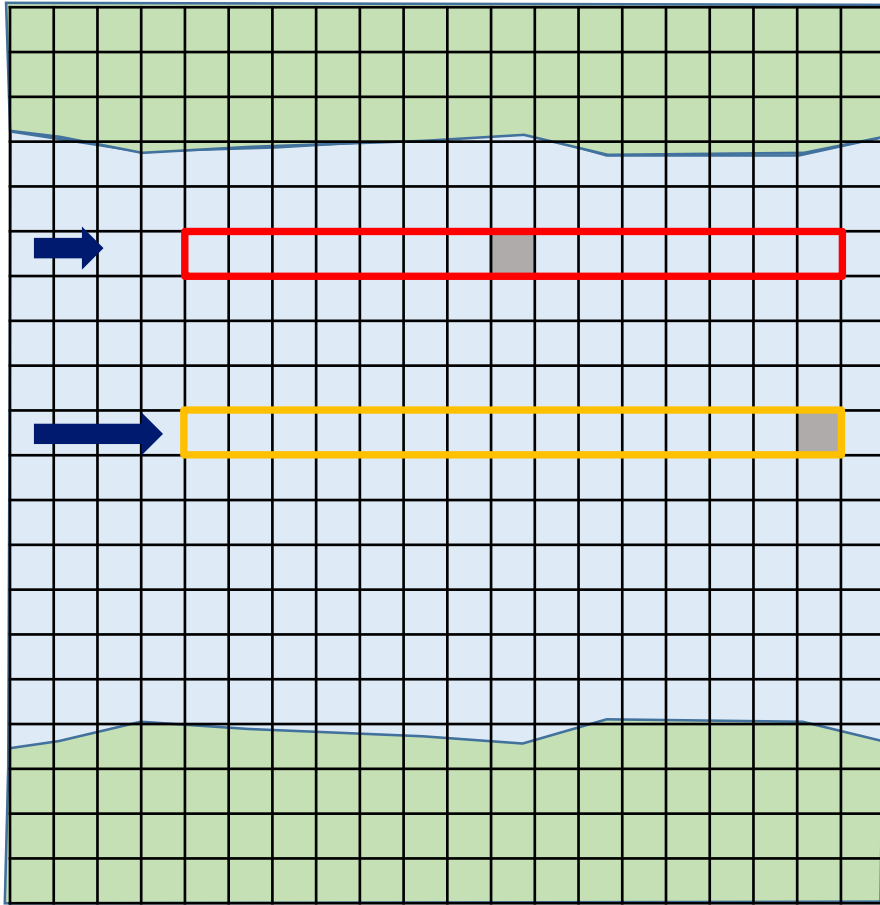
OrthoImage 8



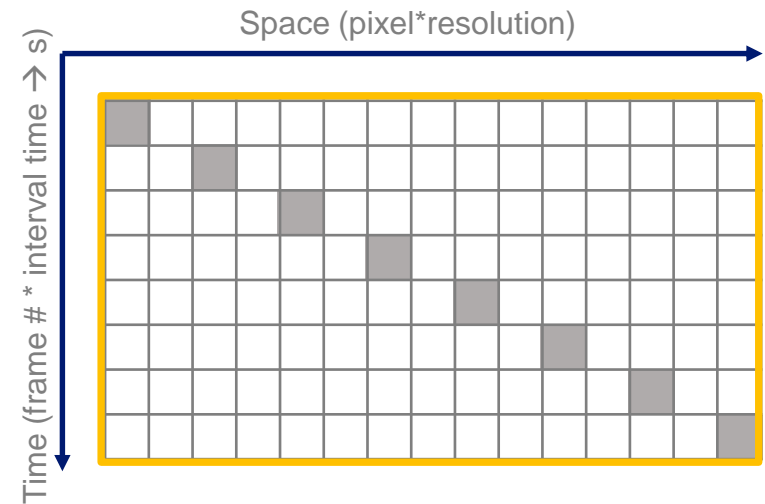
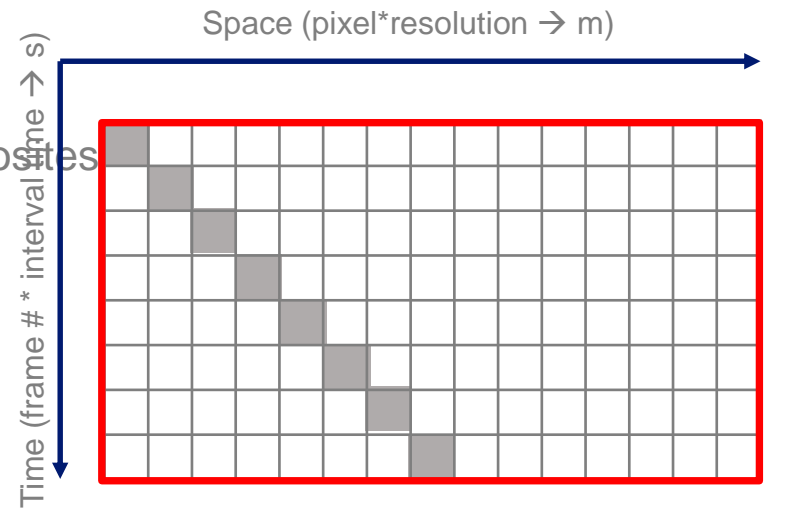
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

