



HAL
open science

Les flux hydro-sédimentaires, un proxy des interactions climat-société à l'échelle d'un bassin versant

Margot Chapuis

► **To cite this version:**

Margot Chapuis. Les flux hydro-sédimentaires, un proxy des interactions climat-société à l'échelle d'un bassin versant. Écrire l'Histoire des Interactions Climat-Société des Alpes à la Méditerranée. De l'Antiquité à nos Jours. Quelles Perspectives pour le XXIe Siècle? Workshop en Hommage à l'Historien Georges Pichard, CEREGE, Nov 2023, Aix-en-Provence, France. hal-04298477

HAL Id: hal-04298477

<https://hal.science/hal-04298477>

Submitted on 21 Nov 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.

Les flux hydro-sédimentaires, un proxy des interactions climat-société à l'échelle d'un bassin versant



Margot CHAPUIS

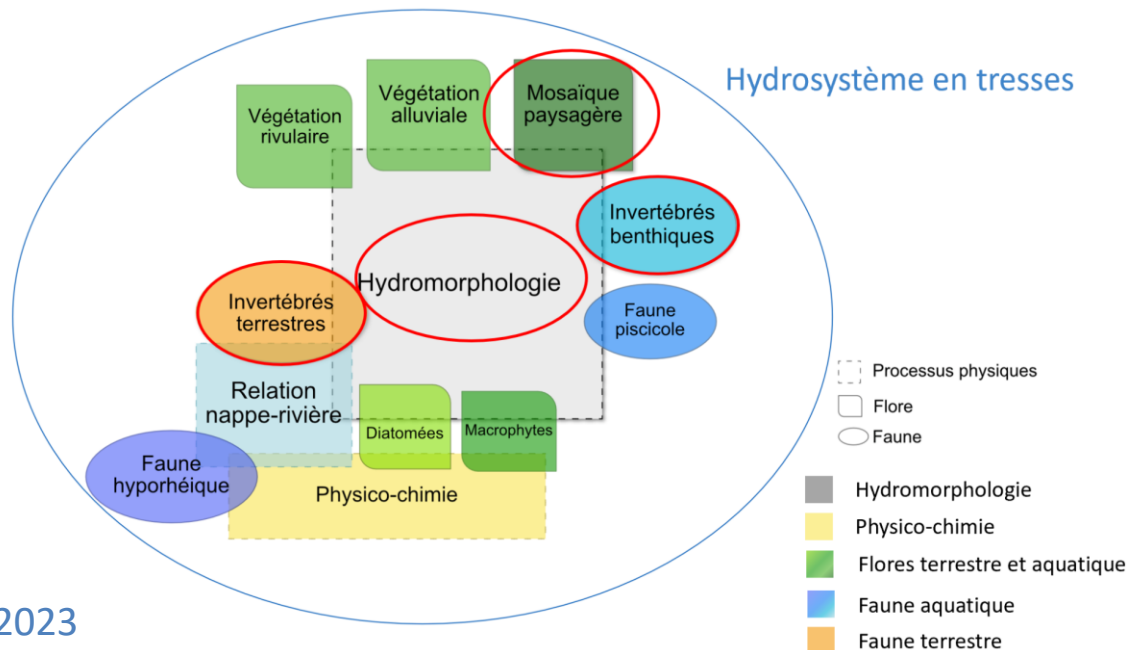
<https://cv.hal.science/margot-chapuis>

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR



A. Cadre conceptuel

- Étude des flux hydro-sédimentaires dans les bassins versants actifs du SE de la France
 - Des contraintes théoriques
 - Une grande **variabilité hydrologique**
 - « Régime ordinaire » vs. événement extrême
 - Éventuelles éclusées (= fonctionnement des ouvrages hydro-électriques)
 - Des « **compartiments** » multiples → approche systémique
 - Volet hydrologique vs. volet sédimentaire
 - Biocénose vs. aménagements anthropiques...



L. Devreux, 2023

A. Cadre conceptuel

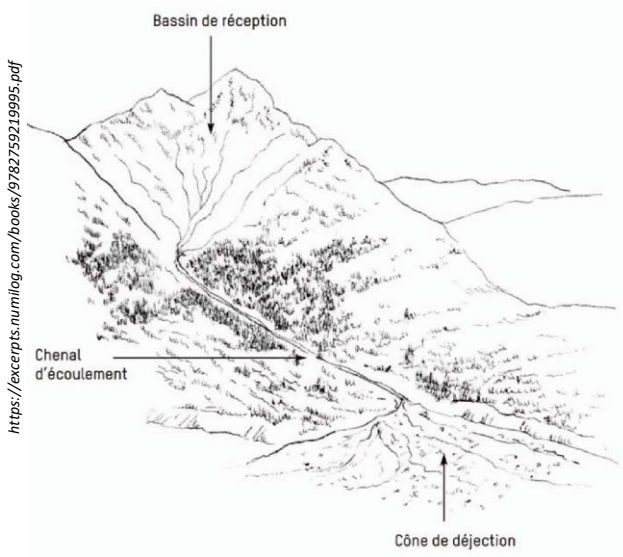
- Étude des flux hydro-sédimentaires dans les bassins versants actifs du SE de la France
 - Des contraintes théoriques
 - Une grande **variabilité hydrologique**
 - « Régime ordinaire » vs. événement extrême
 - Éventuelles éclusées (= fonctionnement des ouvrages hydro-électriques)
 - Des « **compartiments** » multiples → approche systémique
 - Volet hydrologique vs. volet sédimentaire
 - Biocénose vs. aménagements anthropiques...
 - Des contraintes techniques
 - Réglementation pour travailler dans un torrent: 15 mai – 15 oct. (frai)
 - **Instrumentation différente** suivant
 - Hautes eaux vs. basses eaux
 - Matières En Suspension (MES) vs. charge grossière...
- Objectif corollaire des études en géomorphologie fluviale:
analyser les **relations de réciprocité et de contrainte** entre:
 - Fluctuations de l'hydrosystème
 - Occupation du territoire (société et/ou biocénose)

Bravard et Piégay, 2000;
Provansal et Leveau, 2006;
Neboit, 2010; Cossart, 2018

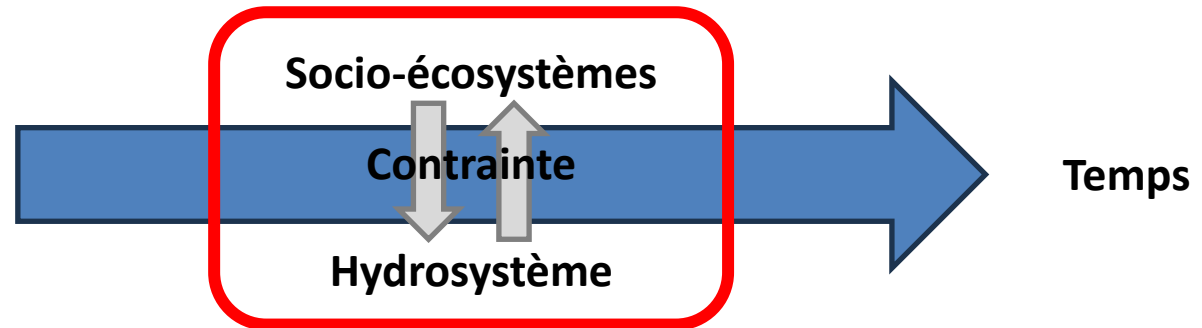
A. Cadre conceptuel

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV

Hydrosystème: échelle du bassin versant: une échelle technique pertinente



N. Sardat, in Recking *et al.*, 2013



Approche **systemique** et interdisciplinaire

(Cholley, 1950 in Battiau-Queney, 2002 ; Schumm, 1977; Amoros et Petts, 1993)

