

3 ANNEXE : résultats par secteur

3.1 BALME

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

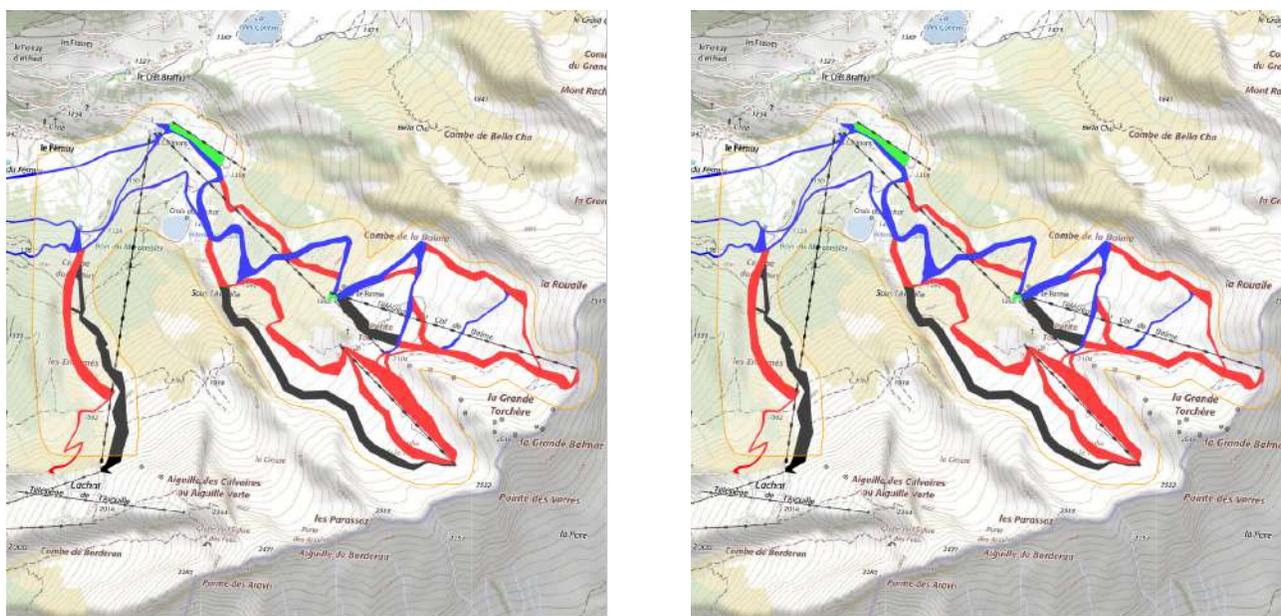


FIGURE 27 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

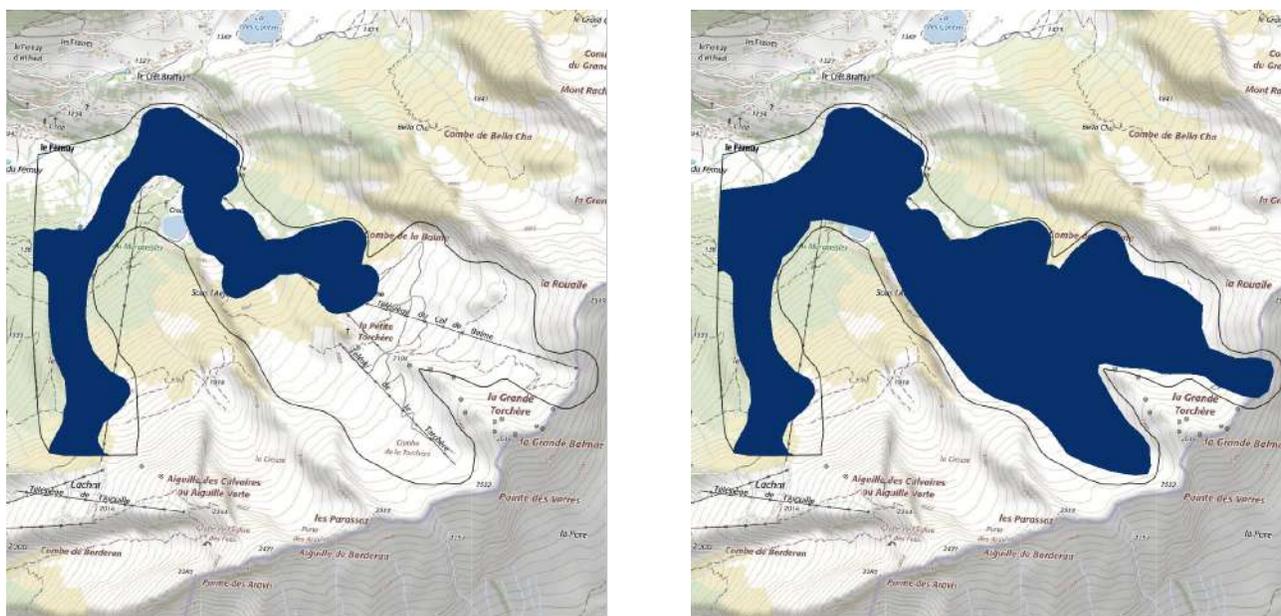


FIGURE 28 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.1.2 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

3.1.3 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.

3.1.4 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.

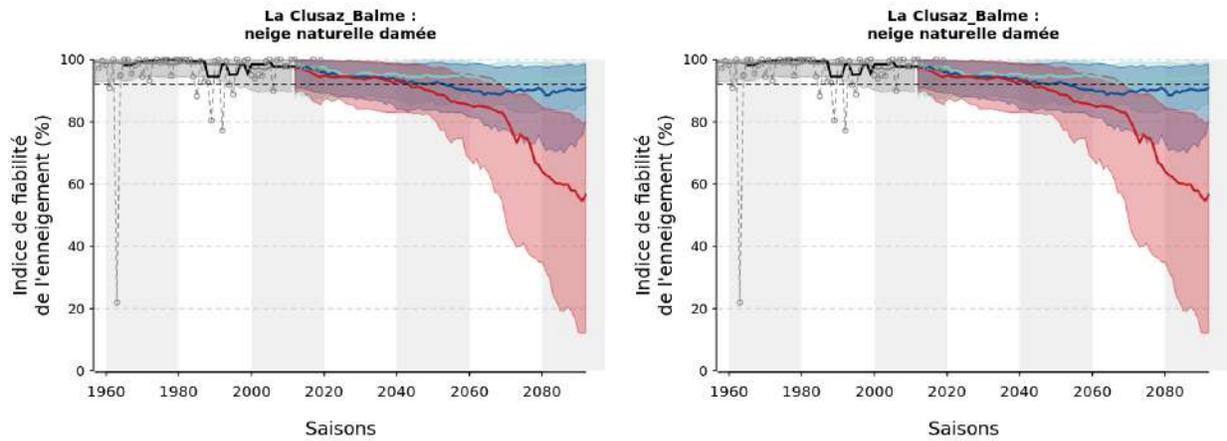


FIGURE 29 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

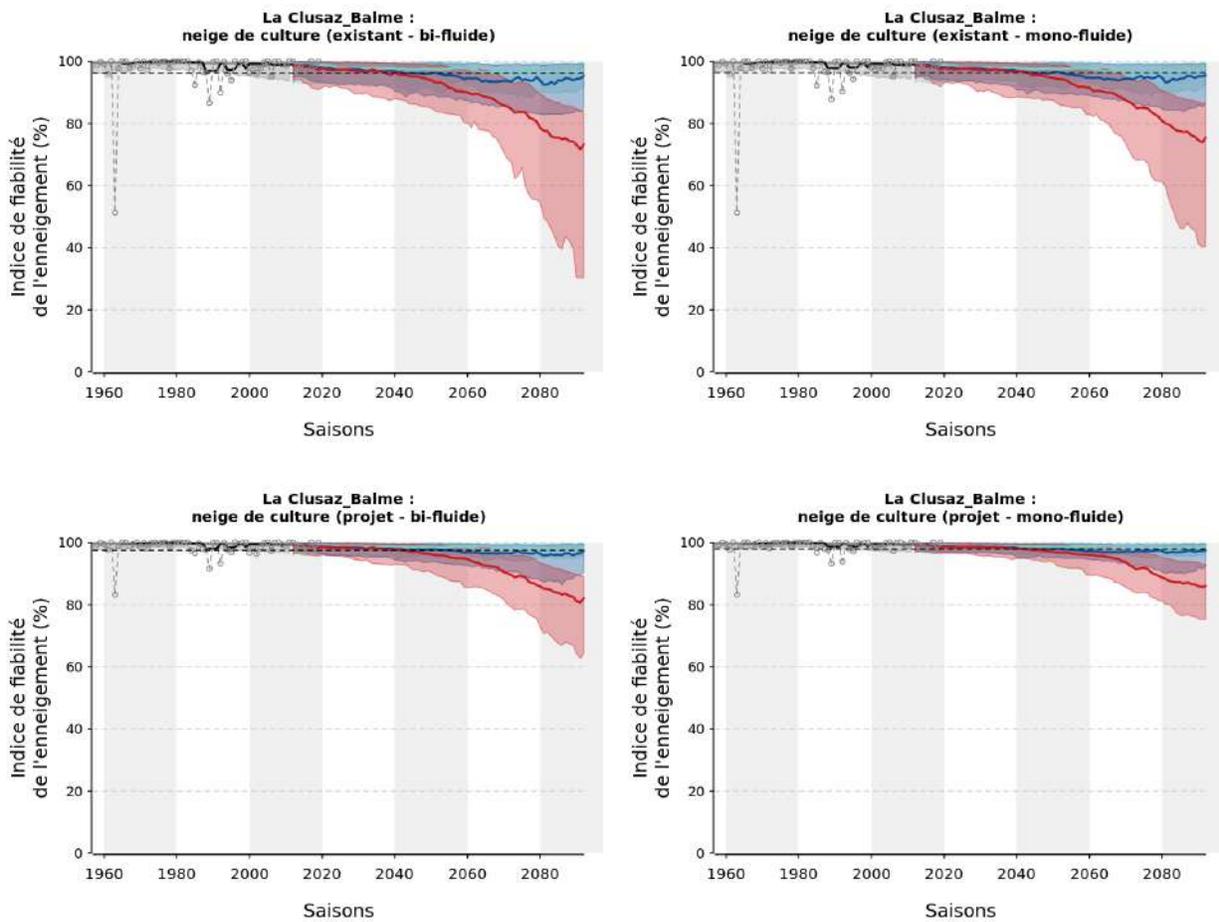


FIGURE 30 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

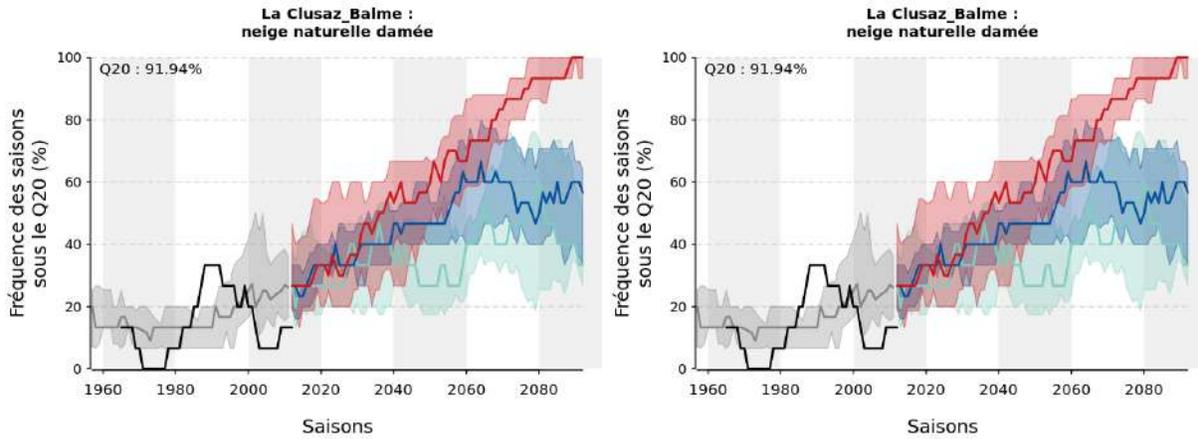


FIGURE 31 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

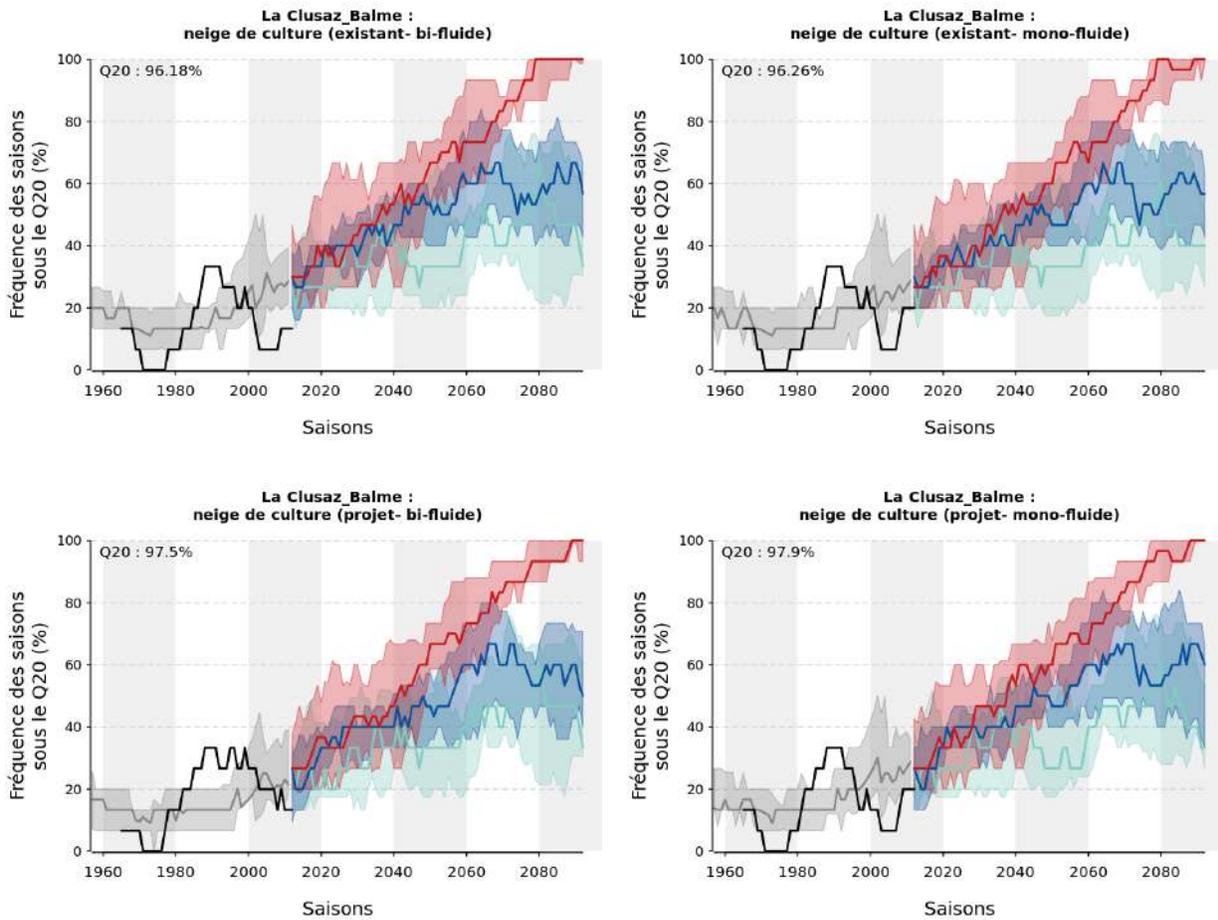


FIGURE 32 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

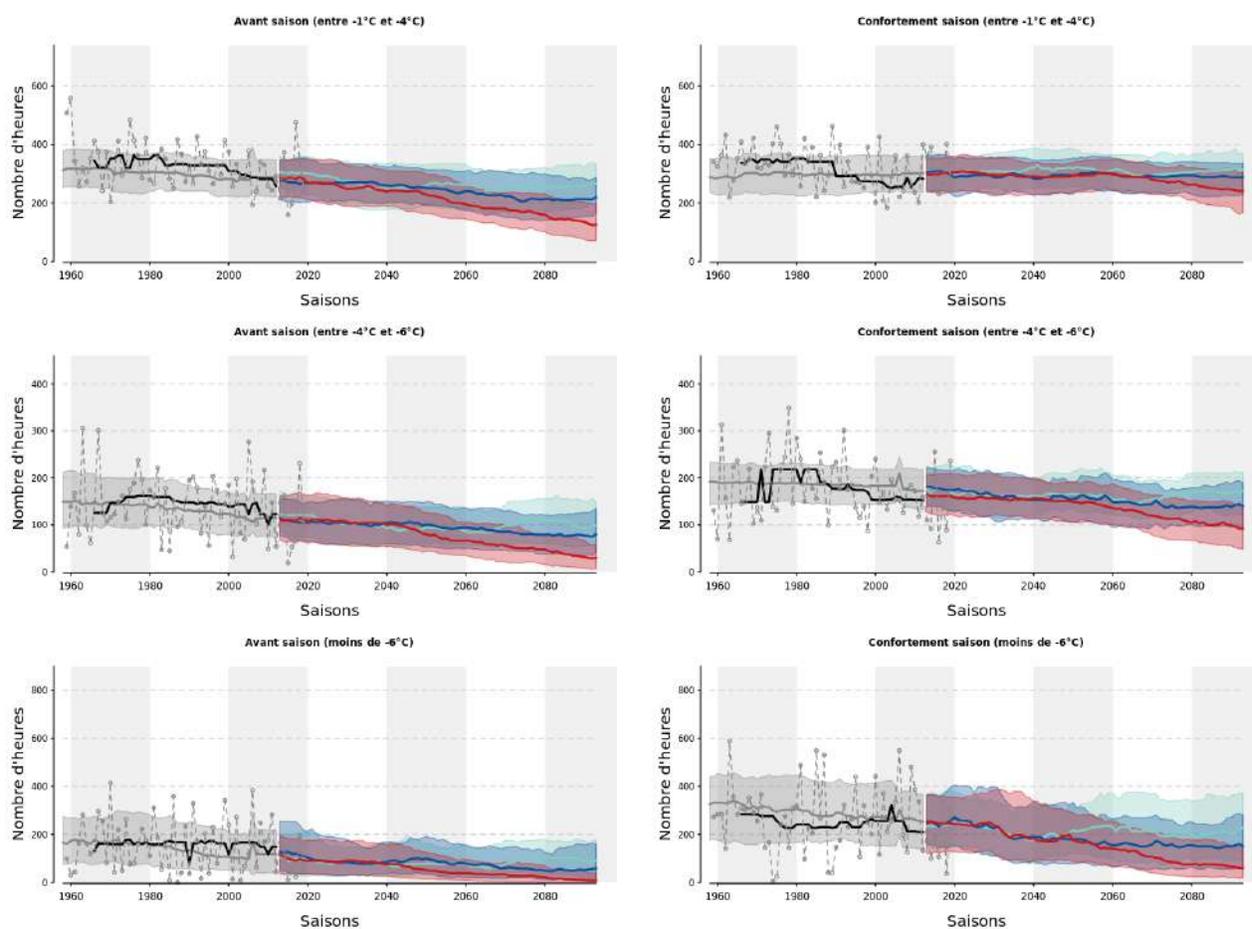


FIGURE 33 – Évolution du potentiel de froid à 1200 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.1.5 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.

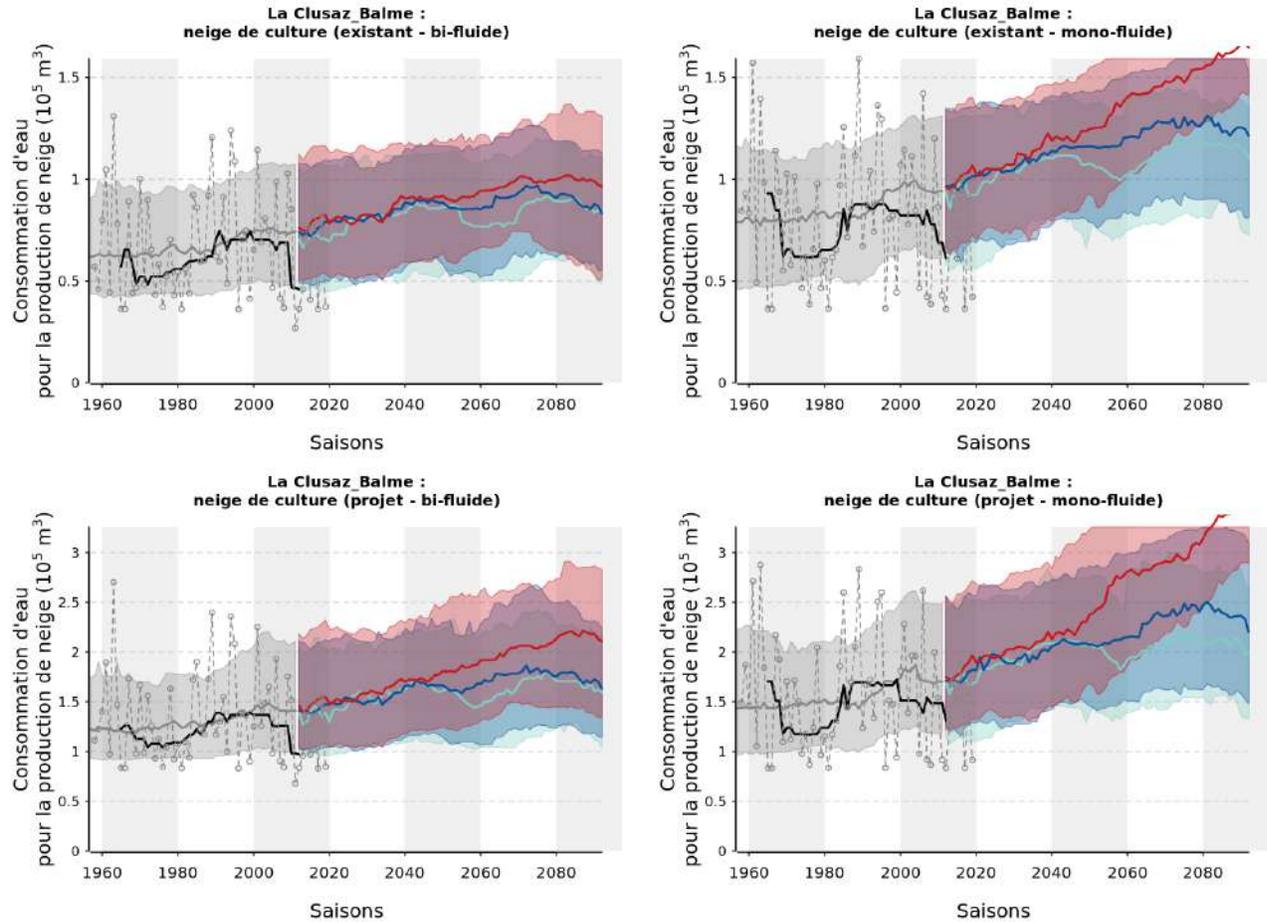


FIGURE 34 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.1.6 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.

