



HAL
open science

Les bassins versants maralpins face au changement: tempête Alex, changement climatique et pressions anthropiques

Margot Chapuis, Ludovic Drapier, Anaëlle Vayssière, Cyriel Adnès, Agnès Barillier, Pierre Carrega, Franck Compagnon, Jean-Robert Genin, Frédéric Liébault, Nicolas Martin, et al.

► To cite this version:

Margot Chapuis, Ludovic Drapier, Anaëlle Vayssière, Cyriel Adnès, Agnès Barillier, et al.. Les bassins versants maralpins face au changement: tempête Alex, changement climatique et pressions anthropiques. Université Côte d'Azur. 2023. hal-04254220

HAL Id: hal-04254220

<https://hal.science/hal-04254220v1>

Submitted on 23 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

LES BASSINS VERSANTS MARALPINS FACE AUX CHANGEMENTS :
TEMPETE ALEX, CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRESSIONS ANTHROPIQUES

Vallée de la Roya et de la Vésubie – Haut-Pays Niçois

11, 12 et 13 juillet 2023

Journées organisées par Margot Chapuis (Université Côte d'Azur, UMR 7300 ESPACE)
avec l'appui des responsables de la commission Hydrosystèmes Continentaux :
Anaëlle Vayssière et Ludovic Drapier

Livret de figures

Comité scientifique :

Nicolas MARTIN/VIAUX (France, MCF à UCA / ESPACE)
Matthieu VIGNAL (France, MCF à Avignon Université / ESPACE)
Pierre BRIGODE (France, MCF à UCA / Géoazur)
Frédéric LIEBAULT (France, DR à Inrae Grenoble)
Céline MARTINS (France, ingénieure à l'ONF-RTM 06)
Pierre CARREGA (France, PR émérite à UCA / ESPACE)



Cet événement bénéficie d'une aide du gouvernement français, gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du projet Investissements d'Avenir UCA^{JEDI} portant la référence n° ANR-15-IDEX-01. Il est également soutenu par l'Observatoire départemental de l'Eau des Alpes-Maritimes.

Contexte

Les cours d'eau maralpins sont peu connus, en partie du fait de leur caractère excentré. Les journées de la Commission Hydrosystèmes du CNFG ont rarement eu lieu sur des terrains méridionaux ces dernières années, nous vous proposons pour cette session de (re)découvrir les spécificités des cours d'eau des Alpes-Maritimes/Mercantour, tant en termes de fonctionnement hydro-sédimentaire qu'en termes de gestion des bassins versants.

L'événement du 02/10/2020 (tempête Alex) a mis en relief les caractéristiques des cours d'eau maralpins (crues éclair, transport sédimentaire intense) et a donné lieu à une « métamorphose fluviale », phénomène rarissime à l'échelle internationale (en France, le précédent avait eu lieu sur le Guil en 1957). Par ailleurs, cet événement exceptionnel a mis en exergue la nécessité de comprendre le fonctionnement particulier des cours d'eau montagnards en domaine méditerranéen, dans une perspective de développement de stratégies d'adaptation aux changements climatiques accessibles aux gestionnaires et aux usagers.

3 grandes thématiques seront abordées :

- Spécificités hydroclimatiques des Alpes-Maritimes et conséquences des précipitations exceptionnelles du 02/10/2020 (tempête Alex)
- Géomorphologie torrentielle et crues éclair dans un contexte de changement climatique
- Enjeux de gestion et de restauration des rivières en tresses.

Il s'agit de proposer un état de la connaissance sur le territoire maralpin, dans un contexte de changements multiples qui s'emboîtent tant dans une dimension spatiale que temporelle : dynamiques de changements post-Alex, changement climatique, changement des pratiques et de vécus liés aux territoires impactés, à échelle ponctuelle (site d'étude), à l'échelle de la vallée, à l'échelle inter-valléenne.

Programme

Début des Excursions de la Commission Hydrosystèmes du CNFG : RDV à l'[IMREDD](#) (Nice) le 11 juillet 2023. Départ à 12h30, transport en car jusqu'à Viévol (Tende).

- 11 juillet
 - Matinée : Présentation des actions de l'Académie 3 "Espace, Environnement, Risques et Résilience" d'Université Côte d'Azur sur la gestion des risques – lieu : IMREDD (Nice), 9h – accueil dès 8h50.

Intervenants et programme spécifique : voir programme prévisionnel en fin de circulaire.

- Après-midi : Viévol (Tende).
 - Aspect climato-météo des précipitations du 02/10/2020
 - Les conséquences de la tempête Alex

Intervenants : Pierre Carrega (UCA-ESPACE), Gabriel Melun (OFB) et Franck Compagnon (SMIAGE)

- Hébergement à St Dalmas-de-Tende. AG de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG.

- 12 juillet
 - Matin : Breil-sur-Roya
 - Suivi des flux sédimentaires en Roya, avant, pendant et après la tempête Alex

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

- Flux hydro-sédimentaires et population piscicole
- Dynamiques de la végétation des dernières décennies et évolutions futures probables

Intervenants : Cyriel Adnès (UCA-ESPACE), Agnès Barillier (EDF), Matthieu Vignal (UCA-ESPACE)

- Après-midi : St Martin-Vésubie
 - La Roya et le changement climatique
 - Conséquences géomorphologiques de la tempête Alex en Vésubie
 - Retour d'expérience sur la tempête Alex en Vésubie

Intervenants : Nicolas Viaux (UCA/ESPACE), Frédéric Liébault (Inrae Grenoble), Céline Martins (ONF-RTM 06)

- Hébergement à Beuil. Table ronde des doctorants.

• 13 juillet

- Matin : Péone et gorges de Daluis
 - Géomorphologie torrentielle et dynamiques de versant dans le bassin du Tuébi
 - Géomorphologie torrentielle, crues éclair dans le Réal et dynamiques de versant
 - Enjeux de gestion des rivières en tresses

Intervenants : JR Genin (ONF-RTM 06), Frédéric Liébault (Inrae Grenoble) et Margot Chapuis (UCA-ESPACE)

Fin des excursions : retour en milieu d'après-midi à l'[IMREDD](#) (Nice).

Les organisateurs tiennent à remercier vivement tous les intervenants et personnels d'accompagnement à la recherche qui ont participé à l'élaboration de ces journées.

**Présentation des actions de l'Académie 3 "Espace, Environnement, Risques et Résilience"
et l'IMREDD d'Université Côte d'Azur sur la gestion des risques**



Programme prévisionnel – Matinée 11/07/23 MARALEX :

8h30

Accueil des participants IMREDD - café-thé-viennoiseries

➤ 8h50 – 9h00

Ouverture de la journée – **Christophe DEN AUWER (ICN)**, Directeur de l'Académie «Espace, Environnement, Risques et Résilience»

➤ 9h – 9h50 – Première présentation :

Projet FORESEE - Dennis FOX (ESPACE) / Jean-Christophe TEOBALDI / Margot CHAPUIS (ESPACE)

➤ 9h50 – 10h25 – Deuxième présentation :

Projet Catastrophe naturelle et santé mentale. Reconstruire les territoires et réparer les vivants
- Thomas JOBERT (GREDEG)

➤ 10h25 – 11h – Troisième présentation :

Projet After the storm": Studying a "natural disaster" from an anthropological perspective
- Quentin MEGRET (LAPCOS)

➤ 11h – 11h20 – Quatrième présentation :

Projet PUMA-X – Plateforme Universelle Multi-Alertes

➤ 11h20 – 11h40 – Cinquième présentation :

Présentation de l'application UBI.PLACE – Emmanuel SOURAUD

11h45

Pause Déjeuner – Buffet

11 juillet après-midi : Viévol (Tende)

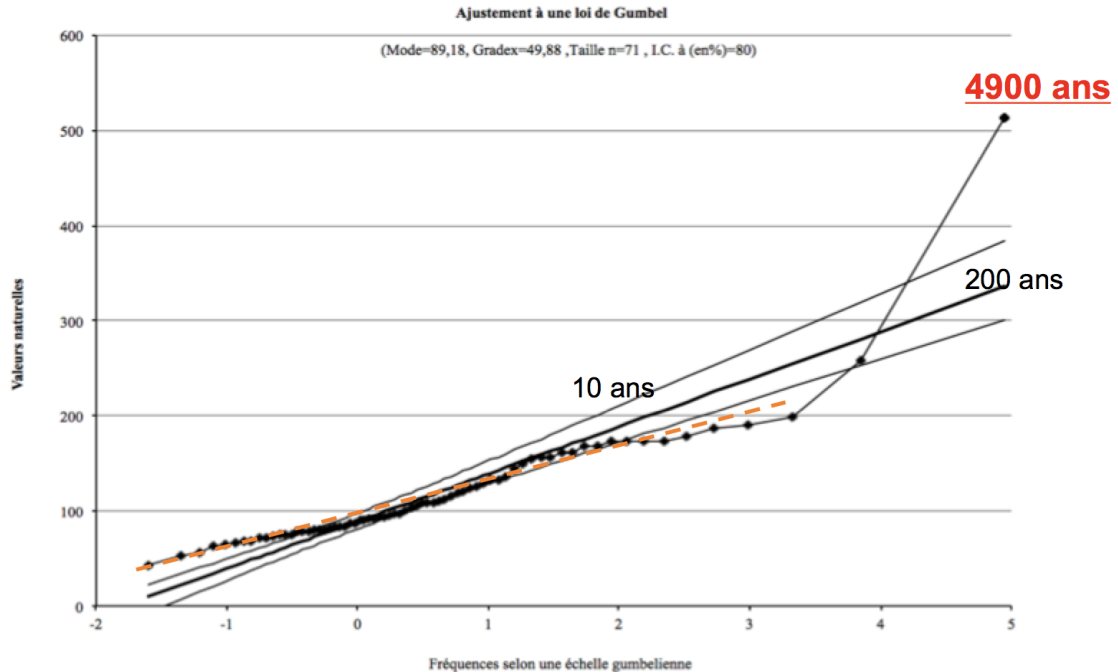
Pierre Carrega (UCA-ESPACE) : Aspect climato-météo des précipitations du 02/10/2020

L'aléa.

Calcul de **périodes de retour** de pluies extrêmes quotidiennes.

Evènement du 2 octobre 2020 (513 mm à St Martin Vésubie).

Ajustement à une loi de Gumbel à partir de **trois postes** de montagne



Lame d'eau ANTILOPE du 2 octobre 2020 6h UTC au 3 octobre 2020 6h UTC
calculée à partir de l'ensemble des données pluviométriques disponibles
(BDCLIM de Météo-France et réseaux complémentaires)

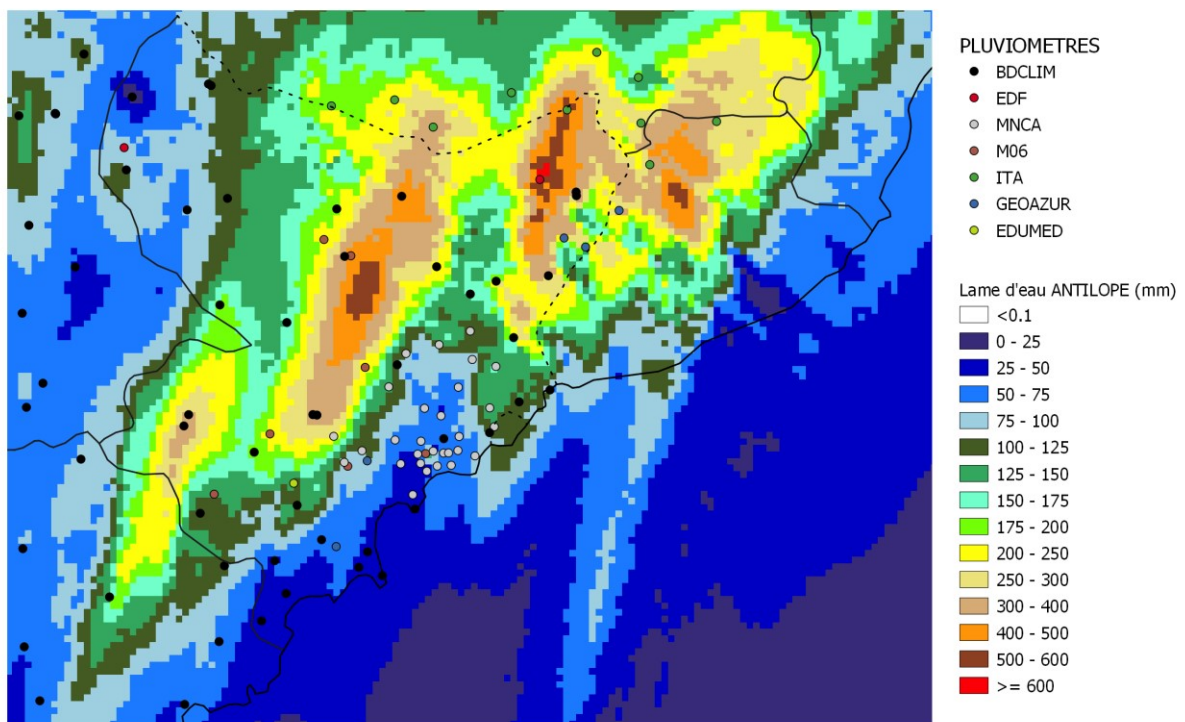
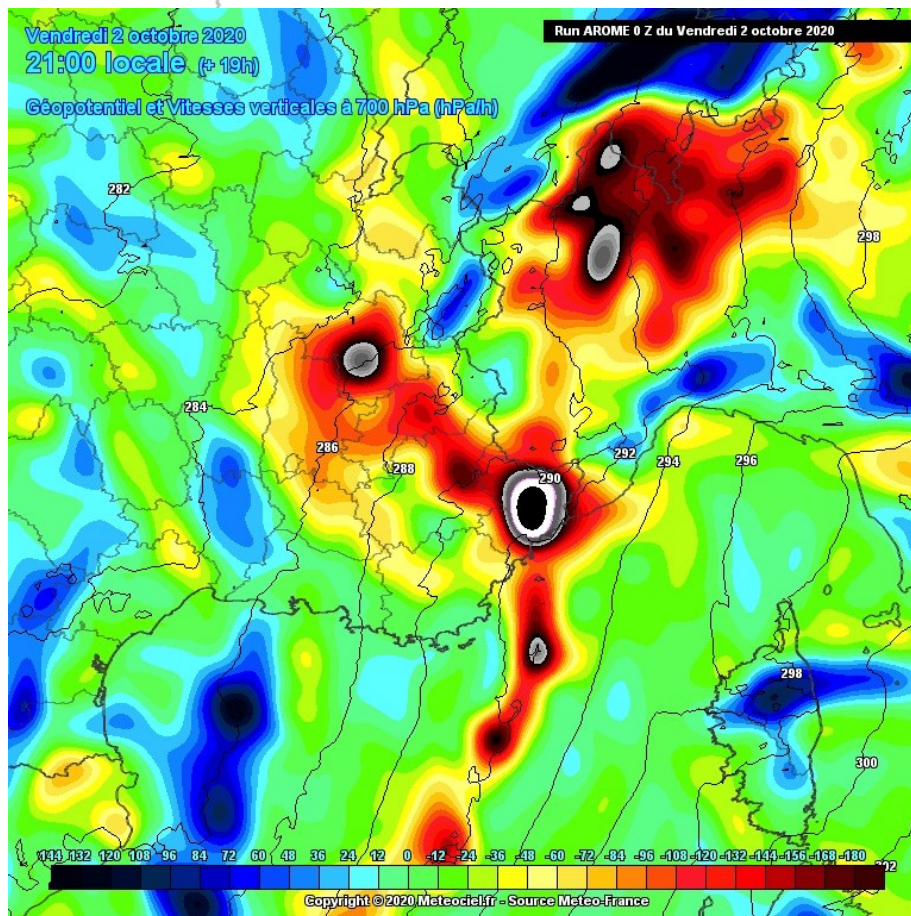
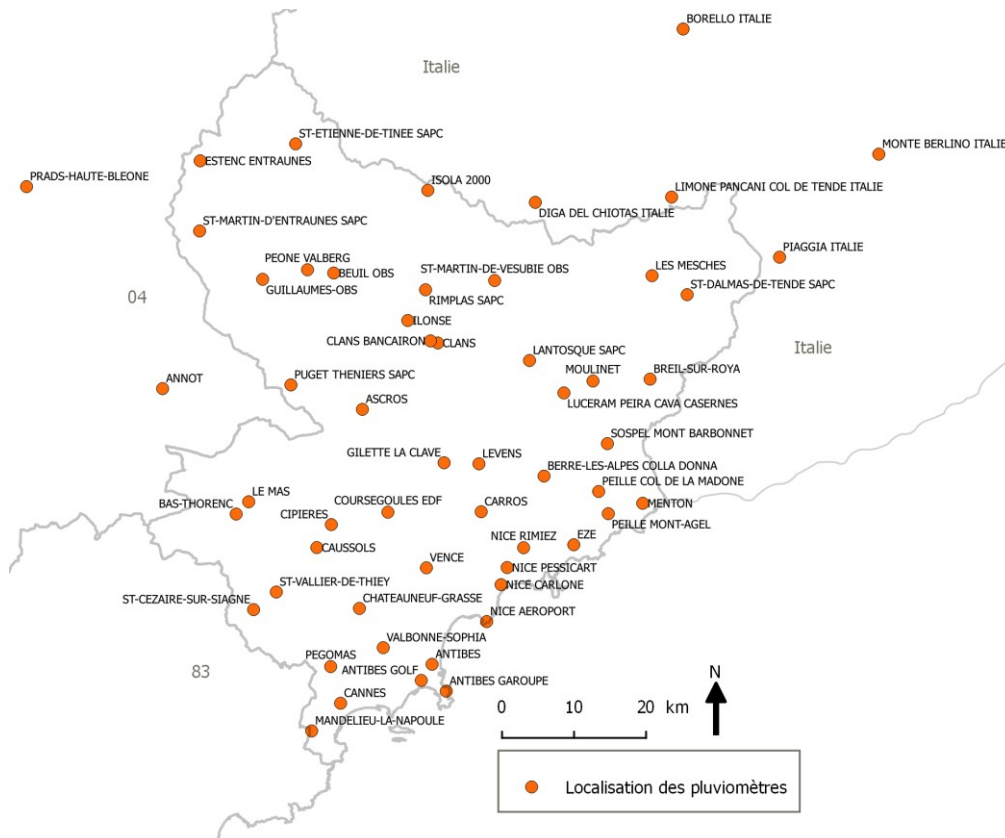
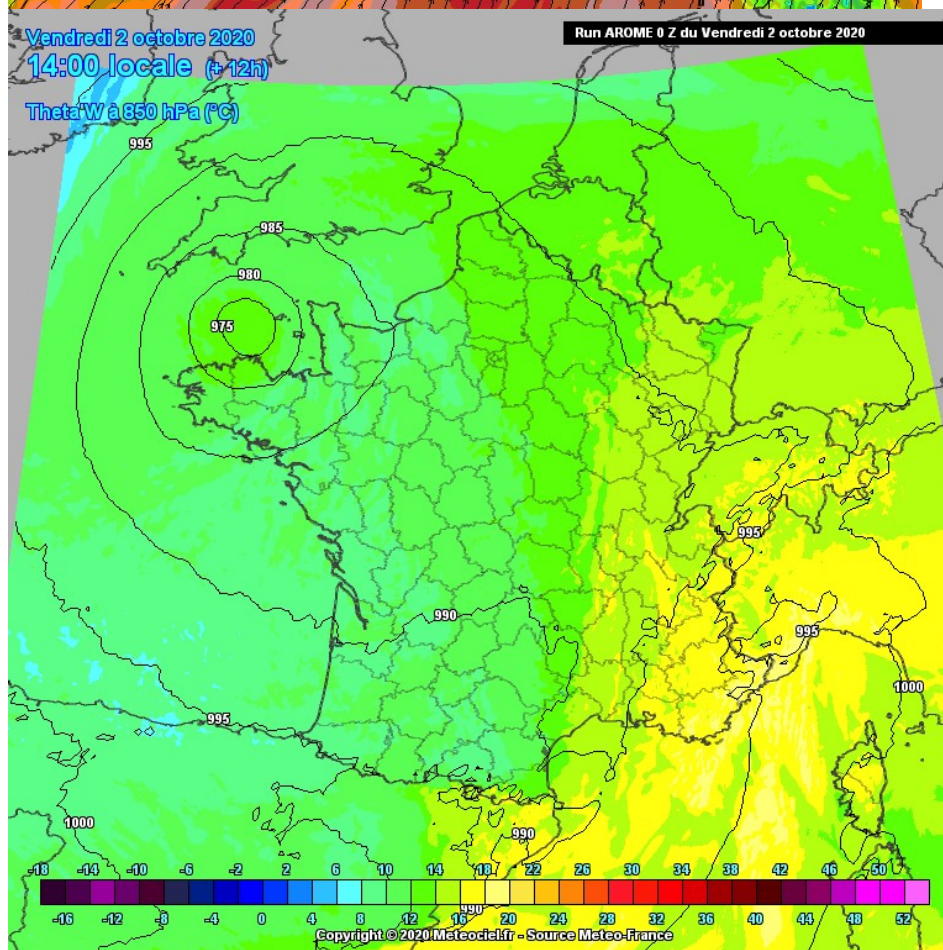
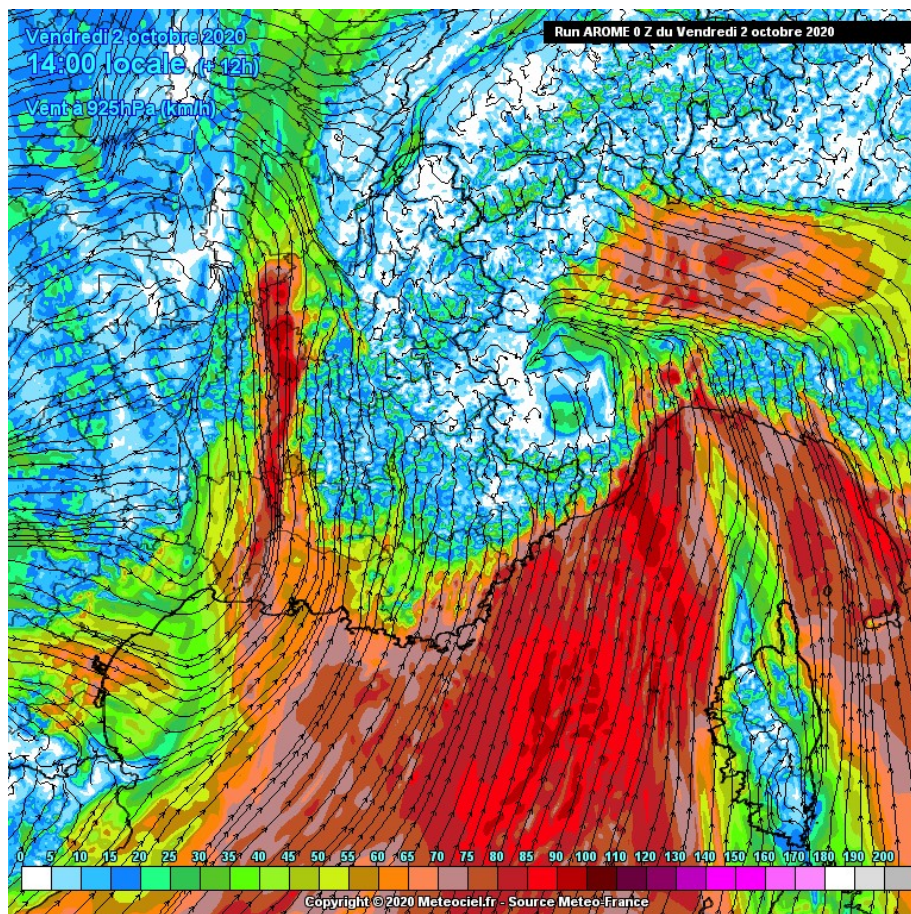


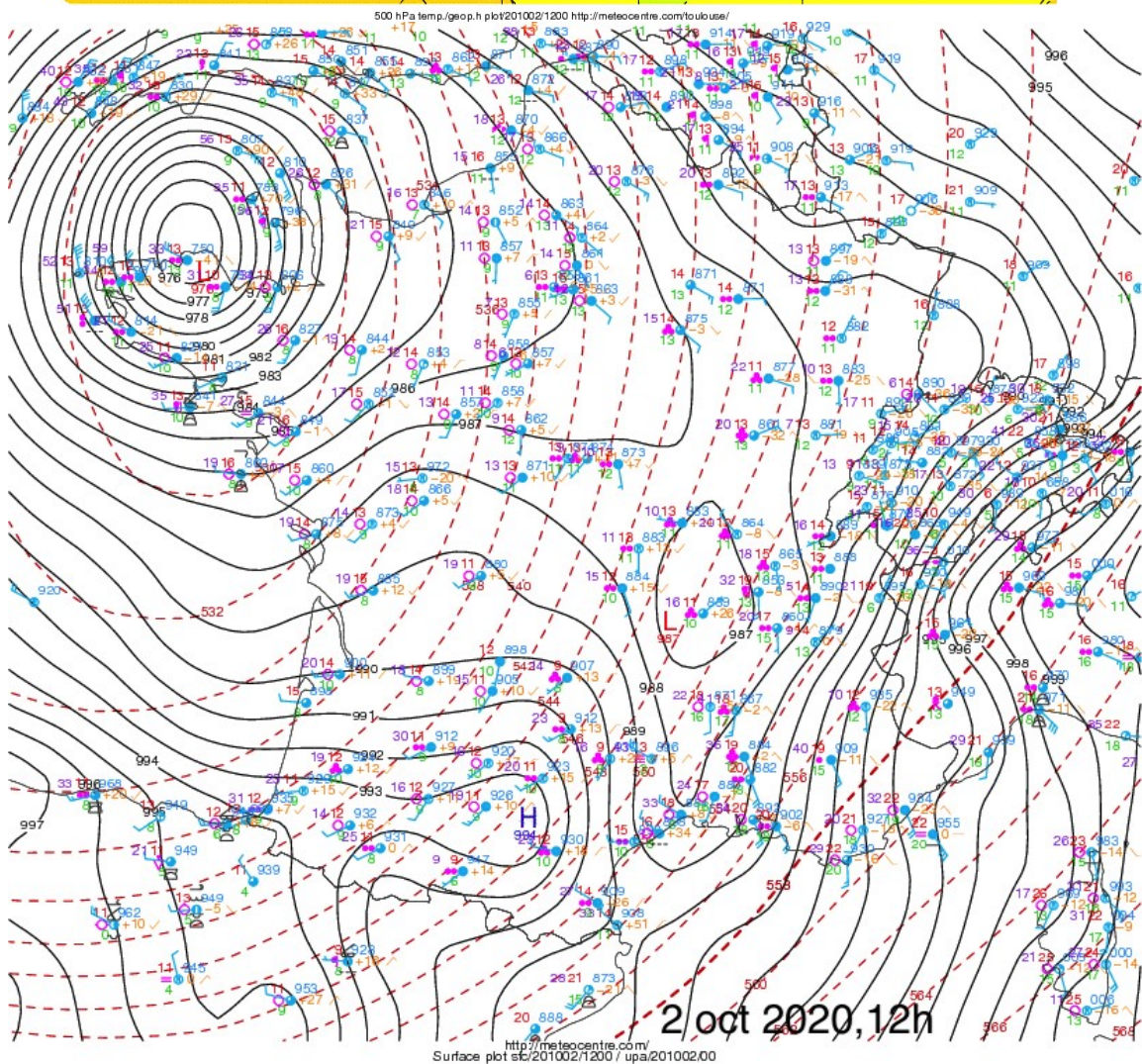
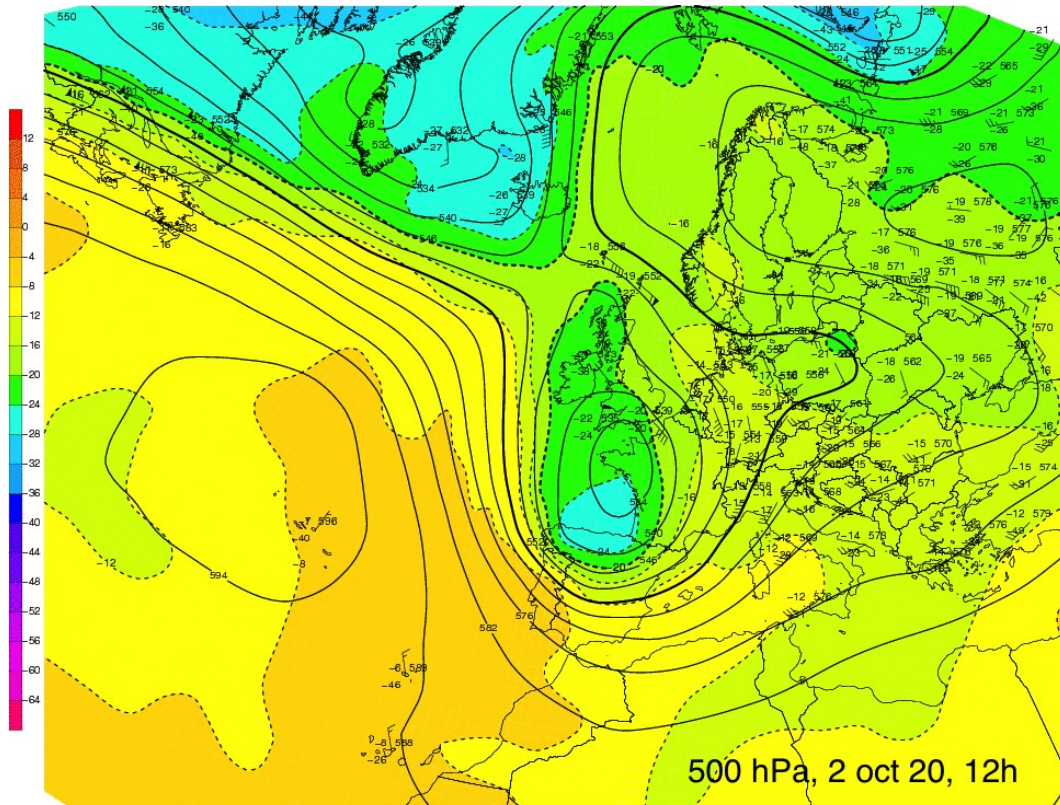
Tableau I - Liste des 65 postes équipés de pluviomètres ou pluviographes, et quantités de pluies tombées en 24 heures entre le 2 et le 3 octobre 2020 (de 06h à 06h TU).

