



Chapitre 2: climat et risques hydrologiques

Risques hydrologiques et aménagement du territoire

Christophe Ancey



Crue du Gard, septembre 2002 (photo de Claude Larnac)

- Variabilité des précipitations
 - comment marche l'atmosphère ?
 - passage d'une perturbation
 - changement climatique
- Dangers hydrologiques
 - inondation et crue
 - crue torrentielle
 - débâcle
 - avalanche

Deux causes principales :

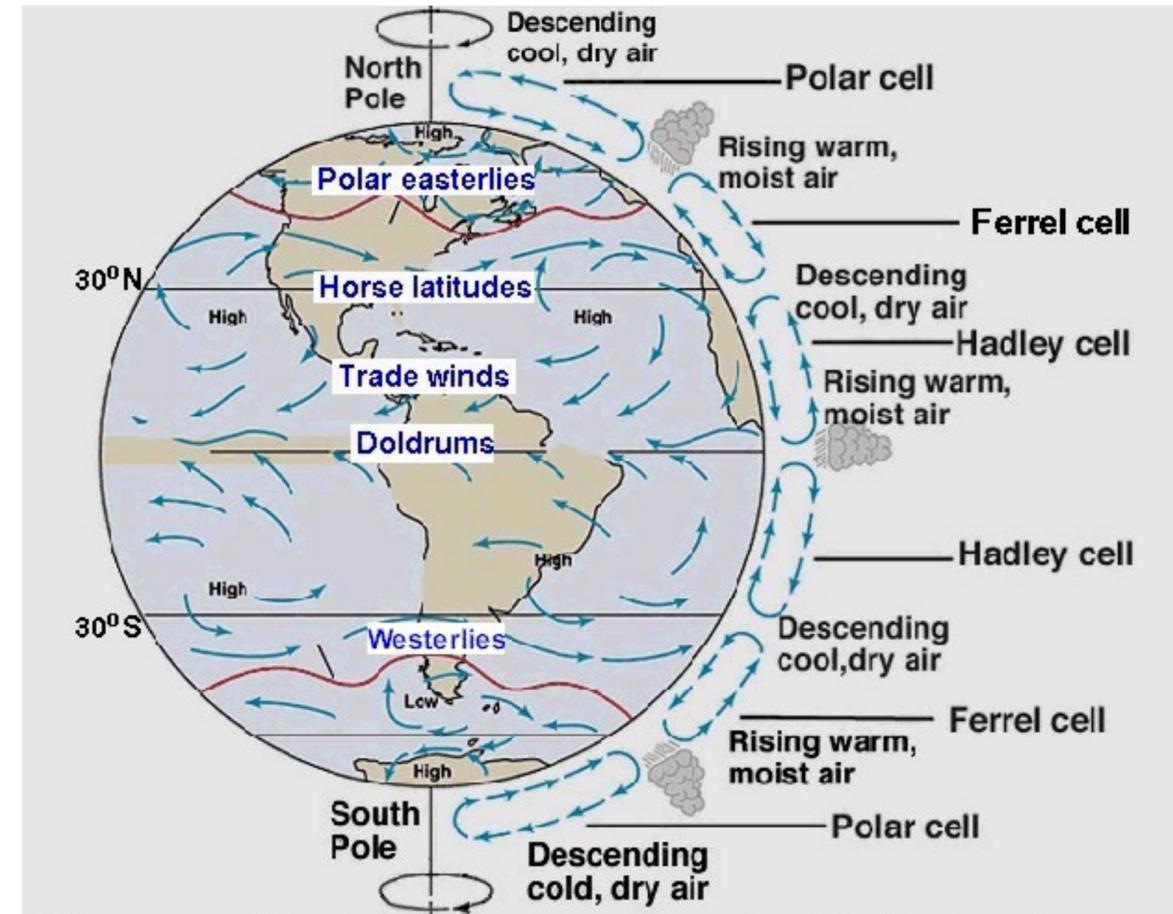
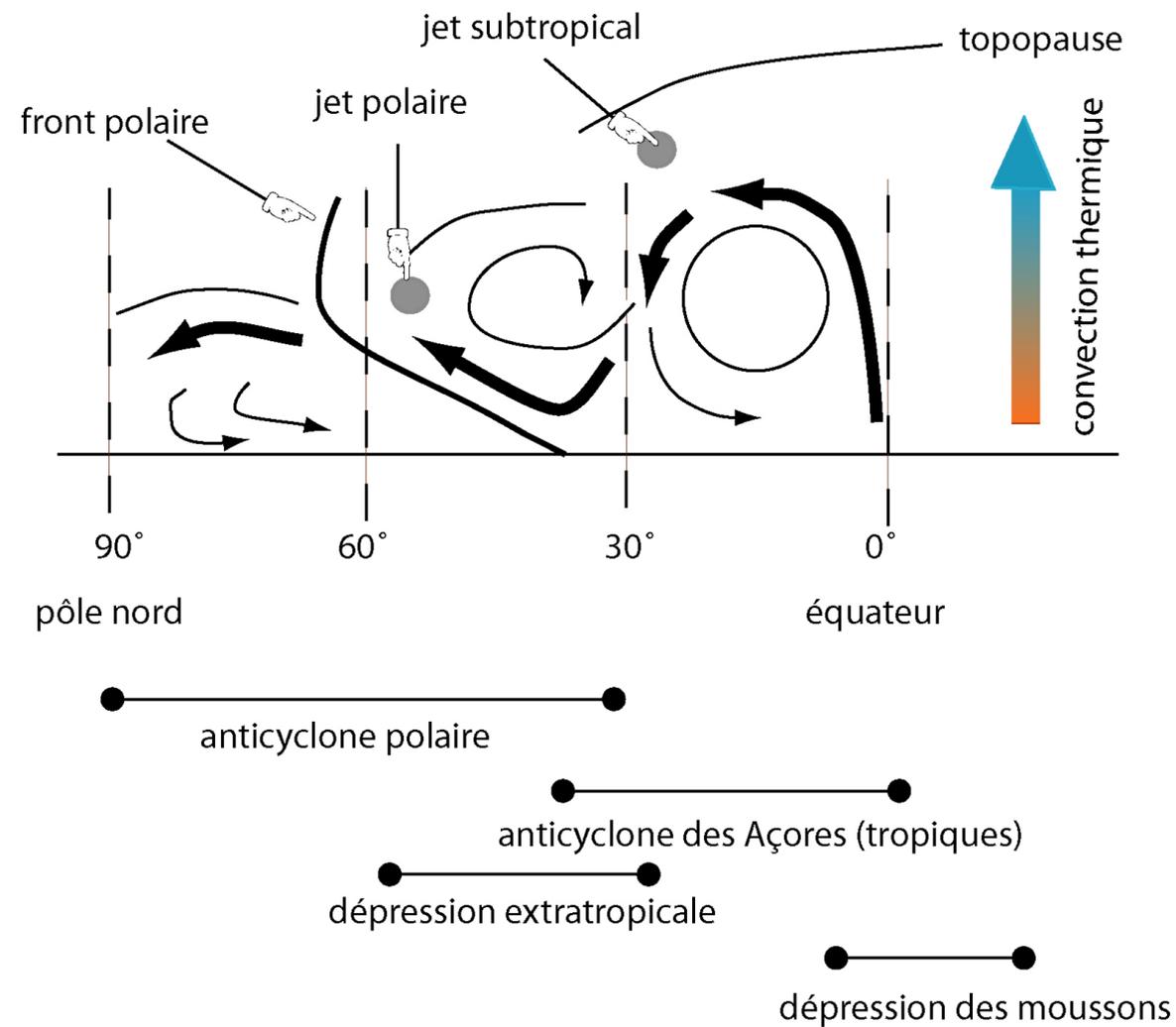
- rotation de la terre (instabilité, oscillation NAO)
- action du soleil comme source de chaleur

Des causes secondaires :

- courant marin (p. ex. gulf stream)
- activité solaire (cycles de 11-14 ans sauf durant le Petit Âge Glaciaire : le minimum de Maunder au XVIIe s)
- éruption volcanique (p. ex. éruption du Tambora en 1815 « l'année sans été »)
- variation d'excentricité (cycle de 100 000 ans) et précession des équinoxes (cycle de 20 000 ans environ)

Circulation atmosphérique

Modèle de Palmén-Newton

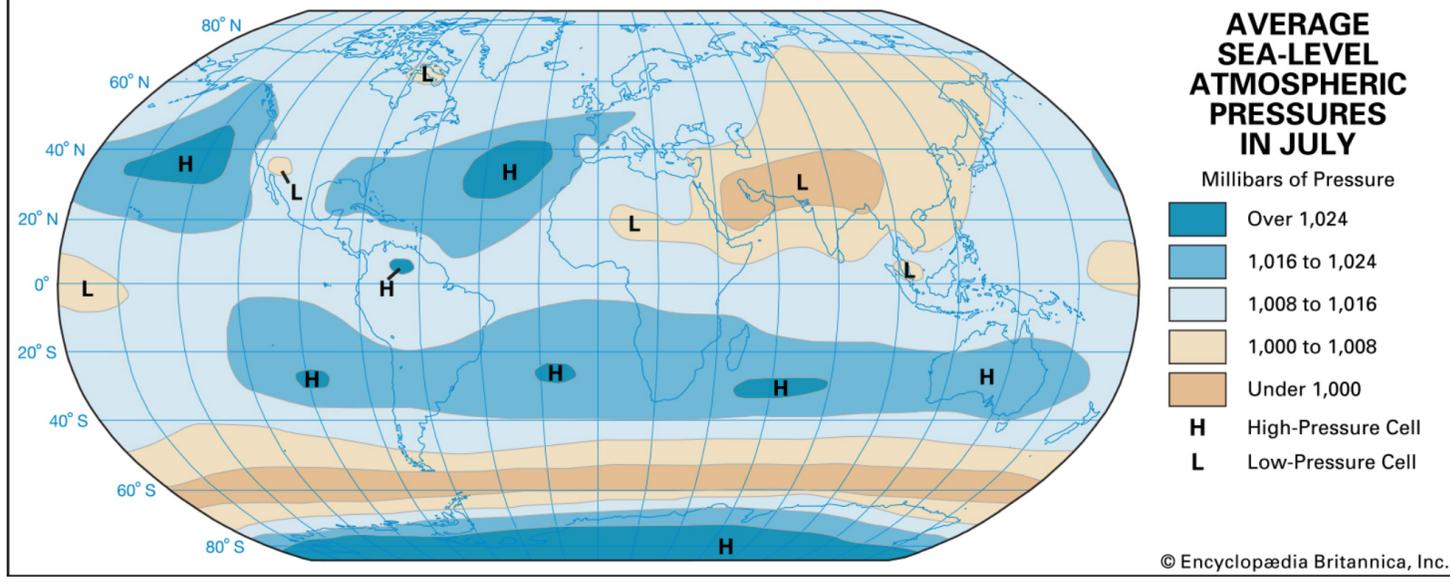
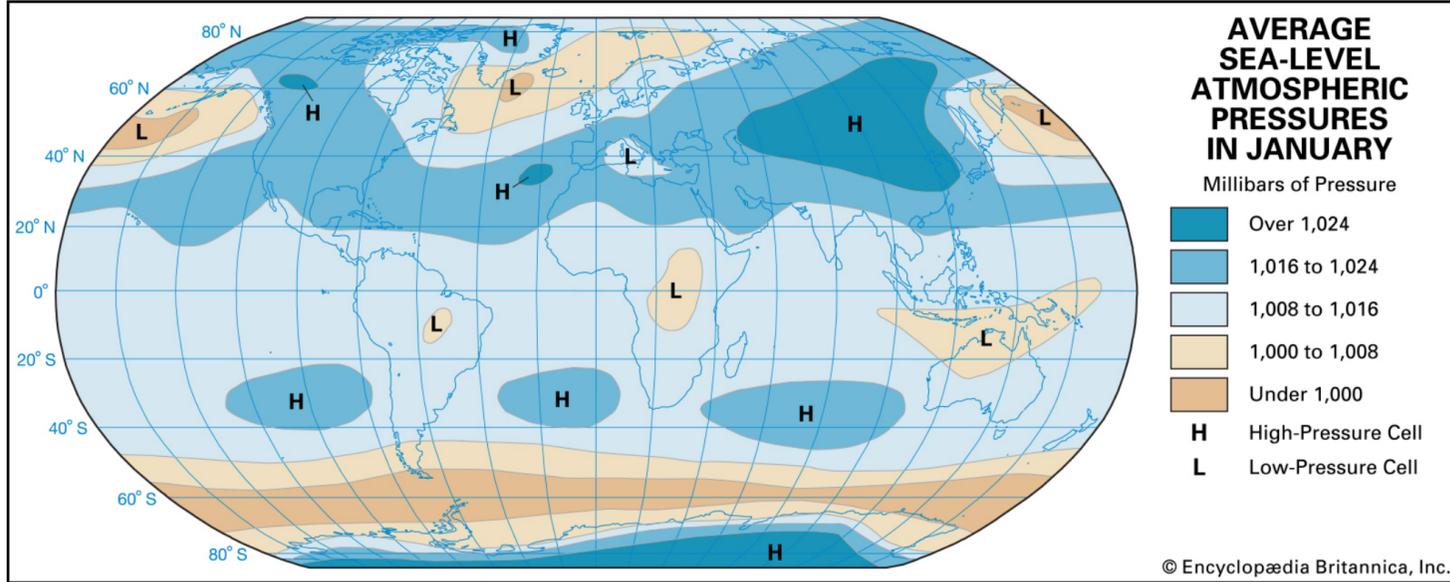


This pattern shifts during the year as the angle of the Earth to the sun changes, shifting the fronts northwards slightly in the northern summer and vice versa, so that in July the northern horse latitudes are around 40°. This causes seasonal shifts in weather.

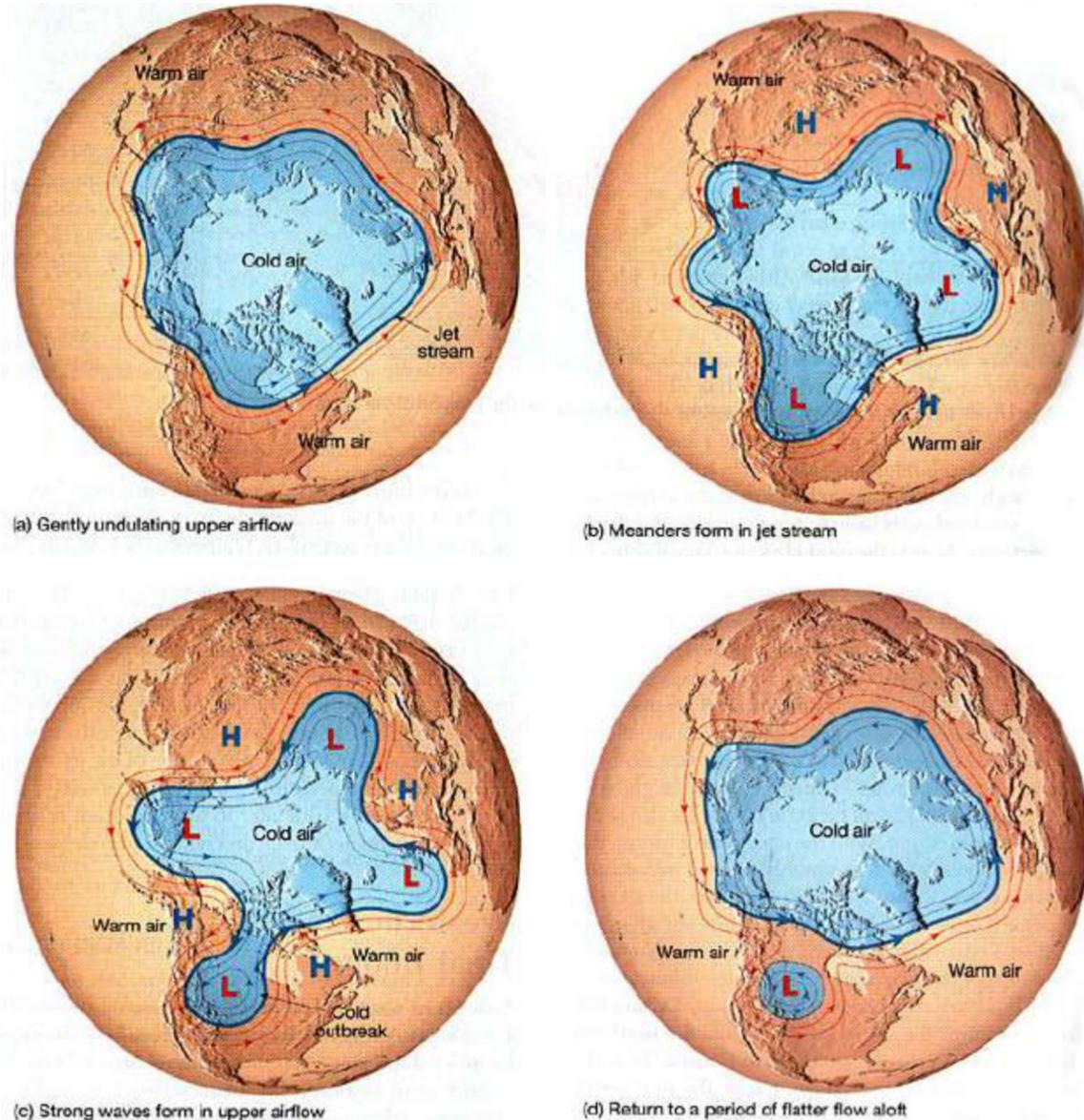
Positionnement des centres de pression



Variation annuelle : action du soleil et force du jet stream



Cheminement du jet stream polaire



- On part d'une situation où le jet stream part du Tibet (air chaud) puis remonte vers les régions polaires ; c'est la situation classique rencontrée en été (fig. a et d).
- L'hiver, le courant se met à osciller entre le 60 et le 40° parallèles, avec en général quatre à cinq ondulations, qui donnent naissance à des centres dépressionnaires (c et d).

