

# Transferts sédimentaires dans un bassin versant à régime montagnard sous influence méditerranéenne (Roya, Alpes-Maritimes, France) : modélisation conceptuelle en contexte de changement climatique

Margot CHAPUIS, Cyriel ADNÈS

UNIVERSITÉ  
CÔTE D'AZUR



<http://f.hikc.org/files/2472351>

Financements:



Interreg  
ALCOTRA  
Fonds européen de développement régional  
Fondo europeo di sviluppo regionale

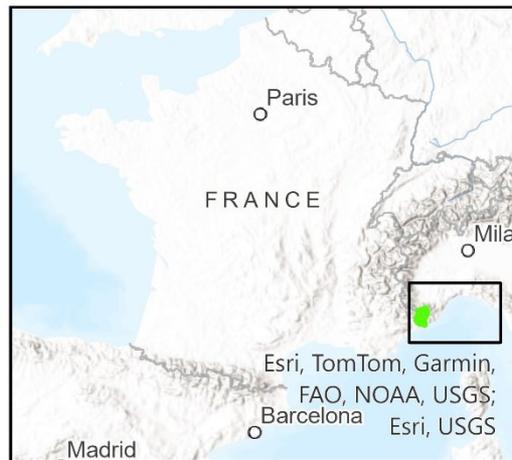


# A. Contexte et objectifs

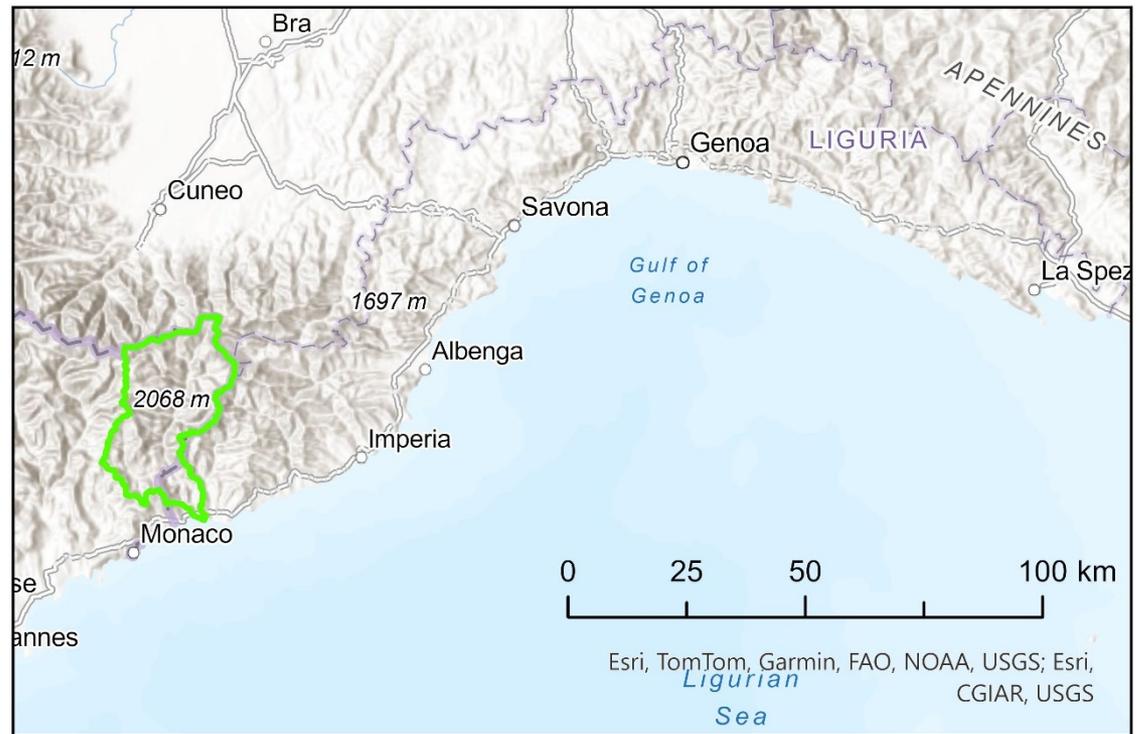
- BV de la Riviera méditerranéenne:
  - Crues à cinétique rapide
  - Forte variabilité hydrologique
  - Forte mobilité du lit (verticale + latérale dans les secteurs hors gorges)
- Cas d'étude: la Roya
  - Fonctionnement hydro-sédimentaire actuel et historique
  - Connectivité sédimentaire

