

# Evaluation du charriage local par suivi de dunes : application au Colorado dans le Grand Canyon

Jérôme LE COZ (1),

Emeline PERRET (1,2)

(1)

**INRAE**

(2)

**CNR**



# Estimation du charriage par suivi de dunes

- Une mesure indirecte à partir d'un levé répété de la topographie du fond (Simons et al. 1965)
- Débit solide par unité de largeur :

$$q_b = (1 - p)V_b H_b + q_{b,0}$$

Débit solide résiduel (négligé)

porosité

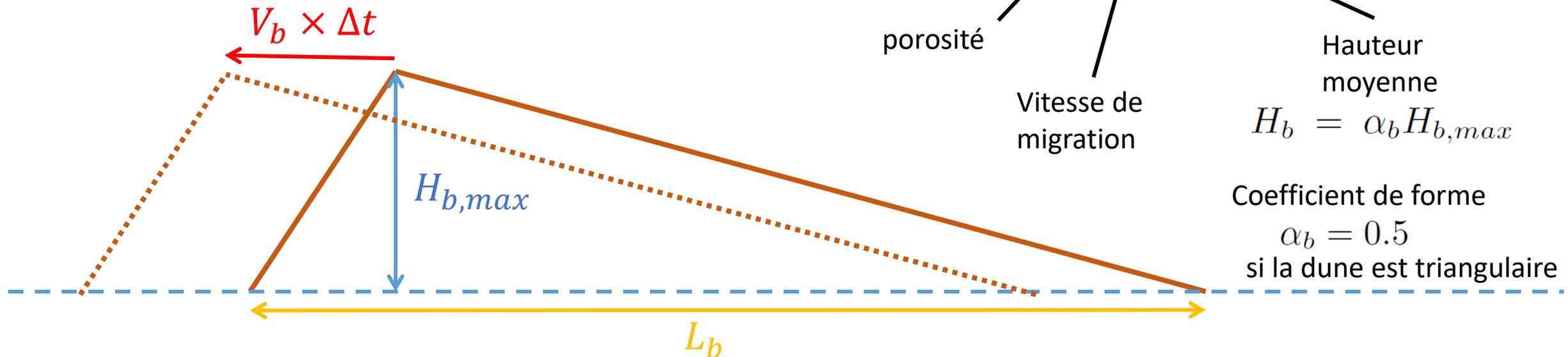
Vitesse de migration

Hauteur moyenne

$$H_b = \alpha_b H_{b,max}$$

Coefficient de forme

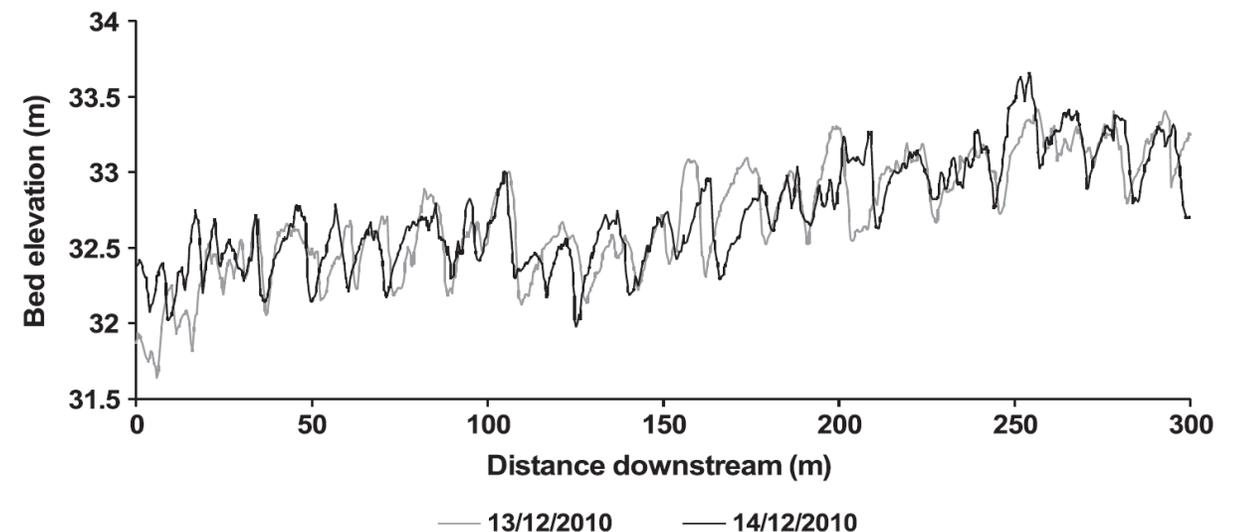
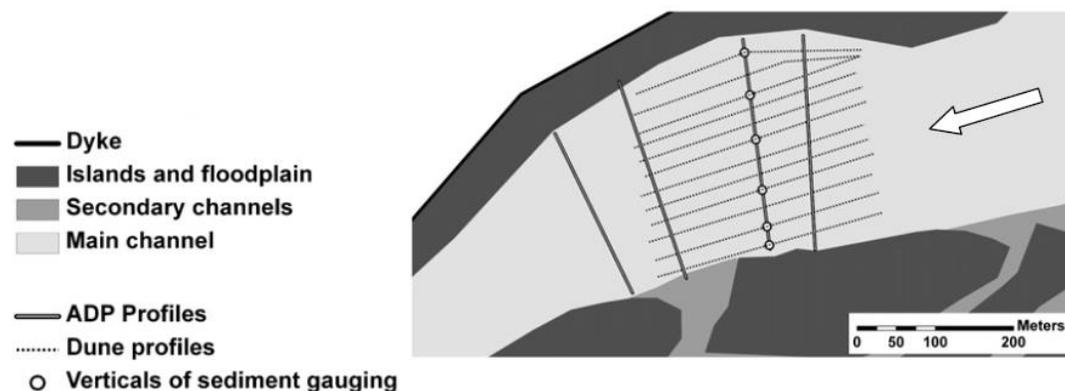
$\alpha_b = 0.5$   
si la dune est triangulaire



# Estimation du charriage par suivi de dunes

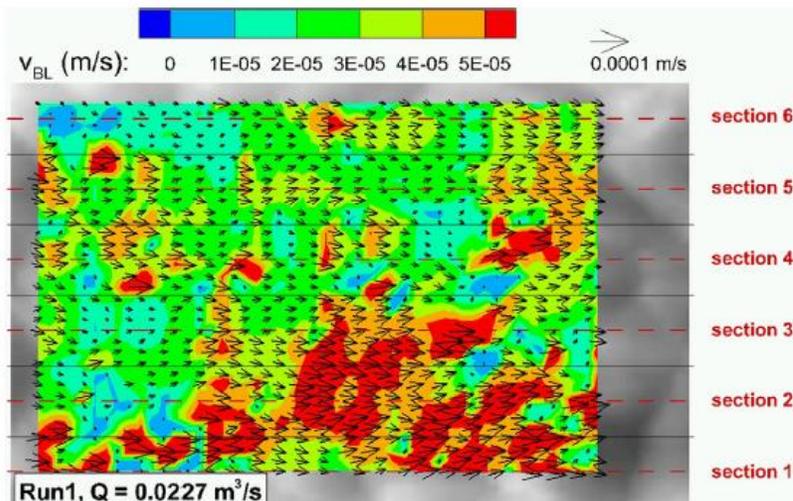
- De nouvelles méthodes haute-résolution (ADCP, échosondeurs multifaisceaux, imagerie satellite, expériences de laboratoire...) permettent d'acquérir des MNT à haute résolution spatio-temporelle
- Mais la quantification du charriage reste 1D (direction fixée)

Mesures hydro-acoustiques sur la Loire à Bréhémont  
Extrait de Claude et al. (2012)

