





# L'aléa climatique en Méditerranée

Etude de cas - la tempête Alex (2 octobre 2020) dans le contexte maralpin.

Dr. Fabrice JOUFFRAY Université Côte d'Azur

Workshop EDUMED-Obs 29 OCTOBRE 2024







La tempête Alex en quelques chiffres : 10 décès, 9 disparus, dégâts matériels estimés à 210 millions d'Euros sur un total de 2000 bâtiments partiellement ou totalement détruits, isolement de villages par rupture des ponts.











La tempête Alex en quelques chiffres : 10 décès, 9 disparus, dégâts matériels estimés à 210 millions d'Euros sur un total de 2000 bâtiments partiellement ou totalement détruits, isolement de villages par rupture des ponts.

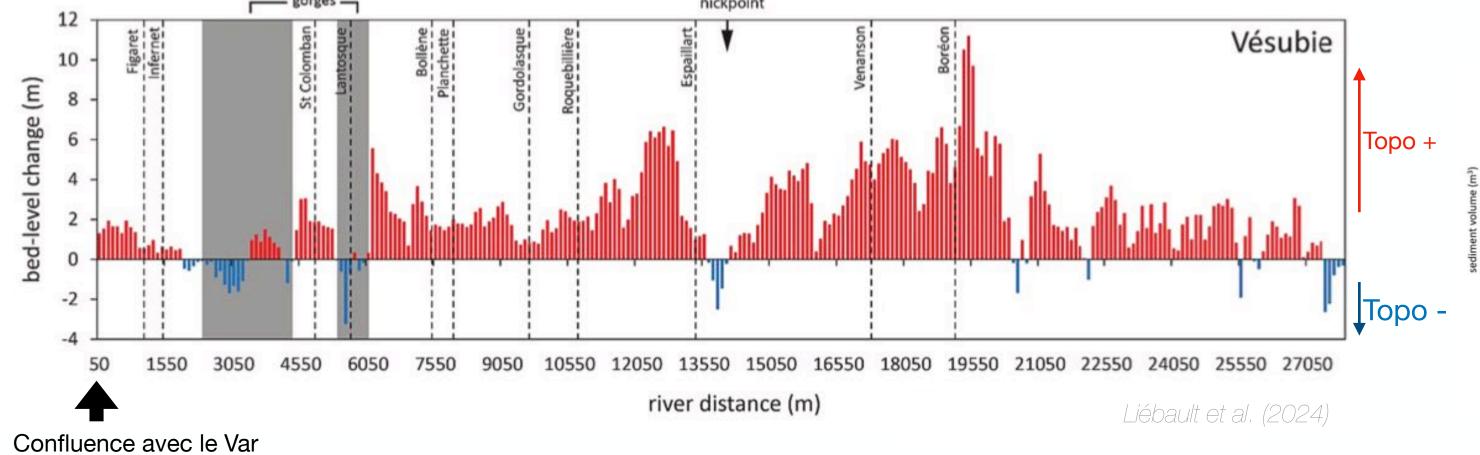


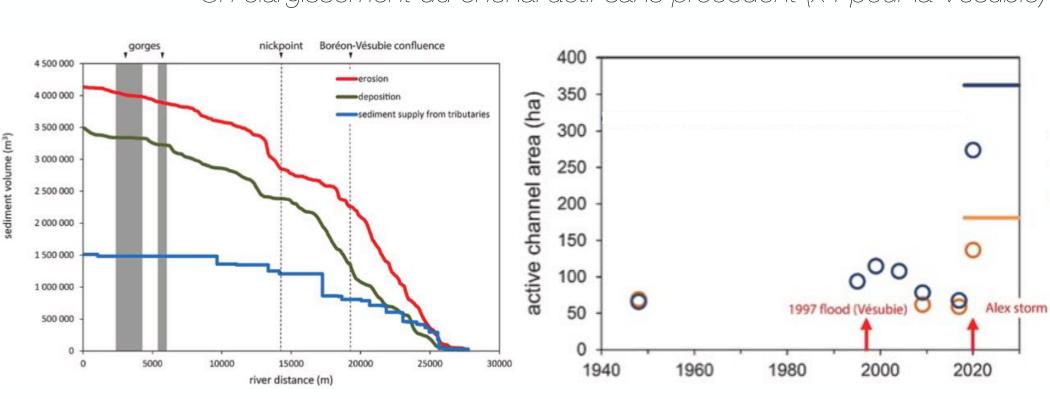
Modification du paysage : Elargissement du lit, remobilisation des sédiments de l'amont, incision des flancs

