

# HYDRODEMO : ET APRÈS ? PREDETERMINATION DES VOLUMES SOLIDES / PREVISION DES CRUES LIMITES & PERSPECTIVES

Damien KUSS / DFRN ONF – Pôle RTM / [damien.kuss@onf.fr](mailto:damien.kuss@onf.fr)

Yann QUEFFELEAN / DFRN ONF – Pôle RTM / [yann.queffelean@onf.fr](mailto:yann.queffelean@onf.fr)

Simon CARLADOUS / DFRN ONF – [simon.carladous@onf.fr](mailto:simon.carladous@onf.fr)



Séminaire HYDRODEMO – 12/2021



# INTRODUCTION – Projet HYDRODEMO

## Des avancées scientifiques pour un usage opérationnel

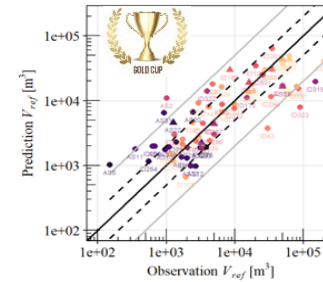
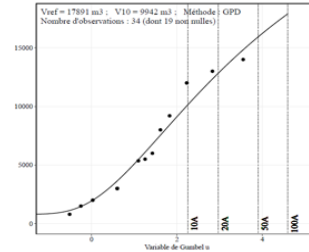
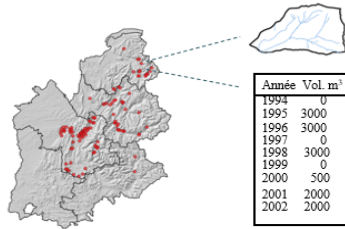
### HYDRODEMO

	HYDRODEMO			
	<b>Prédétermination des crues</b>	<b>Prévision des crues</b>	<b>Alerte et évacuation</b>	<b>Constat post crue</b>
<b>Objectif</b>	Caractériser les crues de référence: QI, Vs, D,...	Prévenir les autorités et le public qu'il existe un risque de crues	Mettre à l'abri la population face à un risque imminent	Consigner / Expliquer l'évènement
<b>Temps</b>	Pas de considération temporelle	Quelques heures à quelques jours	Quelques minutes à quelques heures	Qq heures à qq jours après crue
<b>Actions HYDRODEMO</b>		A2 : Scénarios atmosphériques		
	A4 : Hydrologie petits BV			
		A5 : Concomitance de crues		
	A3 : Transport solide			
<b>Mission RTM</b>				

# INTRODUCTION – Projet HYDRODEMO

## Points abordés dans la présentation

### ➤ Prédétermination des volumes solides



- Quelle place d'Hydrodemo parmi l'ensemble des méthodes existantes ?
- Positionnement d'Hydrodemo / autres méthodes empiriques ?
- Limites des prédétermination de volumes avec méthodes empiriques
- Perspectives

### ➤ Constats post-crue. Retour d'expérience sur quelques évènements : questions posées pour l'amélioration de la prévision des crues

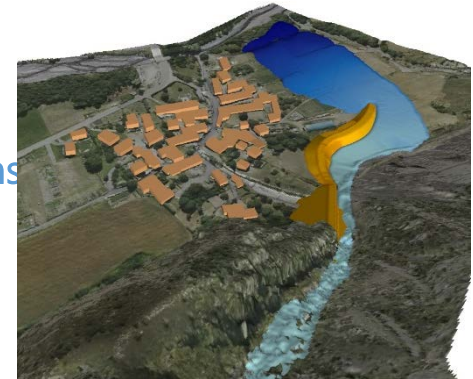
- Mesure radar pour la prévision des crues ?
- Lien cumul pluviométrie / intensité de pluie et intensité de crue torrentielle ?
- Existence de scénarios préférentiels de crue ?
- Perspectives

# 1 – Prédétermination des volumes solides

## Quelle utilisation opérationnelle ?

### ➤ Objectif

- Caractériser les aléas torrentiels = donnée d'entrée à étude de conditions d'écoulement
- Dimensionner / diagnostiquer ouvrage de protection passif



### ➤ Méthodes

**Méthodes Empiriques**

$V_s = f(\text{caract. BV})$   
*Caract. BV = A, SCE, Rzp,...*

**Méthodes Hydrologiques**

$V_s = f(V_r, \text{Pente}, D)$   
*Via Hydrogramme + Formule TS*

**Méthodes Géomorphologiques**

$V_s = \sum L_i \cdot E_i$   
*E<sub>i</sub> : taux d'érosion (m<sup>3</sup>/m)*

**Information Historique BV**

$V_s = V_s \text{ crue IXXX}$   
*Volume mobilisé crue historique*

### ➤ Méthodes empiriques

- Modèles de régression vs courbes enveloppe
- Monovariables :  $V_s = f(A)$  ou multivariables  $V_s = f(A, SCE, \dots)$
- Modèles rattachés ou non à une période de retour

### ➤ Limites

- Incertitudes !!!
- Choix du volume de référence ???