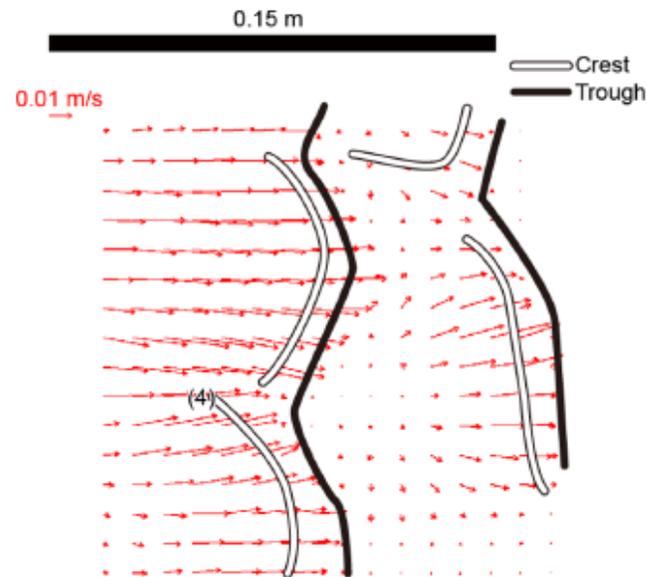


# Vers une mesure 2D du charriage local ?

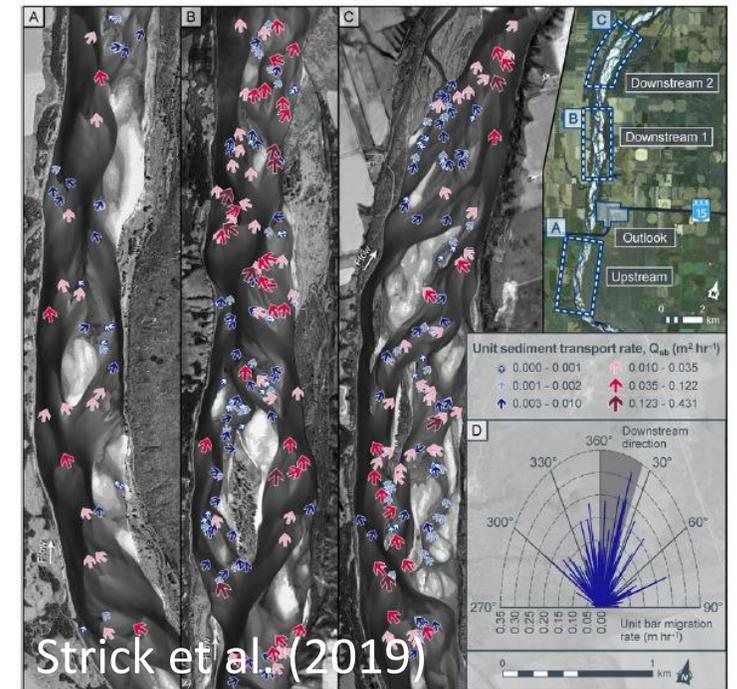
- Mesure du charriage local 1D par LSPIV (Muste et al. 2016; Kim et al. 2016)
- Mesure des vitesses de fond 2D par LSPIV (Tsubaki et al. 2018)
- Détermination manuelle du charriage 2D sur images aériennes (Strick et al. 2019)



Muste et al. (2016)



Tsubaki et al. (2018)

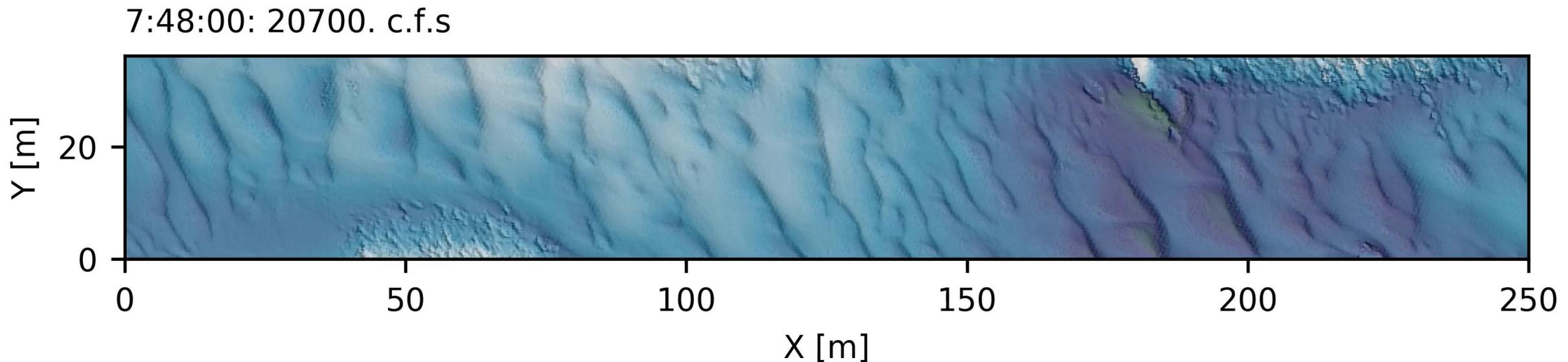


Strick et al. (2019)

# Vers une mesure 2D du charriage local ?

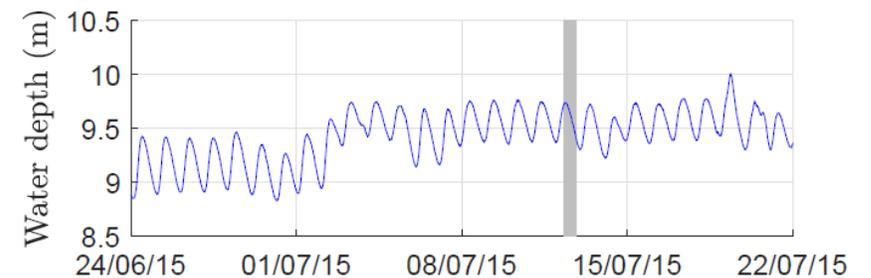
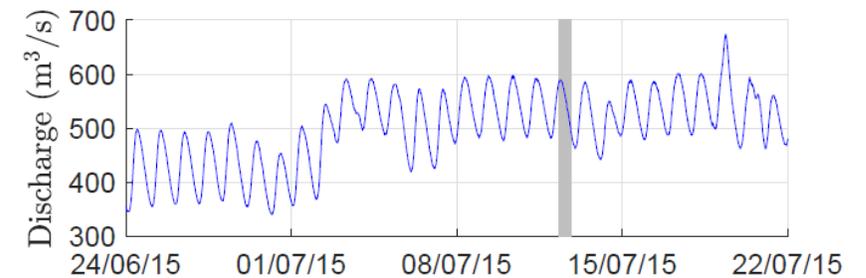
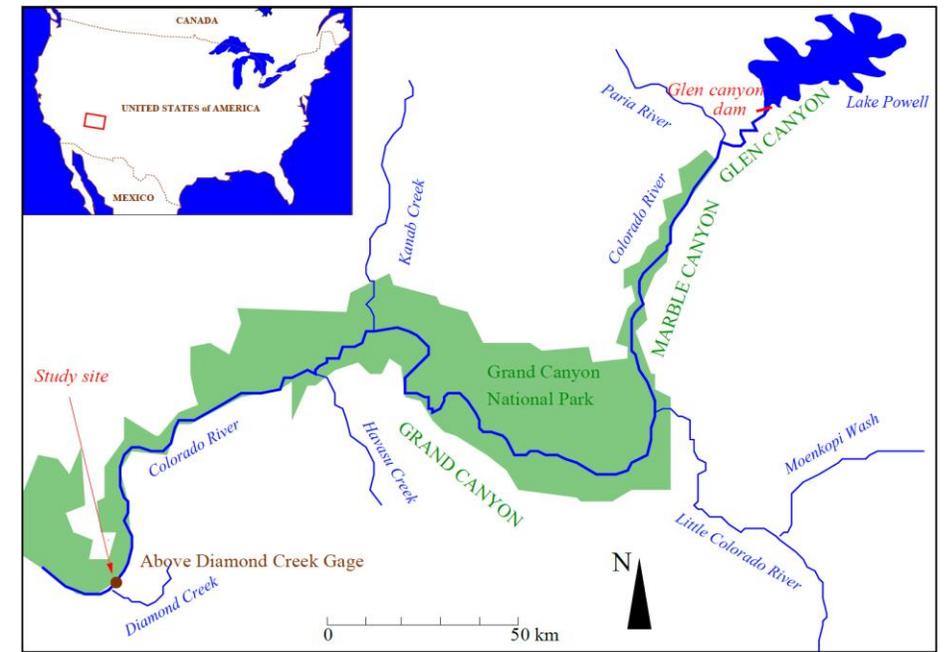
- Et si on mesurait les dunes dans l'axe de leur déplacement local ?