Saisies d'écran obtenues à partir de Google Earth

### Un remodelé de la vallée caractérisé par :

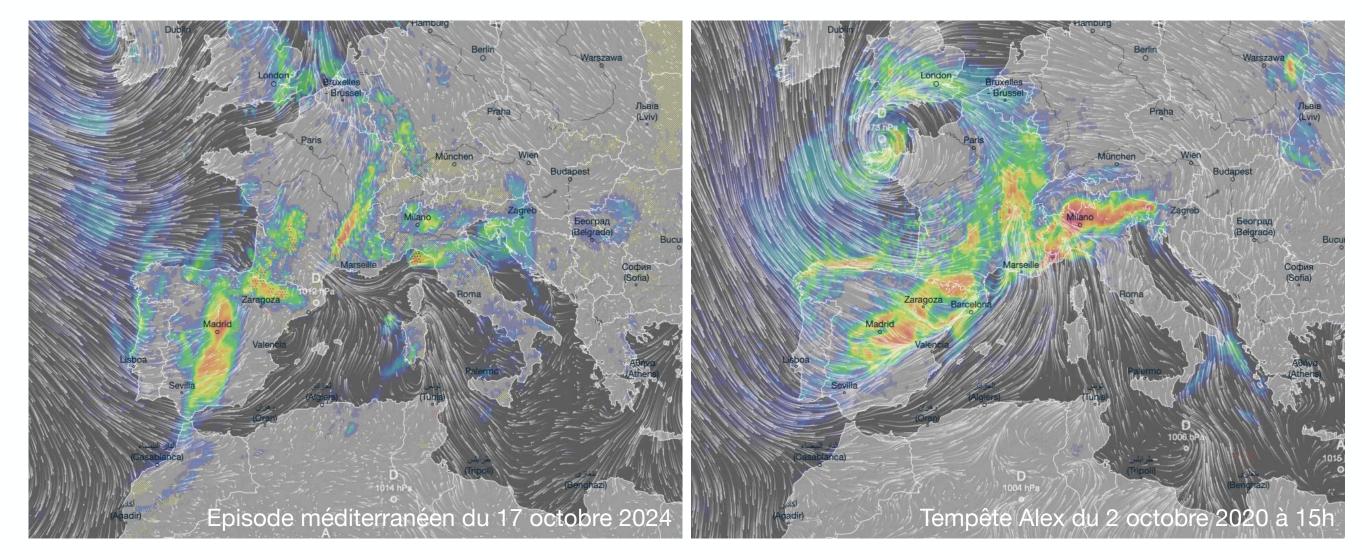
- une aggradation générale (contribution des affluents)
- Un élargissement du chenal actif sans précédent (x4 pour la Vésubie)



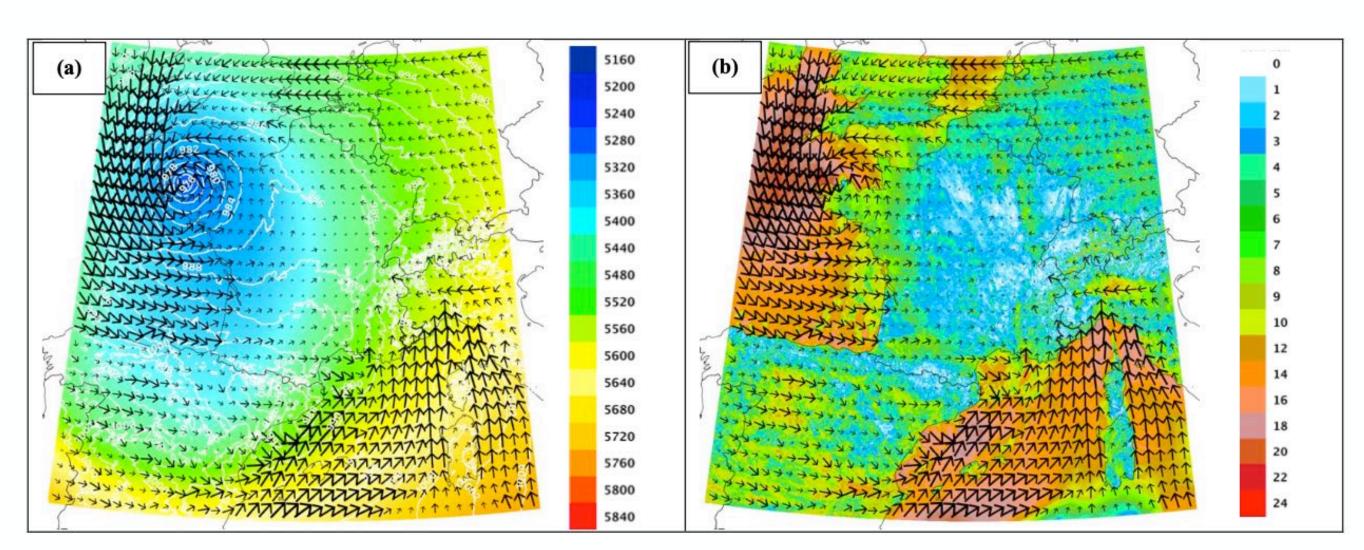


Liébault et al. (2024)

# L'aléa climatique : Quand le phénomène météorologique rencontre son bassin versant.

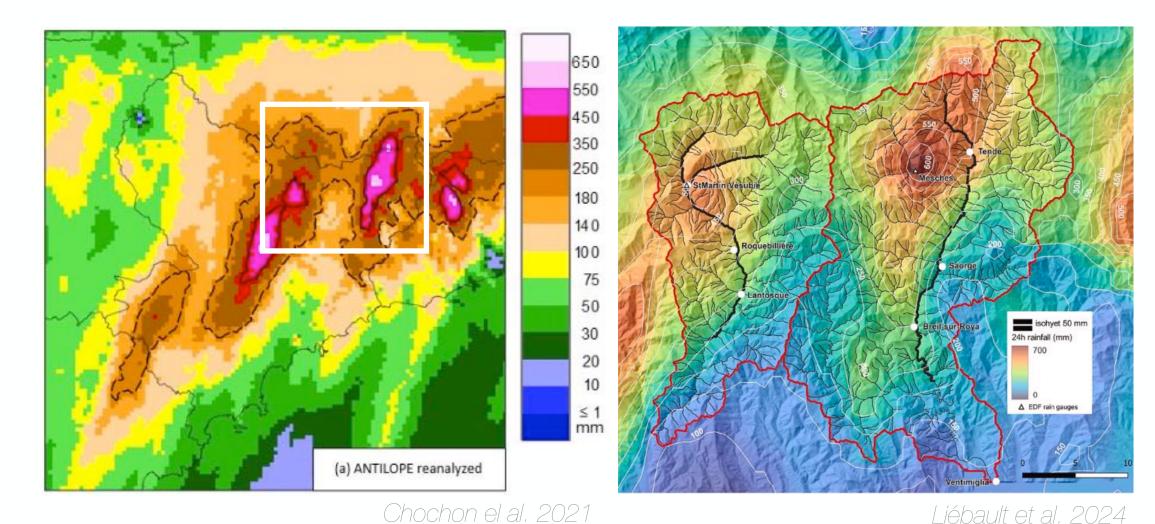


La tempête Alex n'est pas un épisode méditerranéen classique



Situation régionale de la pression atmosphérique le 02 octobre 2020 modélisée par AROME avec une résolution de 2.5km (a) Altitude (m) du géopotentiel 500hPa et (b) vitesse (m.s-1) et direction des vents à 1000hPa.