# 1 – Prédétermination des volumes solides

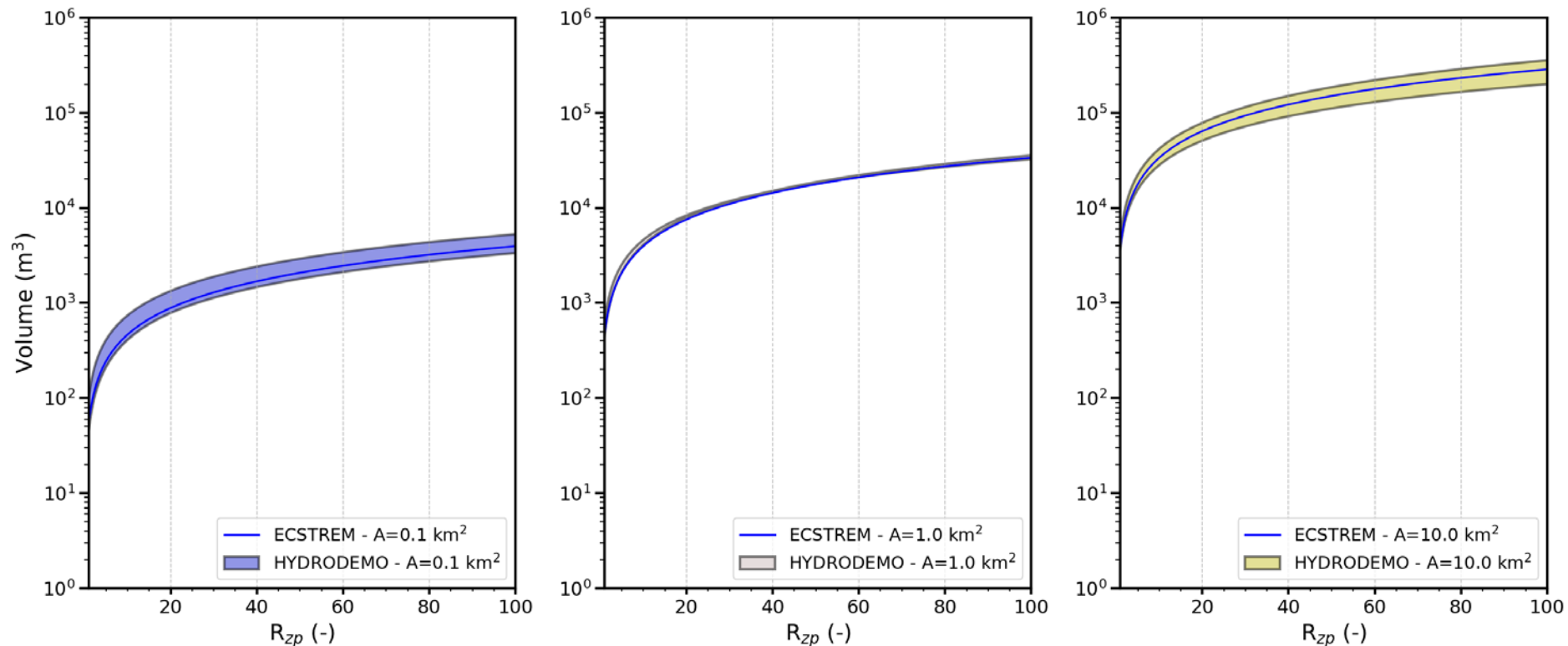
## Méthodes empiriques

### ➤ HYDRODEMO vs ECSTREM

- Pour les 2 méthodes : forte sensibilité à  $R_{zp}$  pour  $S_{bv} = \text{cte}$
- A forte pente proximité des résultats HYDRODEMO-ECSTREM.  $F < 2$
- Enveloppes Hydrodemo =  $f(S_{bv})$ . Proximité très forte pour  $S_{bv}$  0,5 à 5  $\text{km}^2$

### Comparaison modèles de prédétermination de volumes de laves - $I=0.200 \text{ m/m}$

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6  $I=0.200 \text{ m/m}$  - ECSTREM  $I=0.200 \text{ m/m}$



# 1 – Prédétermination des volumes solides

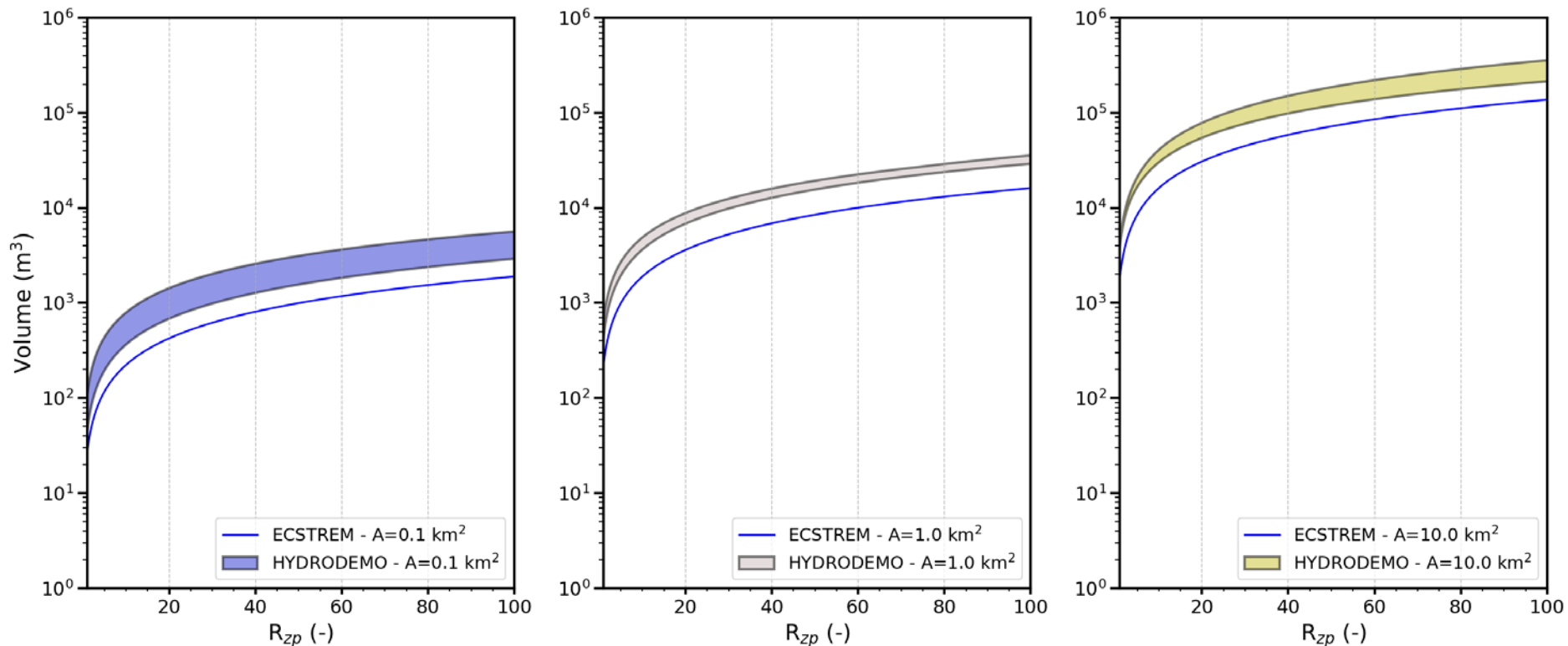
## Méthodes empiriques

### ➤ HYDRODEMO vs ECSTREM

- Faible sensibilité à la pente de méthode HYDRODEMO : lié à la qualité des données de l'échantillon ou traduit une réalité ???
- Enveloppe HYDRODEMO majorante de ECSTREM qq soit la pente

### Comparaison modèles de prédétermination de volumes de laves - $I=0.075$ m/m

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6  $I=0.075$  m/m - ECSTREM  $I=0.075$  m/m



