



ESPACE
SAN BERNARDO
FRANCE - ITALIA

ETUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA STATION DE **LA ROSIERE**



INRAE

JANVIER 2023
SYNTHÈSE RÉALISÉE PAR DSR

TABLE DES MATIÈRES

1 - Analyses et préconisations	3
2 - Résultats La Rosière	10
3 - Annexe - Visuels 3D	14

1 - ANALYSES ET PRÉCONISATIONS

ClimSnow : Concept et limites

L'étude ClimSnow est basée sur une méthodologie de projections climatiques de l'enneigement développée par **Météo-France**, **l'INRAE** (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement) et **Dianeige** (bureau d'étude spécialisé dans les projets d'aménagement touristique en montagne) et mise au point dans le cadre de différents projets de recherche au niveau national et européen. Les résultats présentés dans ce rapport représentent donc l'état de l'art en matière de projections climatiques de l'enneigement pour les stations de ski en France.

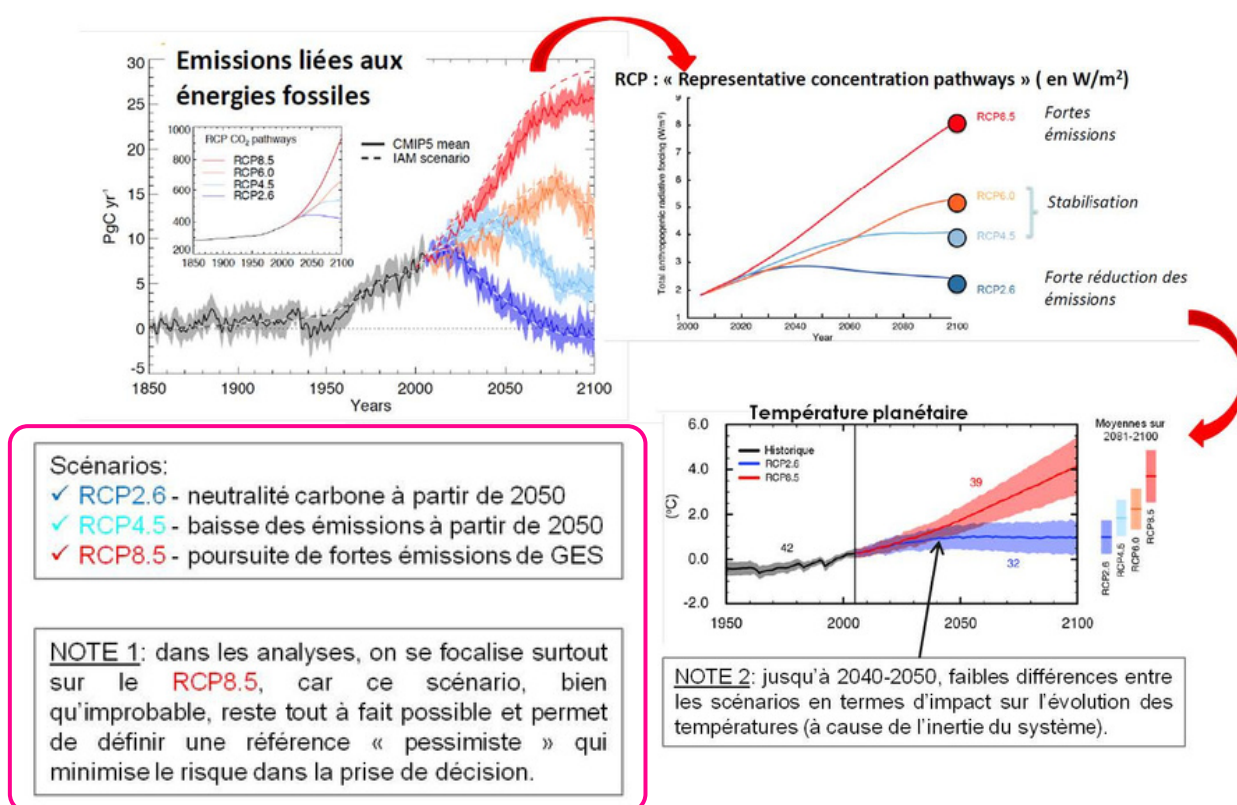


Figure 1 - Les projections climatiques dépendent des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

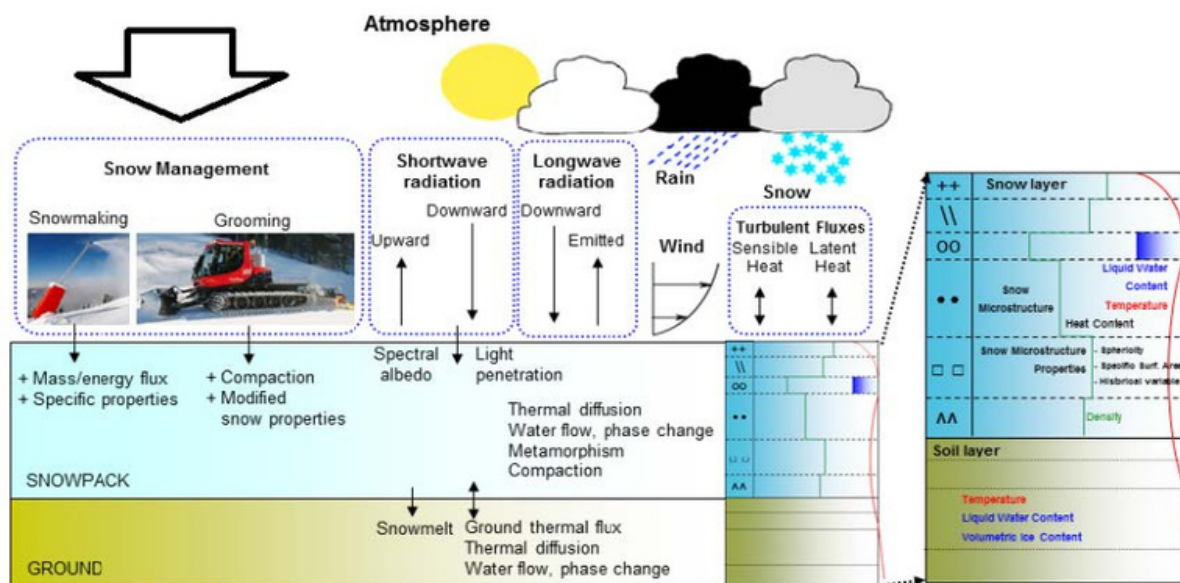


Figure 3 - Schéma du modèle de neige Crocus-Resort, intégrant la prise en compte de la neige de culture et du damage.

