



- CLIMSNOW -

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PROJECTIONS DE L'ÉVOLUTION DE L'ENNEIGEMENT :

Stations de Haute-Maurienne Vanoise

Carlo Maria Carmagnola

Météo-France / Centre d'Etudes de la Neige
Dianeige

4 janvier 2023



CONTEXTE DE L'ETUDE

1 – CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

2 – L'OUTIL CLIMSNOW

3 – L'ETUDE « CCHMV »

Les territoires de montagne n'échappent pas à l'**évolution climatique** qui influe directement sur la durabilité de l'enneigement.

Il importe d'en mesurer rigoureusement les valeurs afin d'en tirer les conséquences et d'**adapter les stratégies touristiques** des territoires et des stations.

- Quel sera à court et long terme le poids des activités liées directement à la neige dans les économies des massifs montagneux ?
- Quelles orientations pour l'évolution des produits touristiques ?
- Quel sera le prix du confortement des activités 'neige' ? Sur quel périmètre ?
- Comment aborder des périodes de transition ?

Autant de questions qui se posent, certes à des degrés divers, à l'ensemble des espaces valléens dont les économies et la vie sociale sont du ressort de l'enneigement, qu'il soit naturel ou de culture.

Le **consortium Météo-France/Dianeige/Inrae** allie les performances de la recherche scientifique appliquée et les expertises de l'ingénierie touristique spécialisée sur les stations de montagne.

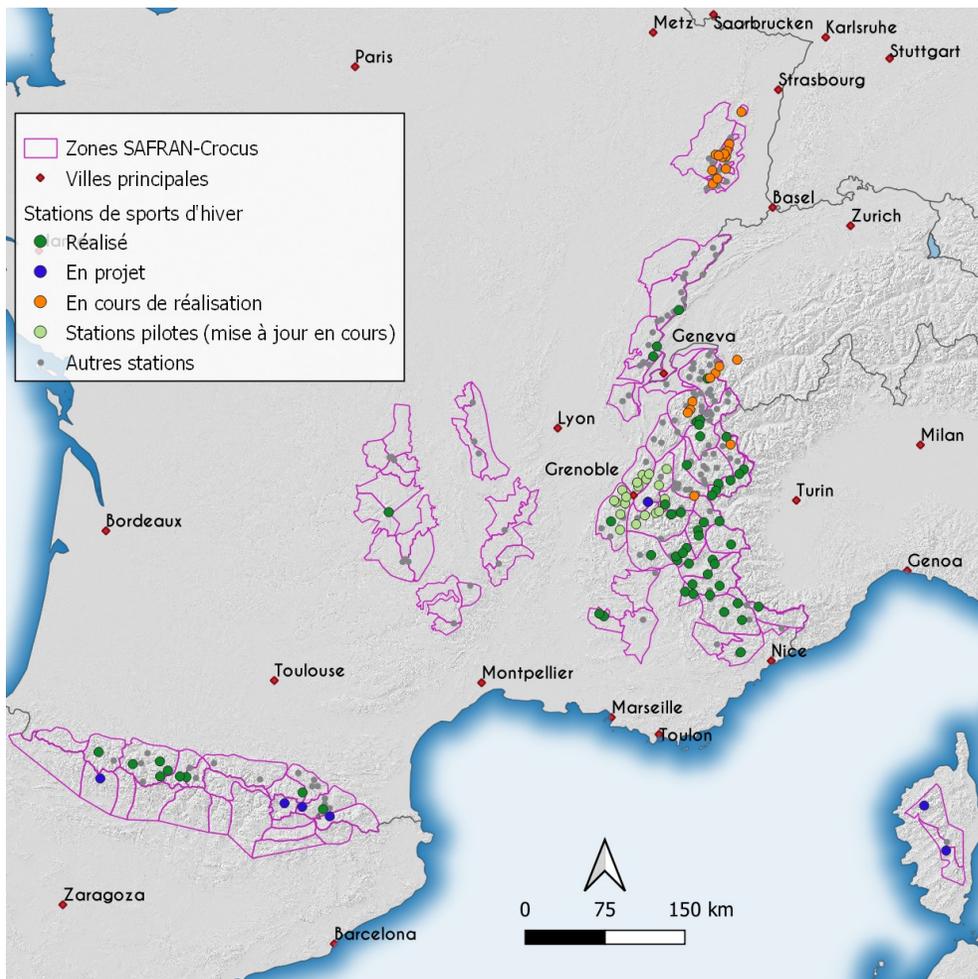
La méthodologie développée par ce consortium (service **ClimSnow**) permet :

- d'octroyer des résultats sur les conditions météorologiques et l'enneigement des stations de ski à diverses échéances du 21ème siècle,
- d'identifier l'impact des techniques de gestion de la neige (damage, production de neige de culture),
- d'analyser les conséquences de ces changements sur les choix stratégiques et les investissements futurs, afin de guider la stratégie de développement de l'offre touristique des stations de ski.

Bénéfices pour les clients :

- accompagnement à la **diversification des activités touristiques**,
- appui aux **dossiers d'aménagement**,
- **fédération** des acteurs locaux

Le principal résultat de l'approche ClimSnow est de quantifier, à diverses échéances, la **fiabilité de l'enneigement** (neige naturelle damée, avec/sans neige de culture), sa variabilité et la capacité de chacune des stations à maintenir son exploitation selon quels efforts, selon quelles modalités et ce, à différentes échéances.



135 stations françaises étudiées ou en cours d'étude

ClimSnow cité dans le dossier de presse du Plan Avenir Montagne (Mai 2021, pag. 14)

Exemple d'intervention : Afin d'éclairer les acteurs locaux sur les perspectives d'enneigement et leur permettre des choix d'investissement éclairés, Avenir Montagnes Ingénierie cofinancera la réalisation de diagnostics (Dianeige Météo France INRAE) permettant de quantifier à diverses échéances la fiabilité et la variabilité de l'enneigement. La station de Métabief dans le Jura a ainsi pu sur la base d'un diagnostic cartographié de son domaine skiable adapter ses projets en faveur d'un développement touristique tenant compte du changement climatique.



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
AUSOIS
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
BESSANS
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
BONNEVAL
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
LA NORMA
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
VAL CENIS
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022



ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE :
VALFREJUS
Méthodologie et terminologie
Fiche station



16 septembre 2022

- 6 stations

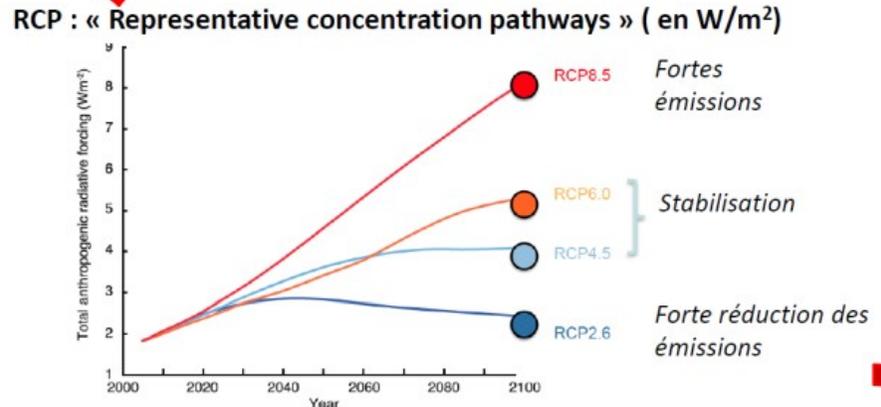
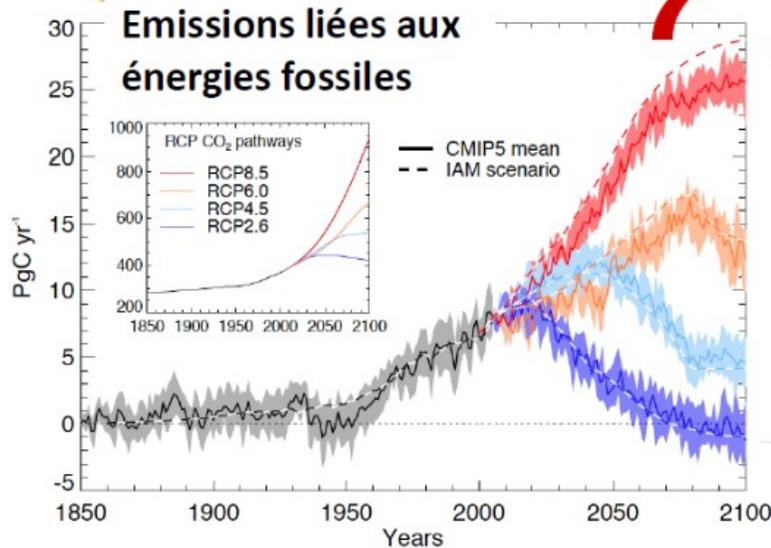
- Finalisation – Septembre 2022

OUTILS ET METHODES

4 – TERMINOLOGIE ET METHODOLOGIE

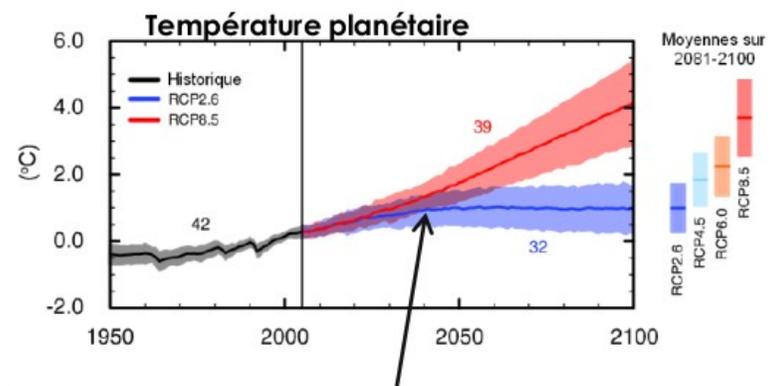


Les projections climatiques dépendent des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP)



- Scénarios:
- ✓ RCP2.6 - neutralité carbone à partir de 2050
 - ✓ RCP4.5 - baisse des émissions à partir de 2050
 - ✓ RCP8.5 - poursuite de fortes émissions de GES

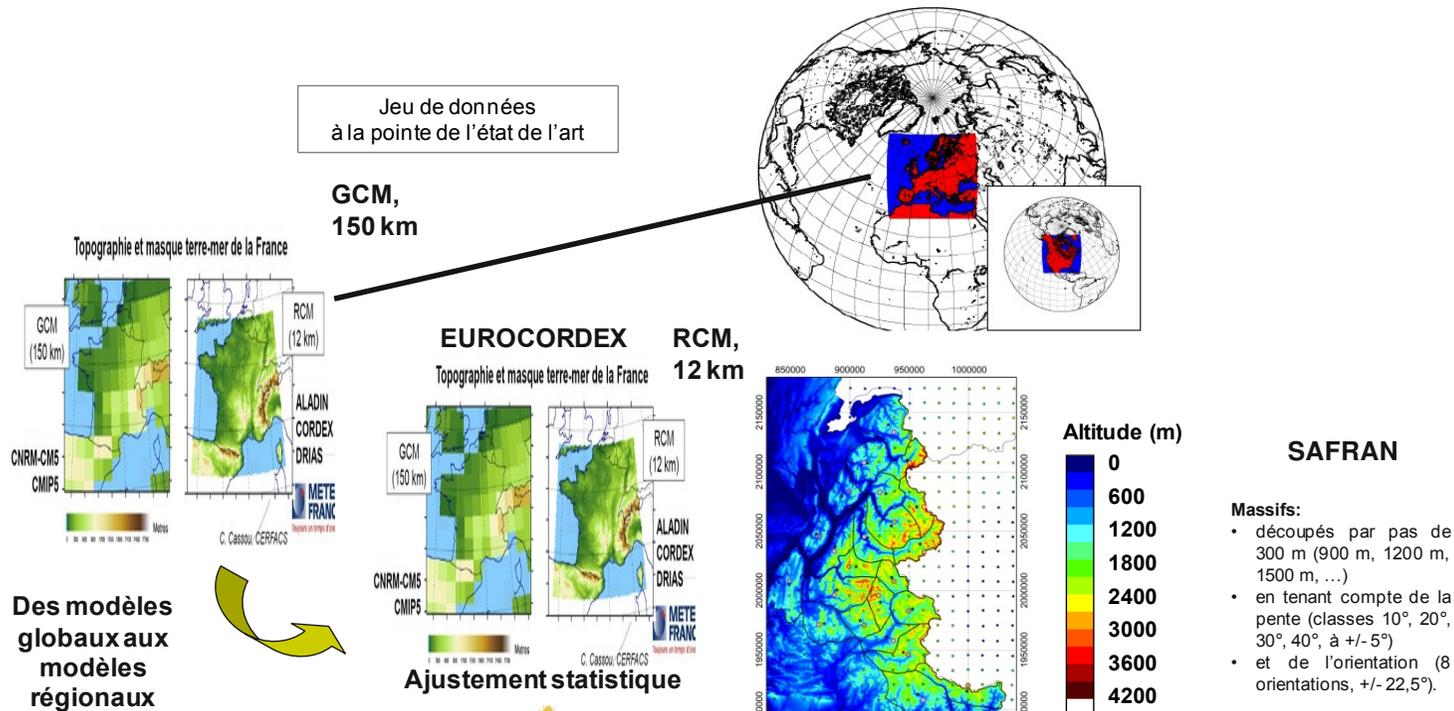
NOTE 1: dans les analyses, on se focalise surtout sur le **RCP8.5**, car ce scénario, bien qu'improbable, reste tout à fait possible et permet de définir une référence « pessimiste » qui minimise le risque dans la prise de décision.