Chochon el al. 2021



(A) Modélisation ANTILOPE du cumul journalier contrainte par les données Radar de MétéoFrance et les réseaux de pluviomètres (MétéoFrance et réseaux amateurs) (B) Cumul déduit des modèles portés sur un MNT des bassins versants de la Vésubie et de la Roya.

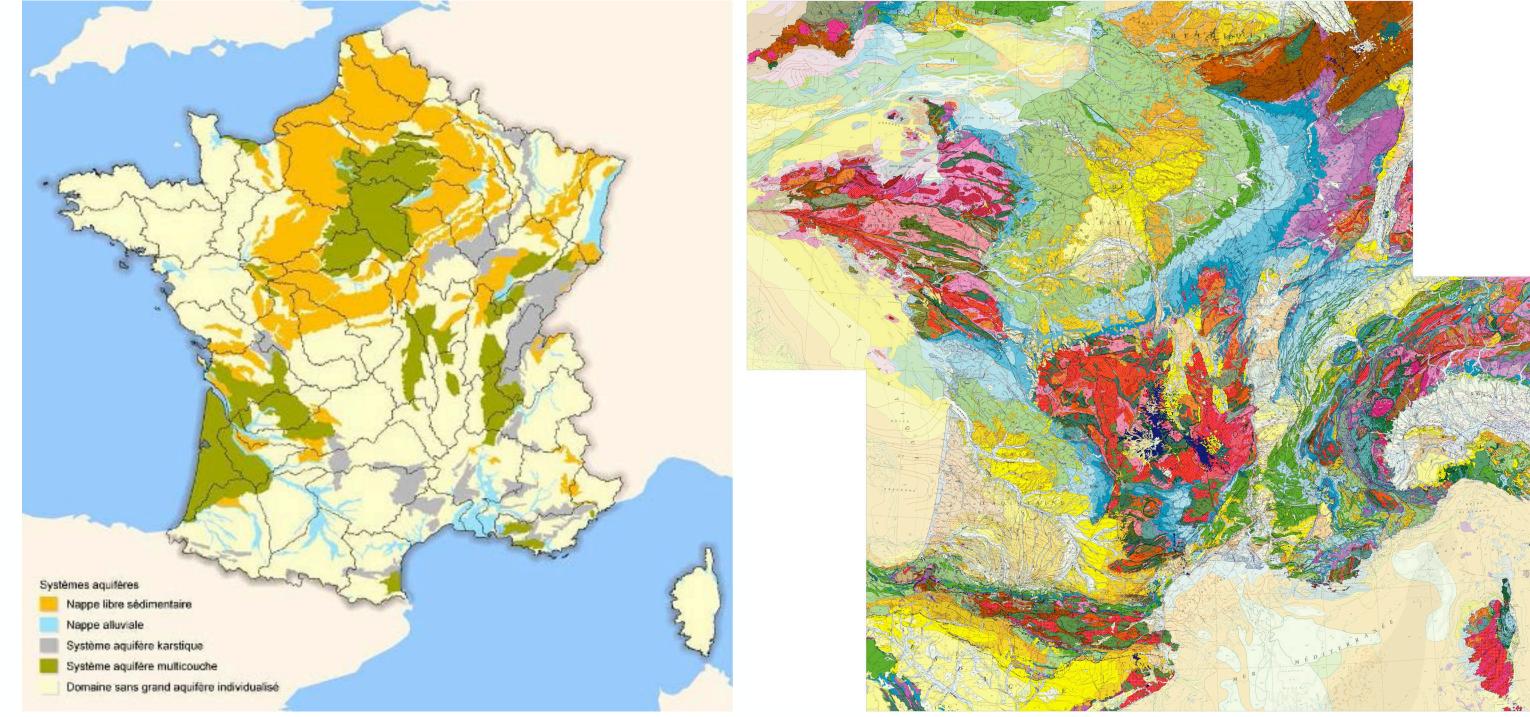
### Une situation dépressionnaire caractérisée par :

- La tempête (Alex) dont l'oeil se situe sur l'Atlantique Nord et les vents Sud traversent la région de Nice
- Période des épisodes méditerranéens alimentés par le refroidissement progressif de la Mer Méditerranée.



Ratio du nombre d'épisodes méditerranéens par rapport à la période de référence 1961-1981

# L'aléa climatique : Quand le phénomène météorologique rencontre son bassin versant.



Cartographie générale de la France faisant état (A) de la répartition des nappes de nature diverse (voir la légende), en regard de (B) la carte géologique de la France au millionième.

