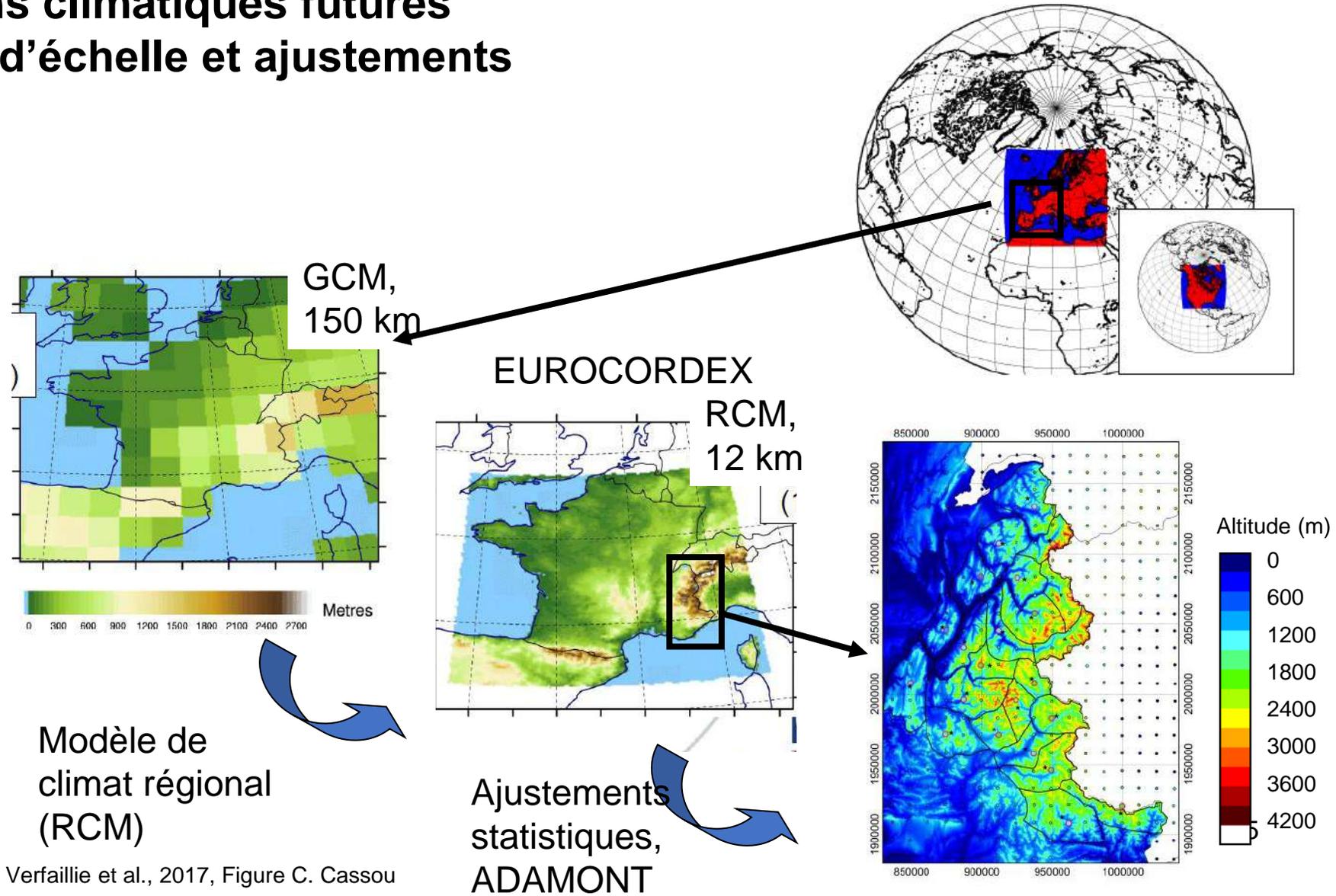


Projections climatiques futures

Descente d'échelle et ajustements

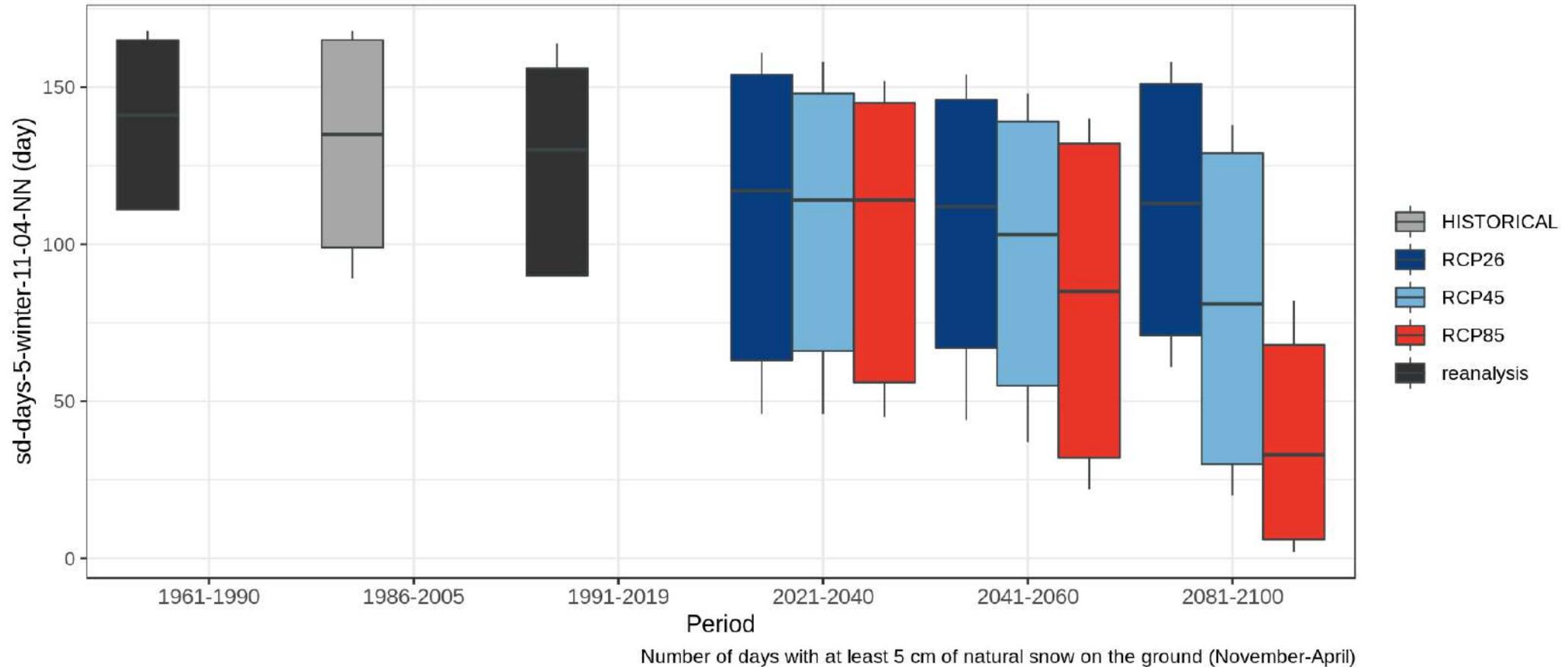


Projections climatiques futures de l'enneigement

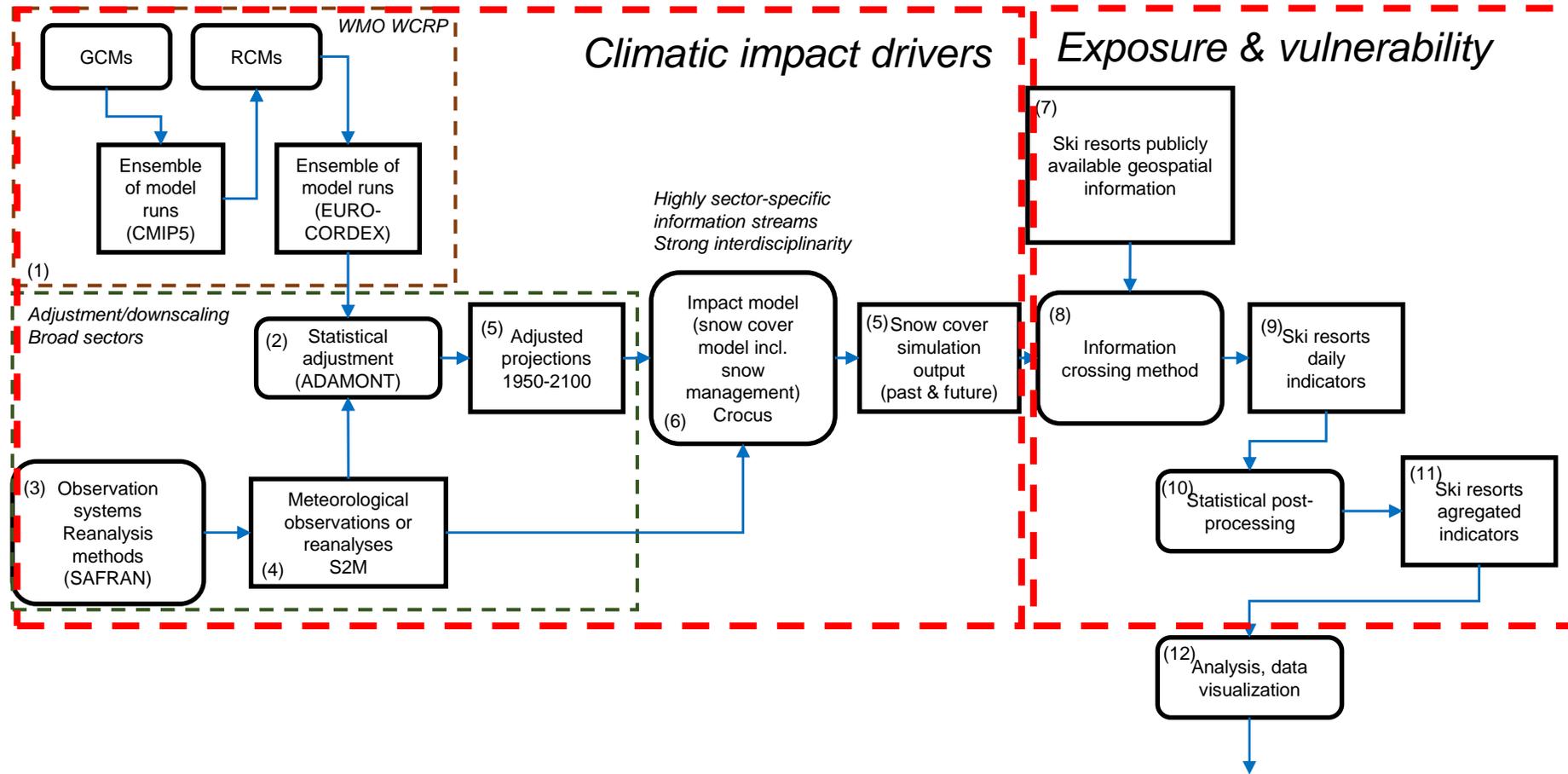
Quantiles 5 10 50 90 95 of multi-models and reanalysis

sd-days-5-winter-11-04-NN : Number of days with at least 5 cm of natural snow on the ground (November-April)