# 1 – Prédétermination des volumes solides

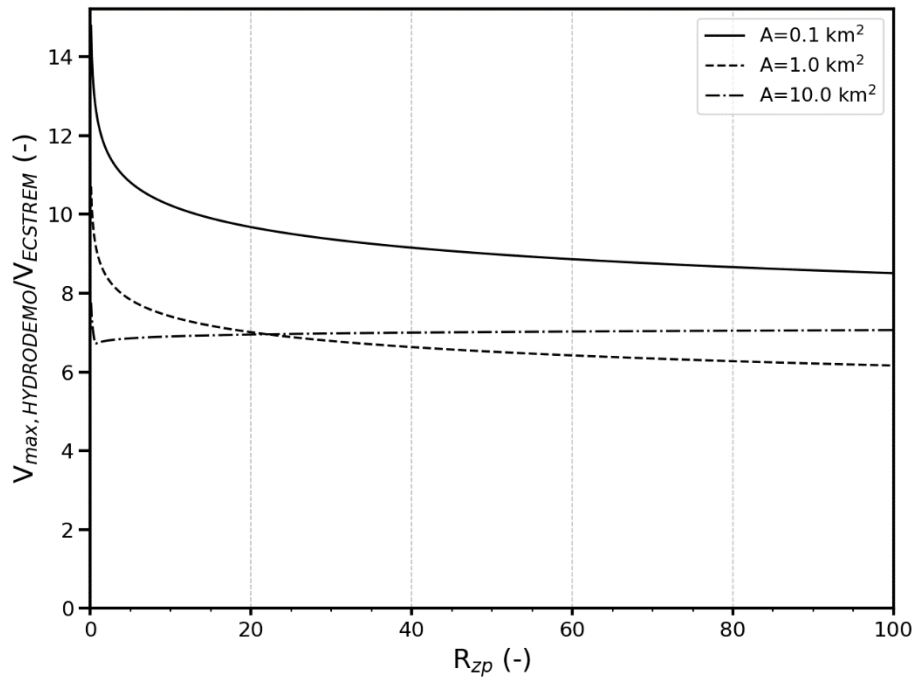
## Méthodes empiriques

### ➤ HYDRODEMO vs ECSTREM

○ Facteur  $V_{\max, \text{HYDRODEMO}} / V_{\text{ECSTREM}}$  compris entre 1,2 et 14 selon la pente, Sbv et Rzp

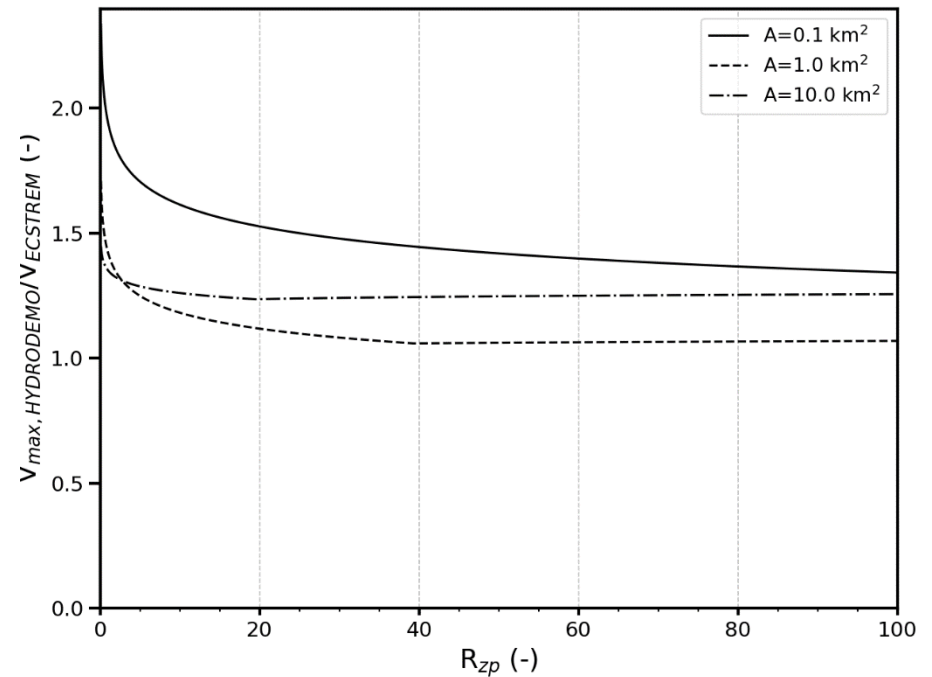
**I=0.020 m/m**

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6 I=0.020 m/m - ECSTREM I=0.020 m/m



**I=0.200 m/m**

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6 I=0.200 m/m - ECSTREM I=0.200 m/m



# 1 – Prédétermination des volumes solides

## Méthodes empiriques – Limite des approches existantes

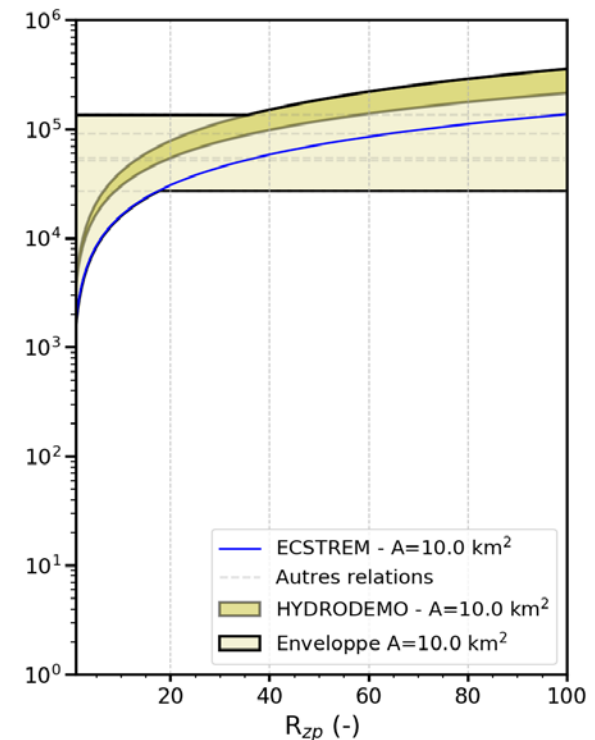
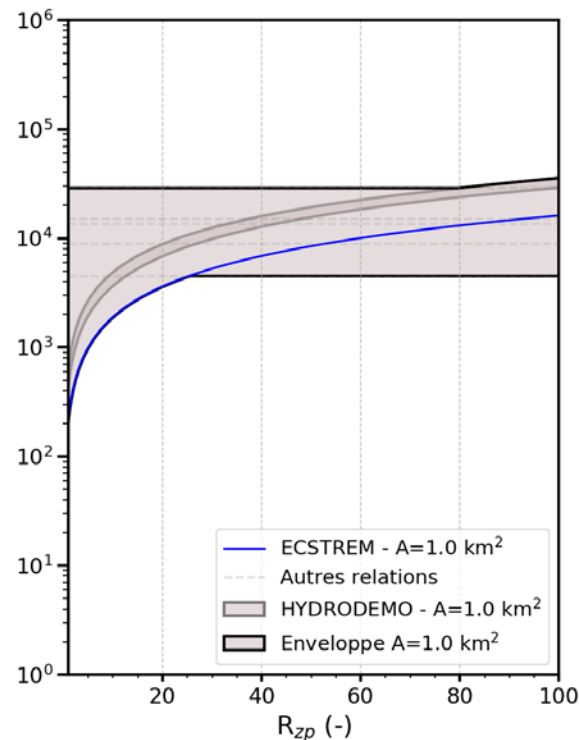
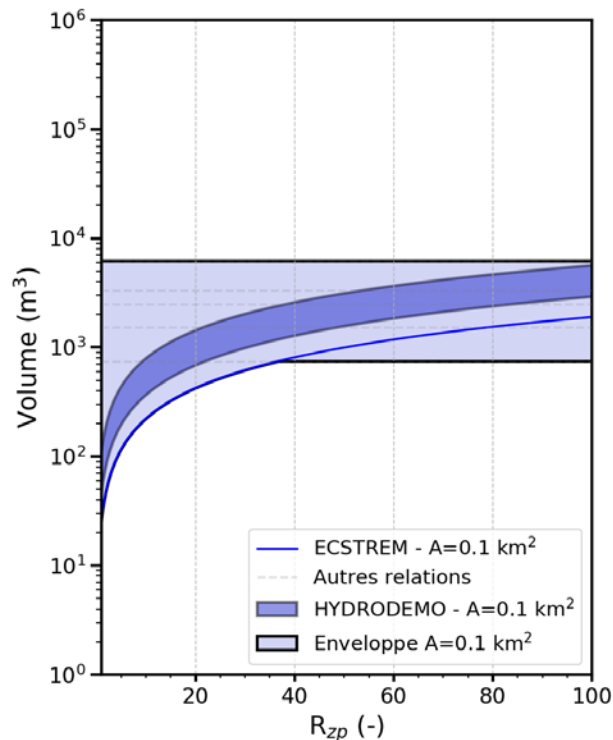
### ➤ HYDRODEMO vs ECSTREM vs Autres relations empiriques $V=f(S_{bv})$ non attachées à période de retour