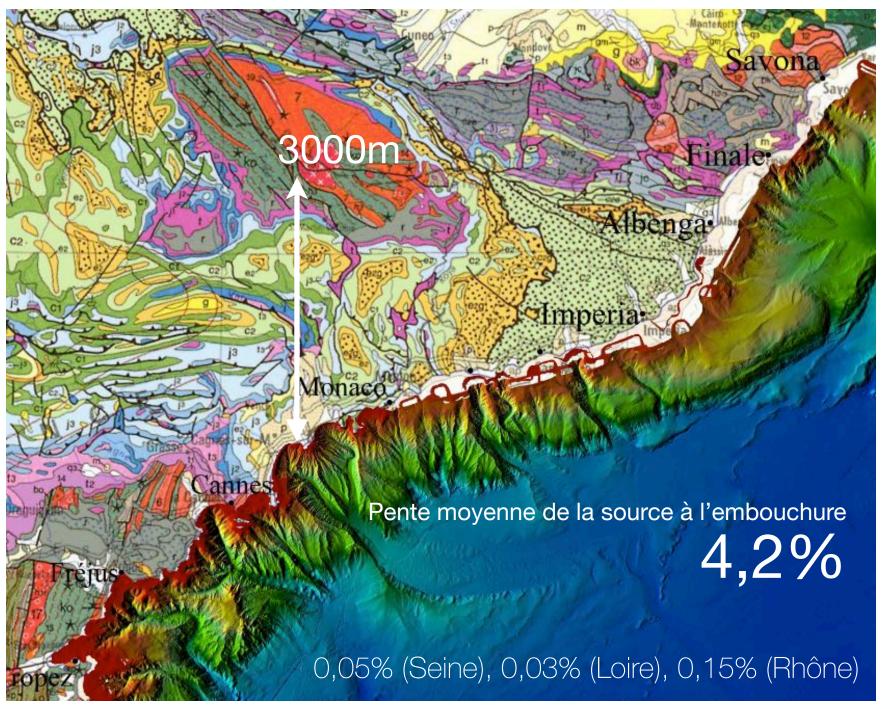
© BRGM

### Les contreforts alpins de la région niçoise

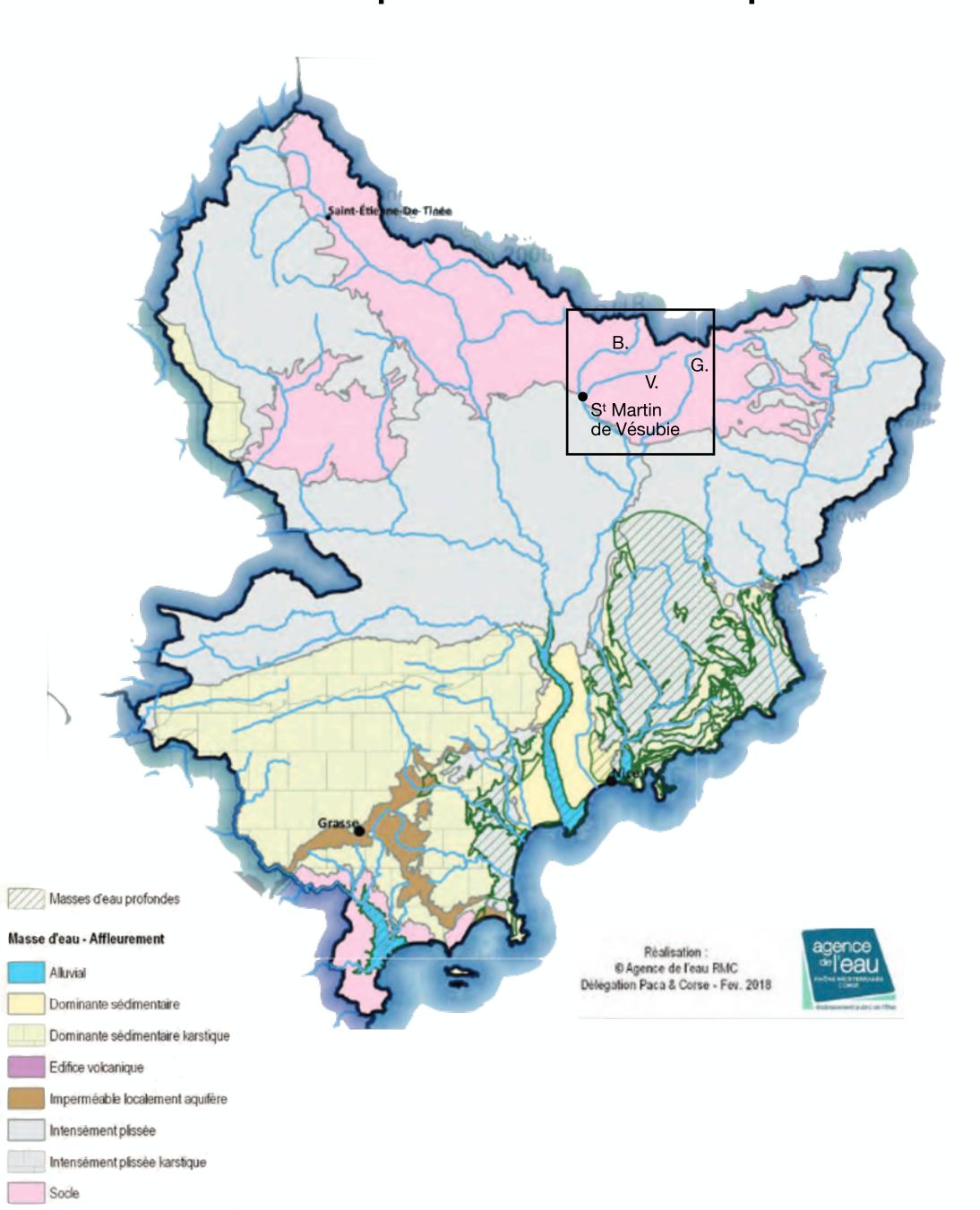
- Un système sans grands aquifères, mixtes, discontinus et plus ou moins interconnectés (karst/nappe alluviale fissural/alluvial)
- La capacité de rétention du sous-sol y est hétérogène, la topographie accidentée favorise l'écoulement.

