



Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec

Rapport final
Janvier 2019



ANALYSE ÉCONOMIQUE DES MESURES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES APPLIQUÉE AU SECTEUR DU SKI ALPIN AU QUÉBEC

Rapport final
Janvier 2019

Directeur de projet : Laurent Da Silva, Ouranos

Équipe de réalisation :

Félix-Antoine Desrochers, Ouranos
Katherine Pineault, Ouranos
Charles-Antoine Gosselin, Ouranos
Patrick Grenier, Ouranos
Gabrielle Larose, Association des stations de ski du Québec

Principaux collaborateurs :

Benjamin Désourdy, Bromont Montagne d'expériences
Claude Péloquin, Bromont Montagne d'expériences
Jean-Michel Ryan, Mont Sutton
Jonathan Forcier, Corporation ski et golf Mont Orford
Simon Blouin, Corporation ski et golf Mont Orford
Pascal Mongeau, Corporation ski et golf Mont Orford
Michel Archambault, ESG-UQAM
Stéphanie Bleau, Ouranos

Révision linguistique :

Marie-Anta Diop, Ouranos

Crédit photo : Baudesign, Flickr

Numéro de projet : 553017

Citation suggérée : Da Silva, L., Desrochers, F.-A., Pineault, K., Gosselin, C.-A., Grenier, P. et Larose, G. (2019) Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec. Ouranos, Montréal, 119 pages.

Remerciements

L'équipe de projet tient à remercier chaleureusement celles et ceux qui ont contribué au projet en fournissant des réponses, du savoir et de l'information. Vous avez répondu patiemment et avec diligence à nos questions.

Tout d'abord, nous tenons à souligner la contribution indispensable des trois stations de ski participantes à l'étude : Bromont Montagne d'expériences, Mont Sutton et Mont Orford. Vous nous avez ouvert la porte de vos stations de ski dans l'objectif d'appuyer l'industrie à s'adapter aux changements climatiques. Votre contribution à l'avancement des connaissances est immense et permettra certainement d'accroître la résilience de toute l'industrie.

Ensuite, un remerciement spécial à Michel Archambault, professeur émérite en tourisme, de même qu'à la Chaire de Tourisme Transat de l'ESG-UQAM qui nous ont donné accès à des données et de l'information privilégiée sur l'industrie du ski alpin au Québec tout au long du projet.

Il est essentiel de mentionner la participation de l'Association des stations de ski du Québec qui agit de manière très proactive afin d'éveiller l'industrie au défi des changements climatiques et d'outiller les stations avec une science rigoureuse, mais surtout utile. L'implication unique et la disponibilité de Gabrielle Larose dans le projet ont permis d'accroître substantiellement la qualité de cette étude.

Ce projet n'aurait jamais été possible sans l'appui financier du Ministère du Tourisme, de même que des nombreux autres contributeurs financiers du projet : MITACS, l'Association des stations de ski du Québec, la Municipalité régionale de comté de Brome-Missisquoi, la Municipalité régionale de comté de Memphrémagog, l'Association touristique régionale des Cantons-de-l'Est et le Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation.

Nous tenons également à souligner la contribution des membres des différents comités mis en place dans le cadre du projet. Leur participation a permis, entre autres, de mieux comprendre et d'intégrer l'ensemble des enjeux de l'industrie et de la région étudiée : Lucie Carpentier (Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation), Stéphanie Bleau (Ouranos), Michel Archambault (ESG-UQAM), Gabrielle Larose et Yves Juneau (Association des stations de ski du Québec), Justin Leroux (HEC Montréal), Benjamin Désourdy (Bromont Montagne d'expériences), Jean-Michel Ryan (Mont Sutton), Jonathan Forcier (Corporation ski et golf Mont Orford), Alexandra Roy (MRC de Memphrémagog), Neil Champagne (Station Mont Tremblant), Jean-Pierre Gagnon (Ministère du Tourisme du Québec), Francine Patenaude (ATR des Cantons-de-l'Est) et Denis Beauchamp (CLD de Brome-Missisquoi).

Finalement, nous tenons à remercier Stéphanie Bleau et Kate Germain sans qui ce projet n'aurait jamais été possible. Vos efforts continus dans le développement du projet et votre confiance indéfectible dans l'équipe de projet ont permis de mener à terme ce projet qui aborde des questions difficiles, mais essentielles à un meilleur avenir pour l'industrie touristique au Québec.

Sommaire exécutif

La nordicité est une caractéristique iconique du Québec. Les paysages blancs marquent l’imaginaire des touristes de tout acabit alors que les Québécois ont développé de multiples stratégies pour s’approprier la saison hivernale. Il s’est ainsi bâti une industrie de loisir autour de la saison blanche. Introduit au pays à la fin du 19^e siècle, le ski en est l’activité par excellence. Produit signature du tourisme hivernal du Québec, la province dénombre 75 stations de ski réparties dans 16 régions touristiques. Plus de 1,4 million de québécois et nombre de touristes pratiquent ce sport qui génère 800 millions de dollars en retombées économiques touristiques, représentant la principale activité touristique hivernale de la province (Archambault, Nguyen et Morin, 2016).

Au Québec, comme ailleurs dans le monde, l’industrie du ski alpin subit les impacts des changements climatiques. Depuis les quarante dernières années, la province s’est réchauffée de 1 à 3 degrés selon les régions et de façon beaucoup plus prononcée en hiver (Ouranos, 2015). Les stations de ski composent déjà avec d’importantes variations saisonnières qui influent sur les conditions d’exploitation, l’achalandage et nécessairement sur leur rentabilité. Ces variations amplifiées par le réchauffement climatique posent un défi supplémentaire à l’environnement d’affaires des stations de ski du Québec. La transformation graduelle des conditions climatiques et du milieu naturel pourrait affecter la rentabilité des activités, à l’échelle des stations ainsi qu’à celle des régions.

Cette nouvelle réalité climatique mène l’industrie du ski à répondre au plus important défi auquel elle aura été confrontée de son histoire. Se dresse alors une industrie qui agit en pionnière afin d’aborder de front la question de l’adaptation des techniques d’opération, de l’offre de services et de son modèle d’affaires face aux nouvelles réalités climatiques.

La présente étude se veut un soutien manifeste au processus d’adaptation du secteur en offrant un éclairage financier à l’enjeu de l’adaptation aux changements climatiques. Les travaux réalisés visent à outiller les stations de ski du Québec de sorte qu’elles puissent mieux saisir la portée de l’enjeu climatique et intégrer les risques climatiques dans les mécanismes de planification stratégique. Le regard est porté sur trois stations de ski alpin des Cantons-de-l’Est et permet d’accroître substantiellement la compréhension des impacts des changements climatiques sur la rentabilité future des stations de même que sur les implications financières de l’adaptation des activités en contexte de changements climatiques.

Faits saillants

En matière d’impacts des changements climatiques :

- **La modification des précipitations et la hausse des températures impactent les conditions d’opération.** La combinaison de la hausse des températures et des précipitations liquides de même que la baisse des précipitations neigeuses affecteront les conditions d’opération des stations de ski des Cantons-de-l’Est. La hausse marquée des températures se traduira par une diminution des fenêtres de froid permettant la fabrication de neige, en particulier durant les mois de novembre et décembre, période critique pour assurer une ouverture avant le congé des fêtes. Aussi, la baisse des précipitations neigeuses accroîtra la dépendance à la fabrication de neige, augmentant ainsi la pression sur l’efficacité des systèmes d’enneigement et sur le contrôle des coûts de préparation du

domaine skiable. Soulignons néanmoins que l'ouverture des stations pour la période des Fêtes ne sera pas compromise.

- **En l'absence d'adaptation, l'ouverture, la durée de la saison et le pourcentage du domaine skiable ouvert seront affectés.** En l'absence d'adaptation, le démarrage de la saison sera progressivement décalé à mesure que les changements climatiques s'amplifieront. Le début de la saison accusera un retard d'environ 7 à 10 jours à l'horizon 2050 par rapport à la situation présente (2020). Sur la durée totale de la saison, on observera une réduction de 10 à 20 jours d'opération. Toutefois, cette diminution ne compromettra pas la capacité des stations à opérer au-dessus du seuil minimum de 100 jours de ski. Il est prévu que le domaine skiable disponible subirait une baisse variant entre 20 et 30 % des pistes ouvertes, en moyenne, pour les trois stations à l'horizon 2050.
- **La variabilité des conditions de glisse pourrait faire diminuer l'achalandage.** Les transformations des conditions climatiques et incidemment des conditions de glisse pourraient mener à une baisse généralisée de l'achalandage avoisinant en moyenne les 10 % pour les Cantons-de-l'Est si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place. La variabilité des conditions de glisse affectera également les abonnements de saison, lesquels devraient se contracter d'environ 2 à 7 % d'ici 2050.
- **Des revenus hivernaux en diminution et des coûts assez stables sont attendus.** À l'échelle de la station, la diminution de l'achalandage et du nombre de jours d'exploitation affecterait à la baisse les revenus totaux hivernaux (-3 à -10 % entre 2020 et 2050) alors que les coûts totaux devraient rester relativement stables ou légèrement diminuer (0 à -3 % entre 2020 et 2050). Même si les impacts attendus ne doivent pas être négligés en vue de pérenniser la santé financière des stations de ski, les impacts quantifiés ne suggèrent pas une détérioration considérable de la position financière des stations. Ils amplifient toutefois la nécessité de considérer les risques climatiques dans l'environnement d'affaires afin de maintenir une marge bénéficiaire viable à moyen et long terme.

En matière d'adaptation aux changements climatiques :

- **Les stations ont une certaine capacité à amortir les chocs.** Lors des saisons particulièrement difficiles, les stations de ski au Québec ont généralement réussi à compenser les pertes d'achalandage par une hausse des dépenses par jour-ski. Les résultats de notre étude sont cohérents avec cette tendance historique, la diversification des produits et services offrent aux stations une meilleure résilience financière.
- **Les stations ne s'adapteront pas seules aux impacts des changements climatiques.** Les résultats des analyses financières montrent qu'il sera difficile pour les stations d'absorber à elles seules les investissements majeurs en infrastructures, notamment en équipement de fabrication de neige. Le poids de la mise à niveau des équipements pour l'accroissement de la capacité de fabrication de neige, en particulier pour les stations ayant des équipements vieillissants et de faibles capacités, est substantiel, mais nécessaire. Le déploiement d'équipement de fabrication performant permet de maintenir des conditions de neige adéquates et tirer profit des périodes de froid pour

enneiger rapidement et ouvrir le domaine skiable à temps pour les périodes clés. Cependant, le coût de ces investissements est tellement pénalisant, que la baisse des dépenses attendue en consommation d'énergie et la hausse des revenus de billetterie découlant de l'attractivité de la montagne ne seront pas suffisantes pour récupérer les montants consentis pour l'infrastructure. Ce constat est assez uniforme pour les trois stations à l'étude et il est possible de croire qu'il serait similaire pour les autres stations au Québec. Cette situation ranime le débat sur le rôle des stations de ski comme moteurs économiques régionaux et sur le partage des risques financiers. Les stations du Québec auront à faire preuve d'ingéniosité pour diversifier leurs sources de revenus et mobiliser des partenaires (notamment gouvernementaux). Le processus d'adaptation représente une belle occasion pour faire évoluer les modèles d'affaires traditionnels et impliquer les collectivités dans cette réflexion.

- **S'adapter aux risques climatiques, une vaste démarche sur quatre saisons.** Les résultats mettent en évidence qu'en complément aux investissements stratégiques pour améliorer la capacité d'enneigement et optimiser les pratiques de fabrication de neige, les stations de ski devraient mieux répartir les risques climatiques sur les quatre saisons. Certaines avenues de réflexion peuvent comprendre : la diversification des activités offertes, les alliances stratégiques, le renouvellement et l'adoption de nouvelles technologies, l'actualisation de l'environnement bâti, la poursuite d'intégration des pratiques écoresponsables. D'autres pistes de solution envisagées portent sur l'utilisation potentielle de méthodes novatrices de marketing et le développement de nouveaux marchés. Une des hypothèses retenues est le potentiel géographique et climatique stratégique du Québec par rapport à ses voisins à l'Ouest et au Sud de la province. Ces régions pourraient être davantage vulnérables aux CC, cependant aucune étude ne nous permet de confirmer cette hypothèse. Toutefois, le Québec a le potentiel d'augmenter son attraction de skieurs venus des marchés limitrophes. Les stations des Cantons-de-l'Est demeurent parmi les plus accessibles pour la clientèle hors Québec, que ce soit par voies terrestre ou aérienne en passant par Montréal et l'aéroport Trudeau.

Recommandations

- **Limiter les coûts d'enneigement en intégrant les connaissances climatiques à jour.** Le déploiement du plan d'enneigement en début de saison est un exercice d'optimisation complexe qui implique de bien anticiper les variations de températures et de précipitations, afin de pouvoir ouvrir la station à temps pour la période des fêtes, tout en évitant de fabriquer un surplus de la neige là où elle n'est pas nécessaire. La prise en compte des prévisions saisonnières, de même que l'évolution des probabilités en matière de fenêtres de froid pourrait améliorer l'efficacité du déploiement des plans d'enneigement tout en optimisant les coûts d'opération.
- **Utiliser la modélisation de la neige comme outil de gestion.** Le développement d'un modèle de neige pour les trois stations des Cantons-de-l'Est est un avancement scientifique important par rapport à la capacité à reproduire fidèlement le couvert de neige des stations et les séquences de fabrication et ainsi prévoir les conditions d'opération, les conditions de glisse et l'achalandage. Ce modèle peut être utilisé comme outil dans l'élaboration des plans d'enneigement, entre autres. L'industrie du ski aurait intérêt à prendre connaissance du potentiel de ce modèle et le récupérer afin de l'adapter pour appuyer les autres stations de ski n'ayant pas participé à la présente étude.

- **Optimiser selon les bonnes pratiques.** L'optimisation des pratiques de fabrication de neige mériterait une attention accrue. De nombreuses stations de ski ont un potentiel de gains d'efficacité afin d'améliorer les pratiques d'enneigement actuellement en place. L'ASSQ participe au transfert des connaissances des stations grâce à des outils de référence comme les guides de bonnes pratiques qui encouragent l'usage de plan d'enneigement, entre autres, pour optimiser la gestion des opérations de la montagne. La mise en application de ces bonnes pratiques dans l'ensemble des stations de ski du Québec pourrait mener à des économies importantes, à peu de frais, améliorant la performance financière des stations. Dans le cadre de ce projet, l'étude de l'optimisation des pratiques de fabrication de neige à Orford a démontré que des économies de plusieurs dizaines de milliers de dollars par année étaient possibles, sans investissement majeur. Ces « mesures sans regret » permettent de tirer des bénéfices importants, peu importe l'intensité du changement climatique attendu.
- **Évaluer l'utilisation de solutions innovantes pour les systèmes de fabrication de neige,** notamment les systèmes d'automatisation et l'intégration de nouveaux mécanismes de contrôles développés par les équipementiers, permettant un meilleur usage des fenêtres de froid et d'intégrer des technologies à faible consommation énergétique pour l'utilisation des systèmes de fabrication de neige
- **Projeter l'achalandage permet une planification plus optimale des stations.** Des modèles de projection d'achalandage ont été développés au cours de ce projet. Ces modèles ont servi à estimer les variations d'achalandage futur pour les trente prochaines années. Ils peuvent également servir comme outil de planification à court terme pour les opérations des stations de ski en fournissant des projections journalières ou hebdomadaires de l'achalandage attendu en fonction des conditions météorologiques et des conditions de glisse. De telles prévisions peuvent faciliter la prise de décision des gestionnaires quant aux ressources humaines déployées sur le terrain, à l'entretien des pistes, à l'ouverture des divers secteurs d'une montagne, etc. Dans une logique de contrôle des coûts, une meilleure anticipation des variations d'achalandage fera une grande différence pour préserver le chiffre d'affaires dans un contexte de changement climatique. De plus, ce genre d'usage pourrait faciliter l'appropriation des méthodes développées par la communauté scientifique et faciliter l'intégration des outils de planification dans la prise de décision à long terme sur les questions d'adaptation aux changements climatiques. Par ailleurs, le développement de modèle d'achalandage pour les autres stations de ski du Québec permettrait de meilleures projections d'achalandage et favoriserait une communication adaptée, de sorte à moduler l'achalandage durant les périodes clés.

Conclusion

Cette étude fait progresser la réflexion sur l'adaptation aux changements climatiques dans l'industrie du ski alpin. Elle rapproche les résultats des sciences climatiques et économiques aux réalités opérationnelles et financières dans lesquelles les stations de ski évoluent. Les travaux entrepris dans le cadre de l'étude identifient les conditions financières et économiques permettant le déploiement de l'adaptation dans l'industrie du ski alpin au Québec.

L'évolution du climat au cours des trente prochaines années ne menace pas l'existence même de la pratique du ski au Québec ni la viabilité des stations de la région touristique des Cantons-de-l'Est. Toutefois, les résultats de l'étude indiquent que des défis importants sont à prévoir pour maintenir la qualité du couvert neigeux et l'expérience client. La rentabilité du secteur et l'activité économique régionale liées aux stations dépendent de la réponse de l'industrie à ces enjeux inévitables. Les stations de ski sont au cœur d'un écosystème économique tissé serré. Ces défis représentent une opportunité pour l'industrie d'explorer de nouveaux modèles d'affaires, notamment par la collaboration régionale.

L'augmentation de la capacité d'enneigement par l'ajout ou la mise à niveau des équipements de fabrication de neige est souvent identifiée comme la solution qui, depuis quelques décennies, pallie aux transformations des conditions climatiques. Cependant, la présente étude en démontre les limites actuelles et futures. Bien qu'essentielle à l'industrie, la fabrication de neige n'est pas l'unique approche à adopter face aux changements climatiques : l'innovation dans l'accroissement de la résilience fera évoluer l'industrie encore plus loin.

Les contributions scientifiques et opérationnelles de ce rapport pour le tourisme sont nombreuses. Des résultats climatiques et économiques spécifiques à la région étudiée ont été produits, bien que l'effet réel de la fluctuation de l'achalandage en station sur l'économie régionale est difficile à capturer. Ils serviront à informer d'autres intervenants concernés par l'impact des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin. Le cadre d'analyse développé constitue un outil de modélisation qui reproduit avec une grande précision le contexte opérationnel des stations de ski. Cette modélisation permet dorénavant d'analyser l'impact des changements climatiques et d'examiner les implications financières des mesures d'adaptation potentielles. Ces analyses doivent alimenter les processus de planification stratégique à l'échelle des stations, des régions et de l'industrie québécoise du ski alpin. Par ailleurs, le simulateur d'investissement créé par consultation avec les gestionnaires de station est un outil qui permet aux usagers d'analyser les différentes possibilités d'adaptation dans le contexte spécifique de leur organisation. Une fiche par station résumant les connaissances acquises a également été rédigée à l'intention des partenaires du projet et des autres intervenants touristiques intéressés.

Le présent projet propose une démarche pour documenter les bénéfices de s'engager sur la voie de l'adaptation aux changements climatiques. La poursuite des efforts d'adaptation doit se construire sur ce modèle. Celui-ci peut être adapté aux réalités des autres stations de ski du Québec, autant au niveau technique que climatique. Il y a également un besoin d'accroître la capacité à analyser et à mettre en place des mesures d'adaptation plus diversifiées et plus innovantes. Cela passe par la poursuite des efforts de réflexion sur la redéfinition du modèle d'affaires et l'élaboration de plans d'actions concrets et conséquents avec l'environnement d'affaires dans lequel les stations de ski évoluent. L'adaptation est un processus évolutif dont les limites seront constamment repoussées par la créativité des entrepreneurs. Il est souhaité que la démarche présentée ici puisse soutenir cette créativité au profit d'une économie touristique québécoise plus résiliente aux conditions climatiques dynamiques.

Table des matières

1. Mise en contexte et domaine d'étude	1
1.1 <i>Bromont Montagne d'expériences</i>	2
1.2 <i>Mont Sutton</i>	3
1.3 <i>Mont Orford</i>	4
2. Revue des savoirs sur les changements climatiques et le ski alpin	6
2.1 <i>Les conditions d'opération</i>	7
2.2 <i>La demande</i>	9
2.3 <i>Les impacts sur la rentabilité</i>	11
2.4 <i>Les impacts indirects</i>	12
2.5 <i>L'adaptation aux changements climatiques dans l'industrie du ski</i>	13
3. Méthodologie d'analyse des mesures d'adaptation	22
3.1 <i>Modélisation climatique</i>	23
3.2 <i>Paramètres d'opérations du modèle de neige</i>	26
3.3 <i>Conditions de la demande</i>	31
3.4 <i>Analyse des revenus et des coûts</i>	38
4. Impacts des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin dans les Cantons-de-l'Est	43
4.1 <i>Évolution du climat</i>	43
4.2 <i>Évolution des conditions d'opération</i>	47
4.3 <i>Évolution de la demande</i>	55
4.4 <i>Évolution des revenus et des coûts</i>	57
5. L'adaptation aux changements climatiques	62
5.2 <i>Analyse multicritères des mesures d'adaptation</i>	66
6. Rentabilité des mesures d'adaptation aux changements climatiques	72
6.1 <i>Modification des conditions d'opération</i>	72
6.2 <i>Analyse de la rentabilité des mesures d'adaptation</i>	83
6.3 <i>Analyses par seuil de rentabilité des mesures</i>	90
7. La contribution économique des stations de ski dans un climat changeant	97
7.1 <i>La contribution économique future des stations de ski - Cantons-de-l'Est</i>	98
7.2 <i>Le surplus du consommateur</i>	99
7.3 <i>Les effets de substitution</i>	100
7.4 <i>Recommandations pour évaluer l'impact économique sur l'économie régionale</i>	103
8. Vers une industrie du ski résiliente aux changements climatiques	104
8.1 <i>Les bonnes pratiques dans l'industrie</i>	104

8.2 <i>Les apprentissages</i>	105
8.3 <i>Le chemin qu'il reste à parcourir</i>	109
9. Bibliographie	116

Liste des figures

Figure 1 : Piste de ski synthétique (Source : ASSQ, Crédit Mathieu Dupuis, 2017)	16
Figure 2 : Schéma méthodologique de la structure du projet	22
Figure 3 : Variation moyenne entre 1981-2010 et 2021-2050 des précipitations et des températures des scénarios climatiques utilisés (formes géométriques) et de 229 autres simulations climatiques existantes (points).....	25
Figure 4 : Représentation des séquences d'enneigement réalisées avec le modèle de neige.....	27
Figure 5 : Phase chronologique d'enneigement des pistes à la station de ski Bromont	28
Figure 6 : Projection du couvert de neige naturelle et fabriquée et nombre de pistes ouvertes pour une saison modélisée.....	30
Figure 7 : Station de ski Bromont - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 à 2015/16.....	33
Figure 8 : Station de ski Sutton - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 à 2015/16.....	35
Figure 9 : Station de ski Orford - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 et 2015/16	37
Figure 10 : Station de ski Bromont - Température saisonnière moyenne (novembre-mars) historique et projetée de 1979 à 2050.....	43
Figure 11 : Station de ski Sutton - Évolution des précipitations en neige historiques et projetées de 1979 à 2050	45
Figure 12 : Station de ski Orford - Évolution des précipitations en pluie historiques et projetées de 1979 à 2050	46
Figure 13 : Station de ski Bromont - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	50
Figure 14 : Station de ski Sutton - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	52
Figure 15 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	54
Figure 16 : Évolution des ventes de billetterie entre 2021 et 2050 pour les trois stations participantes de 2020 à 2050	56
Figure 17 : Évolution des ventes de billetterie entre 2021 et 2050 pour les trois stations participantes de 2020 à 2050 normalisée par rapport aux ventes des saisons 2011/2012 à 2015/2016 pour (A) Bromont, (B) Sutton et (C) Orford.....	58
Figure 18 : Évolution du nombre de billets vendus (A), des revenus totaux (B), des coûts totaux (C) et des coûts d'électricité de fabrication de neige (D) pour les trois stations participantes de 2020 à 2050; la zone ombragée représente l'intervalle de confiance à 95 %.	61

Figure 19 : Station de ski Bromont - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon le scénario d'adaptation B1.3. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	74
Figure 20 : Station de ski Sutton - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon le scénario d'adaptation S1.3. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement	77
Figure 21 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon un scénario d'optimisation du processus d'enneigement (O1.2). (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	80
Figure 22 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon un scénario d'augmentation de la capacité d'enneigement. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement.....	82
Figure 23 : Impacts des mesures d'adaptation sur les revenus des stations participantes pour une faible augmentation de la capacité d'enneigement (A) et pour une forte augmentation de la capacité d'enneigement (B) pour les six scénarios climatiques.	84
Figure 24 : Impacts des mesures d'adaptation sur les coûts totaux annuels des stations participantes pour une faible augmentation de la capacité d'enneigement (A) et pour une forte augmentation de la capacité d'enneigement (B) pour les six scénarios climatiques.	86
Figure 25 : Seuil de rentabilité de la piste de ski synthétique pour la station Bromont Montagne d'expérience en fonction du prix du tarif à l'heure et du taux d'actualisation	92
Figure 26 : Seuil de rentabilité de l'éclairage du mont Giroux pour la station Mont Orford en fonction du prix du billet et du taux d'actualisation.....	95

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des trois stations de la région des Cantons-de-l'Est	2
Tableau 2 : Fiche technique pour la station de ski Bromont	3
Tableau 3 : Fiche technique pour la station de ski Sutton	4
Tableau 4 : Fiche technique pour la station de ski Orford	5
Tableau 5 : Impact économique des stations de ski pour le Québec (tiré d'Archambault, 2015) et la Colombie-Britannique (tiré de Destination British Columbia, 2014), modèles entrées-sorties	12
Tableau 6 : Classification des mesures d'adaptation dans l'industrie du ski alpin selon l'OCDE (OCDE, 2007) et Scott et McBoyle (Scott et McBoyle, 2007).....	13
Tableau 7 : Altitudes associées aux tuiles des grilles de CFSR et CFSv2 incluant chacune des stations ainsi que pour Montréal-Longueuil	23
Tableau 8 : Variables climatiques utilisées dans le cadre du projet	24
Tableau 9 : Postes financiers et hypothèses de modélisation.....	39
Tableau 10 : Température moyenne (°C) de novembre à mars, données CFSR et moyenne des scénarios 2020-2049 pour Bromont (6 scénarios), Sutton et Orford (10 scénarios) (données nivelées à mi-montagne).....	44
Tableau 11 : Précipitations neigeuses de novembre à mars, données CFSR et moyenne des 10 scénarios 2020-2049 pour Bromont, Sutton et Orford (données nivelées à mi-montagne).....	45
Tableau 12 : Précipitations pluvieuses de novembre à mars, données CFSR et moyenne des 10 scénarios 2020-2049 pour Bromont, Sutton et Orford (données nivelées à mi-montagne)	46
Tableau 13 : Évolution des indicateurs de revenus et de coûts totaux à l'horizon 2020-2050, en dollars de 2015	59
Tableau 14 : Résumé des mesures d'adaptation considérées pour les analyses	63
Tableau 15 : Type d'analyse appliqué à chaque mesure d'adaptation	66
Tableau 16 : Indicateurs retenus pour l'analyse multicritères.....	67
Tableau 17 : Profils des experts consultés	68
Tableau 18 : Coûts de la fabrication de neige pour les trois stations participantes des Cantons-de-l'Est pour les saisons 2013/14 à 2015/16 (milliers de dollars de 2015)	83
Tableau 19 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique.....	87
Tableau 20 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique, en intégrant le programme d'aide financière de la Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal.....	89
Tableau 21 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique, en supposant des tarifs d'électricité réduits de moitié.....	90
Tableau 22 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour la piste de ski synthétique.....	92
Tableau 23 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour la mise à niveau des infrastructures de Sutton	93
Tableau 24 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour l'éclairage du mont Giroux	94

Tableau 25 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour l'aménagement des pistes pour une clientèle débutante et intermédiaire	96
Tableau 26 : Résumé des analyses par seuil de rentabilité	96
Tableau 27 : Répartition moyenne des dépenses par skieurs (tirés de l'enquête IPSOS 2014).....	97
Tableau 28 : Contribution économique des stations Bromont et Sutton pour la saison 2016-2017	98
Tableau 29 : Résumé des hypothèses des effets de substitution des baisses d'achalandage.....	102

1. Mise en contexte et domaine d'étude

L'industrie québécoise du ski alpin est un élément majeur de l'offre touristique et récréative durant la saison hivernale. Avec présentement 75 stations de ski réparties à travers la province, l'industrie contribue au produit intérieur brut québécois à hauteur de plus de 800 millions de dollars annuellement, soit 6% du PIB touristique de la province. Les activités hivernales des stations génèrent près de 12 000 emplois équivalents temps plein dans les différentes régions de la province (Archambault, 2015). Plusieurs stations de ski agissent comme des moteurs d'activité économique régionale en attirant une clientèle venue profiter des différentes activités offertes à la montagne, et ce, tout au long de l'année. Dans plusieurs régions, les stations ont constitué la base de l'essor et du développement économique des municipalités.

Malgré cette importance économique, au cours des 30 dernières années, les pressions exercées par l'environnement d'affaires au Québec ont mené à une transformation graduelle de l'industrie et à la fermeture de plusieurs stations de ski. Vieillesse de la population, concurrence intérieure et internationale pour attirer le dollar-loisir, multiplication des activités de loisirs, variabilité de la valeur du dollar canadien, changement de réglementation et fin de vie utile des infrastructures structurantes sont tous des facteurs qui amplifient la pression sur la rentabilité des stations de ski, celle-ci étant déjà sensible aux variations des conditions climatiques hivernales. Ces contraintes ont causé une rationalisation majeure de l'industrie. Les stations ayant survécu ont dû transformer leur modèle d'affaires afin de minimiser la sensibilité de leurs revenus aux fluctuations dans l'achalandage, qu'elles soient causées par les variations dans les conditions climatiques ou non.

Au cours de la période entre les saisons 2003/04 et 2015/16, les stations québécoises ont été visitées en moyenne 6,3 millions de fois par année (Archambault, Germain et Morin, 2015). Au cours de cette période, les saisons 2011/12 et 2015/16 ont été particulièrement défavorables au plan climatique démontrant la sensibilité des activités de ski à la variabilité du climat. Plus généralement, les dernières saisons ont permis de constater une transformation graduelle des conditions climatiques hivernales qui s'est manifestée par une augmentation de la fréquence de redoux, des épisodes de pluie sur neige et l'arrivée tardive du froid et des premières neiges. La saison 2015/16 a été particulièrement difficile pour les stations de ski dans le sud du Québec. Plusieurs épisodes de pluie pendant la saison, combinés à un mois de décembre très chaud, ont impacté lourdement l'achalandage aux stations qui s'est chiffré à 5,2 millions de jours-ski, une baisse de 16,7 % par rapport à la moyenne des vingt dernières saisons. En fait, la saison 2015/16 représente la pire performance de l'industrie depuis les vingt dernières années (ASSQ, 2016). Les conséquences de cette saison ont amplifié la nécessité d'une réflexion profonde sur les impacts des changements climatiques (CC) sur l'industrie du ski alpin et des mesures d'adaptation à déployer. Cette volonté de poursuivre les réflexions provient également de l'accroissement des pressions indues par le cumul de saisons mauvaises et la nécessité de mieux gérer le risque climatique face à la planification des investissements des stations.

Ceci étant dit, l'industrie et les stations de ski sont déjà engagées dans une démarche d'adaptation aux changements anticipés dans le climat (Bleau, Blangy et Archambault, 2015). Dans le but de poursuivre l'adaptation de l'industrie québécoise du ski alpin aux CC, la présente analyse porte sur les enjeux financiers et économiques de l'adaptation aux CC.

La région touristique des Cantons-de-l'Est, de par son importance en termes de destination de ski au Québec, constitue un laboratoire unique pour réaliser un tel exercice et poursuivre la réflexion en vue d'accroître la résilience de toute l'industrie du ski alpin au Québec.

Cette région a été retenue pour l'analyse pour plusieurs raisons. Premièrement, plusieurs acteurs de la région ont travaillé activement au courant des dernières années en collaboration avec le milieu de la recherche afin de comprendre les vulnérabilités de l'industrie du ski alpin. Les Cantons-de-l'Est ont notamment fait l'objet de l'étude Analyse socioéconomique des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques de l'industrie touristique au Québec de Bleau et al. (Bleau *et al.*, 2012). Certaines stations ont également travaillé individuellement avec le milieu universitaire pour améliorer leurs opérations face aux contraintes climatiques actuelles et futures. C'est notamment le cas de Bromont Montagne d'expériences. Ensuite, les stations de ski des Cantons-de-l'Est étant positionnées à l'extrême sud de la province, elles opèrent dans un climat relativement plus chaud que les autres destinations de ski au Québec, notamment celles des Laurentides ou la grande région de Québec-Charlevoix. Enfin, les Cantons-de-l'Est constituent une des plus importantes destinations de ski au Québec, accueillant près de 20 % des jours-ski¹ de la province (Données de l'Enquête économique et financière des stations de ski du Québec).

Le projet étudie plus précisément trois stations majeures de cette région : Bromont Montagne d'expériences, Mont Sutton et Mont Orford. Le Tableau 1 résume les principales caractéristiques de ces trois stations. Les prochains paragraphes présentent les caractéristiques de chacune des stations à l'étude.

Tableau 1 : Caractéristiques des trois stations de la région des Cantons-de-l'Est

Domaine skiable	[acres]	925
Dénivelé moyen	[m]	478
Nombre de remontées mécaniques		27
Nombre de canons à neige		1 465
Superficie couverte par la fabrication de neige	[%]	46 %
Nombre total de visiteurs par saison (moyenne 2011/12 à 2015/16)		954 424

1.1 Bromont Montagne d'expériences

La station de ski Bromont a connu sa première saison en 1964-1965, dans la foulée de l'inauguration de l'autoroute 10 (Mellor, 1964). Elle est située dans la ville de Bromont, dans la région administrative

¹ Les jours-ski sont une mesure de l'achalandage utilisée dans l'industrie du ski alpin pour représenter les visites aux stations de ski. La mesure englobe les visiteurs qui se procurent des billets journaliers et ceux qui sont des abonnés. Chaque jour-ski correspond à une visite.

de la Montérégie et la MRC Brome-Missisquoi. La station se situe à environ une heure au sud-est de la ville de Montréal et 50 minutes à l'ouest de Sherbrooke.

