

EVOFOND : un modèle 1D pour la simulation des processus d'érosion et de dépôt survenant au cours de crues torrentielles intenses

Damien KUSS (1), Yann QUEFFELEAN (1), Simon CARLADOUS (1), Rémy MARTIN (2)

(1) : Office National des Forêts, Direction Forêt & Risques Naturels, 9 quai Créqui, 38 000 Grenoble

(2) : Office National des Forêts, Agence RTM Alpes du Nord, 9 quai Créqui, 38 000 Grenoble

Contact : damien.kuss@onf.fr



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION

Liberté
Égalité
Fraternité





Plan de la présentation

- **Introduction**

- Spécificités des crues torrentielles
- Evaluation de l'évolution du niveau de fond de lit

- **Présentation d'EVOFOND**

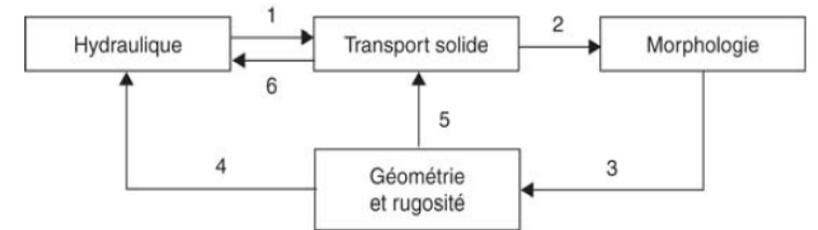
- Motivations – structure du projet
- Cœur du calcul
- Evolutions capturées

- **Focus sur la modélisation des évolutions liées aux contractions brusques**

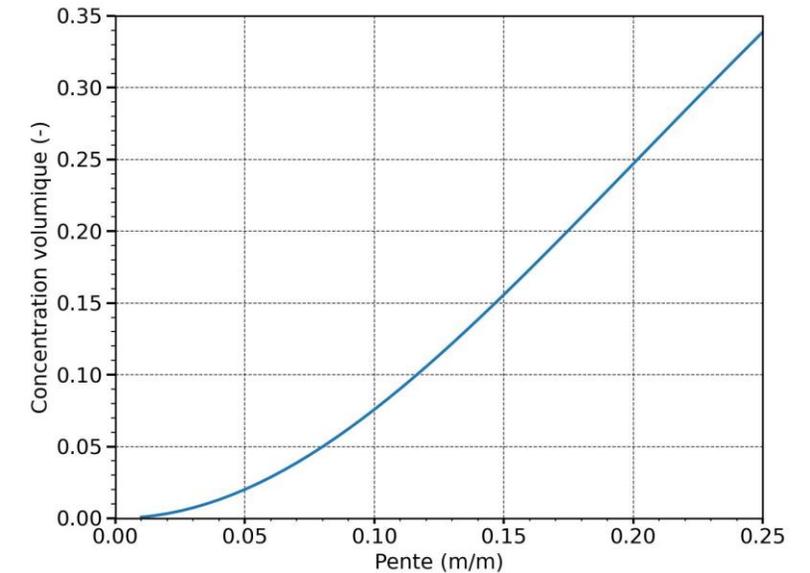
- Comparaison EVOFOND – modèle physique
- Application sur un cas réel : Tempête Alex – Crue de la Roya à Breil sur Roya (06)

Spécificités des crues torrentielles

- Transport solide intense : charriage avec $C_v \approx 1-40 \%$
- L'hydraulique et le transport solide sont indissociables
- Evolutions fortes : verticales + plan