- HYDRODEMO = borne haute d'estimation pour  $S_{bv} > q_q \text{ km}^2$  et  $R_{zp} > 40-50 \%$
- ECSTREM = borne basse d'estimation pour  $R_{zp} < 20$  à  $40 \%$
- Pour  $R_{zp}$  faible ( $< 20 \%$ ), méthodes Françaises largement dépassées ( $F > 2$ )

### Comparaison modèles de prédétermination de volumes de laves - $I=0.075 \text{ m/m}$

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6  $I=0.075 \text{ m/m}$  - ECSTREM  $I=0.075 \text{ m/m}$

Autres relations : de type  $V=f(S_{bv})$  non attachées à une période de retour : FRANZI et BIANCO (2001) - D'AGOSTINO (1996) - TAKEI (1984) - ZELLER (1976)





# 1 – Prédétermination des volumes solides

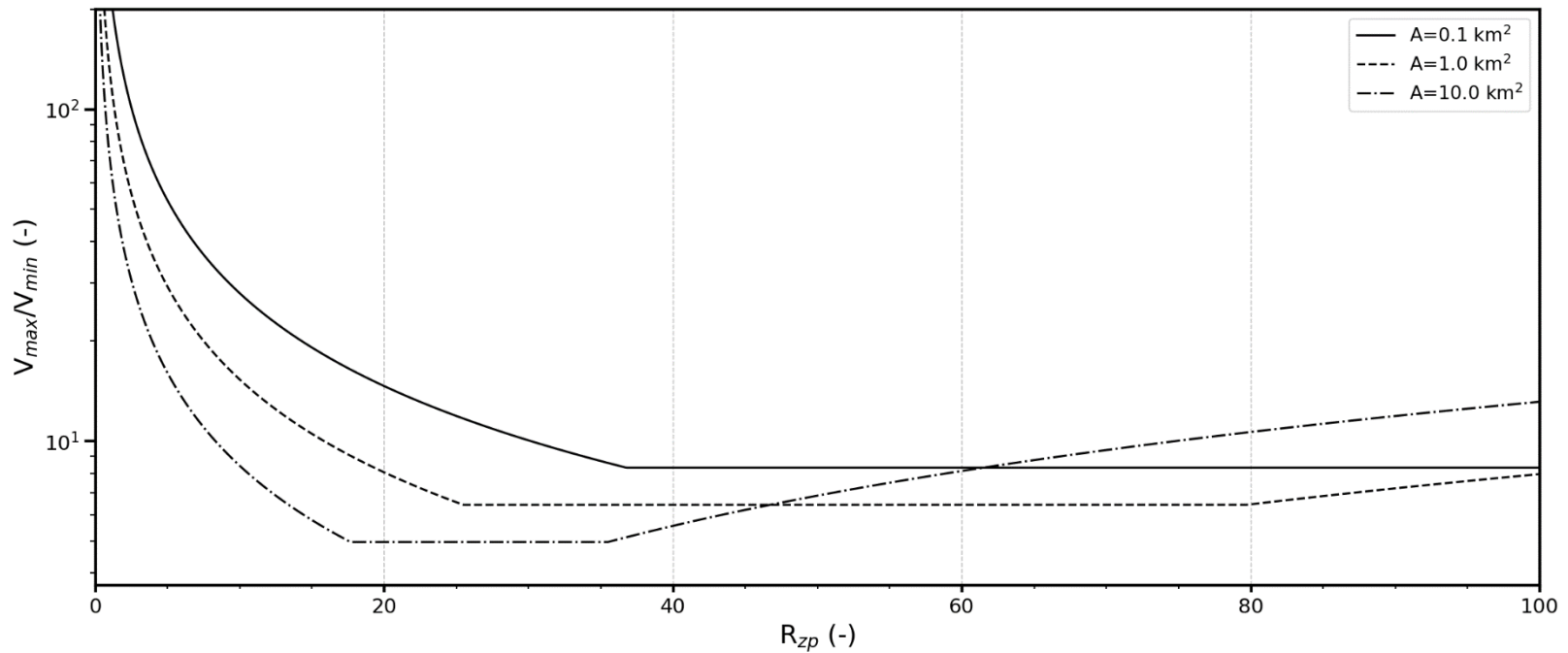
## Méthodes empiriques – Limites des approches existantes

- **HYDRODEMO vs ECSTREM vs Autres relations empiriques  $V=f(S_{bv})$  non attachées à période de retour**
  - Grande incertitude sur les estimations !!! Facteur 2 à plus de 100 !!!