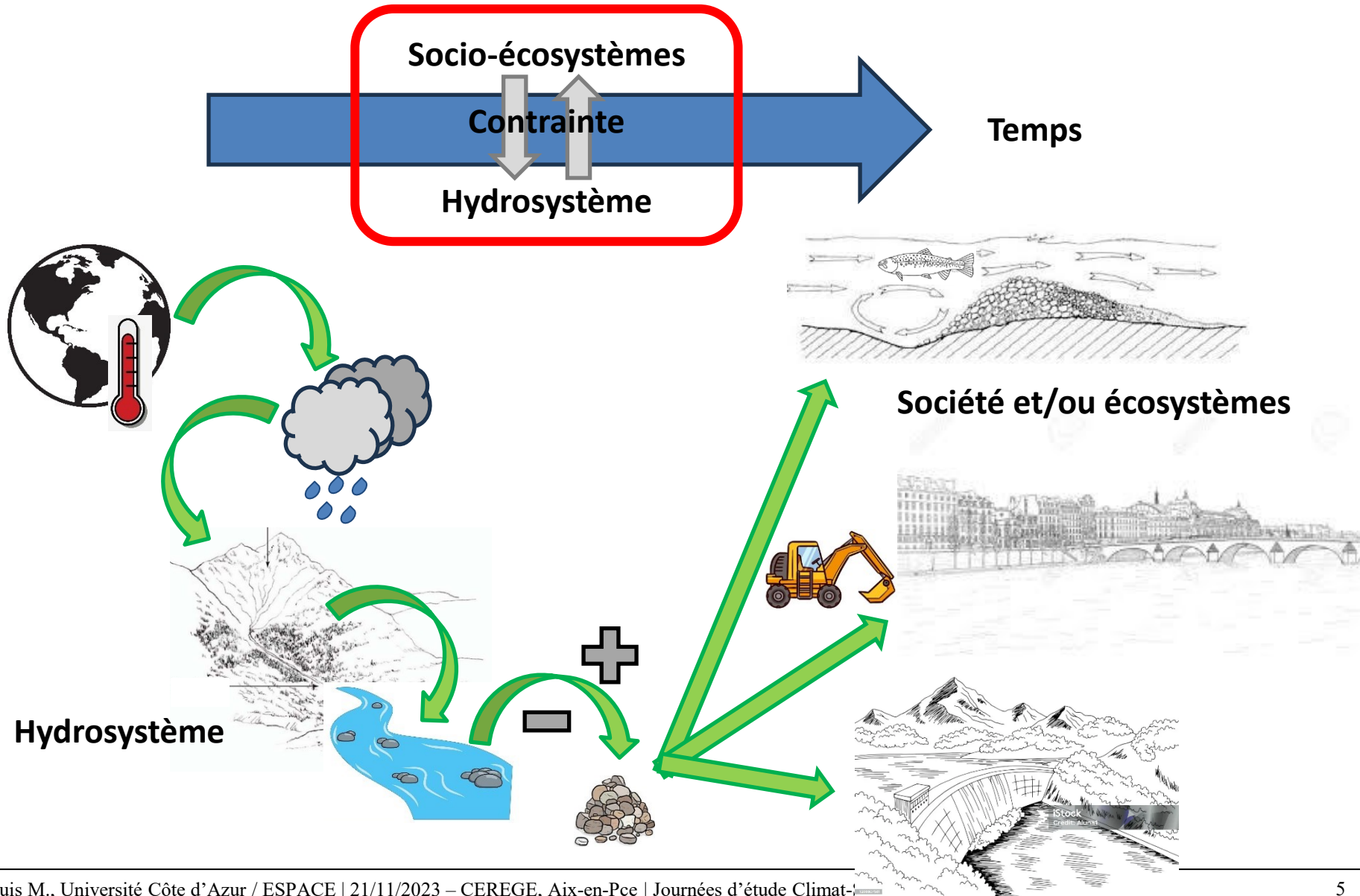
Notion de **socio-écosystème** (Liu *et al.*, 2007)

Source-to-sink (Anthony et Julian, 1999; Sømme *et al.*, 2009)

(Dis-)continuités sédimentaires (Fryirs *et al.*, 2007)