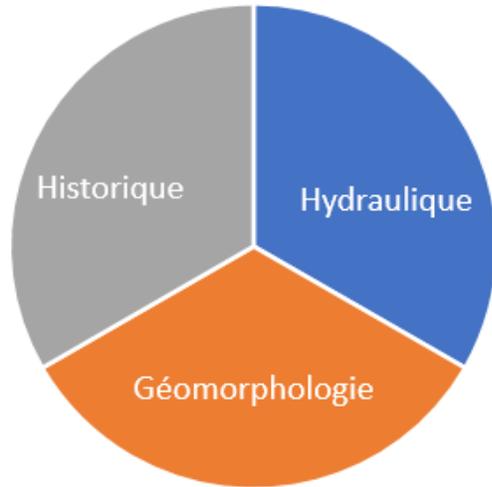


Source : Recking et al., 2013. Modifié de Richard, 1997

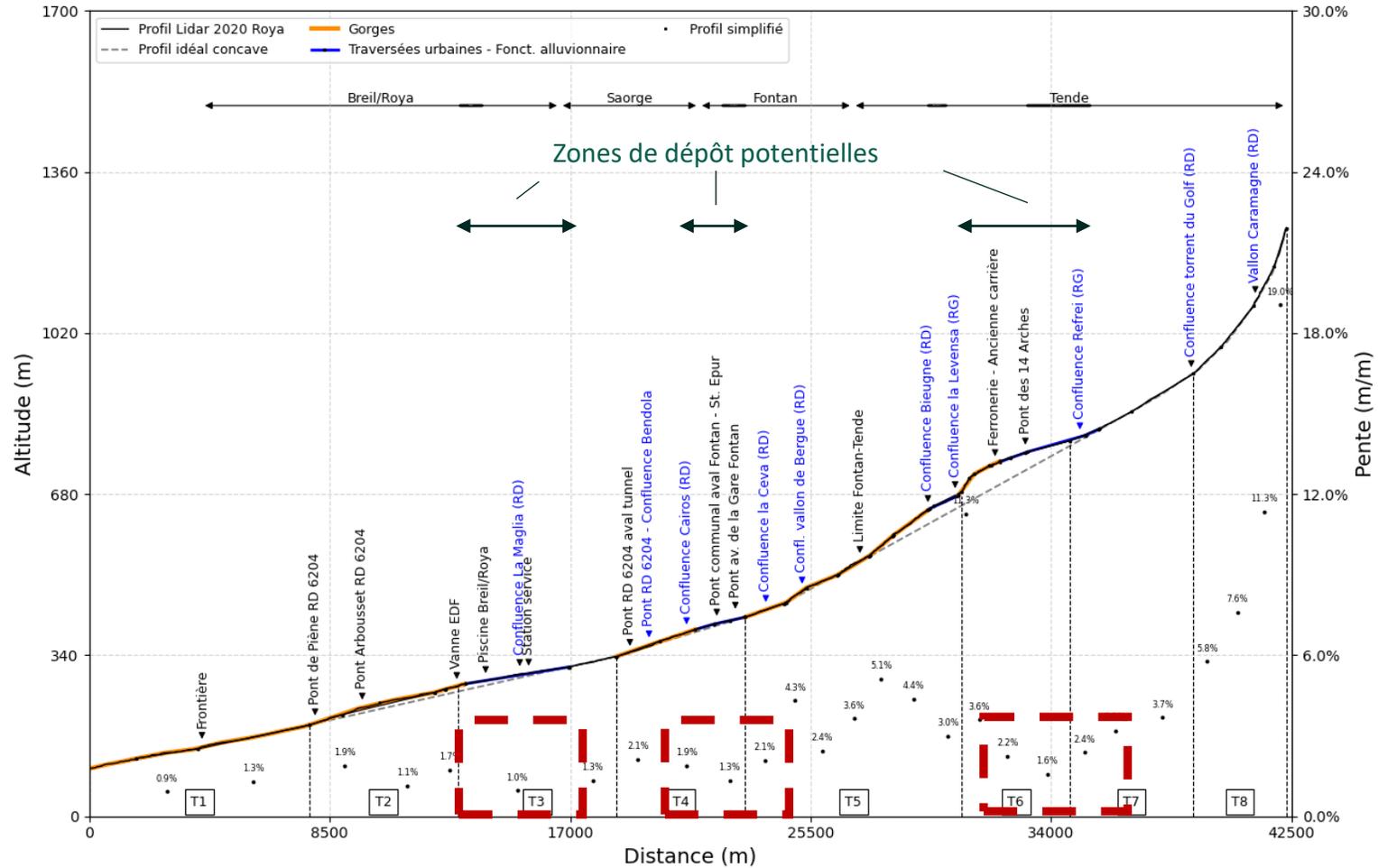


Evaluation du niveau de fond atteint en crue

- Importance d'une analyse croisée :



- Géomorphologie : analyse du profil en long primordiale
- Hydraulique : modélisation numérique pour quantifier (ordres de grandeur) les évolutions attendues en crue

