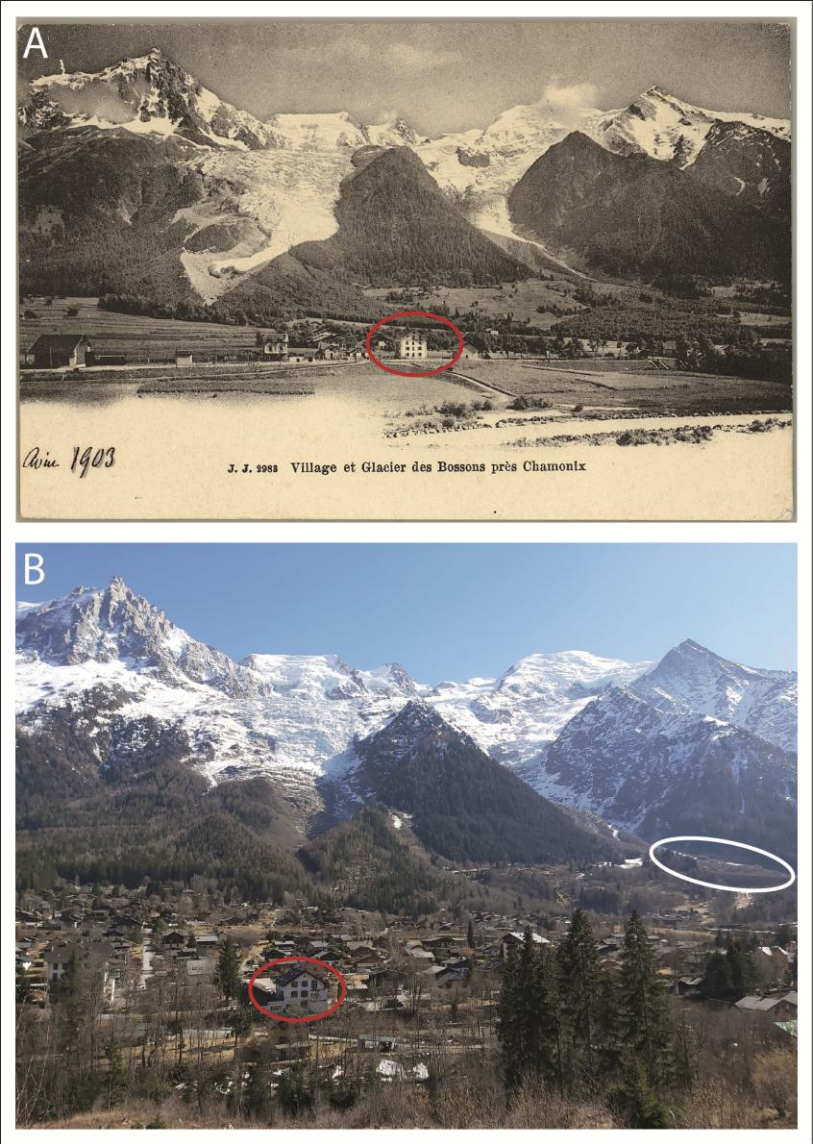


Des données pluriséculaires à l'évolution de l'activité avalancheuse et du risque associé

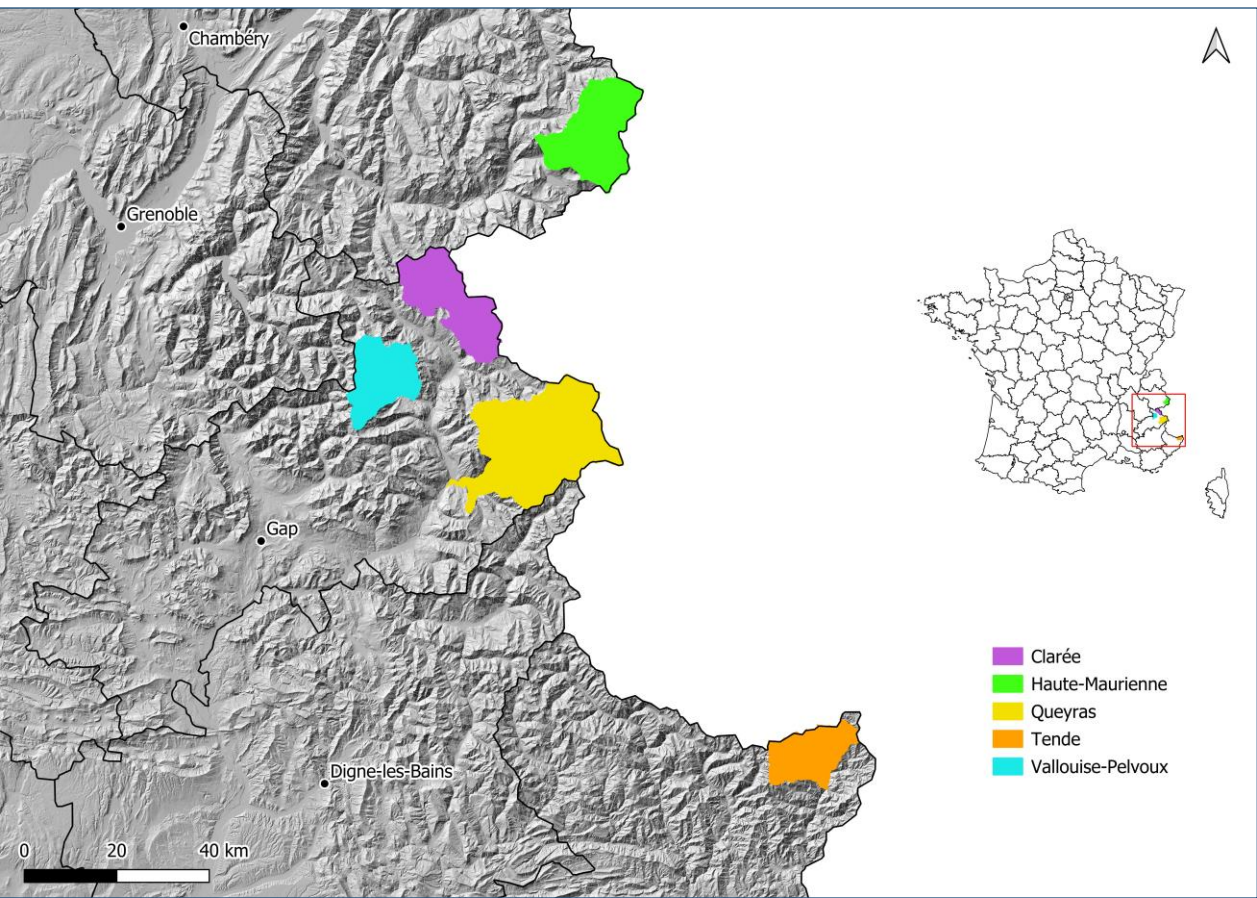
Camille Defernand, Florie Giacona, Manon Farvacque,
Alix Bisquert, Nicolas Eckert