ClimSnow offre une perspective sur les conditions d'enneigement naturel et géré (tenant compte du damage et de la production de neige) à court terme (jusqu'à 2050), mais aussi post-2050, selon plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre utilisés par le GIEC (scénarios RCP). Parmi les indicateurs nivo-météorologiques qui ont été calculés et analysés, dans les sections suivantes le focus est mis surtout sur les indices de fiabilité de l'enneigement, les durées d'enneigement annuelles et les modalités de la production de neige de culture.

- La méthodologie de ClimSnow est centrée sur l'étude des domaines skiables et de leur "fiabilité" en termes de conditions d'enneigement pendant la saison d'hiver, et sans préjuger de l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau pour la production de neige.
- Pour terminer, l'étude ClimSnow ne se focalise que sur les aspects liés à l'évolution du climat (évolution des températures, enneigement, etc.). Afin d'opérer des choix avisés sur les investissements à faire et les projets à retenir, il faudra croiser ces informations avec d'autres éléments de nature notamment économique et environnementale.

Principaux enseignements de l'étude ClimSnow

Globalement, les projections climatiques indiquent une augmentation significative des températures moyennes dans les prochaines décennies. Les précipitations hivernales, quant-à-elles, ne montrent pas de tendances significatives dans les prochaines décennies et resteront fortement variables d'une année à l'autre. Cette évolution du climat va engendrer une raréfaction progressive du manteau neigeux naturel (épaisseur et durée), plus ou moins marquée en fonction des secteurs (altitude, orientation). L'évolution de l'enneigement est représentée par un indicateur de ClimSnow appelé "indice de fiabilité de l'enneigement".

L'indice de fiabilité de l'enneigement représente la variabilité de l'enneigement sur les pistes et caractérise la fraction de surface de domaine skiable (entre 0% et 100%) disposant d'une quantité suffisante de neige pour la pratique du ski (20 cm de neige damée) pendant les périodes de forte activité. Par exemple, si cet indice est égal à 80% pour un hiver donné, cela signifie que 80% des pistes pourront être ouvertes aux clients en moyenne pendant les vacances d'hiver (les autres périodes de la saison ayant moins de poids dans le calcul de cet indicateur). Il peut se calculer soit en ne considérant que la neige naturelle damée, soit en tenant compte de la production de neige pour les secteurs concernés et ce, soit dans les conditions climatiques passées ou pour les projections futures.

A **La Rosière**, les résultats principaux de ClimSnow sont les suivants :

- Pour la neige naturelle damée, **l'indice de fiabilité de l'enneigement en moyenne multi-annuelle montre une décroissance faible jusqu'en 2050 environ. A partir de cette date**, on constate une accentuation des différences entre les scénarios climatiques, avec une **baisse significative en scénario RCP8.5**.
- Malgré la relative stabilité de cet indice pendant les prochaines décennies, le taux de retour des saisons défavorables subira une forte croissance. En particulier, **les modèles indiquent que les conditions d'enneigement correspondant à des saisons défavorables passeront d'une fréquence d'environ 30% en 2020 à environ 50% en 2050 (neige naturelle damée, scénario RCP8.5)**. C'est à dire que les mauvaises saisons qui se présentent aujourd'hui 3 années sur 10, dans 30 ans se présenteront 5 années sur 10. Ce résultat est particulièrement important, puisque la récurrence des saisons compliquées est un facteur critique pour l'exploitation des stations, sans doute davantage que la moyenne multi-annuelle de l'indice de fiabilité de l'enneigement.

- En tenant compte de la production de neige et du scénario le plus défavorable (RCP8.5), **l'indice de fiabilité se maintient relativement stable jusque dans les années 2050, à partir desquelles l'on constate une baisse plus marquée.** L'indice de fiabilité calculé sur la période historique de référence (Q20) est égal à 94% avec les installations bi-fluides existantes (89% en neige naturelle damée).

Les durées d'enneigement

La durée d'enneigement est un indicateur qui représente le nombre de jours où l'épaisseur de neige dépasse un certain seuil (20 cm de neige damée), en fonction de l'horizon temporel, de la présence de neige de culture et des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. ClimSnow montre d'un côté les durées d'enneigement qui correspondent aux saisons "moyennes" (quantile 50 ou Q50 des ensembles climatiques) et de l'autre côté celles qui correspondent aux saisons "mauvaises" (Q20), c'est à dire les hivers les plus défavorables en termes d'enneigement sur les pistes. La période analysée s'étend de novembre à avril, soit environ 180 jours au total.

A **La Rosière**, l'analyse des saisons moyennes **à l'horizon 2050** permet de dégager les éléments suivants :

- **Au point culminant du domaine (2791 mètres), la durée d'enneigement reste largement supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours)** quel que soit le scénario de changement climatique retenu, et ce même **sans l'apport de neige de culture.**
- **A l'altitude moyenne du domaine (2104 mètres), la durée d'enneigement reste largement supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours)** quel que soit le scénario de changement climatique retenu, et ce même **sans l'apport de neige de culture.**
- **A l'altitude de la station (1850 mètres), la durée d'enneigement est légèrement inférieure à 120 jours en scénario RCP8.5 ou RCP4.5. Avec l'apport de neige de culture, la durée d'enneigement reste largement supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours).**
- **À l'altitude minimum du domaine (1196 mètres) la durée d'enneigement reste supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours) grâce à l'apport de la neige de culture** et ce, quel que soit le scénario climatique retenu. **Sans neige de culture, 47 jours de ski seront possibles en scénario RCP8.5** (59 en RCP4.5), par rapport aux 82 de la période historique de référence.