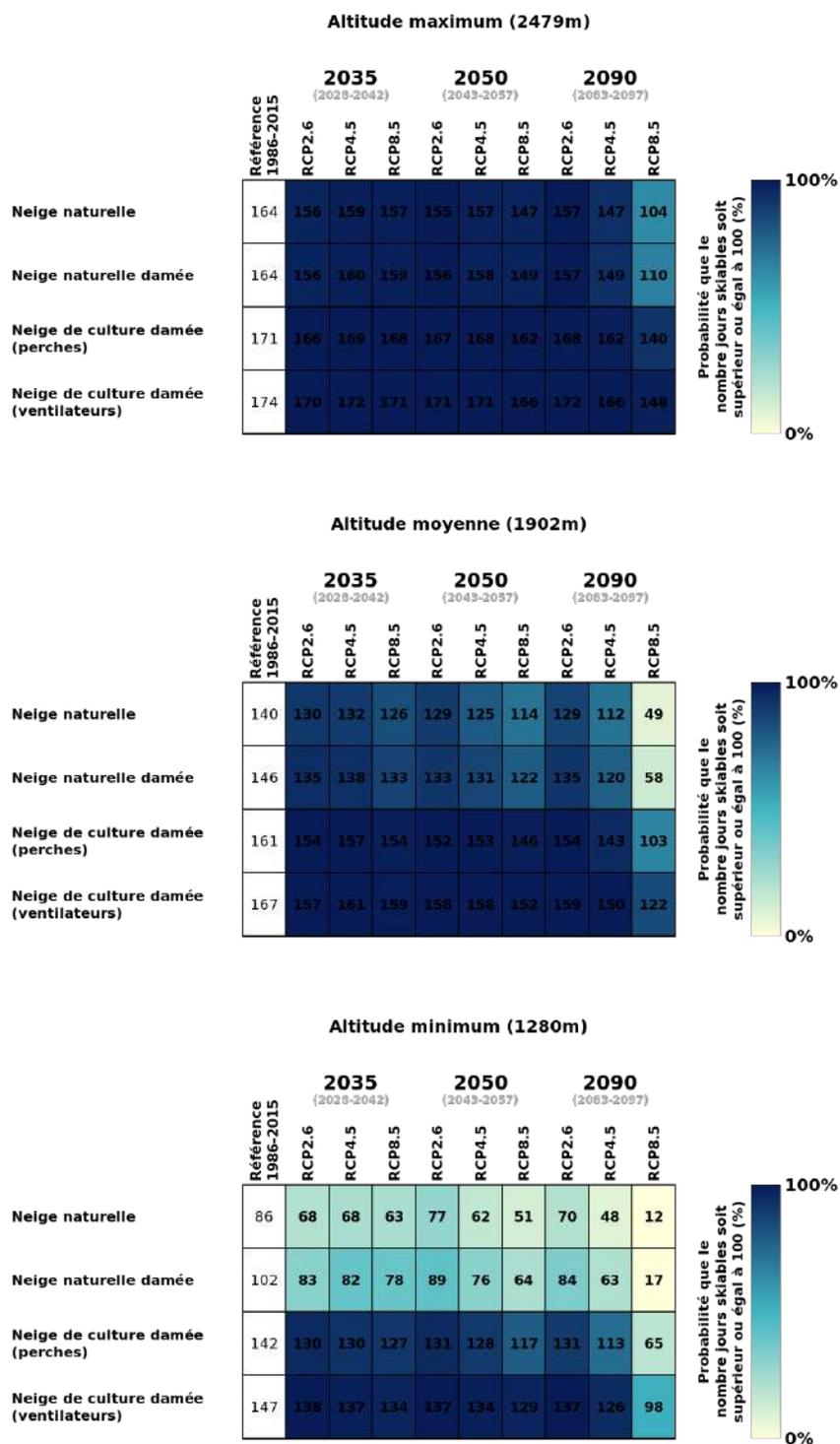


FIGURE 35 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

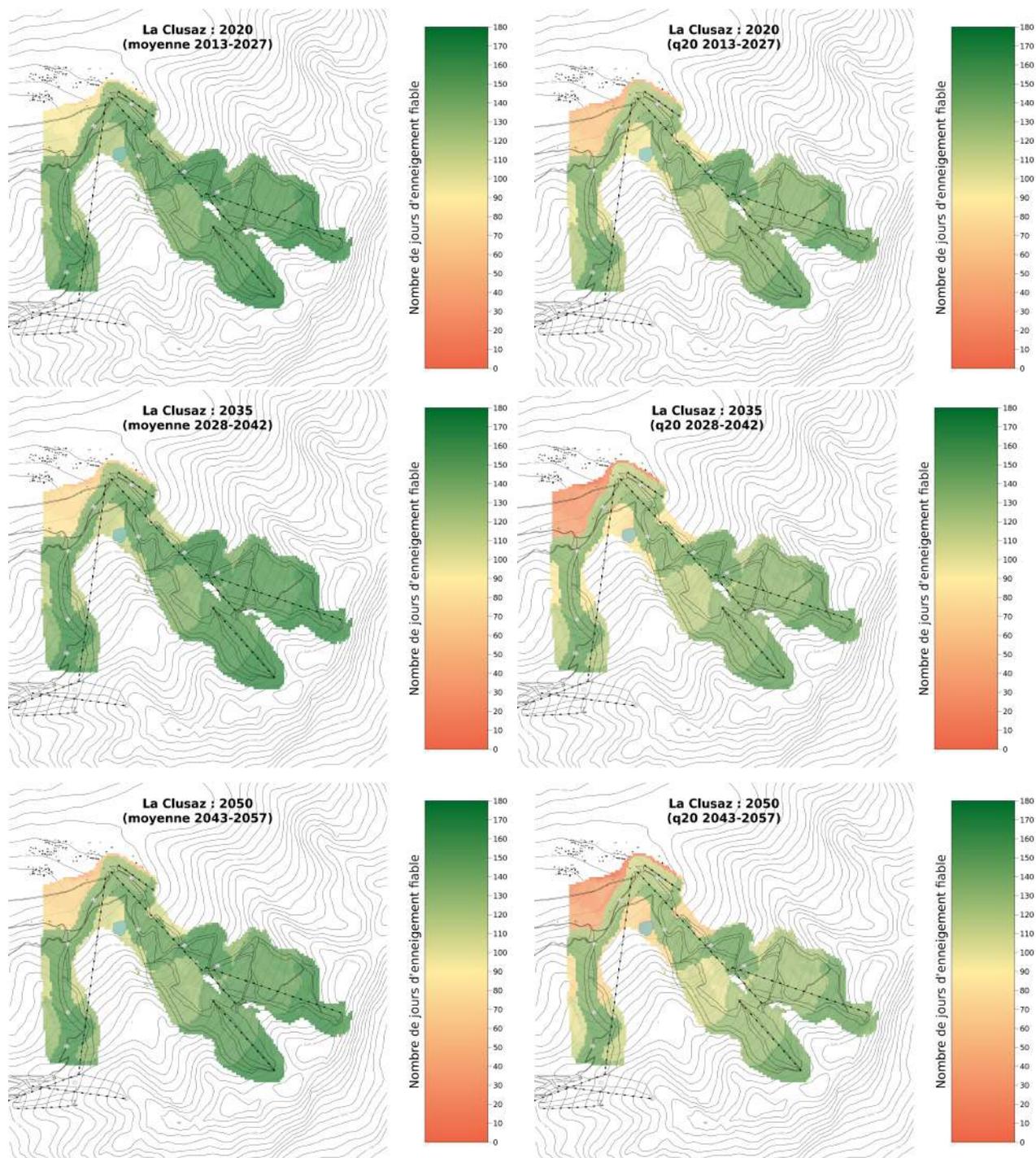


FIGURE 36 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

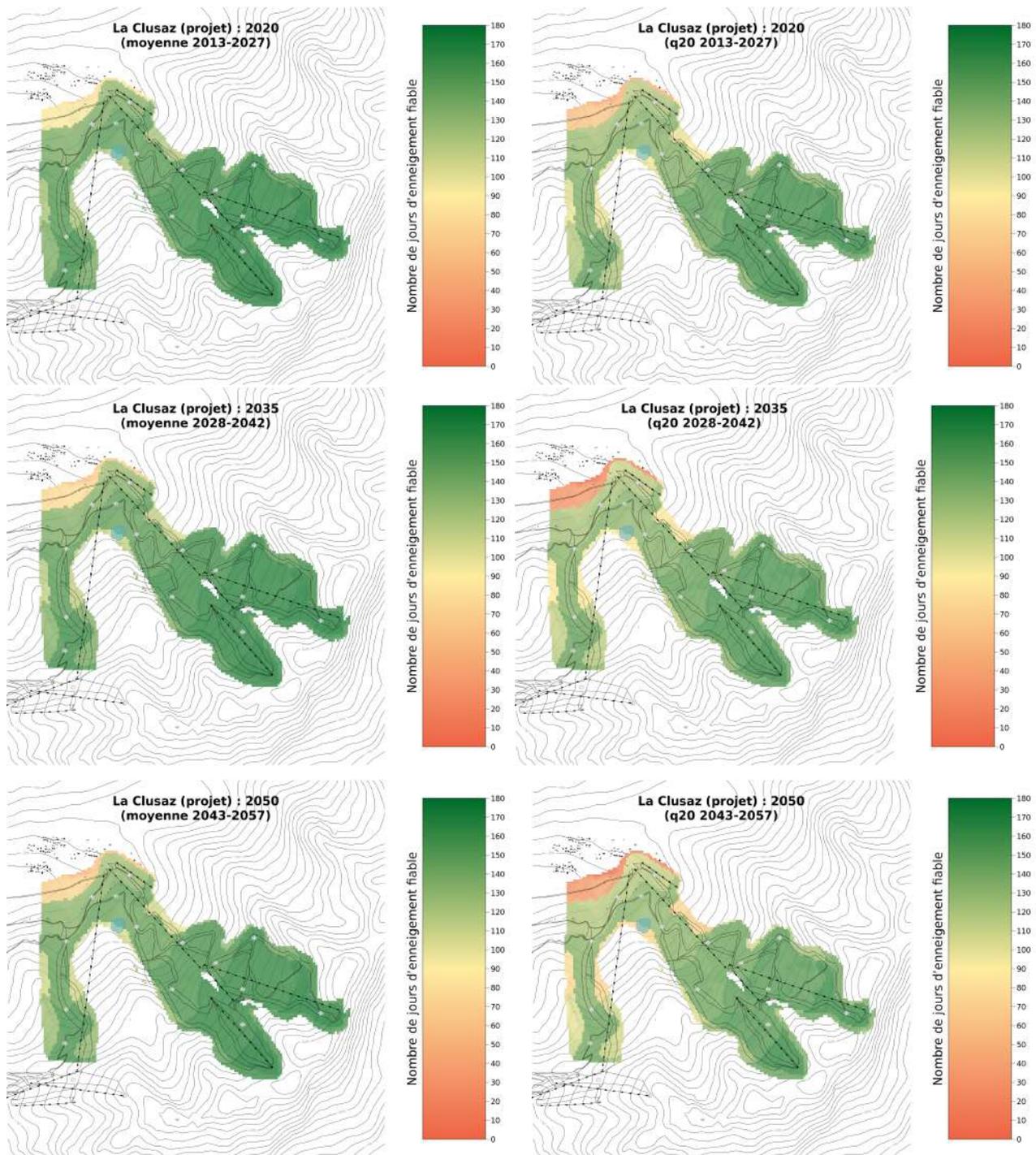


FIGURE 37 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

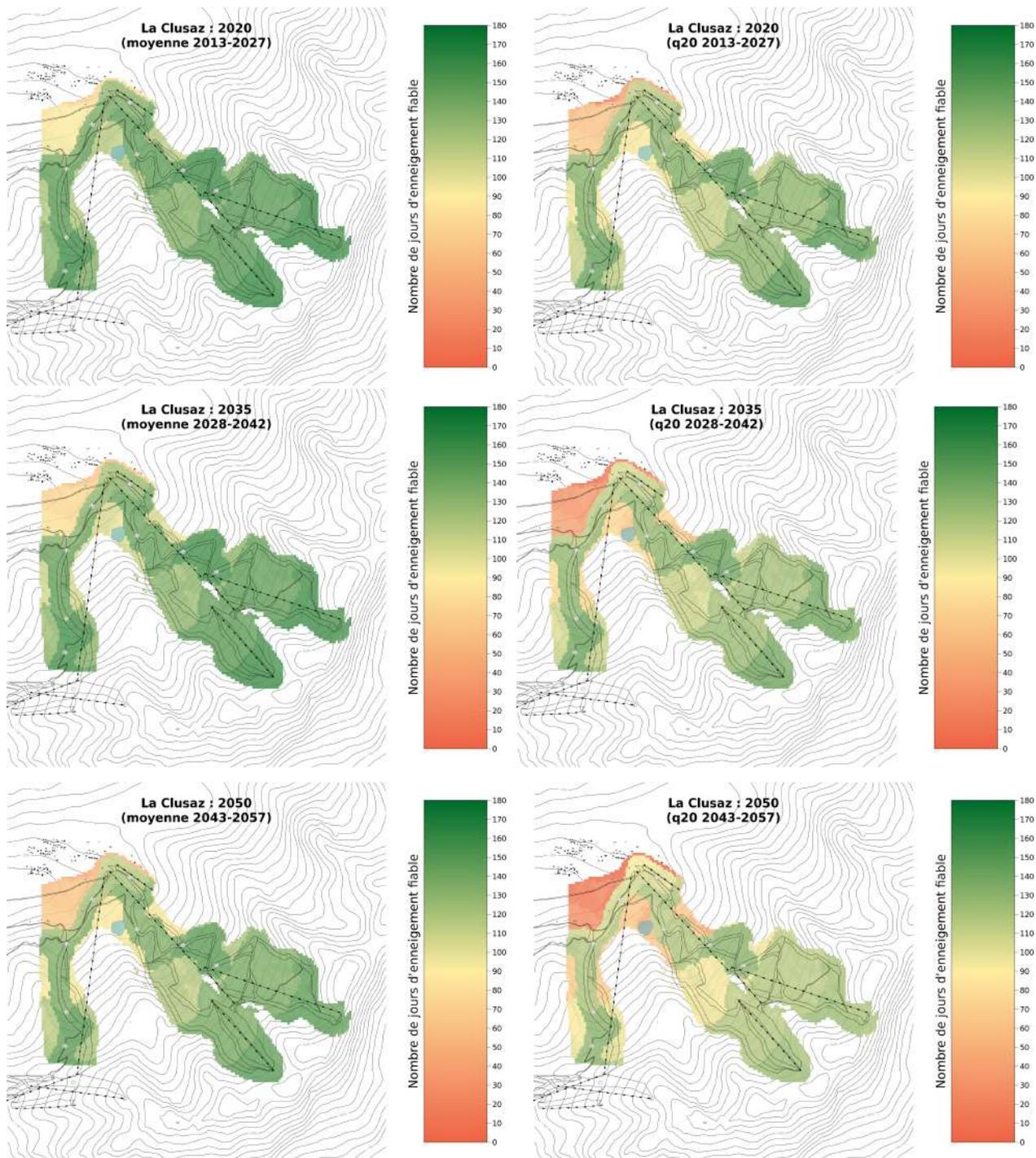


FIGURE 38 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

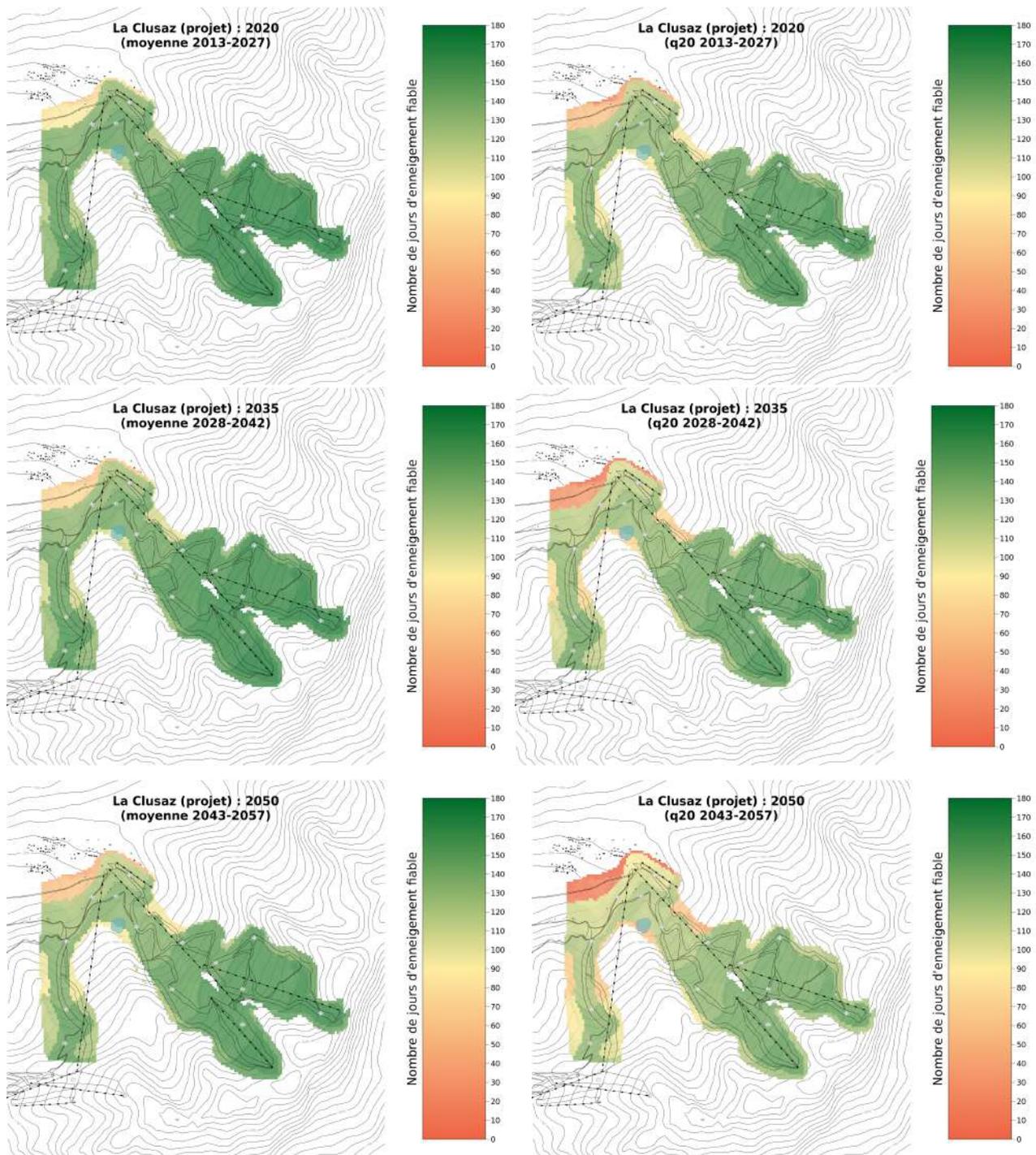


FIGURE 39 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

3.2 BEAUREGARD-NORD

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

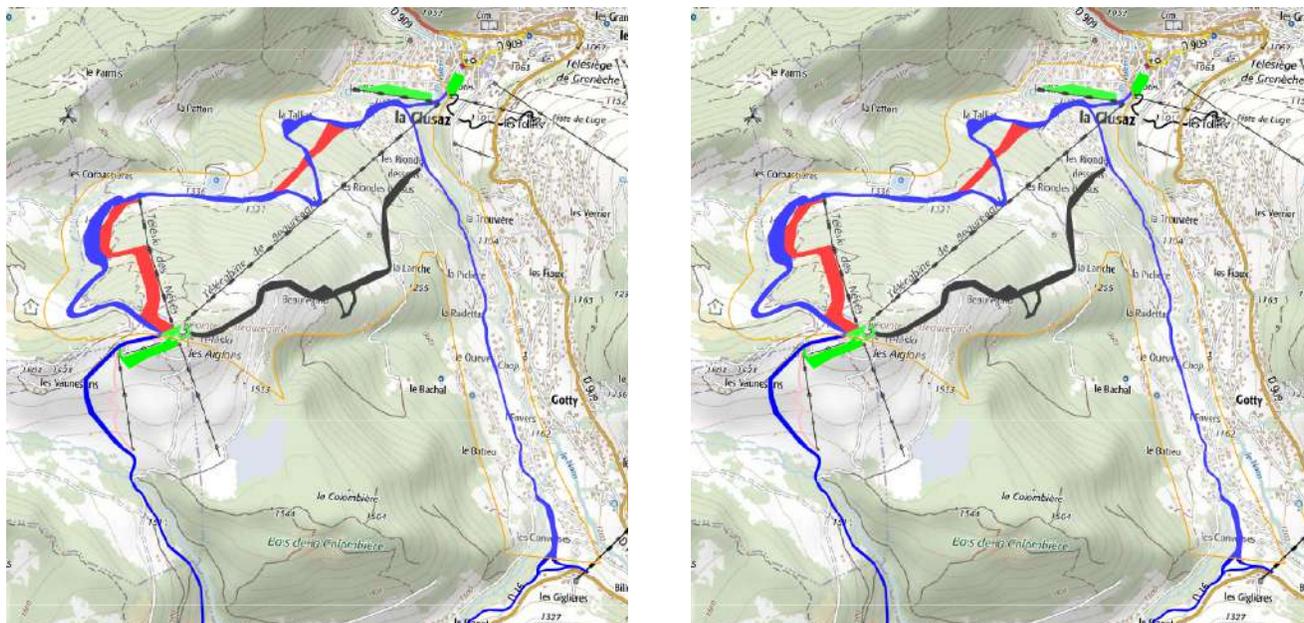


FIGURE 40 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

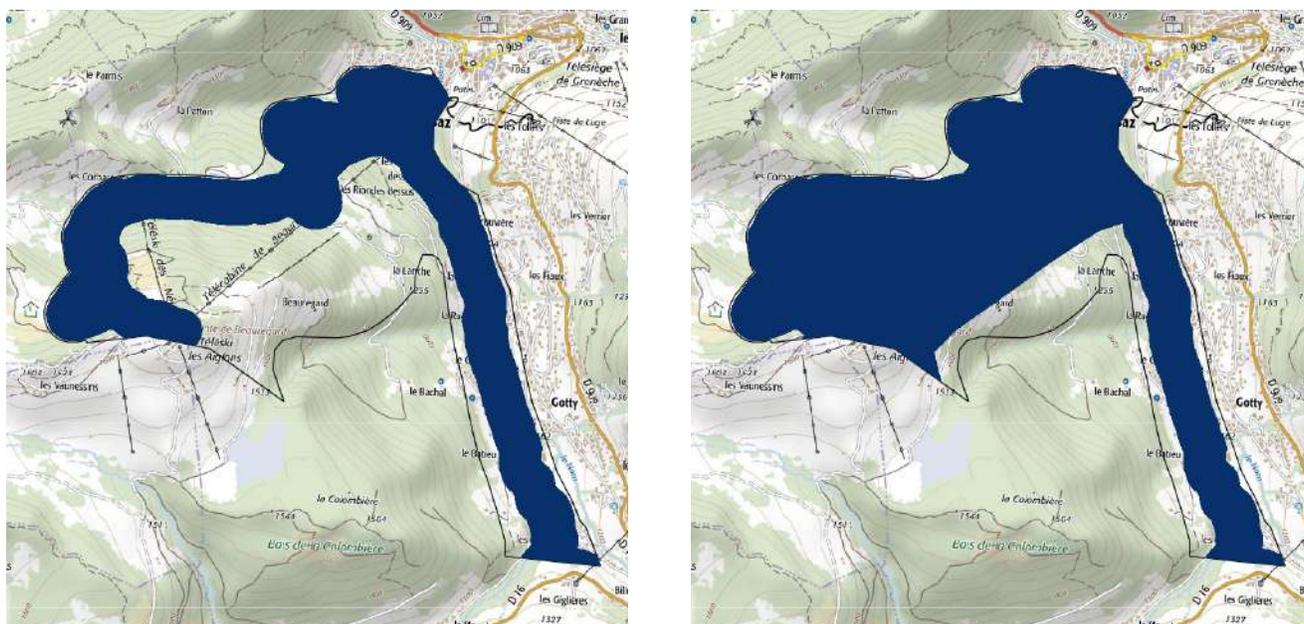


FIGURE 41 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.2.2 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

3.2.3 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.

3.2.4 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.

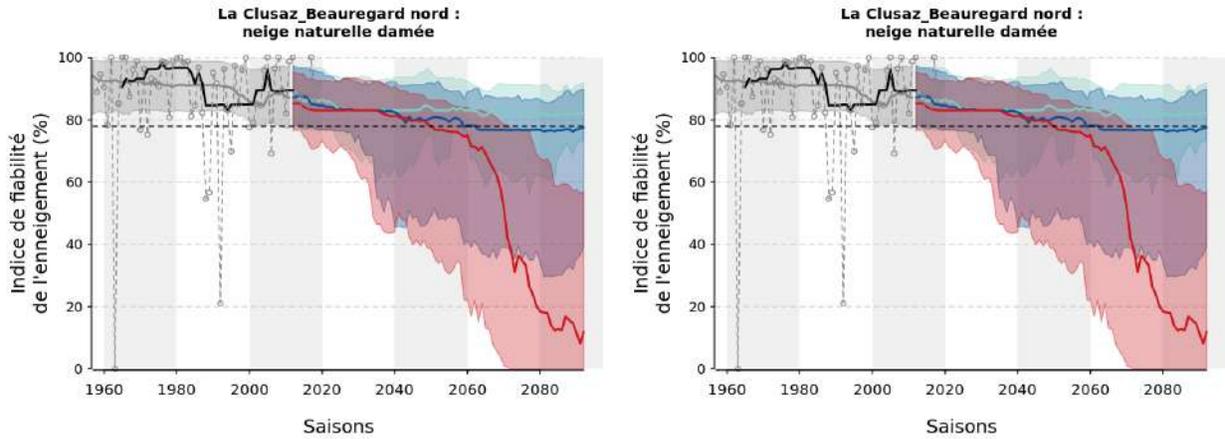


FIGURE 42 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

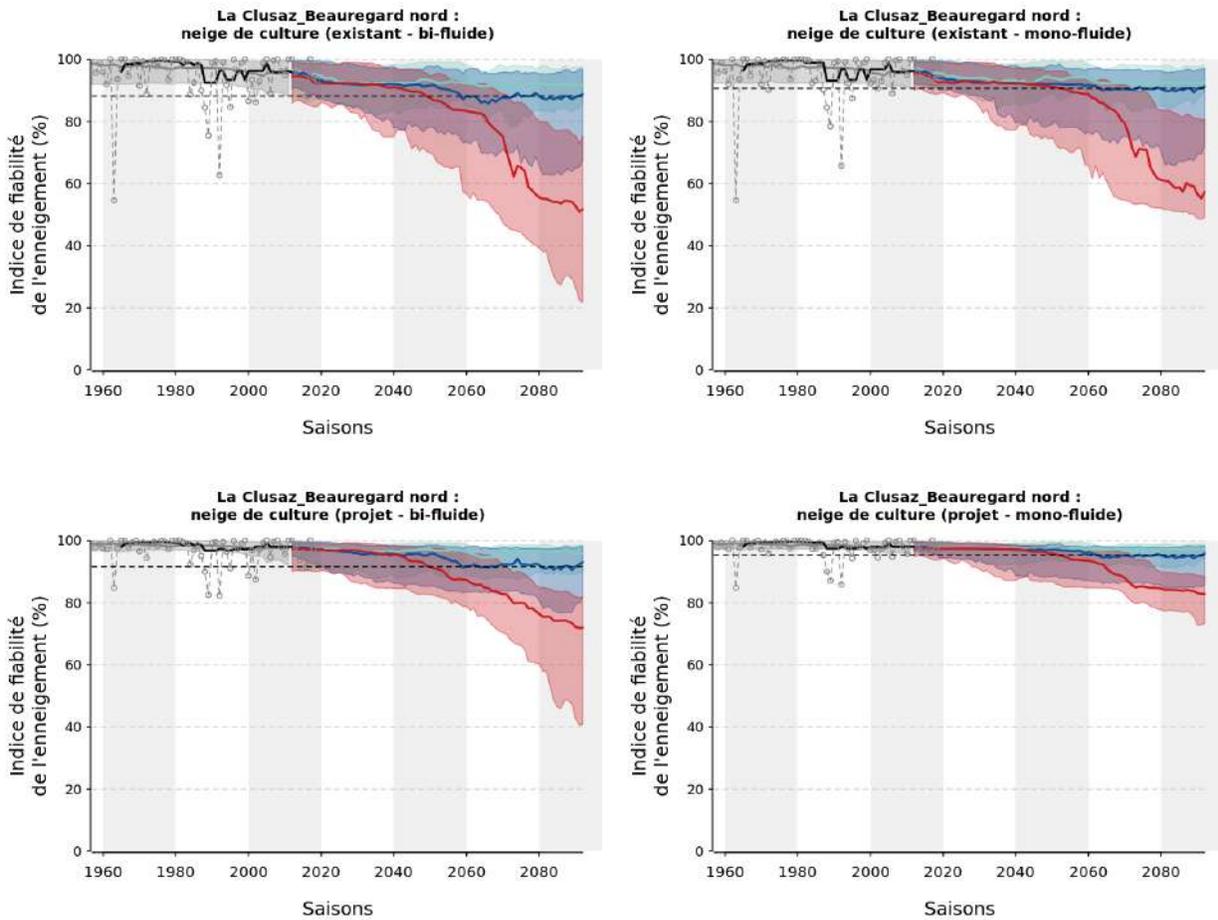


FIGURE 43 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

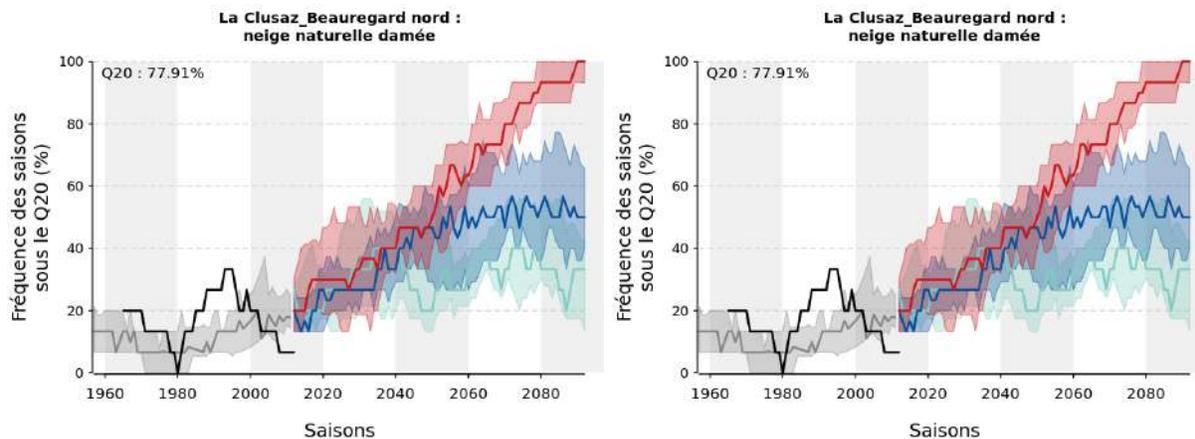


FIGURE 44 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

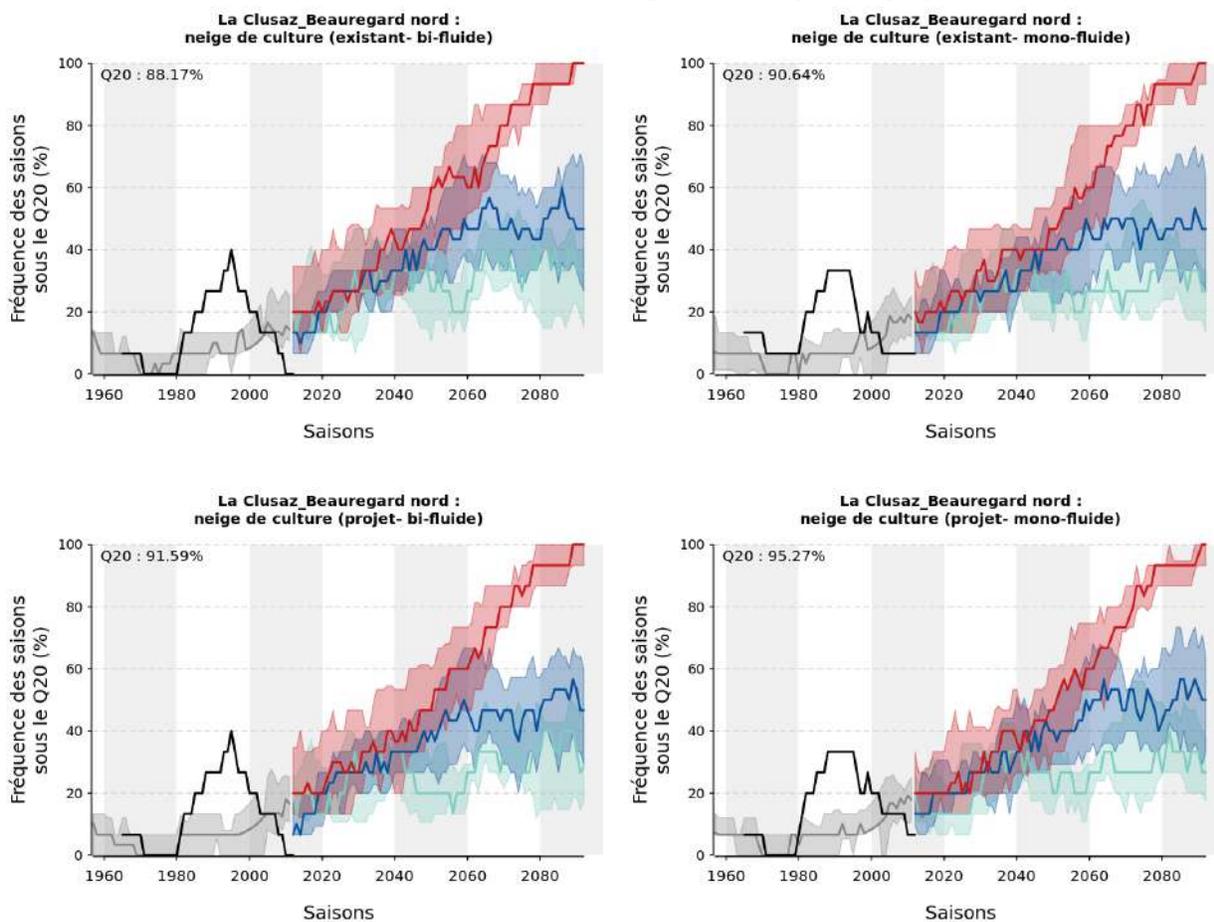


FIGURE 45 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

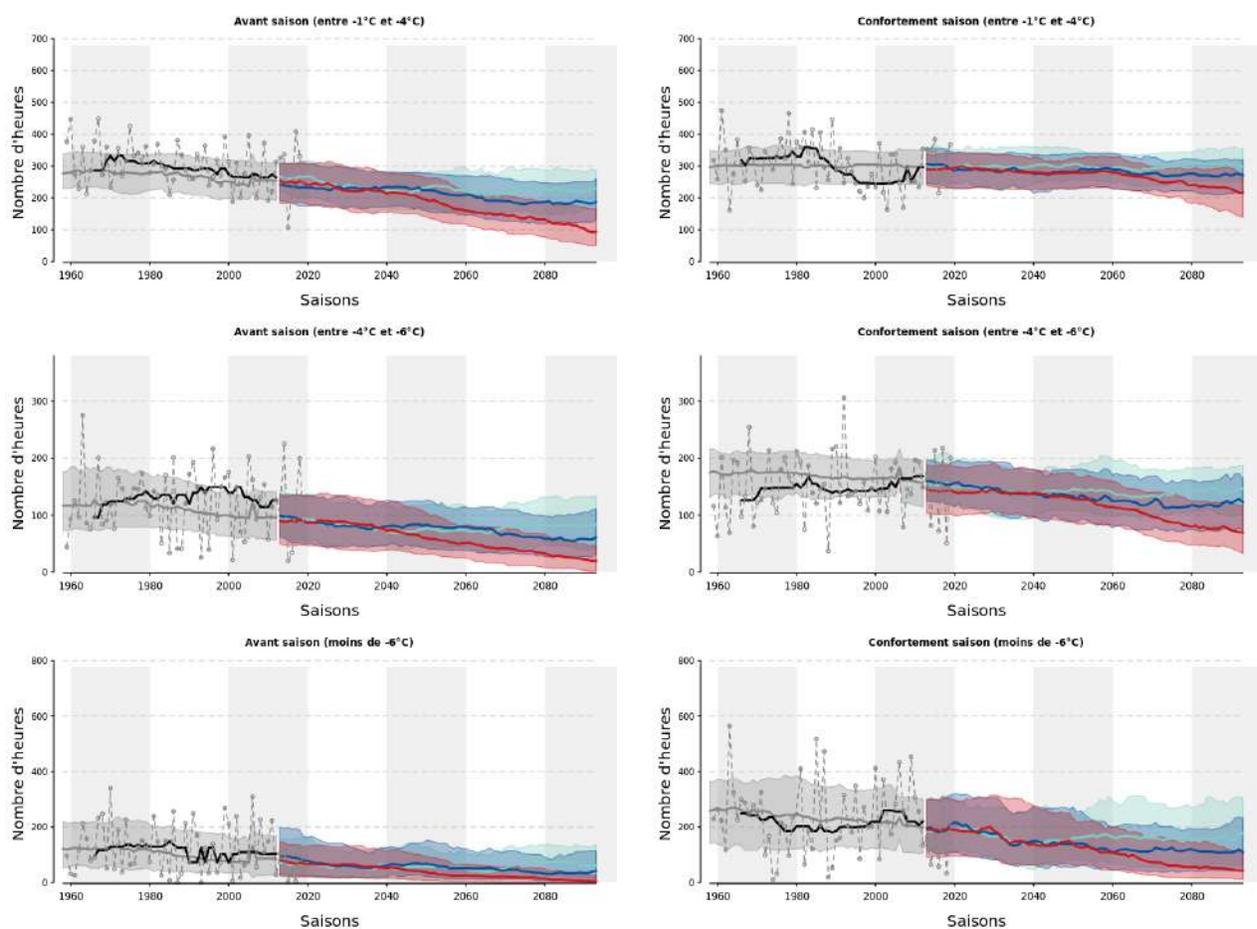


FIGURE 46 – Évolution du potentiel de froid à 900 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.2.5 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.

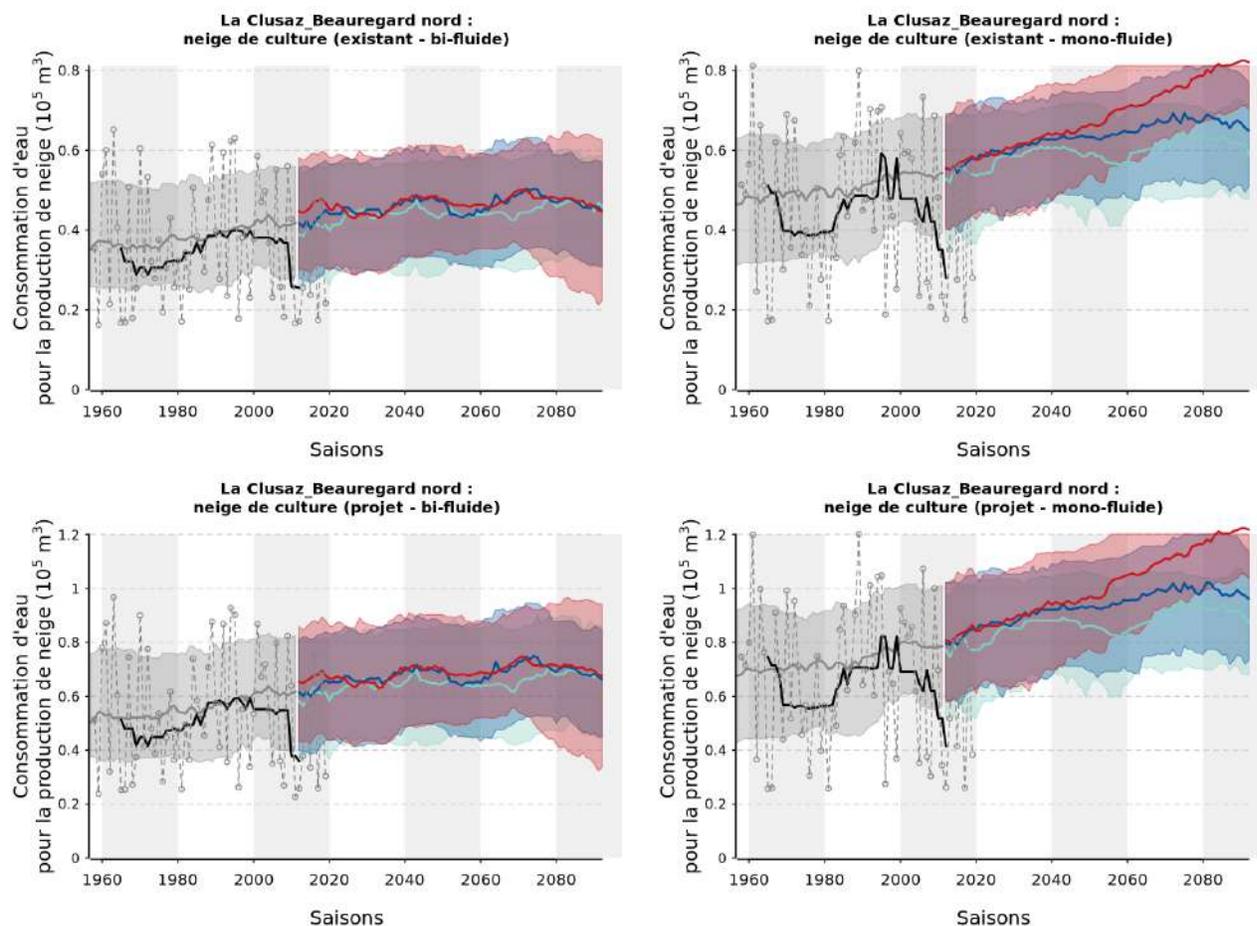


FIGURE 47 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.2.6 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.