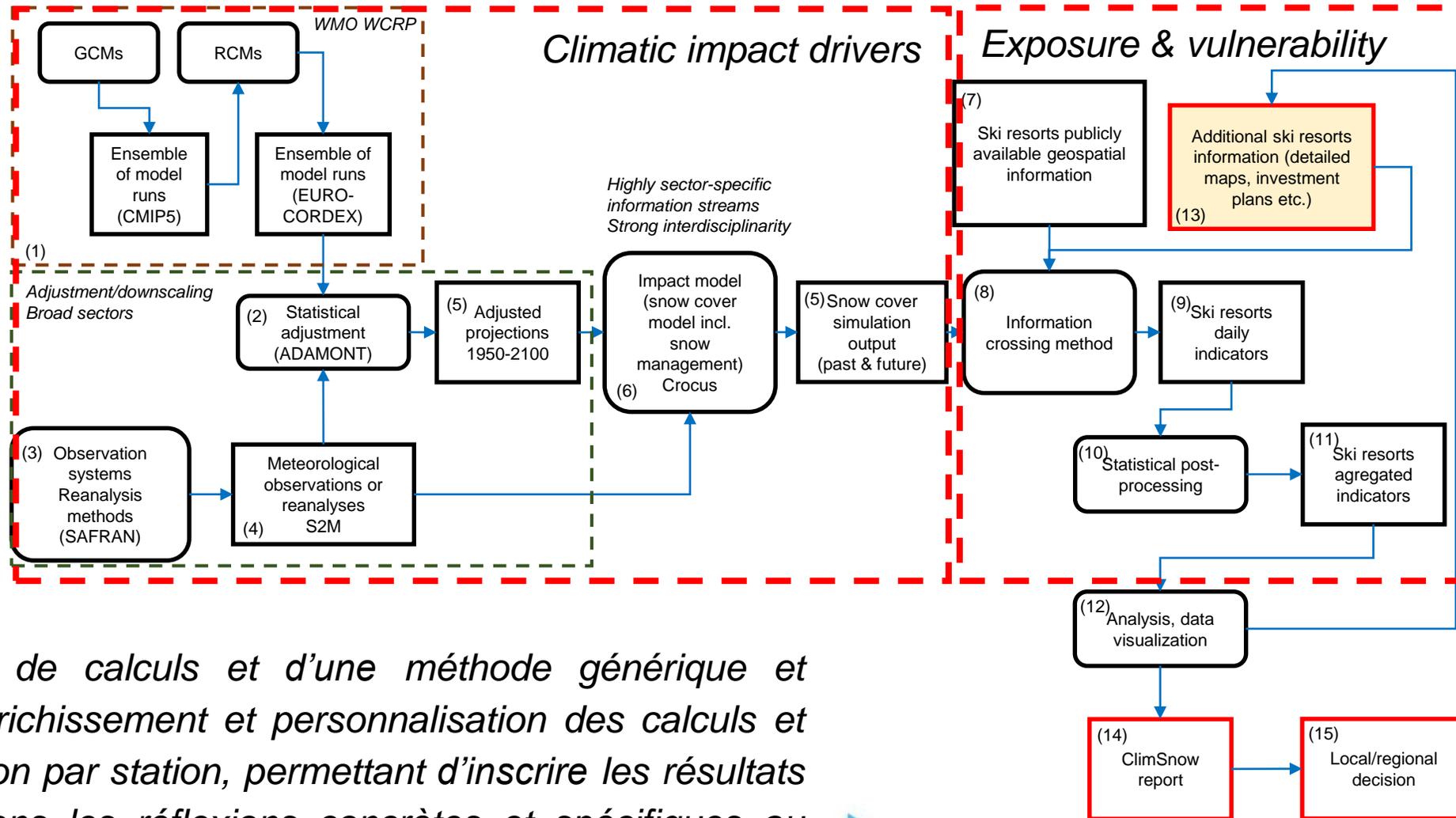
Massif : Vercors - Altitude : 1500m



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

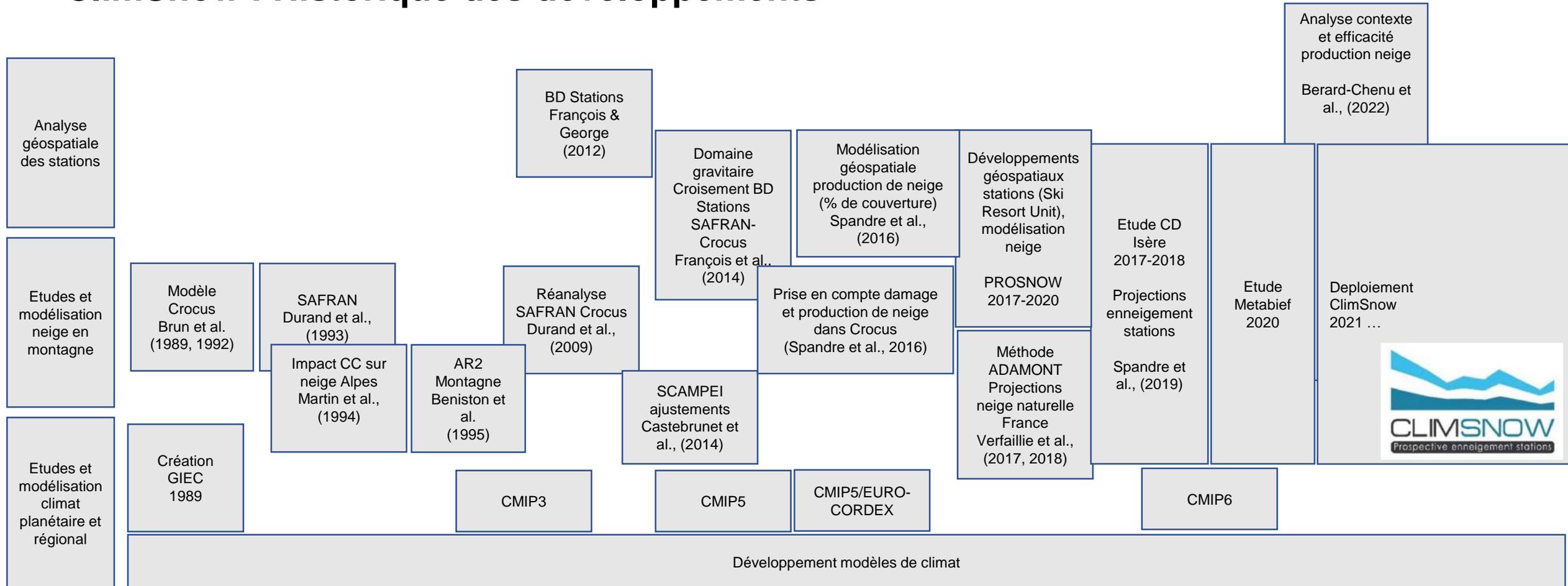


... pour l'aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique



Sur la base de calculs et d'une méthode générique et répliquable, enrichissement et personnalisation des calculs et résultats station par station, permettant d'inscrire les résultats du service dans les réflexions concrètes et spécifiques au sujet de l'adaptation au changement climatique et les transitions des territoires de montagne.

ClimSnow : Historique des développements



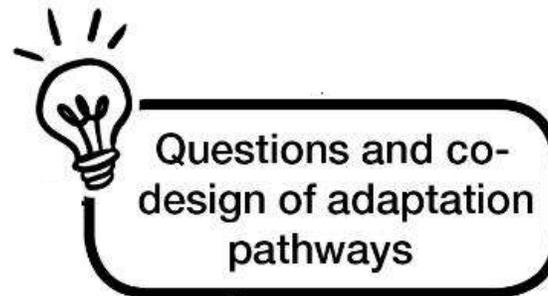
ClimSnow : service co-développé par Météo-France et Dianeige, avec l'appui d'INRAE, traduction opérationnelle pour l'aide à la décision de plus de 10 ans de travaux de recherche interdisciplinaires et transdisciplinaires, eux-mêmes inscrits dans une perspective disciplinaire de plus long terme.



Aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique

L'adaptation au changement climatique, c'est-à-dire réduire l'ampleur des conséquences du changement climatique, est avant tout un enjeu de gouvernance, c'est-à-dire de modalité d'arbitrage de choix potentiellement antagonistes sur un territoire donné.

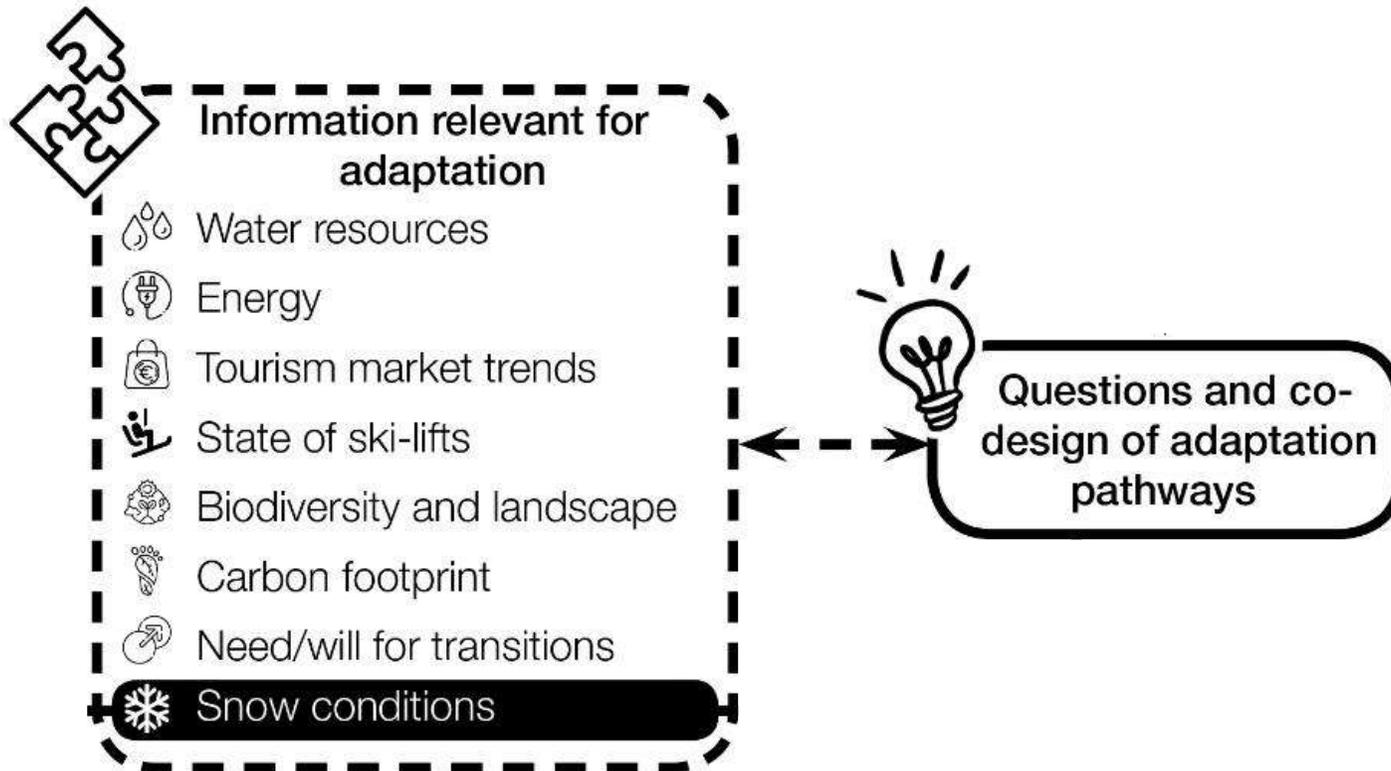
Dans le domaine du tourisme hivernal, de multiples dimensions sont à prendre en compte:



Aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique

L'adaptation au changement climatique, c'est-à-dire réduire l'ampleur des conséquences du changement climatique, est avant tout un enjeu de gouvernance, c'est-à-dire de modalité d'arbitrage de choix potentiellement antagonistes sur un territoire donné.

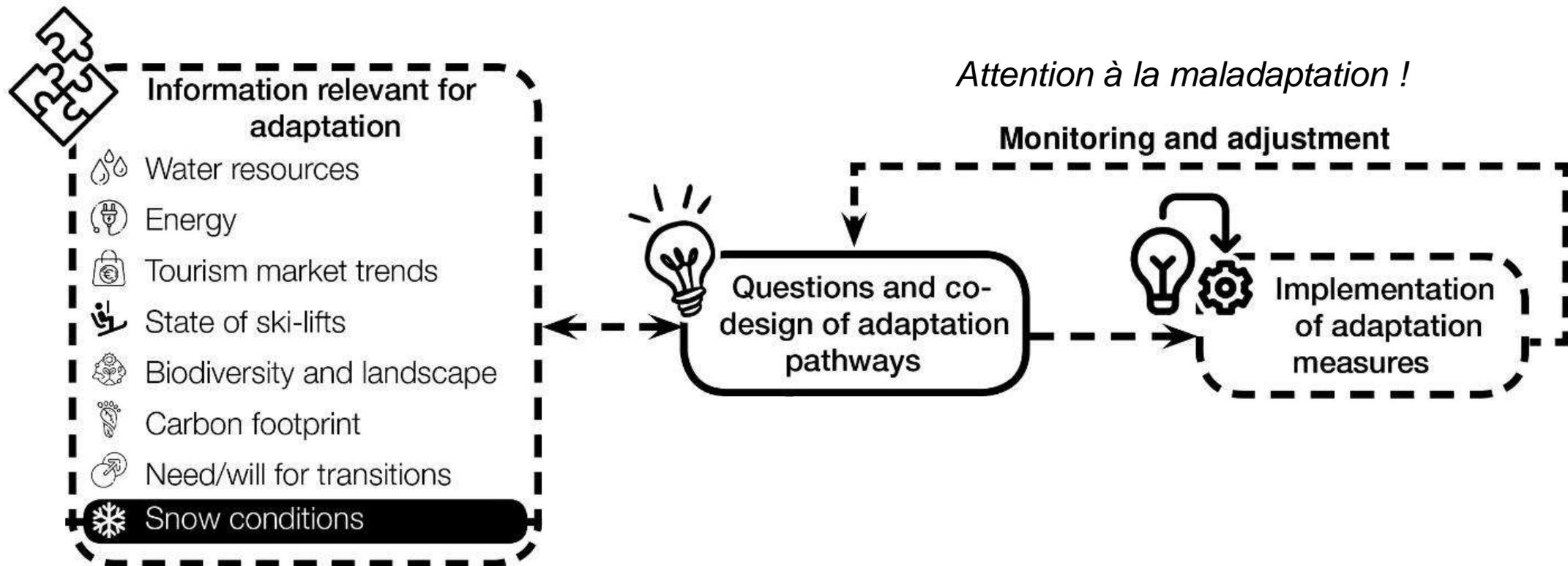
Dans le domaine du tourisme hivernal, de multiples dimensions sont à prendre en compte:



Aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique

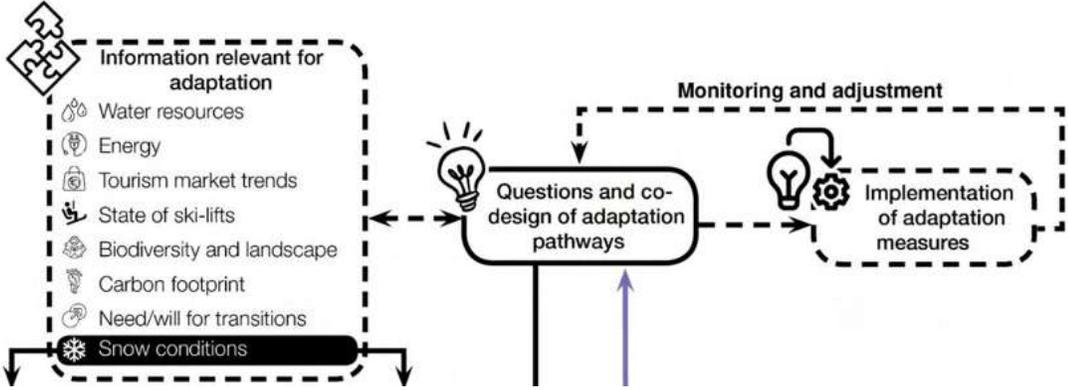
L'adaptation au changement climatique, c'est-à-dire réduire l'ampleur des conséquences du changement climatique, est avant tout un enjeu de gouvernance, c'est-à-dire de modalité d'arbitrage de choix potentiellement antagonistes sur un territoire donné.

Dans le domaine du tourisme hivernal, de multiples dimensions sont à prendre en compte:



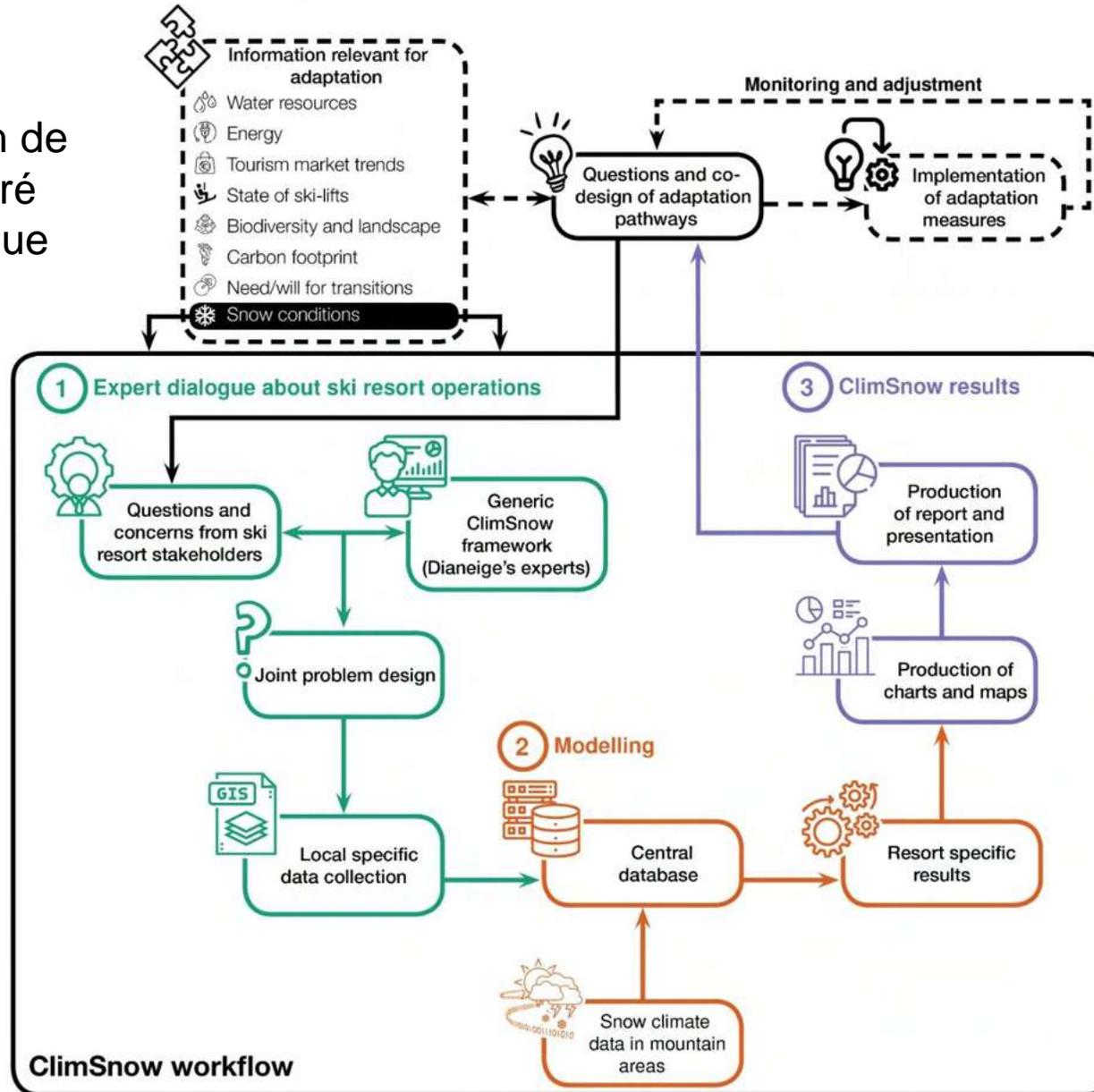
Aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique