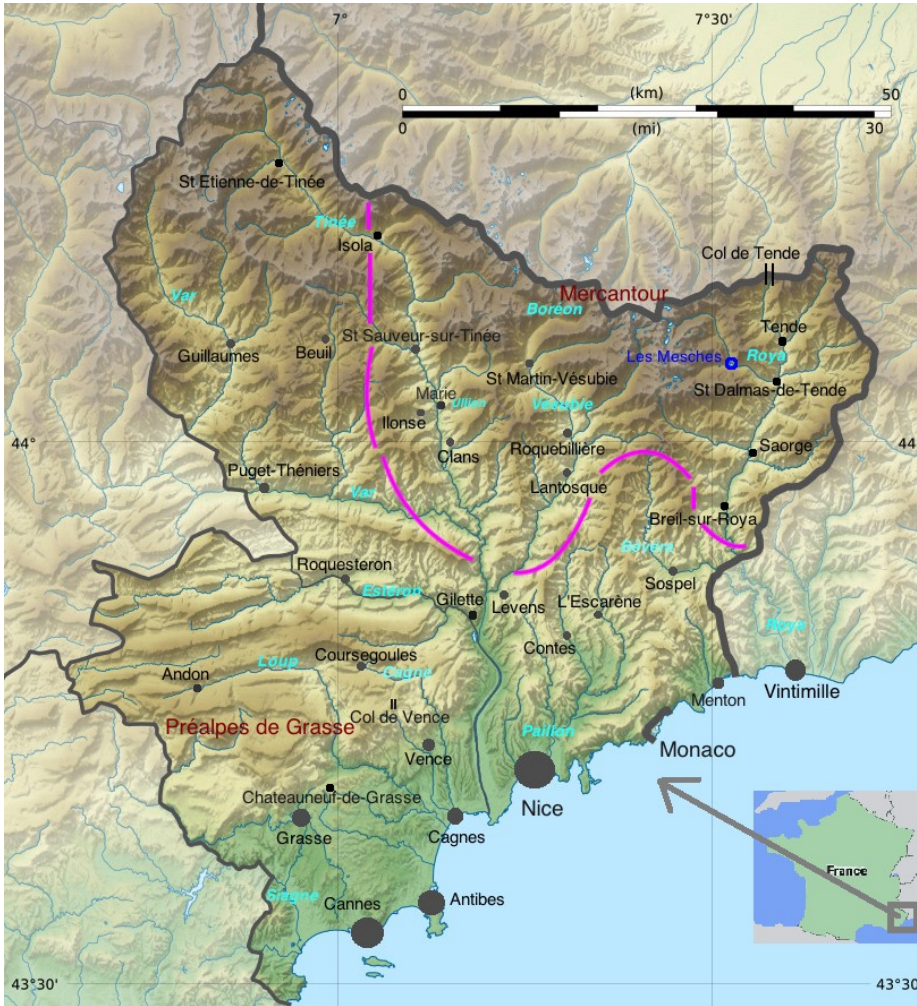
Postes	P (mm)	Postes	P (mm)	Postes	P (mm)
Cannes	36,5	St-Martin-d'Entraunes SAPC	100,5	Ilonse	223,0
Nice Carlone	37,6	St-Étienne-de-Tinée SAPC	101,6	Moulinet	228,9
Mandelieu-La-Napoule	37,7	Levens	108,0	Cipières	232,4
Nice Aéroport	38,8	St-Cézaire-sur-Siagne	109,7	Vence Col	235,2
Antibes	41,2	Lucéram Cimetière	109,8	Lantosque SAPC	242,6
Antibes Garoupe	42,8	Carros	110,0	Isola 2000	245,8
Antibes Golf	45,1	Châteauneuf-Grasse	111,9	Breil-sur-Roya	284,1
Pégomas	46,6	Péone Valberg	115,2	Borello Italie	304,0
Nice Rimiez	50,2	Peille Mont-Agel	116,1	Le Mas	316,2
Valbonne-Sophia	50,3	Peille Col de La Madonne	120,0	Tende OBS	340,0
Prads-Haute-Bbléone	52,6	La Trinité-Laghet	120,8	St-Dalmas-de-Tende SAPC	341,6
Nice Pessicart	55,4	St-Martin-du-Var GDM	127,6	Coursegoules EDF	343,5
Nice Cimiez	58,4	St-Vallier-de-Thiey	128,2	Piaggia Italie	348,4
Berre-Les-Alpes Colla Donna	65,0	Beuil OBS	145,0	Clans Bancairon	355,3
Annot	68,2	Ascros	149,3	Diga-del-Chiotas Italie	375,8
Aapremon	72,8	Peille Baïssa	159,4	Bas-Thorenc	377,9
Menton	72,9	Lucéram Peïra Cava Casernes	159,9	Clans	428,2
Nice Ventura	75,0	Puget-Théniers SAPC	175,8	Monte-Berlino Italie	431,6
Guillaumes OBS	76,9	Caussols	188,8	St-Martin-Vésubie OBS	512,8
Vence	80,8	Rimplas SAPC	195,3	Limone-Pancani Col de Tende Italie	578,0
Estenc Entraunes	85,0	Gilette La Clave	202,4	Les Mesches	663,2
Èze	88,3	Sospel Mont Barbonnet	209,2		

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

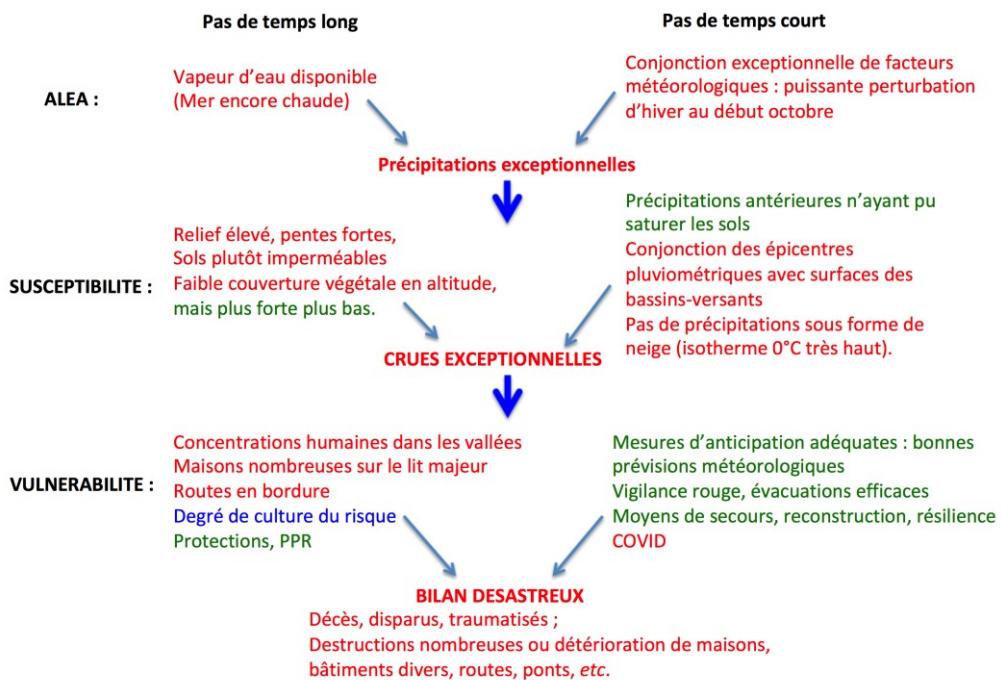






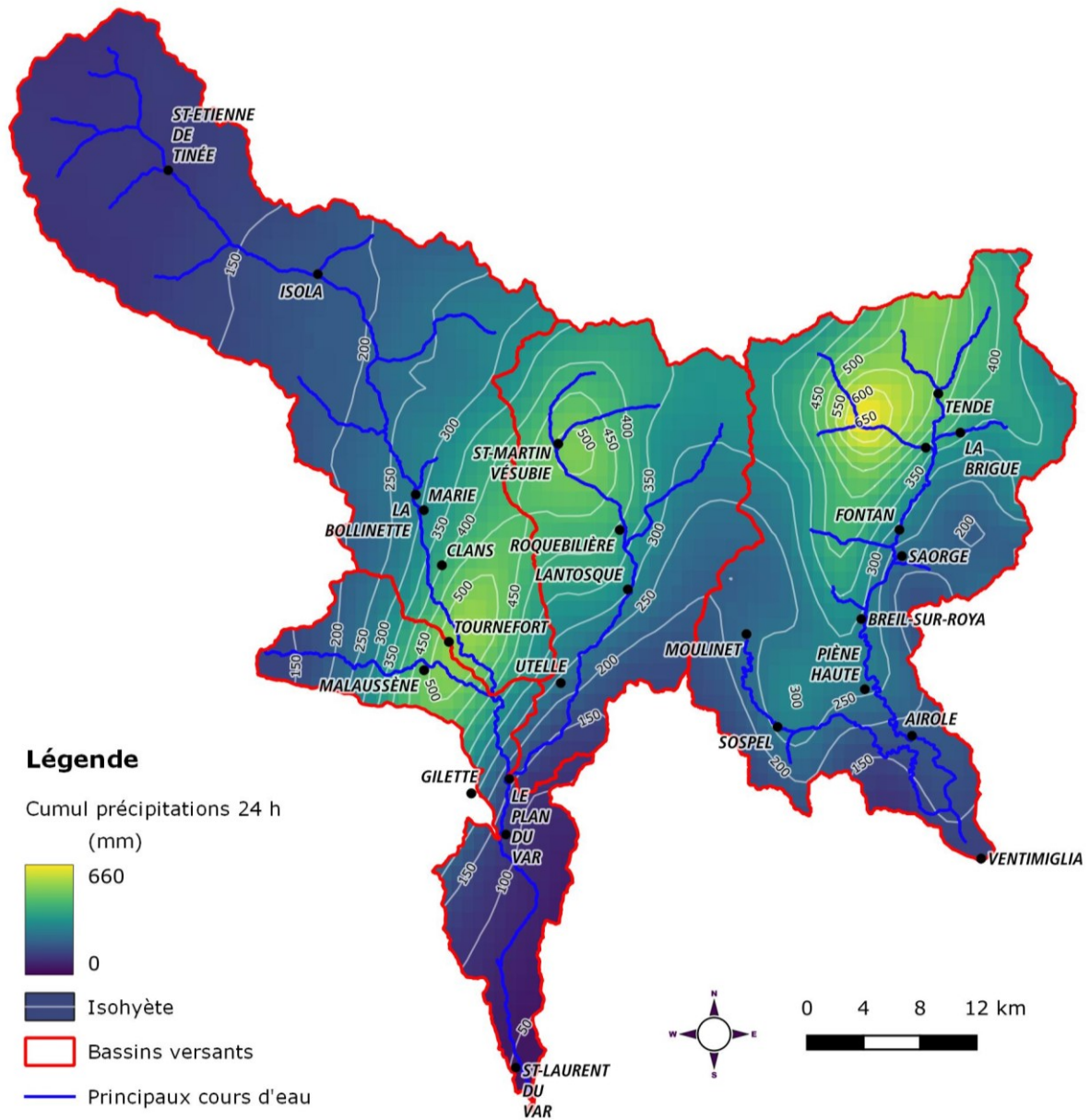


CATASTROPHE DES HAUTES VALLEES DU MERCANTOUR



11 juillet après-midi : Viévol (Tende)

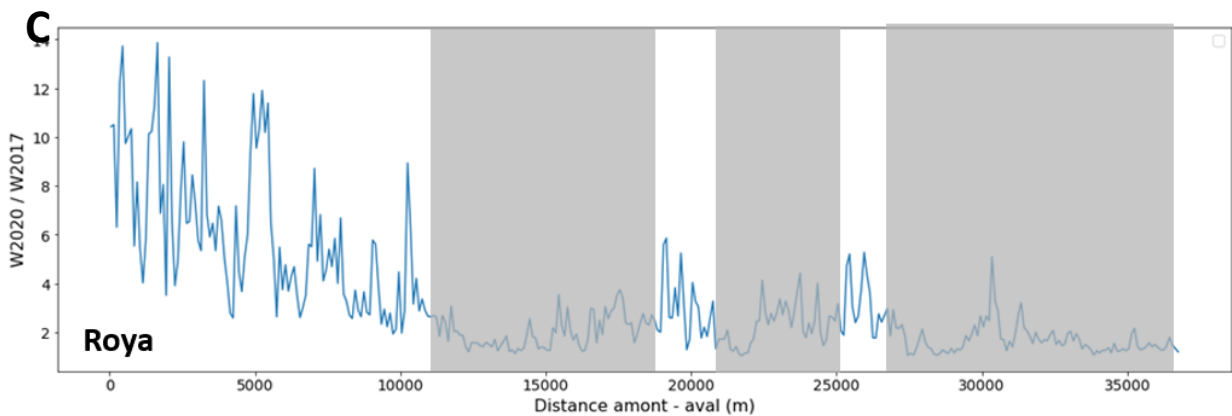
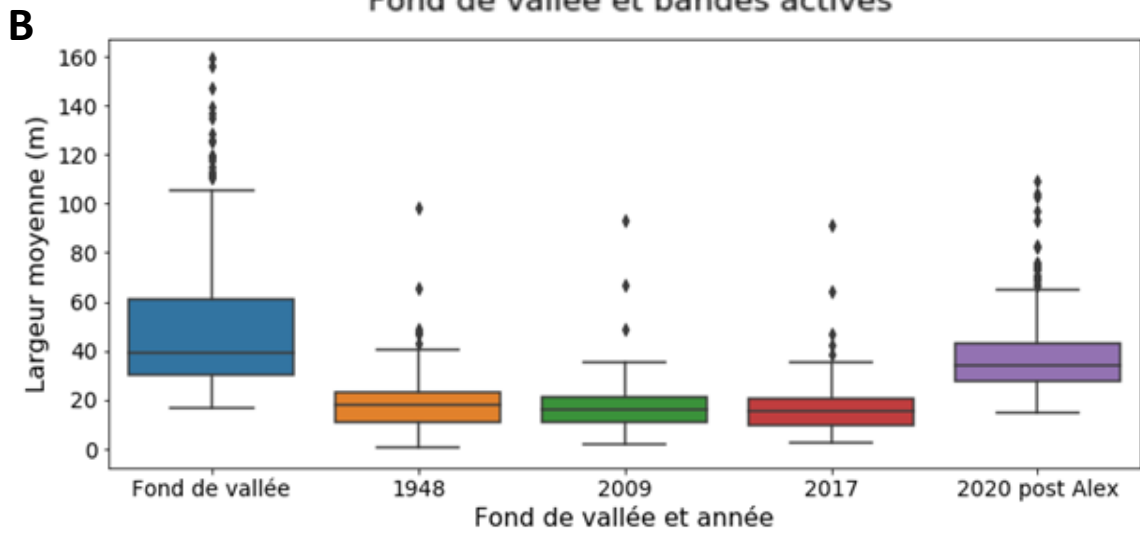
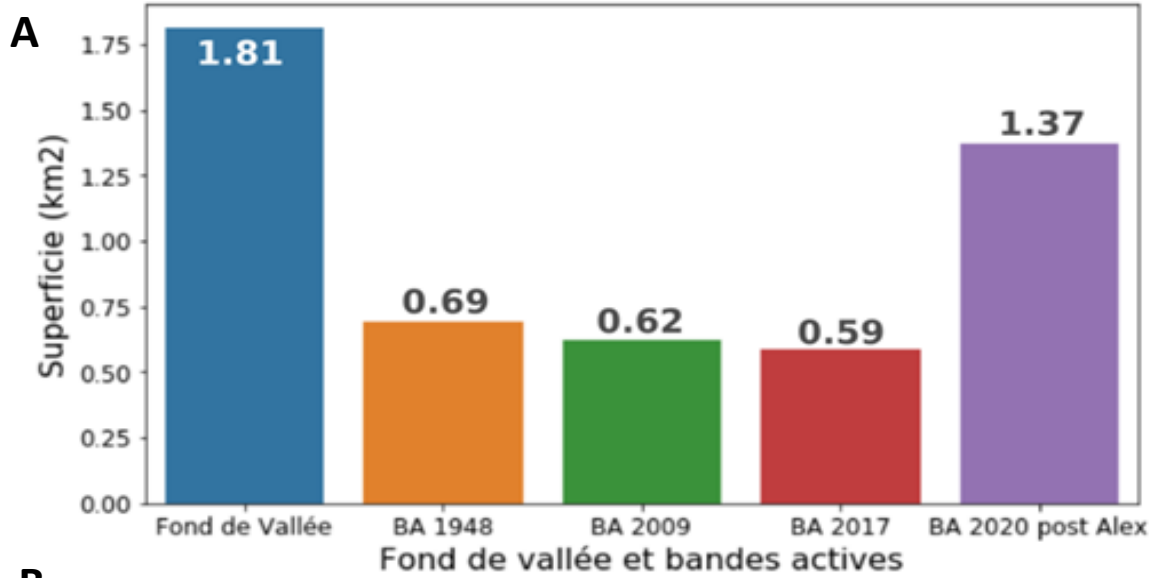
Gabriel Melun (OFB) : Les conséquences géomorphologiques de la tempête Alex



Bassins de la Tinée, de la Vésubie, de la Roya et Var aval. Cumul 24 h de précipitations. Données METEO France ANTILOPE. 02/10/2020 06h00 au 03/10/2020 06h00 UTC (Source : données Météo France).



Le lit de la Roya amont à proximité de la Madone de Véivola. En haut : le cône de déjection engravé en amont du pont SNCF (source : V. KOULINSKI, 07/11/2020). En bas : le cône de déjection engravé au niveau du pont SNCF avant la crue (à gauche, source OBNF/RTM) ; après la crue, le 13 oct. 2020 (à droite, source : ONF-RTM).



(A) Évolution des surfaces actives (BA) entre 1948 et 2020 sur l'ensemble du linéaire étudié de la Roya Les valeurs de surface du fond de vallée (en km²) sont également indiquées. (B) Évolution de la largeur de la bande active de la Roya entre 1948 et 2020 Les valeurs de largeur du fond de vallée sont également indiquées. (C) Gradient longitudinal du ratio d'expansion de la crue (W2020/W2017).

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

11 juillet après-midi : Viévol (Tende)

Franck Compagnon (SMIAGE) : gestion de crise et perspectives de gestion à moyen et long termes suite à la tempête Aex



LES MISSIONS DU SMIAGE

1

PRÉVENTION ET PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

- ✓ Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)
- ✓ Gestion du trait de côte
- ✓ Identification des systèmes d'endiguement et des aménagements hydrauliques
- ✓ Réduction de vulnérabilité du bâti
- ✓ Travaux d'urgence post-intempéries
- ✓ Maîtrise d'œuvre (MOE)

2

GESTION DURABLE ET ÉQUILIBRÉE DE L'EAU

- ✓ Établissement public territorial de bassin (EPTB)
- ✓ Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)
- ✓ Gestion de la ressource
- ✓ Suivi des cours d'eau (qualité, hydrologie d'étiage)
- ✓ Natura 2000

3

PRÉVISION DES RISQUES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES

- ✓ Système d'Année Local de crues (SDAL)
- ✓ Gestion des dispositifs locaux de surveillance des crues
- ✓ Assistance à la gestion de crise
- ✓ Mise à disposition d'un outil d'alerte à la population
- ✓ Appui des savoirs faire interne

4

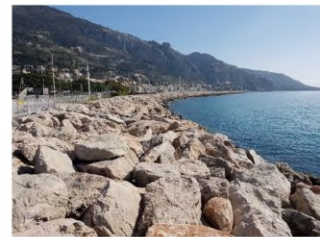
RESTAURATION ET ENTRETIEN DES MILIEUX AQUATIQUES

- ✓ Plan de gestion pluriannuelle de la végétation des cours d'eau
- ✓ Restauration de la continuité piscicole et espace bon fonctionnement

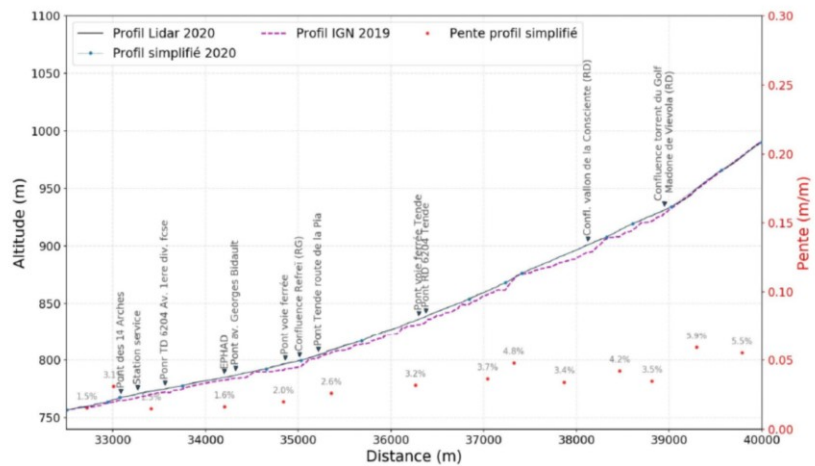


5

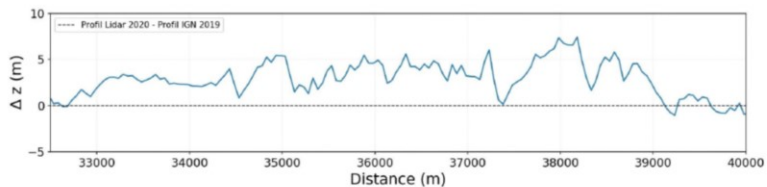
GESTION DU TRAIT DE CÔTE



Evolution du profil en long de la Roya sur la commune de Tende



Exhaussement du lit de la Roya dans la traversée de Tende de la Roya sur la commune de Tende





Contour jaune : bande active crue Alex. Contour noir pointillé ; bande active avant crue

Légende

Bande active 2019	Intensité de crue Moyenne	Forte	
Faible	Exposition bâti	Moyenne	
Forte	Faible	Très forte	

spires : 1 point des truites / vieux voe fermé - 2 lotissement RG - 3 Placette municipale - 4 - Misalin - 5 : pont détruit - 6 : BHPAD
7 : garage automobile - 8 : bâtiment détruit

Figure 1 : Carte d'intensité de crue dans la traversée de Tende. Source : GNF-ATM

