

The background image shows a vast mountain landscape. In the foreground, a large area of light-colored, rocky debris (a landslide) covers the ground. A yellow dump truck and two orange excavators are positioned on this debris field, likely involved in cleanup or reconstruction work. In the background, a steep, rugged mountain rises under a blue sky with scattered white clouds. The mountain's face is a mix of dark rock and patches of green vegetation.

Sainte Barbe des 4S - 2024

La tempête Alex et la Bérarde, retour sur deux évènements géomorphologiques majeurs

Par Johan Berthet
Directeur et fondateur de STYX4D
Invité du CFGI



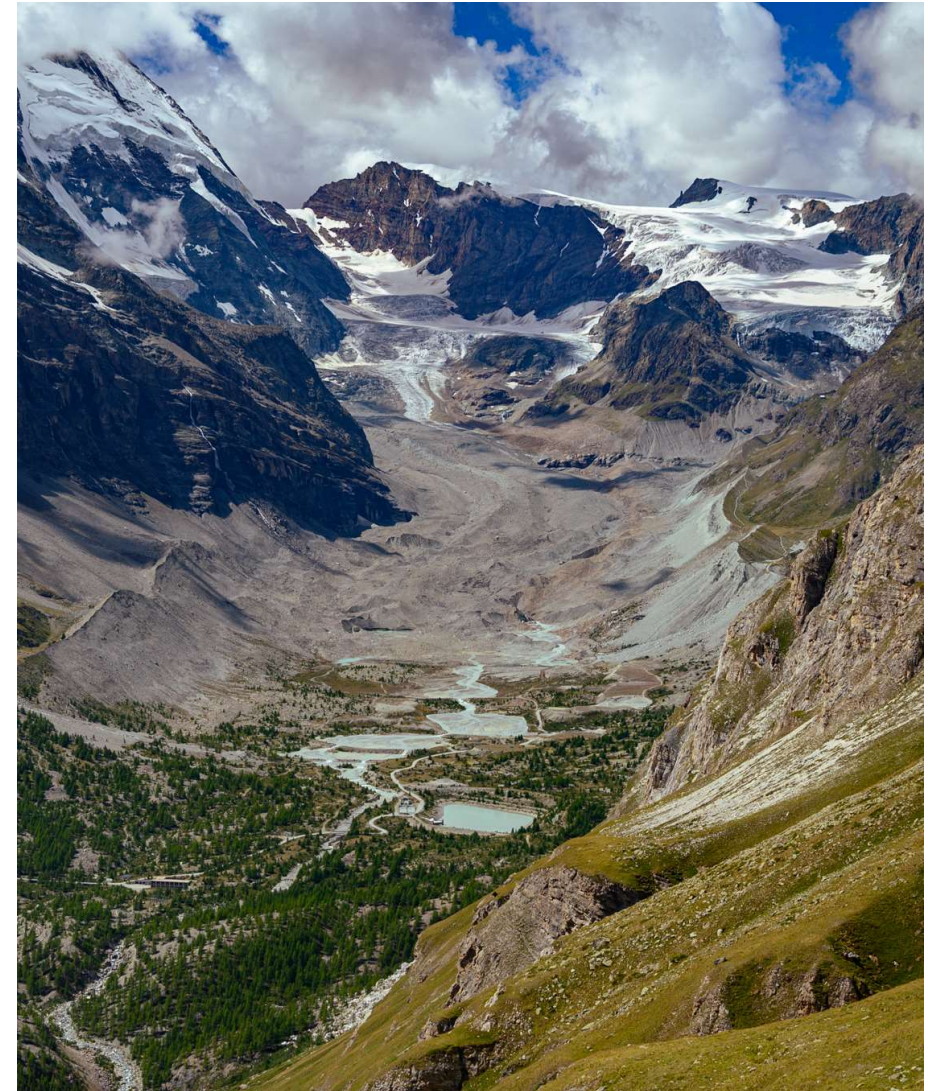
La géomorphologie, qu'est-ce que c'est?



Etude du relief terrestre et de son évolution : s'intéresser à l'évolution des paysages, à la partie « sédimentaire » des cours d'eau

- Une discipline d'observation du paysage
- Une approche systémique -> aborder les phénomènes complexes, inconnus, contre-intuitifs
- Une méta-discipline (**géographes**, géologues, hydrauliciens, historiens, etc.) = une science de mise en contexte

Je vous propose un éclairage de deux événements géomorphologiques majeurs récents : la tempête Alex et la crue des Etançons



Une crue est morphogène mais n'est pas forcément « géomorphologique »

Des dégâts liés principalement à l'eau :

Vaison la Romaine 1992

Allemagne et Belgique (2021)

Lignon, Gier, etc., 2024

Valence (Es) 2024



versus Un évènement géomorphologique



Des dégâts liés principalement aux apports solides et/ou changement de paysage :

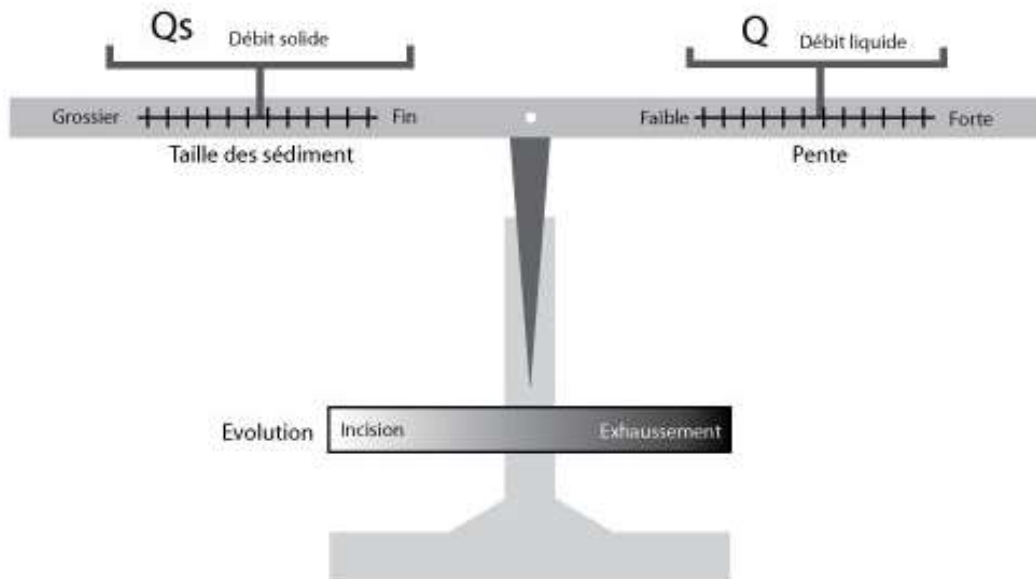
- Aiguat (1940)
- Tempête Alex (2020)
- Funiculaire de St Hilaire du Touvet (2021)
- « La Bérarde » (2024)



Balance de Lane :

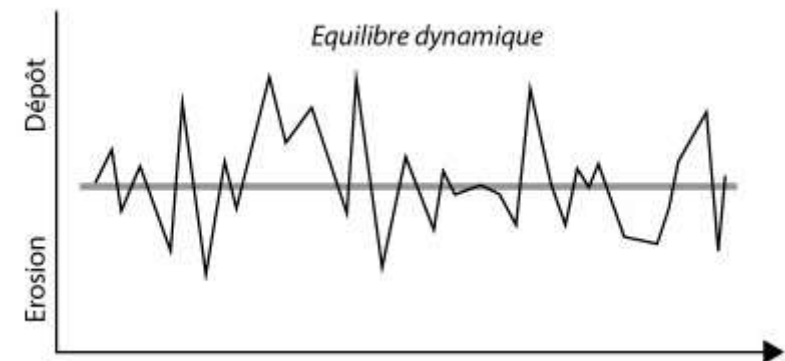
L'évolution d'un cours d'eau dépend d'un équilibre entre

- la puissance des écoulements (débit/pente/largeur)
- Les sédiments disponibles (volumes et granulométrie)

