

Evaluation de la dynamique des dépôts de sédiments fins sur un banc de galets après différents évènements hydrologiques

Junjian DENG (1),

Benoît CAMENEN (1),

Lionel PENARD (1)

(1) INRAE UR RiverLy, Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes
5 Rue de la Doua 69100 Villeurbanne

INRAE

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

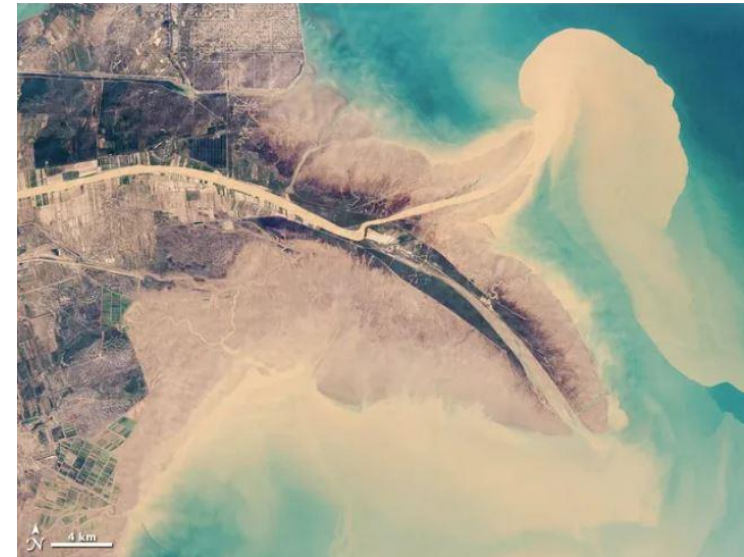


Sédiment Fin – Élément Fondamental dans les rivières

- Contribue à 90% du flux annuels de sédiment à l'échelle globale (Syvitski et al., 2005)
- Responsable du transport des **métaux lourds**, des **nutriments** et des **micro-organismes** dans les rivières (Walling et al., 2001; Owens and Walling, 2002; Liu et al., 2004; Coynel et al., 2005a, 2005b)
- Maintient la continuité **écologique** à travers les cours d'eau, abrite et alimente des espèces des milieux aquatiques (Findlay, 1995; Baxter & Hauer, 2000; Sterneckner et al., 2013)



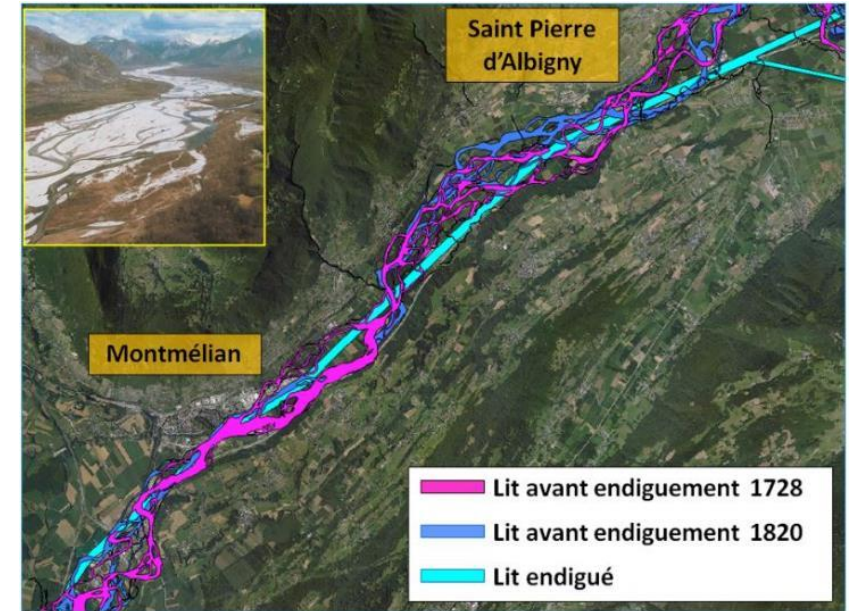
Source : <https://www.nationalgeographic.org/article/understanding-rivers/#jinsha-river>



Source : <https://www.wired.com/2010/02/anthropogenic-avulsion-in-the-huang-he-yellow-river-delta/>

Rivières alpines – Influencées par les activités anthropiques

- Caractérisées par une ingénierie intense
 - Système d'endiguement
 - Construction d'aménagements hydrauliques
 - Dérivation et restitution de l'eau
 - Extraction de matériaux alluvionnaires
 - Ouvrages RTM
- Evolution morphologique importante
 - De rivières **en tresse** au **système de bancs alternés** (Jaeggi, 1984; Jaballah, 2013)
 - Incision du lit (Bravard et al., 1998)
 - Rétrécissement du chenal (Liebault & Piegay, 2002)



Source : SISARC



Source : Thèse Jaballah M. (2013)

Problématique des sédiments fins dans les rivières alpines

- Grandes quantités des apports de sédiments fins issus de l'érosion en amont
- **Atterrissement** des bancs via des dépôts de fines successifs
- Développement de la **végétation** (Jourdain, 2017)
- **Erosion** latérale des digues
- Risque d'**inondation** par débordement de cours d'eau lorsqu'une crue



Source : Camenen et al. (2016)



Source : Camenen B.