NOTE 2: jusqu'à 2040-2050, faibles différences entre les scénarios en termes d'impact sur l'évolution des températures (à cause de l'inertie du système).

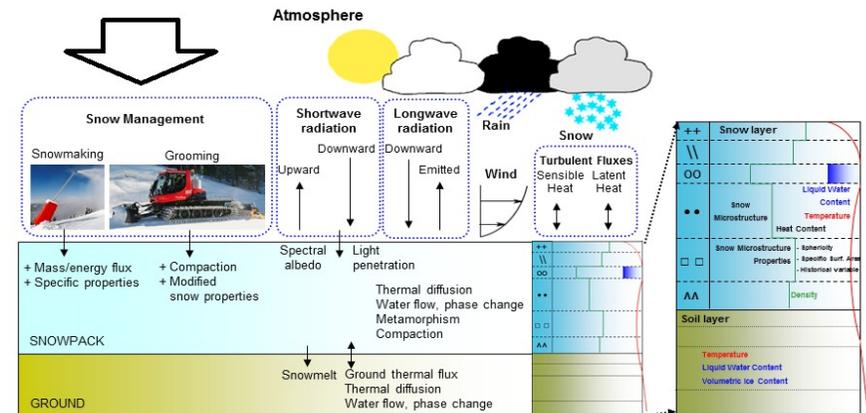
Projections climatiques, avec méthode de descente d'échelle adaptée aux zones de montagne françaises

La chaîne de modélisation de CLIMSNOW se sert des observations nivo-météorologiques et du réseau de mesures de Météo-France pour fournir un état historique, à partir duquel l'évolution future est calculée, en exploitant les dernières projections climatiques du GIEC, pour permettre d'estimer les évolutions nivo-météorologiques à différentes échéances.



Modélisation de l'enneigement

Pour la modélisation de la neige, CLIMSNOW se sert de la dernière version du modèle Crocus-Resort, développé par Météo-France, permettant de simuler l'évolution de la neige naturelle, les effets du damage (compactage et fraisage) et la production de neige de culture (en fonction de la période de la saison, du type d'enneigreur, de la température humide, de la vitesse du vent et de l'objectif de production).



Masse volumique de la neige de culture produite: 600 kg m^{-3}

Schéma de production de neige:

- À partir du 1er novembre, sous contrainte des seuils de vent et de température humide différents, sans limite sur la disponibilité de la ressource en eau et avec des objectifs de production différents en fonction des périodes. Entre le 1/11 et le 15/12 : constitution d'une sous-couche avec une phase de production correspondant à 150 kg m^{-2} d'eau convertie en neige de culture, soit 15 cm de neige de culture à 600 kg m^{-3} en tenant compte de 40% de pertes d'eau.
- Entre le 15/12 et le 31/03 la production dès lors que l'épaisseur de neige devient inférieure à 60 cm, et ce jusqu'au 31/03.
- A partir du 31/03: plus de production.

Seuil de vitesse du vent pour la production: 4,2 m/s (environ 15 km/h)

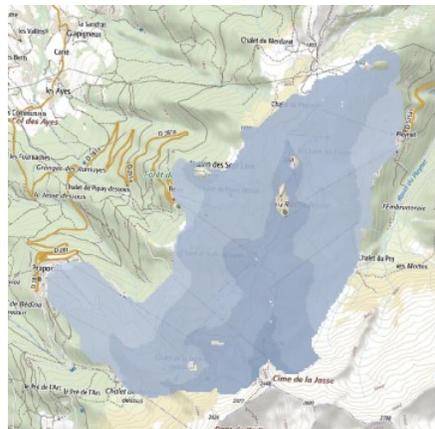
Seuil de température humide: inférieur ou égal -2°C pour les mono-fluides et -6°C pour les bi-fluides



Représentation des domaines skiables

Représentation spatiale des stations par pas de 300 m (900 m, 1200 m, 1500 m etc.), en tenant compte de la pente (classes 10°, 20°, 30°, 40°, à +/- 5°) et de l'orientation (8 orientations, +/- 22,5°).

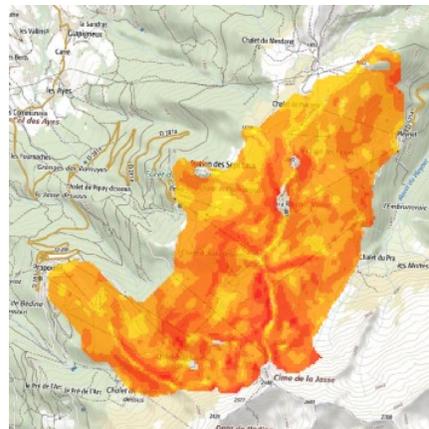
Altitudes



Plages d'altitude

- 1200 masl
- 1500 masl
- 1800 masl
- 2100 masl
- 2400 masl

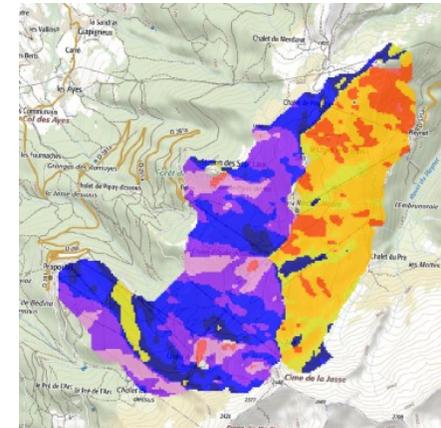
Pentes



Pentes

- Moins de 5°
- 5-15°
- 15-25°
- 25-35°
- 35-45°
- Plus de 45°

Orientations



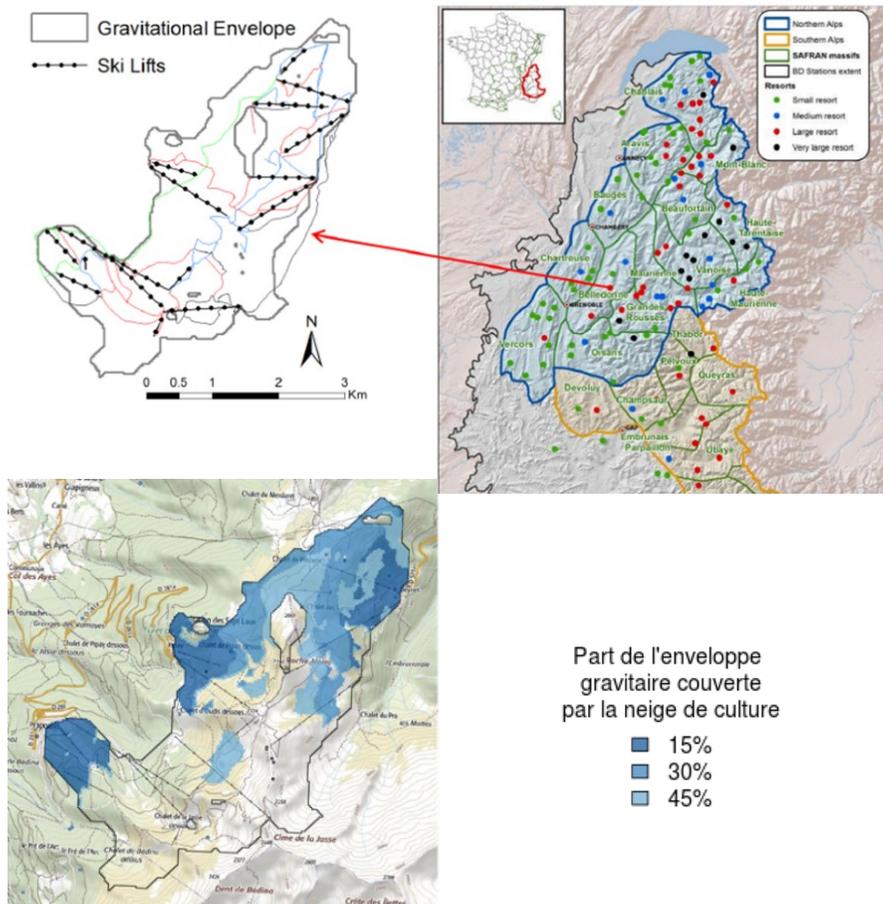
Orientations

- Nord
- Nord-Est
- Est
- Sud-Est
- Sud
- Sud-Ouest
- Ouest
- Nord-Ouest



Représentation des domaines skiables

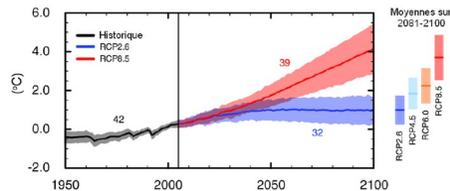
Prise en compte des données cartographiques des stations, incluant le récolement des remontées mécaniques, les tracés de pistes et le réseau de neige de culture.



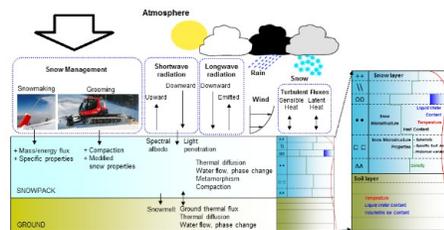
- Collecte de données auprès des opérateurs (récolement des remontées mécaniques, tracés de pistes et de neige de culture, unités de stockage d'eau)
- Modélisation des enveloppes gravitaires (ensemble des points accessibles depuis le sommet des remontées mécaniques permettant de rejoindre le pied d'un appareil dans la même station)
- Modélisation explicite de la couverture en neige de culture



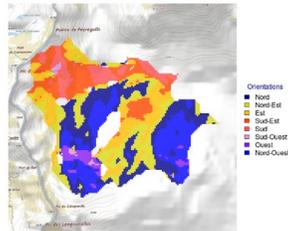
Scénarios climatiques « zoomés »



Modélisation de la neige (naturelle et gérée)



Représentation de la topographie



Prise en compte des caractéristiques locales (emplacement des enneigeurs, dialogue technique)



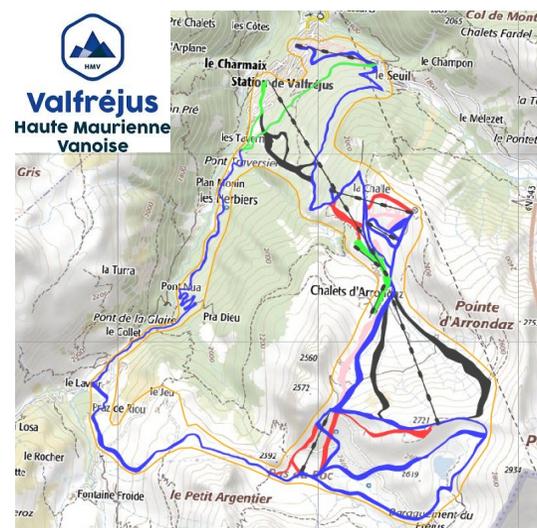
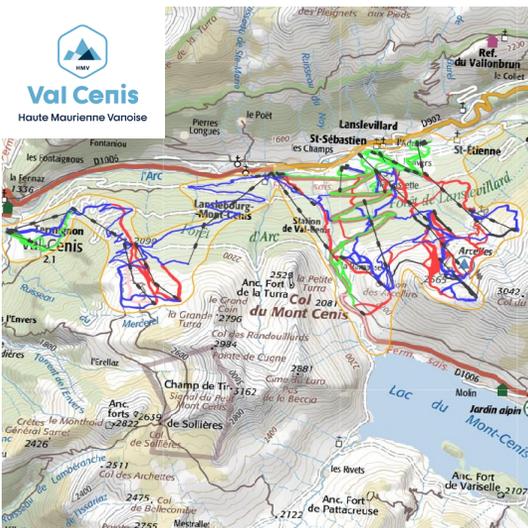
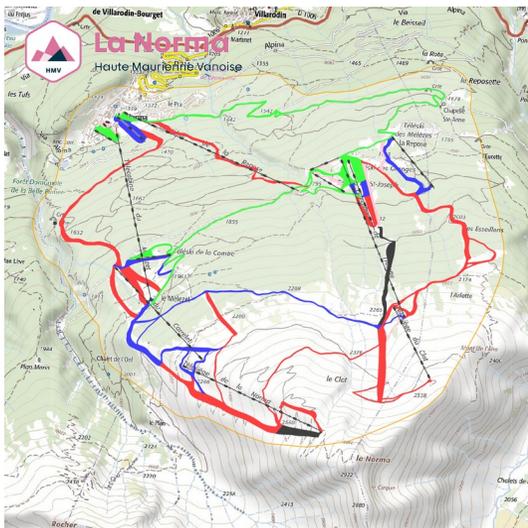
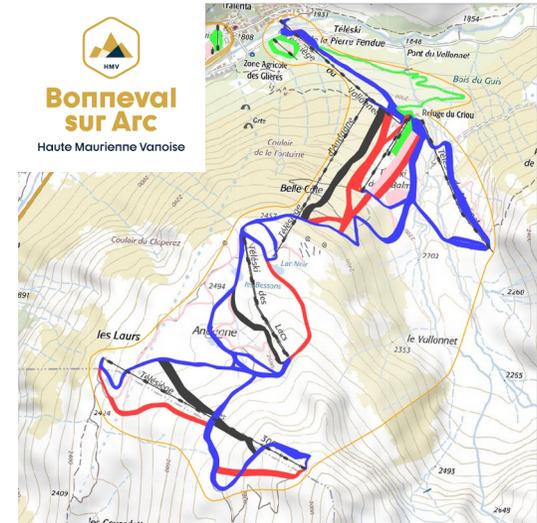
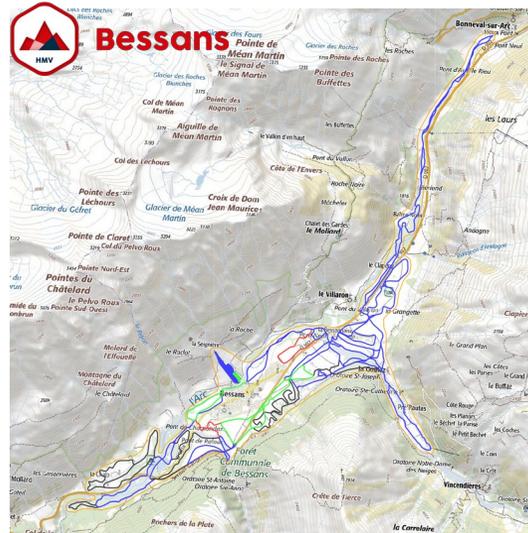
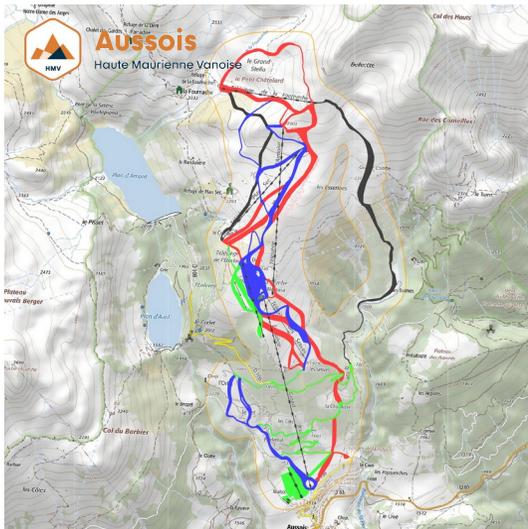
Traitement statistique de l'indice de fiabilité de l'enneigement. Focus sur la fréquence de retour des années « délicates » (Q20) plutôt que la moyenne multi-annuelle