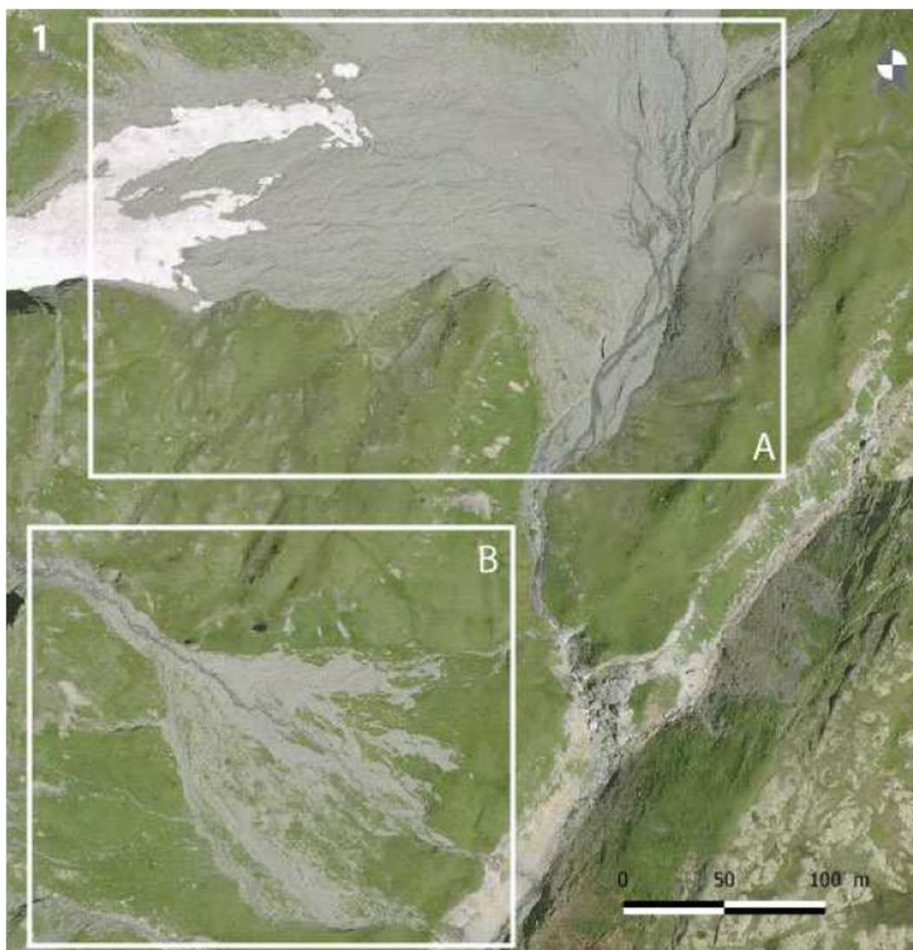


L'équilibre dynamique :

- Un cours d'eau « s'adapte » à ses conditions
- L'équilibre n'est pas statique

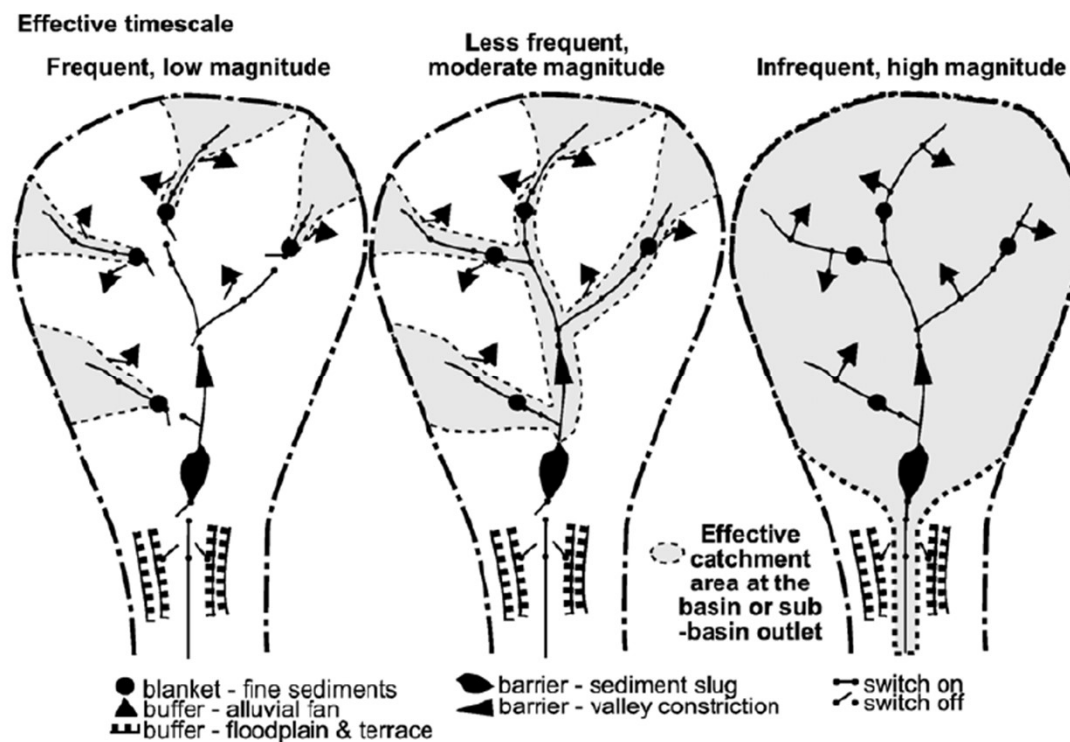


Niveau de couplage d'un stock sédimentaire avec l'hydrosystème



La connectivité s'apprécie

- Dans l'espace
- Dans le temps



Fryirs K.A., Brierley G.J., Preston N.J., Kasai M. (2007). Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *CATENA* 70, pp. 49–67.

La tempête Alex : la disponibilité sédimentaire des stocks hérités



Un évènement hydro-météorologique extrême

Remobilisation des dépôts :

- Glaciaires (moraine, en placage ou de fond)
- post/pro/para/péri glaciaires (fluvio-torrentiels, gravitaires)

- en pieds de versants
- en tête de bassin
- des affluents



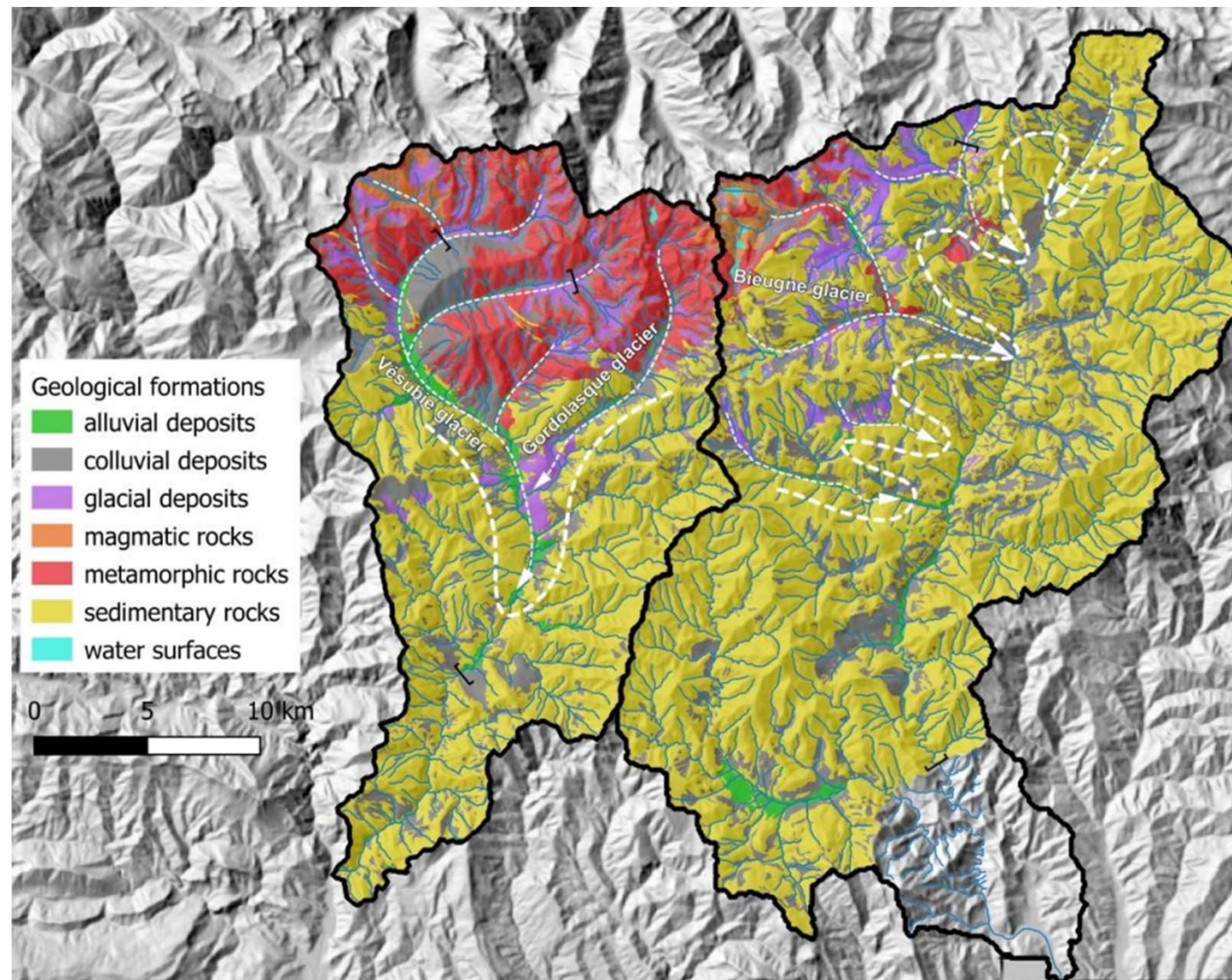
La tempête Alex : la disponibilité sédimentaire des stocks hérités



