

2 LA CLUSAZ : résultats et analyses

2.1 LA-CLUSAZ

2.1.1 Caractéristiques du domaine : RM, pistes, neige de culture

Dans la base de données utilisée pour cette étude, la station de La Clusaz, dans le massif des Aravis, dispose de 237 ha de pistes, dont 76 équipés en neige de culture (32%). Le besoin en eau annuel moyen pour la production de neige sur la période 2006-2023 est d'environ 248.000 m³ (environ 295.000 m³ sur les 5 dernières saisons). Les projets d'aménagement recensés dans cette étude ne concernent pas les pistes et les remontées mécaniques, mais uniquement le réseau de production de neige. Ces projets, qui intéressent tous les secteurs de la station (surtout dans leurs zones d'altitudes), ainsi que les liaisons entre secteurs, devraient permettre de monter à 156 ha équipés (66% des surfaces des pistes.). Au vu des volumes de stockage disponibles et des autorisations de prélèvement, ces surfaces de pistes ne pourront pas toutes être enneigées en même temps et il sera donc nécessaire d'effectuer des choix d'enneigement. En effet, les 98.000 m³ prévus pour la nouvelle retenue de la Colombière permettront d'enneiger seulement 33 ha supplémentaires par rapport aux 76 ha équipés aujourd'hui.

Les tableaux et les graphiques suivants présentent l'état actuel du domaine skiable et les caractéristiques des projets d'extension du réseau de production de neige (emplacements et surfaces).

La Clusaz : données de l'étude ClimSnow	Etat existant	Etat projet	
Synthèse pistes			
Surface de pistes	237	idem	ha
Surface de pistes couverte en neige de culture	76	156	ha
Proportion de pistes avec neige de culture *	32% *	66% *	
* Remarque importante : la méthodologie des études ClimSnow considère qu'une piste fiabilisée par neige de culture l'est sur la totalité de sa largeur, indépendamment de la largeur réellement enneigée. Cela peut conduire à la prise en compte d'une surface de neige de culture supérieure à la réalité. Dans le cas présent de la Clusaz, la proportion de pistes avec neige de culture de 27% fournie par l'exploitant n'est pas remise en cause par la valeur de 32% prise en compte dans l'étude ClimSnow.			
Synthèse remontées mécaniques			
Longueur de RM	28	idem	km
Dénivelée cumulée	8 973	idem	m
Moment de puissance	14 633	idem	km*pers/h
Synthèse neige de culture			
Volume d'eau des retenues	277 000 **	375 000 **	m ³
Consommation moyenne sur les 5 dernières saisons (hors 20-21)	294 900	sans objet	m ³
** Remarque importante : volumes fournis par l'exploitant et un ajout de 98 000m ³ prévus en projet de stockage pour production de neige de culture.			

FIGURE 6 – Caractéristiques principales de la station.

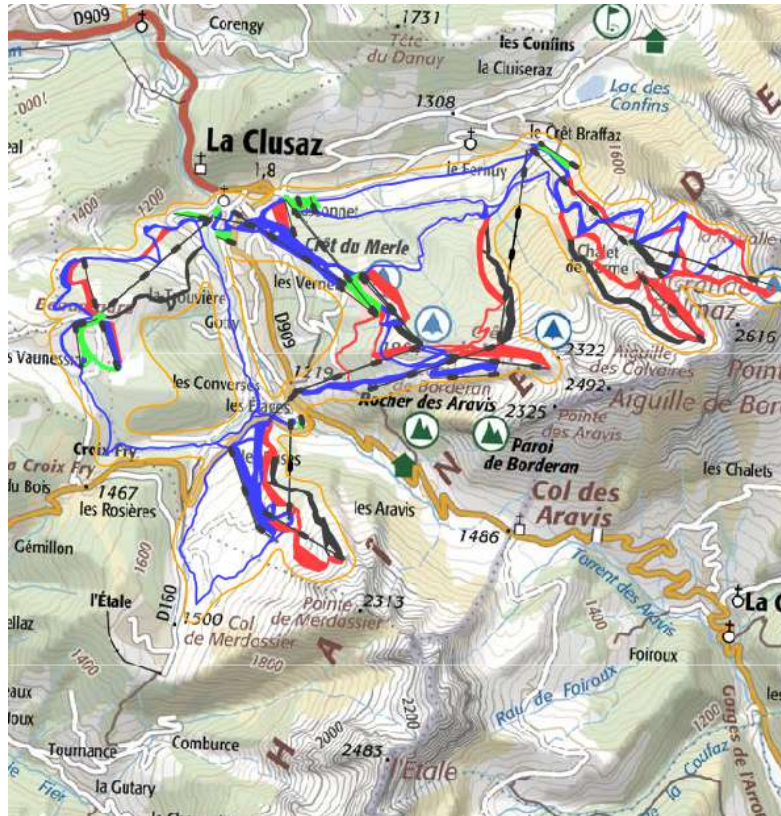


FIGURE 7 – Carte du domaine skiable, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté).



FIGURE 8 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

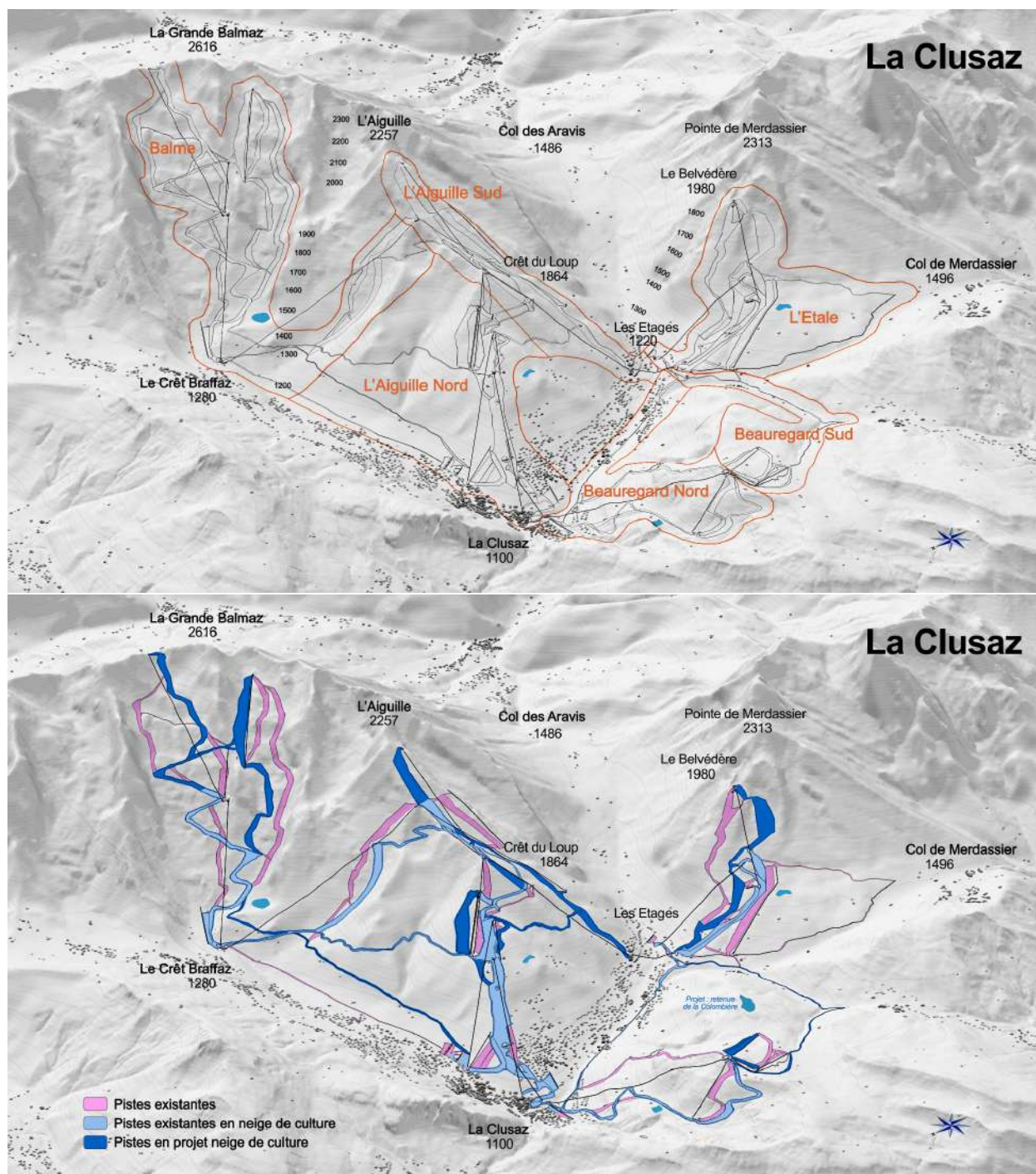


FIGURE 9 – En haut : découpage du domaine skiable en secteurs, tels qu'ils ont été définis dans cette étude. En bas : zones couvertes par la neige de culture.

Répartition par tranche d'altitude	Surface de pistes	Surface de pistes couverte en neige de culture (ha)			Proportion de pistes couverte en neige de culture / surface totale de pistes		
Surface de pistes couverte en neige de culture (ha)	Existant et Projet	Existant	Projet	Extension	Existant	Projet	Extension
900 (750-1050)	1,6	1,4	1,4	-	91 %	91 %	0 %
1200 (1050-1350)	49,2	28,5	34,0	5,6	58 %	69 %	11 %
1500 (1350-1650)	93,6	33,4	61,0	27,6	36 %	65 %	29 %
1800 (1650-1950)	49,7	11,2	35,8	24,6	22 %	72 %	50 %
2100 (1950-2250)	32,3	1,6	17,9	16,3	5 %	55 %	50 %
2400 (2250-2550)	10,8	-	5,9	5,9	0 %	55 %	55 %
Total	237,2	76,0	156,0	80,0	32 %	66 %	34 %

Répartition par secteur	Surface de pistes	Surface de pistes couverte en neige de culture (ha)			Proportion de pistes couverte en neige de culture / surface totale de pistes		
Surface de pistes couverte en neige de culture (ha)	Existant et Projet	Existant	Projet	Extension	Existant	Projet	Extension
Balme	75,0	17,8	40,4	22,6	24 %	54 %	30 %
Aiguille	82,9	35,9	63,1	27,2	43 %	76 %	33 %
Beauregard	33,5	10,2	18,8	8,6	30 %	56 %	26 %
L'Etale	45,8	12,2	33,7	21,5	27 %	74 %	47 %
Total	237,2	76,0	156,0	80,0	32 %	66 %	34 %

FIGURE 10 – Zones couvertes par la neige de culture, avec et sans prise en compte des projets d'extension, en fonction de la tranche d'altitude et du secteur.