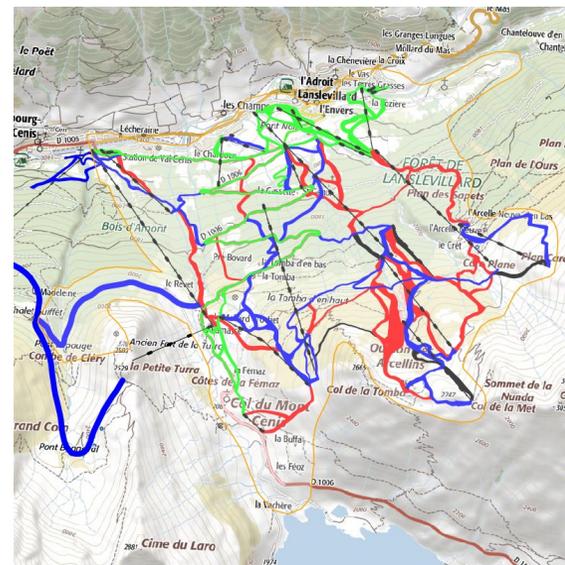
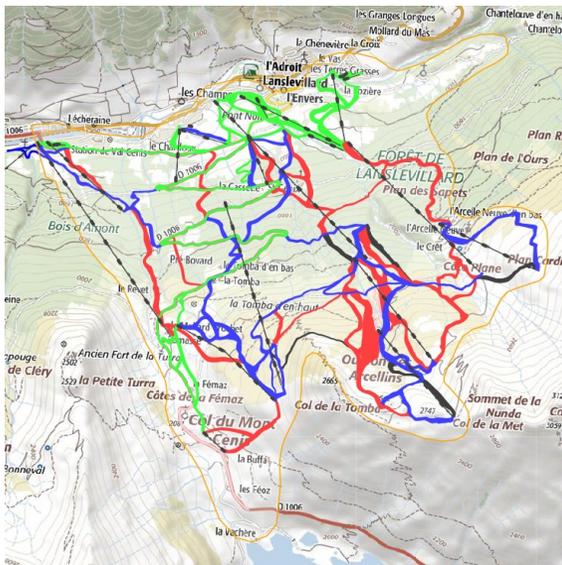
RESULTATS

5 – LA COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES

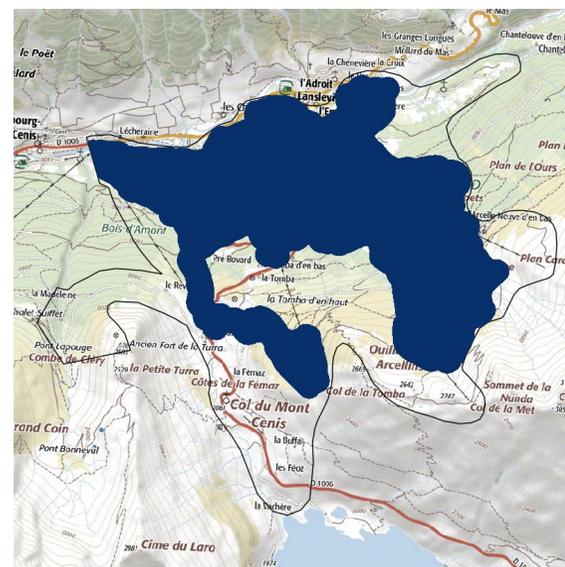
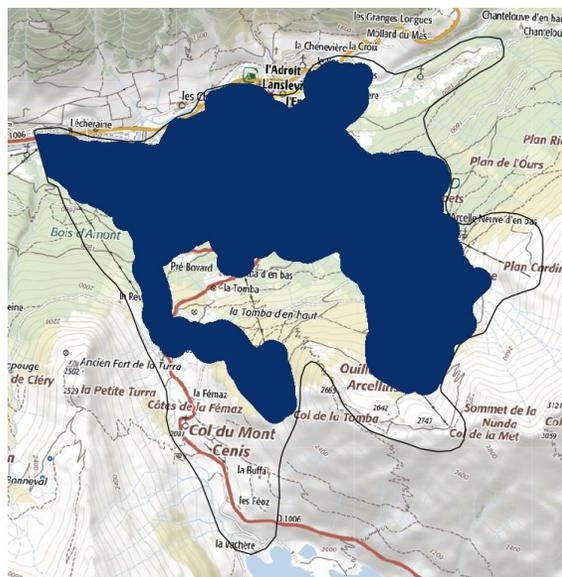
6 – LES INDICATEURS CLIMATIQUES

7 – LES DUREES D'ENNEIGEMENT



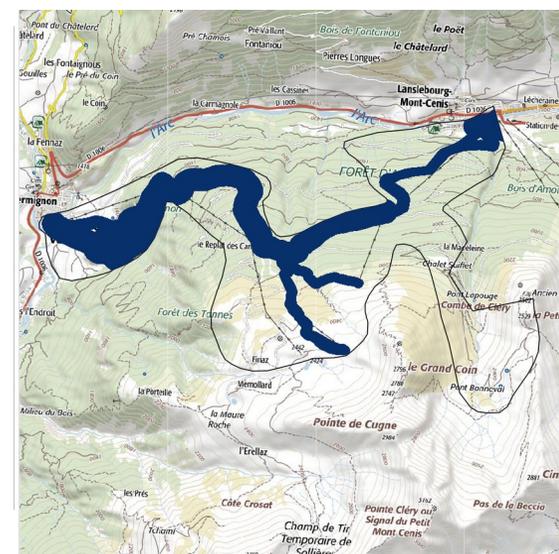
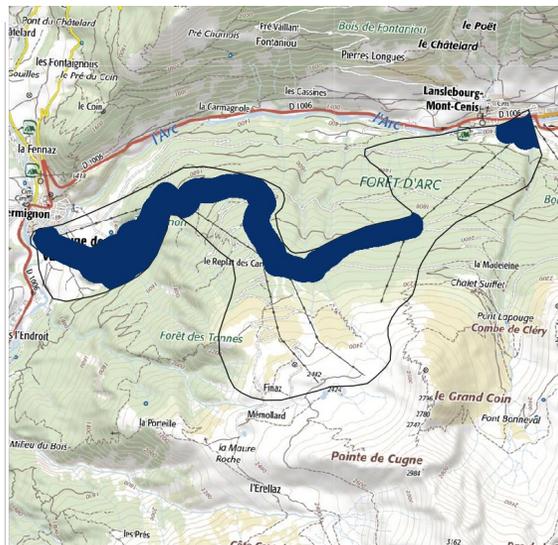
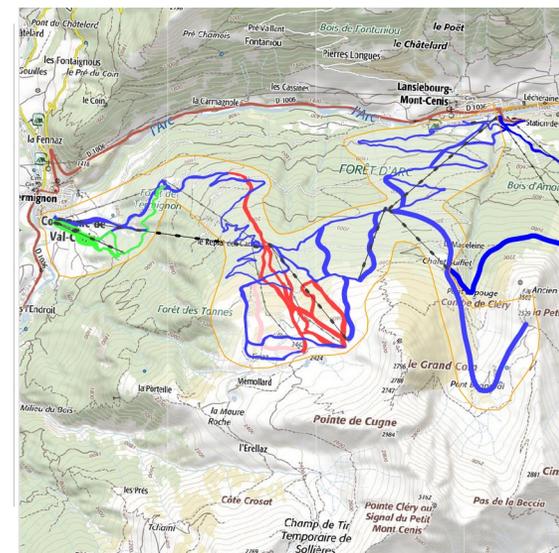
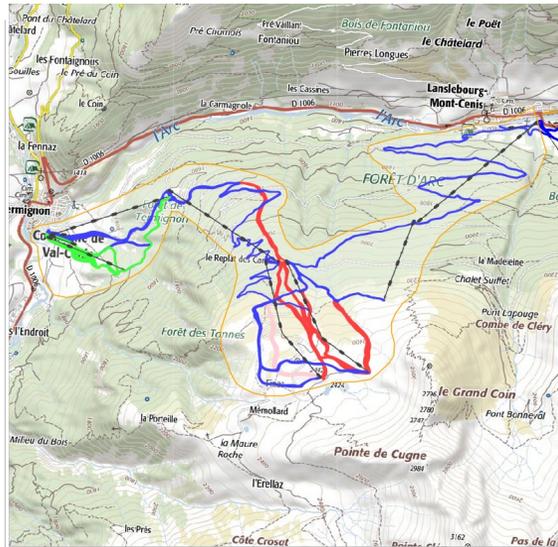