## Riviera Méditerranéenne

■ La Roya



M. Chapuis, Jan. 2024.



## B. Sites d'étude et méthodologie

Martins, 2021



La Roya à Lamberta (Italie), le 27/03/2018

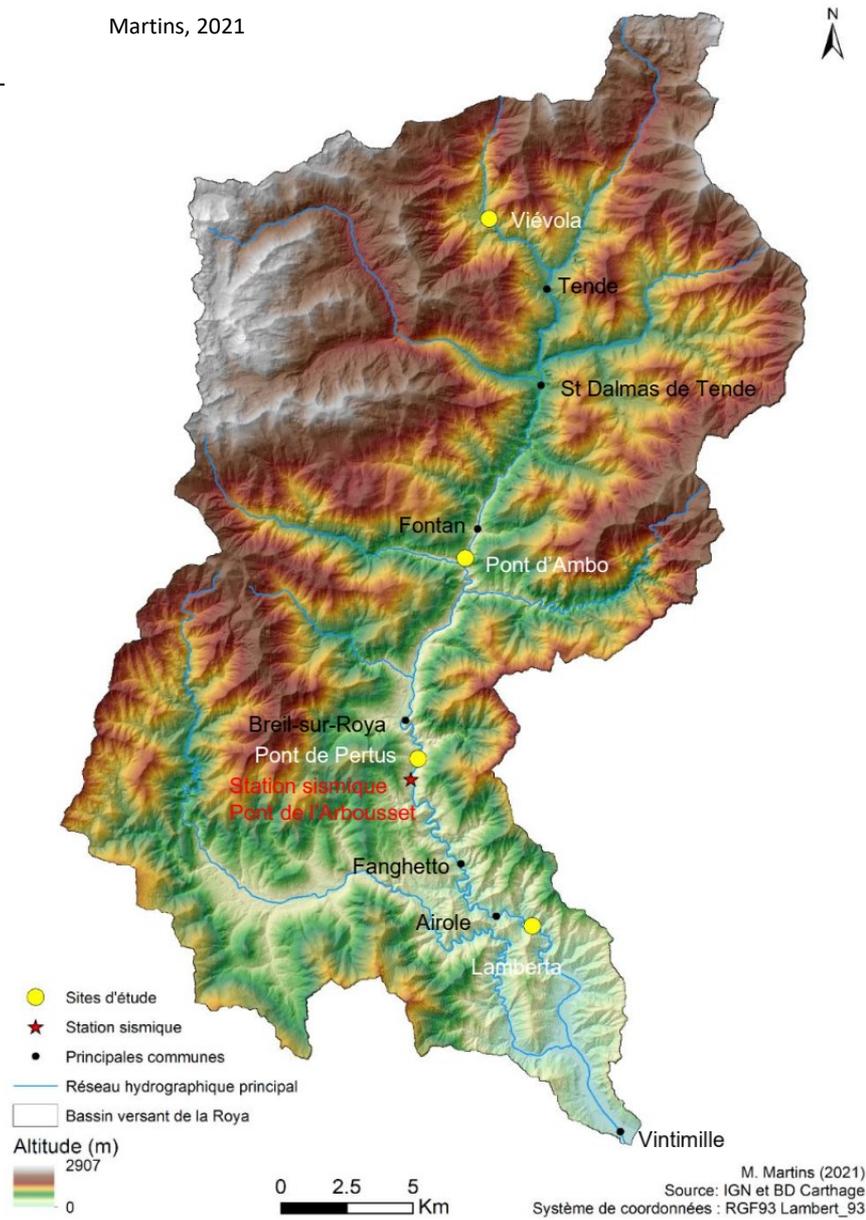


Figure 11 : Localisation des sites d'étude

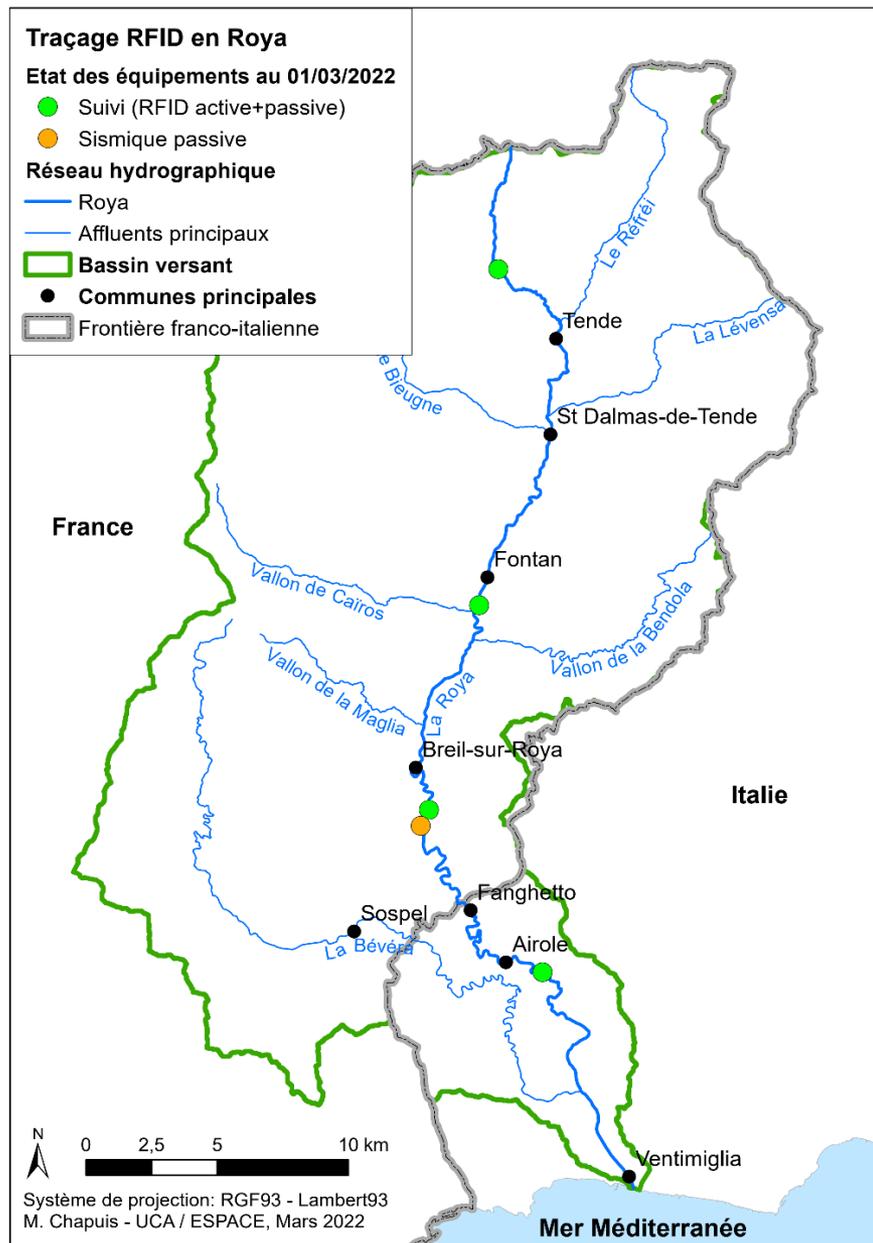
## B. Sites d'étude et méthodologie

- Suivi pluri-annuel 2016-2023

Objectif	Protocole mis en œuvre
Caractériser l'évolution historique des zones sources de sédiments sur le bassin versant	Recalage du profil des Grandes Forces Hydrauliques, extraction semi-automatisée de données aériennes anciennes et reconnaissances de terrain
Évaluer les flux sédimentaires grossiers dans le chenal	Traçage sédimentaire par RFID passive et RFID active, sismique passive
Connectivité sédimentaire à l'échelle du BV	Modélisation conceptuelle



Voir RETEX ALEX de la DDTM 06, volet torrentiel (RTM 06 et Inrae)  
<https://drive.google.com/drive/folders/1nzwplHXasGfr4FF5W8hFpQkrPEMmCK1E?usp=sharing>



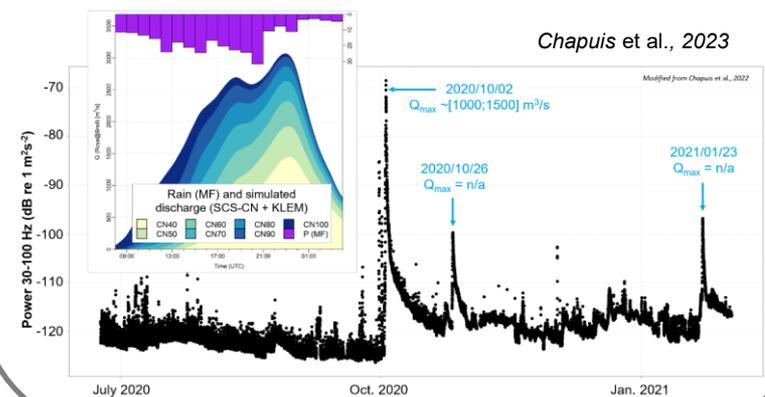
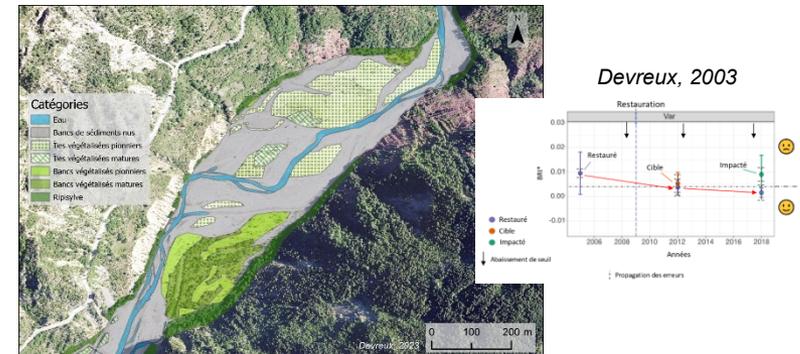
## B. Sites d'étude et méthodologie

- Grande variabilité des échelles spatiales et temporelles  
→ pluralité d'outils, issus de disciplines différentes

Instrumentation de terrain:  
traçage sédimentaire RFID,  
sismique passive, topographie,  
échantillonnages...