Oscillations polaires et australes



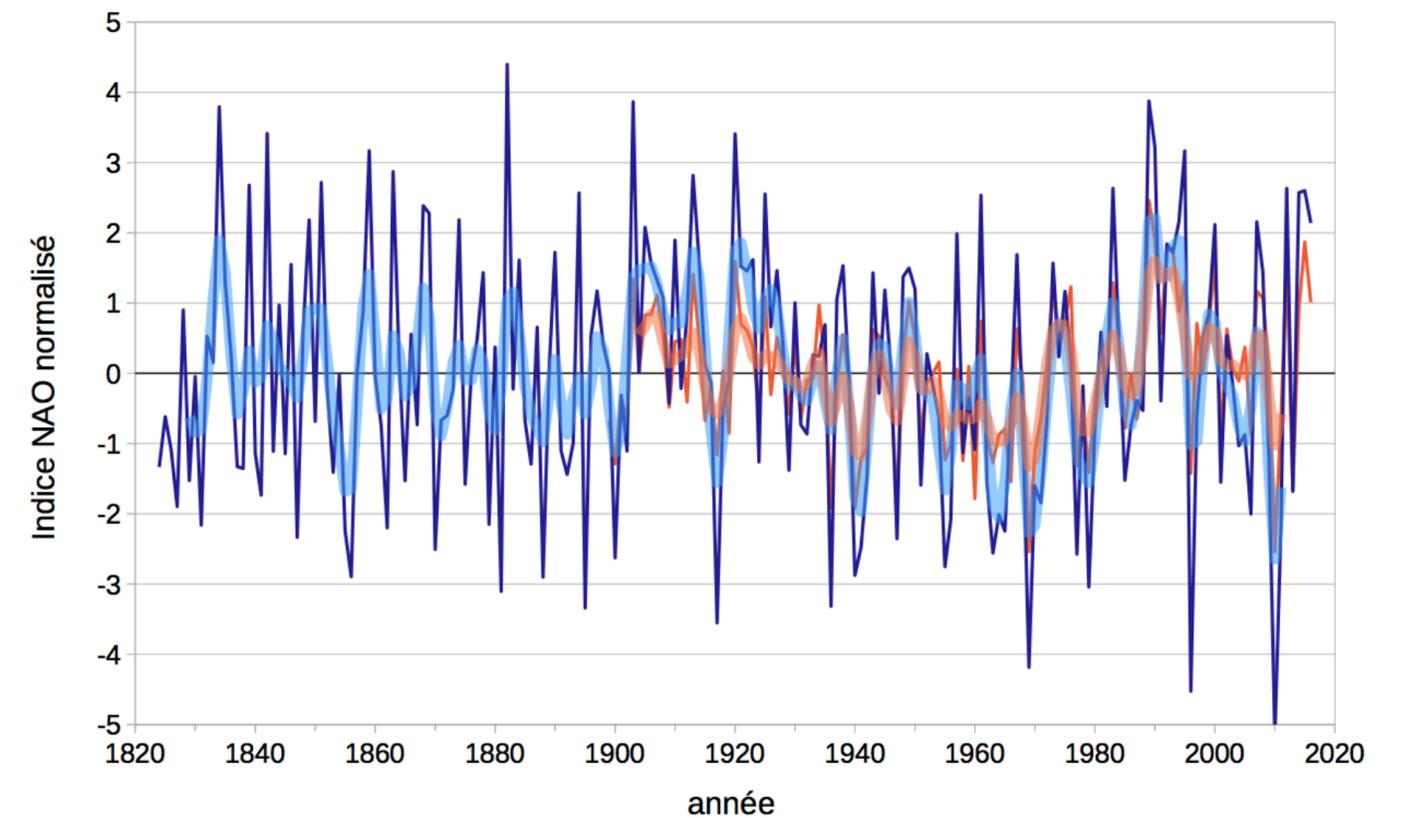
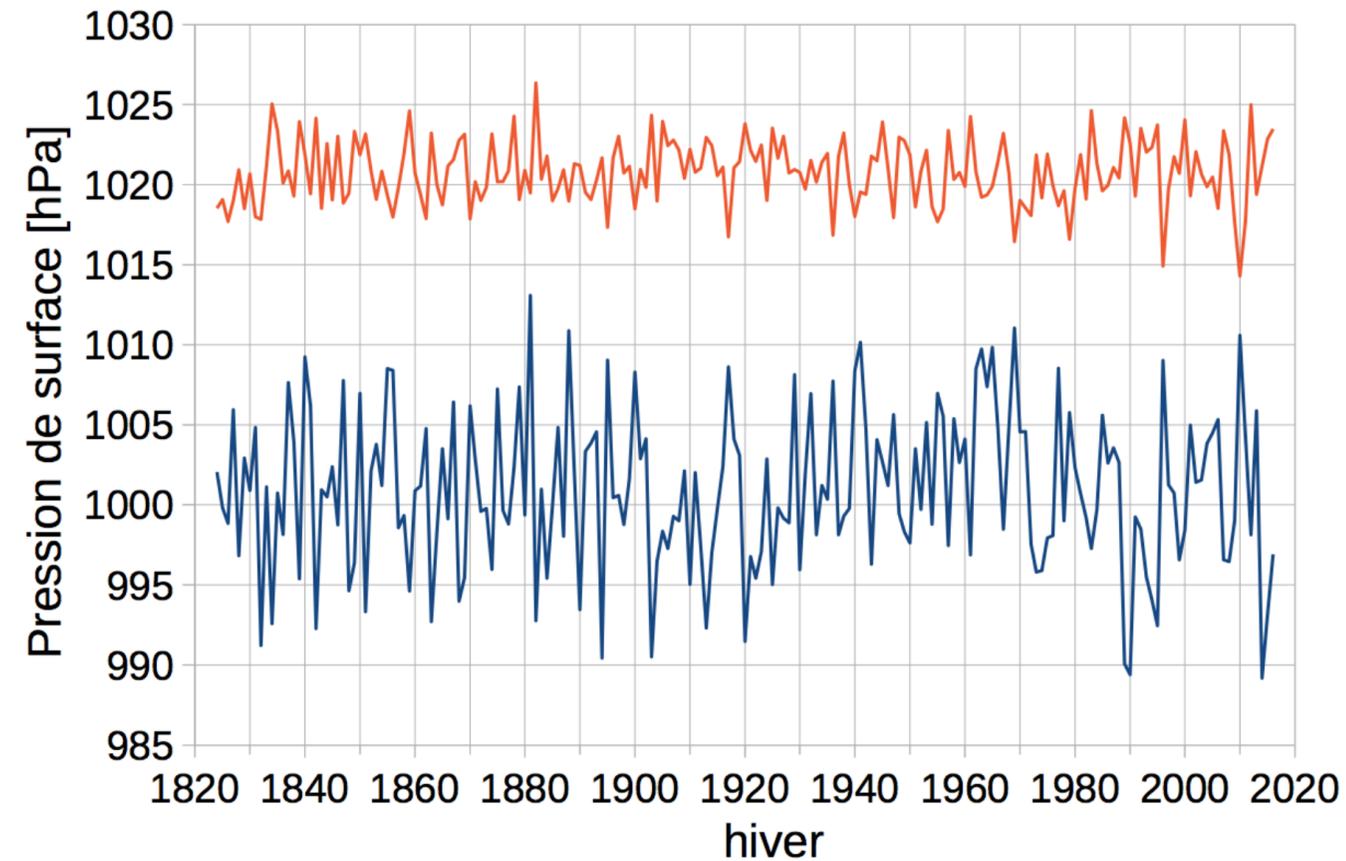
Instabilités du jet stream (ondes de Rossby)

Trois grands systèmes concernent l'Europe :

- l'anticyclone des Açores (hautes pressions)
- dépression islandaise (basses pressions)
- l'anticyclone centré sur la Sibérie.

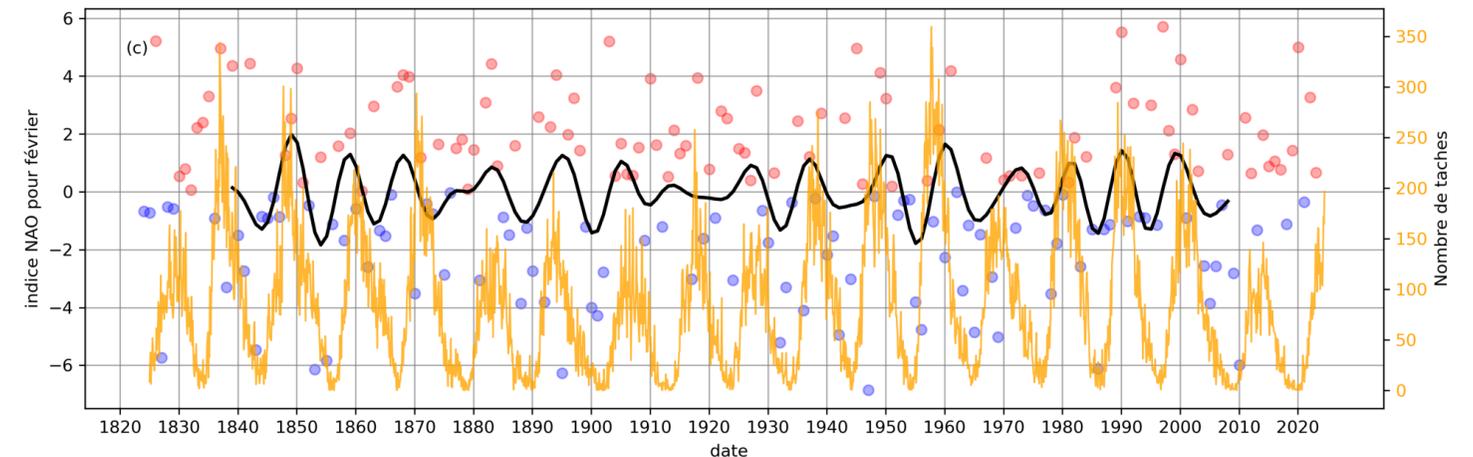
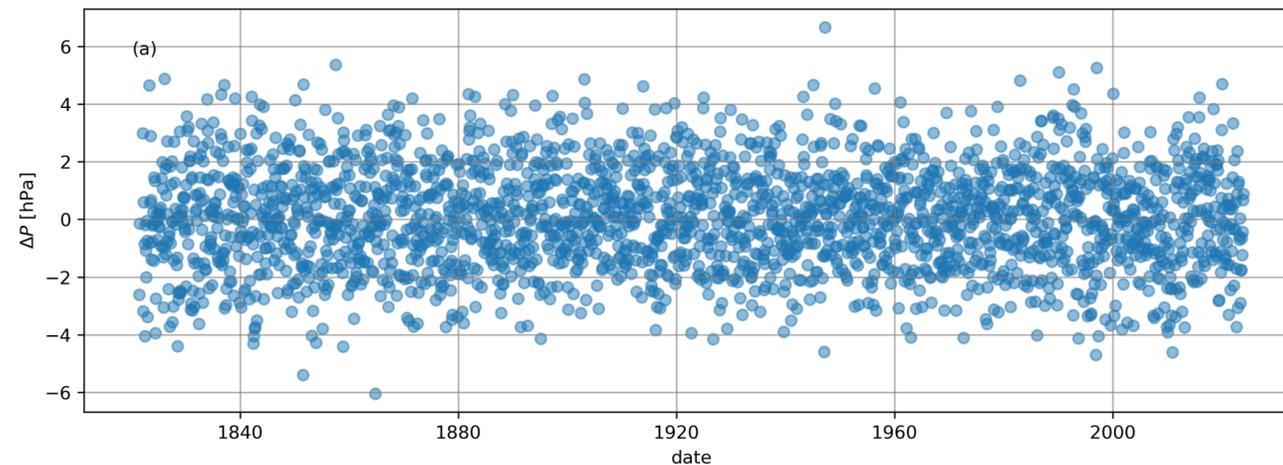
Oscillation Nord Atlantique

North Atlantic Oscillation (NAO) : cycle ~ 10 ans



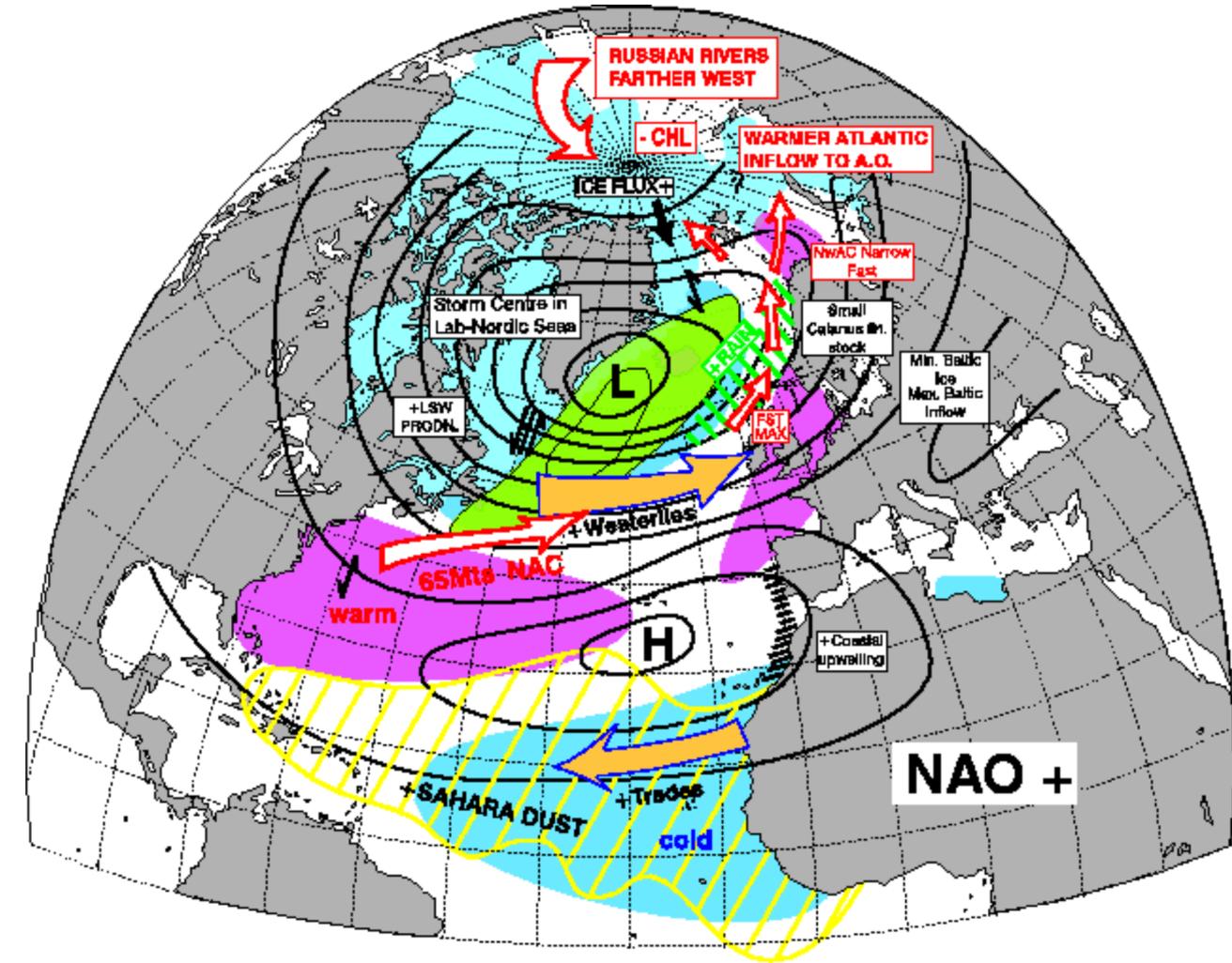
Indice NAO : indice donnant la différence relative de pression entre les Açores et l'Islande

Un signal qui émerge du bruit ?