### Comparaison modèles de prédétermination de volumes de laves - $I=0.075$ m/m

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6  $I=0.075$  m/m - ECSTREM  $I=0.075$  m/m

Autres relations : de type  $V=f(S_{bv})$  non attachées à une période de retour : FRANZI et BIANCO (2001) - D'AGOSTINO (1996) - TAKEI (1984) - ZELLER (1976)



# 1 – Prédétermination des volumes solides

## Méthodes empiriques – Limites des approches existantes

### ➤ HYDRODEMO vs ECSTREM vs Autres relations empiriques Françaises

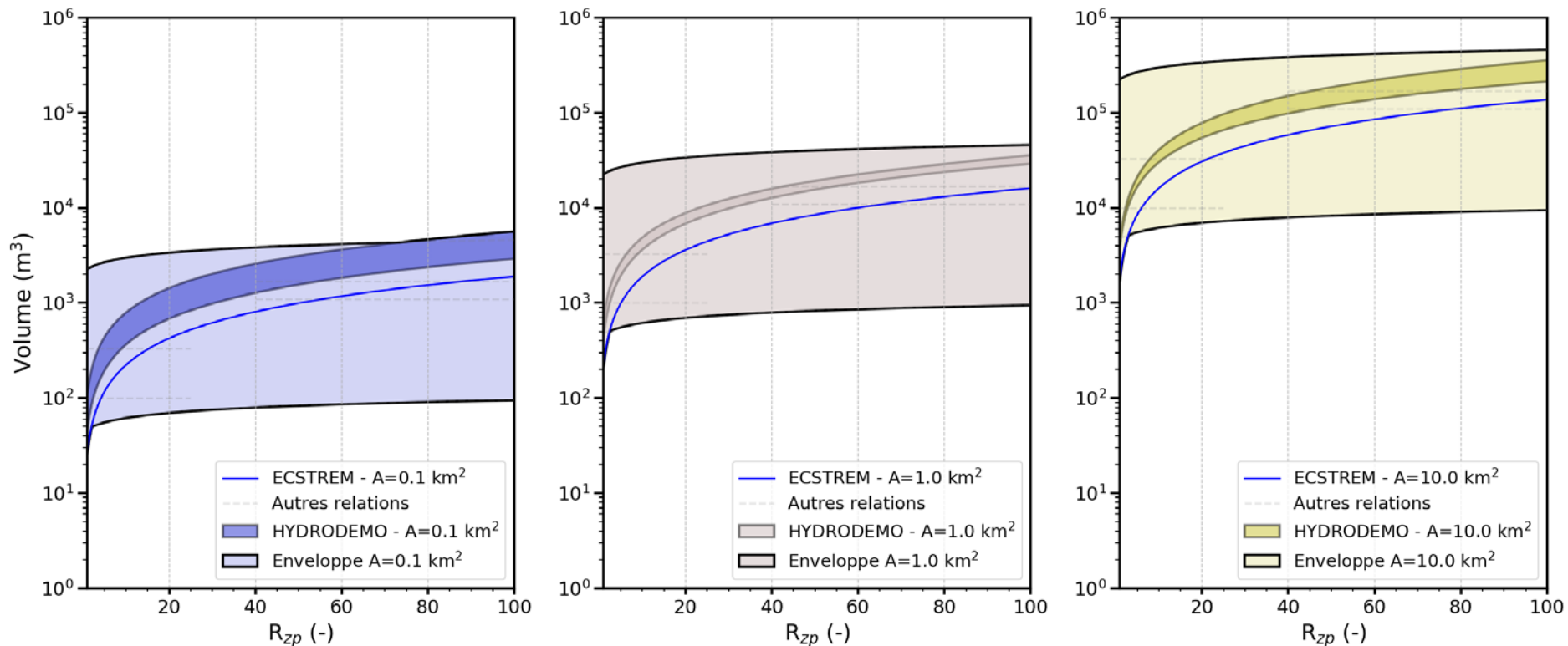
- Enveloppe incluant formules de Brochot encadre HYDRODEMO et ECSTREM
- Facteur 50 entre Vmax et Vmin

### Comparaison modèles de prédétermination de volumes de laves - $I=0.075$ m/m

HYDRODEMO : modèles 1, 2, 5, 6  $I=0.075$  m/m - ECSTREM  $I=0.075$  m/m

Autres relations : attachées à période de retour de 100 ans : Brochot (1998)  $V=f(S_{bv})$ , 2 classes suivant %  $R_{zp}$

Brochot (2003)  $V=f(S_{bv}, M, IGM, Pj10, S_{NV})$ . Hypothèses :  $0.45 \leq M$  (Melton)  $\leq 1.50$  -  $2 \leq IGM$  (Indice Géologique)  $\leq 5$  -  $60 \leq Pj10 \leq 95$  -  $S_{NV} = R_{zp}$



# 1 – Prédétermination des volumes solides

## Méthodes empiriques – Limites des approches existantes

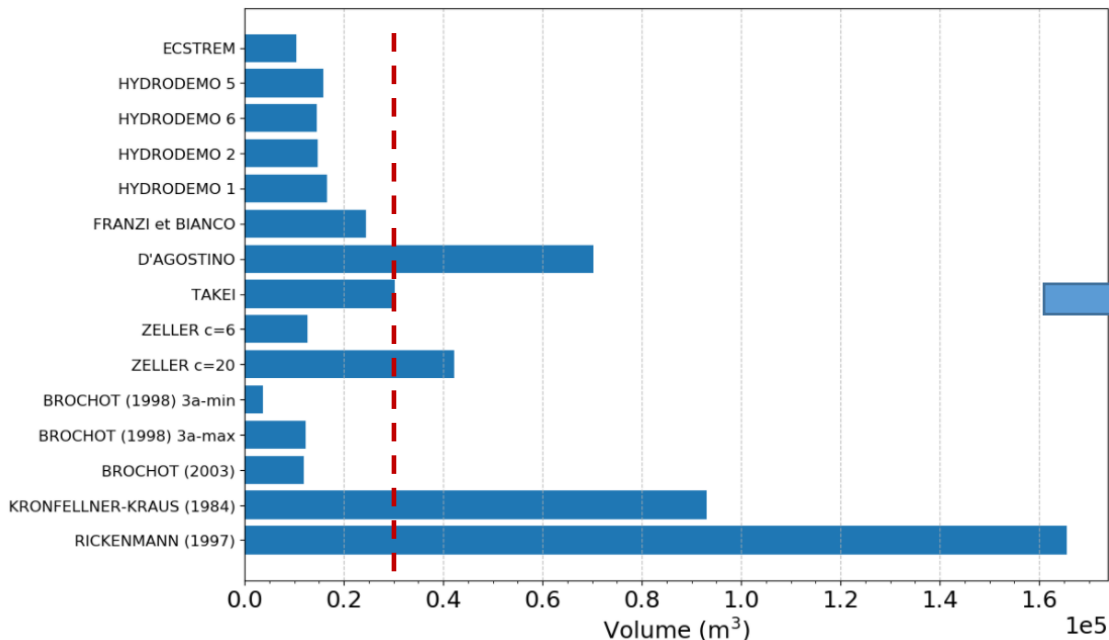
### ➤ Exemple sur torrent du Manival

#### ○ Données d'entrée :

- $R_{zp}=10,9\%$  ;  $A=3,7 \text{ km}^2$  ;  $SCE=0,13 \text{ m/m}$

#### ○ Intérêt de la comparaison de l'ensemble des modèles ?

- Jeu de données très proche pour modèles français
- Classement / Ecart en modèles prédictibles



$$V_{ref} = V_{modèle} \cdot F_s \quad ?$$

Facteur sécurité dépendant de :

- **Caract. BV**
- **Nature des enjeux à l'aval**
- **Existence ou non de valeurs issues de l'historique de crues**
- ...