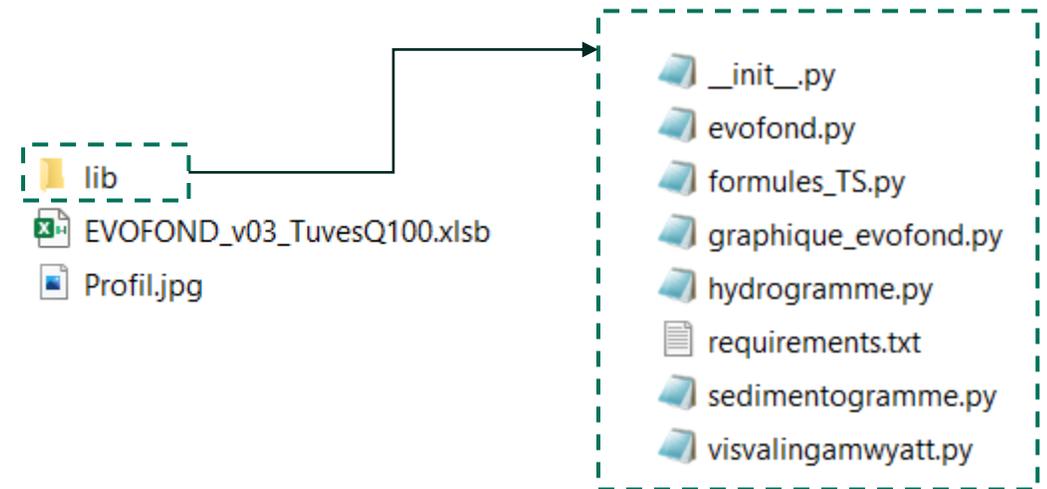


Profil en long de la Roya. Source : RETEX Géomorphologique post crue Alex



EVOFOND – motivations – structure du projet

- **Objectif : modélisation numérique de l'évolution du fond au cours de crues intenses (et h eau + Charge)**
- **Cadre d'utilisation adapté au contexte des crues torrentielles**
 - Cours d'eau torrentiels : $S > 1,0$ à $1,5$ %
 - Transport solide \gg « seuil » de début de transport = phase 3 A. RECKING (sédiments grossiers entièrement mobilisés)
- **Usage adapté aux praticiens**
 - Interface MS EXCEL pour la saisie des données
 - Langage Python pour les calculs numériques et les graphiques de résultats
 - MS Excel pour la sauvegarde des résultats
- **Code libre d'accès diffusable sur demande**
- **Structure d'un dossier de travail**





EVOFOND – principales caractéristiques

• Géométrie

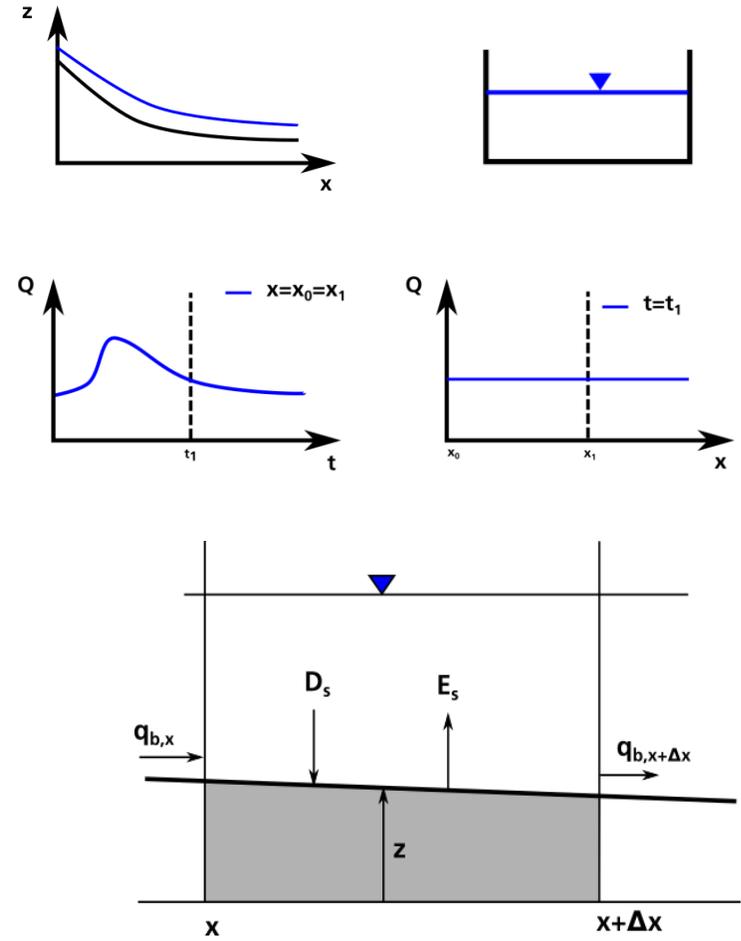
- Modèle 1D unibief
- Sections rectangulaires

• Hydraulique

- Modèle à débit uniforme
- Hypothèse de régime critique ($Fr=1$) acceptable pour les cours d'eau de montagne ($S > 1,0-1,5 \%$)

• Transport solide

- Equation d'Exner couplée à une formule de transport solide par charriage
- Formules de transport adaptées aux cours d'eau torrentiels : Meunier (1989), Rickenmann (1990, 1991), Lefort (1991, 2015), Piton et Recking (2017)
- Transport solide calculé avec la ligne d'énergie.
- Correction de ligne d'énergie pour assurer H strictement croissant vers l'amont
- Limitation possible de l'incision : substratum, crête de barrages, radiers,...