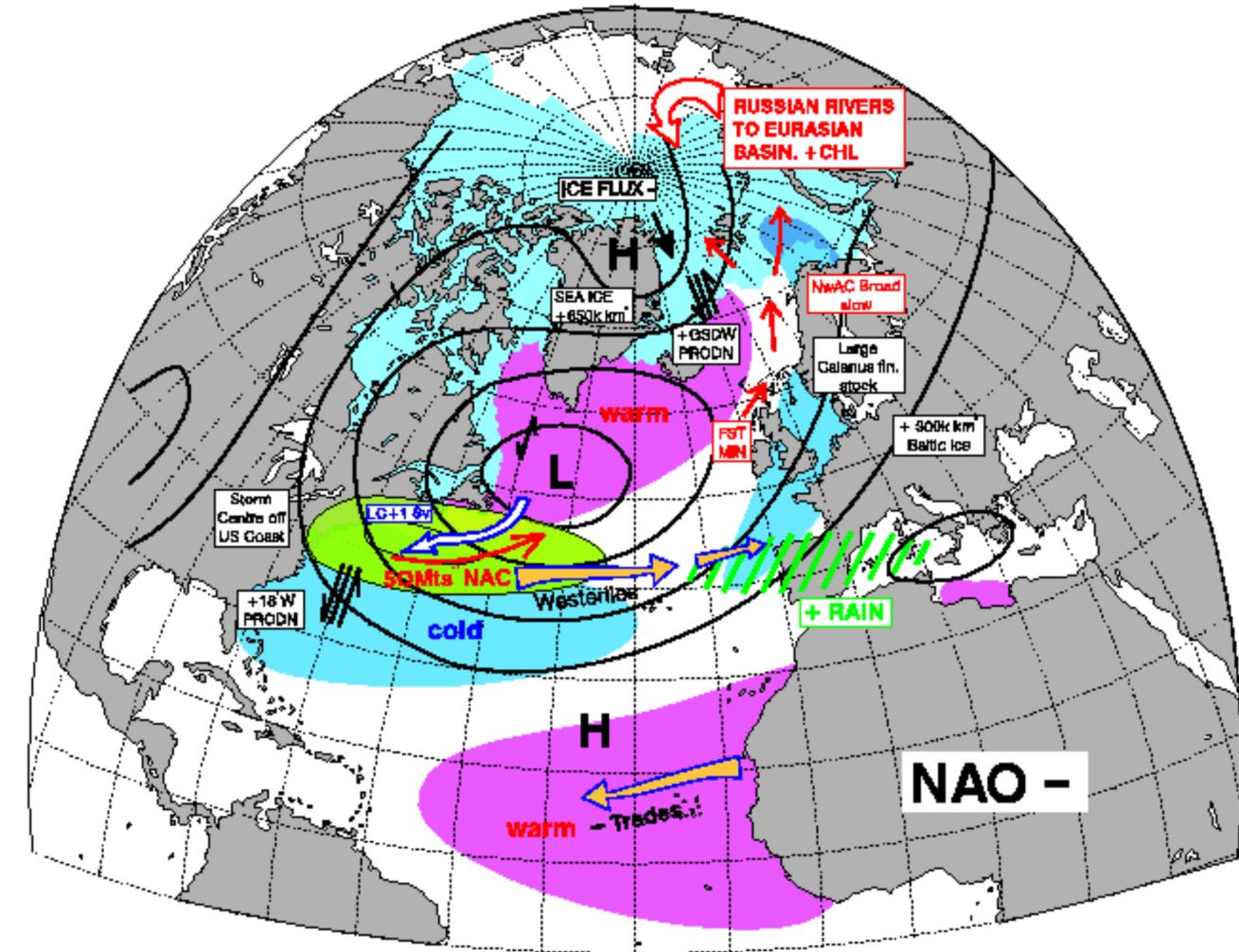
- Valeurs moyennes mensuelle des différences de pression
- Valeurs de l'indice pour la saison hivernale et évolution du nombre de taches solaires (comme proxy de l'activité solaire)

Conséquences d'un NAO positif



Anticyclone des Açores plus fort que d'habitude et/ou que la dépression islandaise est plus creusée. Cette différence accrue de pression favorise donc les vents forts atlantiques, aboutissant le plus souvent à des hivers humides et doux sur les Alpes et des temps froids et secs sur le nord de l'Europe (ainsi qu'au Canada et au Groenland).

Conséquences d'un NAO négatif



Le gradient de pression entre les régions polaires et subtropicales reste faible, entraînant des vents et des passages perturbés atlantiques de plus faible intensité et moins fréquents que d'ordinaire, alors que dans le même temps, l'anticyclone centré sur la Sibérie envoie de l'air polaire froid. Une grande partie de l'Europe est alors plongée dans un temps sec et très froid ; les vents d'ouest d'altitude sont non seulement moins forts, mais également décalés vers le sud.

Changement climatique



Les glaciers comme sentinelles des changements climatiques : le glacier de Morteratsch (GR) en 1986, 2006 et 2021

Source : Jürg Alean

Changement climatique (2)



Les glaciers comme sentinelles des changements climatiques : le glacier de Tschierwa (GR) en 1895, 2004, 2021 et 2023

Source : Schweizerisches Alpines Museum, Jürg Alean, Melaine Le Roy, Jürg Alean

Changement climatique (3)

Les glaciers comme sentinelles des changements climatiques : le glacier de Trient (VS) en 1895 et 2010



Source : H. Dumoulin, A. Zryd, et N. Crispini, *Glaciers : passé-présent du Rhône au Mont-Blanc*, Slatkine, Genève, 2010.

Changement climatique (4)

Les glaciers comme sentinelles des changements climatiques : le glacier du Rhône (VS) en 2009 et 1924



Source : Duncan Porter

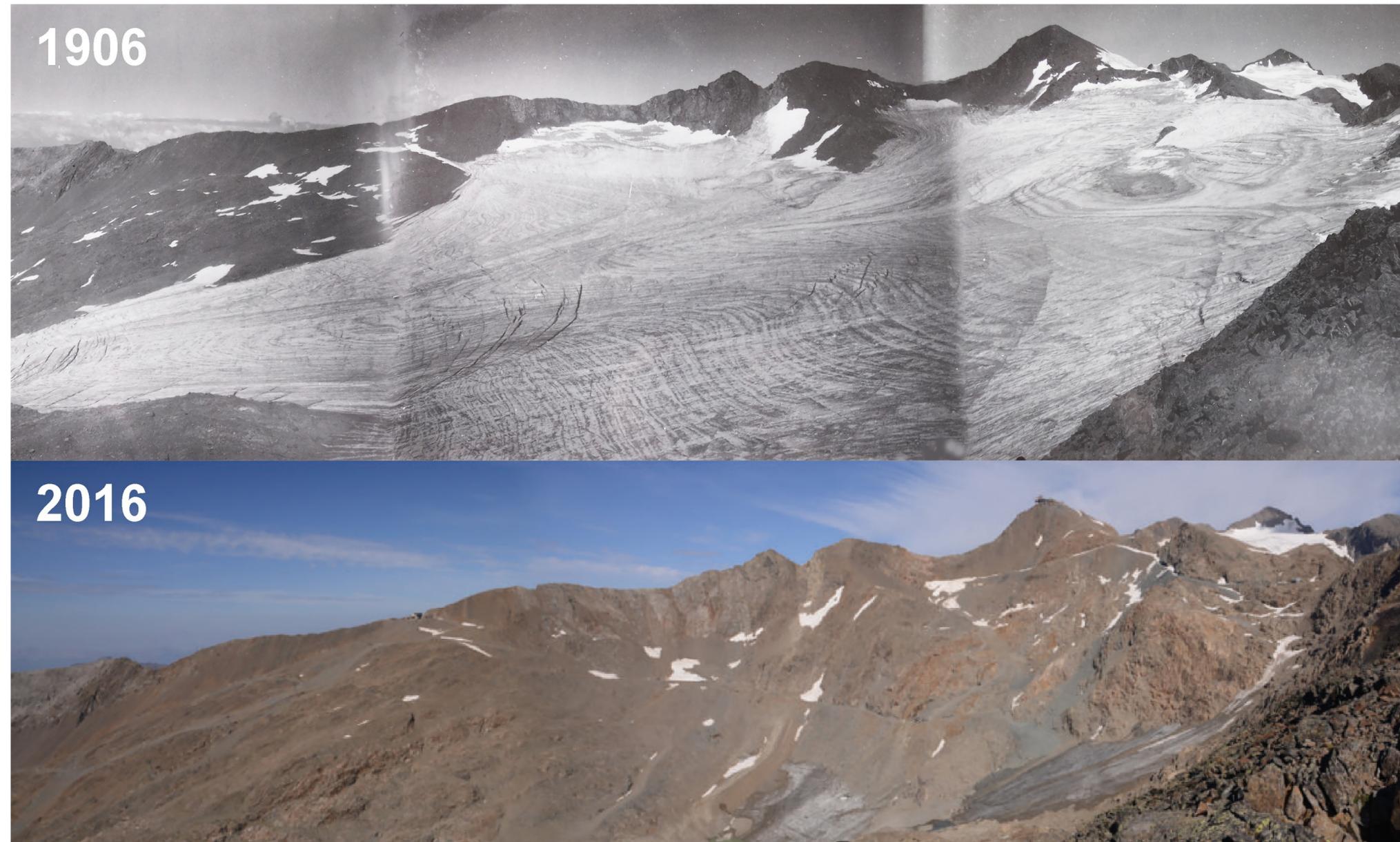
Le glacier du Rhône (VS) au fil des décennies



Une vue d'artiste illustrant le retrait du glacier du Rhône. Fabian Oefner, *Timelines*

Changement climatique (6)

Les glaciers comme sentinelles des changements climatiques : le glacier de Sarenne (France, Isère, Huez) en 1906 et 2016

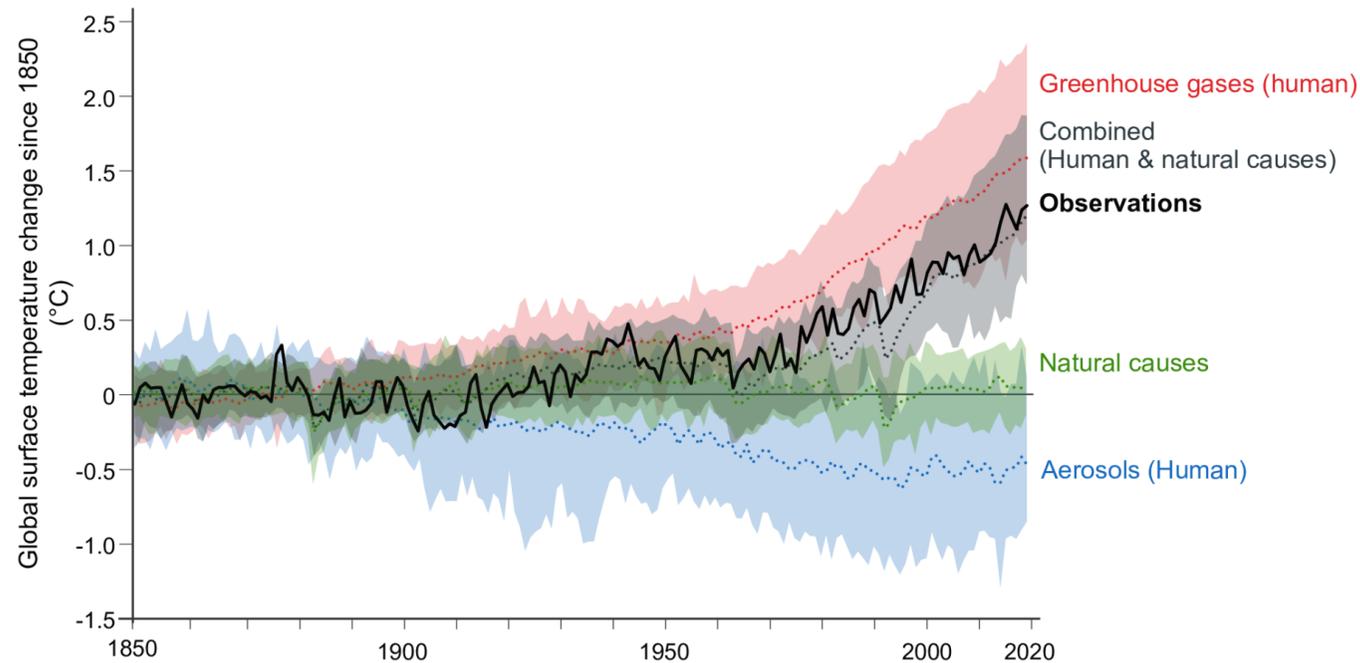


Source : Source : J. Flusin, E. Thibert (montage M. Le Roy)

Causes du changement climatique

FAQ 3.1: How do we know humans are causing climate change?

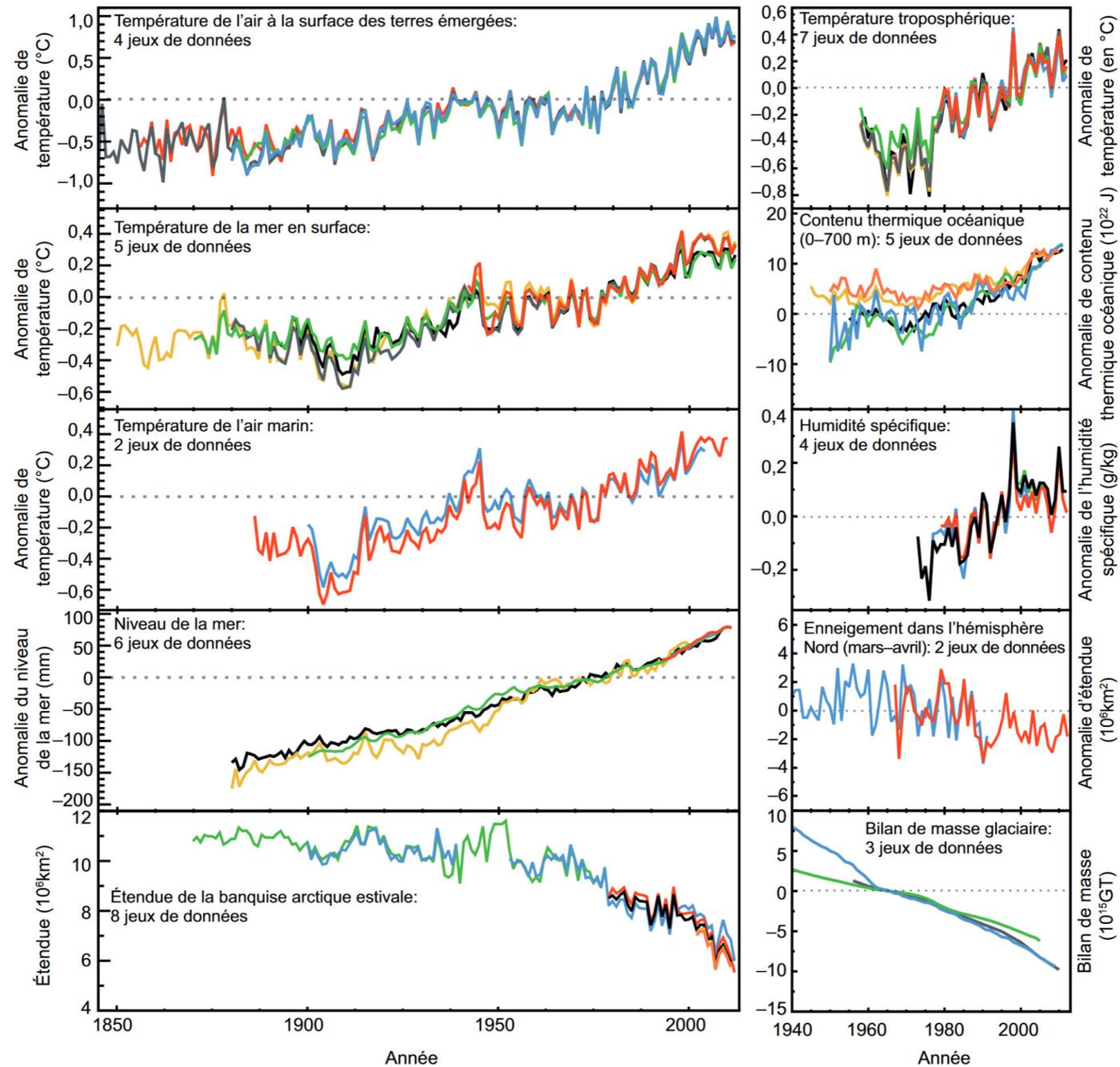
Observed warming (1850-2019) is only reproduced in simulations including human influence.



source : IPCC (AR6), 2021

- Consensus scientifique : activités humaines comme cause principale
- Influence des processus naturels : une influence probable, mais sur une échelle de temps plus grande et donc de moindre ampleur à l'échelle du siècle
- Des incertitudes grandes : calage des modèles, couplage entre modèles de circulation globale et de circulation régionale, des inconnues (rôle des océans, des nuages, etc.) ⇒ moyenne d'ensemble sur plusieurs modélisations