Colorado à Diamond Creek – Campagne bathymétrique du 12 juillet 2015 – Données USGS GCMRC (Leary 2018)



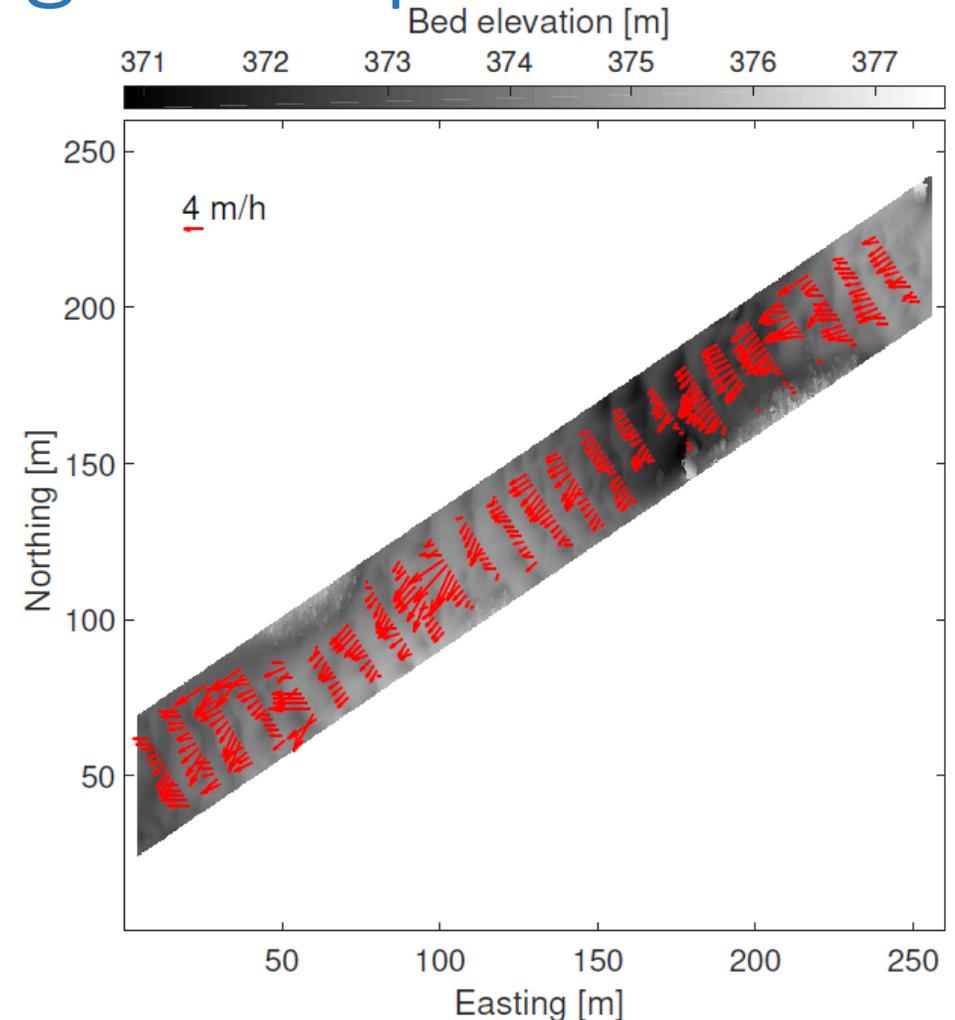
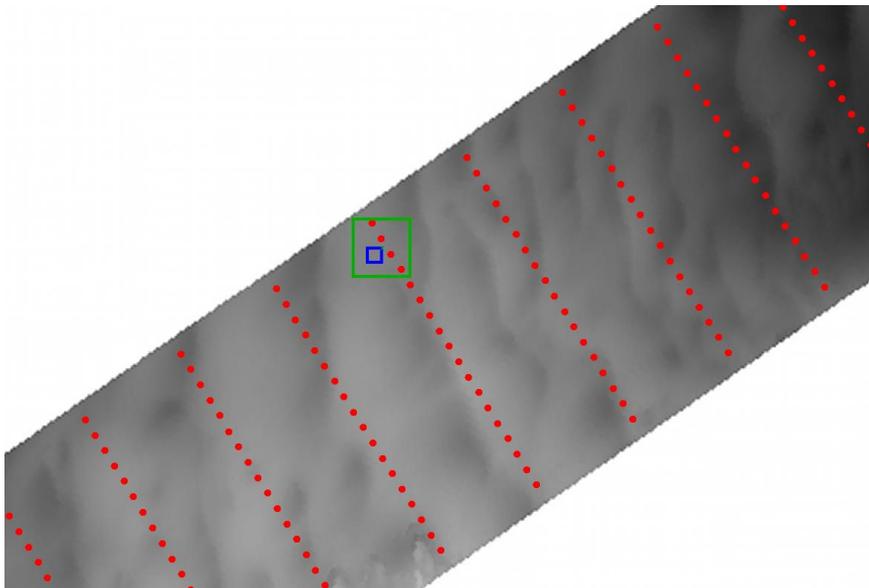
# Site et données

- Relevé (échosondeur) du tronçon toutes les 6-10 min pendant 12 h
- MNT interpolé à 25 cm, écart-type vertical  $u_z \approx 1.2$  cm



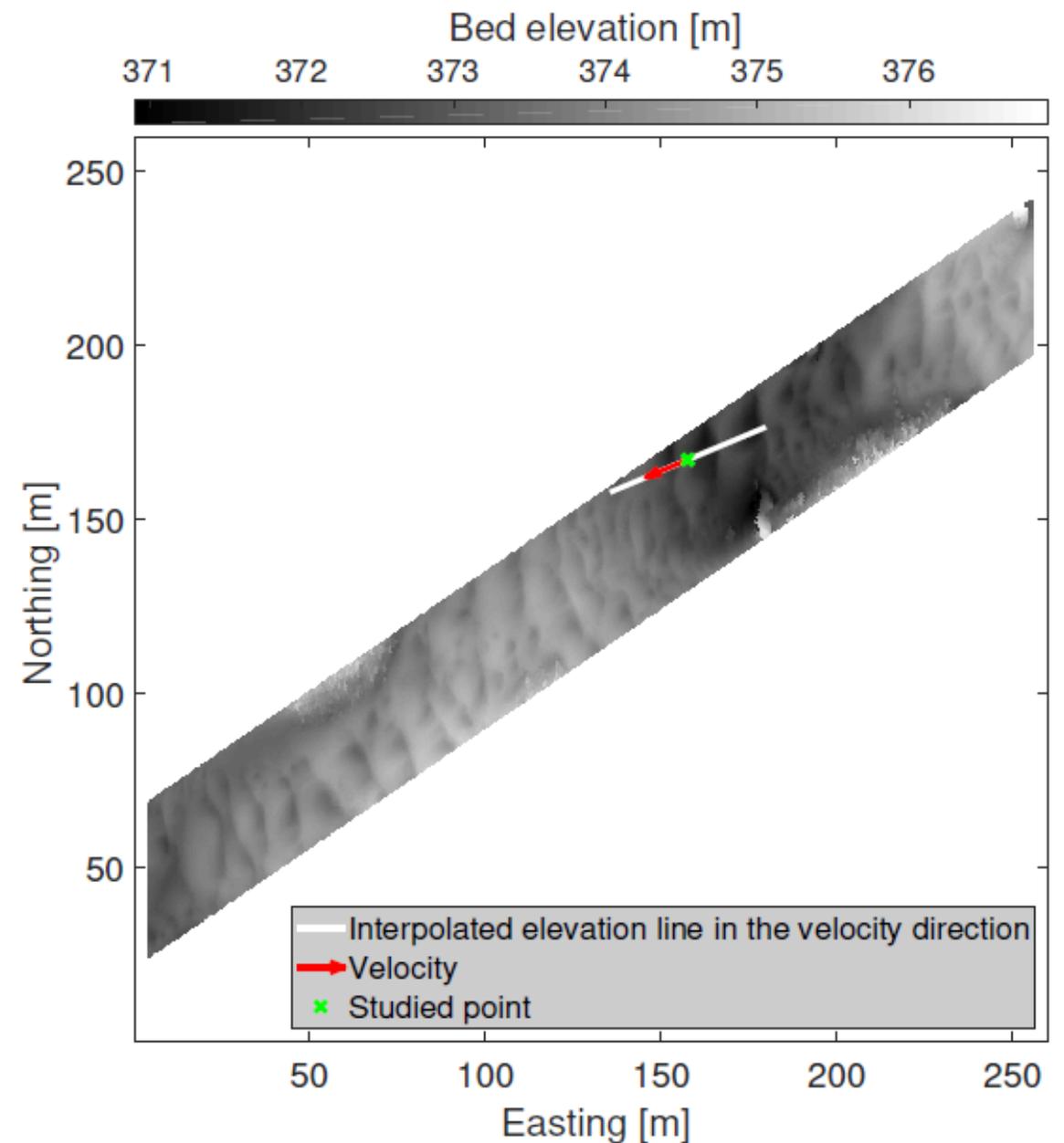
# Mesure des vitesses de migration par LSPIV