ClimSnow s'intéresse spécifiquement à l'évolution de l'enneigement naturel et géré



Aide à la décision pour l'adaptation au changement climatique

ClimSnow s'intéresse spécifiquement à l'évolution de l'enneigement naturel et géré selon une méthodologie issue des résultats de recherche croisée avec une expertise de l'aménagement des domaines skiables et du tourisme de montagne



Le service ClimSnow

Principaux points couverts dans le cadre d'une étude ClimSnow:

- Simulation de **l'enneigement naturel et géré** (avec damage et production de neige) à l'échelle **d'un domaine skiable ou de sous-domaines**, en **climat actuel et futur**.
- Focus sur la **fréquence de retour des hivers faiblement enneigés** (plus pertinent que la « moyenne multi-annuelle »)
- **Etude quantitative de l'effet de tel ou tel projet d'aménagement** (extension/retrait du domaine, ajout/retrait de production de neige).
- **Calcul de l'enneigement sur pistes et de la quantité d'eau mobilisée pour la production de neige**. L'estimation de l'évolution de la ressource en eau disponible n'est pas couverte par ClimSnow, c'est à **analyser par ailleurs**.
- Production de **cartes représentant les résultats, ainsi que de courbes d'évolution temporelle et de tableau**.
- **Interprétation** des résultats et analyse de scénarios prospectifs d'équipement/aménagement et de leur pertinence vis-à-vis de l'évolution de l'enneigement.



INRAE



Le service ClimSnow

Le service ClimSnow prend la forme d'un **rapport** (document texte) accompagné d'une **présentation** des principaux résultats, et fait suite à une **commande** de la part d'un commanditaire (collectivité, opérateur/exploitant etc.).

Le service ClimSnow s'inscrit dans un **cadre concurrentiel** (d'autres services analogues peuvent coexister, pas d'exclusivité). La diffusion des résultats est donc **du choix et du ressort des commanditaires de l'étude**.

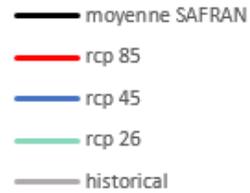
La production du service s'inscrit très souvent dans le cadre d'une réflexion/animation plus large sous l'égide des acteurs/décideurs des territoires touristiques et stations de montagne :

- **animation de tables de travail et d'ateliers** sur site, au niveau d'un territoire ou d'une station, avec élus, techniciens, socio-professionnels, public élargi le cas échéant, etc,
- organisation de **séances techniques** visant à faciliter la compréhension et l'appropriation des résultats,
- coordination des échanges sur les **orientations stratégiques** les plus adaptées par rapport aux effets du changement climatique.

Le service ClimSnow

Exemple de résultat à l'échelle individuelle, station de Métabief (Jura)

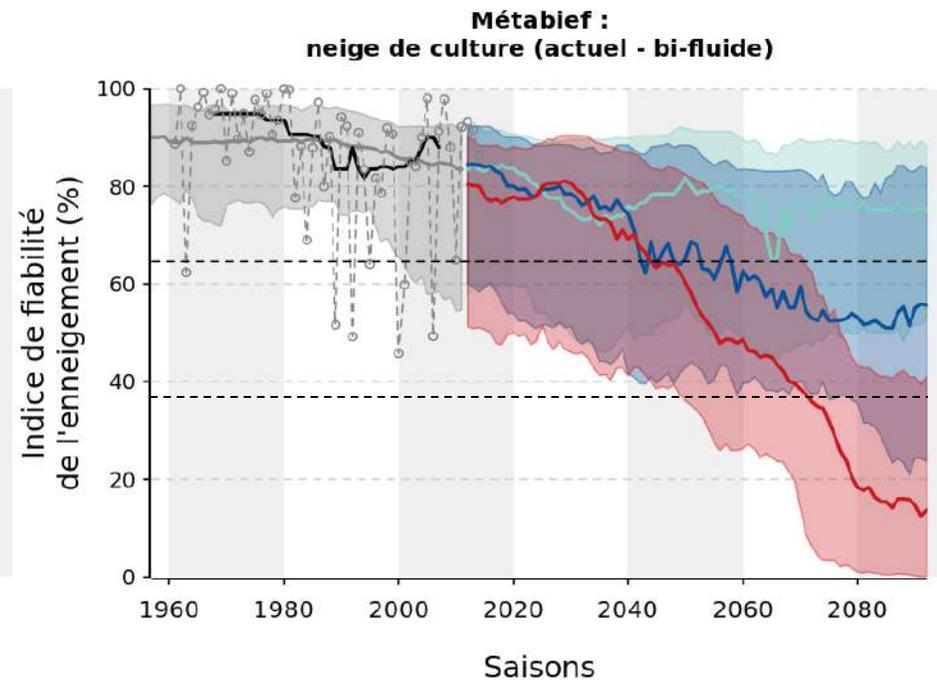
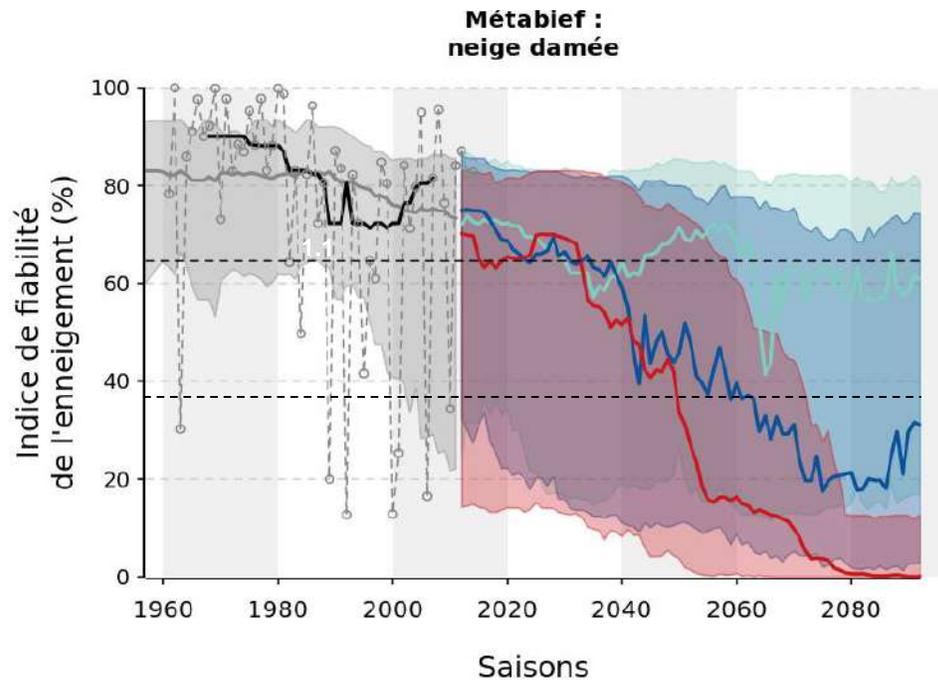
Evolution de l'indicateur de fiabilité de l'enneigement avec/sans production



Les courbes suivantes représentent les Q20, Q50 et Q80 sur une période de 15 années centrée sur l'année considérée (soit 2013 – 2027 pour l'année 2020).

Q20 de référence (1986-2015) en Neige naturelle damée : 38.7 %

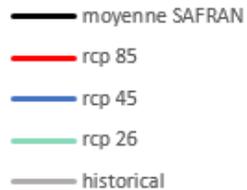
Q20 de référence (1986-2015) en Neige naturelle + neige de culture damée : 64,57 %



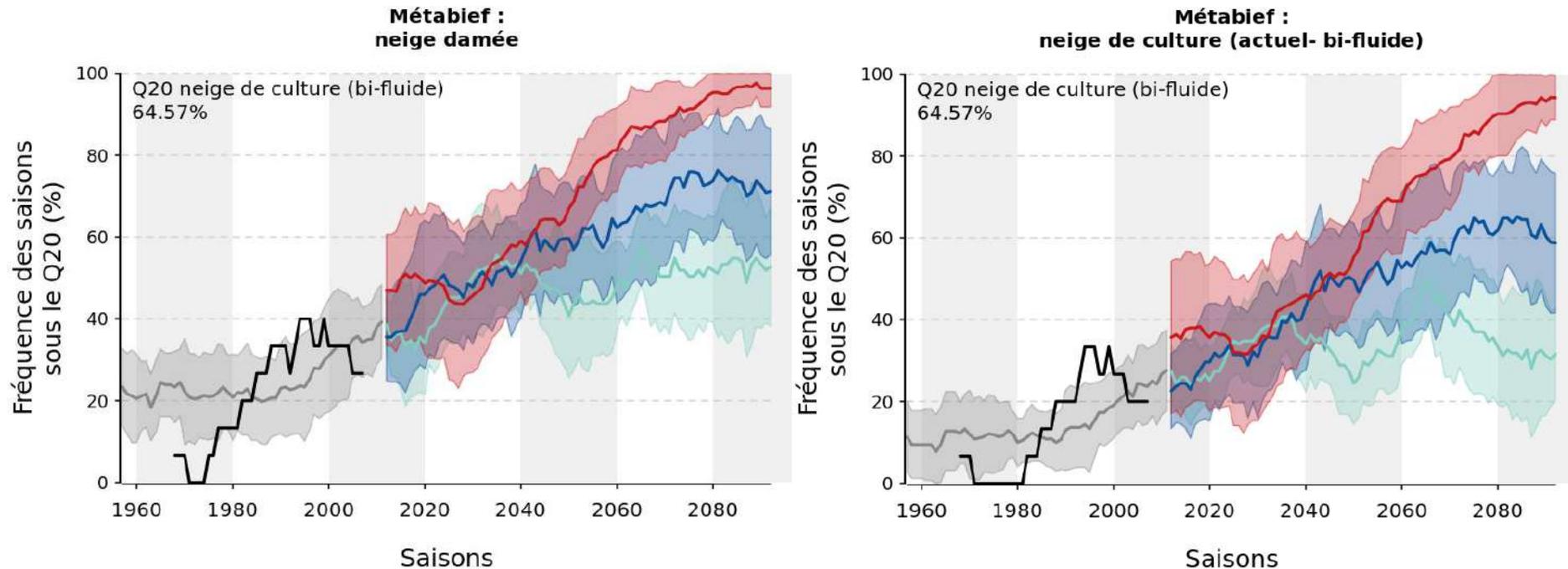
Le service ClimSnow

Exemple de résultat à l'échelle individuelle, station de Métabief (Jura)

Approche fondée sur la fréquence de retour des années de faible enneigement (calculé, de façon relative à chaque station, comme le 20^{ème} centile du taux d'enneigement annuel agrégé pour la station).



Ces graphiques représentent la probabilité de retour d'une saison avec un indice de fiabilité de l'enneigement en-dessous de celui défini par le Q20 en Neige naturelle + neige de culture damée, soit 64,57% du moment de puissance exploitable.



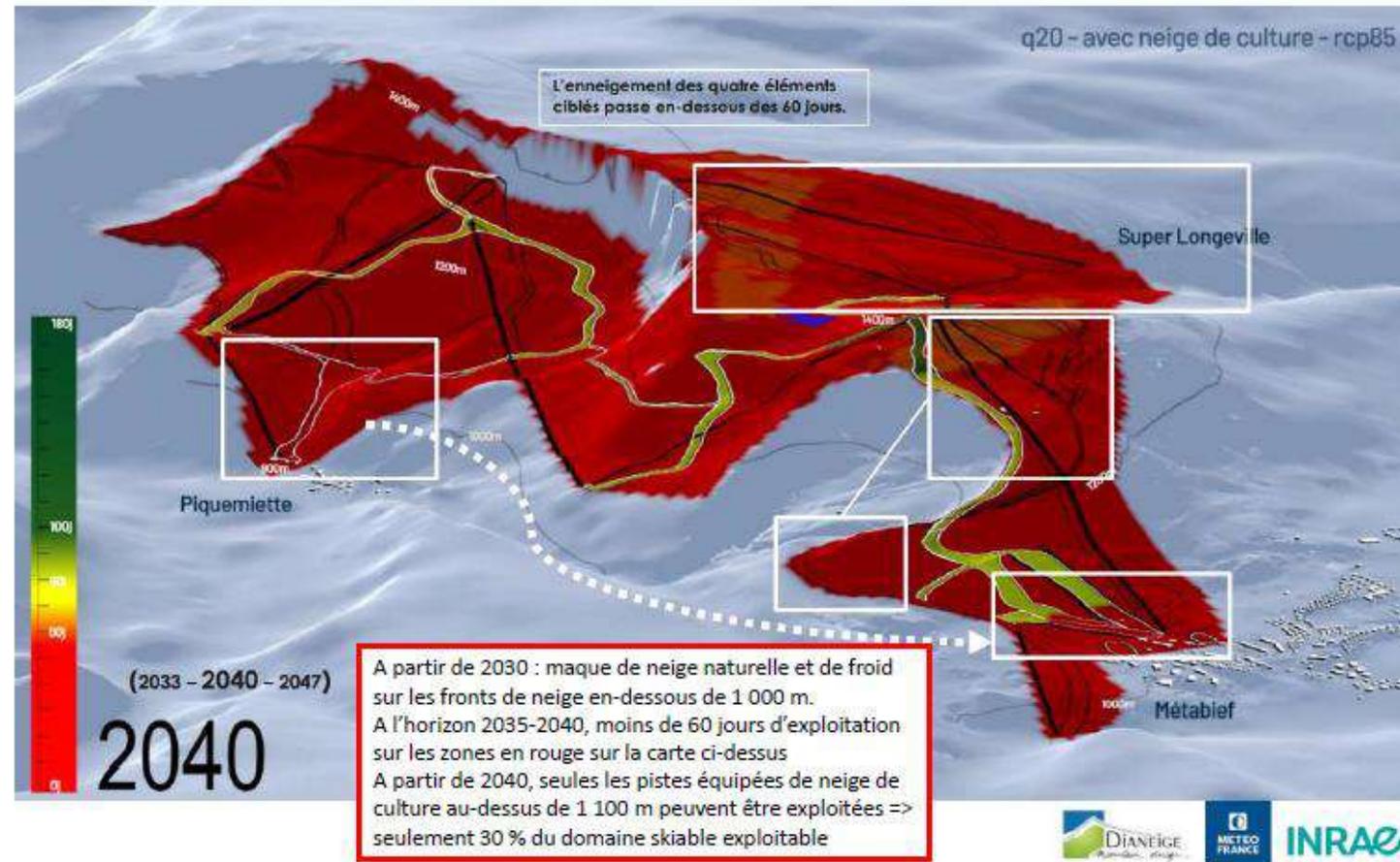
Le service ClimSnow

Exemple de résultat à l'échelle individuelle, station de Métabief (Jura)