L'étude des durées d'enneigement des années défavorables (Q20) permet de compléter la vue donnée par l'analyse de l'enneigement annuel moyen. En effet, les conditions moyennes ne permettent pas de se rendre compte des difficultés de gestion liées à l'enneigement. Dans les prochaines décennies, la fréquence de retour des hivers faiblement enneigés va augmenter et leur enneigement va devenir de plus en plus déficitaire. **Autour de 2050, en scénario RCP8.5, les parties hautes du domaine (Fort, Mont Valaisan, Col) et les secteurs équipés en neige de culture garantiront des durées d'enneigement supérieures à 100 jours.** Sur le secteur des Ecudets, la dégradation des conditions d'exploitation sera plus marquée.

La production de neige de culture

ClimSnow tend à démontrer qu'une intensification du recours à la production de neige pourra limiter l'impact du changement climatique sur les conditions d'exploitation de la station de La Rosière. En effet, en climat futur, la baisse progressive de l'enneigement naturel pourra être partiellement compensée par le recours à la neige de culture. Cependant, les périodes de froid se feront de plus en plus rares sur l'avant saison d'ici le milieu du siècle, et ce pour tout intervalle de température considéré (entre -1 °C et -4 °C, entre -4 °C et -6 °C et <-6 °C).

Les courbes de consommation des volumes d'eau sont en légère hausse en technologie bi-fluides et en hausse plus marquée en technologie mono-fluide. Les simulations avec cette dernière indiquent une augmentation d'environ 16% des consommations d'ici 2050 (RCP8.5), afin de compenser le manque progressif de neige naturelle en profitant de fenêtres de froid de plus en plus réduites. Il serait pertinent de compléter ces informations en menant une étude de l'évolution future de la disponibilité en eau, en fonction de ses divers usages.

Analyse des projets

Les projets d'aménagement qui ont été recensés concernent essentiellement des extensions du réseau de neige de culture, sur les secteurs du Fort (pistes Blaireau et Mouflon), du Plan du Repos (piste Marmottes) et du Petit Bois (piste Marcassin). Ces projets apparaissent viables du point de vue climatique, car ils vont permettre d'obtenir des durées d'exploitation supérieures aux 120 jours en 2050 (même pour les saisons défavorables et pour le scénario RCP8.5). Cependant, dans ces mêmes conditions, sur la partie basse de la piste noire de Marcassin, les durées d'exploitation ne pourront pas dépasser les 100 jours. Ceci est dû au fait qu'à cet endroit, le potentiel de froid va se dégrader plus rapidement que sur les secteurs d'altitude. Ici, seulement des systèmes d'enneigement performants (de type ventilateurs par exemple) pourront permettre de produire les quantités de neige nécessaires pour atteindre ou dépasser les 100 jours d'exploitation.

Nota Bene : L'étude cite la piste Marcassin. L'enneigement de culture de cette piste noire est peu probable. Les conclusions concernant Marcassin s'appliquent à la piste fontaine Froide (Secteur Ecudets).

Conclusion

Malgré la baisse attendue de l'enneigement naturel, ClimSnow permet d'identifier les secteurs pour lesquels l'enneigement peut demeurer adéquat pour la pratique du ski à La Rosière. En fait, du fait du damage des pistes (augmentant la durée d'enneigement) et de l'apport de la neige de culture (qui reste productible dans les prochaines décennies), il est estimé que le changement climatique aura un impact maîtrisable d'ici 2050. Cependant, les saisons défavorables en termes d'enneigement se feront de plus en plus fréquentes et leurs conditions d'exploitation de plus en plus difficiles. Les prochaines décennies devront aussi être mises à profit pour engager une transformation (au moins partielle) des activités de la station. En effet, pendant la deuxième moitié du siècle, la dégradation de la fiabilité de l'enneigement (naturel + de culture) pourrait ne plus permettre à la station d'être exploitée selon le mode économique actuel.