- Logiciel Fudaa-LSPIV (EDF/INRAE)
- La corrélation doit se faire sur des motifs suffisamment grands (IA=6 m) pour détecter le mouvement des principales dunes et non des déformations plus locales



# Détermination de la géométrie des dunes

- Dans l'axe du mouvement local :
  - En chaque nœud de la grille de calcul LSPIV
  - À chaque pas de temps (paire de MNT)
  - Extraction du transect bathymétrique interpolé

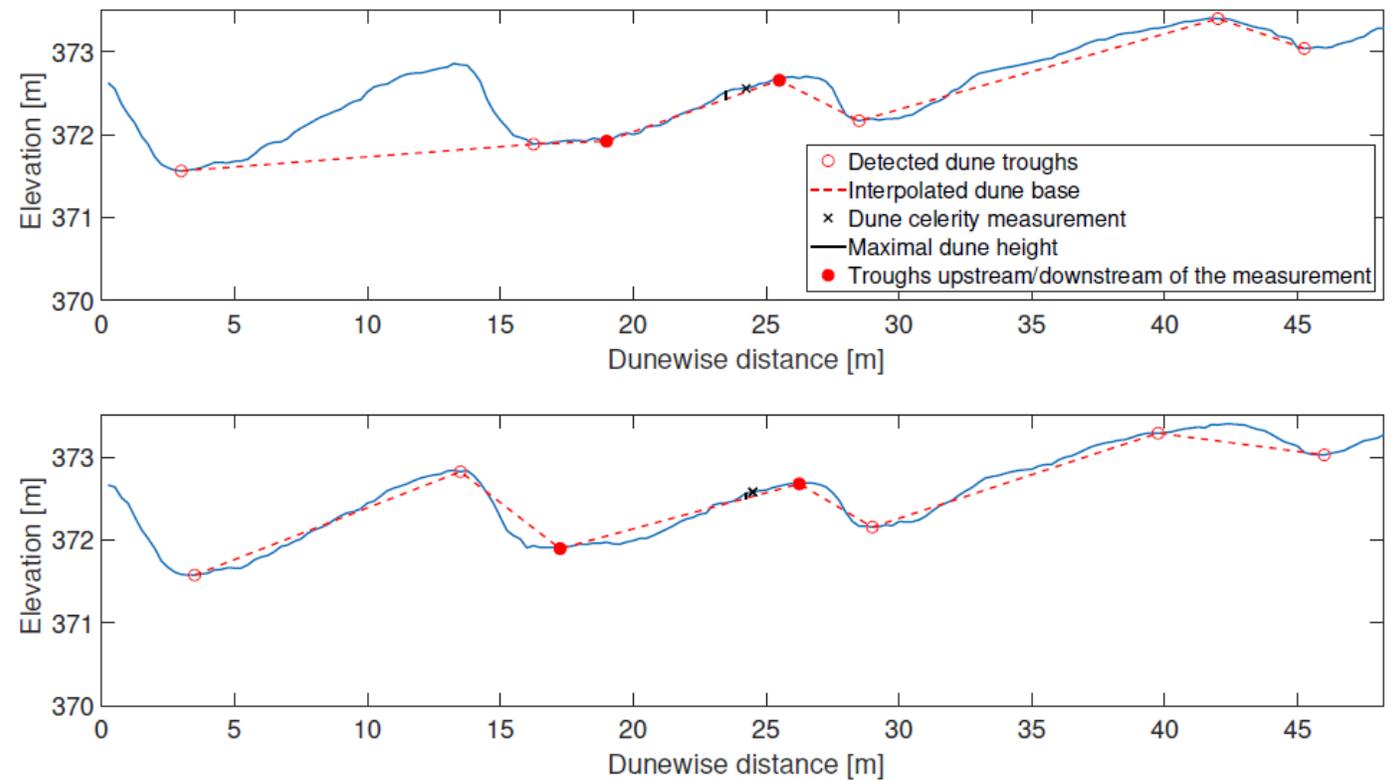


# Détermination de la géométrie des dunes

- Détection des creux entourant la mesure de vitesse LSPIV
- Fonction Matlab `envelope(x,np,'peak')` pour détecter les pics séparés d'au moins  $np$  échantillons
- Calculs à différents  $np$  et sélection automatique

Exemple :

$np = 10$  (2.5 m) : trop court !

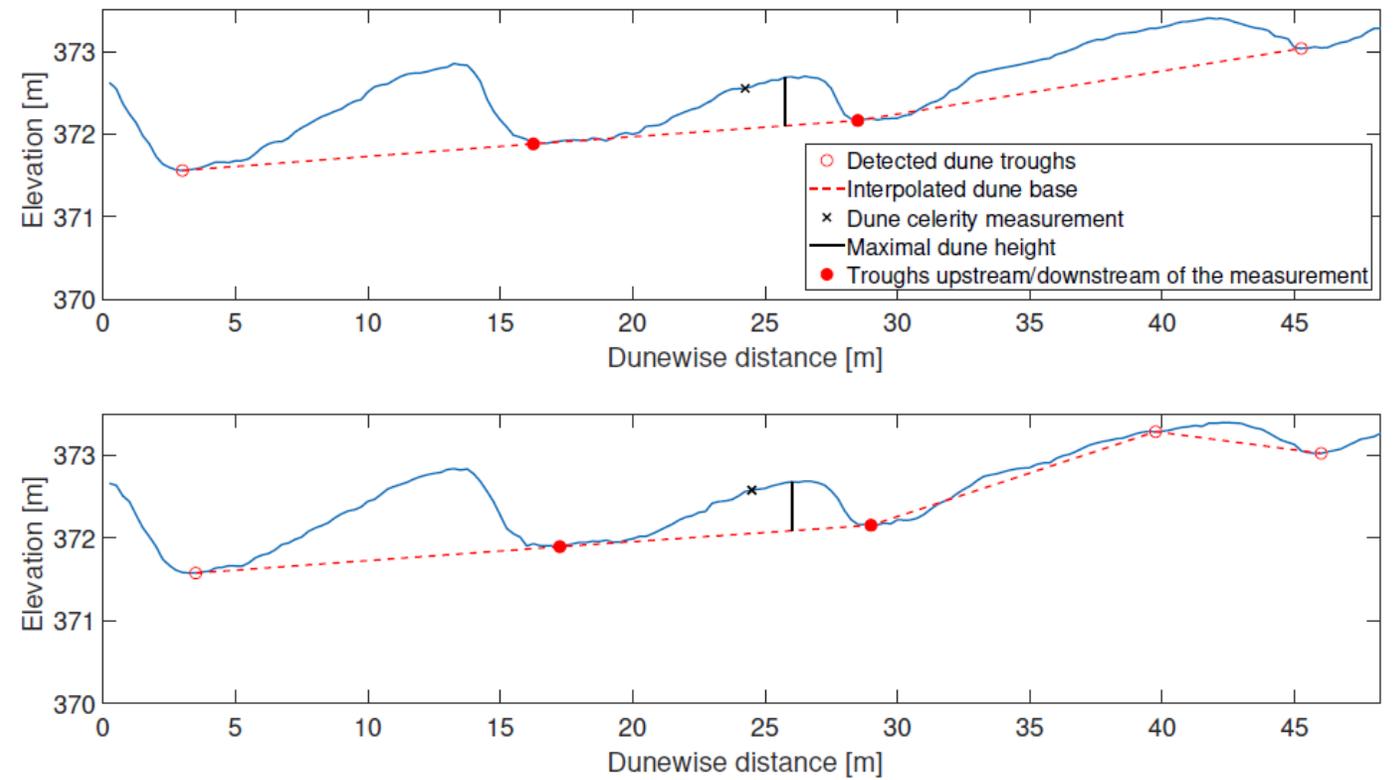


# Détermination de la géométrie des dunes

- Détection des creux entourant la mesure de vitesse LSPIV
- Fonction Matlab `envelope(x,np,'peak')` pour détecter les pics séparés d'au moins  $np$  échantillons
- Calculs à différents  $np$  et sélection automatique