Remobilisation des dépôts :

- Glaciaires (moraine, en placage ou de fond)
- post/pro/para/péri glaciaires (fluvio-torrentiels, gravitaires)

- en pieds de versants
- en tête de bassin
- des affluents



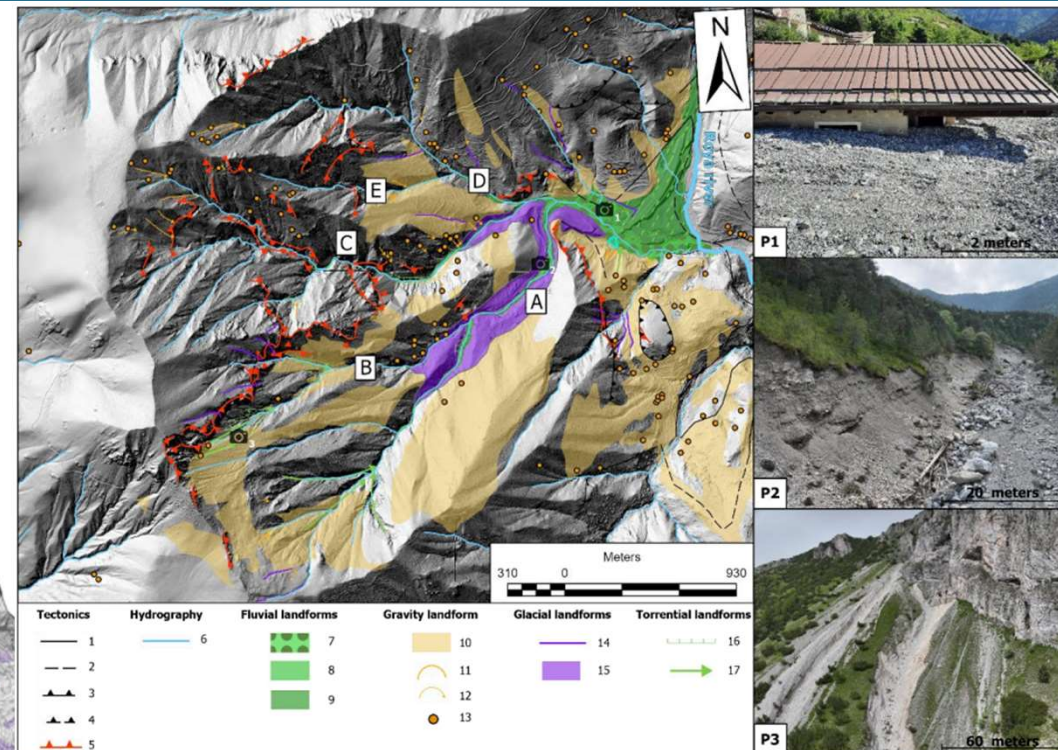
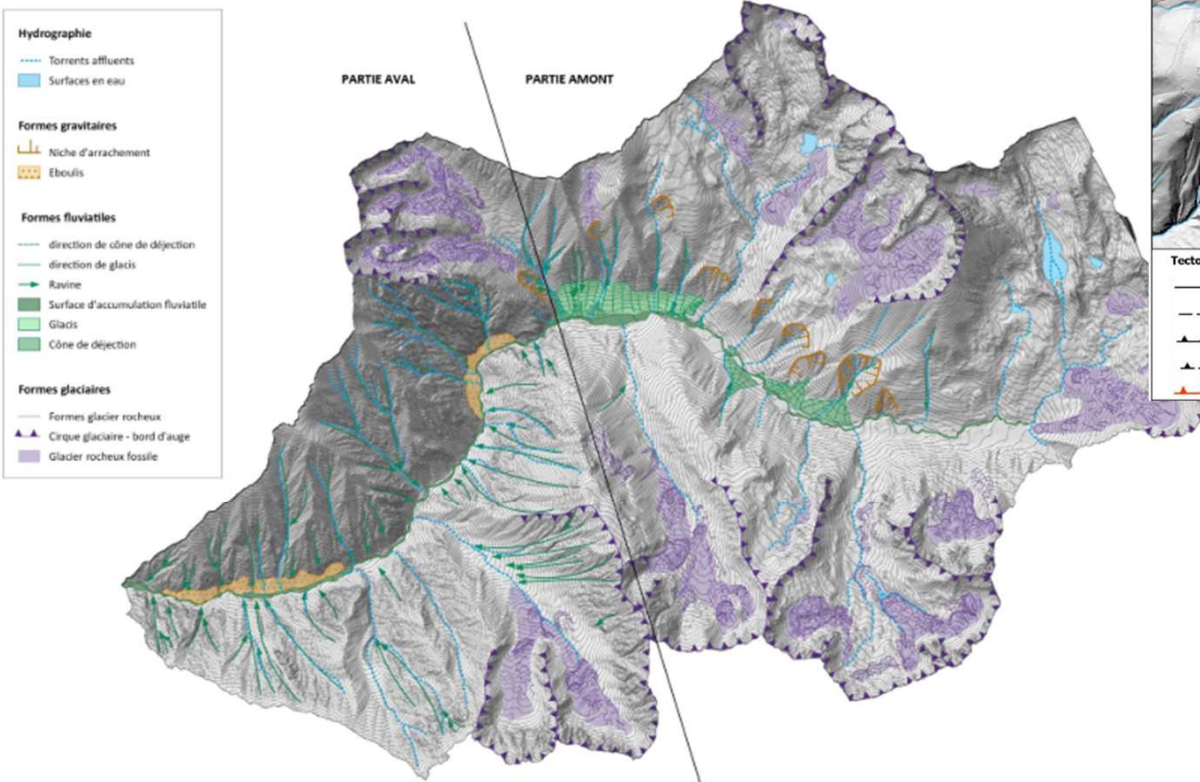
Liébault F, Melun G, Piton G, Chapuis M, Passy P, Tacon S, Channel change during catastrophic flood: Example of Storm Alex in the Vésubie and Roya valleys, *Geomorphology*, Volume 446, 2024, 109008, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.109008>.

La tempête Alex : la disponibilité sédimentaire des stocks hérités



Remobilisation des dépôts :

- Glaciaires (moraine, en placage ou de fond)
- post/pro/para/péri glaciaires (fluvio-torrentiels, gravitaires)



Kerverdo, R., Lafuerza, S., Gorini, C. et al. The impact of Storm Alex on the Vievola catchment: a quantitative analysis of sediment volume and morphological changes in the Roya River tributaries. *Landslides* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02361-2>

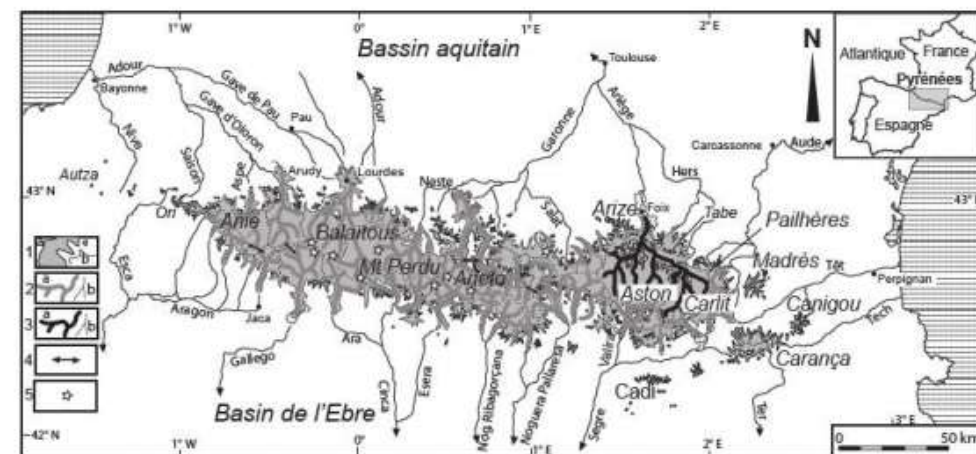
La tempête Alex : la disponibilité sédimentaire des stocks hérités



Sylvain Coutterand. Étude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation. Géographie. Université de Savoie, 2010.

