

WEBINAIRE TRACCS

TRANSFORMER LA MODÉLISATION DU CLIMAT
POUR LES SERVICES CLIMATIQUES



"ClimSnow: genèse, déploiement et enjeux d'un service climatique sectoriel original pour l'adaptation au changement climatique du tourisme hivernal en stations de montagne."

Samuel Morin, Carlo Carmagnola, Raphaëlle Samacoïts, Julien Simon, Louis Guily, Jean-Michel Soubeyroux, Nadine Aniort, Agathe Drouin, Lucas Bérard-Chenu, Hugues François

Service climatique: aide à la décision pour l'action climatique (adaptation et/ou décarbonation)



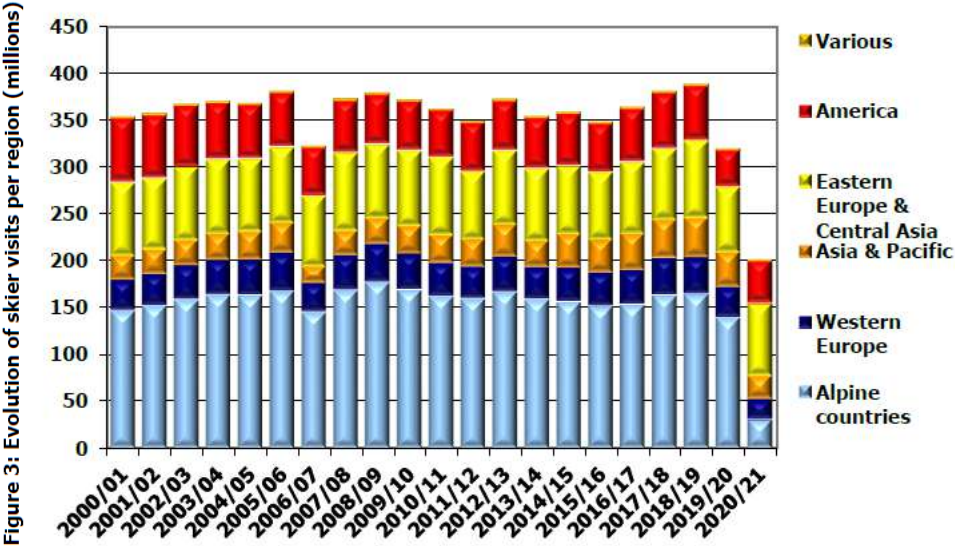
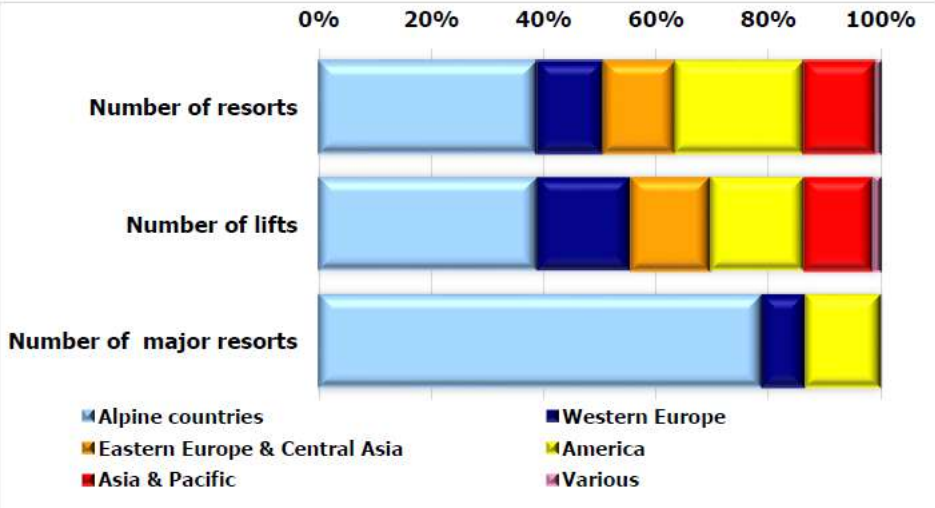
Climate services provide climate information to help individuals and organizations make climate smart decisions.

The data and information collected is transformed into customized products such as **projections, trends, economic analysis and services** for different user communities.

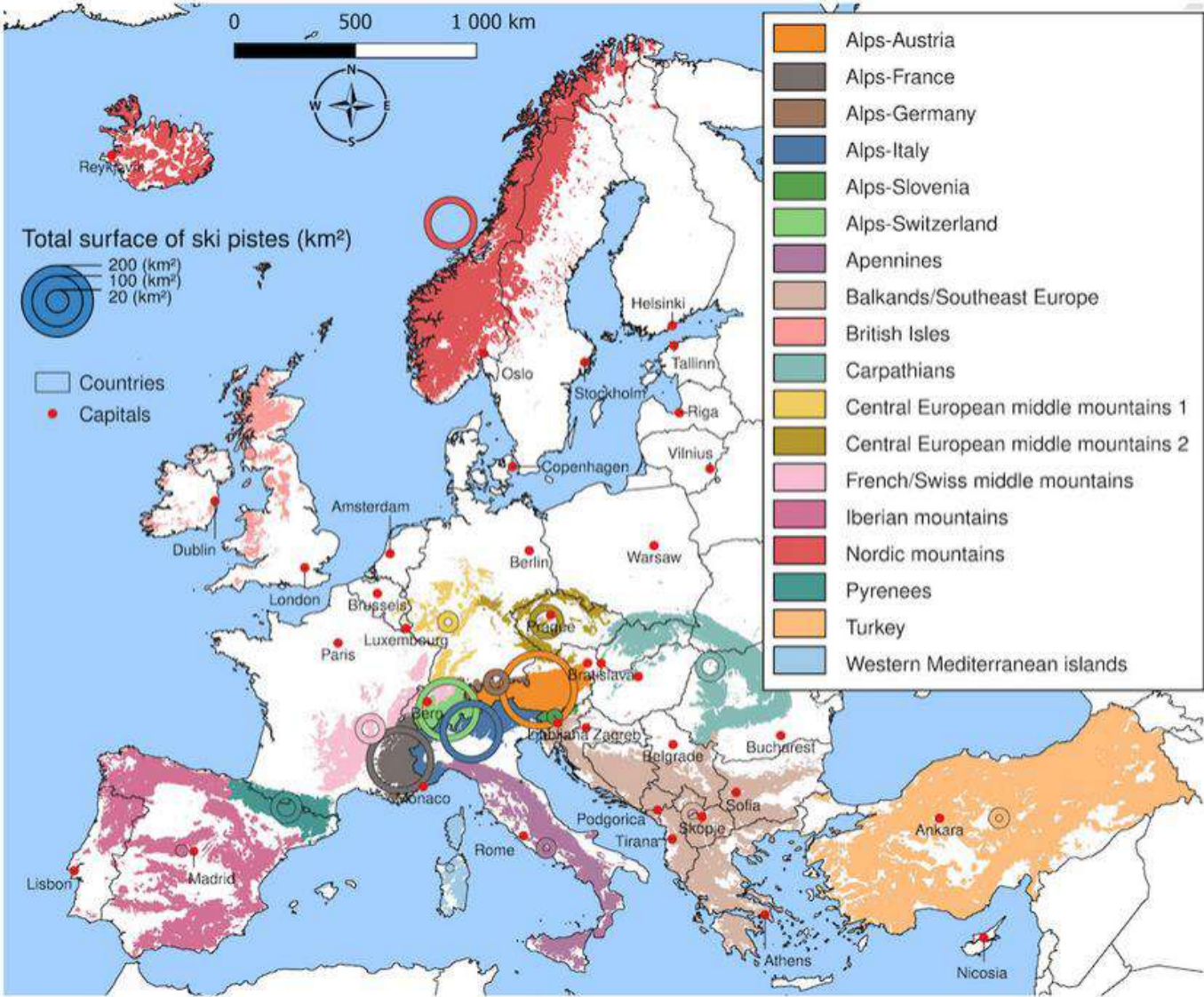


Climate services equip decision makers in climate-sensitive sectors with better information to help society adapt to climate variability and change.

Contexte du tourisme hivernal en stations de sport d'hiver

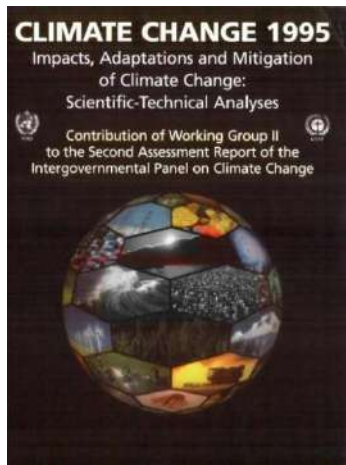


Europe : environ 200 millions de journées skieurs par an.
Revenus annuels de l'ordre de 30 Mds € par an.
Prédominance des pays de l'Arc Alpin



Tourisme hivernal: une sensibilité climatique identifiée de longue date, enjeux d'adaptation

2nd Rapport du GIEC (GT2, Chapitre « Montagne », Beniston et al., 1995)