2 - RÉSULTATS LA ROSIÈRE

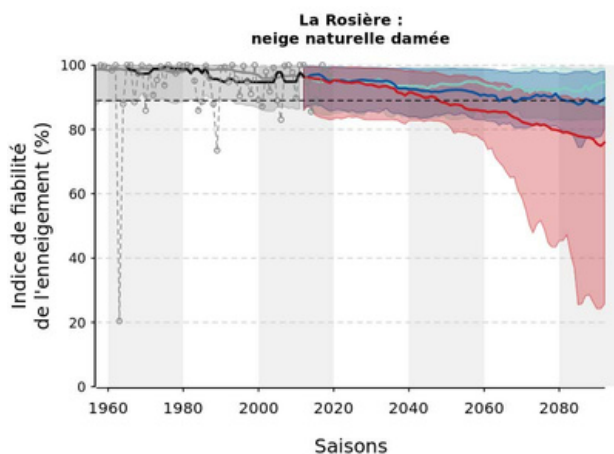


Figure 33 - Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

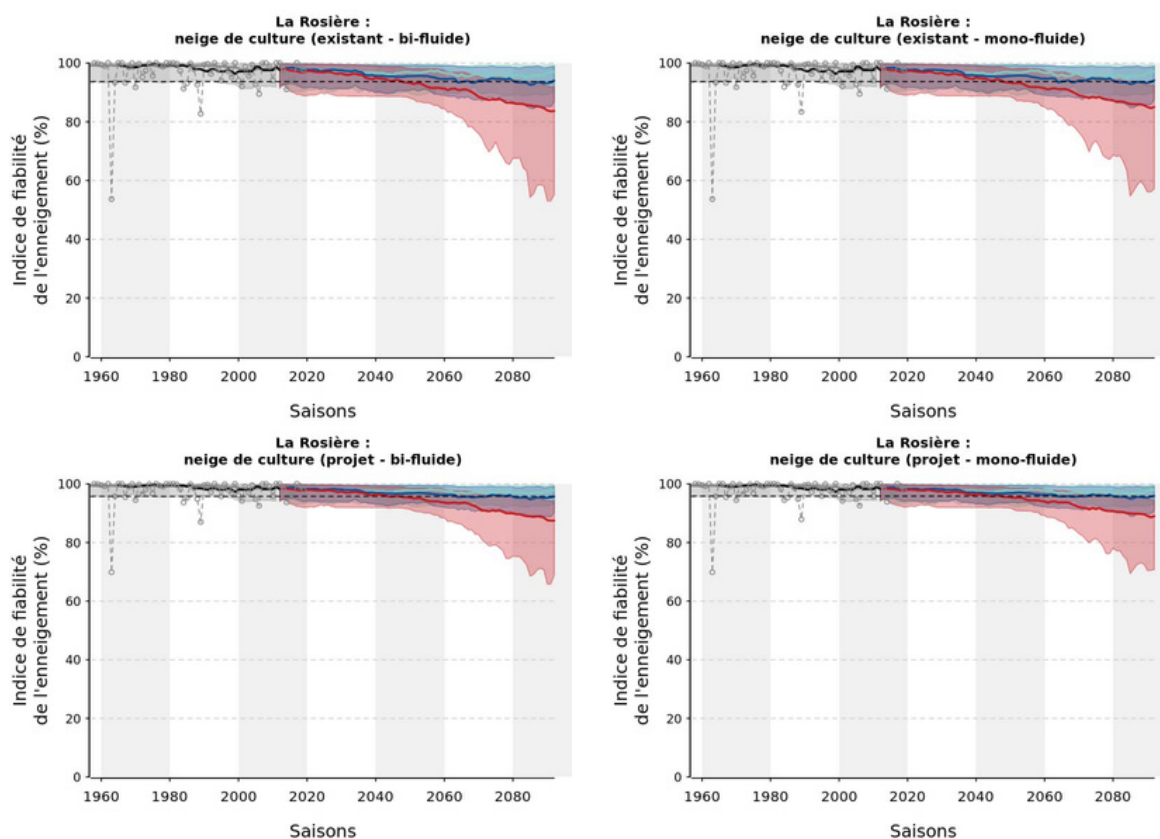


Figure 34 - Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

A titre de référence, si on considère les 125 stations de ski françaises étudiées jusqu'à présent par ClimSnow, la valeur moyenne du Q20 de l'indice de fiabilité de l'enneigement sur la période historique est égale à environ 60% (ici 94%).

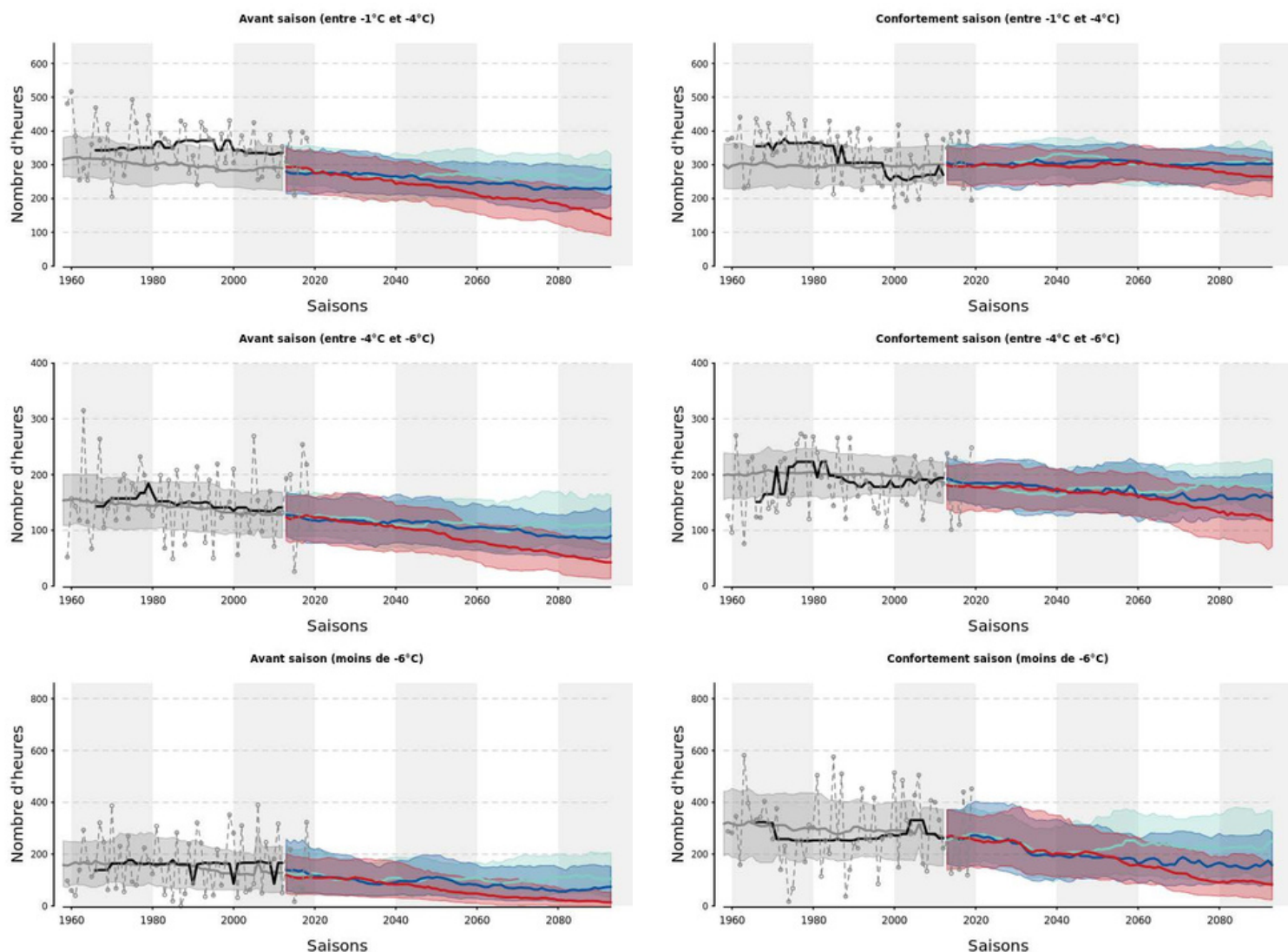


Figure 37 - Évolution du potentiel de froid à l'altitude la plus basse du domaine skiable, en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C, entre -4°C et -6°C et <-6°C).