Aujourd'hui, la station se déploie sur 7 versants et est équipée de 9 remontées mécaniques. Elle compte 141 pistes, dont 98 sont éclairées et 31 sont en sous-bois. La superficie totale appartenant à la station est de 1 000 acres, dont 450 acres sont des surfaces skiabiles. La station affiche un dénivelé de 385 mètres.

Selon les statistiques de précipitation nivale (chute de neige) sur la période allant de 1979 à 2010 (voir section 4.1 pour plus de détails), la station de ski Bromont reçoit en moyenne 433 cm de précipitation en neige annuellement². La température hivernale moyenne (novembre à mars) est de -6,4 °C (à mi-montagne).

Tableau 2 : Fiche technique pour la station de ski Bromont

Nombre de pistes		141
Pistes éclairées		98
Sous-bois		31
Versants		7
Parcs à neige		5
Télésièges		8
Tapis magique		1
Chalets en montagne		4
Domaine skiable	[acres]	450
Dénivelé total	[m]	385

Équipée d'un peu plus de 1 200 canons à neige (environ 1 100 canons « fixes » et 100 canons « mobiles » ou de types « ventilateur »), la station est en mesure d'enneiger près de 80 % de son domaine skiable, soit environ 360 acres.

La station s'approvisionne en eau majoritairement dans la Rivière Yamaska (70 %) de même que dans deux lacs (30 %) qui se trouvent sur la montagne fournissant l'eau nécessaire à la fabrication de neige. L'eau pompée est acheminée vers l'usine de fabrication de neige et est ensuite distribuée sur la montagne via la tuyauterie installée. La station puise en moyenne près de 1 million de m³ par année pour la fabrication de neige essentiellement entre la mi-novembre et le mois de janvier. À la fonte, l'eau ruisselle par les systèmes de drainage pour ultimement retourner dans les bassins, lacs et rivières.

1.2 Mont Sutton

La station de ski Sutton a connu sa première saison en 1960. Dès le début, le propriétaire de l'entreprise familiale a développé les pistes en gardant une grande quantité d'arbres. Aujourd'hui encore, le mont Sutton est reconnu pour son domaine skiable naturel avec une grande proportion de pistes en sous-

² Masse volumique moyenne de la neige naturelle fixée à 100 kg/m³

bois. Plus spécifiquement, le mont Sutton compte 60 pistes sur 230 acres de domaine skiable. Le terrain est composé à 45 % de sous-bois, sur un dénivelé de 460 mètres.

Tableau 3 : Fiche technique pour la station de ski Sutton

Nombre de pistes		60
Pistes éclairées		0
Sous-bois	[% du domaine]	45
Parcs à neige		1
Télésièges		9
Tapis magique		1
Chalets en montagne		4
Domaine skiable	[acres]	230
Dénivelé total	[m]	460

Toujours selon les statistiques de précipitation nivale (chute de neige) sur la période allant de 1979 à 2010, le mont Sutton reçoit en moyenne 554 cm de précipitation en neige annuellement. La température hivernale moyenne (novembre à mars) est de -8,1 °C (à mi-montagne).

La station est équipée d'une flotte d'environ 40 canons à neige « mobiles » et de type « ventilateur » qui peuvent être mobilisés sur les pistes alimentées en eau ainsi que d'environ 175 canons à neige fixes disposés stratégiquement sur les pistes principales de la montagne. L'enneigement est réalisé sur 110 acres, soit 48 % du domaine skiable de la station.

La station de ski Sutton capte l'eau nécessaire à la fabrication de neige dans une rivière attenante à son bassin de rétention. Celui-ci possède une capacité d'environ 20 000 m³. La consommation totale annuelle est d'environ 145 000 m³ par année. En plus de retenir l'eau pour la fabrique de neige, le bassin de rétention peut servir à fournir le système d'alimentation de la ville en cas de problème ou de pénurie pour alimenter le secteur montagne de la municipalité. L'eau utilisée retourne dans les cours d'eau à la fonte des neiges.

1.3 Mont Orford

Le mont Orford est une station de ski située dans la région administrative de l'Estrie et dans la MRC de Memphrémagog, à environ 1h15 au Sud-Est de la ville de Montréal et 30 min à l'ouest de la ville de Sherbrooke. Le Club de ski de Magog a été fondé en 1938. C'est en 1961 que le premier télésiège est installé sur les pentes du Mont Orford (Langlois, 2013).

Contrairement aux deux premières stations qui sont des entreprises privées, la station du Mont-Orford est gérée publiquement depuis 2012 par la Corporation ski & golf Mont-Orford, un organisme à but non lucratif relevant de la MRC de Memphrémagog. Cette distinction de forme juridique est importante lors des décisions subséquentes à l'évaluation de la rentabilité des projets d'investissement et plus spécifiquement d'adaptation aux CC. Les impératifs de rentabilité de la station peuvent être différents des stations privées si les retombées pour la région sont positives globalement.

La station de ski du Mont Orford compte 61 pistes sur 3 versants, dont 44 pistes et 17 sous-bois, et est équipée de 8 remontées mécaniques. Le domaine skiable de la montagne s'étend sur 245 acres, avec un dénivelé total de 589 m.

Les statistiques de précipitation en neige ont permis d'établir, pour le mont Orford, une précipitation nivale moyenne de 477 cm annuellement pour la période de 1979 à 2010. La température hivernale moyenne (novembre à mars) est de -7,3 °C à mi-montagne.

La station est équipée d'une flotte d'environ 90 canons à neige « mobiles » et de type « ventilateur » qui peuvent être mobilisés sur les pistes alimentées en eau. L'enneigement est réalisé en général sur 25 des 44 pistes principales de la station.

Tableau 4 : Fiche technique pour la station de ski Orford

Nombre de pistes		61
Pistes éclairées		0
Sous-bois	[pistes]	17
Parcs à neige		3
Télesièges		5
Tapis magique		3
Domaine skiable	[acres]	245
Dénivelé total	[m]	589

L'approvisionnement en eau se fait à partir de l'étang aux cerises qui se trouve à l'intérieur du Parc national du Mont Orford. L'eau est directement acheminée à l'usine de fabrication qui distribue l'eau sur la montagne pour être propulsée par les canons à neige mobiles et fixes de la station. La consommation annuelle avoisine les 280 000 m³ par année entre les mois de novembre et janvier.

2. Revue des savoirs sur les changements climatiques et le ski alpin

La littérature scientifique s'est rapidement intéressée à la problématique de l'impact des CC sur l'industrie du ski alpin³. D'abord en Europe, de par l'exposition de certains des grands domaines skiables dans les Alpes, puis dans les autres destinations majeures de ski dans le monde. Le réchauffement des températures et la réduction des précipitations neigeuses posent des défis majeurs pour l'industrie du ski alpin qui s'affichent comme un des secteurs économiques les plus mobilisés et les plus actifs en matière d'adaptation aux CC.

Ces savoirs doivent être utilisés pour appréhender la situation de l'industrie québécoise en gardant en tête certaines différences contextuelles relatives à l'infrastructure déjà en place. Le contexte économique dans lequel évoluent les stations de ski québécoises et les modèles de financement et d'investissement ont mené l'industrie québécoise à accumuler un certain retard dans ses investissements en infrastructures, comparativement à ses principaux marchés concurrents. Par exemple, environ 90 % de la fabrication de neige est automatisée en Europe (Michelson, 2017), alors que le taux d'automatisation en Amérique du Nord est bien plus bas. Au Québec, aucune station ne disposait d'un système automatisé de fabrication de neige au moment du dépôt de ce rapport (Archambault, 2017a). Dans le contexte où les paramètres climatiques sont amenés à évoluer, de tels systèmes permettraient aux stations d'exploiter à son plein potentiel la moindre fenêtre de froid disponible.

L'industrie du ski québécoise est aussi caractérisée par une abondance de petites entreprises dont plusieurs sont des organismes à but non lucratif, des coopératives ou sont détenues par des municipalités ou des regroupements de municipalités. En effet, le nombre de stations grandes et majeures représente que 18 des 75 stations de la province. (Archambault et al., 2015). Les petites stations ont généralement des fonds d'investissement destinés aux infrastructures limités par rapport aux grandes stations (Michelson, 2017). Soulignons par ailleurs que les équipements de remontées aériennes au Québec ont un âge moyen de près de 30 ans, ce qui positionne 51% des remontées aériennes à la fin de leur vie utile (Archambault, 2017a).

L'industrie du ski alpin hors Québec, incluant certaines régions directement en compétition avec le marché québécois, montre une progression substantielle de ses investissements, que ce soit par des initiatives privées ou qu'ils soient supportés par des programmes subventionnaires. En Colombie-Britannique, l'entreprise Whistler Blackcomb avait déjà réalisé des investissements massifs pour améliorer la résilience de ses infrastructures en 2012 (Bleau *et al.*, 2012) et son plan d'investissement a été renouvelé depuis. Dans le Nord-Est américain, des investissements majeurs ont été faits dans les dernières décennies. Par exemple, un important programme subventionnaire de mise à niveau des canons à neige, supporté par *Efficiency Vermont*, a permis aux stations de l'État d'investir dans des canons à neige plus performants et moins énergivores, ainsi 2 300 nouveaux canons ont remplacé 1 800 vieux canons plus énergivores sur les pentes durant la saison 2014-2015 (Wojcik, 2014). Des programmes similaires de rabais pour l'achat de nouveaux canons en collaboration avec l'industrie électrique ont été déployés dans l'état de New York et du Maine (Oliver, 2015; Schreiber, 2017). Ces programmes ont

³ Voir Steiger et al. (2017) pour une revue exhaustive de la littérature sur le sujet. La présente revue des savoirs se veut un survol des travaux scientifiques réalisés à ce jour et des principales conclusions tirées.

amplifié le retard dans le renouvellement des infrastructures des stations québécoises par rapport à leurs homologues du Nord-Est américain pendant la saison 2014-2015 (Archambault et Morin, 2017). La Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal déployé par le gouvernement du Québec en 2015 vise notamment à combler ce fossé entre l'offre des stations québécoises et la concurrence dans le Nord-Est des États-Unis.

La situation globale en infrastructures dans les stations dictera entre autres leur capacité à répondre avec flexibilité aux conditions changeantes de leur environnement d'affaires et à se positionner dans un contexte compétitif en évolution relativement au Nord-Est américain. C'est en gardant en tête ce contexte qu'il faut aborder les connaissances développées sur les CC relativement à l'industrie du ski alpin à travers le monde. L'intérêt de la communauté scientifique, de pair avec l'industrie, a fait progresser les connaissances des impacts, de la vulnérabilité et de l'adaptation aux CC dans l'industrie du ski alpin principalement à l'international, mais également au Québec. Les prochains paragraphes survolent l'état des connaissances à ce niveau.

2.1 Les conditions d'opération

Les premières études sur l'impact des CC sur l'industrie du ski alpin se sont intéressées à l'évolution des conditions d'opération des stations de ski dans un climat plus chaud et avec moins de précipitations en neige. Les conditions d'opération font référence à la capacité des centres de ski d'ouvrir leur domaine skiable aux skieurs et d'offrir des conditions de glisse optimale pour la pratique du sport. Que ce soit pour le Québec, le Canada ou dans les autres destinations de ski dans le monde (Alpes, Pyrénées, rocheuses Américaines, Andes, etc.), le constat est semblable : les stations verront leurs saisons réduites, n'arriveront pas toujours à ouvrir pour des périodes-clés (comme la période des fêtes ou la relâche) et feront face à des coûts d'opération plus élevés. Les sections suivantes détaillent les principaux travaux scientifiques qui permettent d'arriver à ces grands constats.

2.1.1 Des saisons moins longues

La longueur de la saison est souvent utilisée pour faire état de la capacité d'offre des stations de ski. Le seuil des 100 jours d'ouverture est généralement identifié comme celui à partir duquel les stations deviennent rentables (Dawson, Scott et Havitz, 2013).

Au Québec, le premier article faisant état de l'effet des CC sur les stations de ski portait sur les stations de ski dans les Laurentides et a été publié en 1987. Deux scénarios climatiques étaient utilisés, avec un réchauffement de la moyenne de température hivernale de 4,2 et 5,2 °C. Le premier scénario prévoyait une diminution de la longueur de la saison de 28 à 40 %, alors que le deuxième scénario réduisait la saison à une dizaine de jours au mois de janvier, menant à la disparition de l'industrie pour la région (McBoyle et Wall, 1987). L'évolution des conditions d'opération des centres de ski en contexte de CC a depuis été explorée par de nombreux auteurs.

Des travaux plus récents reproduisant les conditions d'opération grâce au modèle SkiSim (Scott, McBoyle et Mills, 2003) ont montré que l'impact dans les stations de ski des Cantons-de-l'Est se situerait entre 11 et 20 % à l'horizon 2010-2040 (108 jours ouverts en moyenne) et jusqu'à 32 % à l'horizon 2040-2070 (94 jours ouverts en moyenne) par rapport à la période historique 1998-2008 (Bleau *et al.*, 2012). À l'échelle québécoise, les résultats produits par Scott et al. (2016) suggèrent qu'à l'horizon 2050, l'ensemble des stations de ski devrait toujours réussir à ouvrir plus de 100 jours par

année. Dans la même étude, la proportion du domaine skiable qui serait ouvert plus de 100 jours chuterait à moins de 40 % pour les stations de ski de l'Ontario et à moins de 60 % en Nouvelle-Angleterre. Cela laisse entrevoir une opportunité importante pour les stations de ski québécoises d'attirer une clientèle étrangère provenant des marchés plus vulnérables.

Ailleurs au Canada, le marché du ski alpin serait également touché par l'évolution du climat. Une étude de cas réalisée en Ontario suggère une diminution de la période skiable de 7 à 32 % à l'horizon 2050 (Scott, McBoyle et Mills, 2003).

Les chercheurs qui se sont penchés sur le marché du nord-est des États-Unis ont établi que pour des scénarios d'émissions faibles et élevés, seulement 55 % et 54 % des stations arriveraient à maintenir 100 jours d'ouverture pour la période 2010-2039 (Dawson, Scott et Havitz, 2013). La saison particulièrement chaude de 2001-2002 a été identifiée comme comparable à la période 2040-2069. Toujours au nord-est des États-Unis, il a été identifié que 4 des 14 stations de ski principales allaient voir leurs saisons écourtées à moins de 100 jours à l'horizon 2010-2039, en plus d'avoir une probabilité d'ouverture pour les fêtes de moins de 75 % (Scott, Dawson et Jones, 2008). À l'horizon 2070-2099, 4 stations seulement se maintiendraient au-delà de ces deux seuils. Plus largement sur l'ensemble du territoire américain, les travaux de Wodus et al. (2017) suggèrent que la majorité des stations de ski alpin aux États-Unis assisteront à une réduction de leur saison qui pourrait atteindre 80 % dans certaines régions.

Pour les stations des Pyrénées, un scénario d'émission moyen résulterait en une vulnérabilité accrue et une diminution de la longueur de la saison pour les stations situées à basse altitude, alors qu'un scénario d'émissions élevées mettrait en péril la longueur de la saison de l'ensemble des stations de ski (Pons *et al.*, 2015).

2.1.2 Les périodes à forte fréquentation

La période des fêtes, s'étendant sur environ deux semaines et englobant le jour de Noël et la nouvelle année, est une période-clé pour les stations de ski. Les revenus générés en cette courte période représentent une proportion importante des revenus totaux pour la saison. En 2013-2014, les visites pendant la période des fêtes représentaient 18,1 % de l'achalandage total de l'industrie québécoise pour la saison (Archambault, Germain et Morin, 2015).

Le décalage de l'arrivée du temps froid, la réduction de la durée et de la fréquence des fenêtres de froid adéquates pour la fabrication de neige impacteront la capacité de certaines stations à ouvrir leurs portes à temps pour cette période critique (Scott, Dawson et Jones, 2008).

Dans les Alpes tyroliennes en Autriche et en Italie, les stations devraient pouvoir maintenir 100 jours d'ouverture jusqu'aux années 2040. Toutefois, la période des fêtes devrait être durement touchée dès 2020 (Steiger et Mayer, 2008). Toujours pour les Alpes, certains chercheurs ont établi des critères pour la journée idéale typique pour le ski. Similairement aux autres études, ils arrivent à la conclusion que le nombre de jours d'ouverture devrait diminuer, mais que le nombre de jours idéaux⁴ pour skier

⁴ La définition retenue par les auteurs d'une « journée de ski idéale » correspond à la combinaison des conditions suivantes : 1) aucune précipitation, 2) domaine skiable entièrement ouvert, 3) ≥ 30 cm d'épaisseur de neige sur les pistes, 4) > 0 cm

également. De plus, ils remarquent que l'occurrence de journées idéales devrait être réduite pendant le temps des fêtes, et se déplacer de plus en plus vers la fin de la saison (Berghammer et Schumde, 2014).

La semaine de relâche représente une période critique pour la rentabilité des stations de ski. Les travaux de Wobus et al. (Wobus *et al.*, 2017) mentionne notamment qu'aux États-Unis, les changements climatiques impacteront davantage la fin de la saison plutôt que le début de la saison. Ce faisant, la semaine de relâche et la fin de semaine de Pâques seraient davantage exposées que la période des fêtes.

2.1.3 Ouvrir la station : à quel prix ?

Plusieurs études portent uniquement sur la capacité physique d'ouverture des stations, certaines en considérant uniquement le couvert de neige naturelle et d'autres incorporant les capacités de fabrication de neige. Toutefois, la quantité de jours d'ouverture d'une station de ski dépend également des coûts associés à ses opérations et à des considérations de rentabilité. Bien que l'équipement d'enneigement permet aux stations de fabriquer de la neige, les ressources qui sont attribuées à cette activité sont importantes : électricité, eau, machinerie (canons à neige, dameuses, compresseurs, etc.), main d'œuvre, etc.

Pour le Québec, certains chercheurs ont établi qu'à l'horizon 2050, la quantité de neige qu'il est possible d'accumuler en combinant les précipitations naturelles et la neige fabriquée devrait être suffisante, mais ils soulèvent que les coûts élevés liés à la mise à niveau des infrastructures et la fabrication pourraient affecter la pérennité des stations (Scott, McBoyle et Minogue, 2007). Aucune étude n'a toutefois quantifié l'augmentation attendue des coûts d'opération des stations pour le Québec. La présente étude comble notamment le manque de connaissances à ce sujet.

2.2 La demande

Comme pour toute industrie, la poursuite des activités des stations de ski et leur rentabilité dépendent du produit que les stations peuvent offrir. Toutefois, une station enneigée, mais vide ne poursuivrait pas ses activités très longtemps. Il n'est donc pas suffisant d'analyser les impacts des changements climatiques sur l'industrie du ski en s'intéressant seulement à l'offre et aux conditions d'opérations. Il est primordial de comprendre comment les modifications dans le climat affecteront les skieurs et leur achalandage sur les pistes.

2.2.1 Ce qui pousse les skieurs à se rendre sur les pistes

L'analyse des données d'achalandage quotidien des stations de ski permet d'évaluer les paramètres influençant les comportements spécifiques des skieurs. Les analyses de demande issues de la littérature tendent à montrer que les skieurs se rendent sur les pistes en plus grand nombre lors des journées ensoleillées où il vente peu ; leur fréquentation dépend de la température extérieure de façon non linéaire, c'est-à-dire qu'ils préfèrent une journée ni trop froide, ni trop chaude. Également, le ski étant une activité de loisir, les skieurs se rendent en plus grand nombre dans les stations pendant les fins de

d'épaisseur de neige au sol aux alentours des pistes, 5) entre -5°C et +5°C, 6) ≥ 5 heures d'ensoleillement dans la journée, 7) vent ≤ 10 m/s et 8) journée fériée ou de fin de semaine.

semaine et leurs journées de congé, que ce soit pour les vacances des fêtes, la semaine de relâche ou la longue fin de semaine de Pâques (Damm, Köberl et Pretenthaler, 2014a).

En se penchant sur les précipitations et autres variables météorologiques, il a été identifié que les variables échelonnées des jours précédant d'épaisseur de neige, de précipitations de neige et de température à la fois aux stations et dans les villes avoisinantes permettaient de prédire les visites dans les stations de ski (Hamilton, Brown et Keim, 2007). C'est donc dire que les skieurs sont affectés par les informations des jours précédant leur sortie lorsqu'ils prennent la décision de se rendre sur les pistes. Il est intéressant de noter que dans les données de cette étude sur la Nouvelle-Angleterre (Nord-Est des États-Unis), on observe qu'indépendamment des conditions observables directement aux stations, les conditions urbaines ont un impact sur l'achalandage, ce qui confirme la *backyard hypothesis* soit que les décisions des skieurs seraient affectées par les conditions d'enneigement qu'ils peuvent observer dans leur environnement immédiat, même lorsqu'elles ne sont pas représentatives des conditions réelles aux stations de ski.

2.2.2 L'effet de la variabilité du climat

La saisonnalité et les extrêmes climatiques affectent les décisions des skieurs. Les études qui s'intéressent à ces dynamiques se réfèrent souvent à la théorie de la substitution des loisirs établie en 1986 par Iso-Ahola: si un individu ne peut pratiquer le loisir qu'il avait d'abord identifié, il est susceptible de le remplacer par un autre comportement qui lui apportera un niveau de bien-être relativement comparable.

Quand cette théorie est appliquée aux comportements adoptés par les skieurs relativement aux effets du climat (Scott et McBoyle, 2007; Dawson, Scott et Havitz, 2013; Ruddy *et al.*, 2015a), la substitution est scindée en trois types : les skieurs peuvent changer de destination (substitution spatiale), peuvent changer la fréquence ou le moment de leur participation (substitution temporelle) ou encore choisir une activité de loisir différente (substitution d'activité).

Les comportements anticipés de substitution varient selon l'étude et le territoire étudié. Par exemple, pour le Nord-Est des États-Unis, les résultats d'une enquête auprès des skieurs révèlent que dans un climat changeant, 39 % d'entre eux sont prêts à changer de station si leur station habituelle n'arrive plus à offrir des conditions favorables. Les skieurs rapportent être prêts à voyager de trois à cinq heures pour se rendre à une autre station (Dawson, Scott et Havitz, 2013). En Suisse, il a été établi que de meilleures conditions de neige dans un centre de ski feraient diminuer les visites chez les stations à proximité (Gonseth, 2013).

Lorsqu'on a demandé à des skieurs ontariens ce qu'ils feraient si leur station de ski était fermée, jusqu'à 61 % d'entre eux ont répondu qu'ils voyageraient vers une autre station à proximité (Ruddy *et al.*, 2015a), alors que 3 % cesseraient de skier et 36 % substitueraient leur pratique dans le temps. De ceux qui sont prêts à faire de la substitution spatiale, 53 % seraient prêts à parcourir jusqu'à deux heures pour une simple journée de ski. Pour des vacances de ski, 62 % seraient prêts à parcourir 6 heures et plus (Ruddy *et al.*, 2015b).

Si certains posent l'hypothèse que la réduction de l'offre de ski entraînera une diminution de ce secteur, certains argumentent que les skieurs se déplaceront plutôt vers les stations les plus résilientes face aux changements du climat (Pons *et al.*, 2014). Les stations résilientes verraient alors le nombre de skieurs

augmenter sur leurs pentes. La concentration de ces skieurs à un même endroit pourrait se traduire par un phénomène de *crowding* des stations et des pistes. C'est le cas notamment pour les stations de ski ontariennes (Rutty *et al.*, 2015a).

2.2.3 L'élasticité de la demande

Les décisions prises par les skieurs ne sont pas seulement affectées par la variabilité du climat, comme pour la plupart des biens et services de consommation, leurs décisions sont aussi influencées par les prix et par leurs revenus. Dans une étude qui porte sur la fréquentation de six stations de ski majeures en France, une élasticité-revenu de 0,64 a été établie, pour une même couverture de neige. C'est donc dire que pour une augmentation de 1 % du revenu, il est estimé que la consommation de ski augmenterait de 0,64 %. L'élasticité-prix a été établie à -0,4, signifiant que la diminution des prix de 1 % entraînerait l'augmentation de la fréquentation de 0,4 % (Falk, 2015). Peu d'études sur l'élasticité de la demande ont été réalisées pour le secteur du ski alpin, et à ce jour, il semble qu'une telle étude n'ait jamais été réalisée en Amérique du Nord.

L'élasticité-revenu de la demande pour le tourisme en général a tout de même fait l'objet d'une plus grande d'attention. Dans un livre portant sur la modélisation de la demande pour le tourisme, Witt & Witt (1992) concluent que le tourisme est un bien de luxe et que l'élasticité-revenu de la demande devrait être supérieure à un. Les estimations de Crouch (1995) dans une méta-analyse sur les coefficients d'élasticité pour le tourisme international montrent des résultats qui confirment que l'élasticité-revenu est généralement supérieure à 1. Toutefois, les coefficients varient selon les pays et aucune généralisation ne peut être faite quant à l'élasticité de la demande pour le tourisme international. Le ski étant à la fois une activité touristique et une activité sportive et présentant des caractéristiques différentes du tourisme international, il n'est pas clair que les élasticités identifiées pour le tourisme en général peuvent être transférées directement à l'analyse du ski.

2.3 Les impacts sur la rentabilité

En combinant les effets du climat sur les conditions d'opération des centres de ski et sur la demande des skieurs, certaines études ont tenté d'évaluer la rentabilité des stations de ski en contexte de CC.

L'année 2001-2002, particulièrement chaude, a été utilisée comme analogue pour la période 2040-2069. La diminution des visites, la diminution de la longueur de la saison ainsi que l'augmentation des coûts opérationnels ont été identifiées comme facteurs diminuant la rentabilité des stations du Nord-Est des États-Unis à cet horizon (Dawson, Scott et Mcboyle, 2009).

En Autriche, une étude a porté exclusivement sur la rentabilité de la fabrication de neige en contexte de changements climatiques. Intégrant des prévisions sur les conditions d'opération avec et sans fabrication de neige et considérant l'importance des ressources allouées à une telle adaptation, ainsi qu'une modélisation de la demande relativement aux conditions climatiques, il a été établi qu'une augmentation des prix est à prévoir pour assurer la rentabilité des opérations de fabrication de neige. Dans le cas où l'élasticité-prix serait plus importante que -0,1, les opérations d'enneigement ne seraient pas rentables (Damm, Köberl et Prettenthaler, 2014a), puisque l'augmentation des prix induirait une trop importante diminution de l'achalandage.

En contexte australien, l'adaptation des stations de ski aux changements climatiques par l'augmentation de la capacité de fabrication de neige est contestée. En effet, les ressources matérielles nécessaires sont jugées trop importantes pour être rentables et les pénuries d'eau à prévoir sont identifiées comme un obstacle majeur rendant la fabrication de neige peu probable. Il est plutôt recommandé aux stations en basse altitude de se convertir vers d'autres activités, de se diversifier ou de rompre avec leur mission actuelle (Pickering, 2011).

2.4 Les impacts indirects

En plus de présenter un risque non négligeable pour la rentabilité des stations de ski, la transformation des conditions climatiques (réduction des précipitations en neige, augmentation des épisodes de pluie sur neige durant la saison, accroissement des extrêmes climatiques, etc.) pose un risque plus large sur les régions touchées et plus particulièrement sur certaines industries qui gravitent autour des activités de ski.

Les stations de ski n'évoluent pas dans des environnements clos. Elles contribuent au dynamisme économique des régions qui les abritent, créent des emplois, investissent et attirent des touristes qui se déplacent dans d'autres régions et d'autres pays pour pratiquer leur sport hivernal de prédilection.

Évaluer l'impact sur l'économie locale, régionale ou provinciale n'est pas une mince tâche et les défis méthodologiques sont nombreux. Ainsi, pour deux provinces canadiennes, les impacts économiques des stations de ski au niveau provincial ont été étudiés à l'aide de modèles entrées-sorties.

Au Québec, l'impact économique de l'industrie du ski a été évalué pour la saison 2013/14 en utilisant le modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) (Archambault, 2015). Le modèle entrées-sorties de BC stats, similaire à celui de l'ISQ, a été utilisé pour évaluer l'impact économique des stations de ski en Colombie-Britannique pour la saison 2013/14 (Destination British Columbia, 2014). Les estimations relatives aux dépenses totales des visiteurs, à la contribution au PIB, aux emplois en équivalent temps plein et aux recettes fiscales découlant des activités de l'industrie dans les deux études sont présentées au Tableau 5. Pour le Québec, les dépenses totales des stations et des visiteurs pour la saison 2013/14 représentaient 833 M\$, contribuant au PIB à hauteur de 800 M\$. L'industrie générerait alors près de 12 000 emplois en équivalent temps plein ainsi que 137 M\$ en recettes fiscales aux différents paliers de gouvernement.

Tableau 5 : Impact économique des stations de ski pour le Québec (tiré d'Archambault, 2015) et la Colombie-Britannique (tiré de Destination British Columbia, 2014), modèles entrées-sorties

	Dépenses	PIB	Emplois (ETC)	Recettes fiscales
Québec (Archambault, 2015)	833 M\$	800 M\$	11 847	137 M\$
Colombie-Britannique (Destination British Columbia, 2014)	1 300 M\$	972 M\$	18 823	114 M\$

L'impact des changements climatiques sur le secteur aura donc nécessairement un impact sur l'activité économique qui en dépend. Ainsi la perte de jours-ski se traduira inévitablement par des pertes en jours

d'hébergement et de repas dans l'environnement immédiat et même plus éloigné des stations de ski. En Europe, l'impact d'une augmentation de deux degrés Celsius sur le tourisme hivernal lié au ski a été estimé à la perte potentielle de 10,1 millions de nuitées par saison (Damm *et al.*, 2016). Selon d'autres chercheurs, les répercussions des stations de ski sur les revenus des entreprises d'hébergement dans les Alpes sont telles que les entreprises auraient avantage à procéder à des versements de compensation aux stations afin que ces dernières accroissent leurs capacités d'offre. De tels versements permettraient à la fois aux stations de ski et aux entreprises offrant l'hébergement d'accroître leurs profits (Lohmann et Crasselt, 2012).

Enfin, la diminution des précipitations neigeuses aurait un effet sur la valeur immobilière des propriétés à proximité de centres de ski. À cet effet, l'étude menée par Butsic et al. (2011) présente à l'aide de la méthode des prix hédoniques, un effet négatif pour les secteurs à l'ouest des États-Unis et au Canada. De plus, les résultats estimés soulignent l'effet négatif de la diminution des précipitations sur la valeur immobilière (Butsic, Hanak et Valletta, 2011).

2.5 L'adaptation aux changements climatiques dans l'industrie du ski

Face aux transformations progressives des conditions climatiques, plusieurs initiatives d'adaptation ont été mises en œuvre ailleurs dans le monde (p. ex. Australie, Nouvelle-Zélande, les Pyrénées, les Alpes et les États-Unis) pour réduire les impacts et les risques pour ce secteur économique vulnérables. Dans un rapport sur l'adaptation aux CC ciblant les Alpes, plusieurs mesures ont été identifiées (OCDE, 2007) et classées en deux grandes catégories : les adaptations technologiques et les adaptations comportementales (voir Tableau 6)⁵.

Tableau 6 : Classification des mesures d'adaptation dans l'industrie du ski alpin selon l'OCDE (OCDE, 2007) et Scott et McBoyle (Scott et McBoyle, 2007)

Adaptations technologiques	Adaptations comportementales
Fabrication de neige	Instruments financiers
Optimisation	(Assurance et instruments,
Automatisation	dérivés)
Amélioration des équipements	Programmes et plans
Aménagements et remodelage des pistes	Développement de nouveaux marchés
Progression des stations vers le haut des montagnes	Fusions et coopération entre les stations
Repositionnement sur les montagnes (versants nord)	Diversification
Surfaces artificielles	Pricing (tarification)
	Gestion active de la réduction des activités

⁵ Cette classification permet de regrouper les mesures sous deux grands types de mesures. D'autres auteurs suggèrent d'autres structures de classification en les regroupant plutôt par intervenant. Voir notamment Scott et McBoyle (Scott et McBoyle, 2007) à cet effet.

2.5.1 Adaptations technologiques

Le premier type de mesure d'adaptation est identifié comme étant plus fréquent dans les stations européennes (OCDE, 2007). Pour plusieurs stations, l'une ou l'autre des adaptations technologiques permettent de prolonger ou sécuriser la présence de la neige sur les pistes.

La fabrication de neige est aussi une des adaptations technologiques déjà largement utilisées par les stations de ski au Québec comme ailleurs. En fait, jusque dans les années 60, les stations de ski du Québec opéraient uniquement grâce à l'enneigement naturel des pistes. Au fil du temps, l'industrie s'est modernisée et a mis en place des systèmes d'enneigement performants permettant de garantir une saison de ski durant plus de 100 jours et bénéficiant de conditions de glisse exceptionnelles. Aujourd'hui, la grande majorité des stations de ski alpin au Québec amalgame de la neige fabriquée avec les précipitations naturelles. La technologie utilisée actuellement permet aux stations de ski de fabriquer de la neige dès que la température extérieure est sous les $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. La fabrication de neige est devenue indispensable dans leur stratégie d'affaires.

Il existe plusieurs techniques de fabrication :

- La technique à gicleur (dépendante des conditions météorologiques);
- La technique frigorifique (installation de production de glace, indépendante des conditions météorologiques);
- La technique cryogénique (mélange d'eau, d'air et d'un produit cryogénique, production indépendante des conditions météorologiques).