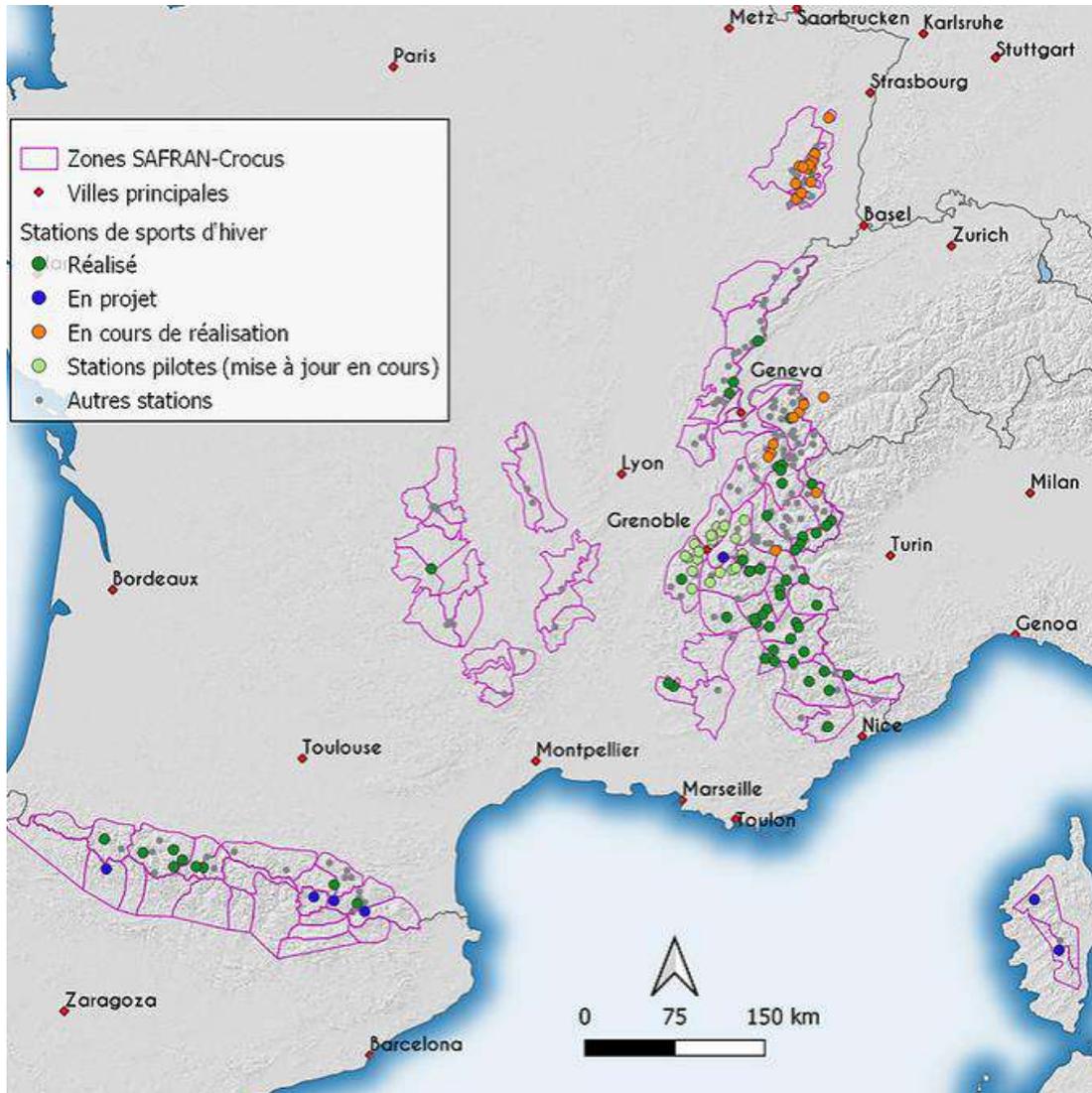
2030 : très mauvaises conditions de production de neige sur les fronts de neige de Métabief et de Piquemiette
2035 : moins de 60 jours d'exploitation sur les zones non équipées en neige de culture => situation économiquement déficitaire
2040 : seulement 30 % du domaine skiable fiable => au maximum 50 % du chiffre d'affaire actuel



Grande perte d'attractivité du produit ski alpin à partir de 2030 et situation économique critique dès 2035



Déploiement de ClimSnow à ce jour



Plus de 170 études en cours ou prévues.

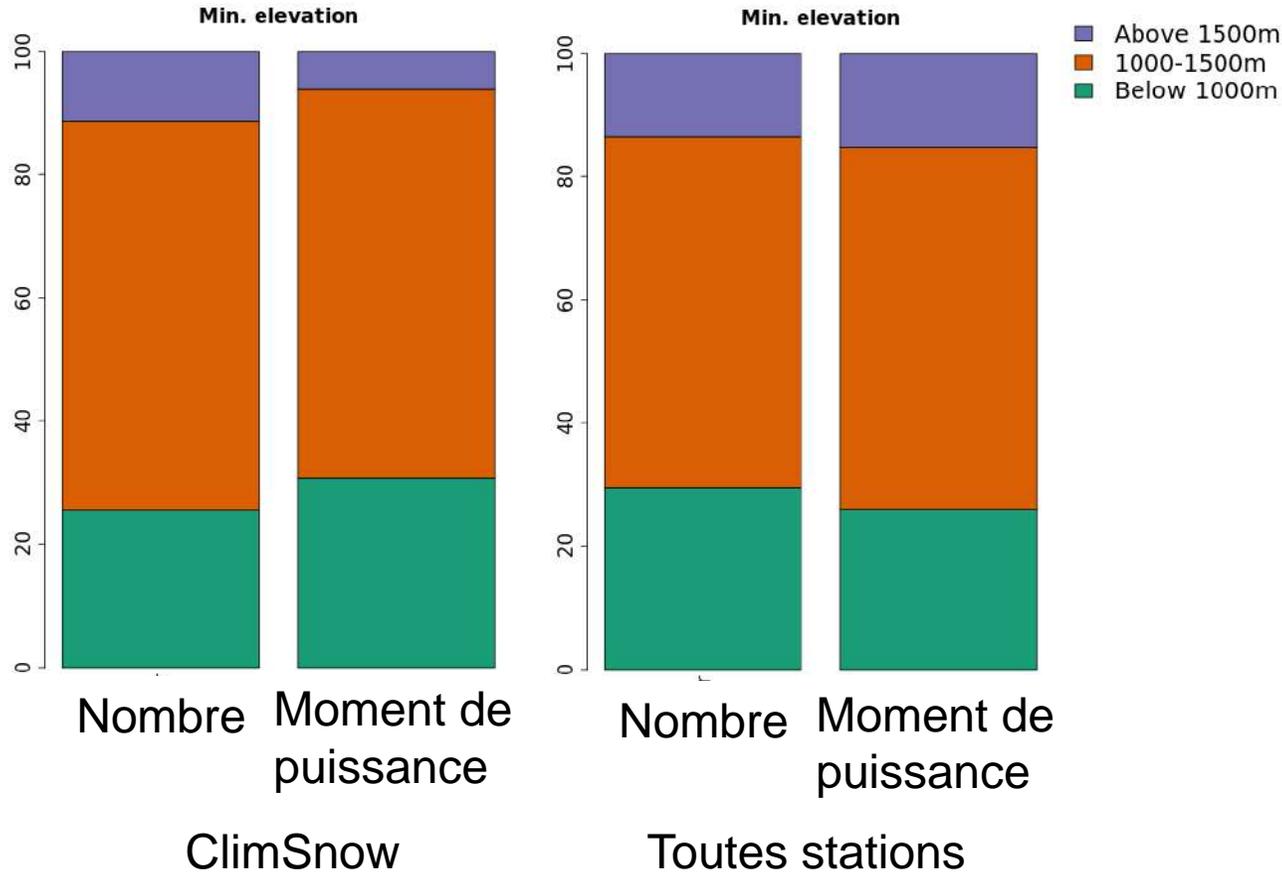
Déploiement en France hexagonale, quelques études sur domaines skiables proches des frontières (Suisse, Italie, Espagne, Andorre) où les données permettent de mettre en œuvre le service.

A ce jour, pas d'extension plus large au niveau européen.

Les travaux menés dans le cadre de Copernicus Climate Change Service + déploiement méthodologique à l'échelle européenne, François et al. (2023), pourraient fournir une base de travail.

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

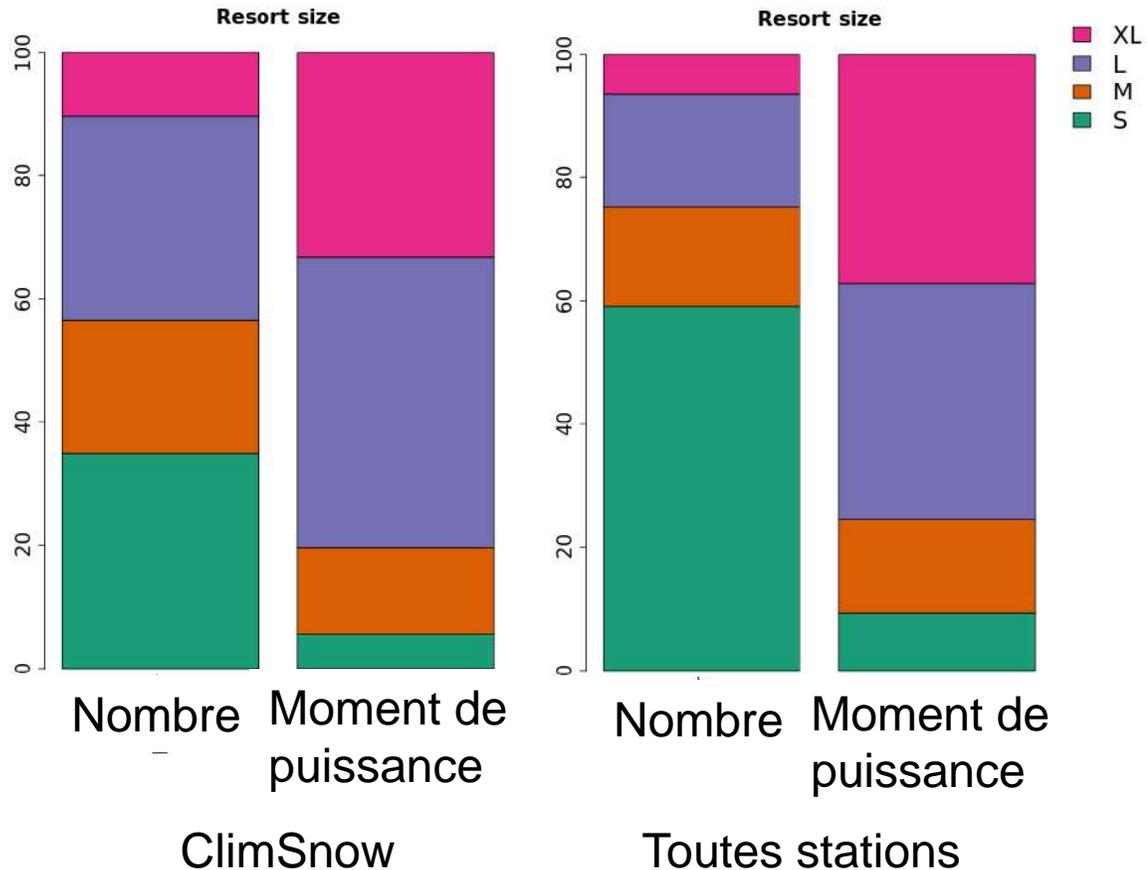
Altitude minimale



Légère sous-représentation dont l'altitude minimale est au dessus de 1500 m

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

Taille de station

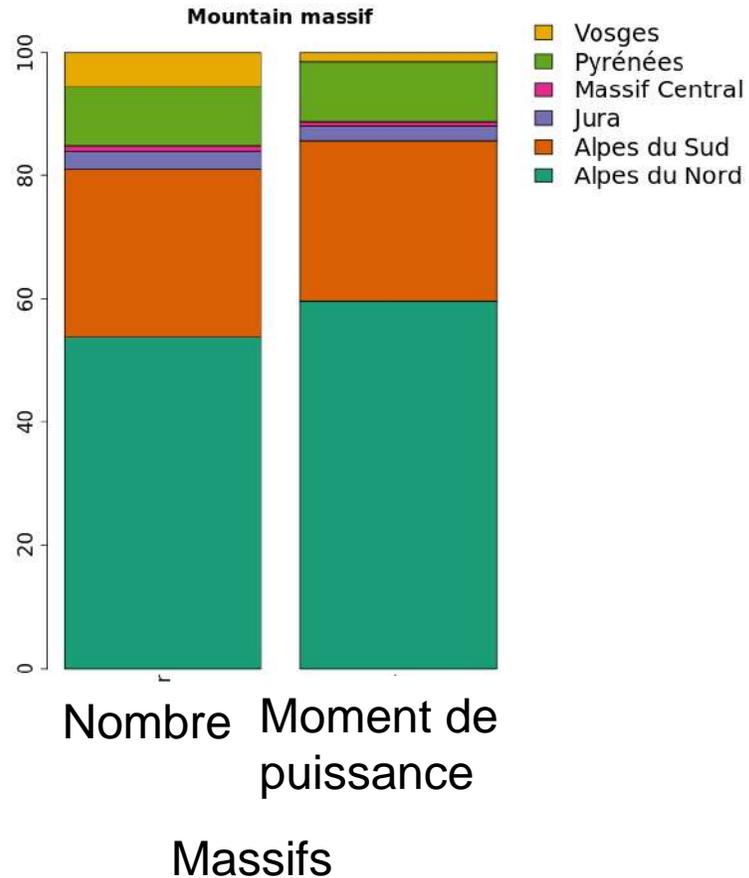


Légère sous-représentation dont l'altitude minimale est au dessus de 1500 m

Sous-représentation des « petites », sur-représentations des stations « moyennes », « grandes » et « très grandes »