Toutes les Alpes et presque toutes les Pyrénées concernée

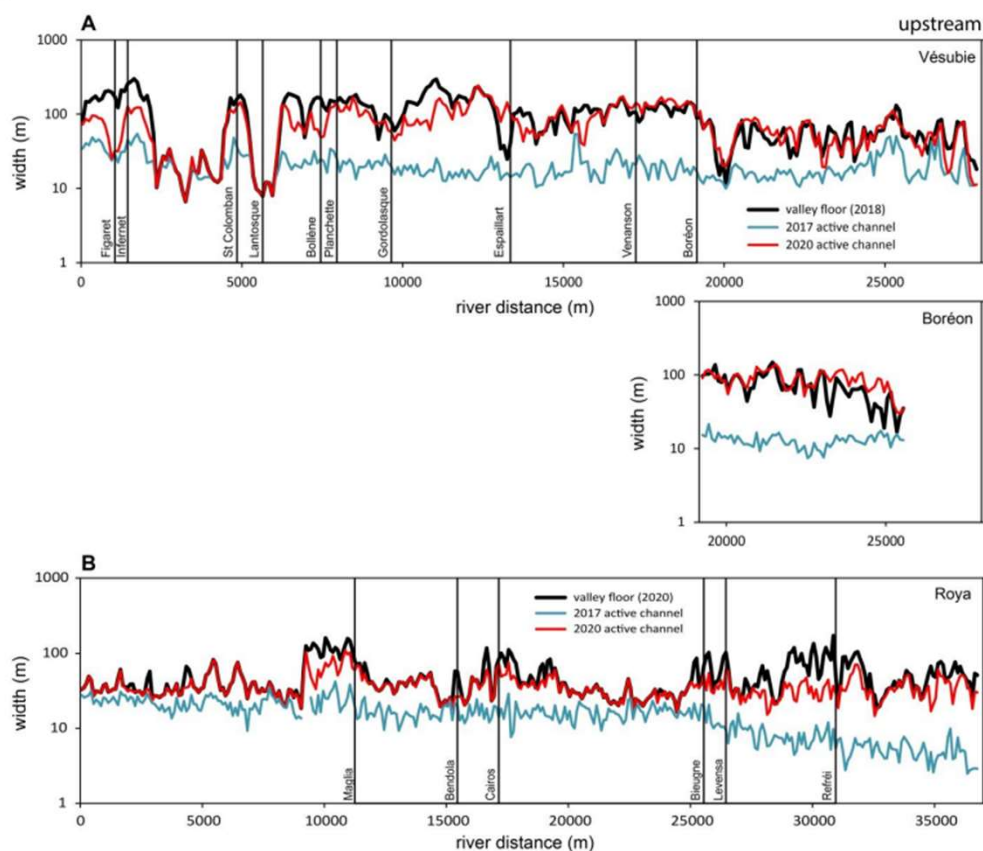
Une crue type Alex impossible dans la vallée des Paillons, sur l'Ouvèze, etc.



Magali Delmas, Marc Calvet, Yanni Gunnell, Régis Braucher et Didier Bourlès, « Les glaciations quaternaires dans les Pyrénées ariégeoises : approche historiographique, données paléogéographiques et chronologiques nouvelles », Quaternaire, vol. 23/1 | 2012, 61-85.

La tempête Alex : une réponse hydromorphologique extrême

Des cours d'eau qui occupent tout leur espace de mobilité naturel disponible



Liébault F, Melun G, Piton G, Chapuis M, Passy P, Tacon S, Channel change during catastrophic flood: Example of Storm Alex in the Vésubie and Roya valleys, *Geomorphology*, Volume 446, 2024, 109008, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.109008>.

La tempête Alex : une réponse hydromorphologique extrême



Des volumes mobilisés et des évolutions verticales spectaculaire sur les cours d'eau principaux

Comme sur les affluents

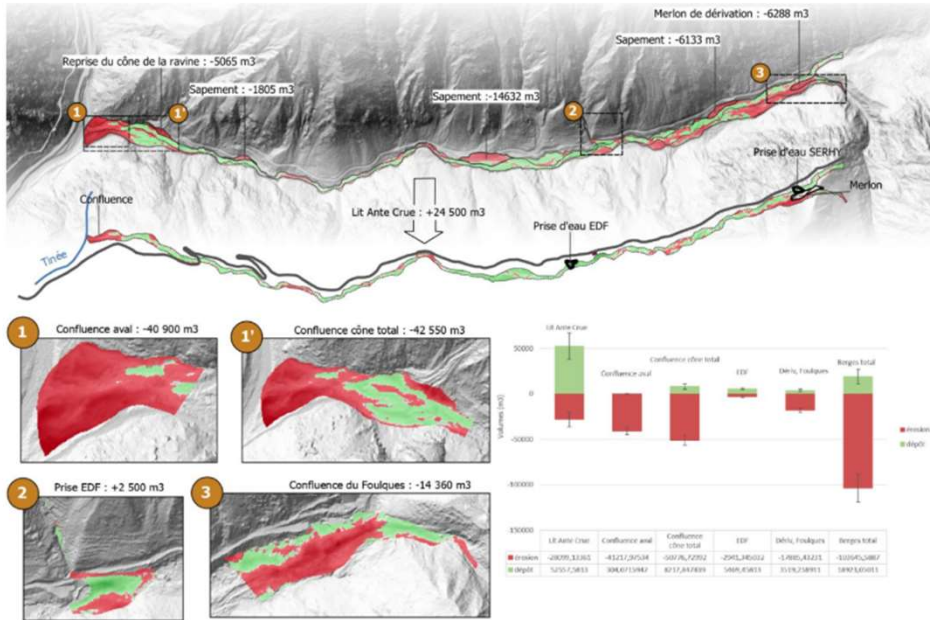
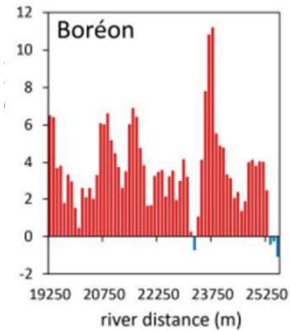
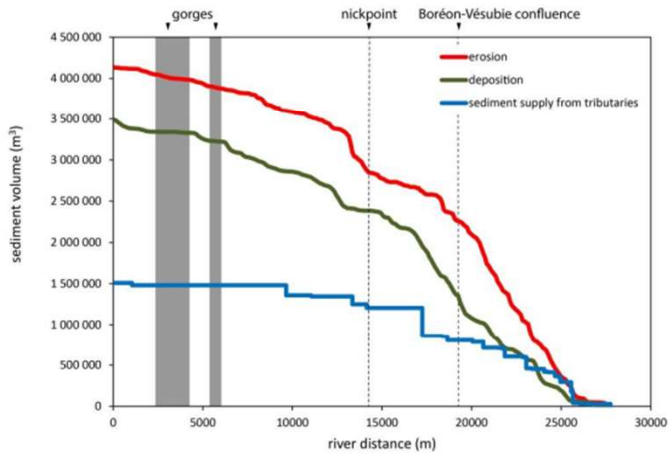
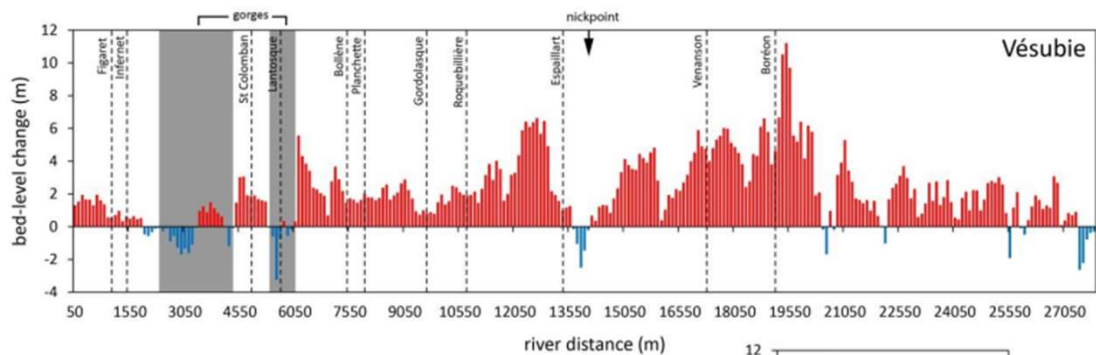
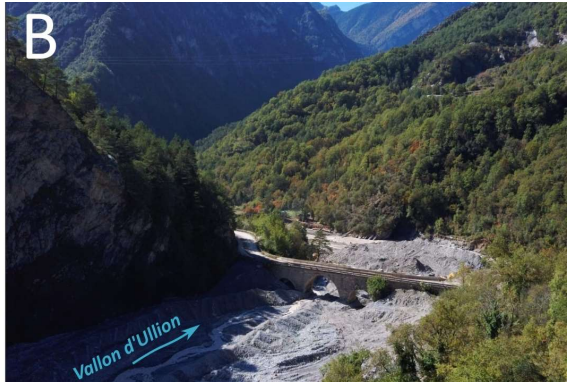


Figure 22 : MNT de différence d'altitude entre le MNT Drone et le MNT LIDAR sur le lit post et ante crue, zoom sur le secteur de la confluence, prise d'eau EDF et SERHY, volumes et incertitudes associées.



Les réponses hydromorphologiques : et après ?



BFM TV. 23.42 DIRECT

LÉGISLATIVES 2024



Julie jusqu'à minuit

NOUVELLES INONDATIONS À SAINT-MARTIN-VÉSUBIE

ALERTE INFO. Crues à Saint-Martin-Vésubie : "Les personnes ne sont pas en danger, ce sont des évacuations préventives" (adjoint à la mairie)

0:03 1:52

⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭ 🔍

Les réponses hydromorphologiques : et après ?