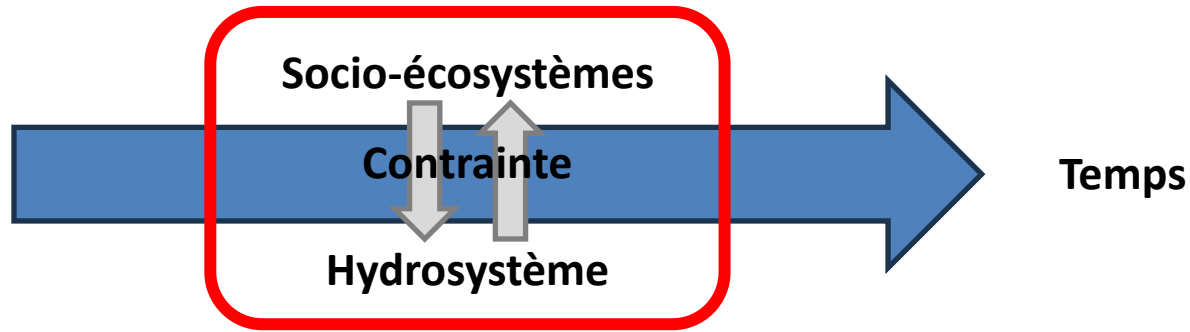
A. Cadre conceptuel

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV

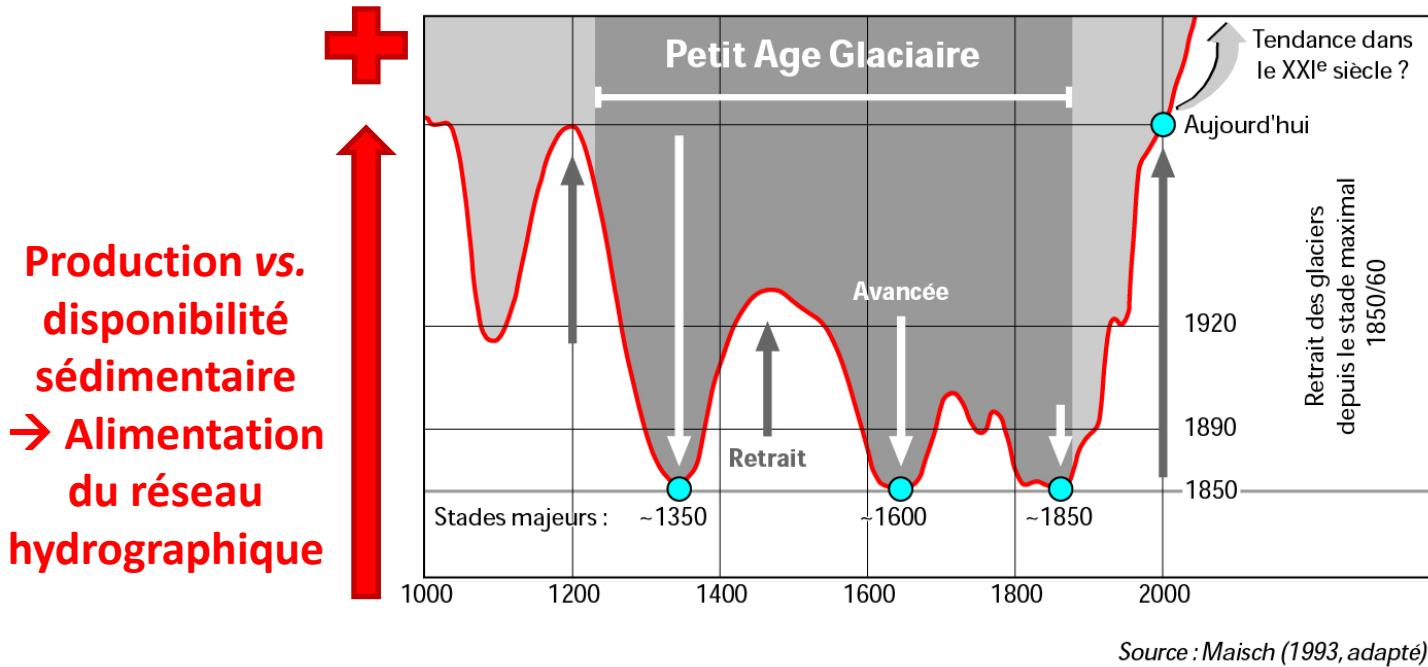


A. Cadre conceptuel

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV



Fluctuations glaciaires dans les Alpes suisses pendant le Petit Age Glaciaire

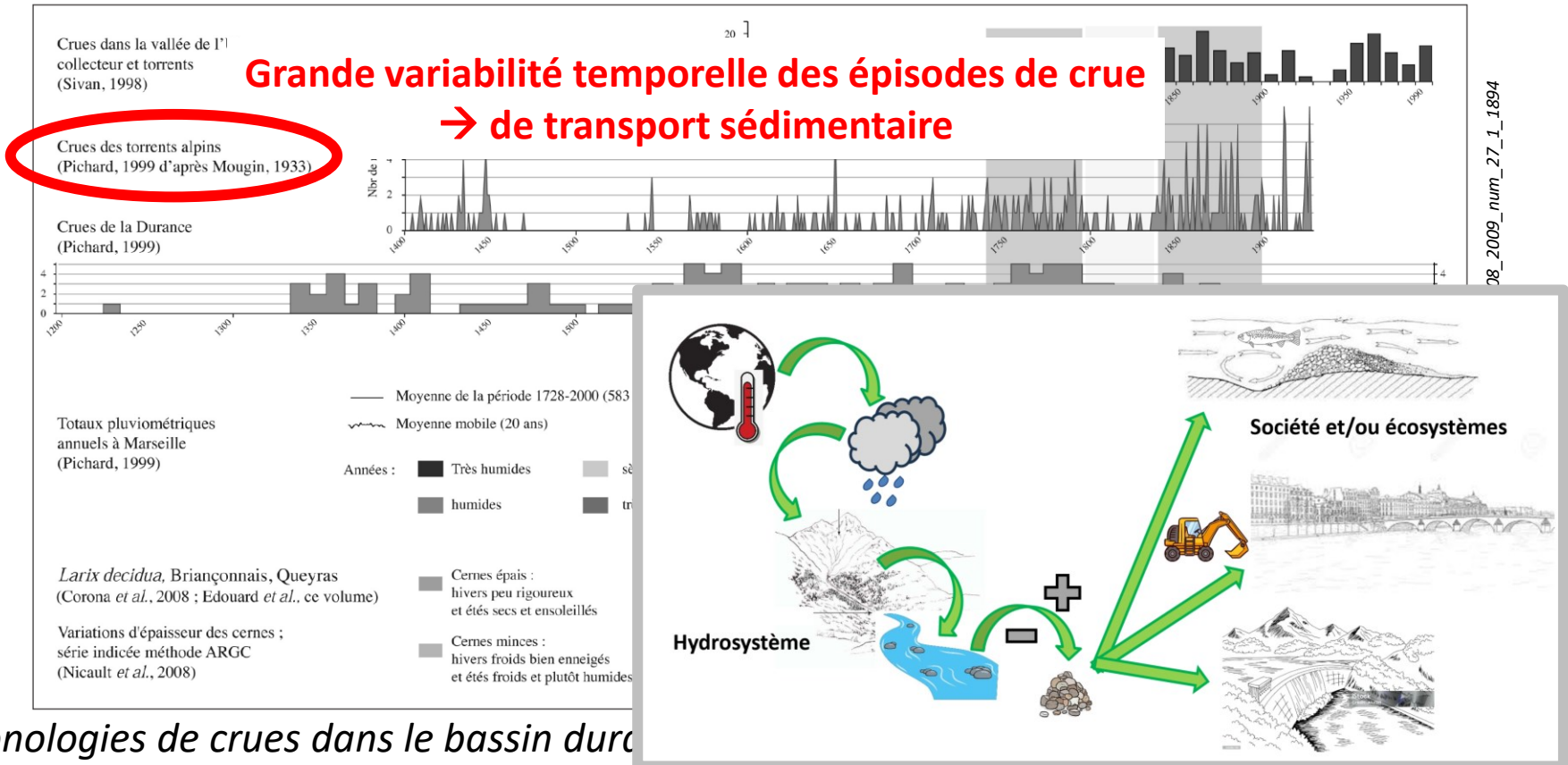
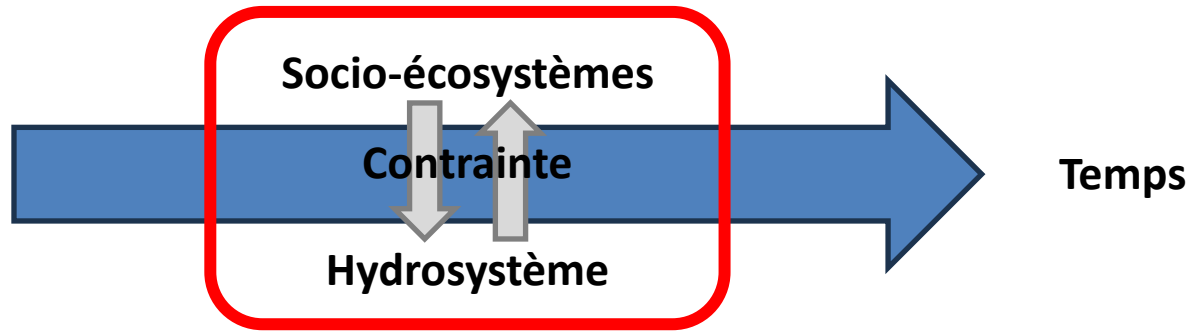


https://geomorphologie-montagne.ch/wp-content/uploads/2019/01/2406_01_PAG_mod.jpg

Source : Maisch (1993, adapté)

A. Cadre conceptuel

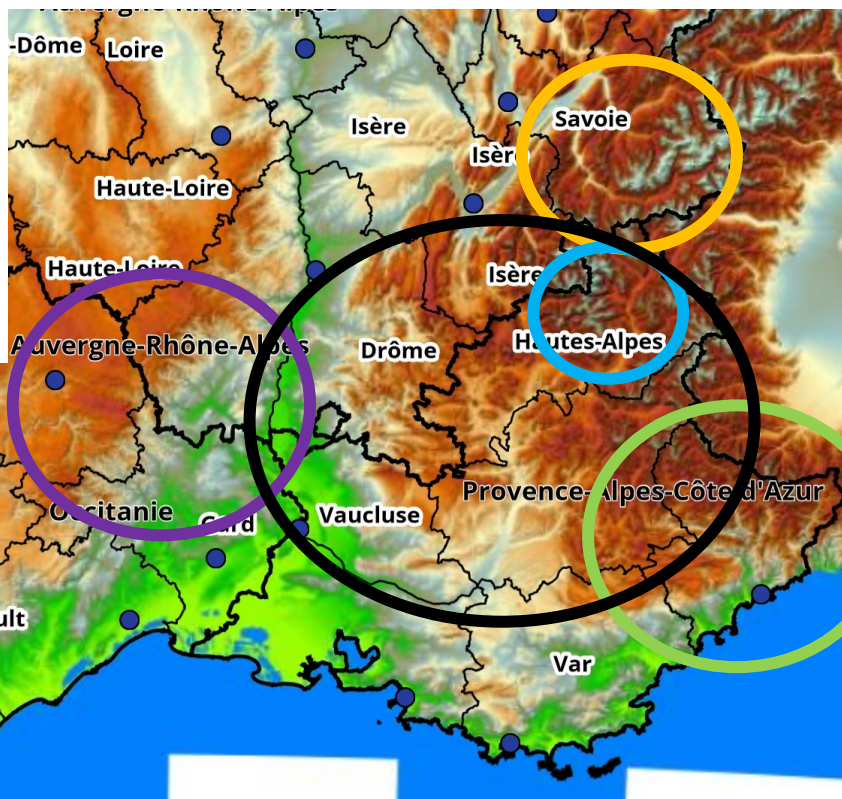
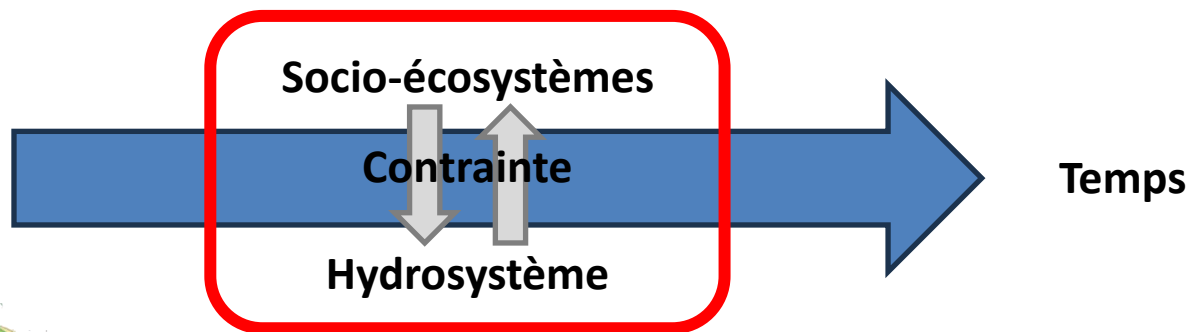
- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV



Chronologies de crues dans le bassin durancien

B. Méthodologie

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV



Hydrosystèmes

-  Arc, Isère amont
-  Drac
-  Roya, Vésubie, Var
-  Durance
-  Gardons, Ardèche

<https://www.geoportail.gouv.fr/carte#i>

B. Méthodologie

Hydrosystèmes

- Arc, Isère amont
- Drac
- Roya, Vésubie, Var
- Durance
- Gardons, Ardèche

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du

Aménagements anthropiques

Contrainte

Hydrosystème

Société et/ou écosystèmes

Contrainte

Hydrosystème

- Impact des aménagements hydro-électriques sur l'évolution des zones de frayères en Roya (Chapuis *et al.*, 2019)
- Évolution du tressage suite à des opérations de restauration sur des rivières en tresses (Devreux *et al.*, 2021)
- Interactions socioécologiques entre flux hydro-sédimentaires, usages associés au cours du temps et milieu (frise chronosystémique: Serrhini Naji, 2021)
- Effluents du CEA de Cadarache en Durance (Eyrolle et Chapuis, 2011; Lagrève, 2017)
- Définition d'indicateurs morphologiques et écologiques de « bonne santé » des rivières en tresse (Devreux *et al.*, 2022 ; Devreux *et al.*, 2023)
- Spécificités hydro-sédimentaires dans les Cévennes (Chapuis *et al.*, *in prep.*)
- Effets d'une crue d'occurrence pluricentennale en Roya: sur la ressource en eau et sur l'occupation du bassin versant (Liébault *et al.*, *in rev.* ; Piton *et al.*, *in press*)
- Gestion des événements de transport sédimentaire en Savoie
- Mobilité des sédiments grossiers en Durance et gestion de l'hydrosystème (Chapuis, 2012)