Séminaire QUAAACC
Aiguilles, 3-4 mars 2026

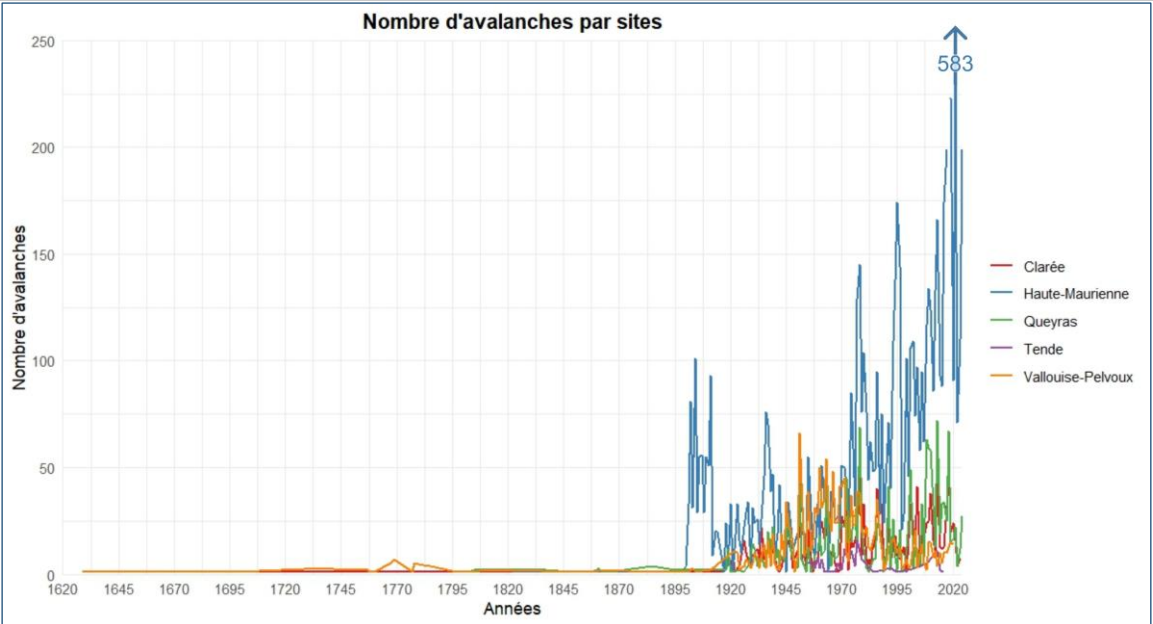


Eckert & Giacona, Ambio 2022

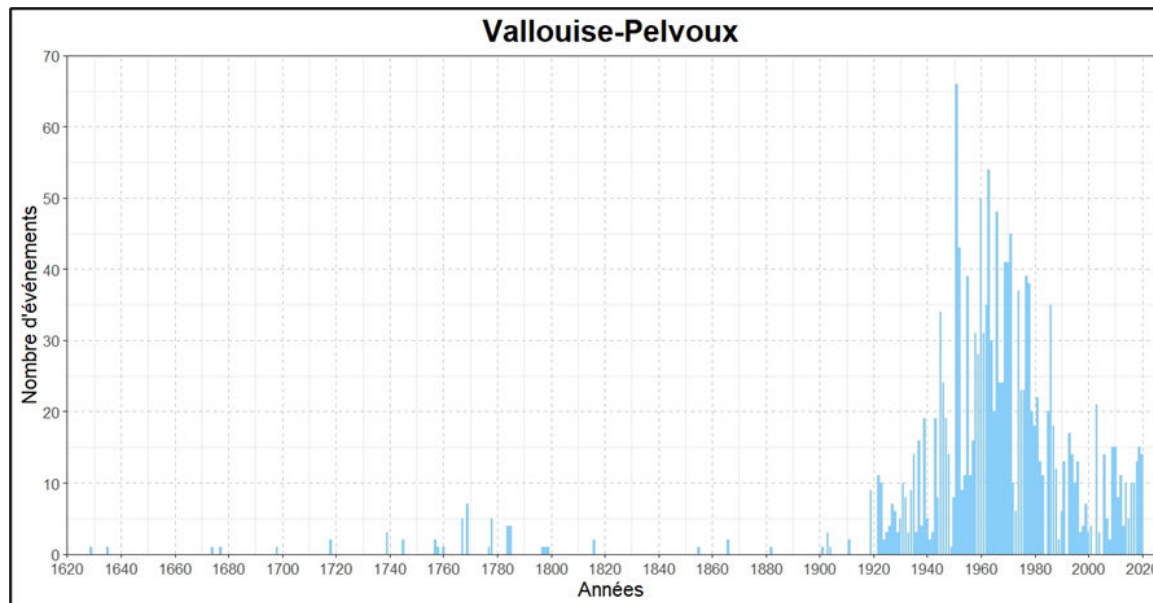
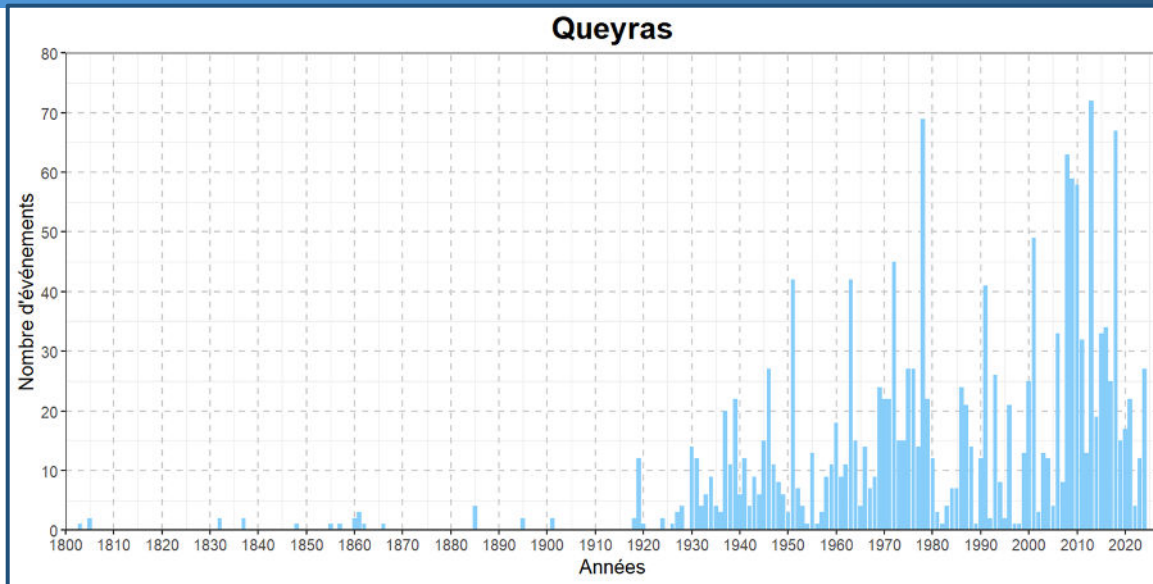
5 zones d'étude aussi bien documentées que possible



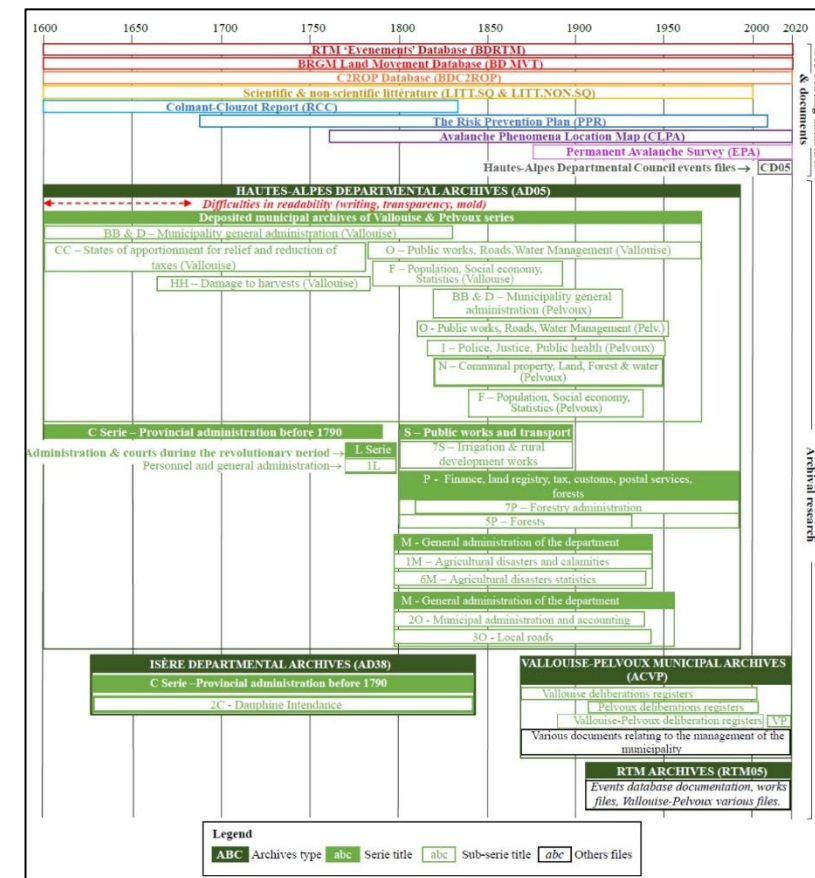
Zone	Nombre d'évènements	Nombre de sites	Chronologie évènements	Sources utilisées
Vallouise-Pelvoux (très avancé)	1654	59	1629 à 2020	Archives départementales et communales ; BDRTM ; BDC2ROP ; BDMVT ; EPA ; CLPA
Clarée (très avancé)	1426	57	1633 à 2023	Archives départementales et communales ; BDRTM ; BDC2ROP ; BDMVT ; EPA ; CLPA
Haute-Maurienne (avancé)	7665	70	1900 à 2024	EPA ; carnet forestier ; CLPA ; BDRTM ; data-avalanche
Queyras (avancé)	1724	38	1900 à 2024	EPA ; carnet forestier ; CLPA ; BDRTM ; data-avalanche ; ANENA ; archives (en cours)
Tende (terminé sur courte période)	137	10	1955 à 2016	EPA ; carnet forestier ; CLPA ; BDRTM ; data-avalanche ; ANENA



5 zones d'étude aussi bien documentées que possible (2)



- Chronologies aux allures similaires.
- Importance cruciale de l'évolution des sources (nombre, nature, etc.).



Dallons Thanneur et al., NHESS 2025

5 zones d'étude aussi bien documentées que possible (3)

Exercice 1855. Département des hautes-alpes

N° d'ordre 4. Etat des pertes résultant d'accidents divers constatés pendant le mois de décembre 1855.

N° d'ordre	Communes		Noms et prénoms des perdants	Dates des pertes	Nature des pertes	Montant des pertes	Observations
	Arrondissement	Commune					
82	Briançon	Arvieux	Simon Jacques	23 mai 1855	Chalet renversé par une avalanche	320.00	19.20
13		Arvieux	Simon Jacques	20 janvier 1856	Chalet renversé par une avalanche	300.00	18.00
64		Arvieux	Simon Jacques	20 avril 1855	Chalet renversé par une avalanche	360.00	21.60
180	Embrayon	Arvieux	Simon Jacques	10 juin 1855	Chalet renversé par une avalanche	400.00	24.00
7		Arvieux	Simon Jacques	20	Chalet renversé par une avalanche	400.00	24.00
178		Arvieux	Simon Jacques	10	Chalet renversé par une avalanche	400.00	24.00
97		Arvieux	Simon Jacques	16 juin 1855	Chalet renversé par une avalanche	400.00	24.00
172	Gap	Arvieux	Simon Jacques	15 5 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	60.00	3.60
183		Arvieux	Simon Jacques	21 1 ^{ère}	Chalet renversé par une avalanche	350.00	21.00
142		Arvieux	Simon Jacques	7 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	100.00	6.00
159		Arvieux	Simon Jacques	8 août 1855	Chalet renversé par une avalanche	115.00	6.90
186		Arvieux	Simon Jacques	20 9 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	800.00	48.00
100		Arvieux	Simon Jacques	16 juin 1855	Chalet renversé par une avalanche	300.00	18.00
176		Arvieux	Simon Jacques	15 8 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	240.00	14.40
179		Arvieux	Simon Jacques	9 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	100.00	6.00
173		Arvieux	Simon Jacques	3 ^{ème}	Chalet renversé par une avalanche	150.00	9.00
						7121.00	428.00

L. Prefet Arvieux 1855 (Commune Arvieux)

Gap le 18 janvier 1856.

Cote 1M184 : État des pertes résultant d'accidents divers constatés pendant le mois de décembre 1855, signé par le Préfet des Hautes-Alpes, le 12 janvier 1856.

« Arrondissement : Briançon.

Commune : Arvieux.

Noms et prénoms des perdants : Simon Jacques.