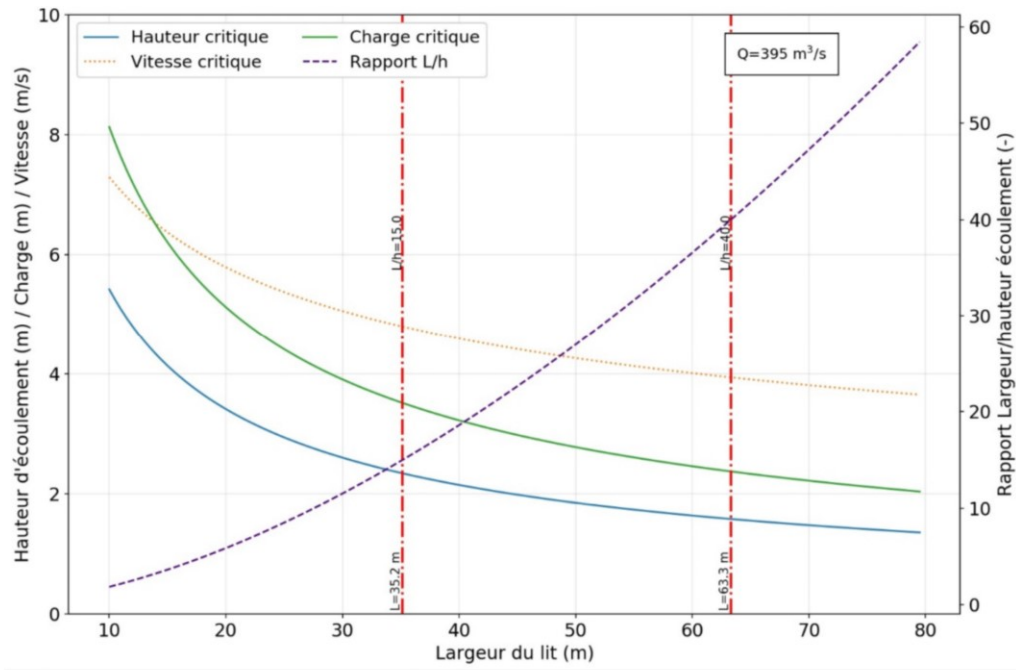
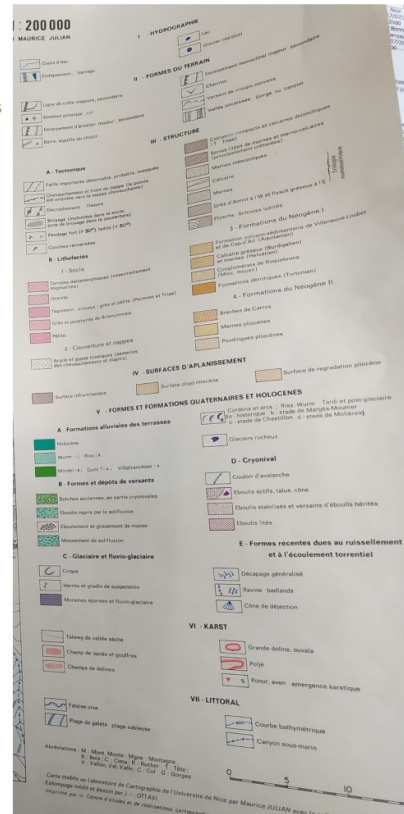
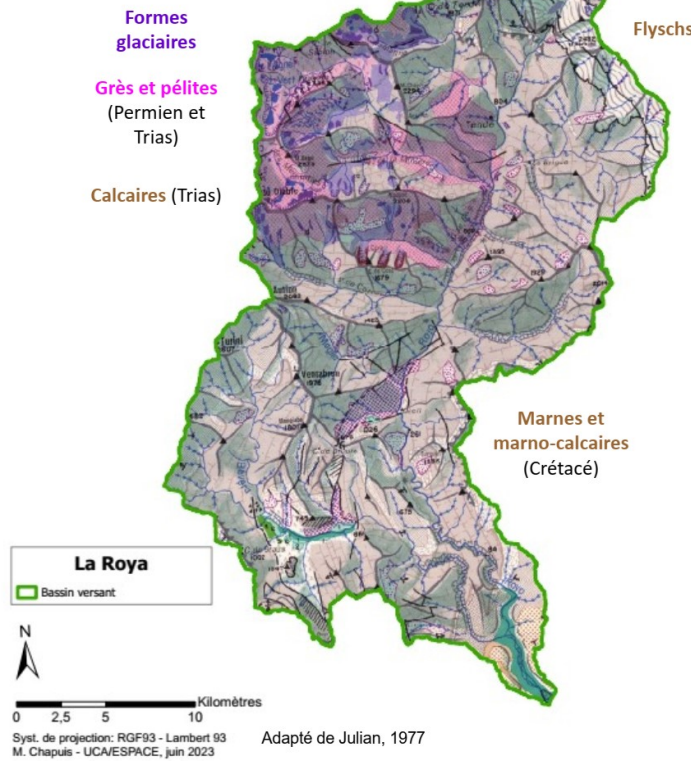


Figure 1 : Extrait du schéma d'aménagement Gemapien sur la commune de Tende

Géomorphologie



Caractéristiques générales

Surface BV	670 km ²
Pente talweg	3,2 %
Longueur talweg	60 km
Largeur (Arbousset)	25 m
D50 (avant Alex)	96 mm
D50 frayères (avant Alex)	12 mm
Caractéristiques morphologiques	Torrentiel, souvent en gorges, divagant à l'aval Transport solide essentiellement par charriage
Aménagements hydro-électriques	2 retenues, dérivations, plusieurs centrales au fil de l'eau, éclusées
Climat	Montagnard à l'amont, influence méditerranéenne par l'aval
Régime hydrologique	Méditerranéo-nival: bimodal (hautes eaux en automne et printemps)
Débits caractéristiques à Breil	Module: 12 m ³ /s Q ₂ = 100 m ³ /s, Q_{max} connu avant Alex: 1130 m³/s le 01/10/1979 (source Hydroportail: https://www.hydro.eaufrance.fr/stationhydro/Y662000301/tous-mois/statistique/reference/OIXM) Q_{estimé} Alex: 1100 m³/s à 1800 m³/s le 02/10/2020 (source CEREMA, 2021)



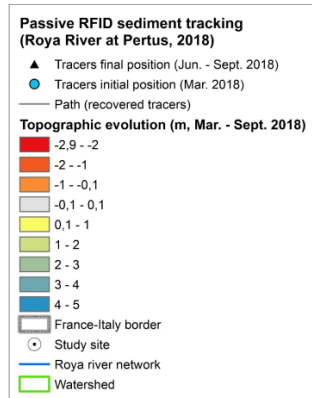
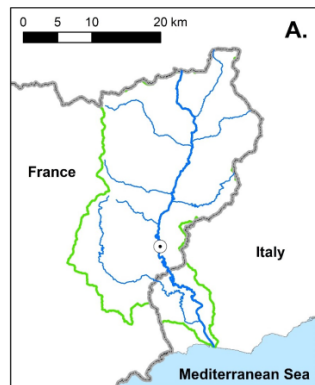
Instrumentation ESPACE

Chapuis et al., 2023. <https://drive.google.com/file/d/1LLYYPHRchewsuxGwA-shcqYzhXMOvZs0/view7usp=sharing>

Dynamique sédimentaire des frayères

Traçage sédimentaire
à Pertus (2018)

$Q_{max} \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$ à Breil
le 04/05/2018



Chapuis et al., 2020. <http://finale/concert-eaux-video>

Dynamique sédimentaire à l'échelle de la branche principale

- Crues > Q2: un déplacement détecté max de l'ordre de qq km

Actif

Année campagne	2019	2020	2021
Qmax à Breil (m3/s)	133	140	[1100;1800]
Nb de traceurs retrouvés	17	16	4
Distance de transport max. (m) Viévola	-	-	-
Ambo/Fontan	240	632	5860
Pertus	166	50	-
Lamberta	-	2875	474

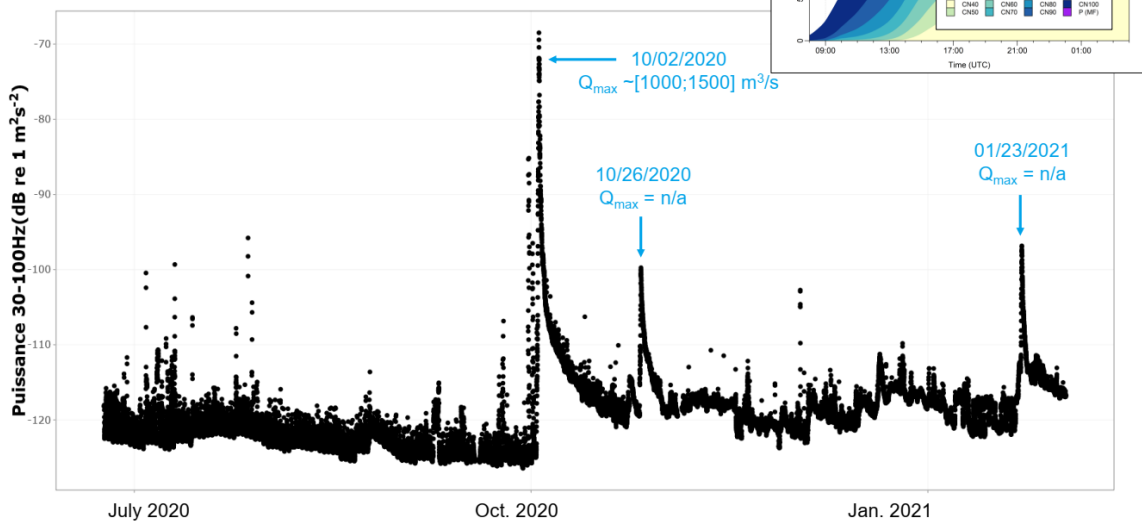
Passif

Année campagne	Site	2019	2020	2021
Qmax à Breil (m3/s)		133	140	[1100;1800]
Nb de traceurs retrouvés		146	-	(42)
Distance de transport max. (m) Viévola		-	-	(295)
Ambo/Fontan		-	-	-
Pertus		118*	-	-
Lamberta		171*	-	-

* prospection limitée (42) débit max inconnu

Tempête ALEX

Géophone Roya du 24/06/2020 au 02/02/2021
Et modélisation pluie-débit à Breil

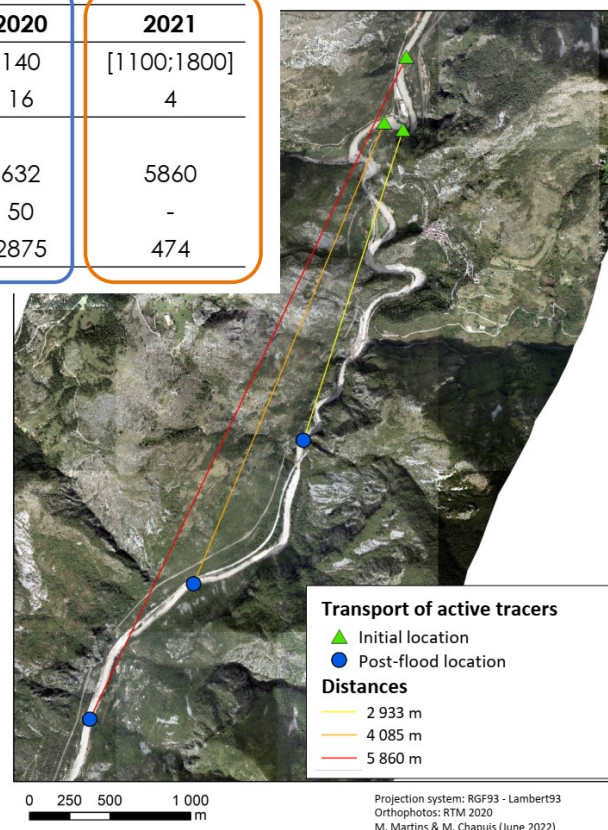


Chapuis *et al.*, 2022. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855452> et <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855459>
Brigode *et al.*, 2022. <https://doi.org/10.1080/27678490.2021.1976600>

Year of survey	2019	2020	2021
Q _{max} at Breil (m ³ /s)	133	140	[1100;1800]
Nb of tracers found	17	16	4
Max. dist. of transport (m)			
Ambo/Fontan	240	632	5860
Pertus	166	50	-
Lamberta	-	2875	474

Tempête ALEX

- Résultats du traçage sédimentaire



- Chapuis *et al.*, 2020. <https://www.concert-eaux.eu/it/convegno-finale/concert-eaux-videotrailers> : https://youtu.be/jTr-2_LamPI
- Chapuis *et al.*, 2022a. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02959661>
- Chapuis *et al.*, 2022b. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855452> et <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855459>

Tempête ALEX

- Préconisations de gestion
 - Préserver l'espace de fonctionnement du cours d'eau
 - Plan de gestion des sédiments à l'échelle du BV

Conclusion – Conclusion

1. Nécessité d'une gestion long terme de la charge sédimentaire:

plan de gestion des sédiments à l'échelle du BV

2. Épisode du 02/10/2020 qui confirme que le potentiel de transport sédimentaire de la Roya reste très important: il faut (re)penser l'implantation des infrastructures publiques (routes, stations d'épuration, alimentation en eau potable...) et privées, en prenant en compte

l'espace de fonctionnement du cours d'eau

= quasiment de versant à versant.



Tempête ALEX

- Connectivité sédimentaire à l'échelle du BV

• Avant la crue de 2020

Depuis le Petit Âge de Glace: réduction de la production sédimentaire en raison de:

- Conditions climatiques moins agressives
- Changements d'occupation du sol (agric. → forêt) → stabilisation des versants

• Après la crue de 2020: modèle conceptuel de connectivité sédimentaire

Pulses sédimentaires pendant les crues (même aussi intenses que celle de 2020: 1926?), avec potentielle réactivation des sources sédimentaires sur les versants → à l'échelle du BV, le potentiel de production sédimentaire devrait rester important. Mais la connectivité à la branche principale semble modérée; quand ils atteignent la branche principale, les sédiments sont évacués vers l'aval en raison de la forte pente (Roya : 3,2%) → les sédiments sont transférés efficacement vers l'aval durant des phases de relaxation longues (> 30-50 ans?), y compris durant les crues ordinaires.

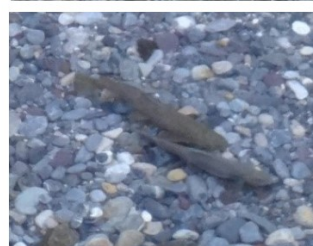
- Chapuis *et al.*, 2020. <https://www.concert-eaux.eu/it/convegno-finale/concert-eaux-videotrailers>
- Chapuis *et al.*, 2022a. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02959661>
- Chapuis *et al.*, 2022b. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855452> et <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03855459>

12 juillet matin : aval de Breil-sur-Roya

Agnès Barillier (EDF) : Flux hydro-sédimentaires et population piscicole

ETUDES EDF EN ROYA

- **2003** : Début étude d'impact renouvellement Concession Hydro Breil
- **2004** : Réflexions autour de la notion DCE de « **rapport coût/efficacité** » (dispositif de montaison)
- **2005** : Début de l'étude « **compréhension des facteurs contrôlant la dynamique de population de truites** » (T°, Q, pêches, SGF, frayères)
- **2011** : Renouvellement du titre (Qéquipement, 12,3 m³/s avec Module=11,8 m³/s)
- **2013** : Classement en liste 1 et liste 2 ; 1^{er} bilan de l'étude
- **2012 – 2014** : **réhabilitation barrage de Breil** (dont Vanne secteur pour améliorer le Transit sédimentaire (mise en transparence à partir Qamont=50m³/s), et passe de dévalaison pour les poissons)
- **2018** : fin de l'étude « truite »
- **2020** : ALEX
- **2021 -> 2024** (a minima) : reprise suivi bio pour **comprendre la dynamique de retour de populations salmonicoles fonctionnelles**



■ **Principaux résultats à fin 2013**

- Abondances normales, biomasses élevées
- Caractéristiques physiologiques des Truites méditerranéennes et atlantiques différentes
- Forte variabilité du recrutement des alevins (influence des crues x5 à x6 Module)
- Pas de déficit de population mais déficit d'alevins en amont de Breil, non expliqué

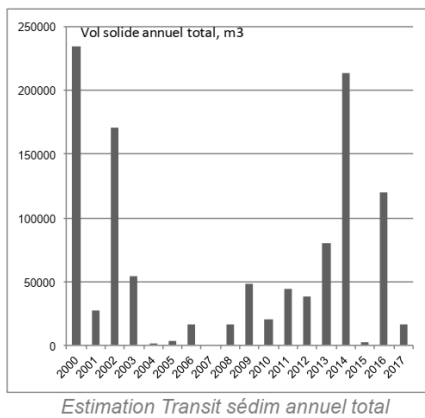


■ **Plusieurs questions demeurent sur :**

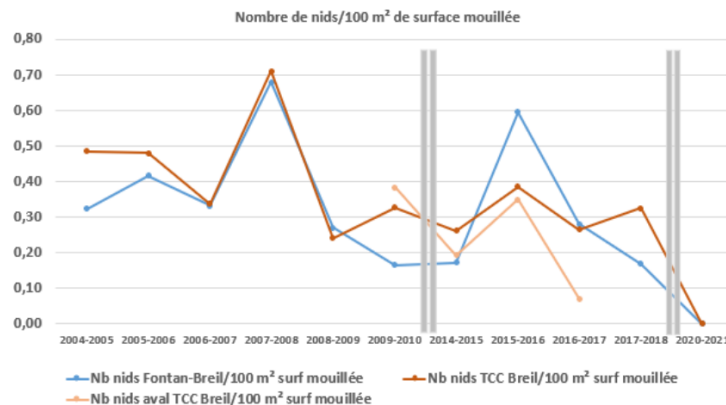
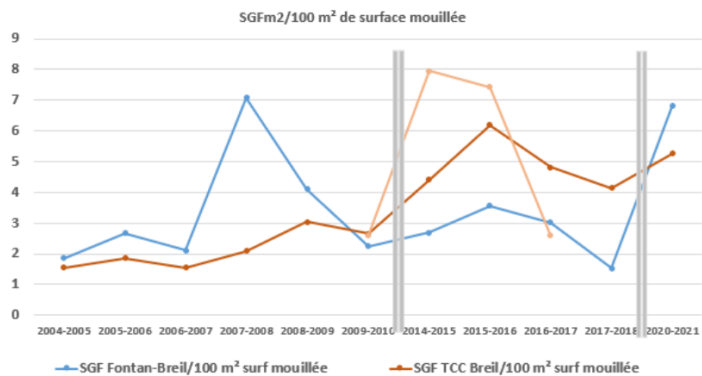
- La **dynamique du recrutement**, notamment à l'amont de Breil
- La **dynamique sédimentaire** le long de la Roya



EVOL° SUBSTRAT REPRODUCTION:



SGF=Substrat Granulométriquement Favorable (à la reproduction)



■ **Conclusions à l'échelle de l'aménagement (2018)**

- Fortes densités et biomasses de truite, en amont comme en aval de Breil
- Succès de reproduction identique à l'amont et à l'aval de Breil
- Dynamique de population essentiellement régie par les crues
- Surface de fraie (SGF) non limitante en aval de Breil
- Transport sédimentaire permet recharge régulière en SGF et sa dispersion (voir Margot)

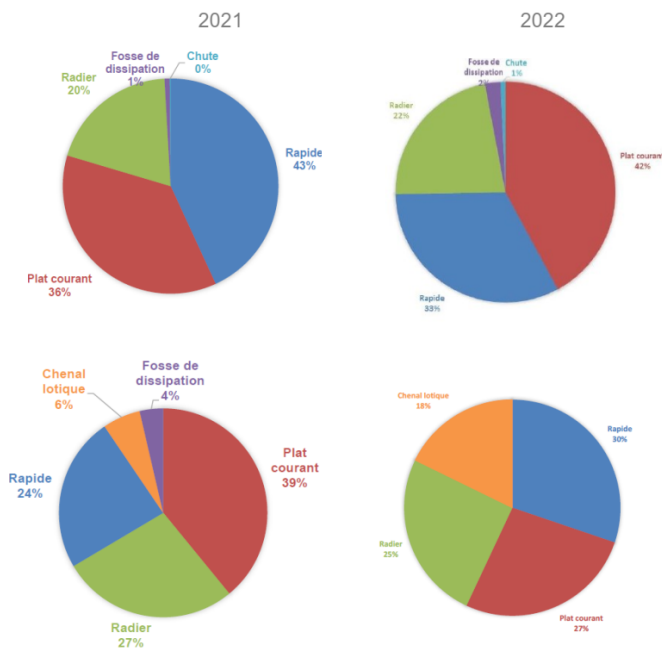


SUIVI 2021-2022 POST ALEX

STATIONS



MORPHO (STATIONS FONTAN -> BREIL)



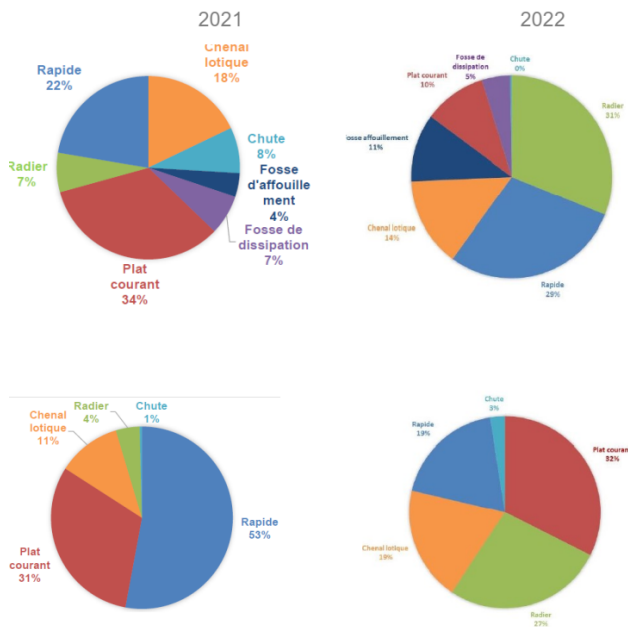
- Aval Fontan**
- Pas d'évolution significative 22/21
 - Pas de colmatage
 - SGF : 2% (+71%/2021)
 - Débit plus faible en 2022
 - Lmoy : -2m
 - Pfd my : -0,1 m

- Amont Breil**
- Chenaux lotiques mieux représentés en 22/ Plats courants
 - Réduction du %CF (accessoires sur tous les faciès), et Aug° PF
 - SGF : 3% (-70%)
 - Débit plus faible en 2022
 - Lmoy : -1,5m
 - Pfd my : -0,2 m



| 6

MORPHO (STATIONS TCC BREIL)



En débit naturel

- TCC amont**
- Débit par les EVC en 2021, par le barrage en 2022 (+10m)
 - ↗Radier
 - SGF : 4% (-5%/2021)
 - La station « retrouve » ses faciès

- TCC aval**
- ↗Radier 22/ rapides
 - Forte régression du sable, pas de colmatage
 - SGF : 9% (+12%)
 - Débit plus faible en 2022
 - Lmoy : -2,2m
 - Pfd my : non modifiée



| 7

12 juillet matin : aval de Breil-sur-Roya

Matthieu Vignal (UCA-ESPACE) : Dynamiques de la végétation des dernières décennies et évolutions futures probables

(a)

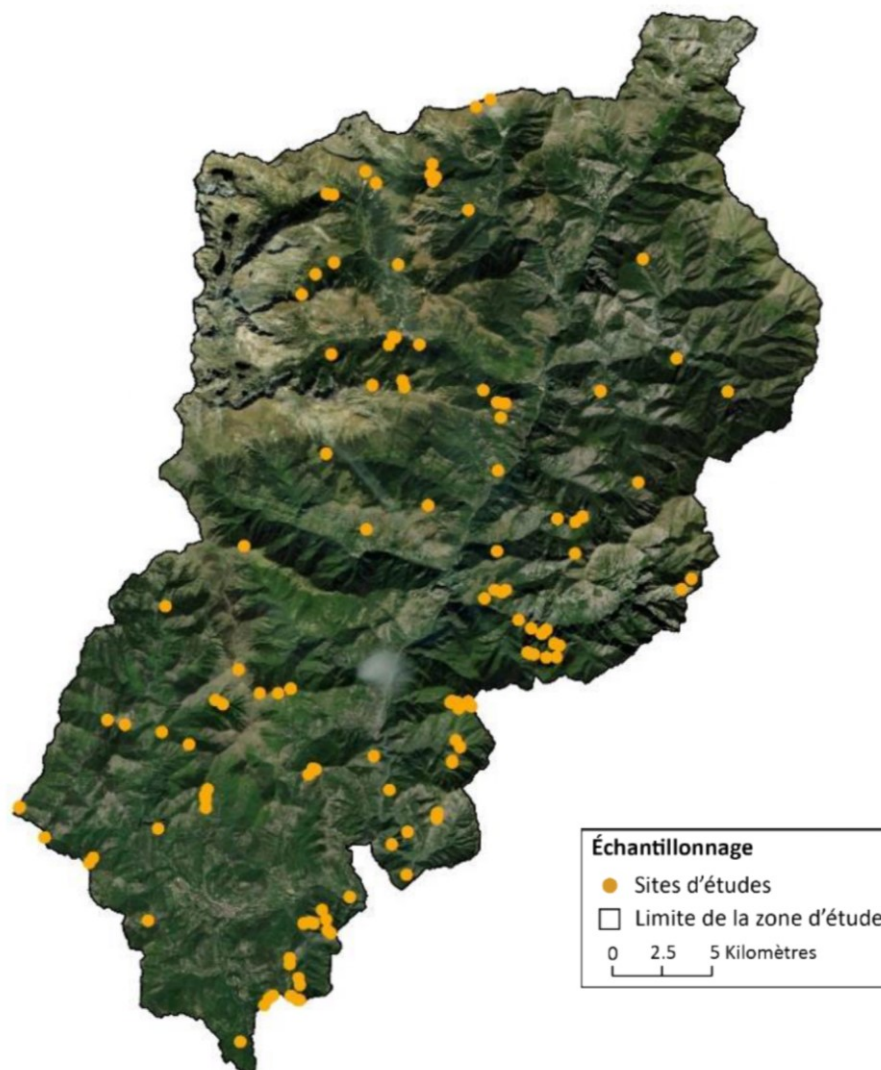


(b)

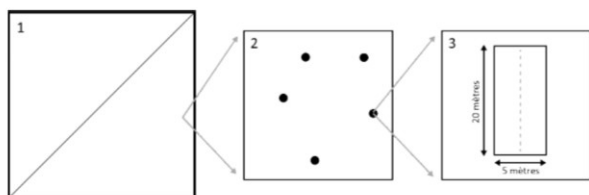


Figure 1. Dynamique des paysages dans la vallée de la Roya entre la période 1950-1965 (a) et la période actuelle (b). Source : IGN, service « remonter le temps », <https://remonterletemps.ign.fr/>

(a)



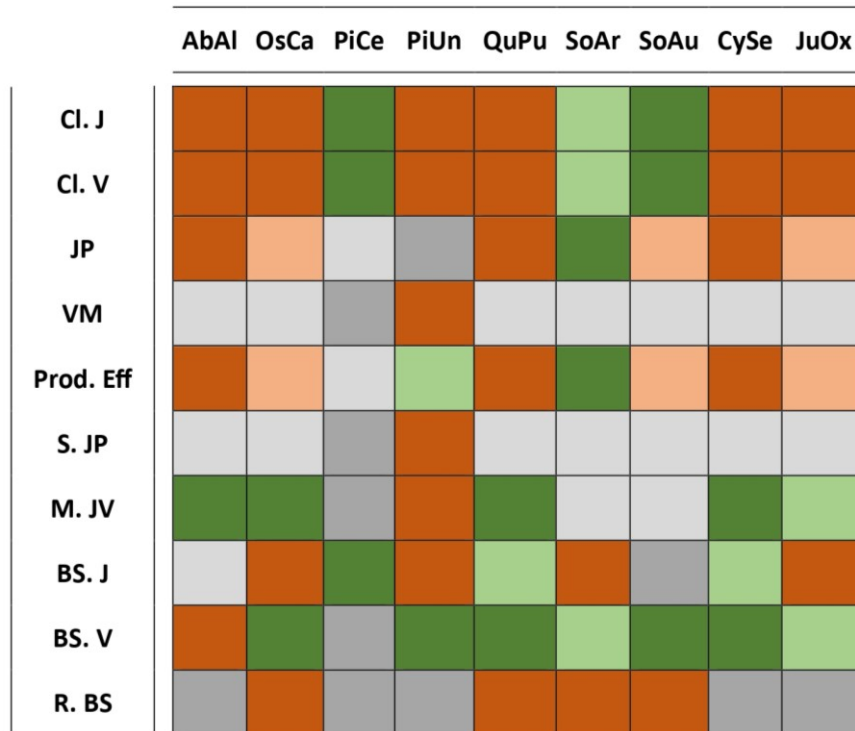
(b)



(c)



Figure 2. Campagne de récolte de données dans la vallée de la Roya. (a) Localisation des sites d'études. (b) Stratégie d'échantillonnage : une stratification de la zone d'étude. (c) Dispositif de collecte des données lors de la campagne de terrain (site d'étude n°65). *Source : Vignal, 2020.*



Légende

	Signal en accord avec l'impact attendu du changement global	Différence supérieure à 5 individus ou 5 % pour les taux
	Signal en accord avec l'impact attendu du changement global	
	Aucun signal	Différence d'un individu ou moins de 1 % pour les taux
	Aucun signal	
	Signal contraire à l'impact attendu du changement global	Différence inférieure à 5 individus ou 5 % pour les taux
	Signal contraire à l'impact attendu du changement global	

Figure 3. Synthèse de la comparaison de la structure et de la dynamique de population entre les populations qui ne sont pas considérées comme vulnérables et les populations vulnérables. *Cl. J* : Nombre total de jeunes individus. *Cl. V* : Nombre total d'individus âgés. *JP* : Nombre de jeunes pousses. *VM* : Nombre d'individus morts. *Prod. Eff* : Production effective de la population. *S. JP* : Taux de survie des jeunes pousses. *M. JV* : Taux de mortalité des individus. *BS. J* : Taux de jeunes individus sains. *BS. V* : Taux d'individus âgés sains. *R. BS* : Taux de résilience des individus. *Source* : *Signal, 2020*.