B. Méthodologie

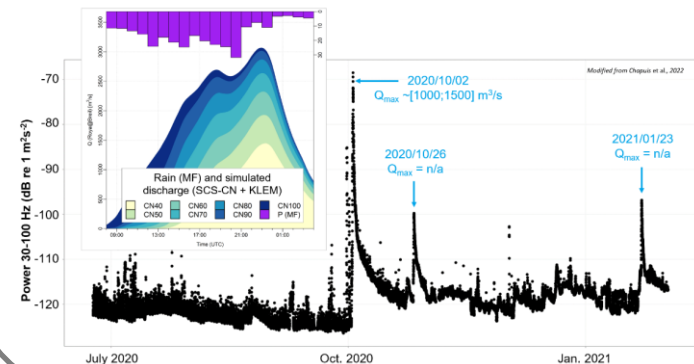
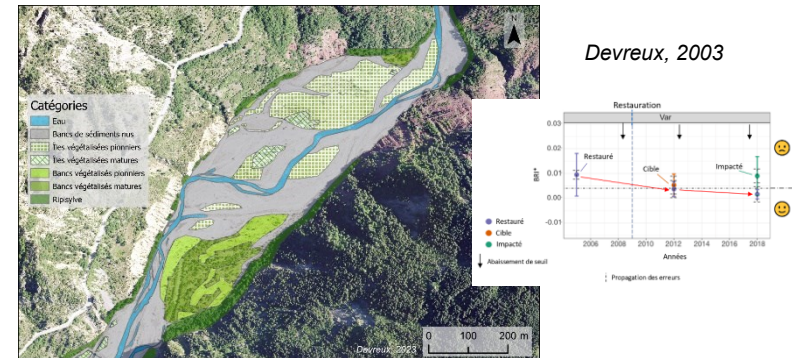
- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV

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

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

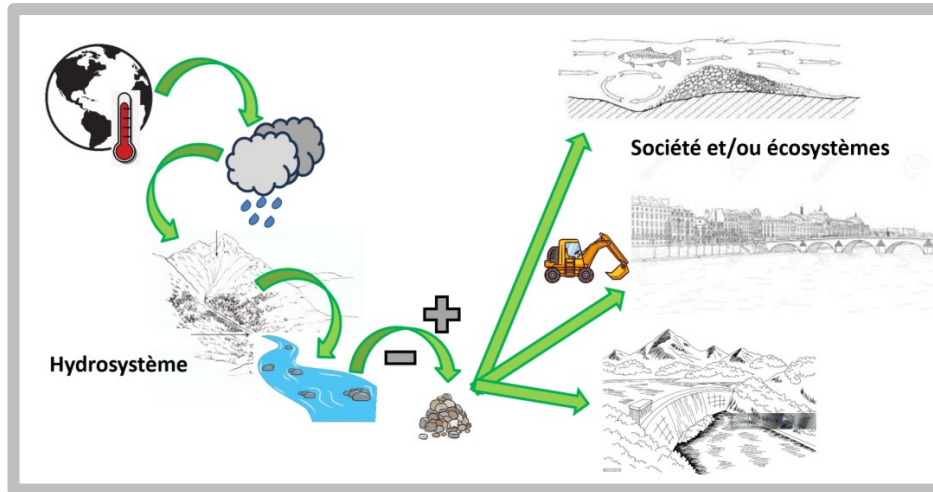


Programmation,
 modélisation, SIG



C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
→ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV



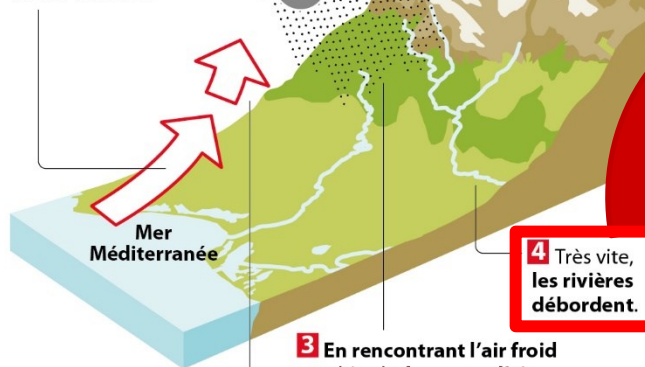
- Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud » ([Chapuis et al., in prep.](#))
- Échelle du BV: élaboration d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires en Roya en régime ordinaire ([Chapuis et al., 2022a](#)), et réajustement du modèle suite à la survenue d'une crue extrême ([Chapuis et al., 2022b](#); [Chapuis et Adnès, 2023](#))

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV
- Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud »

Comment se forment les orages cévenols ?

1 À la fin de l'été, et au début de l'automne, la masse d'air chaud et humide de la Méditerranée est poussée vers les terres par des vents marins soufflant dans le Golfe du Lion et en Provence.



2 Au contact des montagnes l'air chaud s'élève face aux reliefs.

3 En rencontrant l'air froid en altitude, la masse d'air se condense en nuages d'orages qui sont coïncés par les montagnes et produisent beaucoup de pluies localement violentes.

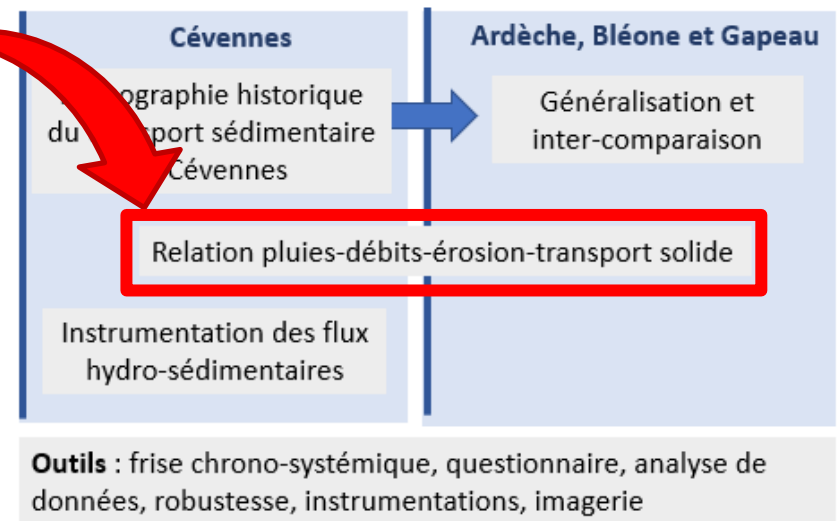


https://cdn.futura-sciences.com/sources/images/les_orages_font_plusieurs_morts_33488_hd.jpg