Exemple :

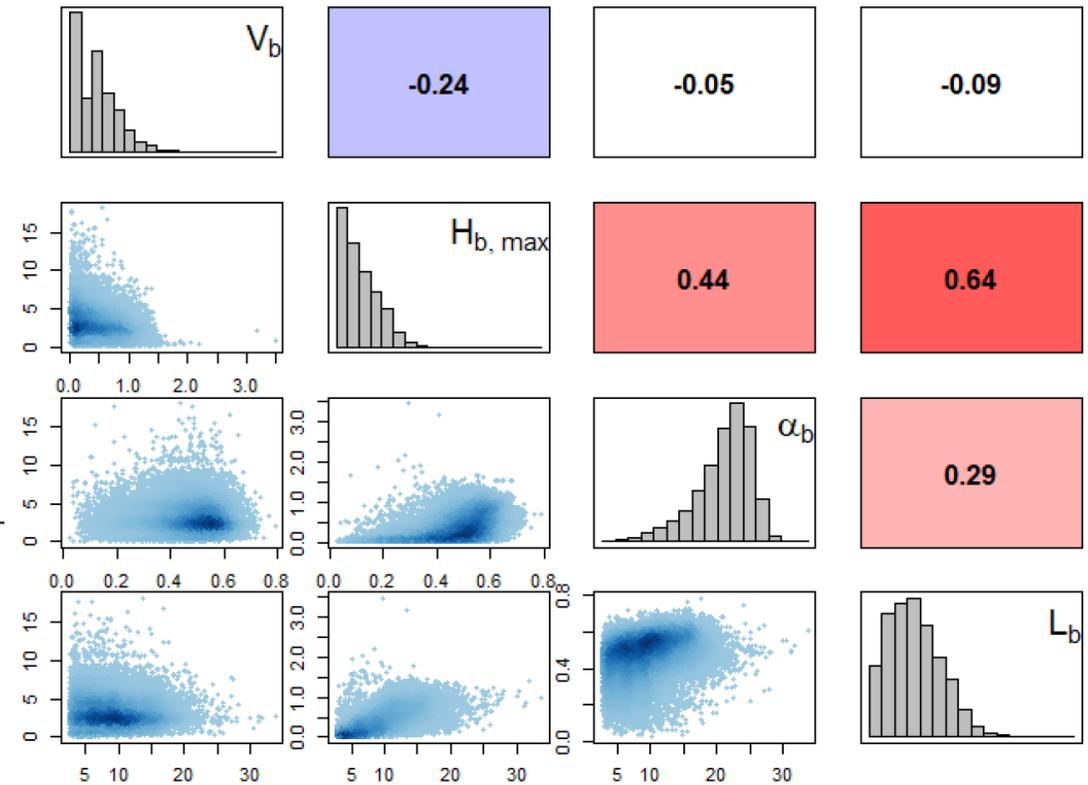
$np = 20$  (5 m) : OK !



# Caractéristiques des dunes : observations

- Longueur et hauteur des dunes sont les paramètres les plus corrélés
- En moyenne pondérée par le charriage local, les dunes semblent légèrement convexes ( $\alpha_b = 0.63$ )

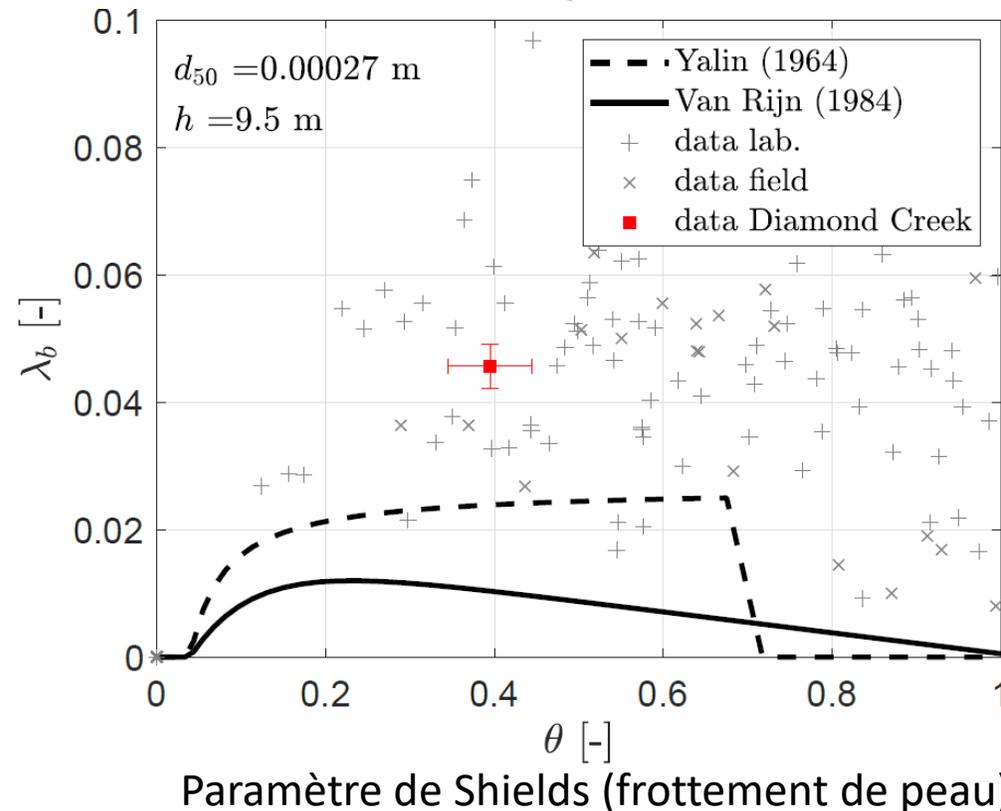
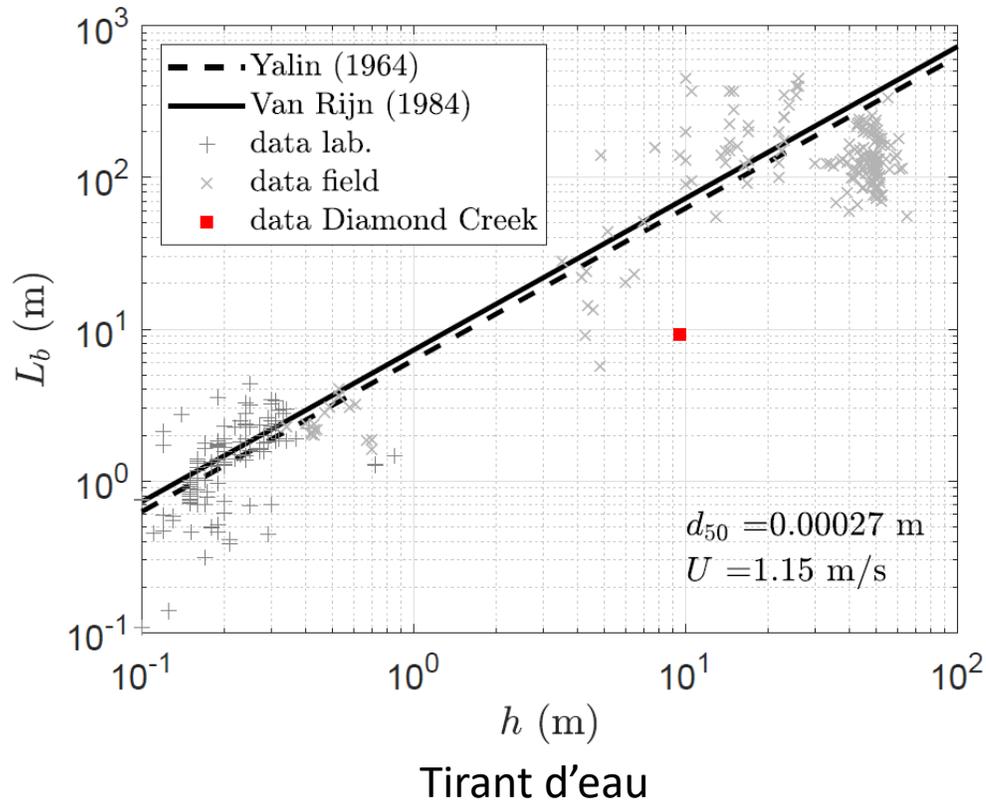
Variables	Units	Simple average (mean $\pm$ std)	Bedload-based average (mean $\pm$ std)
$L_b$	[m]	$9.2 \pm 0.31$	
$H_{b,max}$	[m]	$0.42 \pm 0.032$	$0.30 \pm 0.041$
$\alpha_b$	[-]	$0.47 \pm 0.0077$	$0.63 \pm 0.041$
$H_b$	[m]	$0.21 \pm 0.018$	$0.19 \pm 0.019$
$V_b$	[m/h]	$2.2 \pm 0.51$	
$q_b$	[m <sup>3</sup> /s/m]	$7.7 \times 10^{-5} \pm 2.0 \times 10^{-5}$	