Les deux dernières techniques (frigorifique et cryogénique) permettent de produire de la neige par des températures de l'air supérieures à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elles sont toutefois coûteuses et impliquent une grande consommation d'électricité. La température de l'air dans les centres de ski étant souvent suffisamment froide, on utilise surtout la technique à gicleurs à haute ou à basse pression (Fauve, Rhyner et Schneebeli, 2002).

La fabrication de neige nécessite la transformation très rapide d'une goutte d'eau de son état liquide à son état solide (temps de suspension des gouttelettes dans l'air souvent inférieur à 30 secondes). Le point de nucléation, soit la température à laquelle le phénomène de cristallisation de l'eau est déclenché, va diriger la vitesse du processus de transformation de l'eau en glace. Pour fabriquer de la neige efficacement, il est donc important que la température de l'air se situe en dessous du point de nucléation de l'eau. L'eau pompée directement de la rivière a généralement un point de nucléation situé entre -8 et $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Liao et Ng, 1990).

Dans l'industrie, on qualifie de marginales les températures situées entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gagné *et al.*, 2014), soit les températures permettant la fabrication de neige, mais pour lesquelles les taux d'efficacité et de production des canons sont relativement faibles. Sans l'utilisation de techniques frigorifique ou cryogénique, il est possible, en utilisant des agents nucléateurs, de fabriquer de la neige avec des températures supérieures à $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais toujours sous le point de congélation ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). L'efficacité et la productivité des canons sont toutefois faibles à ces températures, voire presque nulles (Liao et Ng, 1990), et le risque d'englacement des pistes est élevé.

L'ouverture et la fermeture des canons de la part des équipes techniques nécessitent des prises de décisions basées sur les prévisions météorologiques. Celles-ci peuvent être effectuées manuellement ou de façon automatique. En effet, certains canons peuvent être équipés de contrôles informatisés programmés pour lancer ou stopper l'enneigement automatiquement en fonction de la température de l'air. Ces systèmes permettent également de réguler le débit d'eau projetée pour obtenir des taux d'efficacité et de productivité des canons optimaux selon la température. L'automatisation du système d'ouverture des canons peut être considérée comme une adaptation possible aux changements climatiques puisqu'il permet de réagir plus rapidement aux variations de température et de profiter de manière optimale des fenêtres de froid.

De manière générale, le processus de fabrication nécessite l'utilisation d'importantes quantités d'eau. C'est également un processus énergivore : l'eau propulsée par les canons doit être pompée dans les conduites de la montagne et l'air doit être pressurisé. Certains types de canons nécessitent également un apport direct en énergie électrique (système automatisé).

Une fois fabriquée, la neige doit être répartie mécaniquement sur les pistes à l'aide de dameuses. Les sous-bois étant normalement trop étroits pour que les dameuses puissent y répartir la neige, ceux-ci ne sont généralement pas enneigés. De plus la présence d'arbres limite la capacité d'enneigement des pistes boisées.

Plusieurs adaptations sont possibles relativement à la fabrication de neige. Dans certains cas, le renouvellement d'équipement ou l'automatisation peuvent être considérés. De nouveaux équipements pourraient être plus efficaces donc plus économiques relativement aux ressources utilisées (électricité, eau, main d'œuvre, temps de fabrication) ou offrir de meilleures performances en températures marginales. Il peut aussi être efficace d'optimiser les décisions de production de neige fabriquée. En effet, il est possible d'optimiser la fabrication de neige de façon à utiliser moins de ressources, puisque les températures plus froides permettent une productivité plus élevée des équipements (Desrochers 2017).

L'aménagement des pistes et leur développement de façon à prévenir la fonte ou l'érosion par le vent sont une autre adaptation technologique pouvant être réalisée par les stations. Le tracé et les formes des pistes peuvent être modifiés à l'aide de bulldozers de façon à diminuer le couvert de neige requis pour obtenir une surface skiable ou à limiter l'exposition au vent. L'installation de clôtures à neige peut limiter le déplacement de la neige sur les pistes. La modification du couvert forestier permet de réduire l'exposition au vent et l'ensoleillement. La plantation d'herbes hautes sur les pistes et l'utilisation de foin sont également possibles pour adoucir le relief des pistes et fournir une couche isolante entre le sol et le couvert de neige (OCDE, 2007).

La progression des stations vers le sommet des montagnes est aussi identifiée comme une mesure technologique permettant de se prémunir contre le réchauffement. Cette adaptation, envisagée dans le contexte européen des Alpes (OCDE, 2007) ainsi qu'en Colombie-Britannique (Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2012) est seulement possible pour des montagnes qui ont une altitude considérable. Certaines stations sont établies à mi-montagne et n'incluent pas les plus hauts sommets. Au Québec, l'altitude relativement moins importante des montagnes ne permet pas de considérer cette mesure d'adaptation, puisque la plupart des stations de ski sont déjà établies sur l'ensemble du dénivelé disponible. Les stations de ski sur les flancs de montagnes présentant une

altitude permettant l'existence de glaciers peuvent aussi considérer d'y étendre leurs activités, ce qui, similairement à la mesure sur l'augmentation de l'altitude, ne peut pas être considéré au Québec.

Certaines stations européennes se repositionnent sur les montagnes de façon à ce que les pistes se retrouvent davantage sur les versants nord. Ceux-ci étant moins exposés à l'ensoleillement, la fonte de la neige s'y produit moins rapidement. Il est à considérer que bien que l'aménagement de pistes sur les versants nord puisse augmenter le nombre de jours de ski offerts par un centre de ski, il est probable que les skieurs aient une préférence pour le ski sur les autres versants, qui offrent une exposition à l'ensoleillement et des températures plus confortables pour les skieurs.

Enfin, des surfaces synthétiques, appelées fibre sèche, permettant de pratiquer les sports de glisse en l'absence de neige sont disponibles sur le marché. Cette surface déposée à même le sol permet aux adeptes de s'entraîner durant la saison verte, elle offre aussi l'avantage de nécessiter un moins grand couvert de neige une fois l'hiver venu. Elles sont déjà utilisées par des centres d'entraînement pour les athlètes qui pratiquent certains sports de glisse, notamment au Québec au centre AcrobatX dans la région de Québec, ainsi que par certaines stations de ski, principalement en Europe (Snowflex, 2017).



Figure 1 : Piste de ski synthétique (Source : ASSQ, Crédit Mathieu Dupuis, 2017)

2.5.2 Adaptations comportementales

Les adaptations comportementales, quant à elles, peuvent porter sur la modification des pratiques opérationnelles dans la gestion des stations, de façon à augmenter la rentabilité et à diminuer l'exposition au risque.

Les assurances et les instruments dérivés liés aux conditions météorologiques peuvent être des solutions à la disposition des stations pour faire face aux aléas climatiques (Beyazit et Koc, 2010; Tang et Jang, 2011). En effet, la répartition du risque lié aux conditions ne permettant pas l'ouverture ou ne favorisant pas la pratique des sports de glisse pourrait affecter positivement la rentabilité des stations. Cette répartition pourrait être effectuée par des produits d'assurance, où les stations pourraient payer une prime qui leur garantirait de recevoir un paiement d'assurance lorsque les conditions ne leur permettent pas la rentabilité habituelle d'une saison⁶. Il serait aussi possible que d'autres produits financiers puissent jouer le même rôle.

Entre 2006 et 2015, des *weather futures* et des options sur les *weather futures* basées sur les conditions climatiques à Montréal étaient disponibles sur le marché CME (Chicago Mercantile Exchange). Toutefois, ces produits ont été retirés du CME en 2015. Malgré ce retrait, d'autres produits financiers pourraient être considérés. Notamment, des ententes de répartition de risque pourraient être élaborées avec les secteurs qui sont affectés de façon opposée aux stations de ski par les conditions météorologiques.

Les fusions et la coopération entre les stations sont aussi des adaptations comportementales pouvant permettre une meilleure résilience de l'industrie. Au Canada, le conglomérat Intrawest a été identifié comme significativement plus efficace que les stations indépendantes (Falk, 2009).

La diversification des activités et leur orientation vers des activités pouvant se dérouler tout au long de l'année indépendamment des conditions climatiques sont aussi une façon pour les stations de se prémunir contre les effets négatifs du risque lié aux changements climatiques. En Colombie-Britannique, la station Whistler Blackcomb a développé des activités de randonnée et de vélo de montagne (Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2012). Certaines stations offrent des activités récréatives qui ne sont pas liées aux conditions météorologiques, telles que des centres de relaxation et de bien-être. Certaines stations tendent même à devenir des centres de villégiature qui attirent les voyageurs grâce aux activités de glisse, mais qui génèrent leurs revenus par une offre large de services d'hébergement, de restauration et de divertissement.

Le *pricing* regroupe toutes les stratégies comportementales ayant trait à la tarification. Ces stratégies peuvent porter sur l'augmentation des prix pour accroître la rentabilité de la station, ou encore par la tarification dynamique relativement à la demande. Cette dernière existe déjà sur le marché nord-américain du ski via plusieurs entreprises dont Liftopia, qui permet d'offrir des billets à escompte dont les prix se modifient au fur et à mesure de la vente des billets. Une tarification dynamique liée aux conditions d'enneigement est aussi déjà réalisée par les stations, qui offrent par exemple des billets à prix réduit en début de saison lorsque les stations sont partiellement ouvertes. Il serait toutefois possible d'imaginer qu'une tarification dynamique plus réactive, englobant à la fois les conditions d'enneigement et la demande, à l'instar de la compagnie Uber, qui utilise des algorithmes pour faire fluctuer les prix en fonction de la quantité de chauffeurs disponibles et du nombre d'usagers faisant appel aux services.

⁶ Au Québec, l'ASSQ a déjà évalué cette option, mais les caractéristiques du marché (nombre de stations, volumes d'affaires, etc.) font en sorte que les primes d'assurance seraient trop élevées pour les stations de ski et rendent ce type de mesures d'adaptation difficilement applicables dans le contexte québécois.

Une meilleure compréhension des comportements et des préférences de la clientèle serait nécessaire pour mettre en place ce type de mesure.

Le développement de nouveaux marchés pourrait aussi jouer un rôle dans la pérennisation des activités de ski pour certaines stations, en particulier dans le contexte québécois. Tel que mentionné précédemment, certaines études avancent que la vulnérabilité des stations de ski ne sera pas répartie uniformément entre le Québec et l'Ontario, notamment en lien avec la durée de la saison. Ceci pourrait produire des conditions favorables pour des mesures visant à attirer la clientèle des régions plus vulnérables vers les stations des régions moins vulnérables ou plus résilientes.

Enfin, dans certaines régions où les activités sont trop affectées par les aléas climatiques, une gestion active de la réduction graduelle des opérations peut être envisagée, de façon à minimiser les pertes et à se retirer éventuellement de l'industrie (OCDE, 2007; Dawson et Scott, 2013).

2.5.3 L'adaptation aux changements climatiques dans l'industrie du ski des Cantons-de-l'Est

Depuis les premiers travaux de McBoyle et Wall (Mcboyle et Wall, 1987) dans les Laurentides, l'industrie du ski alpin au Québec a progressé en matière de compréhension de sa vulnérabilité aux changements climatiques et d'identification des mesures d'adaptation permettant de se couvrir contre le risque climatique. La région des Cantons-de-l'Est est à l'avant-scène de cette démarche via la participation de plusieurs de ces stations et des acteurs clés du tourisme à des projets de recherche en adaptation aux changements climatiques. À cet effet, le projet de Bleau et al. (Bleau *et al.*, 2012) en mobilisant les différentes parties prenantes dans l'industrie du tourisme a permis de faire progresser ce dossier. La tenue de tables de réflexion sur ces enjeux a fait émerger 15 grandes familles de mesures d'adaptation pour l'industrie touristique des Cantons-de-l'Est :

- 1) Améliorer les transitions lors des intersaisons et réduire l'exposition à la variabilité météorologique
- 2) Diversifier ses revenus en renouvelant l'offre
- 3) Développer le concept de montagne 4 saisons (marketing pour la région)
- 4) Créer des alliances d'affaires régionales pour améliorer l'offre aux clients en cas d'intempéries (hôtelier, entreprises, partenaires, etc.).
- 5) Développer des forfaits plus flexibles
- 6) Former les entreprises à mieux comprendre la météo (vocabulaire, statistiques) et éduquer la clientèle
- 7) Accroître le niveau de sensibilisation/communication/éducation face au dossier climatique du public et du milieu touristique
- 8) Conceptualiser et diffuser des capsules météo humoristiques
- 9) Développer la mobilité des transports et améliorer le flux
- 10) Étudier la possibilité d'intégrer des politiques de remboursement ou de garantie d'activité
- 11) Devancer les périodes d'exploitation d'activité qui traditionnellement débute en juin
- 12) Réfléchir à la structuration des vacances en lien avec les changements climatiques
- 13) Assurer un suivi des actions d'adaptation aux CC dans la région touristique
- 14) Étudier et valider le transfert entre les différentes activités sportives (ex. hockey/golf, ski/vélo)

Cette liste d'actions vers une meilleure prise en compte des changements climatiques dans la planification stratégique pose une base importante pour outiller l'industrie de cette région. La poursuite de cette réflexion se réalise par la précision des actions à mettre en œuvre et la réalisation d'analyse de

faisabilité et de rentabilité. Ce projet adresse précisément ce besoin en structurant un cadre d'analyse de la rentabilité financière et économique des mesures d'adaptation.

2.5.4 Exemples d'adaptation aux changements climatiques en France et aux États-Unis

Afin d'alimenter la réflexion, nous proposons trois exemples à l'international qui ont déployé des plans d'adaptation aux changements climatiques et qui pourraient servir d'inspiration aux stations de ski du Québec.

Parc Naturel du Vercors

Le premier exemple provient des Alpes françaises dans un territoire de moyenne montagne (entre 200 et 2 300 mètres). Sous l'initiative du Parc naturel régional du Vercors, les stations du massif travaillent depuis plus de 10 ans à repenser le modèle économique du « tout neige » dans le contexte des changements climatiques. Cette initiative s'est structurée en trois grandes étapes : 1) la diversification

Le Parc naturel régional du Vercors

Le massif du Vercors est un territoire de moyenne montagne des Préalpes d'une altitude comprise entre 200 et 2 300 m. Son territoire est riche de milieux naturels d'une grande diversité, il est très attractif été comme hiver en raison de sa proximité de plusieurs bassins de population importants (Grenoble et Valence). Depuis plusieurs décennies, les changements climatiques se sont traduits par la diminution du nombre de jours d'enneigement exploitables en hiver (-25 % de hauteur de neige en 50 ans).

Les activités touristiques locales, fortement basées sur une saison hivernale concentrée de mi-décembre à début avril dans des stations situées entre 1 200 et 2 000 mètres d'altitude (principalement sous la forme de séjours de courte durée), sont remises en question par les changements climatiques.

Source : ADEME, 2017

touristique des stations, 2) l'analyse des impacts des changements climatiques et 3) la diversification économique de l'offre estivale (voir ADEME, 2017 pour les détails de chacune de ces étapes).

La démarche de sensibilisation et de mobilisation progressive des différents acteurs du territoire a mené à la définition de ce que veut dire la diversification touristique :

- Repenser le modèle économique des stations dans leur ensemble.
- Accepter le fait que le potentiel de développement du territoire se situe l'été et non l'hiver.
- Partir du postulat que tout Euro investi doit servir des équipements réversibles, durables et capables de fonctionner toute l'année neige ou hors neige.
- Restructurer l'offre touristique en se basant sur les attentes actuelles et futures des consommateurs.
- Reconnaître que les actions de substitution à la neige ne sont pas des actions de diversification même si elles peuvent être nécessaires.

Concrètement, cette démarche a permis de diversifier l'offre touristique des stations et de réduire la dépendance de l'économie régionale à des conditions climatiques optimales pour la saison de ski. Cette diversification s'est soldée par un accroissement de l'offre d'activités dont : randonnée, véhicule tout-terrain, escalade, spéléologie, vol libre, tyroliennes, vélo sur la neige en fat bike, ski sur bitume, ski-

roue, etc. Les stations misent aussi sur la culture et les équipements d'intérieur, moins sensibles à la météo comme à Autrans par exemple qui présente chaque année le Festival du film de montagne. Ces efforts ont porté fruit alors qu'en 2015 le nombre de nuitées hors neige a été comparable à celui des nuitées en période de neige (ADEME, 2017).

Un des facteurs de succès identifié par l'ADEME est l'accès à des financements dans le cadre de la diversification de l'offre touristique et économique du territoire. Ces financements proviennent de multiples intervenants régionaux et nationaux cofinancés dont l'Union européenne, la Région Auvergne Rhône-Alpes et l'État et d'autres partenaires locaux. Cette stratégie de partage du risque à l'échelle régionale et nationale renforce l'idée que l'adaptation de l'industrie québécoise doit se réaliser de manière concertée entre les acteurs à l'échelle régionale et même potentiellement portée par la région elle-même comme ce fût le cas dans le Vercors.

Le travail réalisé par la collectivité porteuse (Parc naturel régional du Vercors) a été récompensé par le trophée de l'adaptation au changement climatique remis par l'ADEME. Ce prix vise à récompenser les territoires qui portent des projets d'adaptation exemplaires.

Vail Resorts

Le second exemple concerne le conglomérat Vail Resorts. Vail Resorts est la plus grande compagnie de sports de montagne au monde. Elle détient et opère actuellement 17 stations réparties aux États-Unis, au Canada et en Australie. En 2017 l'entreprise a lancé son programme « Epic promise for a zero footprint » visant un impact nul de ses opérations au niveau environnemental. Bien que cette stratégie environnementale vise d'abord l'influence du groupe sur son environnement, elle touche également l'adaptation aux changements climatiques. En fait, l'intérêt de ce programme est probablement de ne faire aucune distinction entre les aspects de mitigation et d'adaptation en les voyant de manière complémentaire. Les principaux objectifs mis de l'avant sont :

- Réduire sa consommation d'électricité et de gaz naturel en investissant dans des programmes d'efficacité énergétique, la conception et la construction de bâtiments verts de même que des pratiques de dommages plus efficaces.
- Acquérir 100 % de son électricité de source renouvelable
- Investir dans les programmes de compensation de GES.
- Réduire de 50 % ses émissions de GES totales d'ici 2050.

Du côté de l'adaptation aux changements climatiques, la stratégie se construit autour de trois grands axes d'action : la diversification régionale du groupe, la poursuite des investissements dans des pratiques de fabrication de neige plus efficaces et la **diversification des activités afin de désaisonnaliser les activités du groupe**. Sur ce dernier point, les initiatives sont réalisées à l'échelle des stations elles-mêmes. Mentionnons notamment le plan d'investissement de 345 M\$ de Whistler Blackcomb afin de diversifier ses activités (Le projet Renaissance). Ce plan comprend notamment le développement d'une offre d'activités insensibles à la météo (*weatherproofing*), dont un investissement de 100 M\$ dans une installation couverte hébergeant des glissades d'eau, de l'escalade, un simulateur de surf, etc.

Blue Mountain Resort

Il est clair que les effets attendus des changements climatiques forceront les stations à être innovantes pour trouver des moyens de demeurer rentables. Être apte à intégrer les meilleures pratiques de l'industrie peut permettre aux stations de réduire leurs coûts et ainsi d'être plus résilientes aux chocs provenant des changements climatiques.

Lorsqu'elle est devenue la PDG du Blue Mountain Resort en Pennsylvanie, Barbara Green s'est penchée sur les coûts en énergie de la station comme une occasion d'amélioration stratégique. Les coûts en énergie étaient principalement attribuables à la fabrication de neige, à hauteur de 75 %. L'analyse coût-efficacité des canons et l'utilisation d'équipements d'automatisation a permis à la station de récupérer 550 000 \$ annuellement sur leur facture d'énergie, tout en diminuant substantiellement les émissions de gaz à effets de serre de la station provenant de l'énergie utilisée.

En plus de permettre une réduction dramatique des coûts d'électricité combinée à une diminution de l'empreinte carbone de la station, les améliorations ont aussi permis à la station d'ouvrir plus rapidement et de réagir avec plus de flexibilité après les périodes de fonte.

3. Méthodologie d'analyse des mesures d'adaptation

La méthodologie retenue est construite de manière à reproduire le plus fidèlement possible la chaîne de causalité entre les conditions climatiques, les conditions d'opération des stations de ski et leur situation financière de même que l'évolution de l'économie régionale. Elle s'inspire largement des travaux réalisés dans la littérature scientifique afin de comprendre les implications des changements climatiques sur les enjeux financiers et économiques de l'industrie du ski (voir notamment Damm et al. (Damm, Köberl et Prettenhaler, 2014b)). Malgré des avancées significatives à cet effet dans les dernières années, il n'existe pas à notre connaissance de travaux permettant d'intégrer l'ensemble de ces étapes de modélisation dans une structure de projection intégrée, opérationnelle et capable d'évaluer la rentabilité d'une large gamme de mesures d'adaptation.

La méthodologie développée se décline en quatre blocs de modélisation qui sont résumés à la Figure 2. Ces 4 blocs de modélisation s'imbriquent de sorte que les résultats de chaque bloc deviennent les intrants permettant de réaliser le bloc suivant. L'objectif est de construire une structure de traitement et d'analyse des données permettant d'évaluer à la fois l'impact de la non-intervention (sans adaptation) et celui des différentes mesures d'adaptation retenues sur la santé financière des stations de ski et de l'économie régionale.

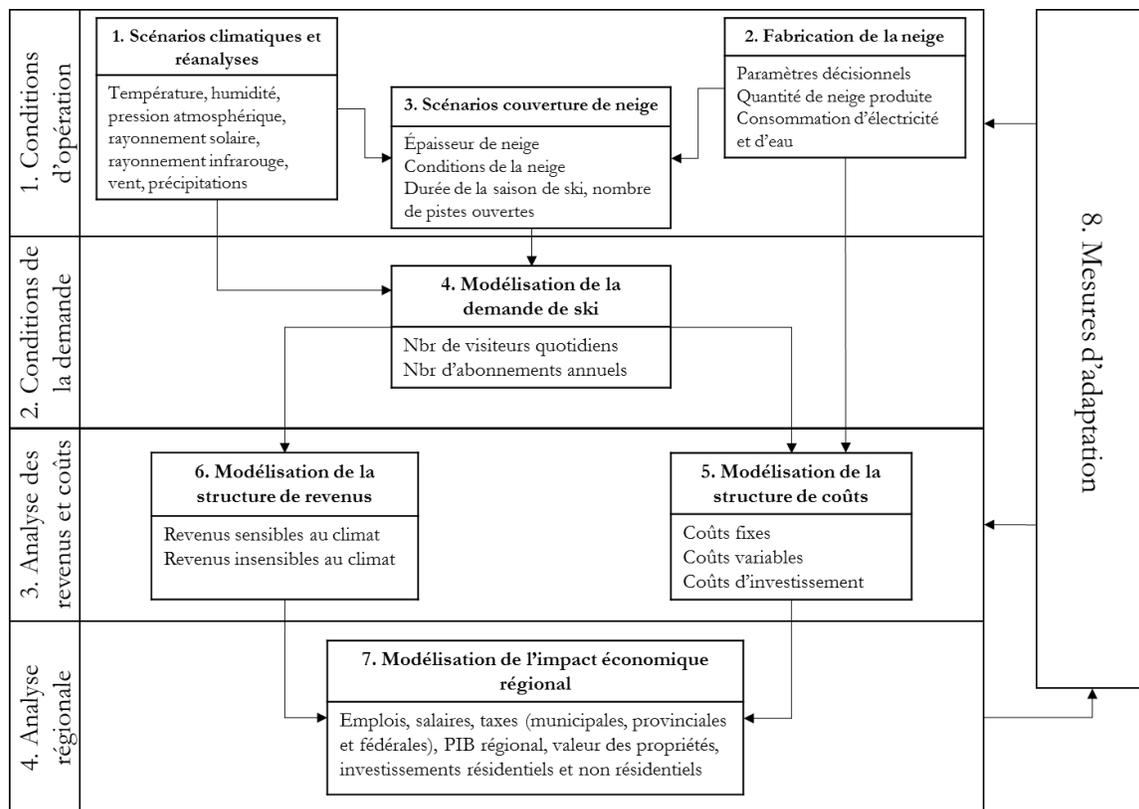


Figure 2 : Schéma méthodologique de la structure du projet

L'horizon d'étude choisi pour les scénarios climatiques, les projections des conditions d'opération et les projections de la demande couvre les saisons 2020/21 à 2049/50 (30 saisons). Cet horizon a été choisi pour refléter les décisions de gestion et d'investissement des stations de ski. En effet, l'horizon

d'étude correspond à la durée de vie approximative des infrastructures majeures des stations de ski (remontées mécaniques, systèmes d'enneigement, bâtiments d'accueil et de services, etc.). L'horizon est également suffisamment long pour capter les tendances climatiques prévues dans les prochaines décennies. Même si du point de vue climatique les changements étaient plus marqués sur un horizon plus long, celui-ci présente l'inconvénient de comporter des incertitudes trop importantes quant aux conditions socioéconomiques qui prévaudront à cet horizon et quant aux préférences des individus relativement à leurs activités de loisirs. Les prochains paragraphes décrivent en détail les quatre blocs méthodologiques et les données qui sont utilisées pour l'analyse.

3.1 Modélisation climatique

3.1.1 Données de réanalyse

Afin de pouvoir contextualiser climatiquement les conditions passées d'opération, d'offre et de demande, des données de réanalyse sont utilisées. De façon simplifiée, une analyse météorologique consiste à décrire l'état global de l'atmosphère à un instant donné en assimilant le plus d'observations possible (stations, radiosondages, mesures satellitaires, etc.) et en utilisant la physique d'un système de prévision numérique afin de pallier le manque d'observations en certaines régions. Une réanalyse poursuit le même objectif, mais en appliquant un seul et même système moderne sur une longue période (on revisite les anciennes analyses).

Les avantages des données de réanalyse incluent leur continuité dans le temps (pas de valeurs manquantes) ainsi que la considération conjointe d'un grand nombre de variables météorologiques. Quant à leurs désavantages, ils incluent des biais potentiels ainsi qu'une résolution spatiale non ponctuelle. C'est-à-dire qu'une valeur de température représente une moyenne sur une superficie (tuile) de quelques dizaines de kilomètres de côté et d'altitude uniforme.

Dans le cadre du présent projet, les données de réanalyse utilisées proviennent du Climate Forecast System reanalysis (CFSR) (Saha *et al.*, 2010) et du Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) (Saha *et al.*, 2014), toutes deux des produits des National Centers for Environmental Prediction (NCEP) aux États-Unis. Les données de CFSR ont une résolution de ~ 30 km à la latitude du Sud du Québec, et couvrent toute la période 1979-2010. La réanalyse CFSv2 est effectuée avec une version plus moderne du système de CFSR, emploie une résolution de ~ 19 km, et couvre la période allant de janvier 2011 à juin 2016. Le changement de résolution implique notamment un changement dans l'altitude associée à chaque tuile de cette grille (voir Tableau 7). Outre leur résolution relativement fine, un avantage de CFSR et CFSv2 est leur fréquence horaire. La plupart des autres réanalyses étant disponibles seulement aux 6 heures.

Tableau 7 : Altitudes associées aux tuiles des grilles de CFSR et CFSv2 incluant chacune des stations ainsi que pour Montréal-Longueuil.

	Bromont	Sutton	Orford	Montréal-Longueuil
CFSR (1979-2010)	189 m	280 m	293 m	10 m
CFSv2 (2011-2016)	201 m	269 m	266 m	22 m

Puisque les deux produits de réanalyse ne sont pas parfaitement compatibles, les agencer implique un certain niveau de simplification (entre autres quant à l'altitude représentée et aux extrêmes de précipitations). Toutefois, puisque les différences d'altitude sont relativement faibles et que l'utilisation unique de l'une ou l'autre des données de réanalyse aurait entraîné l'abandon d'une partie importante des données historiques d'achalandage, il a été décidé de joindre CFSR et CFSv2 bout à bout dans le cadre des analyses des conditions d'opération et de demande.

Afin de ne pas introduire de biais dans les projections s'appuyant sur les variables climatiques et d'opération découlant des produits de réanalyse, l'estimation de la demande a été contrôlée pour le changement de sources de données climatiques historiques.

En plus de servir de référence pour le climat passé, les données CFSR ont servi à la construction des scénarios climatiques, tels que décrits ci-après. Les variables climatiques utilisées dans le cadre de ce projet sont décrites dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Variables climatiques utilisées dans le cadre du projet

Variables	Unités
Taux de précipitations totales	Kg m ⁻² s ⁻¹
Température de l'air à 2 mètres	°C
Composante zonale (ouest-est) du vent à 10 mètres	M s ⁻¹
Composante méridionale (sud-nord) du vent à 10 mètres	M s ⁻¹
Rayonnement solaire incident à la surface	W m ⁻²
Rayonnement infrarouge incident à la surface	W m ⁻²
Pression atmosphérique au sol	Pa
Humidité relative à 2 mètres	%

3.1.2 Scénarios climatiques

Un scénario climatique consiste en une trajectoire future plausible du climat. Puisque le futur climatique est incertain, l'utilisation d'un grand ensemble de scénarios plausibles permet d'intégrer et de quantifier l'incertitude entourant les trajectoires possibles du climat dans l'analyse. En effet, il existe des différences entre les scénarios projetés, provenant de l'incertitude sur les scénarios d'émission de GES, la variabilité climatique naturelle et les incertitudes provenant de la modélisation climatique (Hawkins et Sutton, 2009). S'appuyer sur un seul scénario climatique pour analyser les tendances futures de l'industrie du ski pose le risque que les résultats soient tributaires du scénario climatique choisi. Pour éviter ce problème, ce projet se base sur l'utilisation de plusieurs scénarios, permettant de prévoir un éventail de possibilités plutôt que de se fier à un seul scénario. Si les mesures d'adaptation sont rentables et efficaces face à un grand nombre de scénarios futurs, on s'assure ainsi de la résilience de la station et de l'industrie face aux différentes trajectoires climatiques possibles. L'approche probabiliste est de plus en plus utilisée dans les études relatives aux impacts climatiques. Si les probabilités ne sont pas fournies, alors les décideurs se forgent implicitement leurs propres probabilités, qui peuvent diverger grandement de l'estimation des probabilités qui peuvent être fournies par les experts (Schneider, 2002; Hall, Twyman et Kay, 2005).

Comme le nombre de variables climatiques nécessaires au projet était considérable et que les données devaient être disponibles à chaque trois heures, dix scénarios climatiques répondaient aux exigences de

modélisation. Ils proviennent des simulations climatiques MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2G et CANESM2-Oura. Les simulations climatiques utilisées dans le projet couvrent les quatre familles de trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre (RCP – Representative concentration pathways) allant de la trajectoire la plus optimiste (RCP 2.6) à la plus pessimiste (RCP 8.5). À titre de référence, l'accord de Paris qui vise à contenir le réchauffement des températures à 2 degrés Celsius d'ici la fin du siècle correspond environ au RCP 4.5.

Les scénarios utilisés sont représentés par des formes géométriques à la Figure 3. Les plus petits points y représentent d'autres simulations climatiques. En observant cette figure, on constate que les scénarios utilisés couvrent assez bien l'étendue des futurs possibles en termes de changements dans les précipitations et les températures. Bien que comme on peut le constater, aucun des scénarios utilisés ne prévoit une diminution des précipitations moyennes comme certaines des simulations existantes.

Pour la tuile correspondante à la station Bromont, les simulations MRI-CGCM3 présentaient des problèmes de données pour le vent. Comme cette variable était essentielle afin de modéliser le couvert de neige, ces simulations ont été mises de côté pour la station Bromont après la réalisation de tests avec des données moyennes de vent.

Figure 3 : Variation moyenne entre 1981-2010 et 2021-2050 des précipitations et des températures des scénarios climatiques utilisés (formes géométriques) et de 229 autres simulations climatiques existantes (points)

3.2 Paramètres d'opérations du modèle de neige

La première phase du projet vise à établir l'évolution des conditions d'opération futures. Il s'agit de déterminer l'évolution du couvert de neige des pistes de ski pour chaque scénario climatique mentionné plus haut. Les couverts de neige générés sont ensuite utilisés pour produire des scénarios d'achalandage des stations de ski.

Les scénarios de couvert de neige sont construits à partir d'une version modifiée du modèle de neige Crocus développée pour simuler le couvert des pistes en intégrant les paramètres d'opération des installations de fabrication de neige ainsi que le surfaçage mécanique des pistes. Une description détaillée du modèle Crocus et de la version Crocus-Ski peut être consultée dans Desrochers (Desrochers, 2016).

Les paramètres d'opération utilisés pour réaliser les modélisations sont les suivants :

- Température seuil de fabrication : température maximale, en °C, à partir de laquelle la fabrication peut être entamée ;
- Date initiale de fabrication : date à partir de laquelle la fabrication peut être entamée si la température est suffisamment froide ;
- Hauteur seuil de fabrication : hauteur de neige cible à atteindre avant de mettre fin à la fabrication de neige ;
- Hauteur et débit du canon typique utilisé à la station ;
- Séquences d'enneigement : séquences d'enneigement chronologiques du territoire qu'il est possible d'enneiger avec de la neige fabriquée.

Les paramètres d'opération initiaux sont établis de concert avec les stations étudiées. Un jeu de paramètres propre à chaque station a été utilisé lors des phases de modélisation. Le modèle est également calibré par rapport aux heures d'enneigement historiques recueillies à chaque station afin de modéliser adéquatement les séquences d'enneigement. Le modèle reproduit le surfaçage quotidien des pistes effectué par les dameuses lors de la saison de ski, se limitant à un passage de dameuse par jour.

3.2.1 Modélisation du couvert de neige par le modèle

Dans le cadre de cette recherche, des modélisations verticales en une dimension (1D) du couvert de neige sont effectuées avec le modèle Crocus-Ski. Cela signifie que le couvert de neige est modélisé sur un point précis d'une piste que l'on situe à la mi-montagne. En émettant l'hypothèse que l'évolution du couvert de neige d'une piste est équivalente à celle d'un point situé à la mi-montagne, la modélisation de ces points permet d'évaluer l'évolution générale des pistes sur toute leur longueur.