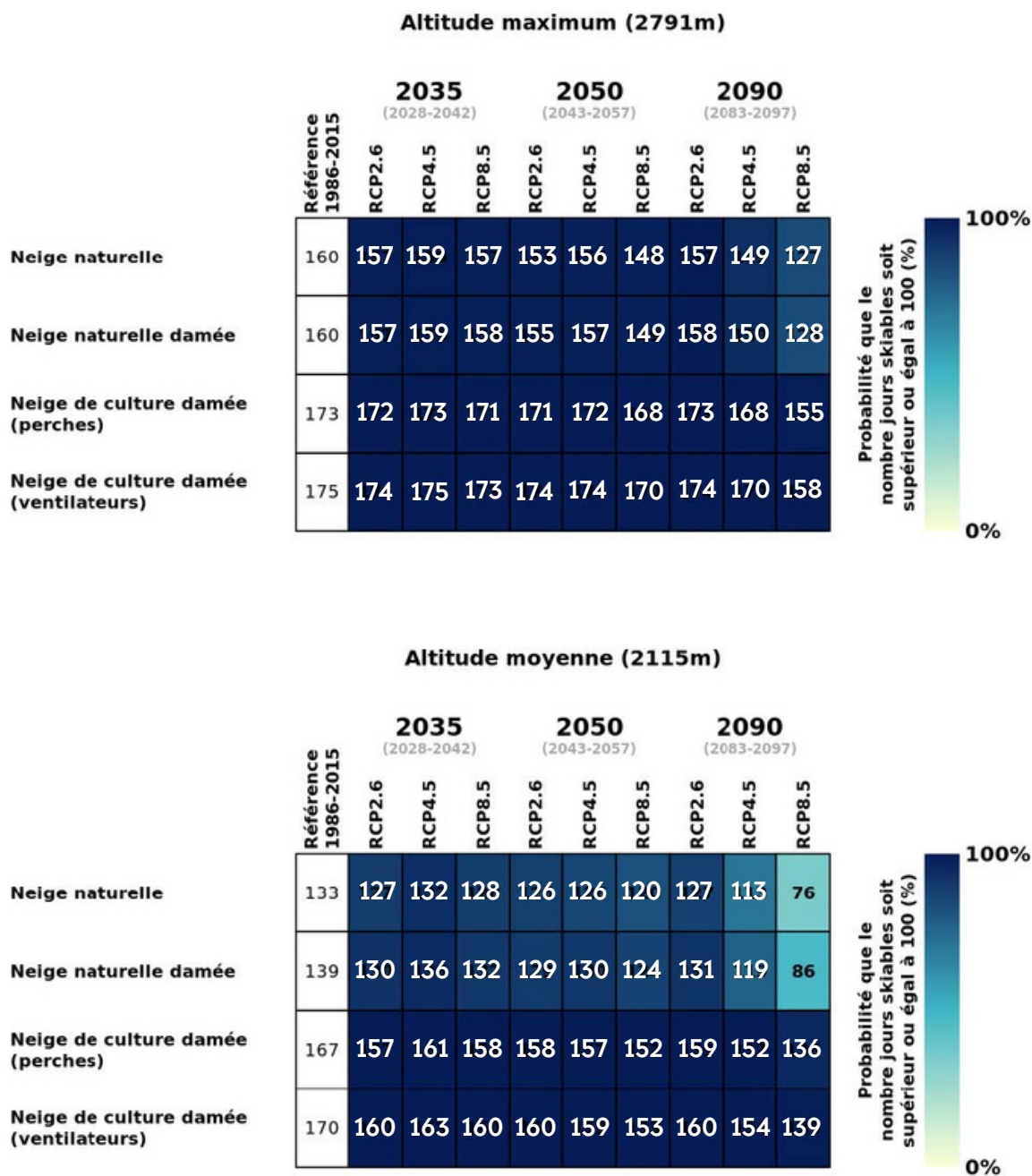


Figure 39 - Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude maximum et moyenne.