5

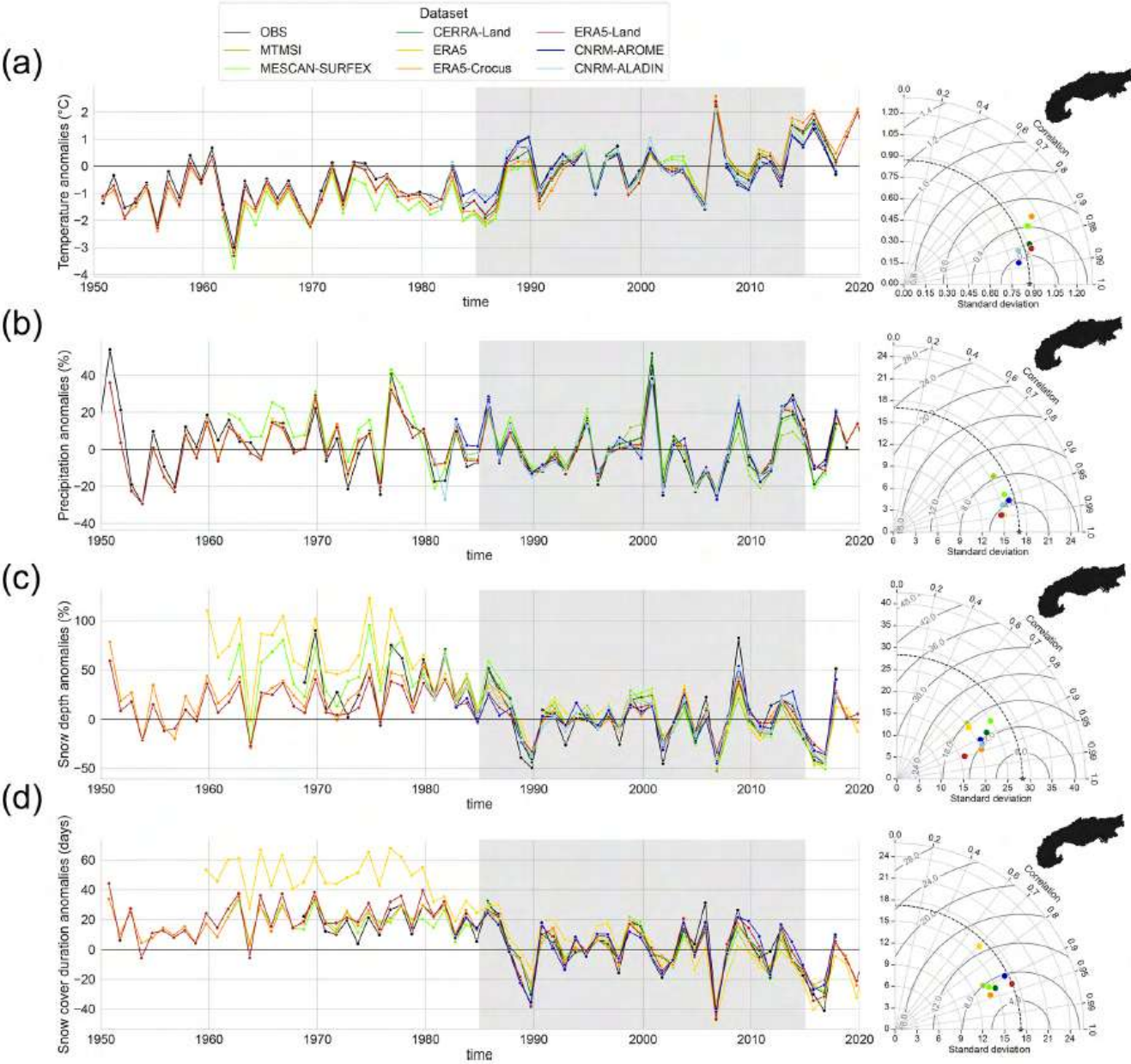
Impacts of Climate Change on Mountain Regions

5.2.4.4.1. Winter tourism

Scenarios derived from GCMs have been used to examine the possible implications of climate change for skiing in Australia (Galloway, 1988; Hewitt, 1994; Whetton, 1994), Austria (Breiling and Charamza, 1994), eastern Canada (McBoyle and Wall, 1987; Lamothe and Périard, 1988), and Switzerland (Abegg and Froesch, 1994). These studies show that, because the length of the skiing season is sensitive to quite small climatic changes, there could be considerable socioeconomic disruption in communities that have invested heavily in the skiing industry. To some extent, such impacts might be offset by new opportunities in the summer season and also by investment in new technologies, such as snow-making equipment, as long as climatic conditions remain within appropriate bounds.

Investment in snow-making equipment has been somewhat less widespread in some European countries such as Switzerland (Broggi and Willi, 1989), despite the fact that seasons with little snow, especially at critical times such as during the Christmas and New Year period, can be economically devastating to mountain communities. Artificial snow-making often raises environmental concern because of the quantities of energy and water required for snow-making, the disturbances generated during the operation of the equipment, and the damage to vegetation observed following the melting of the artificial snow cover.

Variabilité et tendances de température, précipitations, enneigement dans l’Arc Alpin



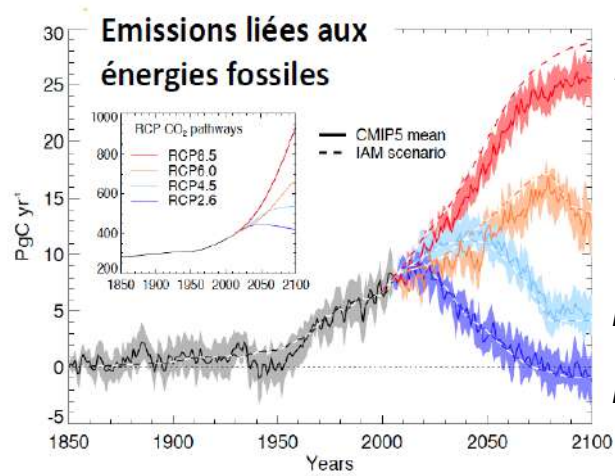
Température hivernale (novembre/avril) en hausse de 0.3 à 0.4°C par décennie.

Précipitations hivernales très variables et sans tendance majeure.

Baisse de l'ordre de -7% à -15% de hauteur de neige par décennie

Baisse de la durée d'enneigement de 5 à 7 jours par décennie (environ un mois à basse altitude depuis les années 1970)

Projections futures de l'enneigement dans les Alpes européennes

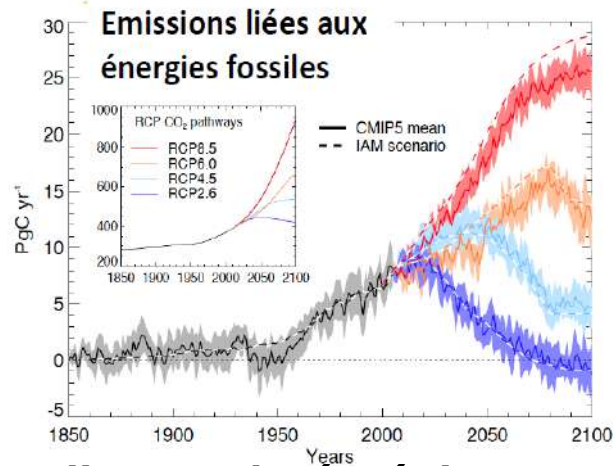


Fortes émissions

Emissions intermédiaires

Réduction des émissions

Projections futures de l'enneigement dans les Alpes européennes



Indicateur intégré de l'enneigement (SWE moyen Septembre à Mai)

Perspective fin du 21^{ème} siècle (2070-2900 vs 1981-2010)

Ensemble CMIP5/EURO-CORDEX

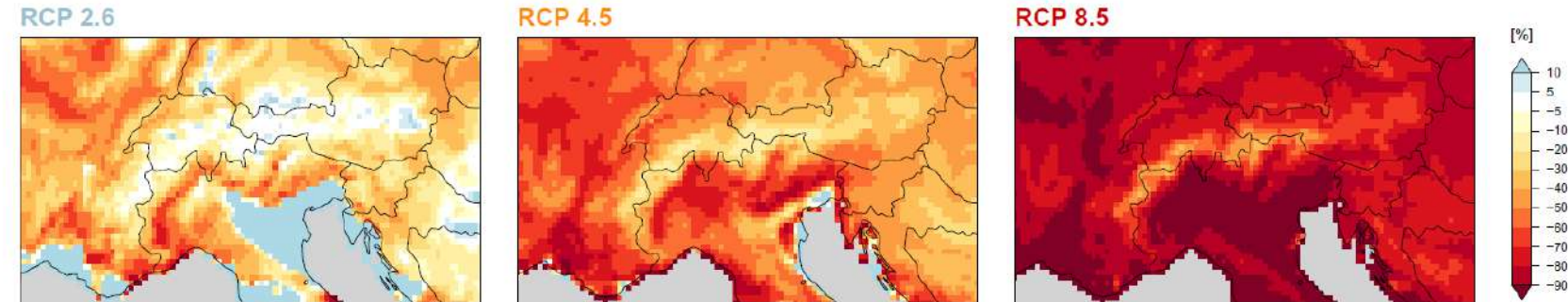
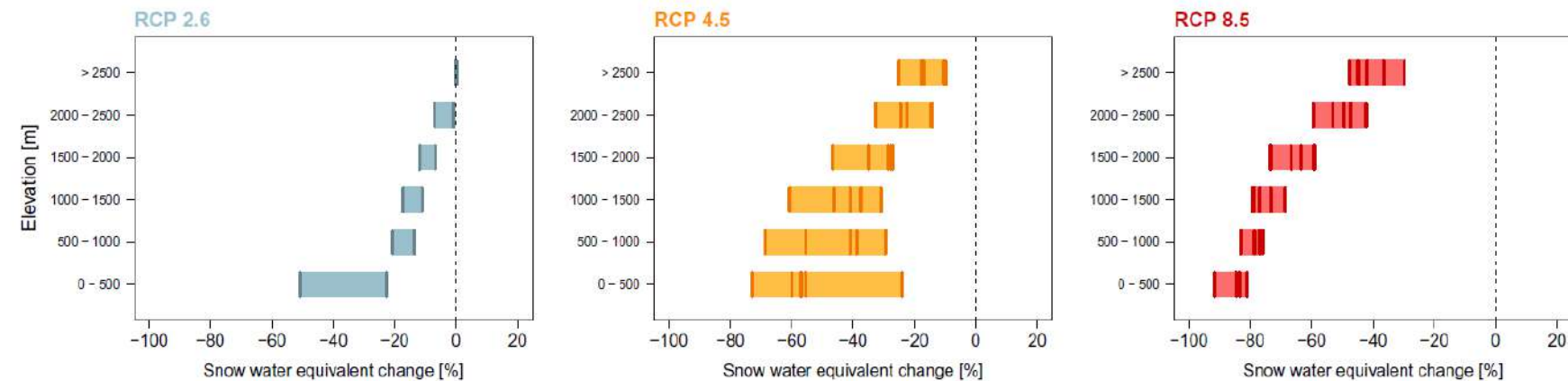


