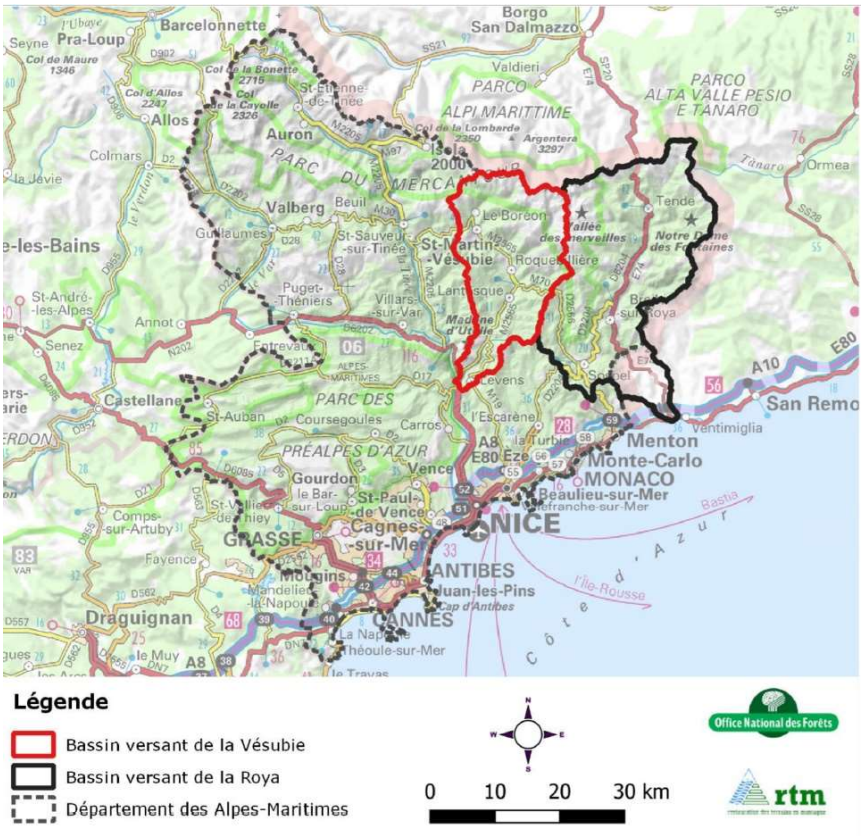
Journées régionales du CFGI :

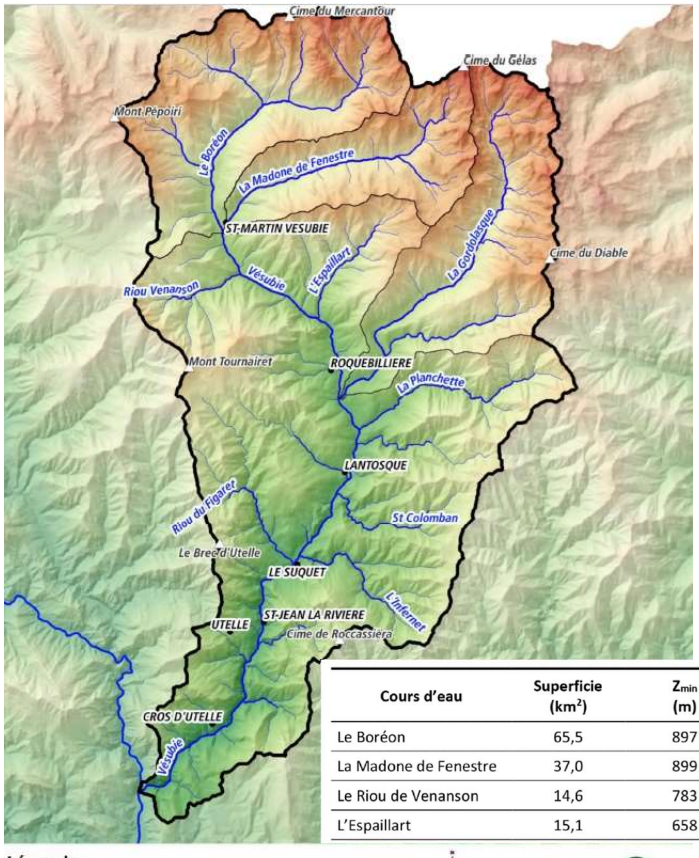
Sur les traces de la tempête « Alex »

Jour 2 : la Haute Vésubie : les bouleversements géomorphologiques de la tempête

SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT :



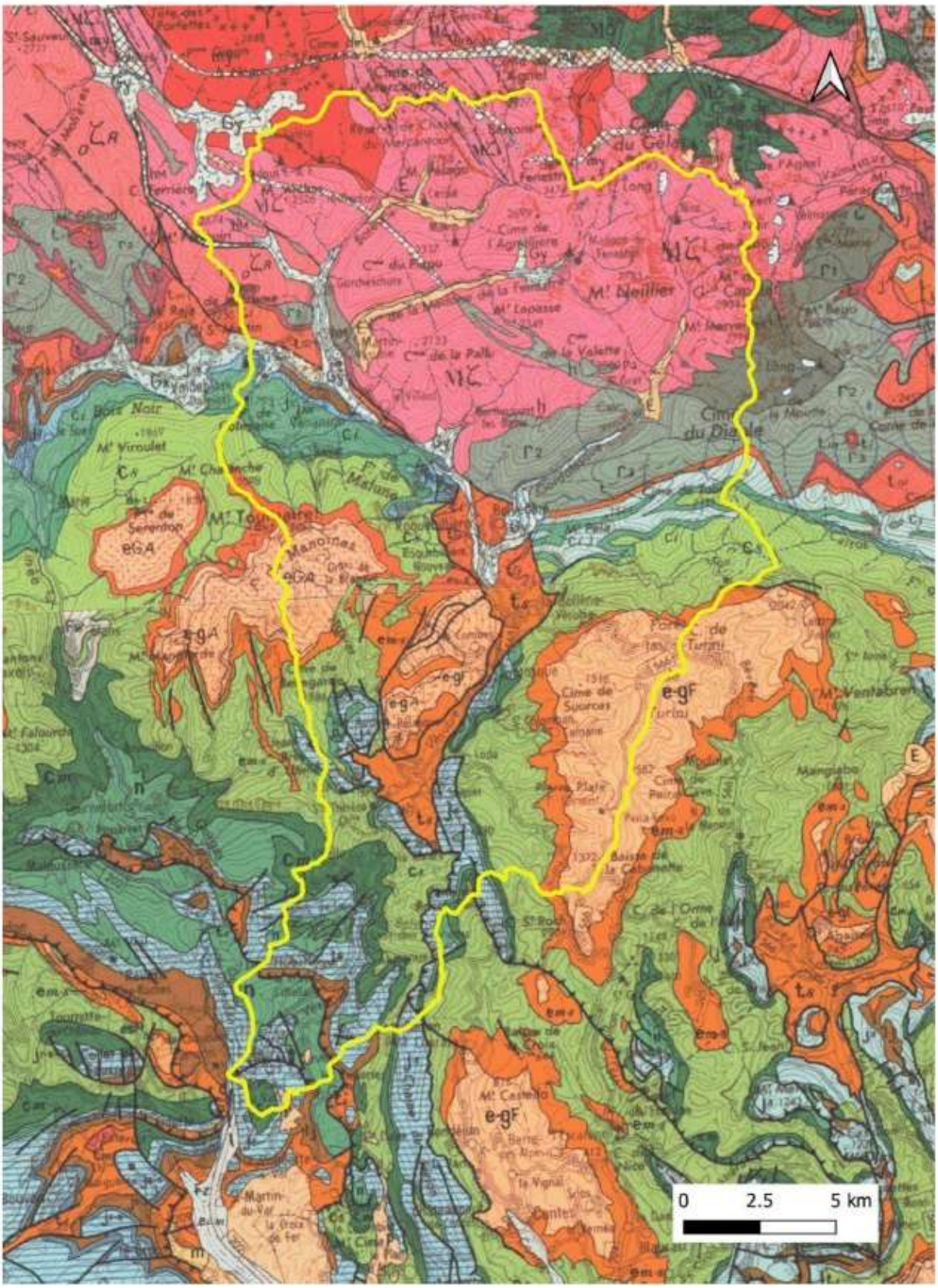
(Source ONF-RTM ; Mai 2022)