Source : SISARC

Objectif

- Quantifier la **dynamique des dépôts** de sédiments fins à la surface de bancs
 - Application d'un outil d'**analyse d'image** développé dans le cadre du projet de l'Agence de l'Eau RMC en 2018
- Comprendre **l'évolution intra-annuelle et évènementielle** des dépôts surfaciques
 - Lien avec le projet ANR DEAR
 - Etudier sur les processus d'**érosion** et **déposition** sur les bancs
 - Comprendre l'impact des **différentes conditions hydro-météorologiques** sur l'évolution des dépôts

INRAE

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR



Analyse d'image sur les dépôts surfaciques d'un banc

- Site d'étude :

- Un banc de galets sur l'Arc à Ste-Marie-de-Cuines 16km en aval du barrage St-Martin-La-Porte

- Plusieurs sources de données :

1. Photogrammétrie :

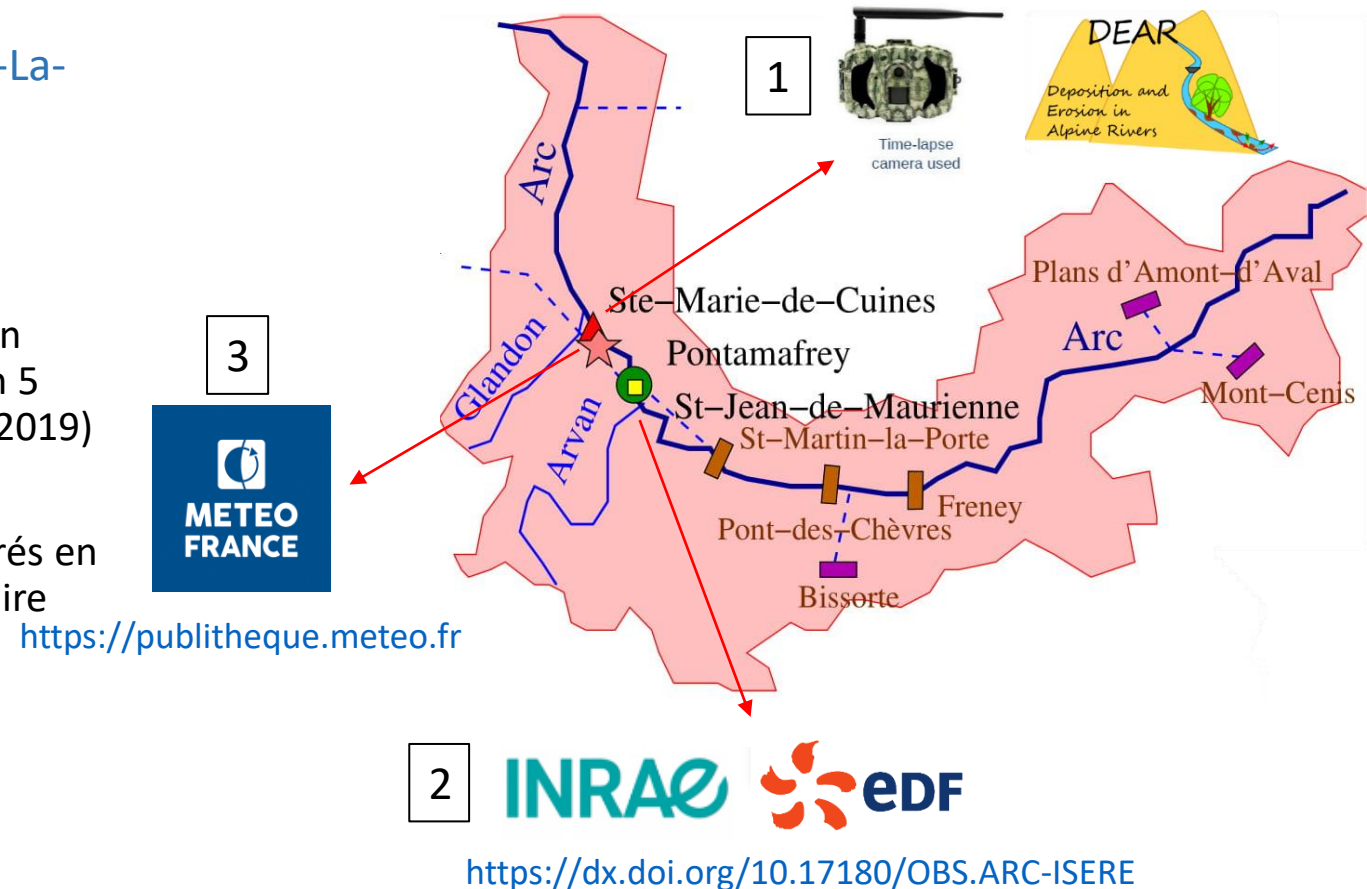
- Jeu de **photos** prises depuis la berge par un caméra de surveillance (résolution environ 5 cm/pixel; 1730 photos sur deux ans 2018-2019)

2. Données hydro-sédimentaires :

- **Débit liquide** et **concentration MES** mesurés en continu dans une station hydro-sédimentaire

3. Données météorologiques :

- **Pluie** cumulée journalière
- Vitesse/Direction du **vent** horaire



Estimation des surfaces de dépôts par l'analyse d'image

- Méthode d'analyse d'image
 - Orthorectifier la photo prise depuis la berge
 - Pre-traitement → emploi d'un filtre passe-haut → mise en évidence des éléments texturaux
 - Clustering → application de l'algorithme K-means clustering → trouver les pixels des dépôts
 - Calculer l'aire des dépôts



Photo originale

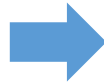


Photo orthorectifiée

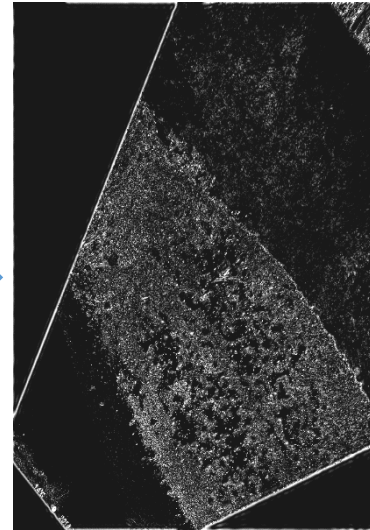
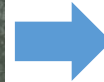