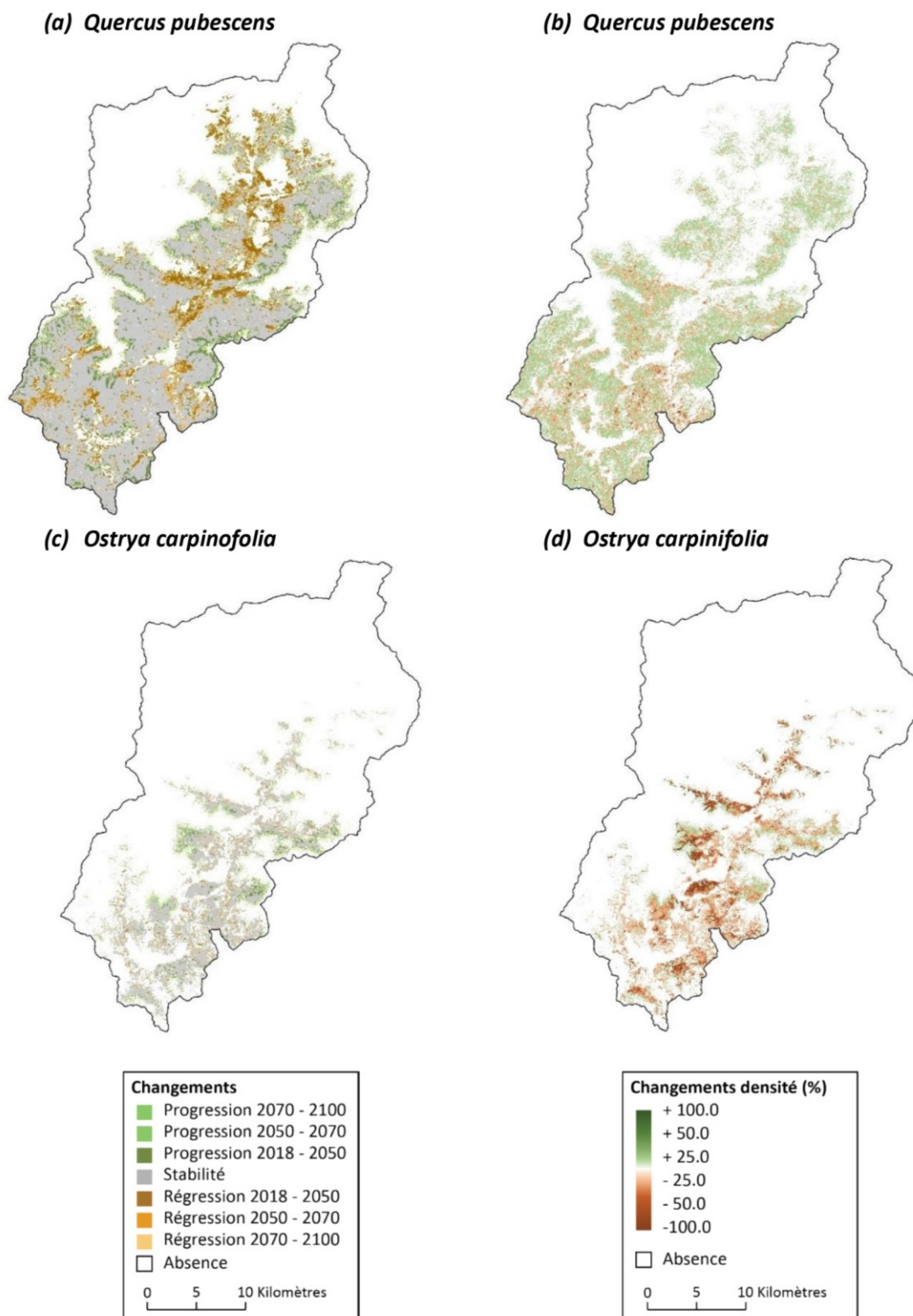


Figure 4. Changements de la répartition et de la densité de deux espèces dans la vallée de la Roya aux trois horizons temporels étudiés selon le scénario RCP4.5 pour (a) et (b) et selon le scénario RCP8.5 pour (c) et (d). Source : Vignal, 2020.

(a)	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	Répartition	Densité	Répartition	Densité	Répartition	Densité
AbAl						
OsCa						
QuPu						

(b)	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	Répartition	Densité	Répartition	Densité	Répartition	Densité
AbAl						
OsCa						
QuPu						

Figure 5. Synthèse de l'impact du changement global sur la répartition et la densité des neuf espèces étudiées à l'horizon 2100. (a) Changements : les flèches vertes indiquent une progression de la répartition ou une augmentation générale de la densité de l'espèce. Les flèches orange indiquent une régression de la répartition ou une diminution générale de la densité de l'espèce. Le sigle égal indique qu'il n'y a aucun changement. Plus les flèches sont larges, plus les changements sont importants. Les trois paliers sont 5 %, 20 % et 50 %. **(b) Dynamiques :** les flèches jaunes indiquent soit le glissement de la répartition ou le basculement des noyaux de densité plus en altitude ou plus au nord. Les flèches bleues indiquent soit l'étiement de la répartition plus en altitude ou plus au nord, soit la progression générale de la densité dans la répartition. *Source : Signal, 2020.*

12 juillet après-midi : St Martin-Vésubie

Nicolas Viaux (UCA/ESPACE) : La Roya et le changement climatique



Volet «climat»

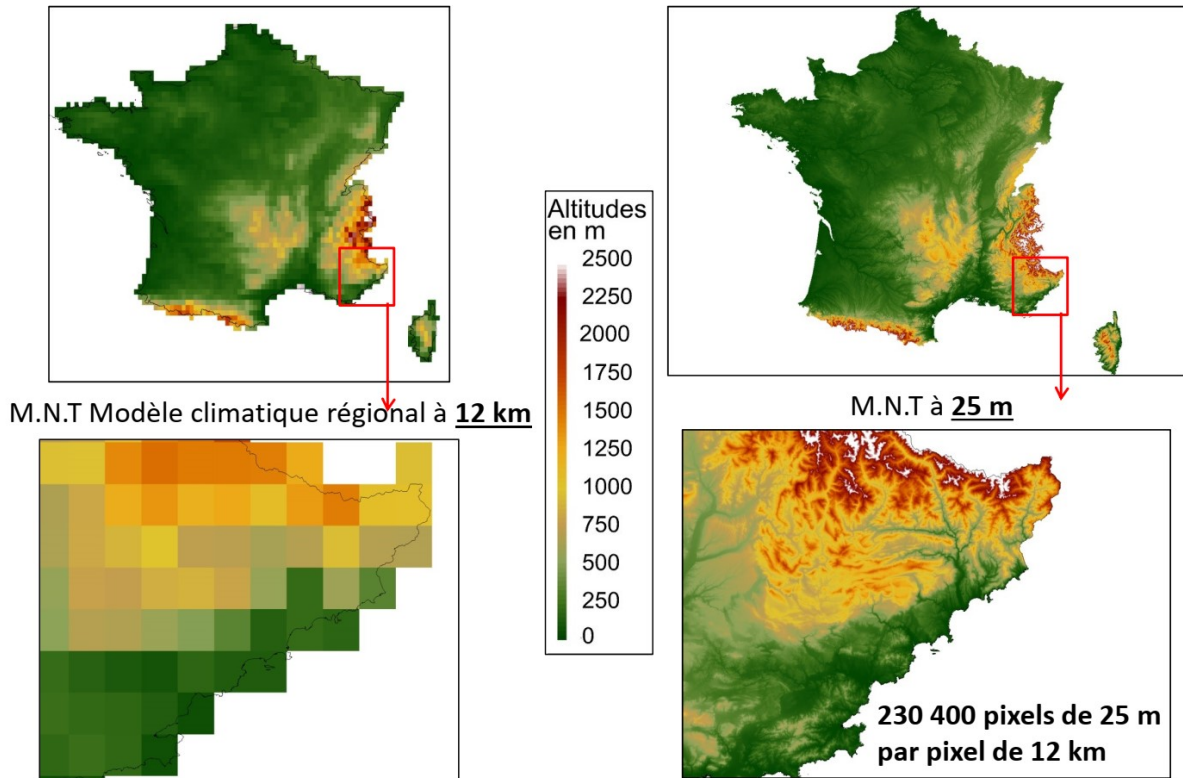
**Downscaling statistiques des
températures et des précipitations
1986-2005 / 2016-2035 / 2046-2065 /
2081-2100 dans la vallée de la Roya à
partir de modèles climatiques
régionaux**

N. Martin

Projet Interreg Alcotra Concert-Eaux



Création d'information à fine échelle spatiale par downscaling statistique



Données d'entrée du downscaling statistique

☐ Deux familles de données : données climatiques et données topographiques et géographiques.

☐ Données climatiques :

✓ Sorties de modèles climatiques régionaux (ALADIN-Climat et REGCM4) à **12 km** de résolution * :

• Période de référence 1986-2005

• Périodes futures : 2016-2035, 2046-2065 et 2081-2100 selon 2 scénarios (RCP 4.5 et 8.5).

✓ Normales climatiques mensuelles de la période 1986-2005 (réseau de Météo-France dans les Alpes-Maritimes) : pour valider les sorties de modèles.

☐ Données topographiques et géographiques à 25 m de résolution :

✓ Longitude/Latitude

✓ Distance à la mer

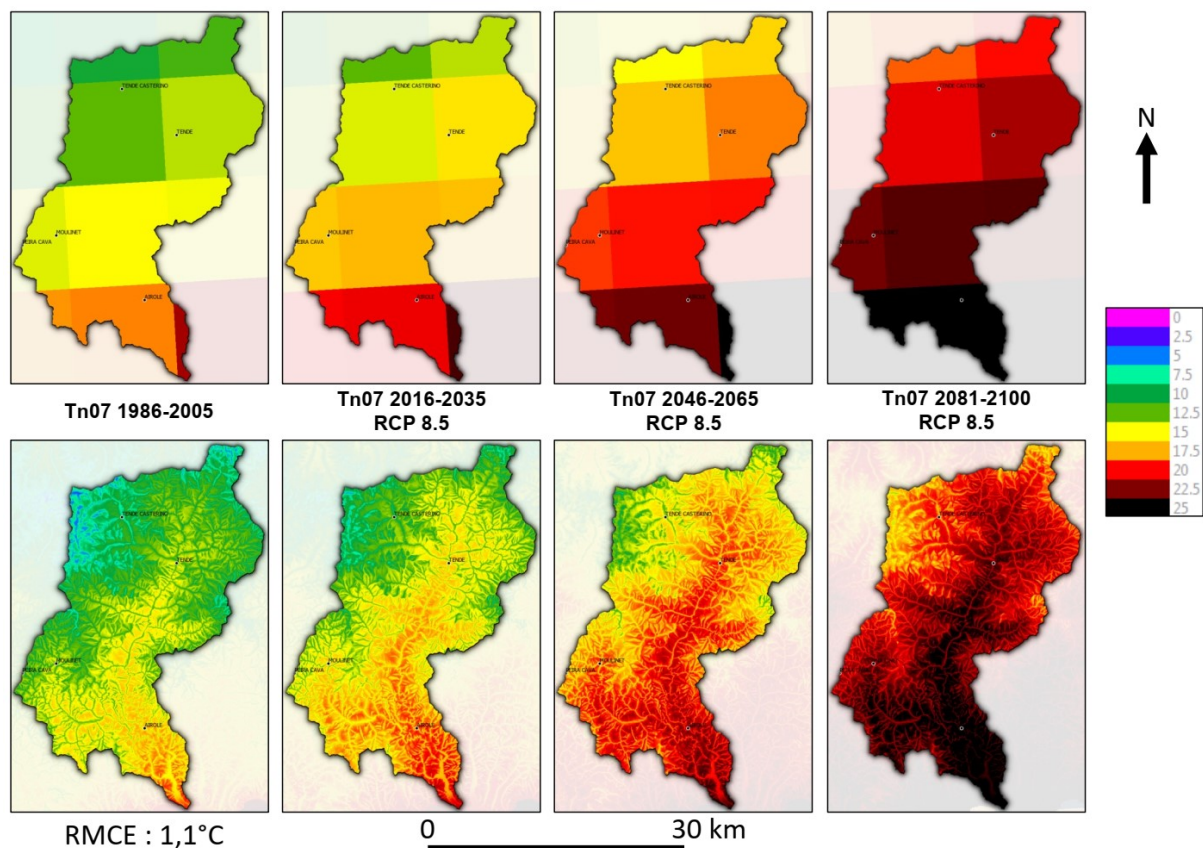
✓ Altitude

✓ Exposition

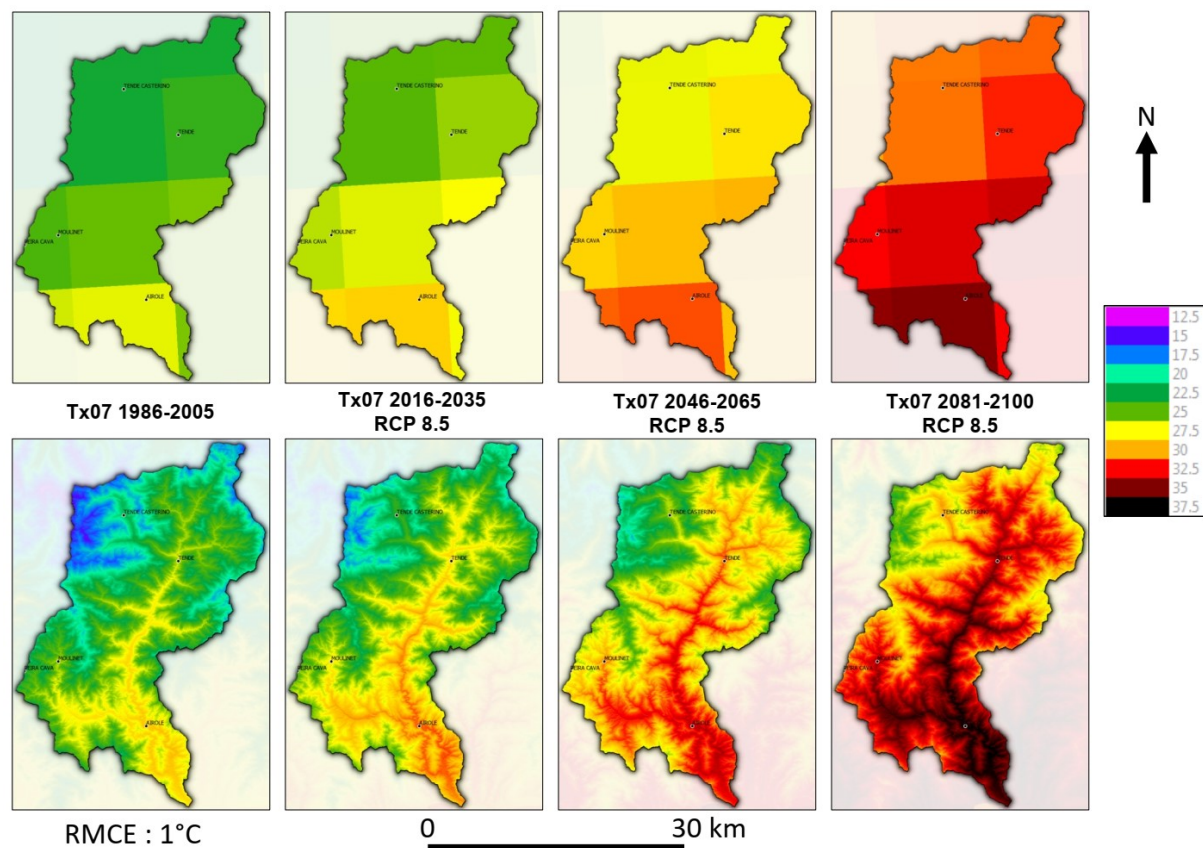
✓ Encaissement

* Rappel : les données s'appliquent à une surface (144 km²) et non à un point de grille

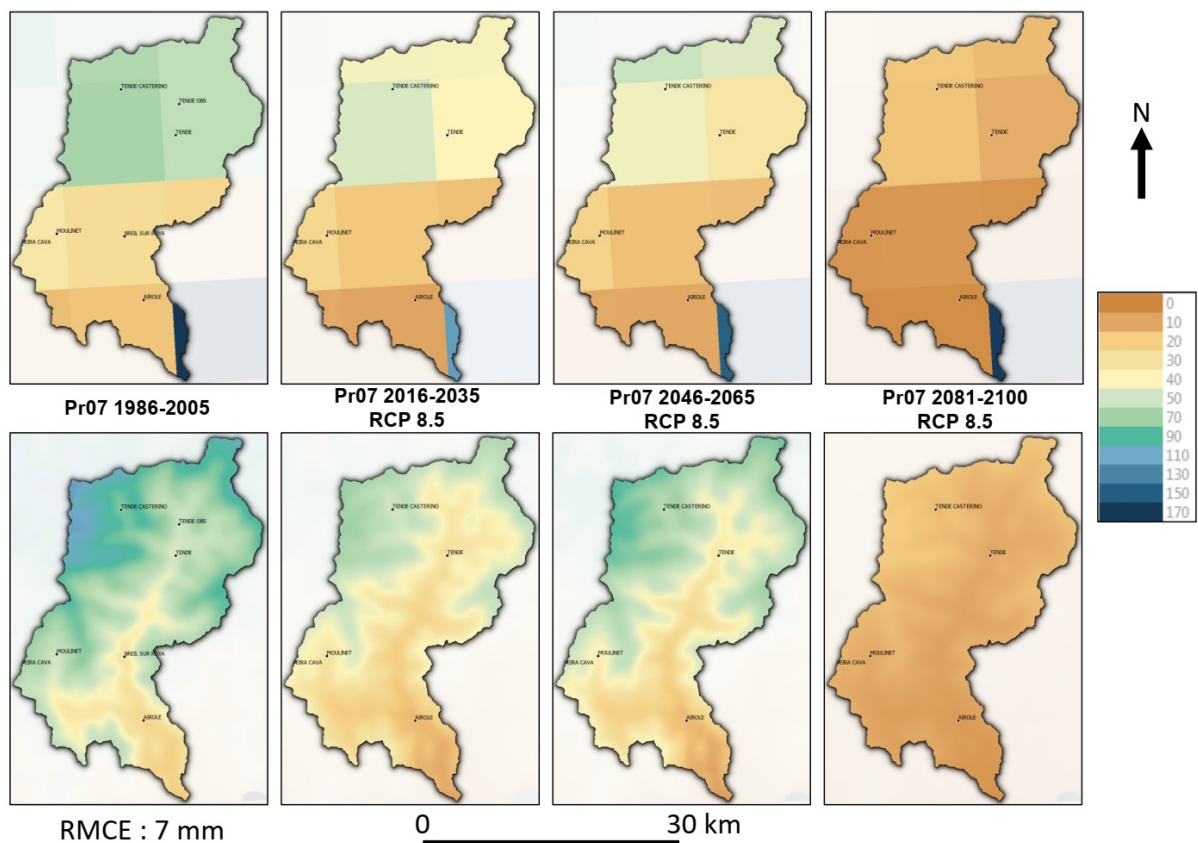
Températures minimales de juillet en °C à 25 m après downscaling statistique sur le modèle REGCM4



Températures maximales de juillet en °C à 25 m après downscaling statistique sur le modèle REGCM4



Précipitations de juillet en mm à 25 m après downscaling statistique sur le modèle REGCM4



12 juillet après-midi : St Martin-Vésubie

Frédéric Liébault (Inrae Grenoble) : Conséquences géomorphologiques de la tempête Alex en Vésubie

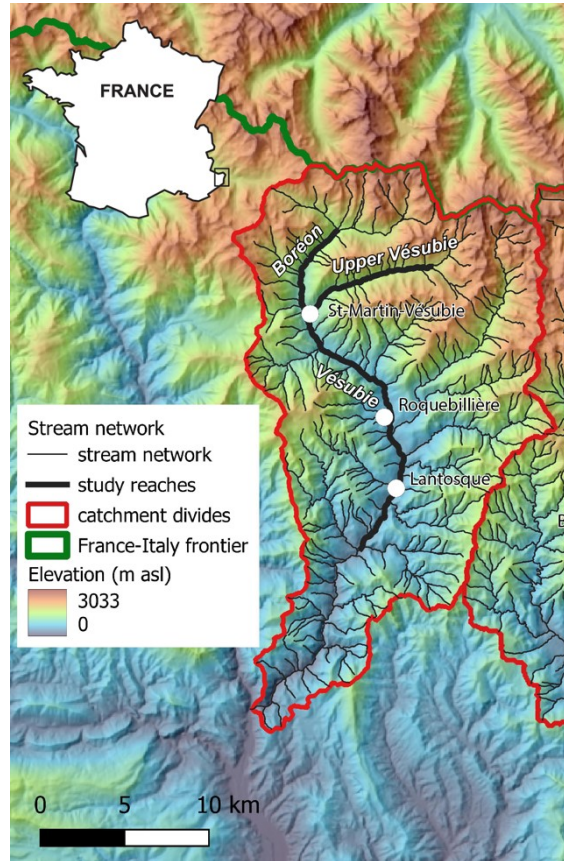


Figure 1. Localisation du linéaire d'étude de l'impact morphologique de la tempête Alex dans le bassin versant de la Vésubie (© F. Liébault)

Study sites	Roya	Vésubie
Drainage area (km ²)	671	392
Mean elevation (m)	1235	1445
Maximum elevation (m)	2935	3143
Area above 1000 m (%)	63	71
Mean catchment slope (°)	27	28
Mean annual rainfall (mm)	1162	1339
Crystalline rocks (%)	3	21
Sedimentary rocks (%)	74	50
Colluvium (%)	18	20
Glacial deposits (%)	4	6
Alluvium (%)	1	3

Table 1. Main physical features of the Roya and Vésubie catchments; relief features were extracted from 75-m resolution DEM from IGN (BD ALTI); mean annual rainfall computed from SPAZM reanalysis for the 1970-1999 period (Gottardi et al. 2012); geological features were extracted from 1/50 000 digital geological maps from BRGM (BD Charm-50); the geology of the Italian part of the Roya catchment was not considered in the analysis (source: Liébault et al., in prep)