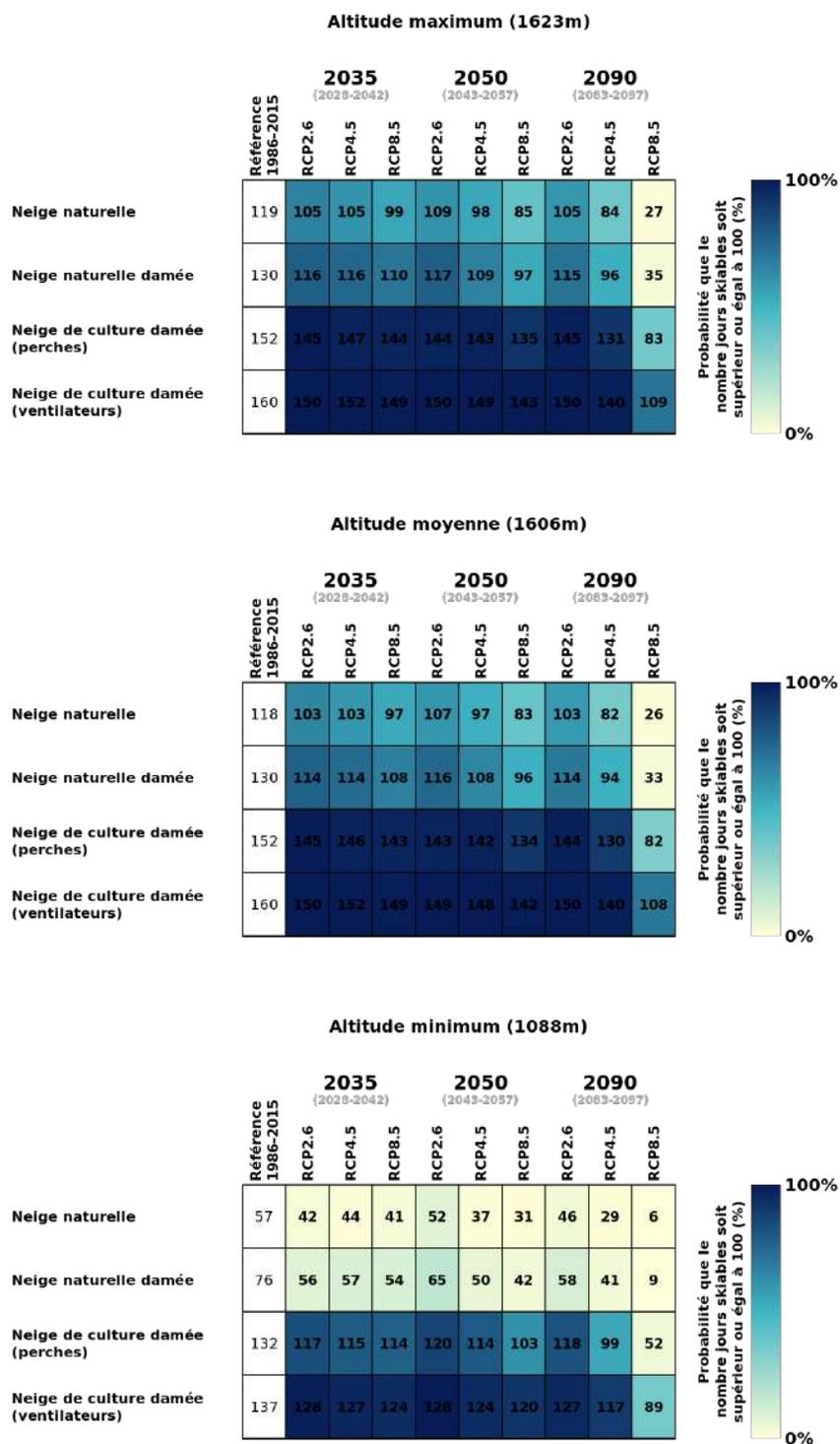


FIGURE 48 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

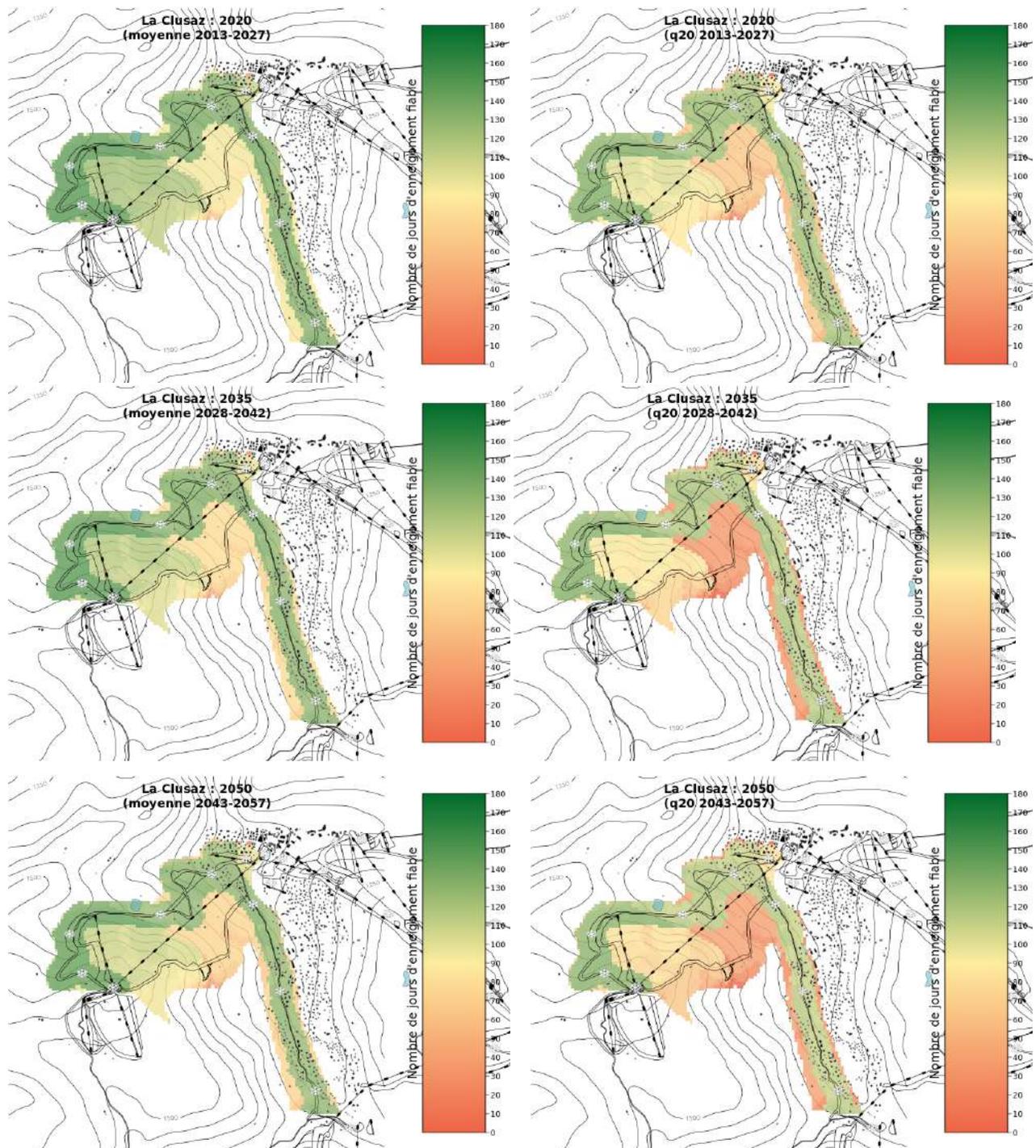


FIGURE 49 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

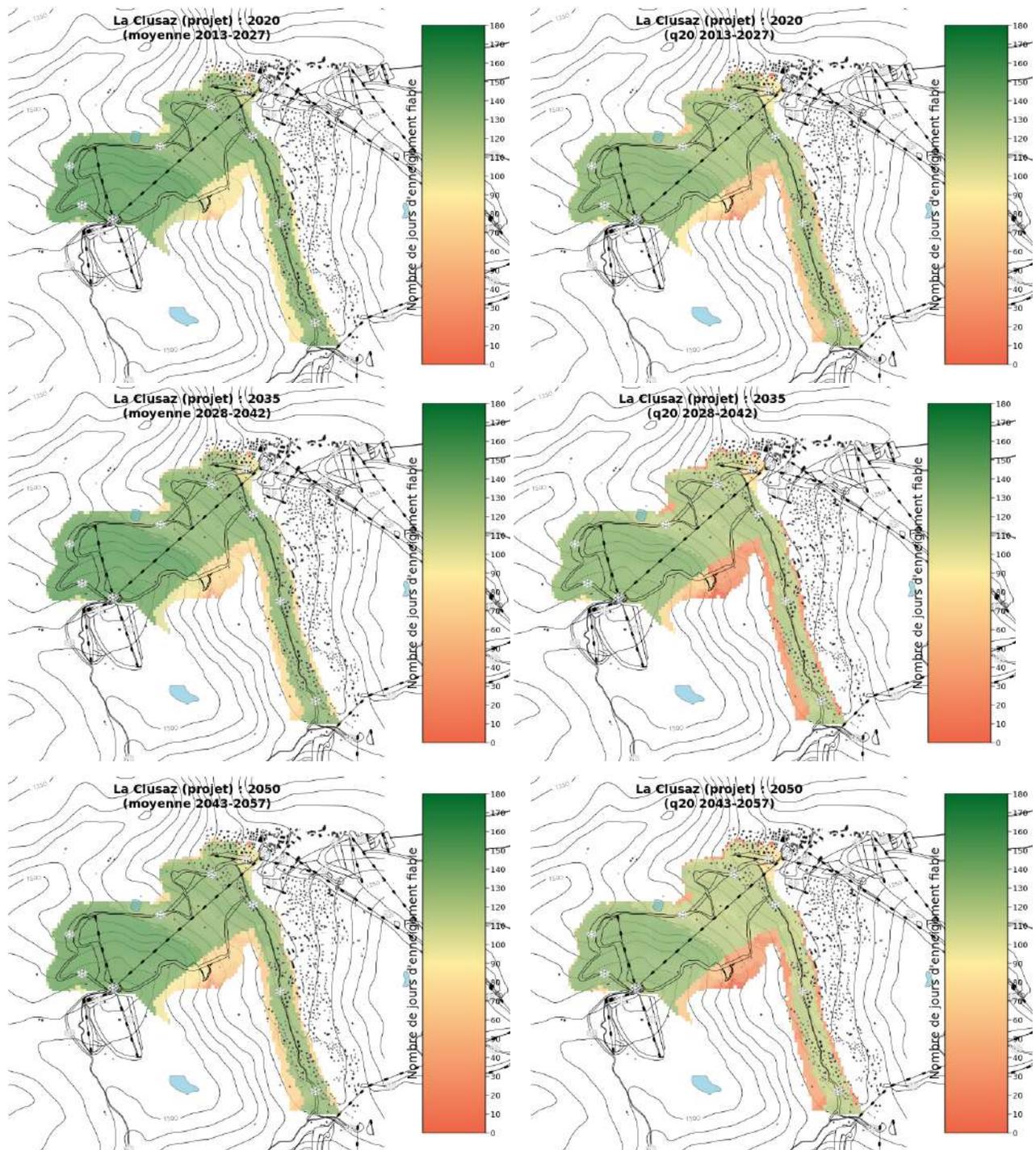


FIGURE 50 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

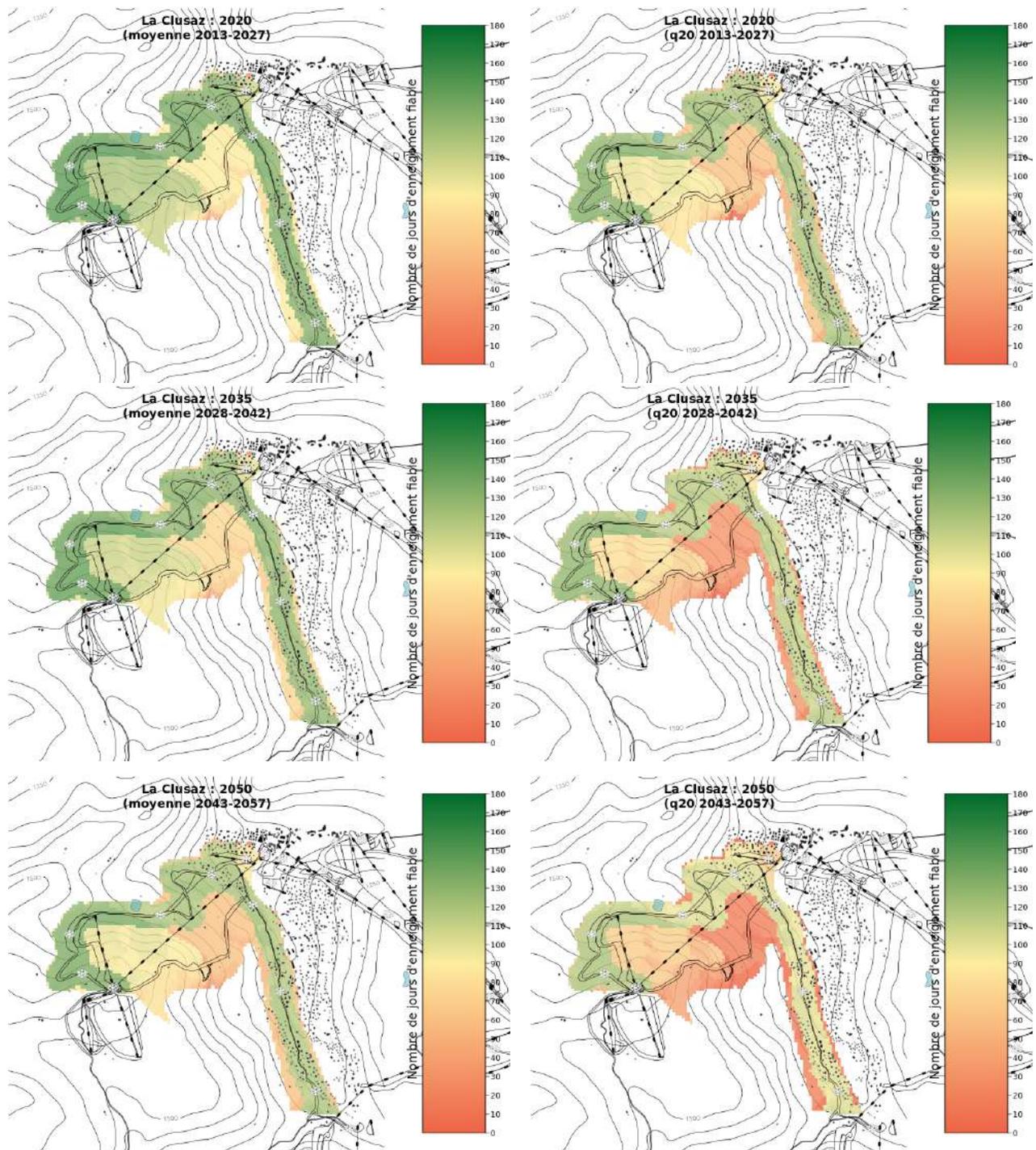


FIGURE 51 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

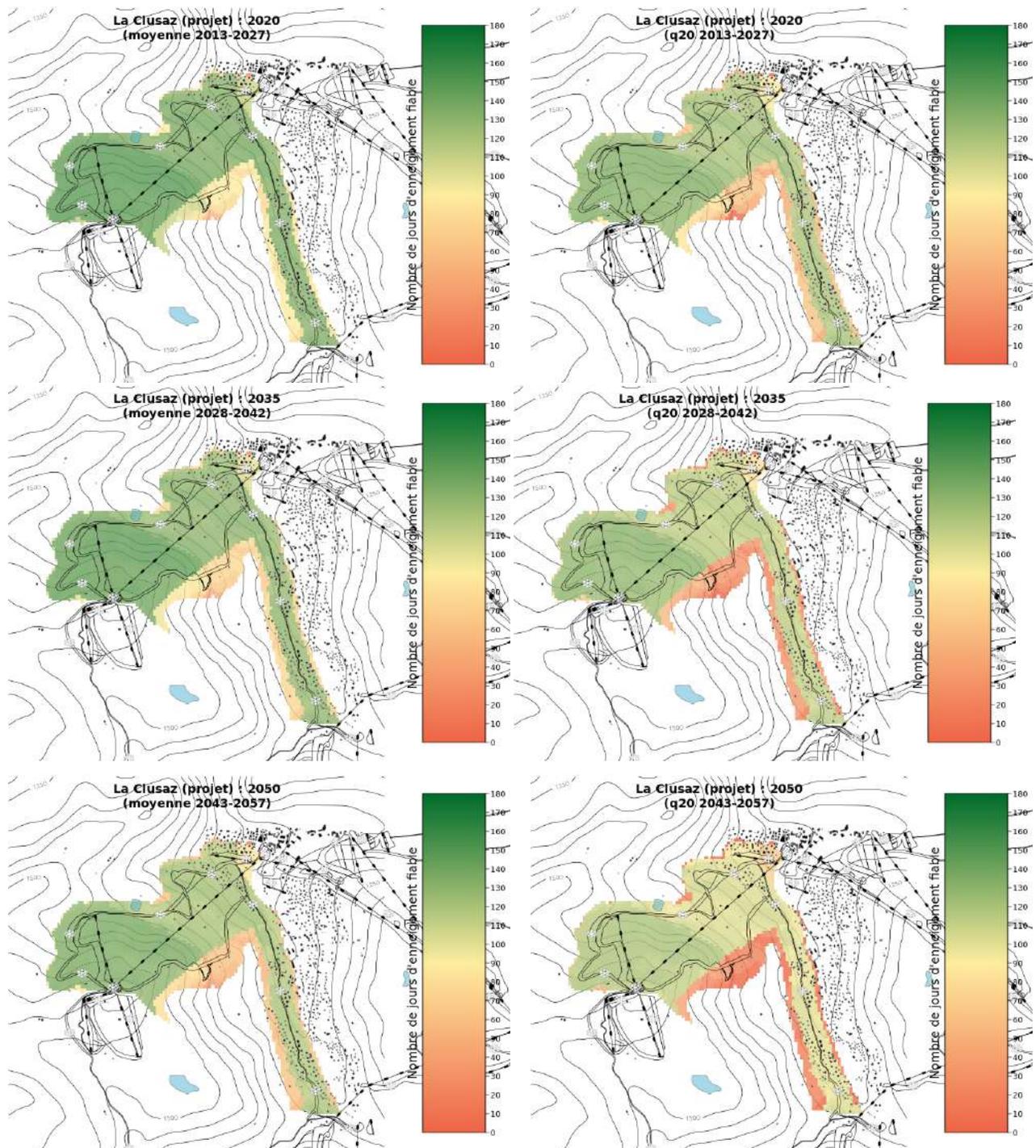


FIGURE 52 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

3.3 BEAUREGARD-SUD

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

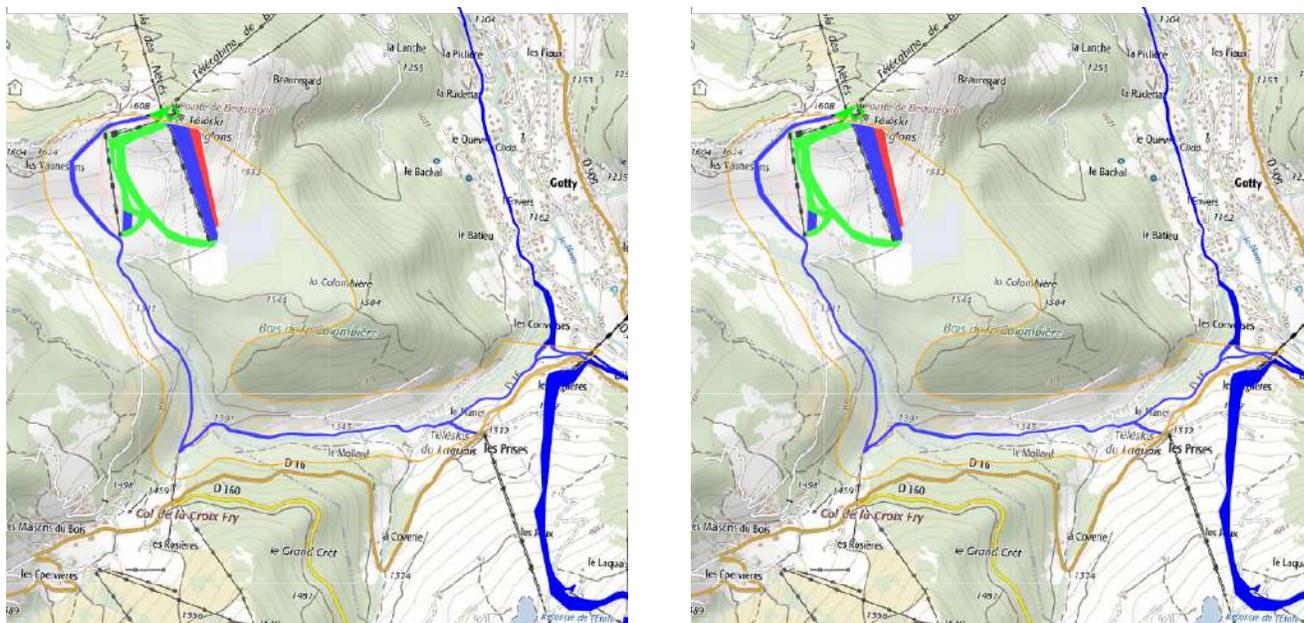


FIGURE 53 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

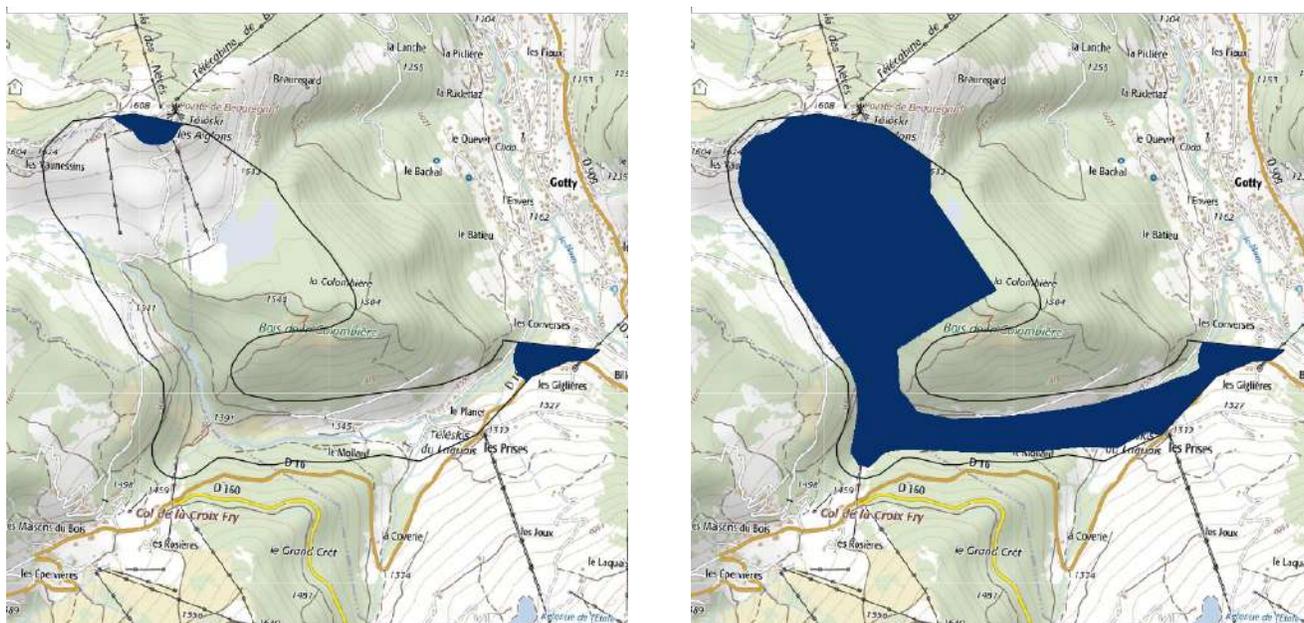


FIGURE 54 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.3.2 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

3.3.3 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.

3.3.4 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.