# Caractéristiques des dunes : modèles

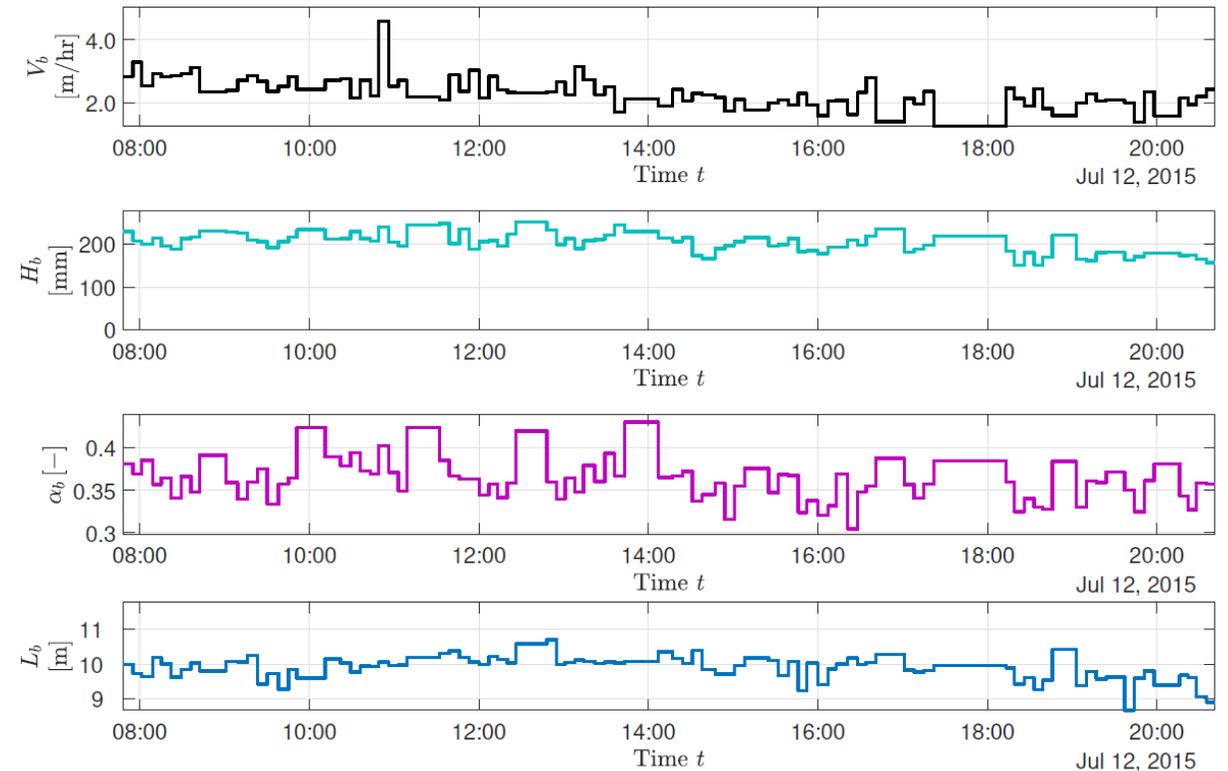
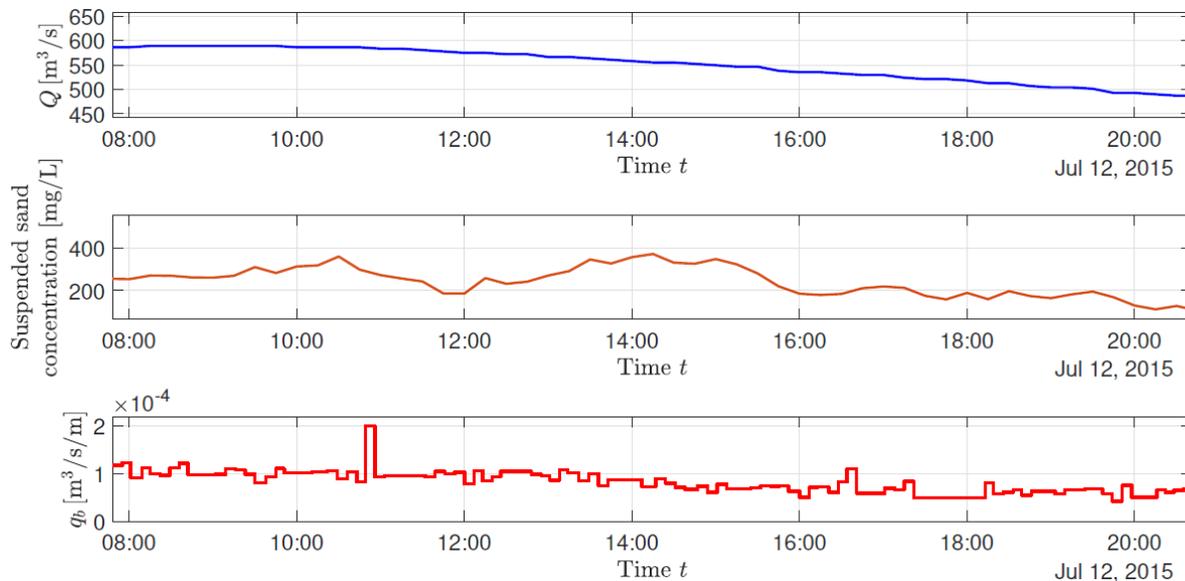
- Les modèles classiques prédisent des dunes plus longues et moins raides que nos mesures