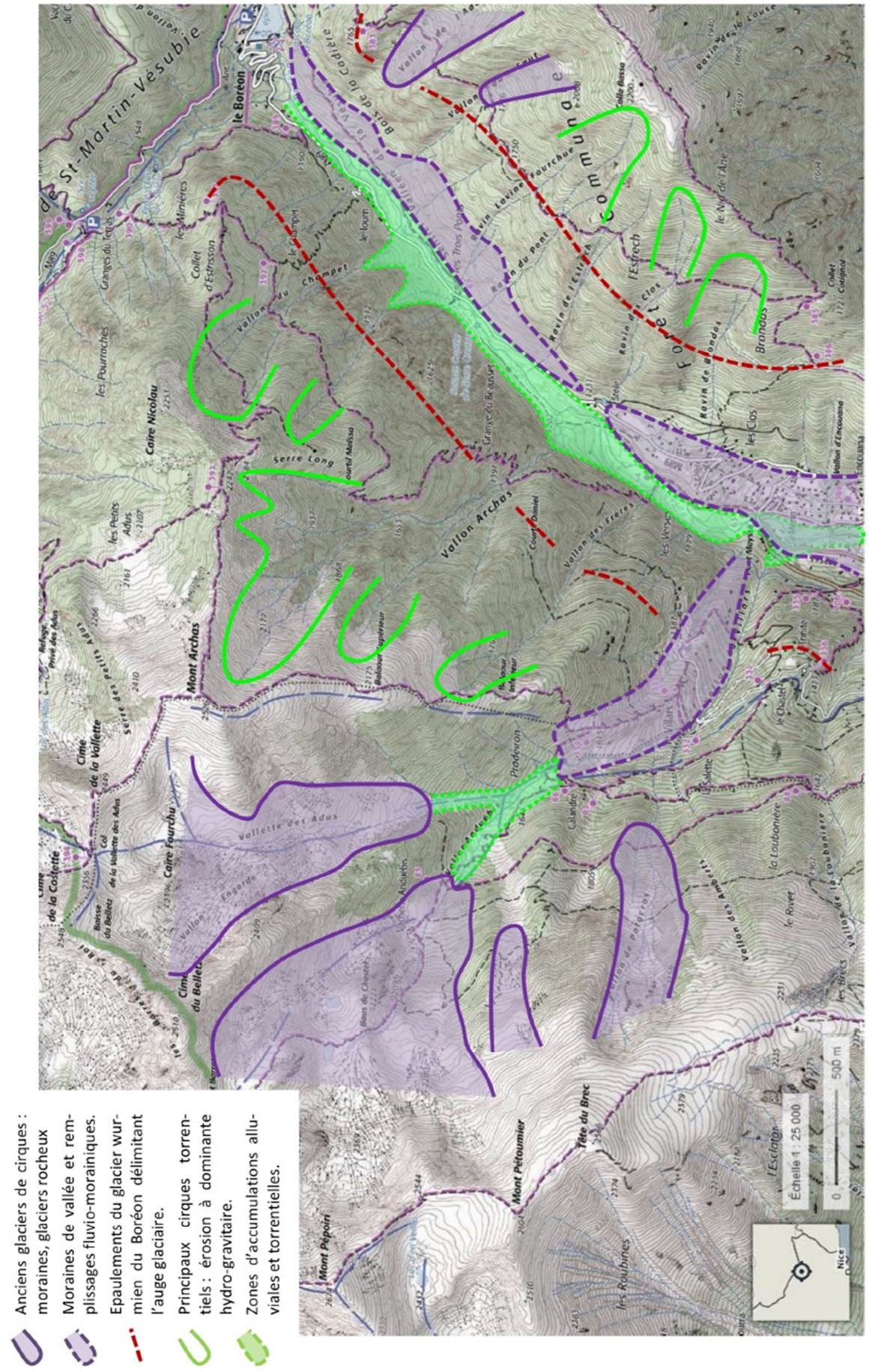
Cours d'eau	Superficie (km^2)	Z_{min} (m)	Z_{max} (m)	Z_{moy} (m)	Pente (%)
Le Boréon	65,5	897	2 999	1 999	59,6
La Madone de Fenestre	37,0	899	3 143	2 009	59,0
Le Riou de Venanson	14,6	783	2 093	1 466	65,0
L'Espaillart	15,1	658	2 496	1 704	59,8

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT :

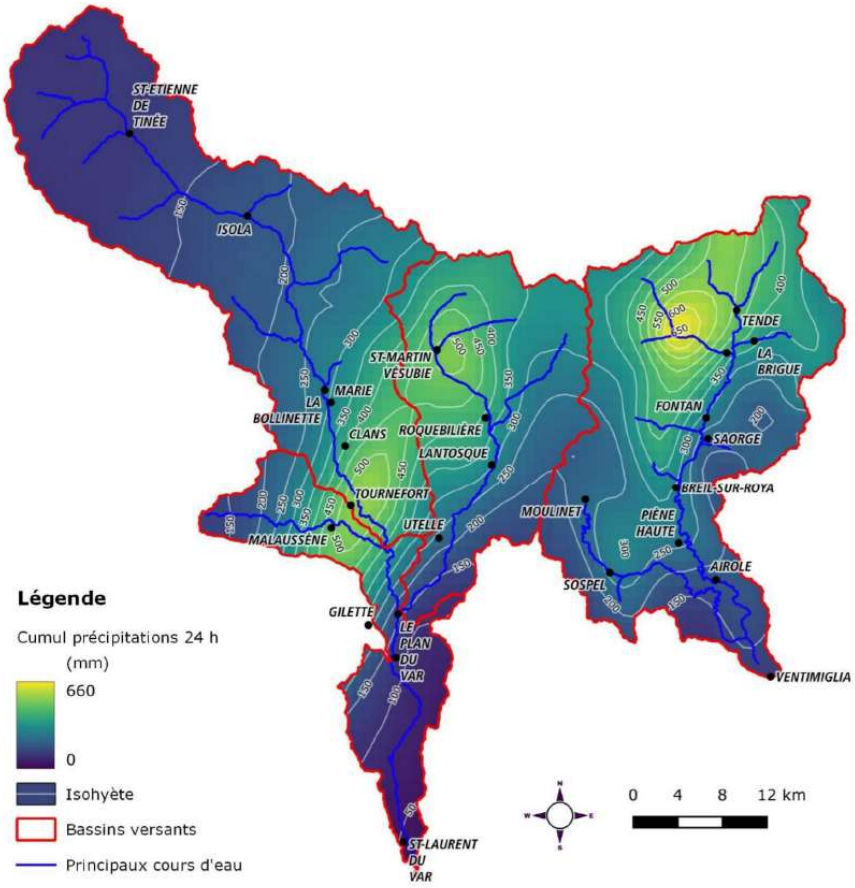


(Source BRGM Infoterre)