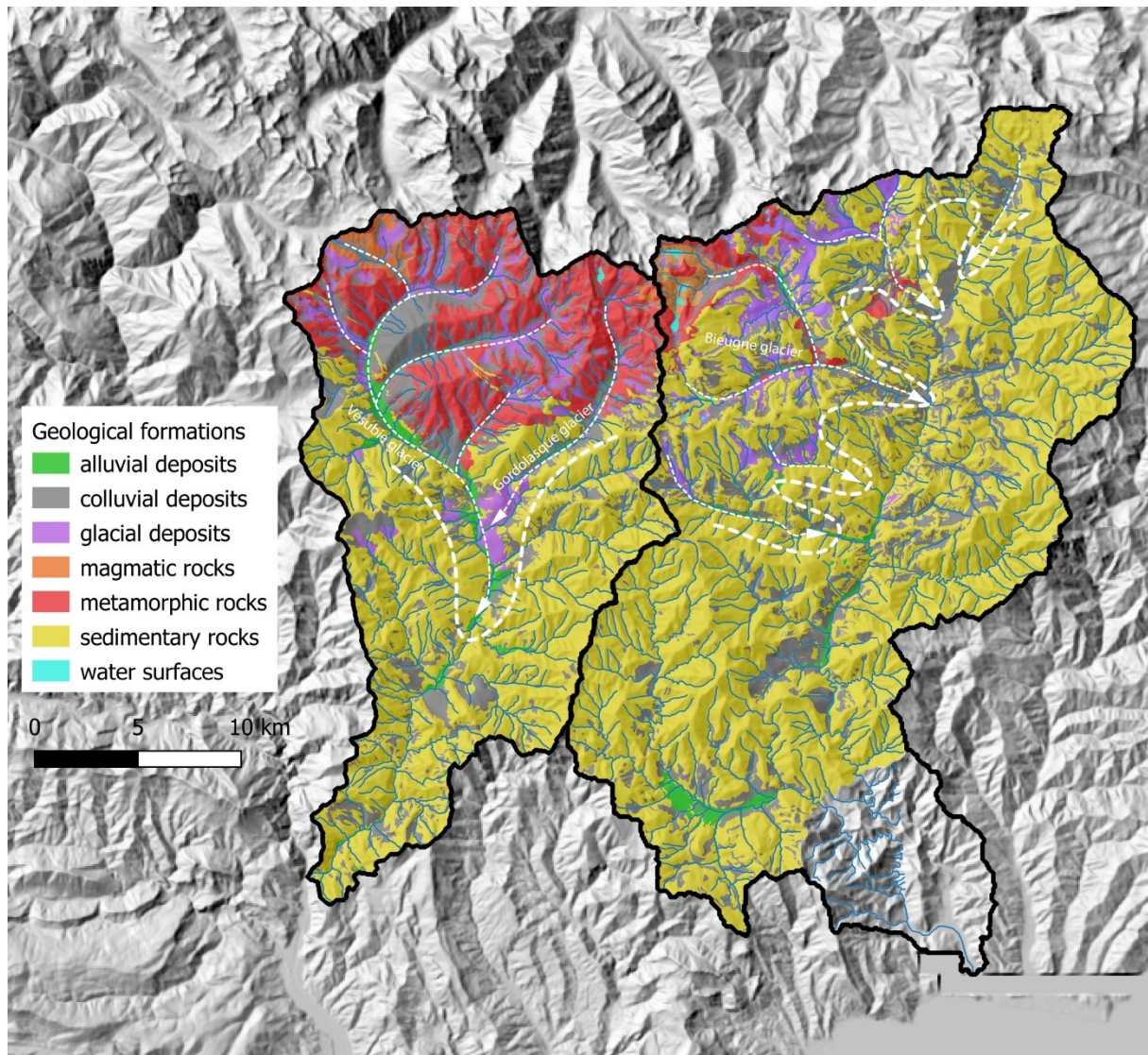


Figure 2. Geology and glacial imprints of the Roya and Vésubie catchments; geological formations classified from 1/50 000 digital geological maps from BRGM (BD Charm-50); maximum glacier extensions during the Würm (white dotted lines) adapted from Julian 1997 (Liébault et al., in prep)

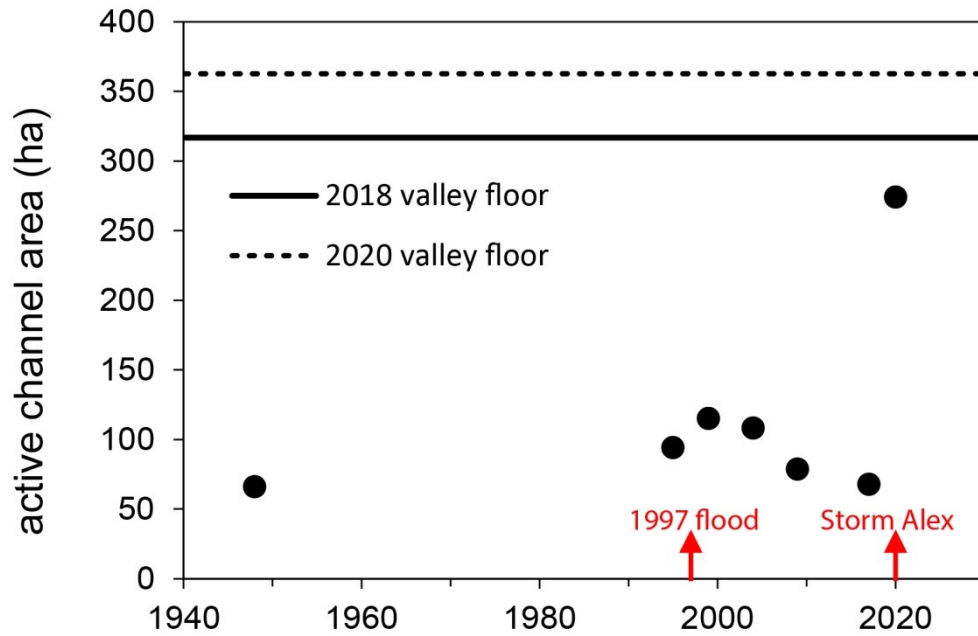


Figure 3. Evolution de la surface de bande active de la Vésubie depuis 1948 (Liébault et al., 2022)

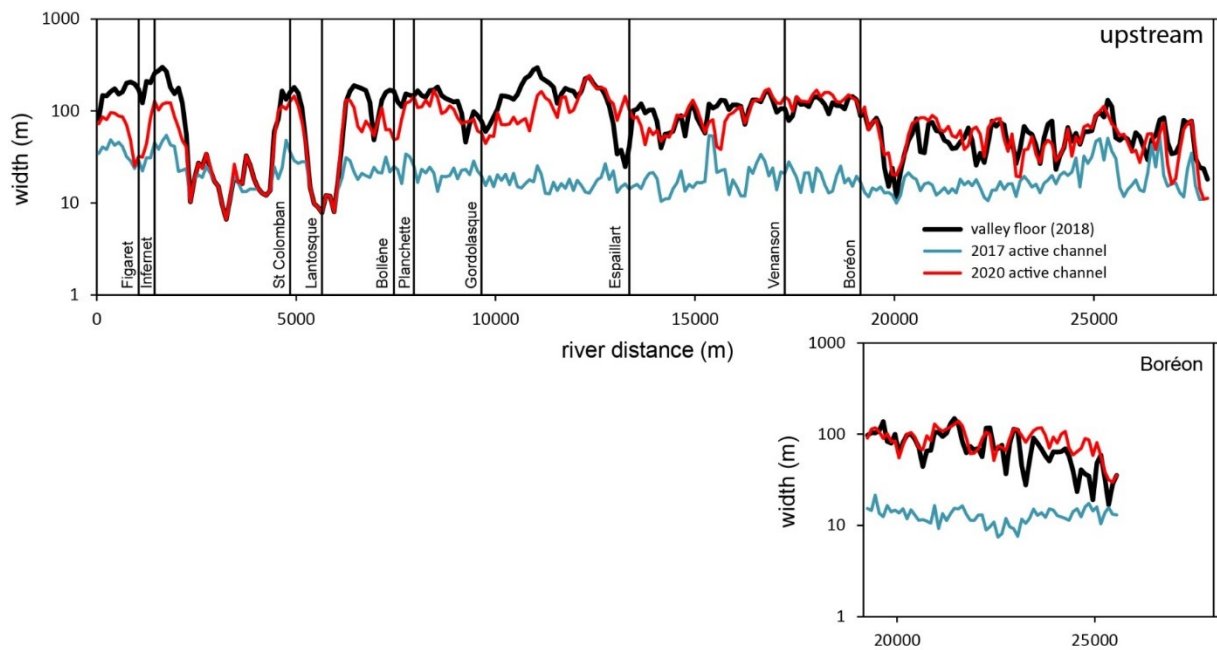


Figure 4. Gradient longitudinal de l'expansion de bande active post-Alex sur la Vésubie (Liébault et al., 2022)

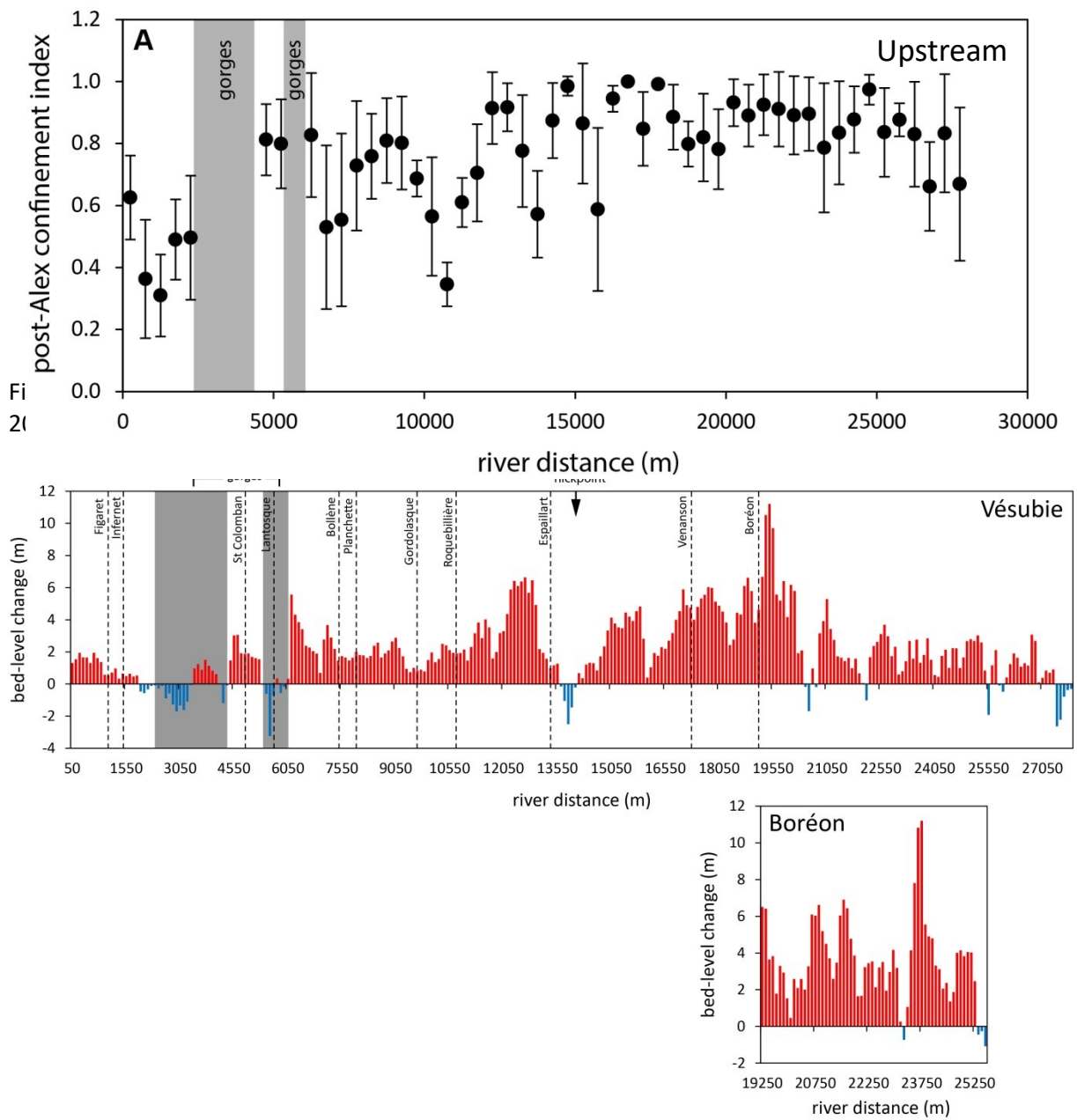


Figure 6. Bed-level changes of the Vésubie after storm Alex obtained from topographic differencing of LiDAR DEMs; aggradation in red and incision in blue; vertical dotted lines correspond to main tributary confluences; gorges are represented in grey; the back arrow corresponds to a major nickpoint in the long profile, with a local slope increase (source: Liébault et al. in prep)

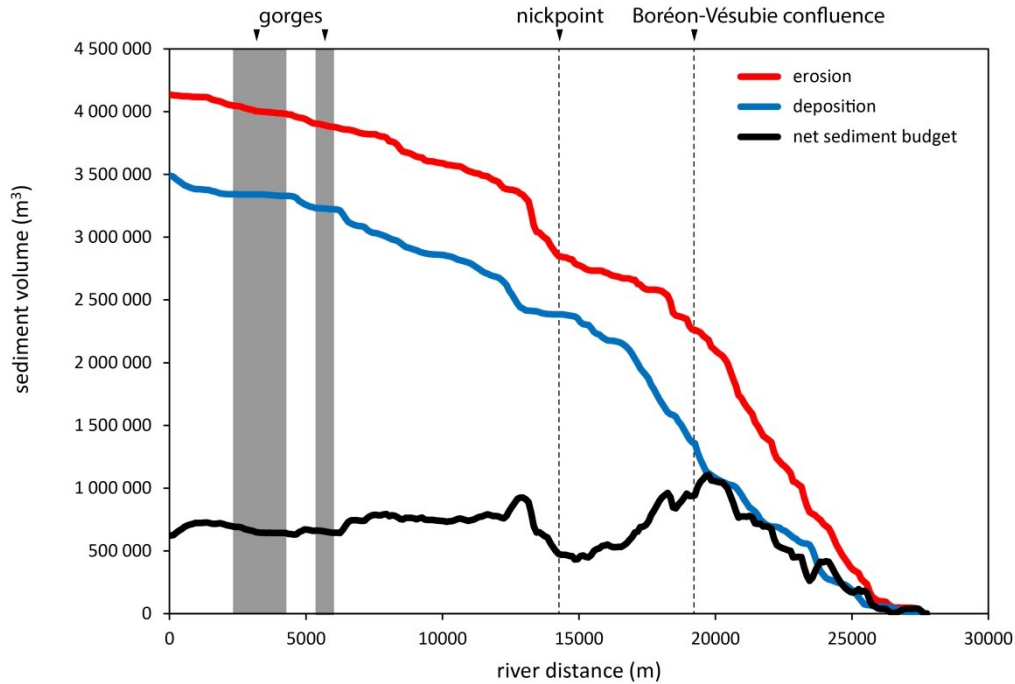


Figure 7. Cumulative volumes of sediment erosion and deposition, and cumulative net sediment budget obtained from LiDAR-based topographic differencing along the Vésubie during storm Alex; uncertainty bounds of sediment volumes are included in the thickness of lines (source: Liébault et al. in prep)

Sites	Dépôt (m ³)	Erosion (m ³)	Bilan net (m ³)
Boréon amont	108 936 +/- 427	243 829 +/- 936	-143 933 +/- 1935
Boréon aval	90 430 +/- 792	413 823 +/- 1964	-343 193 +/- 4504
Madone	149 213 +/- 942	583 185 +/- 2713	-463 561 +/- 6808
Vésubie	532 709 +/- 3325	1 187 778 +/- 6060	-702 065 +/- 14 283
Total	881 288 +/- 5486	-2 428 615 +/- 11 673	-1 652 752 +/- 27 531

Tableau 2. Bilans sédimentaires LiDAR des affluents de la Vésubie lors de la tempête Alex, regroupés par sous-bassins versants (source : Liébault et al., 2023 / projet INTEREG-ALCOTRA-RITA)

Références bibliographiques

- Liébault F, Melun G, Piton G, Chapuis M, Passy P, Tacon S. in prep. Channel change during catastrophic flood: example of storm Alex in the Vésubie and Roya valleys. *Geomorphology (10th IAG Coimbra, Fluvial Geomorphology Special Issue)*.
- Liébault F, Piton G, Melun G, Chapuis M, Passy P, 2022. Channel change during catastrophic flood: example of the Alex storm in the Vésubie valley. 10th IAG International Conference on Geomorphology, Coimbra, Portugal, 12–16 September (oral communication).
- Liébault F, Piton G, Tacon S, 2023. Métamorphose fluviale et bilan sédimentaire de la Vésubie lors de la Tempête Alex. Conférence Finale du Projet Interreg Alcotra RITA, Aoste, Italie, 25 mai 2023 (communication orale). https://www.regione.vda.it/territorio/territorio/dighe/progrita_i.aspx
- ONF-RTM-INRAE, 2022. Retour d'expérience technique de la crue du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Vésubie, volet torrentiel. Rapport d'expertise pour le compte du Ministère de la Transition Ecologique, Direction Départementales des Territoires et de la Mer, 300 pp.

12 juillet après-midi : St Martin-Vésubie

Céline Martins (RTM-06) : Retour d'expérience sur la tempête Alex en Vésubie

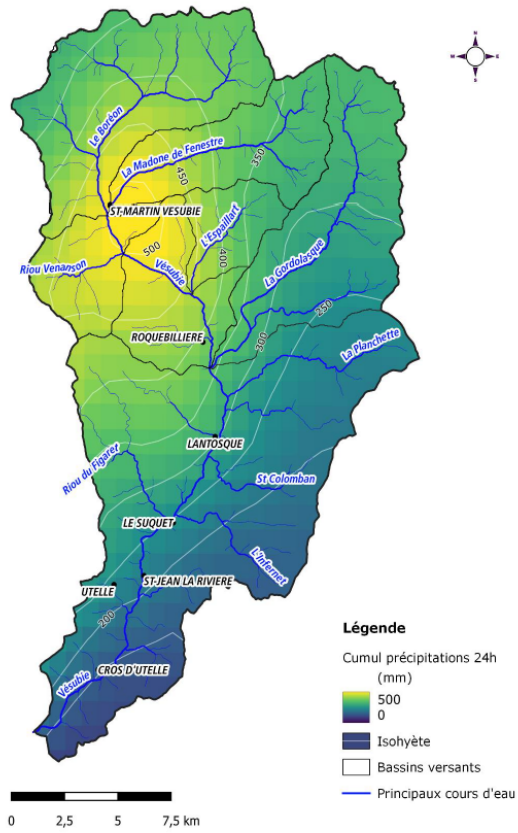


Figure 9 : Cumul pluviométrique sur 24h sur le bassin versant de la Vésubie (Source : d'après la lame d'eau ANTILOPE réanalysée de METEO France, 02/10/2020 07h00 au 03/10/2020 06h00 UTC)

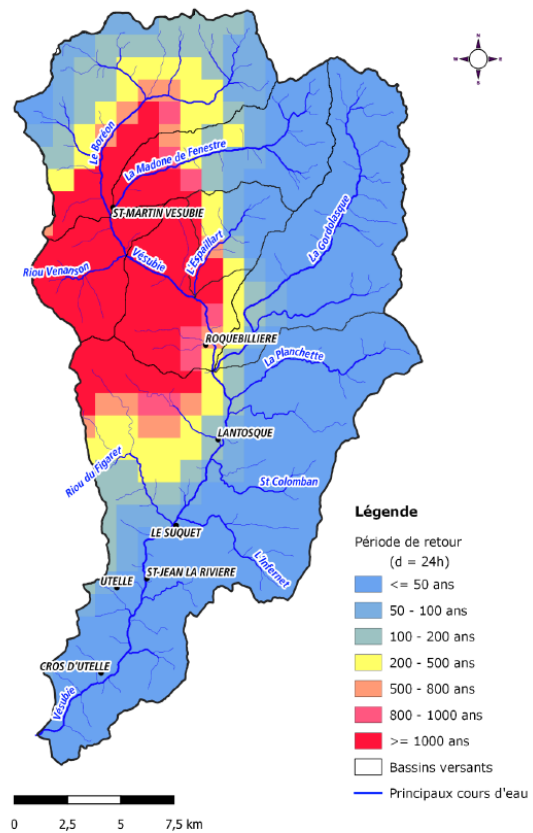
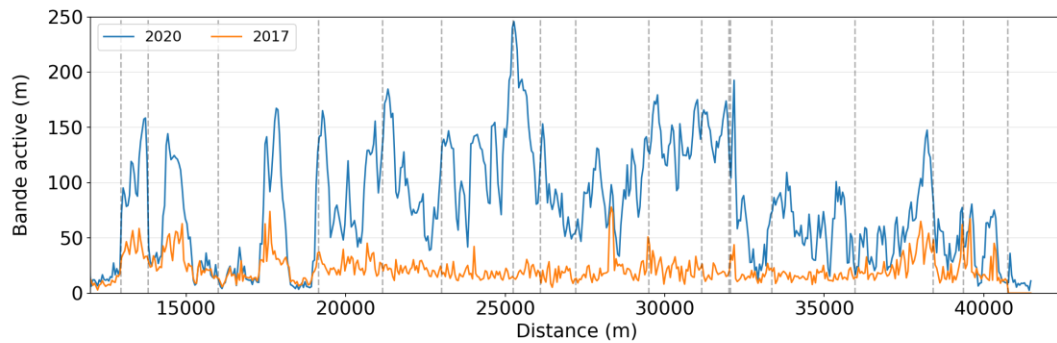
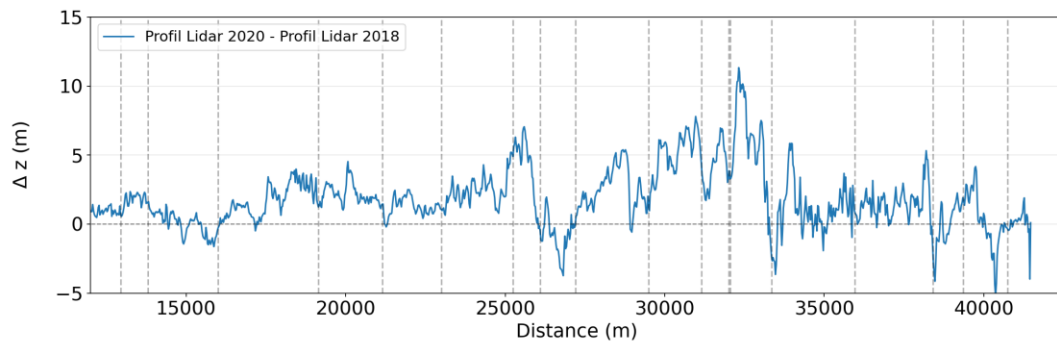
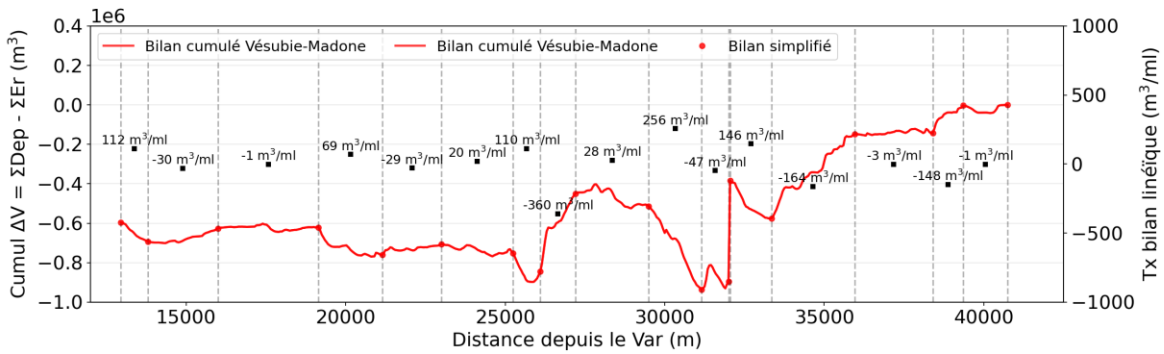
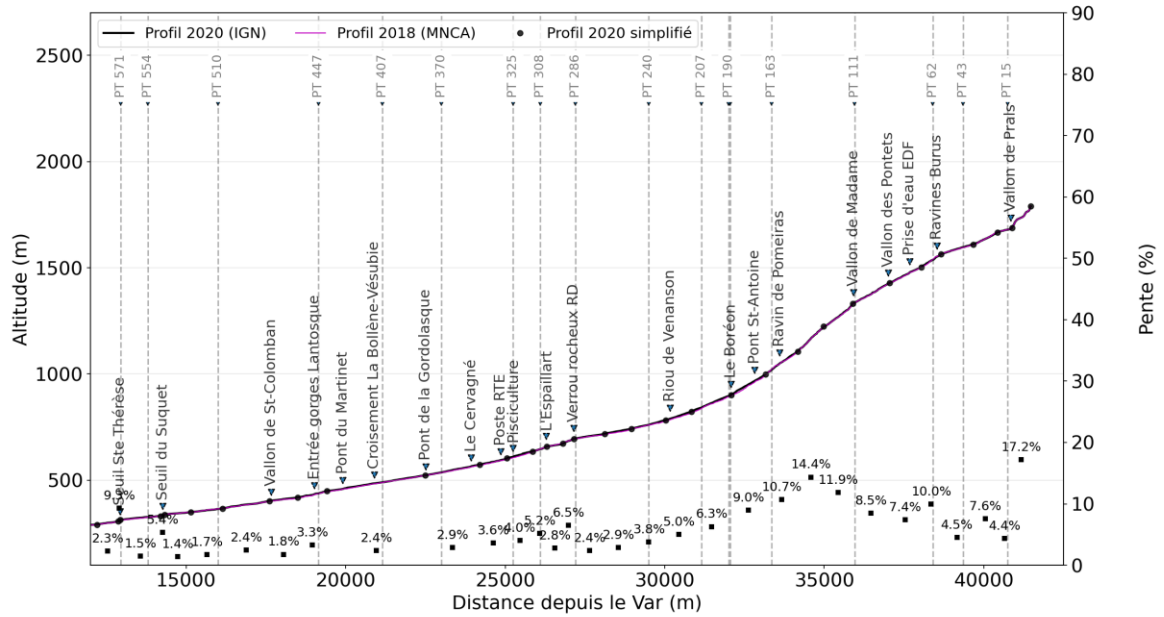
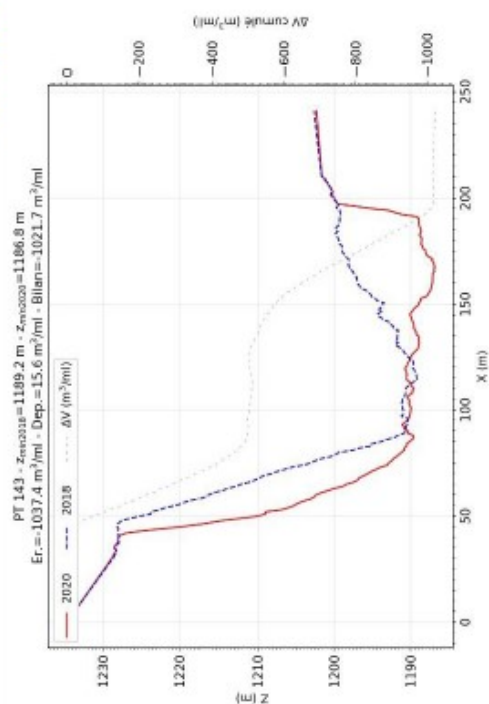