Projet DHySed-7 – Méthodologie générale

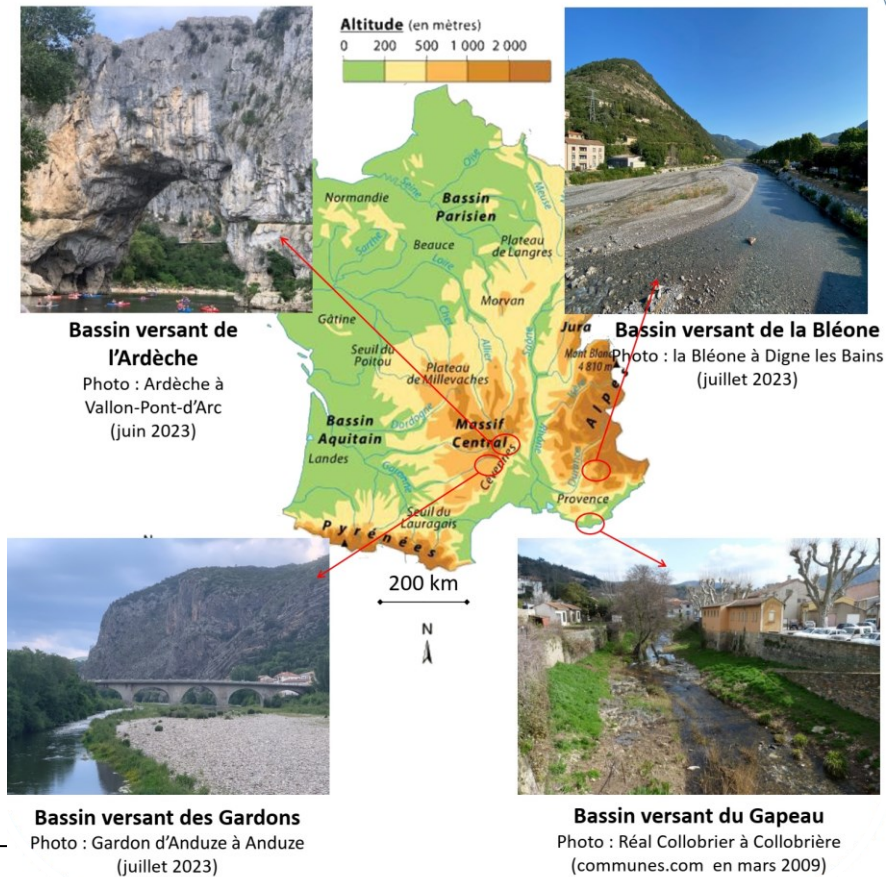
Coordination du projet de recherche

➤ Margot Chapuis, Didier Josselin et Pierre-Alain Ayrat



C. Résultats

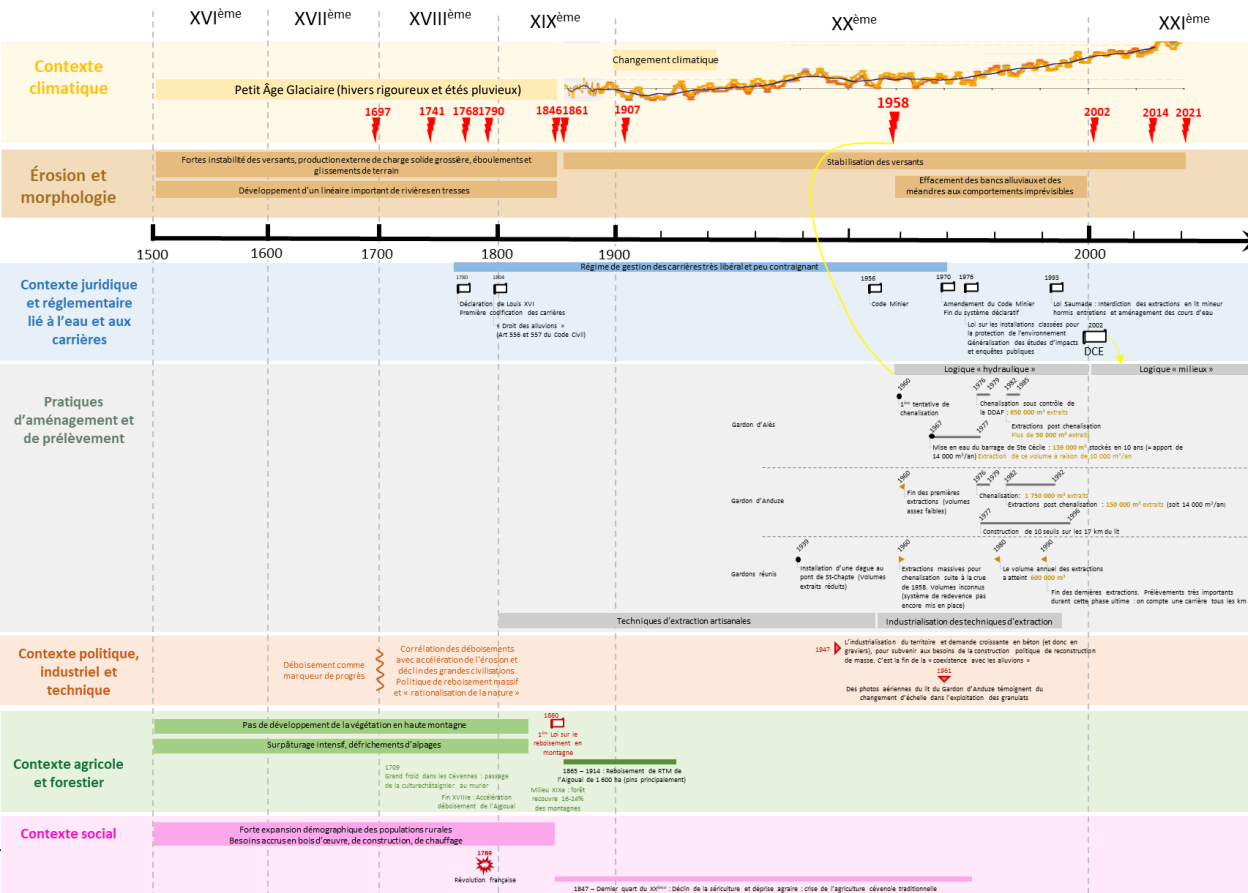
- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels *évolutifs* à l'échelle du BV
- Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud »



C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV

- Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud »



Frise chrono-systémique de l'histoire extractive des sédiments en Cévennes, depuis le XVII^{ème} siècle

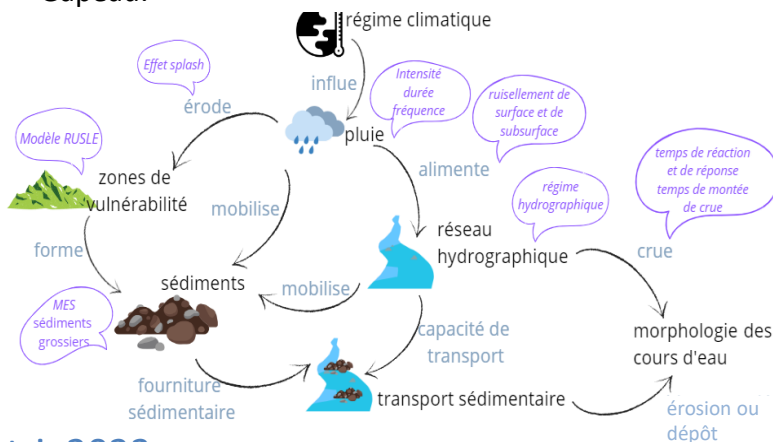
Modifié d'après
G. Serrhini Naji, 2021

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV
 - Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud »

« nous avons confirmé que les épisodes cévenols ou méditerranéens ont tendance à générer des **événements intenses à l'automne**, et mis en évidence l'importance des **cumuls de pluviométrie depuis le mois d'août** pour expliquer les événements les plus intenses (> débit cinquantennal). Le **bassin des Gardons se démarque**, avec des cumuls depuis le début de la saison et des intensités horaires plus élevés que les autres bassins versants de l'Ardèche, de la Bléone et du Gapeau. »

Connexion entre climat-pluie-débit/sédiments-transport sédimentaire

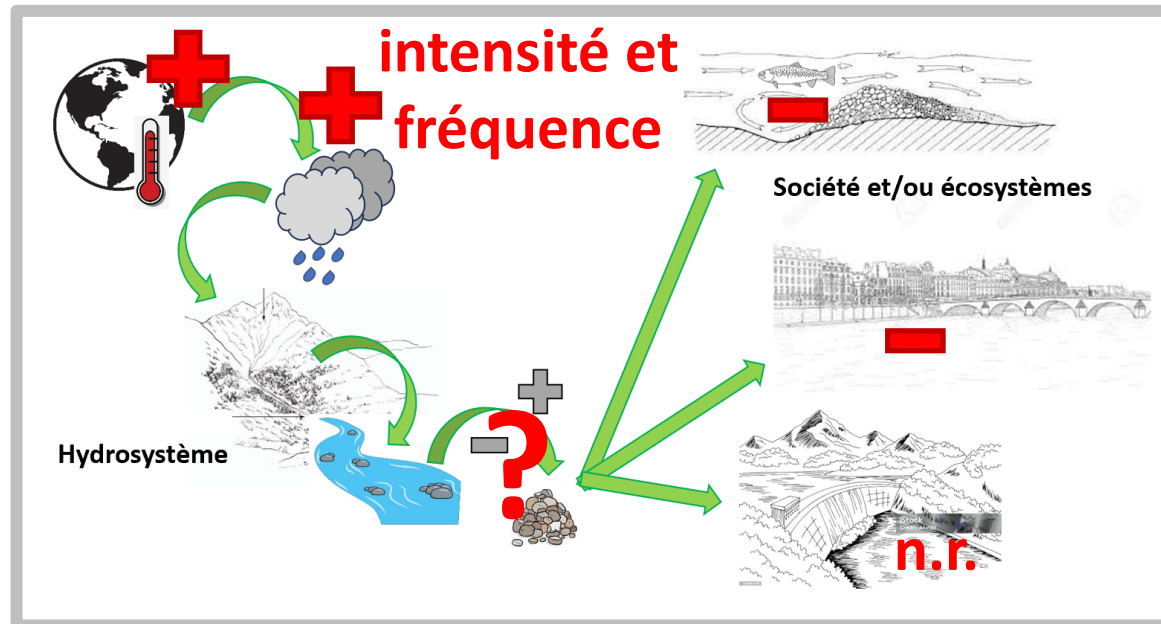


« d'un point de vue sédimentaire, le domaine cévenol est caractérisé par des **exports modérés de MES** par rapport à d'autres BV (Bléone notamment) lors des crues ordinaires. Il n'est cependant pas exclu que des **pics d'export** (MES, sédiments grossiers) aient lieu lors des événements exceptionnels, comme ce fut le cas lors de l'épisode exceptionnel du 19 septembre 2020 sur l'amont des bassins versants du Gardon et de l'Hérault [...]. La **poursuite du monitoring de terrain** dans les prochaines années devrait permettre d'apporter des éléments complémentaires pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. »

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels *évolutifs* à l'échelle du BV
- Échelle régionale: capturer les spécificités hydro-sédimentaires des Cévennes par rapport à d'autres bassins versants sous régime méditerranéen ou des « Alpes-du-Sud »

Modélisation conceptuelle du changement climatique sur le transport sédimentaire dans les Cévennes et conséquences sur les socio-écosystèmes