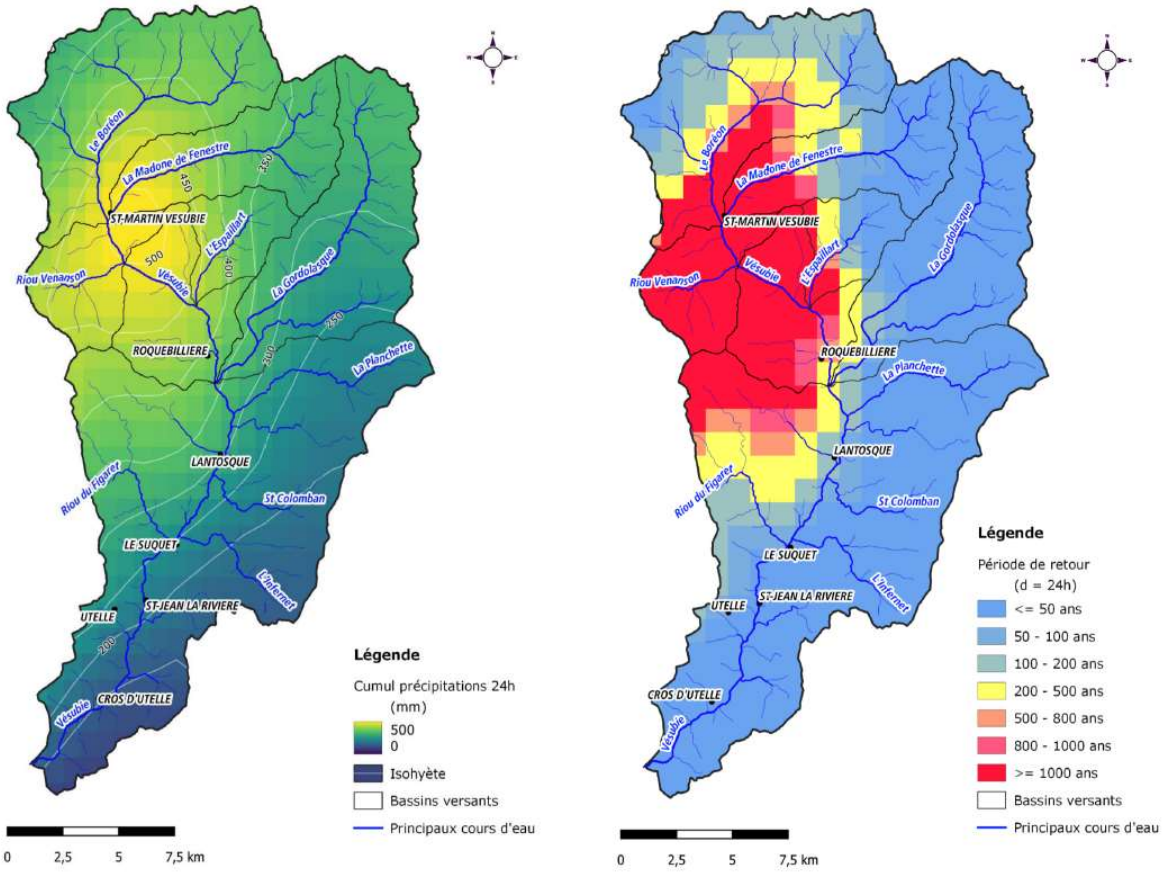


(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

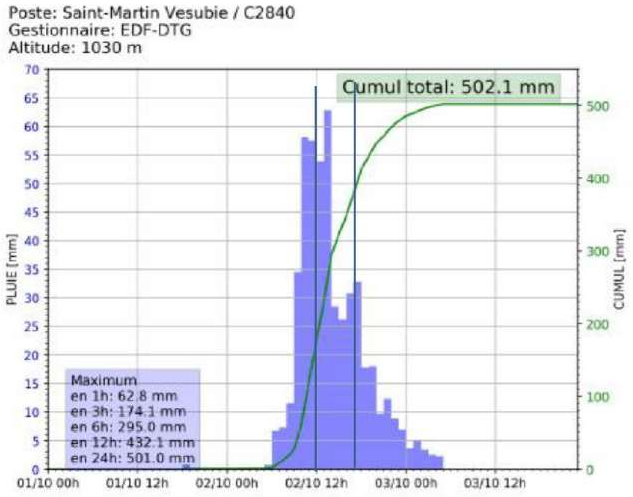
PLUVIOMETRIE OBSERVEE LE 02/10/2020 ET LAME D'EAU :



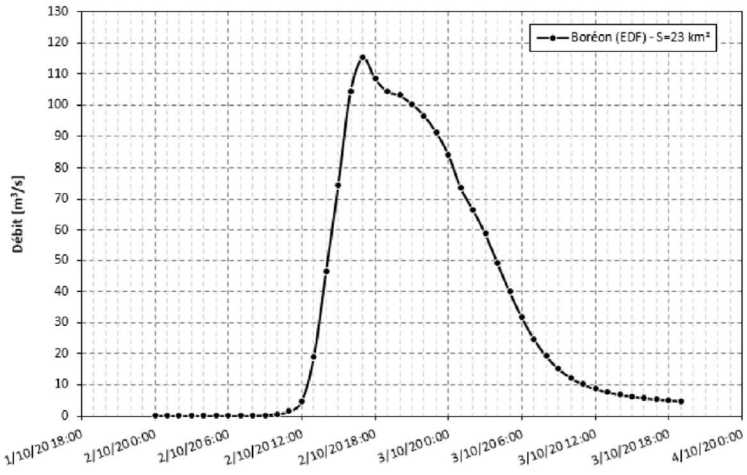
(Source Météo France ; 2020)



(Source INRAE/Météo France)

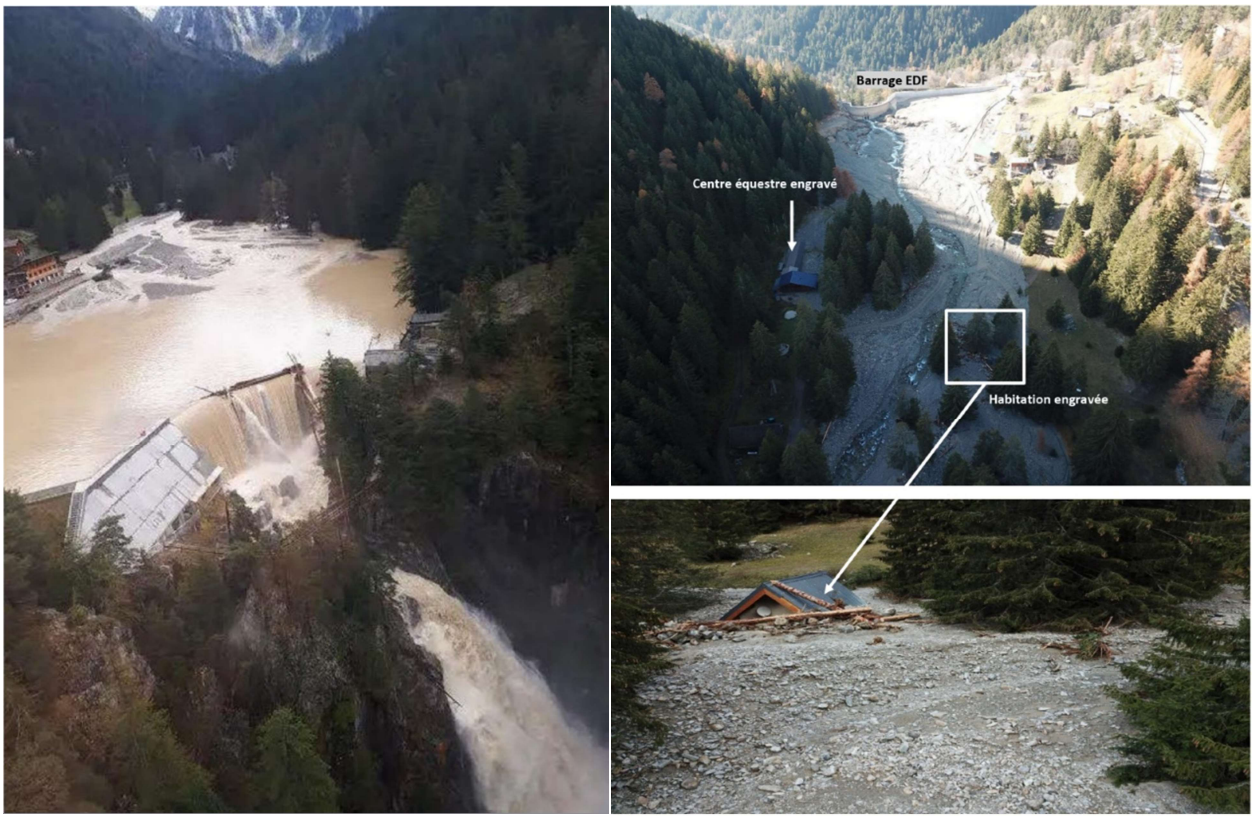


(Source CEREMA/EDF ; 2021)



(Source EDF ; 2021)

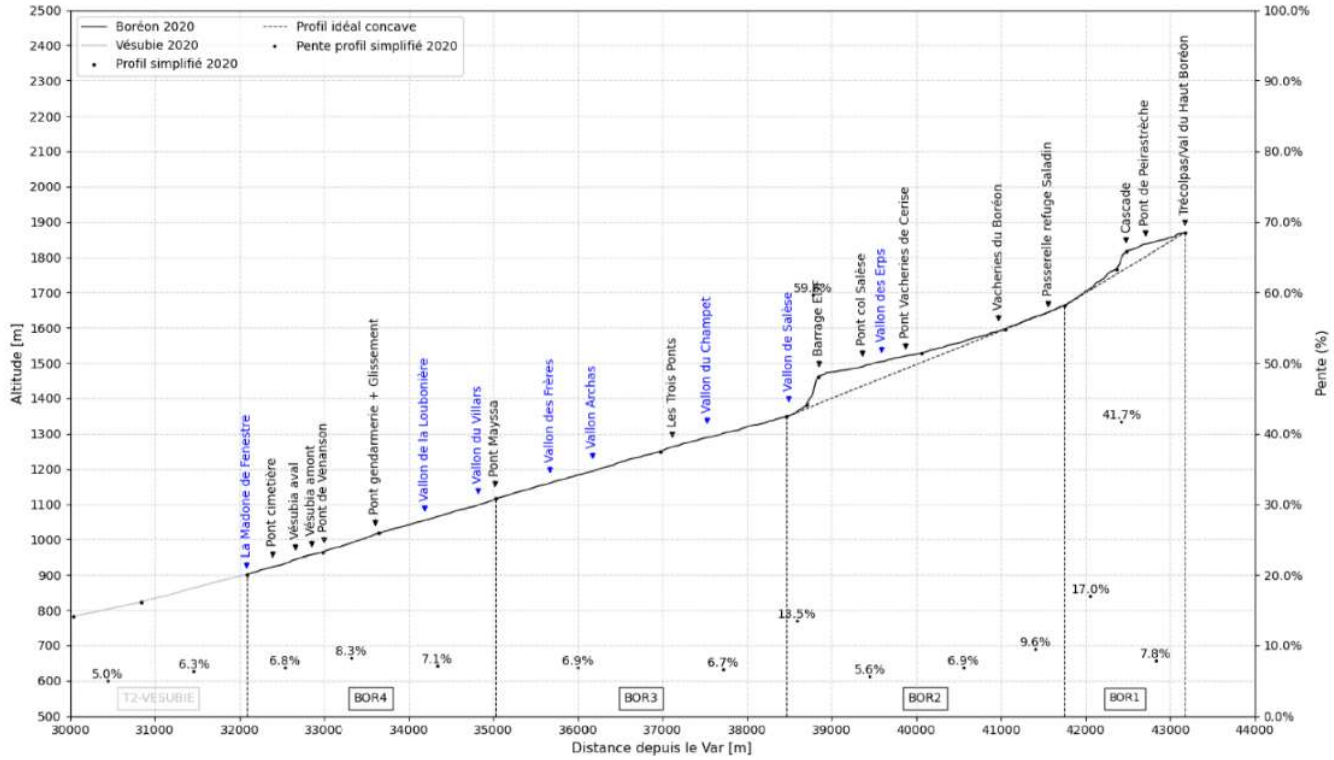
DU LAC DU BOREON AU 3 PONTS :