Val Cenise
Lans Le Villard



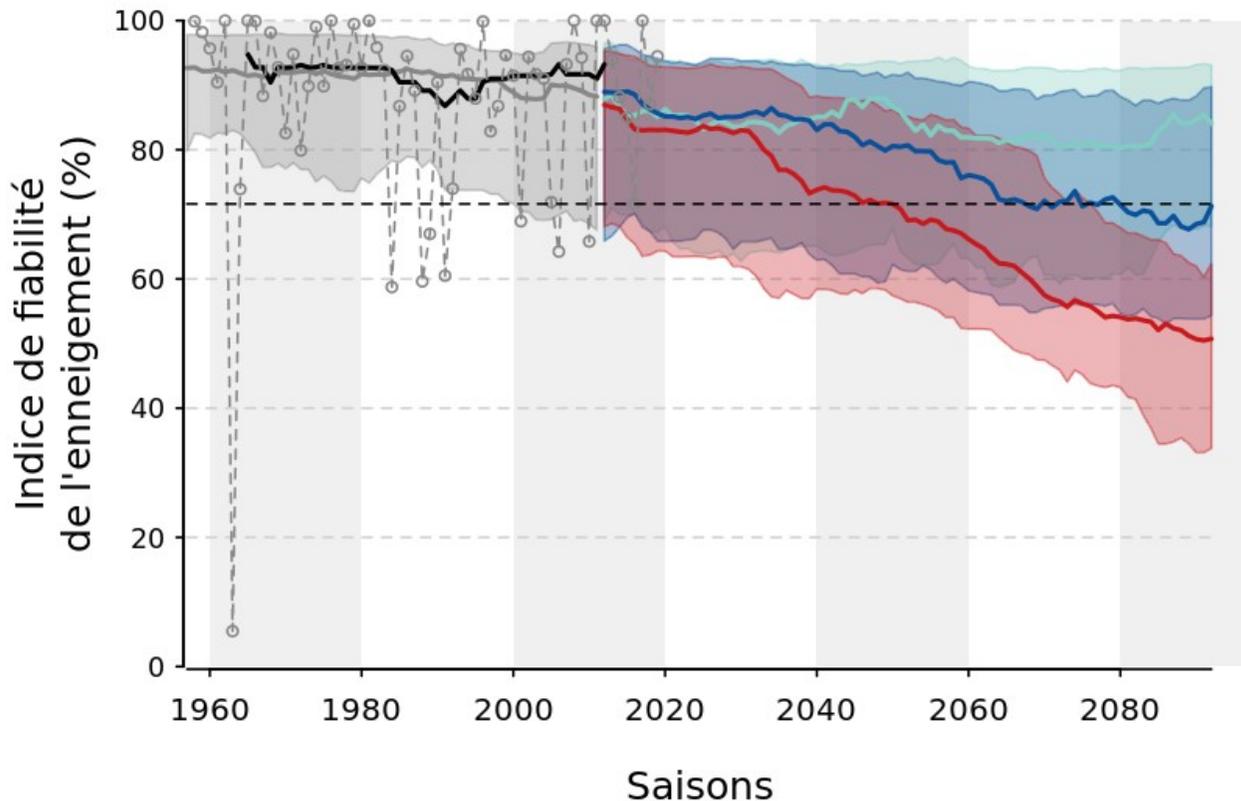


Val Cenis
Termignon





Aussois_existant : neige naturelle damée



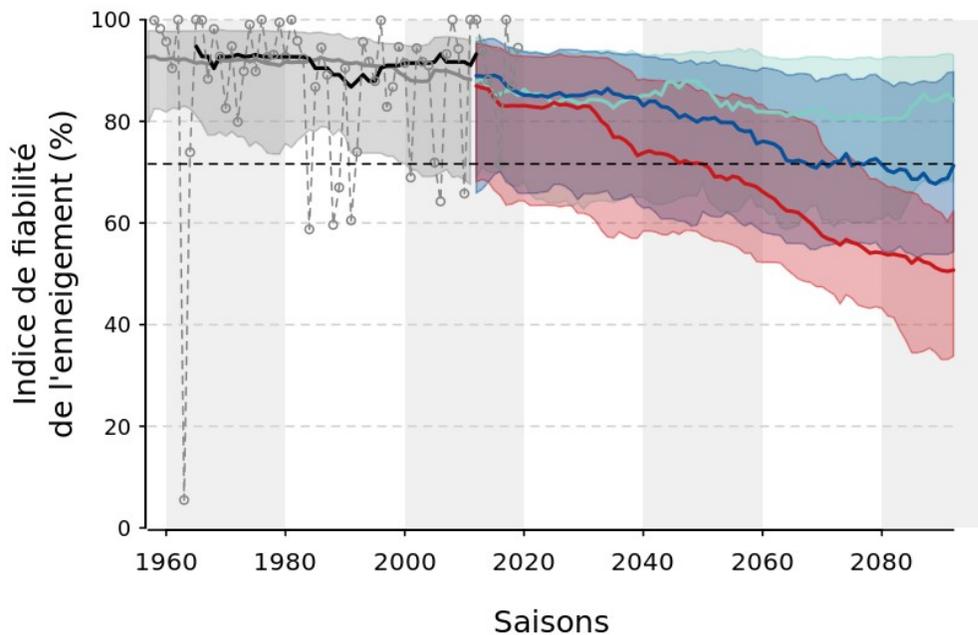
Indice de fiabilité de l'enneigement

Légende :

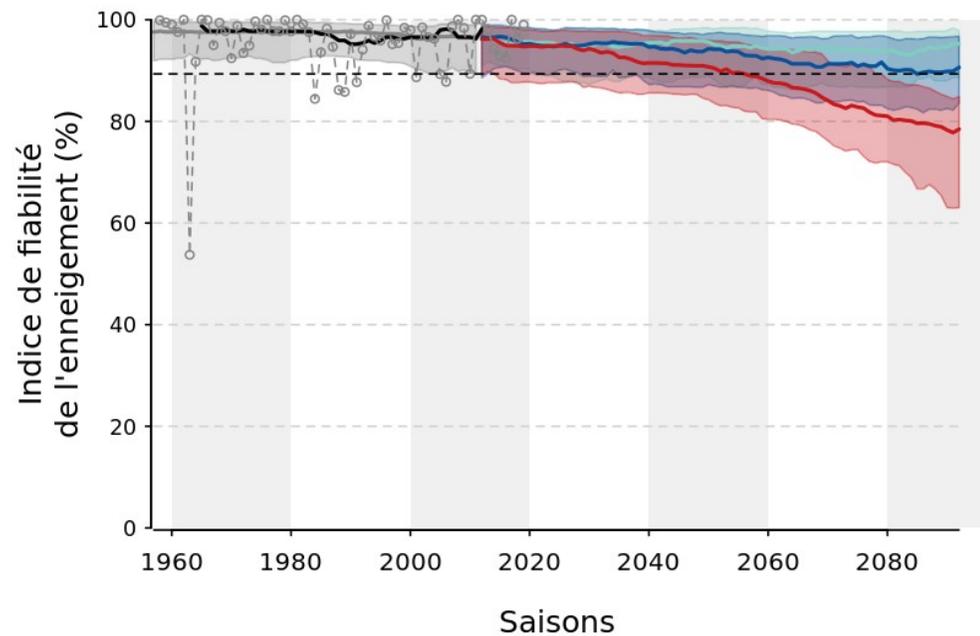
- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)



Aussois_existant : neige naturelle damée

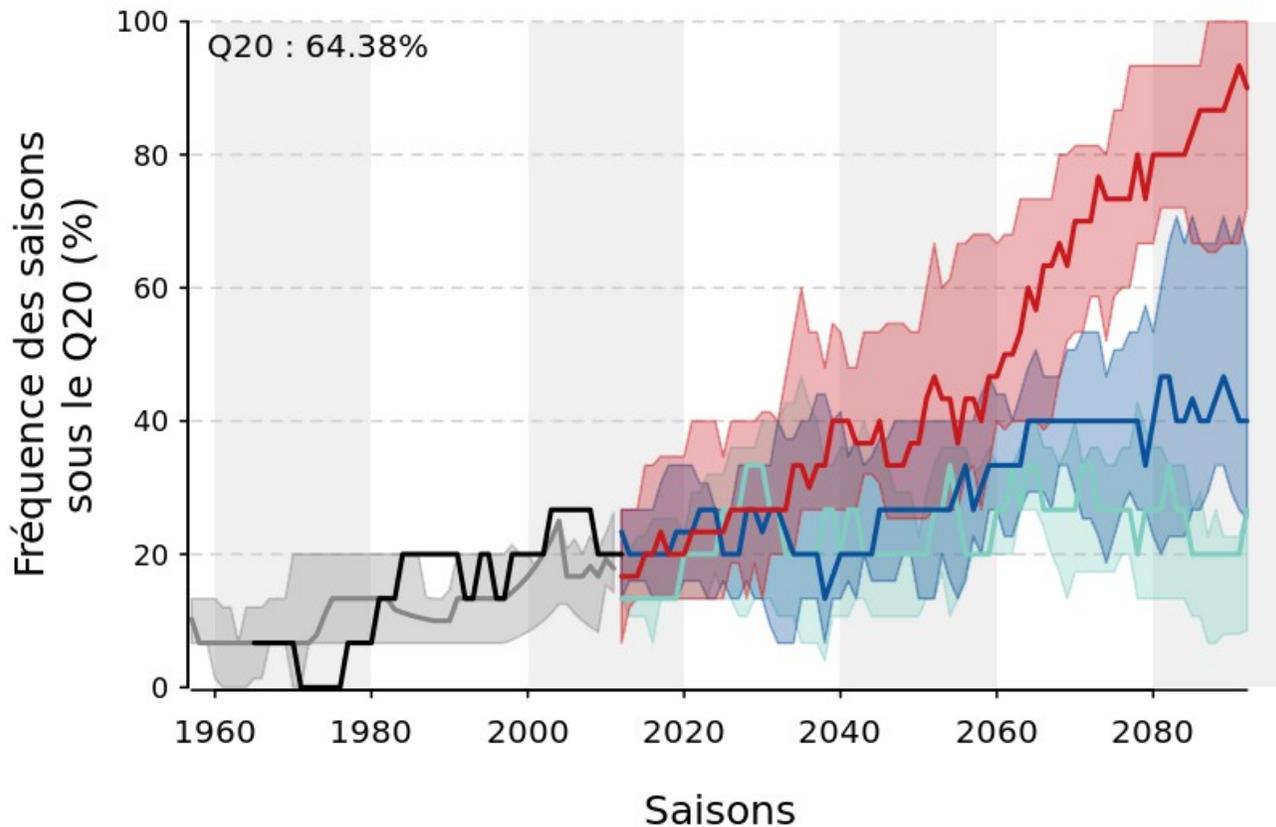


Aussois_existant : neige de culture (existant - bi-fluide)





Bessans : neige de culture (existant- bi-fluide)



Taux de retour
des saisons défavorables

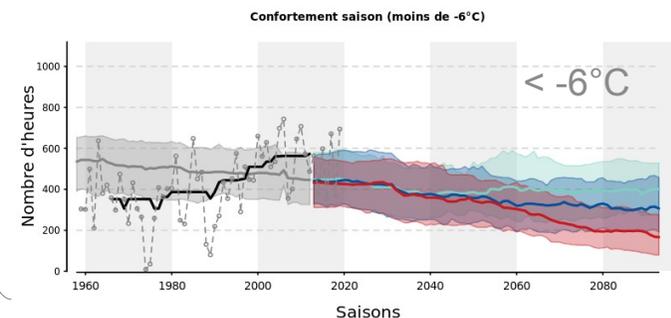
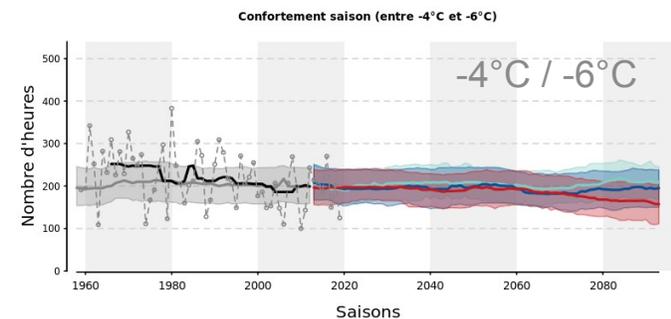
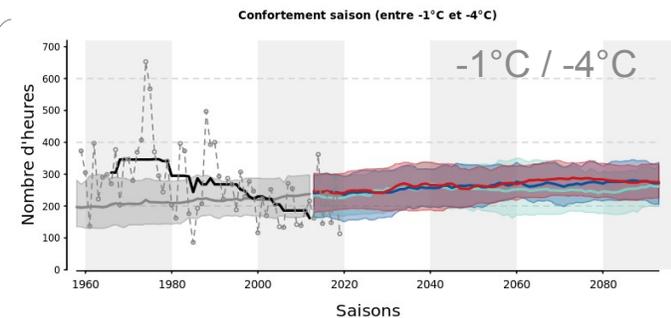
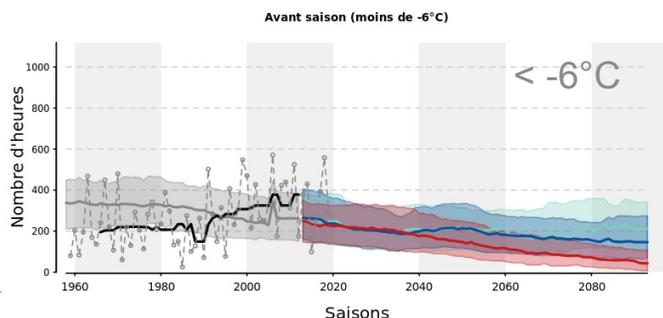
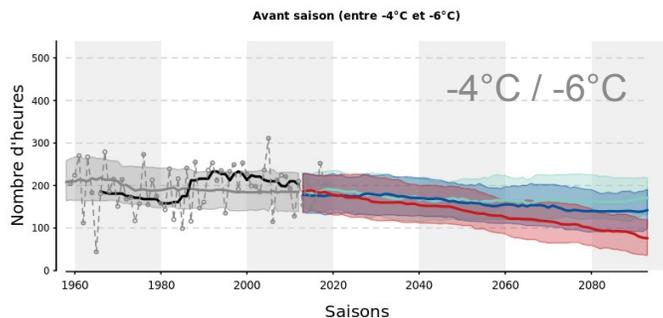
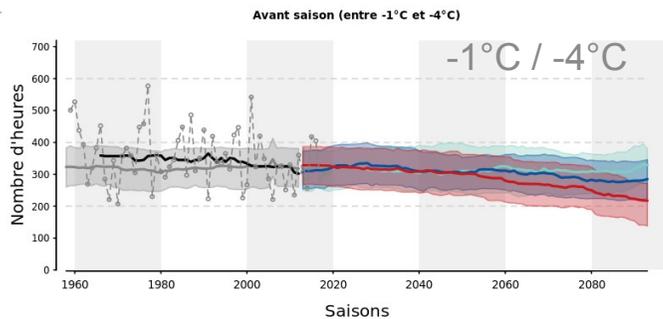
Légende :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)