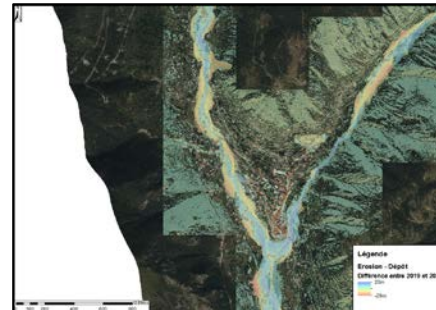
# 1 – Prédétermination des volumes solides

## Perspectives...point du vue RTM

### ➤ Enrichir les bases de données avec des données de qualité = améliorer la mesure

#### ○ Volumes solides

- bilan topographiques avec levés LiDAR ou photogrammétrie -> aller vers un observatoire du transport solide
- Mesure indirecte en continu du charriage



**Boréon (PT 46 à 219)**  
 Cumul Erosion : 1 388 000 m<sup>3</sup>  
 Cumul Dépôt : 1 061 000 m<sup>3</sup>  
 Cumul Bilan : -327 000 m<sup>3</sup>

- Pente : mesure correcte de la pente à partir de MNT LiDAR ou shp3D BD TOPO IGN
- Mettre en relation les volumes solides mobilisés avec l'hydraulique = lier transport solide – volume liquide écoulé

### ➤ Objectiver la prise de décision quant aux données incertaines

- Intérêt de comparer l'ensemble des modèles empiriques ?
- Cadre méthodologique



## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

Crue du torrent du Grand Rocher — Chantelouve (38) — 01/08/2014  
Peu d'eau (???)... beaucoup de cailloux !

- Crue suite orage intense entre 22h30 et 02h00
- Précipitations de **45 à 50 mm** (radar RHYTMME).  $T \approx 10$  ans
- **Volume solide mobilisé : 10 000 à 15 000 m<sup>3</sup>** (evt référence)
- Mois juillet 2014 très arrosé





## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

Crue du torrent du Saint-Antoine - commune de Modane (73) — 01/08/2014  
Assez peu d'eau (???)...Beaucoup de cailloux !!!

- Orage entre 18h00 et 22h00
- Cumul de 63 mm (sommet BV) et 32 mm au niveau du cône. **T pluie : 2 à 10 ans pour d=1 et 2h ; 10 à 50 ans pour d= 4h**
- **Volume solide mobilisé : 40 000 à 60 000 m<sup>3</sup> (T 30 à 60 ans)**
- Mois de juillet 2014 très arrosé





## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

**Crues torrentielles – Commune de Saint-Paul de Varcis – 31/07/2021**  
**Peu d'eau (???)... Beaucoup de cailloux !!!**



- **Crue suite orage intense entre 23h00 et 02h00**
- **Cumul pluviométrique de 19 mm (radar MF)**
- **Crue généralisée sur 7 torrents de la commune**

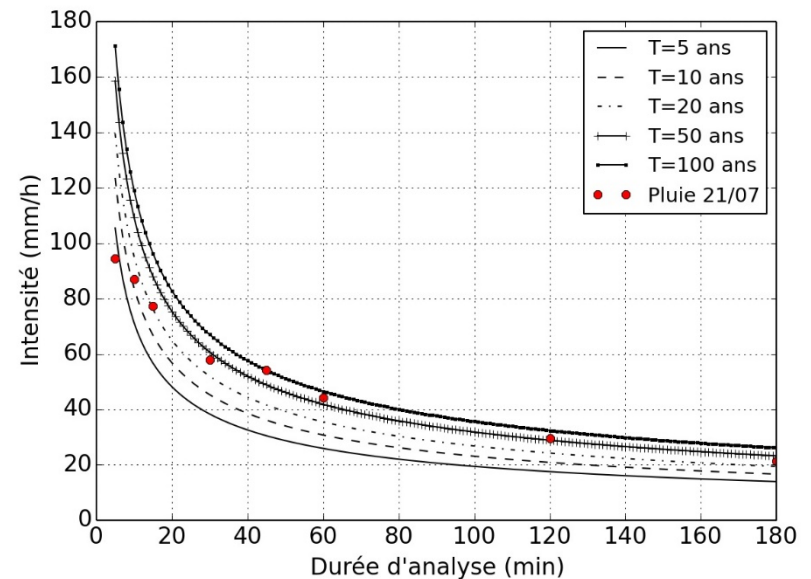
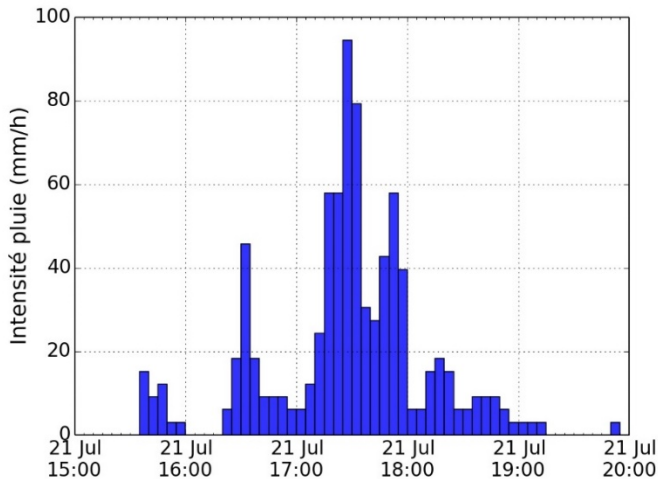
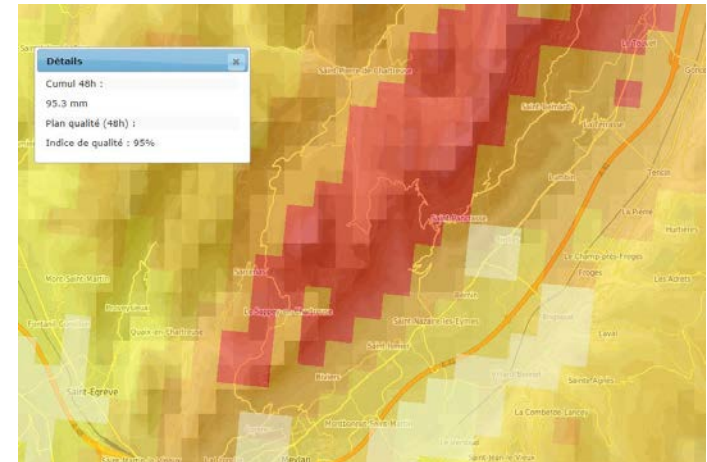
Date et heure de début de l'épisode en heures légales	Durée de l'épisode	Observation / Estimation		Statistique	
		Quantification : hauteur en mm	Référence de l'expertise	Quantile décennal en mm	Station représentative et/ou méthode
30/07/2021 à 22H	3H	19	Lame d'eau radar	52	Méthode SHYREG



## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

Crue peu intense du torrent du Manival – Cmne de St-Ismier – 21 & 22/07/2017  
 Beaucoup d'eau...Peu de Cailloux !!!