$$\lambda_b = H_{b,max} / L_b$$



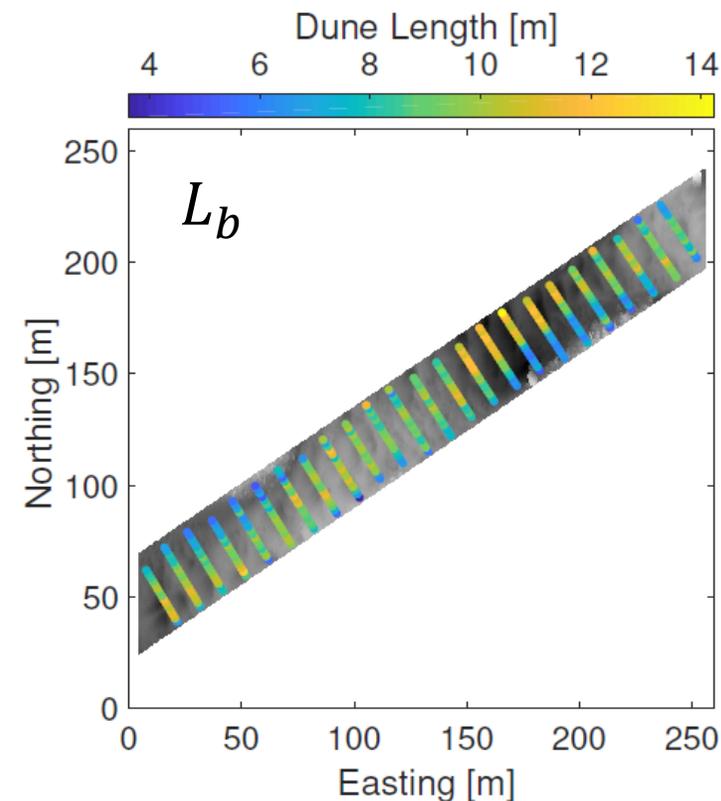
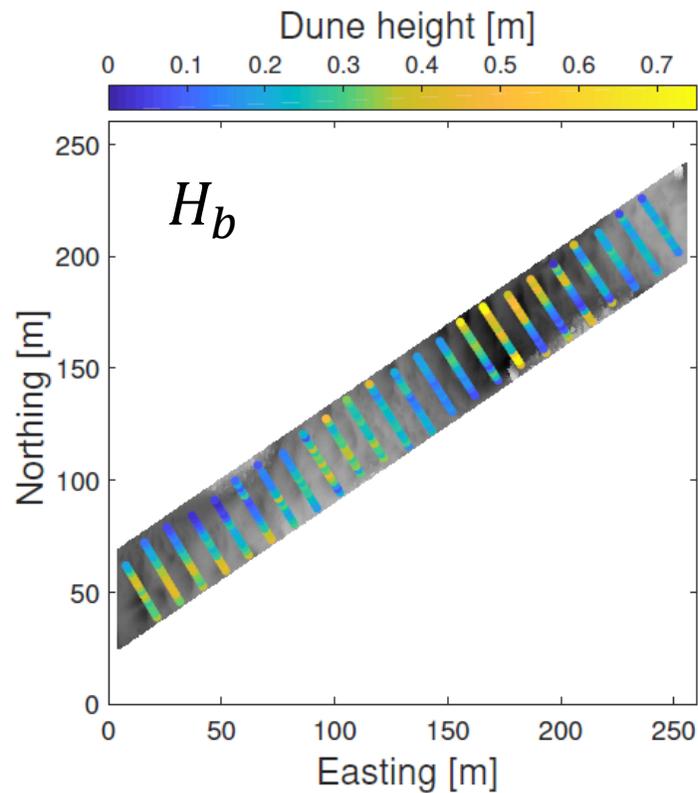
# Dynamique temporelle du charriage

- Réaction de tous les paramètres à la baisse de débit



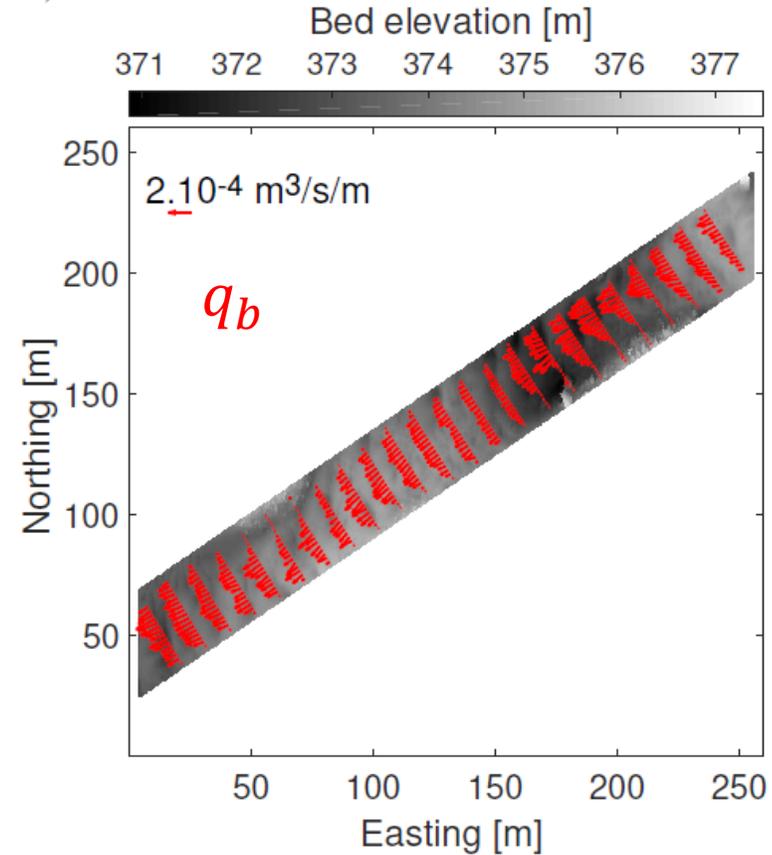
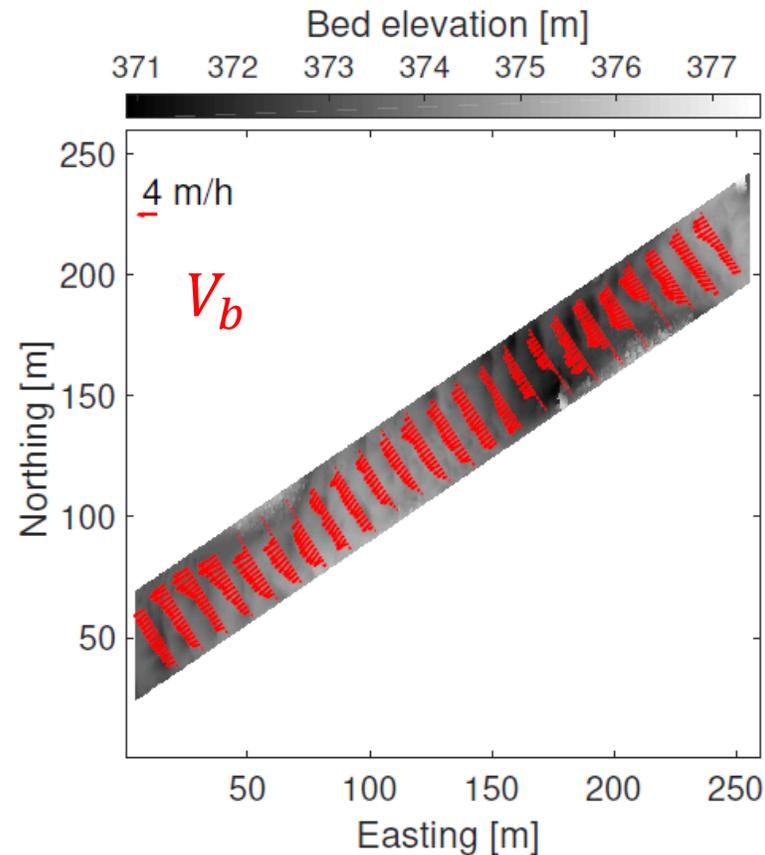
# Distribution spatiale : géométrie des dunes

- Les plus grosses dunes se situent là où le charriage se concentre le plus (en moyenne temporelle)