Photo pre-traitée

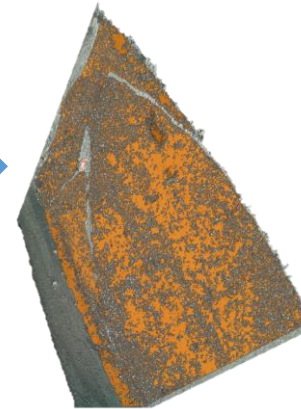
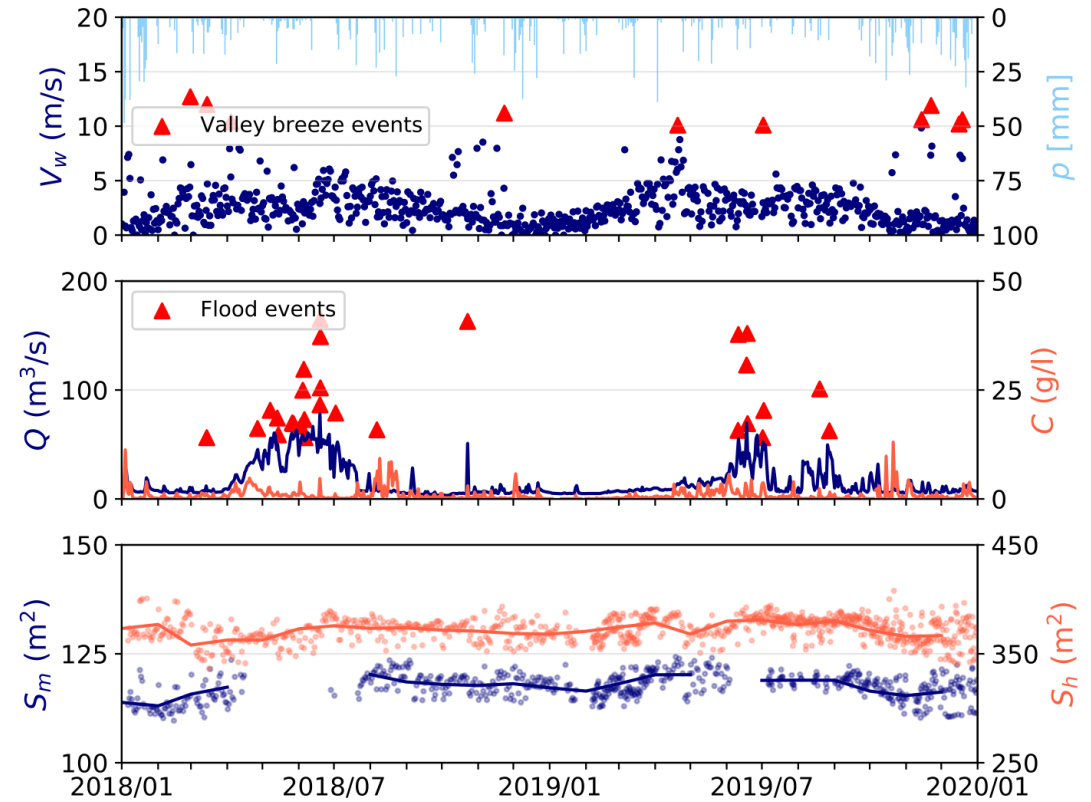
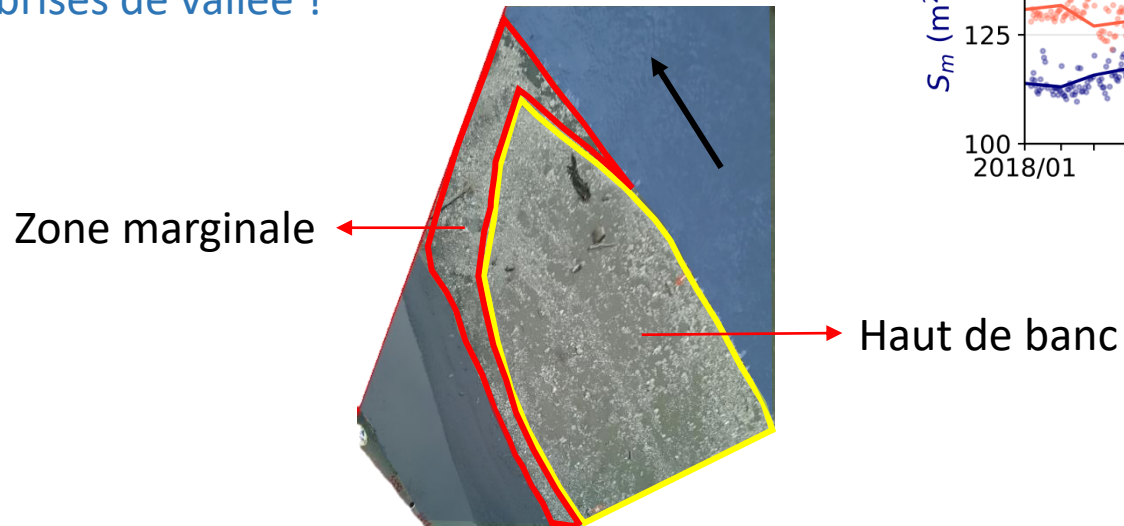