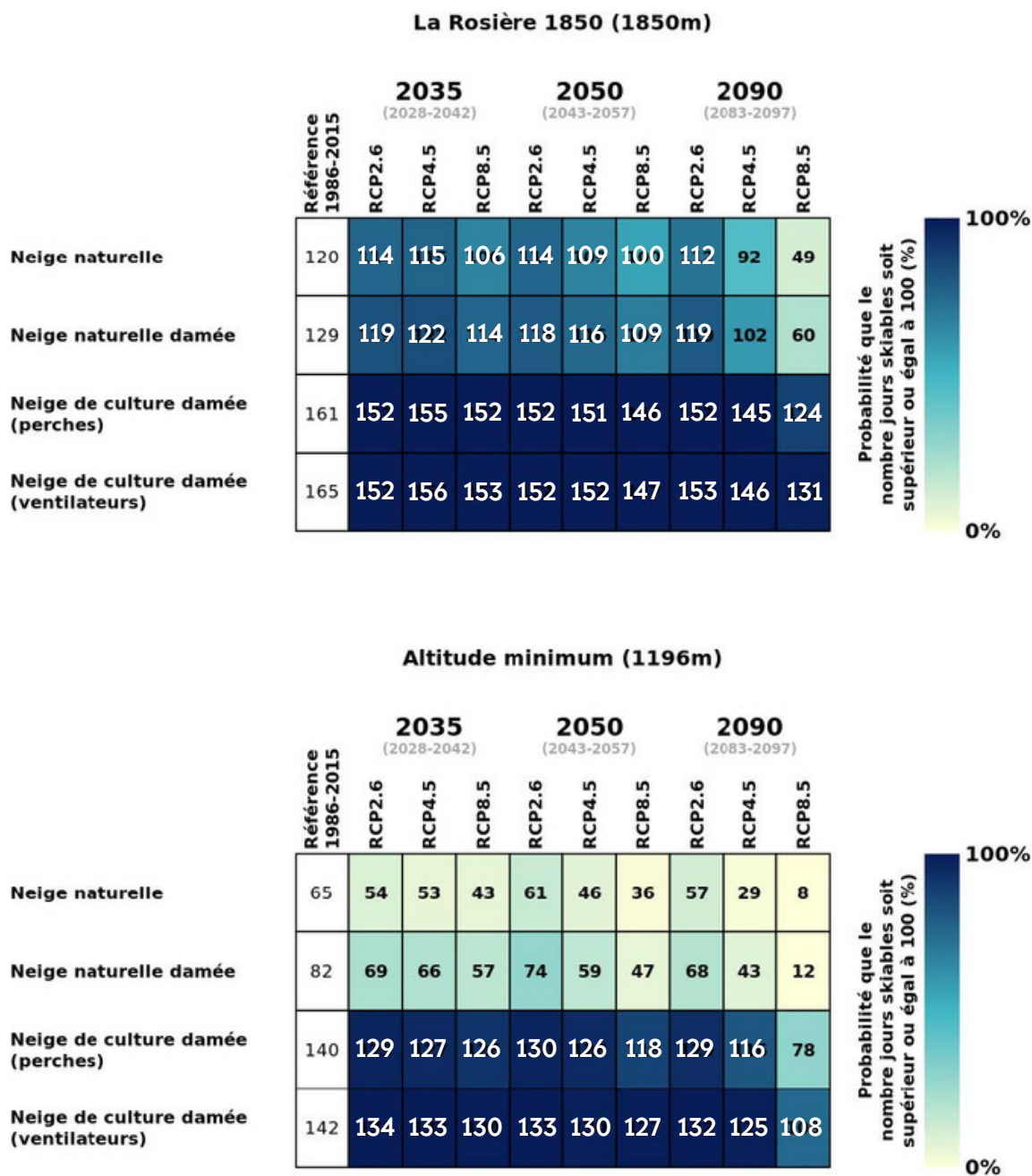


Figure 40 - Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude du village de La Rosière (1850 m) et l'altitude minimum.

3 - ANNEXE VISUELS 3D

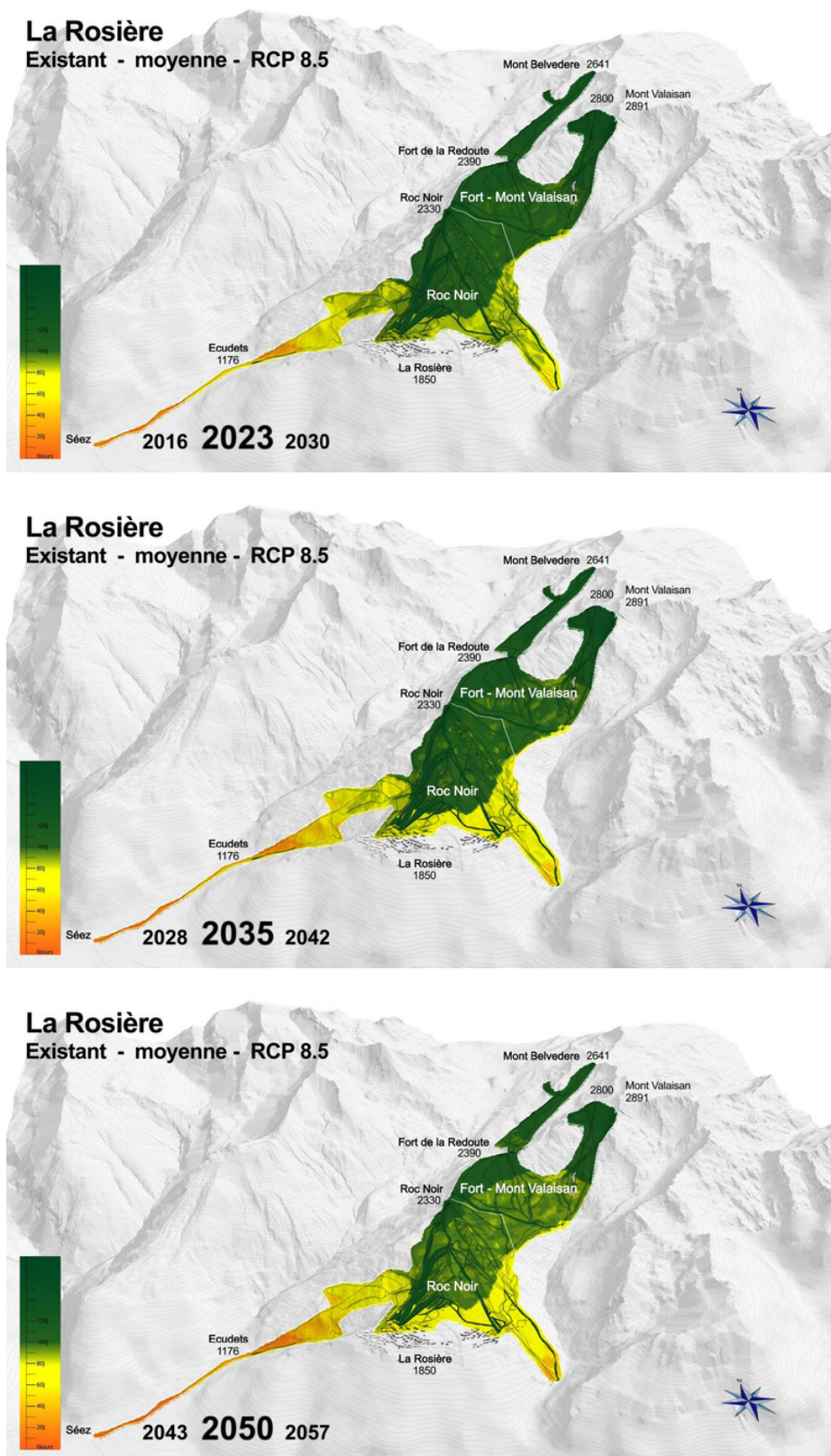


Figure 45 - Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (état existant).