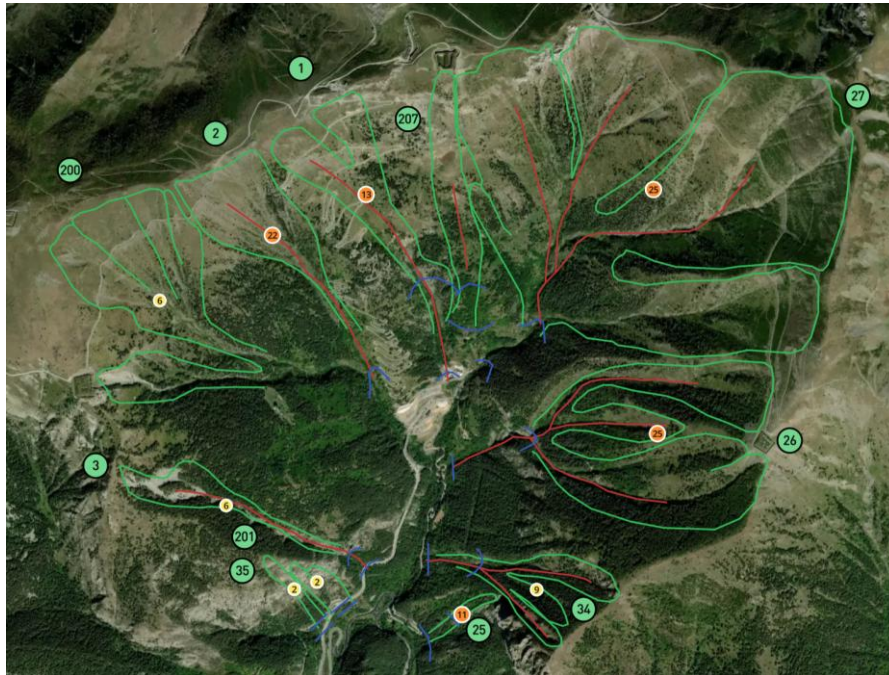
Date des pertes : 23 mai 1855.

Nature des pertes : Chalet renversé par une avalanche.

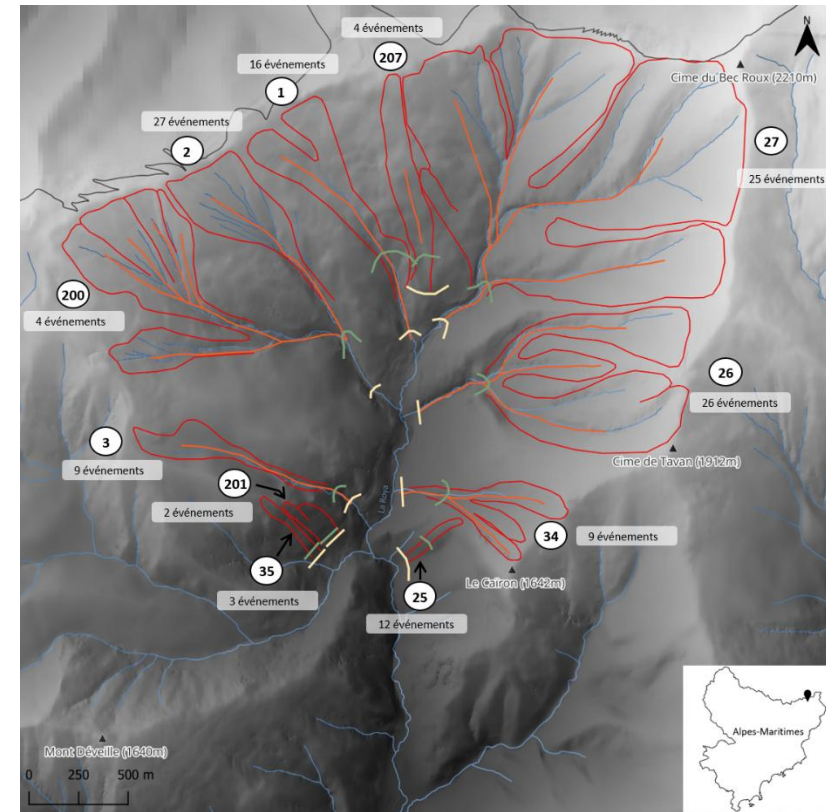
Montant des pertes : 320f. »

5 zones d'étude aussi bien documentées que possible (5)

- Des historiques localisés complétés :
 - À l'échelle des sites EPA (+ analyse détaillée)
 - « Ailleurs » (autres sites localisés, ou a minima territoire communal)



EPA @www.avalanches.fr



- | | |
|--|--|
| ① Site n°1: Vallon de la CA (ancien "Poste Frontière") | ③④ Site n°34: Ciappa |
| ② Site n°2: Vallon de Romanin (ancien "Le Colombier") | ③⑤ Site n°35: Rocher de Susarme-Couloir |
| ③ Site n°3: Penolegue (ancien "Pellonèque") | ②⑥ Site n°200: Vallon de Morgon (ancien site n°2bis) |
| ②⑤ Site n°25: Cailron | ②① Site n°201: Rocher de Susarme-Versant (rajouté en 2005) |
| ②⑥ Site n°26: Fort Taborda | ②⑦ Site n°207: Cannelle-Poste de Douane (rajouté en 2007) |
| ②⑦ Site n°27: Val de Cannelle (rattaché au site n°27bis en 2005) | |

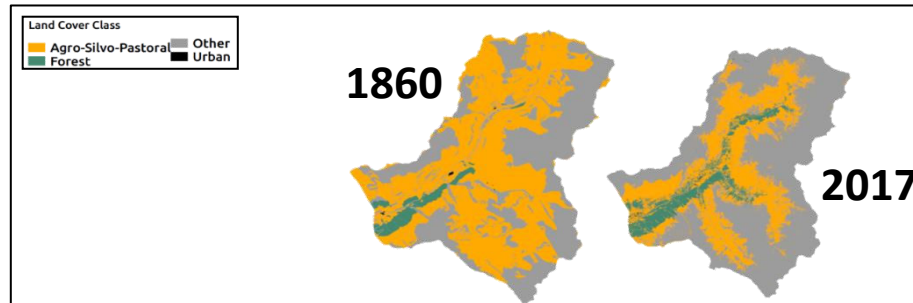
— Talwegs des sites EPA
— Contours des sites EPA

— Seuil d'observation
— Seuil d'alerte

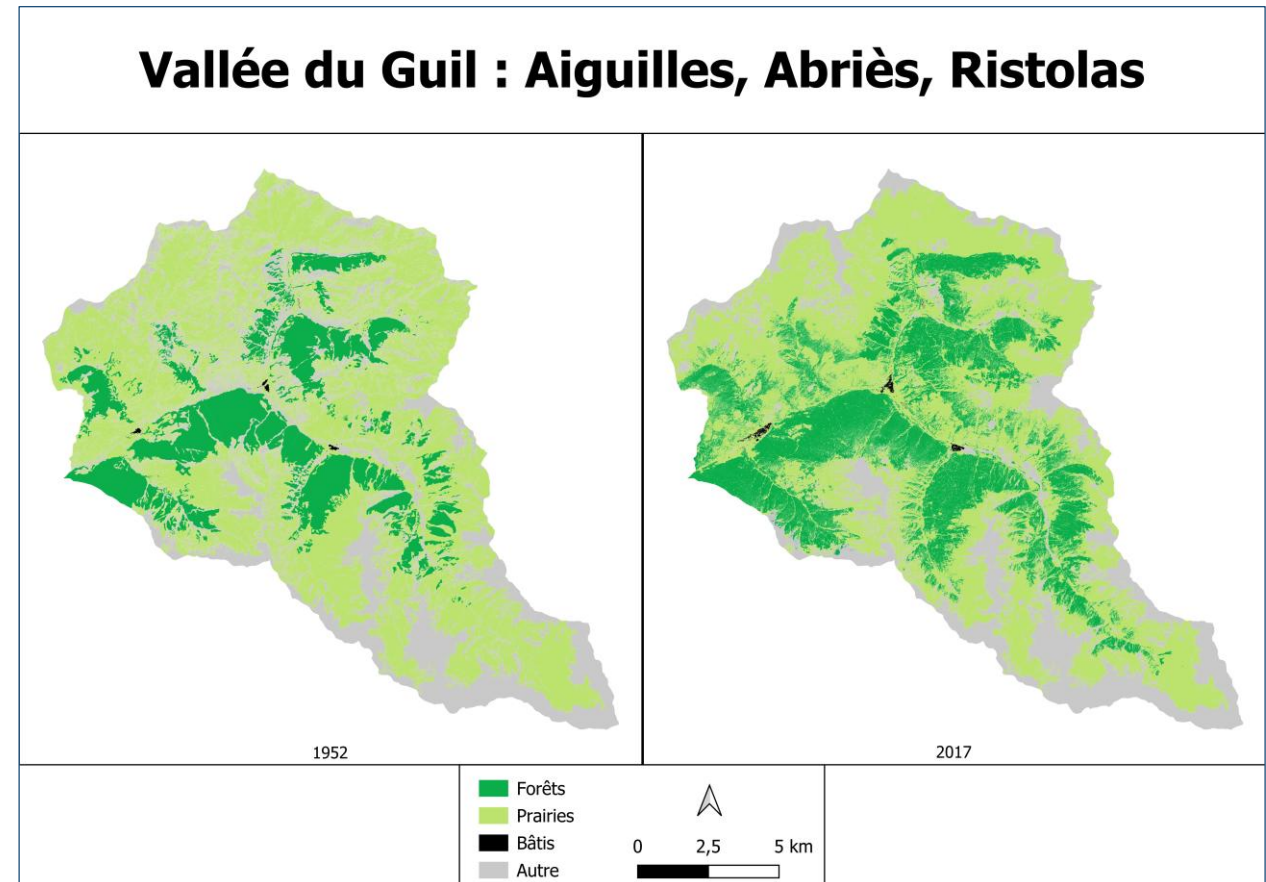
Historique complété après
analyse géohistorique

5 zones d'étude aussi bien documentées que possible (6)

- Des données de contexte en cours de complétion :
 - Cartes diachroniques d'occupation des sols (terminé).
 - Climatologie et enneigement : données de station, proxies/indices, réanalyses (constitution d'indicateurs d'évolution temps long en cours).
 - Protection (à compléter).