- Cumul 48h en moy de 85 mm dans le BV (source radar RHYTMME)
- 2 épisodes pluviométriques : 21/07 68 mm / 22/07 22 mm (source : pluviomètre enregistreur INRAE).  $T \approx 50$  à 100 ans pour  $d = 40$  à 60 min
- Crues non significatives du torrent du Manival

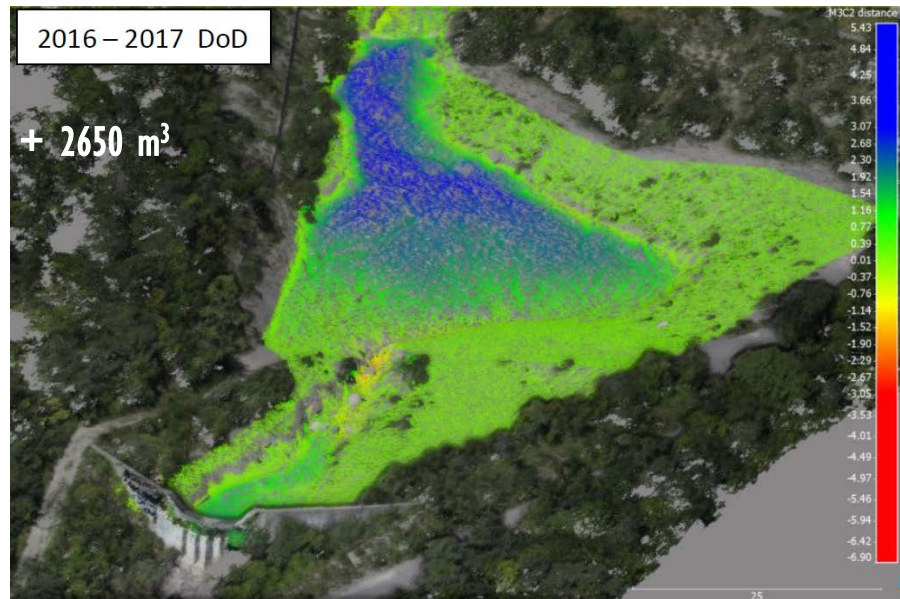
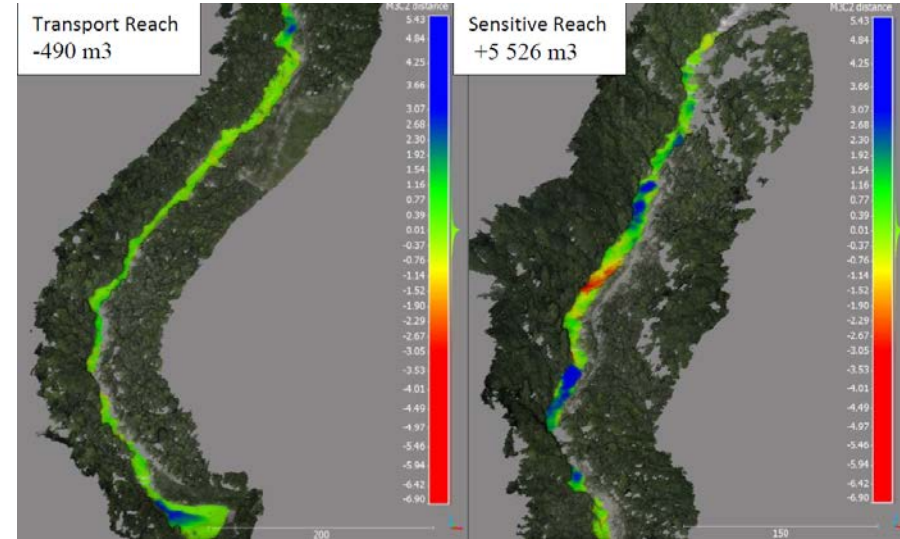




# 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

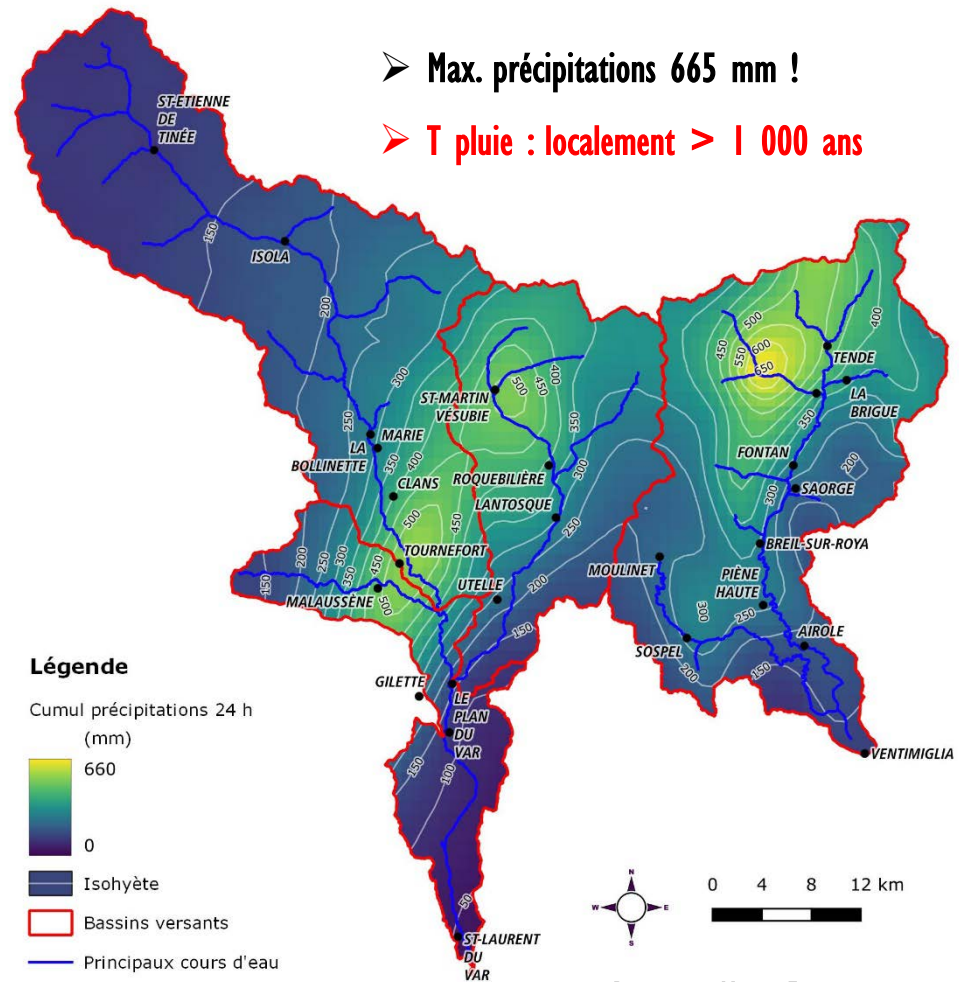
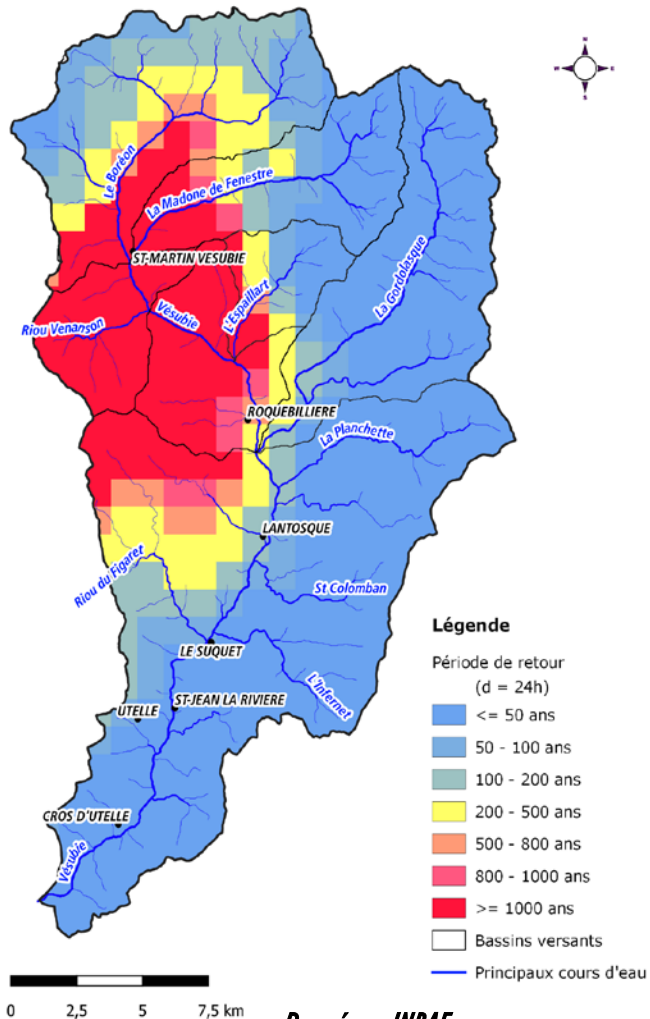
Crue peu intense du torrent du Manival – Cmne de St-Ismier – 21 & 22/07/2017