EVOFOND – évolutions de fond de lit capturées

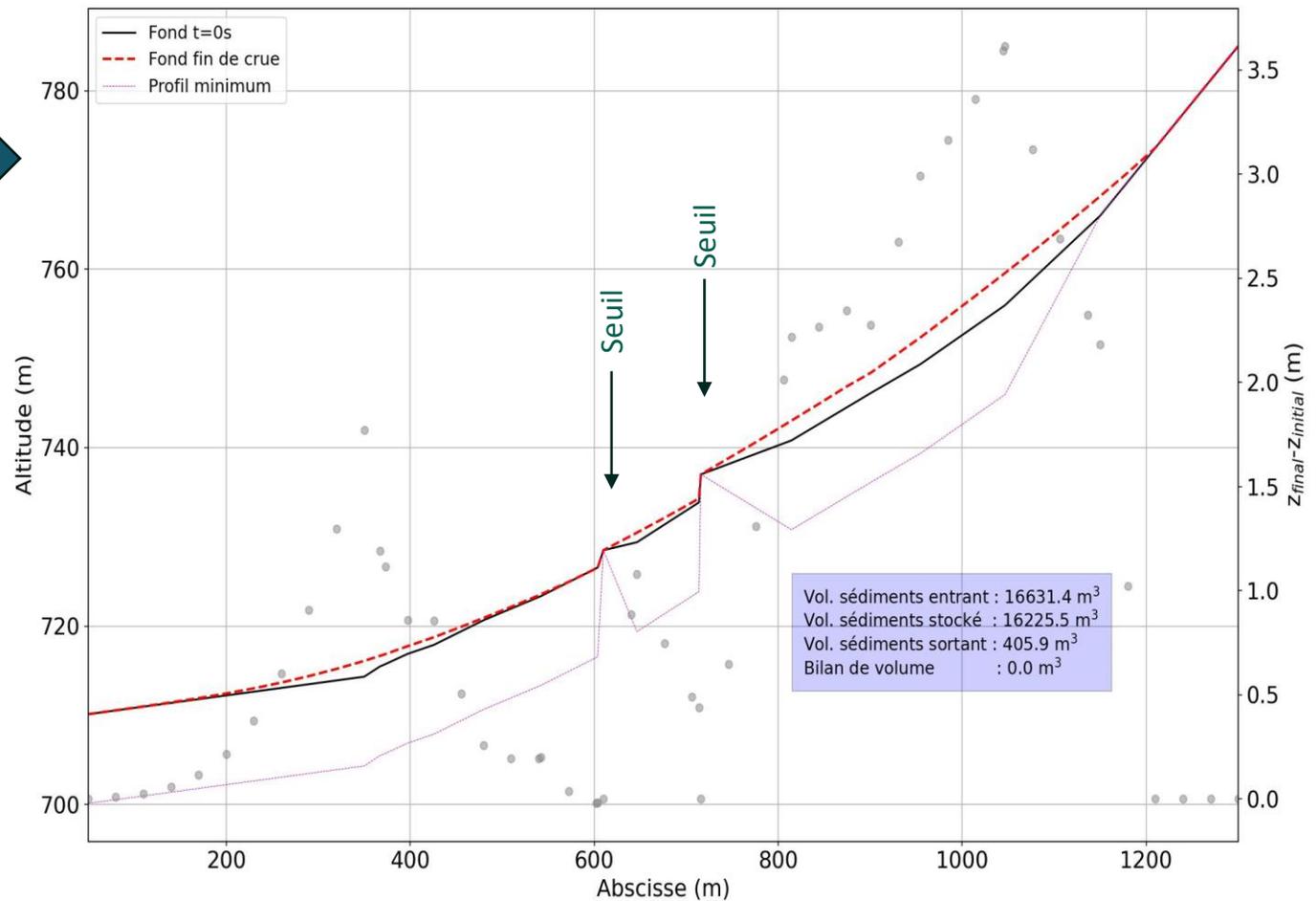
• Modifications du fond de lit liées à l'évolution de la capacité de transport

- Variations de pente
- Variations de largeur
- (Variations de granulométrie)