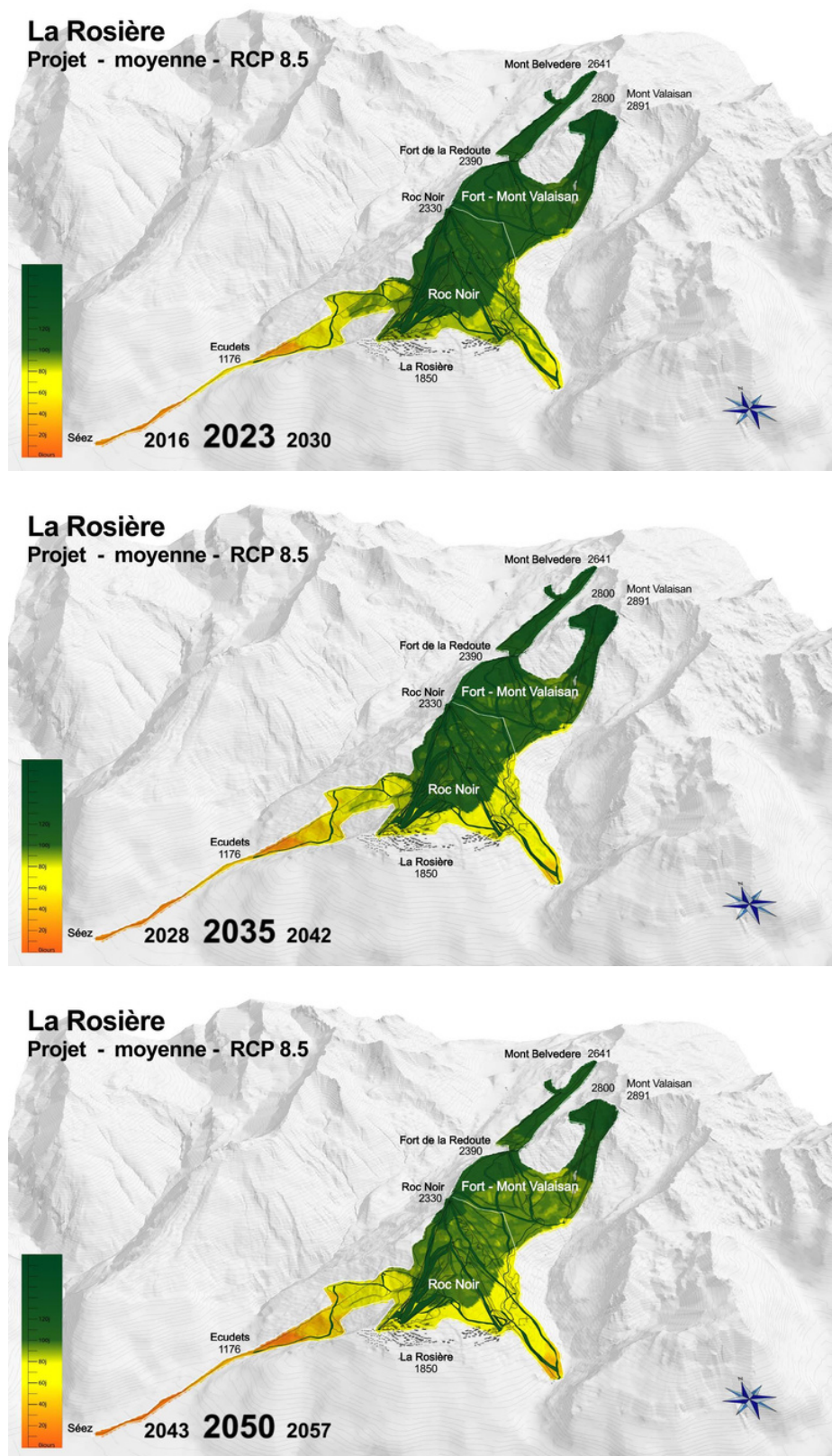


Figure 46 - Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (avec projets).