Programmation,  
modélisation, SIG

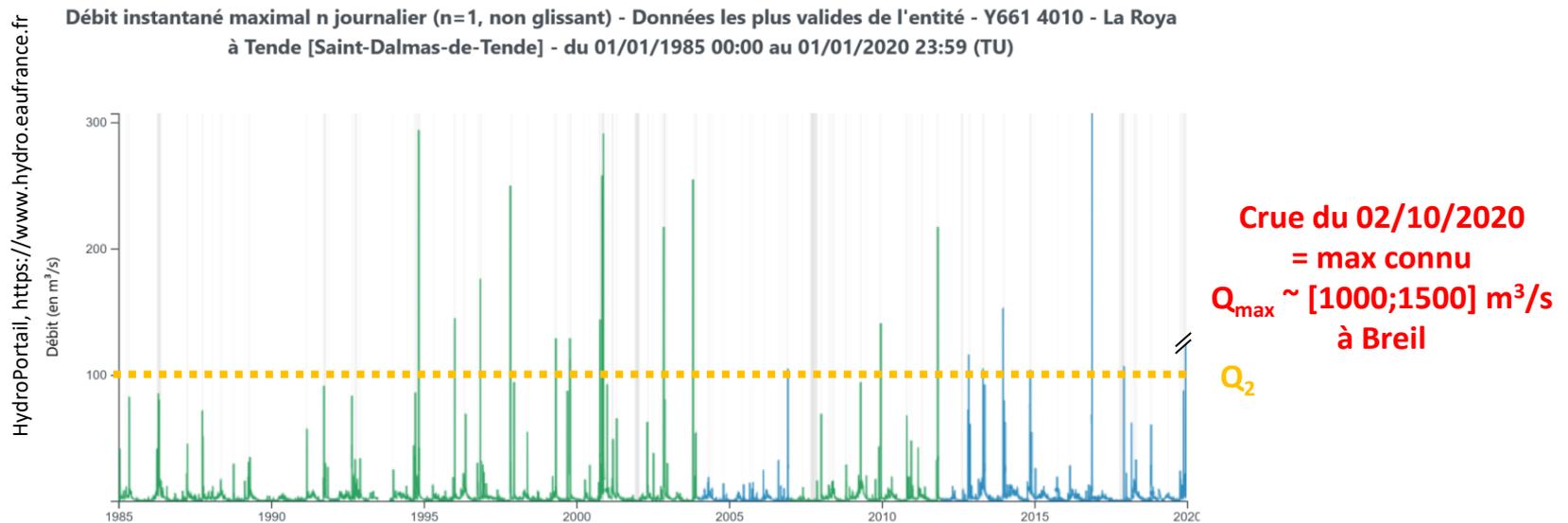


## B. Sites d'étude et méthodologie

- Une hydrologie contrastée: régime méditerranéen qui génère des crues éclair
- Un événement de **période de retour > 1000 ans** le 02 oct. 2020 = max connu

### References

- CEREMA, 2021. Rapport technique sur la crue du 02 oct. 2020. Expertise hydrologique.
- Brigode *et al.*, 2021. *LHB, Taylor & Francis*, DOI: [10.1080/27678490.2021.1976600](https://doi.org/10.1080/27678490.2021.1976600)
- Payrastre *et al.*, 2022. *LHB, Taylor & Francis*, DOI: [10.1080/27678490.2022.2082891](https://doi.org/10.1080/27678490.2022.2082891)



## Débit instantané maximal à St Dalmas-de-Tende (1985-2020)

## C. Résultats du traçage sédimentaire par RFID

- Crues ordinaires: une structuration des déplacements par les blocs hérités, et dans une moindre mesure par les macroformes

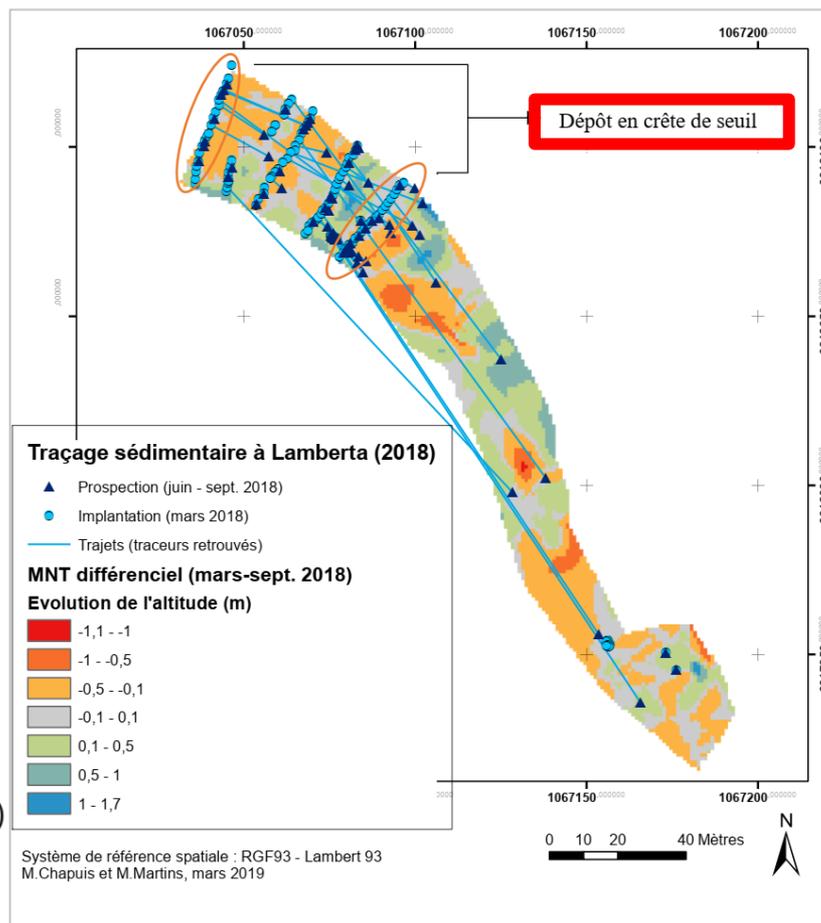
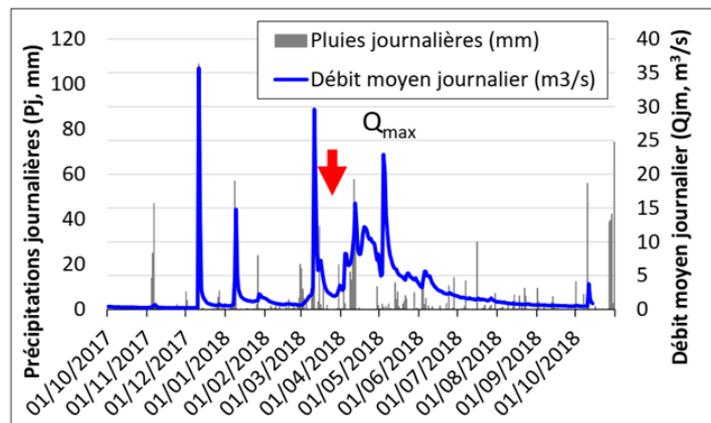
### Campagne de 2018 - Lamberta