Haute Maurienne, Zgheib et al. (2020)

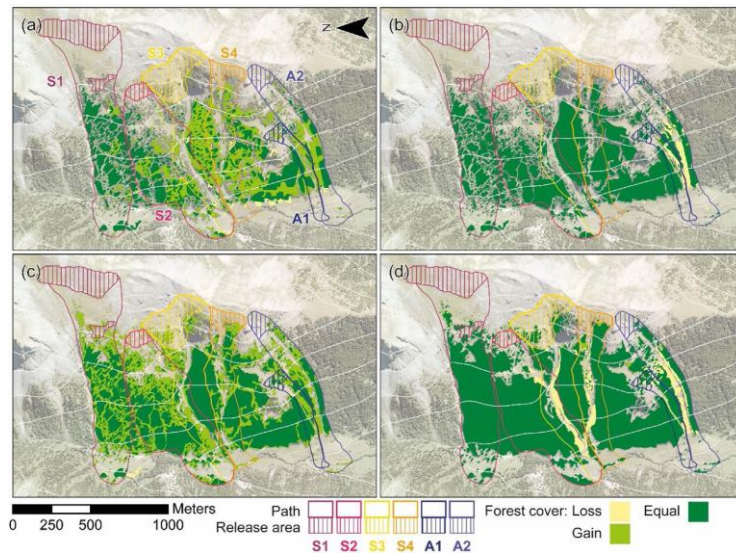


Zgheib et al. (2022)

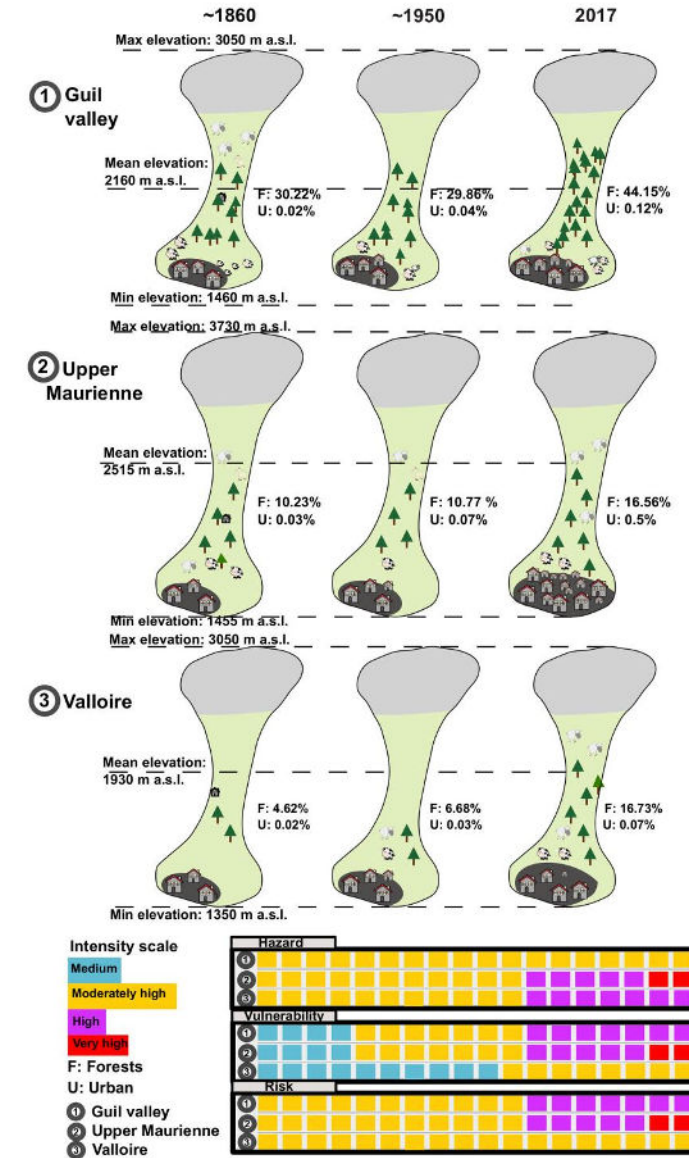
- Mais un massif Queyrassin déjà bien documenté et exploité !

Exemple de résultats Queyrassin : évolution de l'aléa et du risque avec l'afforestation (1)

- Etude détaillée des dynamiques forestières (évolutions, drivers), des fréquences avalancheuses (dendro + archives) et de l'occupation des sols et pratique
- Décroissance marquée de l'aléa et du risque « en fond de vallée », situation très différentes d'autres massifs

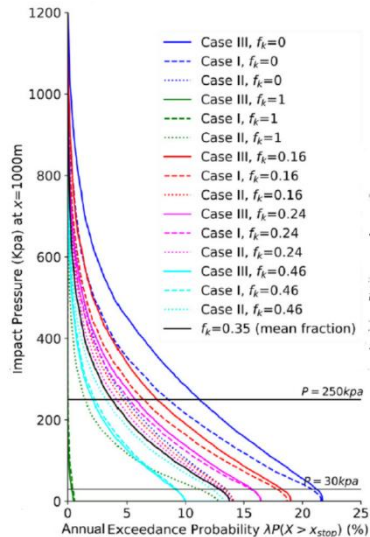


Taline Zgheib ✉, Florie Giacoma, Anne-Marie Granet-Abisset, Samuel Morin, Aurore Lavigne & Nicolas Eckert



Exemple de résultats Queyrassin : évolution de l'aléa et du risque avec l'afforestation (2)

- Evaluation quantitative de l'évolution du risque pour le bâti et ses habitants avec l'afforestation.
- -50-100% (selon techno construction) entre couloir entièrement déboisé et entièrement boisé; correspond à -20-50% entre 1865 et 2017.

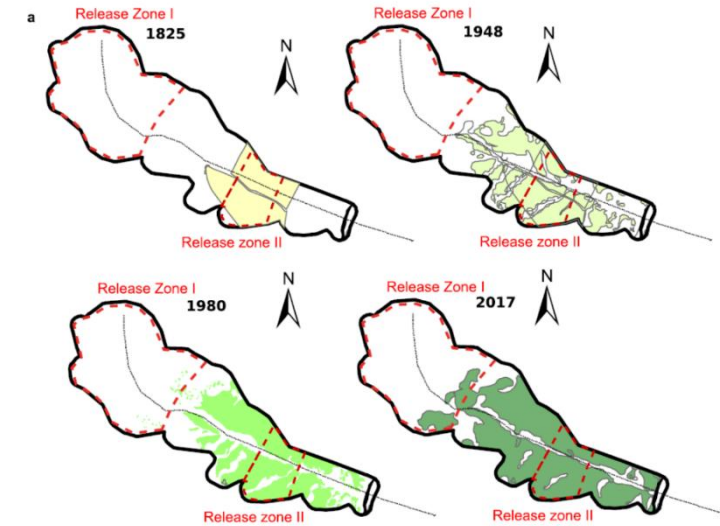


Diachronic quantitative snow avalanche risk assessment as a function of forest cover changes

Published online by Cambridge University Press: 13 December 2022

Taline Zgheib, Florie Giacona, Samuel Morin , Anne-Marie Granet-Abisset, Philomène Favier and Nicolas Eckert 

[Show author details](#)