01/11 - 20/12

21/12 - 31/01

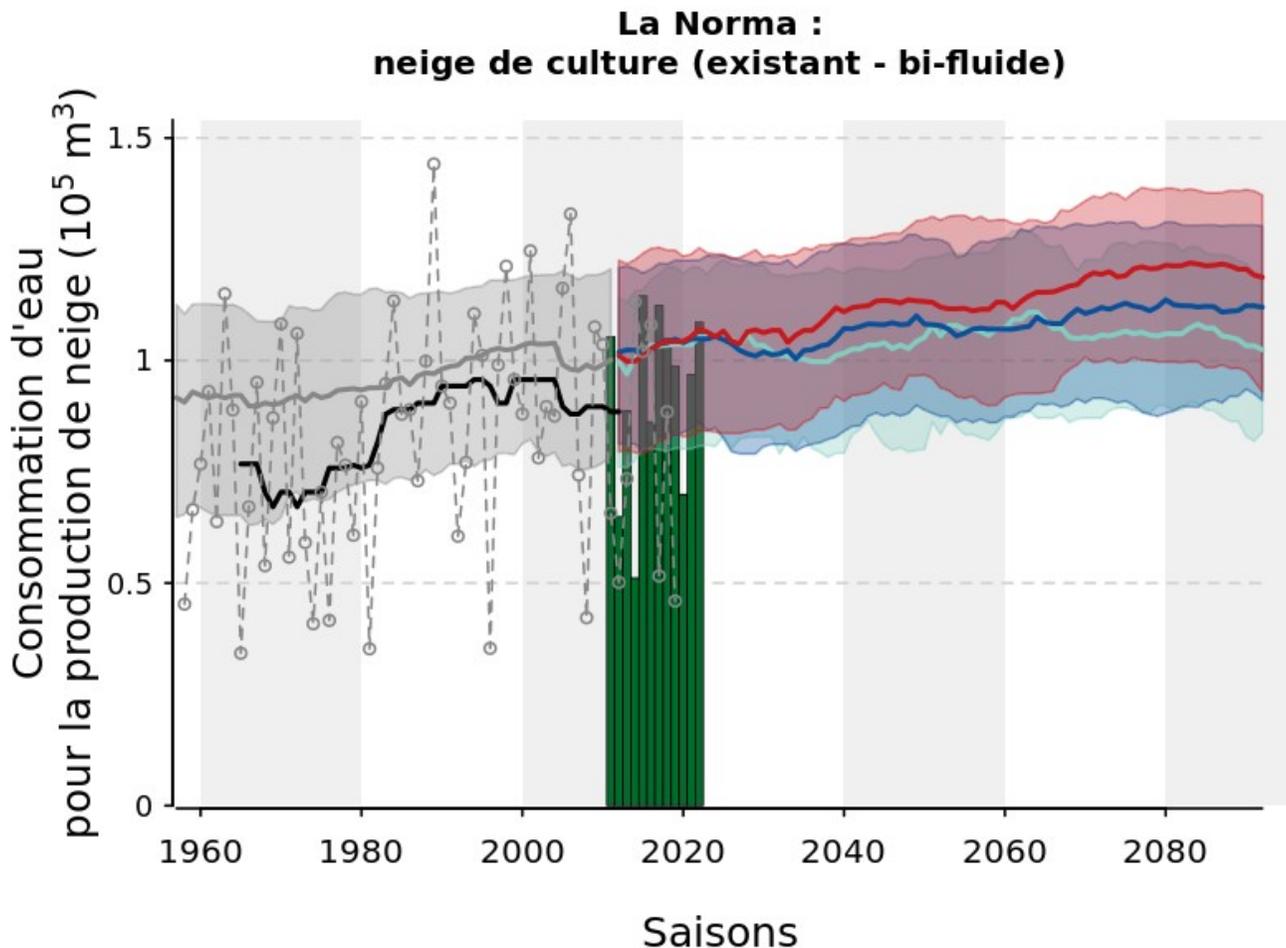


Légende :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)

Potentiel de froid pour la production de neige de culture (ici, à 1800 m)





Légende :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)

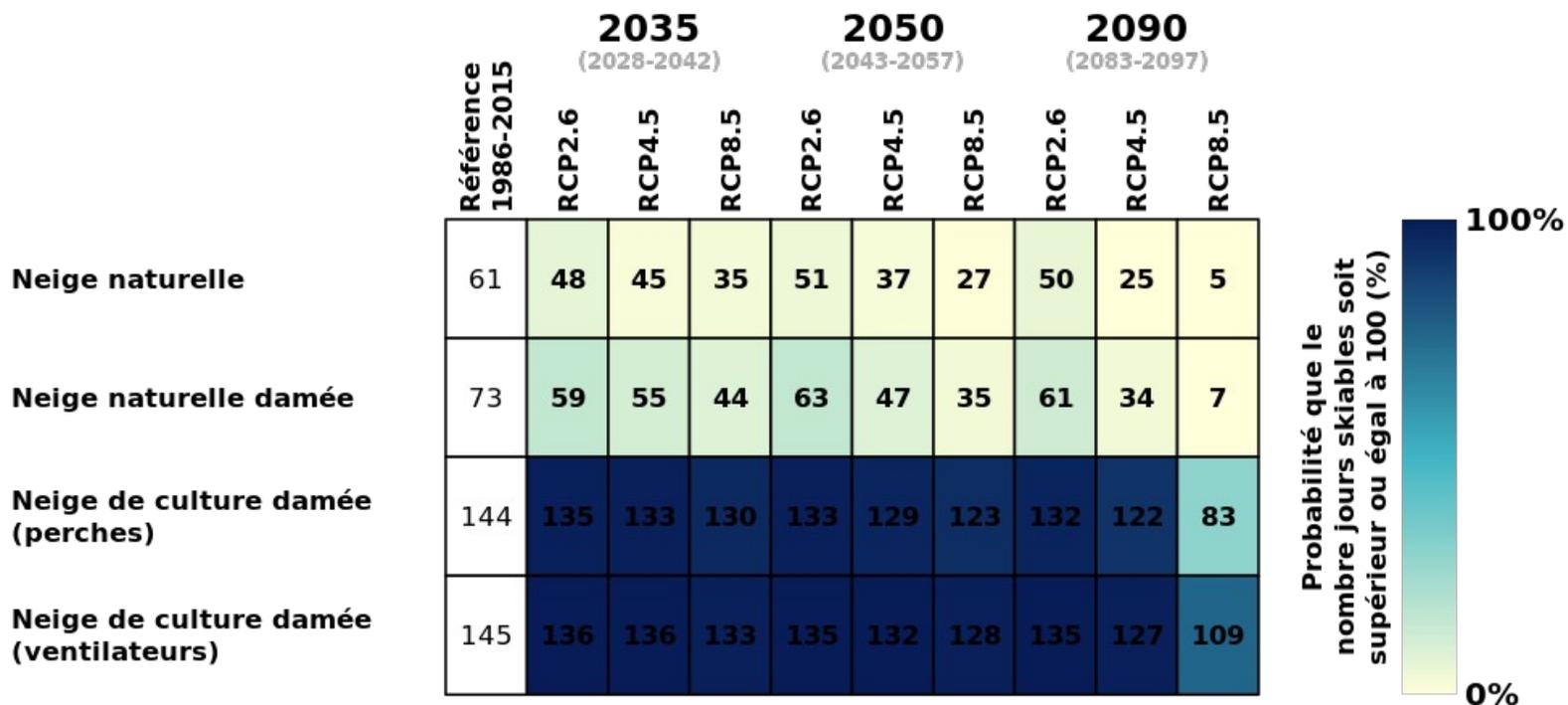
Consommations en eau
pour la neige de culture





Nombre de jours avec un enneigement suffisant pour permettre la pratique du ski

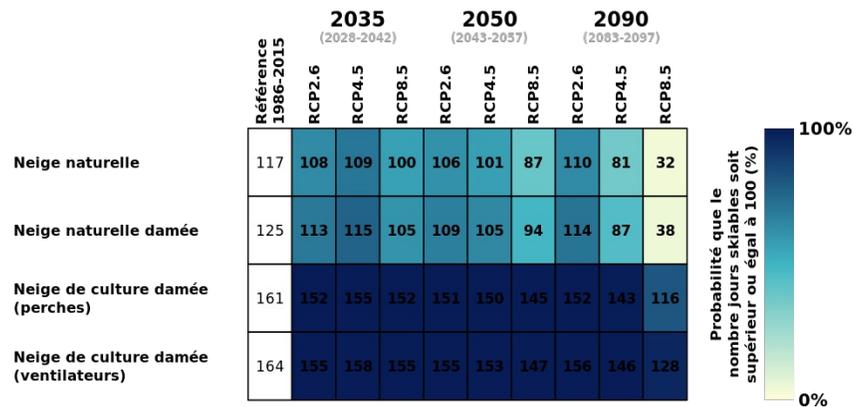
Altitude minimum (1555m)



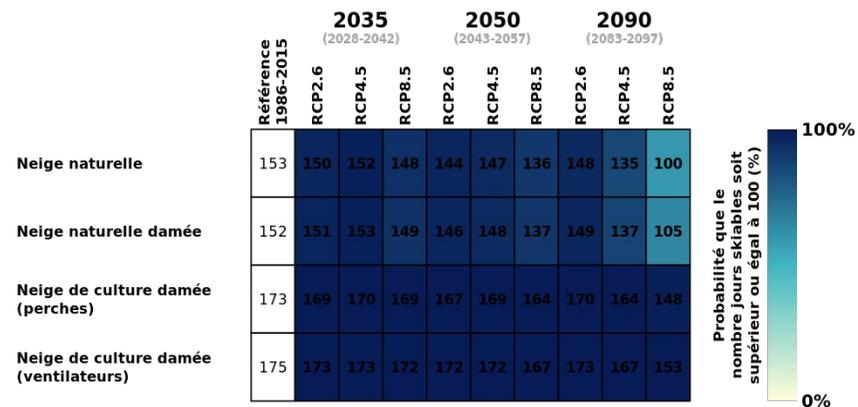


Nombre de jours avec un enneigement suffisant pour permettre la pratique du ski

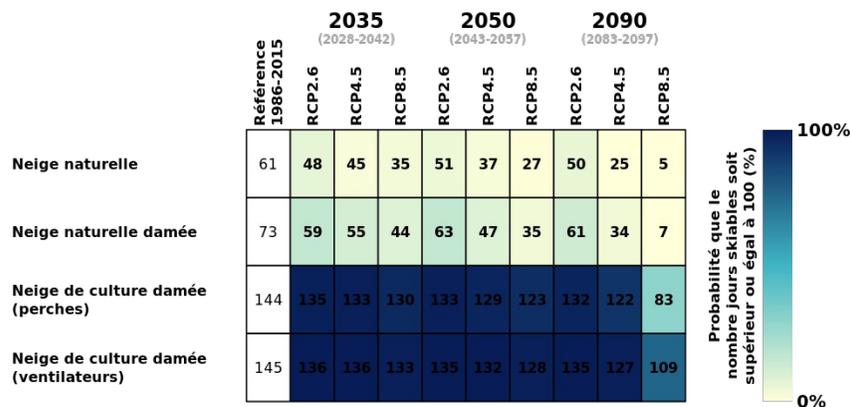
Altitude moyenne (2147m)



Altitude maximum (2719m)



Altitude minimum (1555m)





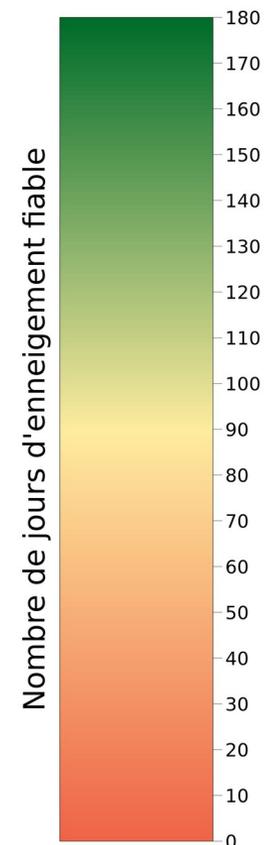
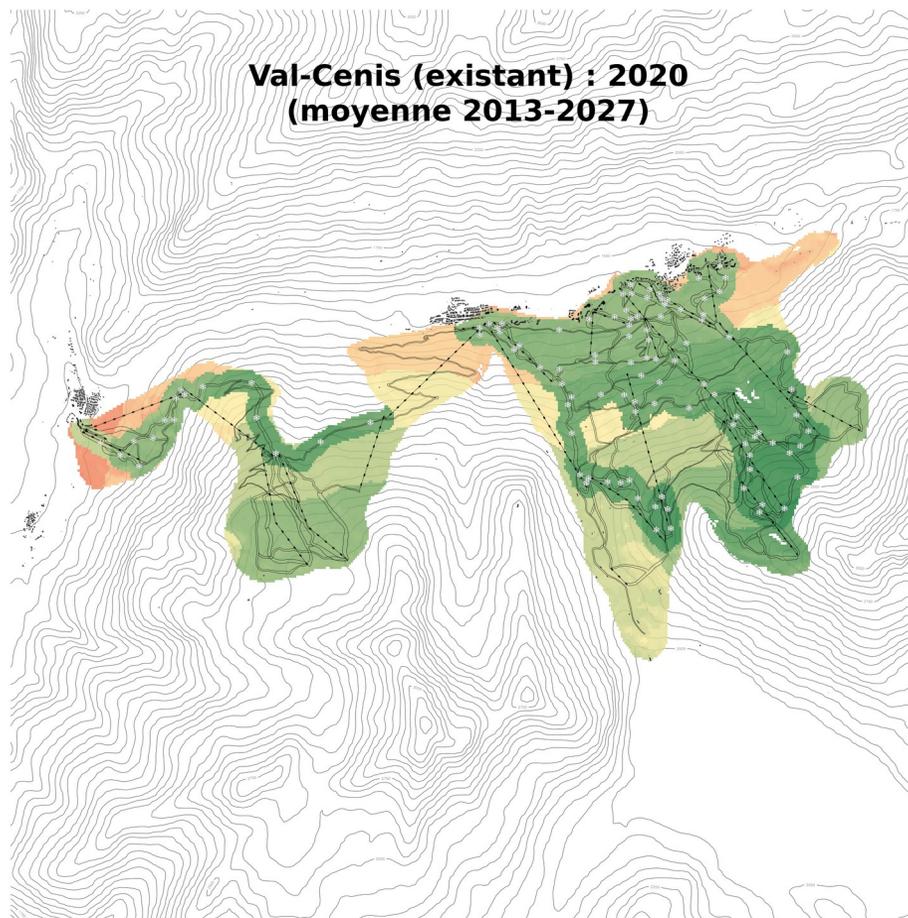
Nombre de jours avec un enneigement suffisant pour permettre la pratique du ski