(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

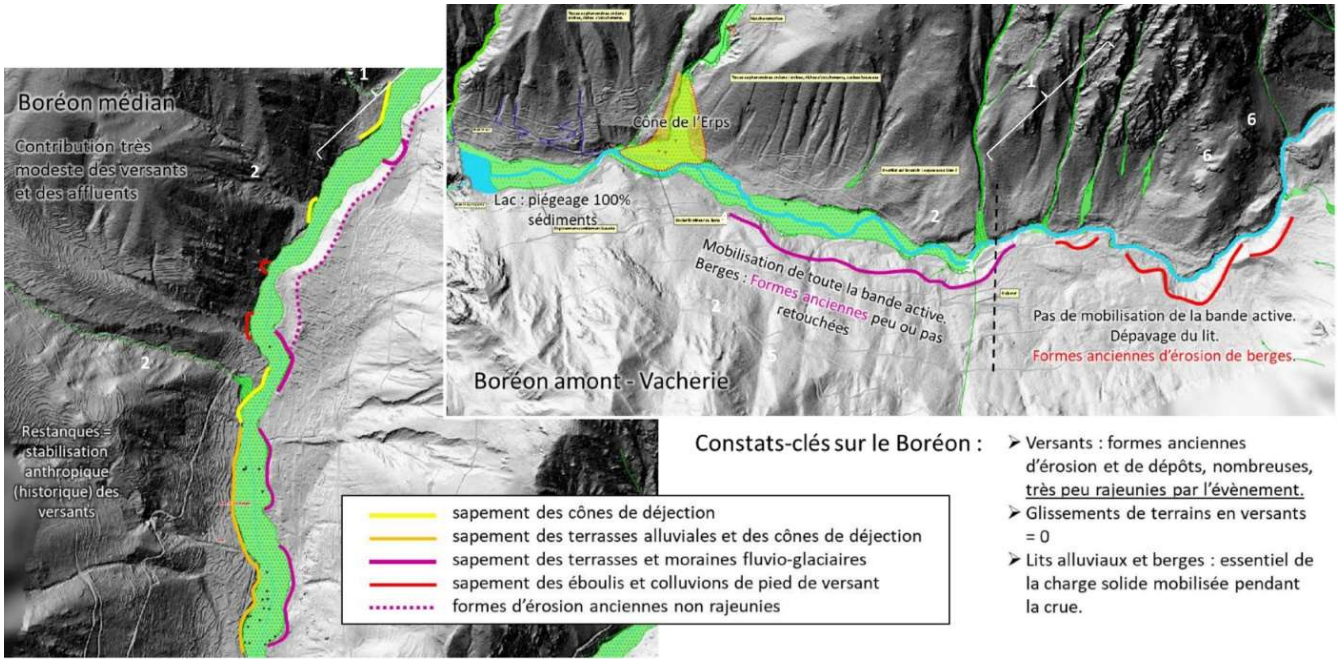
(Source EDF ; Octobre 2020)

(Source EDF ; Octobre 2020)

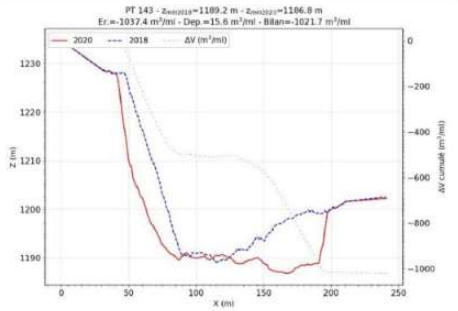
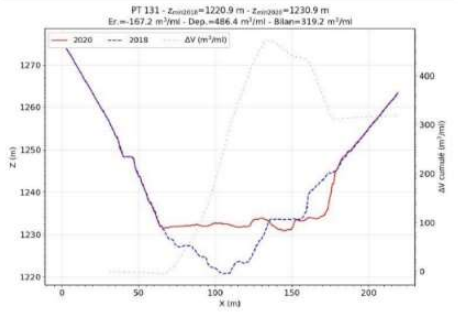


(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)



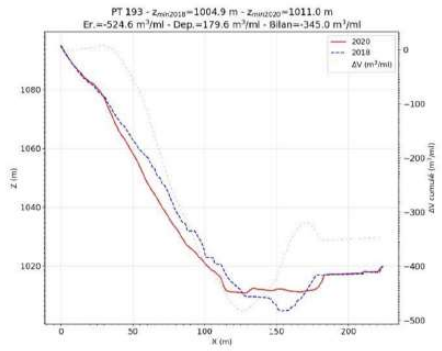
(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

Boréon – PT 143B – Au droit du cône de déjection du vallon Archas		
		Boréon 1050 ml en amont du pont de Mayssa. Cône de déjection du vallon d'Archas raboté par le Boréon. Effondrement de la berge rive gauche et coupure de la route. **Taux d'érosion remarquable de - 1 037 m³/ml.** Elargissement brutal avec largeur de lit passant de 23 à 115 m. Stabilité du fond de lit au droit de l'axe du lit ante crue.
Boréon – PT 131 – 600 ml en amont du cône du vallon Archas		
		Boréon 600 ml en amont du précédent profil en travers affiché. **Engravement du lit remarquable compris entre 10,0 et 12,9 m, soit une hauteur de respirations de 2,9 m. Hauteur des dépôts liée à la contraction du lit au niveau du cône du vallon d'Archas (cf. § 5.5.2).** Elargissement brutal du lit avec largeur passant de 15 m à 105 m.

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

Boréon – PT 192B – Boréon au droit de la gendarmerie



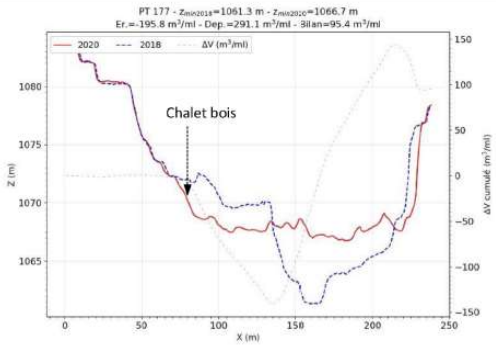
Boréon 50 ml en aval du pont de la gendarmerie (détruit). Glissement de terrain ayant affecté le versant rive gauche.

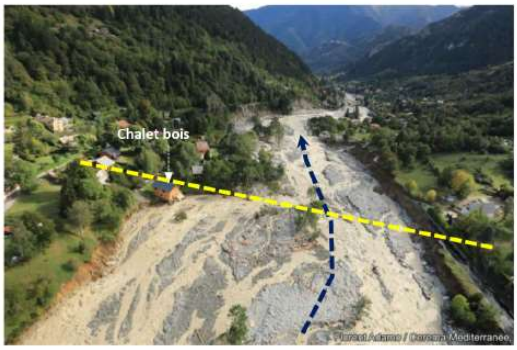
Taux d'érosion en rive gauche de l'ordre de -480 m³/ml. Epaisseur des terrains glissés au droit du profil en travers de l'ordre de 5,9 m.

Engravement compris entre 6,1 et 7,2 m, soit une hauteur de respirations de 1,1 m.

Elargissement brutal avec largeur passant de 15 à 66 m. Recul du pied de versant rive gauche de 11 m et de la berge rive droite de 7 m.

Boréon – PT 177B – Entre pont de la gendarmerie et pont Mayssa (au droit chalet bois RG)





Boréon 750 ml en amont du pont de la gendarmerie.