Photo segmentée

Evolution intra-annuelle des dépôts

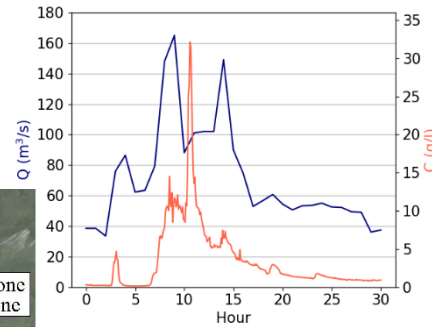
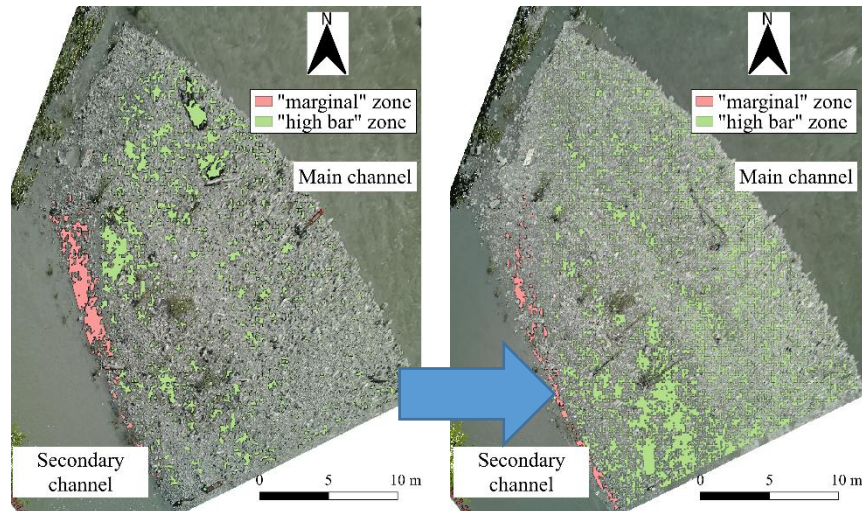
- Zone marginale :
 - Dépôts sensibles à la fluctuation de débit
 - Nouveaux dépôts après la période de crue 2018
 - Dispersion des dépôts au printemps 2019 due aux brises de vallée ?
- Zone 'haut de banc' :
 - **Evolution importante due aux chasses de barrage, crues naturelles et brises de vallée fortes**
 - Dispersion des dépôts au printemps 2018 et 2019 due aux brises de vallée ?



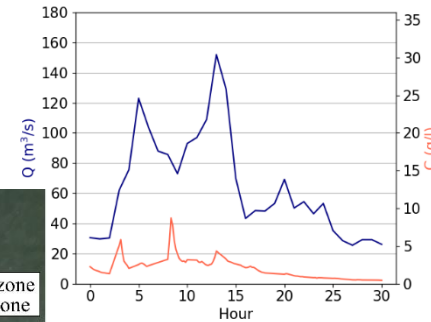
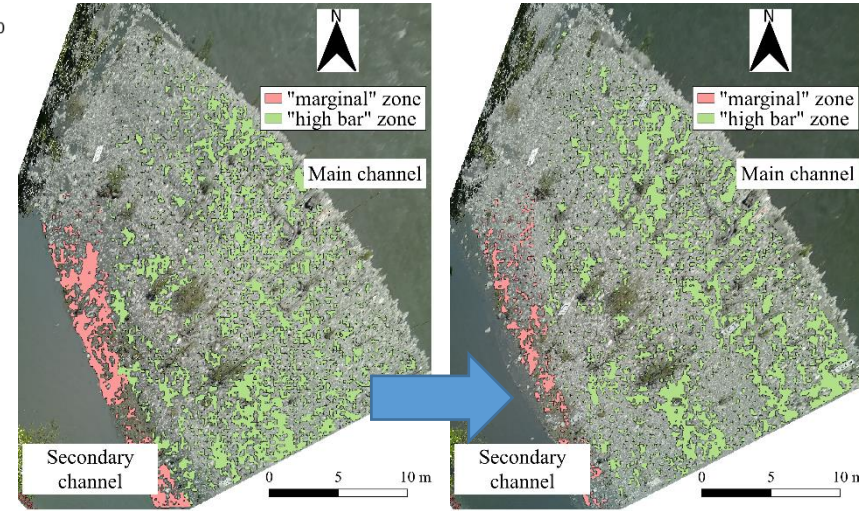
Evolution évènementielle des dépôts – Evènements hydrologiques

- Evolution importante de la distribution spatiale des dépôts après deux chasses de barrage
 - Dynamique différente entre deux chasses due à la variabilité de la condition hydro-sédimentaire
 - Erosion latérale par advection dans la zone marginale
 - Erosion et déposition dans la zone 'haut de banc'
- Variabilité de l'évolution pour les 21 évènements de crue au cours de deux ans