Pour le scénario RCP8.5

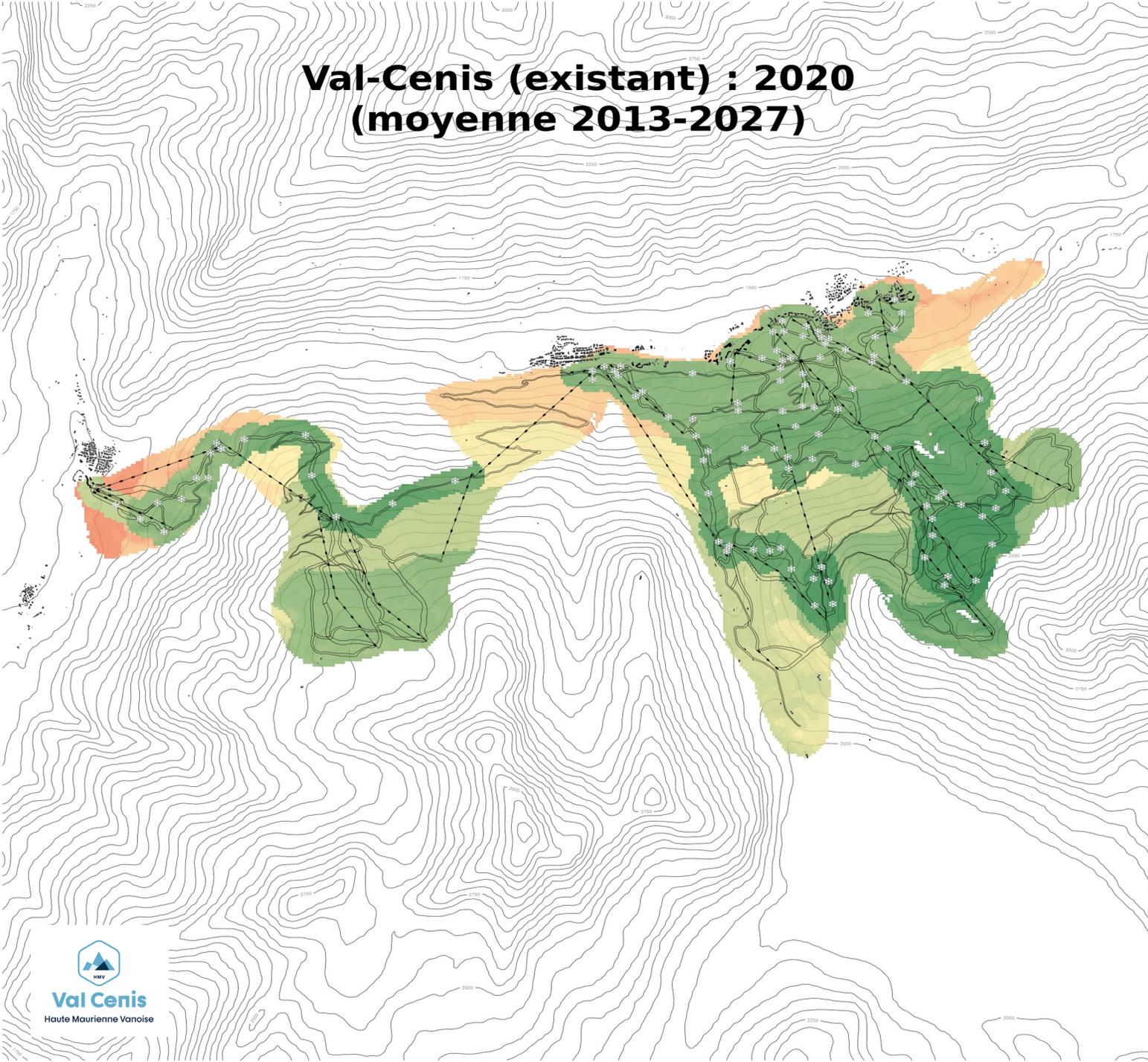
Avec prise en compte des équipements actuels (type « perches »)

En fonction :

- de l'horizon temporel considéré (2020, 2035, 2050)
- des conditions d'enneigement (saisons moyennes, saisons défavorables)



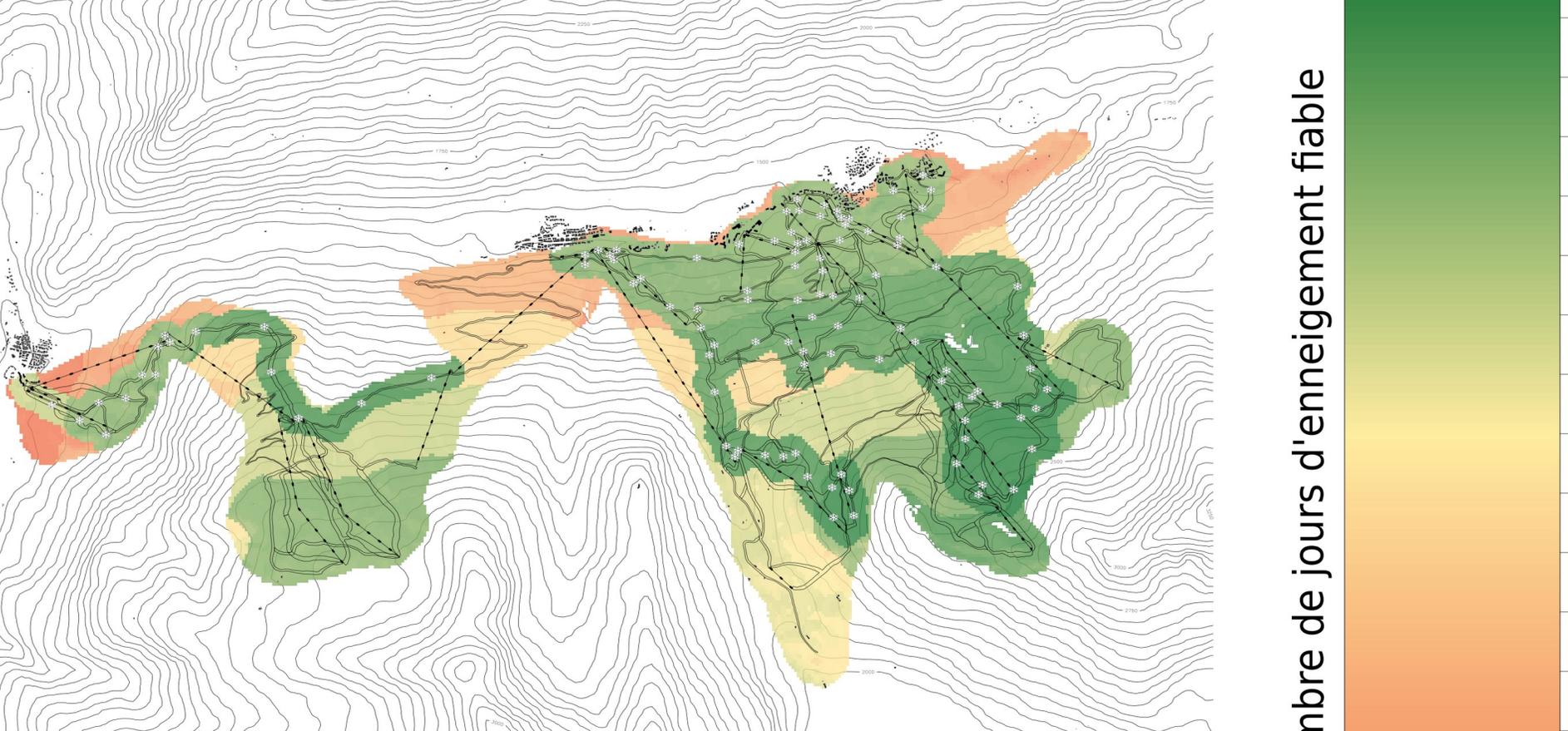
Val-Cenis (existant) : 2020 (moyenne 2013-2027)



Nombre de jours d'enneigement fiable

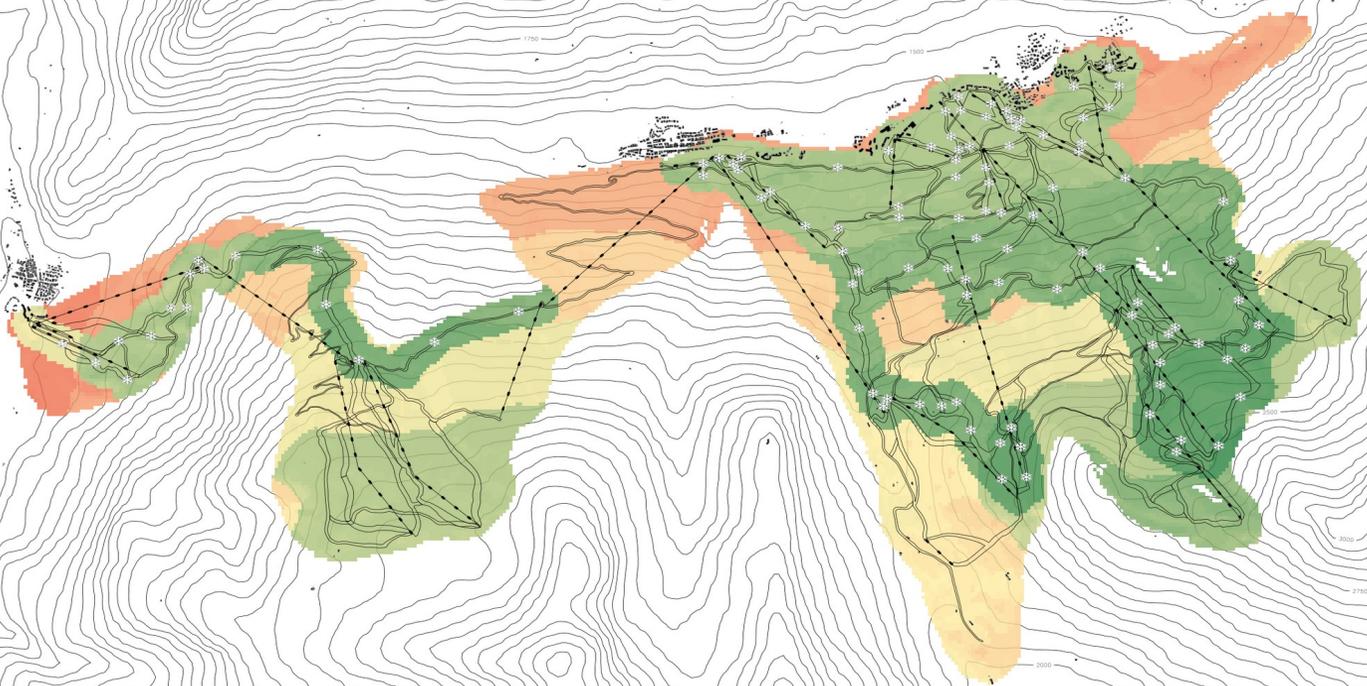


Val-Cenis (existant) : 2035 (moyenne 2028-2042)