2.1.2 Indice de fiabilité de l'enneigement

L'indice de fiabilité de l'enneigement est calculé chaque année pour l'ensemble du domaine skiable. Il traduit les conditions d'exploitation, en prenant en compte les caractéristiques topographiques des pistes et la répartition des remontées mécaniques en fonction de l'altitude. Cet indicateur peut être interprété comme la part du domaine skiable exploitable (entre 0% et 100%) et dépend donc non seulement du scénario d'émission de gaz à effet de serre, mais aussi des équipements de la station et des techniques de gestion de la neige (damage, production de neige de culture).

Les graphiques représentent l'évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement (pourcentage du domaine skiable qui peut être ouvert aux clients pendant les périodes de forte fréquentation) sur une période de 15 années centrée sur l'année considérée (soit 2013-2027 pour l'année 2020). Le Q20 de l'indice de fiabilité de l'enneigement est calculé sur la période de référence passée (1986-2015) et correspond aux conditions d'enneigement qui permettent de séparer les 20 pires saisons sur un échantillon de 100. Par exemple, un Q20 de 33% signifie que, 1 saison sur 5, on a pu ouvrir au plus 1/3 du domaine. Les éléments représentés dans tous les graphiques de ce rapport sont les suivants :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : **observations**
- Courbes en couleurs : projections ([RCP2.6](#), [RCP4.5](#), [RCP8.5](#))
- Traits en gras : 1 chance sur 2 (médiane, situation caractéristique de l'enneigement rencontrée au pire une année sur 2)
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)
- Lignes horizontales en pointillé : Q20 de la période de référence 1986- 2015

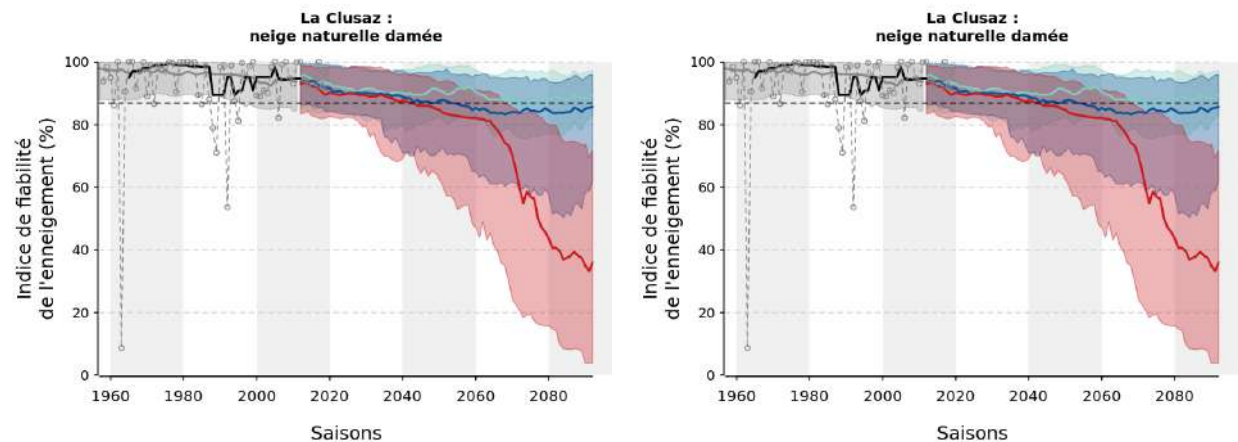


FIGURE 11 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

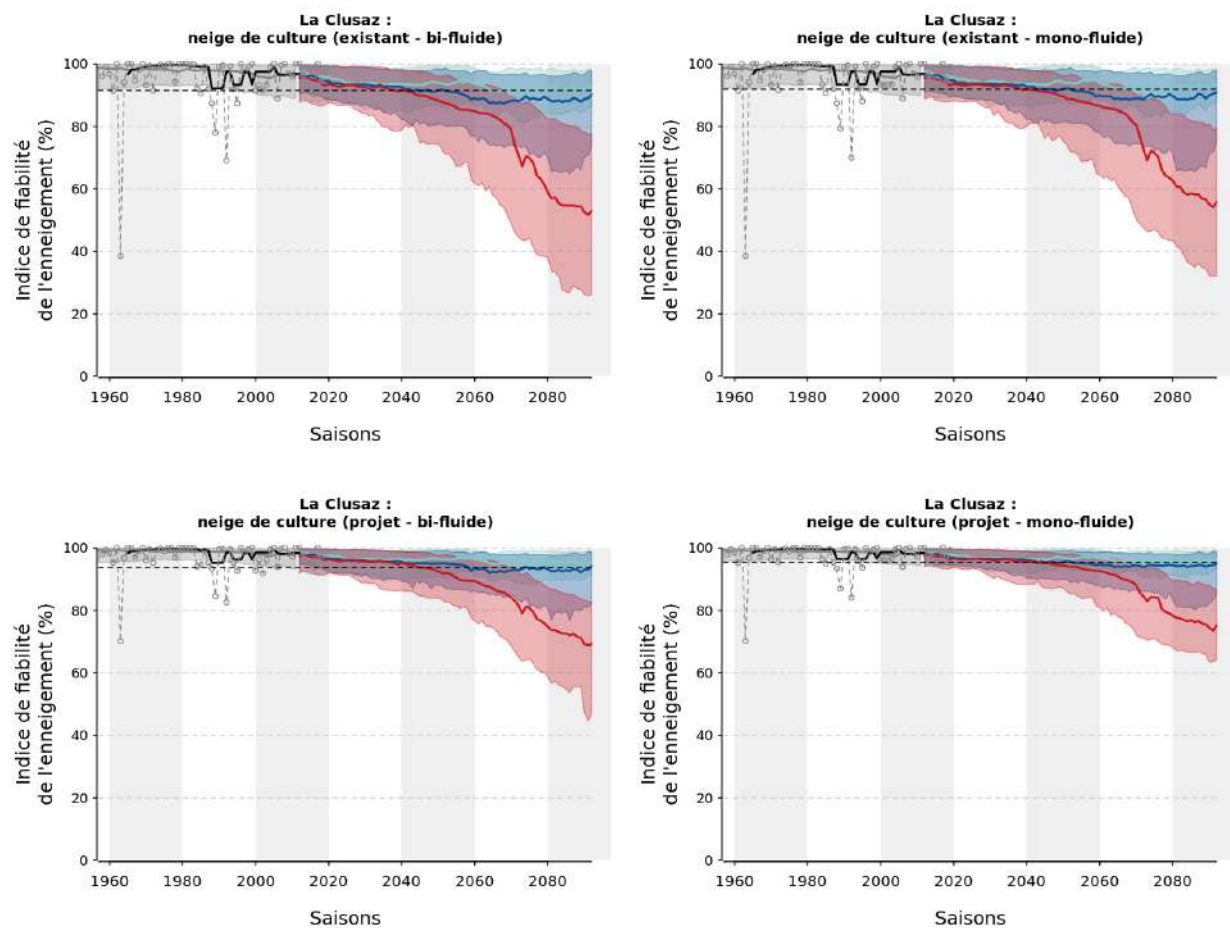


FIGURE 12 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

2.1.3 Taux de retour des mauvaises saisons

Plus que l'évolution de l'indice de fiabilité en tant que telle, la récurrence des saisons difficiles peut avoir un impact sur la possibilité de maintenir l'exploitation du domaine skiable. Le taux de retour des mauvaises saisons est donc un indicateur clé pour évaluer les effets du changement climatique dans les stations de ski : il représente la fréquence à laquelle les hivers faiblement enneigés (pires conditions susceptibles de se reproduire 1 année sur 5 durant la période de référence 1986-2015) vont se reproduire dans le futur.

Les graphiques représentent la probabilité de retour d'une saison avec un indice de fiabilité de l'enneigement en-dessous de celui défini, sur la période passée, par le Q20. Par exemple, si la fréquence à une certaine date est de 50%, cela signifie qu'à cette date on a 1 probabilité sur 2 de rencontrer les mêmes mauvaises conditions d'enneigement qui, dans le passé, se présentaient 1 année sur 5. De fait, la fréquence de retour des mauvaises saisons augmente quand l'indice moyen de fiabilité décroît. Il faut bien noter que la référence et la période future correspondent à la même configuration d'enneigement : par exemple, pour l'estimation de la fréquence de retour des mauvaises années en climat futur tenant compte de la production de neige, le Q20 de référence est lui aussi calculé en tenant compte de la production de neige.

2.1.4 Fenêtres de froid

Le potentiel de froid pour la production de neige de culture est calculé à partir des températures humides pour l'altitude la plus basse du domaine skiable. Les graphiques montrent l'évolution de ce potentiel 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). Pour rappel, la courbe Q20 (la plus basse de chaque enveloppe) donne le potentiel de froid des 3 saisons les plus chaudes sur 15 centrées sur l'année considérée : si on dimensionnait une l'installation de neige de culture sur le potentiel de froid du Q20, on fiabiliserait 4 saisons sur 5.