Chasse 2018



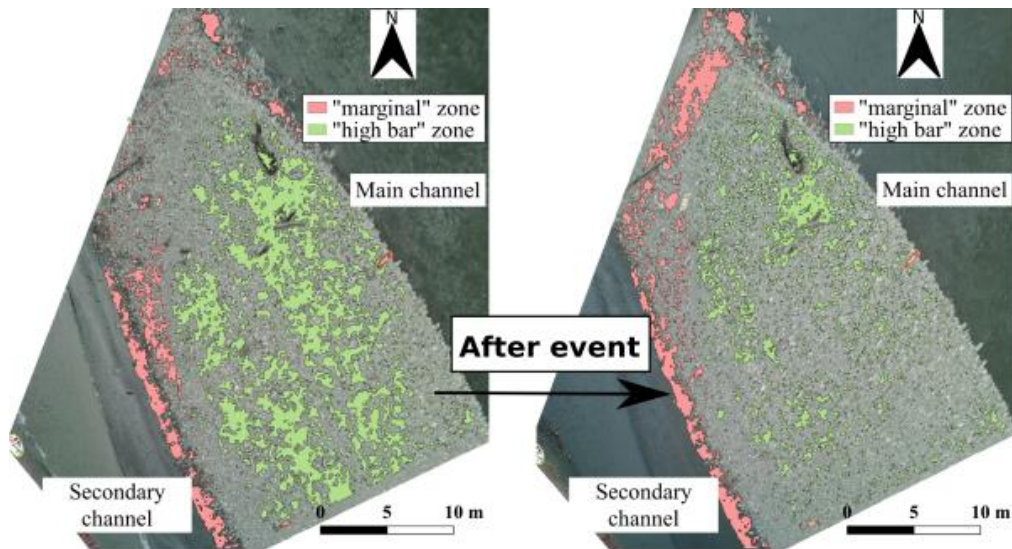
Chasse 2019



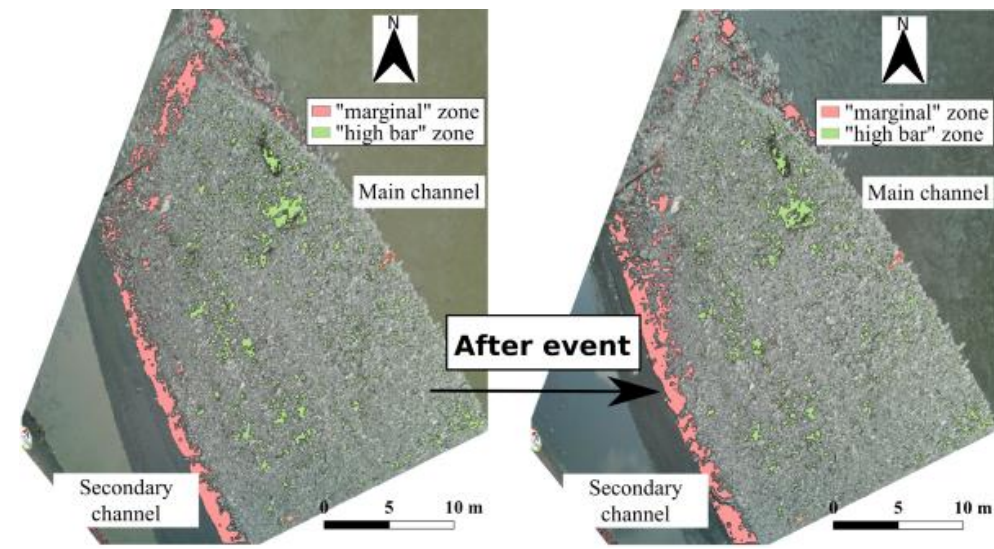
Evolution évènementielle des dépôts – Evènements orographiques

- Transport éolien de dépôts pendant les brises de vallée fortes
 - Dispersion des dépôts vers les chenaux
 - Variabilité de l'évolution due à l'humidité de dépôts
 - Transport important observé pour un évènement suite a une période sèche
 - Faible érosion quand les dépôts sont mouillés

Evolution après un évènement suite à une période sèche



Evolution après un évènement suite à une précipitation



Modélisation de la dynamique de dépôts pendant un évènement

- Modèle 0D pour un évènement hydrologique

- Flux vertical moyen sur le banc Φ :

- Loi de Krone-Parthéniades en prenant le débit et la concentration mesurés en amont
 - 5 classes de sédiments transportés $\rightarrow$ 1 classe de limon-argile + 4 classes de sable (Camenen et al., 2016)
 - Ajout d'une **terme empirique** pour l'érosion latérale lors de la récession de l'hydrogramme

$$\Phi = a_{pd}(C - C_{eq})W_s + \alpha_e \frac{dh}{dt}$$

- Modèle du transport éolien pour un évènement orographique

- Capacité du transport éolien q_{sw} :

- Loi de Horikawa, 1983 basée sur la vitesse du vent et la granulométrie des dépôts