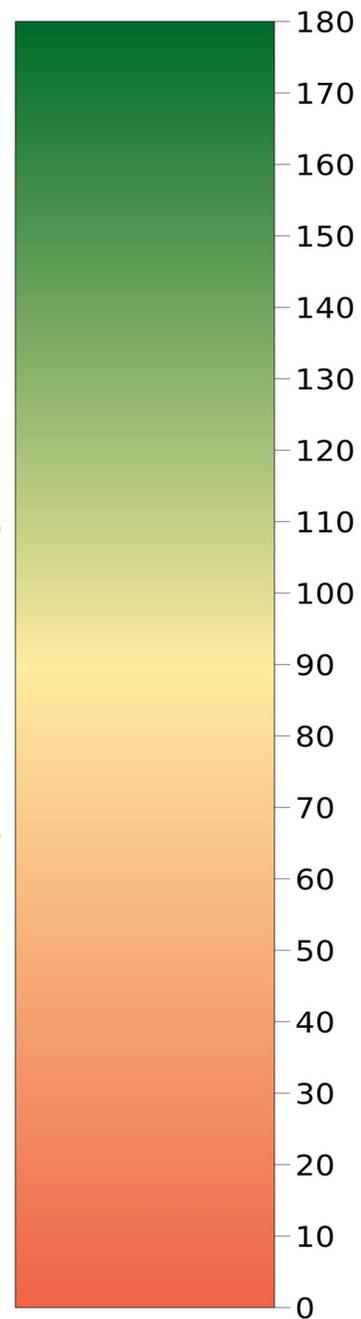


Nombre de jours d'enneigement fiable

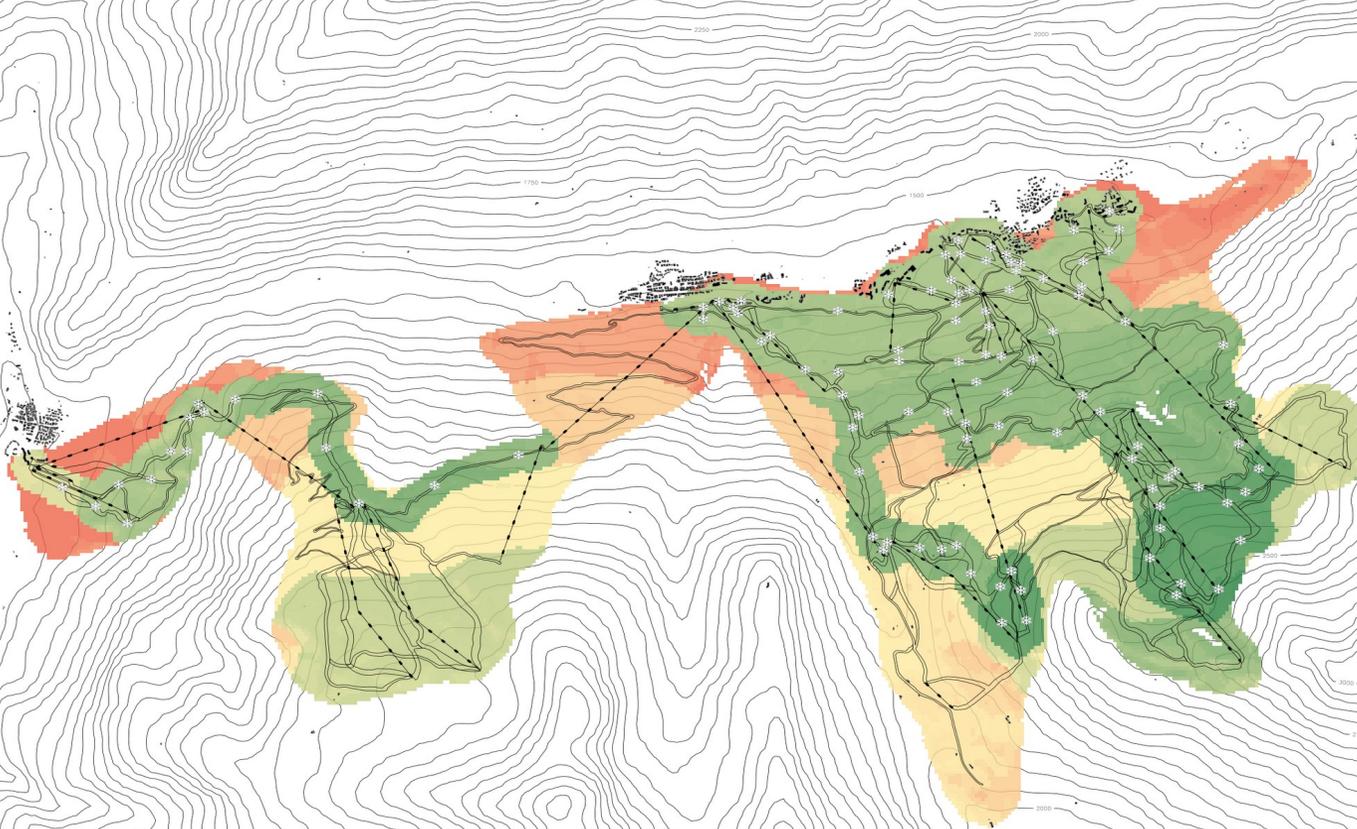
Val-Cenis (existant) : 2050 (moyenne 2043-2057)



Nombre de jours d'enneigement fiable



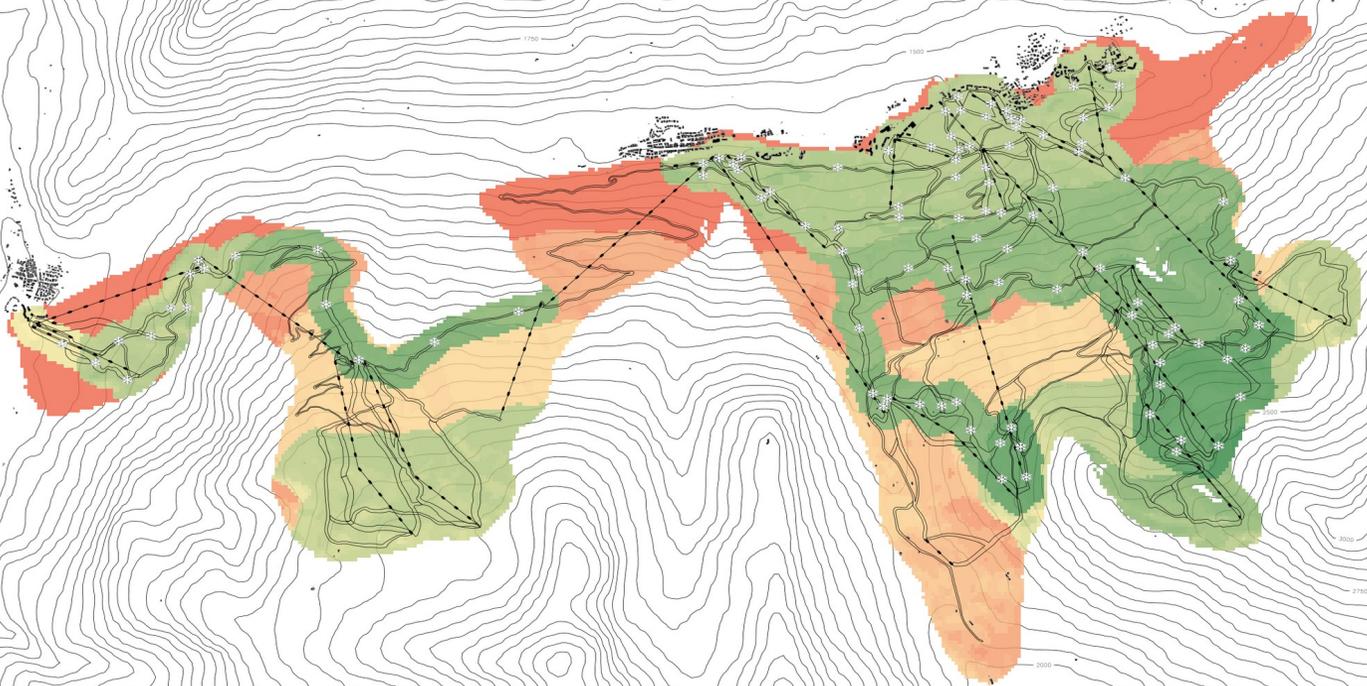
Val-Cenis (existant) : 2020 (q20 2013-2027)



Nombre de jours d'enneigement fiable

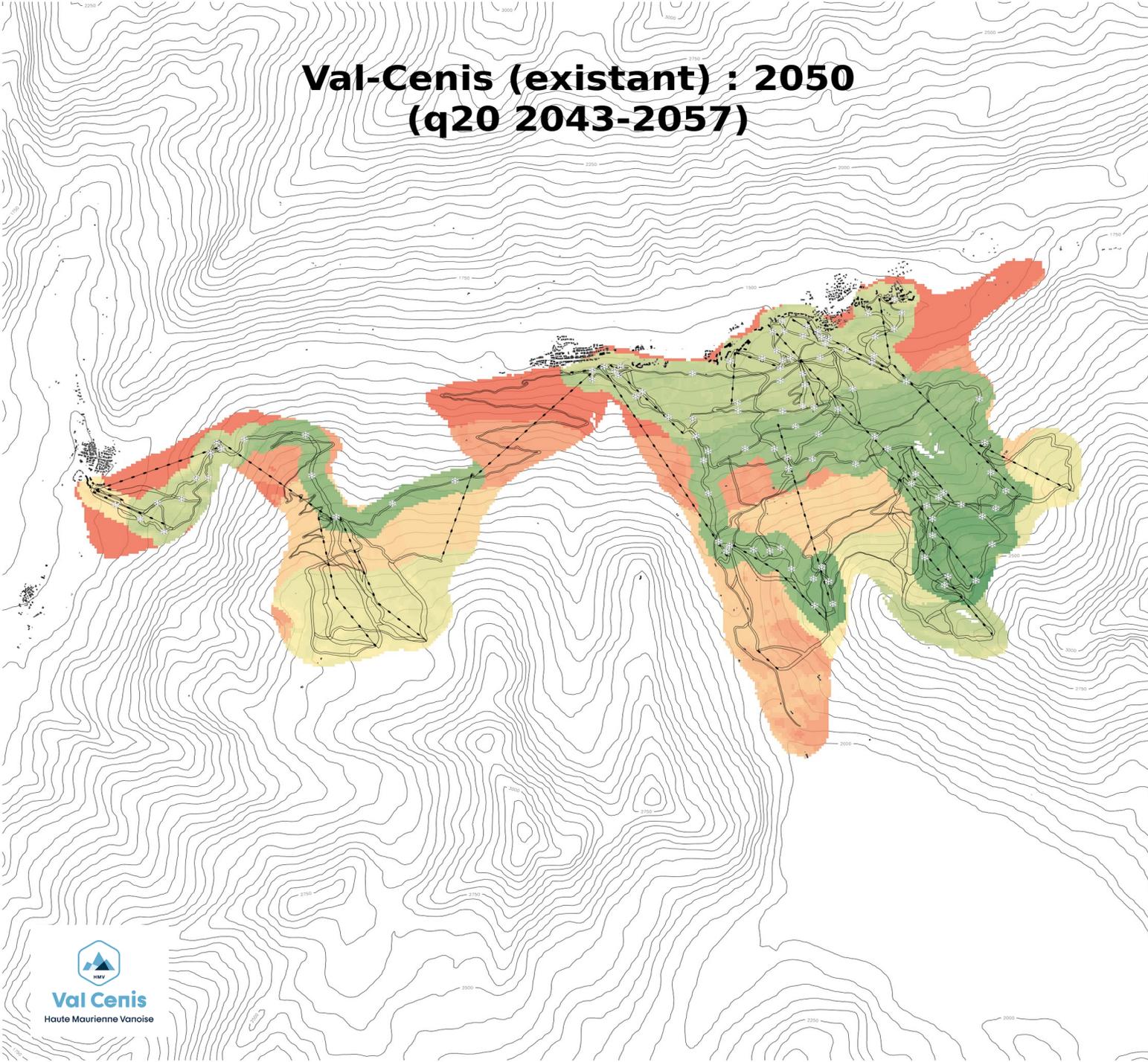


Val-Cenis (existant) : 2035 (q20 2028-2042)

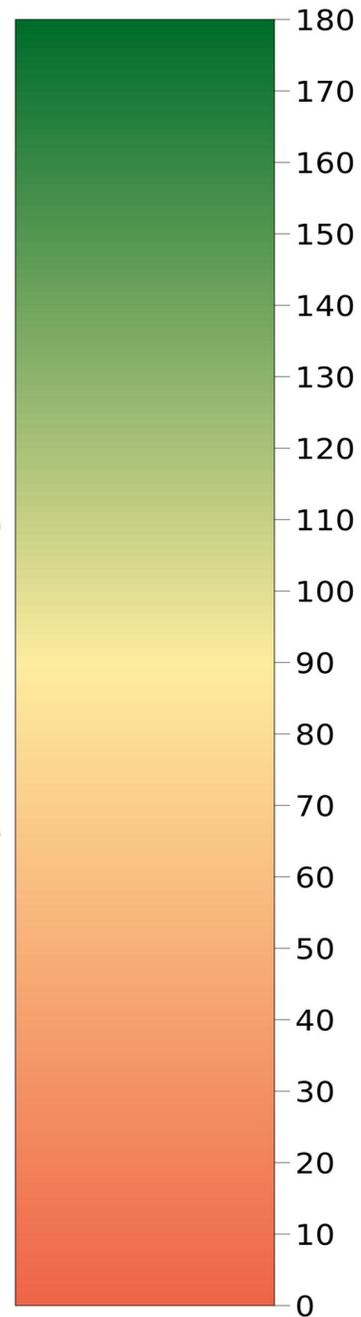


Nombre de jours d'enneigement fiable

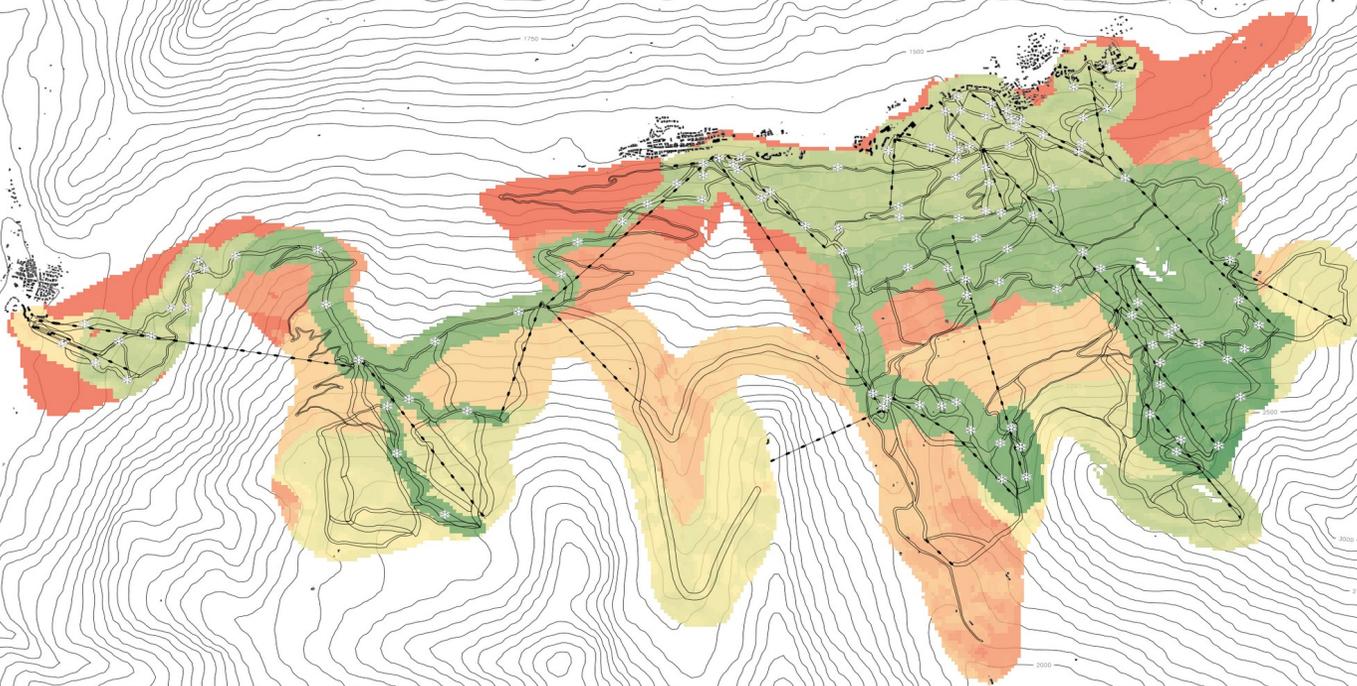
Val-Cenis (existant) : 2050 (q20 2043-2057)