Figure 10 : Période de retour des précipitations sur le bassin versant de la Vésubie pour une durée d'analyse de 24h (Source : d'après les données INRAE : méthode AIGA de comparaison aux quantiles de pluie SHYREG, périodes de retour calculées à partir de la lame d'eau ANTILOPE réanalysée de METEO France)

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

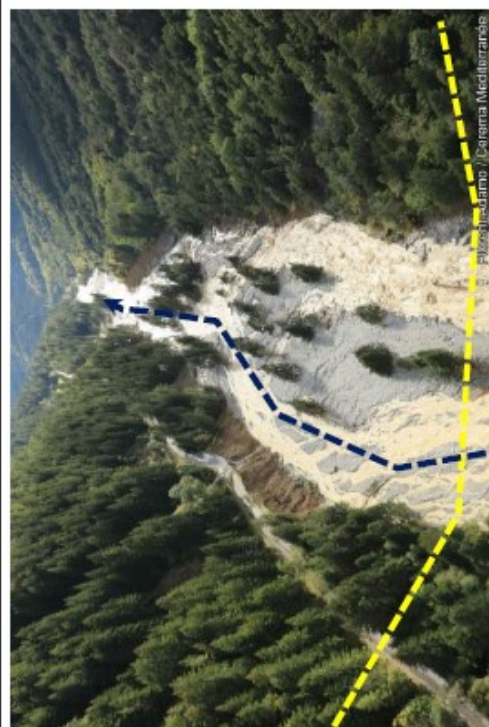
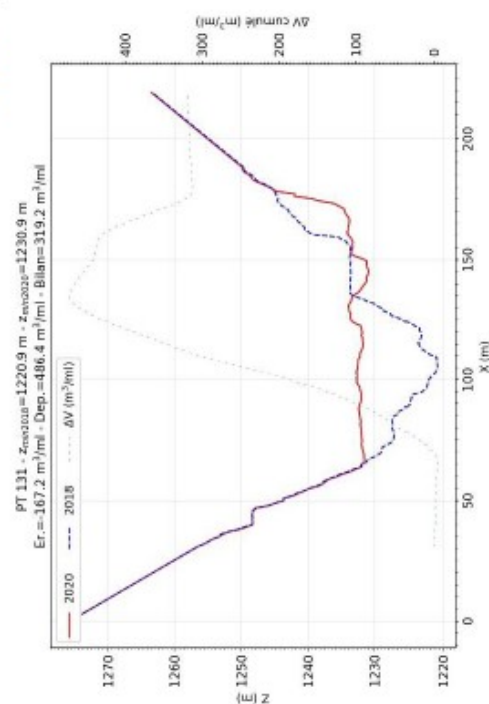


Boréon – PT 143B – Au droit du cône de déjection du vallon Archas

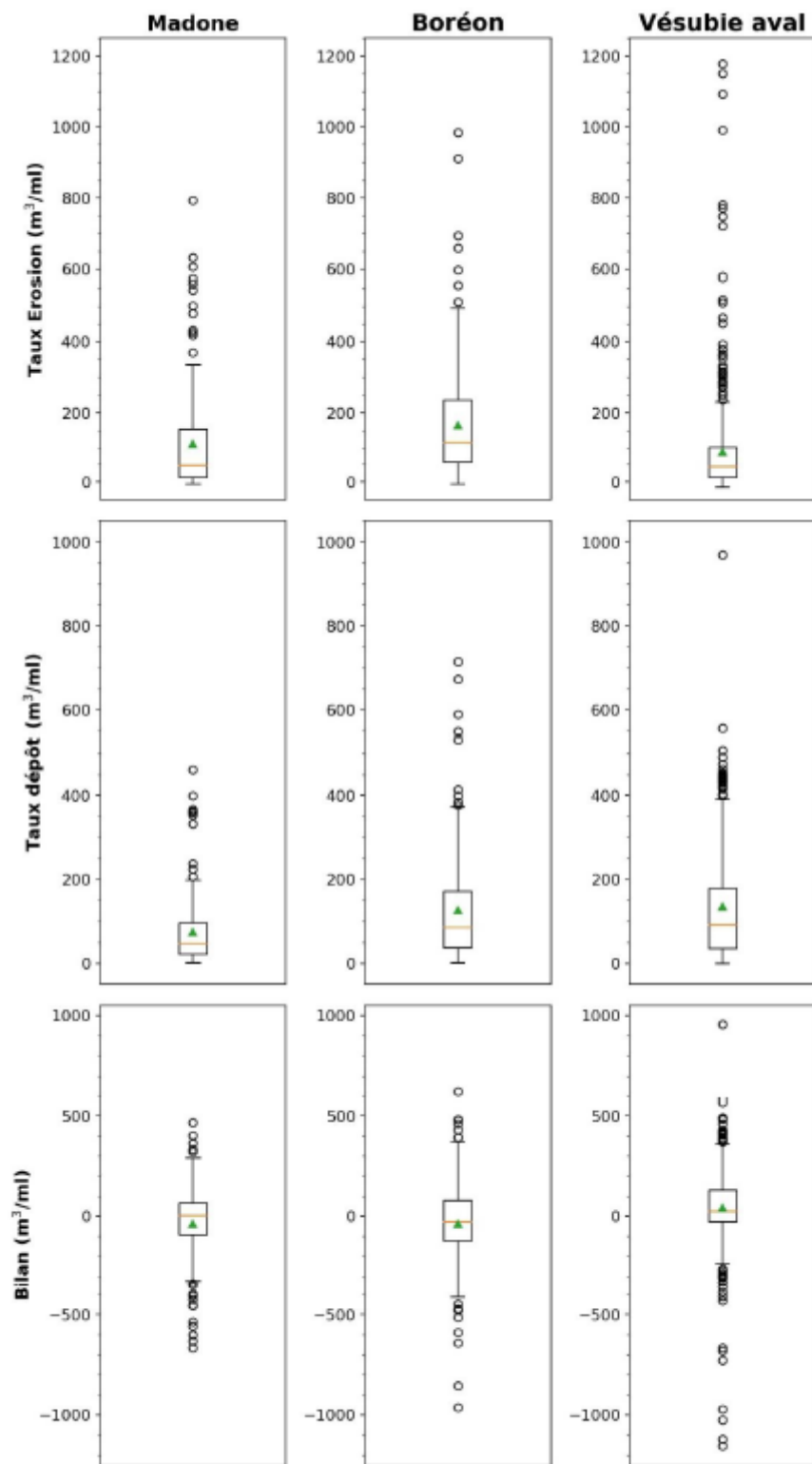


Boréon 1050 ml en amont du pont de Mayssa.
 Cône de déjection du vallon d'Archas raboté par le Boréon. Effondrement de la berge rive gauche et coupure de la route.
 Taux d'érosion remarquable de - 1 037 m³/ml.
 Elargissement brutal avec largeur de lit passant de 23 à 115 m.
 Stabilité du fond de lit au droit de l'axe du lit ante crue.

Boréon – PT 131 – 600 ml en amont du cône du vallon Archas



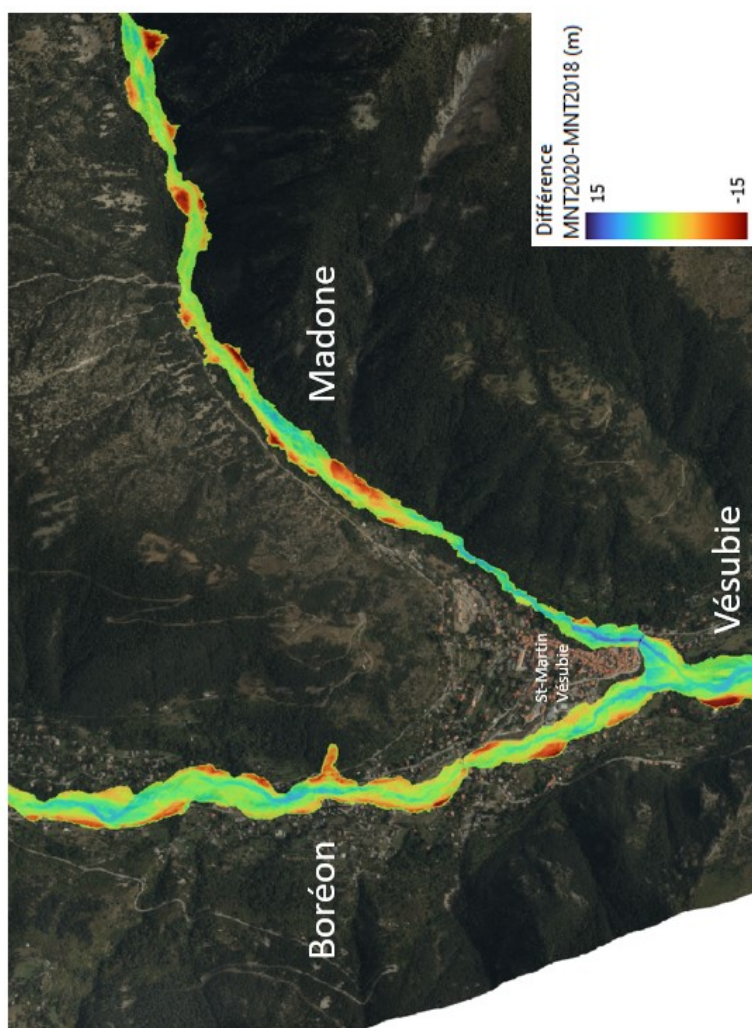
Boréon 600 ml en amont du précédent profil en travers affiché.
 Engrèvement du lit remarquable compris entre 10,0 et 12,9 m, soit une hauteur de respirations de 2,9 m. Hauteur des dépôts liée à la contraction du lit au niveau du cône du vallon d'Archas (cf. § 5.5.2).
 Elargissement brutal du lit avec largeur passant de 15 m à 105 m.



Trait orange : Médiane / Triangle : Moyenne / Boite : Étendue interquartile. Limite inférieure = 1^{er} quartile ; Limite supérieure = 3^{ème} quartile / Moustaches : Limite inférieure = 1^{er} quartile – étendue interquartile (Q1,Q3) ; Limite supérieure = 3^{ème} quartile + étendue interquartile (Q1,Q3) ; points : valeurs extrêmes dépassant le percentile 99%

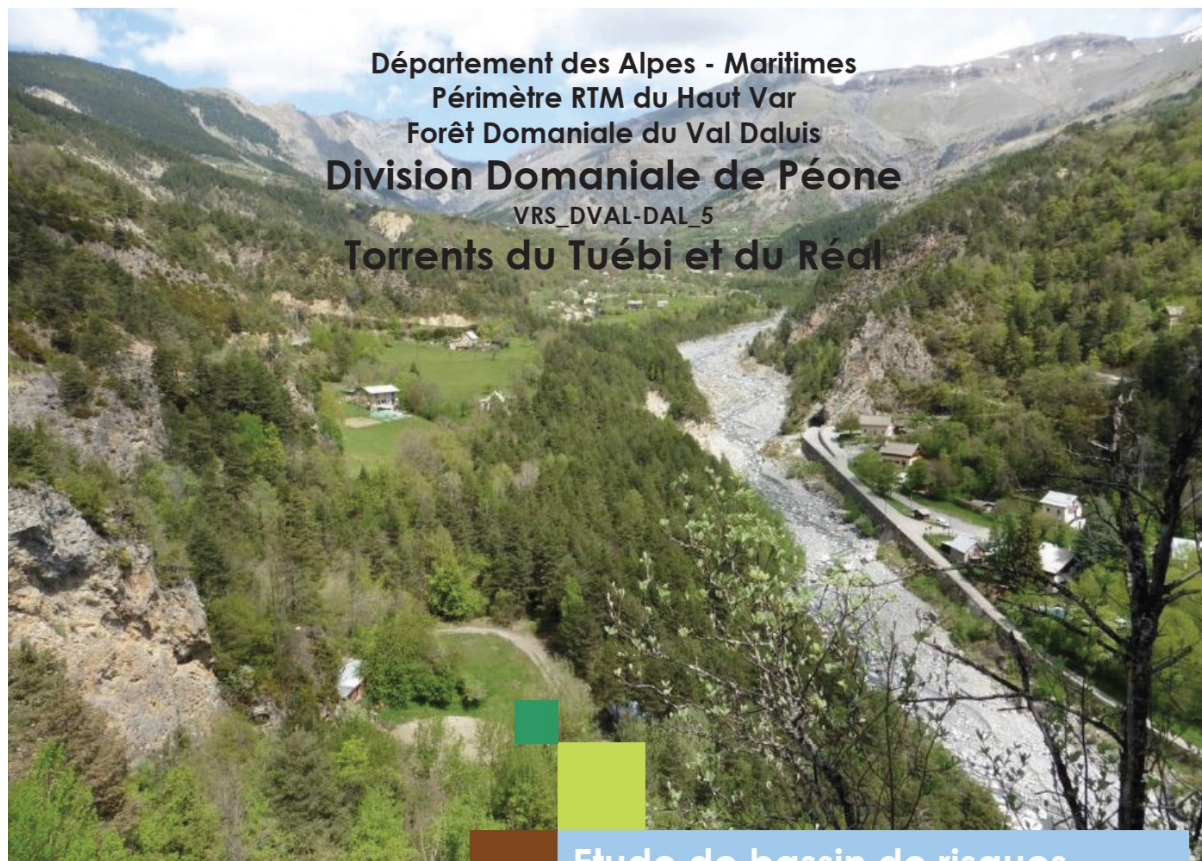
Figure 51 : Statistiques d'érosion, de dépôt et de bilan de volume entre profils en travers échantillonnés tous les 50 m

Boréon du barrage à la Vésubie (8,4 km) Erosion : -1 358 000 m ³ Dépôt : +837 000 m ³ Bilan : -521 000 m ³
Madone (8,3 km) Erosion : - 990 000 m ³ Dépôt : +595 000 m ³ Bilan : -395 000 m ³
Vésubie jusqu'au Suquet (18,7 km) Erosion : -1 966 000 m ³ Dépôt : +2 286 000 m ³ Cumul Bilan : +319 000 m ³
Global y/c Boréon amont Erosion : -4 409 000 m ³ Dépôt : 3 900 000 m ³ Bilan : -510 000 m ³



13 juillet matin : Péone

JR Genin (RTM-06) : Géomorphologie torrentielle et dynamiques de versant dans le bassin du Tuébi



Département des Alpes - Maritimes
Périmètre RTM du Haut Var
Forêt Domaniale du Val Daluis
Division Domaniale de Péone
VRS_DVAL-DAL_5
Torrents du Tuébi et du Réal

Etude de bassin de risques

Annexes V1
Août 2015

EXTRAITS

Journées de la commission hydrosystèmes CNFG

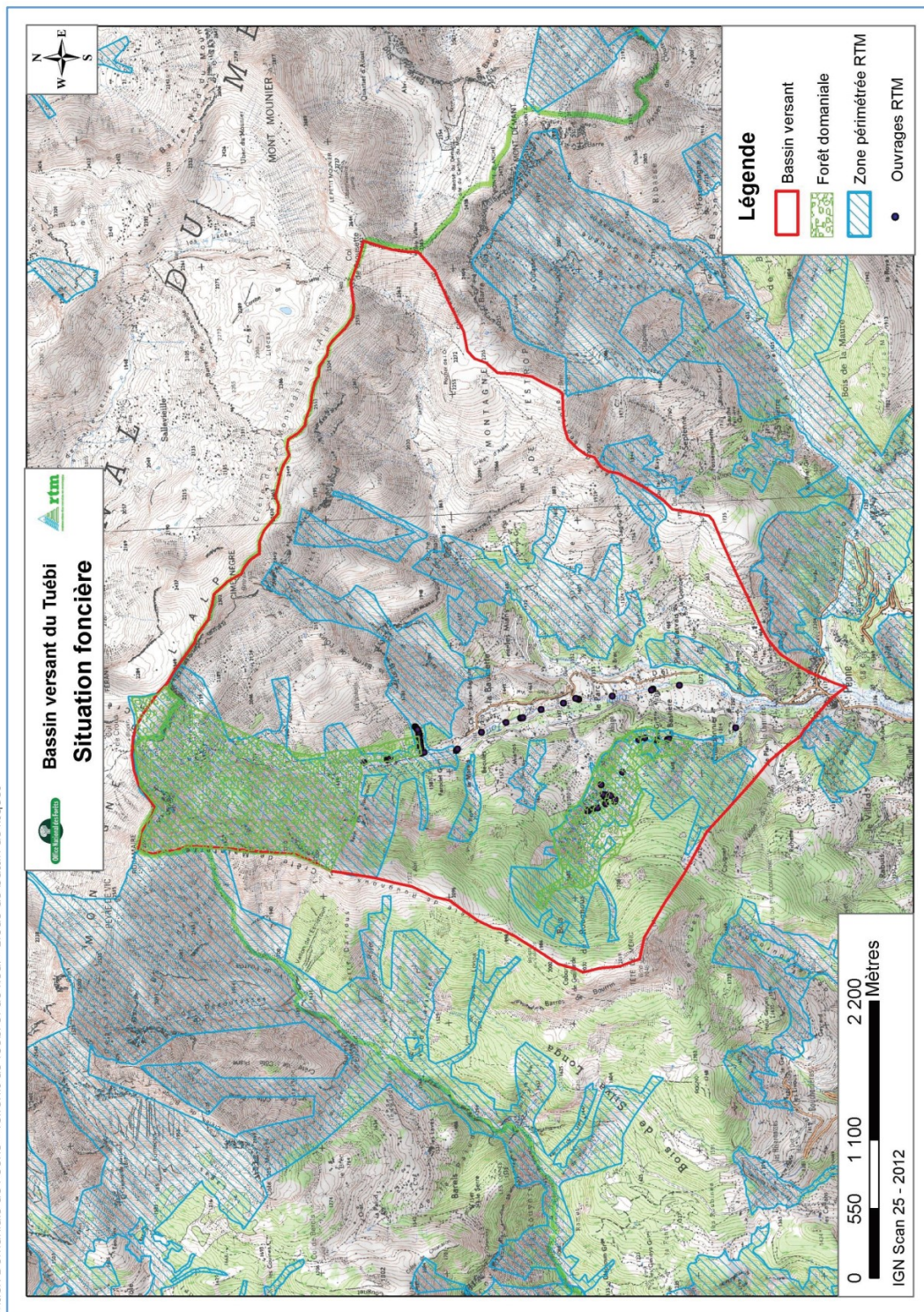
2023



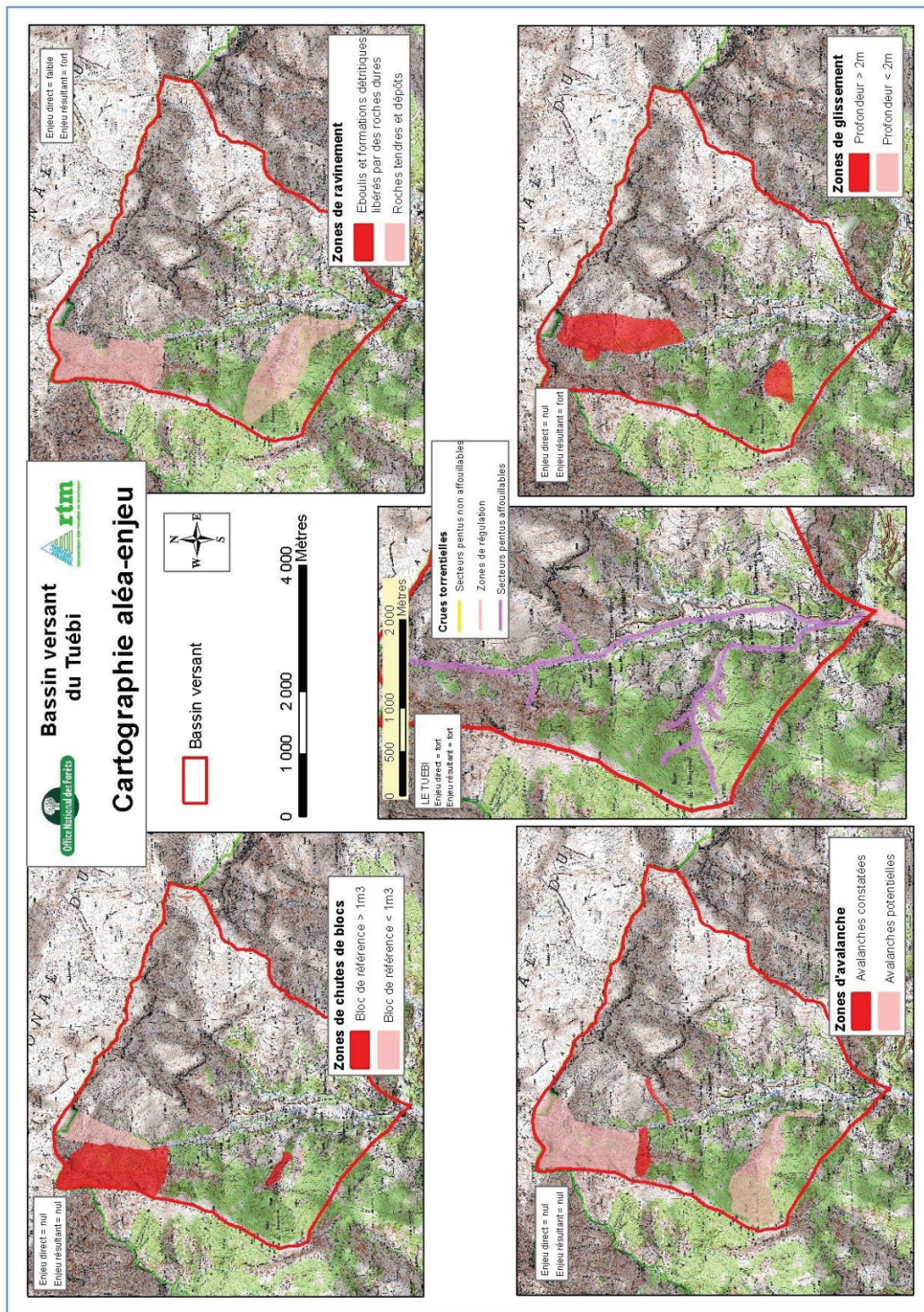
Office National des Forêts
Service de Restauration des Terrains en Montagne
62, rte de Grenoble BP 3260
06205 NICE cedex 3
Tél : 04.93.18.54.74 Fax : 04.93.18.18.64 Courriel :
rtm.nice@onf.fr



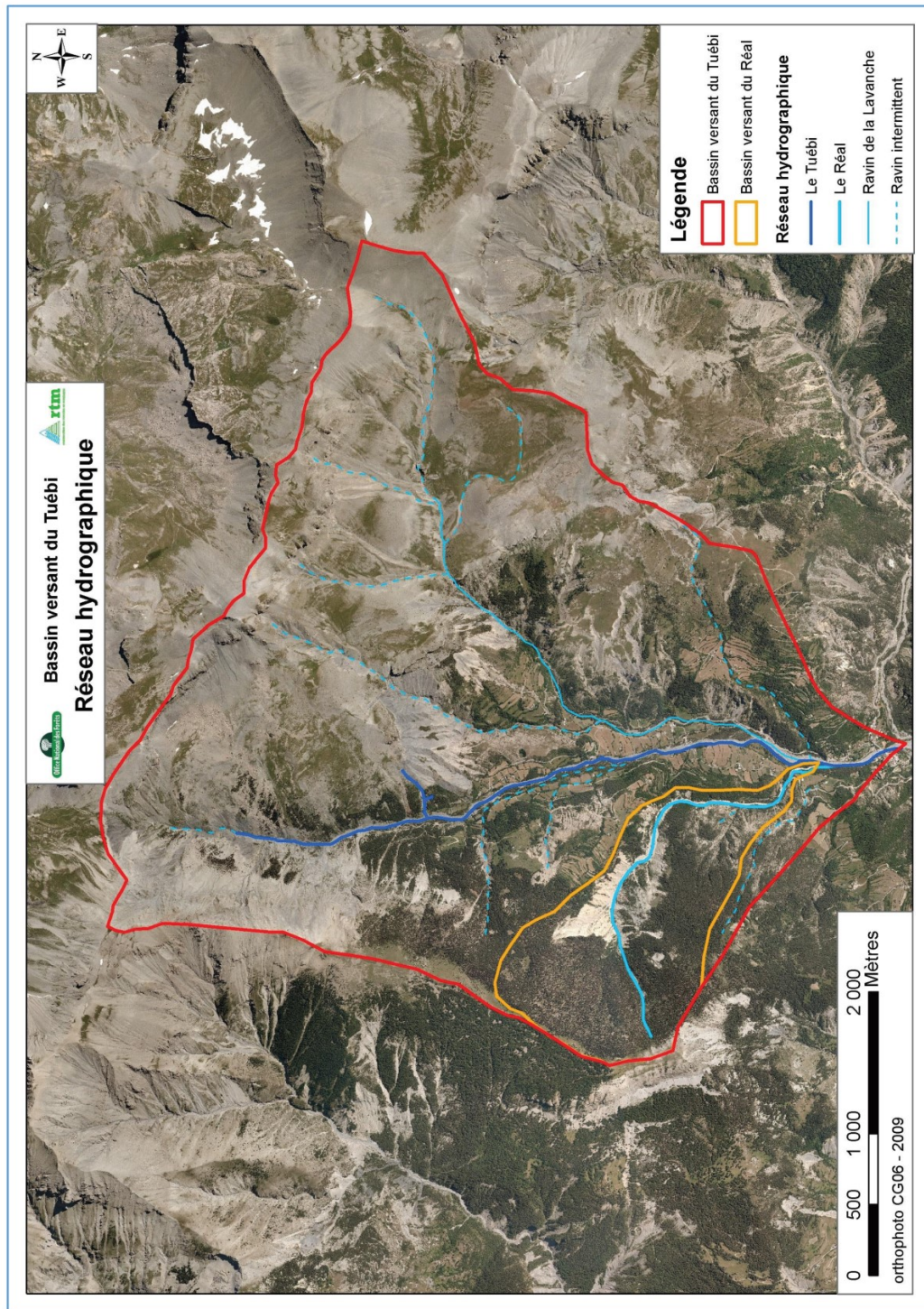
Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuébi et du Réal – Etude de bassin de risques