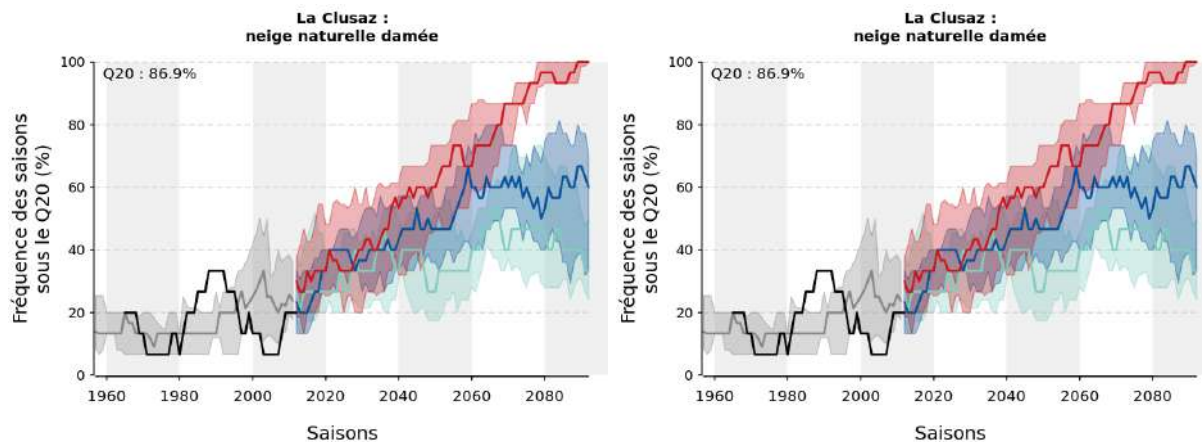


FIGURE 13 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

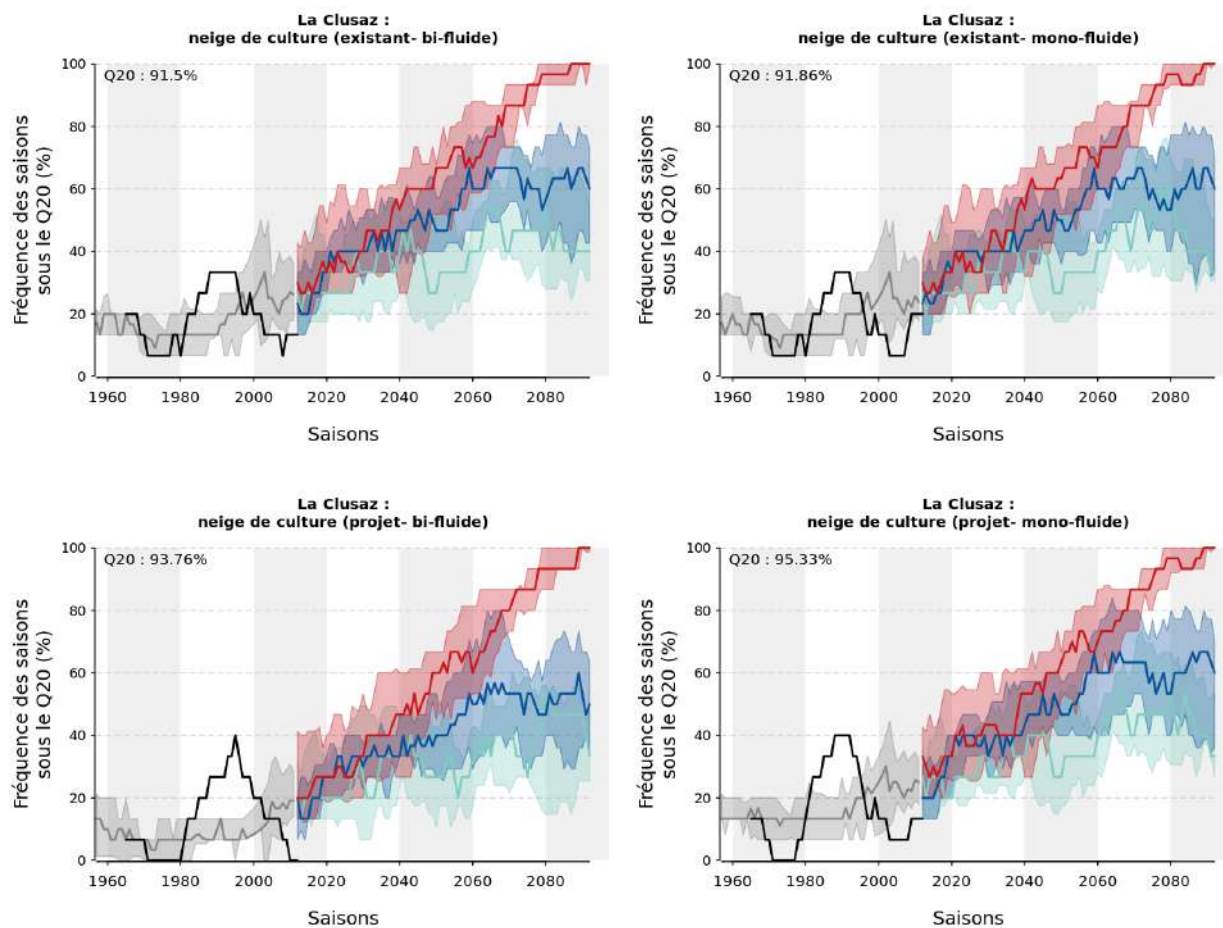


FIGURE 14 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

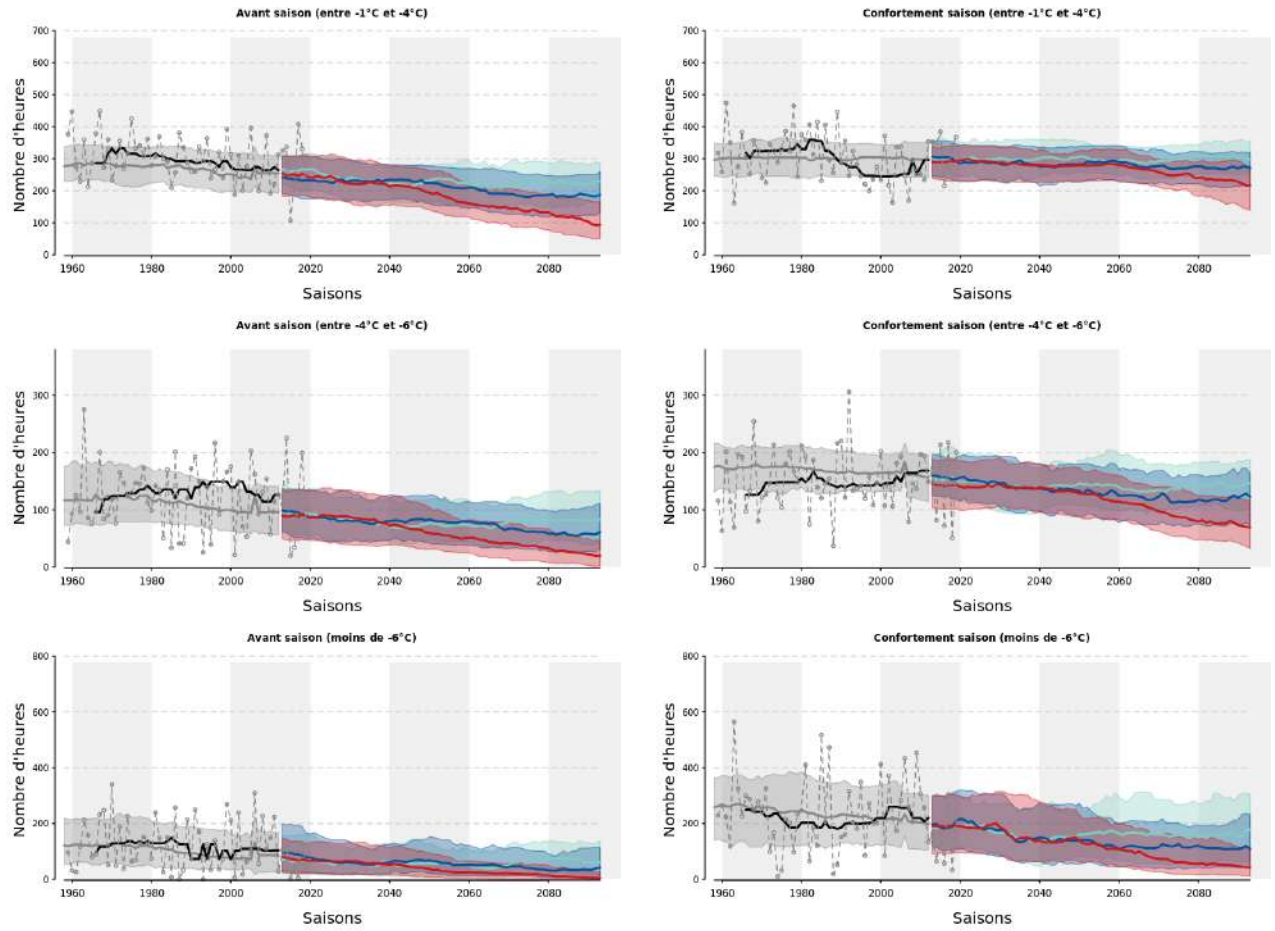


FIGURE 15 – Évolution du potentiel de froid à 900 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $< -6^{\circ}\text{C}$).

2.1.5 Besoin en eau pour la production de neige de culture

Les volumes simulés de besoin en eau expriment la demande pour la production de neige en fonction des pratiques actuelles et en fonction de l'évolution des conditions de production. Les simulations ne présument pas de la disponibilité de la ressource : l'eau n'est pas une contrainte et seul le climat a un impact sur l'évolution de la production. Indirectement, l'évolution de la consommation en eau traduit donc également la capacité maximale de production. En effet, l'évolution du climat influe à la fois sur l'accroissement du besoin et sur la dégradation des facteurs de production qui dépendent également du climat (température humide, vent). En général, en fin de siècle, une diminution de la consommation en eau traduit généralement une évolution vers des conditions de production défavorables plutôt qu'une diminution du besoin.

Significations d'un palier :

- hyp 1 : le potentiel froid est constant mais ne permet pas de répondre au besoin de production de neige,
- hyp 2 : le besoin en neige de culture est constant et le potentiel froid est suffisant pour produire la sous-couche et maintenir les 60 cm.

Signification d'une portion de courbe croissante :

- le besoin en neige de culture augmente et le potentiel froid est suffisant pour augmenter la production.

Signification d'une portion de courbe décroissante :

- hyp 1 : le besoin en neige de culture décroît (ce qui n'est généralement le cas nulle part dans un climat en réchauffement),
- hyp 2 : le besoin est stable ou croissant mais le potentiel froid diminue.