Selon Desrochers (Desrochers, 2016), le modèle Crocus-Ski permet de générer des couverts de neige représentatifs de l'allure générale des pistes de ski. Certains écarts sont observés entre les couverts de neige modélisés et les couverts de neige observés. Ces écarts sont pour la plupart attribuables aux hypothèses guidant l'élaboration du modèle d'accumulation de neige et de surfaçage des pistes. Par exemple, le modèle distribue spatialement le volume de neige fabriquée ou la chute de neige naturelle de manière uniforme sur toute la surface d'influence du canon. Cette approche ne correspond pas exactement à ce qui est observé sur le terrain, les précipitations nivales ne se déposant pas de façon uniforme sur toute la surface en raison notamment de l'influence du vent et des obstacles.

Lors des séquences de fabrication, la neige fabriquée ne se dépose pas de manière uniforme non plus. Le volume de neige fabriquée s'accumule sous forme de monticules sur une section de la piste et est ensuite étalé mécaniquement par les dameuses sur la piste. Le modèle permet d'estimer une hauteur représentative du couvert de neige calculée en fonction du volume de neige produit par rapport à la surface d'enneigement attribuée au canon.

De la même manière, la modélisation de l'entretien des pistes lors du passage de la dameuse ou de la rotobèche implique l'homogénéisation d'une masse identique de neige en surface à chaque passage. Il est probable qu'en situation réelle, la masse de neige travaillée fluctuera d'un passage à l'autre ainsi que d'une section de piste à l'autre. Il est impossible de quantifier précisément le travail mécanique réalisé par la dameuse ou par la rotobèche, les hauteurs de neige modélisées ne s'accordent pas précisément avec les données observées, mais elles sont globalement fidèles à la réalité.

3.2.2 Modélisation des séquences de fabrication

Le modèle Crocus-Ski reproduit l'enneigement progressif des montagnes de ski. Il représente que l'enneigement se produit par séquence, qui sont lancées une après l'autre à différents points spécifiques de la montagne. Autrement dit, en fonction des capacités d'enneigement de chaque station, l'enneigement de celle-ci est divisé en un nombre déterminé de séquences d'enneigement, chaque séquence représentant l'ouverture ou le déplacement d'un canon sur un point de la montagne (voir Figure 4).

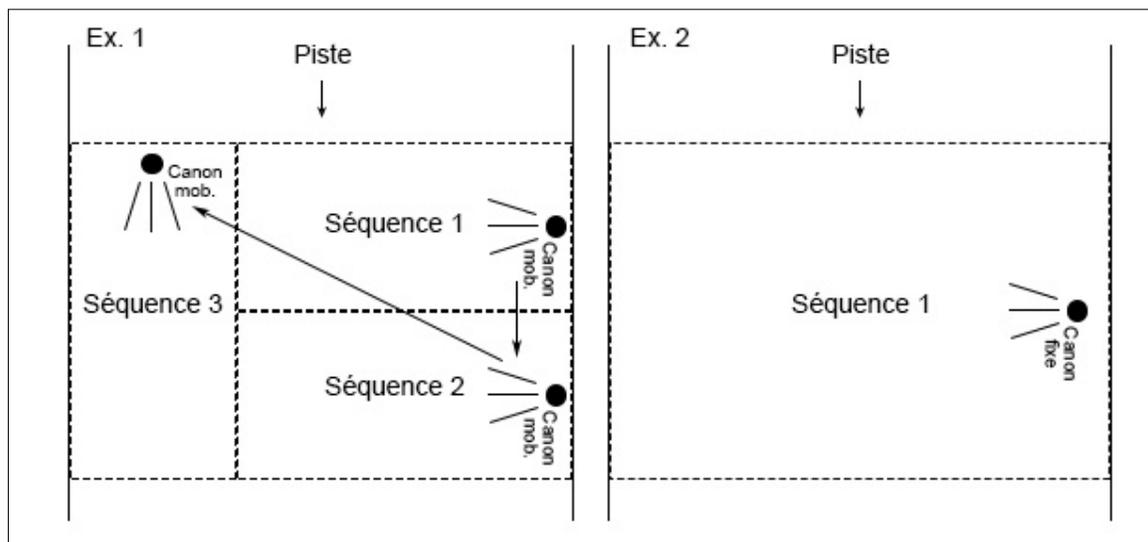


Figure 4 : Représentation des séquences d'enneigement réalisées avec le modèle de neige

Pour chaque séquence d'enneigement, lorsque la hauteur seuil de fabrication est atteinte (typiquement 30 cm), la séquence de fabrication prend fin et une nouvelle séquence peut commencer. Le moment auquel une séquence de fabrication peut débuter est fonction du moment auquel la séquence de fabrication précédente se termine.

Les séquences d'enneigements sont regroupées en phases d'enneigement. Les phases d'enneigement spécifient les regroupements de séquences qui permettent l'ouverture des pistes lorsqu'elles sont complètement enneigées. Selon la capacité d'enneigement de chaque station, une phase d'enneigement

peut être composée d'une à six séquences d'enneigement. Par exemple, l'enneigement d'une piste peut nécessiter plusieurs déplacements d'un canon mobile, chaque déplacement représentant une séquence d'enneigement. La section de la montagne est considérée ouverte aux skieurs une fois que les séquences de la phase d'enneigement sont terminées. La Figure 5 illustre graphiquement la progression des phases d'enneigement à la station de ski Bromont.

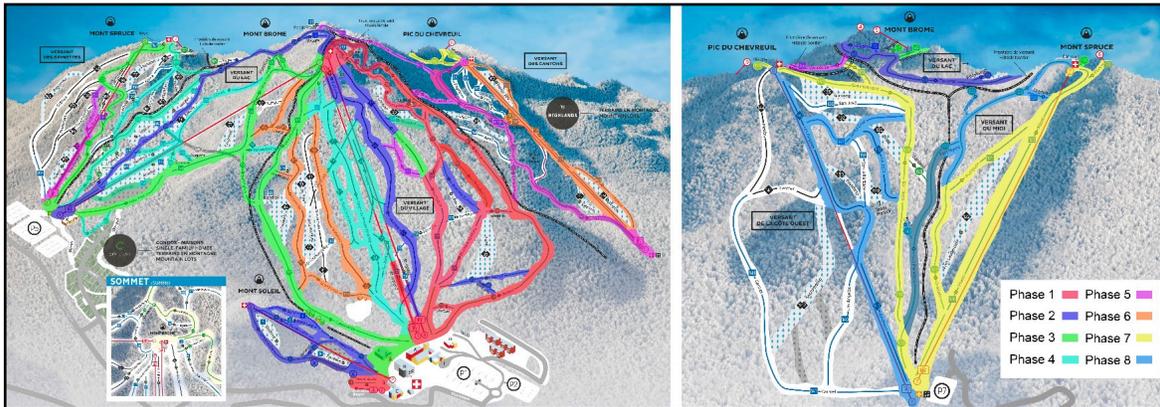


Figure 5 : Phase chronologique d'enneigement des pistes à la station de ski Bromont

À l'intérieur du modèle, lorsqu'une phase d'enneigement est terminée, un délai de 24 heures est imposé avant l'ouverture des pistes. Ce délai est ajouté afin de simuler le temps nécessaire à la fermeture des canons à neige et à leur démobilitation dans le cas de canons mobiles, ainsi qu'à la préparation des pistes par les dameuses.

Un délai de 24 heures est aussi imposé entre deux phases d'enneigement afin de simuler le temps nécessaire à la mobilisation et à l'ouverture des canons sur une nouvelle section de la montagne. Ce délai permet aussi d'absorber les divers retards d'opération pouvant survenir lors des séquences de fabrication (dysfonctionnement ou bris d'équipement, manque de main-d'œuvre, panne électrique, etc.).

Afin d'imiter les pratiques de fabrication observées aux stations de ski, chaque phase d'enneigement est divisée en deux étapes distinctes. La première étape est celle de la construction de la piste et la deuxième, son resurfaçage. Dans le modèle, la première étape doit se dérouler avant le 15 janvier et sert à la construction initiale du couvert de neige des pistes. Tel que spécifié plus haut, lorsque toutes les séquences de construction d'une phase sont terminées, les pistes associées peuvent être ouvertes. Après le 15 janvier, une deuxième étape d'enneigement des pistes peut être entamée : le resurfaçage. Cette deuxième étape est effectuée principalement pour augmenter l'épaisseur de neige des pistes et pour ajouter une couche de neige fraîche sur les pistes afin d'améliorer les conditions de glisse de celles-ci. Une fois cette deuxième étape complétée, le volume de neige ajouté sert à assurer la skiabilité des pistes jusqu'à la fin du mois d'avril. Pour les modélisations réalisées pour Bromont et Sutton, les séquences de fabrication de la deuxième étape ont été effectuées seulement la nuit (entre 9h du soir et 6h du matin), ce qui permet l'ouverture des pistes durant le jour. Pour Orford, la phase de resurfaçage pouvait être effectuée à toutes heures de la journée, du moment que la température de l'air était adéquate à l'enneigement, conformément au *modus operandi* de la station.

3.2.3 Ouverture et fermeture des pistes

En début de saison, l'ouverture progressive des pistes enneigées par la fabrication de neige est déterminée en fonction de la progression de l'enneigement. En tout temps, un couvert de neige d'une épaisseur d'au moins 30 cm doit recouvrir une piste pour que celle-ci soit considérée comme skiable. Des données historiques et des discussions avec les opérateurs ont permis d'élaborer, outre ces règles de base, un système décisionnel plus complexe.

La Figure 6 présente l'évolution modélisée des séquences et des phases d'enneigements des stations ainsi que l'évolution du nombre de pistes ouvertes lors d'une saison type. La distinction entre les séquences et les phases de fabrication est expliquée en détail à la section 3.2.2. Chaque courbe représente une séquence de fabrication. La couleur des courbes distingue les phases de fabrication entre elles. Lorsque la dernière séquence de fabrication d'une phase est achevée, la phase est considérée comme terminée et les pistes correspondantes peuvent être ouvertes. Le nombre de pistes ouvertes sur les stations est intimement lié, en début de saison, aux phases d'enneigement des montagnes. L'épaisseur du couvert de neige naturelle, les épisodes de précipitation de neige et de pluie et la température font fluctuer le nombre de pistes ouvertes aux stations. De plus, les périodes d'achalandage important affectent l'ouverture des pistes modélisée. En effet, une ouverture plus rapide des pistes est prévue durant la période des fêtes si le couvert de neige naturelle le permet.

Afin de situer le lecteur, certains événements importants sont identifiés à la Figure 6. Dans cet exemple, la première phase d'enneigement, située entre le 15 novembre et le 1^{er} décembre (3 courbes dans l'encadré pointillé) permet l'ouverture de la station avec deux pistes skiabiles le 3 décembre (nombre de pistes ouvertes pointées par l'étoile). Plus tard dans la saison, une chute de neige de plus de 15 cm autour du 27 et 28 décembre entraîne l'ouverture rapide d'une quinzaine de pistes non enneigées (sous-bois et pistes non équipées de canons à neige) le 29 décembre. L'ouverture générée par la chute de neige est accentuée par le fait que l'évènement se situe durant la période des fêtes. Un nombre de pistes maximal est ouvert afin de pouvoir profiter de l'achalandage important durant cette période. Autour du 31 janvier, un épisode important de pluie survient. L'évènement est facilement perceptible par la fonte du couvert de neige qu'il génère. On observe en effet une diminution de la hauteur de neige d'environ 10 cm. Cet épisode de pluie entraîne, par son importance, la fermeture d'un grand nombre de pistes non enneigées. Un événement similaire de pluie entraîne une fermeture importante des pistes non enneigées autour du 14 janvier.

Les pistes qu'il est impossible d'enneiger, incluant les sous-bois et certaines autres pistes, sont beaucoup plus sensibles aux conditions météorologiques que les pistes qu'il est possible d'enneiger. Elles présentent des épisodes d'ouverture et de fermeture beaucoup plus fréquents. Les pistes qu'il est possible d'enneiger, une fois construites, sont plus résilientes pendant la saison. Le couvert minimal de 30 cm est maintenu de façon plus stable pour ces pistes.

Toutes ces informations sont analysées pour les 10 scénarios climatiques et les trente saisons de projection (2020/21 à 2049/50), ce qui permet de documenter l'évolution future des conditions d'enneigement pour la gamme de scénarios climatiques plausibles. Ces scénarios servent de base à l'analyse de l'achalandage et de l'évolution des coûts et des revenus.

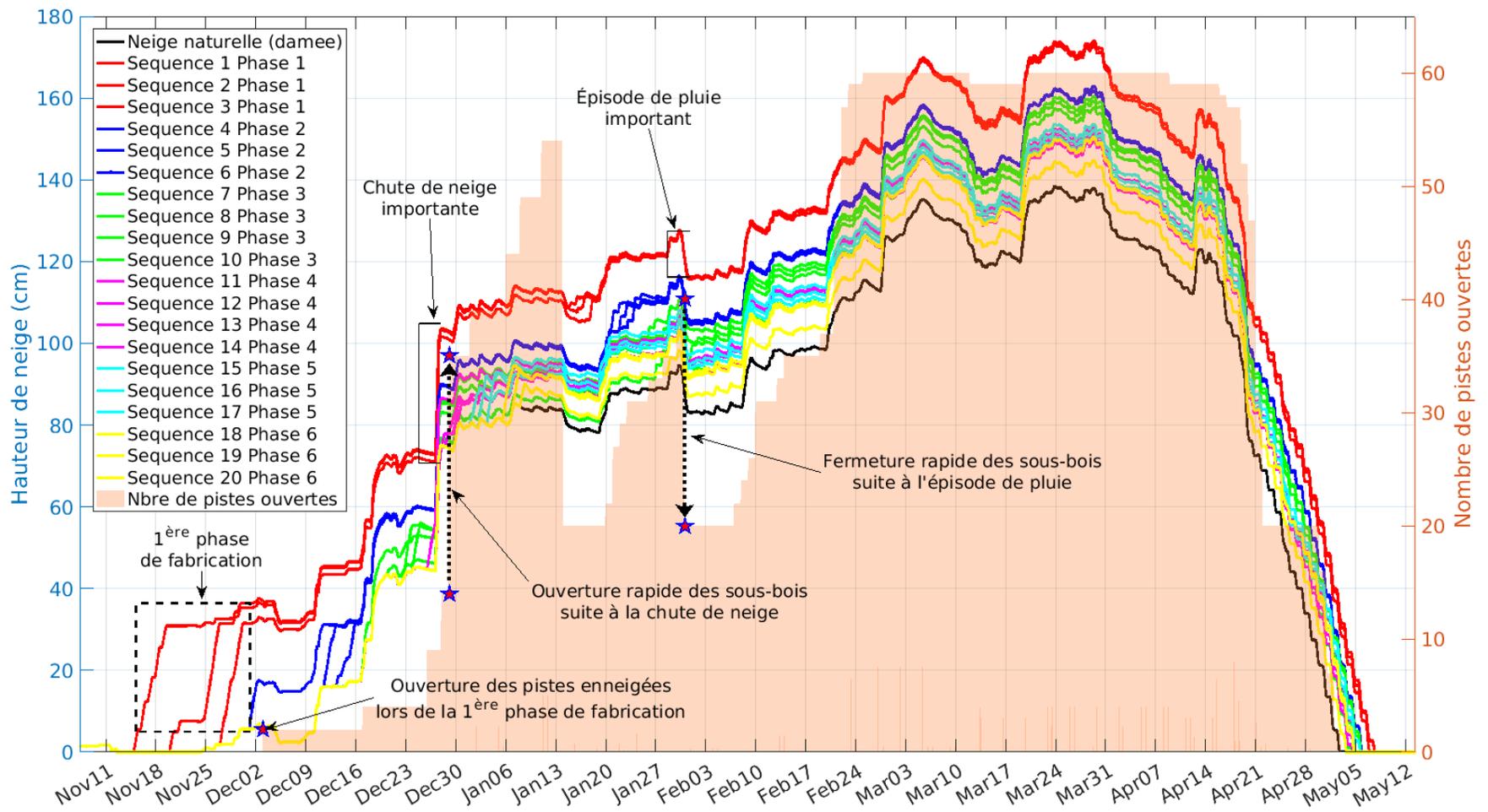


Figure 6 : Projection du couvert de neige naturelle et fabriquée et nombre de pistes ouvertes pour une saison modélisée.

En parallèle, les simulations effectuées avec le modèle permettent de mesurer le temps d'opération requis du système de fabrication et les quantités d'eau utilisées pour obtenir un couvert de neige skiable en fonction des conditions atmosphériques et des décisions d'opération. L'évaluation des coûts d'opération est réalisée sur la base de ces simulations.

Pour chaque saison, une date d'ouverture des pistes ainsi qu'une estimation du nombre de jours d'ouverture de la station sont générées. Sur la base de ces données, des statistiques descriptives sur les conditions d'opération sur l'horizon d'étude sont préparées. Entre autres, pour chacune des stations à l'étude, les indicateurs classiques tels que le « 100 jours » et les probabilités d'ouverture pour la période des fêtes sont calculés pour toutes les saisons modélisées.

3.3 Conditions de la demande

Il n'importe pas seulement d'arriver à estimer la capacité future des stations de ski à offrir des conditions propices à la pratique du ski, mais également de comprendre les comportements des skieurs dans leur fréquentation des stations de ski. Une analyse empirique permet d'identifier les facteurs influençant l'achalandage à la montagne. L'objectif de cette analyse est de pouvoir suivre l'évolution de la demande en fonction des conditions d'opération développées à la phase précédente afin d'estimer les variations dans les revenus tirés de la billetterie et ceux tirés des abonnements saisonniers.

Il existe essentiellement deux grands modes de consommation relativement au ski : l'abonnement de saison et l'achat de billets journaliers. En effet, une partie des skieurs achètent des abonnements de saison qui leur permet de se présenter au centre de ski à leur gré selon les conditions de leur abonnement. Les abonnements constituent une partie non négligeable des revenus de la billetterie : pour la saison 2014/15, ils constituaient de 39 % à 41 % des revenus de la billetterie pour les différentes catégories de station de ski du Québec (Archambault, Germain et Morin, 2015).

Il est à noter que les données disponibles ne permettent pas de segmenter les consommateurs entre les différents sports de glisse pratiqués aux stations de ski. Le terme « skieur » est utilisé de façon générale et inclut les planchistes, les utilisateurs en ski alpin ou télémark, ainsi que les autres utilisateurs de la station qui pourraient pratiquer d'autres sports de glisse. Il se pourrait que les conditions affectent les choix des consommateurs de façon marginalement différente selon l'activité qu'ils pratiquent, mais ces distinctions ne sont pas incluses dans notre analyse.

3.3.1 Billets journaliers

La méthodologie s'appuie sur une modélisation des effets des variations dans les conditions météorologiques et de couverts de neige sur l'achalandage quotidien au niveau de la billetterie telle que suggérée dans Damm et al. (2014) et Hamilton et al. (2007). Pour ce faire, des données d'achalandage quotidien ont été récupérées auprès des trois stations de ski. Les années couvertes par ces données diffèrent entre les stations en raison des mécanismes d'archivage spécifiques aux stations :

- Bromont : de la saison 1998/99 à la saison 2015/16
- Sutton : de la saison 2004/05 à la saison 2015/16
- Orford : de la saison 2011/12 à la saison 2015/16

Plusieurs variables affectant les choix des consommateurs sont incluses dans l'analyse et leur significativité est testée dans des modèles de régression par moindres carrés ordinaires (MCO). La non-

linéarité des variables est testée, ainsi que l'effet des valeurs retardées de certaines variables climatiques et l'interaction entre certaines variables. Les conditions météorologiques observées et projetées pour la région de Montréal sont incluses dans l'analyse.

À partir des modèles d'achalandage quotidiens spécifiés, des projections d'achalandage sont ensuite générées pour chaque scénario et chacune des stations. Le modèle est estimé seulement pour les journées où les conditions d'enneigement prévues permettent l'ouverture partielle ou complète de la station, en accord avec les informations opérationnelles collectées auprès des opérateurs des stations.

Note technique : Lorsque les résidus des régressions ne présentaient pas de non-linéarité et étaient distribués normalement (Belsley, Kuh et Welsh, 1980), que les résidus étaient distribués également autour des variables de prévision et qu'aucune valeur aberrante n'était identifiée à partir des distances de Cook (Cook et Weisberg, 1982), la meilleure spécification a été établie en fonction du R^2 ajusté le plus élevé.

Le R^2 est une mesure statistique qui donne la distance entre les valeurs prédites par le modèle et les observations réelles. Il s'exprime dans l'intervalle 0-1 et plus il s'approche de 1, plus les valeurs prédites sont proches des observations réelles. Le R^2 ajusté est une variation de cette mesure qui prend en compte le nombre de variables explicatives.

Bromont

Les analyses statistiques au sujet de l'achalandage à la station Bromont⁷ ont permis de constater certaines variations et tendances typiques dans la vente de billets. En moyenne, le temps des fêtes – qui inclut les jours entre le 20 décembre et le 4 janvier inclusivement – représente 18,3 % du total des billets vendus de toute la saison, alors que la station était ouverte en moyenne pour 130,7 jours par saison. Typiquement, les jours les plus occupés sont ceux pendant la période des fêtes, ainsi que ceux pendant la semaine de relâche.

En plus des jours de vacances et des conditions météorologiques, les cycles hebdomadaires contribuent de façon importante à expliquer la variation dans le nombre de billets quotidiens. Typiquement, le nombre de billets vendus est au plus bas en début de semaine et augmente du mercredi au dimanche. Cette tendance s'observe toutefois moins clairement lors des périodes de vacances ou de congé scolaire. L'achalandage varie également selon le mois de l'année. Certaines conditions d'opération à la station et certains événements particuliers ont aussi un pouvoir explicatif. Enfin, des variables d'interaction ont été ajoutées pour considérer l'effet combiné de certains facteurs. Par exemple, les précipitations en pluie n'ont pas le même effet un lundi qu'un samedi.

Ces observations nous ont mené à établir des modèles explicatifs incluant des variables binaires (0-1) sur les cycles hebdomadaires et mensuels, les périodes particulières de vacances, ainsi qu'un nombre de variables continues sur des données météorologiques (précipitations, vent, température) à la station

⁷ Pour les statistiques descriptives, deux saisons n'ont pas été incluses puisque les données n'étaient pas disponibles pour la saison complète (saisons 1998-1999 et 2008-2009).

et à Longueuil-Montréal, ainsi que des données d'opération et d'accumulation de neige au sol. La variable de hauteur de neige utilisée pour la station Bromont provient du modèle Crocus-Ski (voir section 3.2.) et représente la hauteur de neige des pistes qui sont enneigées dans la première séquence d'enneigement. La hauteur varie selon les précipitations en neige, la fabrication de neige et la fonte provenant des redoux et des précipitations en pluie.

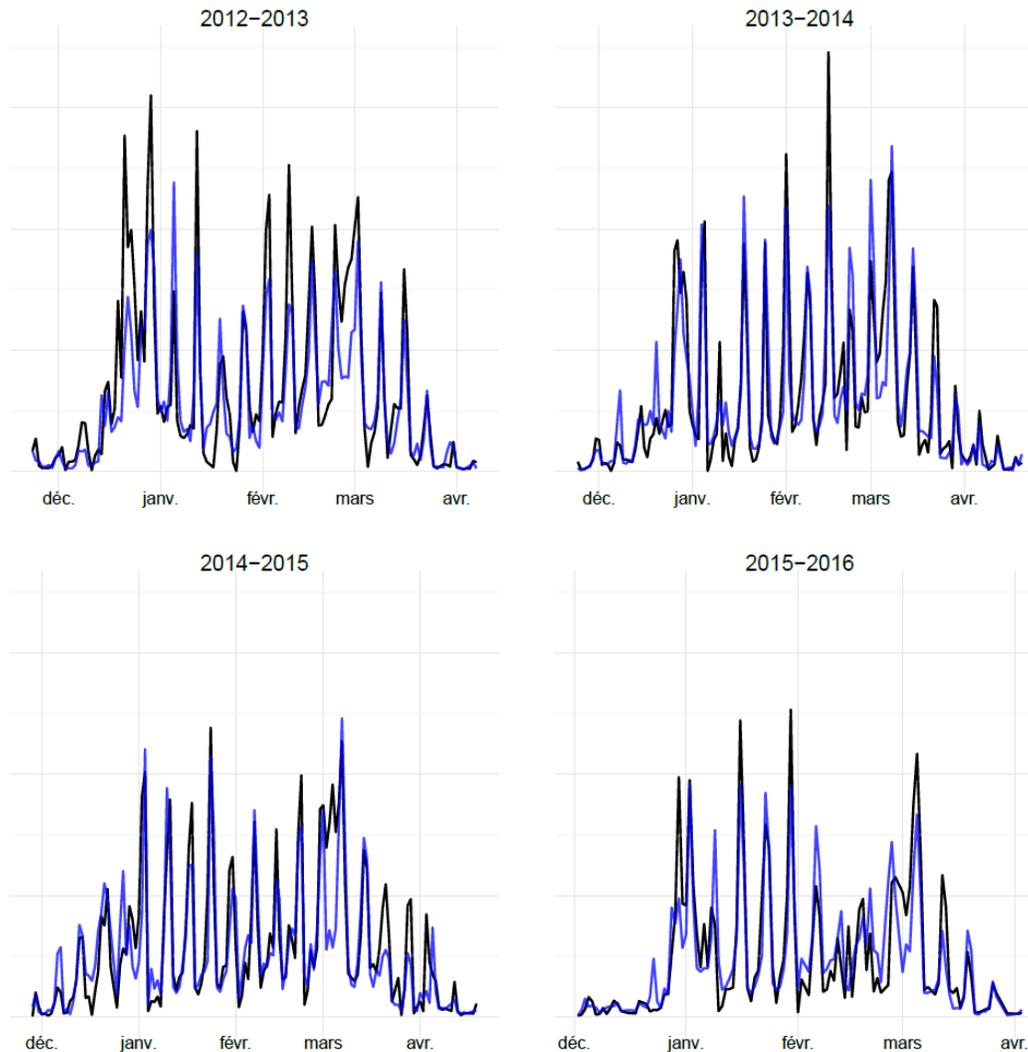


Figure 7 : Station de ski Bromont - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 à 2015/16

Nous avons débuté l'analyse avec l'estimation de modèles linéaires, supposant que les relations entre les différentes variables et le nombre de skieurs se rendant à la station pour une visite unique soient toujours de la même ampleur. Toutefois, certaines variables continues comme la température et la quantité de précipitations n'ont pas des effets linéaires sur le nombre de visites. Par exemple, l'effet d'une diminution de 5 °C à partir d'une température de -25 °C ou à partir de -5 °C a un effet différent sur le comportement des skieurs. C'est pourquoi des formes non-linéaires (racine carrée, logarithmes, cubiques et exposants) de plusieurs des variables continues ont été testées jusqu'à l'atteinte de la meilleure spécification.

La Figure 7 présente à la fois les observations (noir) et les valeurs prédites (bleu) du modèle de régression pour l'ensemble des saisons entre 2012/13 et 2015/16. Les données étaient disponibles à partir de la saison 1998/99. Toutefois, suite aux discussions avec les dirigeants de la station, il a été établi que des changements importants à la station avant 2009 pouvaient biaiser les résultats des analyses. En particulier, le développement de trois nouveaux versants entre 2005 et 2007 (des Cantons, du Midi et de la Côte-Ouest).

Les prédictions découlent du modèle spécifié par régression linéaire qui s'appuie sur 868 observations, soit les saisons 2009/10 à 2015/16. Cette spécification présente un R^2 ajusté de 0,709.

Sutton

Les analyses statistiques sur la station Sutton sur la période où les données étaient disponibles ont permis de constater certaines variations et tendances typiques dans la vente de billets. Les saisons incluses dans l'analyse vont de la saison 2004/05 à la saison 2015/16. En moyenne, le temps des fêtes – qui inclut les jours entre le 22 décembre et le 5 janvier inclusivement – représente 12,7 % du total des billets vendus pour toute la saison. La station est ouverte en moyenne pour 125,9 jours par saison. Typiquement, les jours les plus occupés sont ceux pendant la période des fêtes, ainsi que ceux pendant la relâche.

En plus de varier selon les jours de vacances et les conditions météorologiques, le nombre de billets quotidiens varie selon les jours de la semaine. Typiquement, le nombre de billets vendus est au plus bas en début de semaine et augmente du jeudi au dimanche. Cette tendance s'observe toutefois moins clairement lors des périodes de vacances ou de congé scolaire. Les variations mensuelles sont également importantes pour expliquer les variations d'achalandage. Certaines conditions d'opération à la station et certains événements particuliers comme la journée anniversaire ayant lieu chaque 17 décembre permettent d'anticiper des variations dans l'achalandage.

En intégrant ces observations, des modèles explicatifs ont été produits. Ils incluent des variables binaires (0-1) sur les cycles hebdomadaires et mensuels, les périodes particulières de vacances et certains événements et pratiques de marketing, des données d'opération et d'accumulation de neige au sol, ainsi que certaines variables continues sur des données météorologiques : précipitations, vent, température, humidité relative, radiation visible. Toutes les variables climatiques observées pour la station sont incluses et certaines variables climatiques pour Longueuil-Montréal sont également incluses. Deux variables de hauteur de neige sont utilisées pour la station Sutton. La hauteur de neige de la première piste représente la hauteur de neige des pistes qui sont enneigées dans la première séquence d'enneigement. La hauteur de neige naturelle représente la neige accumulée en dehors des pistes qu'il est possible d'enneiger grâce à la fabrication. La hauteur varie selon les précipitations en neige, la fabrication de neige lorsqu'elle est possible et la fonte provenant des redoux et des précipitations en pluie. Il n'est pas surprenant que la hauteur de neige naturelle soit retenue dans la spécification finale du modèle en surplus de la hauteur de neige de la première piste : cela reflète le fait qu'une partie non négligeable du domaine skiable de la station Sutton est constitué de sous-bois, qu'il est très difficile, voire impossible, d'enneiger grâce aux équipements de fabrication de neige. L'influence des conditions de neige sur le comportement des skieurs s'est montrée significative. Enfin, des variables d'interaction ont été ajoutées pour considérer l'effet combiné de certains facteurs. Par exemple, les précipitations en pluie n'ont pas le même effet un lundi qu'un samedi.

Tout comme pour la station de ski Bromont, nous avons débuté l'analyse avec l'estimation de modèles linéaires, supposant que les relations entre les différentes variables et le nombre de skieurs se rendant à la station pour une visite soient toujours de la même ampleur. Tout comme pour Bromont, la température et la quantité de précipitations n'ont pas nécessairement des effets linéaires sur le nombre de visites. C'est pourquoi des formes non-linéaires (racines carrées, logarithmes, cubiques et exposants) de plusieurs des variables continues ont été testées jusqu'à l'atteinte de la meilleure spécification.

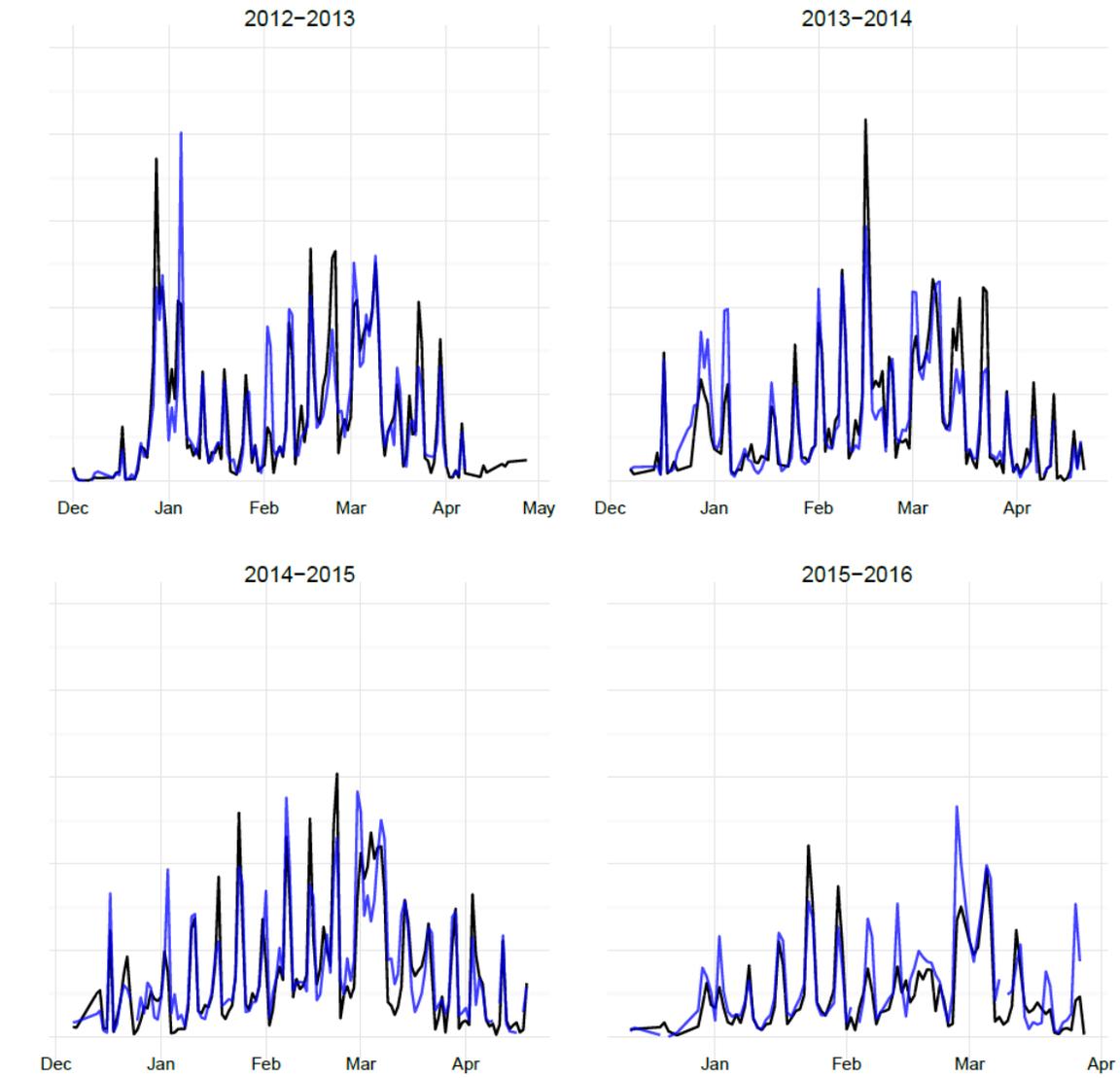


Figure 8 : Station de ski Sutton - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 à 2015/16

À partir de 1 416 jours observés, la meilleure spécification donne un R^2 ajusté de 0,846. La Figure 8 présente les observations (noir) et les valeurs prédites (bleu) du modèle de régression pour les saisons 2011/12 à 2014/15.