Dépôt compris entre 5,4 m et 7,7 m, soit une hauteur de respirations de 2,3 m.

Elargissement brutal du lit avec largeur passant de 30 à 148 m !

Recul des berges rive gauche et rive droite respectivement de 50 m (taux d'érosion de - 145 m³/ml) et 6 m (taux d'érosion de -50 m³/ml)

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

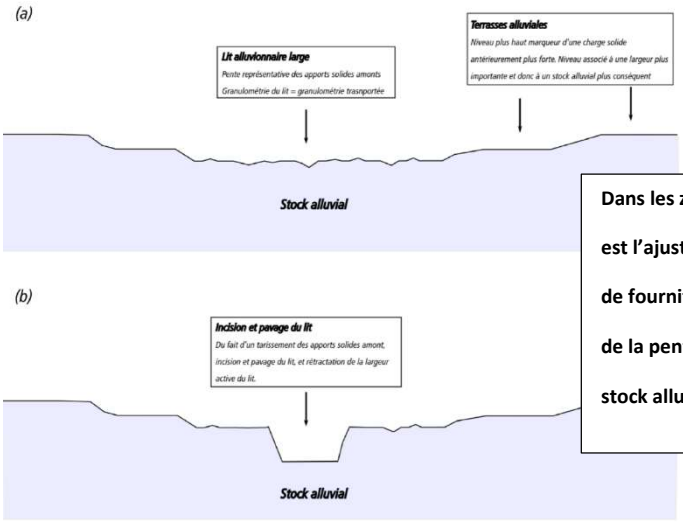
(Source internet)

BILAN SUR LE TRONÇON OBSERVE :

A l'aval du barrage du Boréon, les évolutions morphologiques sont exceptionnelles : La comparaison des niveaux de fond de lit avant et après crue montrent un engravement généralisé. L'exhaussement du lit y est en moyenne de 3 m avec localement des valeurs maximales de 10 m.

Explosion de la bande active qui passe en moyenne de 14 m à 90 m (>100 m localement), soit un élargissement d'un facteur 6.

Malgré un exhaussement généralisé du lit, le bilan est négatif sur ce tronçon => tendance à l'érosion.



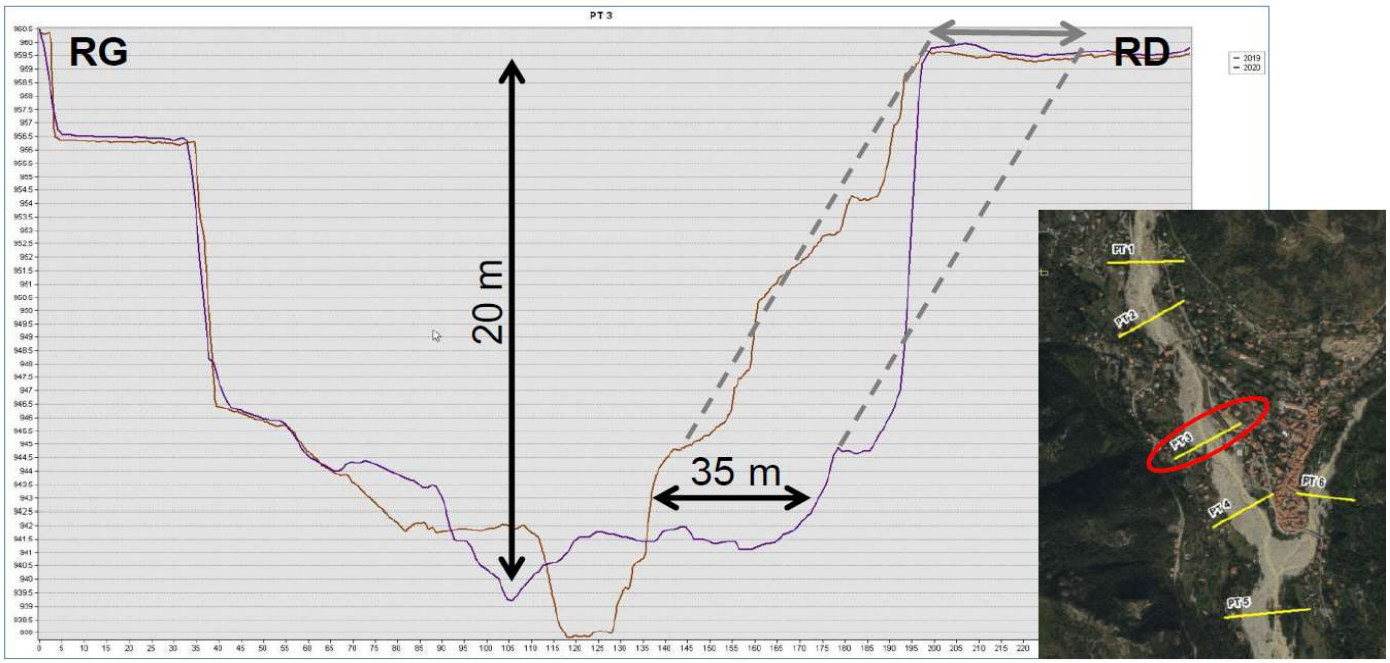
Dans les zones alluvionnaires, le trait caractéristiques est l'ajustement permanant de la pente aux variations de fourniture sédimentaire. La dynamique temporelle de la pente longitudinale est directement corrélée au stock alluviale disponible.

(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

LE PANAORAMA DEPUIS VENANSON AVANT LA TEMPETE...

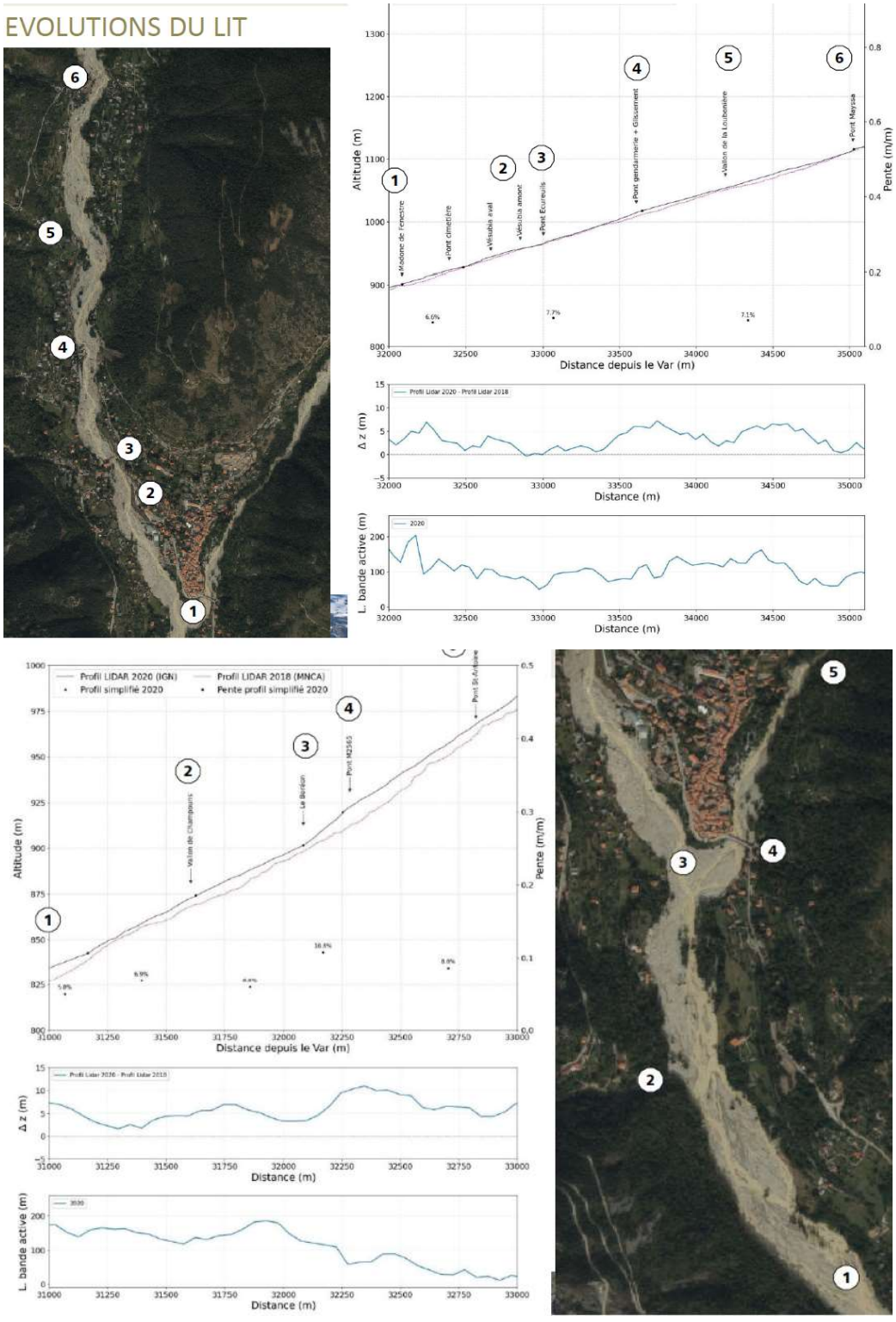
(Source : données personnelles J-B Meyran)