Fig. 11 Projected change of the mean September to May snow water equivalent in the Alpine region from 1981–2010 to 2070–2099 [%] for the three emission scenarios. Values refer to the ensemble mean

change of the reduced EUR-11 sub-ensemble employed for the snow cover analysis (see Table S1)



Réduction des émissions *Emissions intermédiaires* *Fortes émissions*

Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

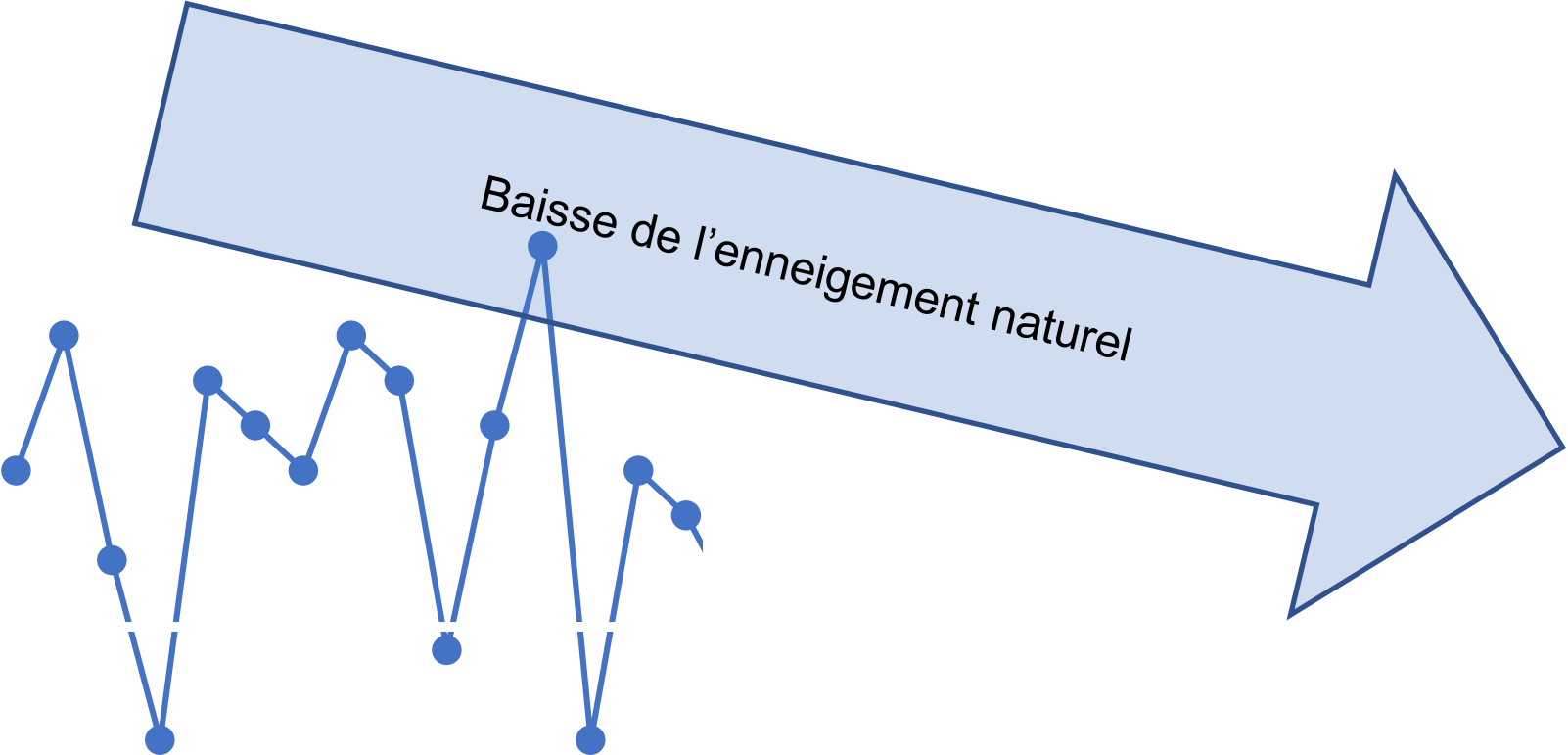
L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

Baisse de l'enneigement naturel

Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

Forte variabilité de l'enneigement naturel

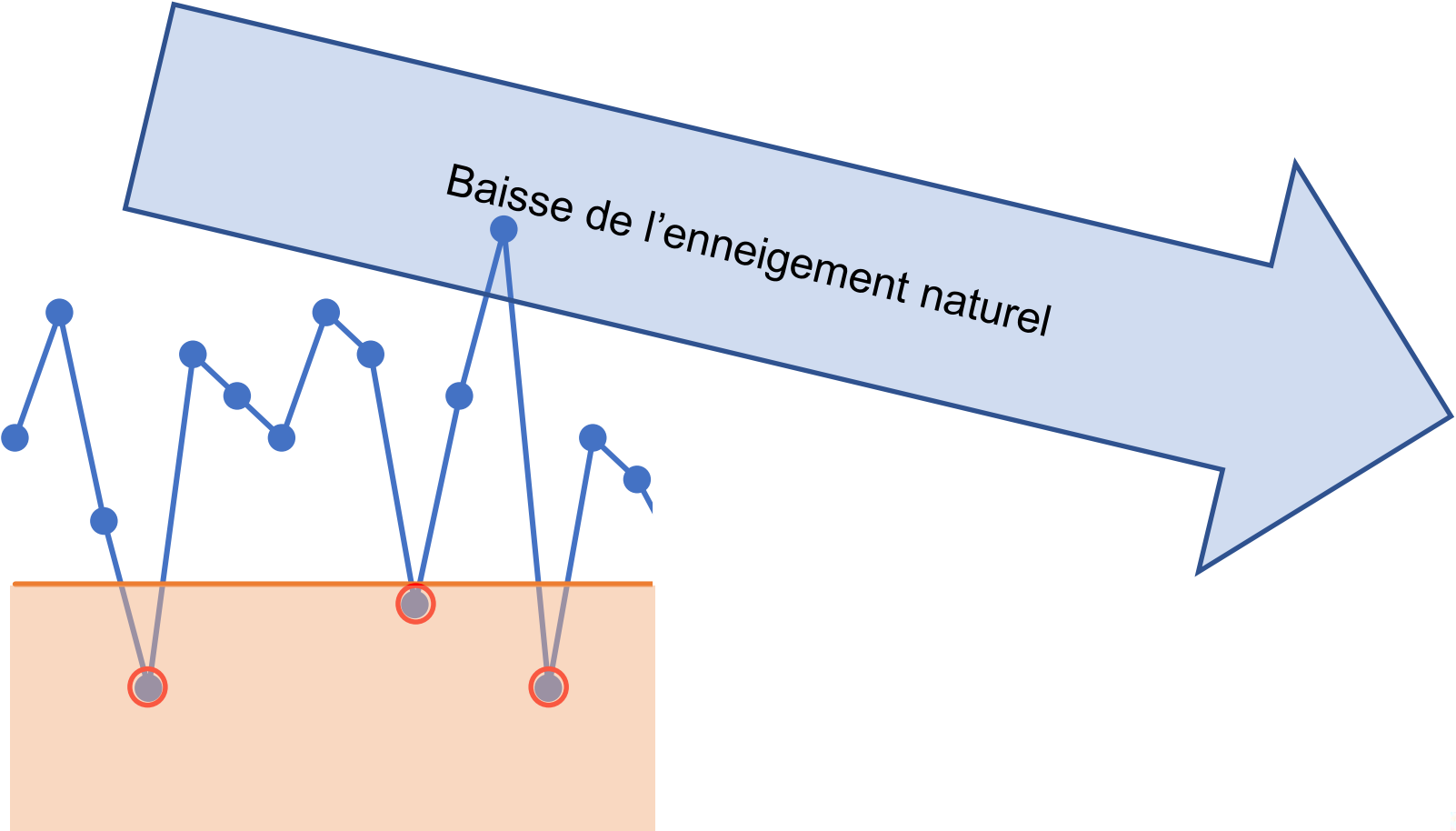


Enneigement variable sur la période de référence (15 ans)

Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

Forte variabilité de l'enneigement naturel

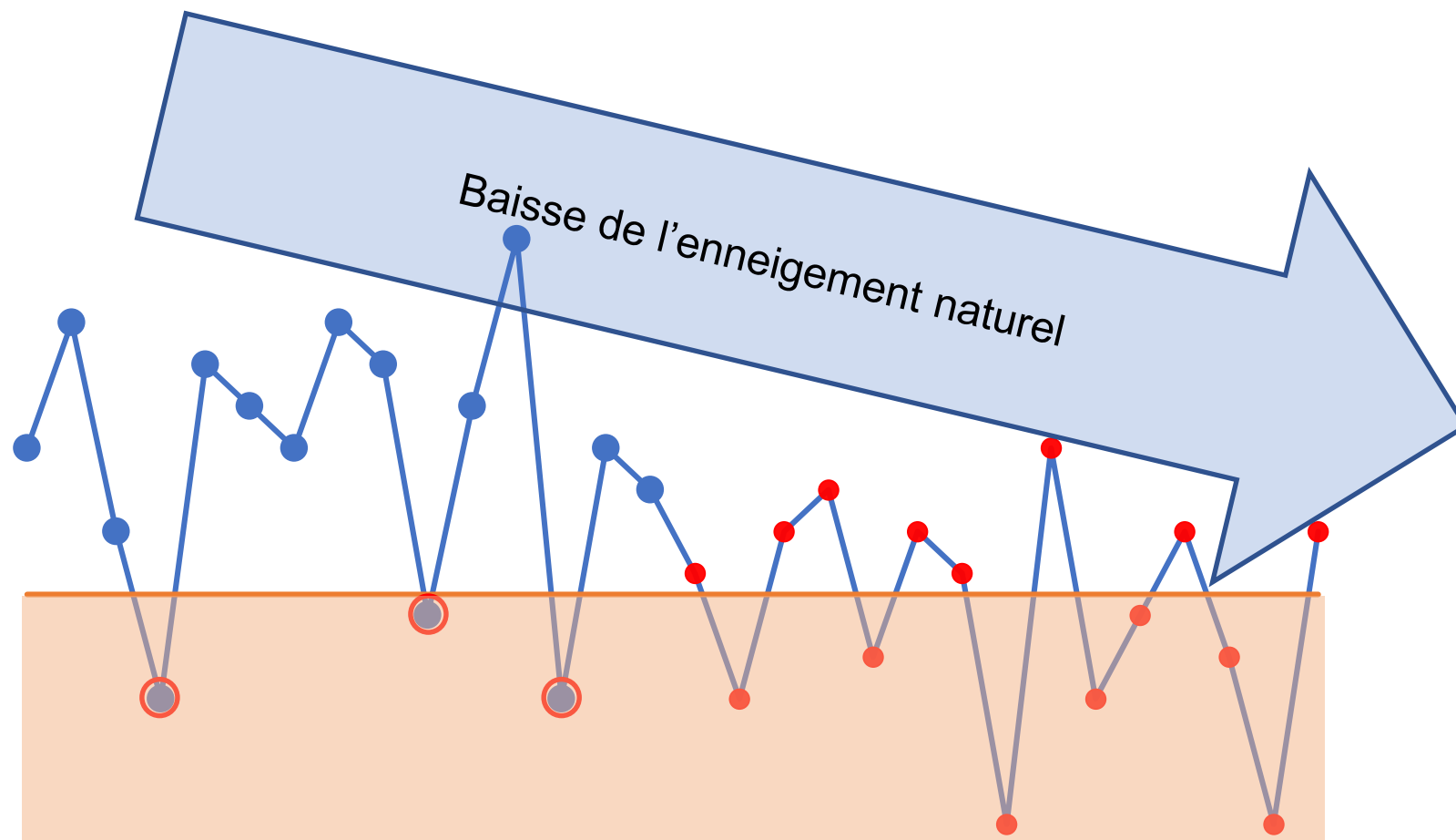


*Enneigement variable sur la période de référence (15 ans).
Identification du seuil correspondant au faible enneigement rencontré en moyenne une année sur cinq (Q20)*

Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

Forte variabilité de l'enneigement naturel

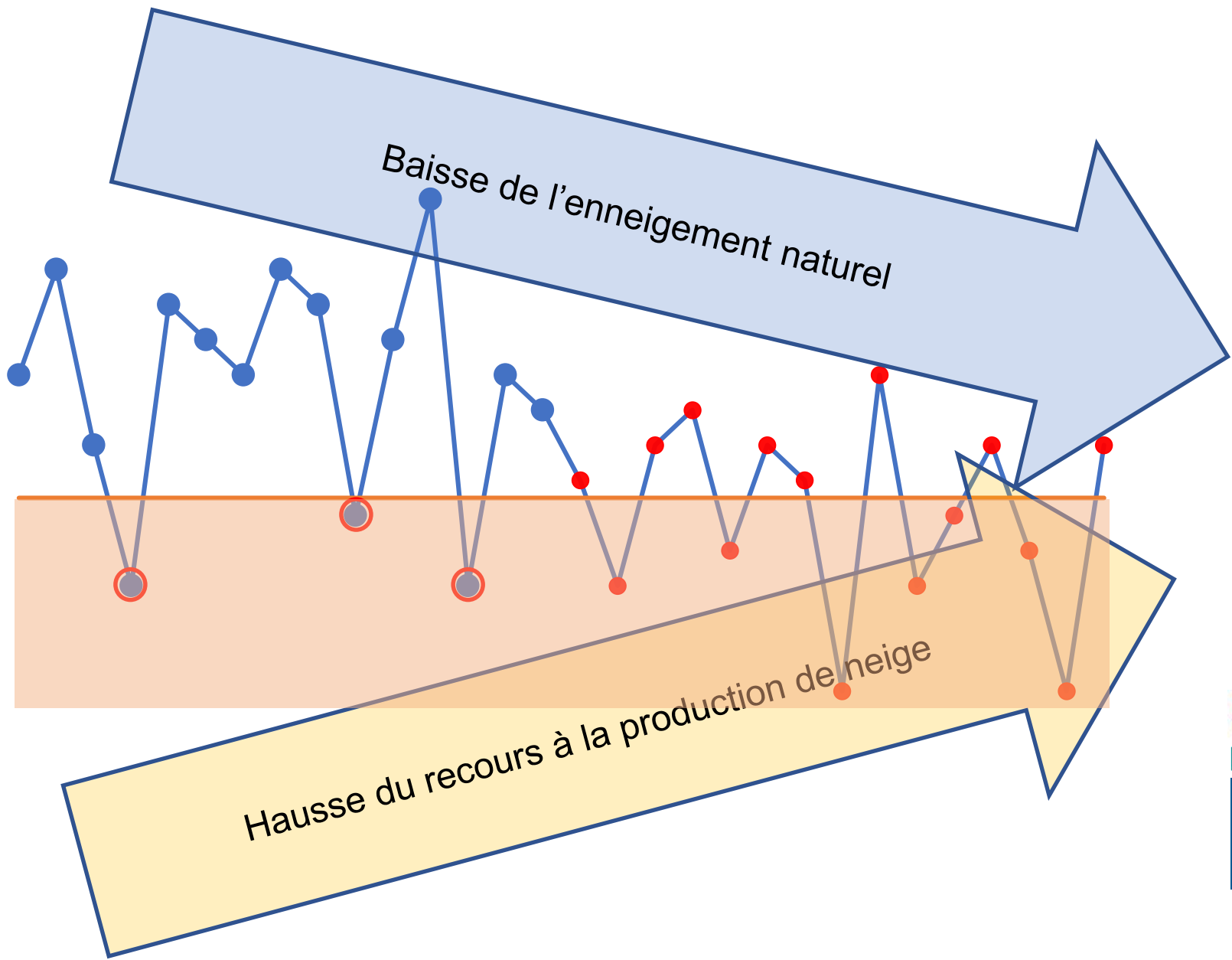


*Enneigement variable sur la période de référence (15 ans).
Identification du seuil correspondant au faible enneigement rencontré en moyenne une année sur cinq (Q20).
Identification du nombre d'hiver faiblement enneigés sur une période ultérieure (ici, passage de 3 à 7, soit environ 50% des hivers faiblement enneigés)*

Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

La production de neige se généralise, compense en partie la baisse de l'enneigement, mais jusqu'à quel point et avec quelle empreinte/coût et quelles limites ?

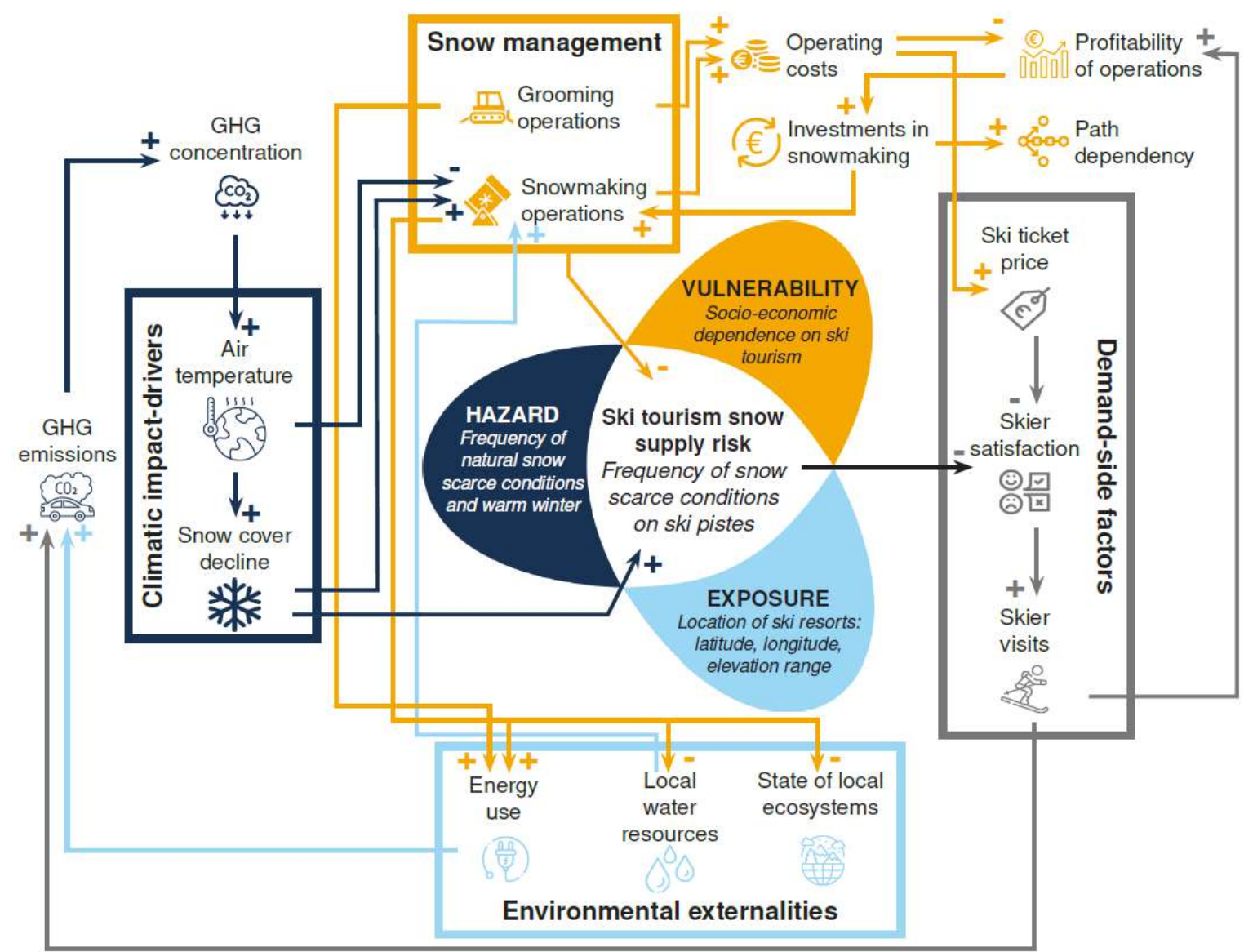


Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

Tenir compte de la production de neige (« réponse », « adaptation », ...)