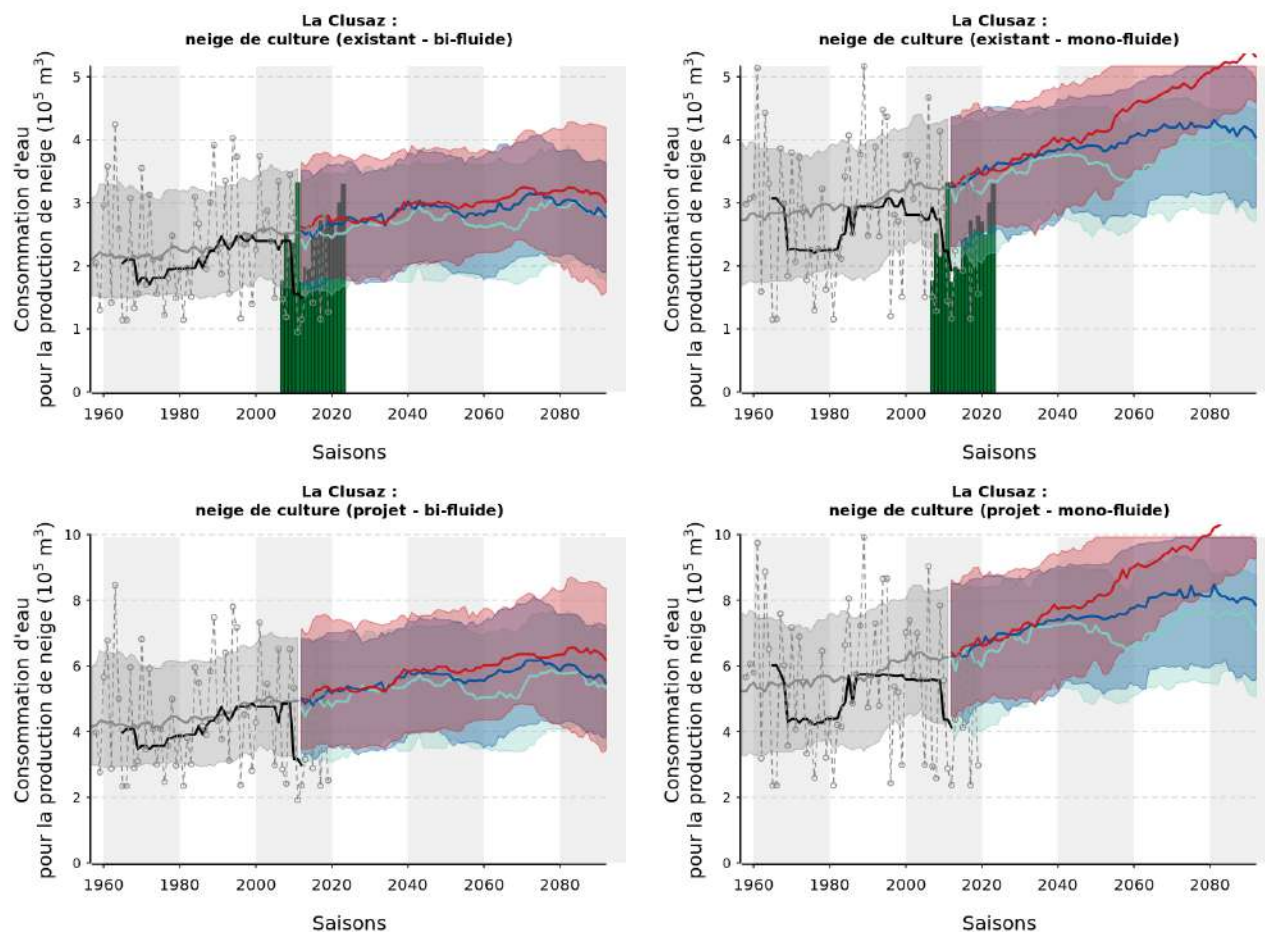


FIGURE 16 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années. En vert sont représentées les observations de quantité d'eau utilisée pour la production de neige ces dernières années.

2.1.6 Durée d'enneigement

L'hétérogénéité spatiale des conditions d'enneigement est représentée à l'aide de matrices et de cartes 2D, qui montrent le nombre de jours durant lesquels le niveau d'enneigement dépasse un seuil défini comme la quantité de neige suffisante pour permettre la pratique du ski. Ce seuil est fixé à une quantité de neige équivalente à 20 cm de neige damée, quelle que soit son origine (précipitations naturelles ou production).

Les matrices permettent de comparer le nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, pour trois altitudes ciblées (bas, milieu et haut du domaine) et en fonction de la période future, du scénario climatique et des équipements installés. Les cartes 2D correspondent quand à elles aux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et à des installations existantes et futures de type "perches". Elles permettent de :

- comparer des dates différentes (2020, 2035 et 2050),
- comparer des conditions d'enneigement correspondant à des saisons moyennes (Q50) et à des saisons défavorables (Q20),
- analyser la façon dont la station va faire face aux effets du changement climatique, si elle garde ses équipements actuels et avec la prise en compte des projets d'aménagement futurs.

Les cartes 3D, enfin, permettent de mieux appréhender la variabilité spatiale et temporelle dans les conditions d'enneigement, avec la prise en compte éventuelle des projets d'aménagement futurs et en se focalisant sur des saisons moyennes et des saisons défavorables.