### La géologie de la France se traduit en hydrologie par un devenir différent des eaux de pluies

- Les bassins à forte subsidence : système multicouche complexe et profond
- Les régions des vieux orogènes sont dominés par des systèmes fissuraux superficiels.
- Les régions montagneuses récentes caractérisées par de petites nappes discontinues



# L'aléa climatique : Quand le phénomène météorologique rencontre son bassin versant.



### La Vésubie s'écoule à l'interface entre le socle métamorphique de l'Argentera-Mercantour et la couverture secondaire plissée

- Les pluies cumulées en amont de Saint-Martin de Vésubie tombent sur un massif propice à l'écoulement
- Les pluies dans les bassins versants des affluents (Boréon, Gordolasque...) rencontrent le même contexte



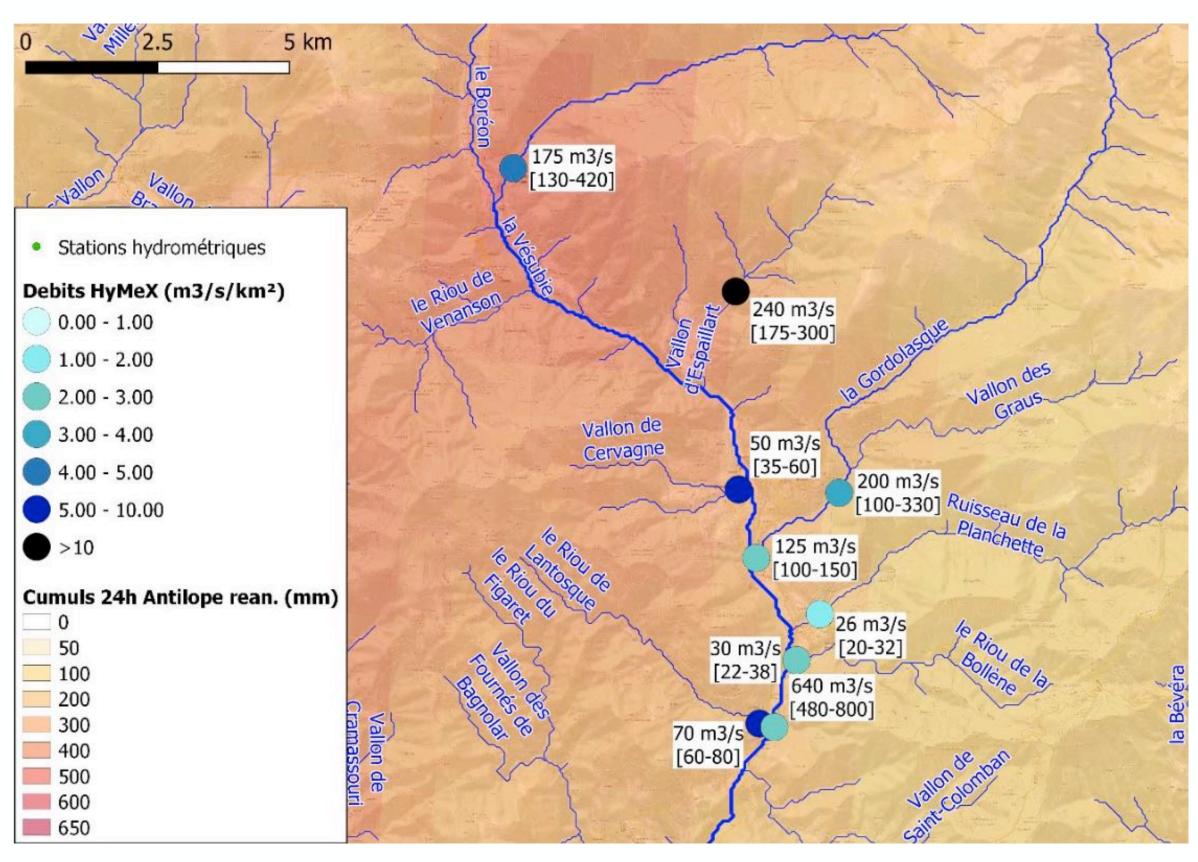
### L'impluvium en contexte de haute montagne rencontre :

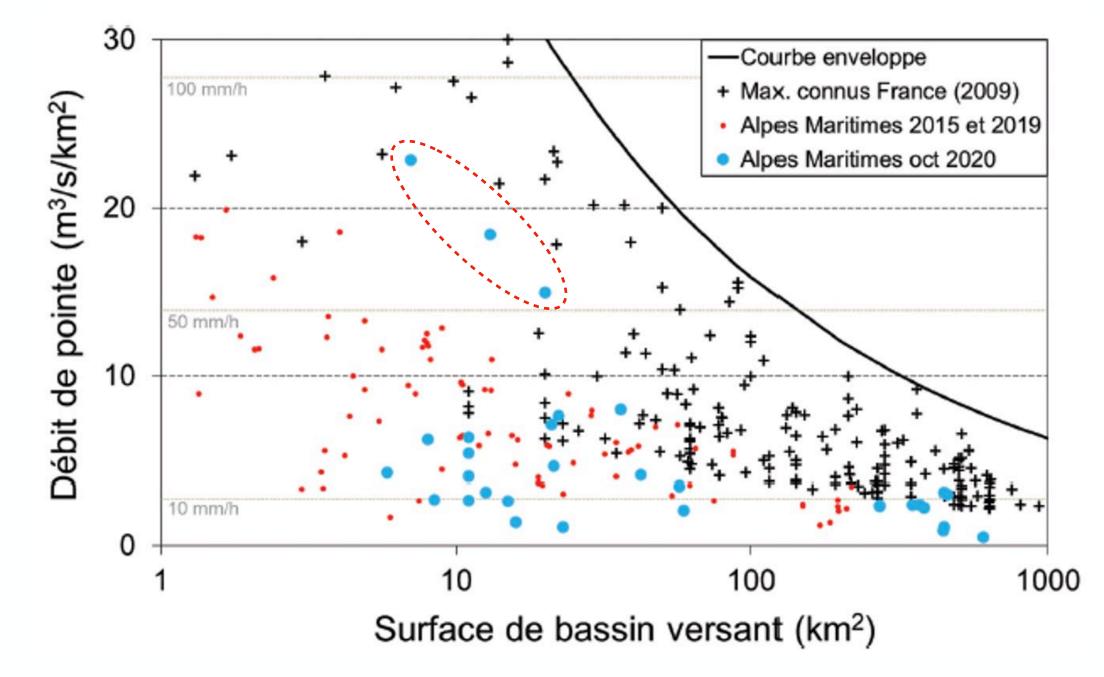
- Des massifs découpés par la tectonique alpine (plans sub-verticaux)
- Un débit préférentiel de la foliation métamorphique sub-verticalisée (auquel s'ajoute la décompression glaciaire)
- Des dépôts mal consolidés accumulés (moraines et dépôts gravitaires)