- Basé sur des images spatio-temporelles composées



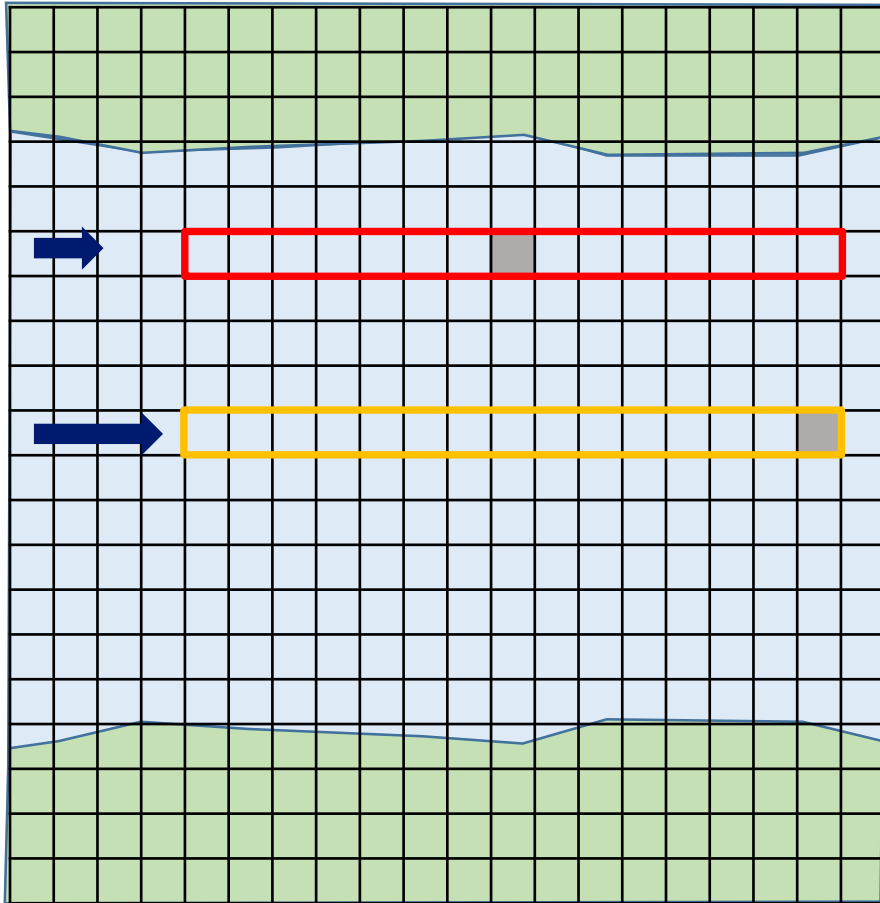
OrthoImage 8



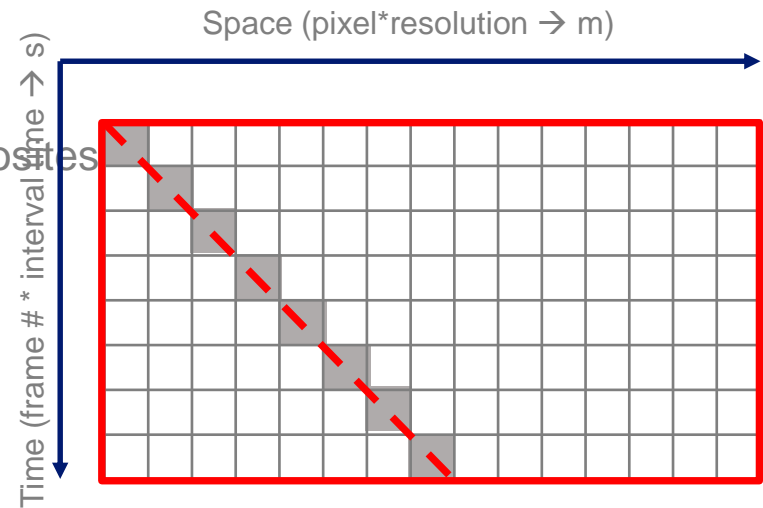
LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

- **STIV : Space Time Image Velocimetry**

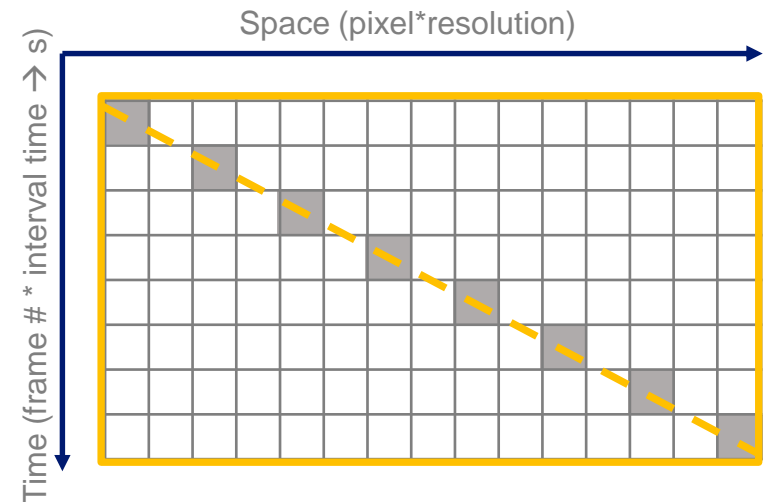
- Basé sur des images spatio-temporelles composées



OrthoImage 8



La pente du traceur dans l'image composite → velocity (m/s)



LSPIV, LSPTV, STIV... UN PEU DE CULTURE GÉNÉRALE

■ STIV : Space Time Image Velocimetry

- Basé sur des images spatio-temporelles composites
- Avantages :
 - Plus robuste que les méthodes PIV ou PTV → travaille sur la moyenne
- Inconvénients :
 - Que des vitesses 1D moyennes → OK pour débit, par pour courantométrie
 - Besoin de beaucoup d'images pour créer les images composites
 - L'écoulement doit être uniforme le long des segments (ni accélération, ni décélération)
 - La détection automatique des pentes n'est pas toujours facile, mais les logiciels progressent bien !