Hydrologie complexe au printemps 2018:

crue longue avec pics multiples

$Q_{max} \sim 63 \text{ m}^3/\text{s}$  à Breil le 04/05/2018

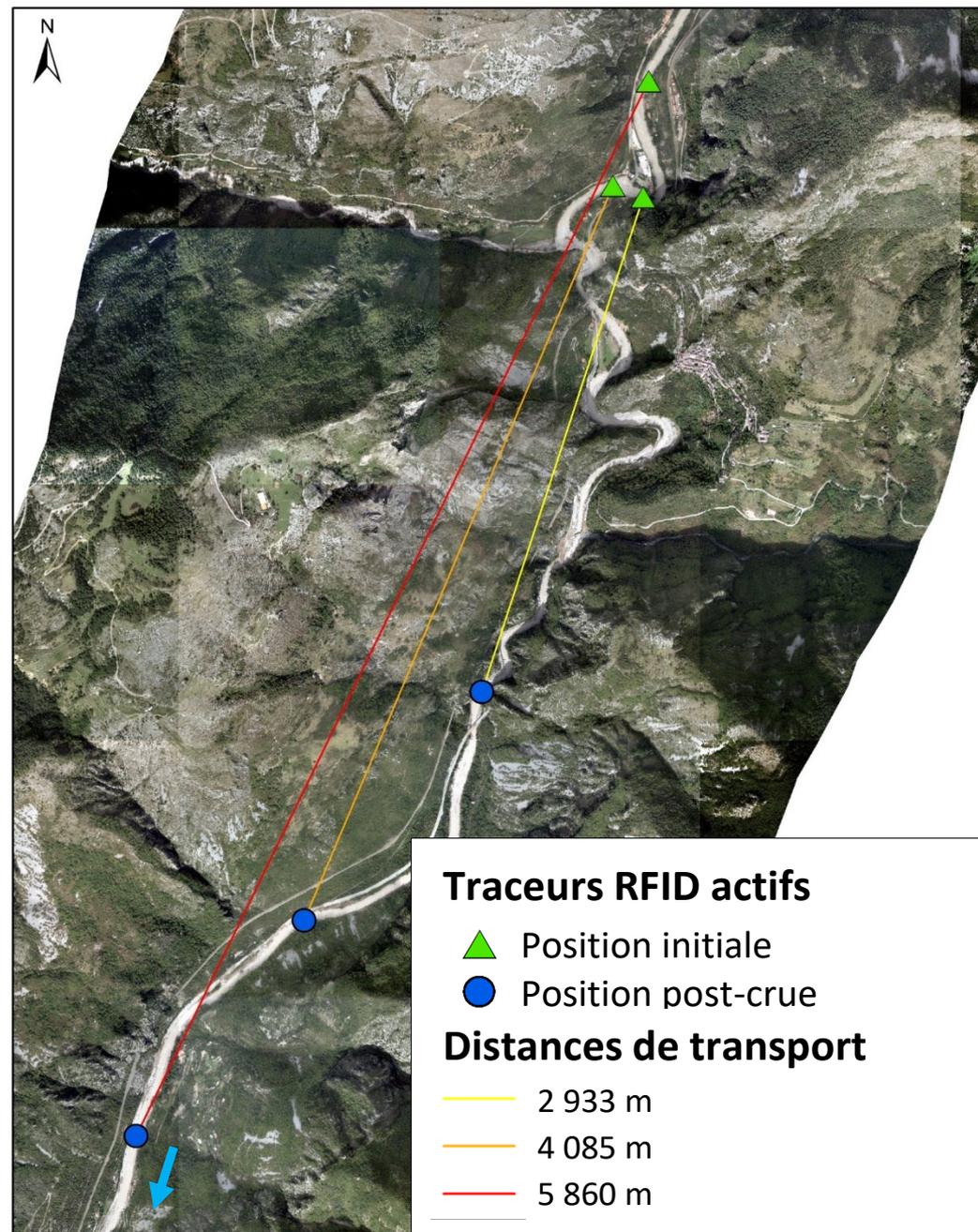
Avril-mai:  $Q_{max} \gg \tau_{crit} \rightarrow$  traceurs mobilisés



## C. Résultats du traçage sédimentaire

- Crue du 02 Oct. 2020

**Un (très) faible taux de retour, mais tout de même 4 traceurs retrouvés après une crue de période de retour > 600 ans !**



## C. Résultats du traçage sédimentaire par RFID

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

Année de suivi	2019	2020	2021	2022
Q <sub>max</sub> à Breil (m <sup>3</sup> /s)	133	140	[1000;1500]	n.r.
Nb de traceurs retrouvés	17	16	4	22
Dist. de transport max (m)				272
Ambo/Fontan	240	632	5860	4273
Pertus	166	50	-	57
Lamberta	-	2875	474	403

**Une augmentation de la mobilité sédimentaire post-crue, suite à la métamorphose fluviale qui a rompu le pavage du lit**

### Passif

Année campagne	Site	2019	2020	2021
Q <sub>max</sub> à Breil (m <sup>3</sup> /s)		133	140	[1000;1500]
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

# C. Résultats du traçage sédimentaire par RFID

- Retour sur l'épisode ALEX du 02 Oct. 2020

## Métamorphose fluviale et explosion de la largeur de bande active (> x2)

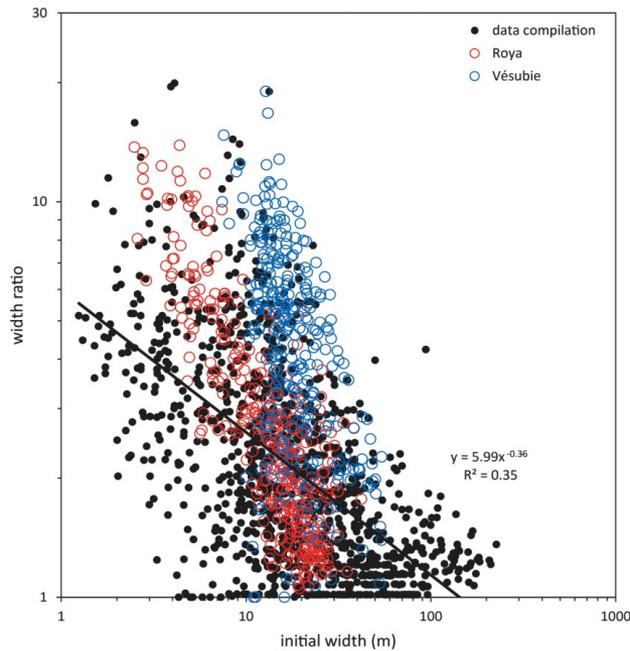


Channel change during catastrophic flood: Example of Storm Alex in the Vésubie and Roya valleys

Frédéric Liébault <sup>a,\*</sup>, Gabriel Melun <sup>b</sup>, Guillaume Piton <sup>c</sup>, Margot Chapuis <sup>d</sup>, Paul Passy <sup>e</sup>, Sandrine Tacon <sup>f</sup>