# Rejouons la tempête Alex, le rôle des modèles dans la compréhension de l'épisode

### **Quelques valeurs:**

- 664mm à Mesces (Roya)
- 500mm à Saint-Martin de Vésubie
- 380mm à Andon
- 343mm à Tende
- 271mm à Breil s/Roya





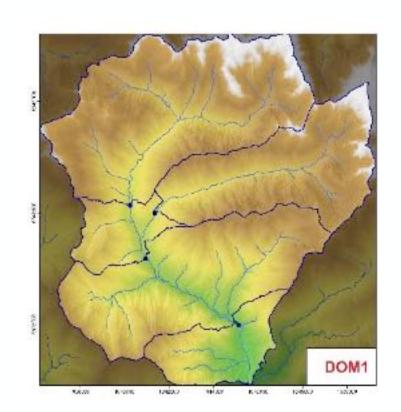
Payrastre et al. (2021)

### En dépit d'un événement météorologique extrême (record enregistré)

- Une réponse des cours d'eau **qui ne s'écarte pas des valeurs de crues déjà mesurées** dans les événements précédents (débit de pointes contenus dans les valeurs de 2015 et 2019.
- Les **débits mesurés sont en adéquation** avec la pluviométrie modélisée et soumise à de forte incertitudes. Le Boréon et la Madone sont les contributeurs principaux de la crue.

Payrastre et al. (2021)

# Rejouons la tempête Alex, le rôle des modèles dans la compréhension de l'épisode

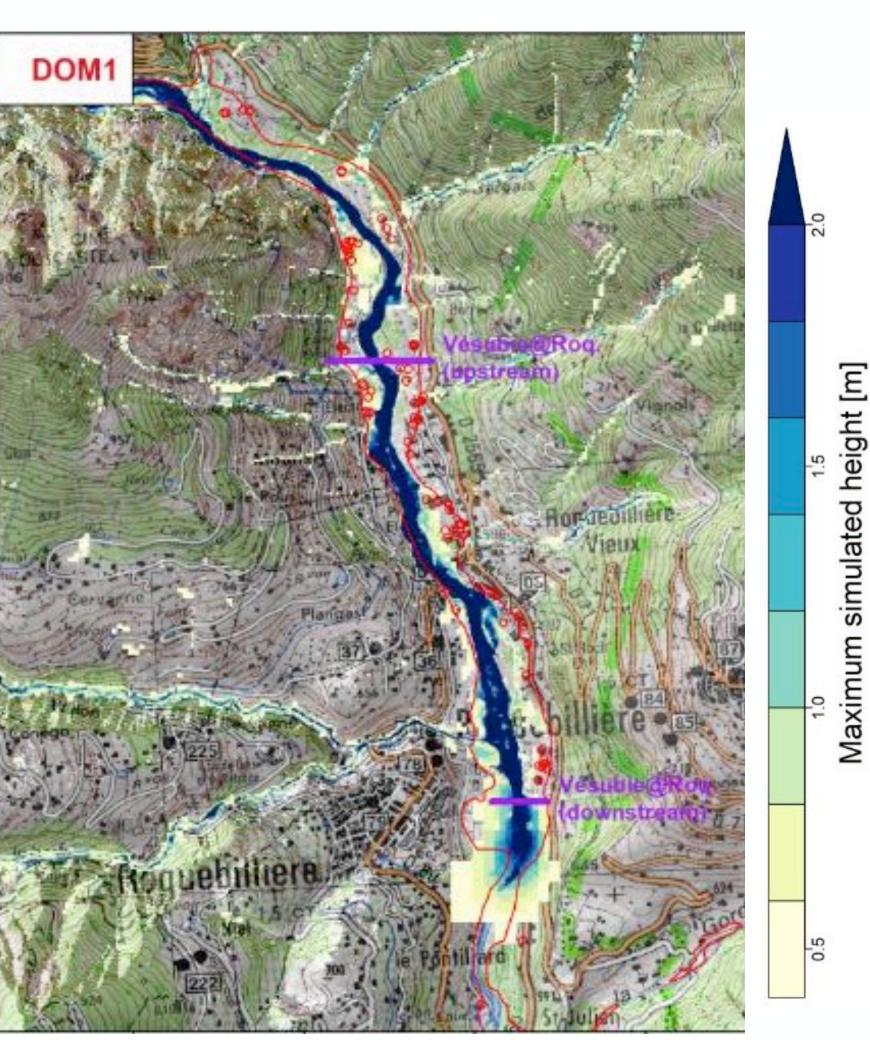


### **Extension DOM1**

- Prend en compte les affluents amont de la Vésubie par intégration d'une valeur de débit fixée
- le résultat simulée ne prend pas en compte le débit initial

### Le code Basilisk :

- Code open-source calculant les débits et hauteurs d'eau
- Convertit l'eau de pluie en écoulement dans un MNT



Brigode et al. (2022)