(Source : CEREMA)



(Source ONF-RTM, Mars 2021)

EVOLUTIONS DU LIT



(Source ONF-RTM, Mars 2021)

(Source Internet, Octobre 2020)

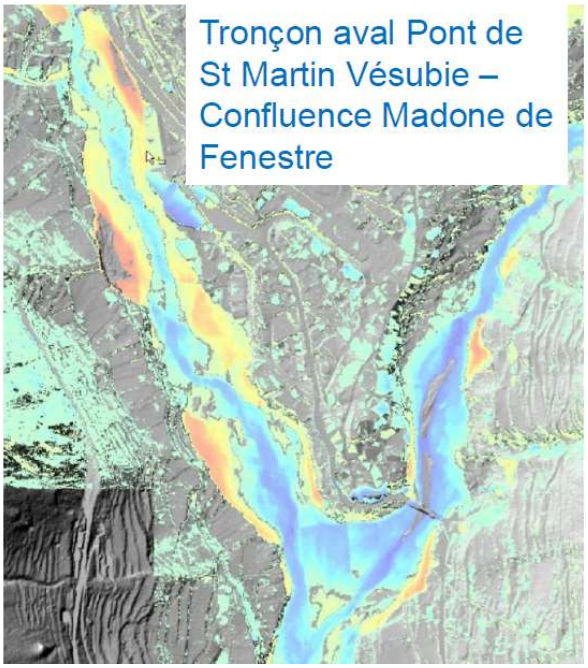
Analyse des évolutions morphologiques observées

- **Bilan volumétrique :**

Comparaison du Lidar avant crue (MNCA - 2018) et du lidar post crue (IGN – 2020)

Exemple sur le Boréon à Saint Martin Vésubie depuis la cascade du Boréon jusqu'à la confluence avec la Madone de Fenestre (linéaire de 6,3 km)

- Données provisoires avant recalage :
  - Volume érodé : 1 340 000 m^3
  - Volume déposé : - 870 000 m^3
  - Volume sortant du tronçon : **470 000 m^3** (**400 000 m^3** après première correction statistique non définitive)
  - Taux d'érosion moyen :180-200 m^3/ml
  - Hauteur de dépôt > 10 m par endroit
  - Hauteur d'érosion de berge > 20 m par endroit



(Source ONF-RTM, Mars 2021)

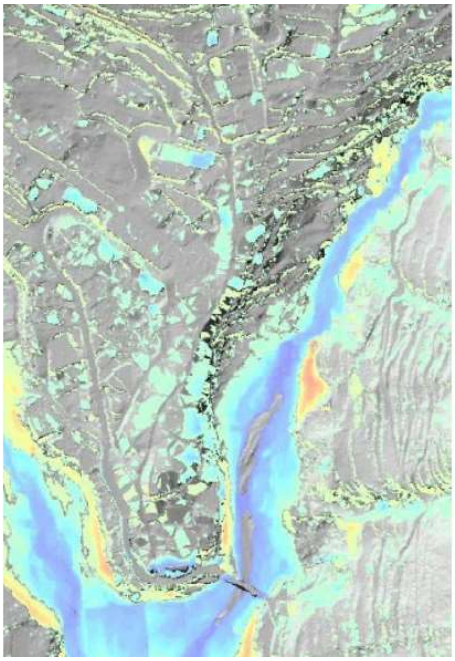
EVOLUTIONS OBSERVEES PENDANT LA CRUE

Analyse des évolutions morphologiques observées

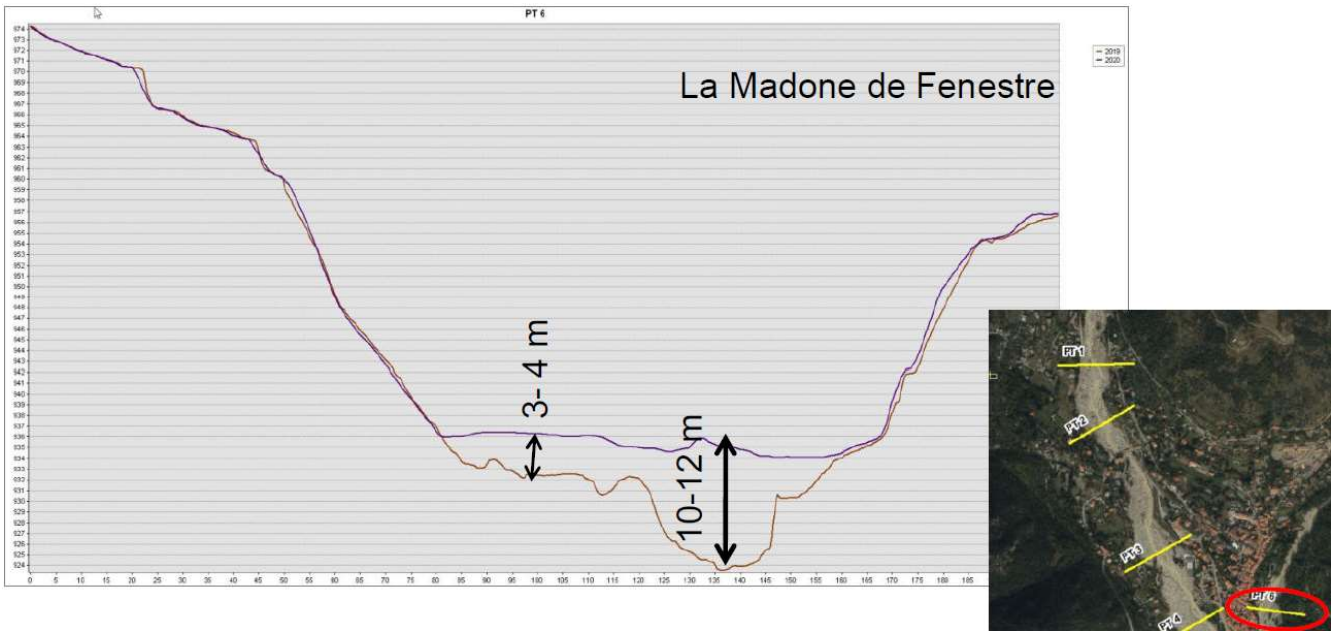
- **Bilan volumétrique :**

Comparaison du Lidar avant crue (MNCA - 2018) et du lidar post crue (IGN – 2020)

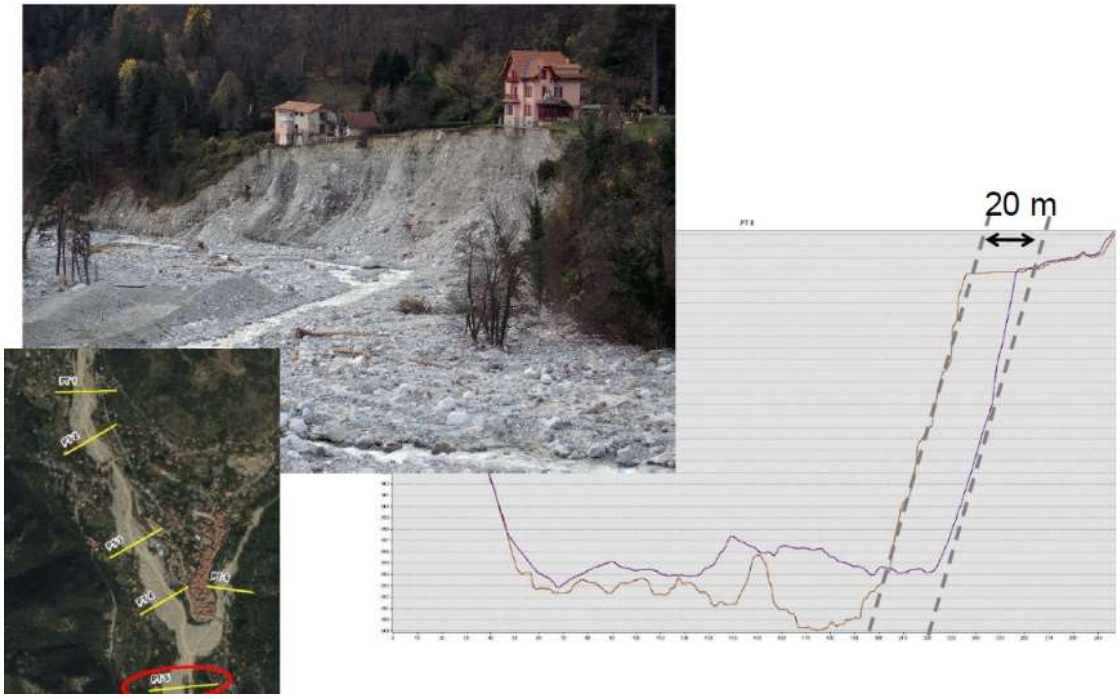
- Données provisoires avant recalage :
  - Volume érodé : 965 000 m^3
  - Volume déposé : - 600 000 m^3
  - Volume sortant du tronçon : **365 000 m3**
  - Hauteur de dépôt > 10 m par endroit