F. Liébault et al.

Geomorphology 446 (2024) 109008



F. Liébault et al.

Geomorphology 446 (2024) 109008

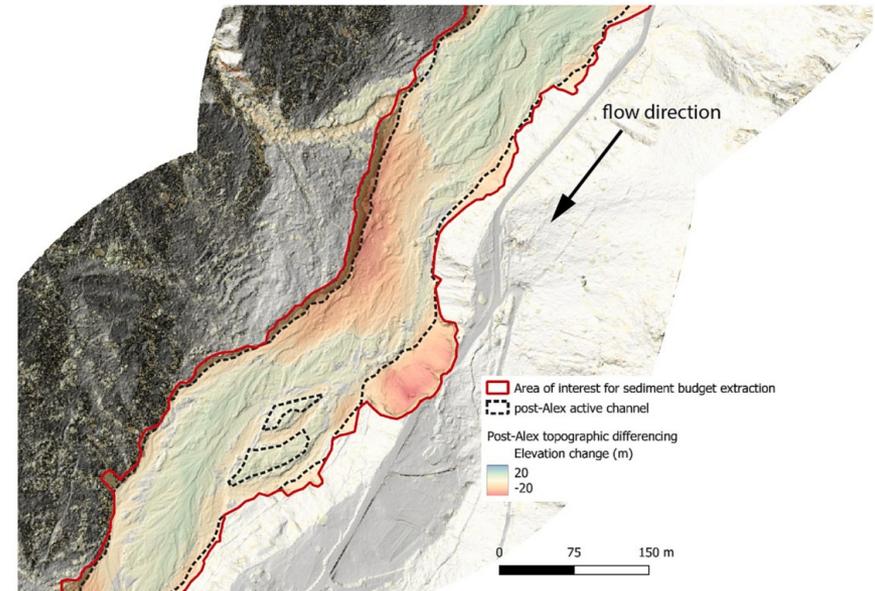
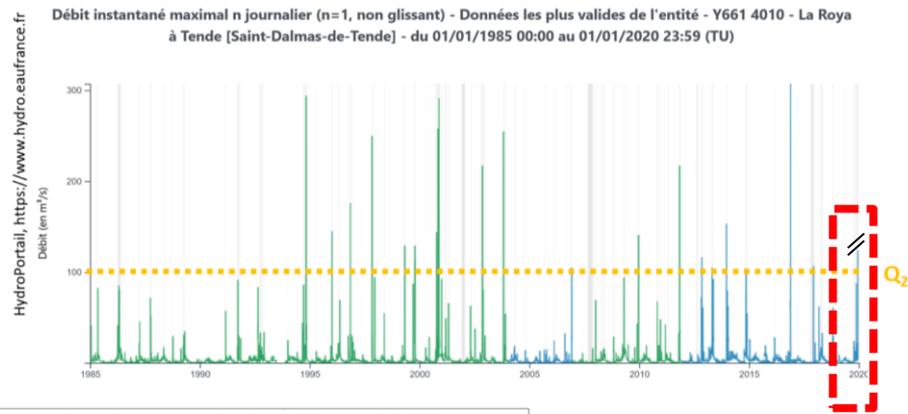


Fig. 8. Example of area of interest used for extracting post-Alex erosion and deposition volumes along mainstems; this area is not limited to the post-Alex active channel, as it also includes active parts of the valley floor which can be easily detected from the post-Alex DoD; in this example, lateral sediment supply from bank erosion of an alluvial fan on the right bank, and of an old alluvial terrace on the left bank, are clearly visible; background: hillshade view of the 2020 LIDAR DEM.

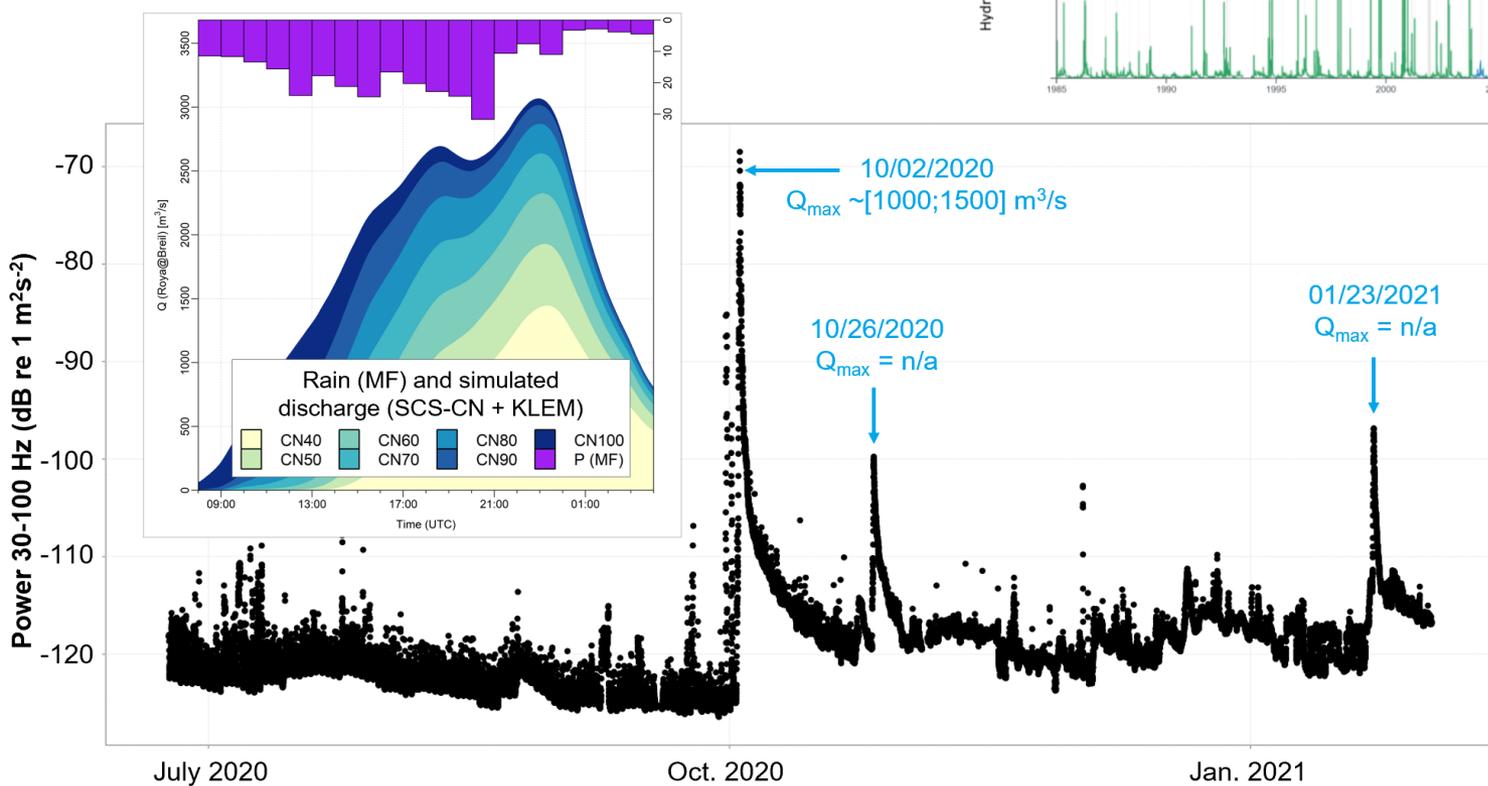
Fig. 16. Width ratios of Storm Alex as a function of the pre-flood active channel width for the Roya and Vésubie, compared to reported width ratios in temperate upland environments (data from Arnaud-Fassetta and Fort, 2004; Krapesch et al., 2011; Rinaldi et al., 2016; Surian et al., 2016; Righini et al., 2017; Ruiz-Villanueva et al., 2018; Scorpio et al., 2018; Scorpio et al., 2022; Brenna et al., 2023) (see Table S1, supplementary material); the best fit was computed for the compiled dataset only.