### En conclusion des résultats de simulation obtenus

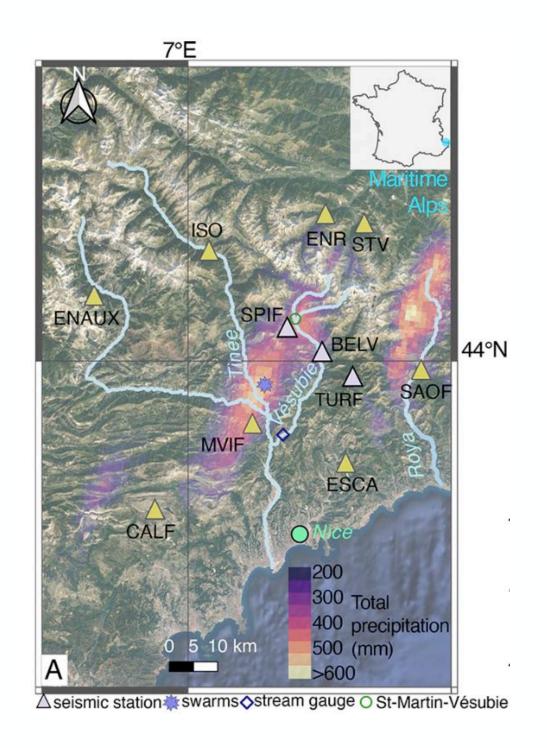
- La simulation de crue sous-estime les impacts avérés.
- Des dégâts produits sur des « parcelles sèches » du modèle correspondent à des dégâts induits ( mouvements gravitaires . . .)

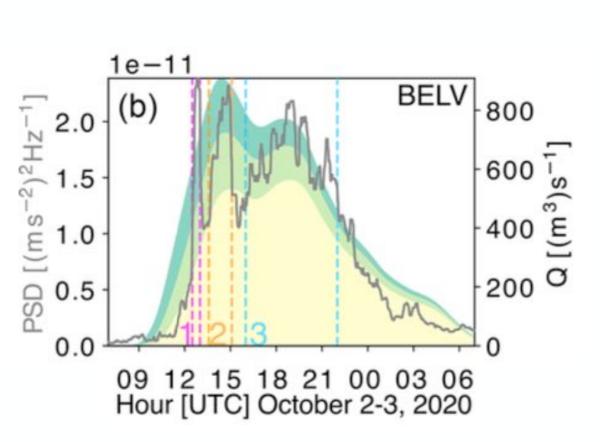
# Des résultats qui en disent plus du fait qu'ils montrent des faiblesses

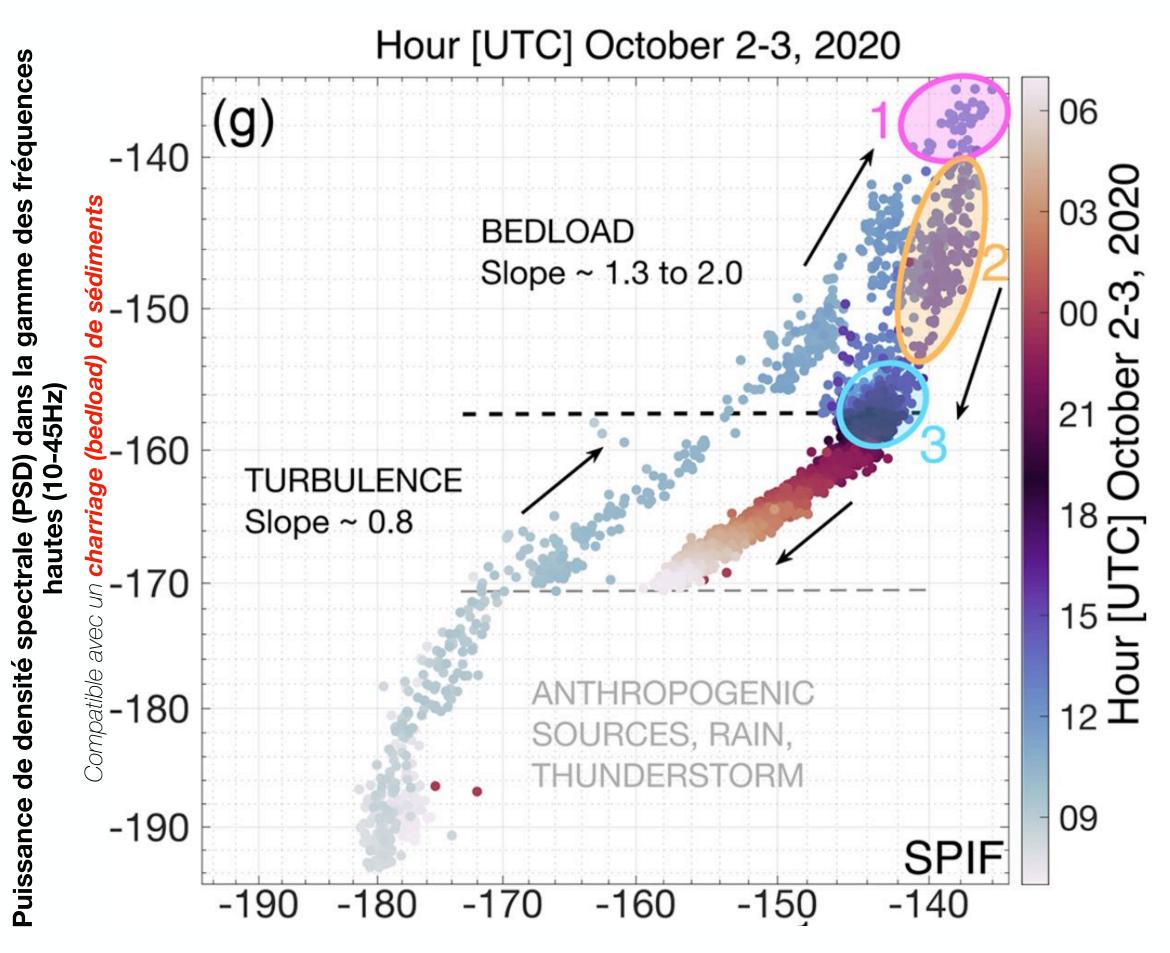
- L'absence de valeur initiale de débit au début du scénario.
- Le MNT rigide ne rend pas compte des changements du lit au cours de l'événement.
- Les équations employées sont écrites sur la base des propriétés de l'eau.