Orford

Les données d'achalandage à la station Orford étaient disponibles seulement pour les saisons 2011/12 à 2015/16. Ce sont ces données qui ont servi à l'analyse de la demande de billets. Le temps des fêtes représente en moyenne 11,1 % du total des billets vendus pour la saison. Sur la période historique, la station a été ouverte 115 jours par saison en moyenne. Il est important de noter que ces cinq dernières années ont été particulièrement difficiles pour l'industrie et que les deux autres stations (Sutton et Bromont) ont enregistré une longueur de la saison bien inférieure à leur moyenne historique.

L'analyse statistique a révélé que la vente de la billetterie à la station Orford est influencée par les mêmes variables que les deux autres stations. Les effets de calendrier ont une influence significative. Les événements spéciaux à la montagne n'affectent pas significativement la vente de billets. Les conditions climatiques et les conditions de glisse influencent le nombre de skieurs présents à la montagne. Les skieurs d'Orford répondent aux précipitations de pluie (négativement) et de neige (positivement) et sont plus nombreux lors des journées ensoleillées.

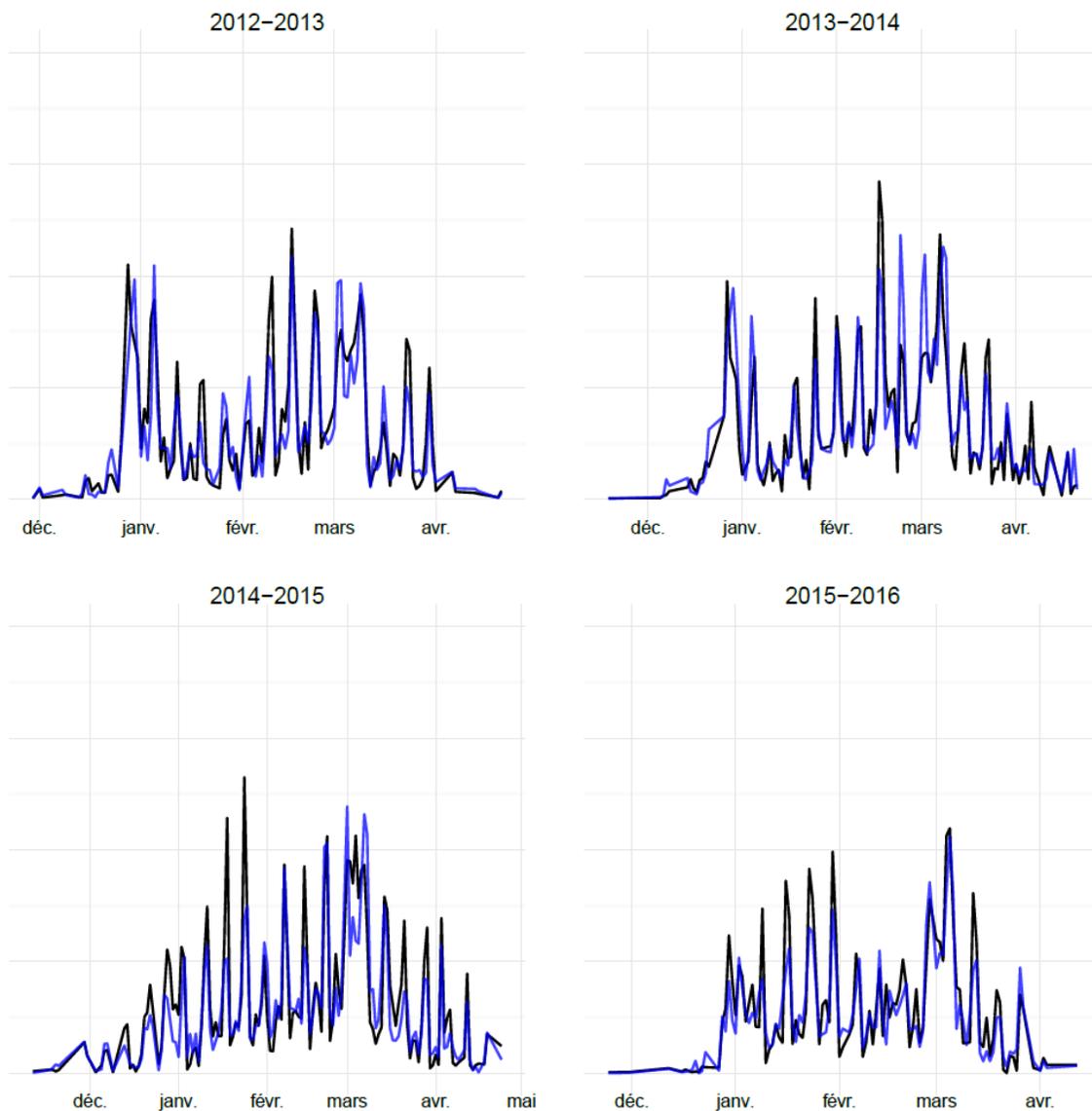


Figure 9 : Station de ski Orford - Observations (noir) et valeurs prédites (bleu) de l'achalandage quotidien (billetterie) pour les saisons 2012/13 et 2015/16

À partir de 579 jours observés, la meilleure spécification donne un R^2 ajusté de 0,792. La Figure 9 présente les observations (noir) et les valeurs prédites (bleu) du modèle de régression pour les saisons 2011/12 à 2015/16.

3.3.2 Projection de la demande

Les résultats des régressions linéaires sont ensuite utilisés afin de projeter l'achalandage futur dans chacune des stations de ski. Ces projections sont réalisées en utilisant les scénarios climatiques, les modélisations futures du couvert de neige et des conditions de glisse. Malgré cette chaîne de modélisation qui vise à reproduire le plus fidèlement l'environnement dans lequel évoluent les stations de ski et la réalité des skieurs qui font le choix de se rendre à la montagne ou non, la réalisation des projections repose sur certaines hypothèses :

- **Longueur de la saison :** En vertu des consultations auprès des exploitants, nous assumons que la saison de ski peut débuter à partir du mois de novembre et se terminer au plus tard à la fin du mois d'avril. Toutes les dates comprises entre novembre et avril pour lesquelles la station présente des conditions d'opérations permettant une ouverture partielle ou complète de la station sont incluses dans les projections.
- **Variations dans la demande de ski :** Les projections relatives à l'achalandage des stations sont effectuées en posant l'hypothèse que seules les conditions météorologiques et les autres variables incluses dans l'analyse font varier la demande. Il est également assumé que ces relations sont constantes. Nous n'incorporons aucune autre tendance dans la variation de l'achalandage futur. Certaines autres réalités du marché pourraient toutefois faire varier la demande de ski, telle que le vieillissement de la population, les modifications des préférences relativement au ski, l'accroissement du revenu disponible, la modification de la nature et des prix des biens substitués, la fermeture permanente de stations de ski dans le nord-est des États-Unis ou en Ontario et les fluctuations à long terme du taux de change. Ces variables ne font pas l'objet de la présente analyse et sont donc supposées constantes et comme n'ayant aucun effet sur l'évolution de la demande.
- **Démographie et croissance économique :** Les projections supposent la stationnarité de la démographie et n'intègrent pas de croissance économique au niveau de la région, et ce, pour quelques raisons. D'abord, les données quotidiennes d'achalandage obtenues ne permettaient pas de constater une contribution importante de la croissance économique à l'achalandage observé à la station. Ensuite, les projections de croissance économique comportant beaucoup d'incertitude sur de longs horizons temporels, l'équipe a préféré ne pas intégrer une source d'incertitude supplémentaire. De plus, la rentabilité des mesures est évaluée de façon relative à la situation sans adaptation. Enfin, bien qu'une croissance démographique pourrait potentiellement augmenter le bassin de skieurs, d'autres facteurs tels que le vieillissement de la population et la concurrence des différents loisirs viendraient influencer le bassin réel des skieurs à la baisse.

- **Élasticité-prix** : Les données obtenues dans l'étude ne permettant pas d'identifier une élasticité de la demande spécifique à la région à l'étude ou à l'Amérique du Nord, l'équipe de recherche a décidé de projeter des prix réels constants et de ne pas évaluer l'effet d'une variation des prix sur la demande. L'évaluation d'une telle élasticité pourrait faire l'objet d'un projet de recherche intégrant l'ensemble des données recueillies par la Chaire Transat.

Sur la base de ces hypothèses, des projections d'achalandage quotidien sont générées pour les saisons 2020/21 à 2049/50. Les projections d'achalandage permettent ensuite, en combinaison avec les projections des conditions d'opération, de modéliser les variations de revenus et de coûts futurs.

3.4 Analyse des revenus et des coûts

Un des objectifs principaux du projet est de quantifier l'effet des changements climatiques sur les paramètres financiers des stations de ski et d'évaluer la rentabilité financière des mesures d'adaptation étudiées. L'atteinte de cet objectif repose sur les résultats produits quant à l'achalandage et aux conditions d'opération futures.

La modélisation de la structure de revenus et de coûts est réalisée à partir des informations financières fournies par les opérateurs de stations de ski alpin qui participent à l'étude de même qu'à partir des données recueillies annuellement dans le cadre de l'étude économique et financière des stations de ski au Québec.

L'analyse intègre à la fois les postes de coûts et de revenus liés aux opérations quotidiennes des stations (charge d'électricité, entretien et réparation, salaires et avantages, etc.) tout en modélisant les coûts associés aux investissements à long terme dans des équipements structurants (remonte-pente, canons à neige, machinerie, etc.). La modélisation vient différencier les revenus et les coûts sensibles au climat de ceux qui sont insensibles au climat⁸. Cette différenciation entre les flux monétaires dépendants ou indépendants du climat permet d'évaluer la sensibilité de la rentabilité financière des stations face aux changements climatiques. Il est à noter que les revenus, les coûts et le taux d'actualisation utilisés sont tous sous leur forme réelle, c'est-à-dire que les montants de l'historique sont ajustés pour l'inflation et que les projections sont réalisées sans poser d'hypothèse sur l'inflation.

Le Tableau 9 liste les revenus et coûts considérés dans l'analyse ainsi que les hypothèses sous-jacentes aux projections de revenus et de coûts en fonction de la sensibilité au climat et aux conditions d'opération. Pour les postes sensibles au climat, les projections sont réalisées en multipliant une valeur unitaire par l'évolution du paramètre de projection. Par exemple, pour les revenus de restaurant, des revenus moyens par jours ouverts sont multipliés par le nombre de jours ouverts dans l'année pour produire un revenu total annuel de restauration.

Les deux plus importants postes de revenus, soient les revenus de billetterie et d'abonnement ont fait l'objet d'une modélisation plus complexe qui a été décrite partiellement dans la section précédente. Pour la billetterie, les projections du nombre de billets vendus découlant des analyses de demande sont utilisées pour générer un revenu total annuel de billetterie. Le nombre de billets est multiplié par un prix moyen du billet correspondant au prix moyen historique. Le prix moyen correspond typiquement

⁸ Par exemple, les coûts de marketing sont des coûts qui devraient être insensibles aux fluctuations du climat alors que les coûts d'enneigement seront fonction des conditions climatiques et de la demande.

à environ 40 % du prix régulier d'un billet journalier en fonction de la station. Le prix moyen réalisé est une fraction du prix régulier d'un billet journalier parce que les visiteurs ont le choix entre plusieurs types de billets – leur donnant accès à la station pour une demi-journée, quelques heures ou une soirée, par exemple – et que le prix de ces billets est plus bas que celui d'un billet pour une journée entière.

Tableau 9 : Postes financiers et hypothèses de modélisation⁹

Poste financier	Poste sensible au climat ou aux conditions d'opération	Paramètres de projection
Revenus		
Billetterie	Oui	Multifactoriel
Abonnement	Oui	Nbr de jours ouverts, nbr de pistes, date d'ouverture, date de fermeture
Revenus restaurant	Oui	Nbr de jours ouverts
Revenus école de ski	Non	
Revenus boutique	Oui	Nbr de jours ouverts
Revenus location	Oui	Nbr de jours ouverts
Revenus estivaux	Non	
Revenus annuels	Non	
Coûts		
Salaires billetterie, remontées, patrouille, restaurant, location.	Oui	Nbr de jours ouverts
Salaires garage, équipement, école de ski, boutique, estival, administration, autres	Non	
Salaires fabrique de neige	Oui	Nbr d'heures d'opération, puissance installée
Électricité remontée	Oui	Nbr de jours ouverts, nbr de pistes ouvertes
Électricité éclairage	Oui	Nbr de jours ouverts
Électricité fabrique de neige	Oui	Nbr heures d'opération, puissance installée
Électricité autre	Non	
Produits pétroliers	Non	
Administration	Non	
Marketing	Non	
Autres	Non	

Pour les abonnements, il a été difficile d'établir des relations statistiquement significatives entre les conditions d'opération, les conditions climatiques et de neige et le nombre d'abonnements. L'incapacité à estimer une corrélation claire entre le revenu d'abonnement et ces paramètres ne signifie pas qu'il y a absence de corrélation, mais que nous n'avions pas suffisamment de données et d'information pour l'établir.

⁹ Pour certains des postes financiers, il semble illogique qu'aucune sensibilité au climat ou aux conditions d'opération n'ait pu être observée lors des analyses de corrélation. C'est le cas notamment des revenus de l'école de ski ou des salaires du personnel la boutique. Bien que ces résultats soient contre-intuitifs, il est possible que la structure des revenus ou de coûts spécifiques à ces postes induise une rigidité qui amortit les variations attendues entre le poste financier et des variables climatiques ou d'opération. Pour le cas de l'école de ski, on peut imaginer que certaines personnes achèteront des carnets de leçons en début de saison. Ce faisant, elles vont générer un revenu pour la station même si la saison s'avère très mauvaise.

Dans ces circonstances, des discussions avec les gestionnaires des stations de ski ont permis d'établir un certain nombre d'hypothèses relatives aux projections de revenus d'abonnement. Les projections d'abonnement sont scindées en revenus d'abonnement provenant de la prévente et en revenus d'abonnement provenant de la vente une fois la saison amorcée.

Les revenus de la prévente sont affectés par les conditions de glisse de la saison dernière. Quatre critères de qualité de la saison passée sont utilisés :

- 1) Le nombre de jours ouvert est inférieur à 100.
- 2) Le nombre de pistes ouvertes en moyenne est inférieur à 84 (Bromont) ou 36 (Orford et Sutton).
- 3) La date d'ouverture est après le 15 décembre.
- 4) La date de fermeture de la saison est avant Pâques.

Si moins de deux critères sont respectés, les revenus de prévente correspondent à la moyenne historique. Si deux critères sont respectés, alors les revenus de prévente correspondent à 90 % de la moyenne historique. Si trois critères sont respectés, alors les revenus correspondent à 80 % de la moyenne historique. Si quatre critères sont respectés, alors la prévente correspond à 70 % de la moyenne historique.

Les revenus d'abonnement en cours de saison, quant à eux, varient en fonction de la qualité du début de la saison. Une relation a été établie pour chaque station entre les revenus d'abonnement et le nombre de jours de fin de semaine ouvert avant la période des fêtes et le nombre de jours ouverts pendant le temps des fêtes. Cette relation statistique est ensuite utilisée pour projeter les revenus futurs d'abonnement en cours de saison.

Les catégories de coûts les plus importantes sont les salaires et l'électricité. Pour la plupart des postes en lien avec ces deux catégories de dépenses, le climat et les conditions d'opération font varier leur niveau tel que décrit au Tableau 9.

Concernant l'électricité, l'hypothèse retenue est que les stations restent assujetties à la même classe de tarifs d'électricité sur la période d'analyse. Comme la consommation d'électricité pour le fonctionnement des équipements et pour la fabrication de neige constitue une part importante des dépenses des stations, des analyses de sensibilité sont réalisées relativement aux tarifs d'électricité.

3.4.1 Analyse des trajectoires en situation de non-intervention

À cette étape, la structure de modélisation est complète et permet de projeter la trajectoire des revenus et des coûts sans adaptation en contexte de changements climatiques. Nous employons les dix scénarios climatiques retenus (six pour Bromont) pour l'étude pour évaluer comment l'achalandage, les revenus et les coûts de chacune des stations évolueront pour les saisons 2020/21 à 2049/50.

Ces trajectoires sont estimées en imbriquant le scénario climatique, le scénario correspondant des conditions d'enneigement, les scénarios d'achalandage de billets et d'abonnements ainsi que le scénario de revenus et de coûts correspondant.

À partir de ces scénarios, en plus des informations sur les principales variables pertinentes pour l'opération des stations de ski (précipitations en neige, température hivernale, longueur de la saison,

etc.), les trajectoires des revenus et des coûts en climat futur peuvent être dégagées et évaluées. Ces trajectoires serviront de référence pour évaluer la rentabilité des différentes mesures d'adaptation à l'étude.

3.4.2 Évaluation de la rentabilité des mesures d'adaptation

L'évaluation des mesures d'adaptation à l'étude est réalisée selon un cadre d'analyse de projets privés, c'est-à-dire en se plaçant dans la perspective d'une entreprise privée qui doit prendre des décisions d'investissement. Contrairement à certains projets d'adaptation qui portent sur des projets entrepris et financés par les différents paliers gouvernementaux, il est ici question d'entreprises privées et ce sont elles qui doivent prendre les décisions d'investissement. Le cas particulier du Mont Orford, géré par la Corporation ski & golf Mont-Orford, un organisme à but non lucratif relevant de la MRC de Memphrémagog, aurait pu intégrer les particularités de l'évaluation de projets publics. Toutefois, par souci d'uniformité, les trois cas ont été étudiés à l'aide de la même méthodologie.

L'évaluation des coûts des mesures d'adaptation se base sur le prix de marché actuel des mesures technologiques et une estimation des coûts liés aux adaptations comportementales. Ils incluent les coûts initiaux des investissements, les coûts administratifs, les coûts en main d'œuvre et tous les autres coûts directs pour la station.

Les avantages des mesures d'adaptation sont considérés comme tous les revenus générés ou toutes les pertes de revenus évités par les mesures d'adaptation relativement à la situation sans adaptation. Puisque la situation sans intervention est estimée grâce à un ensemble de scénarios climatiques et de conditions d'opérations, les avantages des différentes mesures d'adaptation sont également liés à ces scénarios. Ainsi, les avantages seront non seulement estimés pour chacune des mesures d'adaptation, mais également pour chacun des scénarios climatiques.

Pour chacune des mesures d'adaptation, un calendrier des encaisses monétaires liées au projet est construit. Lorsque des projets d'investissement ou d'infrastructures ont des effets qui s'étendent sur plusieurs années, il faut y appliquer un taux d'actualisation afin de rapporter les valeurs projetées à une valeur présente. Le taux d'actualisation intègre le coût d'opportunité et la préférence temporelle des agents économiques. Ainsi, des coûts et des bénéfices arrivant plus tôt dans une période ont un poids plus important que s'ils se produisent en fin de période. Dans le cas d'une analyse de projet privé, le taux d'actualisation utilisé pour l'analyse est équivalent au taux d'intérêt nominal des emprunts, puis transformé en taux d'intérêt réel (taux d'intérêt nominal déduit du taux d'inflation). Toutefois, pour la présentation des mesures d'adaptation dans le présent rapport public, un taux d'intérêt réel de 4 % est utilisé pour l'ensemble des stations. Les stations elles-mêmes, dans le cadre de ce projet, ont accès à un outil de visualisation des résultats où ils peuvent entrer le taux d'intérêt qu'elles obtiennent réellement sur le marché. Pour s'assurer que l'analyse soit robuste aux modifications de taux d'intérêt réel, des analyses de sensibilité à 2 %, 6 % et 8 % sont aussi réalisées.

Valeur actuelle nette

La valeur actuelle nette représente la somme du solde des encaisses monétaires liées à la mesure d'adaptation considérée à chacune des périodes. Elle peut être exprimée comme la somme de tous les avantages (A) actualisés à chaque période (t) à laquelle on soustrait la somme de tous les coûts (C) actualisés pour chacune des périodes de l'analyse, de 1 à 30 (t). La période 1 est considérée comme la

saison 2020/21, alors que la période 30 est considérée comme la saison 2049/50. L'actualisation se fait au taux réel (i).

$$VAN = \sum_{t=1}^{30} \frac{A_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{30} \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Plus la valeur actuelle nette d'une option d'adaptation est grande, plus le projet est rentable. Il est à noter que si la VAN est inférieure à zéro, alors l'option d'adaptation est considérée comme n'étant pas rentable et ne devrait pas être considérée, car l'adaptation donne un résultat moins intéressant que le statu quo. Parmi les options d'adaptation qui sont rentables (c'est-à-dire dont la VAN est positive), celle qui présente la VAN la plus élevée est la plus rentable et son implantation est recommandée.

Analyse par seuil de rentabilité

Certaines des mesures d'adaptation se prêtent difficilement à l'analyse coûts-avantages, car il y a beaucoup d'incertitudes sur l'effet des mesures sur la clientèle. Mentionnons notamment les mesures d'adaptation non technologiques, dont plusieurs s'appuient sur le développement de nouvelles activités, de nouveaux produits d'attrait et de transformation de la montagne vers une destination. Or, nous n'avons que très peu d'information sur l'effet réel de ces mesures, car le projet ne prévoyait pas la réalisation d'analyse de marché sur le territoire.

Par exemple, pour l'activité de vélo de montagne à Sutton, il est difficile de connaître le bassin de cyclistes potentiel, leur intérêt pour la montagne et la demande future advenant le développement de l'activité sur la montagne. Par ailleurs, dans une perspective régionale, il est également difficile de savoir si :

- 1) Ces clients sont des cyclistes qui ont substitué une montagne pour une autre (Bromont vers Sutton par exemple) ;
- 2) Les montants dépensés à la montagne pour la remontée mécanique auraient été dépensés dans d'autres activités de loisirs et de culture qui auraient profité à la région ;
- 3) Le bassin de clients et la fréquence des visites futures.

Pour toutes ces raisons, des analyses financières par seuil de rentabilité sont réalisées de sorte à évaluer l'augmentation des revenus permettant de rentabiliser les investissements anticipés. Ce type d'analyse vise à établir certains résultats concrets, par exemple en termes d'achalandage, qui rendraient les mesures rentables. Au même titre que les analyses coûts-avantages, les analyses par seuil de rentabilité utilisent un processus d'actualisation.

4. Impacts des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin dans les Cantons-de-l'Est

Ce chapitre présente les résultats de l'analyse de l'impact des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin dans les Cantons-de-l'Est. Ces résultats nous informent sur l'évolution de la rentabilité financière de l'industrie en l'absence d'adaptation aux changements climatiques. Ceux-ci servent également de scénario de référence au chapitre suivant afin d'étudier la rentabilité des mesures d'adaptation pour les stations de ski participantes.

4.1 Évolution du climat

Avant de plonger dans les analyses des impacts à l'échelle des stations de ski, l'évolution des principaux paramètres climatiques d'importance est présentée. Tel que mentionné dans le chapitre [précédent](#), dix scénarios climatiques sont utilisés dans le projet. Ils couvrent un éventail relativement complet des variations attendues des températures et des précipitations en contexte de changements climatiques.

4.1.1 Évolution des températures

La Figure 10 présente l'évolution des températures hivernales historiques (novembre à mars), de 1979 à 2010, et projetées, de 2020 à 2049, pour la station de ski Bromont. La température moyenne historique à mi-montagne à Bromont a été de $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec quelques saisons particulièrement chaudes au début des années 2000. Les projections suggèrent une augmentation de la température hivernale qui pourrait dépasser les $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vers la fin de l'horizon d'analyse en comparaison à la période 1979-2010. Cette hausse marquée des températures aura de nombreux impacts sur les opérations des stations de ski des Cantons-de-l'Est, notamment sur l'efficacité de leur équipement de fabrication de neige en début de saison en plus d'avoir un effet direct sur l'achalandage à la montagne.

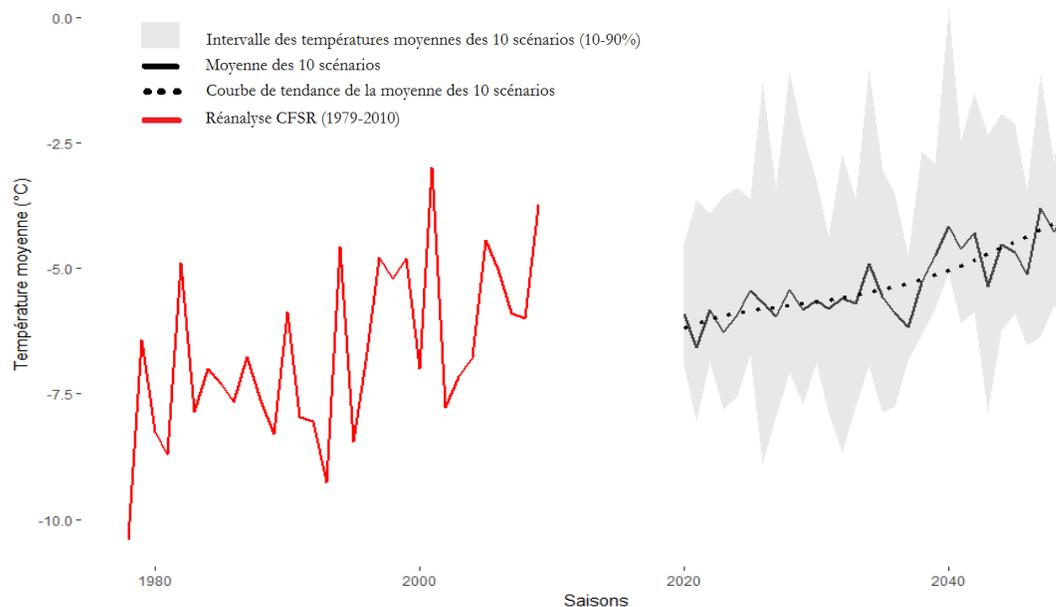


Figure 10 : Station de ski Bromont - Température saisonnière moyenne (novembre-mars) historique et projetée de 1979 à 2050

La zone ombragée présente la variabilité des scénarios climatiques futurs. On peut voir qu'il y a une incertitude importante sur l'amplitude du réchauffement attendu des températures. Cette variabilité n'est pas en croissance sur l'horizon d'analyse et s'explique essentiellement par la variabilité naturelle du climat et des modèles climatiques (en opposition à l'incertitude sur les trajectoires d'émissions).

L'évolution des températures hivernales pour les stations Orford et Sutton est similaire à ce qui est projetée pour Bromont. Le Tableau 10 résume l'évolution des températures hivernales pour les trois stations de ski participantes. En raison de son élévation à 880 mètres à son sommet, Sutton est la station qui bénéficie de la température hivernale la plus froide parmi les trois stations participantes (-8.25 °C pour la période historique).

Tableau 10 : Température moyenne (°C) de novembre à mars, données CFSR et moyenne des scénarios 2020-2049 pour Bromont (6 scénarios), Sutton et Orford (10 scénarios) (données nivelées à mi-montagne)

	Bromont	Sutton	Orford
Période historique 1979-2010	-6.56	-8.25	-7.52
2020 à 2024	-6.10	-7.60	-6.86
2025 à 2029	-5.66	-7.13	-6.36
2030 à 2034	-5.53	-7.02	-6.26
2035 à 2039	-5.53	-7.04	-6.28
2040 à 2044	-4.59	-6.12	-5.36
2045 à 2049	-4.32	-5.86	-5.14

4.1.2 Évolution des précipitations neigeuses

De manière cohérente avec le réchauffement des températures, les précipitations en neige durant l'hiver diminueront significativement pour la région des Cantons-de-l'Est. La Figure 10 montre que la station de ski Sutton, qui est réputée pour recevoir annuellement près de 500 cm de neige, verra son apport de neige naturelle diminuer en moyenne d'environ 15 % au cours des trois prochaines décennies. Cette diminution progressive du couvert de neige augmentera la dépendance aux équipements de fabrication de neige.

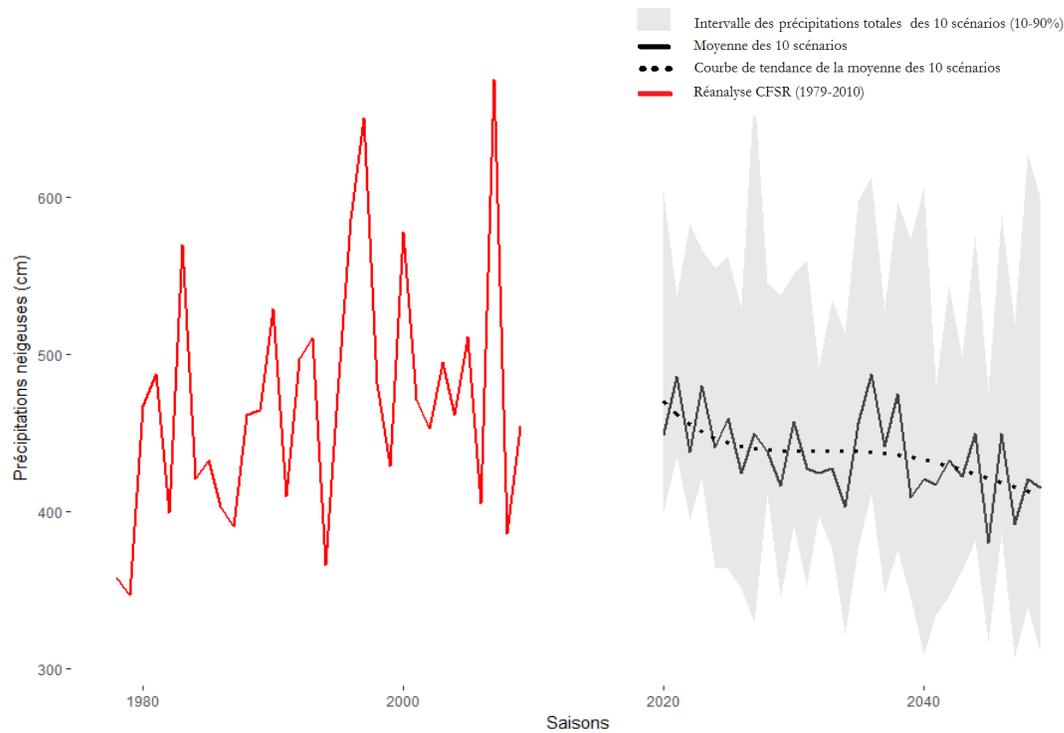


Figure 11 : Station de ski Sutton - Évolution des précipitations en neige historiques et projetées de 1979 à 2050

Le constat est similaire dans les autres stations de ski des Cantons-de-l'Est qui verront les précipitations neigeuses diminuer de manière régulière et significative, tel que consigné au Tableau 11.

Tableau 11 : Précipitations neigeuses de novembre à mars, données CFSR et moyenne des 10 scénarios 2020-2049 pour Bromont, Sutton et Orford (données nivelées à mi-montagne)

	Bromont	Sutton	Orford
Période historique 1979-2010	393 cm	473 cm	419 cm
2020 à 2024	370 cm	459 cm	396 cm
2025 à 2029	358 cm	438 cm	378 cm
2030 à 2034	342 cm	426 cm	362 cm
2035 à 2039	362 cm	445 cm	380 cm
2040 à 2044	331 cm	425 cm	351 cm
2045 à 2049	327 cm	416 cm	349 cm

4.1.2 Évolution des précipitations en pluie

La majorité des scénarios de changements climatiques suggèrent une augmentation des précipitations totales durant l'année. L'augmentation des températures amènera une augmentation des précipitations en pluie durant la saison hivernale, rendant d'autant plus difficile le maintien de conditions de glisse optimales. En plus de mener dans la plupart des cas à la fermeture ponctuelle de la station, les épisodes de pluie lors de la saison accélèrent la fonte de la neige et engendrent des défis importants pour réhabiliter les pistes et s'assurer de maintenir un domaine skiable pour la suite de la saison.

Les changements climatiques vont mener à davantage de précipitations de pluie en hiver (novembre à mars) comme nous pouvons le voir à la Figure 12 pour la station de ski Orford. L'augmentation projetée varie en fonction des scénarios climatiques, mais se situe en moyenne autour de 130 mm de pluie de plus à l'horizon 2050 comparativement à la période historique de 1979-2010.