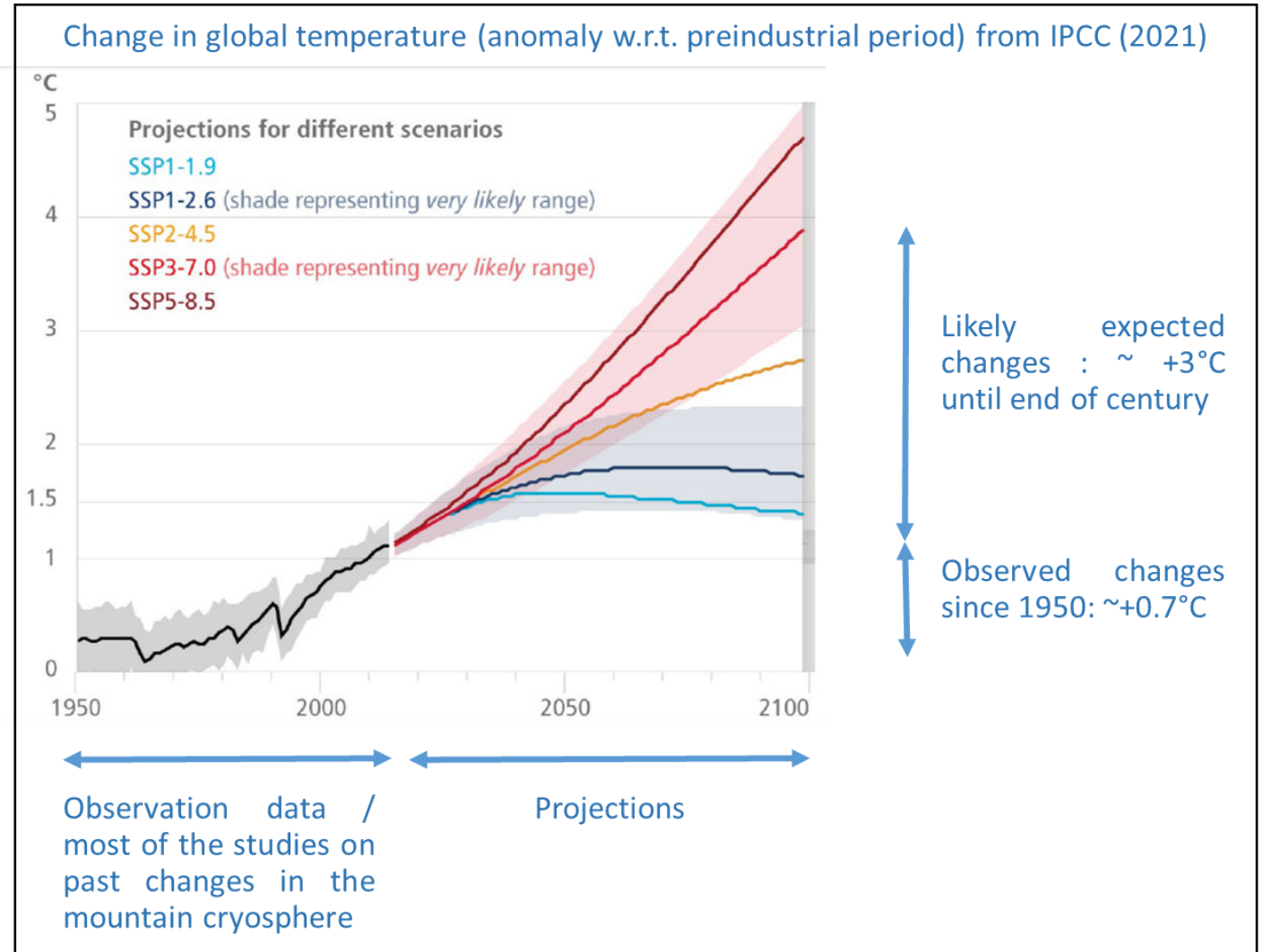


Ravin de Cote Belle, French Alps

Building type	Annual probability of reaching ULS															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Case III, $f_k=0$	Case II, $f_k=0$	Case I, $f_k=0$	Case III, $f_k=0.16$	Case II, $f_k=0.16$	Case I, $f_k=0.16$
I	-0.06	0.13	0.10	0.08	0.04	0.00	0.07	0.07	0.06	0.06	0.03	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00
II	-0.05	0.11	0.09	0.07	0.03	0.00	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03	0.14	0.10	0.08	0.03	0.00
III	-0.04	0.08	0.06	0.05	0.02	0.00	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.11	0.07	0.06	0.02	0.00
IV	-0.08	0.16	0.13	0.11	0.05	0.00	0.09	0.08	0.08	0.07	0.05	0.18	0.14	0.11	0.05	0.00
V	-0.06	0.13	0.10	0.08	0.04	0.00	0.08	0.07	0.07	0.06	0.03	0.16	0.11	0.09	0.04	0.00
VI	-0.06	0.12	0.09	0.07	0.04	0.00	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03	0.15	0.10	0.08	0.04	0.00
VII	-0.04	0.08	0.07	0.05	0.02	0.00	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.11	0.08	0.06	0.02	0.00
VIII	-0.03	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.09	0.06	0.04	0.02	0.00
IX	-0.06	0.14	0.10	0.09	0.04	0.00	0.08	0.07	0.07	0.06	0.04	0.16	0.12	0.09	0.04	0.00
X	-0.07	0.15	0.11	0.09	0.05	0.00	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04	0.17	0.12	0.10	0.05	0.00
	$f_k=0.35$	Case I, $f_k=0$	Case I, $f_k=0.16$	Case I, $f_k=0.24$	Case I, $f_k=0.46$	Case I, $f_k=1$	Case II, $f_k=0$	Case II, $f_k=0.16$	Case II, $f_k=0.24$	Case II, $f_k=0.46$	Case II, $f_k=1$	Case III, $f_k=0$	Case III, $f_k=0.16$	Case III, $f_k=0.24$	Case III, $f_k=0.46$	Case III, $f_k=1$

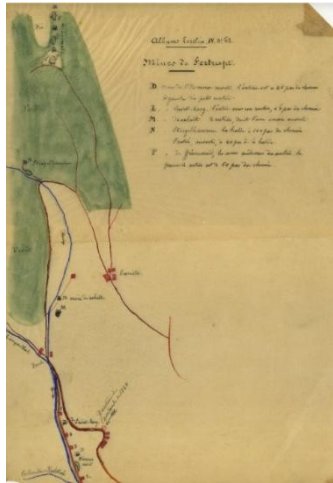
Pourquoi s'embêter? Le besoin de temps long pour anticiper

- Observations/résultats disponibles concentrés sur une faible fenêtre de temps :
 - Tendances peu significatives
 - “Faible” réchauffement.
- Besoin d’aller bien plus loin dans le passé :
 - Tendances plus significatives
 - Fenêtre de réchauffement idéalement similaire à celle attendue pour le futur.

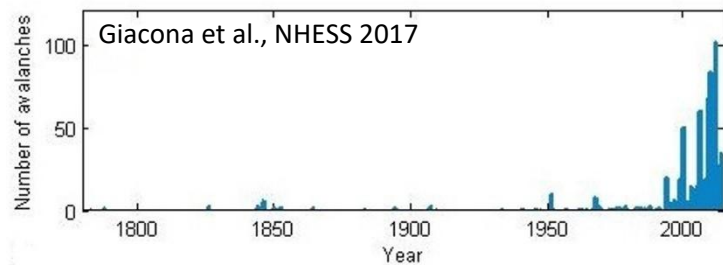


L'exemple des Vosges (1)

Enquête géohistorique

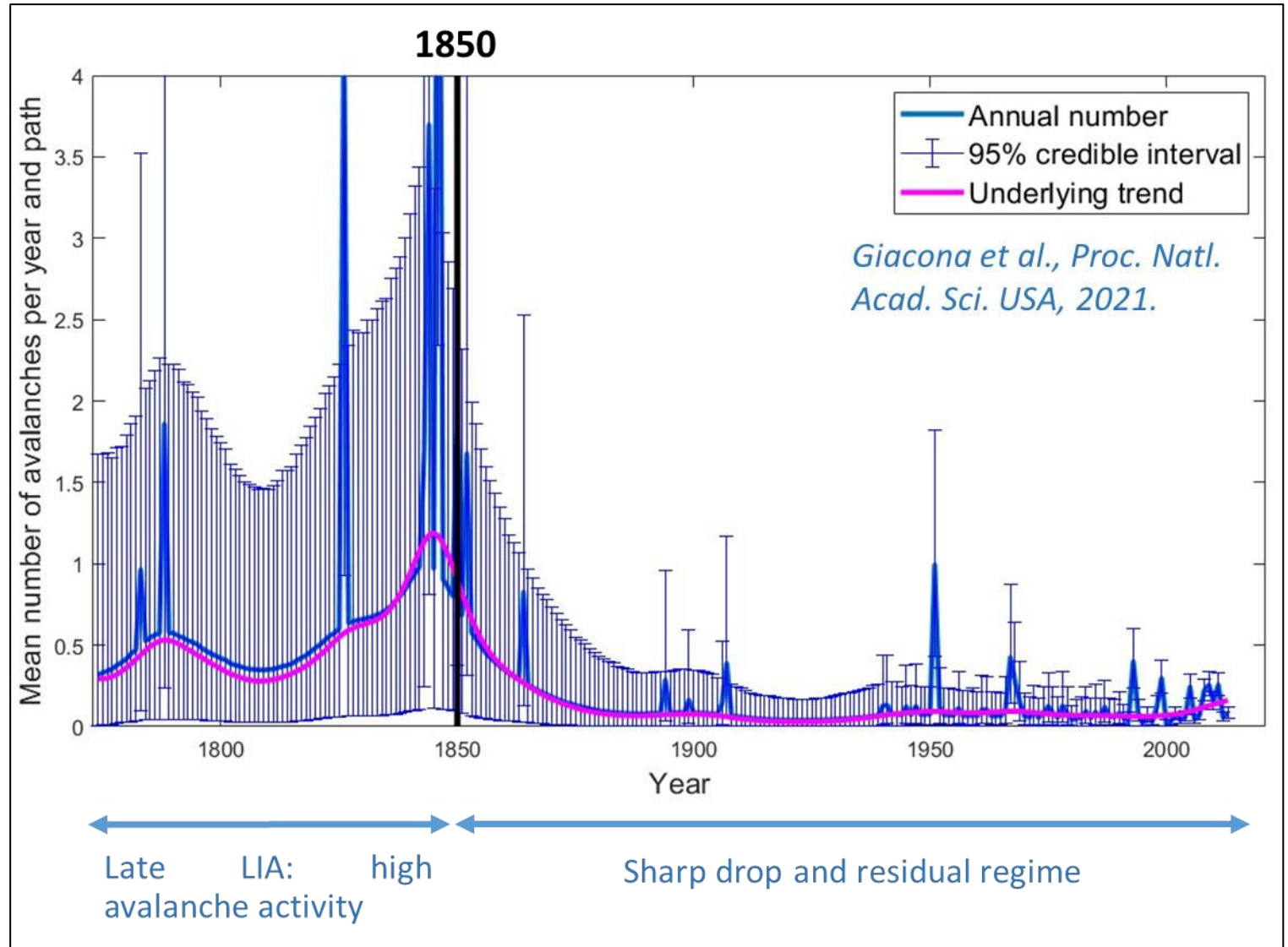


Map localizing a house damaged by an avalanche in the Vosges Mountains, France, in 1844. @ Archives of the industrial Society of Sainte-Marie-aux-Mines.