# Distribution spatiale : migration et charriage

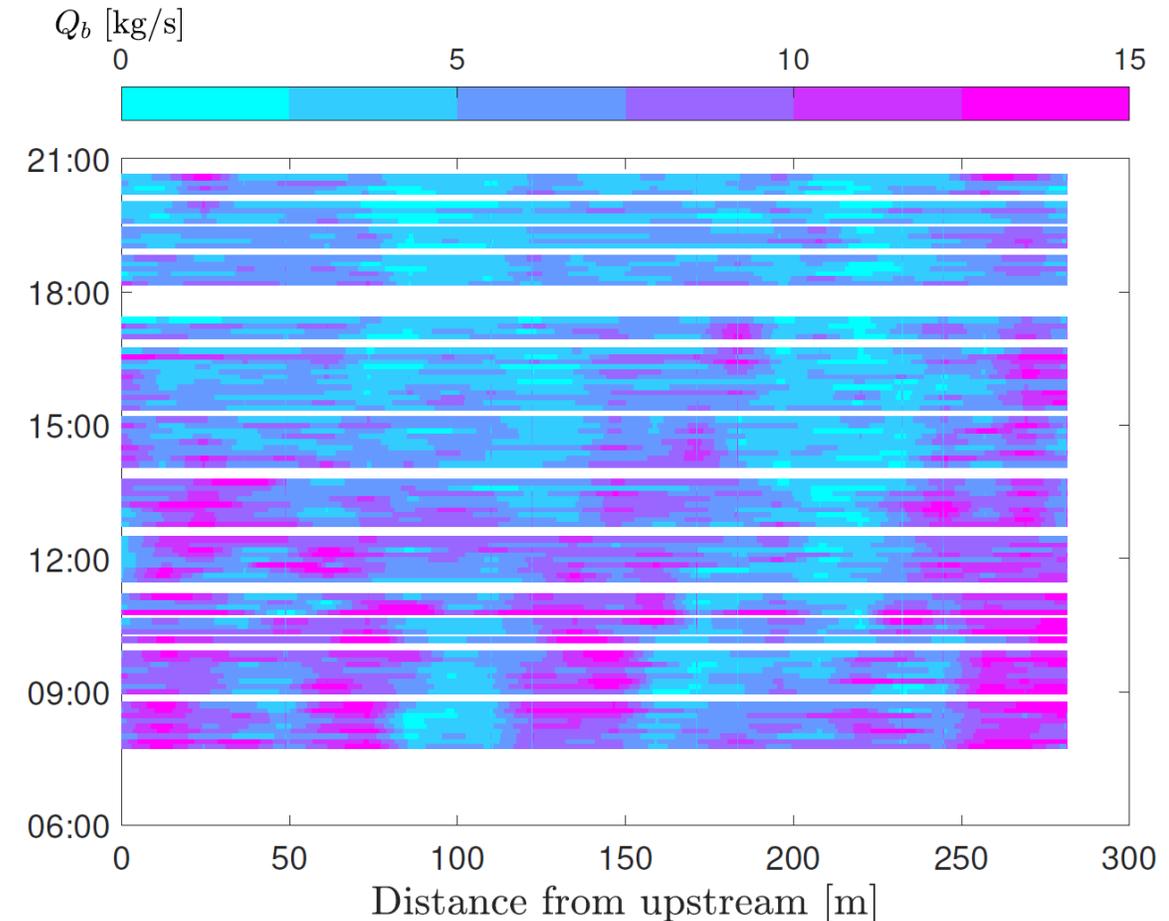
- D'où un charriage un peu plus localisé que les vitesses de migration



Le charriage est globalement aligné sur l'axe du chenal, avec des inflexions locales dues aux cônes de déjection des parois du canyon

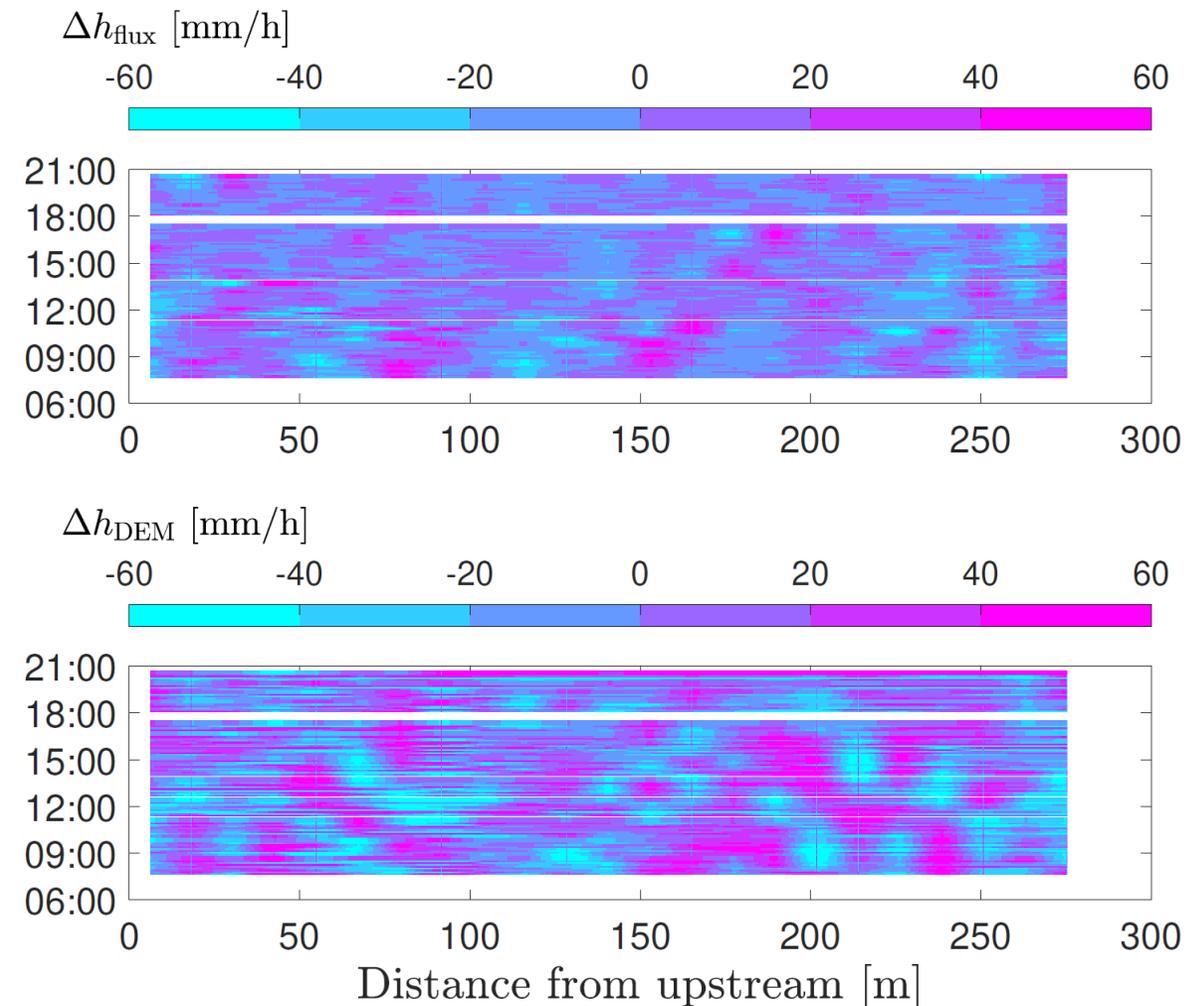
# Dynamique du débit solide total

- Le débit solide total sur chaque transect de la grille LSPIV est calculé par intégration du charriage local
- Migration aval de zones de charriage plus ou moins intense
- Diminution globale du charriage avec le temps (débit décroissant)
- Estimation du charriage moyen :
  - Nos mesures :  $5.7 - 9.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Mesures Ashley et al. 2020 :  $3 - 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Equation MPM 1948 :  $3.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Equation Van Rijn 1984 :  $5.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$



# Evolution du fond

- Par bilan de masse (équation d'Exner), l'évolution locale de la cote du fond peut être calculée à partir des flux calculés :  $\Delta h_{\text{flux}}$
- L'évolution du fond obtenue par différence de MNT ( $\Delta h_{\text{DEM}}$ ) présente des motifs similaires mais un peu plus marqués



# Conclusions et perspectives

- La méthode proposée combine mesure de vitesse LSPIV et analyse locale des dunes pour établir la distribution spatio-temporelle du charriage
- Sur le cas d'étude du Colorado, la méthode donne des flux totaux proches des autres méthodes mais des caractéristiques de dunes différentes
- L'approche est suffisamment robuste et automatisée pour être appliquée à d'autres levés bathymétriques répétés, à haute résolution

# Remerciements

- **Contributeurs :**
  - B. Camenen et G. Dramais (INRAE), D.J. Topping et P.E. Grams (USGS, GCMRC), D.D. Buscombe (Marda Science), K.C.P. Leary (New Mexico Tech)
- **Soutiens et données :**
  - Observatoire des sédiments du Rhône
  - Glen Canyon Dam Adaptive Management Program
  - Grand Canyon Monitoring and Research Center
  - INRAE et CNR