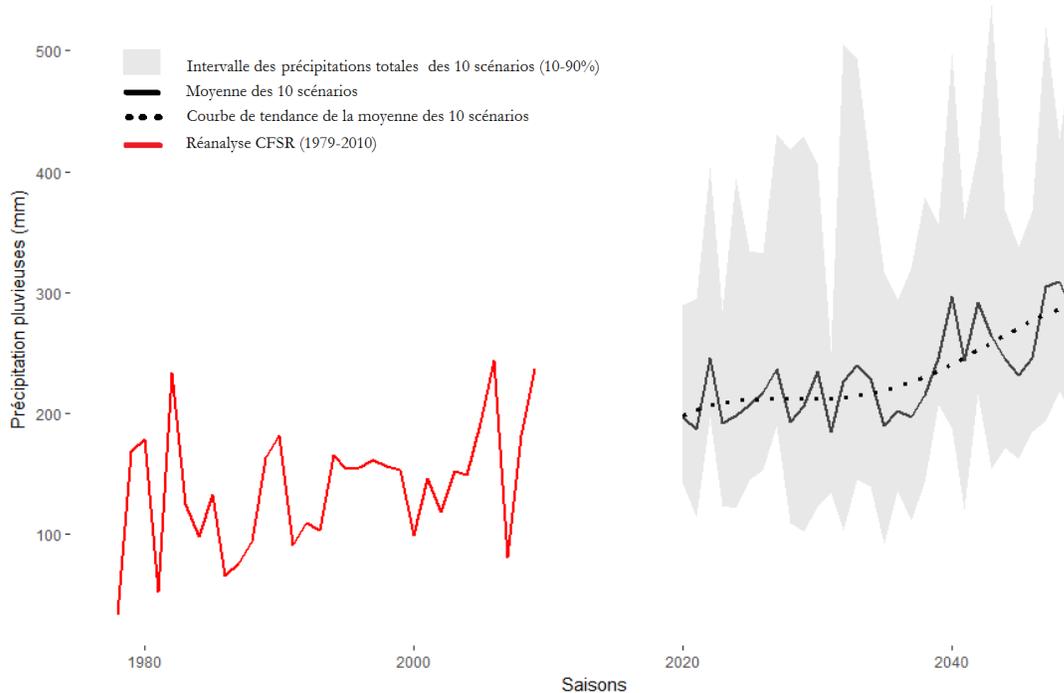


Figure 12 : Station de ski Orford - Évolution des précipitations en pluie historiques et projetées de 1979 à 2050

Le Tableau 12 résume l'évolution des précipitations en pluie pour la période historique et les saisons 2020/21 à 2049/50. De manière similaire à la station Orford, les projections climatiques suggèrent une augmentation moyenne de près de 130 mm de pluie en hiver pour les deux autres stations en comparaison de la période historique 1979-2010. Cette augmentation est plus marquée vers la fin de l'horizon de projection, en particulier à partir de 2040.

Tableau 12 : Précipitations pluvieuses de novembre à mars, données CFSR et moyenne des 10 scénarios 2020-2049 pour Bromont, Sutton et Orford (données nivelées à mi-montagne)

	Bromont	Sutton	Orford
Période historique 1979-2010	189 mm	114 mm	142 mm
2020 à 2024	243 mm	170 mm	203 mm
2025 à 2029	248 mm	176 mm	212 mm
2030 à 2034	256 mm	183 mm	223 mm
2035 à 2039	244 mm	175 mm	210 mm
2040 à 2044	312 mm	231 mm	268 mm
2045 à 2049	317 mm	240 mm	275 mm

4.2 Évolution des conditions d'opération

La combinaison de la hausse des températures et des précipitations liquides de même que de la baisse des précipitations neigeuses va affecter les conditions d'opération des stations de ski des Cantons-de-l'Est. La hausse des températures se traduira par une diminution des fenêtres de froid permettant la fabrication de neige, en particulier en novembre et décembre, période critique pour assurer une ouverture avant la période des fêtes. En même temps, la baisse des précipitations en neige va accroître la dépendance à la fabrication de neige, augmentant potentiellement les coûts de préparation du domaine skiable.

Tel que spécifié à la [section 3.2](#), le modèle Crocus-Ski permet de produire plusieurs informations relatives au couvert de neige et aux conditions d'opération des stations de ski. Ce modèle permet de reproduire fidèlement le mode de fonctionnement des stations en y intégrant les paramètres décisionnels relatifs à la fabrication de neige, à l'ouverture des pistes et à l'ouverture de la montagne aux skieurs. Les figures 12, 13 et 14 présentent l'évolution de ces conditions pour Bromont, Sutton et Orford respectivement. Dans chacune des figures, la date d'ouverture, la durée de la saison, le nombre moyen de pistes ouvertes de même que les heures cumulées d'enneigement sont représentés.

Les analyses suggèrent que pour les trois stations, la date d'ouverture sera retardée graduellement entre 2020 et 2050 d'environ 7 à 8 jours. Les panneaux (A) présentent également trois périodes soient la période du temps des fêtes, celle la précédant et celle suivant le temps des fêtes. La période du temps des fêtes représente une période d'achalandage importante pour les stations. Les graphiques permettent d'évaluer pour combien de scénarios climatiques la date d'ouverture se situe avant, pendant ou après la période des fêtes. Sommairement, il est possible d'observer que la capacité d'ouvrir avant la période de fêtes ne sera pas réellement compromise pour aucune des trois stations au cours de l'horizon d'analyse.

Pour Bromont, la date d'ouverture précède la période du temps des fêtes pour 90 % des saisons modélisées. Pour la station Sutton, la date d'ouverture arrive avant la période des fêtes dans 88,7 % des cas, pendant la période des fêtes dans 10,7 % des cas et après dans 0,7 % de ceux-ci. Orford apparaît comme la station la plus vulnérable alors que pour 22 % des années futures projetées, la station ne serait pas en mesure d'ouvrir avant le 20 décembre. Les facteurs qui expliquent ce résultat ne sont pas connus avec certitude, mais il est probable que la combinaison d'une condition climatique moins favorable que Sutton et d'une capacité d'enneigement moins importante que Bromont explique qu'Orford est la station qui aurait la plus grande difficulté d'ouvrir à temps pour la période des fêtes en l'absence d'adaptation.

La durée totale de la saison sera raccourcie en moyenne d'environ 10 jours pour les trois stations au cours de l'horizon de projection (2020/21-2049/50). Le seuil de rentabilité établi à 100 jours d'ouverture par le secteur restera toutefois atteint pour la très grande majorité des saisons futures (entre 93 et 99 % des saisons futures en fonction de la station).

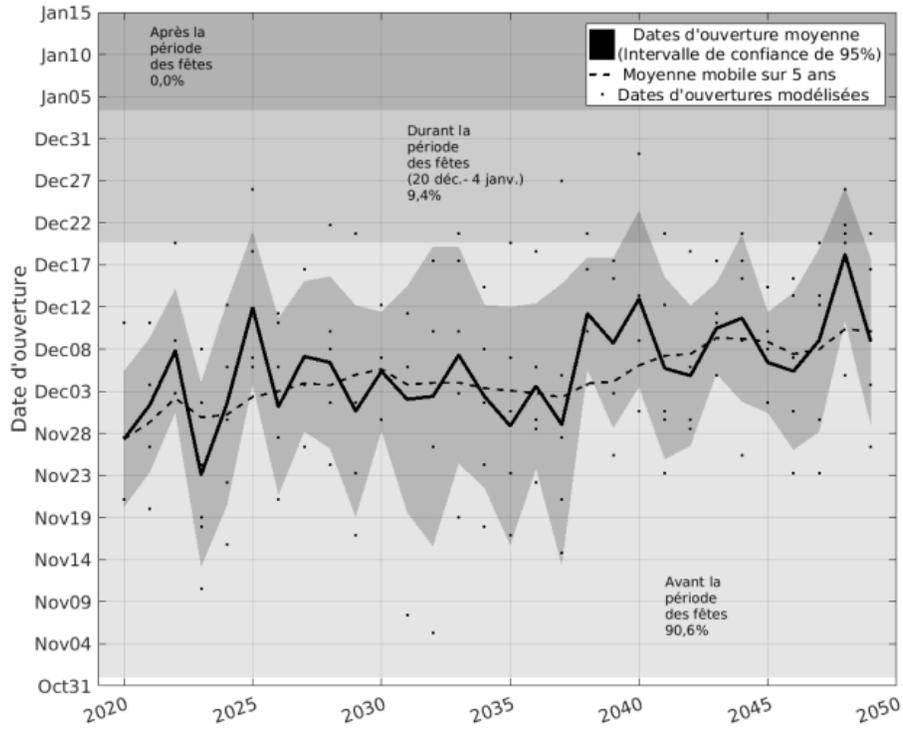
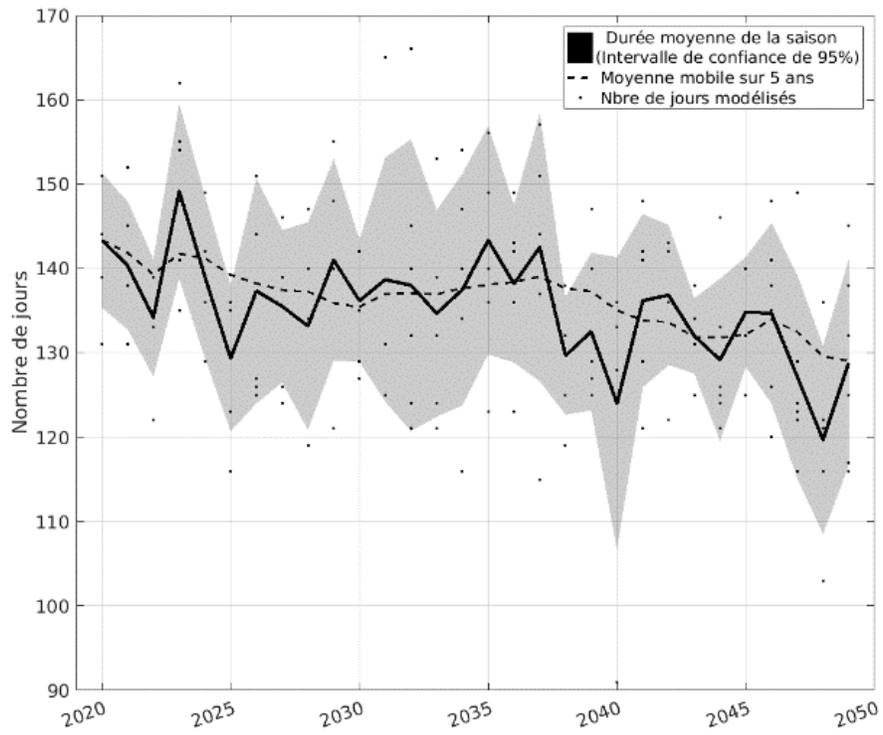
Les projections sur la date d'ouverture et la durée de la saison (panneaux B) permettent d'imaginer ce à quoi pourrait ressembler une saison de ski dans les prochaines décennies. Ces informations ne permettent toutefois pas d'évaluer la qualité des conditions offertes, ce qui influe également sur la rentabilité des opérations. Par exemple, une saison peut commencer très tôt et finir très tard, mais des épisodes récurrents de pluie durant une saison accélèrent la détérioration de l'état des pistes pouvant

réduire de façon considérable l'achalandage des stations. En plus des indices classiques relatifs à la période des fêtes et à la longueur des saisons (indice des 100 jours), il est judicieux d'évaluer les saisons dans leur intégralité afin d'évaluer les effets de l'ouverture complète ou partielle et des conditions d'opération.

À cet effet, les panneaux (C) présentent l'évolution du pourcentage de pistes ouvertes durant la saison. Cet indicateur général de la qualité de la saison montre une tendance importante à la baisse pour les trois stations de ski. Ainsi, même si les stations réussissent globalement à être ouvertes avant la période des fêtes et à offrir une saison de ski qui dépasse le seuil des 100 jours par saison, la qualité des conditions de glisse et de l'expérience client à la montagne sera impactée. Une baisse variant entre 20 et 30 % du domaine skiable en moyenne est projetée pour les trois stations. Cette baisse du nombre de pistes ouvertes pourrait jouer un rôle significatif sur le pouvoir d'attractivité des stations de ski et influencer l'achalandage à la montagne. Tel que mentionné plus haut, ces éléments sont pris en considération dans la projection de l'achalandage quotidien pour chaque station entre 2020 et 2050.

Par ailleurs, les résultats suggèrent que le nombre de pistes ouvertes durant la période des fêtes pourrait chuter de manière importante pour les trois stations. Cela s'explique par la réduction des fenêtres de froid permettant la fabrication de neige à la fin novembre et au début décembre.

Pour Bromont et Sutton, le temps de fabrication (panneaux D) semble assez stable voir en diminution sur l'horizon d'analyse. Au final, la fabrication pour ces deux stations sera davantage décalée dans la saison que réduite ou augmentée en raison des redoux hivernaux. Pour Orford, la situation est quelque peu différente et est conditionnée par les règles d'opération actuelles et en fonction de l'équipement de fabrication de neige présentement en place à la montagne. Le temps de fabrication sera en augmentation menant à une augmentation des coûts de fabrication au cours des prochaines décennies.

A**B**

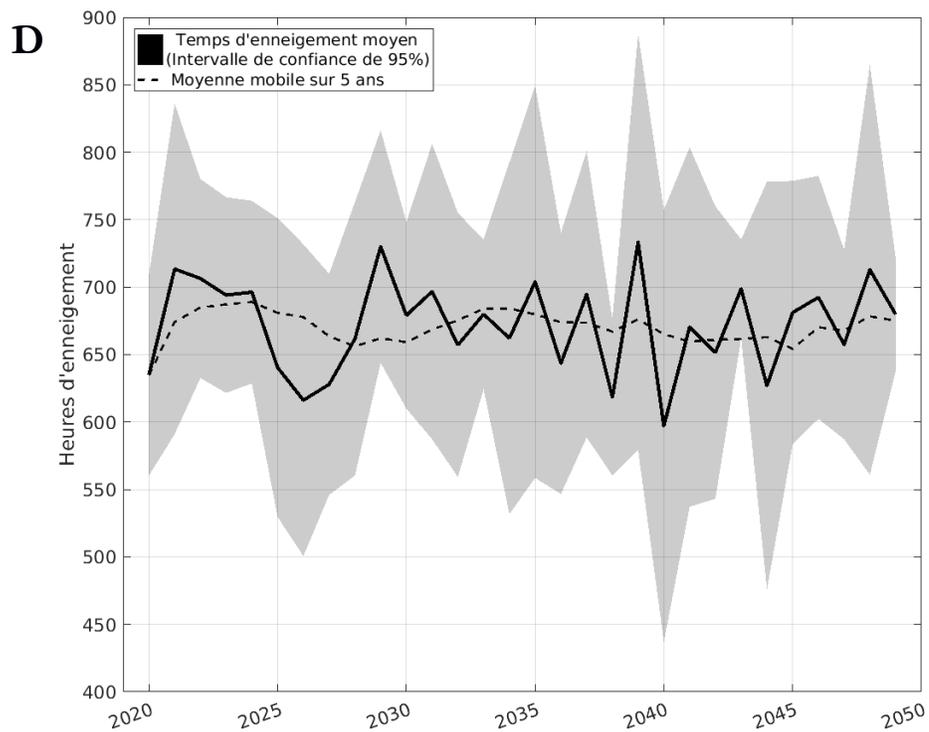
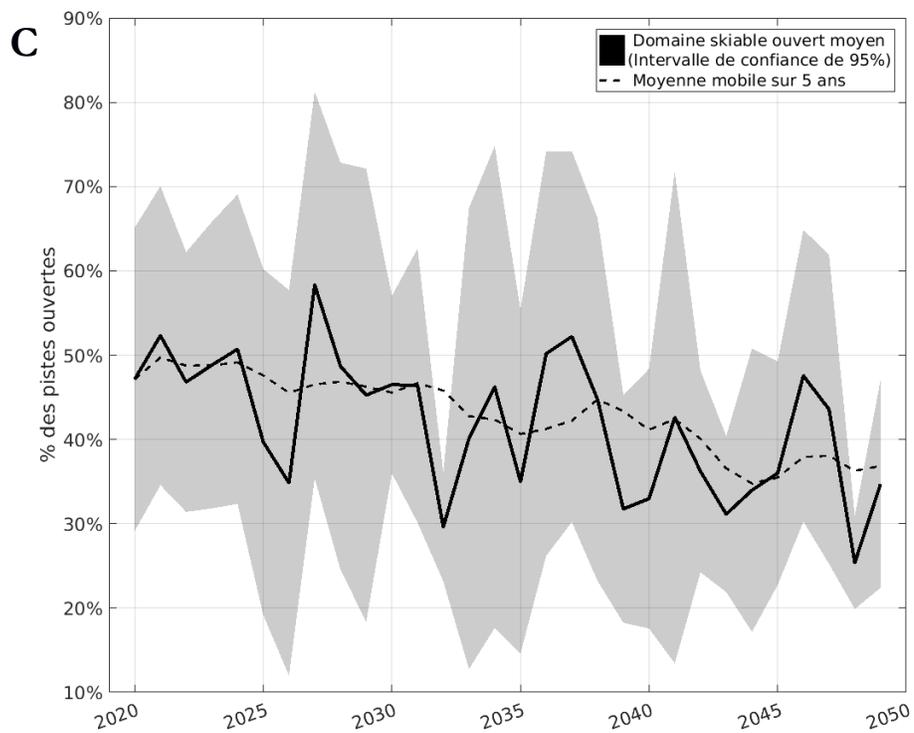
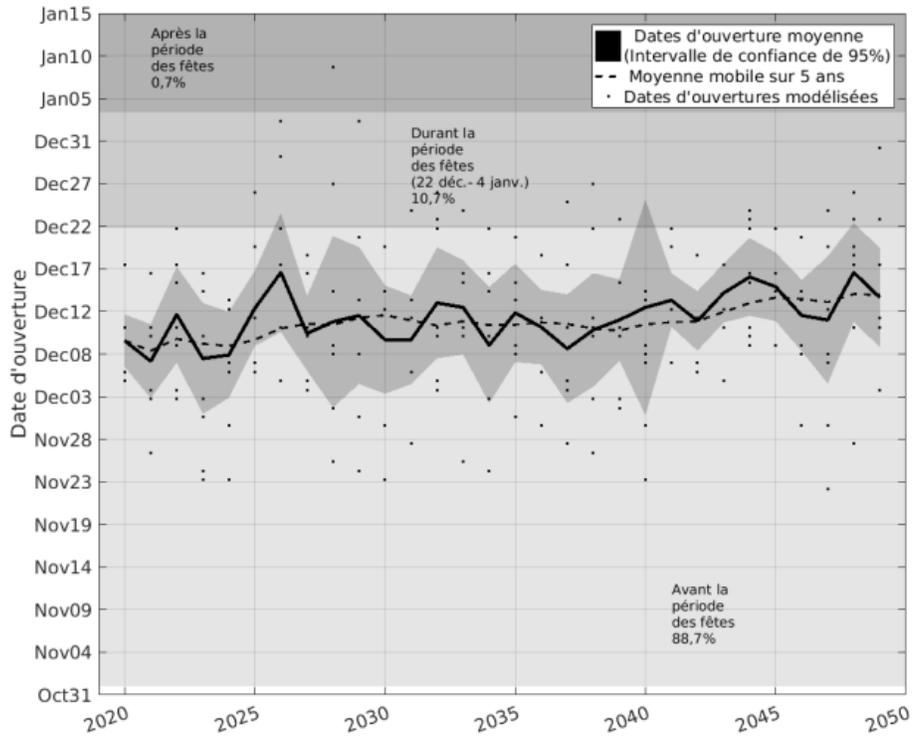
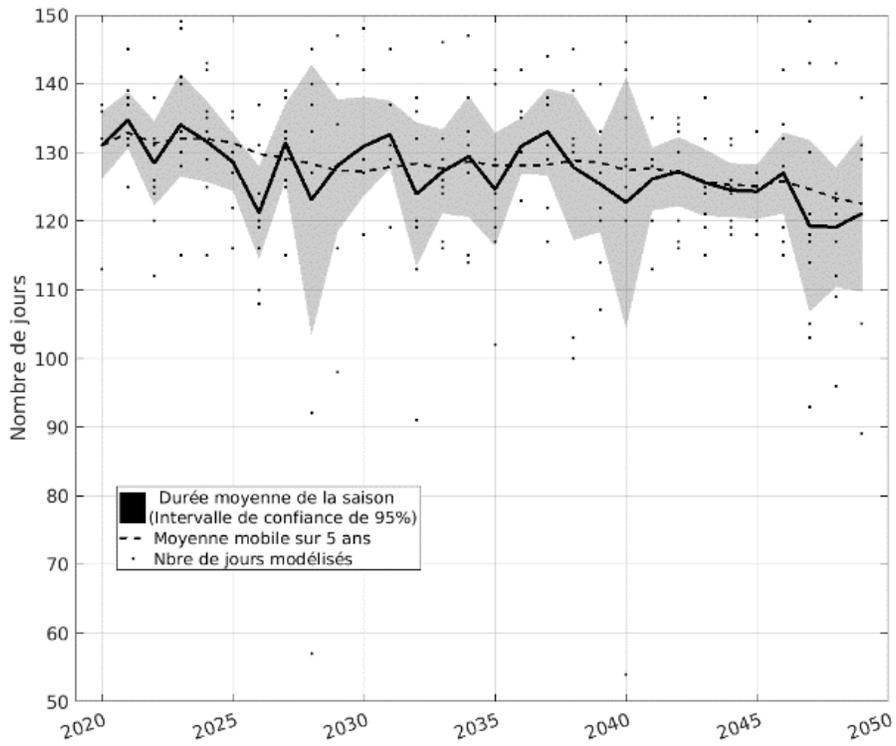


Figure 13 : Station de ski Bromont - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

A**B**

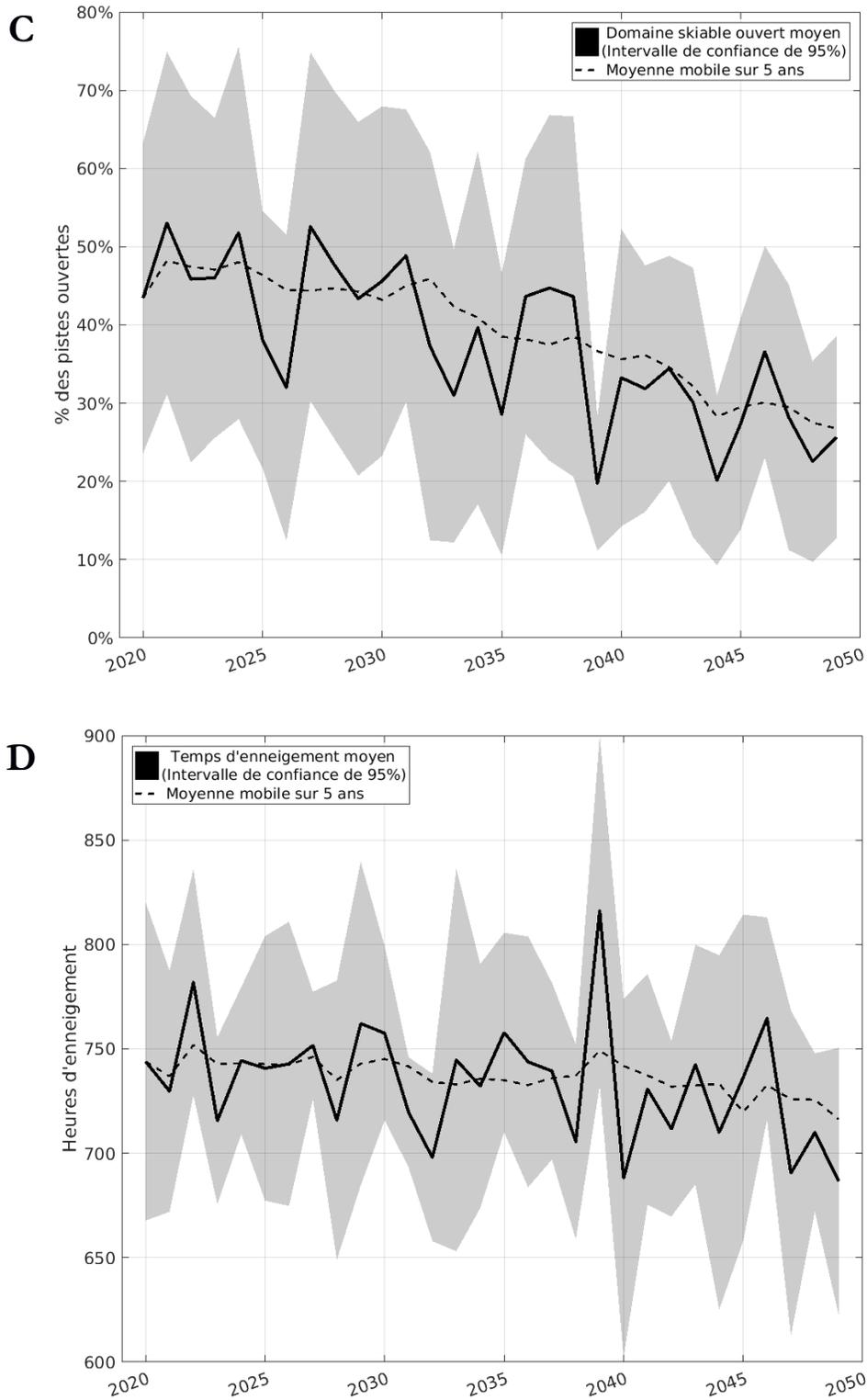
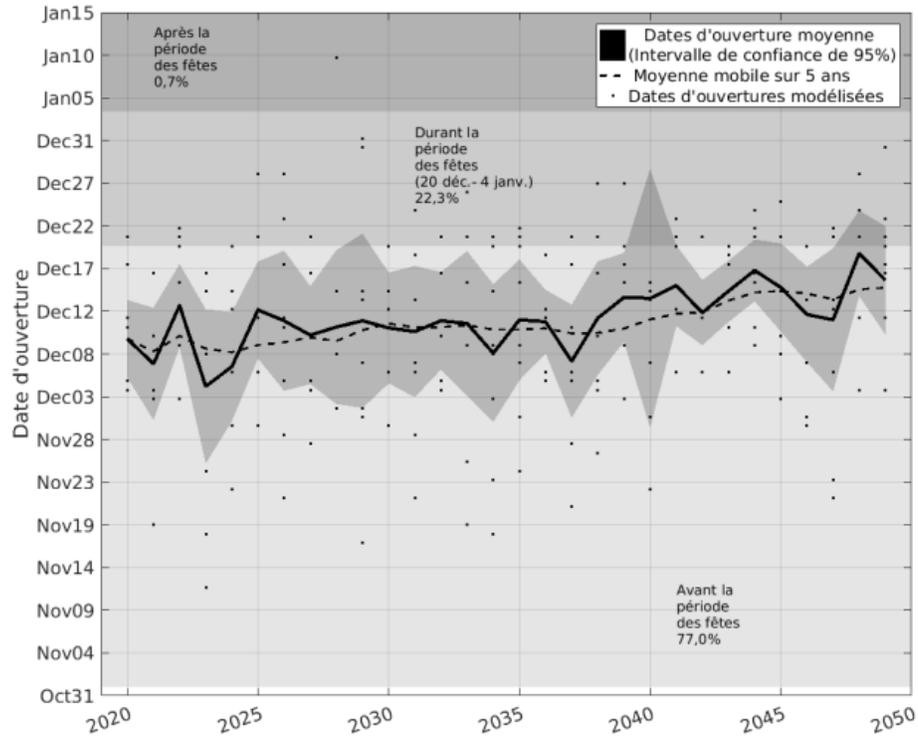
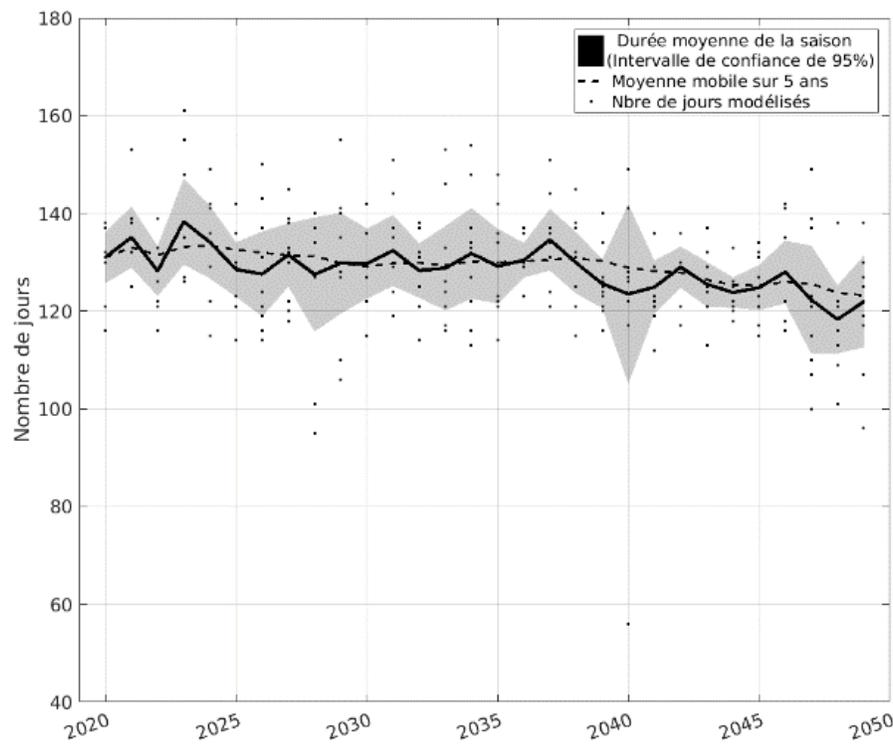


Figure 14 : Station de ski Sutton - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

A



B



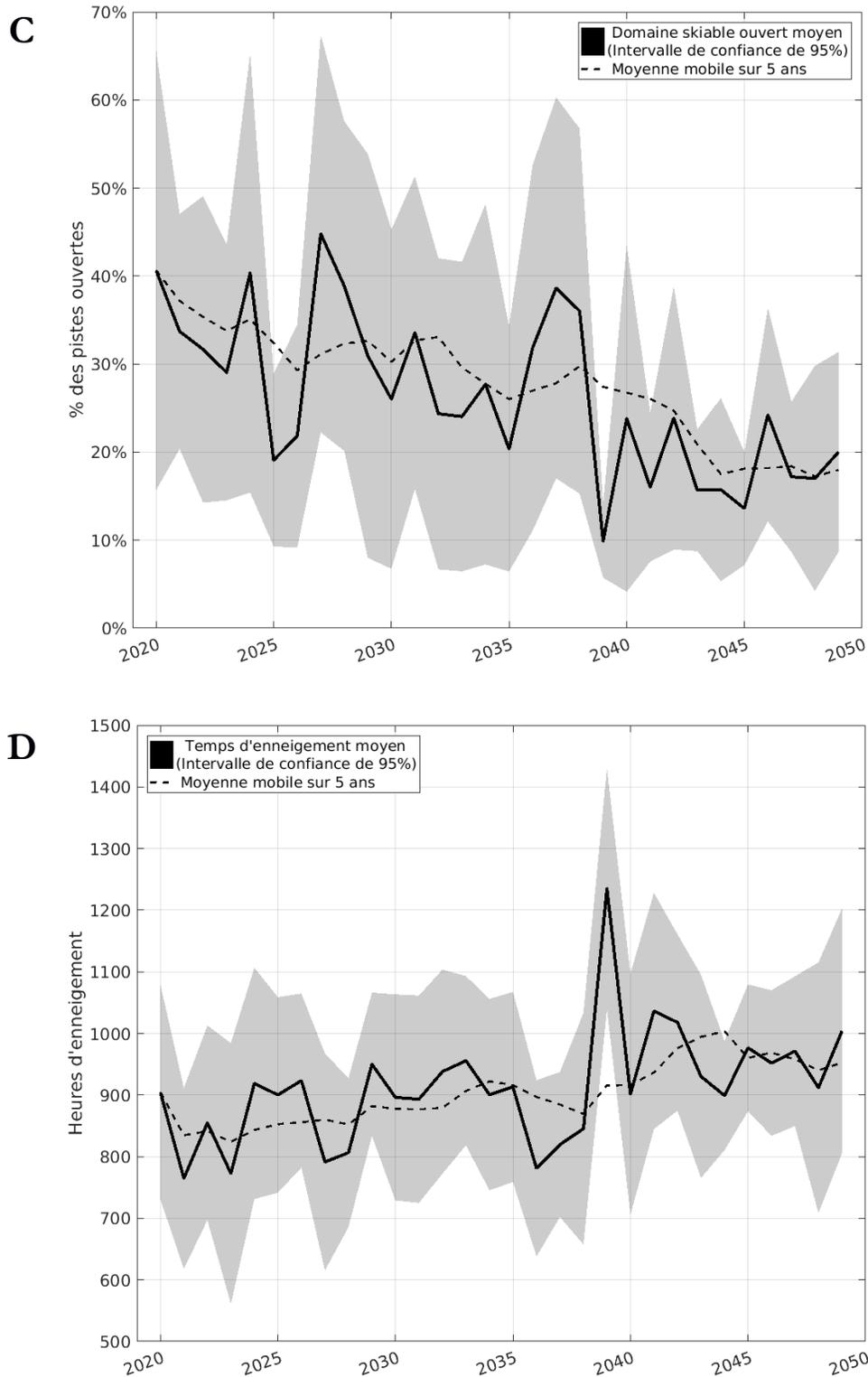


Figure 15 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) % de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

4.3 Évolution de la demande

Les skieurs, face à des conditions de glisse et un climat changeants, modifieront leur comportement de consommation. Les changements climatiques et leurs effets se répercuteront sur le nombre de skieurs présents à la montagne.

Il suffit de regarder les variations historiques de l'achalandage au Québec pour comprendre que les conditions climatiques influencent lourdement le nombre de jours-ski atteint durant la saison (Archambault, Nguyen et Morin, 2016). La saison 2015/16 est probablement l'exemple le plus éloquent de la dépendance de l'industrie à des conditions climatiques propices à la pratique du sport. Cette saison, qui a été reconnue comme la pire depuis les vingt dernières années, a connu des conditions météorologiques exceptionnellement chaudes en décembre, empêchant la majorité des stations de ski de se préparer pour la saison des fêtes. Globalement, les Cantons-de-l'Est ont connu une baisse de 27,5 % de l'achalandage total par rapport à la saison précédente (Archambault, Nguyen et Morin, 2016). Cette saison a contribué à attirer l'attention sur l'impact potentiel des CC sur l'industrie. Elle devient également un point de référence historique utile pour comprendre l'évolution future des conditions climatiques et l'impact potentiel sur l'industrie.