## D. Résultats du suivi par sismique passive

- Temporalité et intensité relative des flux sédimentaires
  - Présence de bouffées sédimentaires?
  - Absence de mesure de hauteur d'eau
- ~ temporalité des flux liquides  
pour valider les modélisations

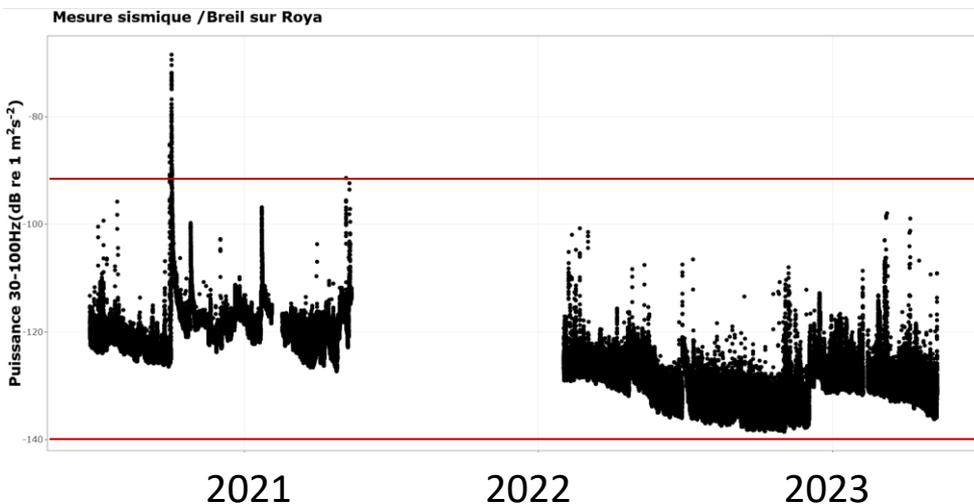


Crue du 02/10/2020  
= max connu  
 $Q_{max} \sim [1000;1500] \text{ m}^3/\text{s}$   
à Breil

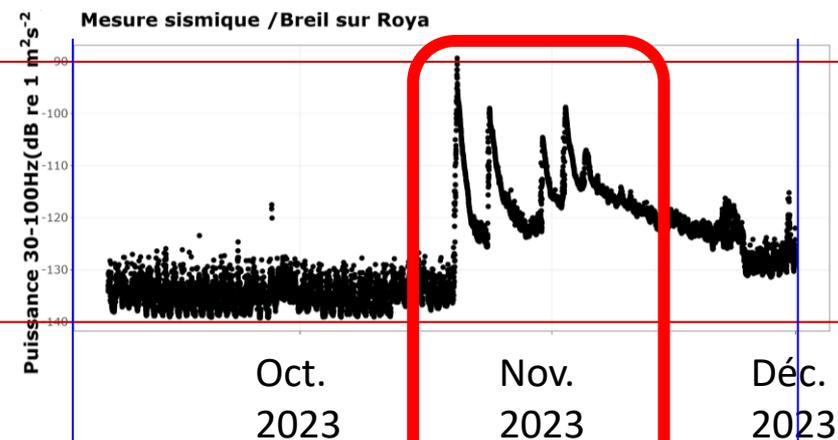


## D. Résultats du suivi par sismique passive

### Mesures sismiques à Breil-sur-Roya 2021-2023

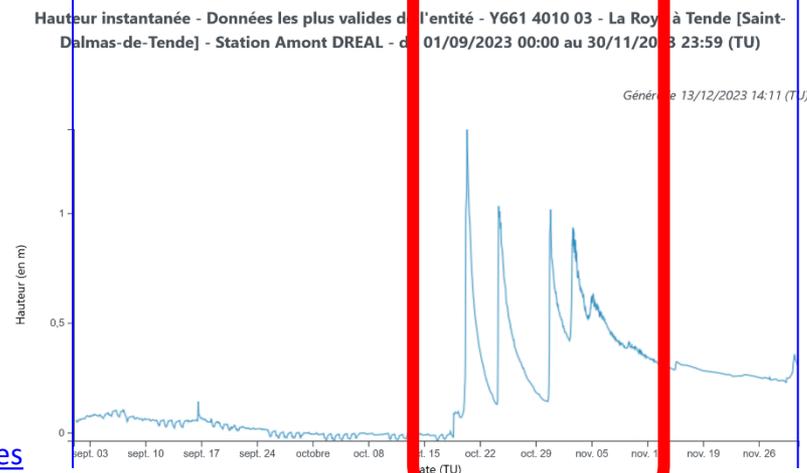


### Perspectives: calibration?



Hauteurs d'eau à St Dalmas-de-Tende  
(amont Breil-sur-Roya)  
Sept. 2023 – Déc. 2023

<https://www.hydro.eaufrance.fr/stationhydro/Y661401003/series>



## E. Discussion: perspectives et modélisation conceptuelle

- Suivi de l'évolution de la charge sédimentaire en Roya post-cruie
  - « Résilience » vs. travaux lourds dans le chenal + turbidité + hydrologie faible depuis l'épisode ALEX
- Enjeux de la reconstruction:
  - GEMAPI: **préserver un espace de fonctionnement**
  - **Plan de gestion des sédiments** à l'échelle du BV
- Modélisation des transferts sédimentaires en contexte de changement climatique
  - **Purge sédimentaire** du système, connectivité, apports des versants vs. remaniements en fond de vallée

### 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.



Chapuis *et al.*, 2020



Dipartimento Ambiente e Protezione Civile – Settore Assetto del Territorio  
Programma europeo di cooperazione transfrontaliera tra Francia e Italia

Progetto "Concert-Eaux"