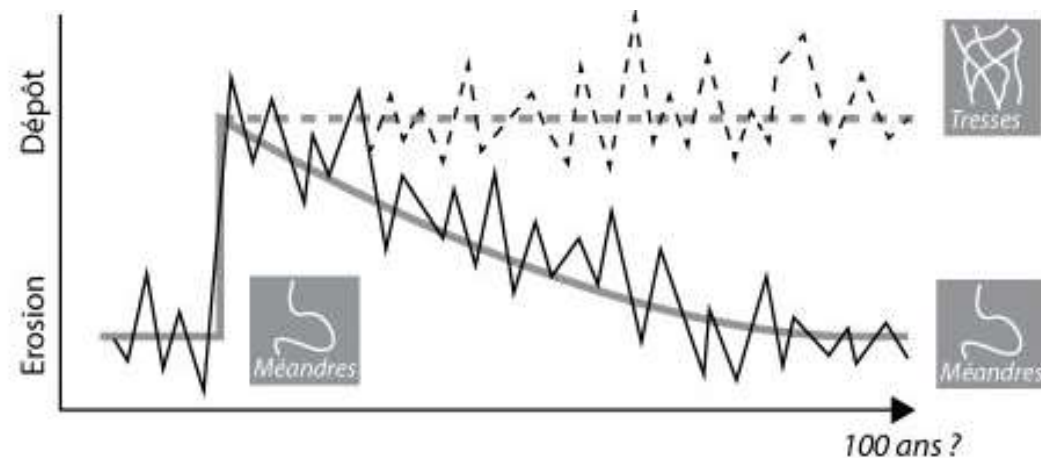


Les métamorphoses fluviales post-crue extrême

Pavage déstabilisé

- = sédiments instables
- = excédent sédimentaire
- = crues morphogènes pour des débits qui ne l'étaient pas jusqu'à présent

Pour combien de temps? = temps de relaxation



Les réponses hydromorphologiques : Le déficit et l'excédent sédimentaire



Le cas de l'Arve :

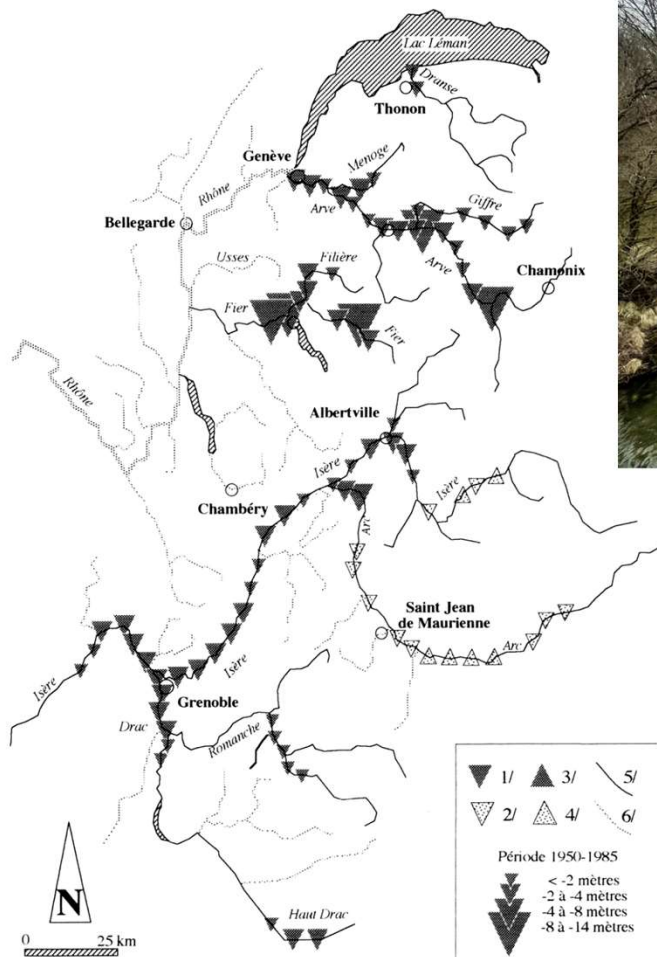
- Rivière en tresse au 19^{ème}
- Rectiligne maintenant

Les causes :

- Réduction des apports primaires (changement climatique)
- Aménagements/extractions
- Ouvrages hydroélectriques



Les réponses hydromorphologiques : Le déficit et l'excédent sédimentaire



Des morphologiques typiques du déficit

Les conséquences du déficit sédimentaire :

- Incision
- Bandes actives contractées
- **Faible morphogénèse (pavage)**

- Abaissement du niveau des nappes
- Appauvrissement des habitats
- Pas de connaissance de la morphogénèse

Peiry Jean-Luc, Salvador Pierre-Gil, Nouguier Frédéric. L'incision des rivières dans les Alpes du nord : état de la question / *River incision in the Northern French Alps*. In: *Revue de géographie de Lyon*, vol. 69, n°1, 1994. Enfouissement des lits fluviaux : processus naturels et impacts des activités humaines. pp. 47-56. DOI : <https://doi.org/10.3406/geoca.1994.4237>

Les réponses hydromorphologiques : Comment prévoir l'évolution



Aiguat de 1940, un évènement comparable à la tempête Alex?

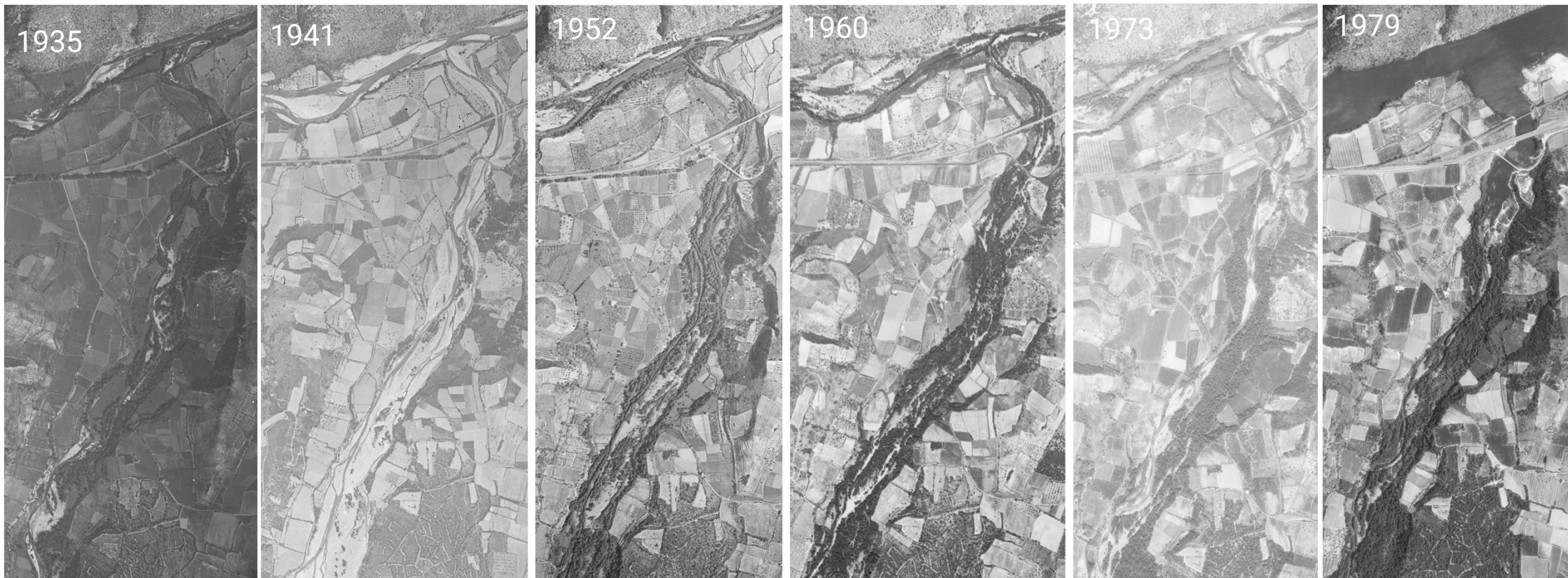
Pradé (1941) : « Maints cours d'eau larges de 3 à 4 m entre rives ordinaires ont recouvert leurs vallées sur 30, 40, 60 m de largeur sur des profondeurs de 2 à 3 m et plus. ».