• Modifications du fond de lit liées à des influences aval

- Contractions brutales du lit
- Contre pentes

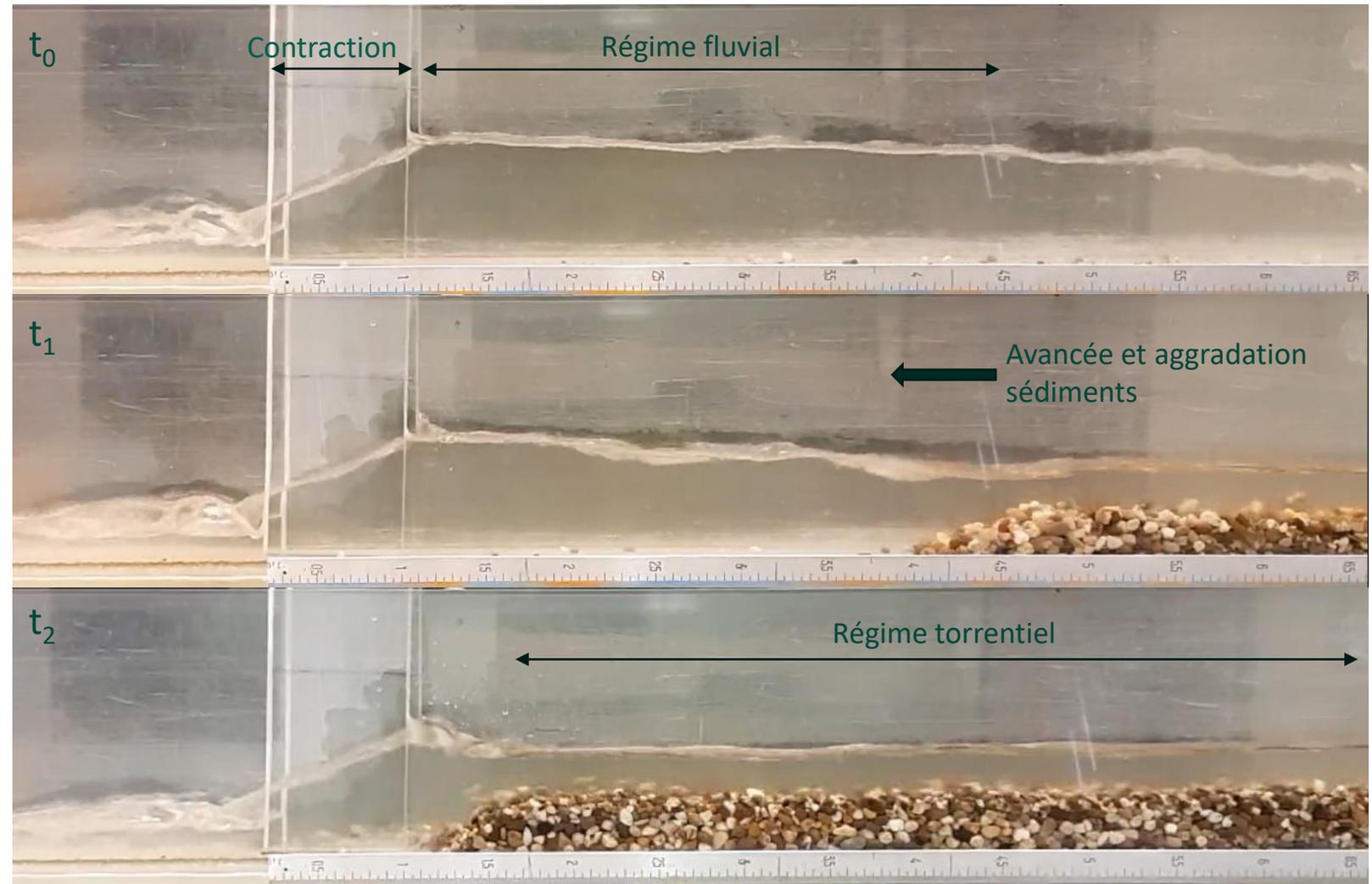




EVOFOND – comparaison modèle physique

• Dispositif expérimental ENGEEES – Icube (Velten, 2017)