Modèle bayésien hiérarchique

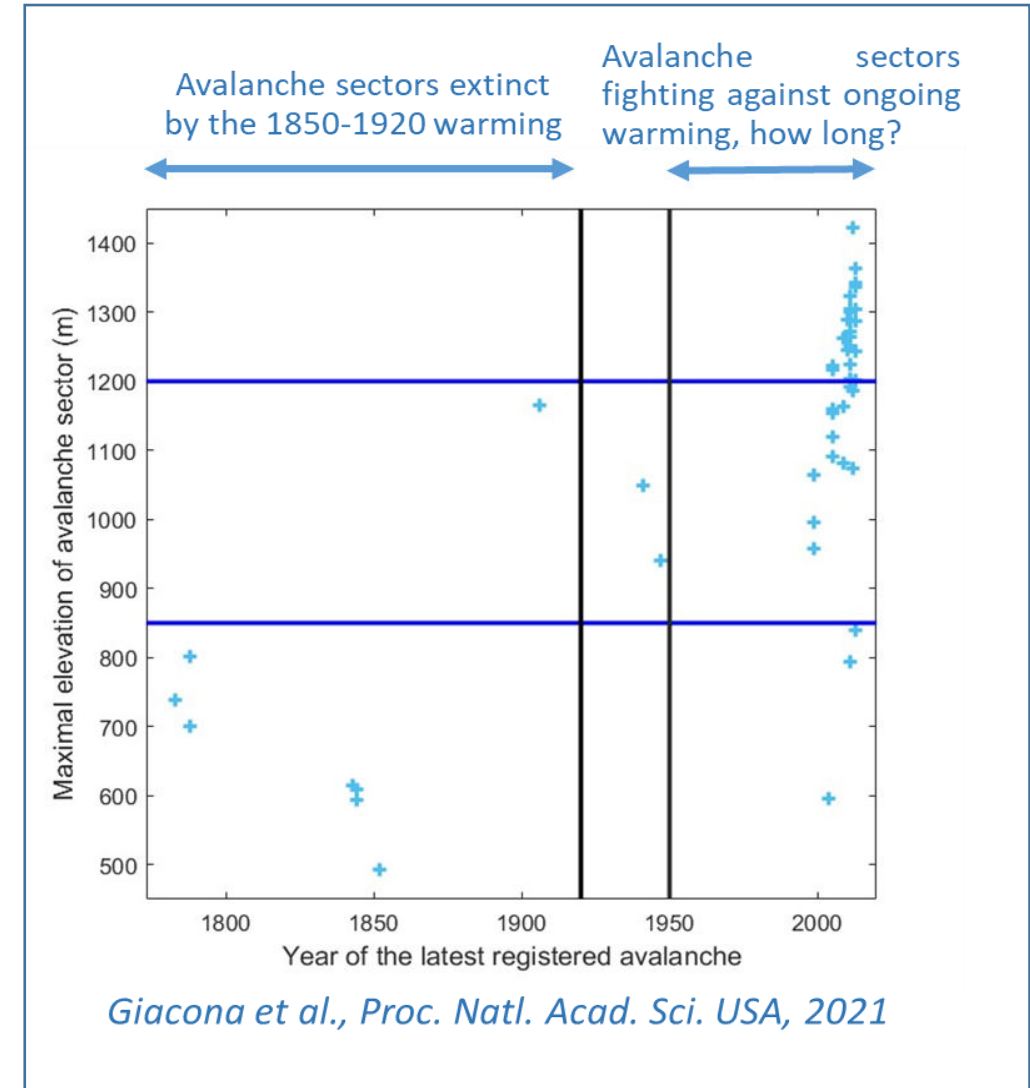
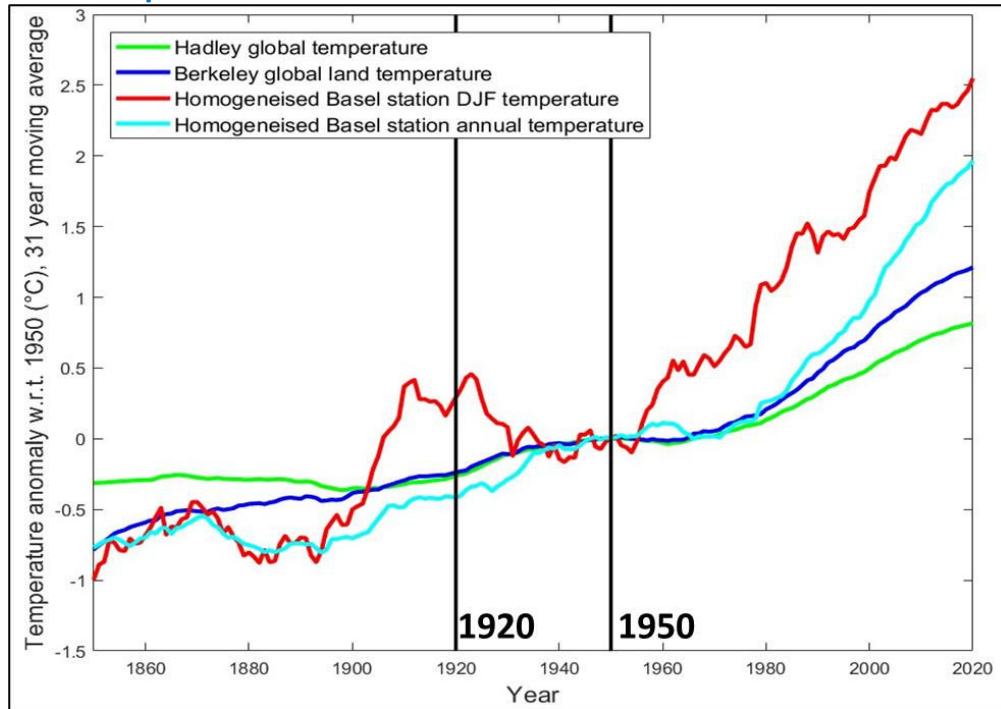
$$p(\theta, x|y) \propto \pi(\theta) \times p(x|\theta, x) \times p(x|y, \theta)$$



Giacona et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2021.

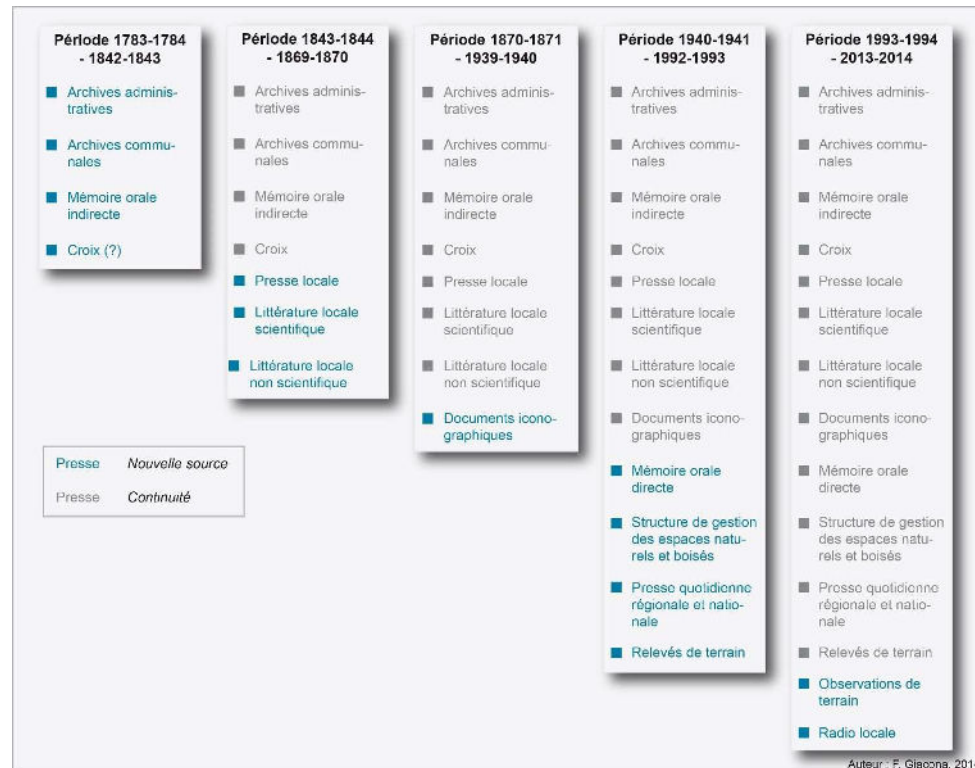
L'exemple des Vosges (2)

- Un réchauffement « exceptionnel » à la fin du PAG : +1.3°C (pas assez...)
- Une réponse non-linéaire de l'activité avalancheuse due à la répartition altitudinale des couloirs d'avalanche.
- « Pas assez » vs. réchauffement futur : aller « plus loin dans le passé ».

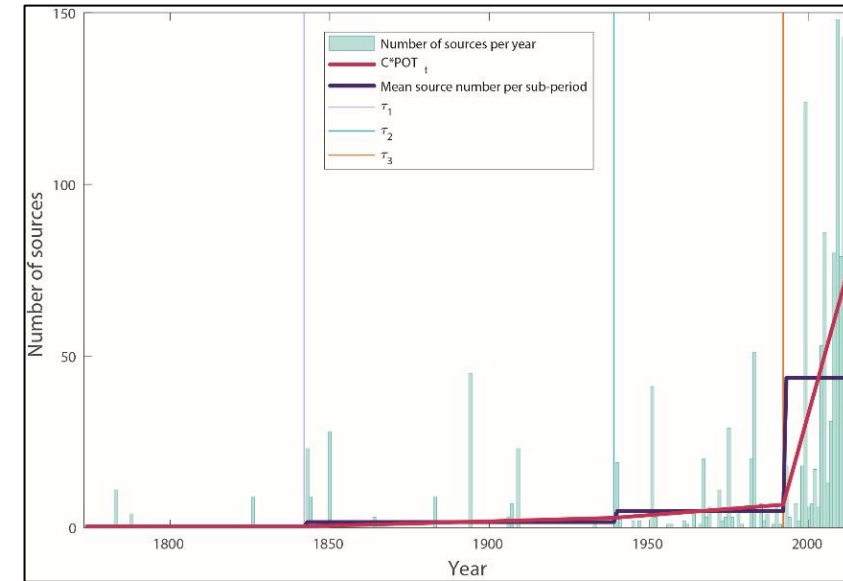


La clé : contextualisation et modélisation des sources

- Méthodologie géohistorique d'analyse de l'ensemble des facteurs influençant les chronologies (Giacona et al. 2019).
- Analyse détaillée de l'évolution des sources.
- Intégration de l'effet des sources dans la modélisation pour homogénéiser la chronologie + incertitude associée.