Pardé Maurice. La crue fantastique d'octobre 1940 dans le Roussillon. In: Revue de géographie alpine, tome 29, n°2, 1941. pp. 353-357. DOI : <https://doi.org/10.3406/rga.1941.4312>

Jacob Nicolas. La crue d'octobre 1940 dans la basse vallée du Tech (Roussillon), d'après les dossiers des sinistrés . In: Annales de Géographie, t. 106, n°596, 1997. pp. 414-424. www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1997_num_106_596_20790

Les réponses hydromorphologiques : Comment prévoir l'évolution



Exemple de la rivière de la Llentilla (Vinça -66) :

- 20 à 40 ans pour un retour à l'état antérieur*
- Pas un retour à un fonctionnement initial avant 2040 en Vésubie/Roya/Tinée?*

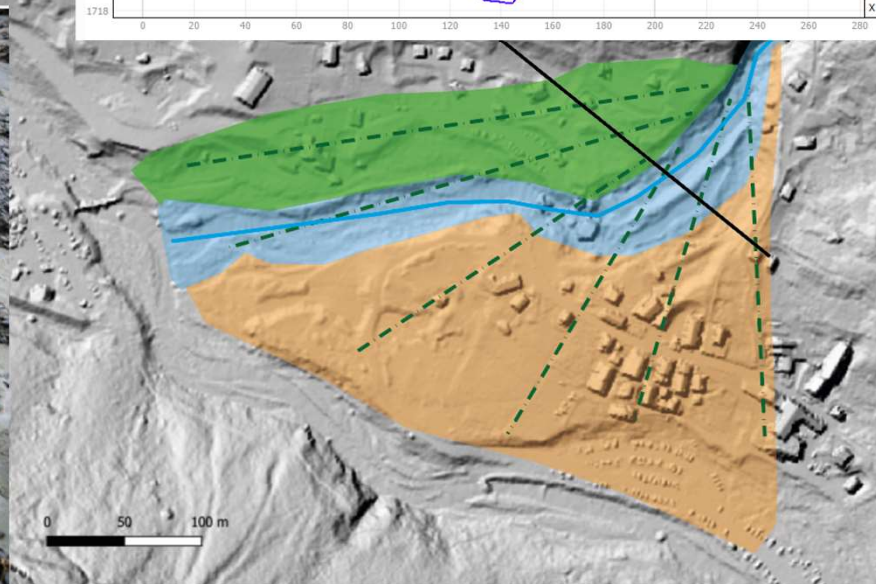
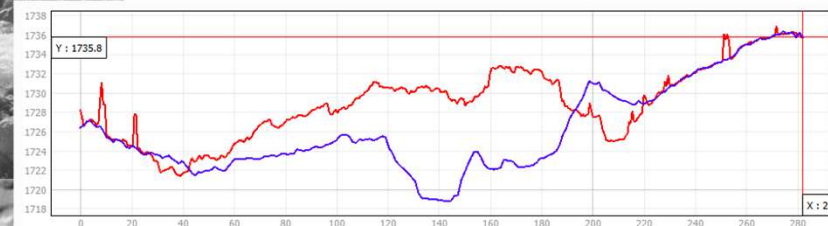
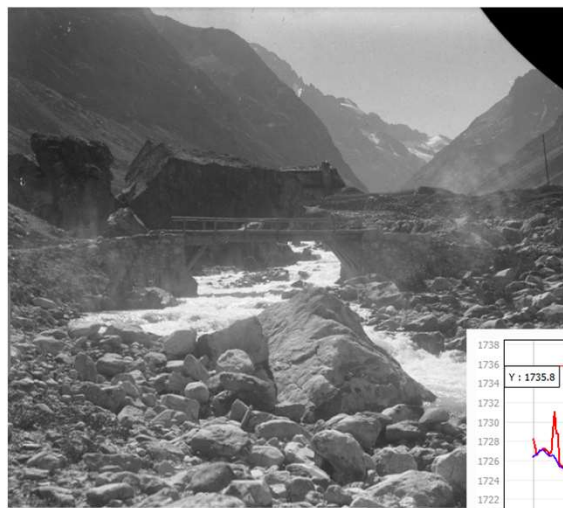
La crue des Etançons (Bérarde)



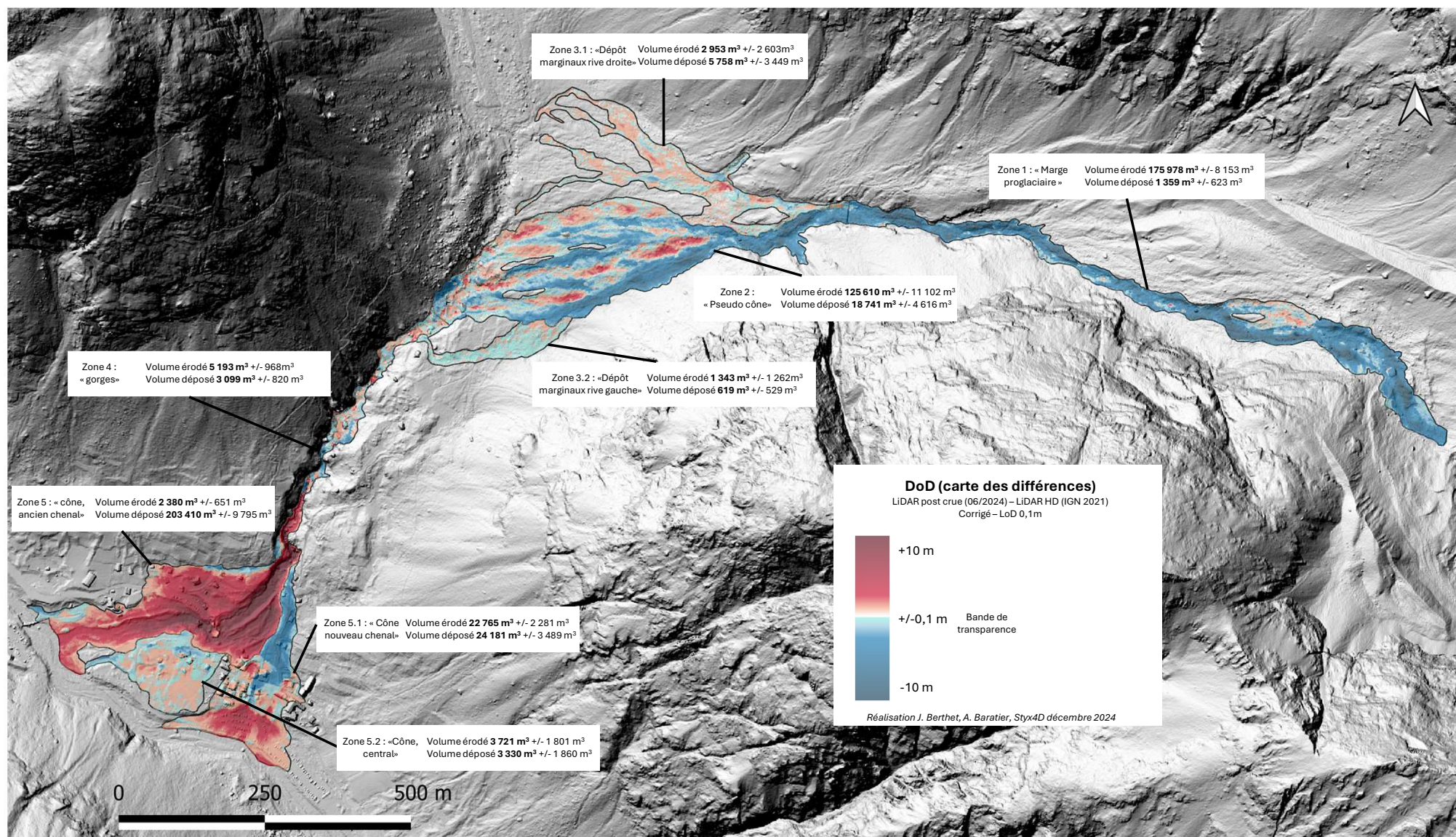
Une réponse extrême à un événement hydrométéorologique majeur (pluie sur neige)

Apports massifs de sédiments sur le cône torrentiel (debris flood) :