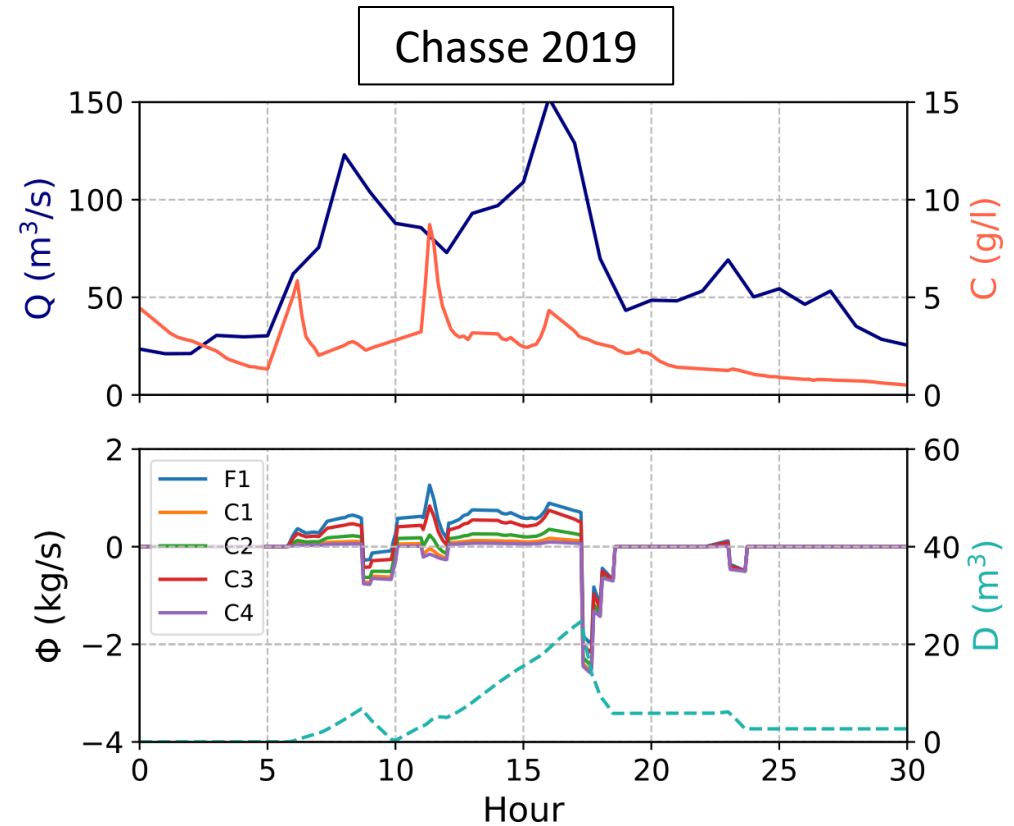
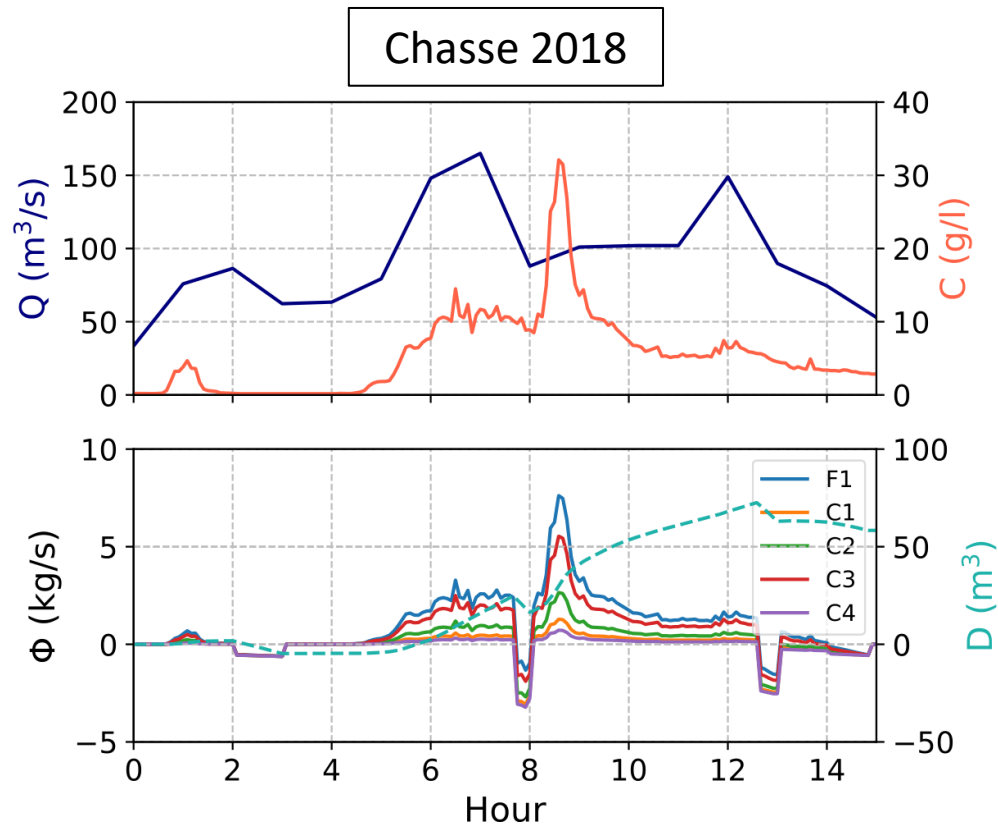
$$q_{sw} = \alpha_w \frac{\rho_a}{g} \sigma_s^n \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^{1/2} (u_w^* + u_{wc}^*)^2 (u_w^* - u_{wc}^*)$$

- Coefficient α_m pour corriger u_{wc}^* en prenant en compte l'humidité (McKenna-Neumann and Nickling, 1989) ($\alpha_m = 2$ si les dépôts sont mouillés)