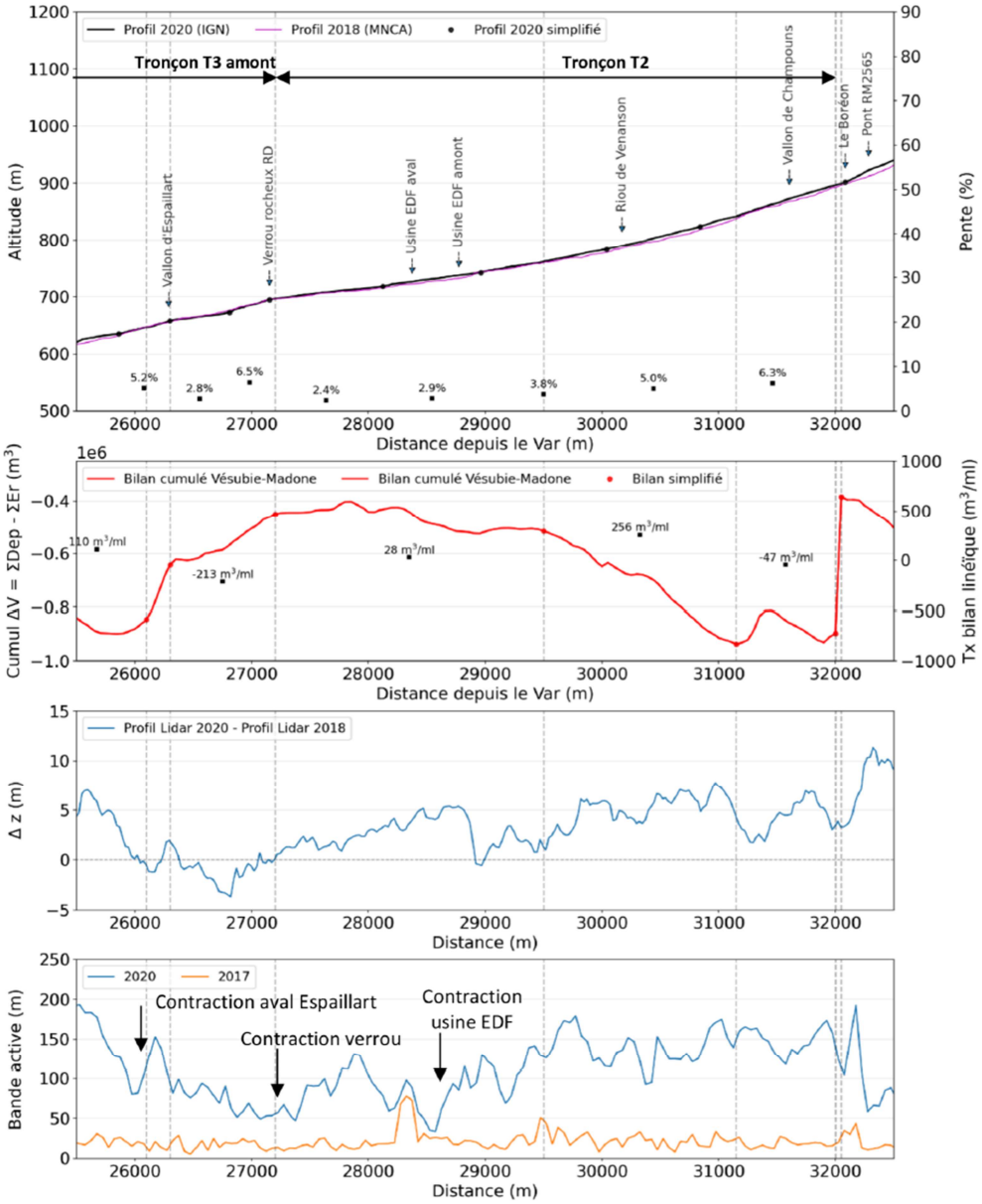
(Source ONF-RTM, Mars 2021)



(Source ONF-RTM, Mars 2021)



(Source ONF-RTM, Mars 2021)



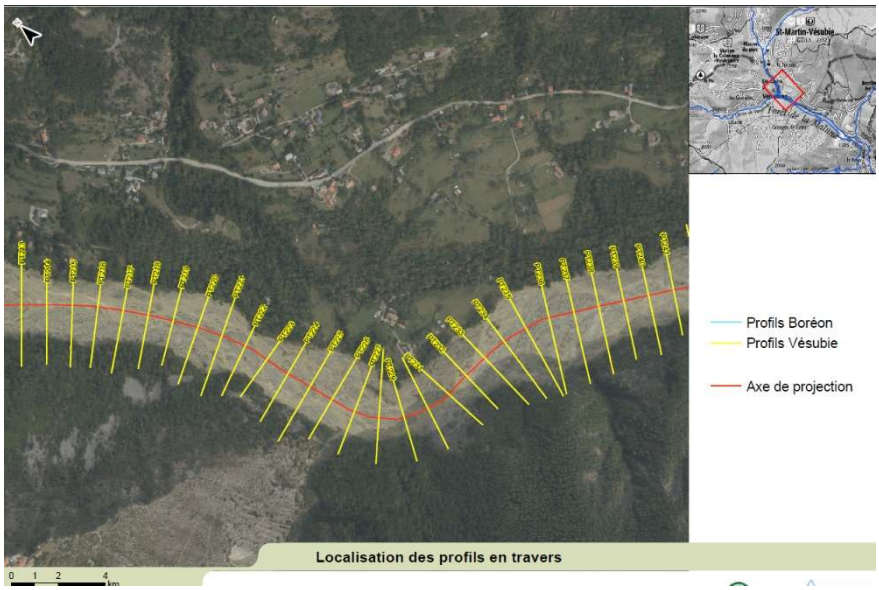
Une nette tendance au dépôt se dégage au sein du tronçon T2 comme l'indique l'augmentation marquée du bilan net (+256 m³/ml, puis +28 m³/ml). La comparaison des niveaux de fond de lit avant-après crue montre un engravement généralisé sur l'ensemble du secteur avec un exhaussement de l'ordre de 3,7 m en moyenne et un intervalle de variation compris entre 0,9 m et 7,8 m. Les valeurs les plus élevées sont situées en amont du Riou de Venanson. Le tronçon T2 est également caractérisé par une explosion de la bande active liée à la remontée spectaculaire des niveaux ainsi qu'à la diminution de la pente. La bande active passe en moyenne de 21 m avant la crue à 117 m après la crue, avec des valeurs pouvant atteindre jusqu'à 180 m.

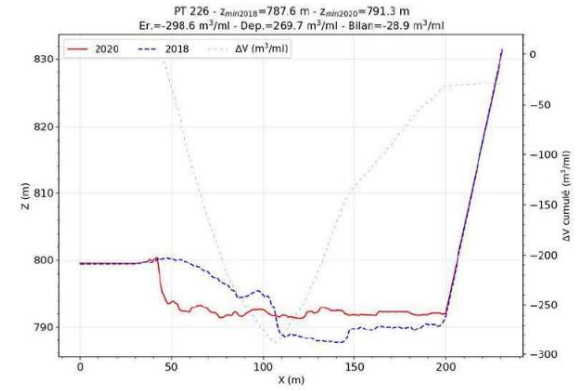
Les dépôts peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs : (a) les apports sédimentaires massifs en provenance du Boréon et de la Madone de Fenestre ; (b) la diminution de la pente longitudinale qui entraine une diminution de la capacité de transport du cours d'eau. Le profil en long de la Vésubie dans le tronçon T2 est un profil concave classique caractérisé par une décroissance progressive de la pente ; et (c) la contraction du lit formée par la présence d'un verrou rocheux à l'aval du tronçon T2 qui engendre une singularité dans le profil en long et fait office de point de contrôle du profil en long dans ce tronçon.