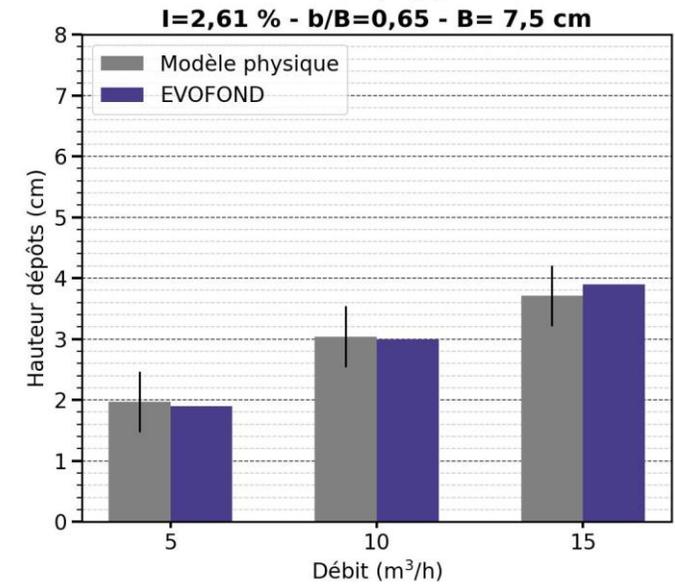
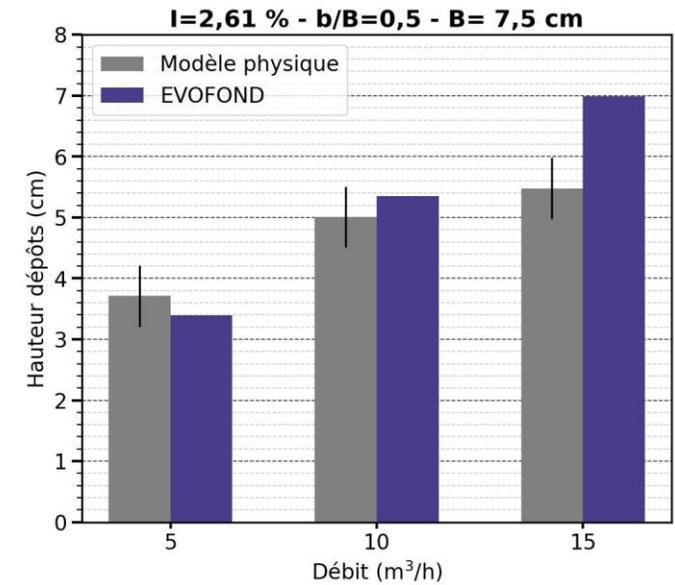
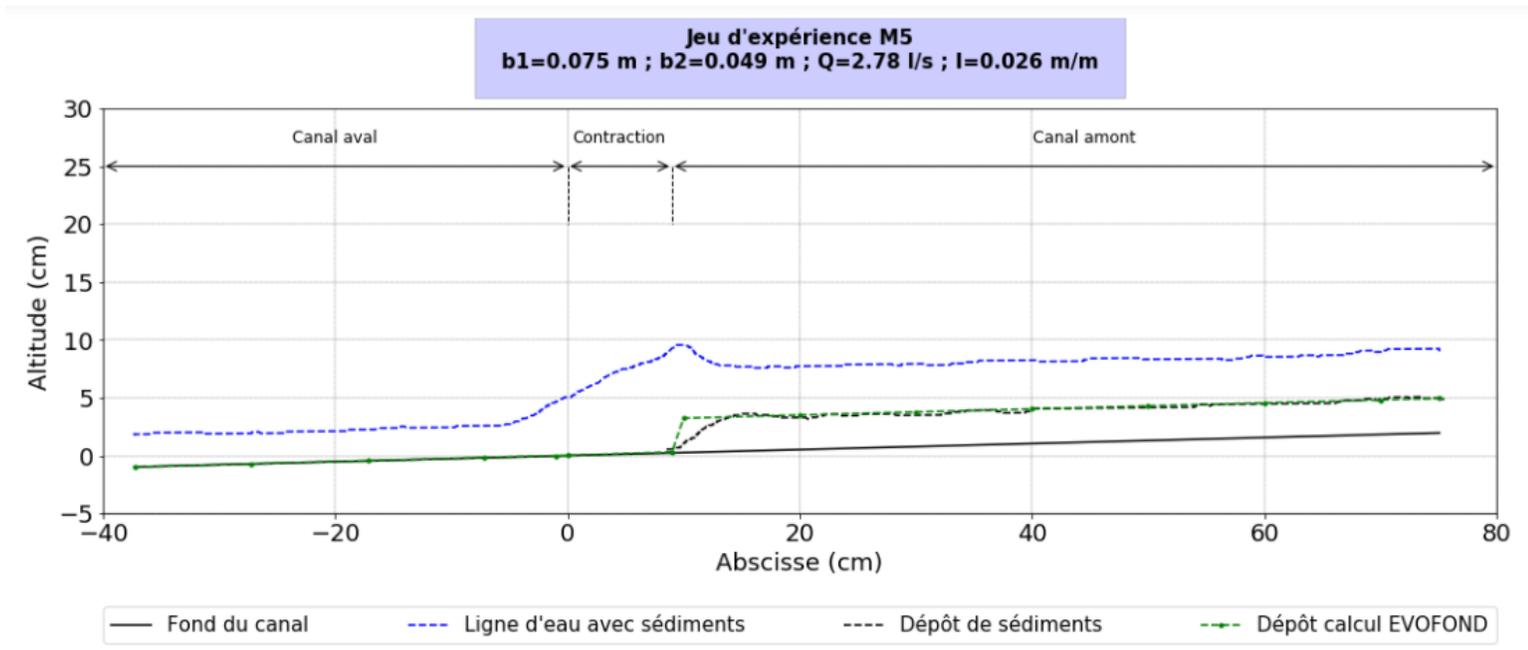
- Canal largeur 7,5 cm
- Pente : 0,7 – 2,6 – 3,6 %
- Débit : 5 à 15 m³/h
- 3 contractions testées
- Sédiments : 1-3 mm / 3-6 mm
- Alimentation Qs avec convoyeur à bandes
- Mesure du fond et des niveaux par traitement d'images (Labview)
- Incertitude : 5 mm





EVOFOND – comparaison modèle physique

- **Hauteurs de dépôts : résultats satisfaisants**
 - Erreur max : 28 %
 - Erreur moyenne : 9 %
- **Interprétation complémentaire**
 - Pilotage 100 % hydraulique
 - Indépendance h dépôt vis à vis loi de transport solide / granulométrie