$$u_{wc}^* = \alpha_m u_{wc0}^*$$

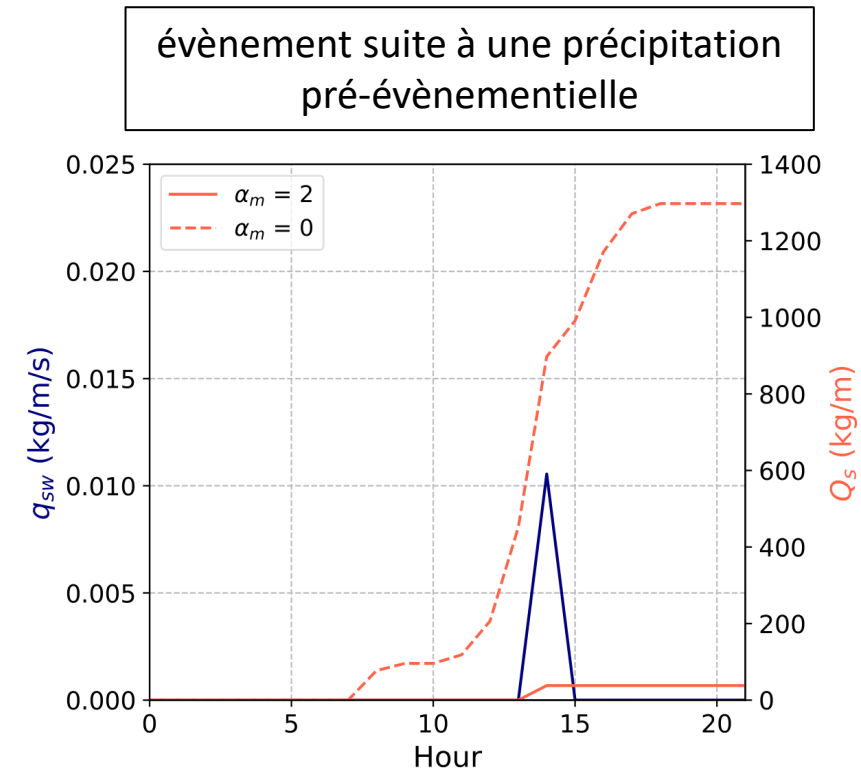
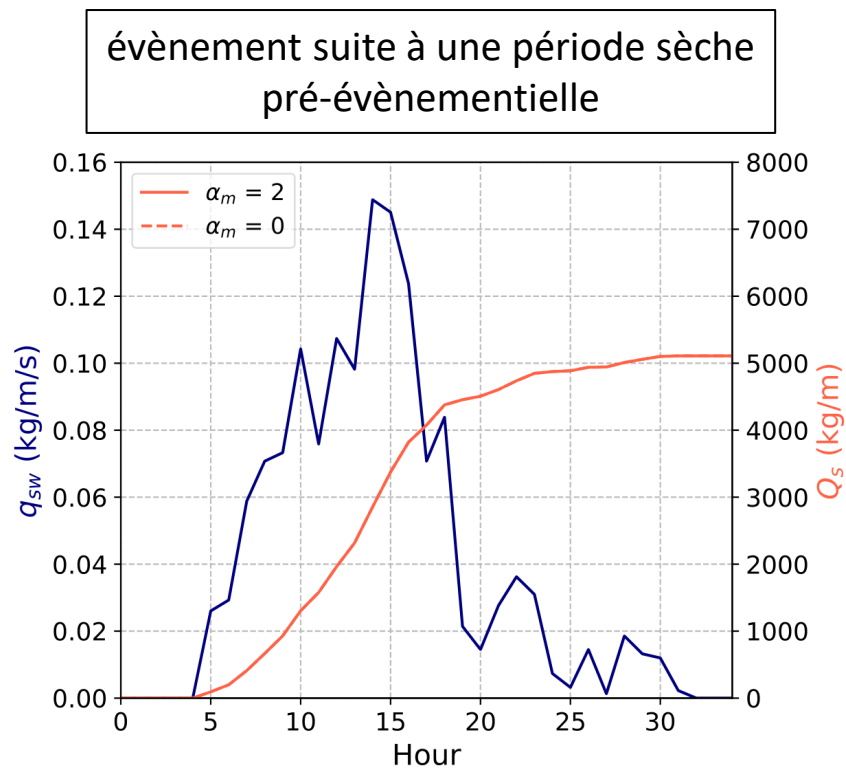
Evolution temporelle de dépôts lors d'un évènement hydrologique

- Accumulation des dépôts lors de la submersion totale du banc avec l'eau concentrée
- Erosion lors de la récession



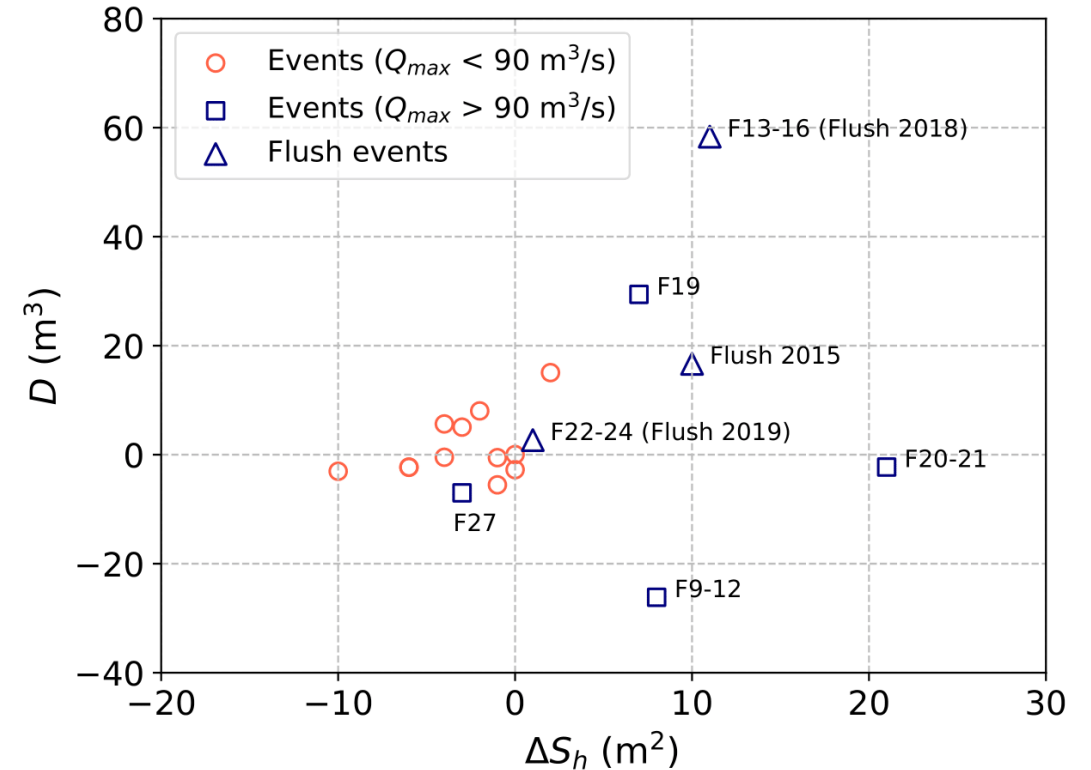
Evolution temporelle de dépôts lors d'un évènement orographique