C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV
- Échelle du BV: élaboration d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires en Roya en régime ordinaire (Chapuis *et al.*, 2022a), et réajustement du modèle suite à la survenue d'une crue extrême (Chapuis *et al.*, 2022b; Chapuis et Adnès, 2023)



Colloque TSMR – CFBR « Transport sédimentaire : rivières & barrages réservoirs », Saclay, du 15 au 17 mars 2022

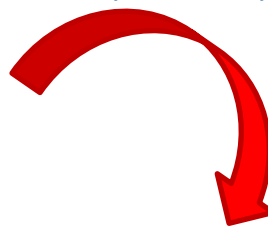


Suivi des flux sédimentaires grossiers en contexte torrentiel méditerranéen

Bedload sediment fluxes monitoring in a Mediterranean mountain stream

Auteur correspondant : Margot CHAPUIS, Université Côte d'Azur, CNRS, ESPACE, 98 bd Edouard Herriot – BP 3209, 06204 Nice Cedex 3, France, margot.chapuis@unice.fr

Auteurs de la communication : Mendy MARTINS, Université Côte d'Azur, CNRS, ESPACE, Nice, France
Cyriel ADNES, Université Côte d'Azur, CNRS, ESPACE, Nice, France
Lise DEVREUX, Université Côte d'Azur, CNRS, ESPACE, Nice, France



3. Résultats et discussion

Les zones sources sédimentaires en tête de bassin, plutôt réduites à l'heure actuelle, semblent peu connectées au réseau hydrographique. L'étude de l'évolution diachronique du profil en long (1912-2017) a rencontré des difficultés de réajustements notamment dans les secteurs en gorges. Les reconnaissances de terrain ont par ailleurs montré une faible épaisseur du matelas alluvial (généralement < 1 m) sur tout le linéaire français : les écoulements y sont largement contrôlés par les affleurements du substratum et les blocs plurimétriques hérités. Dans le secteur italien à l'aval, les pentes sont plus faibles et le fonctionnement hydro-sédimentaire relève plutôt d'un style tressé, avec des stockages temporaires au sein d'une bande active très active [3] bien que fortement endiguée.

L'hypothèse retenue au niveau du fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin est celle d'une purge sédimentaire du système. Cette purge serait la résultante d'une diminution de la fourniture amont et des versants, ayant pour origine trois facteurs dont l'influence relative reste difficilement quantifiable :

1. Mise en place de barrages, notamment en tête de bassin ;
2. Changement d'occupation du sol : la déprise agricole, très marquée sur la partie française, est à l'origine d'une reforestation des versants ;
3. Fin du Petit Age Glaciaire générant des conditions climatiques moins agressives pour les versants.

Les résultats du traçage sédimentaire [4] montrent le caractère inadapté de la RFID passive dans un contexte de granulométrie très étendue : blocs qui rendent la prospection difficile, puissance spécifique élevée (> 2000 W/m² en crue) qui empêche de maintenir une antenne fixe fonctionnelle en crue. Les campagnes de terrain ont mis en évidence 1/ l'étendue de la gamme granulométrique régulièrement mobile (5 mm < Ø < 512 mm) et 2/ un contrôle structural, exercé par les blocs plurimétriques et le substratum, sur la mobilité des particules. La RFID active confirme son potentiel dans ce type de terrain accidenté, plus particulièrement pour l'étude des distances de transport annuelles et dans les secteurs divagants dans la basse vallée. Les nombreuses portions immergées en amont expliquent cependant les faibles taux de retour dans ces secteurs.

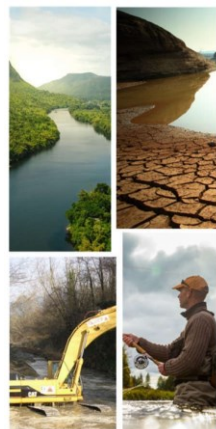
• Sediment connectivity model (Roya)

Since the Little Ice Age: reduction of sediment production because of:

- Less aggressive climatic conditions
- Dams in the upper catchments
- Change in land use (agric. → forest)
→ hillslopes' stabilization

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV
- Échelle du BV: élaboration d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires en Roya en régime ordinaire (Chapuis *et al.*, 2022a), et réajustement du modèle suite à la survenue d'une crue extrême (Chapuis *et al.*, 2022b; Chapuis et Adnès, 2023)



Crues de la Vésubie et de la Roya (Oct. 2020) :
caractérisation hydrogéomorphologique
et perspectives de gestion

Major floods of the Vésubie and Roya Rivers (Alps, France) in October 2020:
hydrogeomorphological characterisation and management perspectives

Gabriel Melun, Frédéric Liébault, Guillaume Piton, Margot Chapuis,
Paul Passy, Damien Kuss, Céline Martins



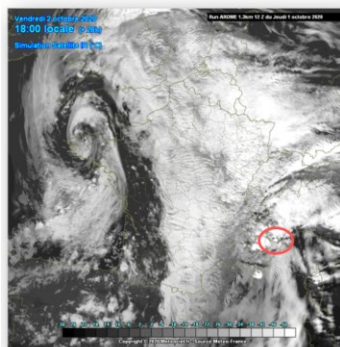
4 > 8 juillet LYON 2022



Tempête Alex du 02 oct. 2020
sur les Alpes-Maritimes
(Melun *et al.*, 2022)

Retour sur l'évènement

BEAUCOUP (BEAUCOUP) D'EAU...

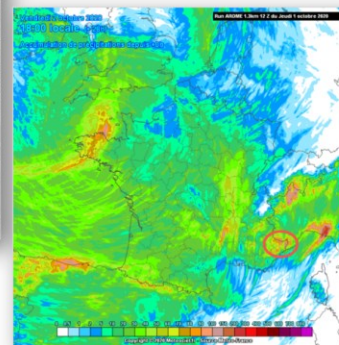


© Météo France Acorn HD

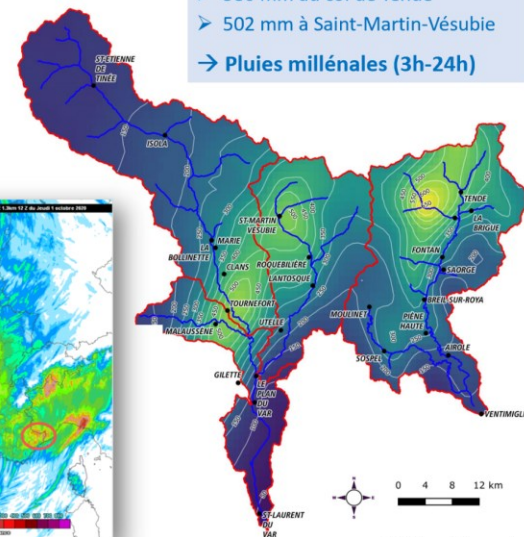
Légende

Cumul précipitations 24 h
(mm)

- 660
- 0
- Isohyète
- Basins versants
- Principaux cours d'eau



- 665 mm à Saint-Dalmas de Tende
- 580 mm au col de Tende
- 502 mm à Saint-Martin-Vésubie
- ➔ **Pluies millénales (3h-24h)**



© Météo France Antilope

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels **évolutifs** à l'échelle du BV
- Échelle du BV: élaboration d'un modèle conceptuel des flux hydro-sédimentaires en Roya en régime ordinaire (Chapuis *et al.*, 2022a), et réajustement du modèle suite à la survenue d'une crue extrême (Chapuis *et al.*, 2022b; Chapuis et Adnès, 2023)

Retour sur l'évènement

BEAUCOUP (BEAUCOUP) D'EAU + PRÉDISPOSITIONS GÉOMORPHOLOGIQUES + FACTEURS ANTHROPIQUES AGGRAVANTS...

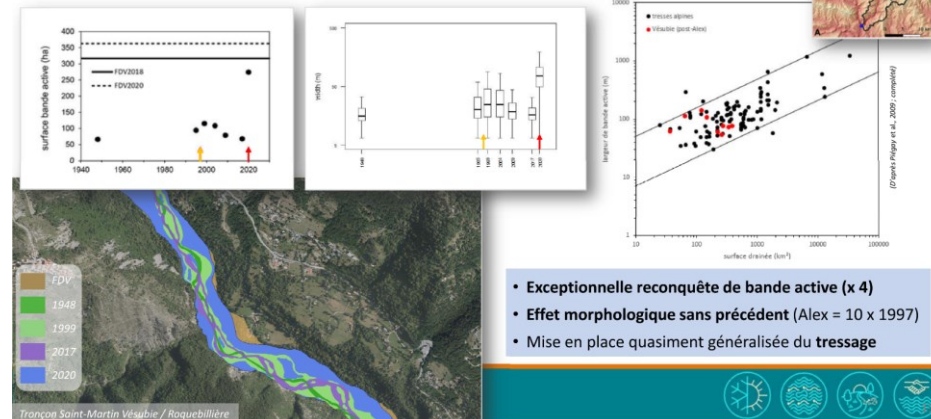


- Forte augmentation de la largeur et de la superficie des bandes actives ➔ bande de tressage (Vésubie)
- Évolution hydromorphologique majeure des fonds de vallées, sans précédent depuis près de 100 ans
- Évènement géomorphologique paroxystique à rapprocher des crues de l'Aigouat (1940) ou du Guil (1957) ➔ période de retour à 600 - 1000 ans (Piton *et al.* 2021)
- Nécessaire prise en compte de ce « nouvel » espace de liberté pour une reconstruction résiliente des vallées