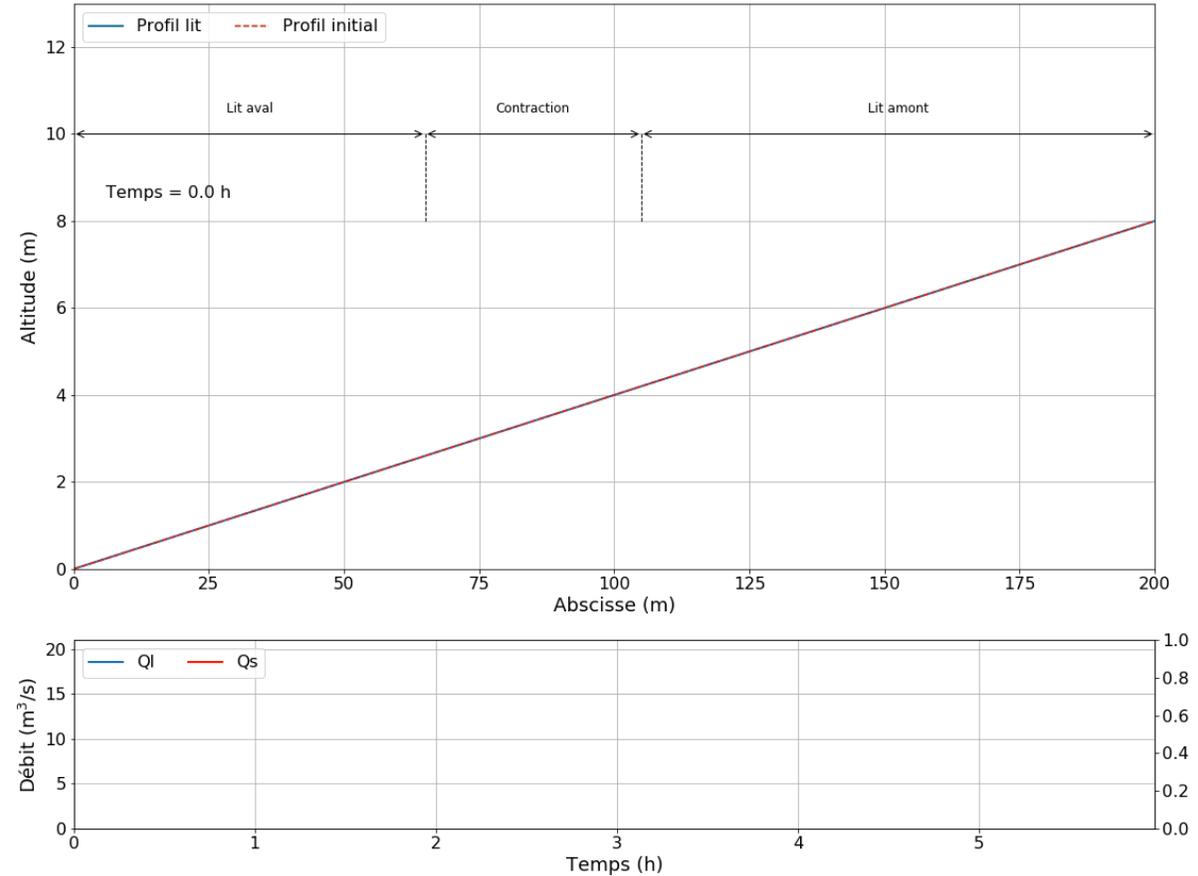


Résultats de hauteurs de dépôts en amont de la contraction



EVOFOND – dynamique de formation du dépôt

- **Dynamique de formation du dépôt en amont contraction non capturée**
 - Contrôle de l'avancée du front de dépôt liée au ressaut hydraulique
 - Nécessiterait un modèle avec résolution du système d'équation de St-Venant
- **Seuls les maxima sont modélisés...**



EVOFOND – Influence contraction en situation réelle

• Crue Alex à Breil/Roya (10/2020)

- Pluviométrie : $T \approx 1000$ ans pour $d=12h$
- $Q_p \approx 1100$ à $1800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Engrèvement plurimétrique dans la traversée de Breil
- Q dérivé en amont du pont supérieur ≈ 300 à $375 \text{ m}^3/\text{s}$
- Contraction du lit à l'aval au niveau de pont déchetterie et vanne EDF
- Pont Charabot obstrué par les flottants
- Ensemble de la rive droite à l'amont pont déchetterie inondé



EVOFOND

Effet de contractions. Exemple de la crue Alex à Breil/Roya (10/2020)



EVOFOND – Influence contraction en situation réelle

• Géométrie

- Fond initial : assemblage fond EDF post travaux 2015 + bd topo IGN (X > 14000)
- Fond fin de crue : levé Lidar IGN

• Conditions limite amont

- Hydrogramme EDF, $Q_p = 1330 \text{ m}^3/\text{s}$
- Formule TS :
 - Rickenmann (1991) ;
 - $d_{50} = 0,05 \text{ m}$; $l = 1,5 \%$