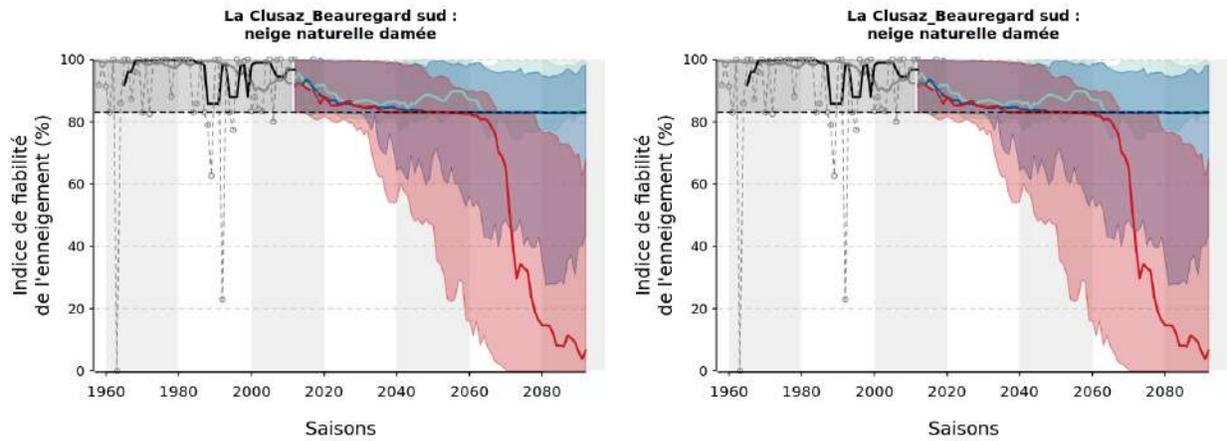


FIGURE 55 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

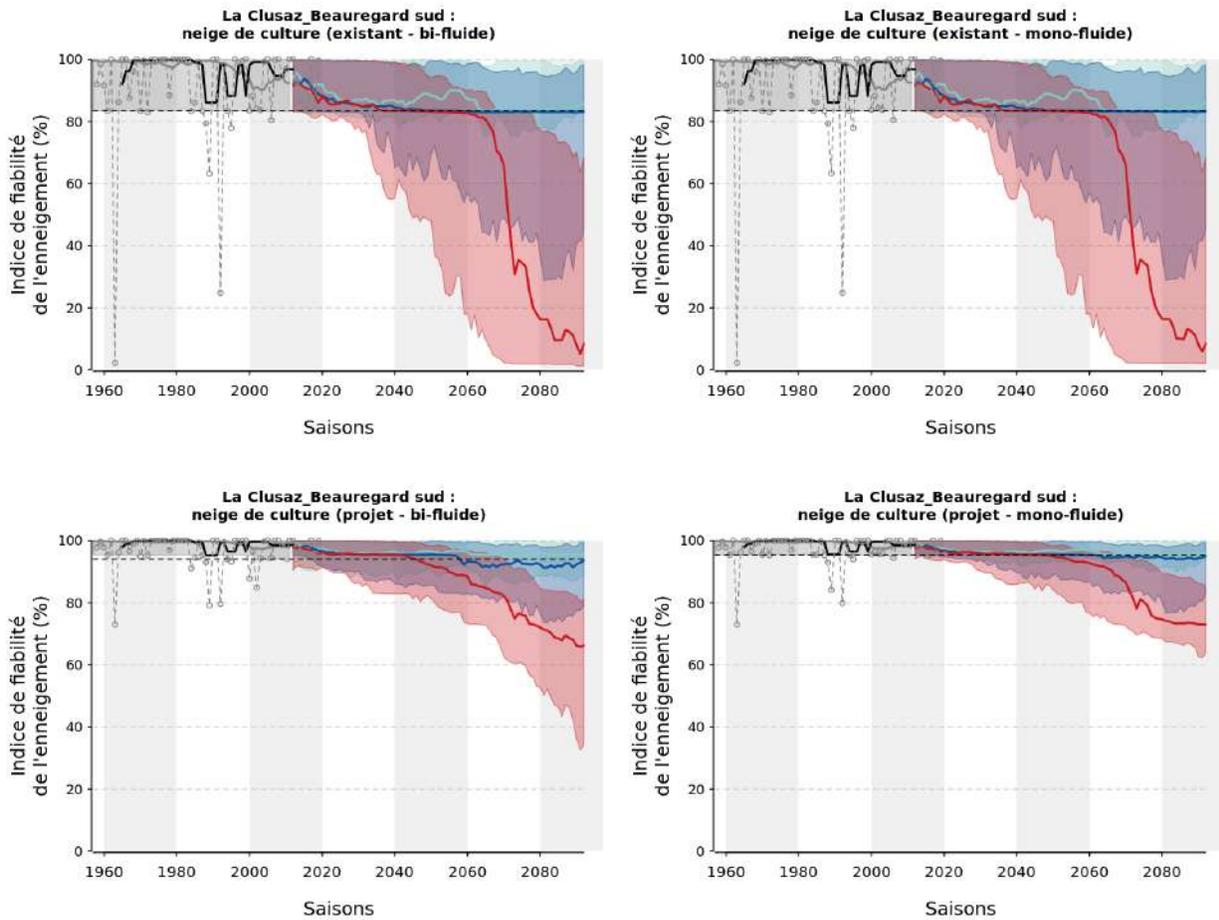


FIGURE 56 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

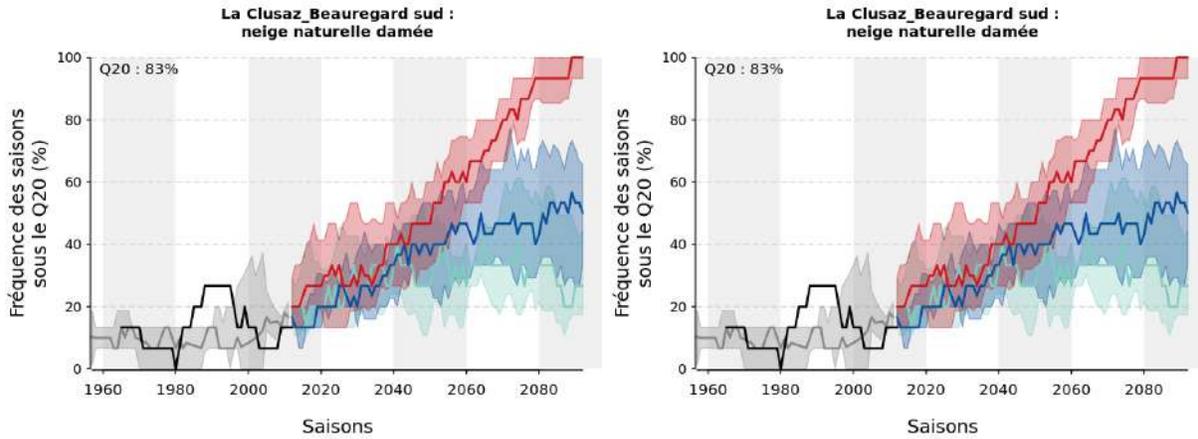


FIGURE 57 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

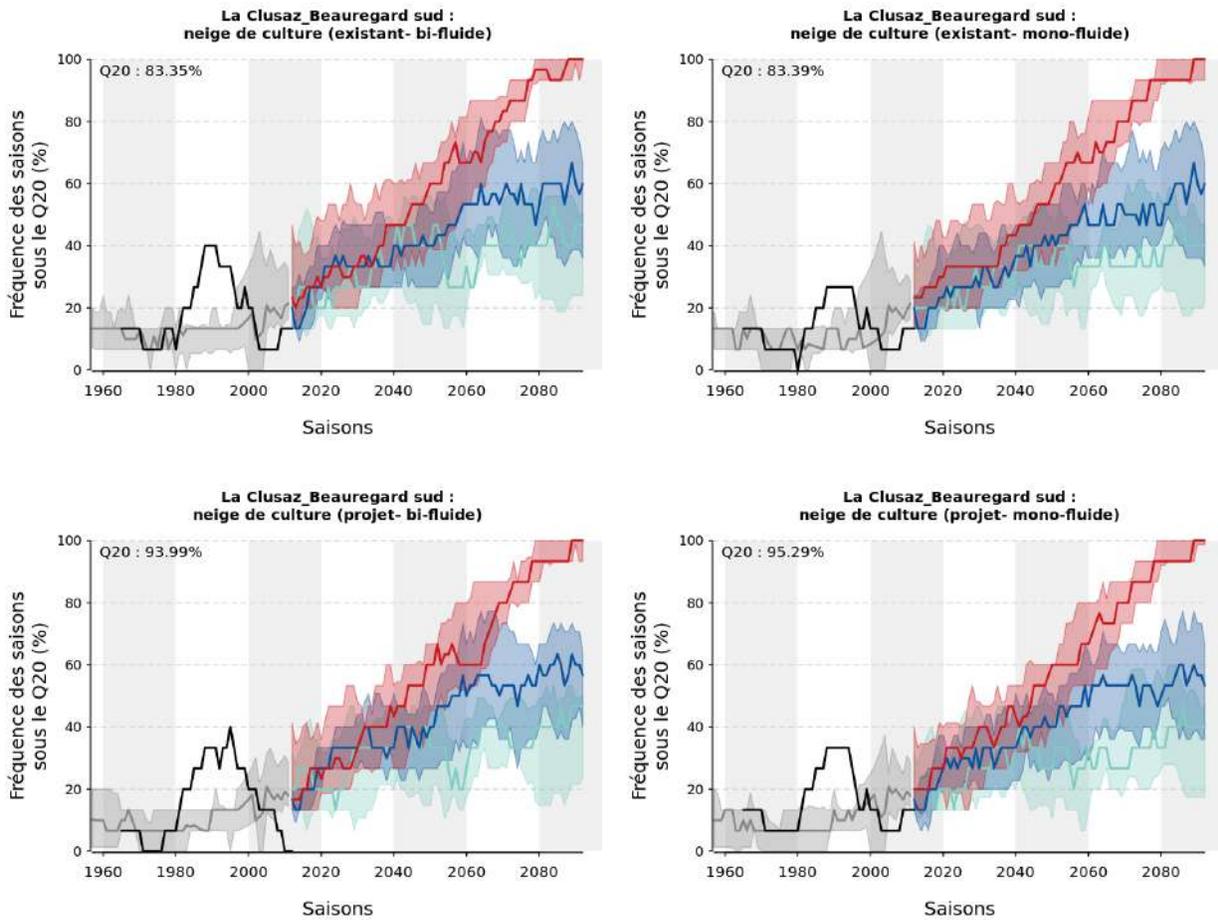


FIGURE 58 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

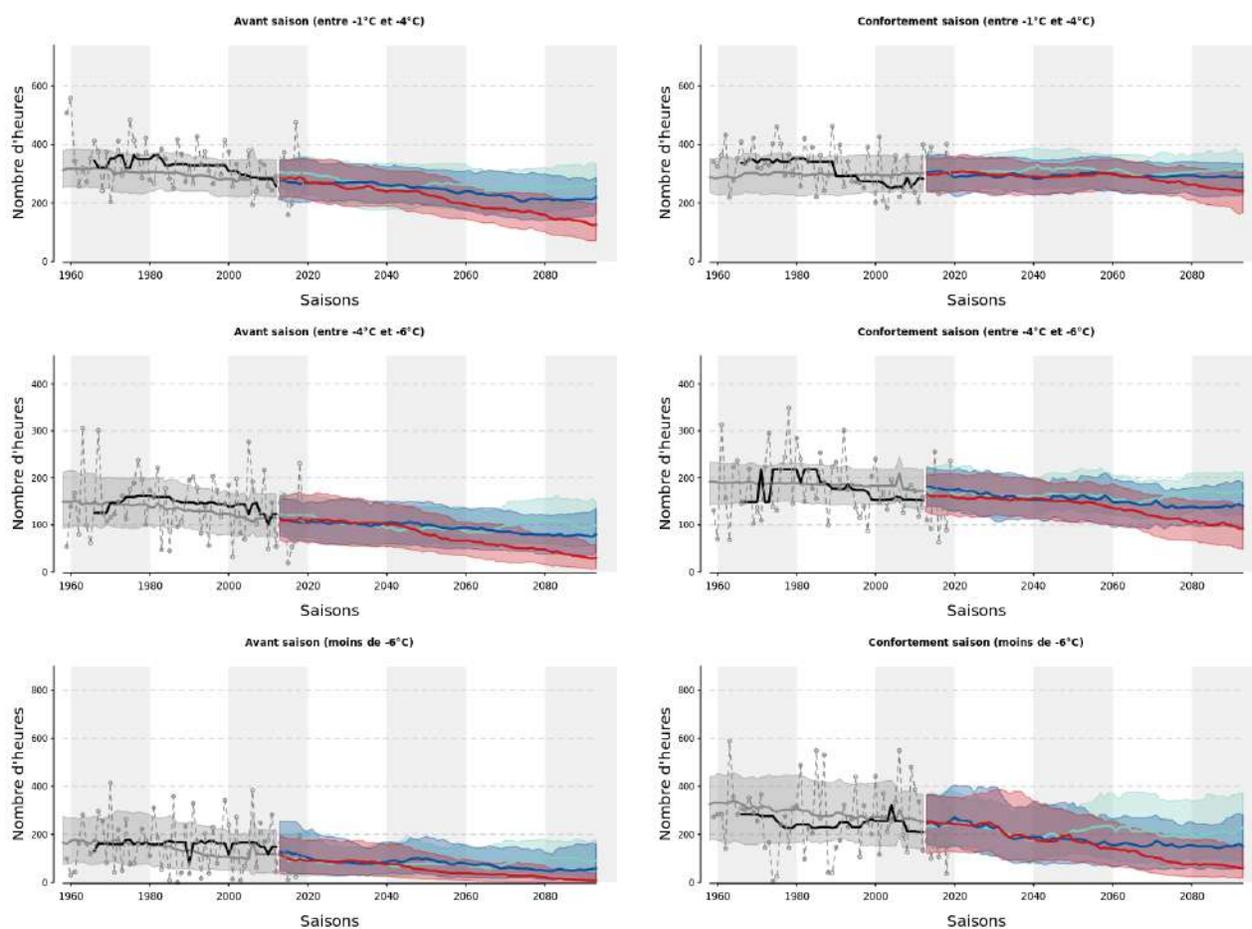


FIGURE 59 – Évolution du potentiel de froid à 1200 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.3.5 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.

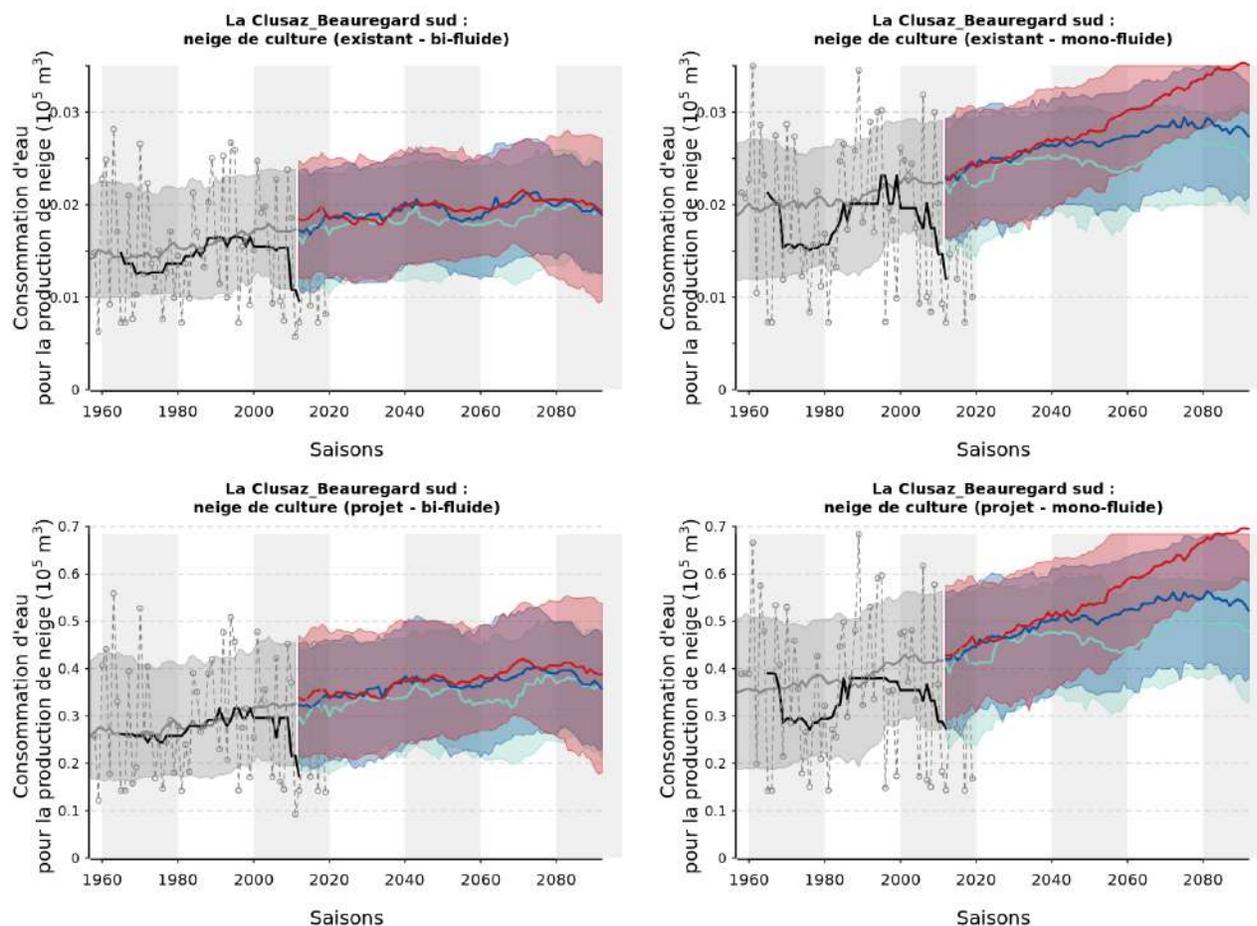


FIGURE 60 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.3.6 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.

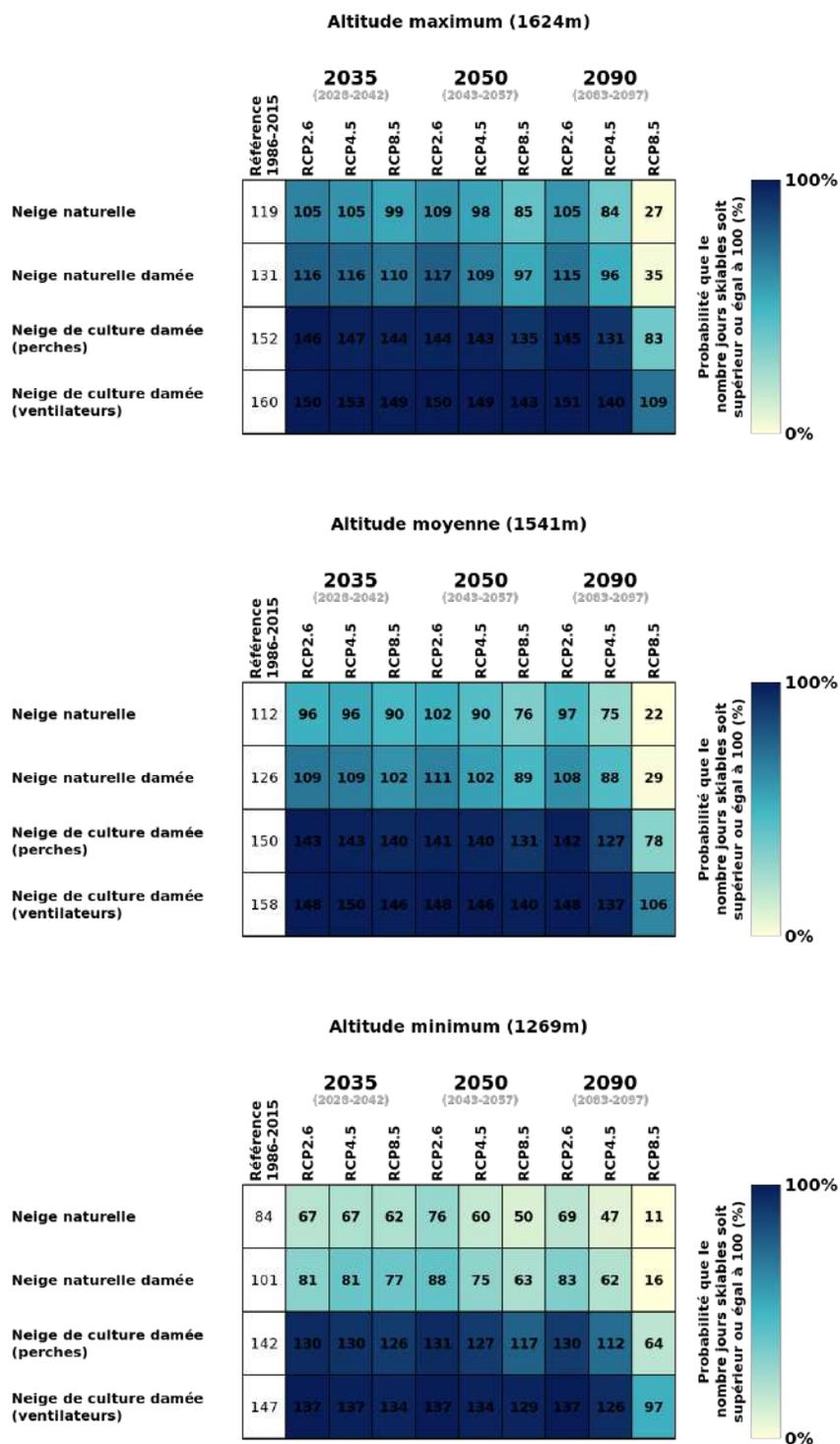


FIGURE 61 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

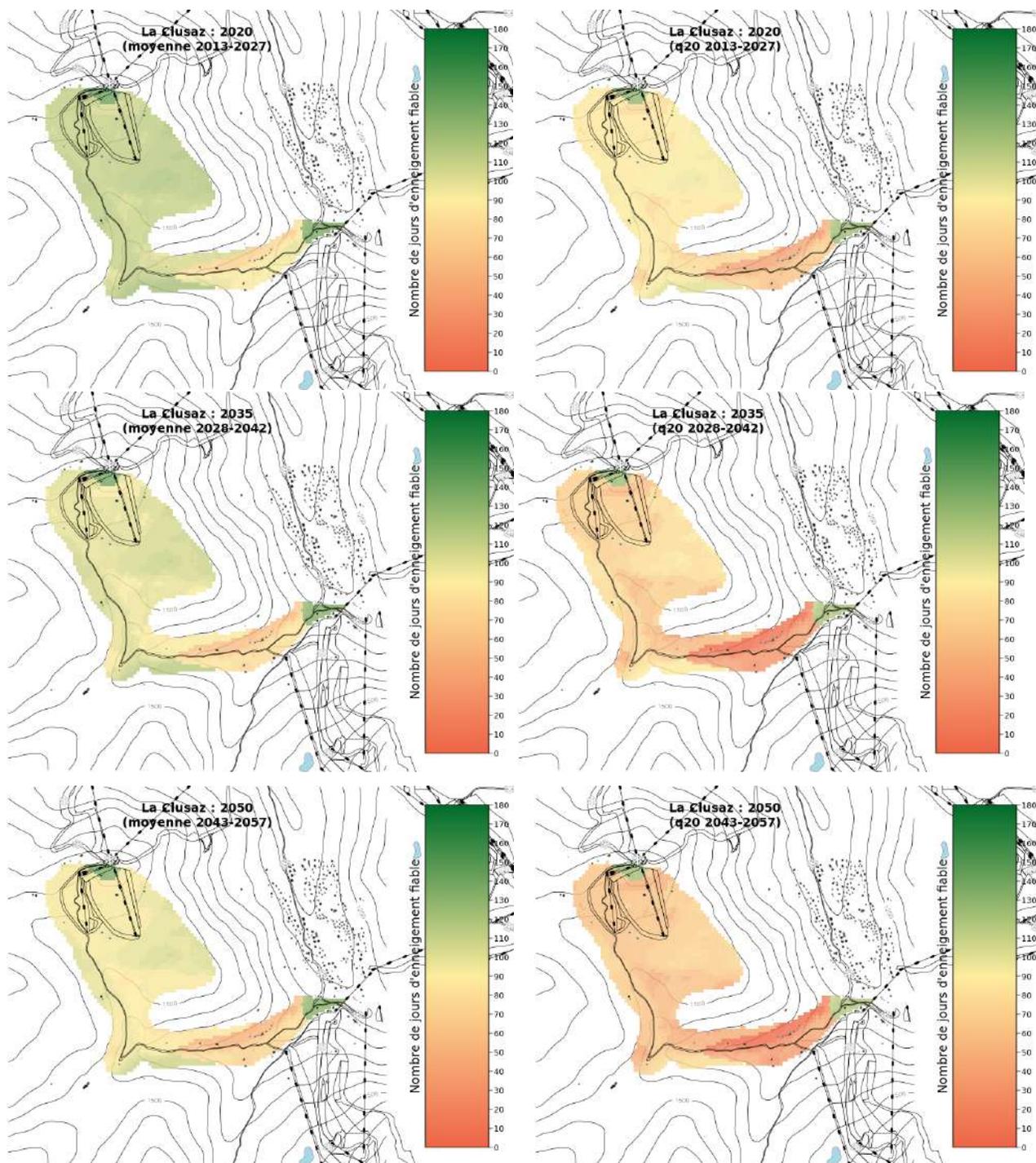


FIGURE 62 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

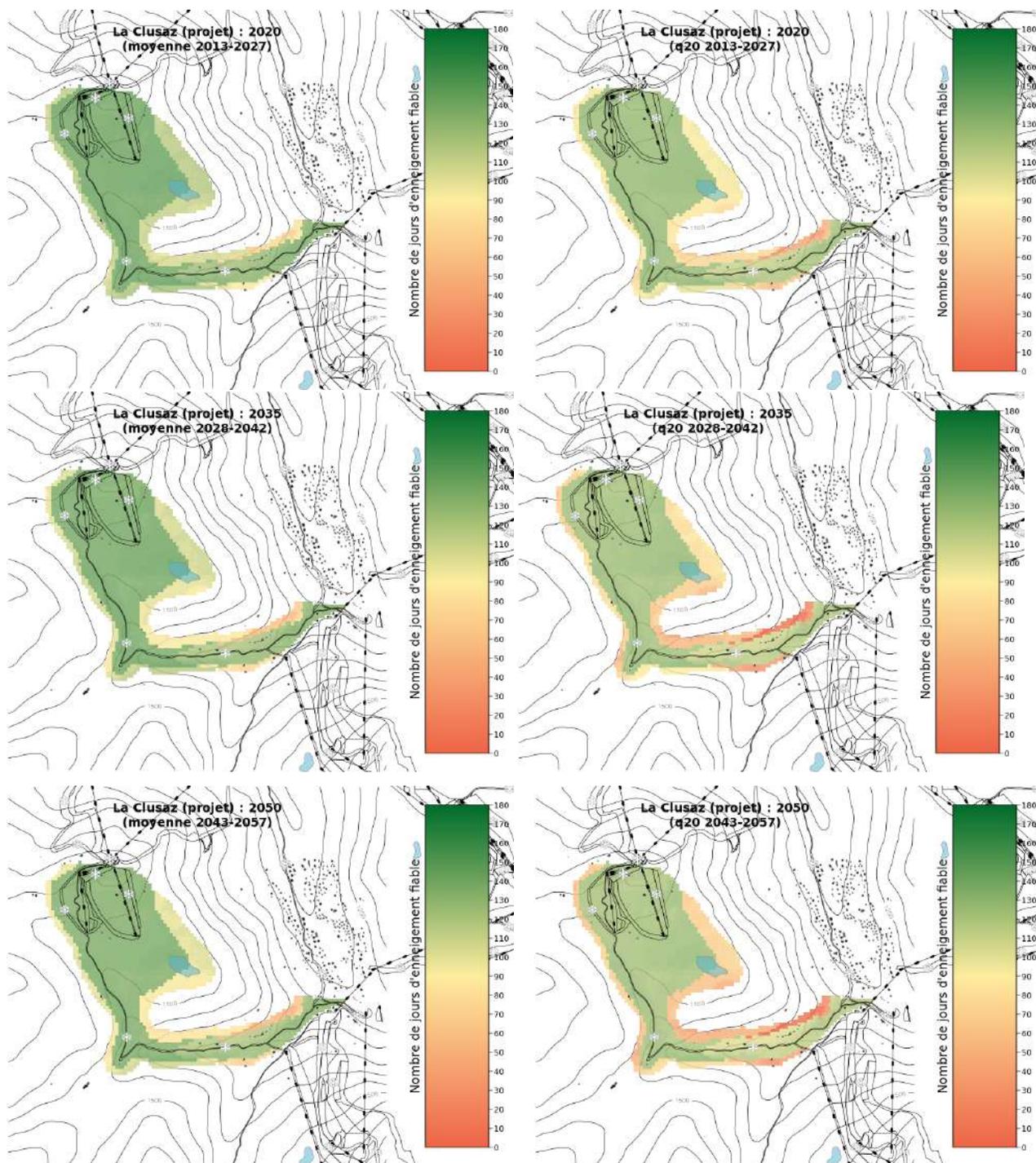


FIGURE 63 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

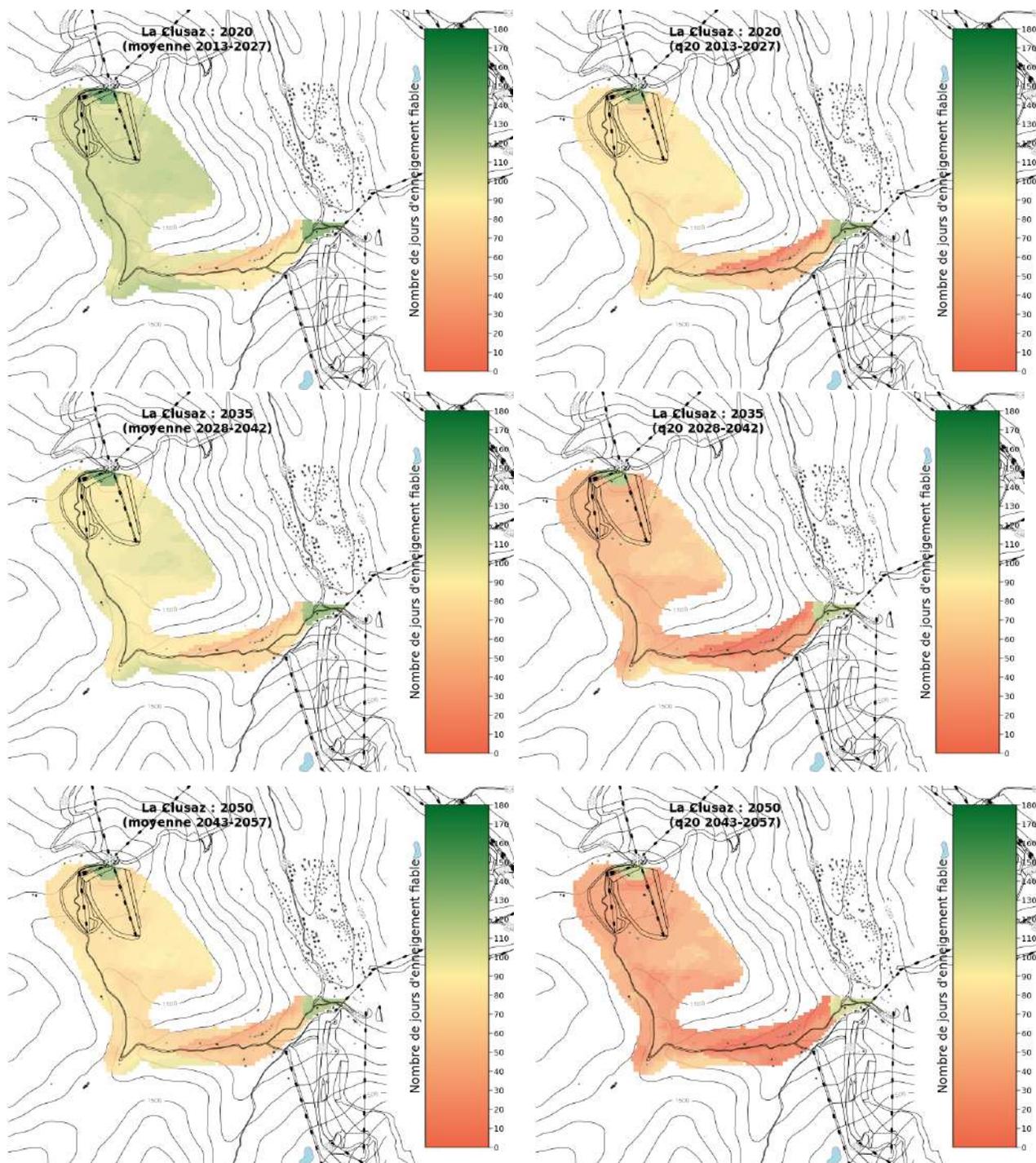


FIGURE 64 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

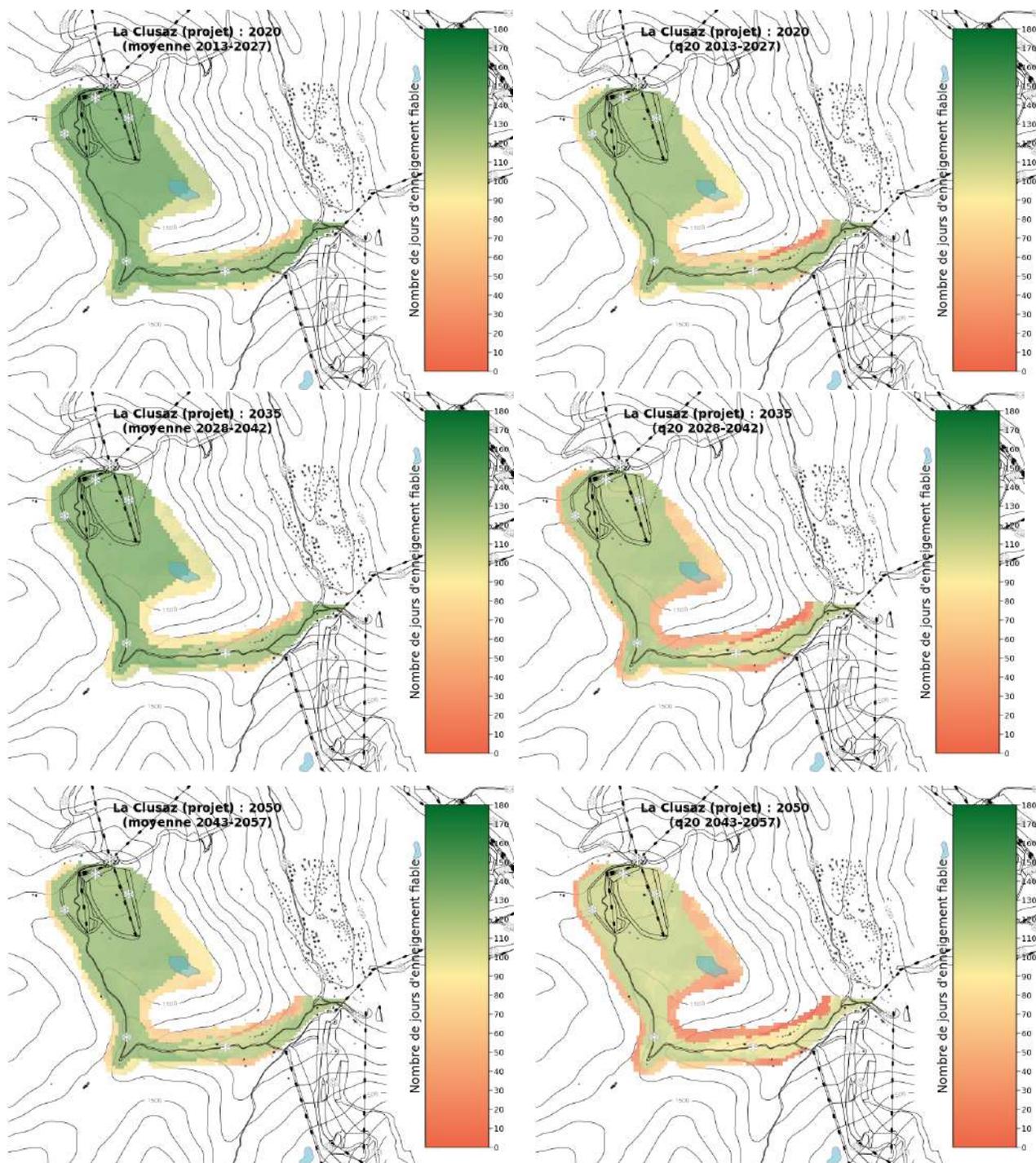


FIGURE 65 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

3.4 L-AIGUILLE-NORD

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

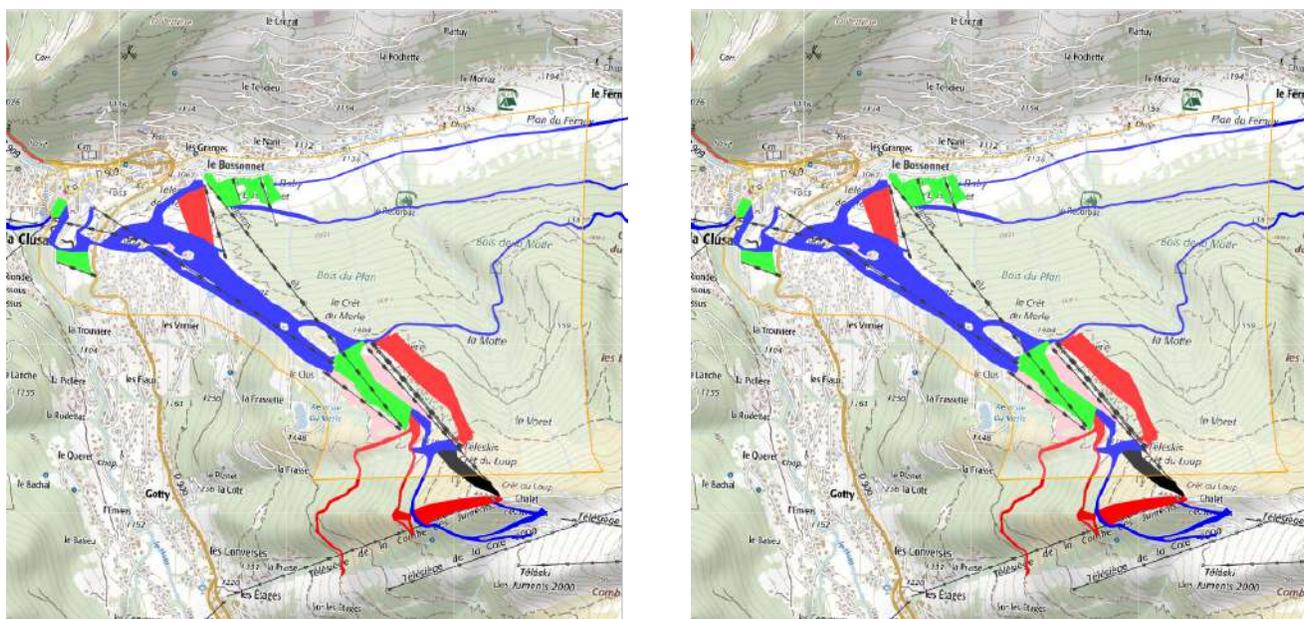


FIGURE 66 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

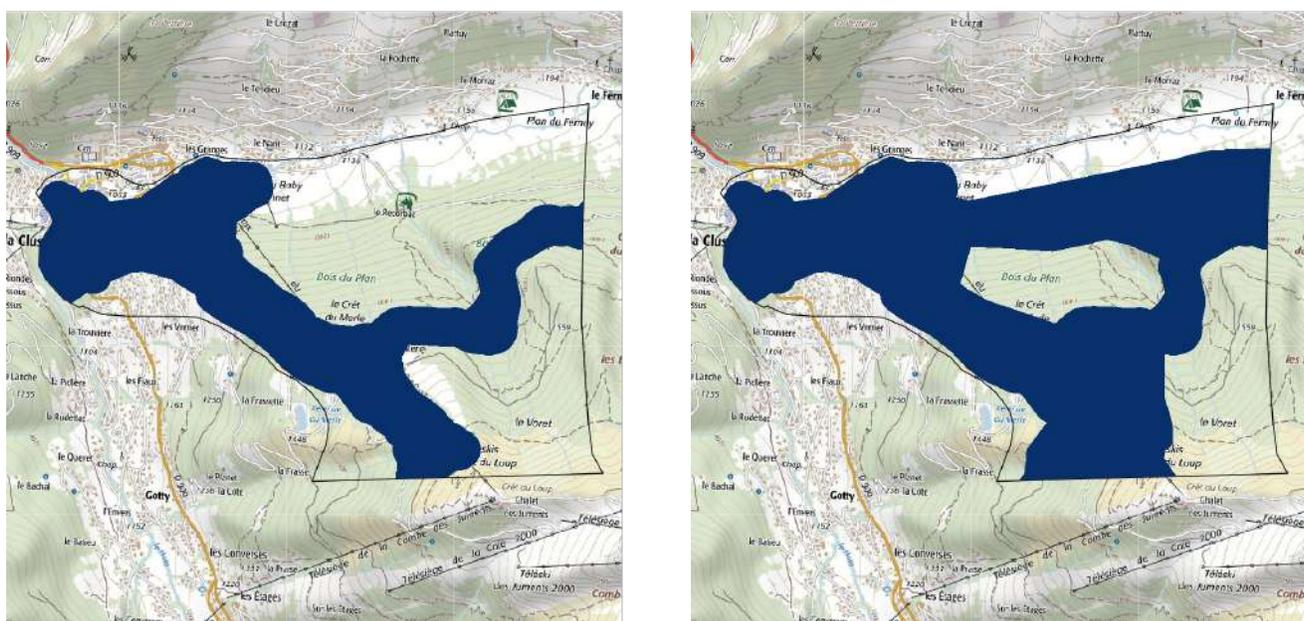


FIGURE 67 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.4.2 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

3.4.3 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.