La modélisation des conditions d'opération décrite à la section précédente a été utilisée pour projeter l'achalandage futur. Cette phase de modélisation cherche à projeter de manière réaliste l'évolution dans le nombre de skieurs à la montagne à la lumière des conditions climatiques et d'opération futures.

Les principaux intrants relatifs aux conditions d'opération servant à projeter l'achalandage diffèrent pour chaque station, mais comprennent essentiellement le nombre de pistes ouvertes, la hauteur de neige totale, la hauteur de neige naturelle, la dureté de la neige et le nombre de pistes ouvertes dans les autres stations.

4.3.1 Ventes de billetterie

La modélisation de la demande permet de relier les paramètres climatiques d'intérêt (température, précipitations, ensoleillement, vent, etc.) à la vente de billetterie quotidienne, tel que décrit à la [section 3.3.1](#). Ces relations permettent ensuite de se projeter dans le futur grâce aux projections des conditions d'opération et des conditions climatiques quotidiennes.

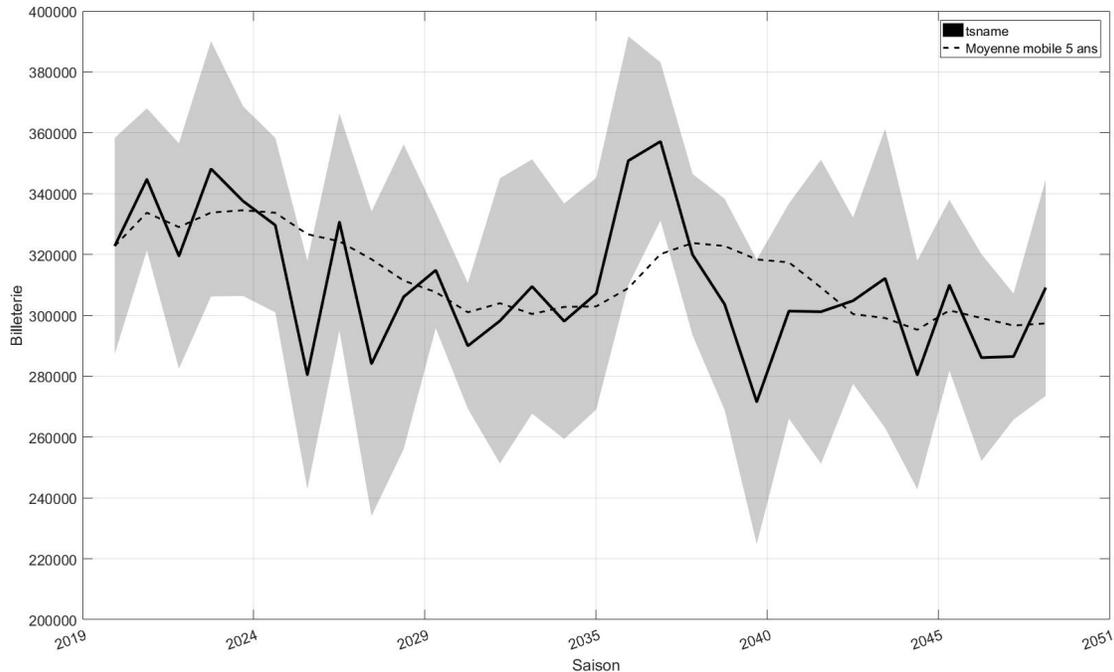


Figure 16 : Évolution des ventes de billetterie entre 2021 et 2050 pour les trois stations participantes de 2020 à 2050

Le résultat de ces projections est représenté à la Figure 16, qui montre l'évolution des ventes totales de billetterie pour les trois stations. Les projections affichent une tendance nette à la baisse qui se solde par une diminution approximative de 10 % des ventes de billetterie au cours des trente prochaines années. Cette tendance s'explique par un léger raccourcissement de la saison, des conditions de glisse qui seront globalement plus difficiles à maintenir en raison de la hausse des températures, de la baisse des précipitations en neige et de l'augmentation des épisodes de pluie en hiver. Il reste cependant que la baisse attendue de l'achalandage est relativement modeste au cours de l'horizon d'analyse et que la variabilité naturelle du climat reste le facteur déterminant de la qualité de la saison. On peut voir par exemple que les saisons 2036 et 2037 présentent en moyenne le plus grand nombre de billets vendus alors qu'ils sont en milieu d'horizon d'analyse. Cela s'explique par le fait que quatre des six scénarios climatiques utilisés pour projeter l'évolution dans les ventes de billets ont affiché des conditions climatiques favorables au ski. Globalement, la baisse attendue d'environ 10 % de la billetterie est cohérente avec d'autres études réalisées pour les stations du ski au Québec, dont Bleau et al. (Bleau *et al.*, 2012)¹⁰.

La Figure 17 présente l'évolution des ventes de billetterie normalisée pour chacune des stations de ski participantes. L'impact des changements climatiques sur la billetterie des trois stations est relativement

¹⁰ Ces résultats tendanciels camouflent évidemment de l'information sur la fréquence des bonnes et mauvaises saisons. Il peut être important de s'attarder à l'occurrence des mauvaises saisons successives qui peuvent menacer la pérennité des stations de ski en impactant leur capacité à réinvestir dans les opérations de la montagne afin de demeurer concurrentielles. L'équipe de projet n'avait pas accès à une information stratégique sur les seuils critiques pouvant menacer les activités des stations. Dans les recherches futures, il pourrait être intéressant de s'attarder à ce point.

similaire, soit une baisse progressive des ventes de billets sur l'horizon d'étude. La moyenne des saisons 2011/12 à 2015/16 est utilisée comme base pour la normalisation. Ces cinq saisons ont été particulièrement difficiles pour les stations de ski participantes en termes de ventes de billetterie, spécialement la saison 2015/16. Ce faisant les projections futures tendent à montrer des ventes de billetterie qui sont supérieures à la moyenne des cinq dernières saisons en début d'horizon de projection.

Une autre explication concernant les projections de billetterie supérieure aux dernières années pourrait également provenir des difficultés à répliquer précisément le *modus operandi* des stations de ski en matière d'ouverture et de fermeture de la montagne en cours de saison. En particulier, nous savons que certaines stations ouvrent seulement la fin de semaine en début ou en fin de saison même si les conditions de neige pourraient permettre de rester ouvert toute la semaine. C'est le cas notamment à Sutton. Lorsque l'estimation du modèle suppose que la station est ouverte alors qu'elle ne l'est possiblement pas, l'achalandage projeté pour ces jours suppose une légère surestimation de l'achalandage. Ces skieurs potentiels pourraient déplacer leur visite à la fin de semaine ou ne pas du tout venir à la montagne. Il est difficile d'évaluer l'ampleur de ce biais. Ceci étant dit, l'information la plus importante et la plus parlante est l'évolution anticipée au cours de l'horizon d'analyse, puisque si ce biais existe, il est constant sur l'horizon d'analyse. À cet effet, un constat général demeure : les stations de ski des Cantons-de-l'Est devraient connaître une baisse généralisée de l'achalandage d'environ 10 % découlant des impacts climatiques si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place.

Par ailleurs, des différences importantes existent entre la sensibilité au climat de chacune des stations. Par exemple, pour Bromont, l'effet d'une bonne ou d'une mauvaise saison est relativement faible sur les ventes de billetterie alors que pour les deux autres stations, les fluctuations dans les ventes de billetterie sont beaucoup plus importantes. Ce résultat est cohérent avec ce qui a été observé dans le passé récent, comme Bromont est moins dépendante des conditions climatiques en vertu d'une plus grande puissance de frappe en matière d'enneigement. Au final, cela se traduit par une relative stabilité dans les revenus de billetterie et de moins grandes fluctuations à la baisse lors des mauvaises saisons. En contrepartie, on peut voir que Bromont ne connaît pas de grande variation positive non plus. Cela peut s'expliquer par le fait que les conditions sont relativement constantes à la montagne, que les conditions météorologiques soient bonnes ou mauvaises. Ce résultat est également cohérent avec ce qui a été observé dans les dernières années alors que l'écart moyen par rapport à la moyenne était d'environ 11 % à Bromont alors qu'il se situait à plus de 20 % pour Sutton par exemple.

4.4 Évolution des revenus et des coûts

L'évolution des ventes de billetterie montre que les revenus tirés des activités de ski devraient suivre une tendance baissière modeste au cours des trente prochaines années. Cette analyse est cependant partielle, car elle n'offre pas un portrait complet de l'évolution de la situation financière des stations de ski dans le futur. Il est primordial de comprendre à la fois comment les revenus et les coûts évolueront dans le futur, car si une station connaît une baisse modeste de sa clientèle, il est possible qu'en parallèle ses coûts d'opération grimpent afin de maintenir de bonnes conditions de glisse. Par ailleurs, les coûts fixes associés aux opérations d'une station de ski peuvent être assez importants. Une baisse d'achalandage n'est pas nécessairement contrebalancée par une baisse proportionnelle dans les coûts.

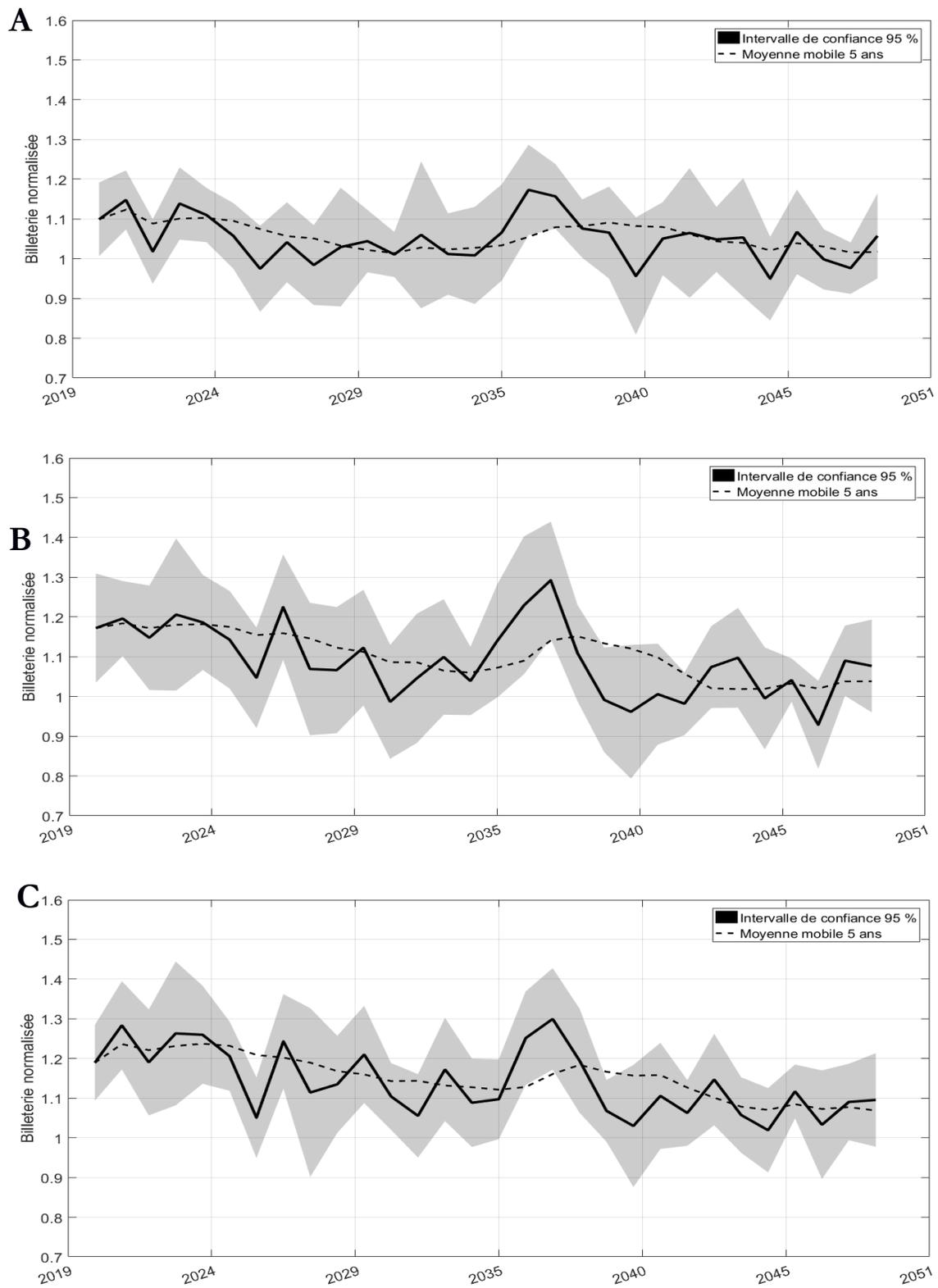


Figure 17 : Évolution des ventes de billetterie entre 2021 et 2050 pour les trois stations participantes de 2020 à 2050 normalisée par rapport aux ventes des saisons 2011/2012 à 2015/2016 pour (A) Bromont, (B) Sutton et (C) Orford.

La modélisation des revenus et des coûts est l'aboutissement de la chaîne de modélisation allant des projections climatiques jusqu'à la projection de l'achalandage en passant par la modélisation du couvert de neige. Les résultats relatifs à l'achalandage, aux revenus et aux coûts calculés sur une base quotidienne sont ensuite convertis en résultats agrégés par saison. L'ensemble des postes de revenus et de coûts des stations ont été projetés (voir Tableau 9). La Figure 18 présente l'évolution des paramètres financiers des stations de ski participantes. Les résultats sont agrégés au niveau des trois stations. Les résultats démontrent que globalement, les revenus totaux des stations de ski vont suivre l'évolution des revenus de billetterie. Les coûts seront également en diminution, mais de manière moins prononcée. Globalement, cela veut dire que la marge bénéficiaire en l'absence d'adaptation pourrait graduellement être grugée. Considérant les faibles marges dans l'industrie et surtout la grande variabilité inter-saisonnière, cela signifie une pression accrue sur les stations pour rentabiliser leurs activités.

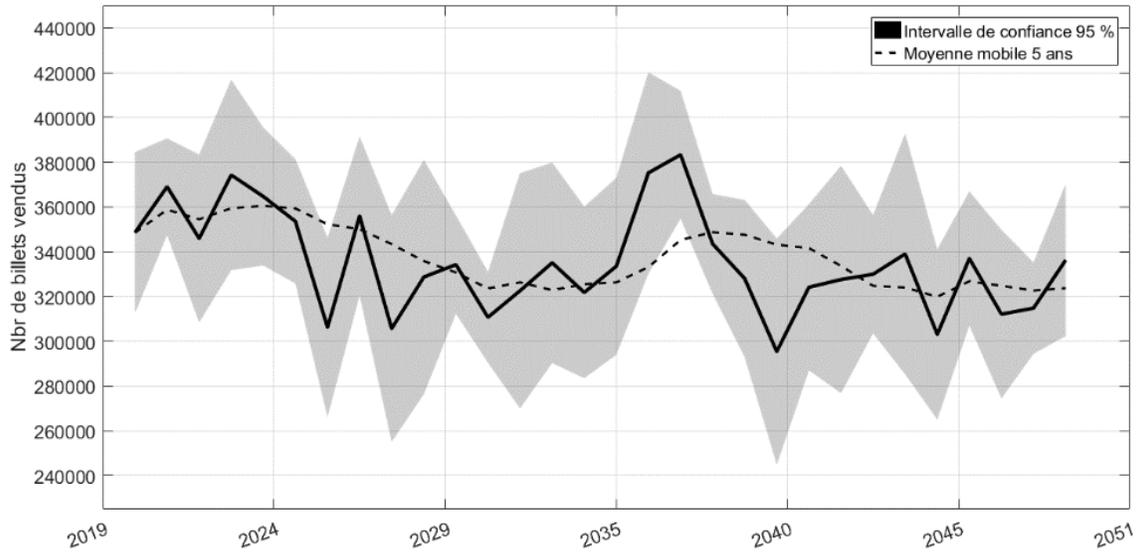
Tableau 13 : Évolution des indicateurs de revenus et de coûts totaux à l'horizon 2020-2050, en dollars de 2015

	Nombre de jours ouverts	Revenus /jour ouvert	Coûts /jour ouvert	Bénéfices /jour ouvert
2020 à 2024	123,7	264 288 \$	233 081 \$	31 207 \$
2025 à 2029	116,4	269 232 \$	242 745 \$	26 487 \$
2030 à 2034	117,6	264 380 \$	240 007 \$	24 373 \$
2035 à 2039	121,5	265 740 \$	236 012 \$	29 728 \$
2040 à 2044	115,0	268 053 \$	244 218 \$	23 835 \$
2045 à 2049	114,1	268 135 \$	244 174 \$	23 961 \$

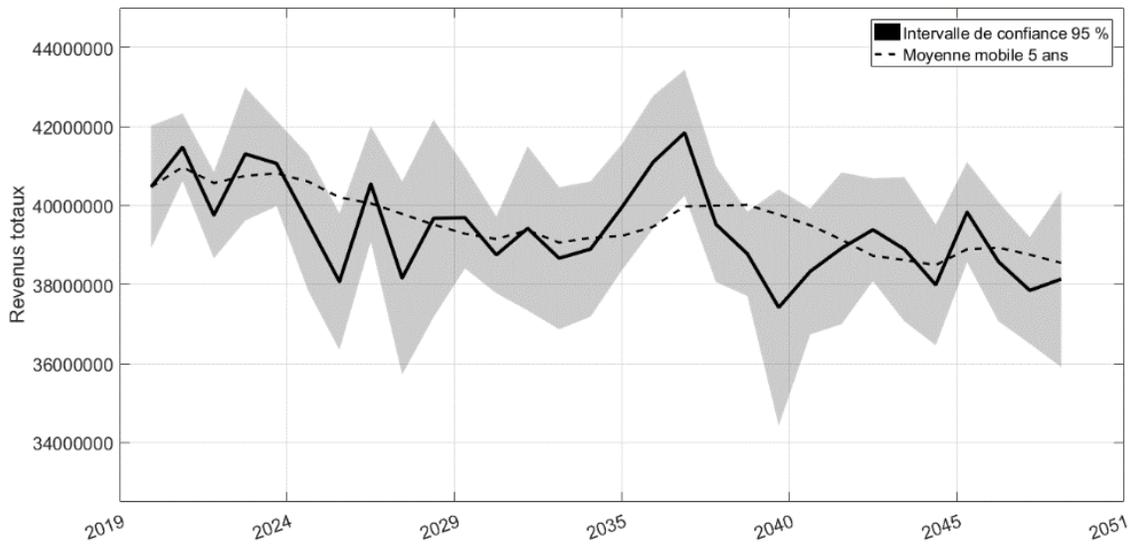
Le Tableau 13 présente l'évolution de trois indicateurs de performance financière pour les stations participantes. Ces indicateurs permettent de mieux comprendre l'évolution de la rentabilité quotidienne des stations de même que de suivre l'évolution de la santé financière des stations de ski. L'indicateur de revenus par jour ouvert représente le total saisonnier des revenus de billetterie et d'abonnement divisé par le nombre de jours ouverts. L'indicateur des coûts par jour ouvert représente le total des coûts d'opération saisonniers de la station divisé par le nombre de jours ouverts. L'indicateur de revenus nets par jour ouvert permet d'évaluer la pression sur la marge bénéficiaire des stations de ski qui devrait s'amincir graduellement, affectant du même coup les revenus nets totaux annuels.

Les résultats suggèrent que les revenus par jours ouverts sont globalement stables alors que les coûts par jours ouverts sont en augmentation sur l'horizon d'analyse en raison notamment de la stabilité des coûts de fabrication saisonniers et de la diminution du nombre de jours ouverts. Ce faisant les revenus nets par jour ouvert évoluent à la baisse et affecteront la marge bénéficiaire annuelle des stations.

A



B



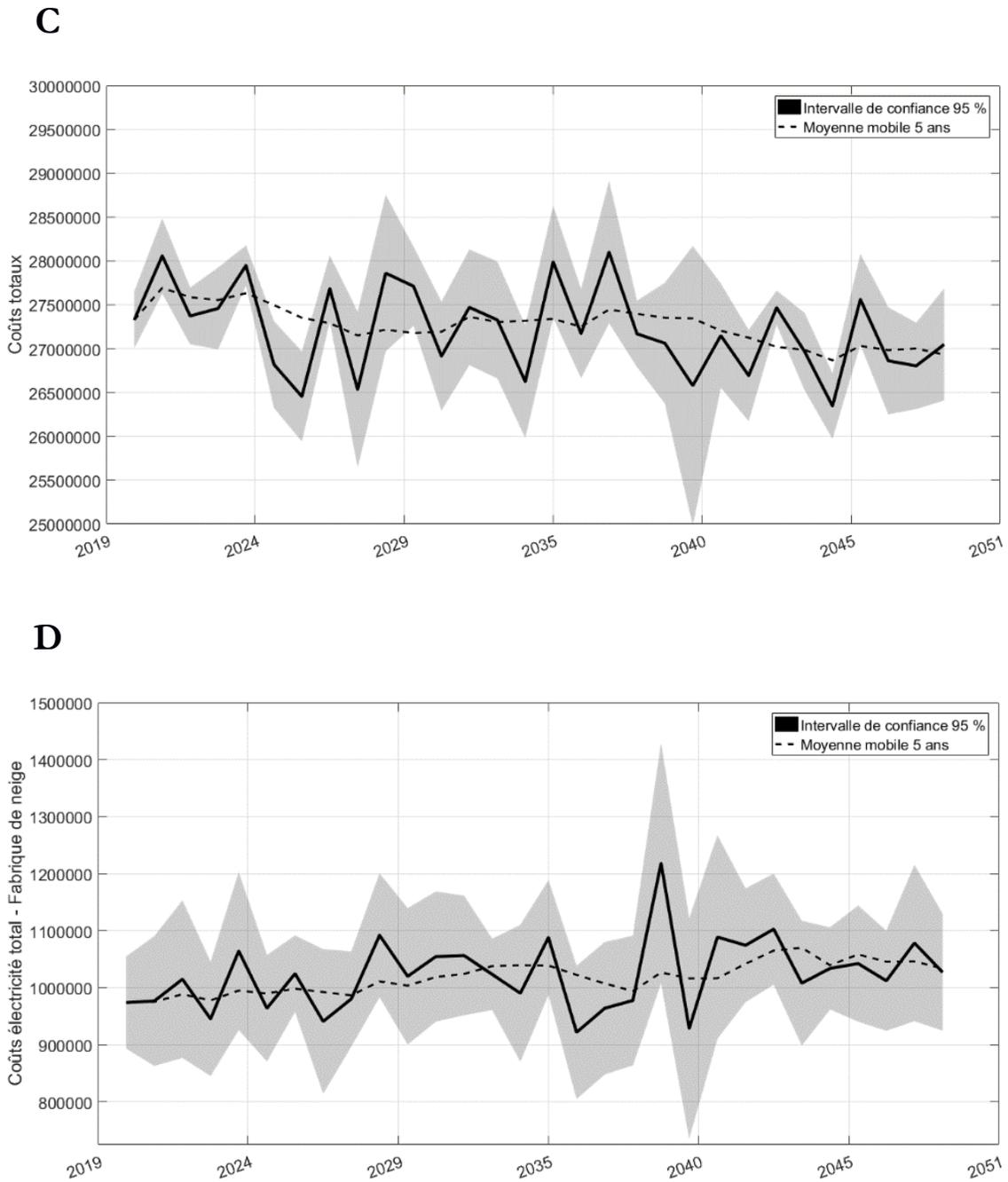


Figure 18 : Évolution du nombre de billets vendus (A), des revenus totaux (B), des coûts totaux (C) et des coûts d'électricité de fabrication de neige (D) pour les trois stations participantes de 2020 à 2050; la zone ombragée représente l'intervalle de confiance à 95 %.

5. L'adaptation aux changements climatiques

Avant de présenter les résultats des analyses de rentabilité financière des mesures d'adaptation, nous présentons le processus qui a permis de définir et choisir les mesures d'adaptation qui ont été retenues pour l'analyse. Dès les premières réflexions sur la conception de la présente étude, il a été déterminé qu'il était important de couvrir un large éventail de mesures ne se limitant pas à la fabrication de neige. Cette réflexion découle des discussions entre l'industrie (notamment via l'ASSQ), le comité de suivi du projet, les chercheurs et les stations de ski. Le constat était clair pour l'ensemble des acteurs : la réponse aux impacts des changements climatiques ne peut plus passer seulement par l'accroissement de la capacité de fabrication de neige.

La réalisation du projet a cherché à identifier et analyser plusieurs mesures d'adaptation autant technologiques que comportementales en s'appuyant notamment sur le travail de mobilisation du milieu réalisé dans le cadre des travaux de Bleau et al. (Bleau *et al.*, 2012). L'identification des mesures d'adaptation a été réalisée grâce à plusieurs activités de collecte d'information et de séances de travail entre l'équipe de projet, les stations de ski et le comité de suivi.

La première activité a consisté à réaliser une revue des différentes approches retrouvées dans la littérature et pratiquées par l'industrie. Cet exercice a permis de définir une typologie des mesures d'adaptation (voir [section 2.5](#)). À partir de cette classification générique, des mesures spécifiques pour chaque station ont été identifiées. Ces mesures d'adaptation ont été soumises au comité de suivi afin d'assurer que le projet couvrait une gamme variée de mesures d'adaptation et que la sélection des mesures s'inscrivait dans l'objectif de produire de l'information qui serait pertinente pour toute l'industrie. Cela a mené à une séance de remue-méninges afin de compléter le portrait des mesures avancées par l'équipe de projet ou les stations de ski. Cette séance a été réalisée avec certains des membres du comité de suivi, qui inclut à la fois des acteurs de l'industrie, des représentants associatifs sectoriels, des représentants régionaux et des experts en tourisme. Les mesures ayant émergé de cet atelier et des consultations auprès des experts se sont inspirées de ce qui se fait à l'étranger, tout en gardant en tête l'environnement d'affaires des stations de ski et le contexte québécois de l'industrie du ski.

Les mesures d'adaptation retenues pour l'analyse n'engagent en aucune façon les stations de ski et sont le fruit d'un processus d'identification impliquant plusieurs parties prenantes. Elles ont été retenues par l'équipe de recherche comme base d'analyse des différents types d'adaptation aux changements climatiques pour l'industrie. Elles s'inscrivent dans un exercice de quantification des différentes possibilités d'action pour réduire la vulnérabilité de cette activité hivernale aux risques climatiques et soutenir les processus de planification et décisionnels en tenant compte des connaissances climatiques à jour.

Le Tableau 14 présente les mesures d'adaptation qui ont été retenues pour les analyses. La description des mesures est relativement sommaire afin de protéger les stratégies précises de développement des stations de ski, mais est suffisamment détaillée pour que le lecteur comprenne bien la nature des interventions étudiées. Les prochains paragraphes détaillent davantage ces interventions.

Tableau 14 : Résumé des mesures d'adaptation considérées pour les analyses

Bromont	B1. Augmentation de la capacité d'enneigement B2. Piste de ski synthétique B3. Développement de l'expérience de la destination appuyée sur des partenariats Ville-Région, orientée vers la clientèle corporative
Sutton	S1. Augmentation de la capacité d'enneigement S2. Mise à niveau des infrastructures S3. Ajout d'infrastructures d'hébergement S4. Développement de l'activité vélo de montagne
Orford	O1. Optimisation de la fabrication de neige O2. Augmentation de la capacité d'enneigement O3. Expansion des heures d'ouverture (Éclairage du mont Giroux) O4. Aménagement des pistes pour clientèle débutante et intermédiaire O5. Investissement dans les activités estivales O6. Coopération régionale SEPAQ – Orford – MRC – Ville

5.1.1 Mesures d'adaptation retenues pour Bromont Montagne d'expériences

Trois mesures ont été retenues pour l'analyse à Bromont. Elles concernent autant le maintien du modèle d'affaires actuel que la diversification des activités.

Ces mesures sont les suivantes :

1. Augmentation de la capacité d'enneigement : L'objectif est d'accroître la force de frappe de la montagne en termes de capacité d'enneigement. Cela permet d'être plus réactif pour profiter des fenêtres de froid qui pourraient être plus rares et plus courtes en début de saison. Au total, sept différentes configurations de l'augmentation de la capacité d'enneigement ont été modélisées et évaluées.
2. Piste de ski synthétique : Cette mesure suppose l'aménagement d'une piste de ski synthétique sur une des pistes du mont Soleil. L'objectif est d'attirer une clientèle estivale, principalement avec les camps de jour ou pour la pratique de *slopestyle* sur surface synthétique. Ce type d'aménagement est maintenant assez répandu en Europe et aux États-Unis avec de nombreux exemples de pistes pour différents types de clientèle.¹¹ De plus, cette surface a pour avantage de réduire le couvert de neige nécessaire à la pratique du ski durant l'hiver.
3. Développement de l'expérience de la destination appuyée sur des partenariats orientés vers la clientèle corporative : Cette mesure est issue de l'exercice de remue-méninges réalisé avec le comité de suivi. Elle vise avant tout la diversification des activités de la montagne en misant sur la clientèle corporative. Concrètement, cela pourrait se traduire par une offre de services pour le renforcement de l'esprit d'équipe (Team building) en collaboration avec des établissements d'hébergement et d'autres organisations à proximité de la montagne.¹²

¹¹ Voir <http://www.snowflex.com/> pour visualiser des exemples de pistes aménagées.

¹² Voir par exemple ce qui se fait en Europe : <http://www.alpes-seminaires.com/blog/le-pouvoir-dattraction-du-team-building-a-la-montagne/>

5.1.2 Mesures d'adaptation retenues pour le mont Sutton

Quatre mesures ont été retenues pour l'analyse à Sutton¹³. Elles concernent autant le maintien du modèle d'affaires actuel que la diversification des activités.

1. Augmentation de la capacité d'enneigement : L'objectif est d'accroître davantage la force de frappe de la montagne en termes de capacité d'enneigement et en particulier de permettre d'être plus réactif pour profiter des fenêtres de froid qui pourraient être plus rares et plus courtes en début de saison. L'augmentation passe par la mise en place de perche fixe avec un accroissement important de la superficie pouvant être enneigée en même temps. Trois scénarios d'expansion du système d'enneigement ont été modélisés et étudiés.
2. Mise à niveau des infrastructures : Mesure issue de l'exercice de remue-méninges réalisé avec le comité de suivi, cette mesure d'adaptation vise avant tout à rehausser la qualité de l'expérience client à la montagne lors de l'activité de ski. Les éléments mentionnés lors du remue-méninges sont le chalet d'accueil, les remontées mécaniques, le garage et la gestion de l'eau avec la communauté.
3. Ajout d'infrastructure d'hébergement : Mesure issue des discussions avec la station. L'idée étant que le développement de quelques unités par année permette d'attirer une clientèle de skieurs qui s'abonne à la montagne. L'ajout d'hébergement permet de favoriser une clientèle locale de même que de permettre de recevoir les groupes corporatifs et les tours opérateurs.
4. Développement de l'activité vélo de montagne : Mesure issue des discussions avec la station. Un réseau de sentiers de vélo de montagne a été lancé à l'été 2017. Cela s'est fait en partenariat avec un organisme à but non lucratif (Plein air Sutton/MTB). Selon les discussions avec la station, la réceptivité des clients a été très bonne. La station a même été l'hôte d'une compétition d'Enduro à l'automne 2017. En 2018, il y aura ajout de nouveaux sentiers. Cette stratégie permet d'amener un autre type de clientèle pour la destination et génère des retombées davantage pour la destination que pour la station. La vision à long terme est d'offrir des sentiers distinctifs et originaux mettant l'accent sur la protection du territoire de même que sur l'originalité des points d'intérêts.

5.1.3 Mesures d'adaptation retenues pour le mont Orford

Six mesures ont été retenues pour l'analyse à Orford, ces mesures concernant autant le maintien du modèle d'affaires actuelles que la diversification des activités.

1. Optimisation de la fabrication de neige : À la lumière des discussions avec la station, il semble y avoir une opportunité pour améliorer les processus de fabrication actuels afin de réduire les coûts de fabrication et assurer des meilleures conditions à la montagne. Les paramètres sur lesquels nous avons travaillé sont la hauteur seuil de fabrication de même que la date de démarrage de la fabrication. Trois scénarios d'optimisation du système d'enneigement ont été étudiés.

¹³ Il est pertinent de mentionner qu'il y a actuellement un travail en cours pour le développement d'un plan d'ensemble (Master Plan) pour les infrastructures et la diversification des activités sur une base quatre saisons, avec les axes de développement misant sur les atouts de la destination et pour préserver la qualité de l'attractivité de celle-ci. Les détails définitifs de ce plan n'étaient pas encore disponibles au moment de produire ce rapport.

2. Augmentation de la capacité d'enneigement : L'objectif est d'accroître davantage la force de frappe de la montagne en termes de capacité d'enneigement et en particulier de permettre d'être plus réactif pour profiter des fenêtres de froid qui pourraient être plus rares et plus courtes en début de saison. L'augmentation passe par la mise en place de perches fixes avec un accroissement important de la superficie pouvant être enneigée en même temps. Trois scénarios d'expansion du système d'enneigement ont été étudiés.
3. Extension des heures d'ouverture (Éclairage du mont Giroux) : L'objectif est d'optimiser les investissements en infrastructures et de tirer un maximum de revenus de la saison de ski en prolongeant les heures skiabiles sur une portion de la montagne.
4. Aménagement des pistes pour clientèle débutante et intermédiaire : Cette mesure vise à réaménager plusieurs pistes afin de les rendre plus faciles et plus accessibles à une clientèle débutante ou intermédiaire et donc d'accroître le bassin de skieurs qui viennent à Orford.
5. Investissement dans les activités estivales : Cette mesure comprend des investissements dans une panoplie d'infrastructures venant enrichir l'offre d'activités 4 saisons de la station, notamment en renforçant la qualité de l'offre de services des activités actuelles (randonnées et golf).
6. Coopération régionale : Cette mesure vise à améliorer l'image de la « destination Orford » plutôt que la station de ski au sens strict. Des collaborations stratégiques, notamment avec le Parc du Mont Orford, devraient être établies afin de maximiser le potentiel de complémentarité entre ces deux pôles d'attraction régionale. Ces collaborations pourraient se déployer par des offres d'activités complémentaires entre différentes entreprises ou organisations et la station de ski.