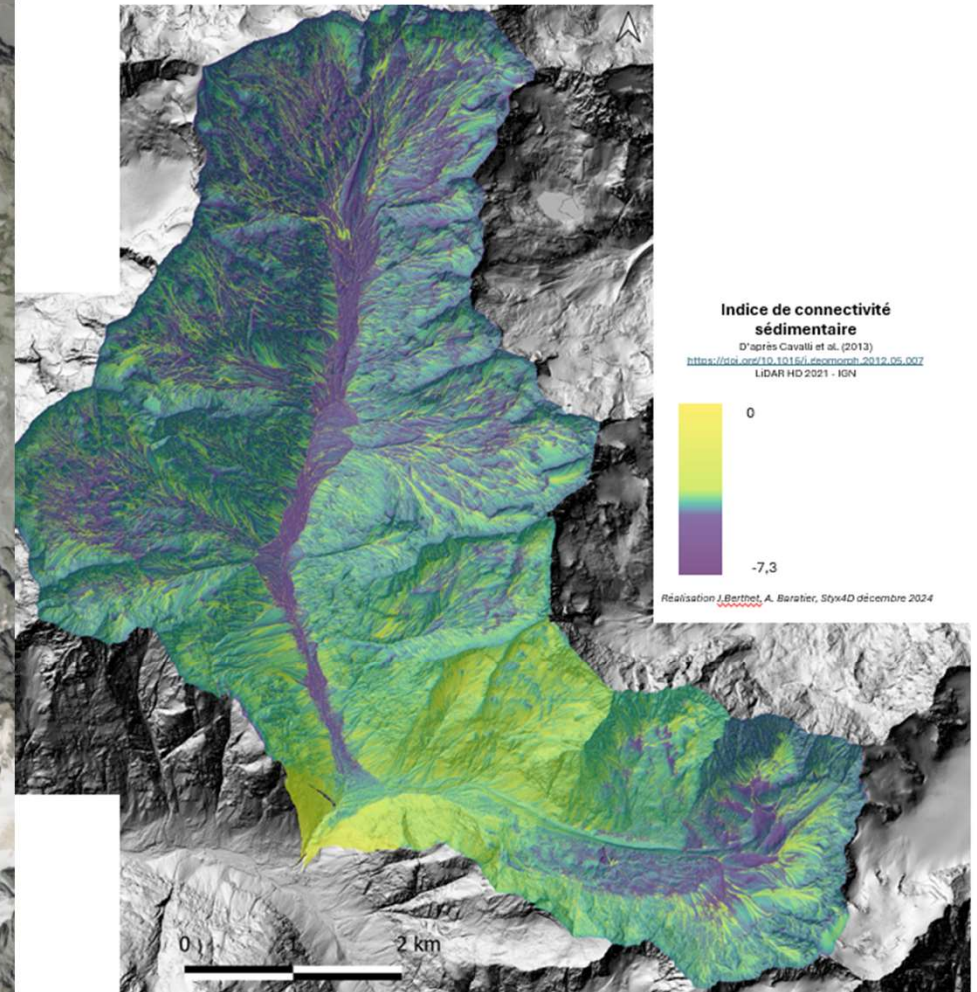
- Remblaiement du lit historique
- Divagation (au milieu du hameau)
- Ré-incision du lit



La crue des Etançons (Bérarde)



La Bérarde : d'où viennent les sédiments



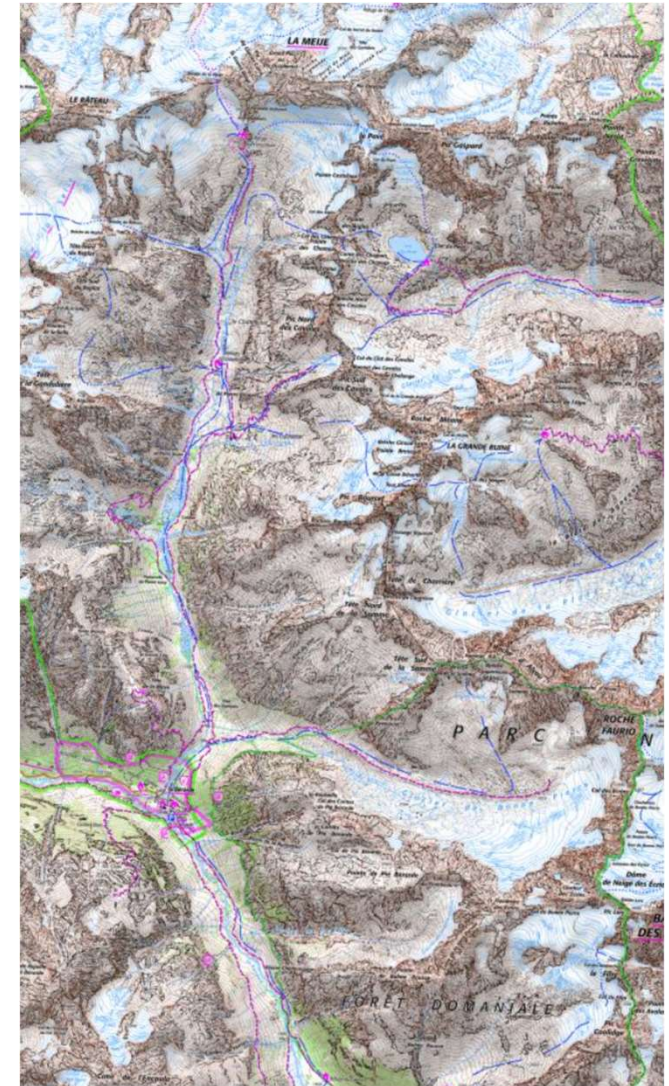
La Bérarde : d'où viennent les sédiments



L'exemple de la Bérarde

Vallon Bonnepierre :

- Stock sédimentaire disponible (système glaciaire)
- Et connecté (pente 37% dans le vallum morainique PAG puis 20% sur le pseudo-cône)



L'exemple de la Bérarde

Vallée des Etançons :

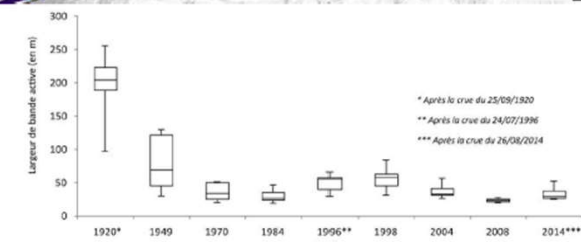
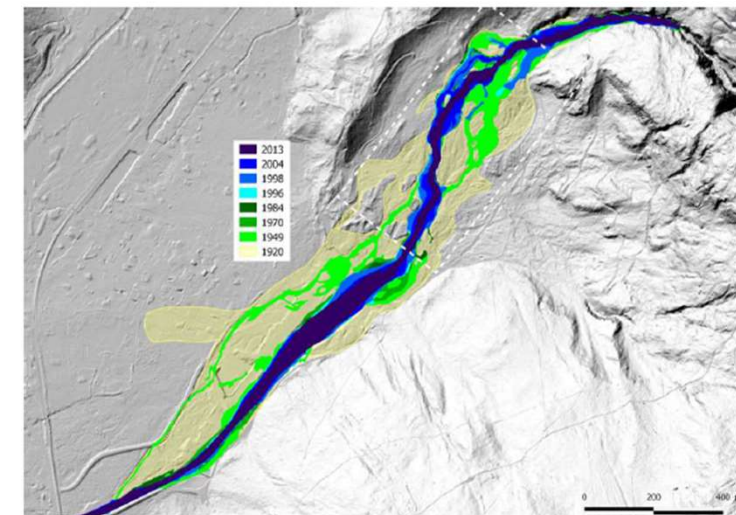
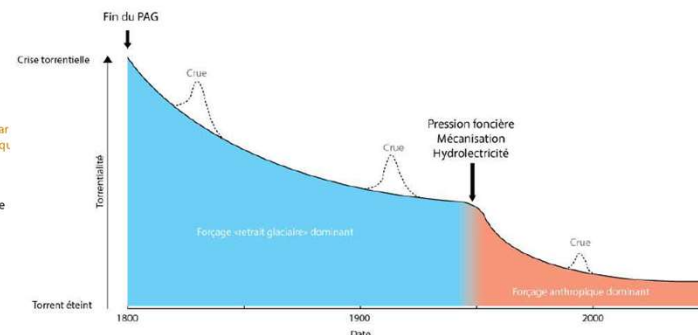
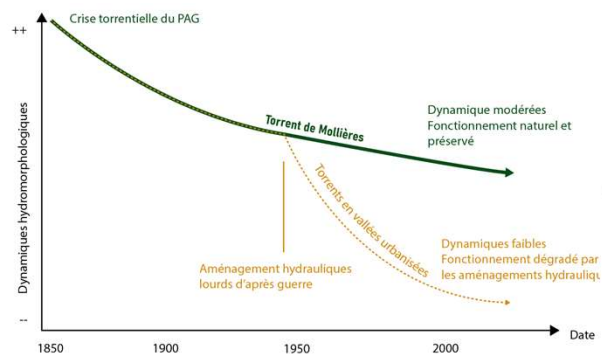
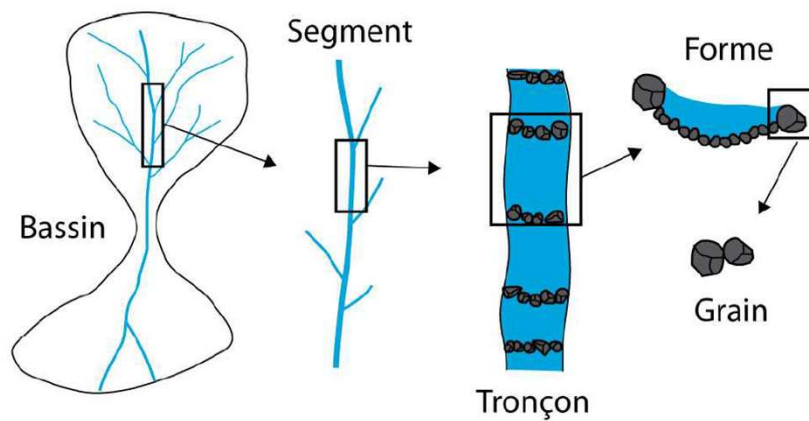
- Stock sédimentaire disponible (fermeture du refuge du Châtelaret)
- Mais déconnecté (pente 7%) (influence litho-structurale? Surcreusement glaciaire?)