3.4.4 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.

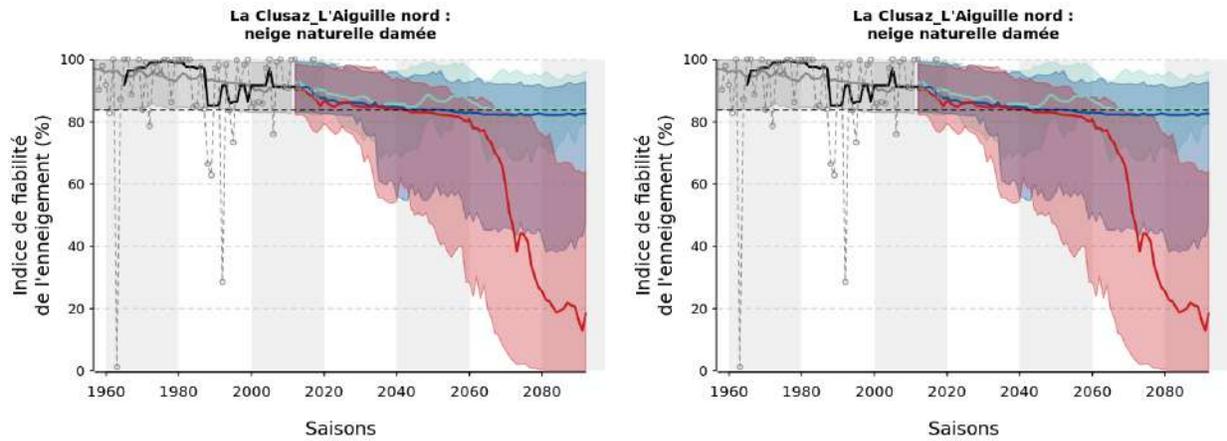


FIGURE 68 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

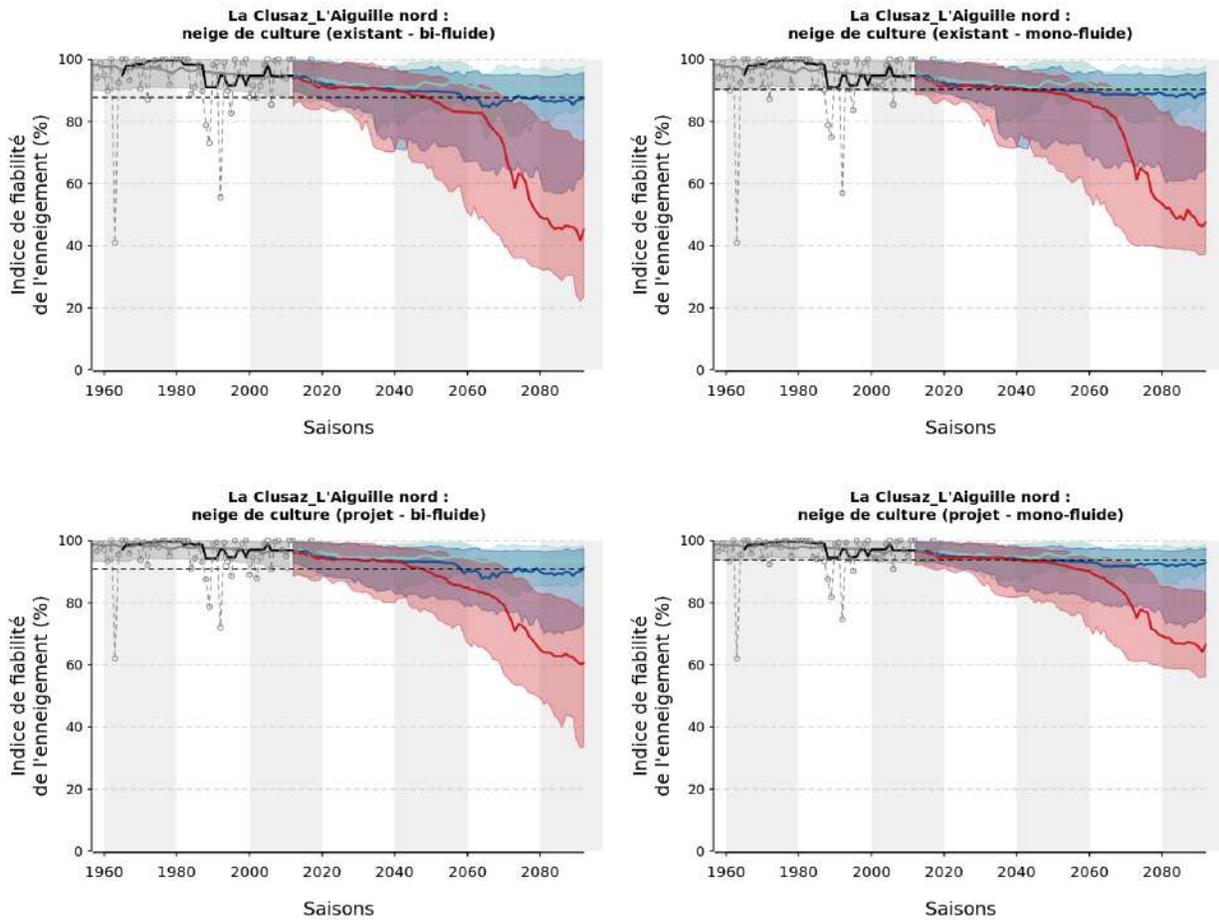


FIGURE 69 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

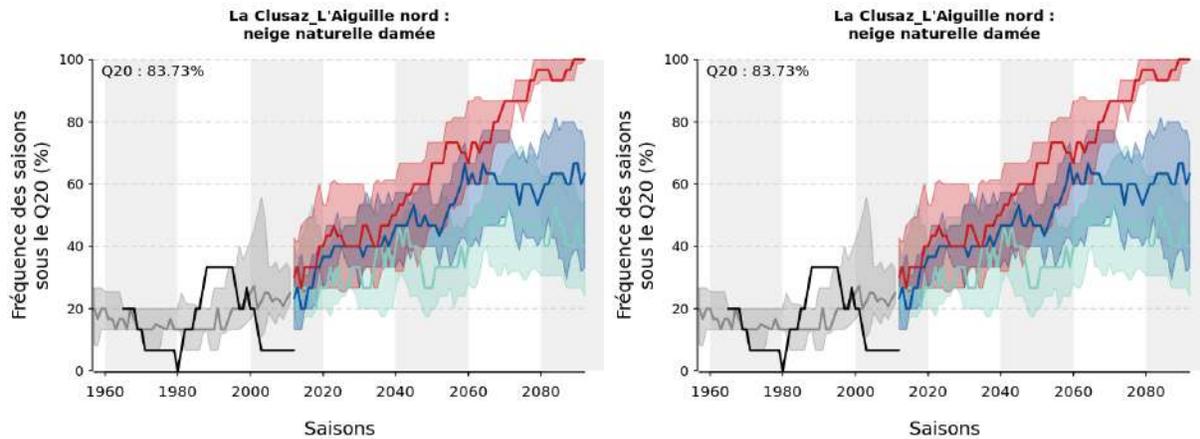


FIGURE 70 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

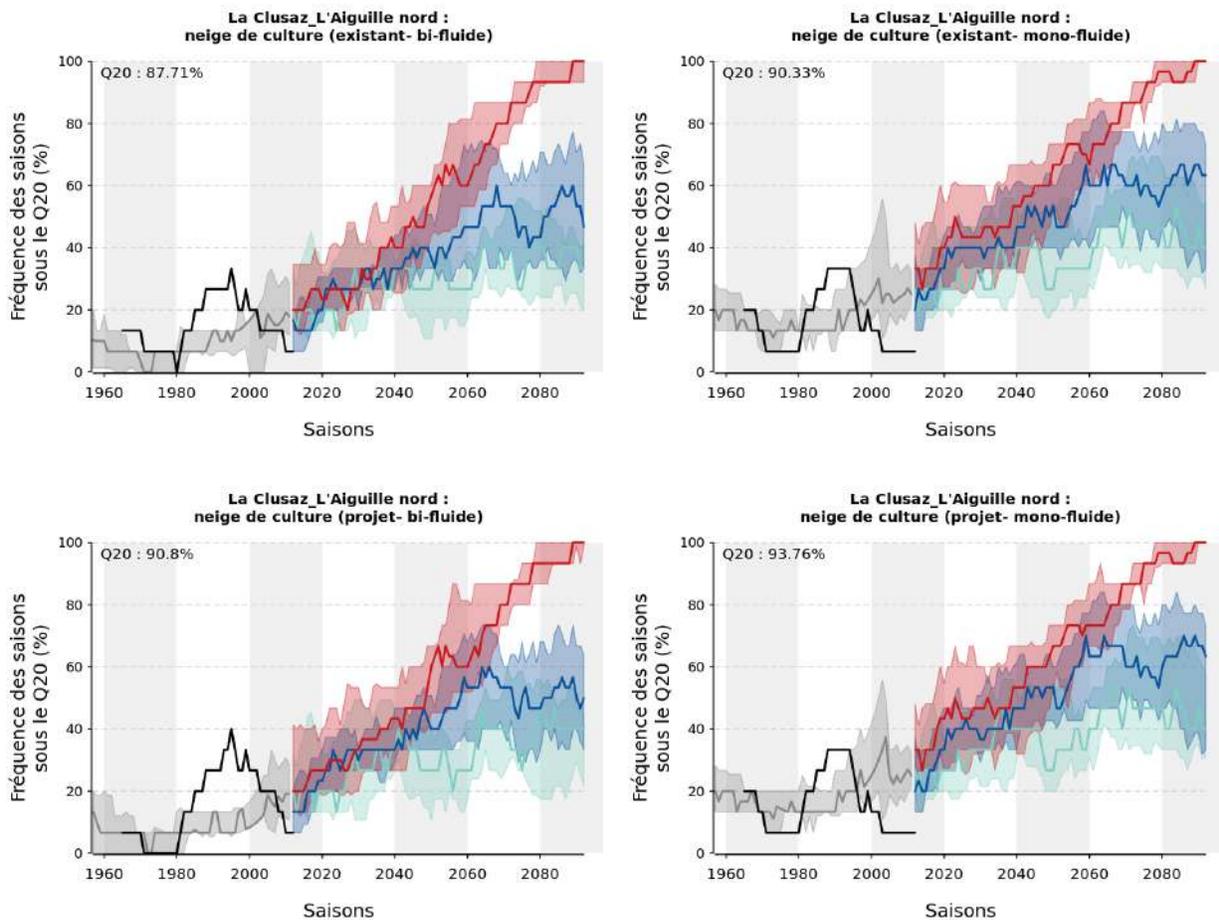


FIGURE 71 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

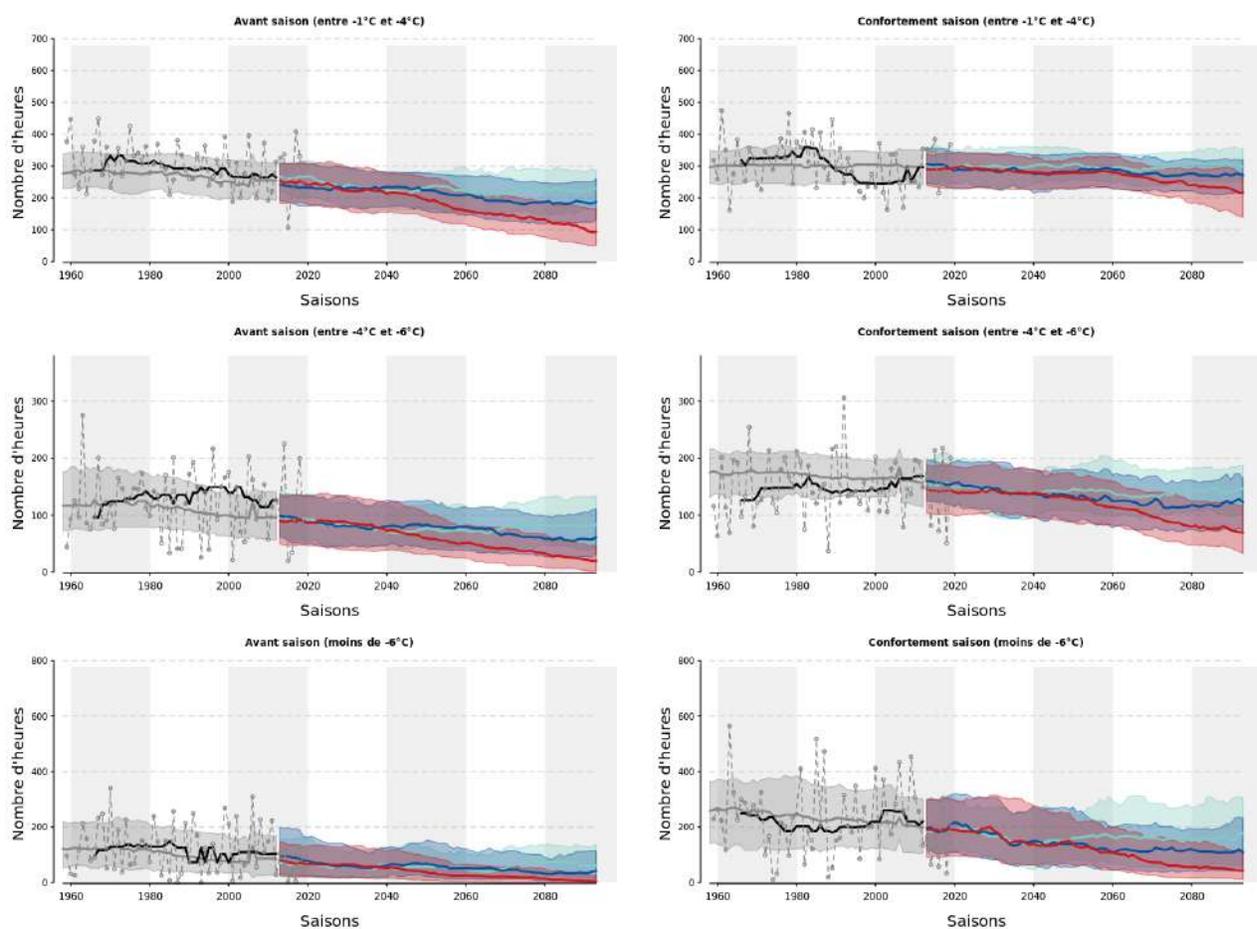


FIGURE 72 – Évolution du potentiel de froid à 900 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.4.5 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.

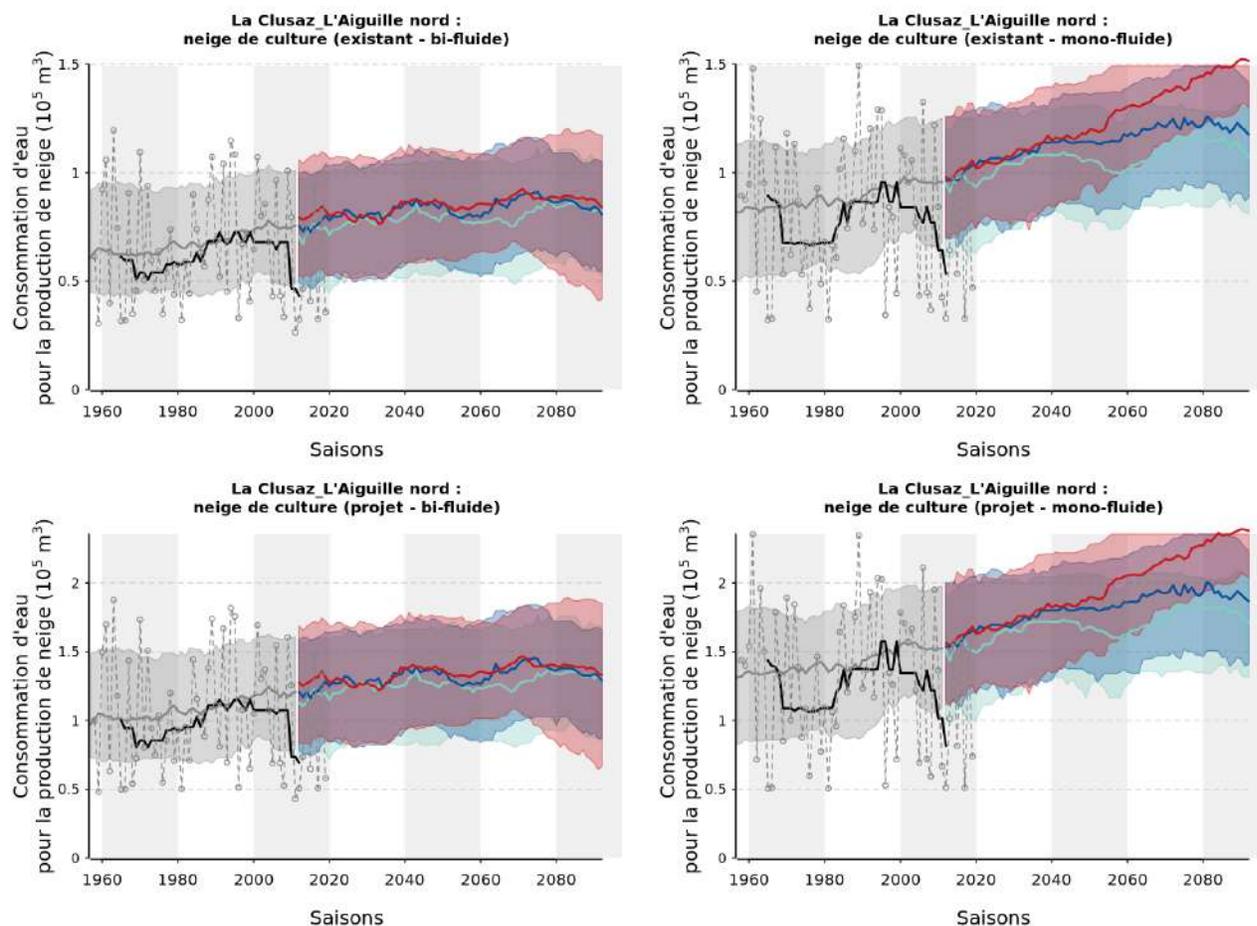


FIGURE 73 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.4.6 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.