L'enneigement décline du fait du réchauffement, à basse et moyenne altitude

La production de neige se généralise, compense en partie la baisse de l'enneigement, mais jusqu'à quel point et avec quelle empreinte/coût et quelles limites ?



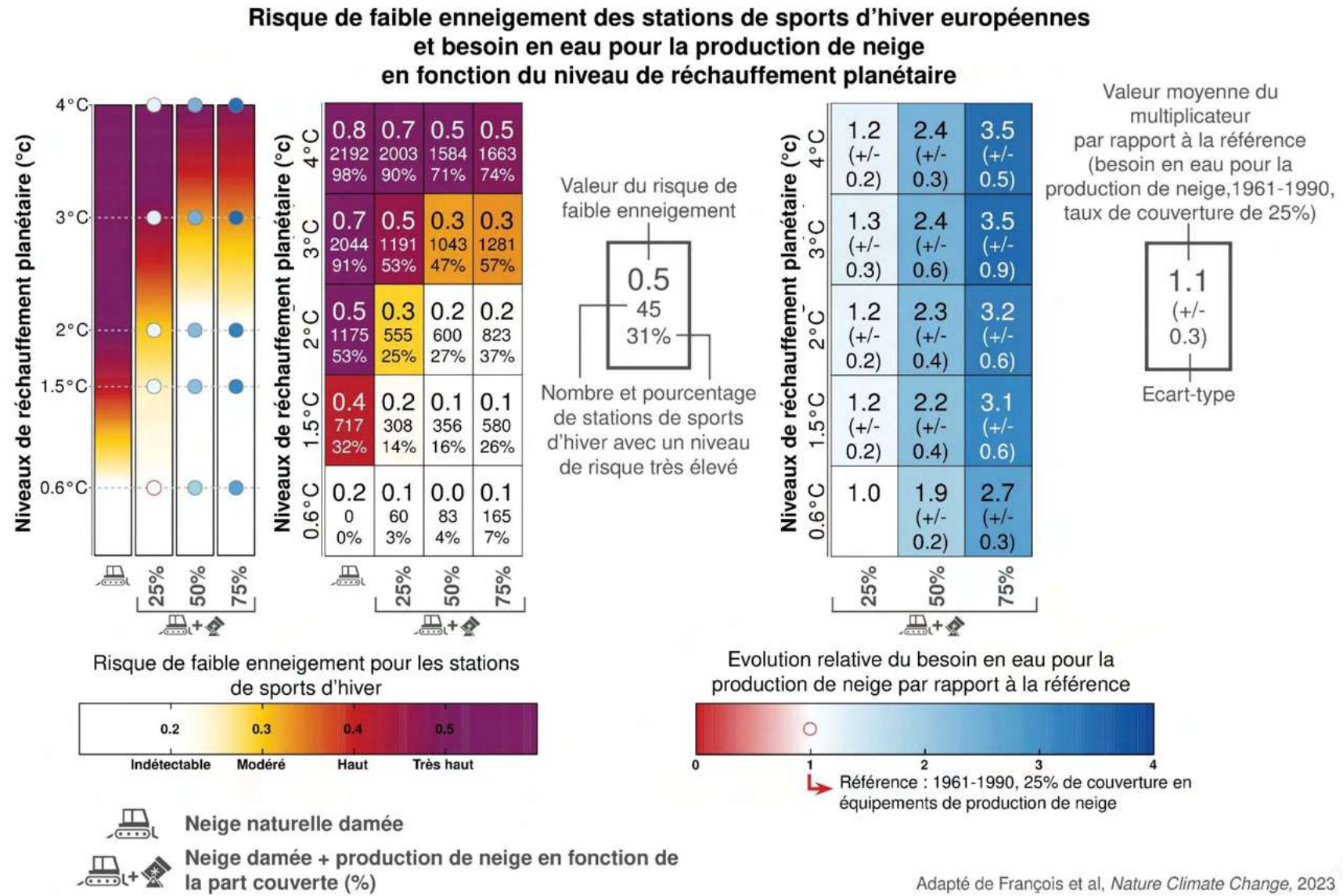
Impacts et risques climatiques sur l'activité des stations de sport d'hiver

Tenir compte de la production de neige (« réponse », « adaptation », ...)

Analyse de l'impact du changement climatique sur l'enneigement, et du besoin en eau pour la production, à l'échelle de l'ensemble de l'Europe.

L'adaptation se construit à l'échelle locale, et dépend fortement du contexte.

Comment produire une information pertinente à l'échelle locale ?



Hétérogénéité des tendances dans un contexte de baisse globale de l'enneigement

La baisse de l'enneigement naturel est généralisée à basse et moyenne altitude, les effets à l'échelle des stations de sport d'hiver ne sont pas homogènes.

La production de neige (neige de culture, neige artificielle) a pour effet de modérer la baisse de l'enneigement dans les stations.

A.7.7



Les dimensions esthétiques et culturelles des hautes montagnes ont pâti de la diminution des glaciers et de l'enneigement (Himalaya, Afrique de l'Est, Andes tropicales, etc.) (*degré de confiance moyen*). Le tourisme et les activités récréatives, **dont le ski** et le tourisme glaciaire, la randonnée et l'alpinisme ont aussi souffert dans de nombreuses régions montagneuses (*degré de confiance moyen*). Dans certaines régions, **la production de neige de culture a limité les conséquences négatives pour les stations de ski** (*degré de confiance moyen*). {2.3.5, 2.3.6, figure RID.2}



#SROCC, 2019

Changements futurs pour l'enneigement et les sports d'hiver

- B.1.3**  La surface du manteau neigeux de la zone arctique à l'automne et au printemps devrait diminuer de 5 à 10 % à court terme (2031–2050) par rapport à 1986–2005, puis se stabiliser dans le scénario RCP2.6, mais subir une perte supplémentaire de 15 à 25 % d'ici à la fin du siècle dans le cas du scénario RCP8.5 (*degré de confiance élevé*). En haute montagne, l'épaisseur moyenne de neige en hiver à basse altitude diminuera *probablement* de 10 à 40 % en 2031–2050 par rapport à 1986–2005, quel que soit le scénario d'émissions (*degré de confiance élevé*). Pour la période 2081–2100, la baisse projetée est *probablement* de 10 à 40 % selon le RCP2.6 et de 50 à 90 % selon le RCP8.5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, figure RID.1}
- B.7.3**  Il est projeté que les atouts touristiques, récréatifs et culturels des régions de haute montagne seront affectés négativement par les changements à venir dans la cryosphère (*degré de confiance élevé*). Les techniques actuelles de production de neige de culture seront de moins en moins efficaces pour réduire les risques climatiques pour les stations de sports d'hiver dans la majeure partie de l'Europe, en Amérique du Nord et au Japon, surtout si le réchauffement planétaire atteint ou dépasse 2 °C (*degré de confiance élevé*). {2.3.5, 2.3.6}
- C.2.6**  Les approches de gestion intégrée des ressources en eau à toutes les échelles spatiales peuvent être efficaces pour faire face aux impacts et exploiter les opportunités découlant des modifications de la cryosphère dans les régions de haute montagne. Ceci encourage la gestion des ressources en eau en permettant le développement et l'optimisation du stockage et des lâchers d'eau des réservoirs à diverses fins (*degré de confiance moyen*), en tenant compte des impacts potentiellement négatifs pour les écosystèmes et les communautés. La diversification des activités touristiques tout au long de l'année concourt à l'adaptation pour les économies de haute montagne (*degré de confiance moyen*). {2.3.1, 2.3.5}