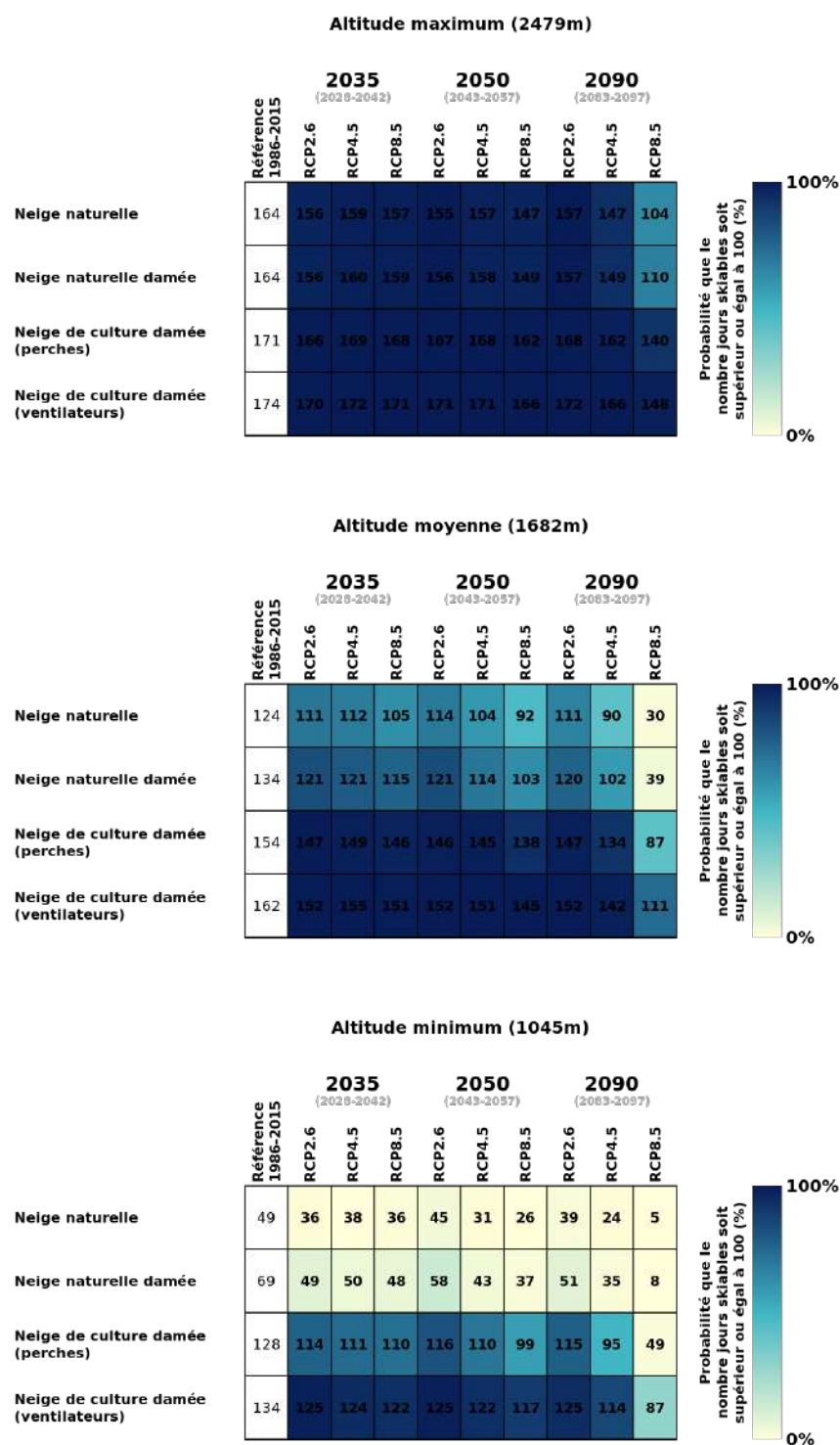


FIGURE 17 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

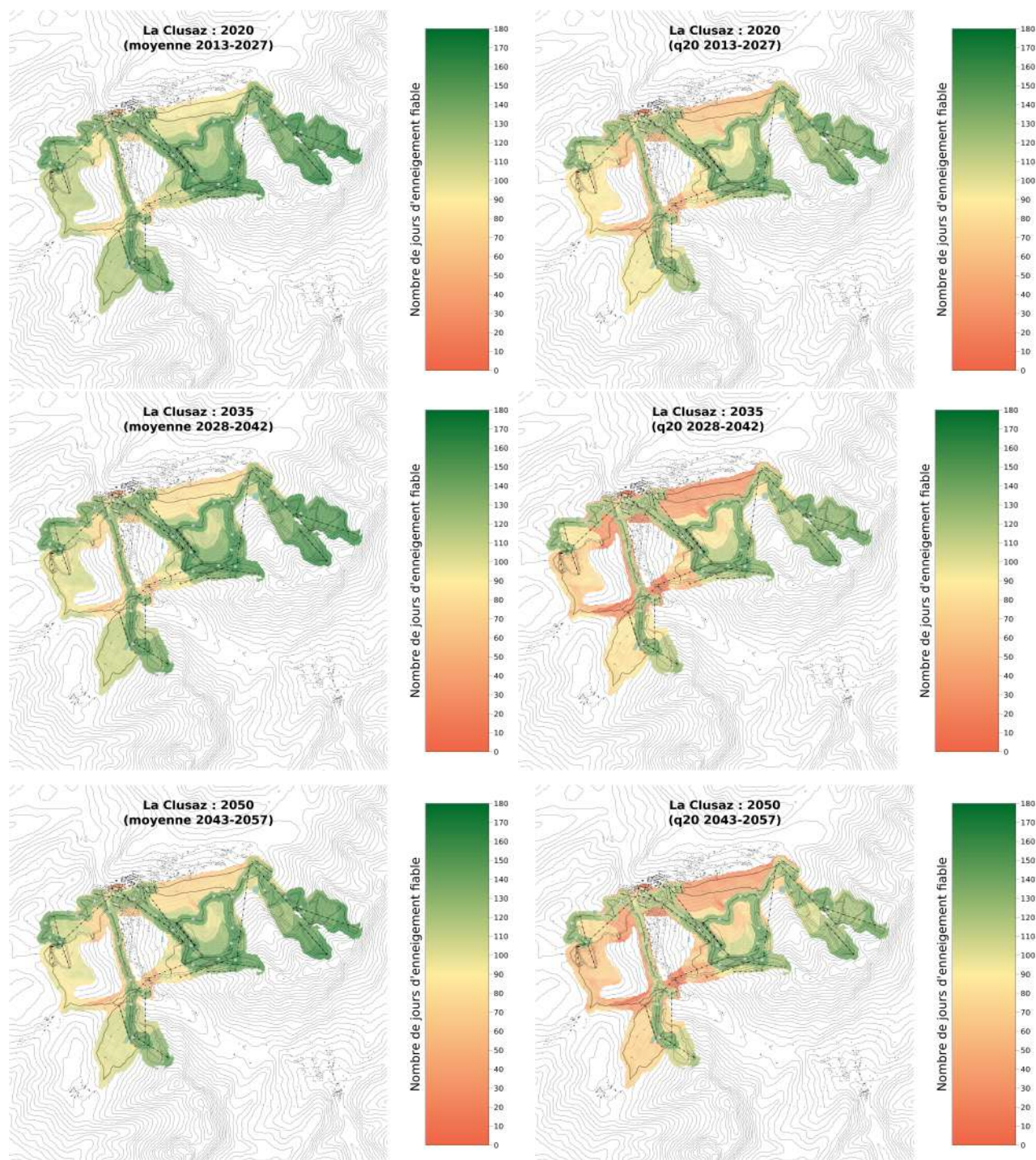


FIGURE 18 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

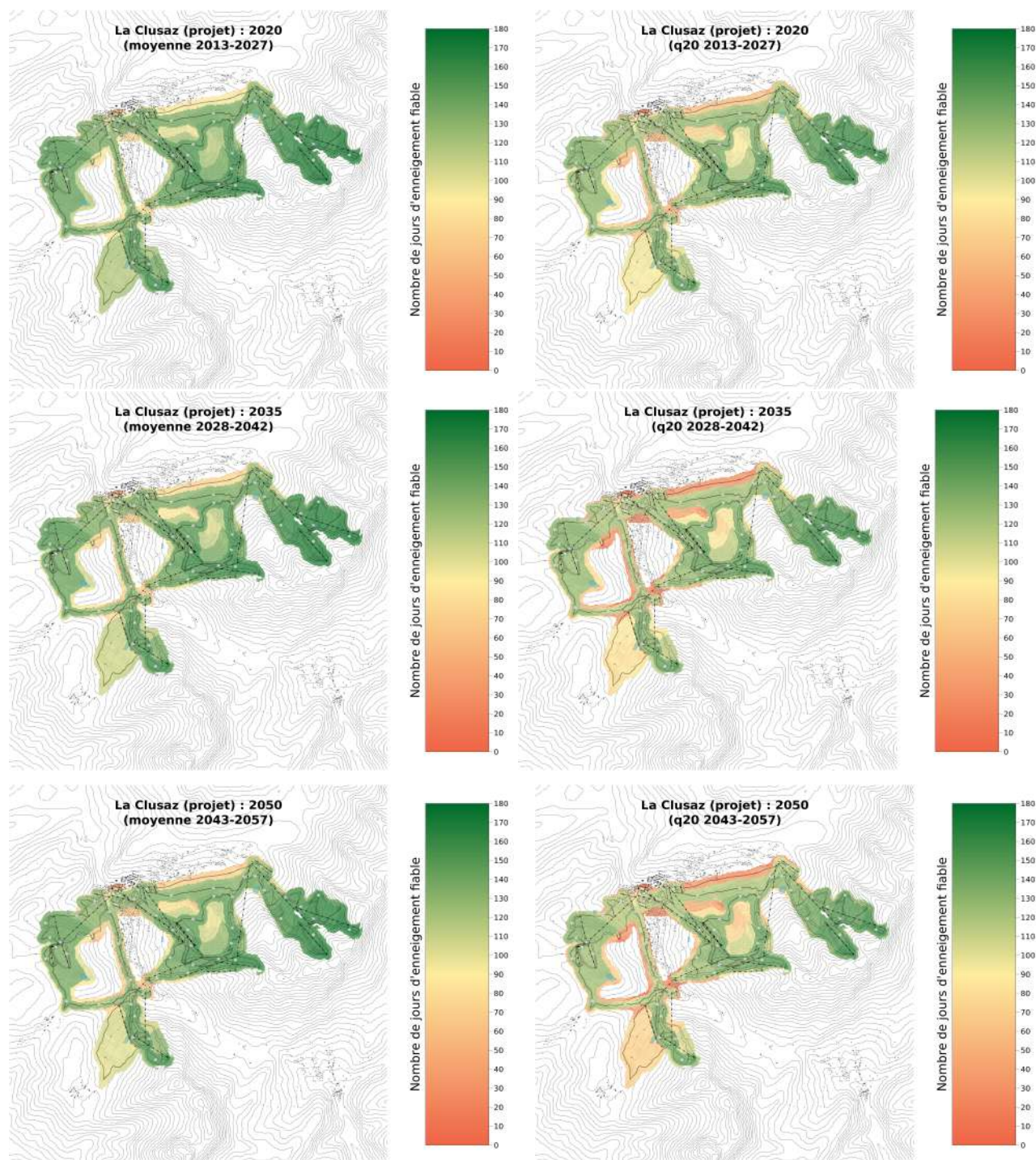


FIGURE 19 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

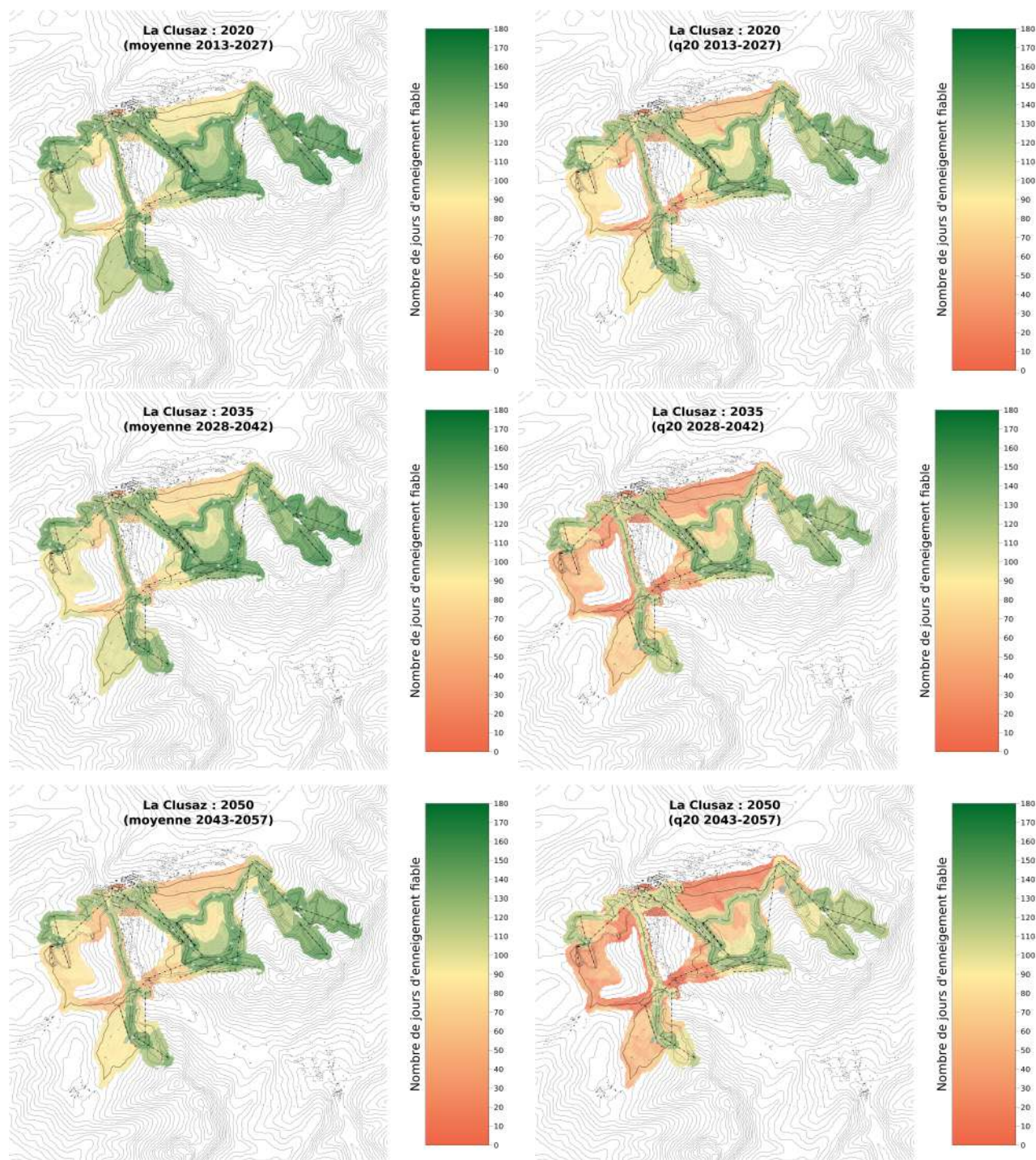


FIGURE 20 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

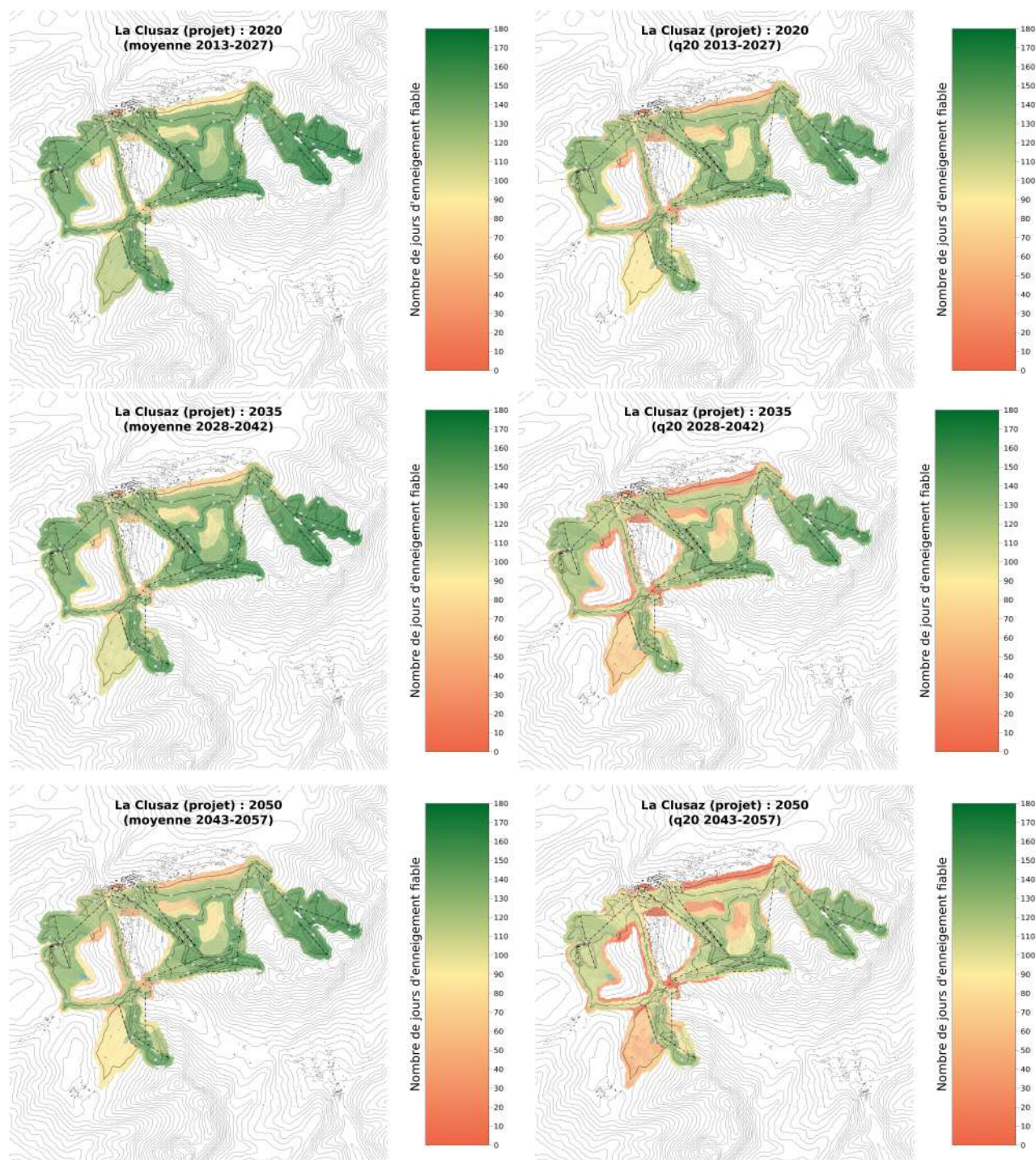