La nature même de l'écoulement n'est pas pris en compte

# Vers d'autres sources de données pour affiner notre compréhension.







### Puissance de densité spectrale dans la gamme des fréquences basses (4-10 Hz)

Compatible avec un **écoulement turbulent** 

### Chmiel et al. (2022)

# Un détour par l'analyse du bruit de fond sismique

- Indique une bonne corrélation entre les modèles de crue et l'augmentation du bruit de fond.
- Permet de qualifier la viscosité du cours d'eau en crue

### Une brève mise en charge de la Vésubie...

- Les trois premières heures de la mise en crue correspondent à une hausse du niveau de cours d'eau

### Suivie d'une longue période de charriage.

- Les neufs heures qui suivent correspondent à un pic de charriage.
- Il ne s'agit plus d'une simple crue mais d'un flux de débris

# En conclusion...

### Les particularités de la tempête Alex

- La concomitance d'un événement dépressionnaire atlantique dans une période propice aux épisodes méditerranéens : **record de précipitations sur 24H**.
- Des **précipitations figées** sur les hauts secteurs de l'Argentera-Mercantour.



### Les particularités de la Haute-Vésubie

- Des reliefs accidentés et fracturés, des bas de pentes comblés par les dépôts glaciaires et les débris gravitaires.
- Un contexte géologique favorable à l'écoulement



# Une crue, pourquoi pas... mais surtout une coulée de débris qui se maintient dans le temps !!

# Z avant crue (NMCA) Z après crue (IGN) Ligne d'eau syn-tempête 10 20 30 40 50 distance (m)

Le lit élargi et parfois même creusé

Payrastre et al. (2021)



Le substratum du Village dévoilé par l'incision du cours au pic de crue



... Et parce qu'aucun fait divers ne s'accompagne de son crotège de rumeurs complotistes..

## En conclusion...

### Des pistes de recherche

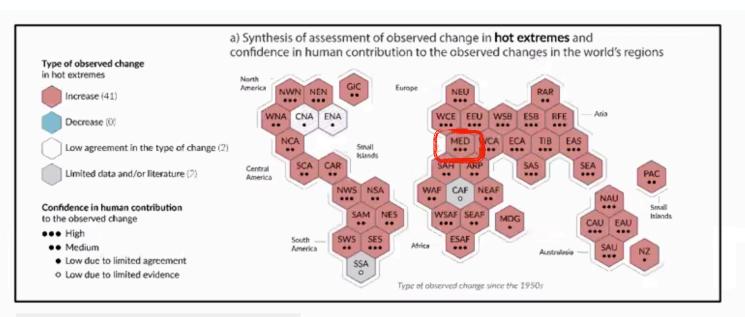
- Corréler intensité du dérèglement climatique et la récurrence des événements qualifiés d'exceptionnels.
- Affiner les modèles pour mieux contraindre les plans d'aménagement du territoire

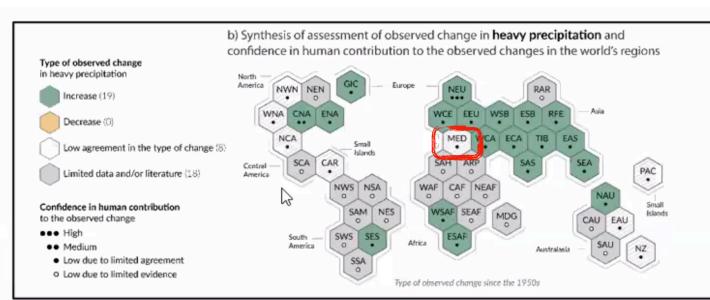


L'accès à la Madone toujours coupé

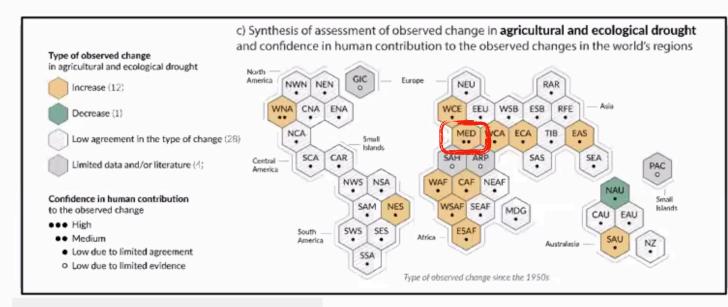
### Des pistes d'améliorations

- Accentuer l'instrumentation pour faciliter la recherche
- A coupler avec des systèmes de mise en alerte toujours plus efficaces
- Former les populations locales à la culture du risque





### **Extrêmes chauds**



### Sécheresses du sol

### Pluies extrêmes

Vue d'architecte du futur Pont de Venanson

### Des travaux de mitigations de l'aléa

- Politiques publiques d'aménagement du territoire DOIVENT prendre en compte les résultats de recherche : Respect des cartographies issues des PLU.
- Eloigner les services des plans d'urgence de toute source d'aléa potentiel (cellules de crise, gendarmeries, ...)
- La reconstruction doit éviter le « provisoire » qui a été souvent choisie dans la restauration rapide de la vallée.
- Le renforcement des berges du nouveau lit doit être symétrique pour éviter les effets de rebonds et chocs induits
- Le nettoyage/entretien des fonds de vallée pour limiter le transport et embâcles en aval.

### 6<sup>èME</sup> rapport du GIEC (2023)