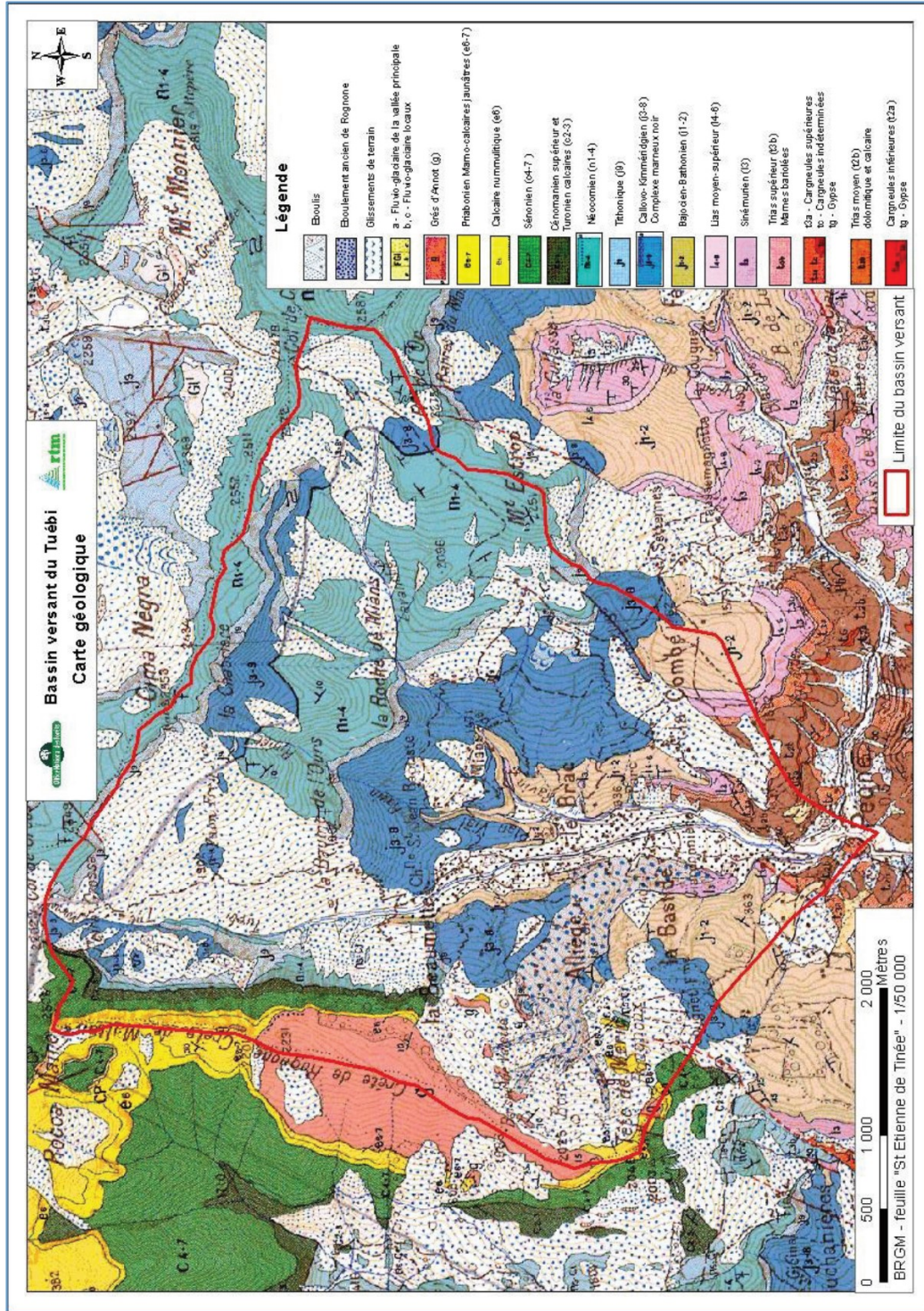
Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuébi et du Réal – Etude de bassin de risques



Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques





Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques

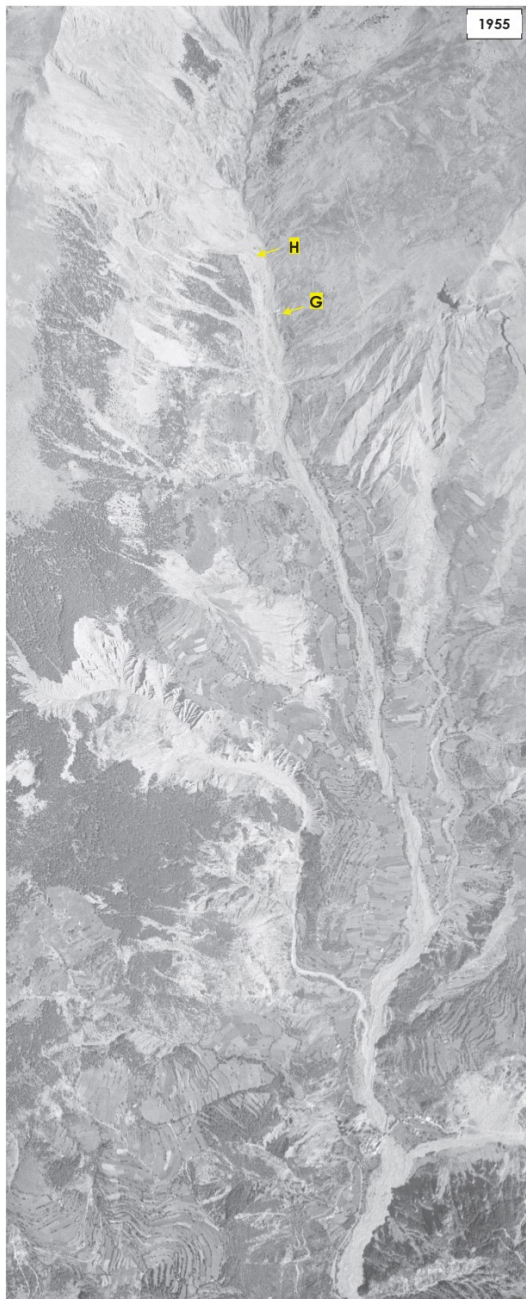


Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques

Comparaison du lit du Tuebi (branche principale) entre 1955 et 2012

(photos aériennes IGN disponibles sur www.geoportail.fr, échelle indéterminée)

-  Barrage de correction dans le lit du
-  Contour de la bande active du Tuebi en 1955 reporté sur la photo de 2012



Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques

Octobre 1937



Vue d'ensemble du bassin du Réal en amont des barrages n°3 et 4 Flekcher Mars 1938

Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques

L'analyse granulométrique en rivière ou en torrent s'effectue de la manière suivante :

Il s'agit d'une granulométrie de surface (non pas volumique) qui se réalise grâce à un décimètre. Sur le terrain l'échantillonnage est linéique, il peut se réaliser le long d'une ligne brisée, en zig-zag. Le pas d'espace entre les mesures correspond au d_{90} , c'est à dire approximativement « un peu plus que la moitié du d_{max} ». Ainsi en considérant un $d_{90} = 30$ cm, et qu'il faut 100 mesures pour que l'analyse soit représentative, il faudra réaliser 100 mesures sur 30 m (une tous les 30 cm). A l'aplomb d'une graduation, il faut mesurer le diamètre du galet ou du bloc, sachant que ceux dont le diamètre est inférieur à 1 cm sont considérés comme des fines. Un galet de 4.2 cm de diamètre sera compté une fois dans la classe 4 – 5. Remarque, un bloc d'un mètre de diamètre se trouvera sous plusieurs graduations et sera donc compté plusieurs fois (il aura donc un poids plus important). La fréquence sera ensuite déterminée en comptant le nombre d'individu par classe

Trois échantillonnages sur le Tuébi [...] ont été réalisés.

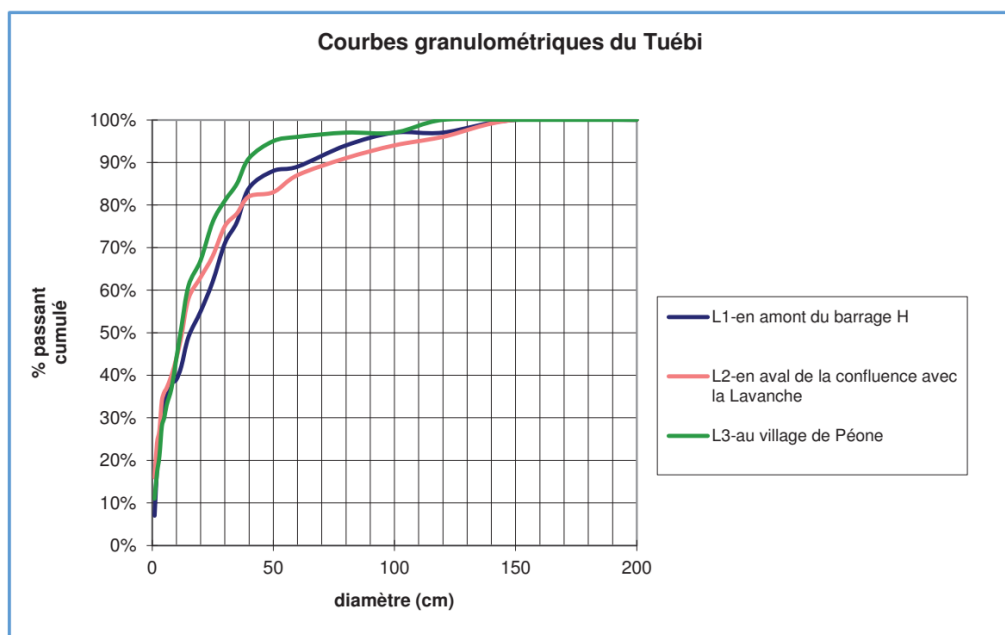


Figure 1- Courbes granulométriques réalisées sur le Tuébi

Le graphique du % passant cumulé en fonction du diamètre (en cm) permet de déterminer les valeurs caractéristiques de d_{30} , d_{50} , d_{90} et d_{moy} rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Ligne	Localisation	d_{30} (cm)	d_{50} (cm)	d_{90} (cm)	d_{moy} (cm)	Pente
L1	En amont du barrage H	4	15,5	62	24,5	18%
L2	En aval de la confluence avec la Lavanche	3,5	12,5	76	25,1	9%
L3	Au village de Péone	5	12	38	18,1	10%

Tableau 1 - Résultats des courbes granulométriques du Tuébi

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuébi et du Réal – Etude de bassin de risques

Synthèse des crues du torrent du Tuébi

Date	Description phénomène	Dégâts	Source
	Dégât(s) sur les enjeux ou sur leurs protections rapprochées		
	Dégât(s) sur les ouvrages RTM dans le lit		
20 mai 1841	crue	Guillaumes : Débordements. Brèche dans les remparts du chef-lieu, et affoulement de digues protégeant celui-ci.	Archives départementales, 20/05/1841
1er semestre	Crue de printemps	Pont traversant le Tuébi à Péone emporté, ainsi que quelques propriétés riveraines.	Archives départementales
28 av 1861	crue		RTM, 28/04/1861
11 juin 1863	Crue avec érosion de berges	Portion de digue emportée en rive gauche	RTM, 11/06/1863
26 oct 1886	Crue avec affoulement des berges	Digue rive gauche en amont du village détruite Guillaumes : Digue protégeant le chef-lieu détruite : village envahi par les eaux Route Guillaume-Péone coupée. Le Tuébi barre le cours du Var	RTM
année 1890	crue avec érosion de berges	Digue détruite sur 22m en rive gauche. Champs emportés	RTM
25 août 1892	Crue	La digue rive gauche du pont de Péone ainsi que les terrains qu'elle protégeait sont submergés.	Archives départementales, 10/1892
année 1898	Crue torrentielle avec affoulement des berges	Guillaumes : Bord de la D29 emporté	RTM
12 juin 1899	crue	Dommages à la RD29	RTM
1er Semestre 1900	Crue	Destruction d'une digue	RTM
20 mars 1917	crue, débit de 50 m3/s estimé à Guillaumes		Archives départementales
Décennie 1937	crue	Franchissement de la digue rive gauche en amont du village, champs envahis	RTM
03 août 1934	Crue du Tuébi, sans doute concomitante avec celle du Réal	Place du village recouverte de 2 m de matériaux	Archives départementales
année 1935	crue	Place du village recouverte par 1m d'eau	Bibliothèque
25 août 1935	crue		RTM
04 oct 1935	crue		RTM
28 août 1947	crue avec dépôt de matériaux et comblement du lit		RTM
22 août 1952	Crue du Tuébi avec lave torrentielle	Barrage n°1 emporté	RTM
année 1954	crue	Affoulement d'une partie de la digue protégeant le CD61. Passerelle hameau Beaumettes emportée	RTM
01 août 1954	Crue du Tuébi		RTM
14 juin 1957	crue		RTM
24 juil 1964	Crue	Contre barrage n°1 affouillé sur 1,5m de hauteur, des blocs d'environ 2m3 sont restés en suspension sur la cuvette	RTM
27 av 1966	crue avec formation d'un embâcle	1 ouvrage fissuré	RTM
2ème Semestre 1968	5 crues	Dégâts successifs aux ouvrages RTM	RTM
29 août 1968	crue	Affoulement du contre barrage F	RTM
01 nov 1968	crue torrentielle, avec chute de blocs anseelle	Comblement des fouilles du contre-barrage G. Chute de blocs sur la cuvette. Piste d'accès au chantier ensevelie	RTM
06 sept 1975	crue	Dégâts aux ouvrages RTM : Fouille de l'aile rive droite éboulée, et franges de fer tordues par le passage d'un bloc.	RTM
15 sept 1975	crue	Piste d'accès au barrage coupée et éboulée. Barrage en construction partiellement enfoui	RTM
année 1976	crue		RTM
29 août 1976	crue	Gué détruit. Piste endommagée	RTM
23 août 1978	crue	Fouilles comblées aux barrage B2	RTM
16 oct 1979	Crue torrentielle accompagnée d'un important transport de matériaux	Dégâts sur les ouvrages RTM : pierres de couronnement de cuvettes emportées, ailes en béton cassées, destruction de mur de soutènement de rive, affoulement important de berges avec risque de contournement de 2 barrages.	RTM
28 juin 1981	crue avec transports de blocs (lave torrentielle)		RTM
26 juil 1981	crue torrentielle avec lave	Le niveau du lit en amont du tunnel est monté. Aux barrages B1, D et E la lave a complètement utilisé la cuvette et a débordé	RTM
01 oct 1981	crue	Dépôt de matériaux dans le lit du torrent	RTM
11 juil 1983	crue avec lave torrentielle	Une dizaine de blocs de 1 à 2m3 se sont arrêtés sur la cuvette du barrage C1 et l'aile a été submergée par la lave. Au contre barrage D1, la pierre de couronnement a été enlevée. Au barrage D, la lave est passée sur l'aile rive droite.	RTM
19 sept 1984	crue avec érosion de berges	Ecroulement de la berge au barrage H	RTM
01 sept 1985	crue avec lave		RTM
01 juil 1986	crue avec lave torrentielle	Dégâts sur les ouvrages Gués impraticables. Les matériaux se sont déposés en aval du barrage A, jusqu'au pont de Péone	RTM
oct 1987	Crue du Tuébi		RTM
06 août 1988	crue avec érosion de berges et dépôt de matériaux (lave torrentielle)	Berge affouillée en rive gauche entre les barrages C' et D	RTM
août 1990	crue avec lave		RTM
1er Trimestre 1993	Crue torrentielle	Guillaumes : Village inondé.	RTM
01 juil 1993	crue		RTM
05 nov 1994	Crue avec érosion de berges et dépôt de matériaux	Affoulement de la chaussée en aval du chef-lieu. Dépôt de matériaux et embâcle au croisement Tuébi/Lavanche. Terrains emportés. Erosions de berges et dépôt de matériaux au niveau de "La Charrière" Entrée Est de Guillaumes D29. PK 0,2, 805m : RD 29 emportée sur 50m de long et 6m de hauteur. Parking communal partiellement emporté.	RTM
mai 1995	crue avec érosion de berges	Pré et chemin menant à "Farodet" dégradés. Affoulement du contre-barrage Y	RTM
août 1997	crue		RTM
10 juin 1998	Crue	Affoulement du contre-barrage Y	RTM
année 2002	Crue du Tuébi	Berge érodée en rive gauche en amont du tunnel	RTM
08 juil 2004	Crue torrentielle avec transport et accumulation de matériaux.	Passages à gué ensevelis. Importants dépôts de matériaux au niveau des Barrage F et Y.	RTM
26 juil 2006	Crue du Tuébi constatée vers 18h00 au pont de Guillaumes.	Guillaumes : Radier du Pont de plus en plus érodé au niveau des joints de l'enrochement bétonné.	RTM
24 sept 2006	Crue du Tuébi et érosion de berge rive droite constatée à Guillaumes	Passage à gué dans le cours du Tuébi impraticables. Guillaumes : Incision de 2 à 5 m en crête de la berge droite en bordure de la RD29 dans les remblais non	RTM
12 juil 2008	Crue torrentielle avec lave. Un événement semblable -lave?- d'une moindre intensité avait déjà eu lieu le 6 Juillet.	Gros blocs en transit sur la cuvette du barrage F Guillaumes : Le lit en amont du pont de Guillaumes a été plaqué d'une couche de marnes noires .	RTM
30 juil 2009	Lave torrentielle	les passages à gué ont été temporairement obstrués	RTM
08 juil 2004	Crue torrentielle avec transport et accumulation de matériaux.	Passages à gué ensevelis. Importants dépôts de matériaux au niveau des Barrage F et Y.	RTM

33

Journées de la commission hydrosystèmes continentaux du CNFG – juillet 2023

Division Domaniale de Péone – Torrents du Tuebi et du Réal – Etude de bassin de risques

Synthèse des crues du torrent du Réal

 Dégât(s) sur les enjeux ou sur leurs protections rapprochées
 Dégât(s) sur les ouvrages RTM dans le lit

Date	Description phénomène	Dégâts	Source
Année 1882	Crue	Terrains appartenant à 4 propriétaires recouverts de graviers, quartier de la Charière et de Chardonier	Archives départementales
Année 1897	Crués	Matériaux déposés sur les terrains précédemment submergés et submergeant d'autres et ravinant ceux qui se trouvent à l'amont. Les berges du Réal se sont considérablement élargies.	Archives départementales
Année 1898	Crue	Dépôts de matériaux sur les terrains précédemment submergés et d'autres terrains submergés.. Terrains en amont ravinés. Berges du torrent considérablement élargies.	Archives départementales
23 sept 1920	crue avec lave torrentielle	prairies inondées	RTM
nov 1926	crue	prairies inondées	RTM
05 nov 1934	Crue	Destruction du barrage n°5 en fin de construction	Archives
09 juil 1935	Petite crue		RTM
27 août 1935	crue	Creusement au milieu du lit	RTM
10 sept 1935	crue	Remplissage des fouilles d'un barrage en construction	RTM
05 oct 1935	crue	Barrage n°5 recouvert de 1m de graviers	RTM
06 janv 1936	crue faible	Quelques dégâts au barrage n°5	RTM
04 juin 1937	Succession de crues en 1937, la plus notable a lieu à la date indiquée	Fouille et parement barrages RTM emportées Remplissage des fouilles pendant la construction du barrage n°1	RTM
21 mai 1938	crue	accumulation de matériaux entre les barrages n°4 et 5	RTM
09 sept 1938	Crue du Real	Dégâts aux ouvrages.	RTM
30 sept 1938	crue avec érosion de berges	Éboulement de la berge en rive droite, au niveau du barrage 5, dont une partie de l'aile est menacée.	RTM
26 juin 1941	petite crue	Plusieurs parements sont emportés.	RTM
28 août 1947	Crue avec dépôt de matériaux, comblement du lit		RTM
14 juil 1959	crue	Dégâts sur les constructions des barrages	RTM
29 août 1968	crue	Dégâts sur contre barrage et gabions. Passage à gué impraticable	RTM
03 juin 1971	Crue torrentielle du Réal avec coulée de boue Obstruction du lit principal du torrent par les matériaux déposés. Débordement des eaux sur la rive gauche en creusant un nouveau lit dans la propriété voisine.	Dépôt de matériaux sur le radier. Débordement rive gauche dans une propriété voisine. Route coupée	RTM
août 1976	crués	Fouilles aux ouvrages RTM comblées par laves et matériaux	RTM
29 août 1976	Crue avec lave torrentielle	Ouvrages RTM endommagés : lers détruits, coffrage emporté	RTM
sept 1976	3 crues	Comblements et dégâts aux ouvrages RTM	RTM
oct 1976	crue		RTM
14 mai 1988	crue avec dépôt de matériaux	Le gué est impraticable	RTM
11 juil 1989	Crue avec lave	Comblement du passage sous la passerelle à l'aval du passage à gué de la piste des Chardonniers par la lave	RTM
17 oct 1994	crue avec lave	Engrèvement du passage à gué sur la route d'Alliège	RTM
20 oct 1994	crue	Engrèvement du passage à gué sur la route d'Alliège	RTM
08 juil 2004	Crue torrentielle avec transport et accumulation de matériaux.	Passage à gué du radier N° 0 enseveli. Accumulation de matériaux à l'amont du radier en rive gauche.	RTM
29 juin 2009	Lave torrentielle mineure, charriage de blocs maxi 0,5 m3	Passage à gué obstrué	RTM
23 août 2009	Lave torrentielle d'intensité	Passage à gué obstrué	Particulier
29 avr 2013	Crue du Réal avec débordement	creusement dans le pré en rive gauche. Route d'Alliège et chemin d'accès à la maison engravés	RTM

Synthèse des crues des autres affluents

 Dégât(s) sur les enjeux ou sur leurs protections rapprochées
 Dégât(s) sur les ouvrages RTM dans le lit

Date	Site	Description phénomène	Dégâts	Source
05 nov 1994	Vallon de la Lavanche	crue avec érosion de berges	Erosion de berges sur 100m. Portion de pré emporté en rive gauche	RTM06
08 juil 2004	Vallon de la Lavanche	Crue du Finier	Dépôt de matériaux sur le passage à gué.	RTM06
19 juin 2005	Vallon de Juge	Crue torrentielle et débordement du ravin de Juge sur la route RD 61.	Accumulation de matériaux sur la chaussée liée au débordement du vallon au niveau du franchissement sous la route. Fermeture temporaire de la route.	Media/Presse (Nice Matin) /RTM Événement recueilli au cours de l'enquête PPR

13 juillet matin : Péone

Frédéric Liébault (Inrae Grenoble) : Géomorphologie torrentielle, crues éclair dans le Réal et dynamiques de versant

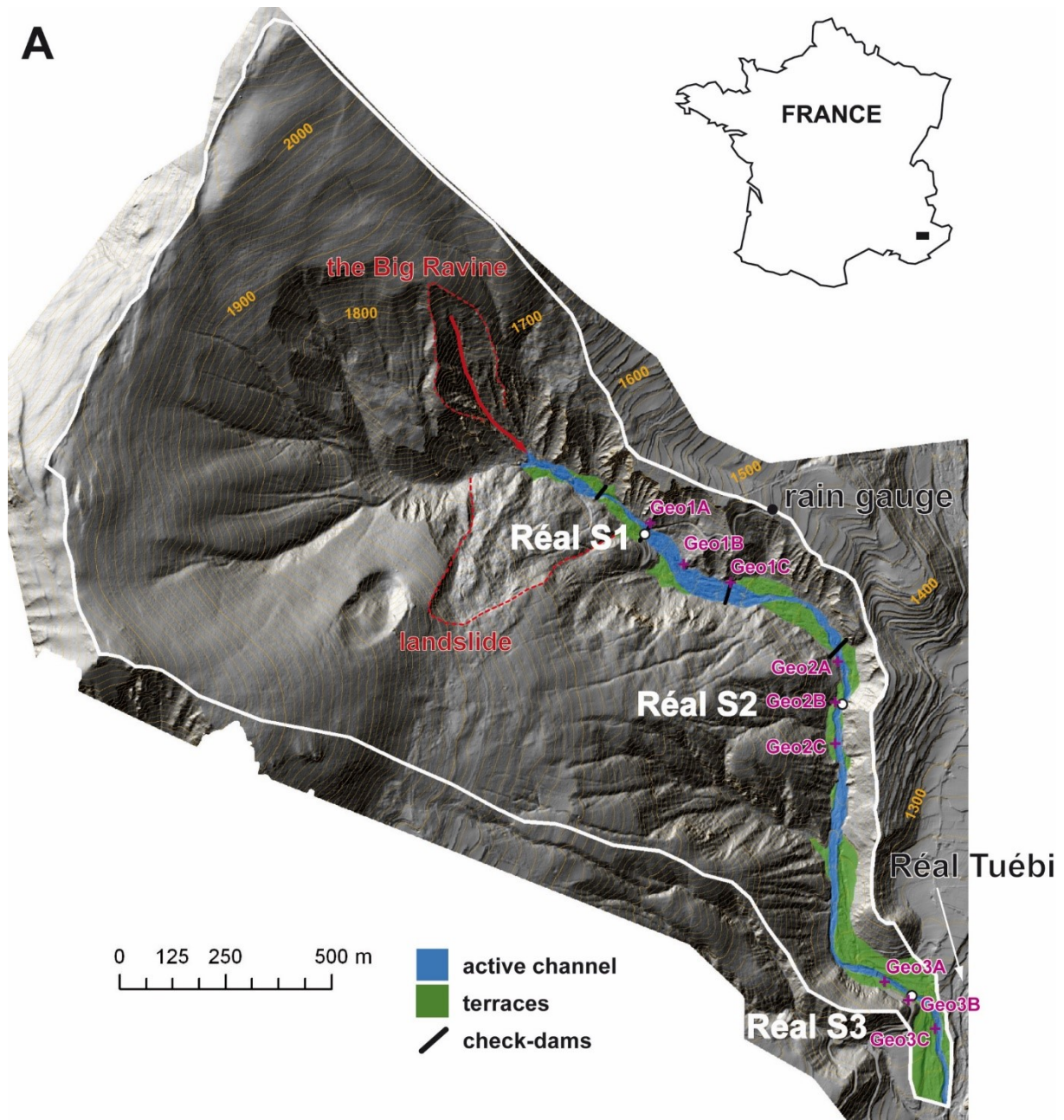


Figure 8. Dispositif expérimental pour le suivi des crues torrentielles du bassin versant du Réal (source : Navratil et al., 2013)

Table 1

Main features of the monitoring stations.

Station ID	Drainage area (A_d , km ²)	Elevation (m)	Melton index (R) ^a	Eroded area (%) ^b	Channel slope (s)
Réal S1	1.3	1450	0.52	30	0.195
Réal S2	1.7	1340	0.54	20	0.123
Réal S3	2.0	1254	0.56	18	0.095

^a $R = (\text{maximum basin elevation} - \text{minimum basin elevation}) / A_d^{0.5}$.

^b Remaining % corresponds to vegetated area.