FIGURE 21 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

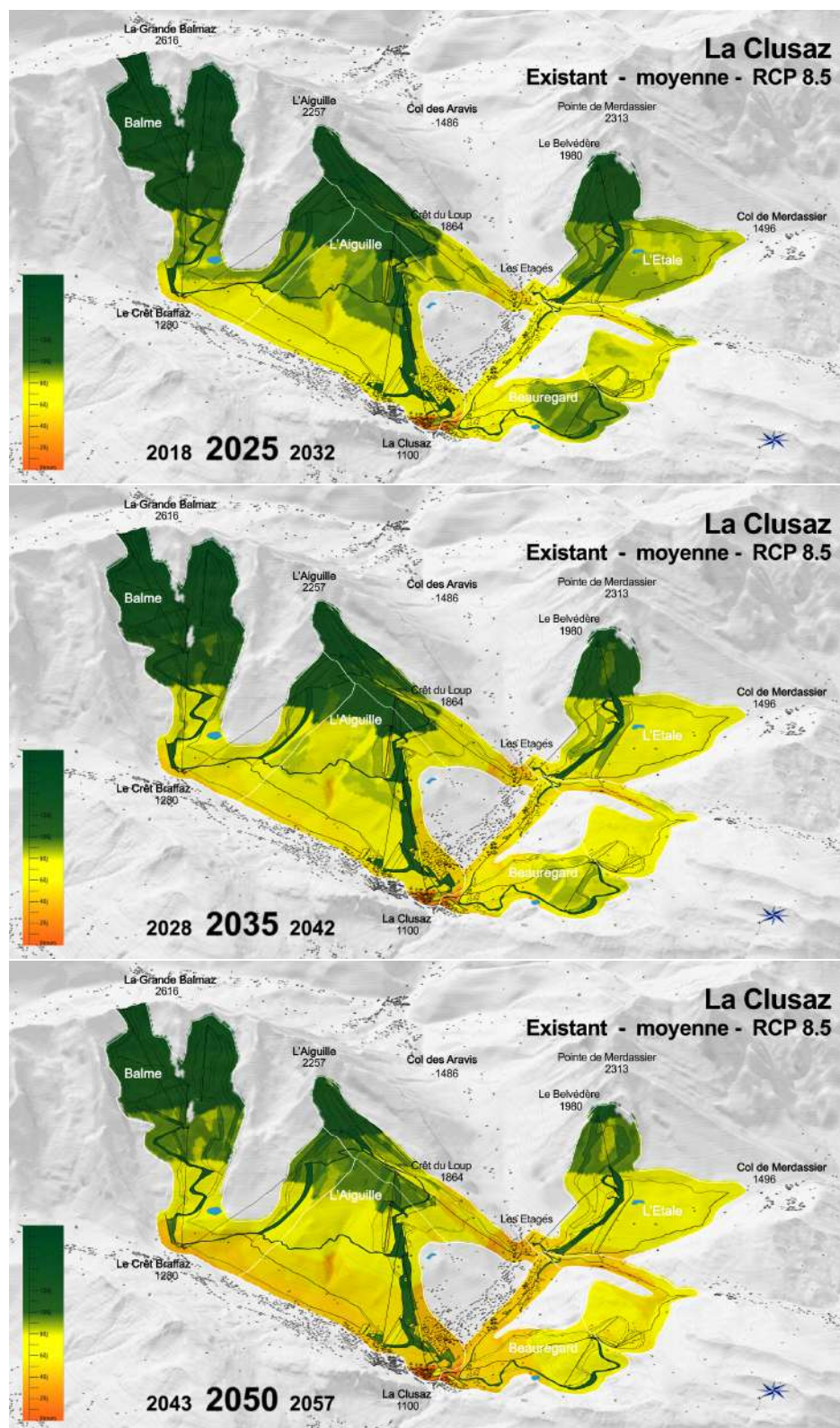


FIGURE 22 – Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (état existant).

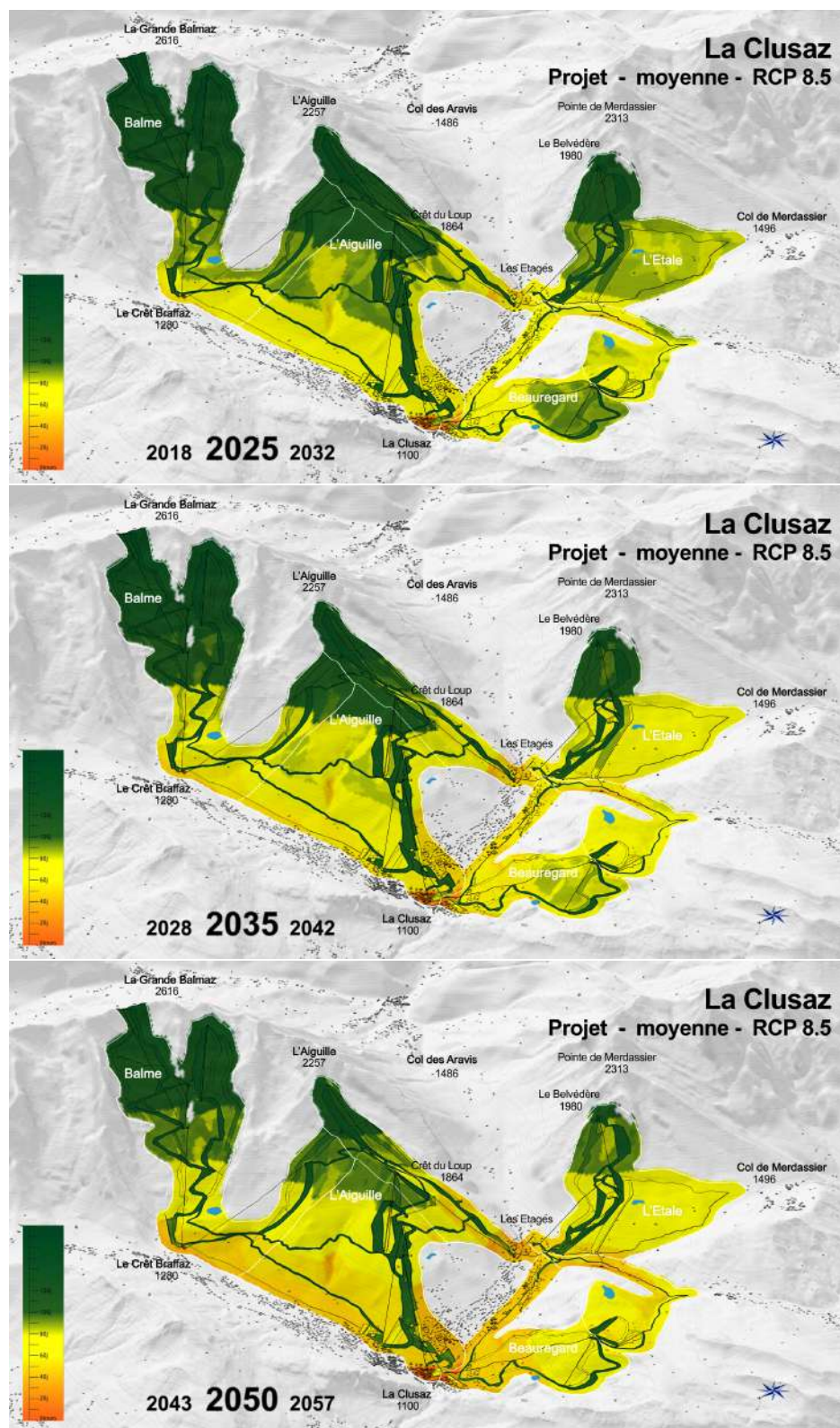


FIGURE 23 – Durées d'enneigement pour des saisons moyennes (avec projets).

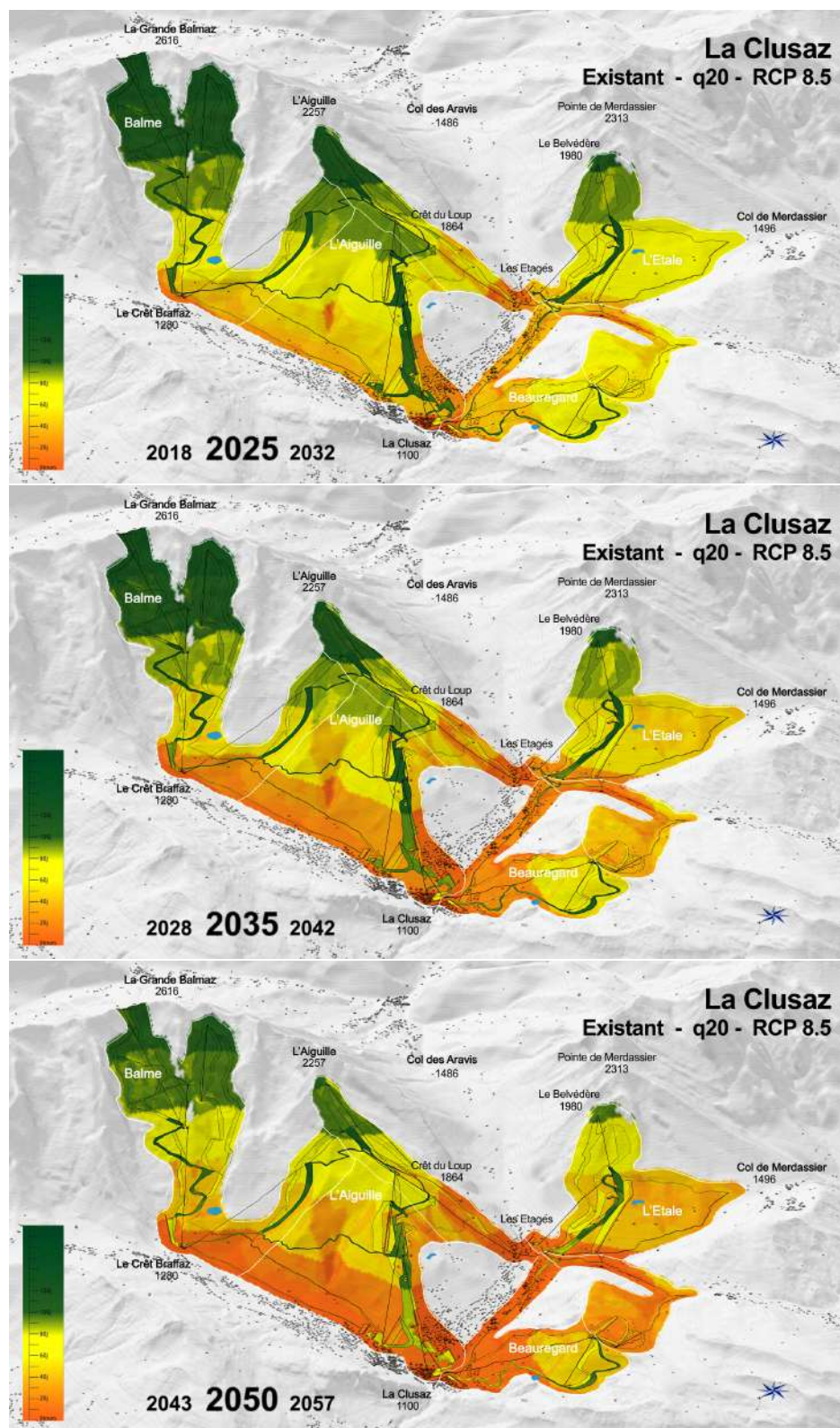


FIGURE 24 – Durées d'enneigement pour des saisons défavorables (état existant).