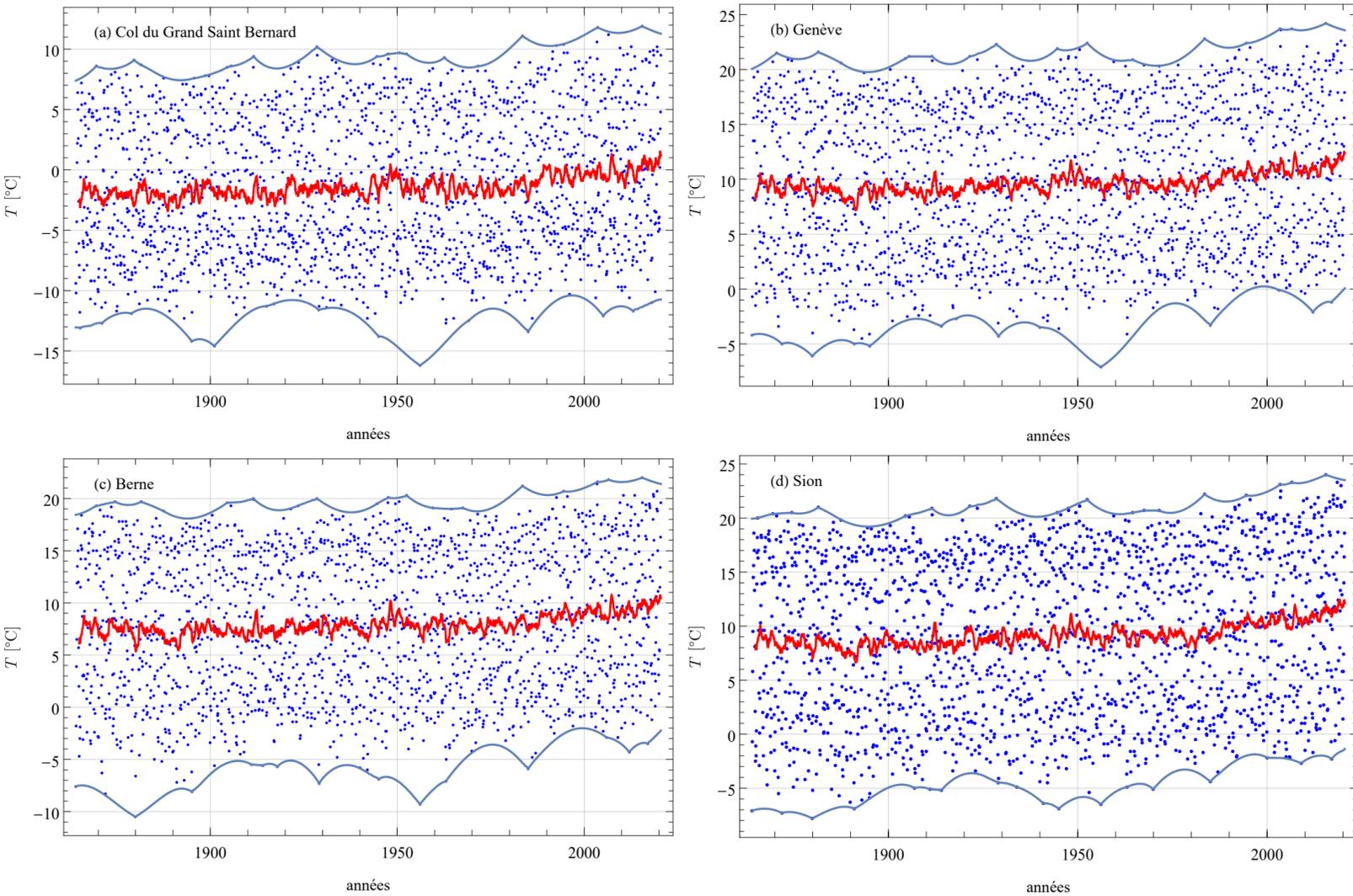
Manifestation du changement climatique



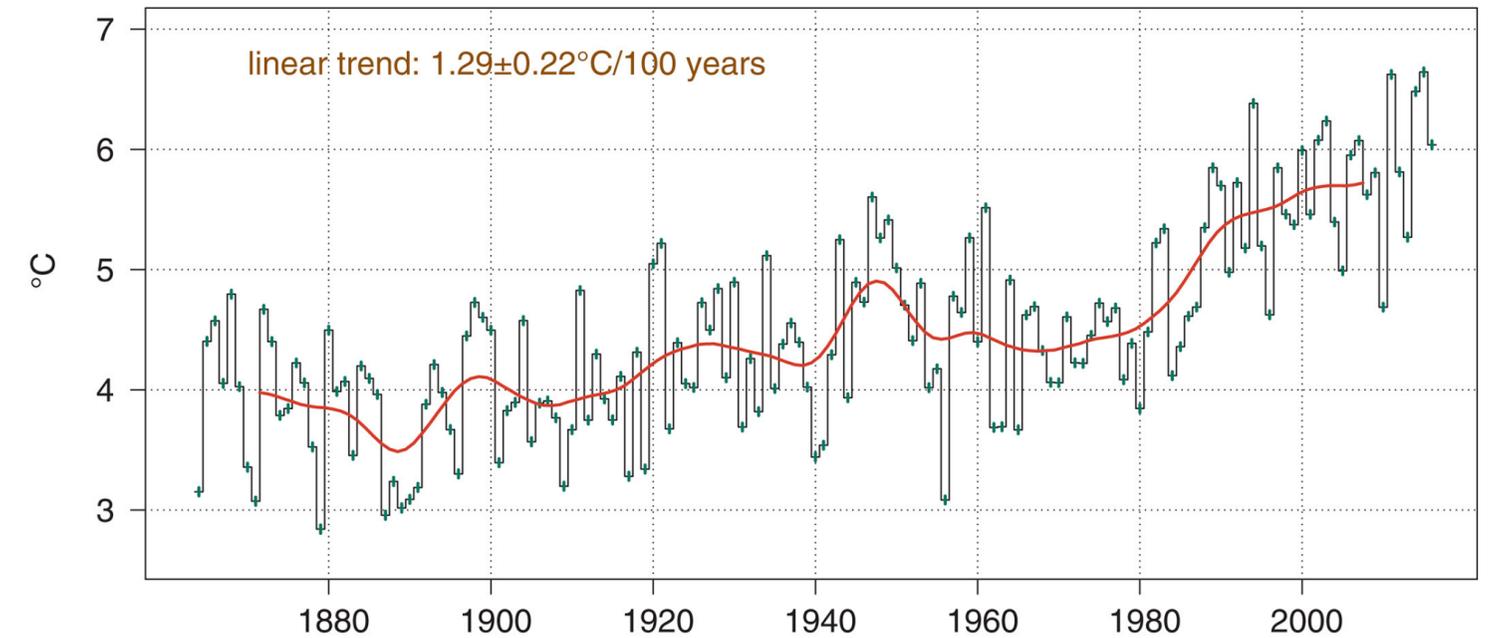
Quelques-uns des effets majeurs :

- augmentation des températures à la surface
- humidité accrue de l'atmosphère
- augmentation du niveau des mers
- disparition de la banquise, fonte du pergélisol, et retrait glaciaire
- réduction de l'enneigement
- mais un lien peu évident entre accroissement des précipitations extrêmes et crues

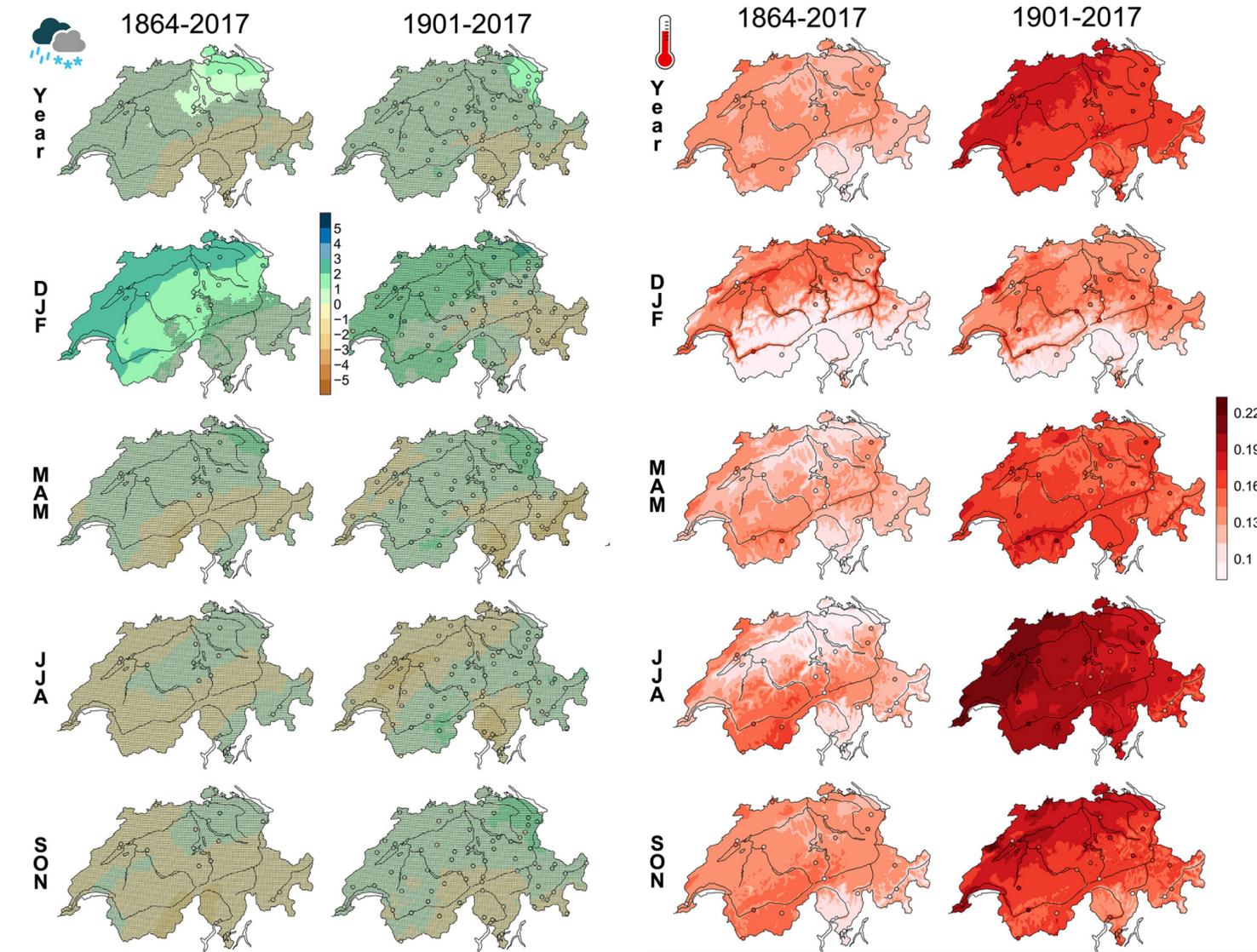
Un effet plus marqué pour la Suisse



Si à l'échelle de la planète, la température moyenne a augmenté de 1 °C depuis 1900, le réchauffement a été plus marqué en Suisse avec en général un accroissement supérieur à 2 °C.



Un effet plus marqué pour la Suisse (2)



- Colonne de gauche : variation des précipitations (en %)
- Colonne de droite : variation de la température (°C/décennie)

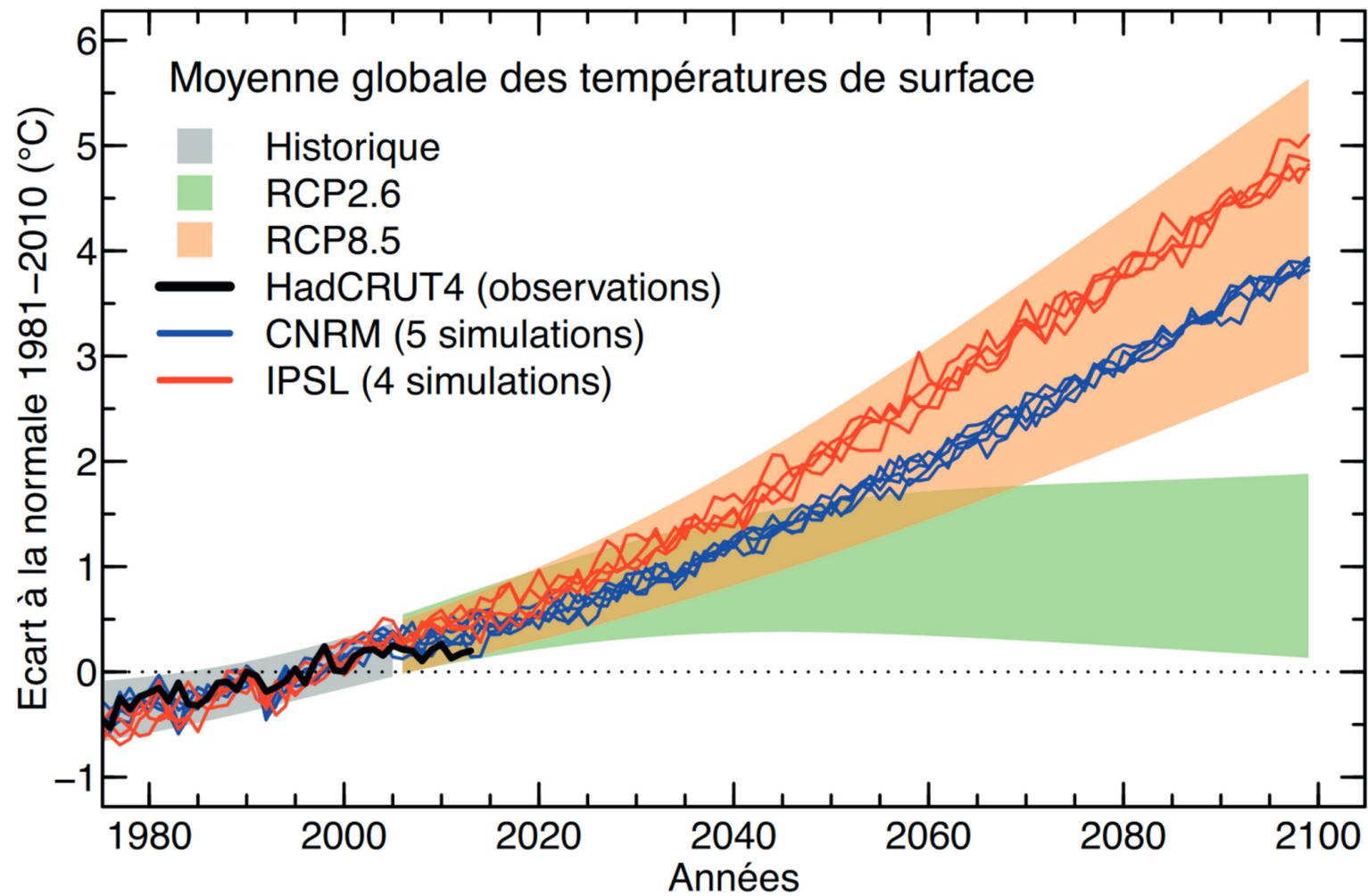
Isotta, F.A., M. Begert, and C. Frei, Long-term consistent monthly temperature and precipitation grid datasets for Switzerland over the past 150 years, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123**, 2019.

Les trois scénarios RCP (2013) :

	forçage radiatif $W \cdot m^{-2}$	CO ₂ ppm	ΔT °C
RCP 2,6	2,6	400	1,0
RCP 4,5	4,5	550	1,8
RCP 8,5	8,5	1200	3,7

- Cinquième rapport en 2013 : le GIEC décrit trois scénarios majeurs appelés « profils représentatifs d'évolution de concentration » (*representative concentration pathway*: RCP) en anglais qui sont fonction du « forçage radiatif » (rayonnement supplémentaire à l'horizon 2100 dans la troposphère par rapport à la situation prévalant durant la période pré-industrielle). Ces scénarios associent forçage radiatif, concentration en dioxyde de carbone et élévation de température.
- Sixième rapport en 2021 : élaboration des scénarios SSP (*shared socio-economic pathways* en anglais) qui prennent en compte à la fois l'évolution des émissions des gaz à effet de serre à travers des scénarios socio-économiques et le forçage radiatif.

Projection des températures



Scénarios du GIEC RCP2.6 (en vert) et RCP8.5 (en orange).

Les observations historiques HadCRUT4 sont indiquées avec un trait noir. Les enveloppes tracées correspondent à un intervalle de confiance de 95 % pour l'ensemble des modèles de climat ayant participé aux simulations du GIEC.

Écart à la normale calculée sur la période 1981-2010 de la moyenne globale des températures de surface (°C).

Déclinaison pour la Suisse

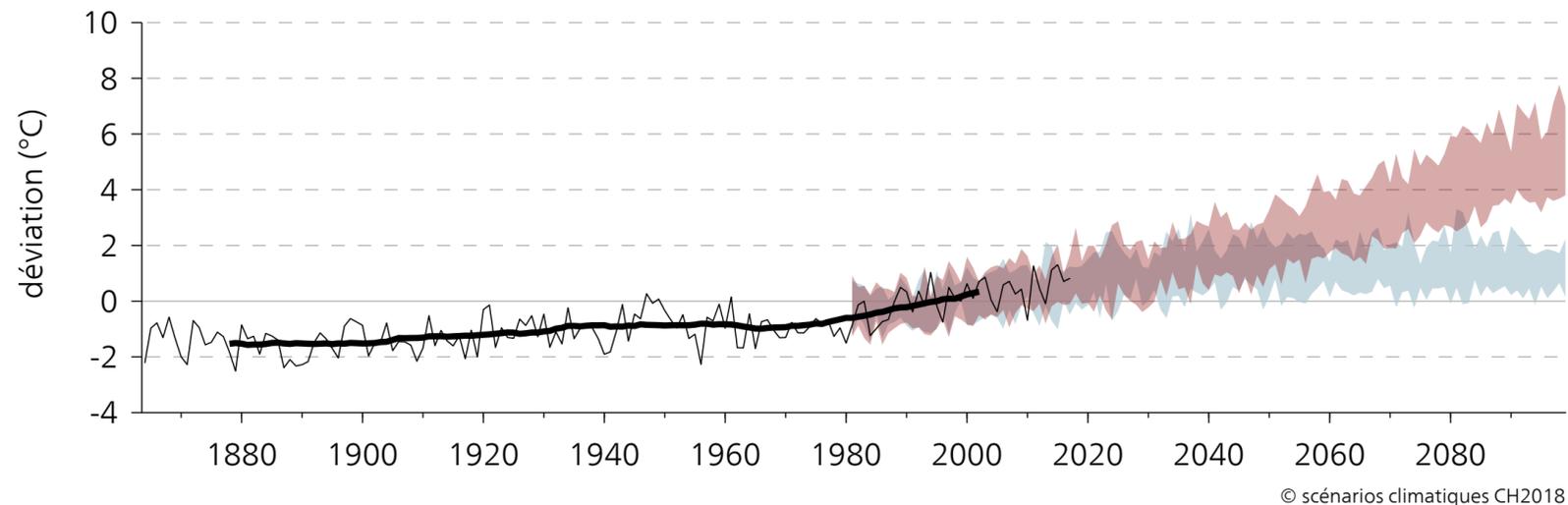
Température

déviaton de la période standard 1981-2010

Suisse
moyenne annuelle

— observations
— moyenne glissante sur 30 ans

RCP2.6
RCP8.5



Projection pour la Suisse : voir climat CH2025

Les scénarios actuels désignés sous le nom de CH2018 prennent les trois décennies 1981–2010 comme période de référence et point de départ des simulations numériques.

Les scénarios permettent de prospecter ce qui peut se passer à trois horizons différents :

- avenir proche (horizon 2035), c.-à-d. la période 2020–2049 ;
- milieu du siècle (horizon 2060), c.-à-d. la période 2045-2074 ;
- fin du siècle (horizon 2085), c.-à-d. les trois dernières décennies 2070-2099.