• Loi déversement

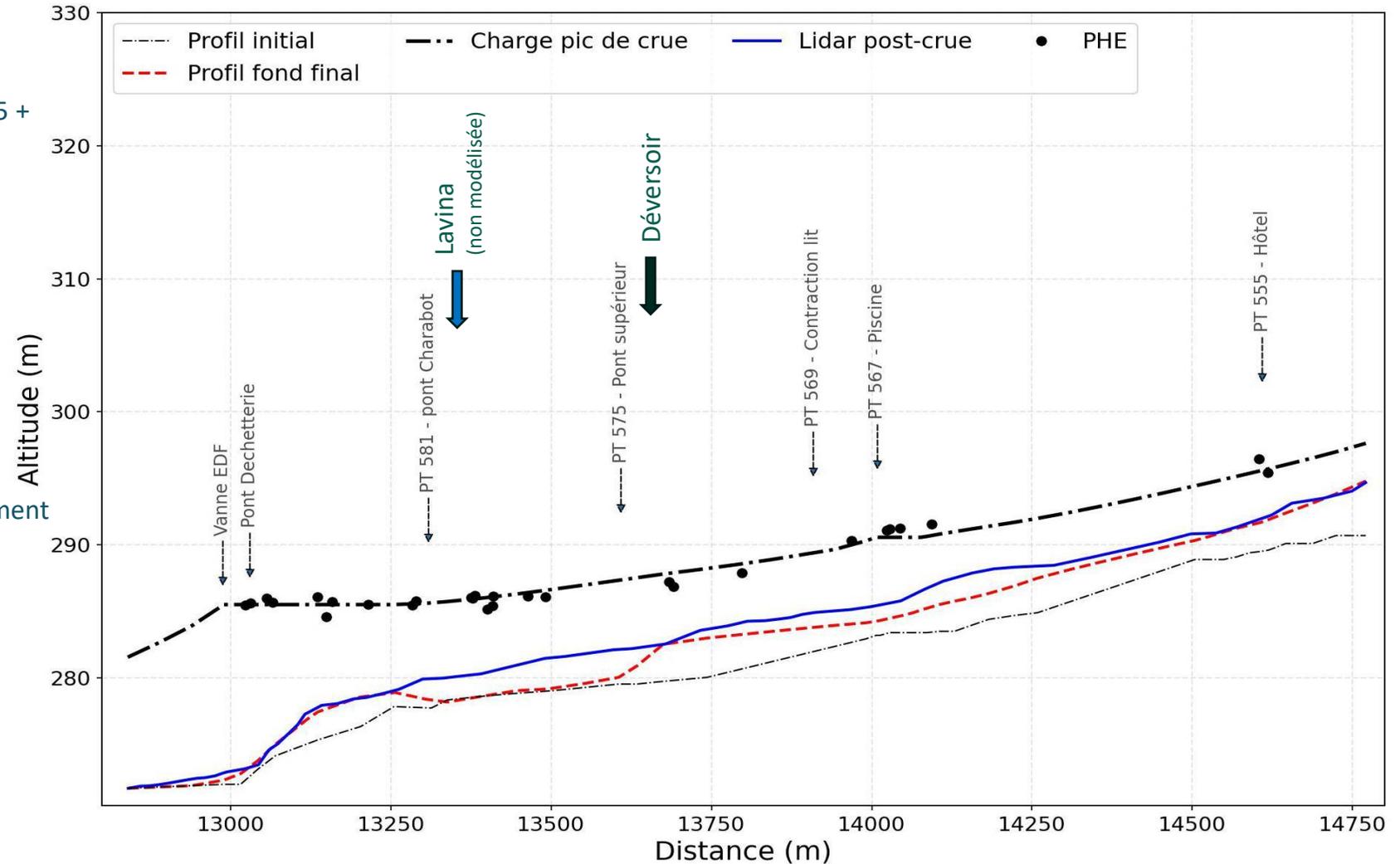
- Code modifié pour prendre en compte le déversement
- Hypothèse d'écoulement en charge

• Fond inaffouillable

- Au droit vanne EDF, $L = 16 \text{ m}$

• Pont de Charabot

- Non pris en compte
- Submergé au pic
- Obstrué par les flottants



Résultats modèle EVOFOND : fond final et charge au pic de crue



Conclusion

- **EVOFOND = outil simple pour l'étude de l'évolution du fond de lit en contexte torrentiel lors de crues avec transport solide par charriage**
 - Ne se substitue pas à une analyse géomorphologique : analyse du profil en long, évolutions des largeurs, examen de carte d'ombrage du Lidar,...
 - Permet d'étudier rapidement des scénarios multiples de fourniture hydrosédimentaire
 - Permet de quantifier des ordres de grandeur de modifications de fond de lit
 - En lien avec évolution capacité de transport
 - En lien avec variations brusques de largeur
- **Compromis Simplicité de la modélisation des processus / Usage**
- **Garder en mémoire les limites du modèle**
 - Conception d'ensemble : Pas de prise en compte de confluences ; Largeur constante ; 1D !
 - Hydraulique : Pas de modèle de routage
 - Transport solide : variabilité naturelle du charriage + incertitude forte des formules : IC 80 % : [0,1.Qs ; 10.Qs]

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



Torrent du Béranger (38) – Avant et après crue (2015)