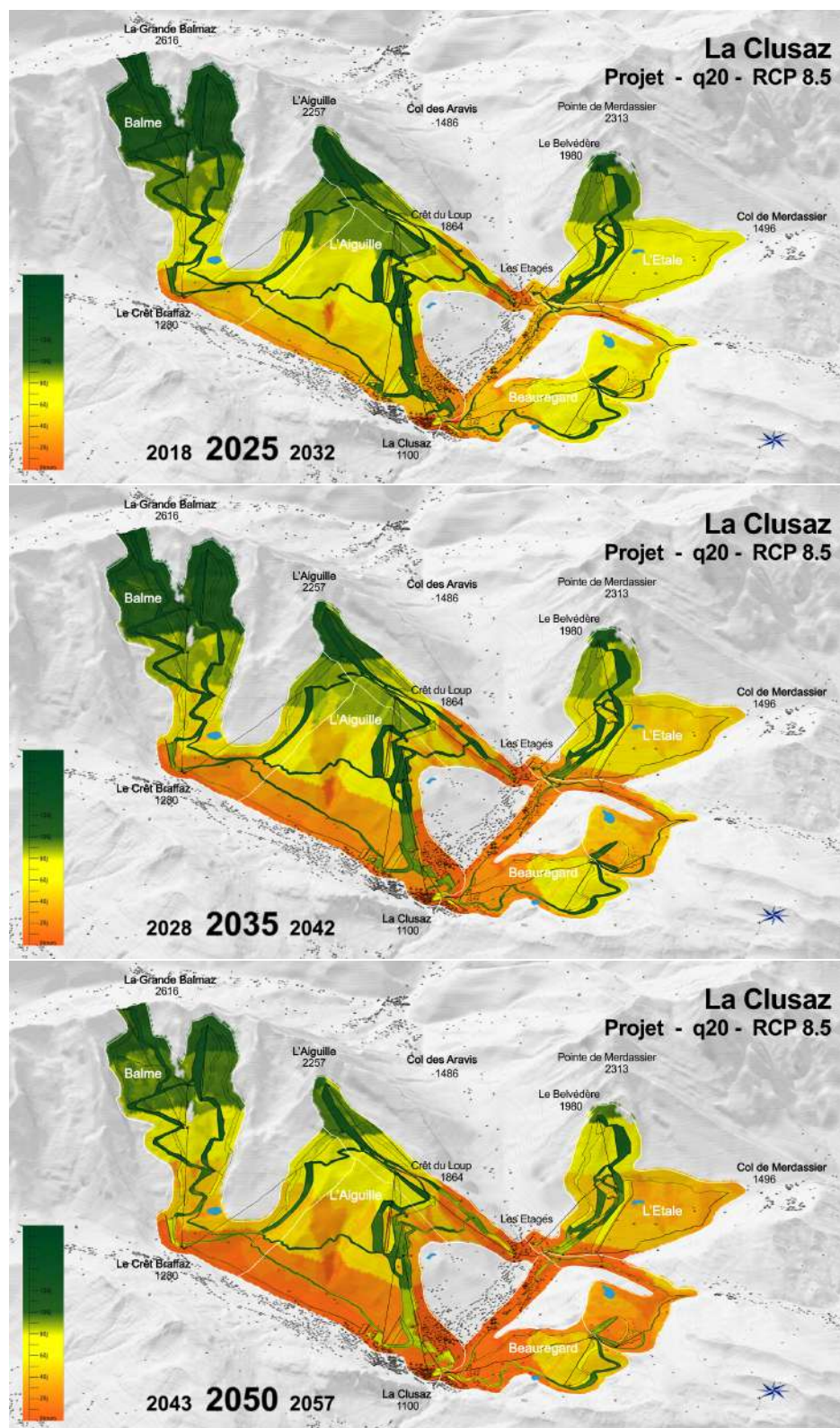


FIGURE 25 – Durées d'enneigement pour des saisons défavorables (avec projets).

2.2 ANALYSES ET PRÉCONISATIONS

2.2.1 Principaux enseignements de l'étude ClimSnow

Globalement, les projections climatiques dans les zones de montagne en France indiquent une augmentation significative des températures moyennes dans les prochaines décennies. Les précipitations hivernales totales (pluie + neige), 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), du fait que les précipitations se produiront de plus en plus sous forme de pluie et de moins en moins sous forme de neige, et que la neige fond plus rapidement dans un climat plus chaud. La raréfaction de l'enneigement sera plus ou moins marquée en fonction des secteurs et de leur topographie (altitude, orientation, pente).

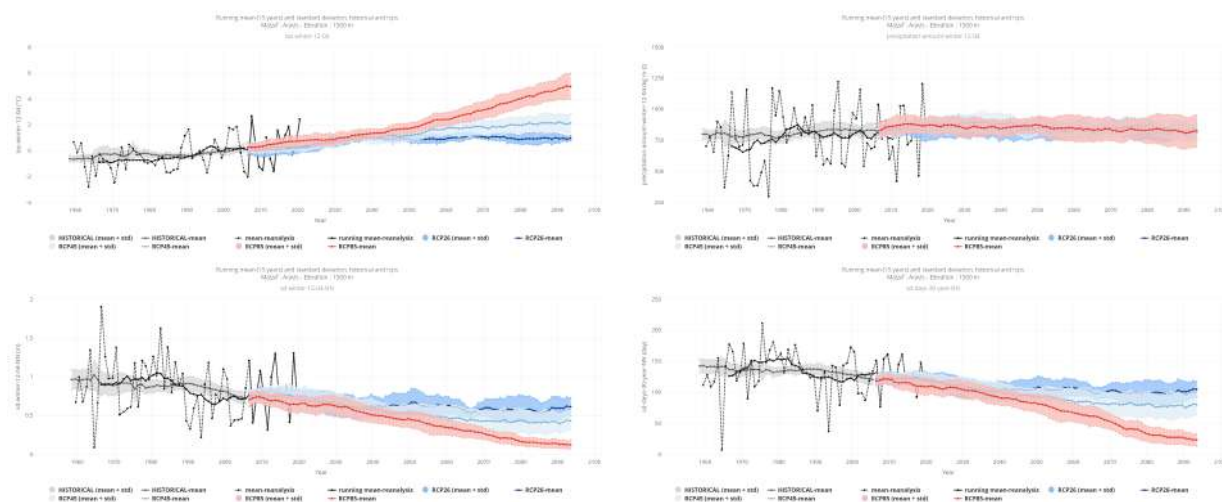


FIGURE 26 – Évolution des températures de l'air en hiver (en haut à gauche), des précipitations hivernales totales (en haut à droite), de l'épaisseur de neige naturelle (en bas à gauche) et du nombre de jours avec au moins 30 cm de neige naturelle au sol (en bas à droite). Les valeurs correspondent au massif des Aravis à 1500 m d'altitude. La hausse des températures va engendrer une baisse de l'enneigement, avec des précipitations totales quasi-constantes. Figure produite à partir des données utilisées pour les projections ClimSnow.

L'évolution de l'enneigement est représentée par un indicateur de ClimSnow appelé « indice de fiabilité de l'enneigement ». Cet indice 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 Clusaz, on constate que pendant la période historique (1986-2015), l'indice de fiabilité lors des saisons faiblement enneigées aurait été de 87% en prenant en compte la neige naturelle damée, 91% avec les équipements actuels de production de neige et 94% avec les projets d'extension du réseau de production. Il s'agit de valeurs relativement hautes qui montrent des conditions d'enneigement plutôt confortables pour l'exploitation d'un domaine skiable. Lorsque l'on se focalise sur les projections dans les prochaines décennies,

les résultats principaux de ClimSnow sont les suivants :

- Les indices de fiabilité de l’enneigement en moyenne multi-annuelle montrent une décroissance lente et graduelle jusqu’en 2040 environ. A partir de cette date, on constate une accentuation des différences entre les scénarios climatiques, avec une baisse significative en scénario RCP8.5 surtout à partir de 2060 environ.
- Malgré la relative stabilité de cet indice pendant les prochains 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 60% 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 6 années sur 10. Ce résultat est particulièrement important, puisque la récurrence des saisons faiblement enneigées est un facteur critique pour l’exploitation des stations, sans doute d’avantage que l’évolution moyenne des conditions d’enneigement.
- A l’horizon 2050 et avec le scénario le plus défavorable (RCP8.5), l’indice de fiabilité lors des saisons faiblement enneigées sera égale à 84% avec la prise en compte des projets d’extension du réseau neige (75% en gardant le réseau existant), par rapport à 91% de la période historique.
- Selon la modélisation opérée avec une technologie mono-fluide, en mesure d’être plus performante à date avec la prise en compte des températures marginales, les différents scénarios indiquent une baisse de l’indice de fiabilité légèrement moins marquée pendant la deuxième moitié du XXI siècle.

Secteur	Indice de fiabilité de l’enneigement, en % (RCP8.5 - Q20 - Perches)		
	1986-2015 (existant)	2028-2042 (existant/projets)	2043-2057 (existant/projets)
Balme	96	89/94	83/90
Beauregard-Nord	88	77/85	68/82
Beauregard-Sud	83	64/82	38/80
L’Aiguille-Nord	88	70/82	66/78
L’Aiguille-Sud	94	84/93	82/89
l’Etale	89	83/84	78/80
La Clusaz	91	81/88	75/84

TABLE 1 – Indices de fiabilité de l’enneigement calculés pour chaque secteur.