Les scénarios fournissent différents indicateurs (nombre de jours de gel, de canicule, etc.) et l'évolution de la température et des précipitations sur une grille de maille fine $2 \times 2 \text{ km}^2$ Les données sont accessibles en ligne : National Centre for Climate Services

Déclinaison pour la France



	période	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Monde	1850–1900	+1,5 °C	+2,0 °C	+3,0 °C
France	1900–1930	+2,0 °C	+2,7 °C	+4,0 °C
France	1976–2005	+1,4 °C	+2,1 °C	+3,4 °C

Projection pour la France : voir DRIAS

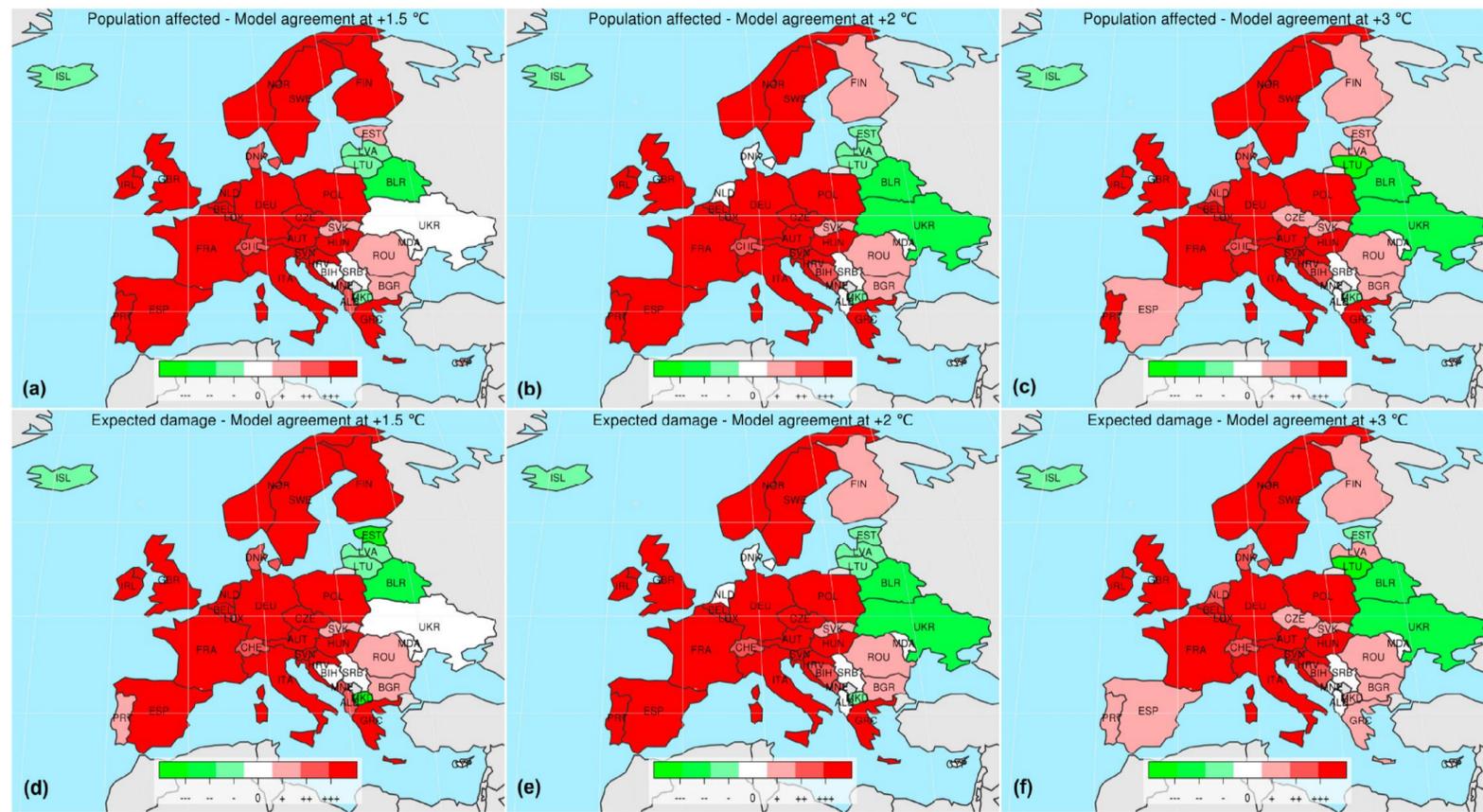
Scénarios « trajectoires de référence pour l'adaptation au changement climatique » (TRACC) avec comme période de référence soit les trois décennies 1976–2005, soit les trois décennies 1900–1930 (au lieu de 1850–1900 pour le GIEC). Les simulations considèrent une

dégradation climatique, avec :

- à l'horizon 2030, une augmentation de +2,0 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 2,6),
- à l'horizon 2050, une augmentation de +2,7 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 4,5),
- à l'horizon 2100, une augmentation de +4,0 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 8,5),

par rapport à la période de référence 1900–1930.

Projection des événements météorologiques



Augmentation de 200 % des dommages pour la Suisse, et 200–500 % pour la France et l'Allemagne

Figure 4. Multi-model agreement of projected changes in affected population (a–c) and expected damage (d–f) at specific warming levels (SWLs): 1.5 °C (a,d), 2 °C (b,e), and 3 °C (c,f). Colors depend on the number of cases predicting a positive or negative change in impacts.

Alfieri et al., Multi-model projections of river flood risk in Europe under global warming, *Climate*, **6**, 6, 2018.

Projection des événements météorologiques (2)

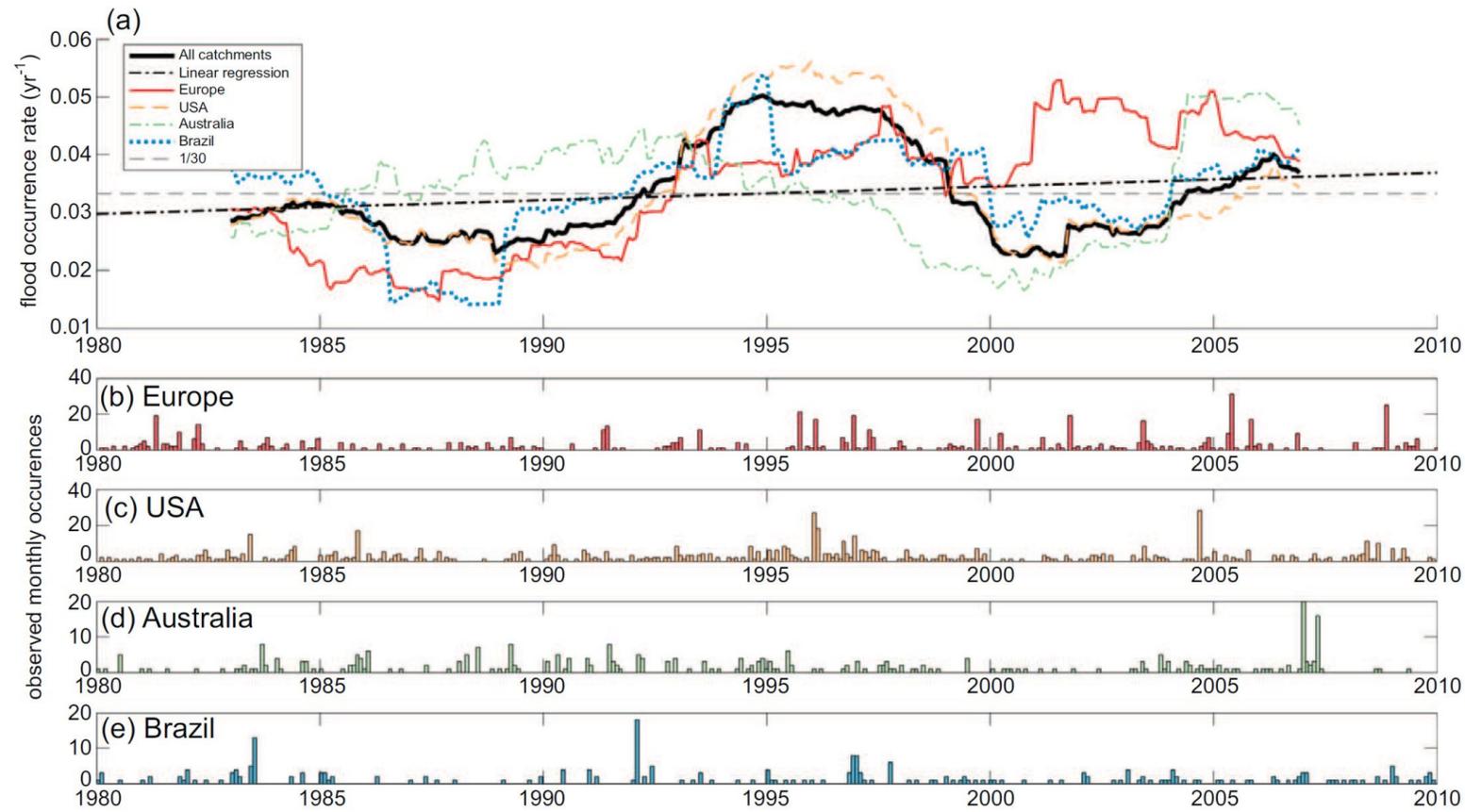


Figure 2. Occurrence rate of each catchment's largest flood. The 5 year moving average of the annual probability that a certain flood magnitude is observed, shown per region and for all catchments (a). Time of occurrence of each catchment's single largest flood is shown for Europe (b), United States (c), Australia (d), and Brazil (e).

Berghuijs et al., Recent changes in extreme floods across multiple continents, *Environmental Research Letters*, **12**, 114035, 2017.

Augmentation de la fréquence des crues ?

Altenburg, 14 juillet 2021



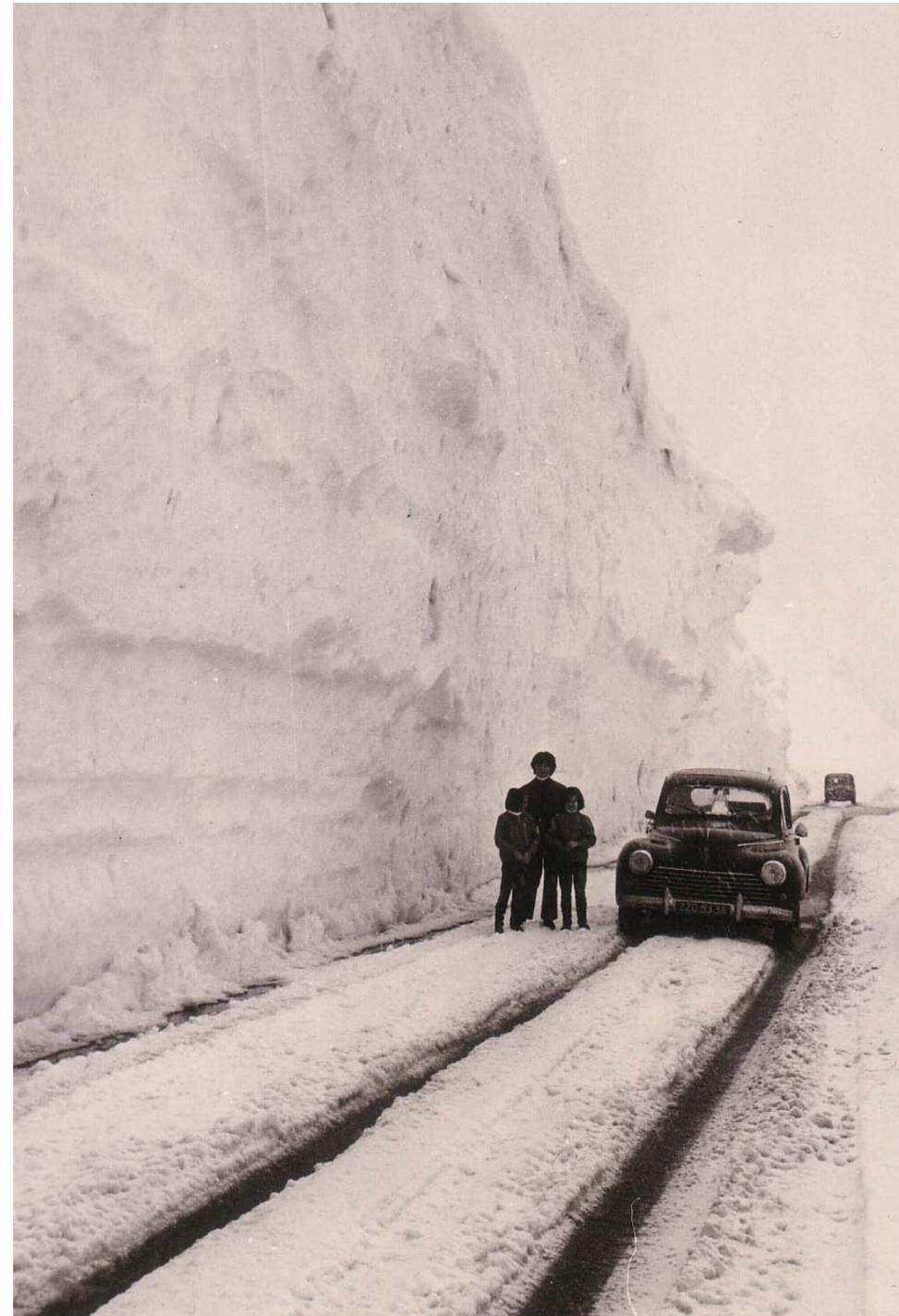
Dangers hydrologiques



Autoroute A1 à Coppet, juin 2013

Danger ou risque hydrologique les phénomènes ou risques induits par l'eau sous forme liquide ou solide :

- les débordements de cours d'eau (crue, inondation) et certains écoulements souterrains (remontée de nappe) ;
- les crues torrentielles (lave torrentielle, charriage, lahar, débâcle glaciaire) ;
- les avalanches de neige.



Lanslevillard 1970, archives Toraval

Certains phénomènes hydrologiques sont extrêmes parce que les précipitations à leur origine sont extrêmes.

Avantages de leur étude :

- lien simple entre cause et conséquence
- le futur est le reflet du passé
- un outil statistique : théorie des valeurs extrêmes
- borne supérieure des phénomènes



François Mettra, orage du 12 juin 2018 sur le Léman

- Certains phénomènes hydrologiques sont extrêmes parce qu'ils résultent d'un concours de circonstances. Combinaison de facteurs dont aucun n'est extrême pris séparément, qui donne naissance à un phénomène d'intensité extrême.
- D'autres résultant de la concomitance de facteurs défavorables (souvent aucun d'eux – pris isolément – n'est exceptionnel)
- Cas des horsains (*outliers* en anglais) : une « anomalie statistique » selon les statisticiens. Physiquement, des « règles du jeu » plus compliquées...

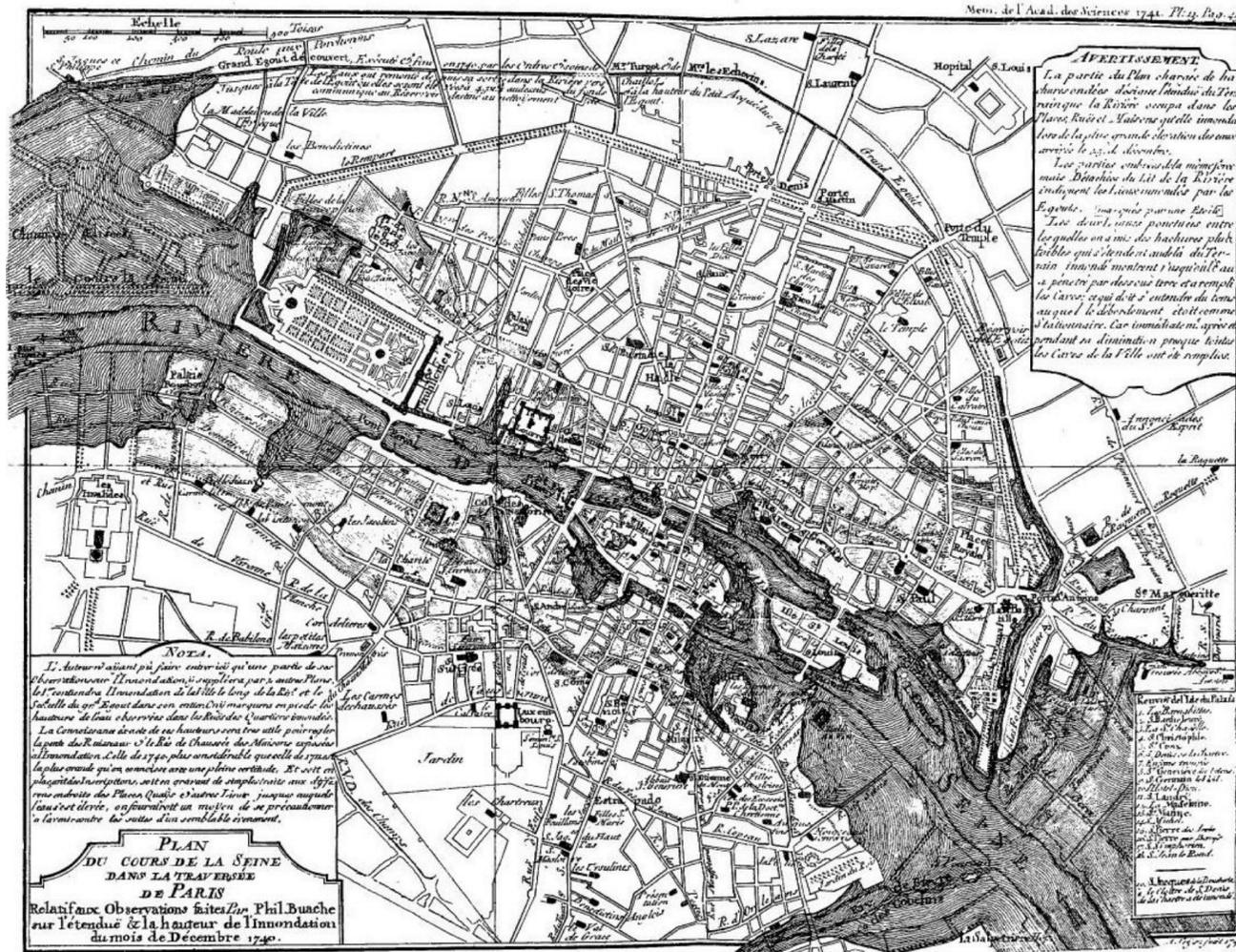
Crue des Étançons à La Bérarde le 21 juin 2024 : hiver enneigé, fonte des neiges, pluie soutenue à haute altitude, vidange glaciaire



Benoît Lagneux, Dauphiné Libéré

Concomitance d'événements (2)

Crues de la Seine: le plus souvent, concomitance fonte des neiges et pluies soutenues sur plusieurs jours