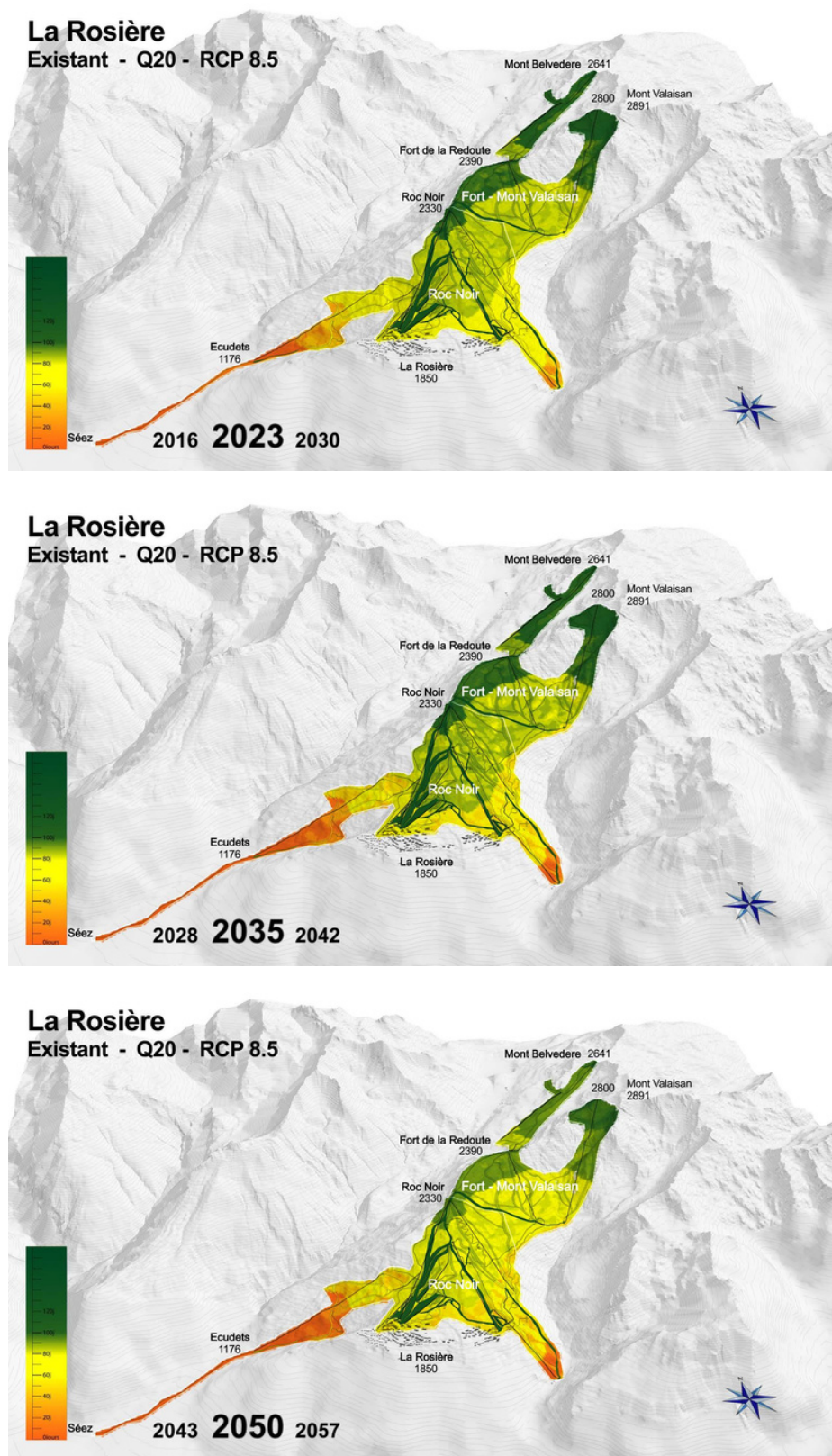


Figure 46 - Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (avec projets).

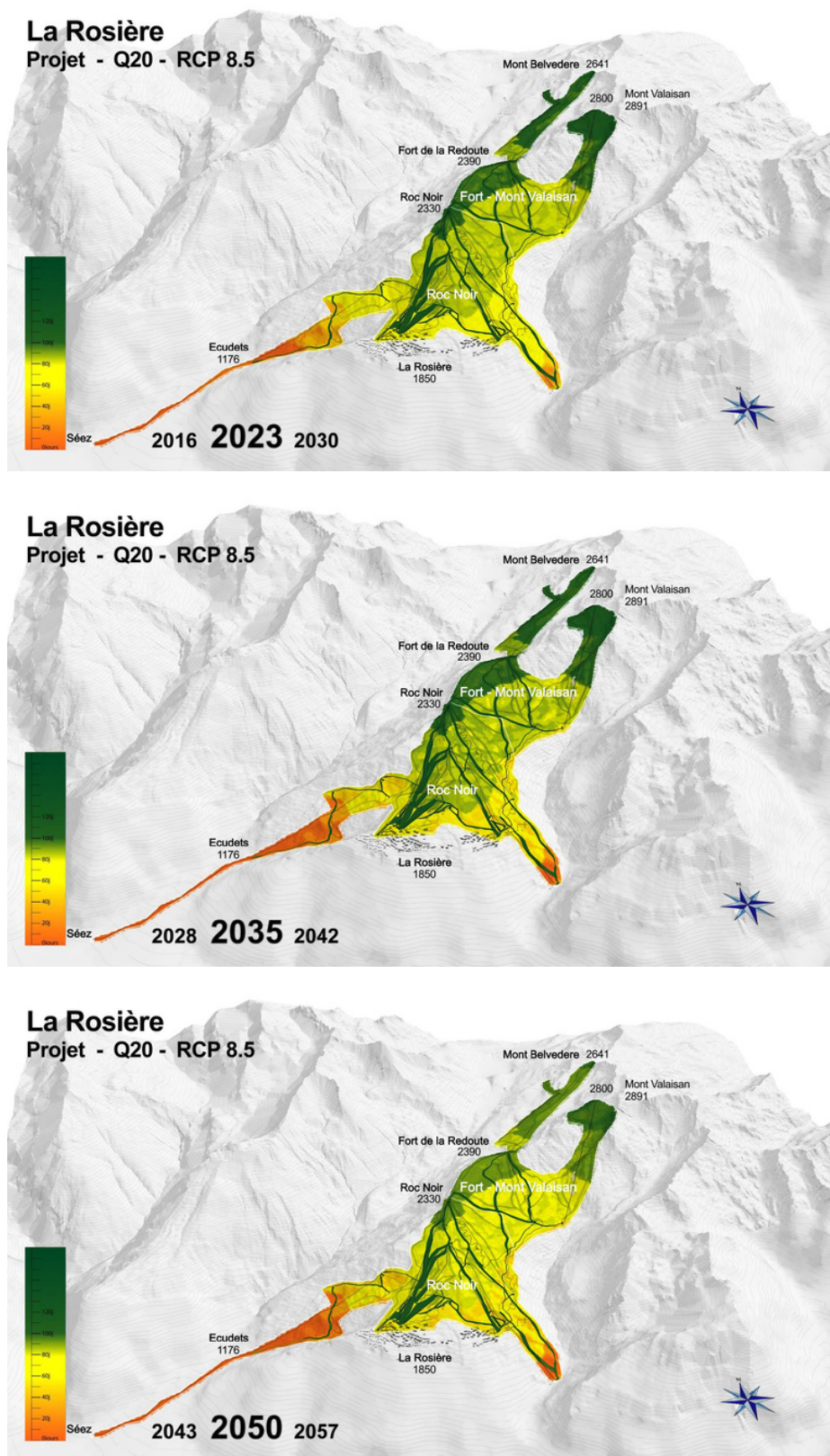


Figure 46 - Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (avec projets).