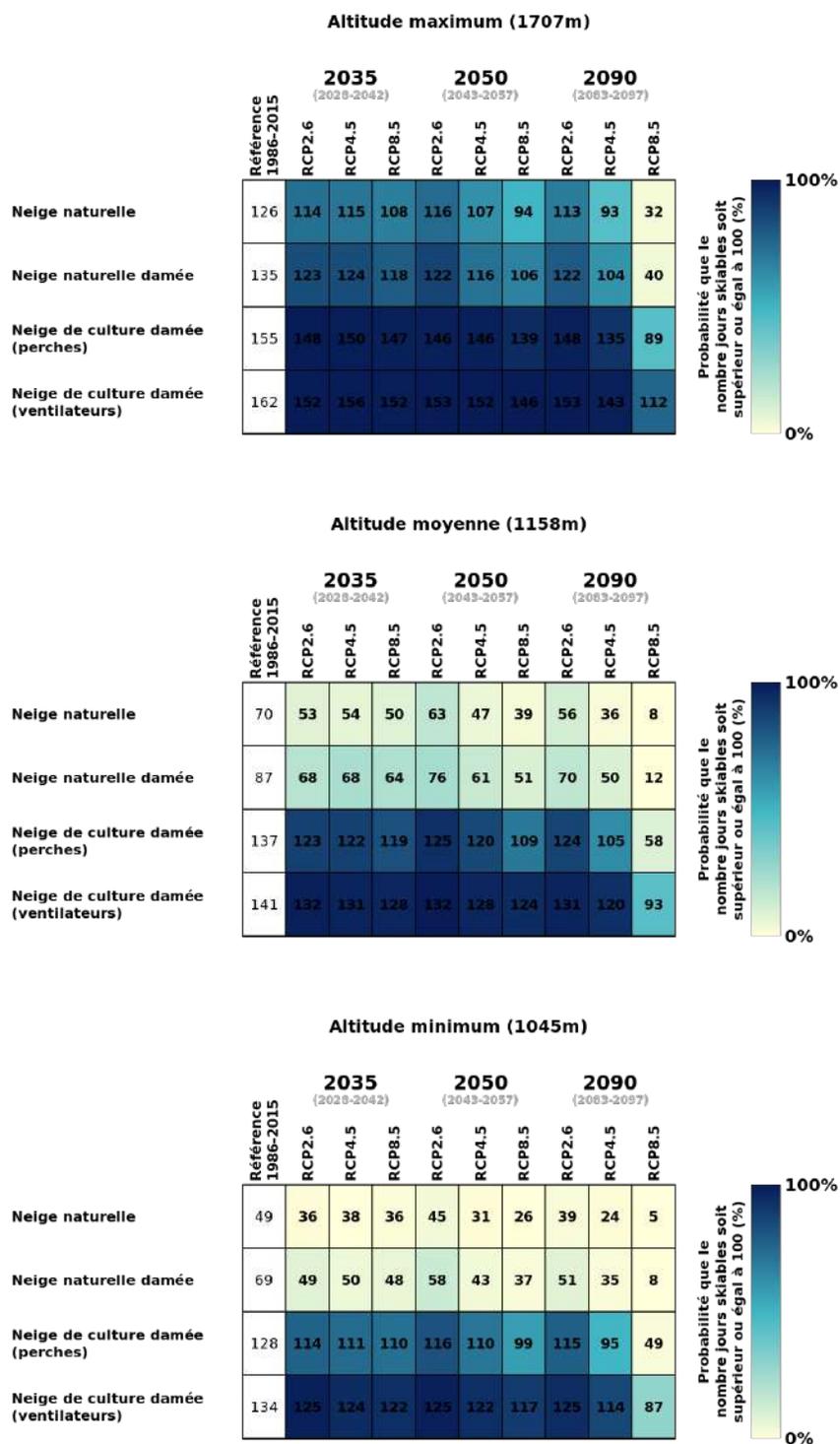


FIGURE 74 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

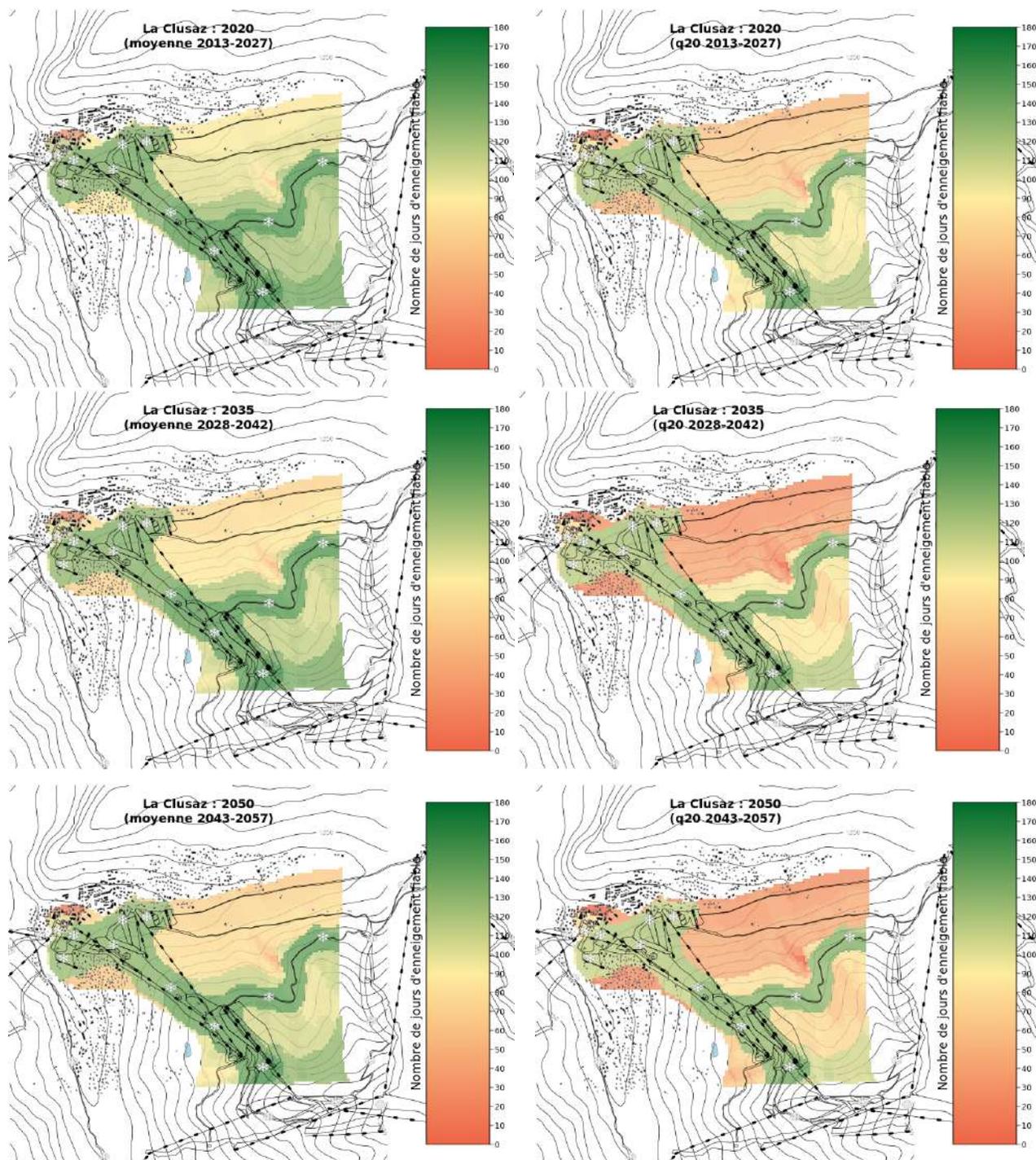


FIGURE 75 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

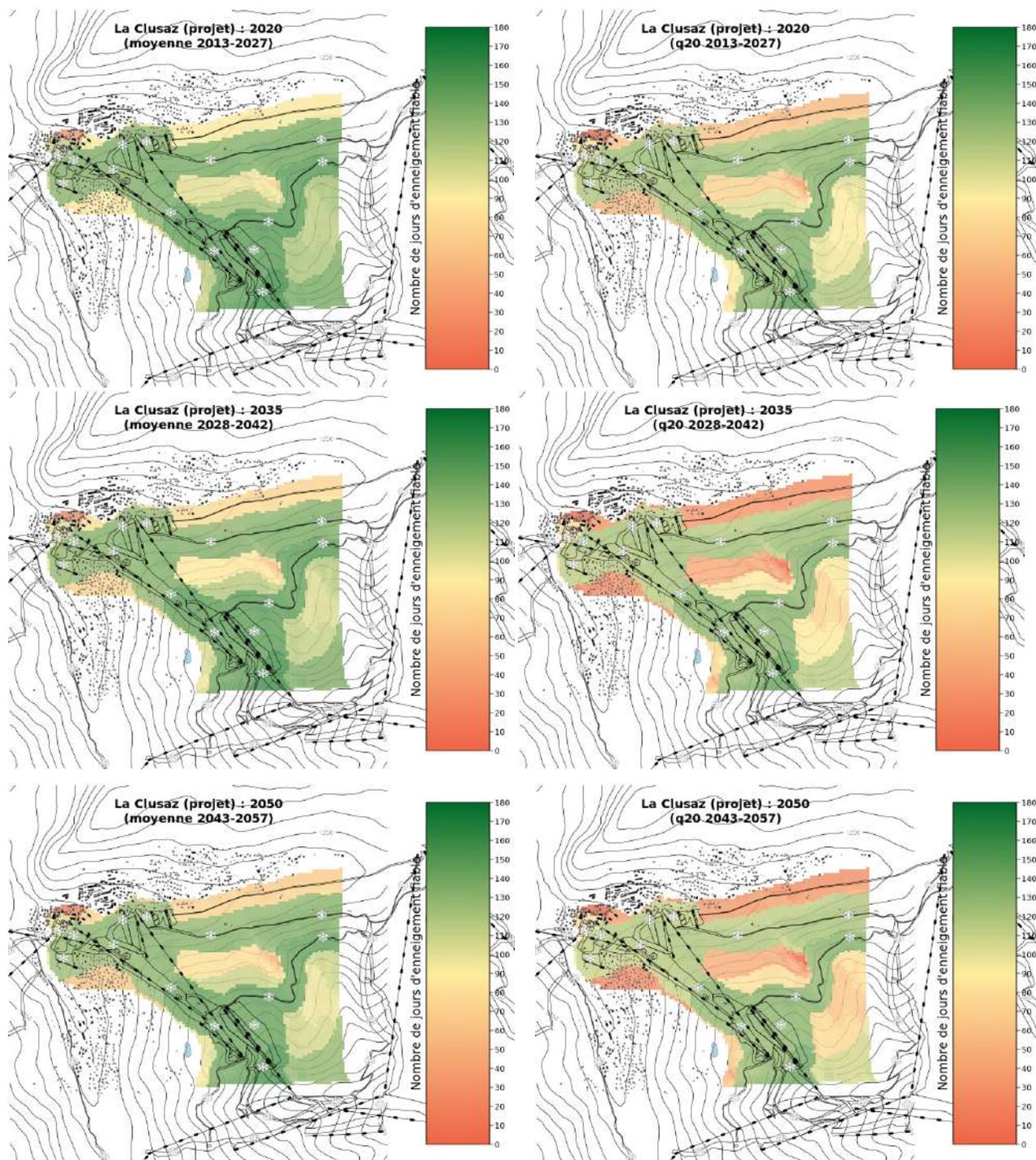


FIGURE 76 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

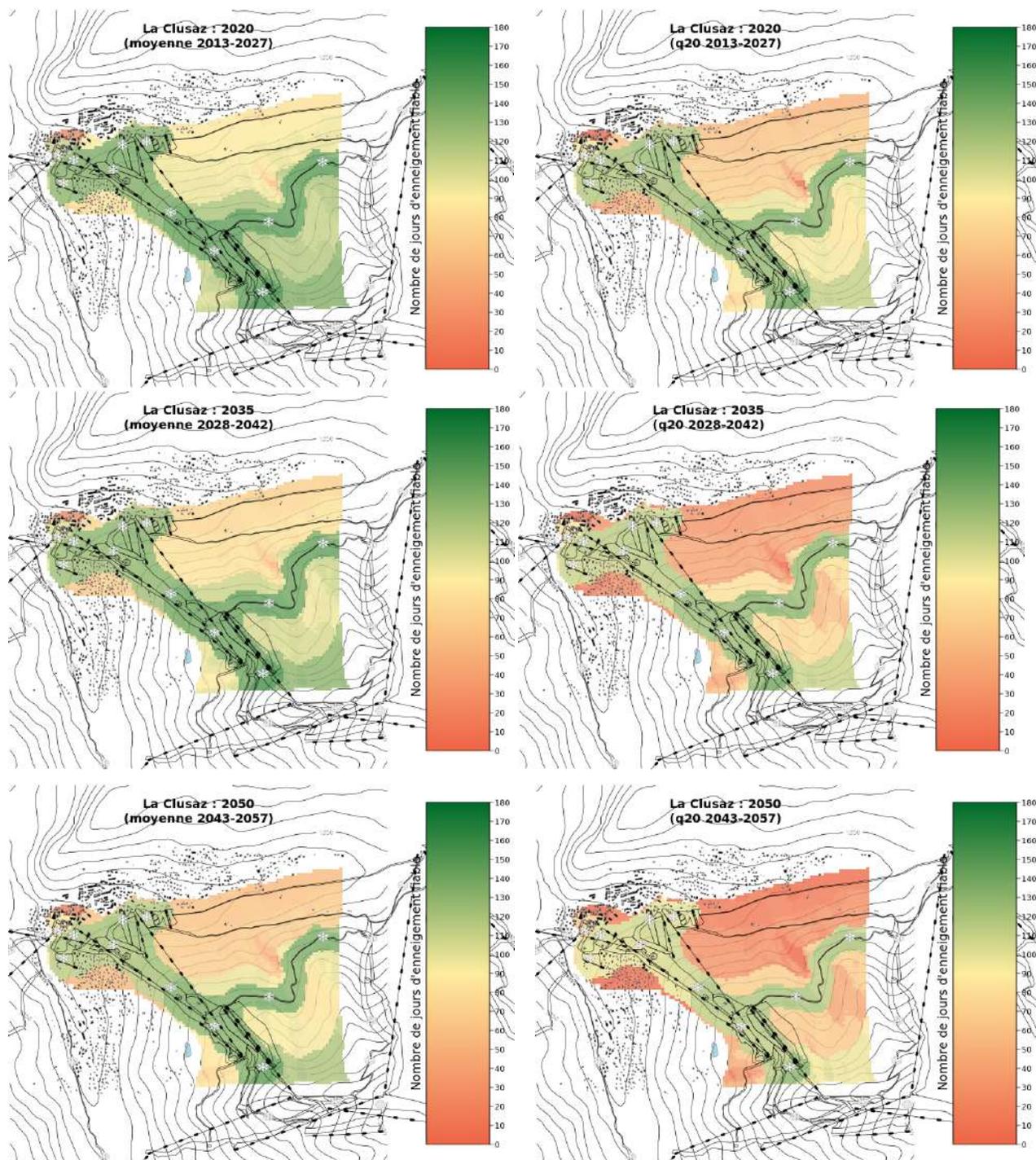


FIGURE 77 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

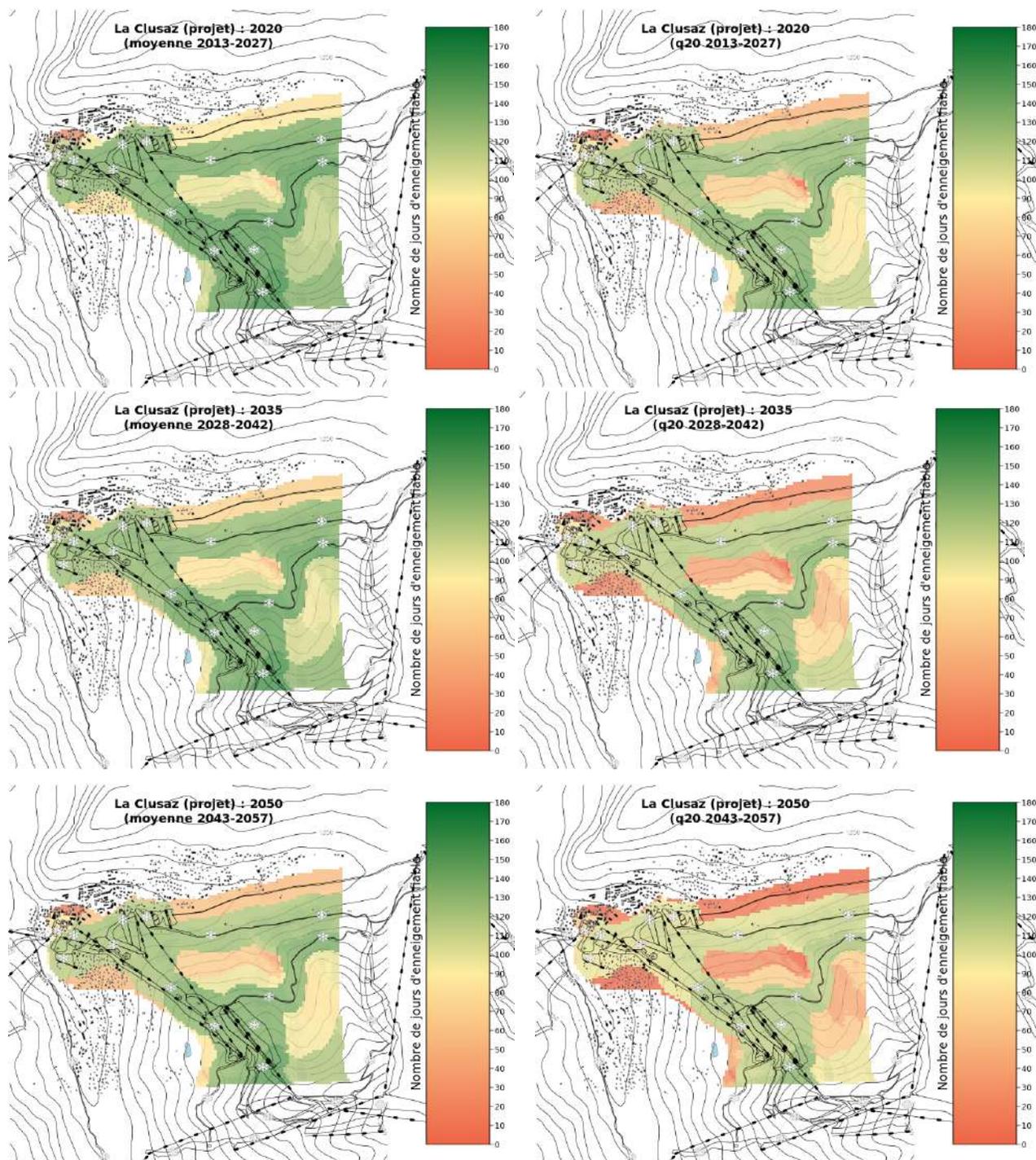


FIGURE 78 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

3.5 L-AIGUILLE-SUD

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

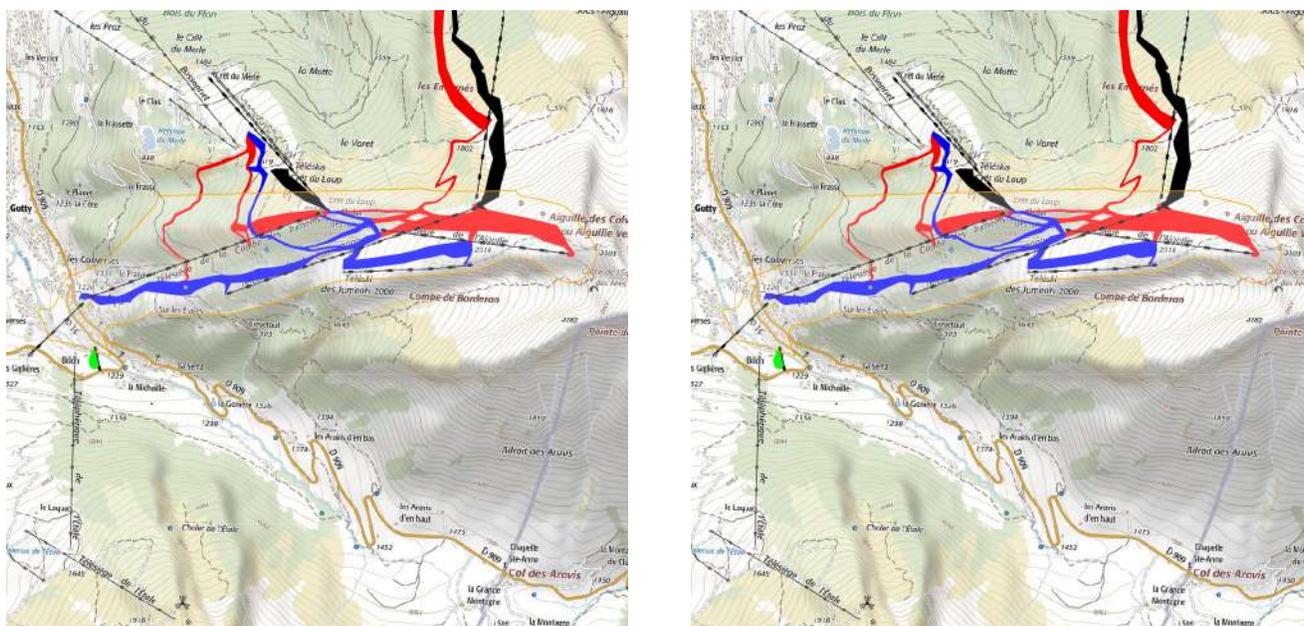


FIGURE 79 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

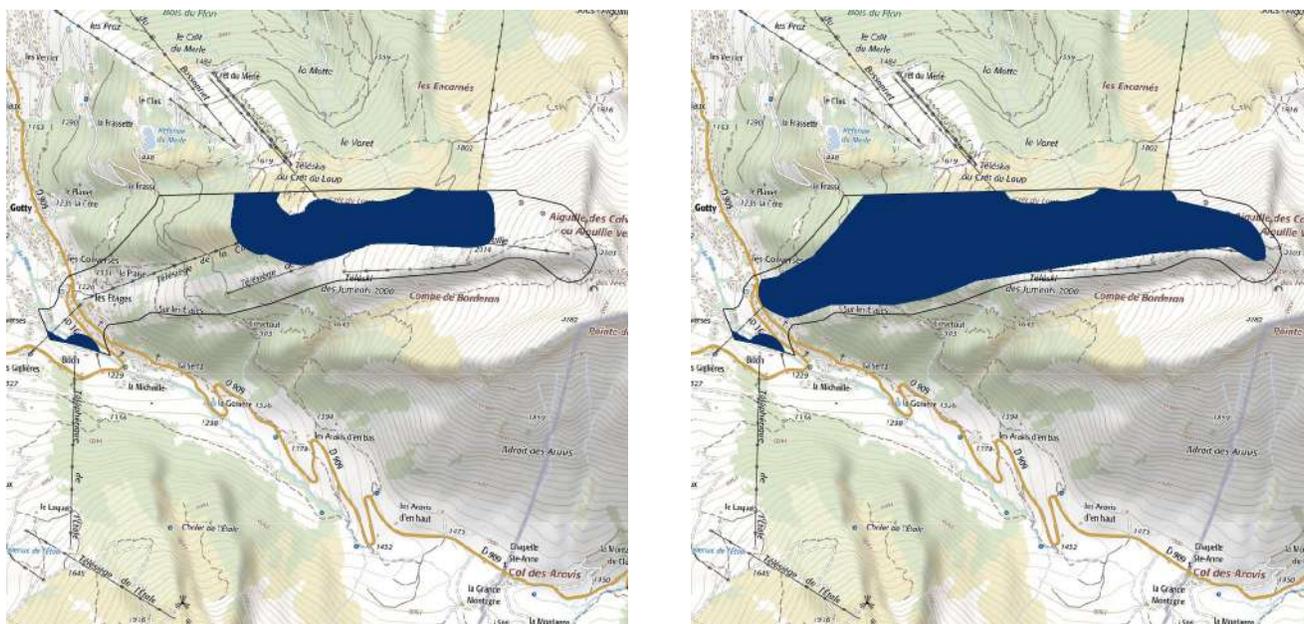


FIGURE 80 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.5.2 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

3.5.3 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.

3.5.4 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.

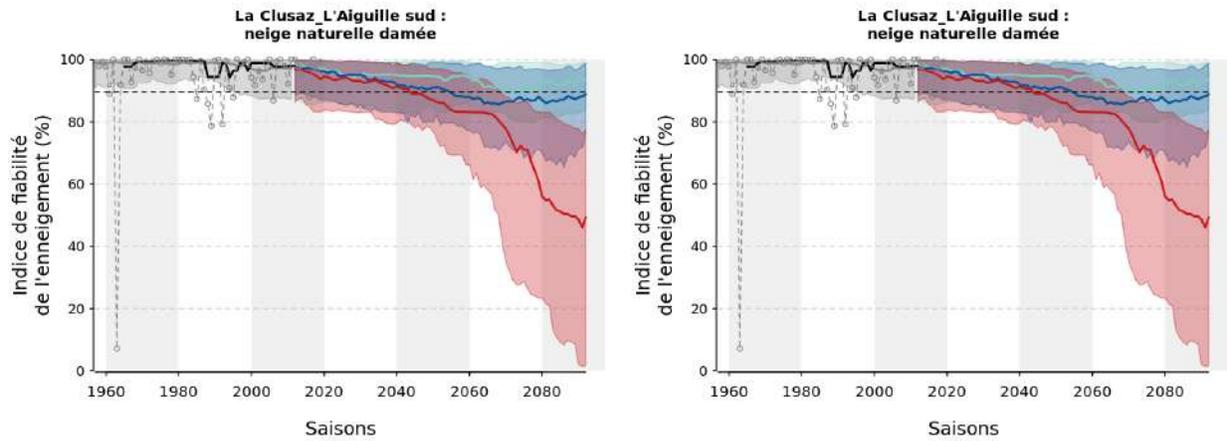


FIGURE 81 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

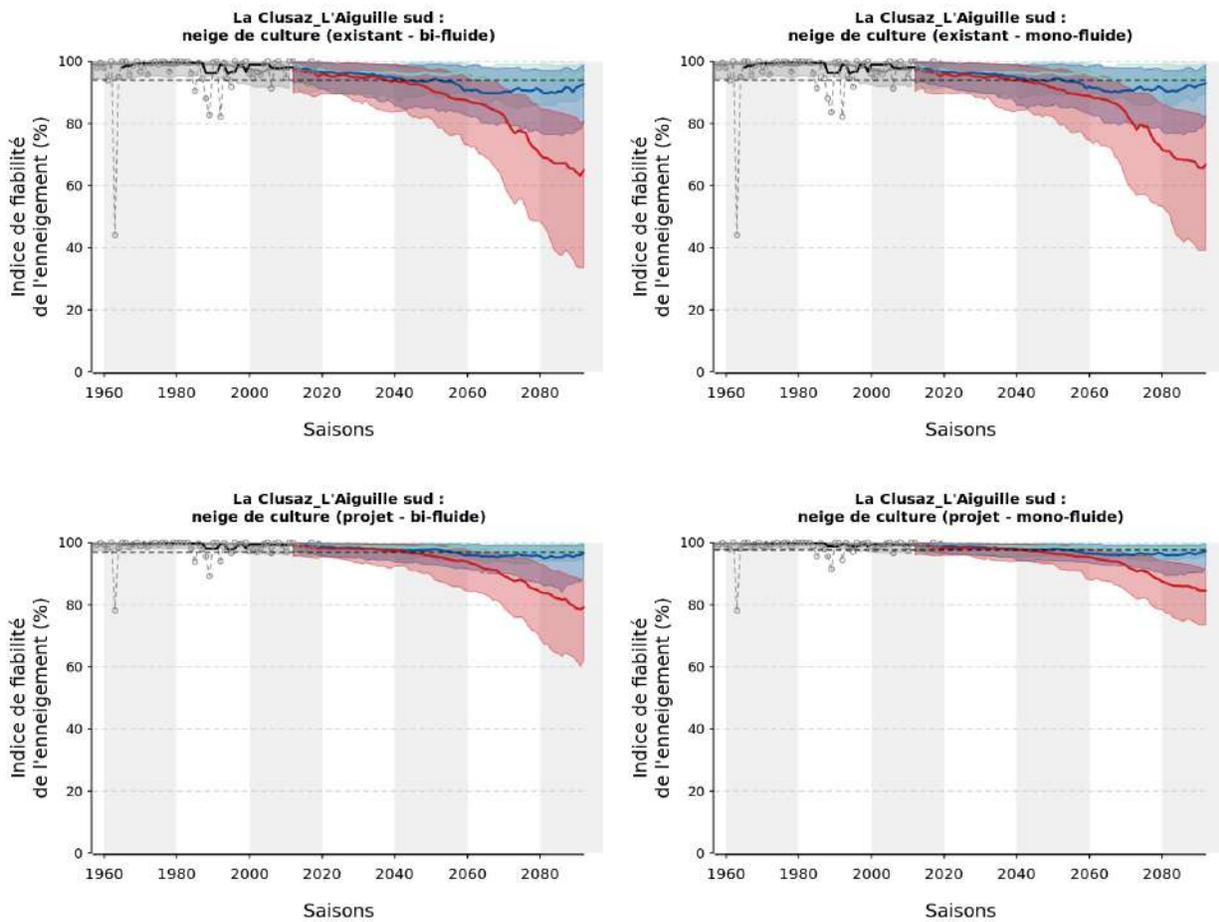


FIGURE 82 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

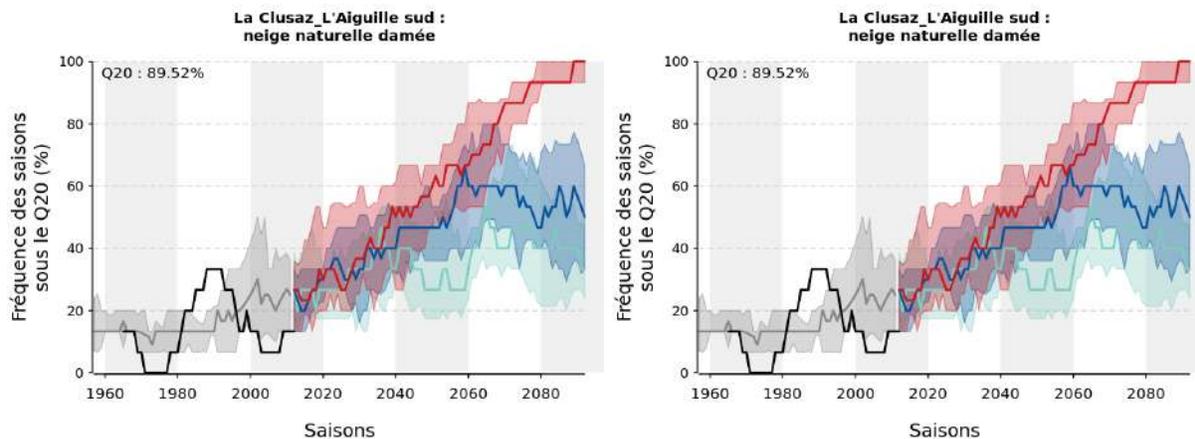


FIGURE 83 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

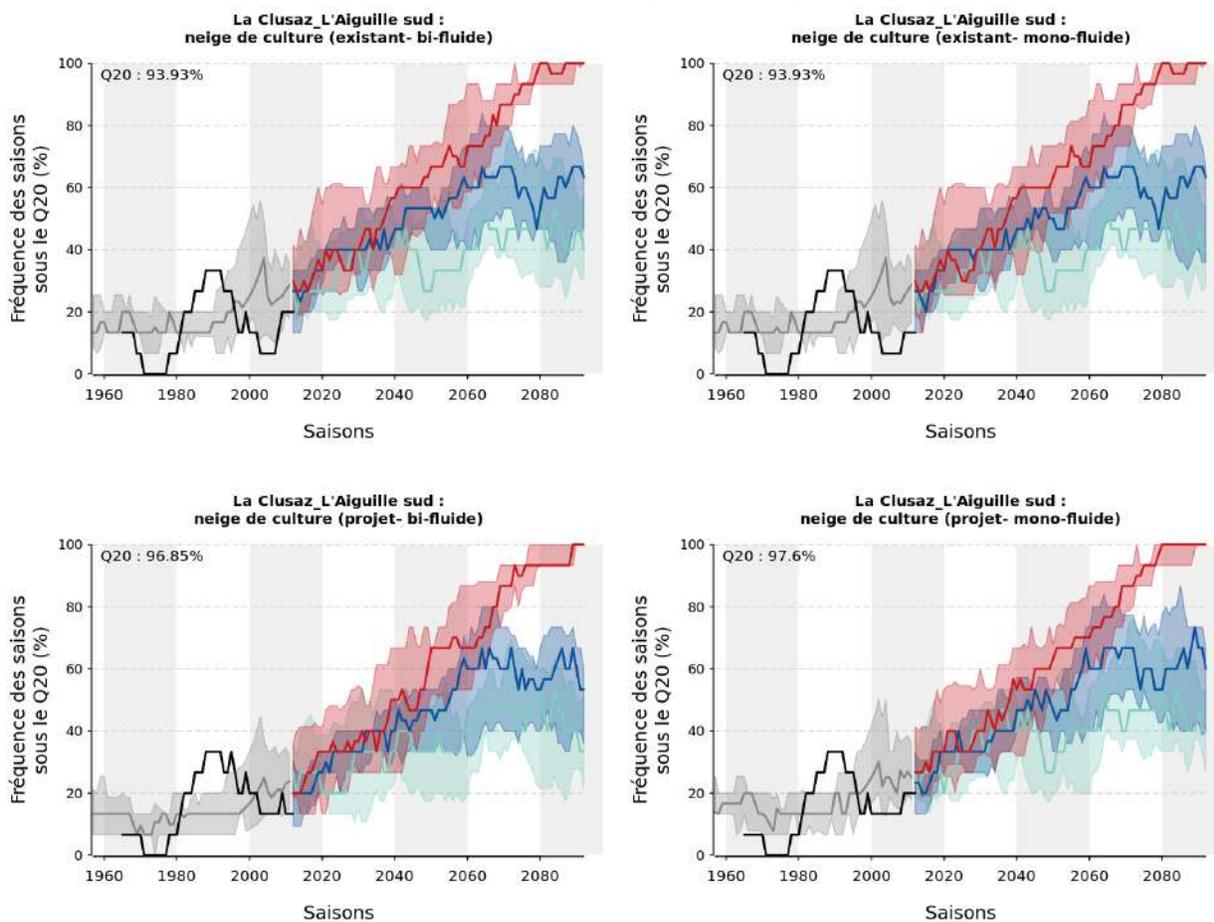


FIGURE 84 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

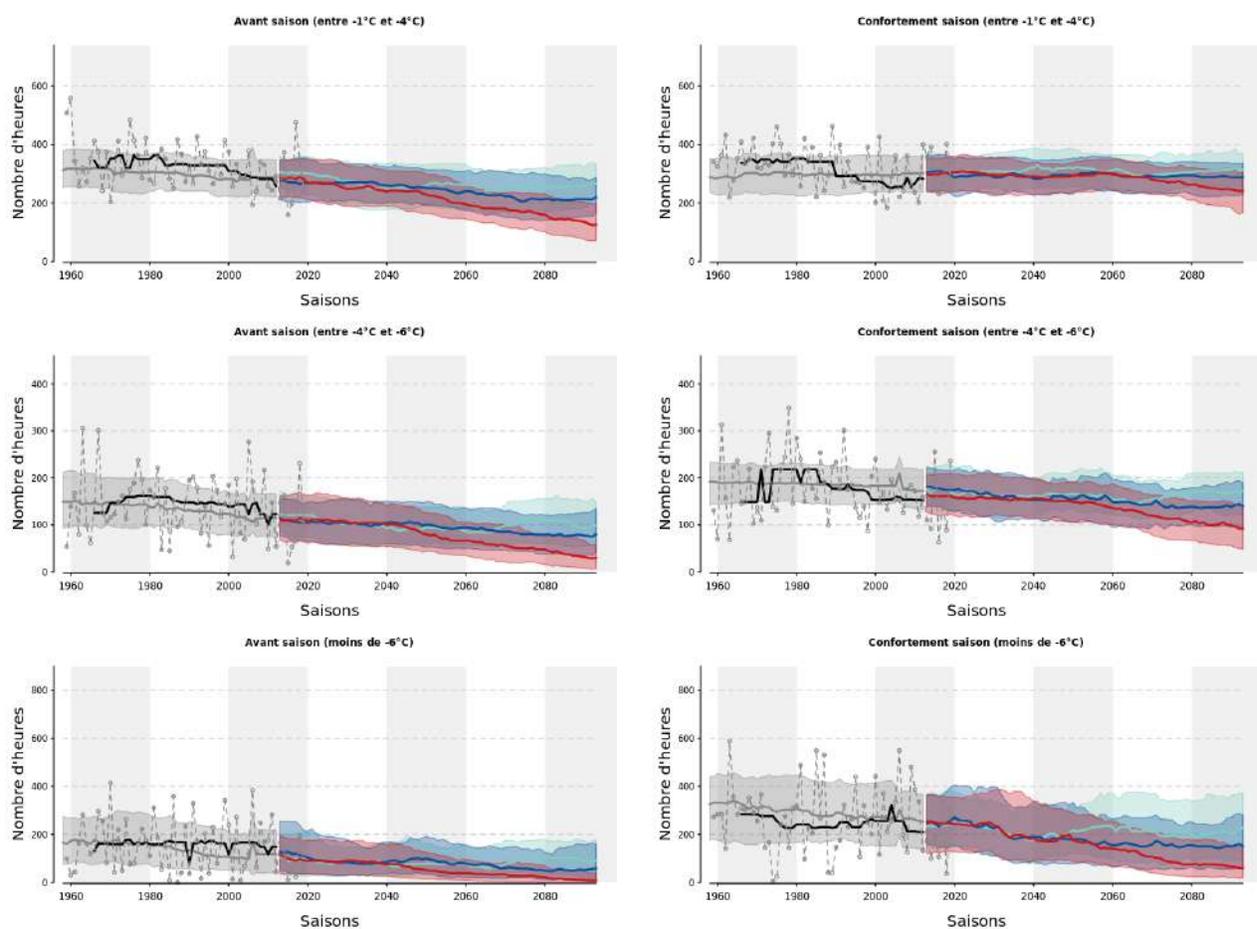


FIGURE 85 – Évolution du potentiel de froid à 1200 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.5.5 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.

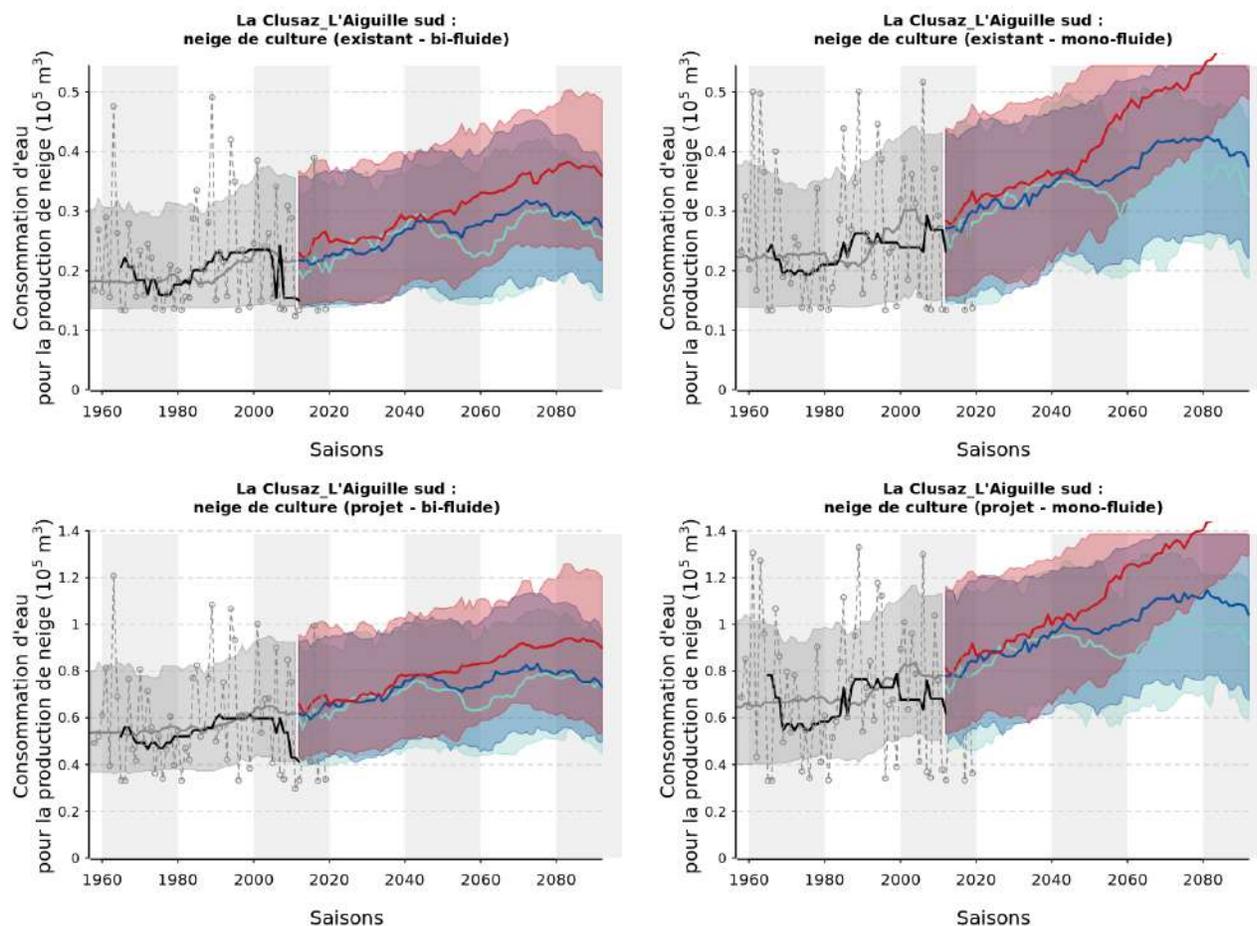


FIGURE 86 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.5.6 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.