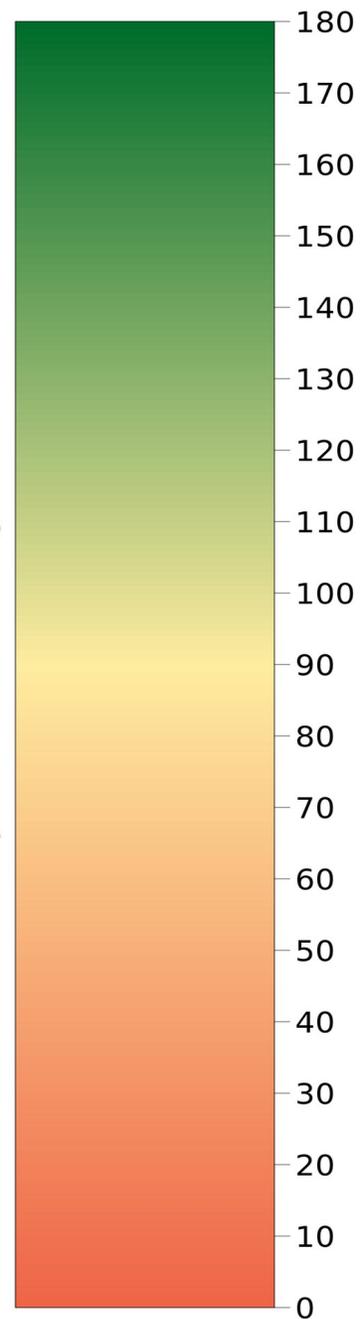
Nombre de jours d'enneigement fiable



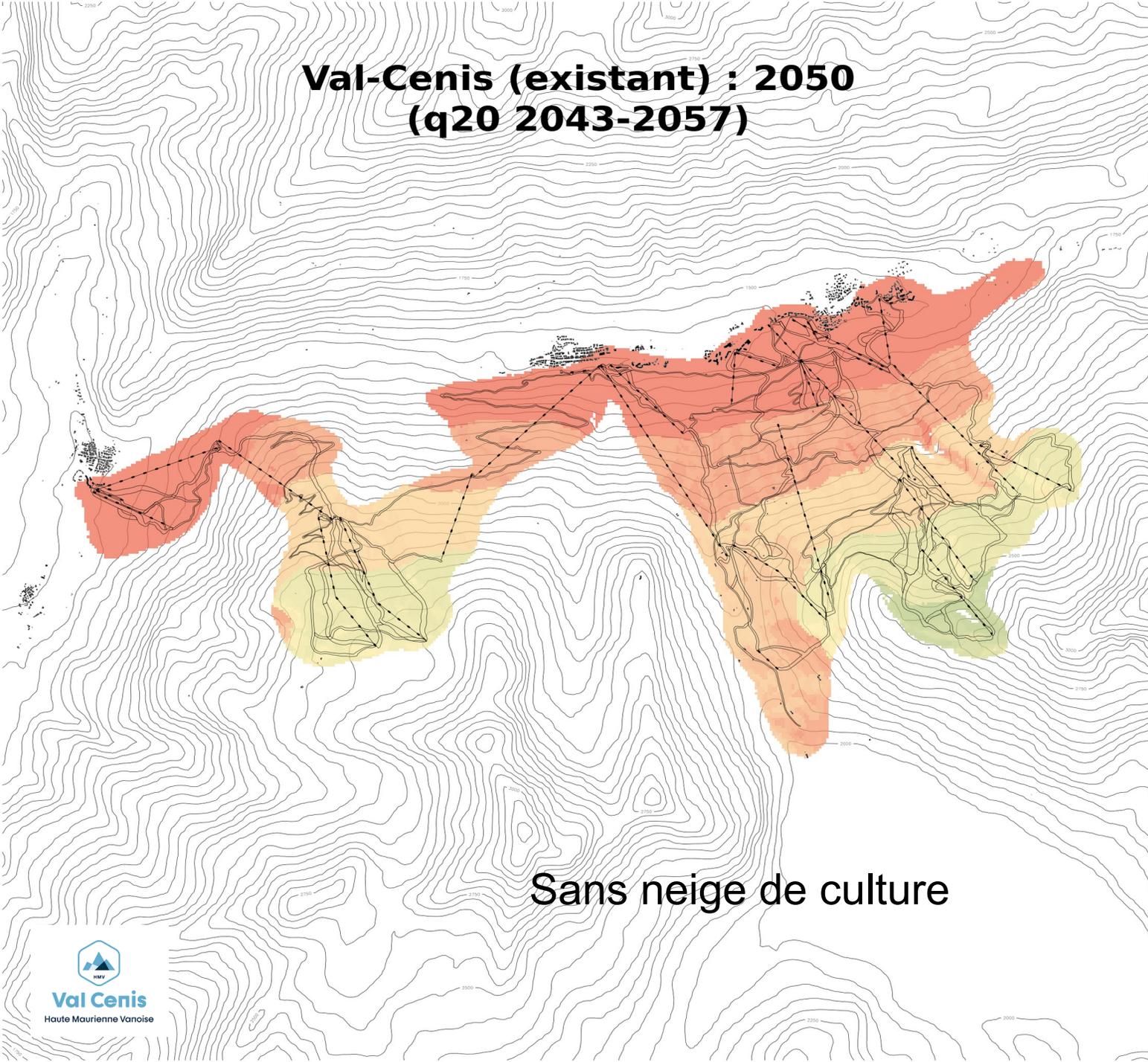
Val-Cenis (projet) : 2050 (q20 2043-2057)



Nombre de jours d'enneigement fiable



Val-Cenis (existant) : 2050 (q20 2043-2057)

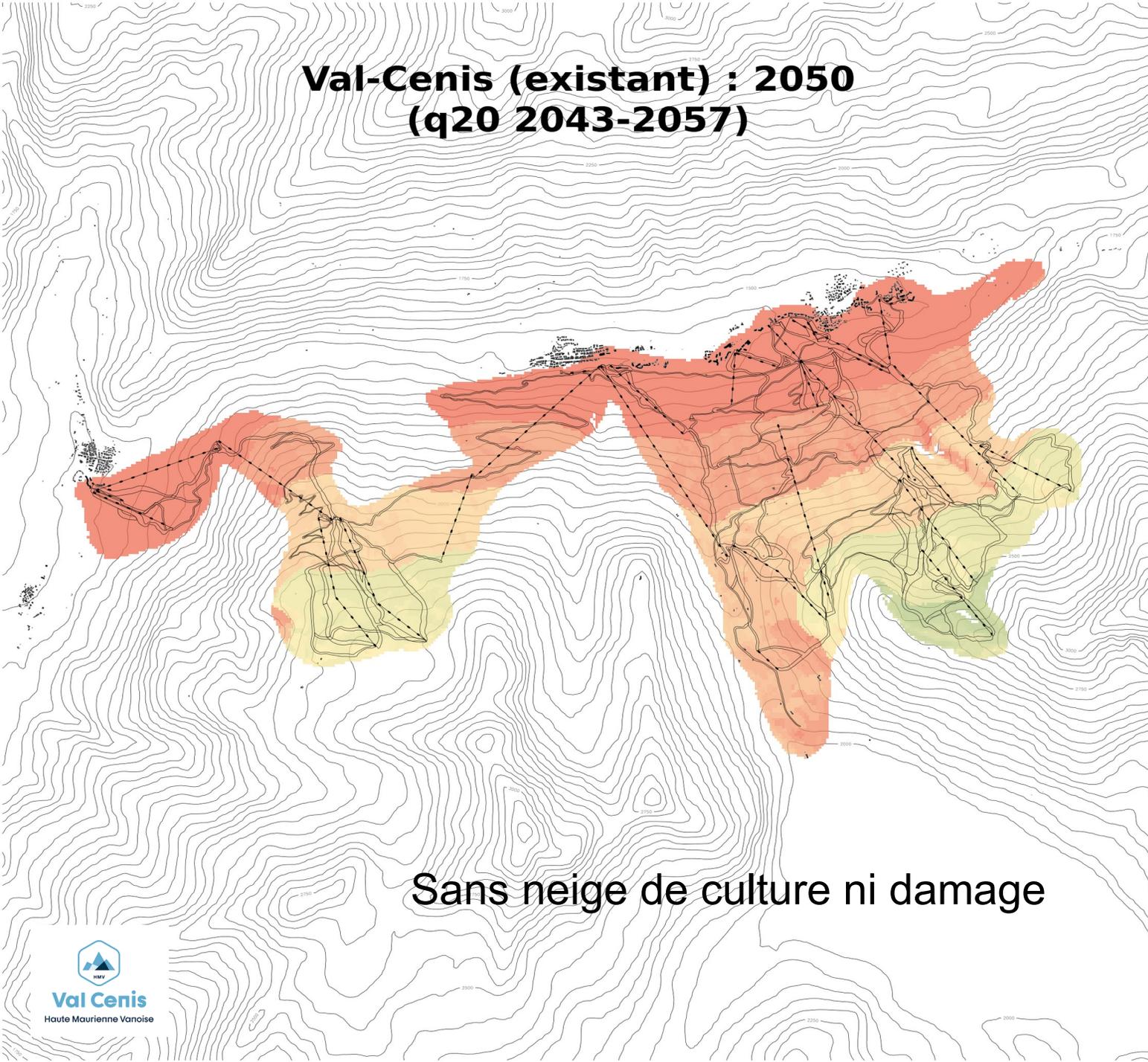


Nombre de jours d'enneigement fiable



Sans neige de culture

Val-Cenis (existant) : 2050 (q20 2043-2057)



Nombre de jours d'enneigement fiable



Sans neige de culture ni damage

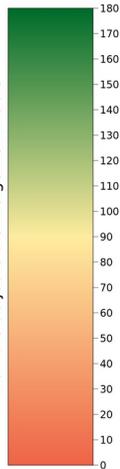


7 – LES DUREES D'ENNEIGEMENT



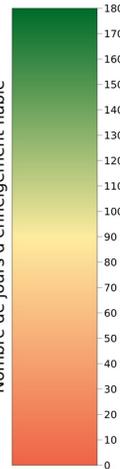
Aussois (projet) : 2050
(moyenne 2043-2057)

Nombre de jours d'enneigement fiable



Bessans : 2050
(moyenne 2043-2057)

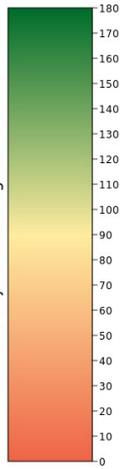
Nombre de jours d'enneigement fiable



Bonneval sur Arc
Haute Maurienne Vanoise

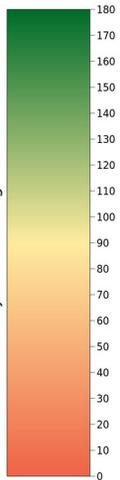
Bonneval : 2050
(moyenne 2043-2057)

Nombre de jours d'enneigement fiable



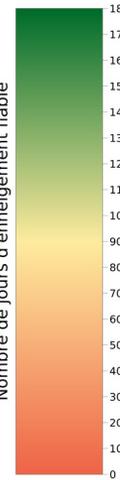
La Norma : 2050
(moyenne 2043-2057)

Nombre de jours d'enneigement fiable



Val-Cenis (projet) : 2050
(moyenne 2043-2057)

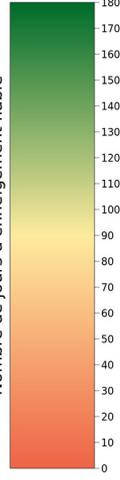
Nombre de jours d'enneigement fiable



Valfréjus
Haute Maurienne Vanoise

Valfréjus : 2050
(moyenne 2043-2057)

Nombre de jours d'enneigement fiable





INRAE



- CLIMSNOW -

**ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET
PROJECTIONS DE L'EVOLUTION DE L'ENNEIGEMENT**

MERCI DE VOTRE ATTENTION !