Tempête Alex du 02 oct. 2020 sur les Alpes-Maritimes (Melun *et al.*, 2022)

Résultats

Impacts hydromorphologiques sur la Vésubie



- Exceptionnelle reconquête de bande active (x 4)
- Effet morphologique sans précédent (Alex = 10 x 1997)
- Mise en place quasiment généralisée du tressage

C. Résultats

- Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV
 - ➔ Développement de modèles conceptuels *évolutifs* à l'échelle du BV

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


Catchments' reactions to the Oct. 2nd 2020 heavy rainfall in the Maritime Alps (France): sediment transport measurements, sediment connectivity model in the Roya river and reconstruction guidelines
 La réaction des bassins versants maralpins aux précipitations intenses du 02/10/2020 : mesures du transport sédimentaire, modèle de connectivité sédimentaire en Roya et principes de gestion

Context: Oct. 2nd 2020: exceptional rainfall on the Roya and Vésubie catchments

- Rain return period > 1000 yrs on the Roya (CEREMA, 2021)
- Discharge measurement devices destroyed; return period: ~ 100 to 500 yrs (IFSTTAR, 2022)

Study sites

Figure 1: The Roya before/after the flood



Methods

- Sediment transport intensity in the Roya for the 10/02/2020 episode
- Sediment connectivity model: prospective
- River management guidelines

Results

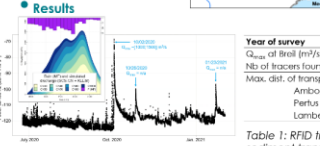


Table 1: RFID tracking and sediment transport distances

Year of survey	Q _{max} of flood (m³/s)	Nbr of tracers found	Max. dist. of transport (m)
2020	1000	4	5860
2021	1500	474	2875

Sediment connectivity model (Roya)

- Before the 2020 flood**
Since the Little Ice Age: reduction of sediment production because of:
* Less aggressive climatic conditions
* Change in land use (agric. → forest) → Hillslopes' stabilization
- During the 2020 flood**
Direct production from the upstream west subcatchments (+Réfreï) and from the riverbanks. Upstream sediment stocks were not entirely flushed down, but aggradation up to 10 m in the main channel down to Breil-sur-Roya (RTM 06, 2022). When joining the main river channel, sediments were flushed down: cf. monitored transport distances > 5 km and no significant deposition in the downstream valley. → 2020 flood = river system replenishment that is **limited in time and space**.
- After the 2020 flood: conceptual sediment connectivity model**
Sediment pulses during floods (even as intense as 2020), with potential reactivation of hillslope sediment sources → at catchment scale, sediment production potential should still be significant. But sediment transfer to the main river network seems scarce; when joining the main river channel, sediments are flushed down because of steep slope (Roya : 3.2%) → sediments are efficiently transferred downstream during long phases (> 30-50 yrs?) even during ordinary floods.

River management guidelines

- Need of sediment management planning at catchment scale: sediment continuity and support alluvial stock within the floodplain (no gravel extraction).
- Freedom space for rivers a concept needs to be integrated in the river floodplain management decisions: for flooding risk mitigation purposes, as few infrastructures as possible within the active channel width = the whole floodplain in the Roya case.

● Sediment connectivity model (Roya)

■ During the 2020 flood

Direct production from the upstream west subcatchments (+Réfreï) and from the riverbanks. Upstream sediment stocks were not entirely flushed down, but aggradation up to 10 m in the main channel down to Breil-sur-Roya (RTM 06, 2022). When joining the main river channel, sediments were flushed down: cf. monitored transport distances > 5 km and no significant deposition in the downstream valley. → 2020 flood = river system replenishment that is **limited in time and space**.

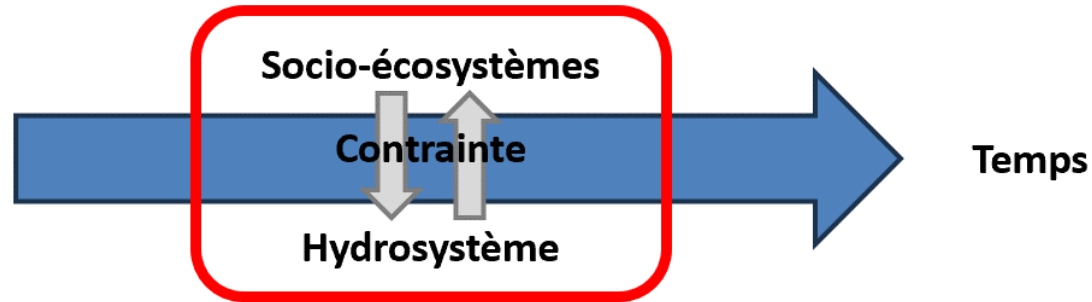
■ After the 2020 flood: conceptual sediment connectivity model

Sediment pulses during floods (even as intense as 2020), with potential reactivation of hillslope sediment sources → at catchment scale, sediment production potential should still be significant. But sediment transfer to the main river network seems scarce; when joining the main river channel, sediments are flushed down because of steep slope (Roya : 3.2%) → sediments are efficiently transferred downstream during long phases (> 30-50 yrs?) even during ordinary floods.

Chapuis *et al.*, 2022b

D. Discussion

Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV



- Multiples compartiments d'étude → outils variés
- Cadre régional
- Approche transdisciplinaire et systémique
- Déclinaison opérationnelle

D. Discussion

Flux hydro-sédimentaires: un proxy des interactions climat-société au sein du BV

unité spatiale pertinente = bassin versant



compréhension des processus physiques



conséquences sur les hydro-éco-systèmes



logiques d'aménagement du territoire associé



une démarche résolument géographique

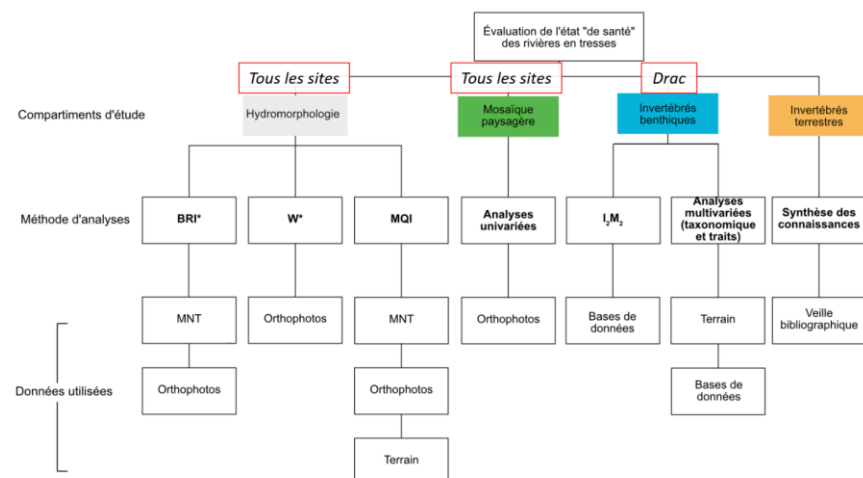
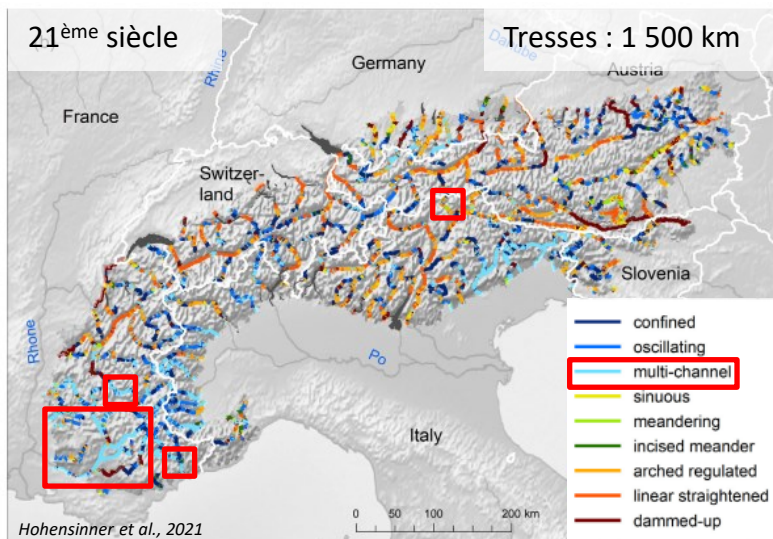
E. Références bibliographiques