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

Massifs couverts, type de commande, nature des commanditaires



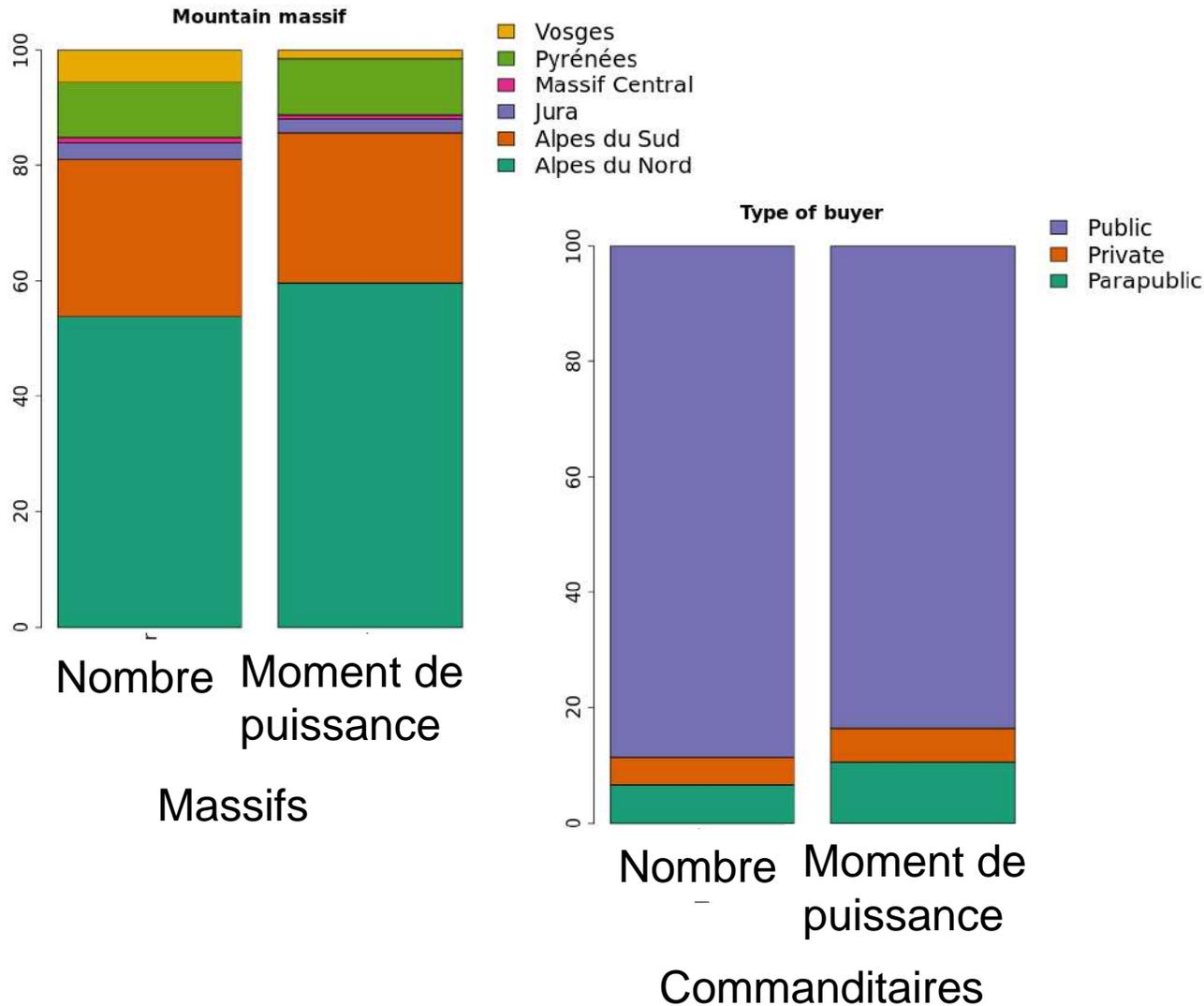
Légère sous-représentation dont l'altitude minimale est au dessus de 1500 m

Sous-représentation des « petites », sur-représentations des stations « moyennes », « grandes » et « très grandes »

La plupart des massifs sont concernés (faible nombre de stations couvertes dans le Massif Central)

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

Massifs couverts, type de commande, nature des commanditaires



Légère sous-représentation dont l'altitude minimale est au dessus de 1500 m

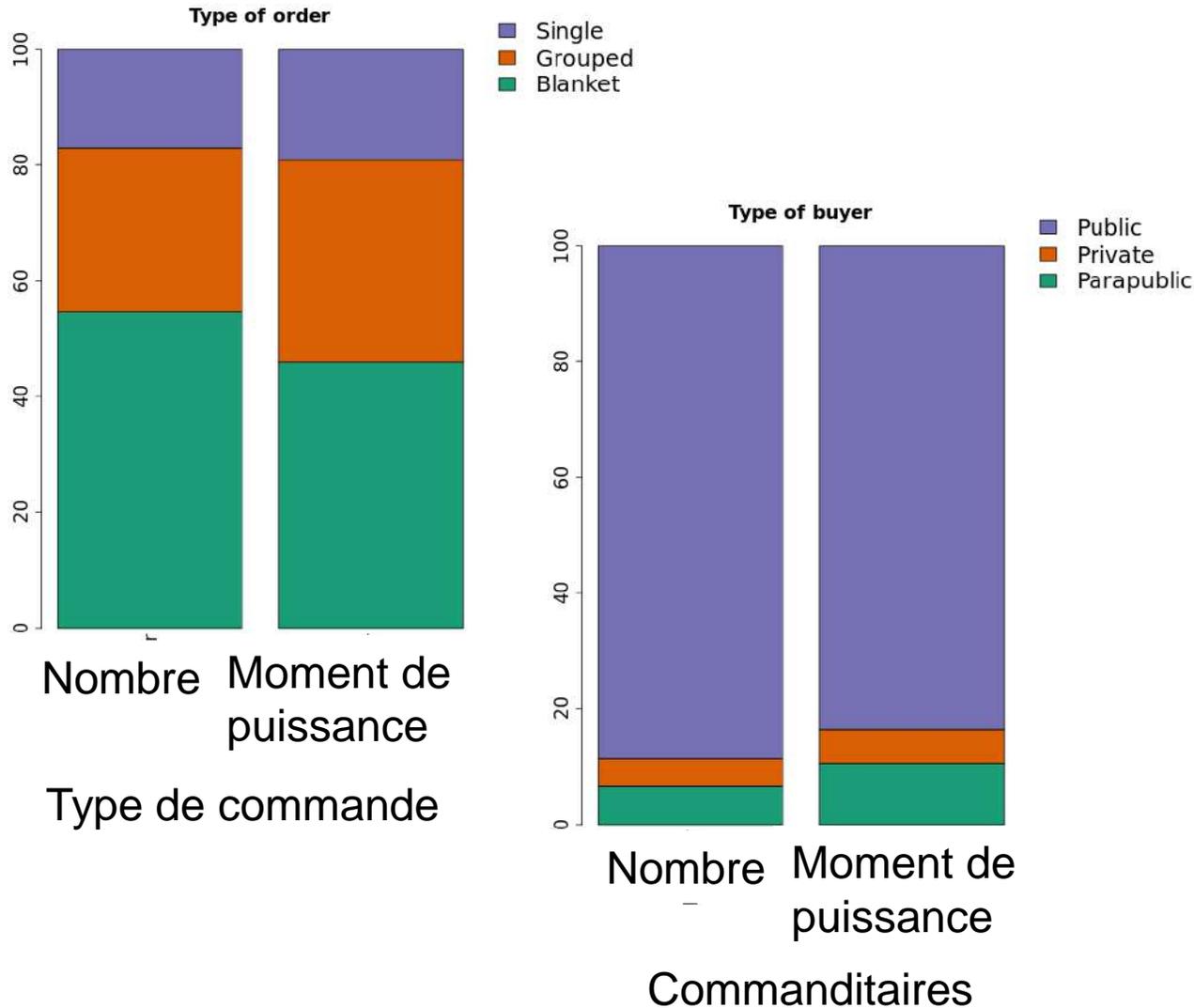
Sous-représentation des « petites », sur-représentations des stations « moyennes », « grandes » et « très grandes »

La plupart des massifs sont concernés (faible nombre de stations couvertes dans le Massif Central)

Surtout commandes d'acteurs publics ou parapublics

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

Massifs couverts, type de commande, nature des commanditaires



Légère sous-représentation dont l'altitude minimale est au dessus de 1500 m

Sous-représentation des « petites », sur-représentations des stations « moyennes », « grandes » et « très grandes »

La plupart des massifs sont concernés (faible nombre de stations couvertes dans le Massif Central)

Surtout commandes d'acteurs publics ou parapublics

Quelques commandes directes des stations, le plus souvent commandes groupées ou études dans le cadre de « commandes chapeau » de collectivités

Déploiement de ClimSnow à ce jour : typologie des stations et des bénéficiaires

Quelques enseignements et résultats généraux

L'intérêt des parties prenantes est maximal quand elles sont **directement commanditaires** de l'étude (réponse à un besoin local). C'est plus difficile quand l'étude s'inscrit dans le cadre d'un contrat « chapeau » pour lequel les stations/territoires ne sont pas forcément volontaires.

Effet incitatif du programme Avenir Montagne (lancé en 2021), co-finançant les études prospectives parmi lesquelles ClimSnow s'inscrit.

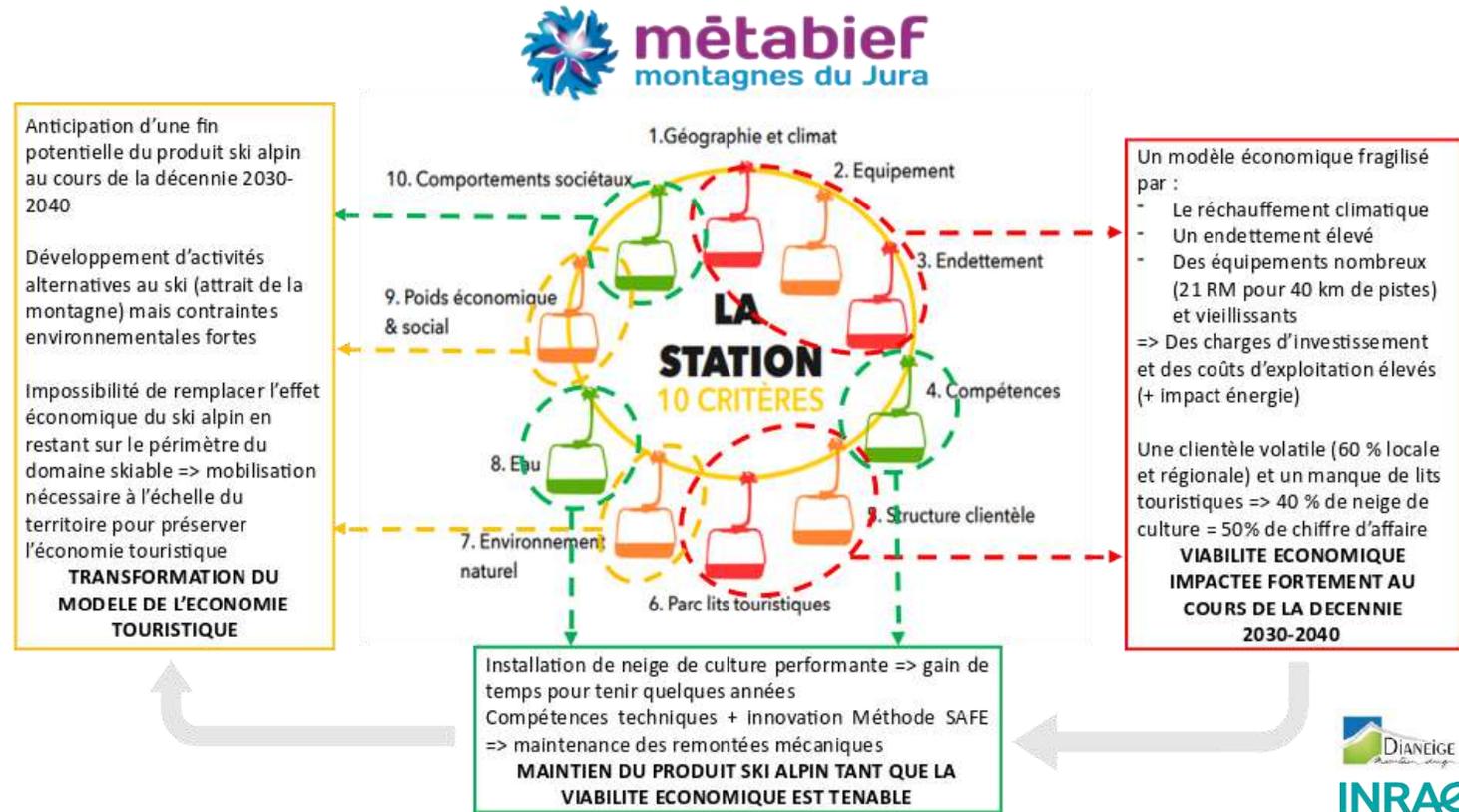
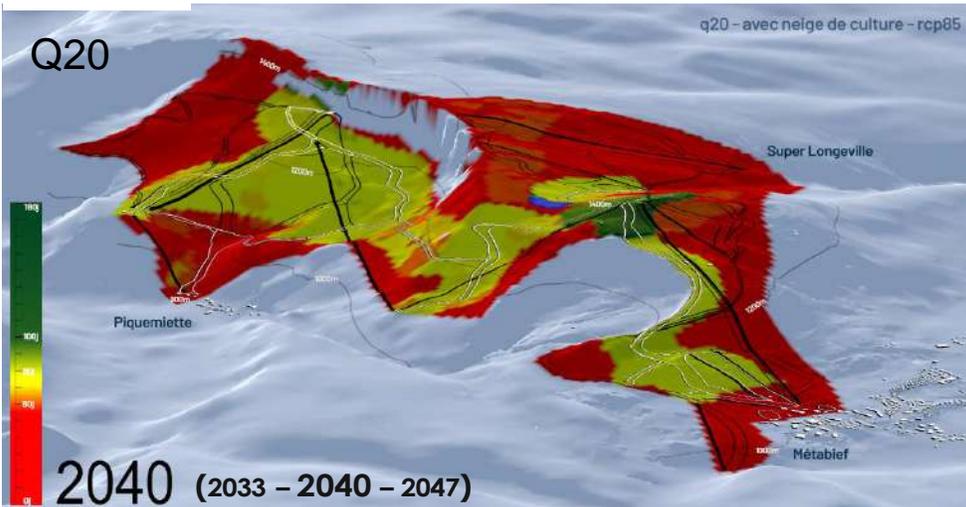
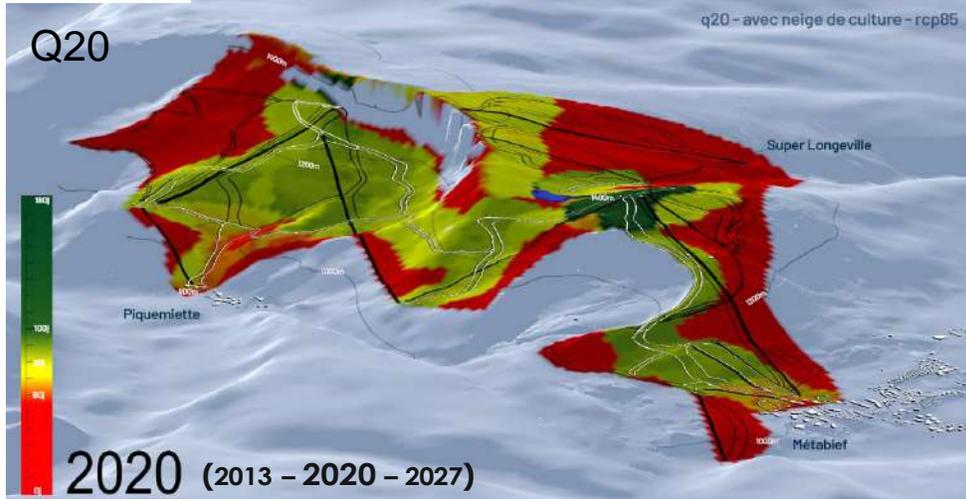
Effet incitatif du besoin des autorités publiques (environnementales) de disposer d'études d'impact de projets d'aménagement tenant compte de l'évolution climatique.