Crues de décembre 1740 (BNF, carte levée par Philippe Buache) et de juin 2016 (AFP) de la Seine à Paris

Phénomènes hydrologiques extrêmes: horsain

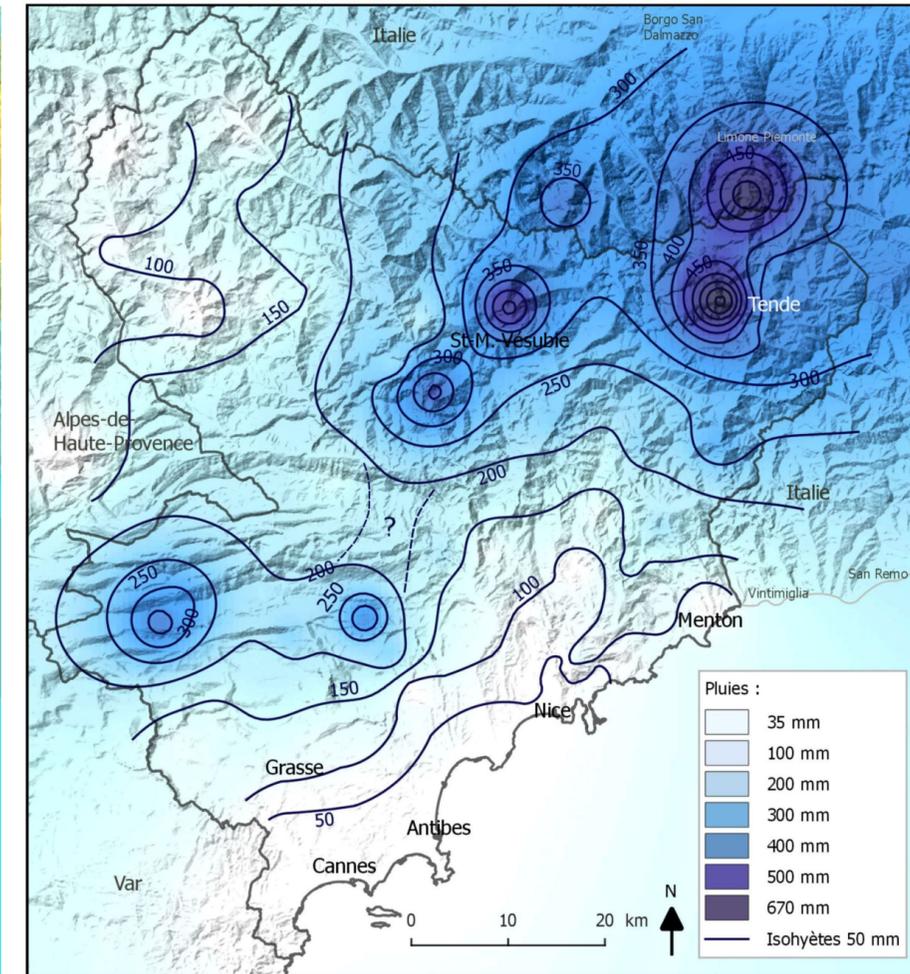
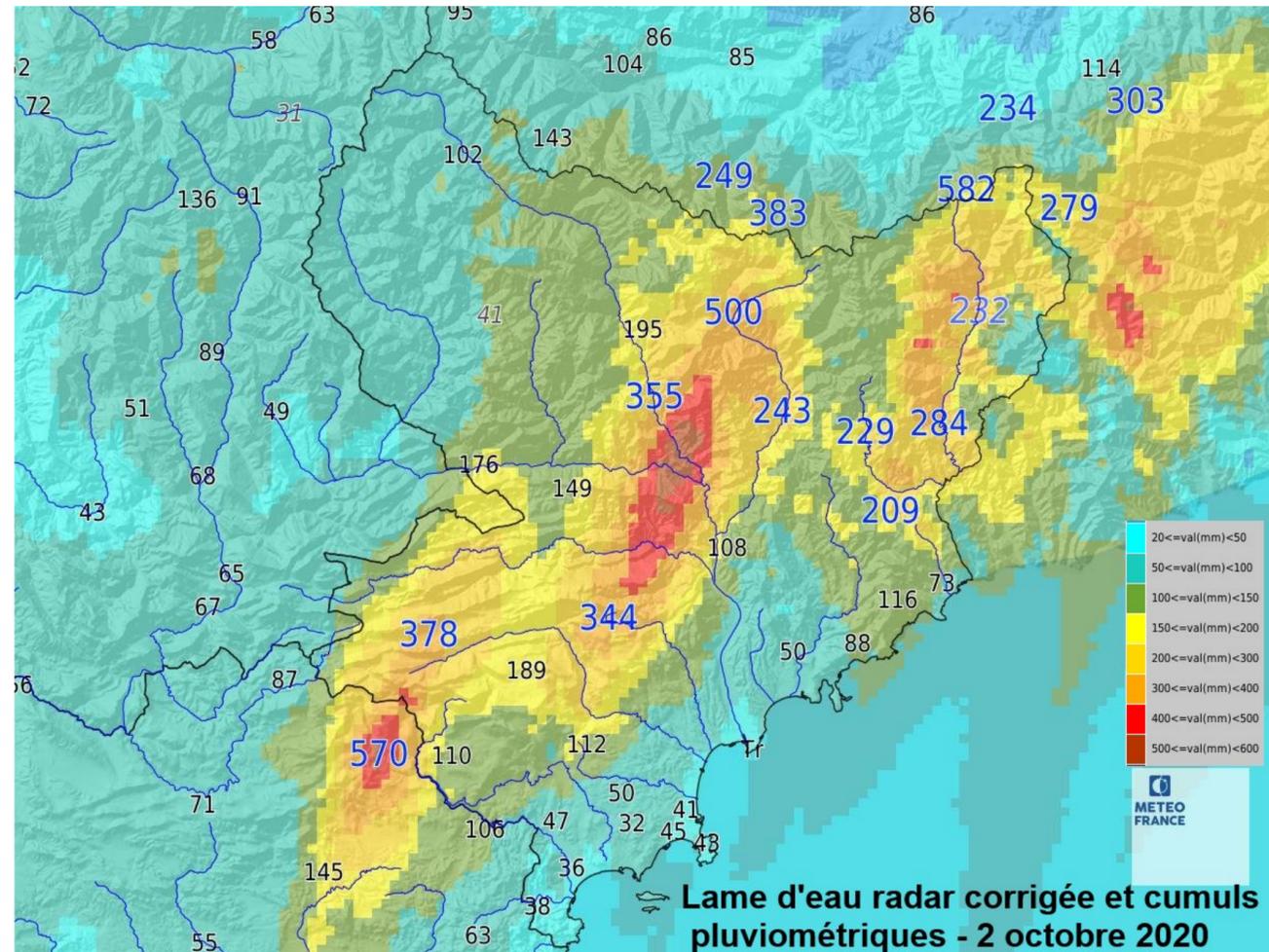
Avalanche de l'Arcelle de mai 1983 (Lanslevillard) : une succession dans le lit de l'Arcelle, puis une dernière qui sort du lit et s'épanche sur le cône de déjection



Lanslevillard, avalanche de l'Arcelle mai 1983, archives RTM-73, J.-L. Boisset

Phénomènes hydrologiques extrêmes: horsain (2)

Pluie sur les Alpes Maritimes 2 octobre 2020



Carrega et Michelot, Physio-Géo 2021 ; Gaétan Heymes, Météo-France

Phénomènes hydrologiques extrêmes: horsain (3)

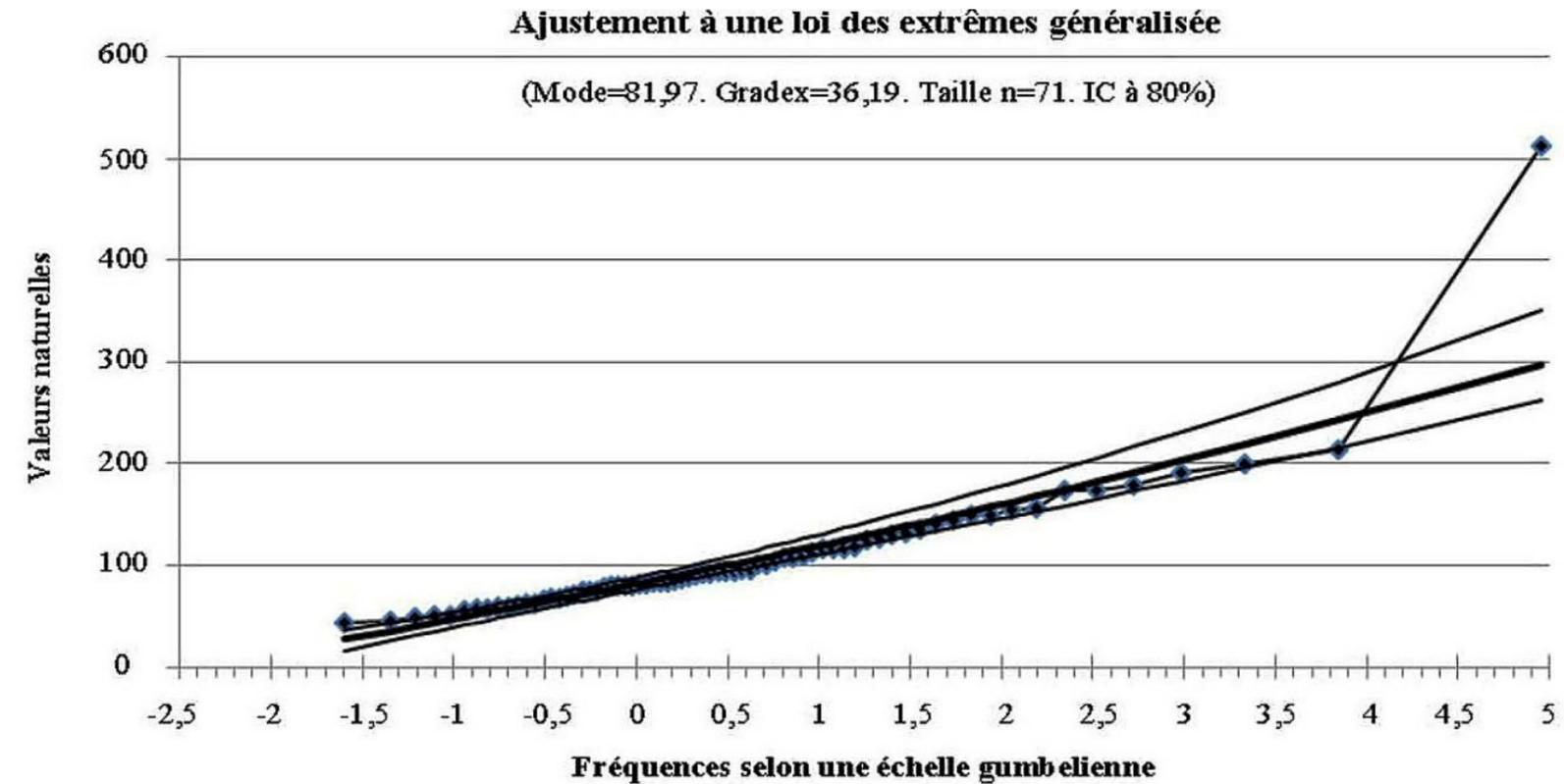
Pluie sur les Alpes Maritimes 2 octobre 2020



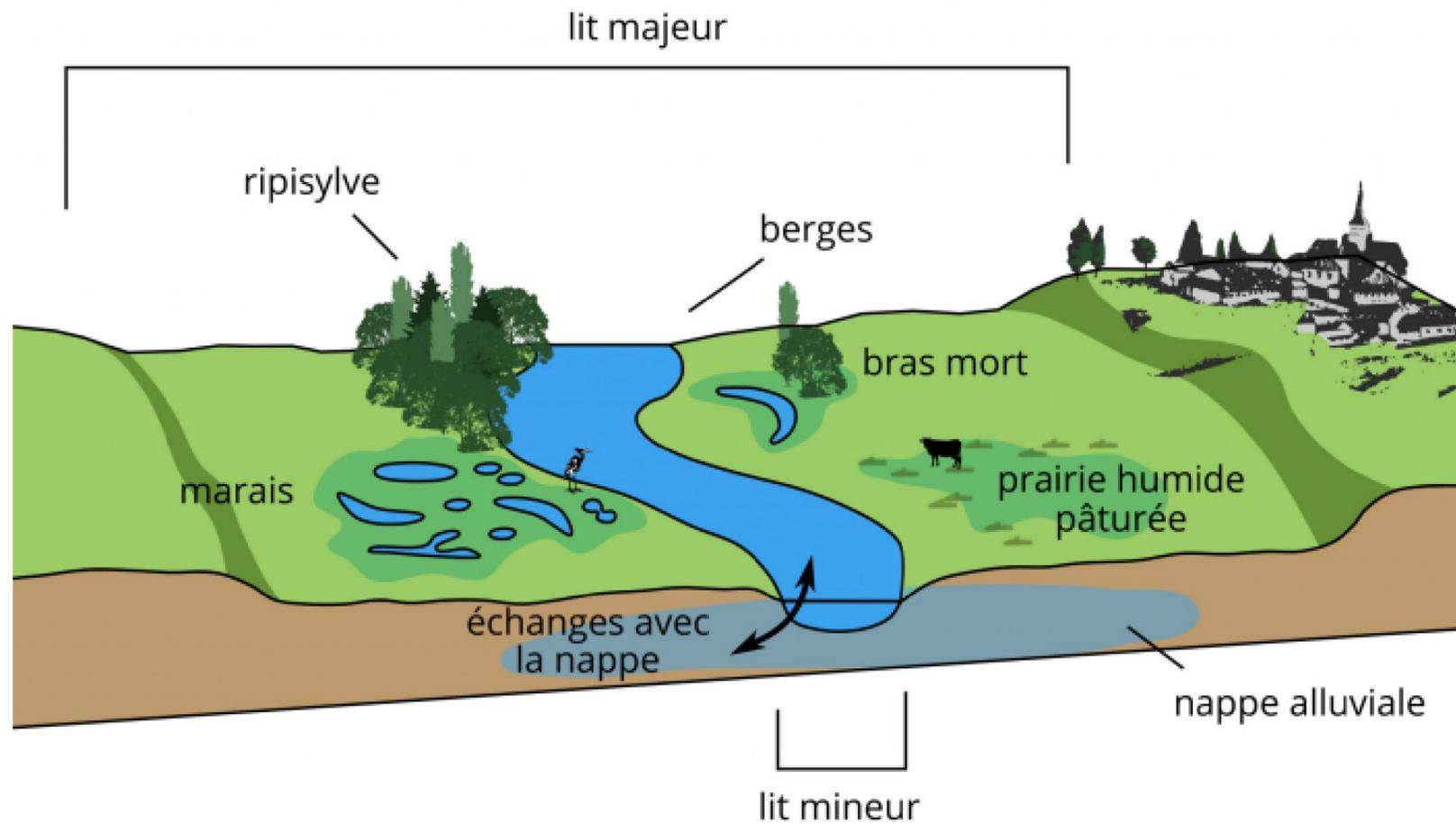
La situation avant/après la tempête Alex dans la ville de Roquebillière. Images pré-catastrophe (Esri World Imagery, 2016), images post-catastrophe (Pléiades, CNES 2020, distribution Airbus DS), images post-catastrophe au format carte (Sertit 2020)

Phénomènes hydrologiques extrêmes: horsain (4)

Pluie sur les Alpes Maritimes 2 octobre 2020



Carrega, P., and N. Michelot, Une catastrophe hors norme d'origine météorologique le 2 octobre 2020 dans les montagnes des Alpes-Maritimes, *Physio-Géo. Géographie physique et environnement* 16, 1-70, 2021.



Des cinétiques différentes

- inondation : montée des eaux lentes, couvrant de grandes surfaces sur des périodes longues
- crue : montée rapide des eaux, occupation du lit majeur sur des périodes courts

Inondations

Inondations de juin 2013 en Suisse (Berne), Autriche (plaine du Danube, Melk), Allemagne (Bavière, Straubing)



Scénarios météorologiques responsables des inondations :

- inondations hivernales, causées par des dépressions d'ouest associées à un front chaud : précipitations longues, continues et parfois intenses. Crue de la Seine de 1910
- inondations dues à la fonte des neiges se produisent lorsque le stock neigeux est encore important au printemps. Crue de l'Arc en juin 1956 ou du Rhin en juin 2019
- inondations dues aux précipitations convectives d'été peuvent avoir des effets catastrophiques sur des régions fortement urbanisées. Inondation de Berne en août 2005
- inondations dues aux grandes marées. Tempête de janvier 1953 (Pays Bas et Grande Bretagne).