2.2.2 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 le 20% des hivers les plus défavorables en termes d’enneigement sur les pistes. La période analysée s’étend de novembre et avril, soit environ 180 jours au total. A La Clusaz, une durée minimum de 100 jours de ski est estimée nécessaire pour l’exploitation du domaine, avec une durée idéale dépassant les 120 jours.

L’analyse des saisons moyennes à l’horizon 2050 permet de dégager certains constats.

- Au point culminant du domaine (2479 mètres), la durée d’enneigement restera 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 (1682 mètres), la durée d'enneigement restera supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours) pour le scénario RCP2.6 (c'est à dire, en supposant une baisse rapide et marquée des émissions de gaz à effet de serre au niveau international). En considérant les autres scénarios, seule la simulation avec production de neige permettra de dépasser les 120 jours d'exploitation.
- À l'altitude minimum du domaine (1045 mètres), la durée d'enneigement restera supérieure à la période d'ouverture de la station (120 jours) seulement dans le cas de la simulation avec production de neige et en présence de systèmes de production très performants. Sans neige de culture, 37 jours de ski seront possibles en scénario RCP8.5 (43 en RCP4.5), par rapport aux 69 de la période historique de référence.

Il faut bien souligner le fait que ces valeurs représentent des moyennes, alors que les conditions d'enneigement vont rester très variables d'une année à l'autre. Les valeurs moyennes ne permettent pas de se rendre compte des difficultés de gestion liées à l'enneigement, car elles peuvent masquer des conditions d'exploitation difficiles, compensées par quelques années particulièrement bien enneigées. Afin de mieux comprendre l'avenir climatique des stations et l'évolution de leurs conditions d'exploitation, il est donc nécessaire de prendre en compte cette variabilité. Dans ce but, l'étude des durées d'enneigement des années défavorables (Q20) permet de compléter la vue donnée par l'analyse de l'enneigement annuel moyen.

Comme expliqué auparavant, dans les prochaines décennies la fréquence de retour des hivers faiblement enneigés va augmenter et leur enneigement va devenir de plus en plus déficitaire. Les cartes 2D et 3D montrent qu'autour de 2050, en scénario RCP8.5, les parties hautes du domaine situées au delà d'environ 1800 m (secteurs de Balme, Aiguille et Belvédère) et les secteurs équipés en neige de culture au delà d'environ 1500 m pourront toujours garantir des durées d'enneigement supérieures à 100 jours lors des années défavorables. Ailleurs, la dégradation des conditions d'exploitation sera plus marquée et les 100 jours seront difficilement atteints.

2.2.3 La production de neige de culture

La production de neige réduit l'ampleur de la baisse de l'enneigement sous l'effet du changement climatique à La Clusaz. 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 $<-6^{\circ}\text{C}$).

Les courbes des quantités d'eau utilisées pour la production de neige sont en légère hausse en technologie bi-fluide et en hausse plus marquée en technologie mono-fluide. Les simulations indiquent une augmentation d'environ 14% du besoin d'ici 2050 (mono-fluides, RCP8.5), afin de compenser le manque progressif de neige naturelle en profitant de fenêtres de froid de plus en plus réduites. La prise en compte des projets d'extension du réseau de neige de culture amène à doubler la quantité d'eau mobilisée annuellement pour la production de neige (jusqu'à environ 600.000-800.000 m^3 à l'horizon 2050, en fonction de la technologie de production). Il serait pertinent de compléter ces informations en menant une étude de l'évolution future de la disponibilité en eau. Ceci permettrait de comparer directement les quantités d'eau pour la production de neige simulées par ClimSnow avec celles réellement disponibles dans les 45 km^2 du bassin versant de La Clusaz et en particulier avec les débits du Nant et du Nom, et ce à différents horizons temporels et en fonction du scénario climatique.

Secteur	Besoin en eau pour la production de neige de culture, en milliers de m ³ (RCP8.5 - Q50)		
	2006-2023 (observations)	2043-2057 (perches, existant/projets)	2043-2057 (ventilateurs, existant/projets)
Balme	/	90/180	120/240
Beauregard-Nord	/	50/70	70/100
Beauregard-Sud	/	2/40	3/50
L'Aiguille-Nord	/	80/140	120/190
L'Aiguille-Sud	/	30/80	40/110
l'Etale	/	40/60	50/80
La Clusaz	248	292/570	403/770

TABLE 2 – Besoin en eau pour la production de neige de culture. Pour la période 2043-2057, le tableau présente les résultats correspondant à des équipements de type "perches" et de type "ventilateur", à chaque fois en considérant l'état existant (les surfaces équipées aujourd'hui) et la prise en compte des projets d'extension.

2.2.4 Analyses par secteur

L'une des caractéristiques principales du domaine skiable de La Clusaz est sa répartition en secteurs, qui disposent de :

- remontées mécaniques d'accès très structurantes (TC, TM, TSD),
- pistes "retours" sur les points bas,
- pistes de liaison qui assurent la fonctionnalité "confort" d'ensemble des secteurs.

Aussi, nous portons un regard particulier sur ces articulations avec les présents résultats de la projection d'enneigement.

D'une façon générale, les résultats de Climsnow indiquent :

- pour les altitudes inférieures à 1500-1600 mètres, dans la période 2050, une fragilité de l'enneigement mais un maintien significatif des pistes agrégeant de la neige produite,
- au-dessus de l'altitude 1800-1900 mètres, des durées d'exploitation confortables.

Secteur de Balme

Ce secteur bénéficie des altitudes les plus élevées sur le domaine skiable de La Clusaz, d'où l'intérêt de rechercher au-dessus de 2000 mètres (tronçon du télésiège de Col de Balme) une augmentation de la capacité d'accueil des skieurs (aménagement, élargissement des pistes actuelles). Le confortement (progressif) de neige produite tel qu'indiqué dans les projets envisagés est de nature à fiabiliser le fonctionnement de ce secteur. En période d'enneigement défavorable, l'enneigement produit conduit à assurer environ 90 jours sur le bas (en 2050, Q20, RCP8.5).

Développer une offre complète à échéance 15-20 ans (durée d'amortissement d'équipements légers) est de nature à renforcer l'attractivité de ce secteur. Cette offre devrait intégrer :

- un véritable "ski débutant et évolution",
- un programme d'activités diversifiées mutualisant le fonctionnement de certaines remontées mécaniques avec ou sans neige.

A l'horizon 2050, le focus devrait être mis sur les fonctions de liaison inter-secteurs qui sont vitales :

- le retour à partir de l'Aiguille serait fiabilisé,
- la liaison "Balme – Bossonnet" également, si l'on tient compte du projet envisagé en neige produite (bonne exposition, faible pente).

Secteur de l'Aiguille

Les fronts de neige et activités "débutants" de Champ Giguët et de Bossonnet se fragilisent progressivement.

La production de neige y assure un temps de transition qui serait à mettre à profit pour le transfert des activités "initiation neige" en un front-neige d'altitude entre les altitudes 1500-1600 m à hauteur du Crêt du Merle. Ce transfert :

- garantira la qualité du produit intégrant la qualité de la glisse et une ambiance "neige",
- confèrera une vision claire du fonctionnement aux différents acteurs du domaine skiable dont les écoles de ski (pour éviter la dispersion des moyens),
- permettra de mettre à profit les espaces de proximité du village pour les activités diversifiées été/hiver servant à l'animation du village,
- facilitera le maintien de la neige dans la fonction "retour" des clients et aussi la liaison vers le secteur Beauregard.

La liaison avec le secteur de L'Étale serait fiabilisée sur une durée d'environ 80 jours (en 2050, Q20, RCP8.5), à condition d'engager le projet envisagé pour une extension du réseau de neige de culture. Le phasage de ce programme devra en être vérifié afin d'être prioritaire en raison de la durée d'amortissement de cette nature d'investissement.

Secteur de Beauregard

Incontestablement le secteur de Beauregard est, compte tenu de ses altitudes et expositions, le plus fragilisé. Il conviendra d'engager au plus vite sa transition vers de la diversification des activités d'été et d'hiver. Même si le projet de neige de culture envisagé est très argumenté (ski commercial, balade prisee très longue, lien "skis aux pieds" avec autres secteurs), il conviendra, avant toute décision, d'être attentif :

- au décalage entre les durées de maintien de la neige naturelle et la neige de culture,
- au montant de l'investissement, que celui-ci ne soit pas au détriment d'autres priorités, surtout de celles à poursuivre avec la diversification,
- au phasage et à la date de l'engagement afin d'avoir une période suffisante d'amortissement,
- aux volumes d'eau consommés.

Secteur de L'Étale

Ce secteur (1237-1990 m) présente les mêmes constats posés sur les secteurs de Balme et Aiguille aux mêmes altitudes. Les efforts de maintien dans la durée de l'espace d'initiation (partie basse) ne semblent pas nécessaires. Le positionnement (Easy freestyle) sera à ajuster afin de minimiser les volumes de neige à mettre en œuvre.

2.2.5 Conclusion et orientations générales

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 Clusaz. En fait, du fait du damage des pistes (augmentant la durée d'enneigement) et de l'apport de la neige de culture (qui reste globalement 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.

Pour la période 2025-2050, dans une phase de transition il conviendra :

- d'engager activement des investissements destinés à la diversification de l'offre été-hiver,
- d'équilibrer les investissements entre confortement "neige" et autres activités aussi bien sur l'hiver que sur l'été, afin de maintenir, dans cette période, la capacité d'accueil du domaine skiable,
- de rechercher des solutions pour gagner en surfaces de pistes, notamment sur les axes structurants,

- pour le confortement de la neige produite, d'étudier avec soin le phasage de façon à considérer la durée "utile" de l'amortissement et la ré-utilisation partielle de certains équipements.

Dans ce cadre, le transfert des fronts-neige en altitude et la mutation des fronts-neige en fronts d'activités de loisirs est une nécessité. Le confortement en neige produite (nouveau dimensionnement, extensions) des axes de liaison devra être réfléchi en détail en appréciant toujours la priorisation des investissements avec un équilibre à trouver entre "confortement neige" et offre de diversification. Cette approche sera d'autant plus cruciale sur le secteur de Beauregard, où le maintien d'activités ne peut s'entendre qu'avec le relais de la diversification (à très court terme). Pour ce faire, ajuster l'outil de travail qu'est le Master Plan est à entreprendre dans les meilleurs délais afin de :

- préciser les programmes, les priorités, le phasage général,
- peser les équilibres d'investissements entre "confortement neige" et activités diversifiées au regard de rendements calculés,
- considérer cette phase 2025-2050 comme une transition à parfaitement réussir afin de structurer pleinement le modèle économique qui sera le support de l'activité touristique du domaine d'activités de loisirs de La Clusaz pendant la 2ème moitié du 21ème siècle.