Giacona et al., 2022



Giacona et al., 2021

$$y_{it} \sim P(\lambda_{it})$$

$$\ln(\lambda_{jt}) = \ln(e_{jt}) + v_j + g_t + z_t + \dots$$

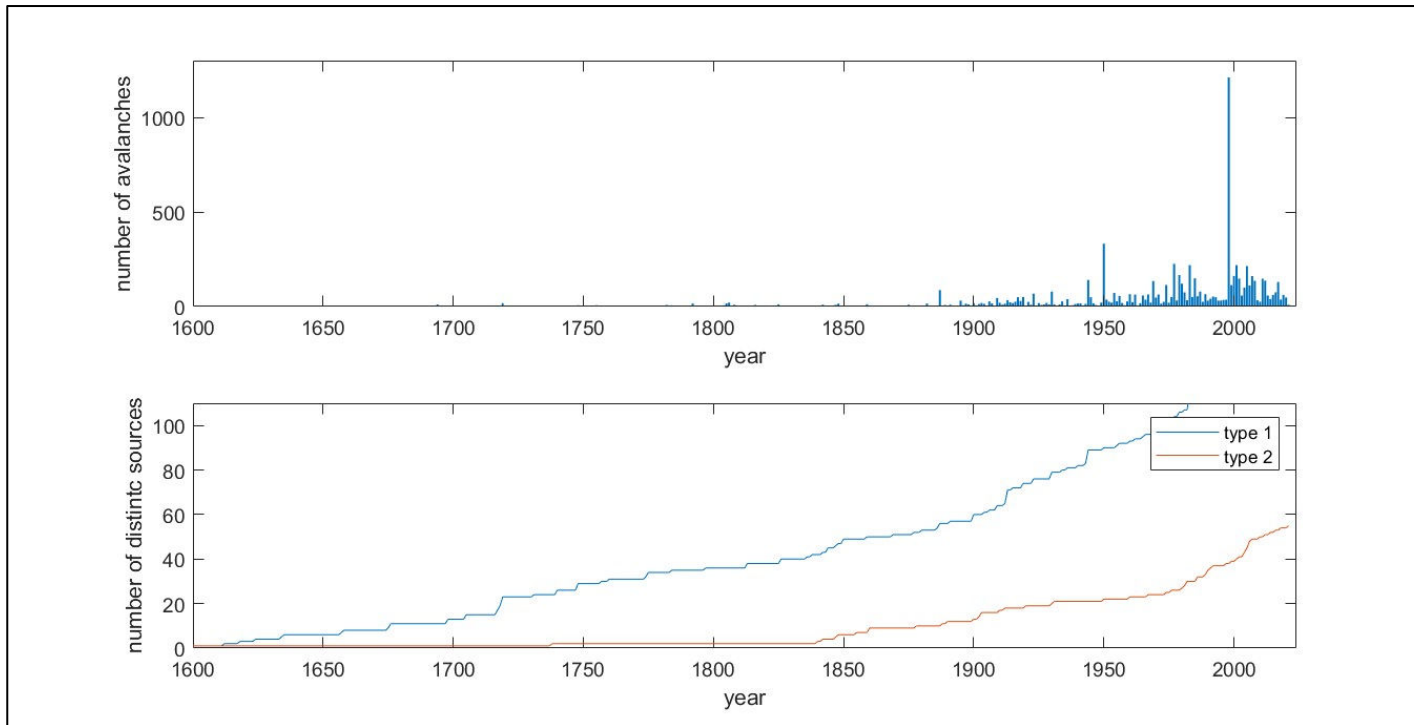
$$e_{jt} = \text{POT}_t \times \frac{c_j}{\sum_{j=1}^M c_j} \times \frac{1}{P} \sum_{j=1}^M \sum_{t=t_o+T_{obs}-P-1}^{t_o+T_{obs}-1} \frac{a'_{jt}}{\text{POT}_t}$$

$$\left. \begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \tau_j^-} \text{POT}_t &= \lim_{t \rightarrow \tau_j^+} \text{POT}_t \\ C \int_{\tau_j}^{\tau_{j+1}} \text{POT}_t dt &= \sum_{t=\tau_j}^{\tau_{j+1}} s_t \\ \text{POT}_{t_o+T-1} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

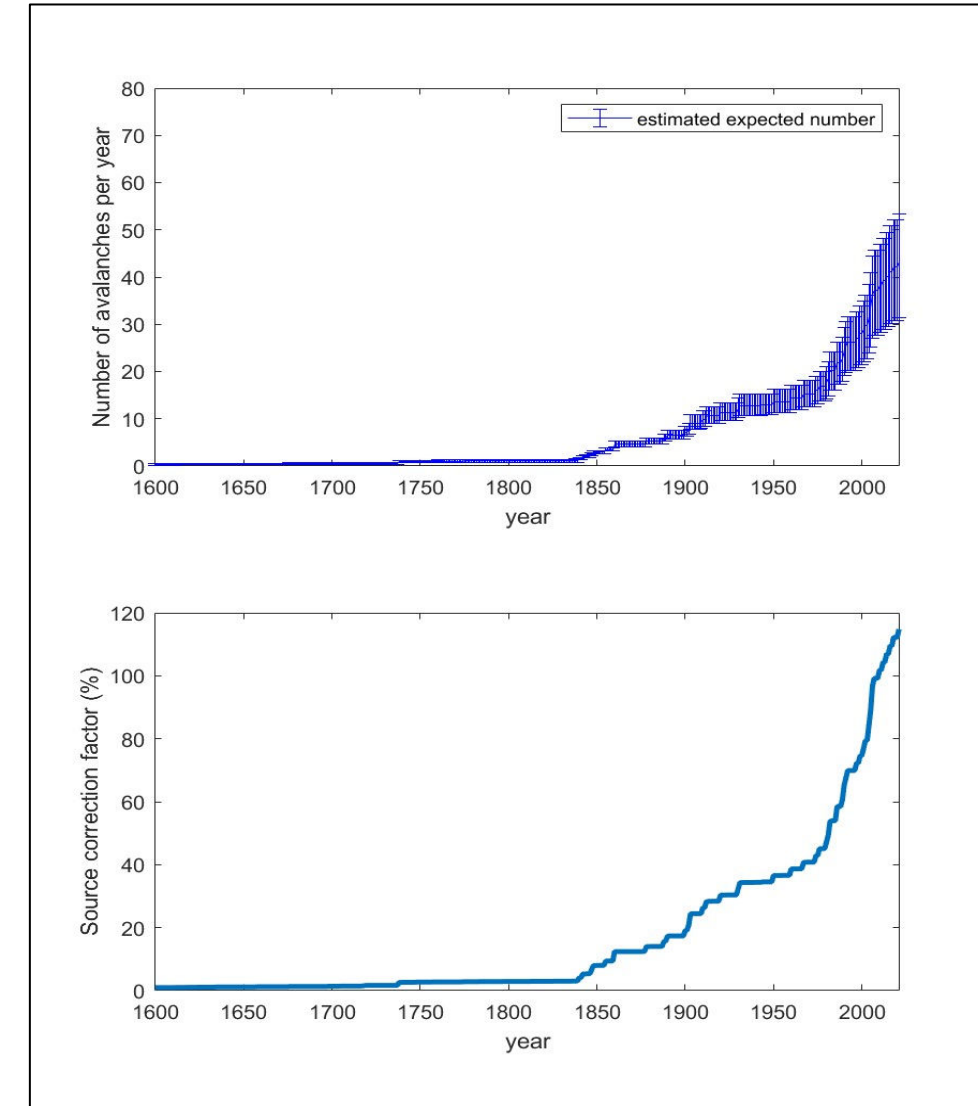
Le cas Valaisan (ça peut s'appliquer aux Alpes), 1



- Compilation de l'existant + archives sur > 4 siècles : ~10000 avalanches.
- Analyse approfondie des sources.
- Développement et estimation d'un modèle de correction « ad hoc ».

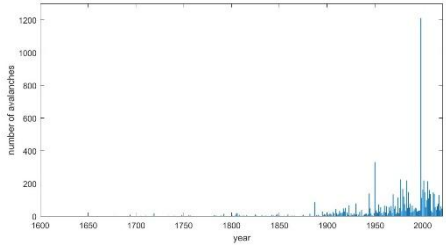


Chronologie brute et indicateur synthétique d'existence des sources @M. Farvacque