Inondations: dommages

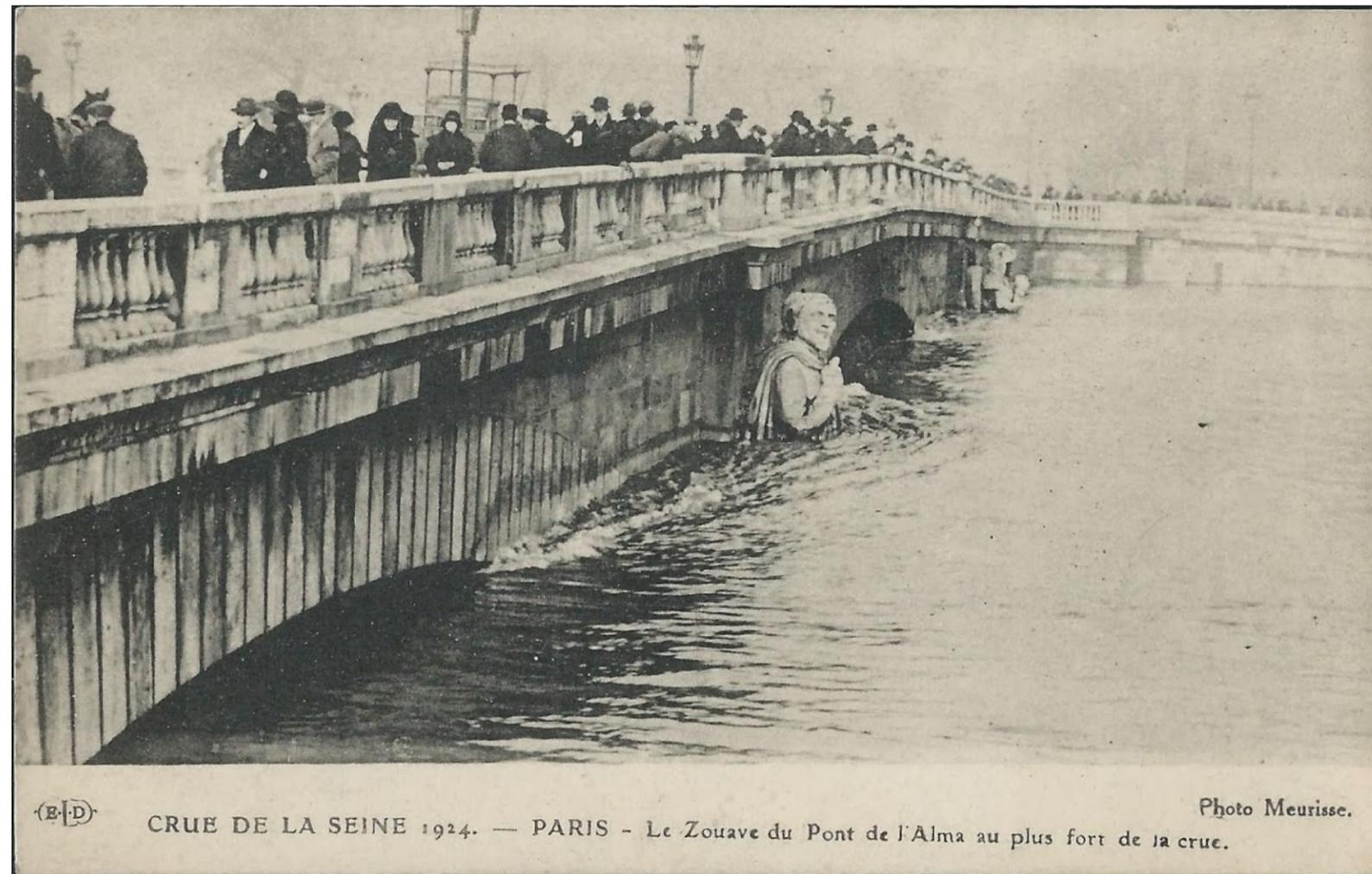


<i>continents</i>	Nombre annuel de morts				
	1980–89	1990–99	2000–09	2010–19	2020–
Europe	80 (3 %)	96 (22 %)	96 (64 %)	89 (68 %)	74 (78 %)
Asie	4194 (75 %)	5293 (34 %)	3709 (8 %)	3723 (43 %)	3513 (20 %)
Afrique	165 (0 %)	732 (86 %)	795 (63 %)	723 (24 %)	1811 (74 %)
Océanie	16 (82 %)	4 (2 %)	9 (22 %)	12 (20 %)	15 (59 %)
Amérique du Sud	397 (12 %)	3158 (89 %)	308 (66 %)	389 (63 %)	374 (78 %)
Amérique du Nord	248 (18 %)	257 (81 %)	471 (74 %)	130 (1 %)	99 (12 %)
	Coût économique annuel en G\$				
Europe	1,0 (18 %)	2,8 (53 %)	5,4 (86 %)	4,8 (61 %)	13,1 (75 %)
Asie	2,0 (85 %)	14,3 (46 %)	7,7 (31 %)	26,4 (44 %)	23,7 (55 %)
Afrique	0,1 (14 %)	0,1 (17 %)	0,3 (35 %)	0,4 (49 %)	2,1 (82 %)
Océanie	0,0 (2 %)	0,1 (33 %)	0,5 (69 %)	1,1 (26 %)	3,6 (99 %)
Amérique du Sud	0,8 (55 %)	0,7 (64 %)	0,7 (69 %)	1,4 (24 %)	0,9 (27 %)
Amérique du Nord	0,2 (12 %)	3,1 (47 %)	2,0 (67 %)	5,1 (45 %)	2,8 (22 %)

(Le nombre entre parenthèses représente le coût relatif des inondations par rapport au coût des dommages causés par des événements naturels.)

Inondations: crues de la seine

Des crues fréquentes 1910, 1924, 1945, 1955, 1982, 1988, 1995, 1999, 2001, 2013, 2016, 2018.



Inondations: information historique abondante

Crues du Tage (pont romain d'Alcantara)

Source : Benito, G., A. Díez-Herrero, and M.F. De Villalta, Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium, *Climatic Change*, **58**, 171–192, 2003.

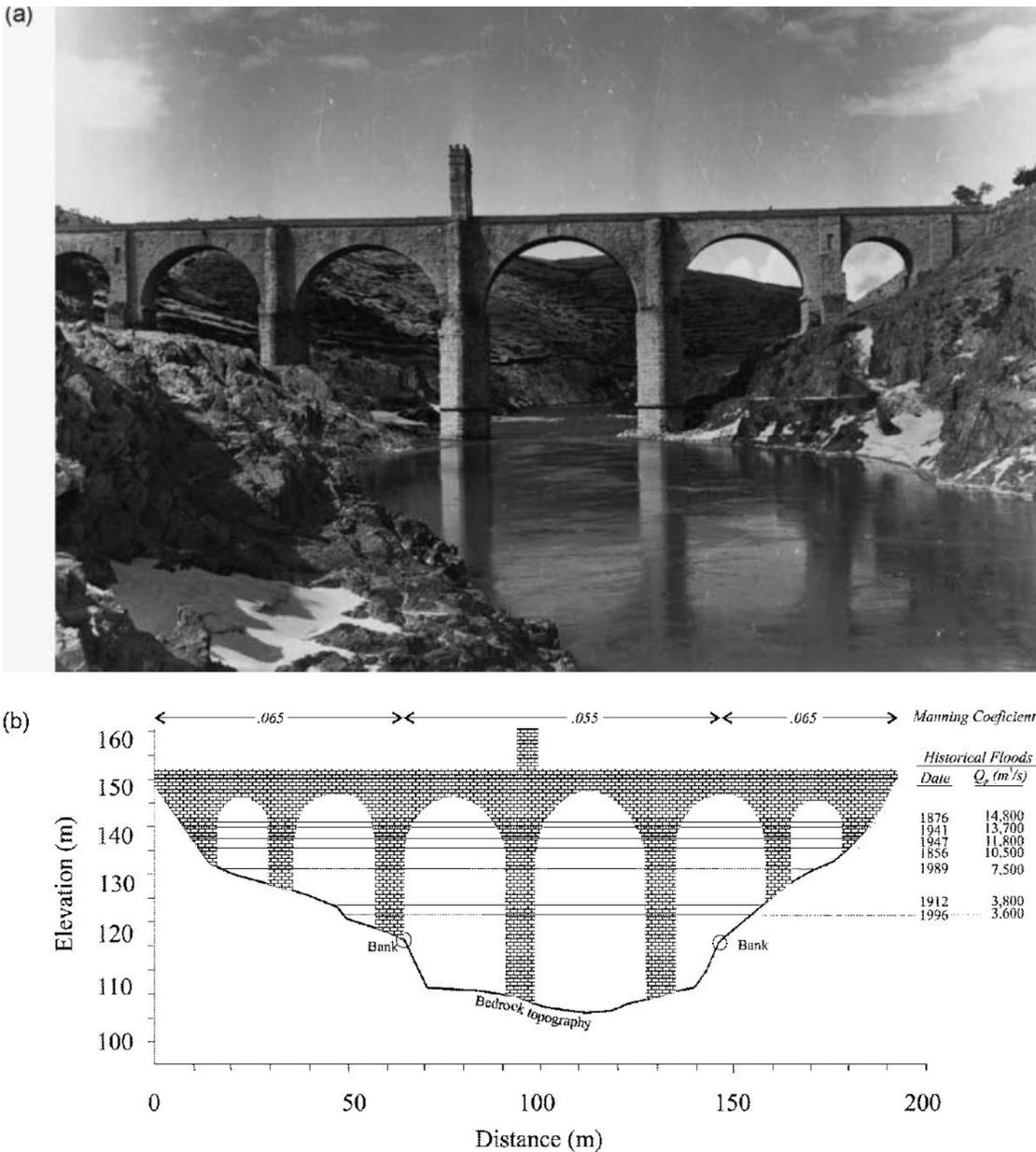


Figure 7. Alcantara Roman Bridge, built in AD 103, with 200 m in length and central arcs openings of 28.8 and 27.4 m in height. (a) Photo taken in 1950 (previous to the Alcantara Dam construction). (b) Cross-section showing the flood stages (from historical landmarks and historical pictures), and the associated discharges estimated using HEC-RAS hydraulic model.

Inondations: information historique abondante (2)

Crue de 1941 du Cher (château de Chenonceau)



Inondations liées aux marées et tempêtes

Raz de marée de 1953 sur les Pays-Bas. Tempête Xynthia en 2010 en Vendée.



US Army (Wikimedia) et Bertrand Guay, AFP

Plaine inondée de la Reuss dans le canton d'Uri le 18 juillet 1987.



Inondations d'été (2)

Inondations d'août 2005 en Suisse centrale et orientale (ici Klosters)



Inondations d'été (3)

Inondations d'août 2005 en Suisse centrale et orientale (ici Ennetbürgen, NW, et Lucerne)



Source : Luzerner Zeitung

Inondations à la fonte des neiges

Inondation de la plaine de l'Isère à Grenoble (mai 2008)



Inondations à la fonte des neiges (2)

Inondation de Chippis en juin 2024 (confluence du Rhône et de la Navisence)



RTS

Inondations dues à des ruptures de digue

Inondation de la plaine du Rhône à l'aval de Martigny en 1948 (rupture de la digue à Fully)



Photothèque de l'État du Valais

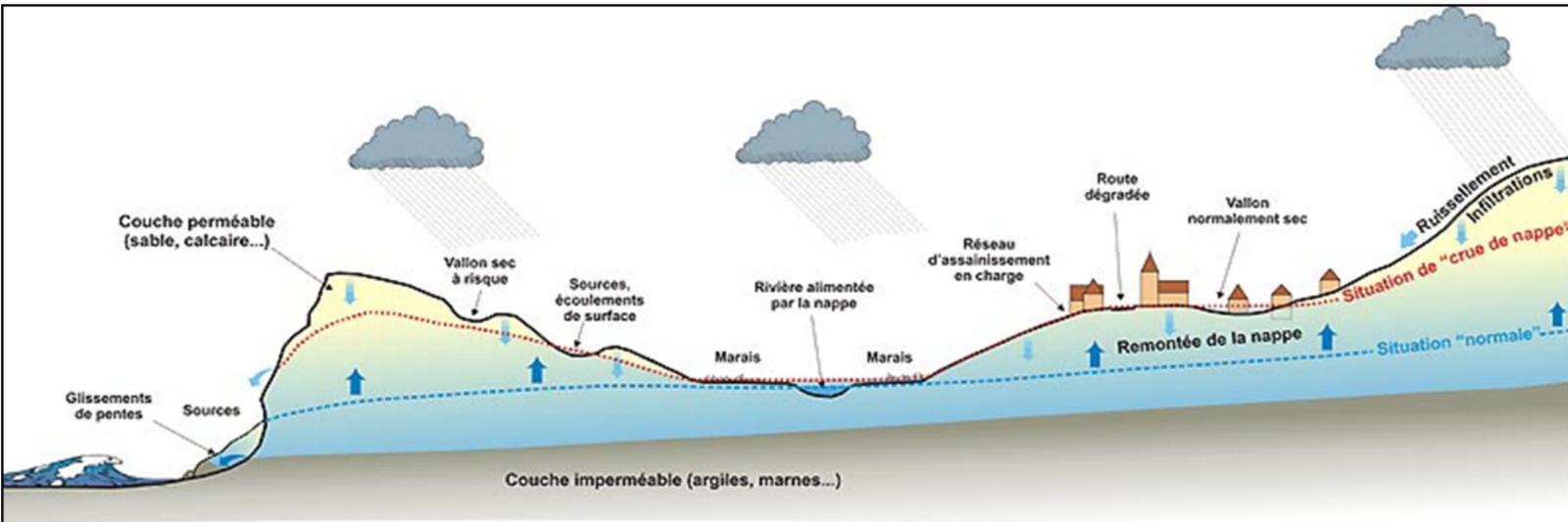
Inondations dues à des ruptures de digue (2)

Inondation de la plaine du Rhône à l'aval de Chamoson (VS) en octobre 2000 (rupture de digue). Ici le village de Saillon :



P.-A. Bertholet Le Nouvelliste.

Inondations dues aux remontées de nappe ou lac



DREAL Normandie

Inondations à Arques (Pas-de-Calais, France) en janvier 2024



AFP

Inondations dues aux remontées de nappe ou lac (2)

Inondation de Locarno de 1868



Archives Météo Suisse

Inondations dues au ruissellement



Orage sur Saint-Julien-en-Genevois (France, Haute-Savoie) en septembre 2014



Orage sur Lausanne (VD) en juin 2018 (quartier du Flon)

Crue de l'Ouvèze, Vaison la Romaine, 21–22 sep. 1992



Crue due à une rupture de barrage

Rupture du barrage de San Diego, 1916



South Bay Historical Society of San Diego

Crue due à une rupture de barrage (2)



Rupture du barrage de Kakhovka sur le Dniepr (Ukraine) en juin 2023

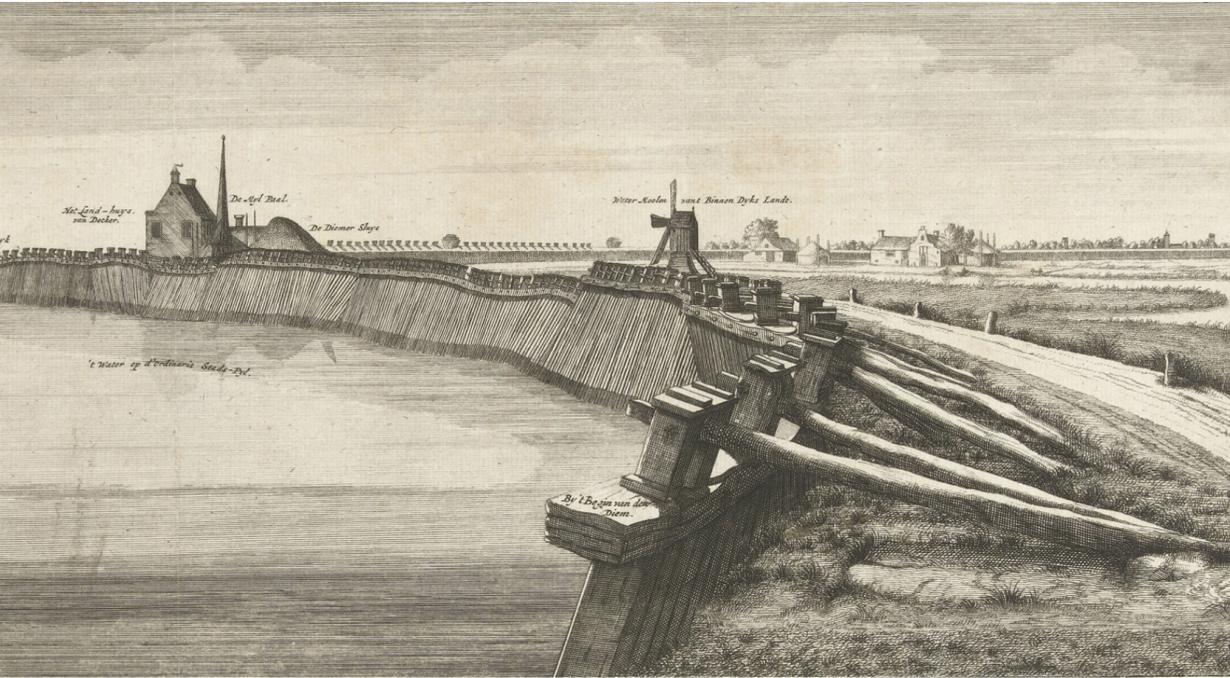
Source : Simon Gascoin (labo.obs-mip.fr) à partir d'images du satellite Sentinel 3 du 5 et 7 juin 2023

Crue due à une rupture de digue

Rupture de bassin minier à Bento Rodrigues (Brésil), novembre 2015



Crue due à une rupture de digue (2)



Rupture de digue. Exemple des Pays-Bas avec la construction de digues pour gagner sur la mer depuis le haut Moyen Âge. Rupture lors de grosses tempêtes de la mer du Nord ou bien manque d'entretien entraînant l'inondation des terres exondées

- Système de digue de Diemen (Amsterdam) vers 1705
- Rupture d'une digue près de Bemmelen en 1799

Crue due à une débâcle

Débâcle glaciaire du Giétro, juin 1818 (val de Bagnes)



Source : Médiathèque du Valais.

Événements survenus en Suisse au cours des deux derniers siècles. Les volumes drainés V sont exprimés en millions de m^3 et les débits de pointe en m^3/s .