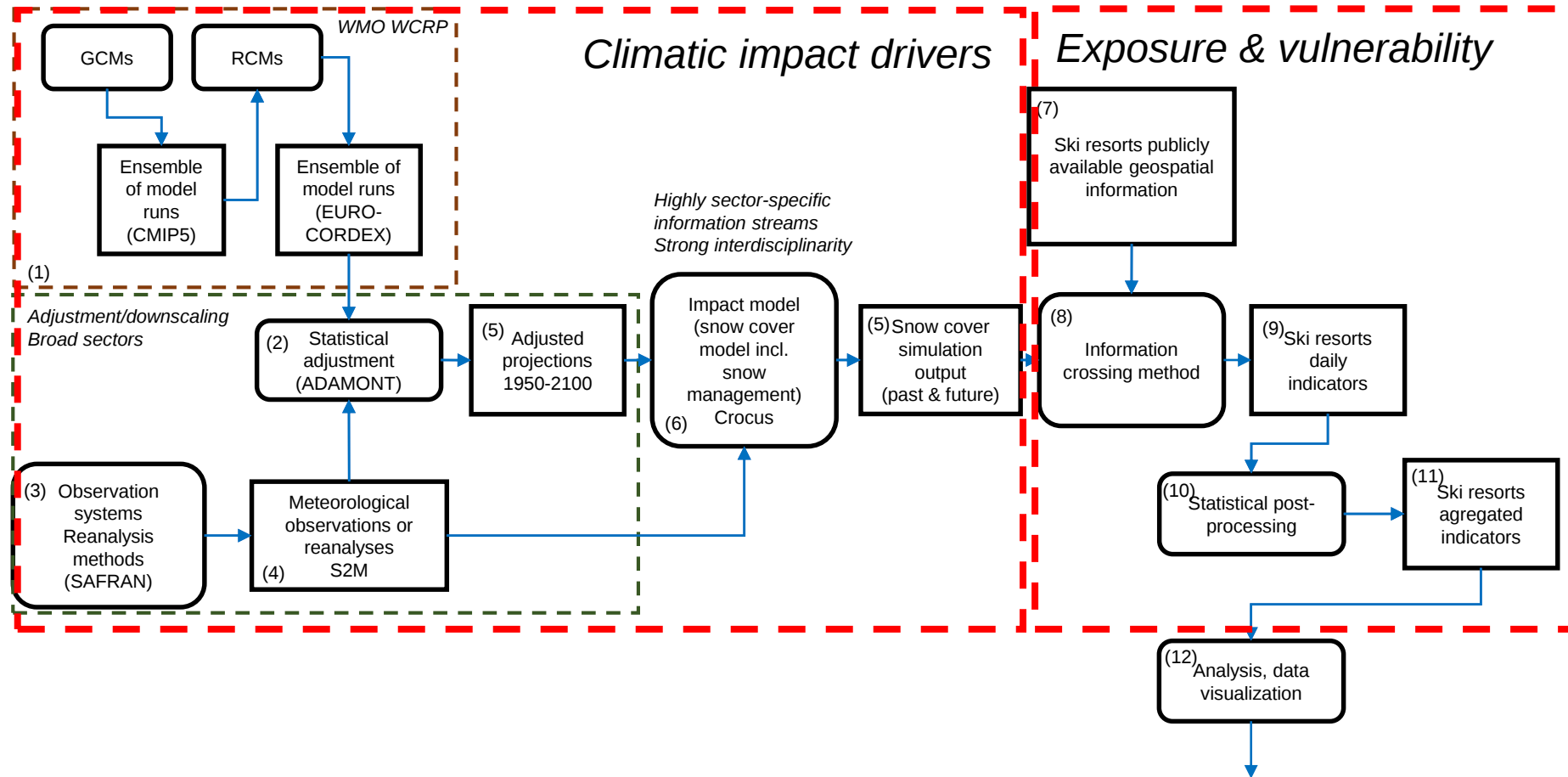
Extrait rapport GIEC 2022 (AR6, GT2 Impacts, vulnérabilité et adaptation) :

“In general, climate change impacts and risks to ski tourism are found to be spatially heterogeneous, within and across local and international markets, [...]”

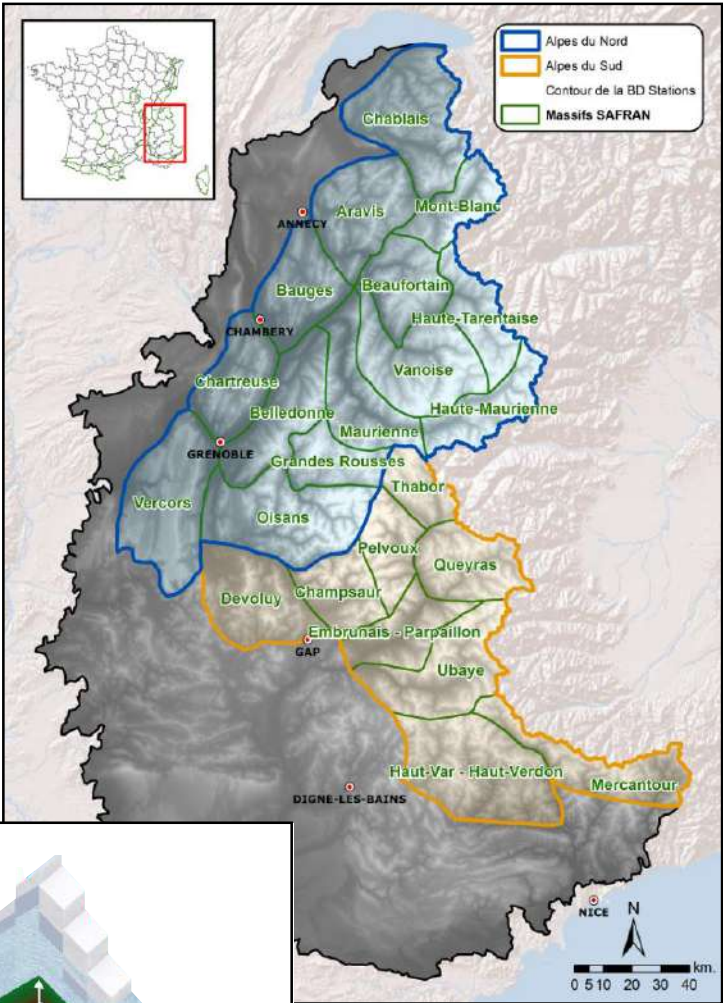
Comment contribuer à la décision locale en matière d'adaptation au changement climatique ?
C'est l'objet de ClimSnow !



Mise en œuvre d'une méthode permettant de caractériser l'enneigement en stations et l'effet du changement climatique sur son évolution



Réanalyse nivo-météorologique en région de montagne – SAFRAN – Crocus (S2M)

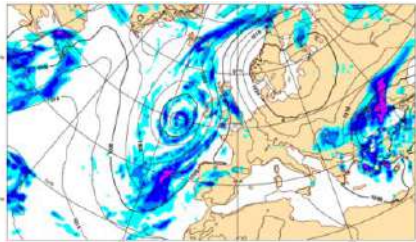


SAFRAN Reanalysis

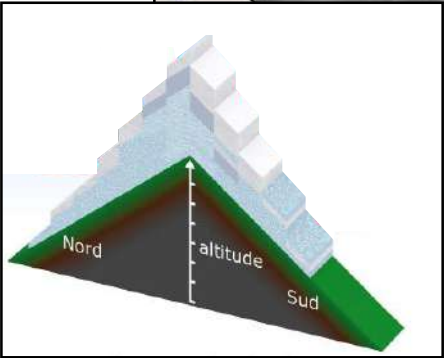
Observations : in-situ observations from manual and automated networks, satellite observation, radiosondes ...