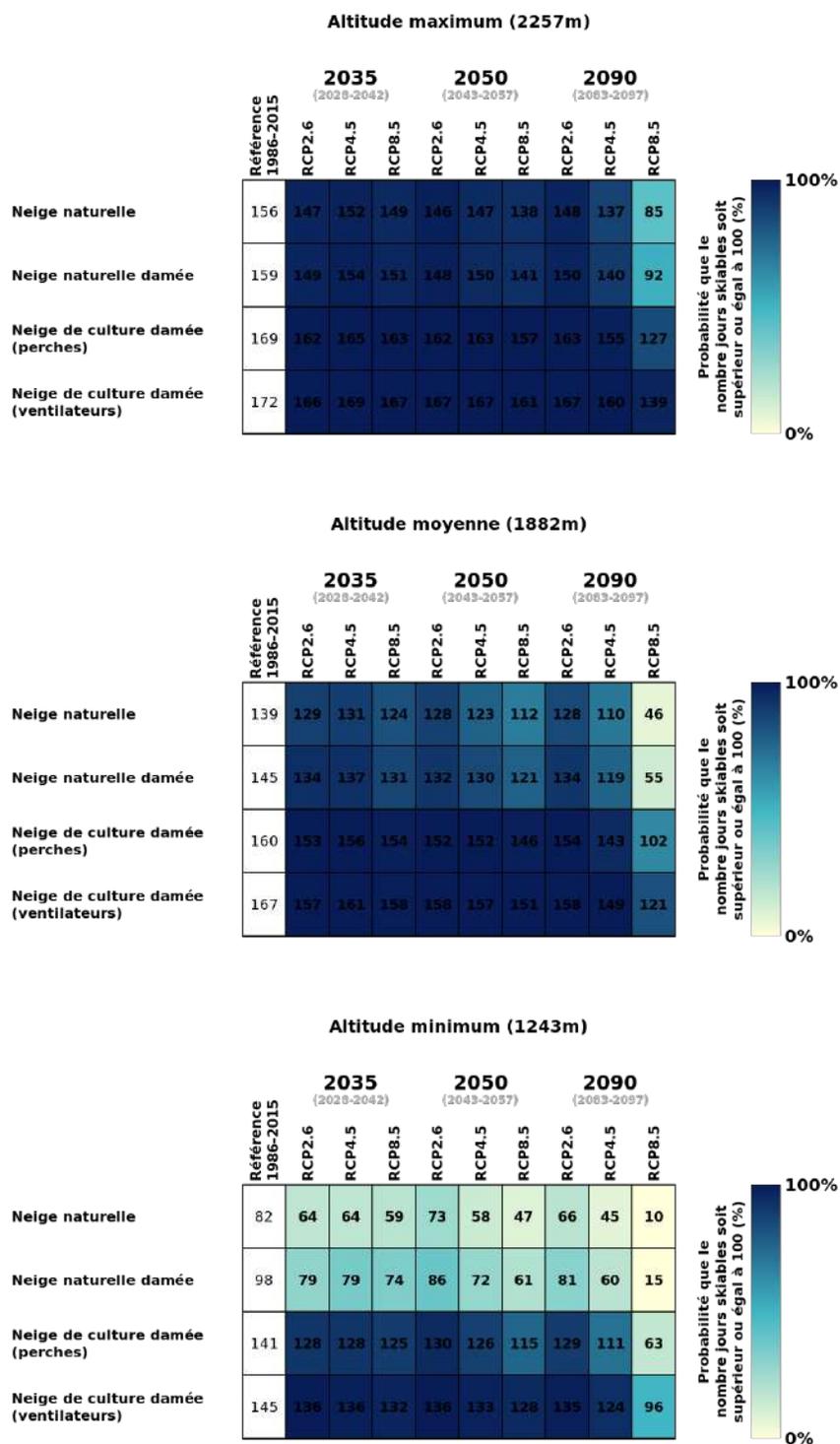


FIGURE 87 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l’altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

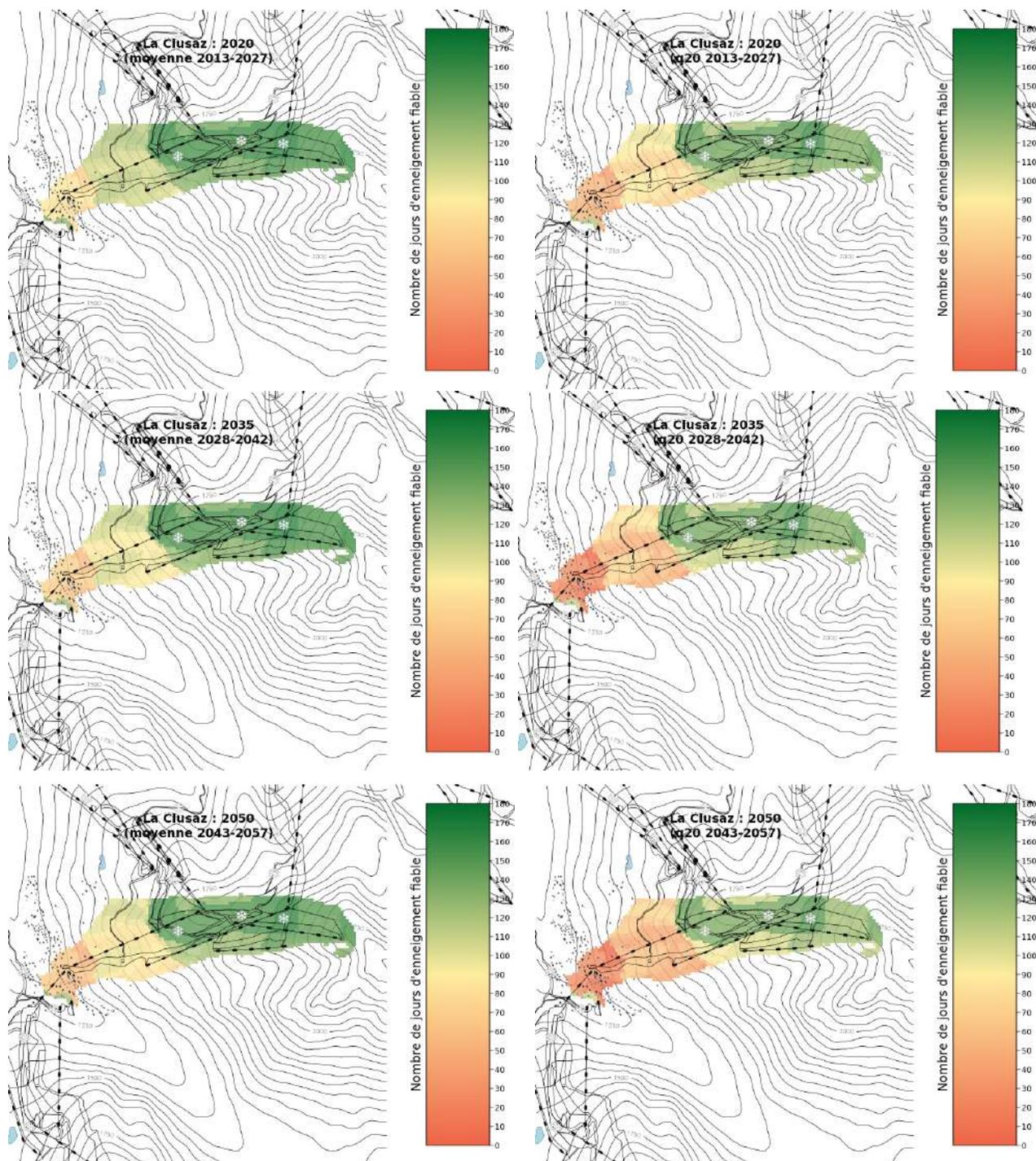


FIGURE 88 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

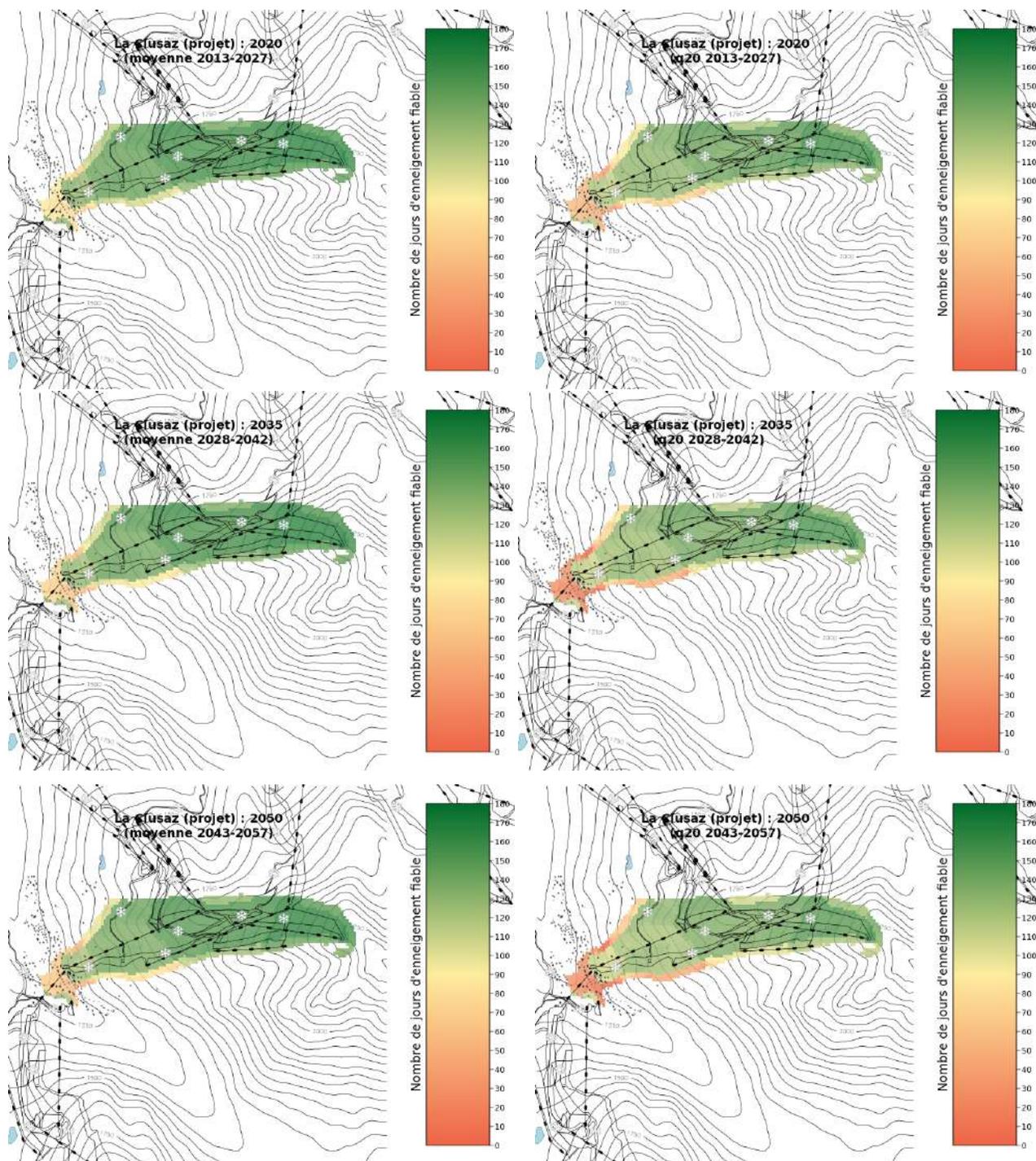


FIGURE 89 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

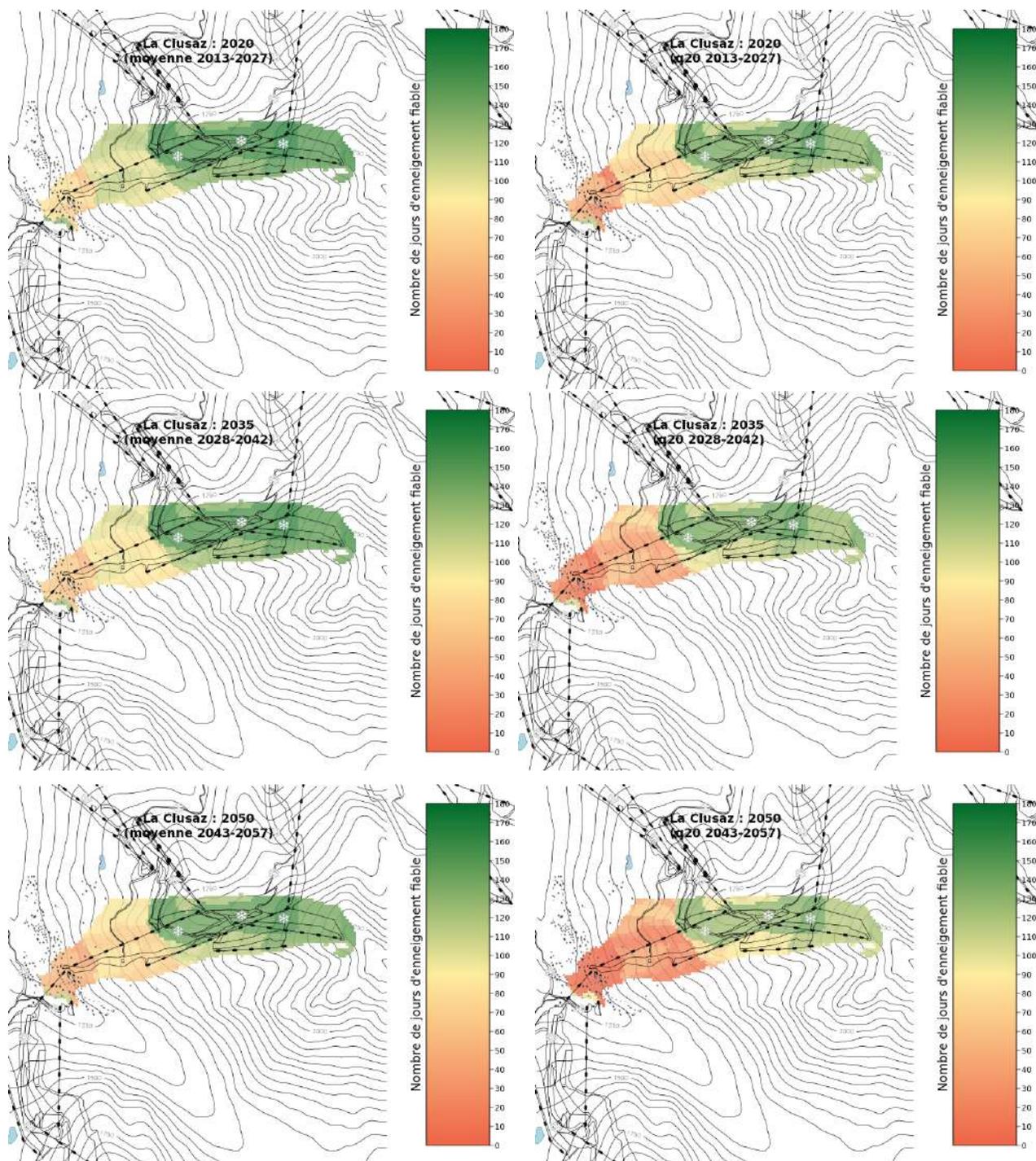


FIGURE 90 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

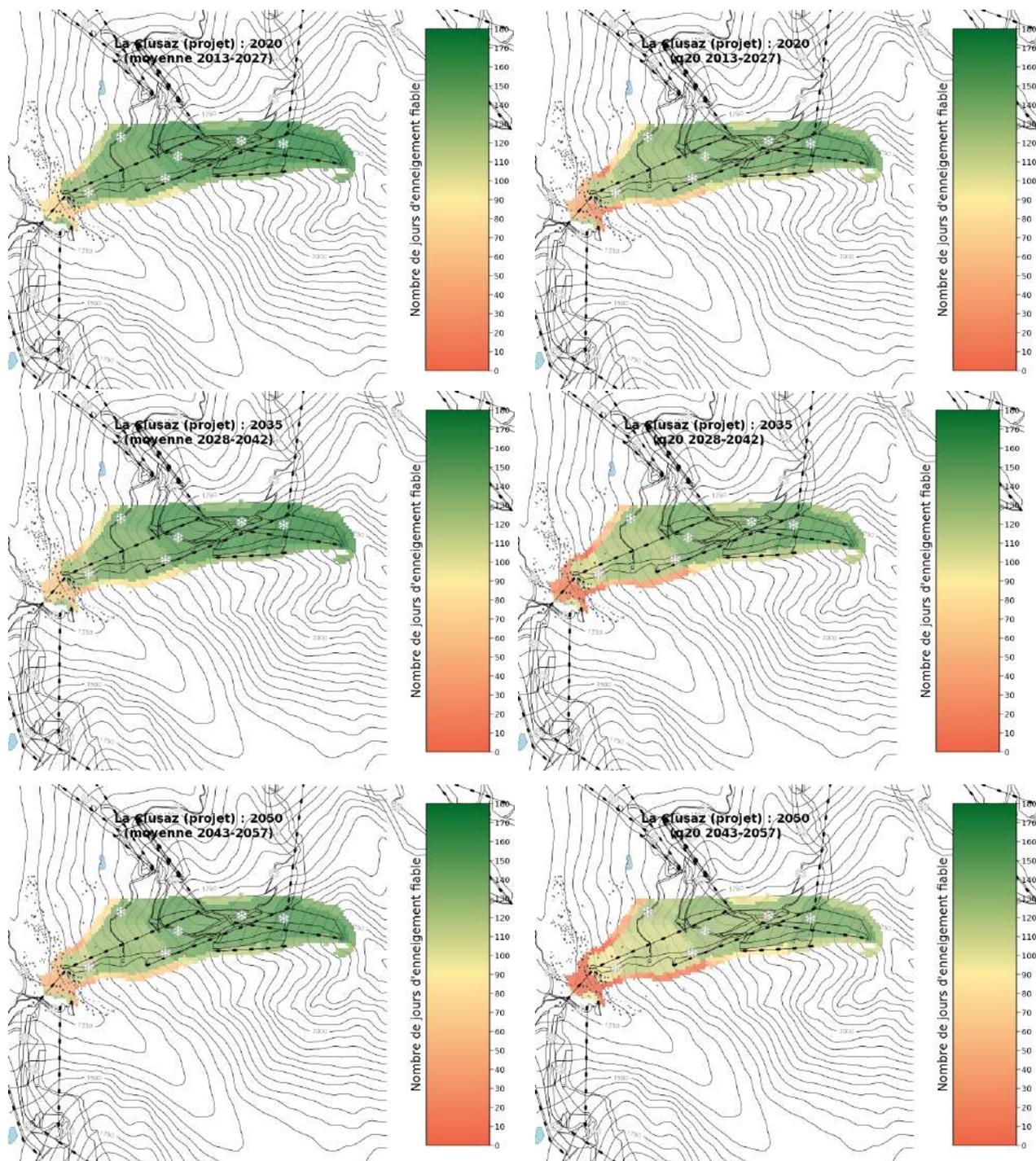


FIGURE 91 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

3.6 L-ETALE

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

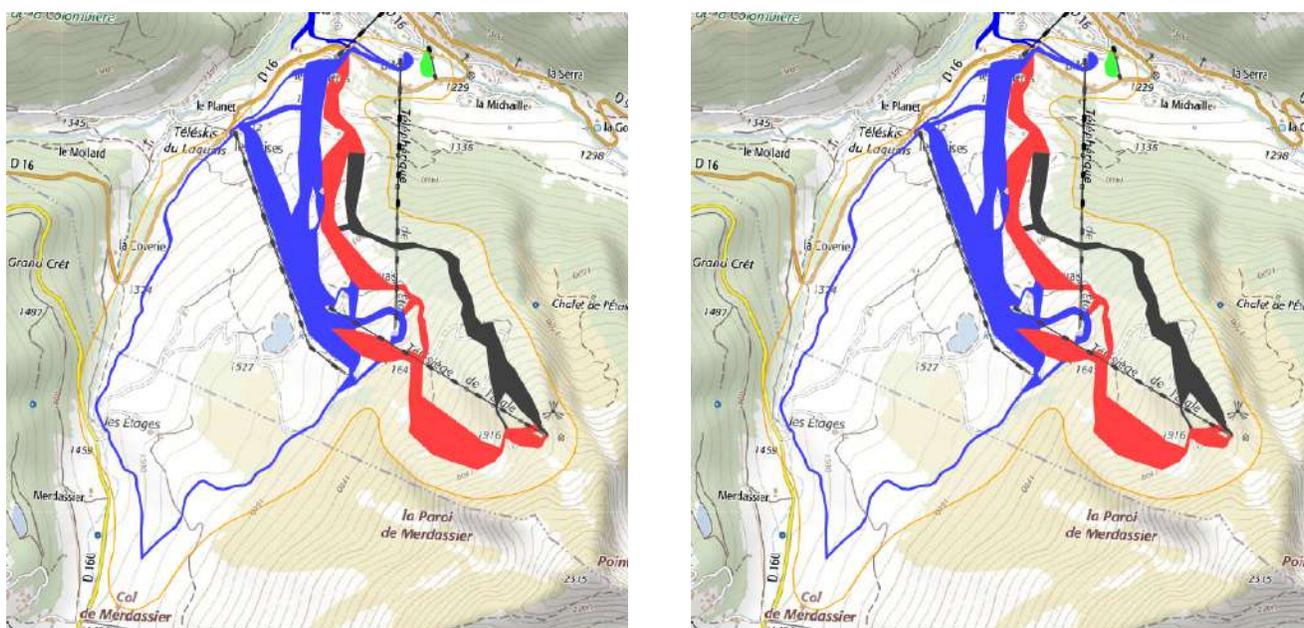


FIGURE 92 – Carte du domaine, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

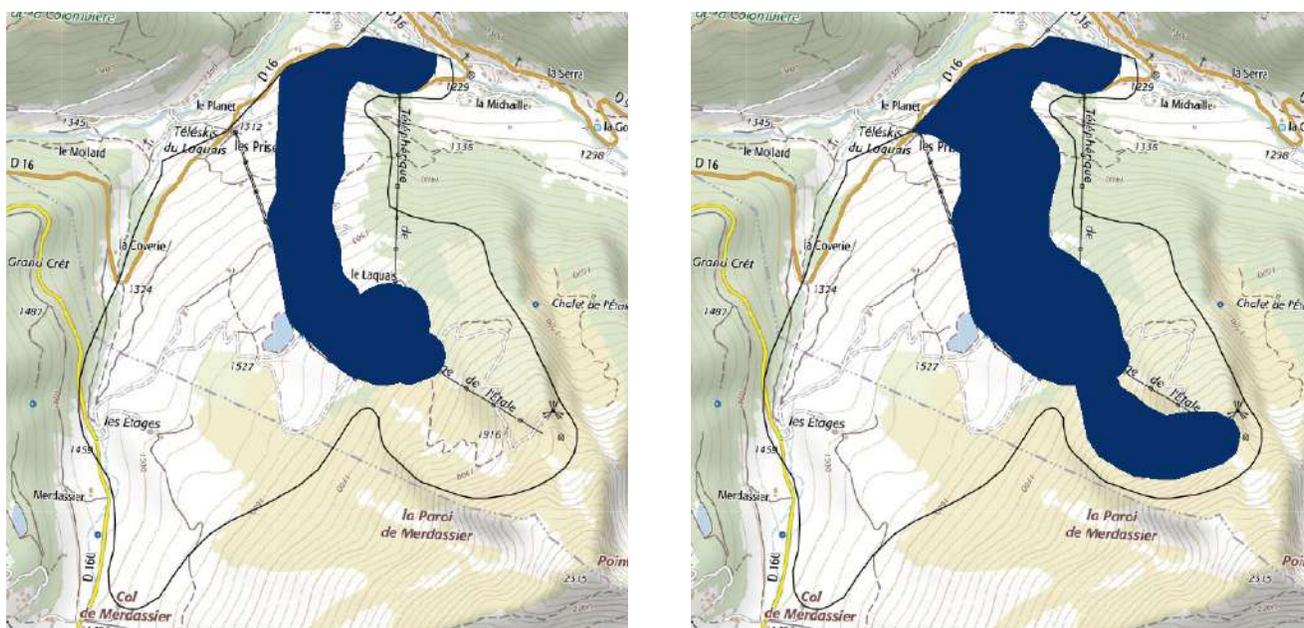


FIGURE 93 – Zones couvertes par la neige de culture. A gauche l'état actuel, à droite la prise en compte des projets.

3.6.2 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

3.6.3 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.

3.6.4 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.

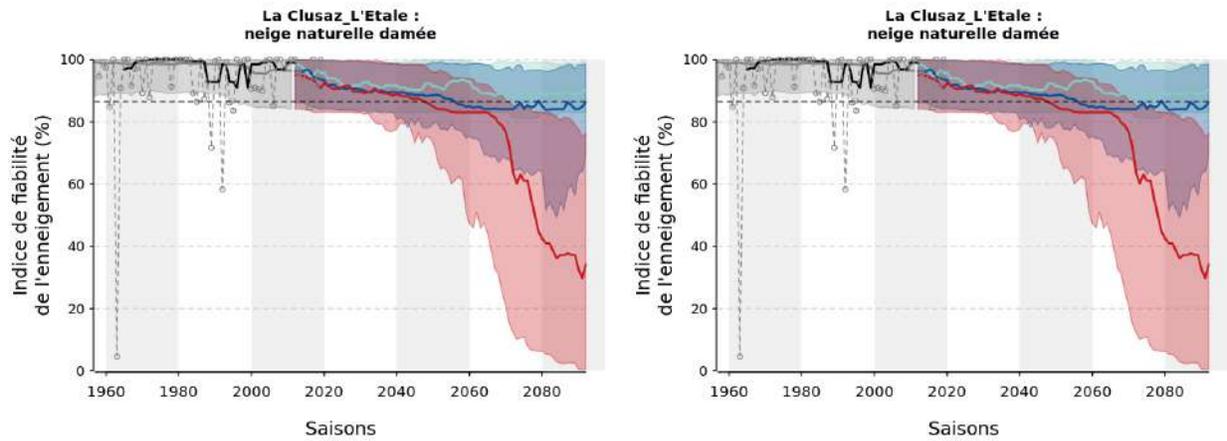


FIGURE 94 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

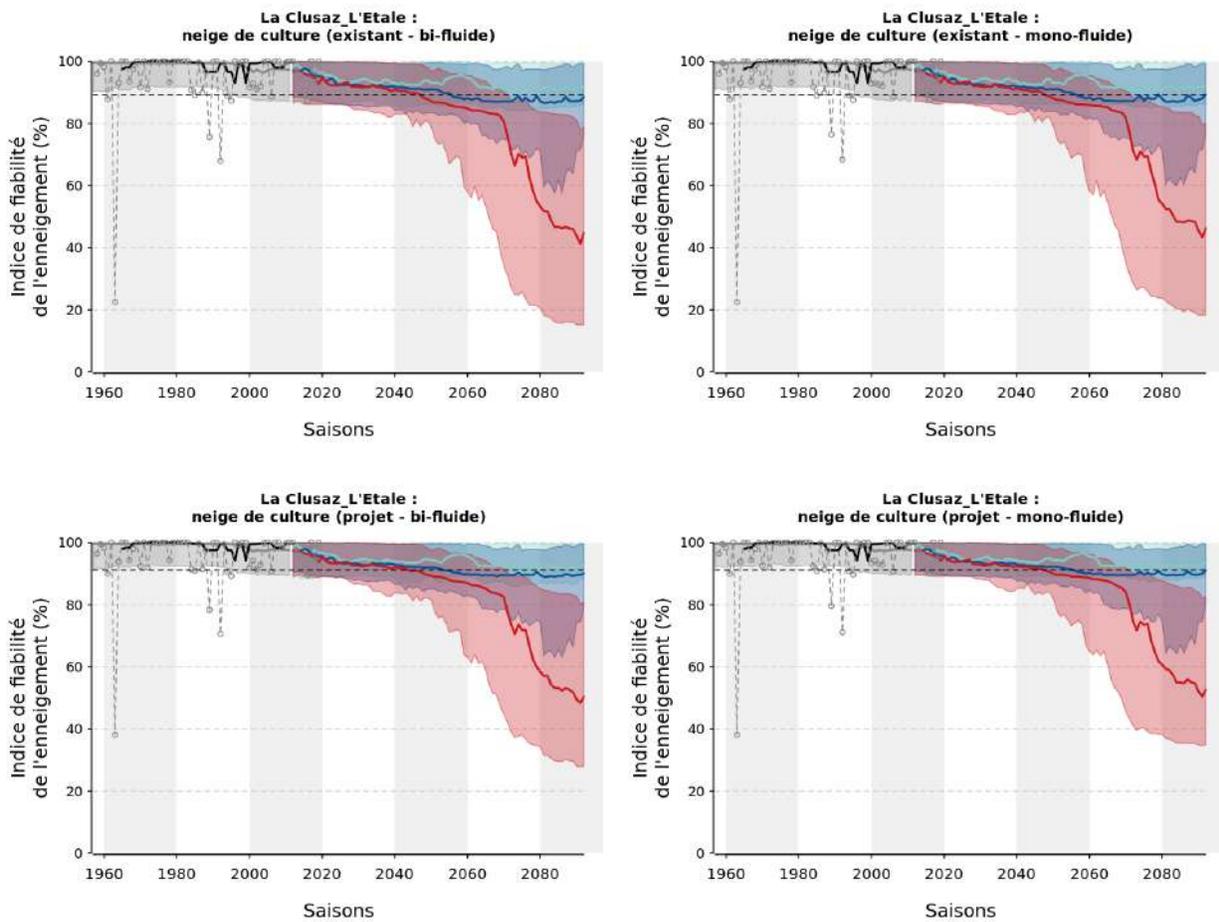


FIGURE 95 – Évolution de l'indice de fiabilité de l'enneigement avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

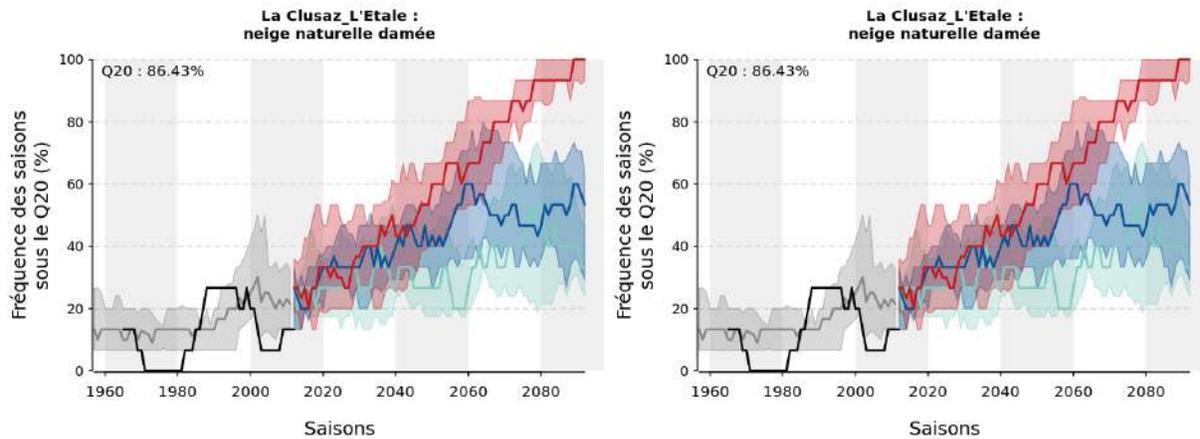


FIGURE 96 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons en neige naturelle damée (à gauche en considérant le domaine actuel actuel, à droite avec la prise en compte des projets).