WP 4\_3 Modalità di gestione dei sedimenti del tratto terminale del Fiume Roya



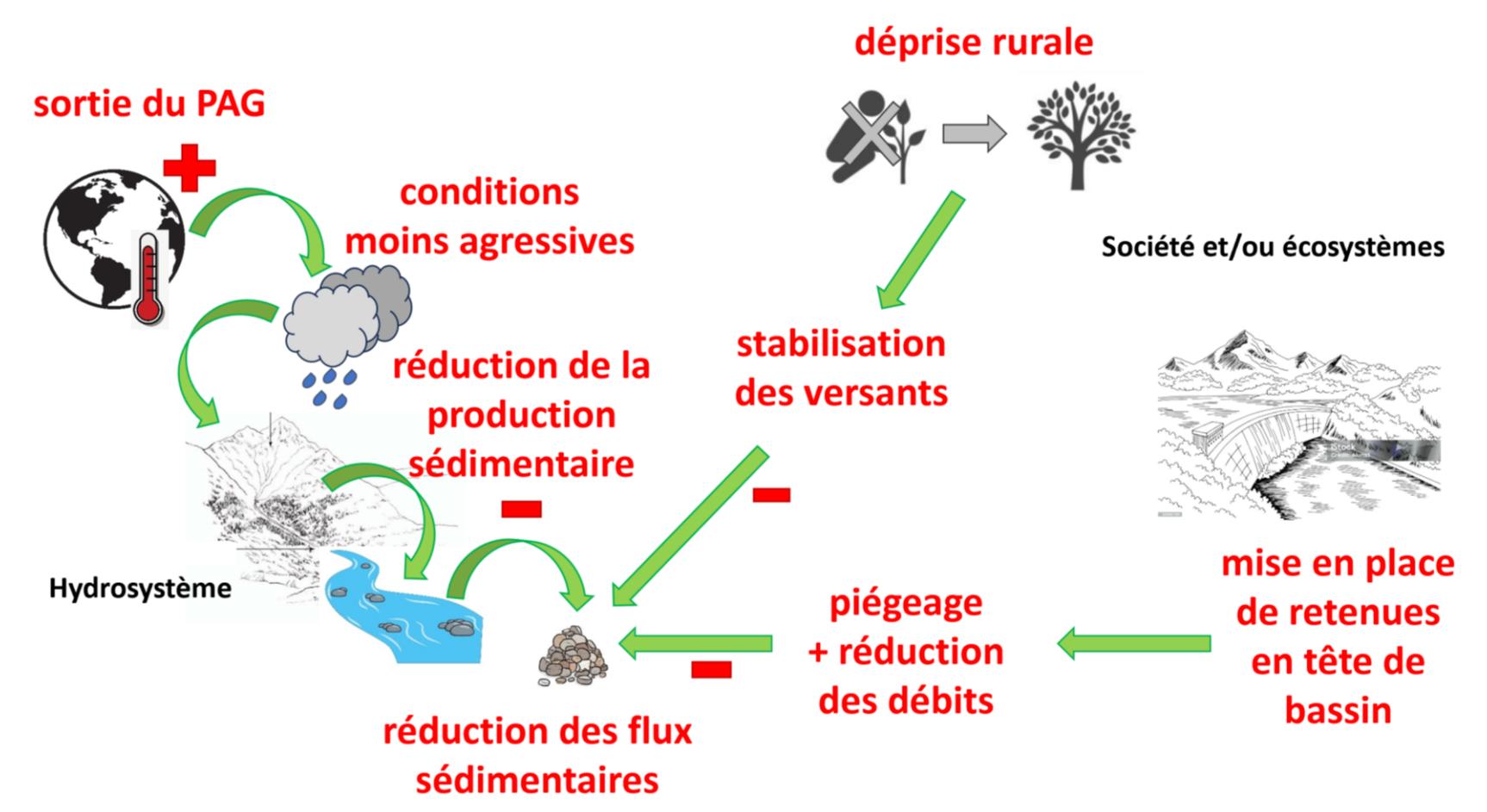
Maggio 2021

Regione Liguria, 2021

<https://www.concert-eaux.eu/it/notizie-it/prodotti-it/category/8-wp-4-studi-analisi-ed-attivita-derivate?download=148:concert-eaux-4-3-1-piano-gestione-sedimenti-rl-it>

## E. Discussion: perspectives et modélisation conceptuelle

- Développement d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires à l'échelle du BV:
  - en Roya en régime ordinaire (Chapuis *et al.*, 2022a)

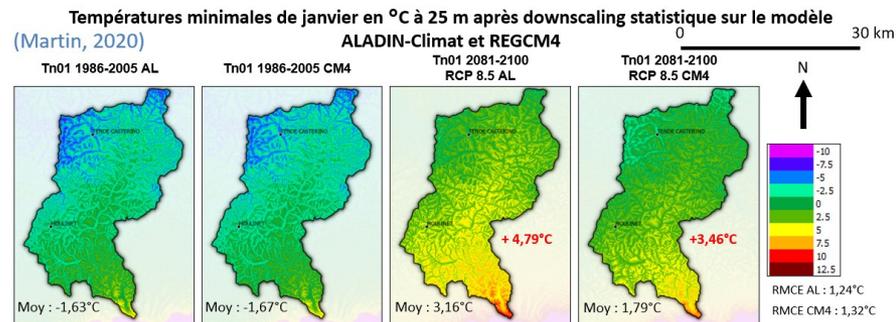


Chapuis, *in prep.*

## E. Discussion: perspectives et modélisation conceptuelle

- Changement climatique: prévisions climatiques à 100 ans à 25 m, après downscaling statistique sur le modèle ALADIN-Climat et REGCM4 (v2017)

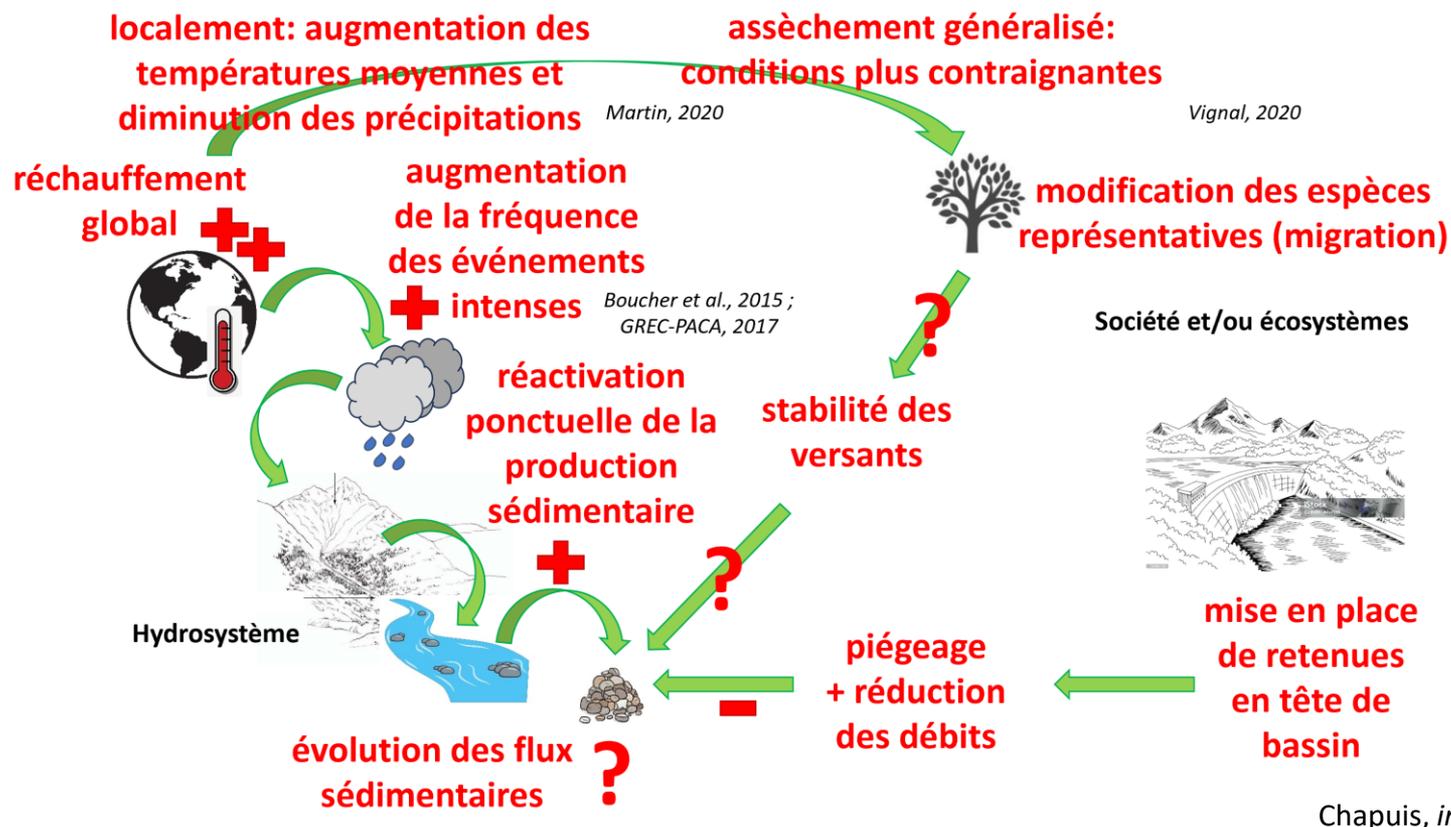
(d'après Martin, 2020)



Paramètre mesuré (moyenne sur le BV de la Roya)	Période		1986-2005		2081-2100 RCP 8.5		RMCE	
	ALADIN-Climat	REGCM4	ALADIN-Climat	REGCM4	ALADIN-Climat	REGCM4		
Températures minimales de janvier	-1,63°C	-1,67°C	3,16°C <b>+4,79°C</b>	1,79°C <b>+3,46°C</b>	1,24°C	1,32°C		
Températures maximales de janvier	5,96°C	6,02°C	9,4°C <b>+3,43°C</b>	9,56°C <b>+3,54°C</b>	0,81°C	0,84°C		
Températures minimales de juillet	12,83°C	12,51°C	17,61°C <b>+4,78°C</b>	21,79°C <b>+9,28°C</b>	1,19°C	1,08°C		
Températures maximales de juillet	23,22°C	23,4°C	26,86°C <b>+3,63°C</b>	31,63°C <b>+8,23°C</b>	0,93°C	0,97°C		
Précipitations de juillet	63mm	63mm	75mm <b>+12mm</b>	42 <b>-21mm</b>	3,3mm			
Précipitations d'octobre	164mm	164mm	138 <b>-26mm</b>	112 <b>-52mm</b>	7,6mm			