Beaucoup d'eau...Peu de Cailloux (dans la PDD)



# 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

Crue de la Roya et de la Vésubie – Alpes Maritimes – 02/10/2020  
 Cas bien anticipé avec cumuls pluvio remarquables ...





## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels

### ➤ Crues post éboulements – torrents à clappes. Exemples :

- Torrent du Riffol (Roissard) / Eblt 17 au 20/05/1986 (60 000 m<sup>3</sup>) – Crue 30/06/1987
- Torrent du St-Antoine (Le Bourg d'Oisans) / Eblt 01 et 06/1998 (330 000 m<sup>3</sup>) puis 06/1999 (40 000 m<sup>3</sup>) – Crues à répétition 06/1998 à 07/2000
- Torrent des Glacières (Chapareillan) / Eblt (29/04 et 07/05/2016) – Crues (13/05 à 07/2016)



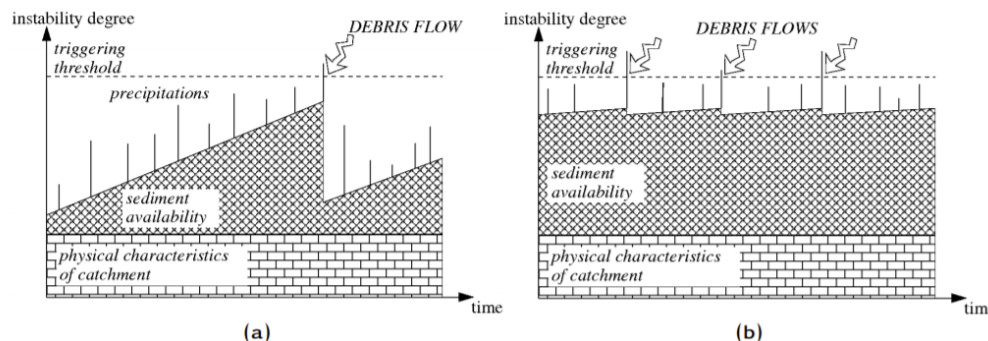
*Lave torrentielle du torrent des Glacières ayant coupé la route départementale*



*Granier après les éboulements d'avril et mai 2016*

## 2-Constats post-crue. REX sur quelques évènements torrentiels. Perspectives souhaitables pour la prévision des crues

- Améliorer la mesure des précipitations en montagne, celles-ci n'étant pas toujours bien appréhendées actuellement par les mesures radars
- Tenter de prendre en compte le **couplage sources sédimentaires / pluviométrie** influençant fortement la réponse du cours d'eau en crue ➔ **Action de recherche sur temps long**
- Dans l'attente, identifier des scénarios de crue particuliers : (a) seuils de précipitations ; (b) scénarios préférentiels entraînant une réponse de magnitude plus élevée
  - (a) : exemple de la tempête Alex
  - (b) : crues de retour d'Est (Belledonne, 2005) ; crues post éboulements (Granier, 2016 ; St-Antoine de Bourg d'Oisans, 1998),...; crues hivernales (01/2018, hiver 1954-1955)



Représentation des concepts de bassins : (a) à seuil de déclenchement intrinsèque et (b) : de bassins à seuil de déclenchement extrinsèque (Zimmermann et al., 2017)

## ➤ Prédétermination Vs

- Croisement de plusieurs approches nécessaire compte tenu des incertitudes
- Méthodes empiriques
  - Apport indiscutable d'HYDRODEMO : jeu de données, méthodologie = méthode de référence
  - Intérêt de la comparaison de plusieurs modèles ???
    - Modèles Français : partagent un part du jeu de données
    - Autres modèles : adaptés au contexte ???
- Problématique de la décision : cadre méthodologique
- Perspectives relatives à l'amélioration de la mesure : Vs, pente, et hydrologie

## ➤ Constats post-crue

- Nécessaire prise en compte des stocks de sédiments dans les BV : recherche de temps long ?
- La mesure radar des précipitations ne permet pas aujourd'hui d'expliquer à elle seule l'intensité des crues torrentielles
- Intérêt potentiel de l'identification de scénarios préférentiels de crues torrentielles

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



Tempête Alex — Commune de Malaussène — Maison détruite à l'aval d'un ravin jusque là peu actif...