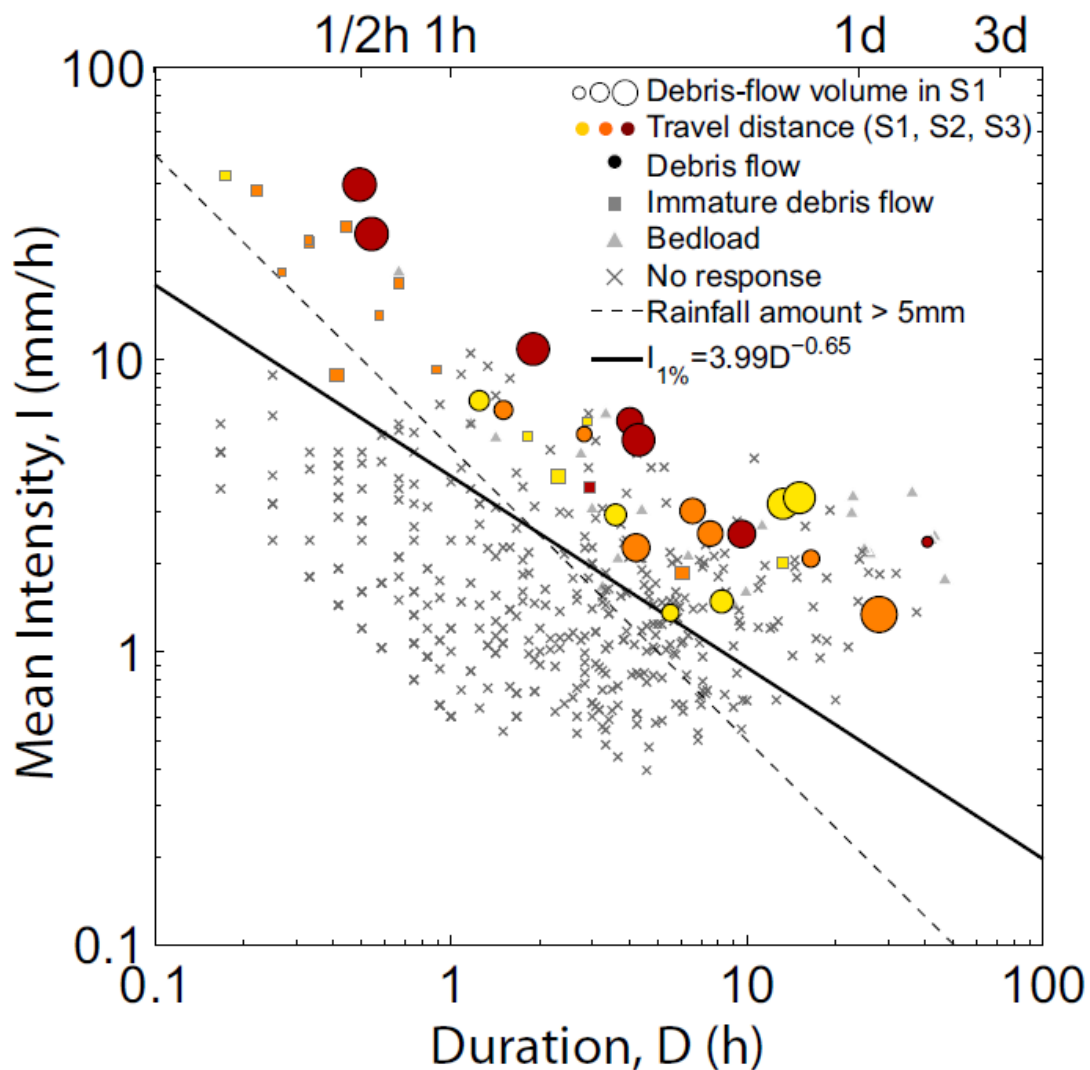
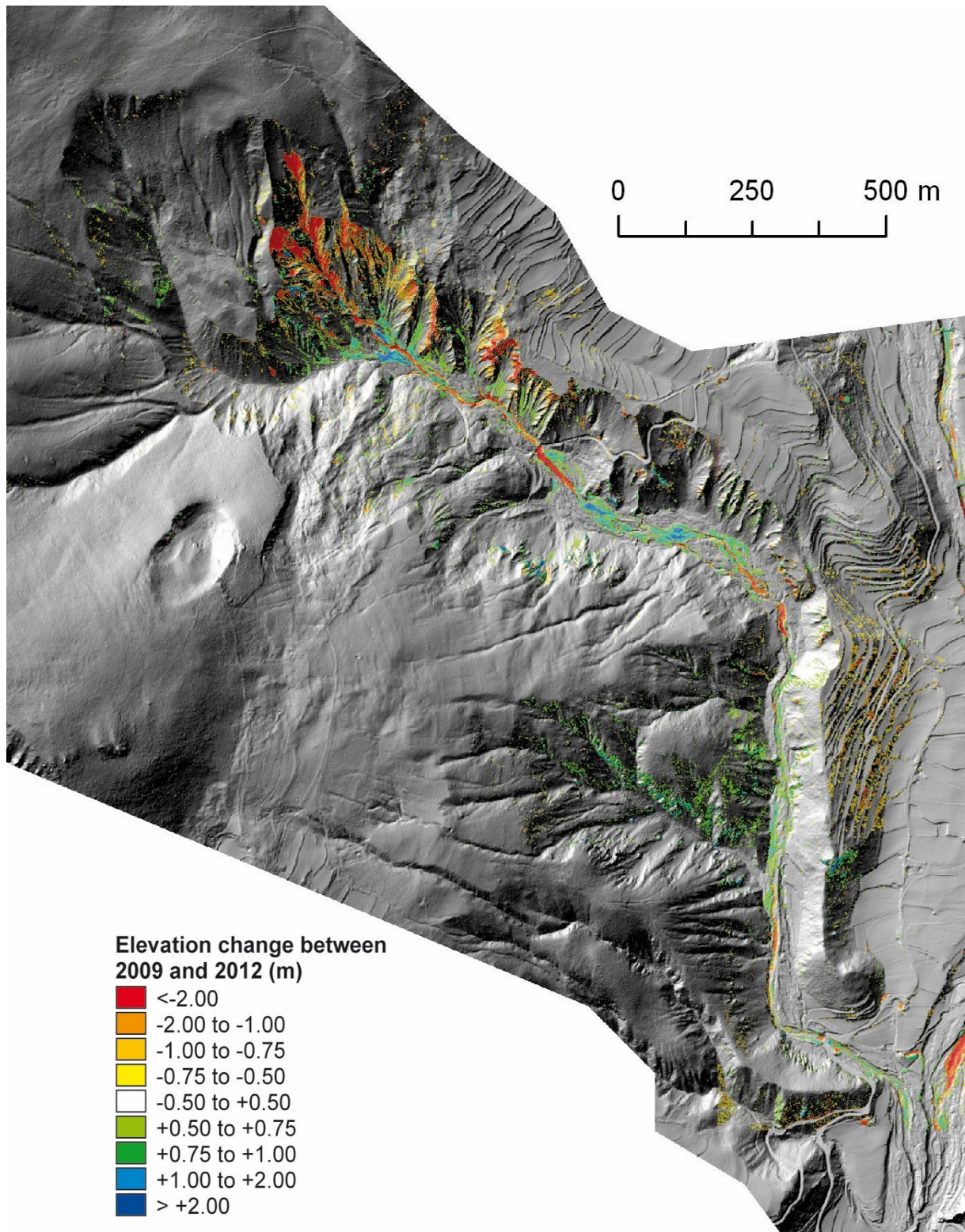


Fig. 7. Minimum ID threshold for the Réal Torrent in the initiation zone using data from 2011 to 2014 ($MDRI$: 3 h; resolution: 5 min; rainfalls before the main surge passage at the S1 station). The debris-flow magnitude is represented by (i) the debris-flow volume measured at the S1 station (size of the dot) and (ii) the travel distance to the farthest station reached (color of the dot).

Source : Bel et al., 2017



Big Ravine: 280 000 t/km²/yr (14 cm/yr)

Réal catchment: 7800 t/km²/yr (0.23 cm/yr)

Figure 9. Différentiel LiDAR 2009-2012 du bassin versant du Réal (Liébault, 2017)

13 juillet matin : gorges de Daluis

Margot Chapuis (UCA-ESPACE) : Enjeux de gestion des rivières en tresses



Outils d'évaluation de l'état de santé des hydrosystèmes en tresses restaurés

Lise DEVREUX

16 mars 2023 – IMREDD

Université Côte d'Azur

Thèse de doctorat soutenue publiquement pour obtenir le grade de Docteur
de l'Université Côte d'Azur
Doctorat en Géographie et Aménagement

Membres du jury :

Mme Emmanuèle GAUTIER

M. Jean-Nicolas BEISEL

M. Jérémie RIQUIER

Mme Núria BONADA

M. Dennis FOX

Mme Margot CHAPUIS

Mme Barbara BELLETTI

Professeure des universités, Université Paris 1

Professeur des universités, Université de Strasbourg

Maître de conférence, Université Jean Monnet

Associate professor, Universitat de Barcelona

Professeur des universités, Université Côte d'Azur

Maître de conférences, Université Côte d'Azur

Chercheuse post-doc, Université de Lyon

Rapportrice

Rapporteur

Examineur

Examinatrice

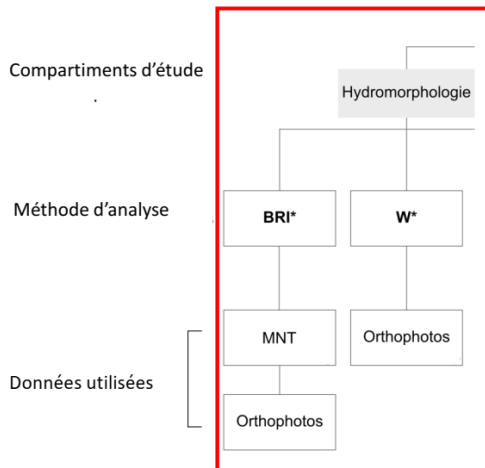
Directeur

Co-directrice

Co-encadrante

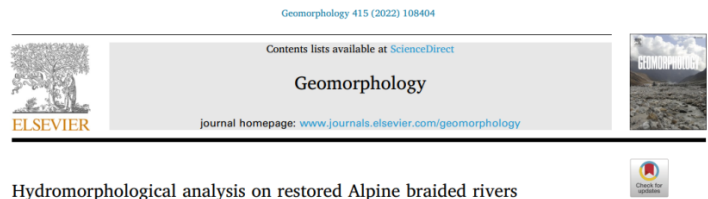


➤ L'évolution de la morphologie suite à des opérations de restauration



Tester l'application d'indicateurs existants dans le contexte de la **restauration** et sur des rivières en tresses fortement **anthropisées**

Évaluer les opérations de restauration, via ces indicateurs, sur la morphologie en tresses



Hydromorphological analysis on restored Alpine braided rivers

Lise Devreux^{a,*}, Margot Chapuis^b, Barbara Belletti^b

^a University of Côte d'Azur, CNRS, ESPACE, 98 bd Edouard Bellet, 06 204 Nice Cedex 3, France
^b University of Lyon, UMR 5600 CNRS EVS, Ecole Normale Supérieure de Lyon, Lyon, France

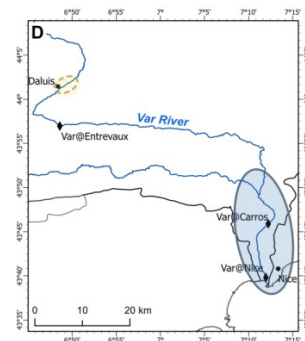
Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

22/50



❖ La restauration du Var

- Basse vallée du Var :
 - Endigué sur les deux berges
 - Extraction de granulats (~50 Mm³, 1940-1980)
 - Incision (jusqu'à 8 m)
 - 11 seuils tous les 1 km (1970-80)
 - 2 seuils détruits en 1994 (Q50-Q100)
- Restauration :
 - 3 seuils abaissés entre 2009 et 2018



Tronçon cible (Daluis)



Tronçon restauré (basse vallée) et exemple de seuil

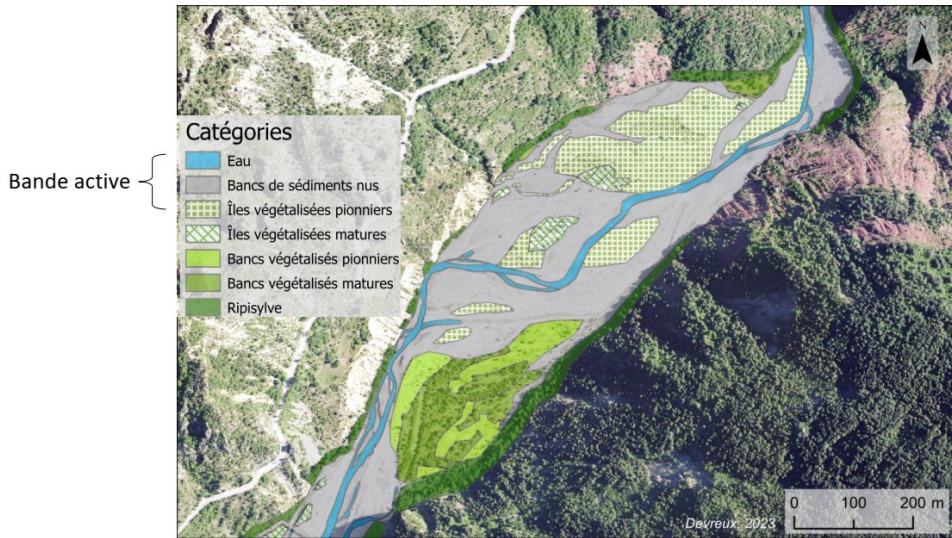
Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

23/50



❖ Création des données

- Numérisation de la **mosaïque paysagère**
- **Avant et après** restauration
- Sur le tronçon **restauré et cible**



Tronçon cible du Var (Daluis) en 2012 (© IGN)

Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

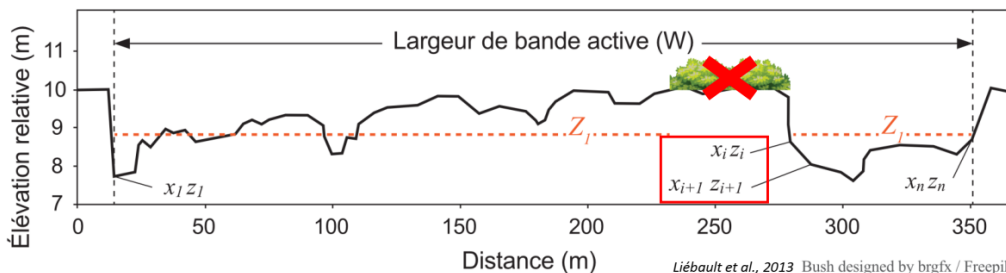
24/50



❖ Application des indicateurs morphométriques

p.125

- **W*** (Piégay et al., 2009 ; Terrier et al., 2019) :
 - Activité du tressage et connectivité sédimentaire depuis l'amont
 - Largeur de bande active normalisée par la superficie du bassin versant
 - Valeur seuil : tressage peu actif < 10 < tressage actif
$$W^* = \frac{\text{largeur de bande active}}{\text{superficie BV}^{0,44}}$$
- **BRI*** (Liébault et al., 2013 ; Terrier et al., 2019) :
 - Indicateur de **rugosité altimétrique** et intensité du tressage
 - Données **altimétriques** sur la bande active
 - Valeur seuil : capacité de transport limitée < 0,004 < limitation en fourniture sédimentaire
$$BRI = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - Z)^2 \right]^{0,5} \quad BRI^* = \frac{BRI}{x_n - x_1}$$



Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

Liébault et al., 2013 Bush designed by bgrfx / Freepik

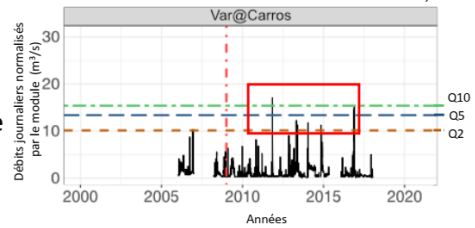
25/50



Devreux et al., 2022

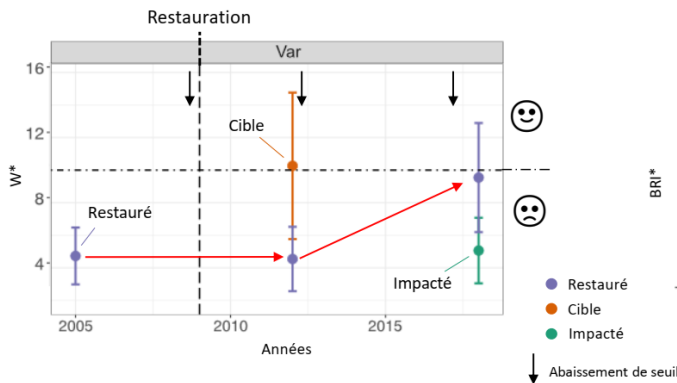
❖ Indicateurs morphométriques moyens

- Occurrence de crues morphogènes
- Amélioration progressive des indicateurs → morphologie
- **Amélioration plus rapide et plus durable du tressage**
- 📐 Sensibilité des indicateurs à la restauration



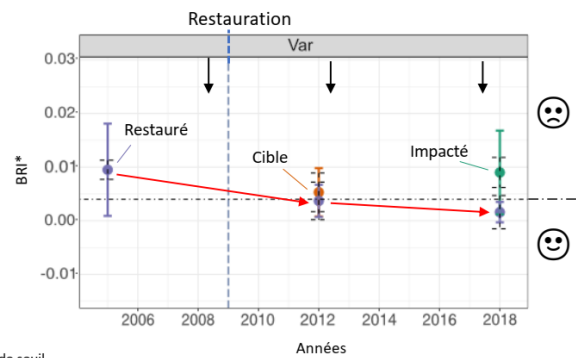
• **W***

- Augmentation continue → seuil
- Tronçon cible à la limite



• **BRI***

- Diminution continue → seuil
- Tronçon cible à la limite
- Diminution des écarts-types



Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

Propagation des erreurs

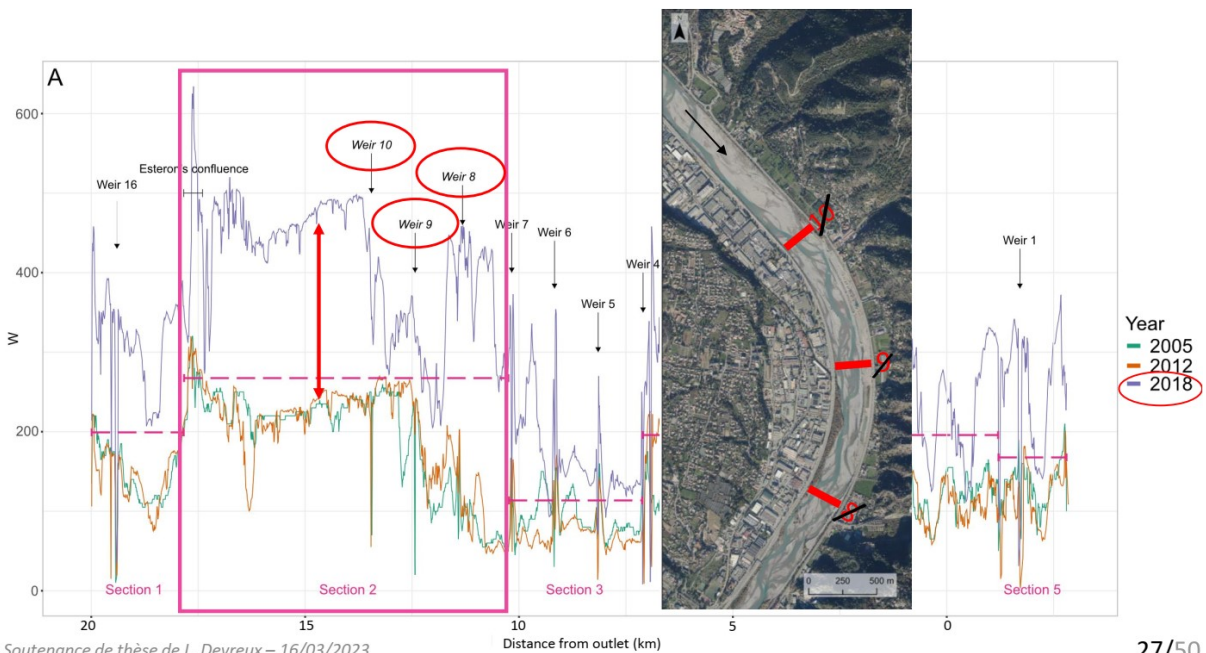
26/50



Devreux et al., 2022

❖ Indicateurs morphométriques – analyse longitudinale

- Évolution longitudinale progressive au fur et à mesure des abaissements de seuils
- Bande active **plus large** et morphologie en tresses sur certaines sections



Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

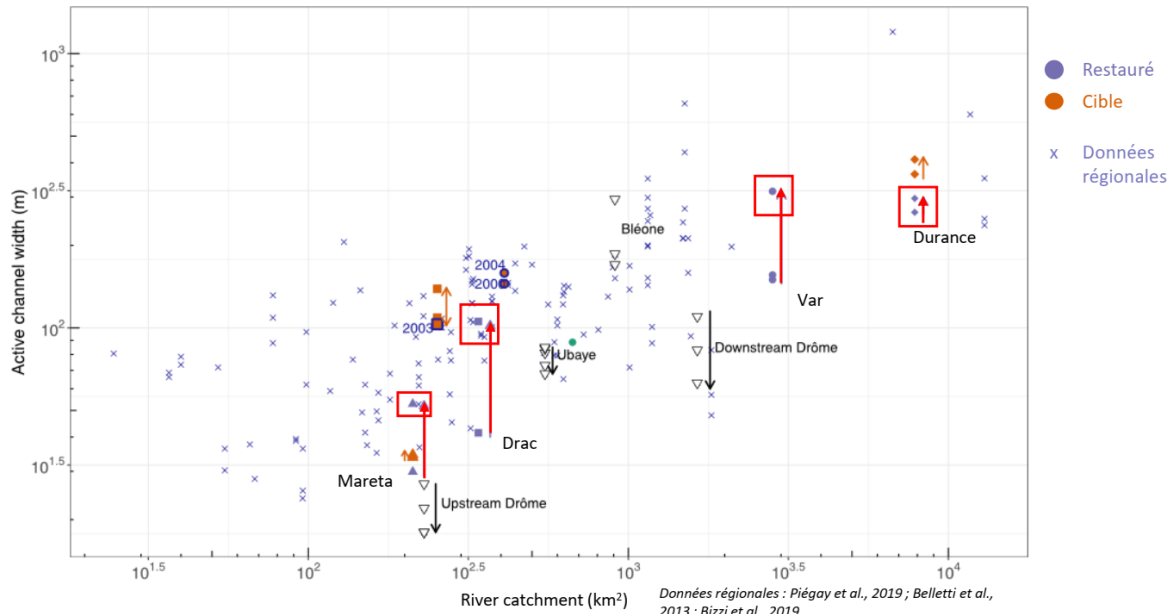
27/50



Devreux et al., 2022

❖ Cadre régional de la largeur de bande active (W)

- Tronçons avant restauration : en bas de l'enveloppe régionale
- **Après restauration** : position **centrale** dans l'enveloppe régionale
- → **Amélioration de la largeur de bande active**



Soutenance de thèse de L. Devreux – 16/03/2023

Données régionales : Piégay et al., 2019 ; Belletti et al., 2013 ; Bizzi et al., 2019

28/50

Référence Bibliographiques

Andrieu J., Lombard F., Vignal M., Godron M., Alexandre F. 2020. A phyto-climatic transect in the Alpes Maritimes used to characterize the northern limit of the Mediterranean biogeographical area. *Biodiversity Journal*, 11 (3), pp.679-688.

Bel, C., Liébault, F., Bellot, H., Fontaine, F., Eckert, N., Navratil, O., Laigle, D., 2017. Rainfall control of debris-flow triggering in the Réal Torrent, Southern French Prealps. *Geomorphology* 291, 17-32.

Boillat S., Burga CA., Gigon A., Backhaus N. 2004. La succession végétale sur les cultures en terrasses de la Vallée de la Roya (Alpes-Maritimes, France) et sa perception par la population locale. *Geographica Helvetica*, 59, pp. 154-167.

Boucefiane A., Meddi M., Laborde J.P., Eslamian S., 2014 : Rainfall frequency analysis using extreme values distributions in the steppe region of Western Algeria. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, vol. 4, n° 4, p 348-367

Carrega P., 1995 : Les précipitations et la situation météorologique responsables de la crue exceptionnelle du Var, le 5 novembre 1994. *Nimbus*, n° 6-7, p. 68-73.

Carrega P., Michelot N., 2021 : Une catastrophe hors norme d'origine météorologique le 2 octobre 2020 dans les montagnes des Alpes-Maritimes. *Physio-Géo*, vol.16/varia2021, 70 pages. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.12370>

Chochon R., Martin N., Lebourg T., Vidal M., 2022 : Analysis of Extreme Precipitation During the Mediterranean Event Associated with the Alex Storm in The Alpes-Maritimes: Atmospheric Mechanisms and Resulting Rainfall. *Advances in Hydroinformatics*. 22p.

https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-1600-7_26

- Liébault, F., 2017. Geomorphology and sediment transport of alpine fluvial systems: from steep-slope torrents to piedmont gravel-bed rivers. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Grenoble Alpes, 151 pp.
- Liébault F, Melun G, Piton G, Chapuis M, Passy P, Tacon S. in prep. Channel change during catastrophic flood: example of storm Alex in the Vésubie and Roya valleys. *Geomorphology* (10th IAG Coimbra, Fluvial Geomorphology Special Issue).
- Liébault F, Piton G, Melun G, Chapuis M, Passy P, 2022. Channel change during catastrophic flood: example of the Alex storm in the Vésubie valley. 10th IAG International Conference on *Geomorphology*, Coimbra, Portugal, 12–16 September (oral communication).
- Liébault F, Piton G, Tacon S, 2023. Métamorphose fluviale et bilan sédimentaire de la Vésubie lors de la Tempête Alex. *Conférence Finale du Projet Interreg Alcotra RITA*, Aoste, Italie, 25 mai 2023 (communication orale). https://www.regione.vda.it/territorio/territorio/dighe/progrita_i.aspx
- Vautard R., Yiou P., Van Oldenborgh G.J., Lenderink G., Thao S., Ribes A., Planton S., Dubuisson B., Soubeyroux J.M., 2015 : Extreme fall 2014 precipitation in the Cévennes mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 96, n° 12, p. S56-S60.
- Vignal M. 2020. L'impact du changement global sur la flore du Sud-Est de la France. *Modélisation multiscalaire de la répartition de 25 espèces à l'horizon 2100 par la dynamique de population*. Thèse de Doctorat de l'Université Côte d'Azur, UMR CNRS 7300 ESPACE, 474p.