= blocage du stock sédimentaire en amont



Les apports de la géomorphologie : mettre en contexte

- Comparer
- Chercher des événements similaires
- Voir à différentes échelles
- Relativiser
- Identifier les trajectoires



L'approche multi-temporelle

Historique
LiDAR/topo
Satellite
TimeLapse

Arrivée des drones (facilité de déploiement)
Déploiement du satellite
Démocratisation de l'IA pour le traitement
Interprétation



**Actuellement totalement mal ou sous
exploité**

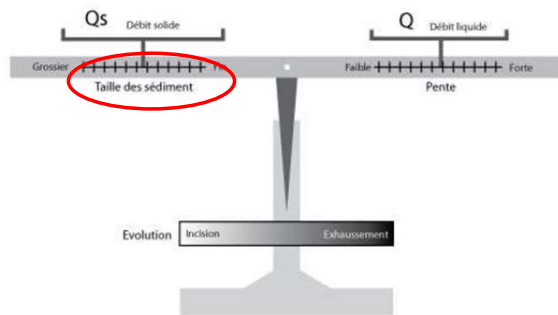
**Nécessite une culture de la donnée
ET une veille technique et scientifique
intense
ET des compétences disciplinaires**

Mesure sédimentaire

Traçages
Granulométrie
Mesure de charriage

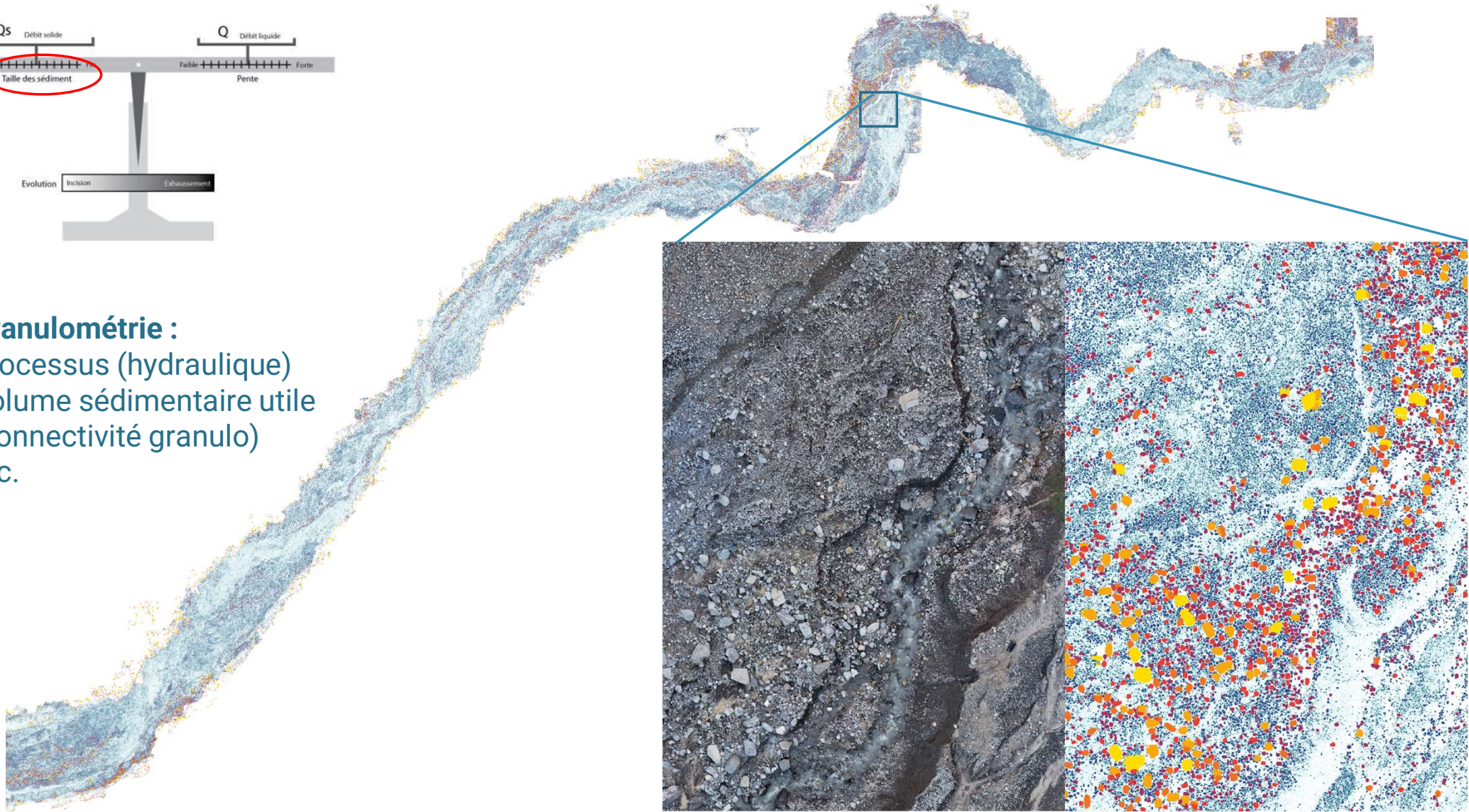


Les apports de la géomorphologie : mesurer



Granulométrie :

Processus (hydraulique)
Volume sédimentaire utile
(connectivité granulo)
Etc.



Vers une probable augmentation des phénomènes extrêmes

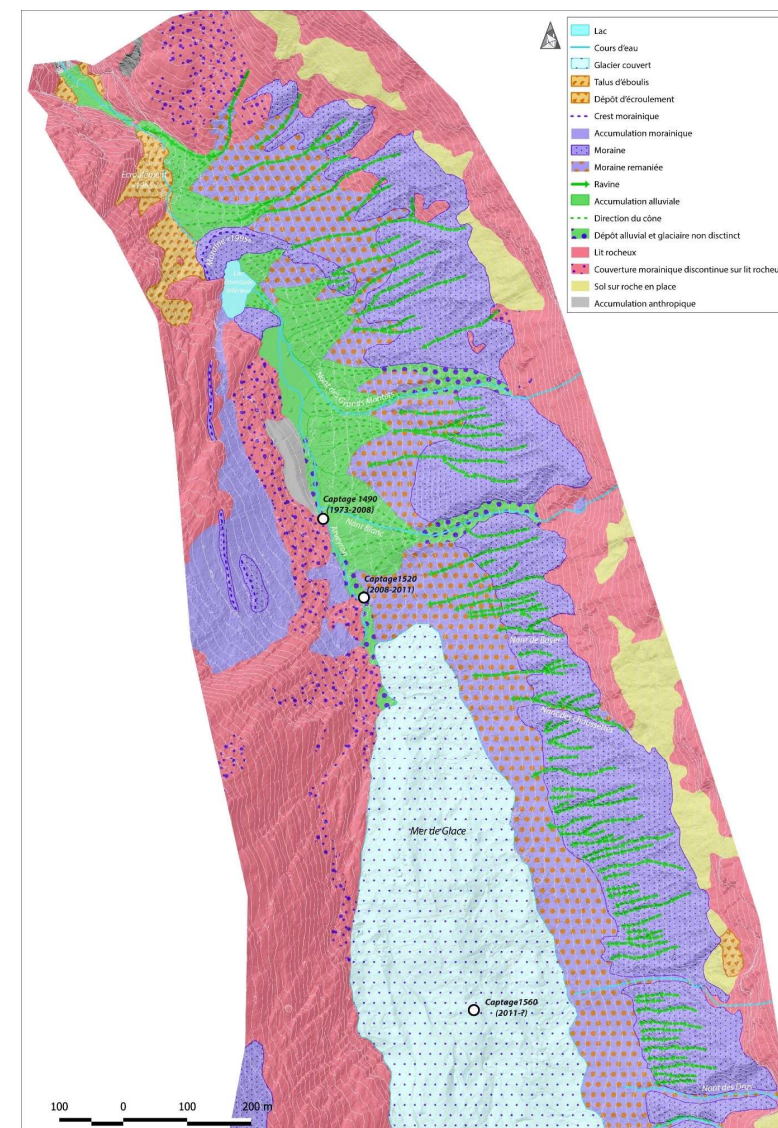
Nécessiter de mieux se préparer (anticipation ET gestion de crise)

L'approche géomorphologique :

- Mise en contexte
- Production des données d'entrée

Doit intervenir **AVANT** la phase de dimensionnement (modélisation) pour lui donner un cadre.

Très utile dans les situations dégradées (événement exceptionnel, délais réduits, etc.)



The background of the slide is a photograph of a narrow, rocky canyon. A small waterfall cascades down a rocky ledge on the left, creating white foam as it falls into a pool of water below. The water in the pool is a deep, vibrant blue-green color. The surrounding rock walls are rugged and brownish-grey, with some water droplets visible on the left wall.

Merci de votre attention



Johan Berthet – Styx4D
19 rue lac Saint André 73370 Le Bourget du Lac
Johan.berthet@styx4d.com
06 71 83 79 53