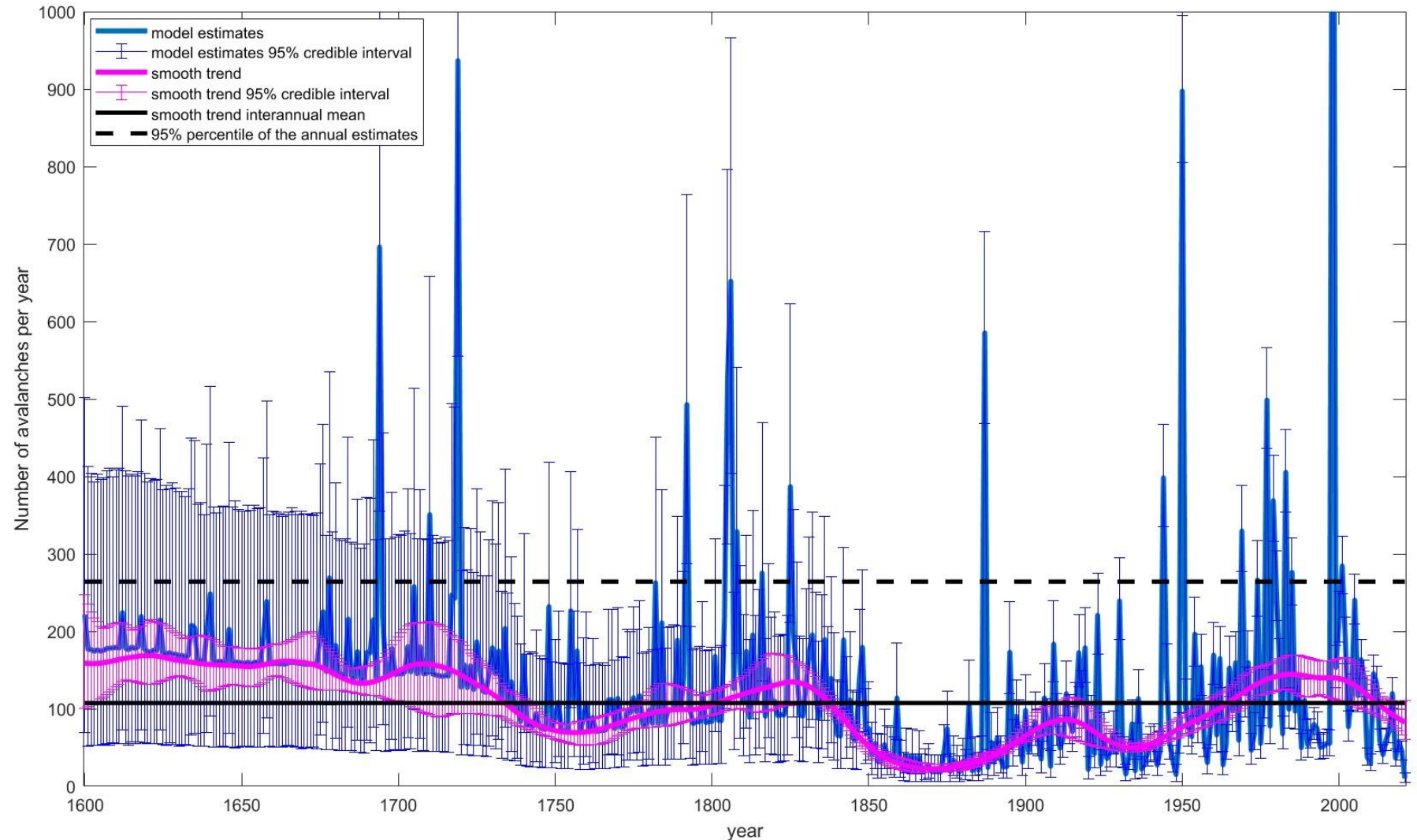
Estimation du facteur de correction

Le cas Valaisan (ça peut s'appliquer aux Alpes), 2



Facteur de correction
dans le modèle

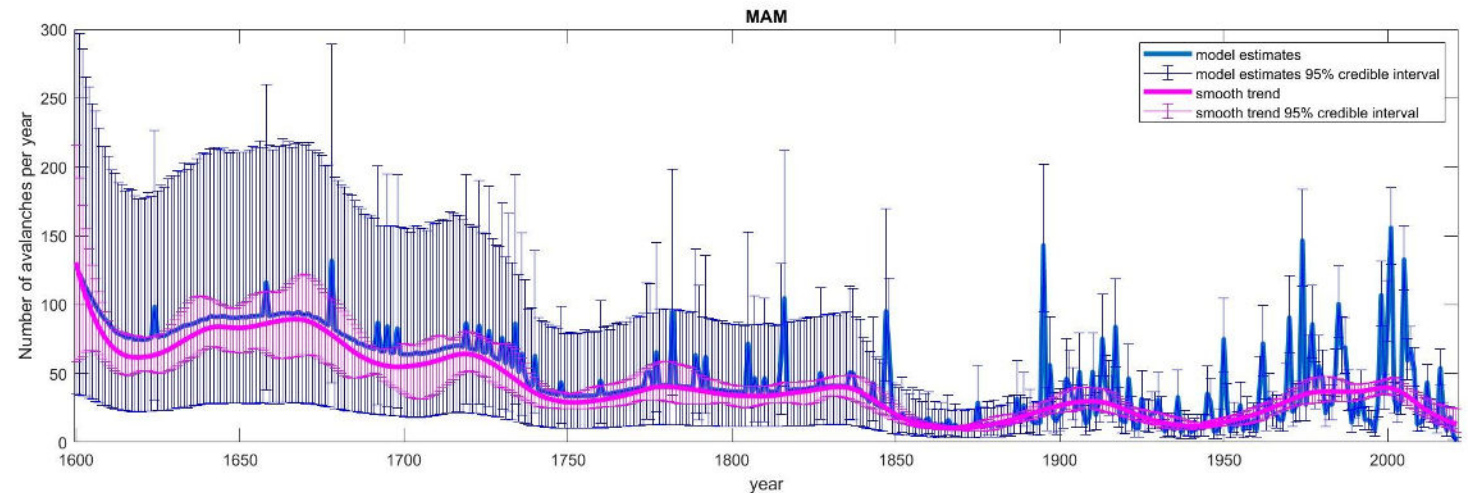
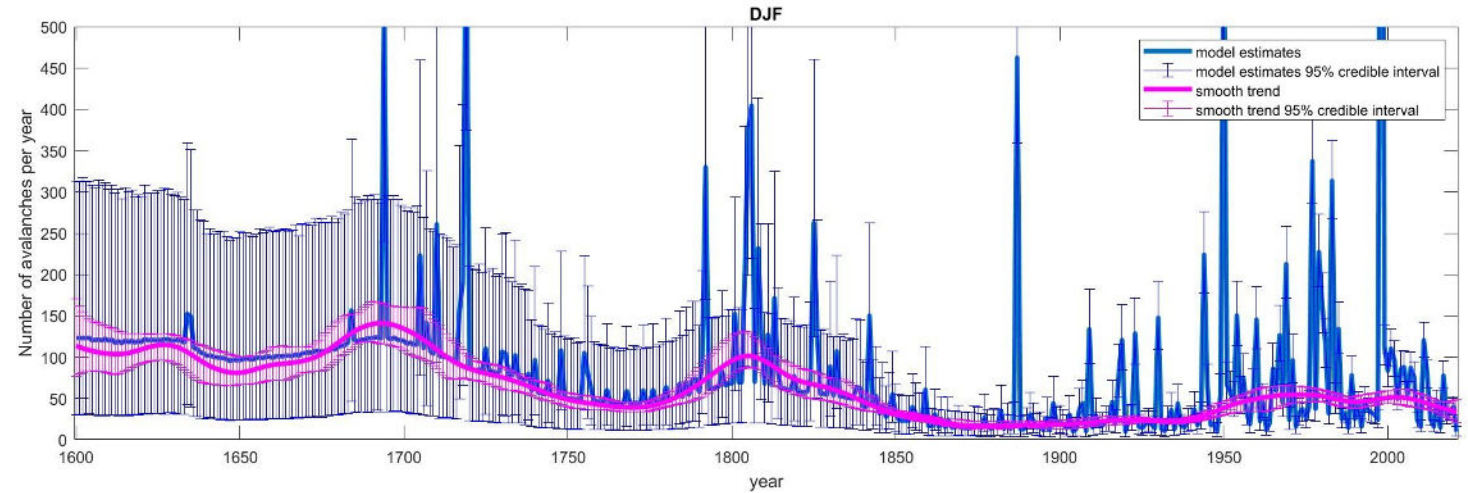
$$p(\theta, x|y) \propto \pi(\theta) \times p(x|\theta, x) \times p(x|y, \theta)$$



Le cas Valaisan (ça peut s'appliquer aux Alpes), 3



- Application de la correction aux chronologies différenciées.
- Approfondissement de l'interprétation climatologique.
- Des dommages au(x) risque(s) !?

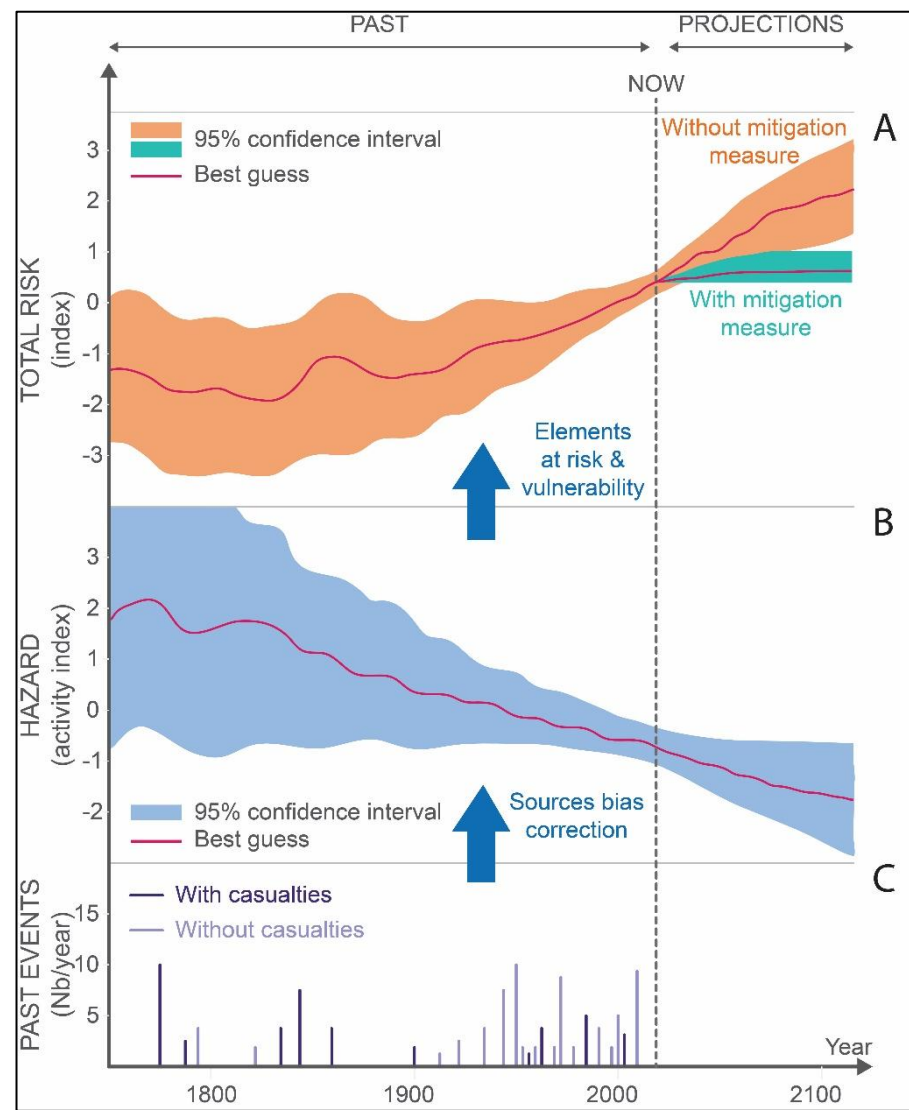


Bilan – principe de la démarche :

- Données événementielles aussi complètes que possible sur 2-4 siècles.
- Contextualisation.
- Combinaison au sein de modèles statistiques pour obtenir une évolution homogénéisée indépendamment du climat (+ incertitude).
- Mise en correspondance avec évolution du climat (entre autres).

Travaux en cours / perspectives :

- Complétion des BD événementielle.
- Analyse de l'évolution des sources.
- Adaptation des méthodes d'homogénéisation: aléa(s) et risque(s).
- Contextualisation climatique et socio-environnementale, dont indicateurs d'enneigement "temps long".
- Interprétation climatologique : tendances, facteurs causaux et poids.
- Utilisation en projection vs scenarii, résultats « journaliers » vs. « hivernaux ».



Eckert & Giacona, Ambio, 2022