- Amoros C., Petts G. E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, 300 pp.
- Anthony E. J., Julian M., 1999. Source-to-sink sediment transfers, environmental engineering and hazard mitigation in the steep Var River catchment, French Riviera, southeastern France. *Geomorphology*, vol. 31 (1–4), pp. 337-354, [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00088-4)
- Battiau-Queney Y., 2002. La géomorphologie des origines à nos jours: une science jeune arrivée à maturité (Geomorphology from the origin to the present time). In: Bulletin de l'Association de géographes français, 79e année, 2002-1 (mars). *Géomorphologie et géographie aujourd'hui. Eau et territoire*, sous la direction de Y. Battiau-Queney, I. Roussel et R. Laganier., pp. 4-14. <https://doi.org/10.3406/bagf.2002.2250>
- Bravard J.-P., Piégay H., 2000. L'interface Nature - Sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux / *The interface between fluvial hydrosystems and societies*. In *Géocarrefour*, vol. 75, n°4. L'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux. pp. 273-274. www.persee.fr/doc/geoca_1627-4873_2000_num_75_4_2478
- Calvet M., 2006. Accidents aléatoires ou crises morphogéniques : l'interprétation risquée des dynamiques fluvio-torrentielles holocènes et historiques en Méditerranée. In P. Allée & L. Lespez (dir.), *L'Érosion entre Société, Climat et Paléoenvironnement*. Table ronde en l'honneur du Prof. R. Neboit-Guilhot (Clermont-Ferrand, 25-27 mars 2004), Presses Universitaires Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, pp. 401-406.
- Crozat D., Dresch J., George P., Pinchemel P., Rozenblat C., Volle J.-P. GÉOGRAPHIE [en ligne]. In *Encyclopædia Universalis [s.d.]*. Disponible sur : <https://www.universalis-edu.com/encyclopedie/geographie/6-geographie-systemique/> [consulté le 19/10/2023].
- Chapuis M., 2012. Mobilité des sédiments fluviaux grossiers dans les systèmes fortement anthropisés: éléments pour la gestion de la basse vallée de la Durance. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, 252p. (<tel-01285528>)
- 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. 2nd 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>
- Chapuis M., Ayrat P.-A., Cerceau J., Dubus N., Josselin D., in prep. [Projet DHYSed-7](https://hal.science/hal-03975995) – Identification des spécificités des dynamiques hydro-sédimentaires dans les Cévennes – Rapport d'activités 2021-2023. Rapport technique + annexes.
- Cholley A., 1950. Morphologie structurale et morphologie climatique, *Ann. Géogr.*, 59, pp.321-335.
- Cossart E., 2018. Le changement global: un champ scientifique fécond pour le géographe. *Géococonfluences*, oct. 2018, <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/changement-global/articles-scientifiques/changement-global> [consulté le 19/10/2023]
- Devreux L., Chapuis M., Belletti B., 2021. Evolution du tressage suite à des opérations de restauration sur des rivières en tresses. *Colloque TSMR – CFBR « Transport sédimentaire : rivières & barrages réservoirs »*, mars 2022, Saclay, France. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108404>
- Devreux L., Chapuis M., Belletti B., 2022. Hydromorphological analysis on restored Alpine braided rivers. *Geomorphology*, 415, pp. 108404. <https://hal.science/hal-03794714>
- 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>
- Devreux L., Belletti B., Chapuis M., 2023. Tools to assess the health status of restored braided hydrosystems. *Scientific Advances in River Restoration Conference*, 06-08 Sept. 2023, Liverpool (UK). https://www.therrc.co.uk/sites/default/files/files/SARR/sarr_programme_abstracts_vsn_22.pdf (p.47)
- Eyrrolle F., Chapuis M., 2011. *Détermination de points de prélèvement de sédiments dans la Durance à proximité du CEA de Cadarache. Rapport DEI/SESURE 2011-16*. Rapport technique, IRSN pour la CLI de Cadarache, 43 p.
- 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>
- Lagrève K., 2017. *Etude des évolutions hydromorphologiques du lit de la Durance – Entre le barrage de Cadarache et le seuil A (Usine de Jouques)*. Rapport de stage de Master, CEA et Aix-Marseille Université, 60 p.
- Liébault F., Melun G., Piton G., Chapuis M., Passy P., in rev. Channel change during catastrophic flood: example of the storm Alex in the Vésubie and Roya valleys. *Geomorphology*.
- Liu J., Dietz T., Carpenter S. R., Alberti M., Folke C., Moran E., Pell A. N., Deadman P., Kratz T., Lubchenco J., Ostrom E., Ouyang Z., Provencher W., Redman C. L., Schneider S. H., Taylor W. W., 2007. Complexity of Coupled Human and Natural Systems, *Science*, American Association for the Advancement of Science, 317, 1513-1516. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1144004>
- 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/graiedoc/doc_telech/isrivers2022/A5/A5_ISRivers22%20\(3\).pdf](https://www.graie.org/graie/graiedoc/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
- Neboit R., 2010. *L'homme et l'érosion*. [3e édition revue et augmentée], Presses universitaires Blaise Pascal, coll. Nature et Sociétés, ISBN 978-2-84516-393-5, 350 p.
- Piton G., Cohen M., Flipo M., Nowak M., Chapuis M., Melun G., Robert Y., Andréis N., Liébault F., in press. 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*.
- Provansal M., Leveau P., 2006. Morphogenèse, anthropisation et changements climatiques : état du champ scientifique. In P. Allée & L. Lespez (dir.), *L'Érosion entre Société, Climat et Paléoenvironnement*. Table ronde en l'honneur du Prof. R. Neboit-Guilhot (Clermont-Ferrand, 25-27 mars 2004), Presses Universitaires Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, pp. 191-202.
- Recking A., Richard D., Degoutte G., 2013. *Torrents et rivières de montagne – Dynamique et aménagement*. Editions Quae. ISBN 978-2-7592-1999-5
- Schumm S. A., 1977. *The Fluvial System*. John Wiley & Sons, New York, 338 p.
- Serrhini Naji G., 2021. *Monographie historique du transport sédimentaire en Cévennes: une approche par les hybrides*. Rapport de stage de Master, IMT Mines Alès et UTC, 75 p.
- Sømme T.O., Helland-Hansen W., Martinsen O.J., Thurmond J.B., 2009. Relationships between morphological and sedimentological parameters in source-to-sink systems: a basis for predicting semi-quantitative characteristics in subsurface systems. *Basin Research*, 21: 361-387. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2009.00397.x>

Erosion d'une protection de berge – Pertus, Roya, 2018. Le soutènement a totalement disparu lors de la tempête Alex du 02 oct. 2020.



D. Discussion

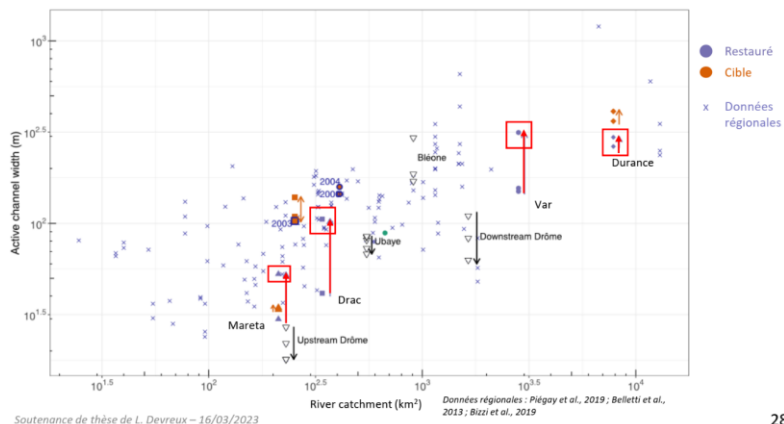


L. Devreux, 2023



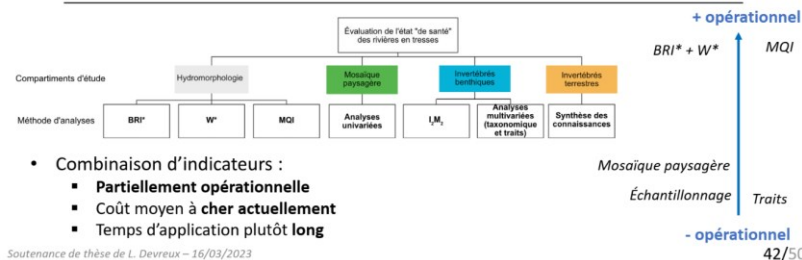
❖ Cadre régional de la largeur de bande active (W)

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



❖ Approche transdisciplinaire et systémique

Combinaisons des méthodes d'évaluation	Efficacité du suivi
BRI* + W* et étude taxonomique des macroinvertébrés	+
BRI* + W* et approche par les traits des macroinvertébrés	++
BRI* + W* et I ₂ M ₂	-
BRI* + W* et mosaïque paysagère	++
MQJ et étude taxonomique des macroinvertébrés	-
MQJ et approche par les traits des macroinvertébrés	+
MQJ et I ₂ M ₂	-
MQJ et mosaïque paysagère	-
BRI* + W* et MQJ et approche par les traits des macroinvertébrés et mosaïque paysagère	+++



- Combinaison d'indicateurs :
 - Partiellement opérationnelle
 - Coût moyen à cher actuellement
 - Temps d'application plutôt long