Date	Lieu	V	Q_p
1818	Glacier du Giétro (VS)	20 8000 à 20 000	
1878	Lac de Märjelen, glacier d'Aletsch (VS)	10,7	300
1913	Lac de Märjelen, glacier d'Aletsch (VS)	4,5	195
1943	Glacier de Ferpècle (VS)	1,6	400
1944	Lac de Gorner, glacier du Gorner (VS)	6	200
1951	Lac de Grindelwald (BE)	0,135	74,6
1952	Glacier de Ferpècle (VS)	0,25	230
1968	Lac de Gorner, glacier du Gorner (VS)	2,9	29
2008	Lac de Grindelwald (BE)	0,57	111
2018	Lac des Faverges, glacier de la Plaine Morte (BE, VS)	2	80

Submersion due à un tsunami

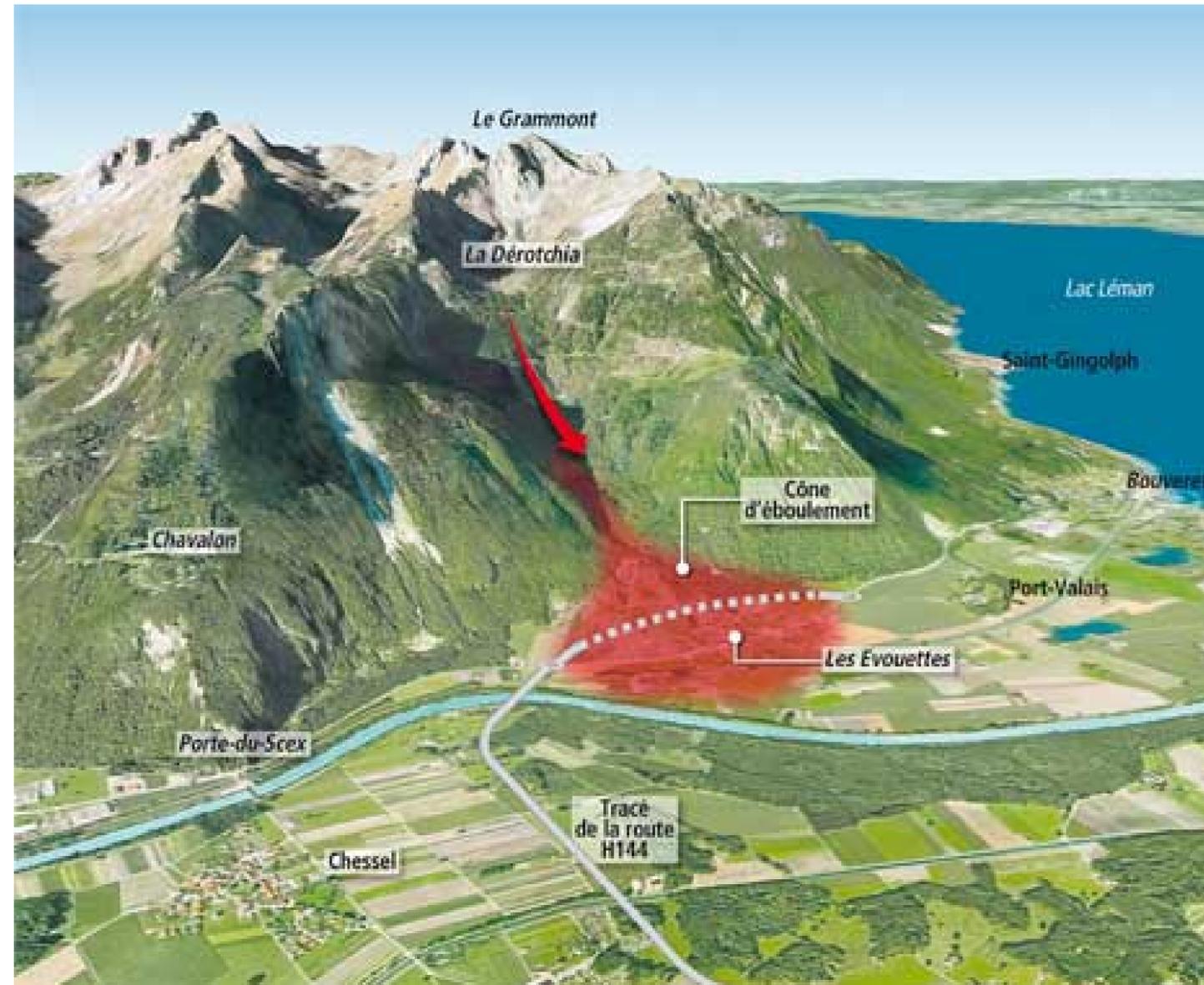
Tsunami de 2011 frappant la région industrielle de Sendai



Reuters

Submersion due à un tsunami (2)

Vague sur le lac Léman de 563



Les crues torrentielles sont des écoulements d'eau avec un fort transport solide, qui se produisent dans les torrents et les rivières de montagne ou de piémont :

- Crues avec charriage : le cours d'eau transporte du sédiment grossier par roulement, glissement, saltation le long du lit (processus appelé charriage). L'eau peut charrier plusieurs kg/s (par mètre linéaire) de sédiment.
- Laves torrentielles : lorsque la pente est forte ($i > 20 \%$), le transport par charriage est instable. Une lave torrentielle est un transport en masse d'un mélange de blocs, de terre, et d'eau, avec concentration solide est importante ($> 70 - 80 \%$). Les laves torrentielles ont donc un comportement mécanique très différent des crues liquides et, d'une certaine façon, elles sont plus proches d'une avalanche que d'une crue liquide.

Crues torrentielles (2)

Exemple de la crue de la Navisence en 2024 à Zinal (comparaison avec 2015)



Source : Bob de Graffenried et Yanan Chen, EPFL

Crues torrentielles (3)

Crue avec charriage torrentiel : Navisence en juin 2024 (Mission, Anniviers, VS)



Source : Swiss Topo

Crues torrentielles (4)

Charriage torrentiel Navisence en 2024 (Mission, Anniviers, VS)



Bob de Graffenried, EPFL

Crues torrentielles (5)

Crue torrentielle Navisence en 2024 (Zinal, Anniviers, VS)



Bob de Graffenried, EPFL

Crues torrentielles (6)

Crue torrentielle Navisence en 2024 (entre Mission et Mottec, VS)



Bob de Graffenried, EPFL

Une forme de charriage torrentiel très concentré : lave torrentielle du Pissot (août 1995) coupant l'A9 à Villeneuve



Crues torrentielles (8)

Lave torrentielle (octobre 2000) à Fully (VS)



Source : CREALP

Crues torrentielles (9)

Lave torrentielle (août 2018) à Chamoson (VS)



Le Nouvelliste

Crues torrentielles (10)

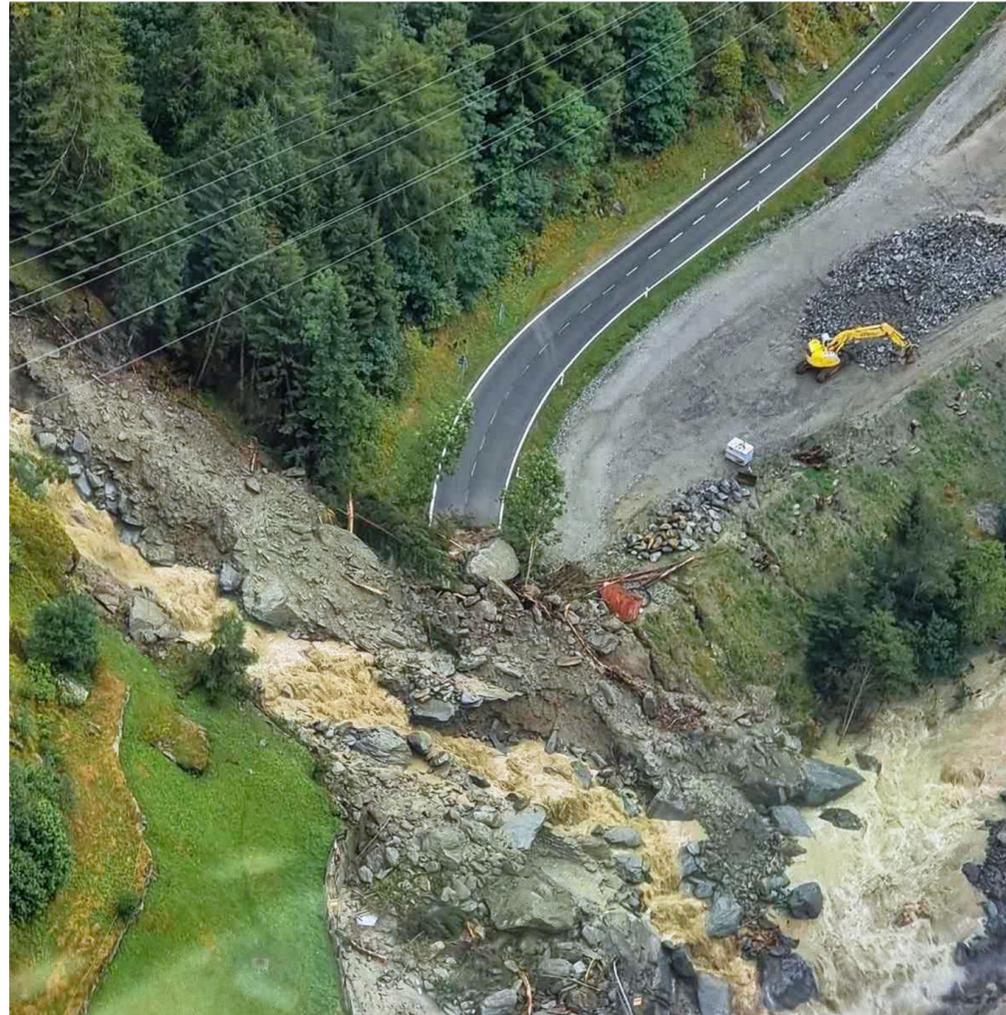
Charriage torrentiel très concentré : lave torrentielle (juillet 2024) à Champsec (val de Bagnes, VS)



RTS, information télévisée 4 juillet 2024

Crues torrentielles (11)

Charriage torrentiel très concentré: lave torrentielle coupant la route de Stalden à Saas-Balen (VS) en septembre 2024

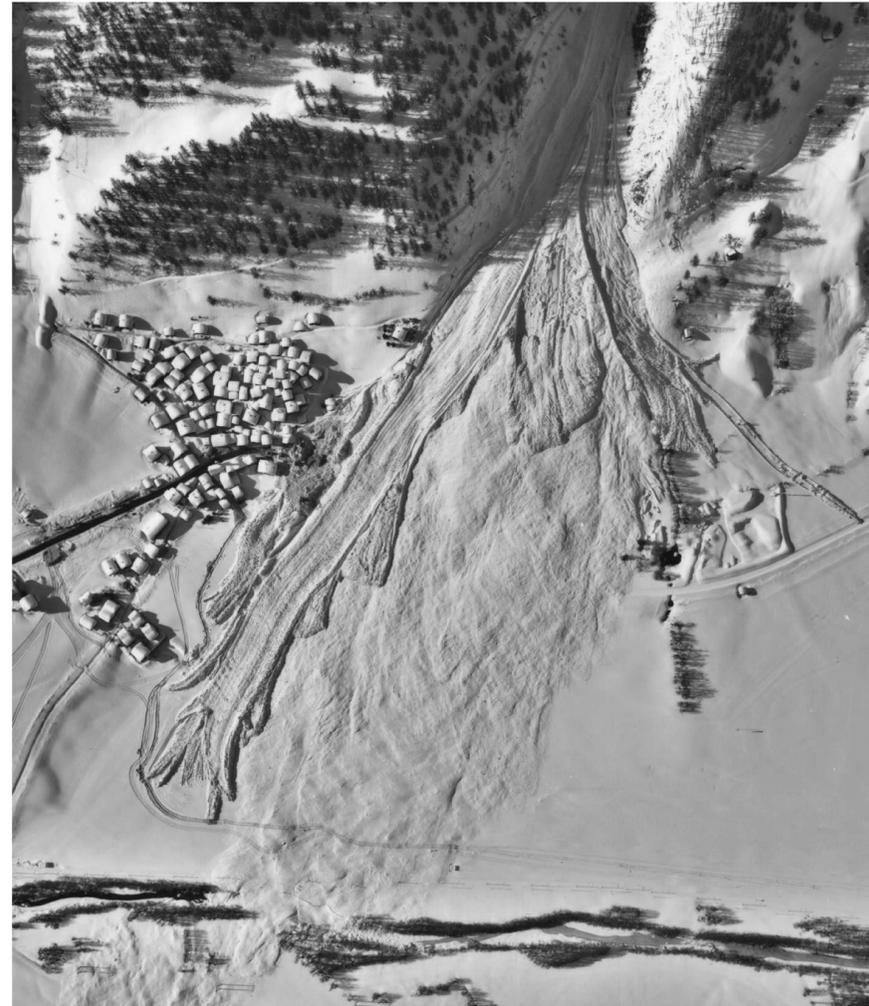


RTS et Canton du Valais

Dernière période causant de forts dommages : février 1999. Montroc (Chamonix-Mont-Blanc, France) le 9 février 1999 et Évòlène (VS) le 21 février 1999, 12 morts dans les deux cas



Avalanches de Geschinen (23–24 février 1999), 1 mort



Forces aériennes suisses

Avalanches (3)

Dernière période causant de forts dommages : avalanches de Galtür (Tyrol, Autriche le 23 février 1999, 39 morts



Quelques chiffres :

- Chaque année, en moyenne, 23 en Suisse et 30 personnes en France périssent par avalanche, mais le plus souvent lors d'une pratique de loisir (1 mort par an dans une habitation au cours des 20 dernières années).
- Les assurances cantonales suisses ont remboursé quelque 140 millions de francs pour les dommages au bâti sur la décennie 1999–2008. L'année 1999 reste l'année noire pour les assureurs, avec 50 millions d'euros de remboursements. Le coût total des dommages sur la Suisse a été estimé à 585 millions de francs.
- En France, il existe 400 communes soumises à un risque d'avalanche, et 52 communes en France ont bénéficié depuis 1982 d'un arrêté de catastrophe naturelle. En Suisse, 312 communes sont concernées par les avalanches.

Avalanche aérosol : site expérimental de la Sionne (SLF) en 2004



Avalanches en aérosol (2)

Avalanche aérosol : avalanche déclenchée artificiellement au-dessus de Walenstadt (SG) en mars 2003



Avalanche du Van d'en Haut (Salvan) en mars 2017



Vol Sensefly pour Geoformer

Avalanches coulantes (2)

Avalanche de Fully en février 2021



Source : Jeremy Nuttin, Geoformer, Brigue

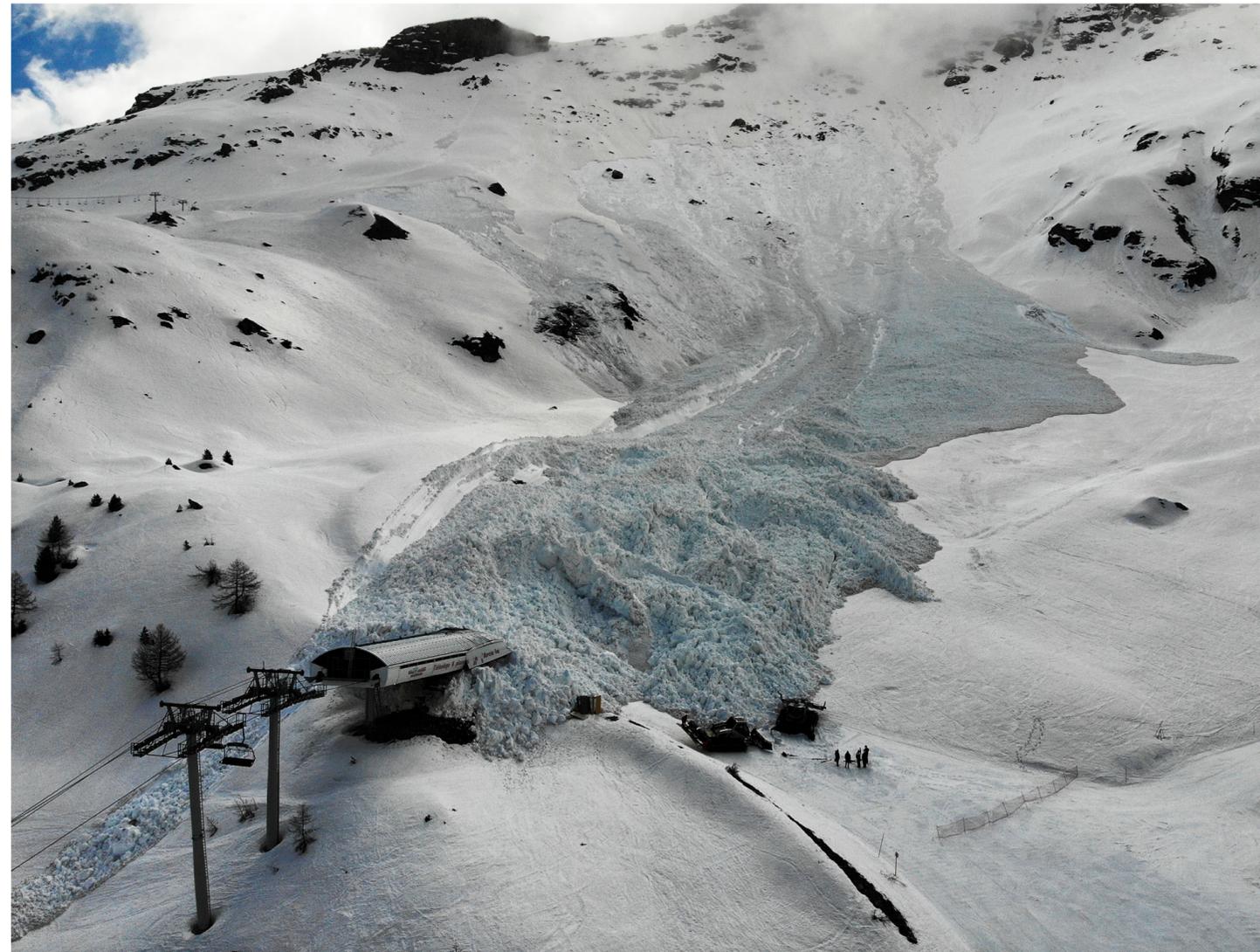
Avalanches de glissement

Avalanche de Saint-François-Longchamp (Savoie, France) en mars 2012



Avalanches de glissement (2)

Avalanche de Val Cenis (Savoie, France) en avril 2024



Service des pistes de Val Cenis, archives Toraval

Manigod (Haute-Savoie) : reptation sur un pylône