Plusieurs cas où l'étude ClimSnow est venu **questionner/remettre en cause** des projets et perspectives initiales des commanditaires ; certains résultats ClimSnow peuvent toutefois donner lieu à des **interprétations divergentes**, notamment si des éléments sont décontextualisés ou extraits de l'étude globale.

En général, ClimSnow confirme la **baisse de la fiabilité de l'enneigement dans le bas des domaines et donc de la rentabilité d'investissements dans ces secteurs**. Accompagnement d'une reconfiguration du domaine.

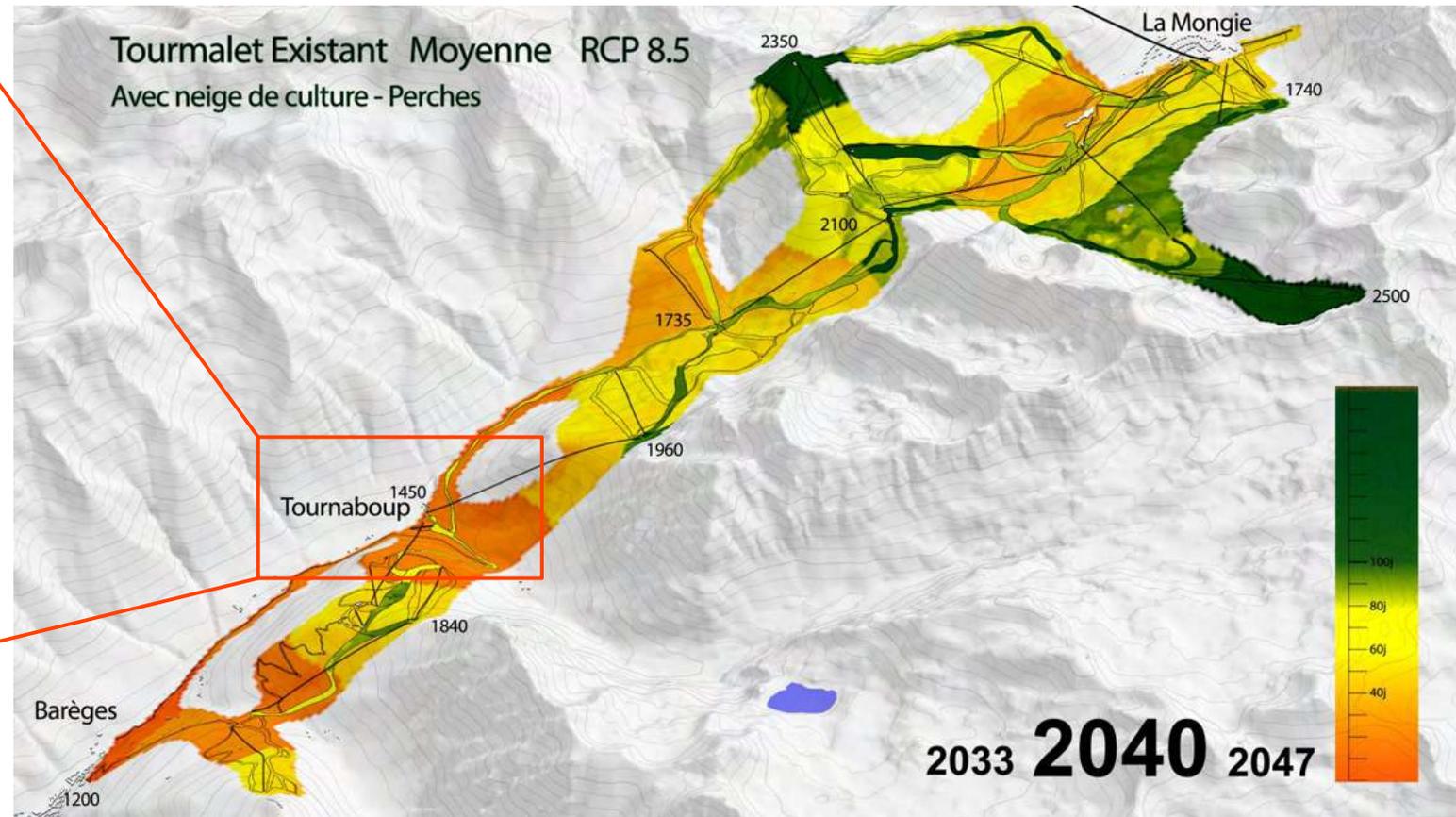
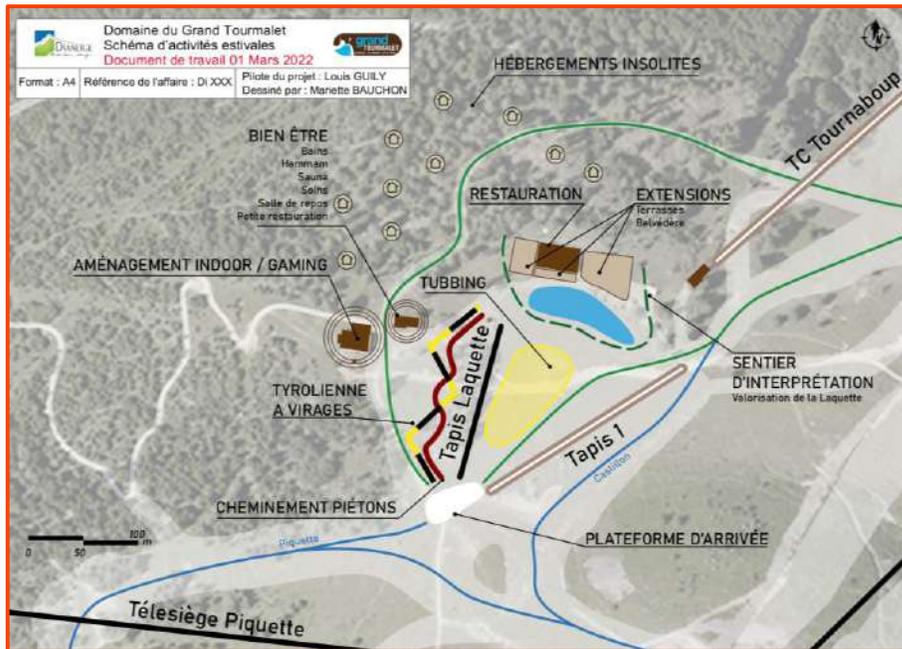
Exemples : Métabief (Jura)

Transition progressive vers un modèle économique qui ne repose plus sur le ski après 2035



Exemples : Tourmalet (Pyrénées)

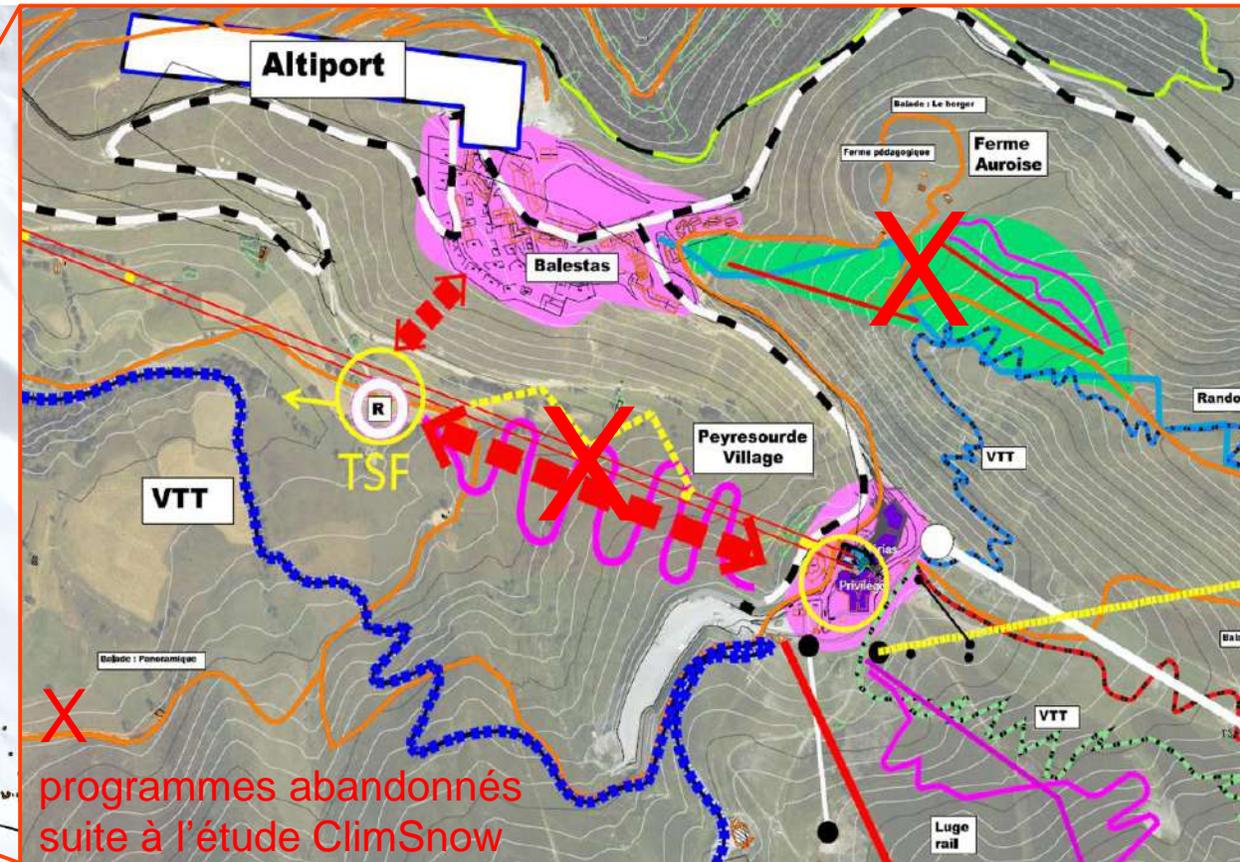
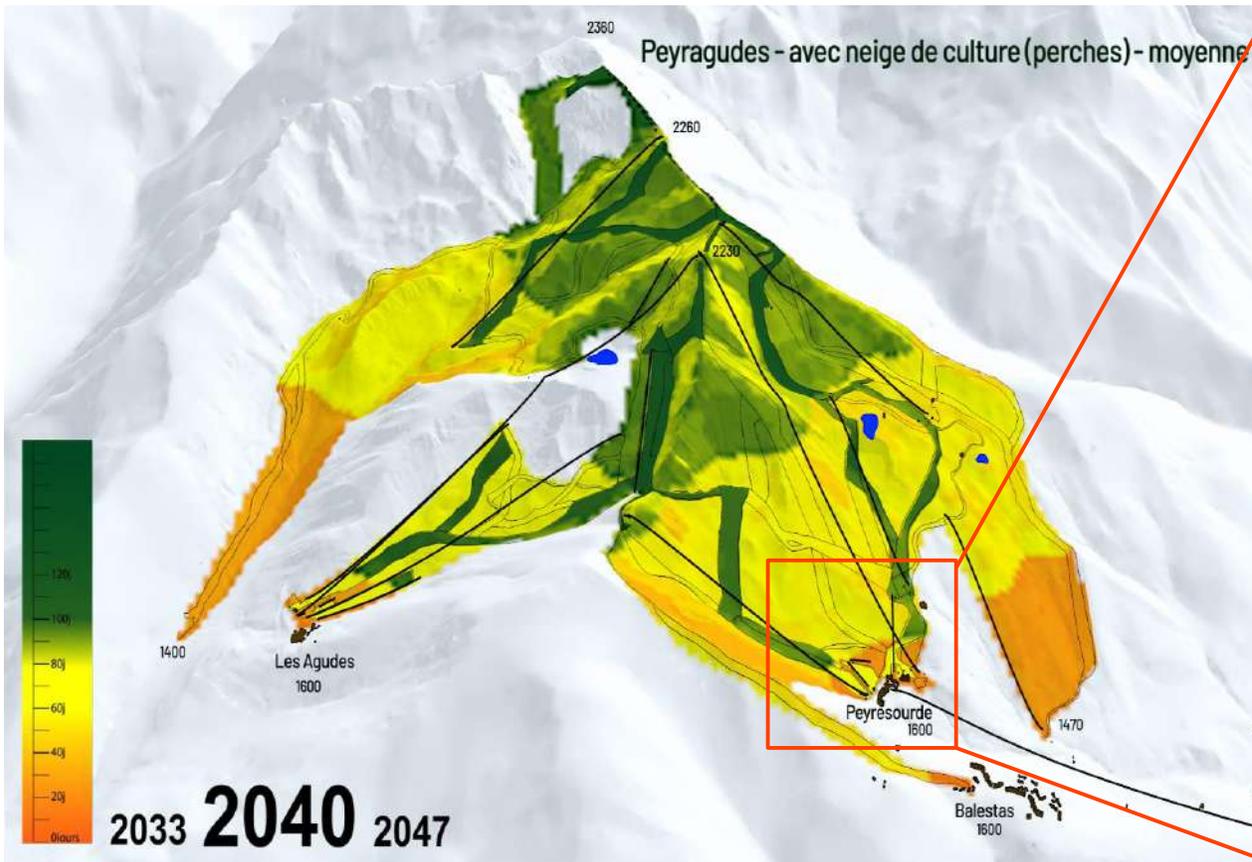
Elaboration d'un master plan 4 saisons en phase avec les résultats de ClimSnow :
télécabine à la place du télésiège, développement d'activités hors-neige en altitude