Numerical weather prediction models / analyses

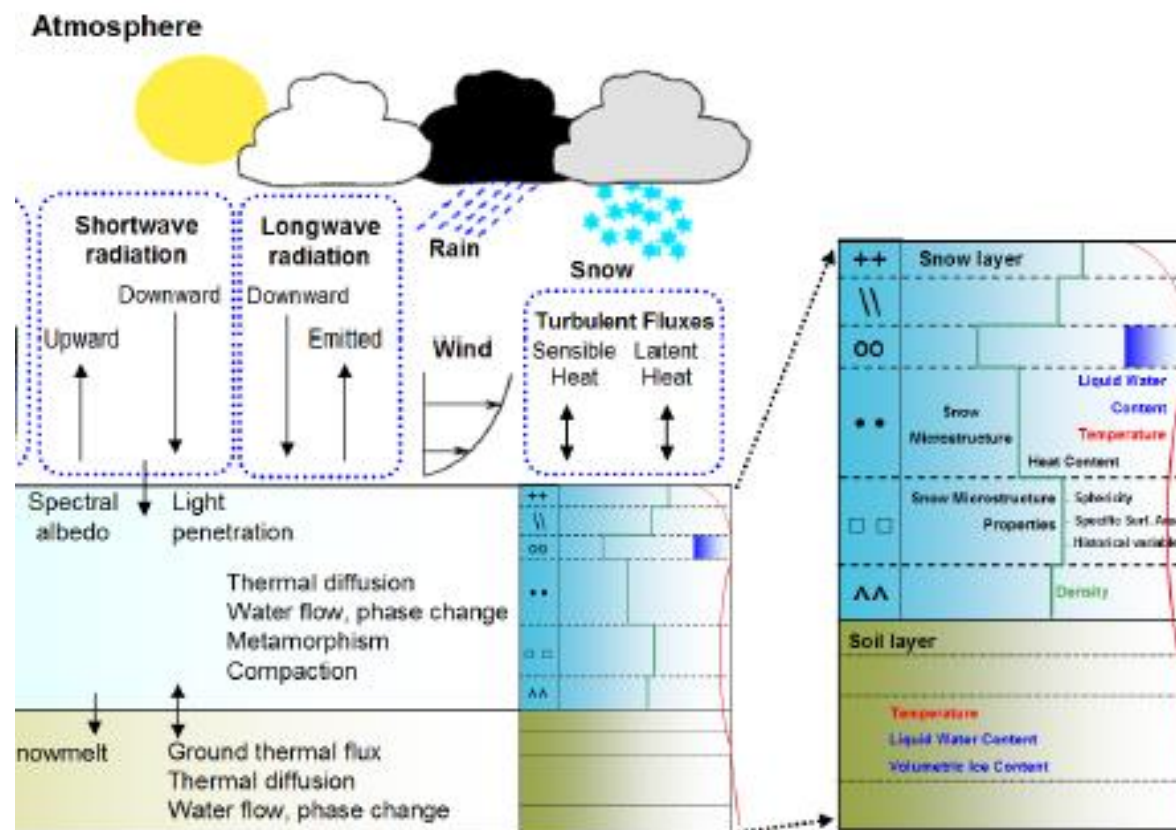


ERA40
ARPEGE



Mountain “massifs” within which meteorological data depend on elevation

Modélisation de la neige naturelle



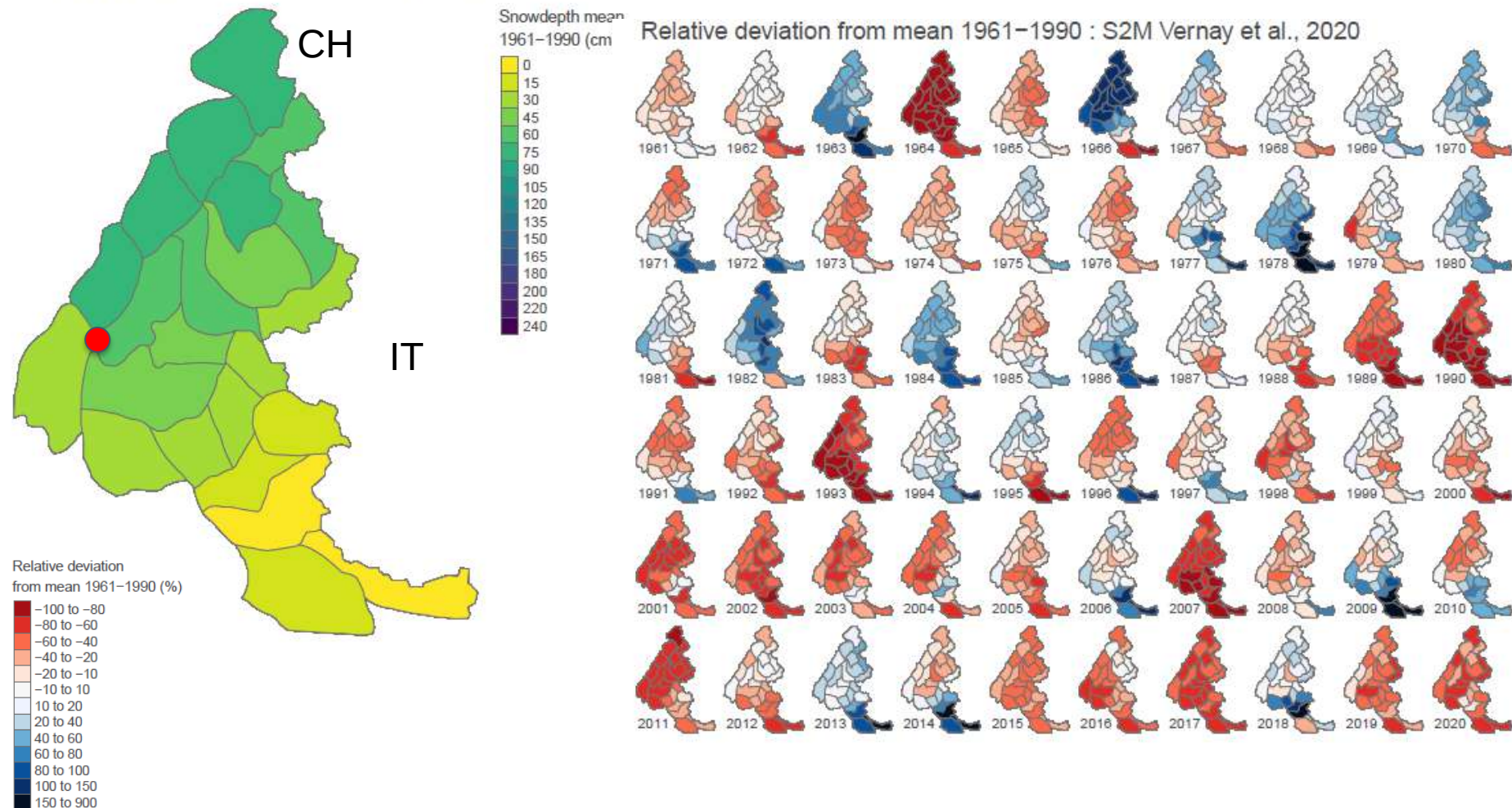
Variabilité et tendances de l'enneigement

Enneigement à 1500 m – Alpes (S2M)

sd-winter-11-04-NN (m) – elevation : 1500m

Snow depth (m) of natural snow on the ground, winter period November–April

Snowdepth mean 1961–1990 : S2M Vernay et al., 2019



Vernay et al., 2022

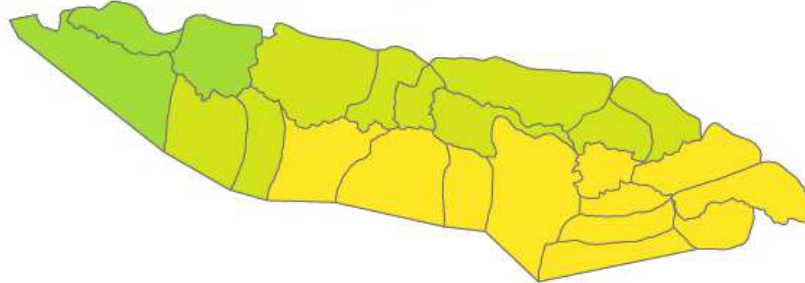
Variabilité et tendances de l'enneigement

Enneigement à 1500 m – Pyrénées (S2M)

sd-winter-11-04-NN (m) – elevation : 1500m

Snow depth (m) of natural snow on the ground, winter period November–April

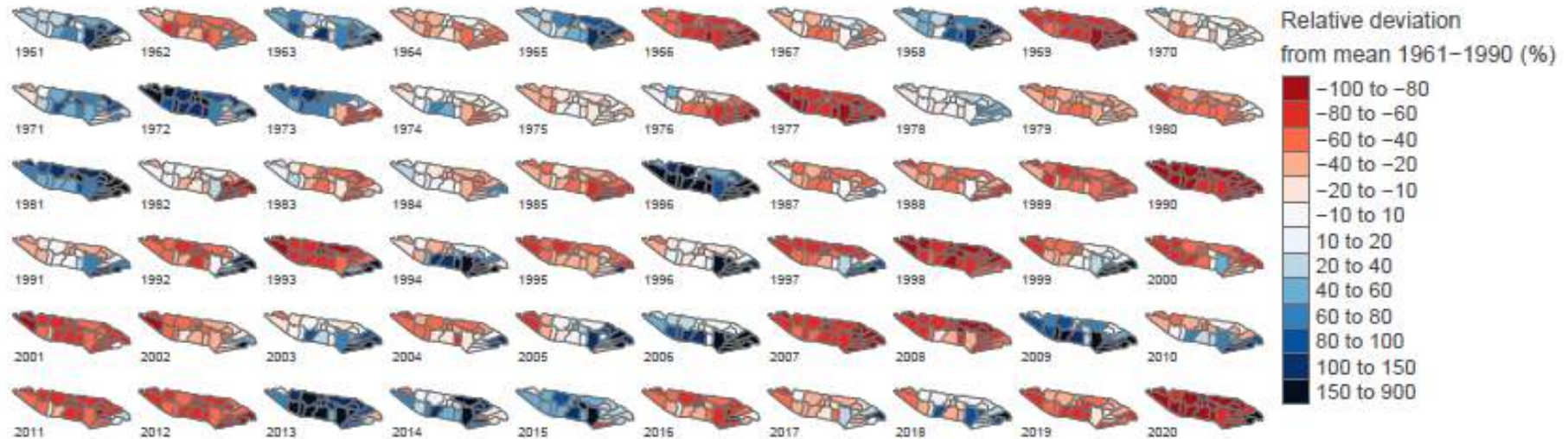
Snowdepth mean 1961–1990 : S2M Vernay et al., 2019



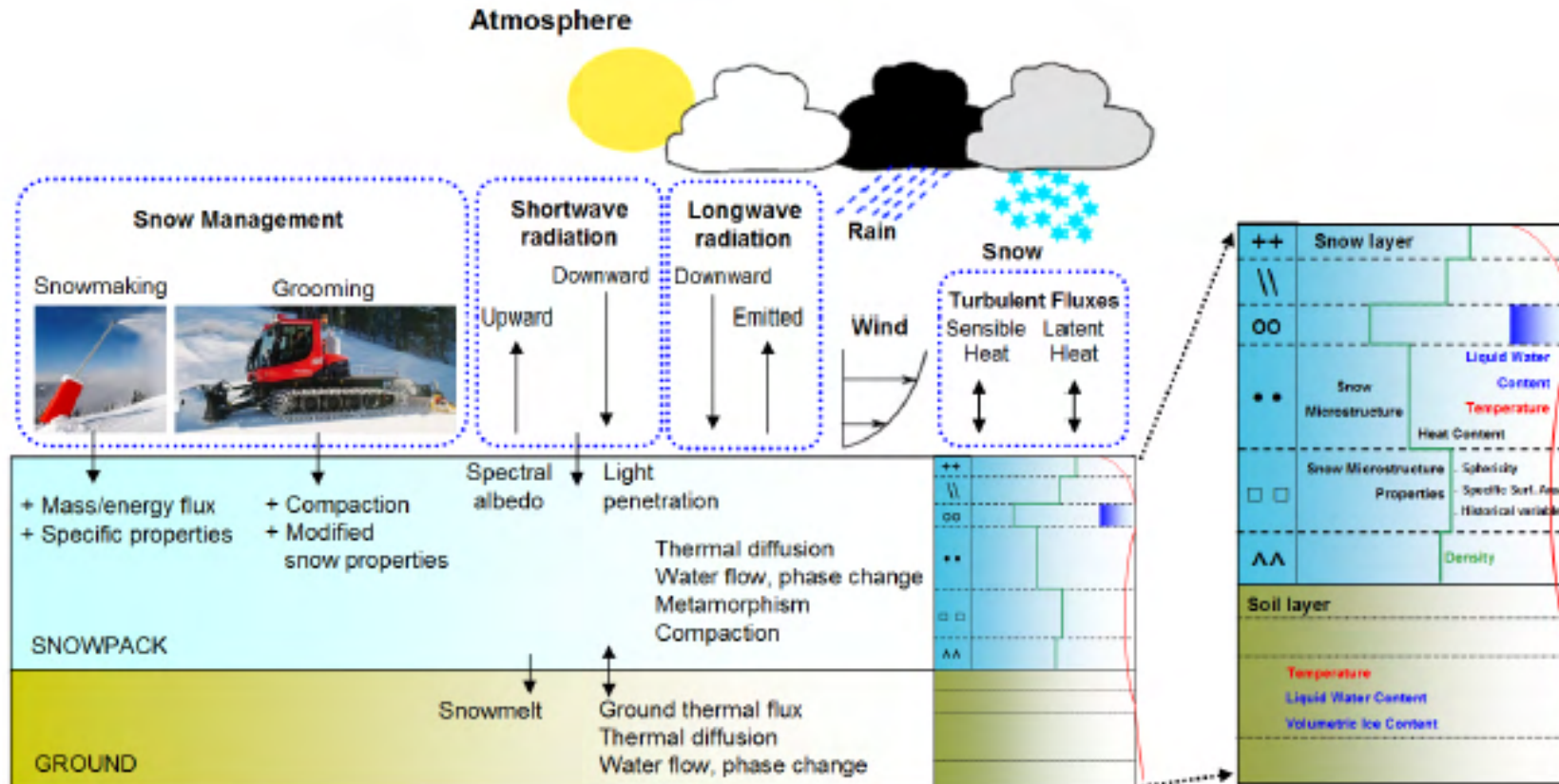
Snowdepth mean 1961–1990 (cm)