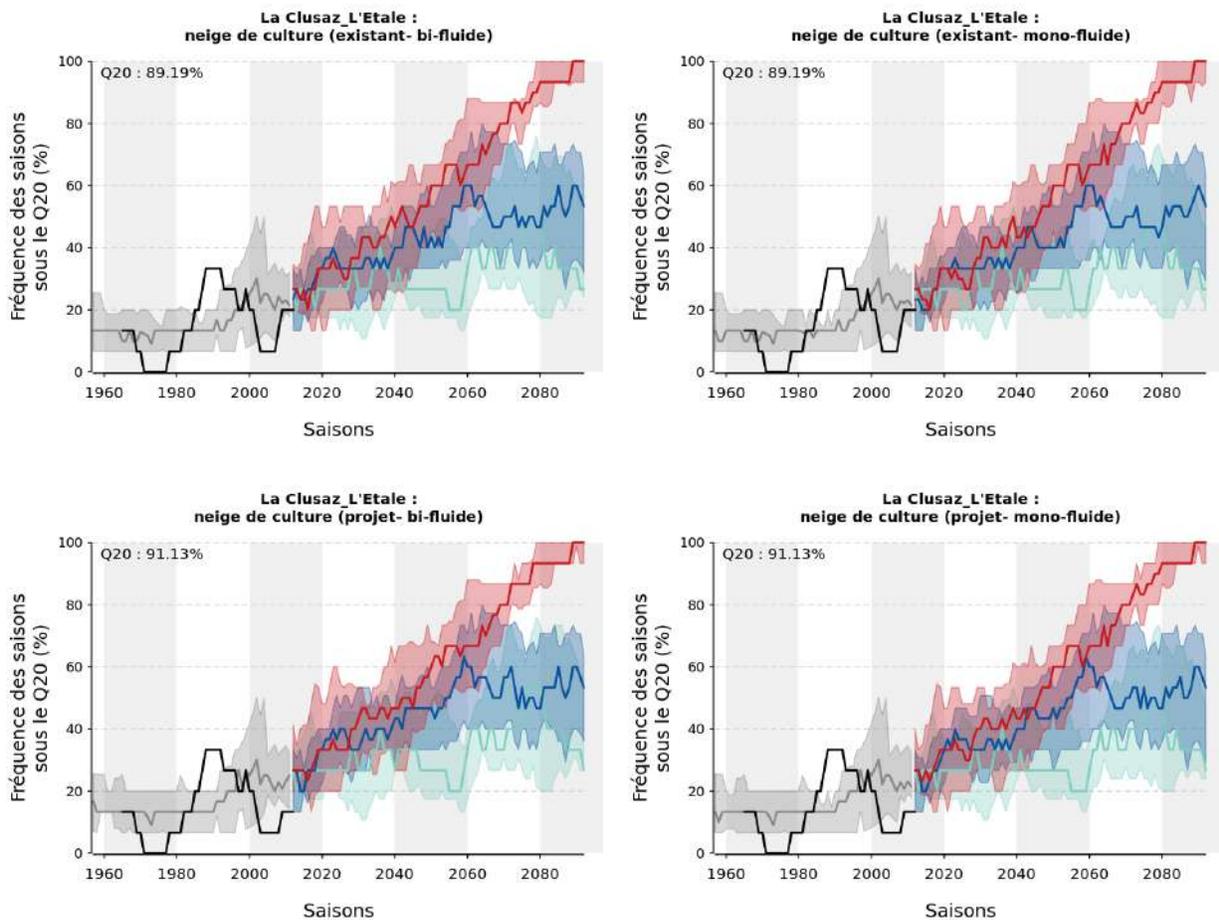


FIGURE 97 – Évolution du taux de retour des mauvaises saisons avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

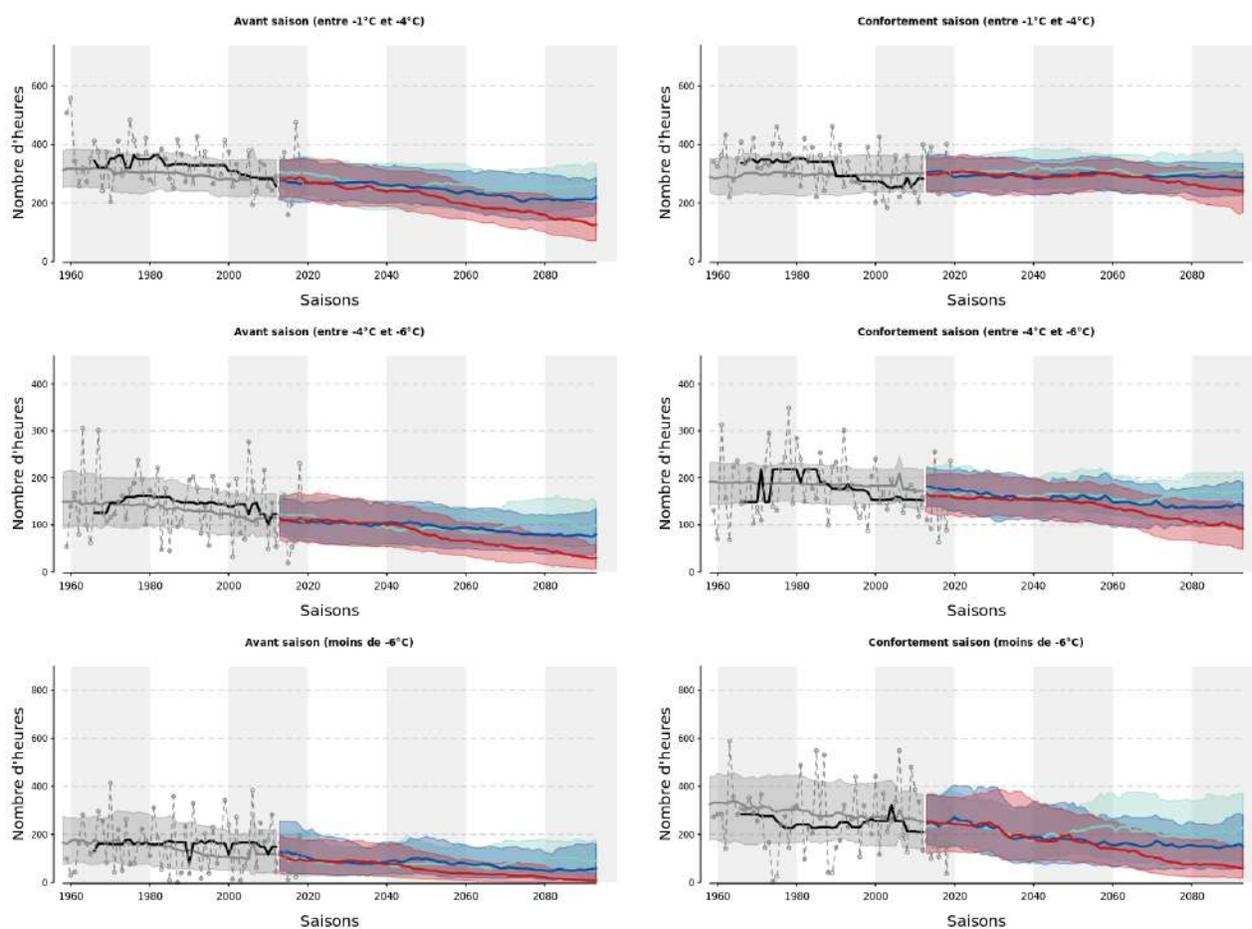


FIGURE 98 – Évolution du potentiel de froid à 1200 m (± 150 m), en fonction de la période de la saison (période "avant saison", du 01/11 au 20/12, et période de "confortement", du 21/12 au 31/01) et en fonction de l'intervalle de température considéré (entre -1°C et -4°C , entre -4°C et -6°C et $<-6^{\circ}\text{C}$).

3.6.5 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.

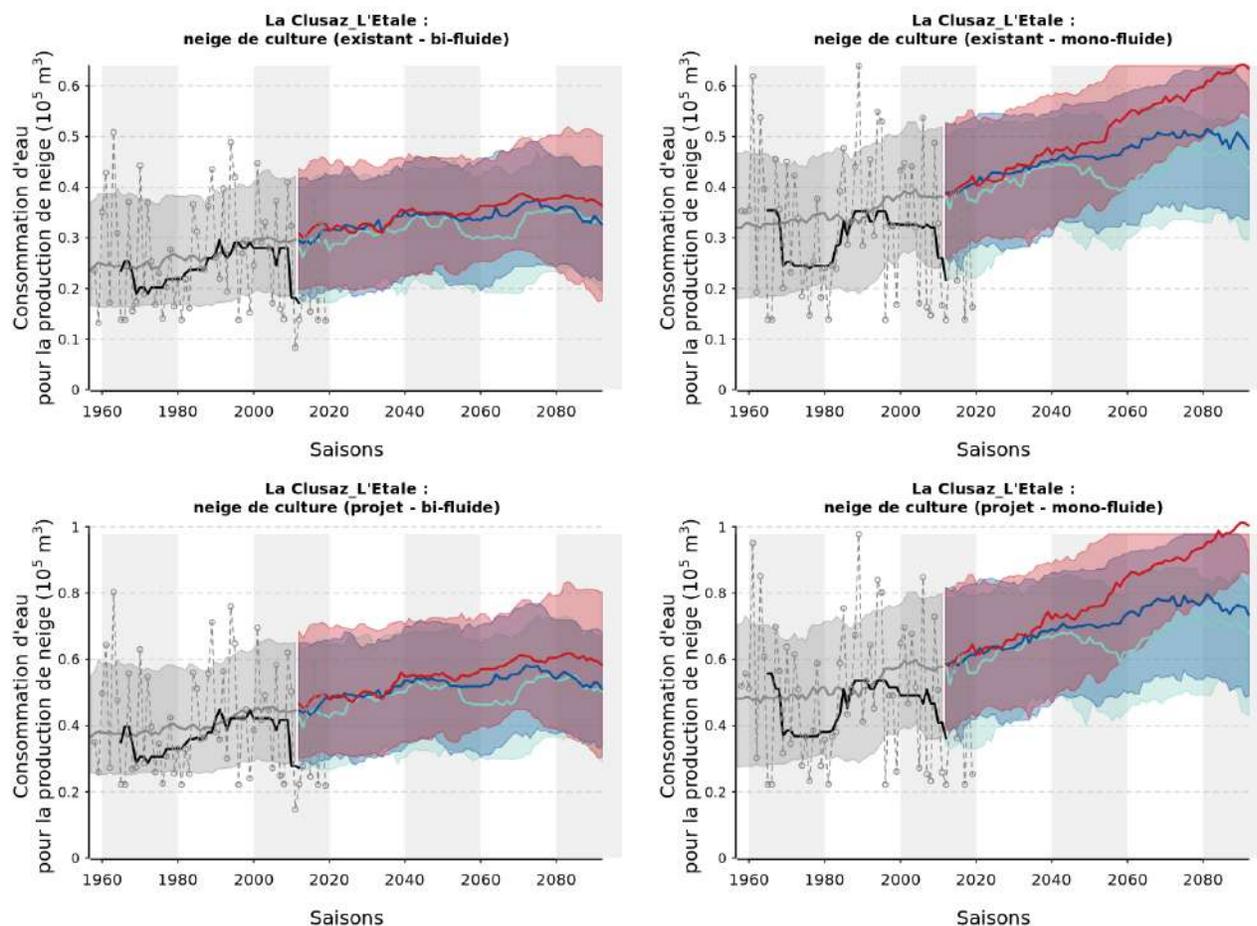


FIGURE 99 – Évolution de la consommation en eau pour la production de neige de culture avec des équipements de type "perches" (à gauche) et "ventilateurs" (à droite). Les graphiques du haut correspondent aux installations actuelles, ceux du bas aux installations prévues dans les prochaines années.

3.6.6 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.

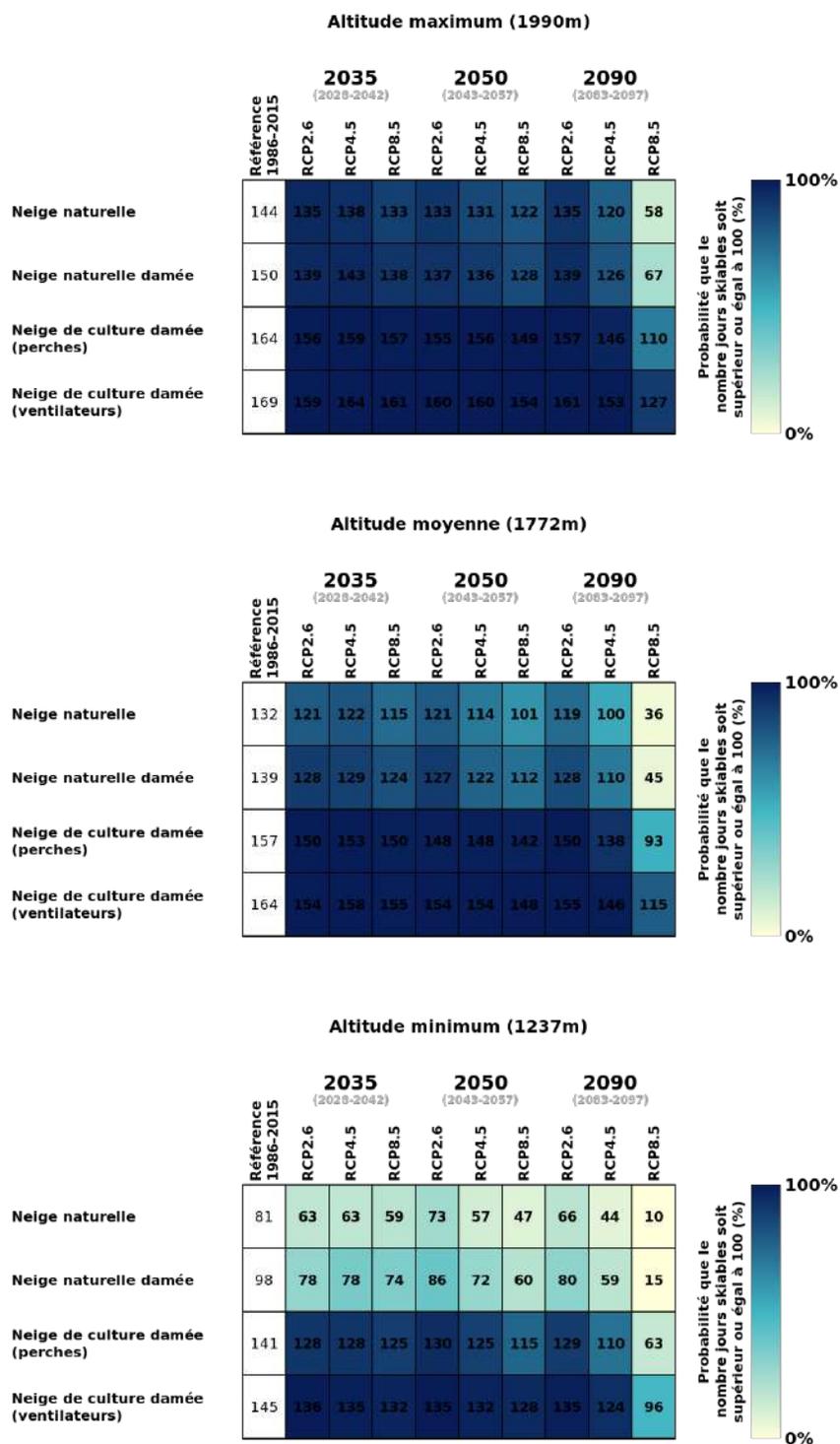


FIGURE 100 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible sur le domaine considéré, pour l'altitude minimum, moyenne et maximum (du bas vers le haut).

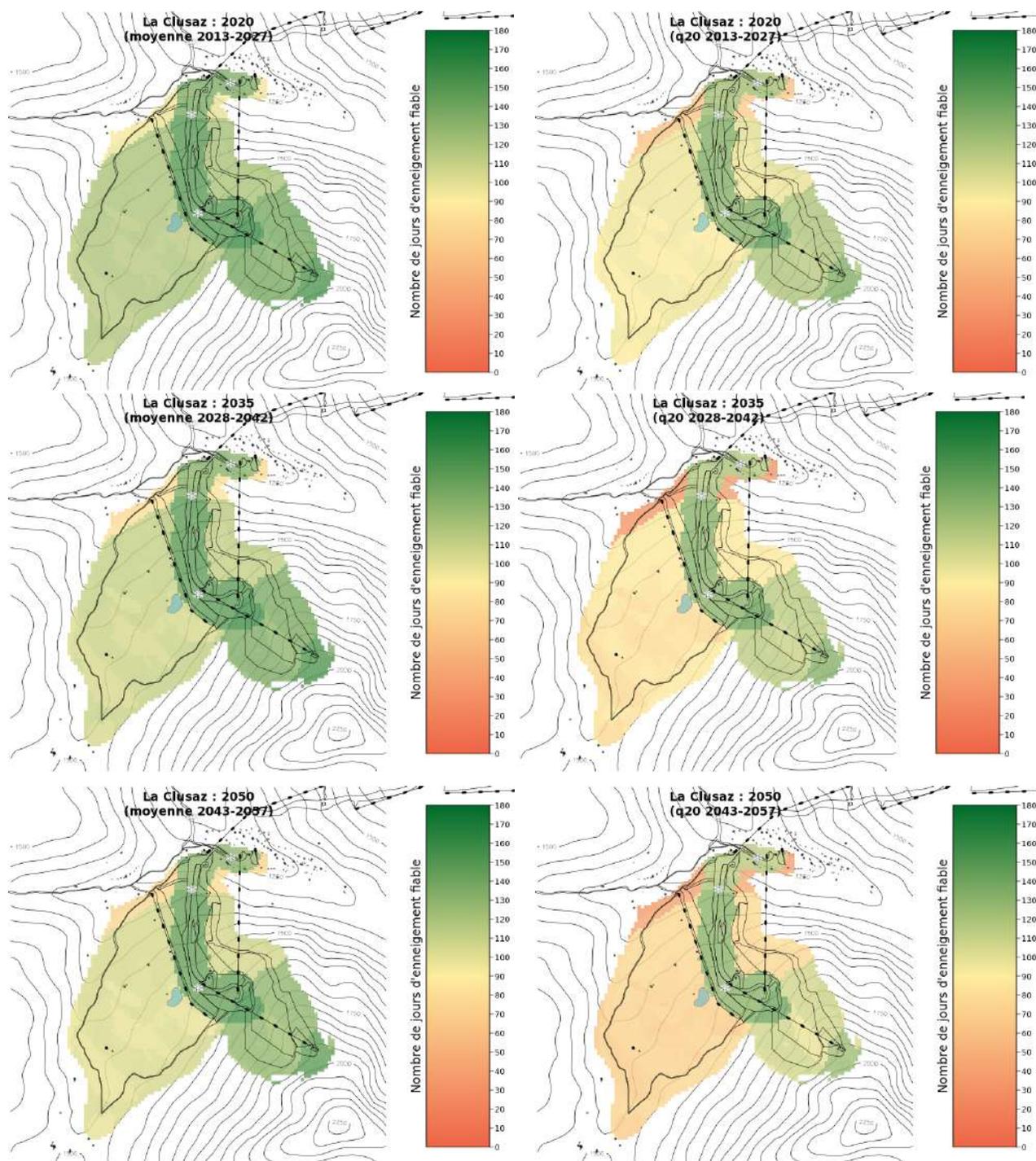


FIGURE 101 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les équipements actuels et en fonction de l’horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d’enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d’enneigement des saisons défavorables (Q20).

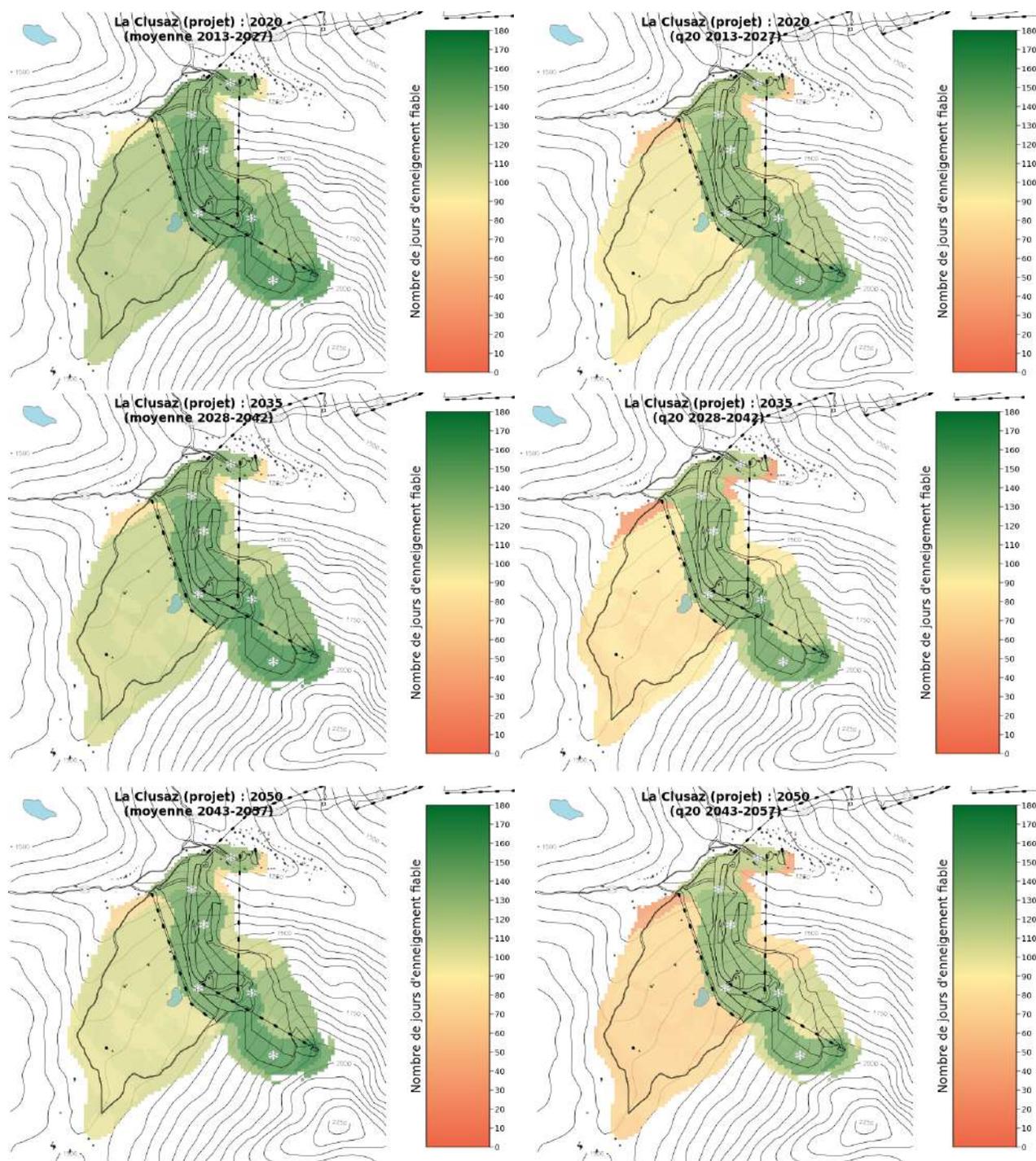


FIGURE 102 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP4.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

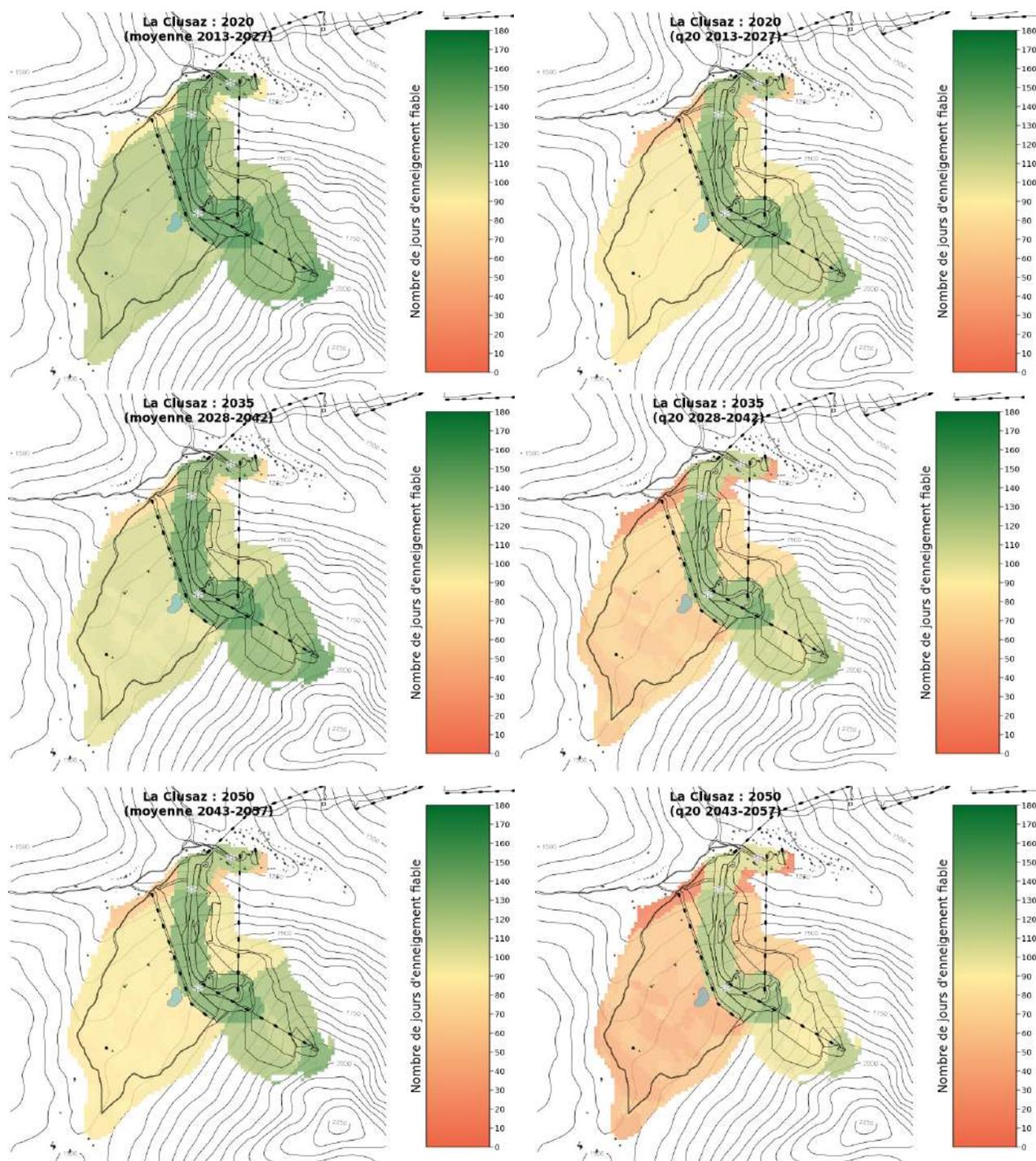


FIGURE 103 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les équipements actuels et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

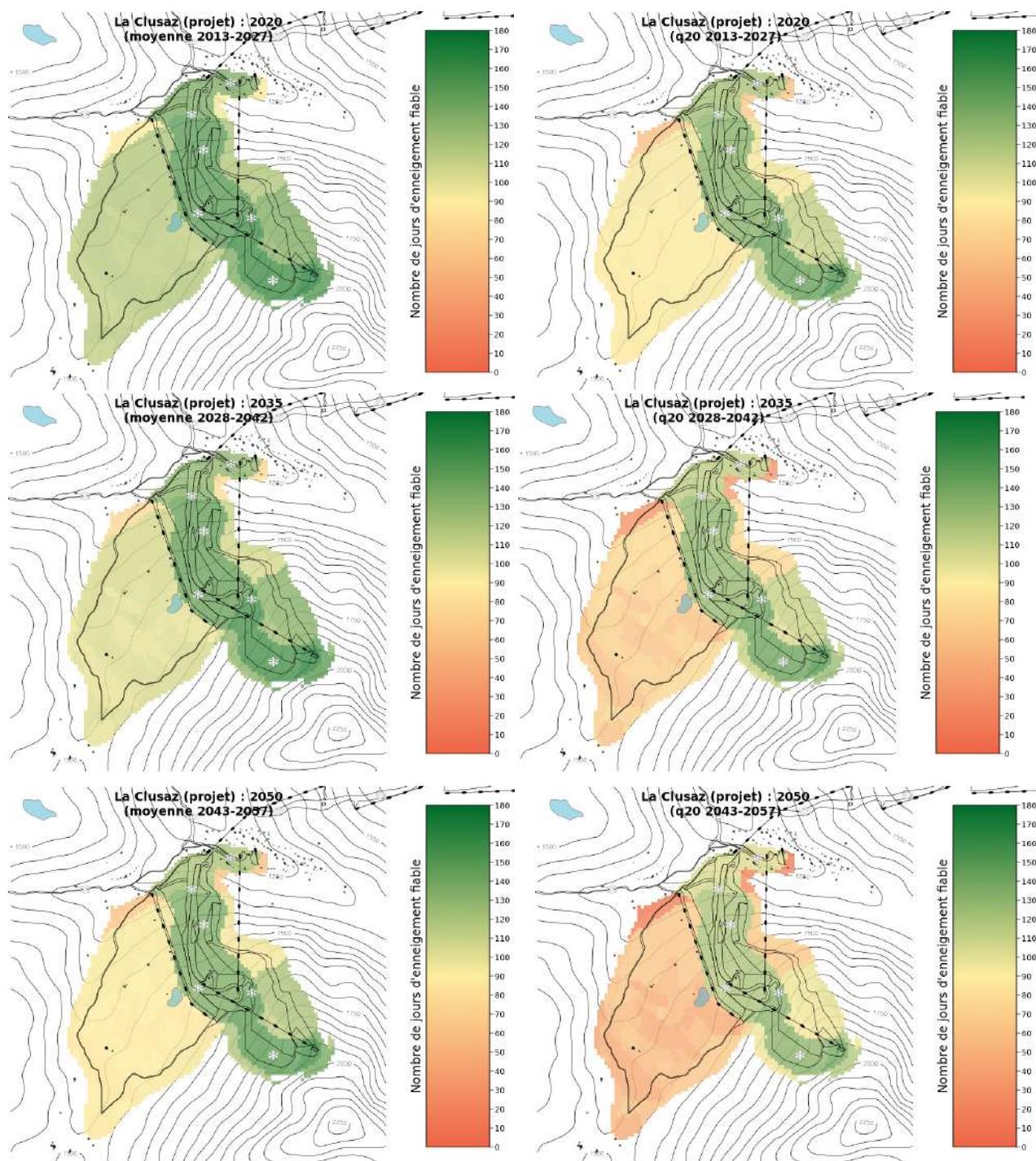


FIGURE 104 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : périodes de 15 ans centrées sur 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).