Exemples : Peyragudes (Pyrénées)

Ajustement du Master Plan :

- suppression de certains projets afin de se concentrer sur des investissements les plus critiques,
- optimisation du système de production de neige sur les axes structurants,
- diversification des activités (hiver/ été)



Exemples : Villars-Gryon (Suisse)

Contribution à la stratégie de développement

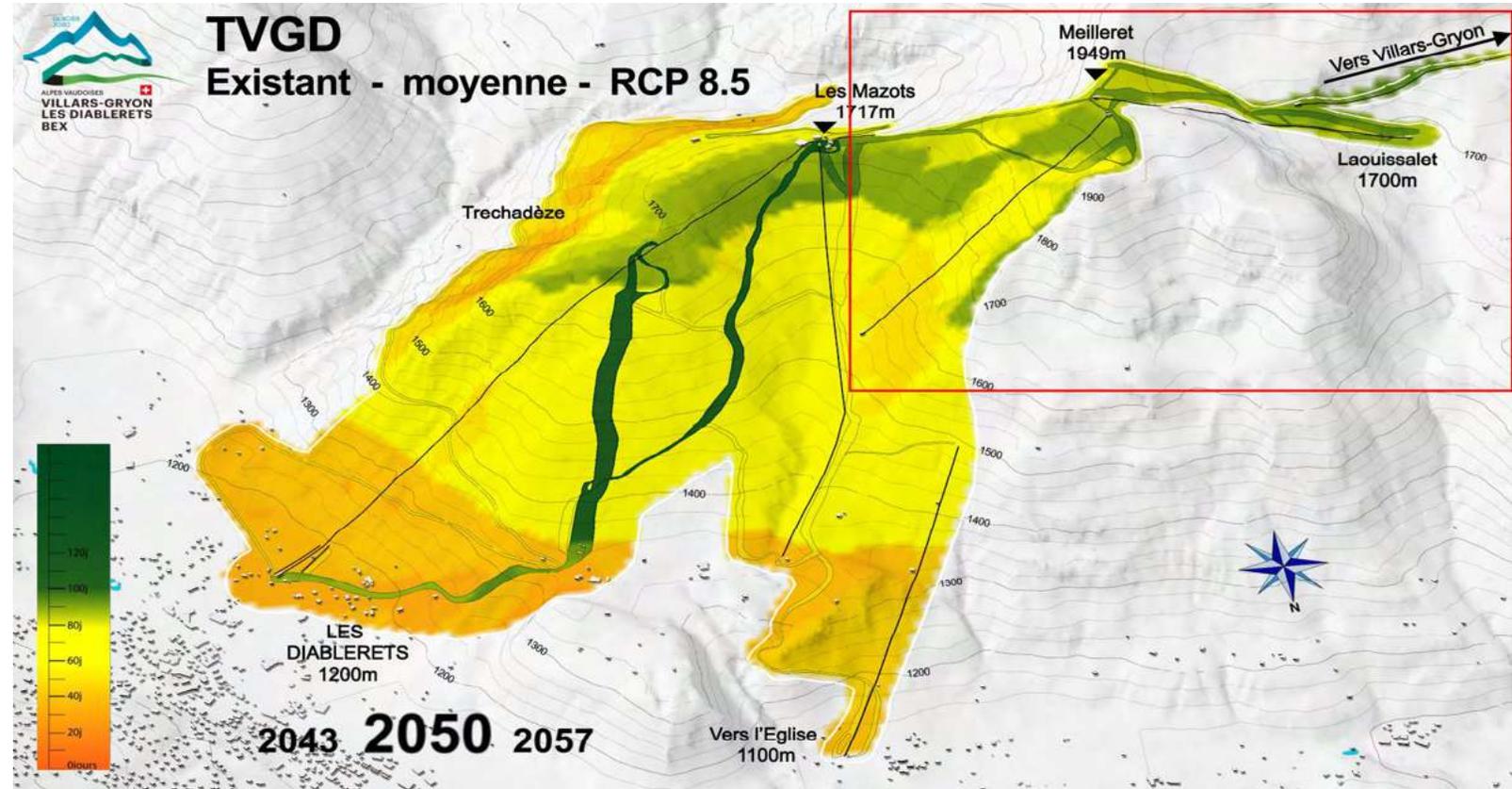
Dans ce cas de figure, la 'grande circulation' - inter 3 secteurs - n'est pas garantie.

Le secteur d'altitude des Diablerets, avec les téléskis – télésièges actuels de :

- Ruvine,
- Mi-Ruvine – Meilleret,
- Laouissalet – Meilleret,

ne dessert pas de pistes dotées de **production de neige**.

Calcul du bénéfice d'ajouter des enneigeurs dans la liaison Chaux Ronde – Conche.



Le fonctionnement n'est pas garanti notamment sur le début de la saison. **Impact** → risque fort de :

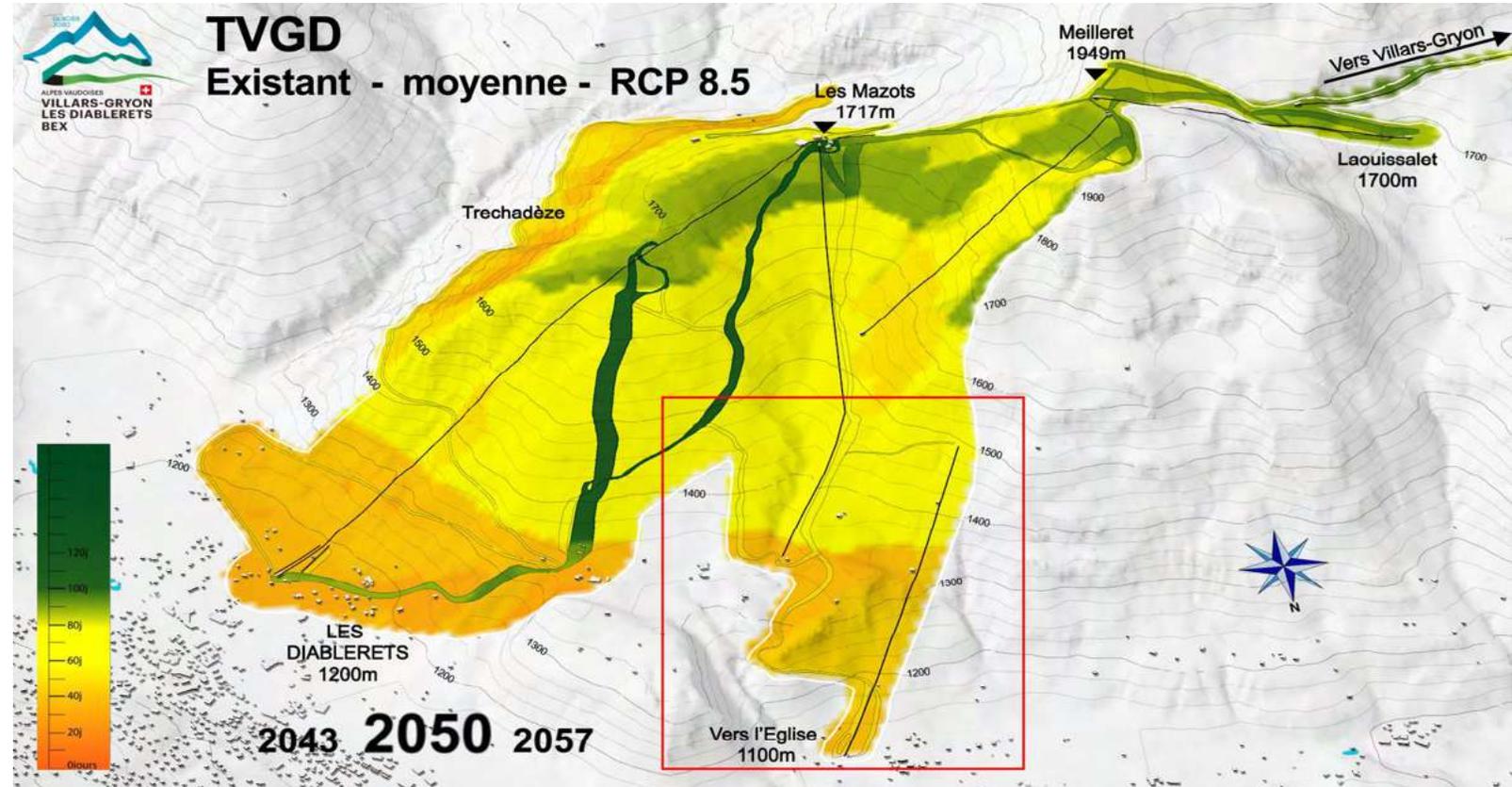
- devoir vendre **le forfait à un prix 'dégradé'**,
- ne pas pouvoir maintenir un prix ticket moyen élevé dès le début de la saison.

Exemples : Villars-Gryon (Suisse)

Contribution à la stratégie de développement

Remplacement du TK Ruvine et du TSF Mi-Ruvine/Meilleret par un seul **téléporté** :

- point de départ à caler selon les résultats de l'étude Climsnow (se tenir en altitude) et les contraintes environnementales,
- le point de départ ne doit surtout pas être au départ de l'actuel TK 'Vers l'église' (téléski à supprimer), mais plus en altitude,
- effet de couvrir intégralement la piste par de la production de neige.



Limites et perspectives

Limites scientifiques et techniques :

- **Modélisation du manteau neigeux** (adéquation avec l'évolution technique de la gestion de la neige)
- **Question des ressources en eau.** ClimSnow calcule la quantité d'eau **potentiellement mobilisée pour la production**, à articuler avec la disponibilité effective de la ressource (travaux en cours pour compléter les outils sur ce plan, cf travaux Gerbaux et al., 2020)
- **Présentation des résultats** (indicateurs mensuels plutôt que saisonniers etc.)
- **Mises à jour nécessaires des projections climatiques** (progrès de la modélisation climatique, compatibilité avec la Trajectoire de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique, par degrés de réchauffement monde/France plutôt que scénarios RCP/SSP)
- Pas de **quantification économique** des conséquences de la baisse de la fiabilité de l'enneigement sur la fréquentation et ses effets sur les équilibres financiers des acteurs de la station, ni de quantification des capacités de résistance financière des exploitants face à une augmentation de la fréquence de retour des saisons de faible enneigement.

Limites institutionnelles :

- **Appropriation variable des résultats** ClimSnow par les territoires, en fonction de la nature et de la motivation des commanditaires
- **Difficultés liées au statut concurrentiel du service:** les études ne sont pas publiques par défaut, elles peuvent l'être au choix du commanditaire

3 enjeux majeurs pour les prochaines années dans les territoires touristiques de montagne

- **Lucidité** : Le climat change, les impacts sont déjà là et vont s'aggraver. S'y adapter requiert des actions de fond et une vision sur plusieurs décennies.
- **Transparence** : En vue d'établir des trajectoires de développement pertinentes et porteuses de sens, les enjeux de gouvernance sont majeurs. Enjeux/bénéfices de la diffusion des résultats ClimSnow.
- **Cohérence** : Se préparer à un climat à +2°C au niveau mondial implique de se préoccuper à contribuer à atteindre cet objectif, et ce pour tous les secteurs et donc celui du tourisme (inclus transport, logement). Cohérence et articulation entre adaptation/décarbonation.

***Question plus large, dans une logique combinant décarbonation/adaptation :
Comment traiter de la dépendance économique des territoires au tourisme et de
ses conséquences sur les émissions de GES ?***

Passage à l'échelle du service climatique ClimSnow

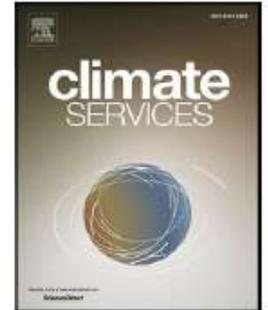


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Climate Services

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cliser



Review article

Upscaling of climate services – What is it? A literature review

Galina Guentchev¹, Erika J. Palin^{*}, Jason A. Lowe, Mark Harrison

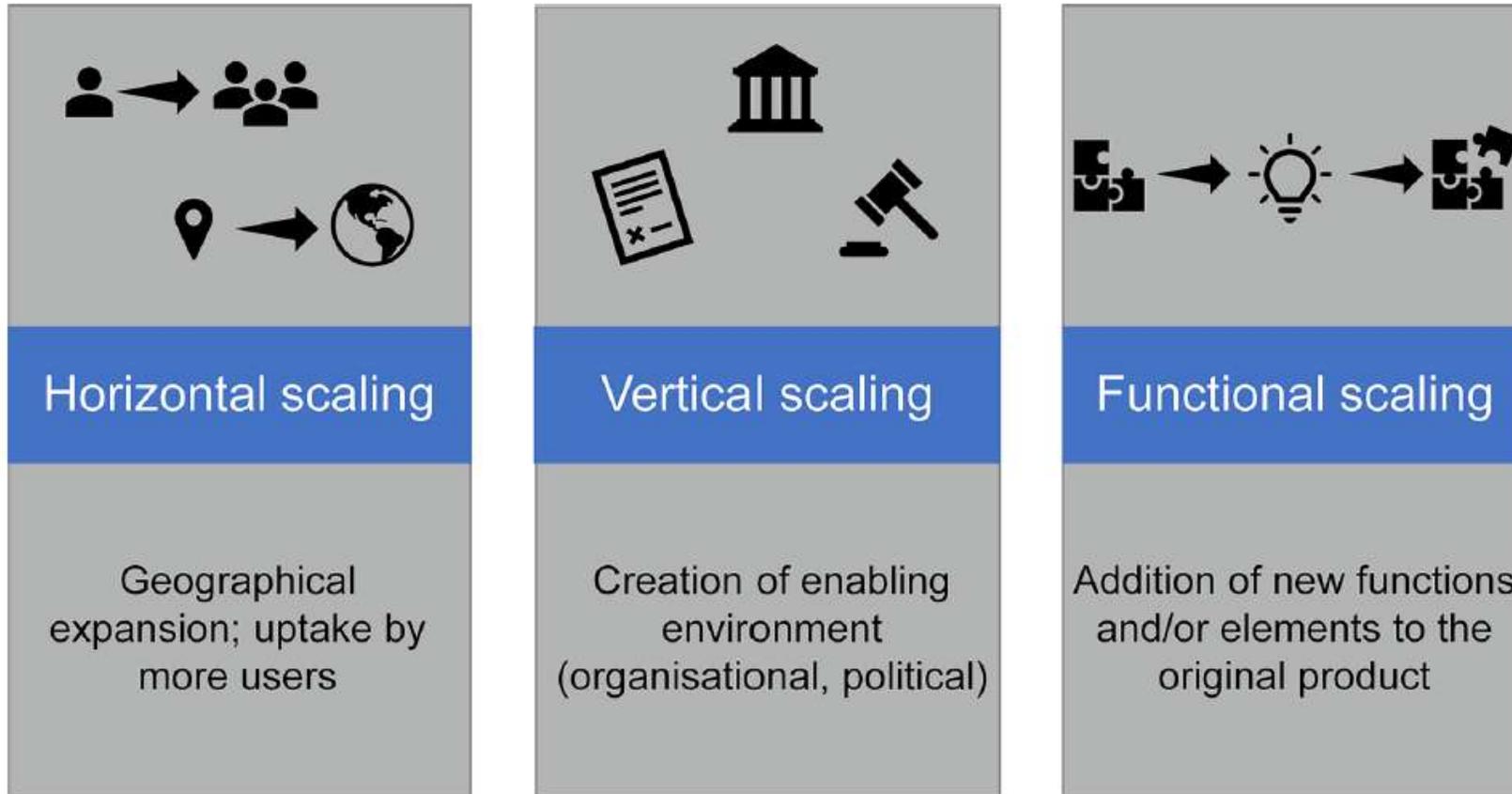
Met Office, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK



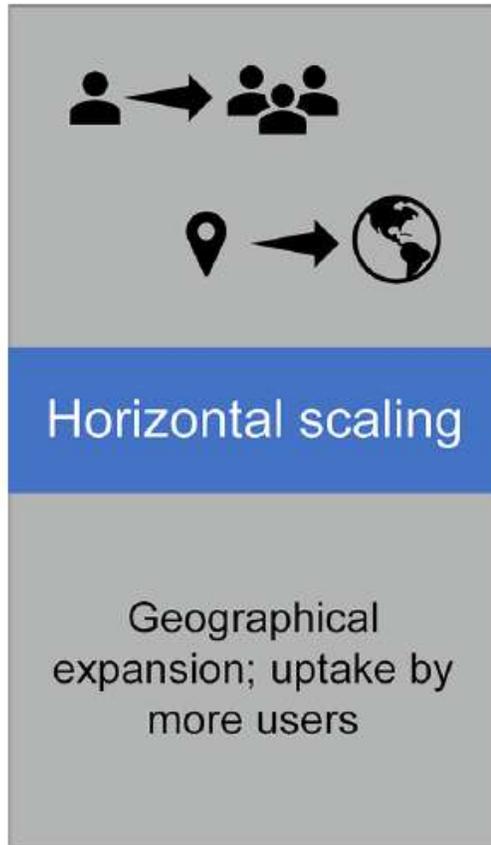
INRAE



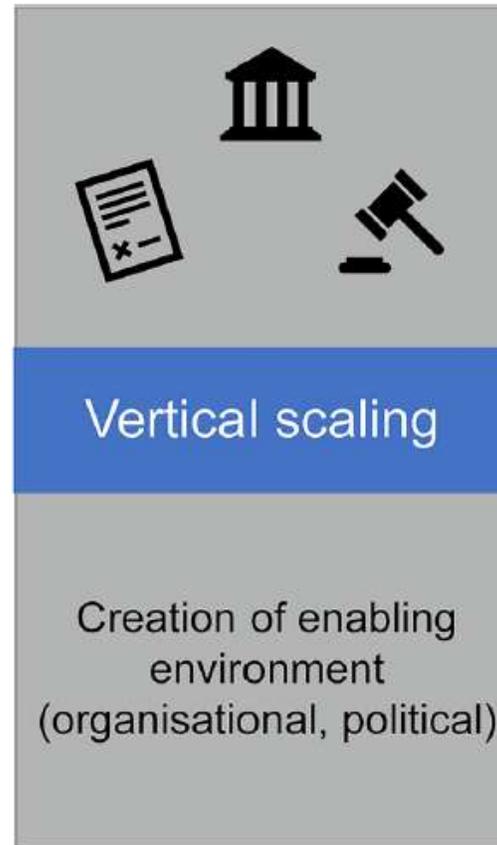
Passage à l'échelle du service climatique ClimSnow



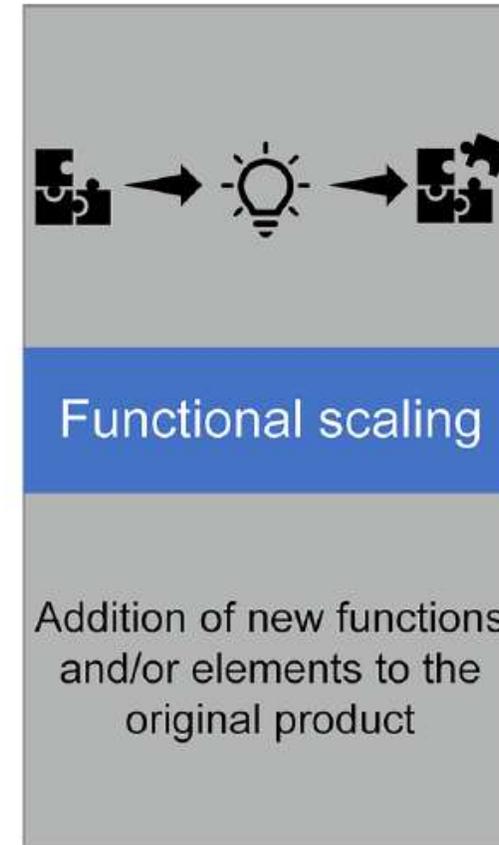
Passage à l'échelle du service climatique ClimSnow



Extension vers un large nombre de stations françaises à partir de prototypes (Isère, Metabief)



Insertion dans les dispositifs institutionnels (Avenir Montagne, études d'impact, accompagnement des transitions)



Extension aux enjeux de ressource en eau

Articulation avec l'analyse des verrouillages de trajectoires et la diversification économique

Passage à l'échelle du service climatique ClimSnow

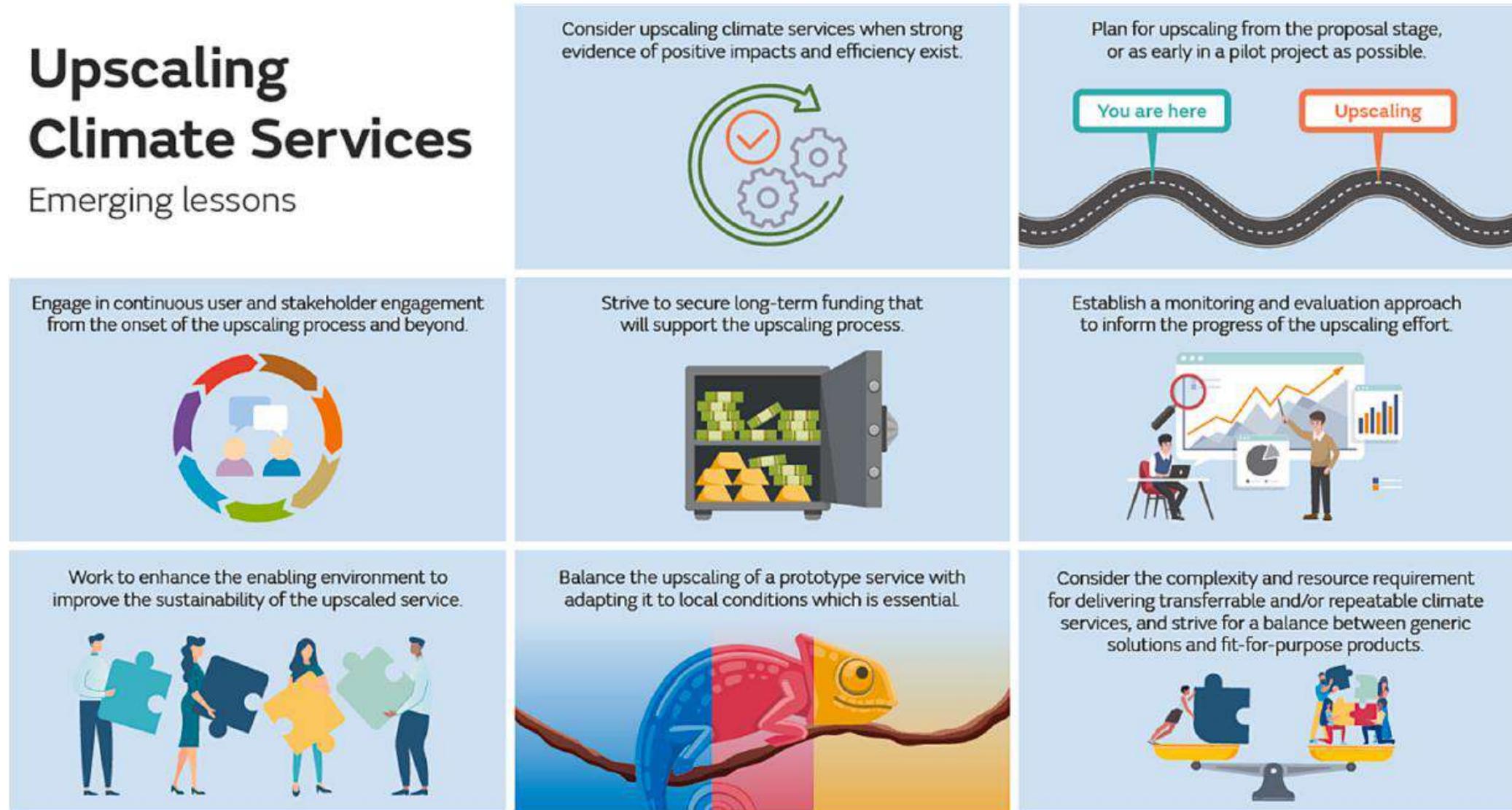


Fig. 2. Lessons learned about upscaling climate services, emerging from existing experiences and sectoral expertise.

Passage à l'échelle du service climatique ClimSnow

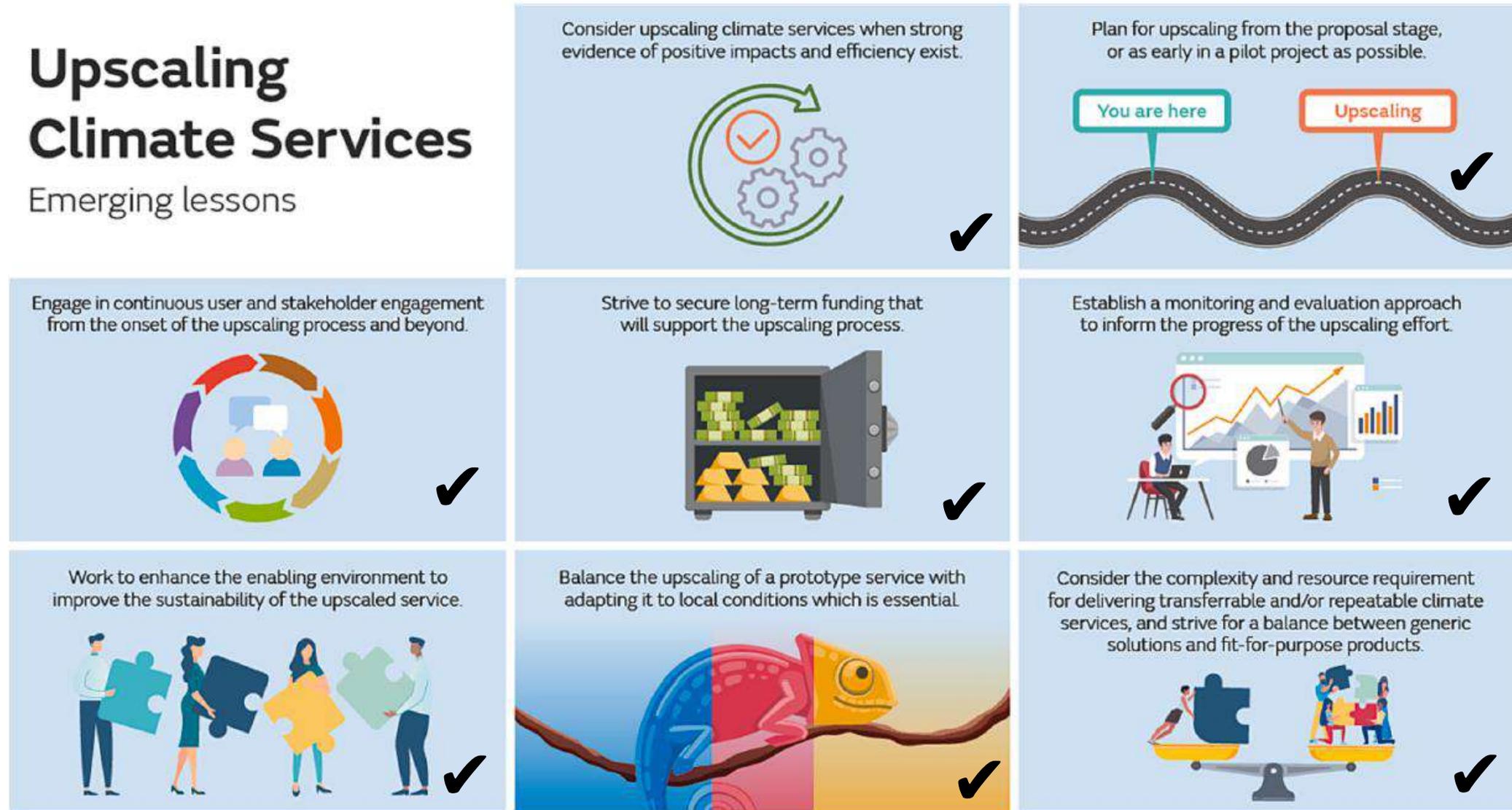


Fig. 2. Lessons learned about upscaling climate services, emerging from existing experiences and sectoral expertise.

Synthèse générale

<https://www.climsnow.com/>



Les avancées scientifiques en sciences du climat, d'étude du manteau neigeux de montagne tenant compte de la gestion de la neige, et d'interfaçage avec les données territoriales ont permis de **mieux caractériser l'ampleur des impacts du changement climatique sur l'industrie touristique de montagne** (sports d'hiver notamment), par une approche générique fournissant des résultats personnalisés à l'échelle locale par la prise en compte de données spécifiques.

Ces connaissances sont mises à disposition des acteurs territoriaux par le biais du **service ClimSnow**, s'inscrivant dans une logique de contribution aux délibérations territoriales (les enjeux de **gouvernance** sont clé pour les démarches d'adaptation au changement climatique, cf rapports du GIEC). Attention toutefois à la question du partage des résultats.

Les résultats du service ClimSnow peuvent (voire, doivent) s'articuler avec **d'autres préoccupations/perspectives** (diversification, enjeux sur les ressources en eau) qui peuvent dépasser le cadre du tourisme hivernal.

La réalisation d'une étude ClimSnow favorise **en général** la concertation, l'animation des acteurs sur le territoire, et contribue à l'élaboration de la stratégie touristique et territoriale, qui s'articule à des enjeux d'ingénierie touristique et financière.

Le développement et le déploiement de ClimSnow est riche d'enseignements concernant **le prototypage, l'implémentation et le passage à l'échelle** de services climatiques, objectif de TRACCS et notamment son projet ciblé #3 « DEMOCLIMA ».