## E. Discussion: perspectives et modélisation conceptuelle

- Développement d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires à l'échelle du BV:
  - en Roya en régime ordinaire (Chapuis *et al.*, 2022a),
  - puis réajustement du modèle suite à la survenue d'une crue extrême (Chapuis *et al.*, 2022b; Chapuis et Adnès, 2023)



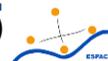
Chapuis, *in prep.*

## F. Références bibliographiques

- Boucher O., Dufresne J.-L., Vial J., Brun E., Cattiaux J., Chauvin F., Salas y Mélia D., Voltaire A., Bopp L., Braconnot P., Ciais P., Yiou P., Guilyardi E., Mignot J., Guivarch C., 2015. Projection des changements climatiques futurs. *La Météorologie*, n°88, pp. 56–68. [https://lameteorologie.fr/issues/2015/88/meteo\\_2015\\_88\\_56](https://lameteorologie.fr/issues/2015/88/meteo_2015_88_56)
- Brigode P., Vigoureux S., Delestre O., Nicolle P., Payrastre O., Dreyfus R., Nomis S., Salvan L., l'équipe « post-event surveys » d'HyMeX, 2021. Inondations sur la Côte d'Azur: bilan hydro-météorologique des épisodes de 2015 et 2019. *LHB*, 107:1, 1-14, <https://doi.org/10.1080/27678490.2021.1976600>
- CEREMA, 2021. RETEX technique ALEX. Inondations des 2 et 3 octobre 2020. Expertise hydrologique. Rapport d'étape (54 p.) et Consensus hydrologique (58 p.).
- Chapuis M., Martins M., Tourade F., Adnès C., Vignal M., Lebourg T., Fox D., 2019. Évolution des flux sédimentaires des frayères dans un torrent alpin. *Rencontres SHF - Changement global et morphodynamique des rivières, des bassins versants à la mer*, nov. 2019, Paris, France. <https://hal.science/hal-02960437>
- Chapuis M., Martins M., Adnès C., Devreux L., Lebourg T., 2022a. Suivi des flux sédimentaires grossiers en contexte torrentiel méditerranéen. *Colloque TSMR – CFBR « Transport sédimentaire : rivières & barrages réservoirs »*, mars 2022, Saclay, France. <https://hal.science/hal-02959661>
- Chapuis M., Martins M., Adnès C., Tissot L., Martin N., Salvan L., Dreyfus R., Compagnon F., Douvinet J., Brigode P., Fox D., 2022b. Catchments' reactions to the Oct. 2<sup>nd</sup> 2020 heavy rainfall in the Maritime Alps (France): sediment transport measurements, sediment connectivity model in the Roya river and reconstruction guidelines. *IS Rivers 2022 Conference*, juil. 2022, Lyon, France. <https://hal.science/hal-03855452>
- Chapuis M., Adnès C., 2023. Pluri-annual bedload monitoring in a Mediterranean mountain stream prior and after a ~200-year flood. *Gravel-Bed Rivers 9 conference (GBR9)*, janv. 2023, Villarrica, Chile. <https://hal.science/hal-03975995>
- Devreux L., 2023. Outils d'évaluation de l'état de santé des hydrosystèmes en tresses restaurés. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, 401 p., <https://theses.hal.science/tel-04152884>
- 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(1), 49-67. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.07.007>
- GREC-PACA, 2017. Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juil. 2017, 52 p., ISBN : 9782956006053. <http://www.grec-sud.fr/publications/les-ressources-en-eau-et-le-changement-climatique-en-provence-alpes-cote-dazur/#art-346>
- Liébault F., Melun G., Piton G., Chapuis M., Passy P., 2024. Channel change during catastrophic flood: example of the storm Alex in the Vésubie and Roya valleys. *Geomorphology*, 446, pp. 109008. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.109008>
- Martin N., 2020. Cartographies climatiques à 25 m des températures et des précipitations dans la vallée de la Roya. Congrès final du projet Concert-Eaux, [en ligne], 11 déc. 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=tFC-xgCO3TE>
- Melun G., Liébault F., Piton G., Chapuis M., Passy P., Kuss D., Martins C., 2022. Crues exceptionnelles de la Vésubie et de la Roya (Oct. 2020): caractérisation hydrogéomorphologique et perspectives de gestion. *IS Rivers 2022*, ZABR, GRAIE, Juil. 2022, Lyon, France. [https://www.graie.org/graie/doc\\_telech/isrivers2022/A5/A5\\_ISRivers22%20\(3\).pdf](https://www.graie.org/graie/doc_telech/isrivers2022/A5/A5_ISRivers22%20(3).pdf), <https://hal.science/hal-04261090>, [https://www.researchgate.net/publication/363108141\\_Crues\\_exceptionnelles\\_de\\_la\\_Vesubie\\_et\\_de\\_la\\_Roya\\_Oct\\_2020\\_caracterisation\\_hydrogeomorphologique\\_et\\_perspectives\\_de\\_gestion](https://www.researchgate.net/publication/363108141_Crues_exceptionnelles_de_la_Vesubie_et_de_la_Roya_Oct_2020_caracterisation_hydrogeomorphologique_et_perspectives_de_gestion)
- Payrastre O., Nicolle P., Bonnifant L., Brigode P., Astagneau P., Baise A., Belleville A., Bouamara N., Bourgin F., Breil P., Brunet P., Cerbelaud A., Courapied F., Devreux L., Dreyfus R., Gaume E., Nomis S., Poggio J., Pons F., Rabab Y., Sevrez D., 2022. The 2 October 2020 Alex storm in south-eastern France : a contribution of the scientific community to the flood peak discharges estimation. *LHB, Taylor & Francis*, pp. 2082891. <https://doi.org/10.1080/27678490.2022.2082891>
- Piton G., Queffelec Y., Liébault F., Kuss D., Carladou S., Robert Y., Martins C., Guitet C., 2021. Alpes-Maritimes – Gestion post-Tempête Alex : Réflexions sur l'estimation de la période de retour des changements morphologiques majeurs associés aux crues extrêmes. Note technique, version 4, INRAE & ONF-RTM, 9 p.
- Piton G., Cohen M., Flipo M., Nowak M., Chapuis M., Melun G., Robert Y., Andrés N., Liébault F., 2024. Large in-stream wood yield during an extreme flood (Storm Alex, October 2020, Roya Valley, France): estimating the supply, transport, and deposition using GIS. *Geomorphology*, 446, pp. 108981. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108981>
- Regione Liguria, 2021. Progetto “Concert-Eaux” – WP 4\_3 Modalità di gestione dei sedimenti del tratto terminale del Fiume Roia. Rapport technique (en italien), Regione Liguria, Dipartimento Ambiente e Protezione Civile – Settore Assetto del Territorio, 55 p. <https://www.concert-eaux.eu/it/notizie-it/prodotti-it/category/8-wp-4-studi-analisi-ed-attivita-derivate?download=148:concert-eaux-4-3-1-piano-gestione-sedimenti-rl-it>
- 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, Université Côte d'Azur, 474 p. + vol. d'annexes, <https://theses.hal.science/tel-03105744>

# Transferts sédimentaires dans un bassin versant à régime montagnard sous influence méditerranéenne (Roya, Alpes-Maritimes, France) : modélisation conceptuelle en contexte de changement climatique

Margot CHAPUIS, Cyriel ADNES



CHAPUIS Margot et ADNES Cyriel  
UMR ESPACE, Université Côte d'Azur