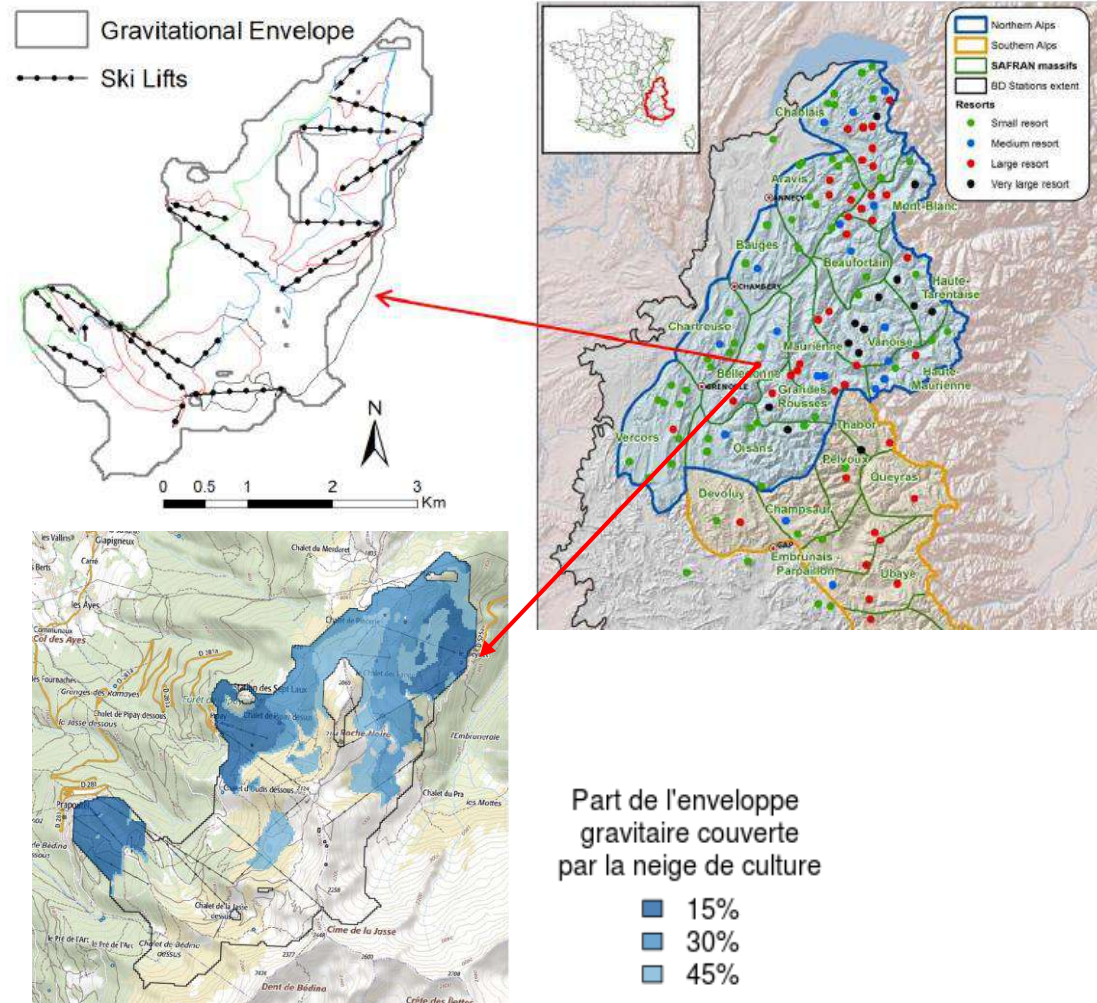
Relative deviation from mean 1961–1990 : S2M Vernay et al., 2020



Modélisation de la neige naturelle sur piste (tenant compte du damage et de la production de neige)



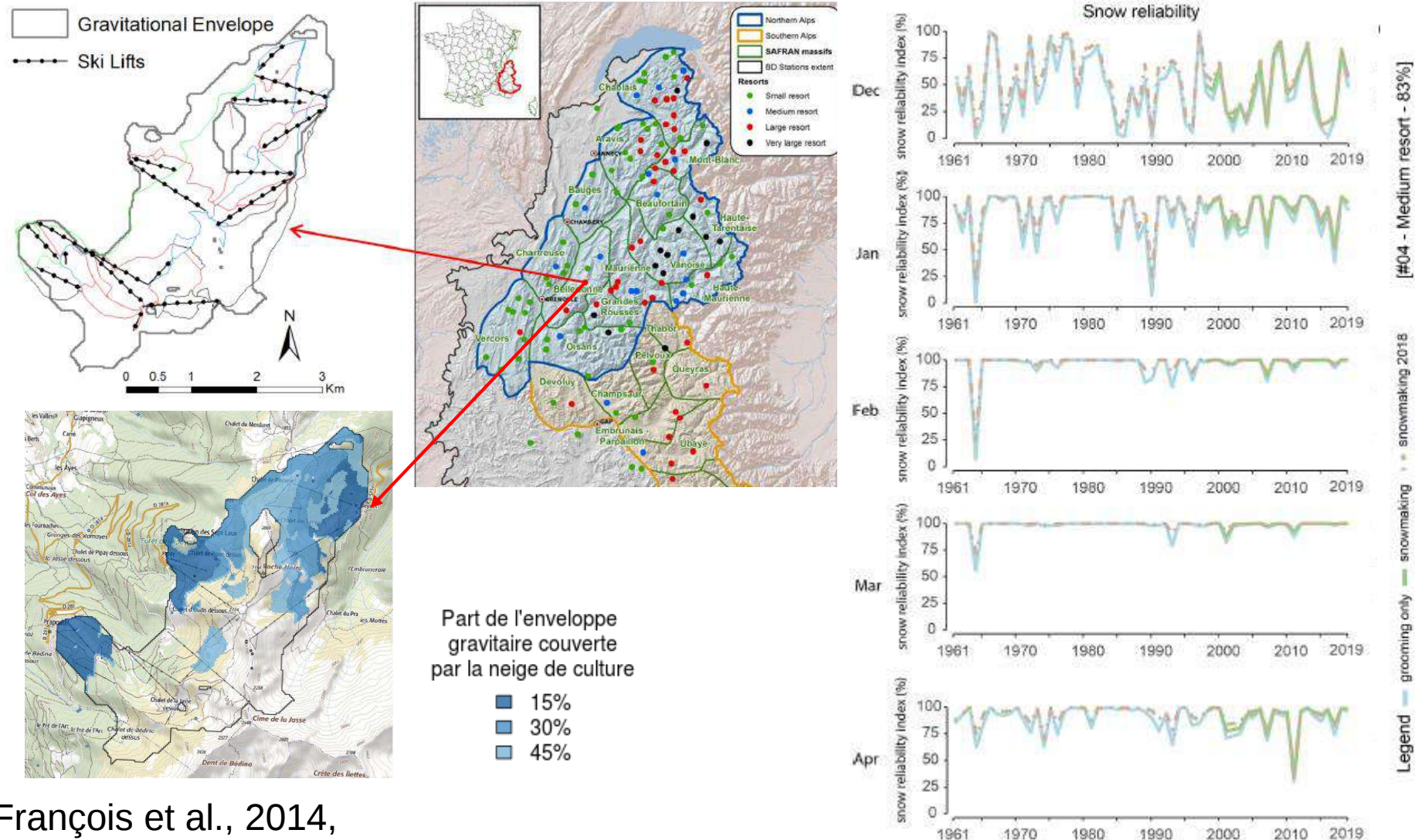
Intégration des résultats à l'échelle d'un domaine skiable



Représentation de l'emplacement et structure spatiale des stations de sport d'hiver, taux de couverture en production de neige etc. sur la base d'informations génériques (IGN, STRMTG etc.)

Intégration des résultats à l'échelle d'un domaine skiable

Calcul de la fraction de domaine skiable dont l'enneigement dépasse une valeur typique (environ 20 cm de neige damée), *indicateur de fiabilité d'enneigement*



François et al., 2014,
Spandre et al., 2019

Bérard-Chenu et al., 2022