- Capacité du transport éolien corrélée à la vitesse du vent
- Quantité élevée de sédiments transportés pour un évènement de longue durée sur des dépôts secs
- Effet important de l'humidité des dépôts



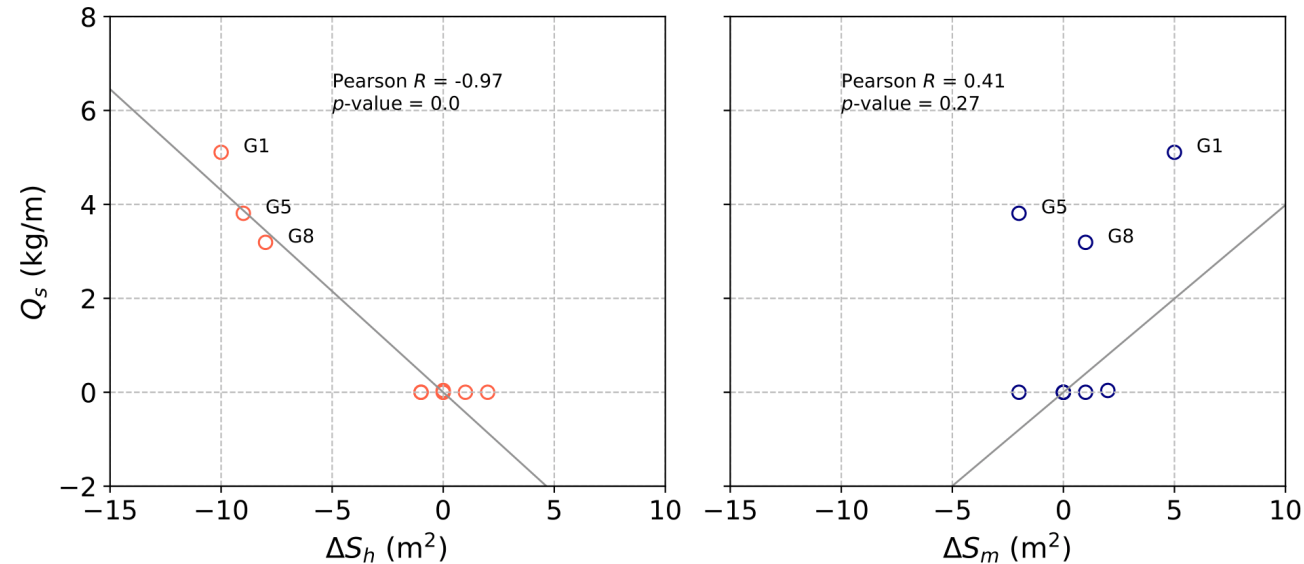
Comparaison entre l'analyse d'image et la modélisation

- Deux corrélations selon les évènements hydrologiques
 - Evènements $Q_{max} > 90 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Submersion totale du banc lors de l'évènement
 - Erosion et déposition dans la zone 'haut de banc' bien capturées par le modèle sauf deux évènements en été (à priori surestimation d'érosion)
 - Evènements $Q_{max} < 90 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Submersion partielle du banc
 - difficile à modéliser par un modèle 0D vu les processus locaux proches de la zone marginale



Comparaison entre l'analyse d'image et la modélisation

- Corrélation importante pour la zone 'haut de banc'
 - Fort effet des coups de vent (transport vers le chenal)
 - Dispersion des zones de dépôts sur la surface du banc pour les petits événements
- Corrélation inverse non-significative pour la zone marginale
 - Dépôts perturbés par l'écoulement
 - Nouveaux dépôts éventuels venant de la zone 'haut de banc' transportés par les événements importants



Conclusions

- Evolution intra-annuelle des dépôts sur un banc de galets obtenue grâce à une méthode d'analyse d'image
 - Evolution importante après les chasses de barrage, crues naturelles et brises de vallée fortes
 - Dispersion des dépôts au printemps sous les effets des brises de vallée
- Variabilité de l'évolution des dépôts après les événements hydrologiques
 - Chasses de barrage : fort effet sur la distribution spatiale des dépôts
 - Crues naturelles : dépend des conditions hydro-sédimentaires en amont et condition initiale des dépôts
 - Globalement capturée par un modèle 0D simple → une évaluation globale de la dynamique
- Dispersion des dépôts vers le chenal après les événements orographiques
 - Disparition des dépôts dans la zone 'haut de banc' à cause de la capacité élevée du transport éolien
 - Impact important de l'humidité des dépôts avant l'évènement

Perspectives

- Modélisation 2D ou 3D pour analyser en détail l'évolution évènementielle des dépôts
- Effet potentiel à long terme de la végétation sur la dynamique des dépôts
 - Peut potentiellement créer les dépôts et les protéger contre l'érosion de l'écoulement (Vargas-Luna et al., 2015)
- Application de la méthode d'analyse d'image sur les images de drone pour analyser la distribution spatiale des dépôts à plus grande échelle



Merci pour votre attention !
Questions ?