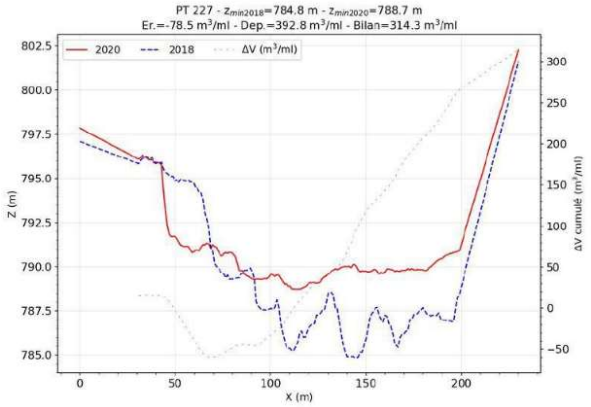
(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

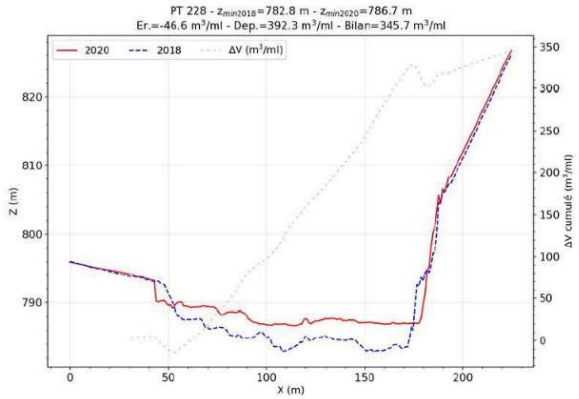
(Source ETRM ; Novembre 2020)

(Source ETRM ; Novembre 2020)









(Source ONF-RTM ; Mai 2022)

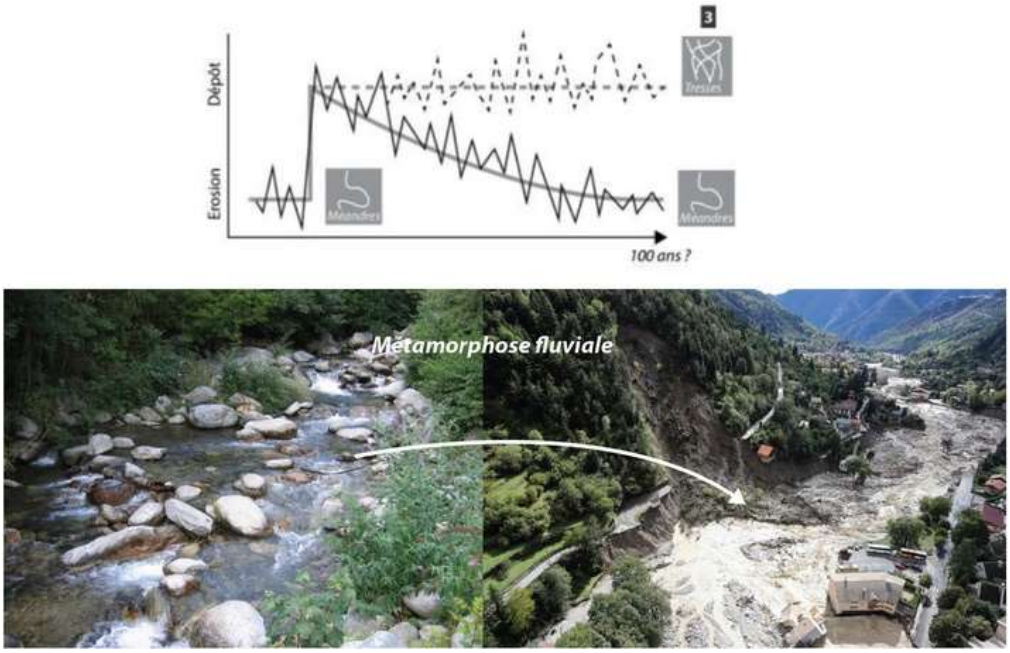
DISCUSSION ET OUVERTURE

Cf. https://www.linkedin.com/pulse/premiers-%25C3%25A9l%25C3%25A9ments-danalyse-de-la-crue-du-02102020-roya-johan-berthet/?trackingId=PPPA3jbRRMu7QOaQ5FYlwg%3D%3D

Au-delà de l'épisode hydrologique, dont les chiffres impressionnants ont été abordé en début de journée, c'est surtout la réponse hydromorphologique qui interpelle. Comment des cours d'eau de 10 à 20 mètres de large, peuvent-ils en faire maintenant 200, parfois 300 m ?

Tout ce qui se trouvait dans la bande active a été détruit ou endommagé. Les digues et protections torrentielles n'ont servi à rien. Elles se sont faites soit remblayer, soit éroder, soit totalement effacées. Les zones inondables des PPR ont été très largement dépassées.

Lit majeur transformé en lit mineur. Ce changement s'accompagne évidemment d'un changement de style géomorphologique. D'un cours d'eau en morphologie « step pool », on est passé à une morphologie en tresse. Il s'agit donc d'une métamorphose fluviale. Celles-ci ont été bien théorisées par les géomorphologues fluviaux, notamment Malavoi et Bravard (2010), dont le manuel a inspiré la figure ci-dessous tirée de ma thèse, montrant une rupture dans l'équilibre dynamique d'un cours d'eau après une crue :



Comment expliquer de tels changements ?

Les cours d'eau des Alpes Maritimes, comme la quasi-totalité des cours d'eau européens, se trouvent en situation de déficit sédimentaire. C'est-à-dire que leur capacité de transport excède largement le volume de sédiments disponibles. Les dynamiques des cours d'eau sont donc faibles et il faut des crues importantes pour remobiliser un peu de stock sédimentaire. La Roya et la Vésubie se trouvaient dans cette situation.

Sur la haute Vésubie, la remobilisation sédimentaire s'est effectuée par le sapement important des pieds de versant et non par les apports des talwegs affluants. Aujourd'hui, la Haute vésubie est en état d'équilibre sédimentaire très excédentaire.

L'état d'excédent sédimentaire devrait perdurer pendant au moins plusieurs années. Cela signifie que les « petites crues » pourraient désormais devenir morphogènes. Le lit des cours d'eau va donc changer régulièrement pendant plusieurs années. Les matériaux charriés, notamment par la Vésubie, se retrouveront dans le Var. Le lit de ce dernier risque donc de s'engraisser régulièrement. Les exhaussements seront à surveiller.

Où placer la crue du 2 octobre 2020 ?

Où donc situer la crue par rapport aux autres crues connues en France ? Si l'on prend deux exemples que sont la crue de l'Ouvèze à Vaison la Romaine en 1992, restée dans les mémoires pour ses images impressionnantes et son nombre élevé de victimes (47 morts) et la crue du Gave de Pau en 2013, remarquable pour ses conséquences hydromorphologiques, on s'aperçoit vite qu'il s'agit de crues aux dynamiques sédimentaires bien faibles en rapport à ce qu'il s'est joué en Vésubie le 02 octobre 2020.

Blanpied et al. (2018), ont étudié les conséquences sur la crue du Gave de Pau, et plus spécifiquement sur le torrent du Bastan. La crue y est certes impressionnante, mais les changements morphologiques restent dans l'ordre de grandeur de ce qu'était le cours d'eau avant la crue. Le style morphologique est quant à lui resté globalement identique.

Deuxième crue de comparaison la crue de Vaison la romaine en 1992. Les conséquences hydromorphologiques sont détaillées par *Arnaud-Fasseta et. al (1993)* montrent qu'il n'y a pas de changements morphologiques majeurs.

Il faut aller chercher plus loin dans le temps pour trouver des évènements similaires dans leur processus et leur intensité. Les conséquences de la crue du Guil en 1957, documentée par *Tricart (1958)*, semblent correspondre à un évènement d'une telle ampleur. Mais le Guil était déjà un cours très actif et en excédent sédimentaire avant cette crue. La discussion reste donc ouverte sur la comparaison avec cette crue.

Il existe tout de même un évènement très similaire : l'*Aiguat* de 1940. Il s'agit d'un épisode méditerranéen extrême qui toucha la Tet et le Tech. . Il serait tombé jusqu'à 840 mm d'eau en 24h à Llau (Jacob, 1997). Cet épisode a été documenté par Pradé (1941) et Jacob (1997).

A titre indicatif, il est intéressant de se pencher sur les taux d'érosion de certaines zones en Haute Vésubie : -984, -794 et -1177 m^3/ml respectivement pour le Boréon, la Madone et la Vésubie à l'aval de la confluence Boréon/Madone. D'après la littérature, ces taux d'érosion sont comparables avec ceux engendrés par des GLOF connus pour leur intensité et leur caractère dévastateur.

Quels sont les enseignements d'un tel événement ?

Question ouverte que nous vous laissons réfléchir au regard de ces deux journées et des nombreuses études à paraître sur cet évènement.

Enfin, nous rendons hommage : aux victimes, à leurs familles et à celles et ceux qui se sont battus pour secourir et aider les habitants sinistrés.