Pour les trois stations, la modélisation séquentielle présentée au [chapitre 3](#) est utilisée pour évaluer la rentabilité financière des mesures d'adaptation considérées. Il est important de noter par contre que pour réaliser une analyse financière complète et robuste, il est crucial de projeter l'impact des mesures d'adaptation sur les revenus et les coûts d'opération de la station. Règle générale, les mesures dites technologiques ou qui ont une influence sur les conditions de glisse et sur les opérations actuelles de la station sont plus faciles à modéliser et l'incertitude entourant les résultats est relativement faible.

À l'inverse, pour les mesures qui modifient le modèle d'affaires des stations, notamment via de la diversification ou des mesures de partenariats, l'impact réel de ces mesures sur l'attraction d'une nouvelle clientèle est difficile à prévoir sans réaliser une analyse de marché, ce qui est en dehors du présent mandat. Pour ce type de mesure, il y a une confiance relativement élevée pour les estimations de coûts, mais une grande incertitude sur les estimations de revenus futurs. Dans ce contexte, il peut être pertinent de produire des analyses par seuil de rentabilité qui indiquent par exemple le nombre de nouveaux clients que la station doit pouvoir attirer pour rentabiliser les investissements dans cette nouvelle activité. Finalement, l'ensemble des mesures d'adaptation ont été soumises à une analyse multicritères. Cette analyse permet de poser un premier filtre sur les mesures d'adaptation retenues pour l'analyse de rentabilité financière. Le Tableau 15 résume le type d'analyse appliquée à chaque mesure pour chaque station.

Tableau 15 : Type d'analyse appliqué à chaque mesure d'adaptation

	Mesures étudiées	AMC	ACA	ASR
Bromont	B1. Augmentation de la capacité d'enneigement	X	X	
	B2. Piste de ski synthétique	X		X
	B3. Développement de l'expérience de la destination appuyée sur des partenariats orientés vers la clientèle corporative	X		
Sutton	S1. Augmentation de la capacité d'enneigement	X	X	
	S2. Mise à niveau des infrastructures	X		X
	S3. Ajout d'infrastructure d'hébergement	X		
	S4. Développement de l'activité vélo de montagne	X		
Orford	O1. Optimisation de la fabrication de neige	X	X	
	O2. Augmentation de la capacité d'enneigement	X	X	
	O3. Expansion des heures d'ouverture (Éclairage du mont Giroux)	X		X
	O4. Aménagement des pistes pour clientèle débutante et intermédiaire	X		X
	O5. Investissement dans les activités estivales	X		
	O6. Coopération régionale	X		

ACA : Analyses coûts-avantages ; ASR : analyse par seuil de rentabilité ; AMC : Analyse multicritères

5.2 Analyse multicritères des mesures d'adaptation

Dans une perspective d'adaptation durable des stations de ski face aux changements climatiques, l'analyse multicritères se veut ici un processus de questionnement sur les répercussions potentielles des mesures d'adaptation retenues par les stations sur l'environnement et la société.

L'objectif est d'adopter une vision systémique visant la maximisation du bien-être de la société dans son ensemble. Les analyses financières réalisées dans le cadre du présent projet n'incorporant pas les impacts sociaux et environnementaux dans les calculs de rentabilité, l'analyse multicritères permet de soulever les enjeux à considérer dans la mise en œuvre de l'adaptation à l'échelle privée tout en considérant les externalités (négatives ou positives).

Elle permet entre autres de comprendre les arbitrages potentiels découlant de la mise en œuvre des mesures. Par exemple, des activités telles que l'expansion du domaine skiable, des projets d'infrastructures ou l'accroissement de la capacité de production de neige dans une station sont des activités qui impliquent une augmentation du prélèvement d'eau, ce qui pourrait potentiellement créer des conflits d'usage dans la région d'intérêt. Inversement, le développement d'une offre de service, d'activités toute saison pourrait favoriser l'employabilité d'une main-d'œuvre à l'année et réduire le chômage saisonnier. L'évaluation permet d'identifier les éléments qui méritent une attention particulière et ainsi, permettre aux stations d'adopter des bonnes pratiques afin d'éviter la maladaptation de l'industrie.

Dans le cadre de ce projet, l'analyse multicritère est complémentaire à l'analyse financière et économique. Les critères de comparaison ont été identifiés grâce à une revue de littérature des impacts documentés des différentes mesures d'adaptation considérées pour l'analyse (voir notamment (Bonzanigo, Giupponi et Balbi, 2016)). Une consultation auprès d'experts multidisciplinaires dans le domaine touristique et de l'adaptation des stations de ski au Québec et à l'international a permis de remplir les tableaux d'évaluation des effets potentiels de chaque mesure d'adaptation considérée. Les avis des experts sont basés sur des appréciations qualitatives des enjeux à prendre en compte pour chacune des mesures d'adaptation considérées. Elles ne doivent pas être perçues comme substituables

aux processus d'évaluation d'impact et des approches réglementaires nécessaires pour la réalisation de projets au Québec qui considèrent les aspects sociaux et environnementaux davantage de manière quantitative. Les résultats de l'analyse multicritères doivent être considérés comme exploratoires et doivent être utilisés avec prudence. L'évaluation par les experts n'a pas considéré les mesures d'atténuation des impacts potentiels des mesures d'adaptation.

Les indicateurs retenus pour l'analyse multicritères sont présentés au Tableau 16 et s'articulent autour de 5 grandes classes de critères : la faisabilité de la mesure, l'effet sur la qualité de l'environnement, l'effet sur l'économie régionale, l'effet sur l'environnement social et la durabilité et l'innovation de la mesure.

Tableau 16 : Indicateurs retenus pour l'analyse multicritères

Critères	Indicateurs
Faisabilité de la mesure	Coût de l'investissement Capacité organisationnelle (ressources humaines, financières, etc.)
Effet sur la qualité de l'environnement	Érosion du sol Paysage Consommation/disponibilité en eau Production de déchets Consommation d'énergie
Effet sur l'économie	Dépenses des touristes Emploi Synergie avec les activités récréotouristiques estivales
Effet sur les enjeux sociaux/régionaux	Acceptabilité sociale Signature touristique de la région Bien-être de la population
Durabilité et innovation	Réduction de l'exposition au risque climatique Durée de vie de la mesure Niveau d'innovation de la mesure

Pour chaque indicateur, les 5 experts consultés se sont prononcés sur l'impact possible de la mesure d'adaptation, en l'absence de mesures d'atténuation, selon l'échelle de gradation suivante :

- Très favorable
- Favorable
- Ni favorable, Ni défavorable
- Défavorable, très défavorable.

Les experts consultés possèdent des profils variés et proviennent majoritairement du Québec à l'exception d'un chercheur européen spécialisé en tourisme hivernal avec une connaissance des enjeux québécois (voir Tableau 17). Les experts du Québec possèdent tous une connaissance approfondie soit du secteur du ski et/ou des enjeux de développement économique spécifique à la région.

L'exercice réalisé permet d'abord d'identifier les mesures qui pourraient avoir des effets potentiels au niveau environnemental et social, et qui requerront une saine planification ainsi que la mise en pratique des meilleures pratiques d'opération. En ce sens, les résultats de l'analyse multicritère doivent être considérés comme exploratoires.

Tableau 17 : Profils des experts consultés

	Profil	Provenance
Expert 1	Professionnel dans l'industrie du ski alpin	Québec
Expert 2	Chercheur spécialisé en tourisme	Québec
Expert 3	Professionnel en développement économique régional	Gouvernement du Québec
Expert 4	Professionnel en développement économique régionale	Région des Cantons-de-l'Est
Expert 5	Chercheur spécialisé en tourisme	Europe

5.2.1. Bromont Montagne d'expériences

Il n'est pas étonnant qu'au point de vue environnemental et social, la mesure proposant une initiative hors du modèle d'affaires actuel en développant des partenariats au sein de la région pour développer une clientèle corporative a obtenu une opinion favorable de tous les experts. Cela s'explique par une capacité à générer une plus grande attractivité tout en ayant des impacts environnementaux qui sont évalués comme étant relativement faibles. Le potentiel de retombées économiques pour la région favoriserait selon certains experts son acceptabilité sociale, notamment en raison de la création d'emplois.

Le même constat s'applique pour la piste de ski synthétique. Avec une empreinte environnementale qui est jugée comme faible et un pouvoir d'attractivité potentiellement important, cette mesure possède dans son ensemble un potentiel de diversification des revenus intéressant selon les experts. De plus, pour certains d'entre eux, l'aménagement d'une piste avec surface synthétique s'inscrit comme une mesure cohérente avec le développement des infrastructures d'entraînement pour les athlètes d'élite qui se déploie à Bromont. Mentionnons notamment le projet de vélodrome couvert.

En ce qui a trait à l'augmentation de la capacité d'enneigement, pour plusieurs experts il s'agit d'une mesure indispensable pour l'industrie du ski au Québec, toutefois, d'un point de vue environnemental, les experts anticipent que ce type de mesure pourrait mener à une augmentation de la consommation d'eau et d'énergie. Ainsi, il est primordial qu'une telle mesure fasse l'objet d'une planification méticuleuse, que la station mette en application toutes les bonnes pratiques de gestion, et ce, en fonction du contexte géographique dans lequel le projet s'inscrit.

Tel que mentionné précédemment dans ce rapport (voir section 1.1), la station Bromont Montagnes d'expériences puise environ 70 % de son eau dans la rivière Yamaska pour alimenter sa flotte de canons à neige. À cet effet, l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional suggère que l'hydraulicité moyenne en hiver devrait augmenter lors des mois d'enneigement des stations de ski (novembre à février) et que les étiages hivernaux devraient devenir moins sévères pour les rivières de la région (Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2013). Cela n'empêche que la station devra continuer ses efforts de collaboration avec les différents usagers de l'eau, dont la municipalité de Bromont, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de conflit d'usage de l'eau en particulier lors des épisodes d'étiages hivernaux.

5.2.2 Mont Sutton

Pour la station de ski Mont Sutton, dans une optique de développement durable, les mesures d'adaptation qui apparaissent comme indéniables sont la mise à niveau des infrastructures et le développement de l'activité de vélo de montagne. Concernant la mise à niveau des infrastructures, les

experts semblent abonder avec les conclusions contenues dans Archambault (2017b) selon lesquelles les infrastructures des stations de ski au Québec doivent être rafraîchies. Ce réinvestissement est aussi l'occasion de revoir l'intégration à la montagne et mettre en place des bâtiments et équipements plus efficaces au niveau énergétique et de la consommation en eau et plus respectueux de l'environnement naturel et paysager.

Selon l'avis des experts consultés, bien que la mise à niveau des infrastructures à Sutton représente des investissements difficiles à rentabiliser à l'échelle de la station seule, elle s'avère fondamentale pour assurer la santé économique de la région et du village de Sutton. Selon les dires des experts, l'activité économique locale dépend grandement de l'achalandage à la station de ski Sutton. Cette interprétation de la contribution de station à l'économie régionale est confirmée par les travaux d'Archambault (2017b)

Concernant le vélo de montagne, sa pertinence s'inscrit dans la mouvance des entreprises touristiques saisonnières vers la diversification 4 saisons de leurs activités. Encore une fois, le concept de « destination de montagne » plutôt que de « station de ski » s'avère tout à fait pertinent selon l'opinion des experts, qui voient l'activité de vélo comme une opportunité de faire la promotion de la montagne et d'amorcer une transition vers une clientèle à fois hivernale et estivale, réduisant du même coup la vulnérabilité aux conditions hivernales propices à la pratique du ski (désaisonnalisation). Tout en augmentant l'attractivité de la municipalité pour des villégiateurs quatre saisons.

L'ajout d'infrastructures d'hébergement autour des stations de ski est un modèle de développement qui s'est déployé dans plusieurs régions au Québec, comme ailleurs. Bien que ce ne soit pas une mesure d'adaptation qui vise directement à réduire l'exposition aux risques climatiques, l'implantation d'unités pour accueillir les villégiateurs dans une région permet généralement de sécuriser un certain achalandage, générer des ventes d'abonnements à la station, de l'activité économique au village et de stabiliser les revenus à court et moyen terme. En contrepartie, le développement amène son lot de défi en particulier au niveau environnemental et pour la mise en place des infrastructures d'approvisionnement et de traitement de l'eau. Aucun détail qu'en t-a la nature ou la taille des unités d'hébergement n'étaient spécifié lors de l'évaluation de la mesure. Les experts rappelaient toutefois l'importance d'une saine planification de l'aménagement et de la gestion de la ressource hydrique, tout en respectant l'ADN de la montagne, reconnue pour son authenticité.

Finalement, la mesure d'accroissement de la capacité d'enneigement s'est révélée comme une mesure cruciale pour Sutton qui possède un parc d'équipement d'enneigement qui est plus limité et moins performant que ses compétiteurs. Au même titre que pour Bromont, les experts rappellent la nécessité de prendre en compte adéquatement les enjeux liés à l'utilisation des ressources en eau dans la planification de ces mesures.

5.2.3 Mont Orford

Pour la station Mont Orford, la coopération régionale entre les organisations, en particulier entre la station de ski et le Parc national du Mont Orford semble être la mesure qui permet de mieux prendre en compte l'ensemble des critères d'analyse en matière de développement durable. La proximité physique entre la station et le Parc devrait mener à profiter des synergies possibles afin d'offrir une gamme d'activités complémentaires bonifiant l'expérience des touristes et des excursionnistes. Tel que mentionné ci-haut, cette mesure d'adaptation reste relativement conceptuelle et sa réflexion n'a pas

abouti au développement d'un plan d'actions spécifique à mettre en œuvre au cours des prochaines années. Cette mesure dégage plutôt cette volonté du milieu de voir naître une collaboration entre les différents acteurs de l'industrie du ski, mais plus largement de l'industrie touristique, au profit d'une meilleure expérience globale. Pour le cas spécifique d'Orford, il était clair pour les experts que le site détient des atouts naturels indéniables ayant un fort potentiel d'attractivité.

L'analyse multicritères a également permis de mettre en lumière les bénéfices de certaines mesures relativement simples et peu coûteuses, telles que l'élaboration d'un plan d'enneigement permettant une meilleure utilisation des ressources. Le réaménagement de certaines pistes afin de diversifier sa clientèle en attirant les adeptes débutants ou intermédiaires en fait aussi partie. Sur ce dernier point, les avis divergeaient par rapport à la personnalité de la montagne, plutôt connue comme une destination de calibre expert. Quoi qu'il en soit, il semble clair que le message exprimé par les experts laissait sous-entendre qu'il était crucial que la montagne se dote d'une signature particulière afin de trouver une niche dans l'environnement concurrentiel qu'est l'industrie du ski alpin dans les Cantons-de-l'Est.

L'augmentation de la capacité d'enneigement a généré des préoccupations semblables à celles déjà soulignées pour les autres stations, dont l'enjeu de consommation d'eau. Même si la mesure est considérée comme indispensable considérant les équipements en place actuellement à la station, ils rappellent l'importance de suivre une planification vigoureuse de l'utilisation des ressources.

L'éclairage du mont Giroux a quant à lui soulevé certaines préoccupations au niveau de l'acceptabilité sociale attachée à la modification du paysage, notamment dû au voisinage avec le Parc national.

5.2.4 Résumé des analyses multicritères

L'analyse multicritères a permis de poser les premières questions quant aux impacts économiques, sociaux et environnementaux à considérer dans la mise en place des mesures d'adaptation étudiées pour les trois stations participantes.

Cet exercice d'évaluation qualitative des mesures permet de faire ressortir certains constats sur les mesures d'adaptation considérées dans l'analyse et qui feront l'objet d'une analyse de rentabilité financière. En particulier :

- Les mesures d'adaptation d'accroissement de la capacité d'enneigement semblent incontournables à l'industrie, mais ne peuvent toutefois être considérées comme la seule voie à adopter pour se couvrir contre le risque climatique à long terme. Ce constat est partagé par les experts et est largement reconnu par la littérature scientifique sur le sujet.
- En ce sens, la gestion de l'eau est une préoccupation récurrente soulevée par les populations locales de même que les experts sondés et il est impératif que les stations poursuivent leur travail de collaboration auprès des instances locales pour s'assurer d'une saine gestion de la ressource hydrique. L'industrie a su développer une expertise en matière de fabrication de neige avec des bonnes pratiques d'opération qui permettent d'optimiser l'utilisation des ressources, réduire le captage à la source, tout en minimisant les impacts sur l'environnement. Ces efforts doivent être poursuivis pour continuellement améliorer l'efficacité des systèmes.
- Les mesures qui ont attiré l'attention des experts en fonction des critères de développement durable possèdent ce trait commun de faire intervenir des idées nouvelles, qu'il semble encore nécessaire de clarifier, mais qui tendent vers une plus grande collaboration des différents

acteurs. Les changements climatiques constituent un enjeu global qui devrait inspirer une mobilisation régionale.

Ces constats portent un éclairage sur la désirabilité de la mise en œuvre des mesures, mais fournissent assez peu d'information sur la faisabilité et la rentabilité financière des mesures. Dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur privé, il importe de porter une attention particulière au critère de « faisabilité de la mesure » du point de vue de la rentabilité financière (et éventuellement économique) des projets. Le reste du rapport porte ainsi un regard sur la rentabilité des mesures d'adaptation afin de déterminer si elles génèrent des gains financiers qui surpassent leurs coûts d'investissement et d'entretien dans un contexte de changement. Le prochain chapitre présente les résultats des analyses de rentabilité pour les mesures d'adaptation.

6. Rentabilité des mesures d'adaptation aux changements climatiques

Le présent chapitre se penche sur la rentabilité financière des mesures d'adaptation à la lumière des conditions climatiques futures anticipées. Il cherche à évaluer le potentiel des mesures d'adaptation à atténuer les effets négatifs des CC sur la santé financière des stations. Chaque mesure est étudiée individuellement pour évaluer la rentabilité de l'investissement en adaptation aux changements climatiques. Les résultats spécifiques sont présentés à la station concernée uniquement pour des questions de confidentialité. En complément au présent rapport public, les stations participantes ont contribué à la conception d'un simulateur d'investissement en adaptation afin de tester leurs différentes mesures d'adaptation modélisées et fixer les hypothèses de projections. Cet outil accessible en fin de projet rend visuelle et opérationnelle l'utilisation des nouvelles connaissances spécialisées développées de concert avec ses utilisateurs. Il est adapté au contexte spécifique de chaque station.

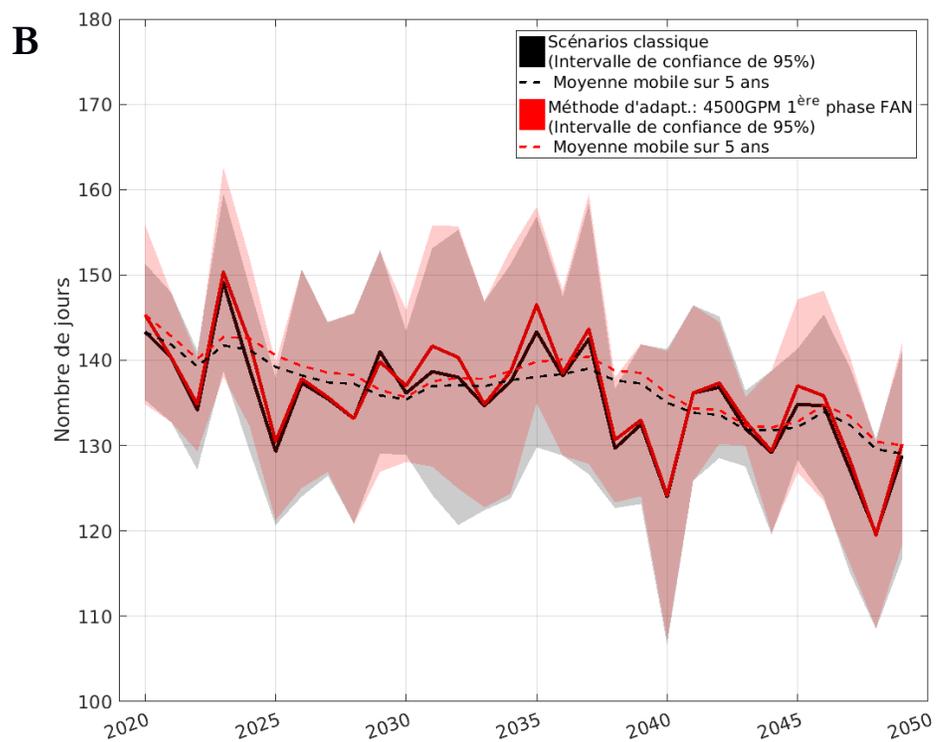
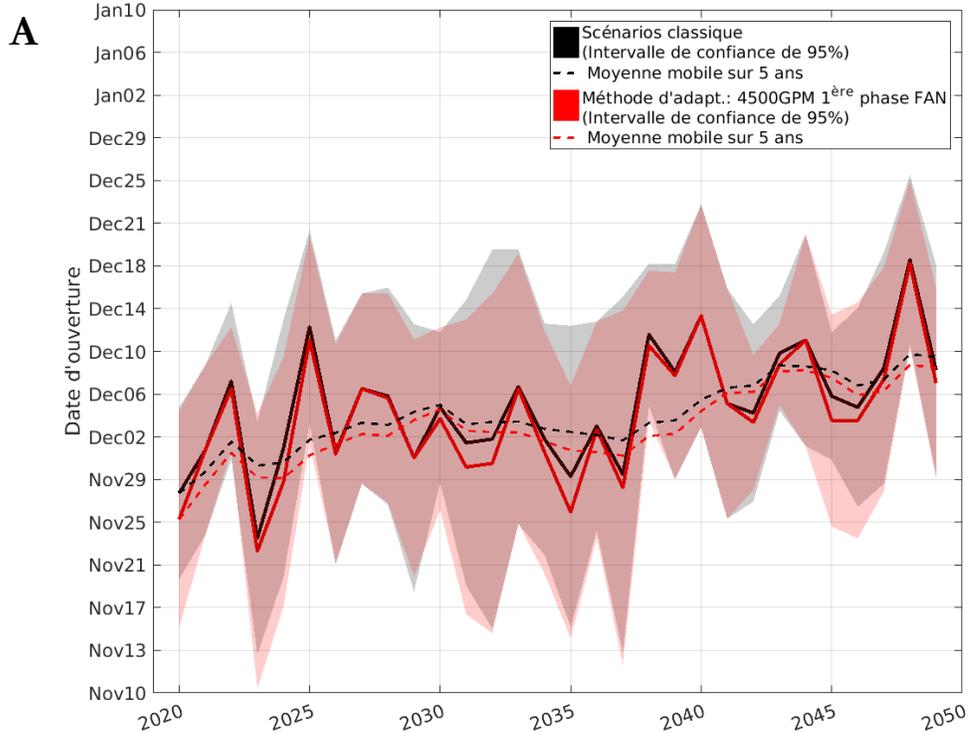
6.1 Modification des conditions d'opération

Avant de plonger dans les analyses financières des mesures d'adaptation, il est pertinent d'analyser leur capacité à contrebalancer les effets des changements climatiques. Cet exercice est réalisé seulement pour les mesures qui modifient la capacité de fabrication de neige de la montagne et qui changent les conditions de glisse.

Tel que mentionné à la section précédente, le projet a étudié de nombreuses variantes des mesures technologiques et nous présentons seulement quelques-uns des résultats afin d'alléger la lecture du rapport. Globalement, l'effet des mesures technologiques sur la réduction de l'exposition au risque climatique et sur les conditions d'opérations est similaire.

6.1.1 Modification des conditions d'opération pour Bromont

Bromont possède actuellement un débit de pointe de 8 800 GPM qui alimente une flotte d'environ 1 200 canons à neige répartis sur la montagne. La Figure 19 montre l'impact d'une des mesures d'adaptation technologique étudiée à Bromont sur les principaux indicateurs de conditions d'opération. Cette mesure implique l'installation de 97 canons à neige de type ventilateur sur toute la superficie de la 1^{re} phase de fabrication en remplacement des perches. L'objectif d'une telle mesure est d'accroître la réactivité et l'efficacité lors des fenêtres de froid, en particulier en présence de températures marginales entre -3 et -9 °C. Se concentrer sur la première phase de fabrication permet d'ouvrir un nombre minimum de pistes rapidement et dans de bonnes conditions, ce qui permet de garantir une ouverture rapide de la station.



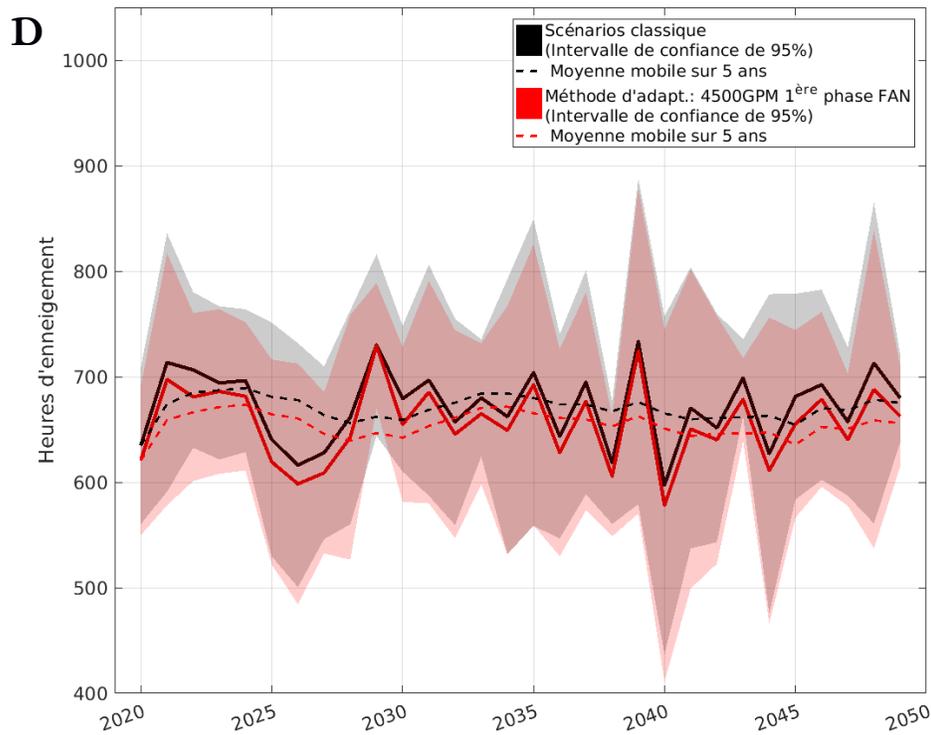
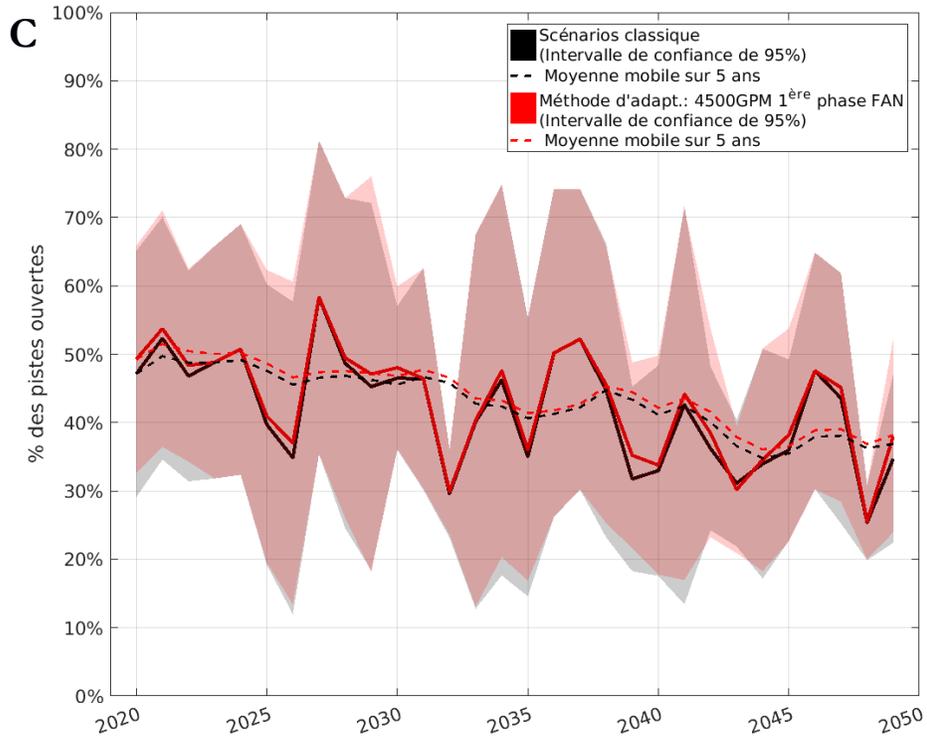
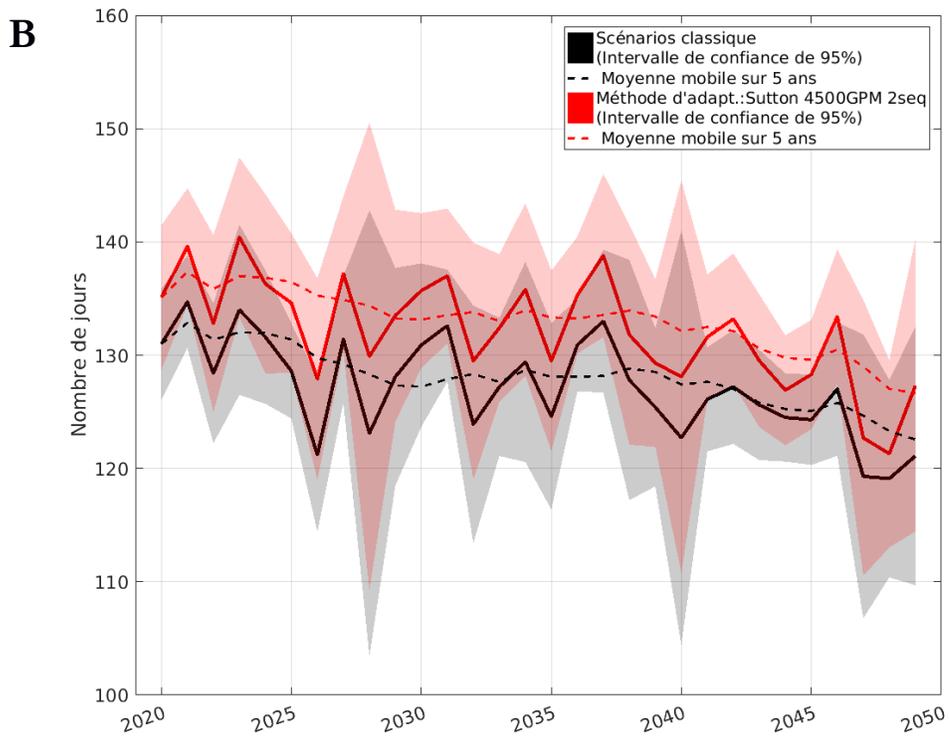
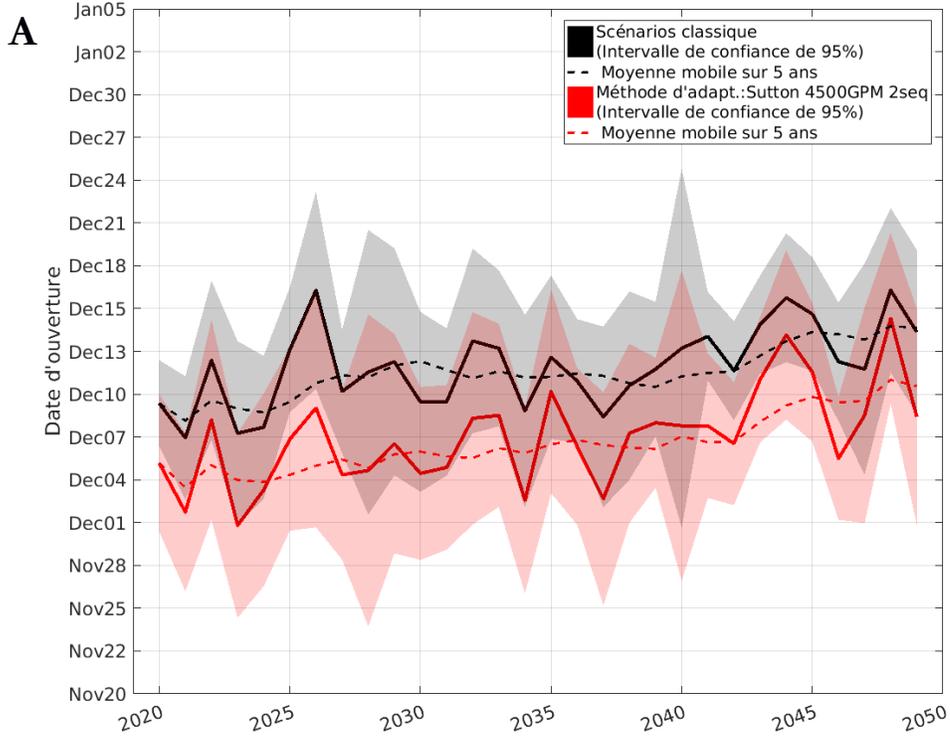


Figure 19 : Station de ski Bromont - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon le scénario d'adaptation B1.3. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

Il est possible de constater que des gains d'efficacité modestes sont présents pour chacun des quatre indicateurs de conditions d'opérations (date d'ouverture, durée de la saison, heure de fabrication de neige et % de pistes ouvertes). Les gains observés ne permettent pas de contrebalancer significativement l'effet des changements climatiques sur la tendance projetée de ces paramètres sur l'horizon d'analyse. Ce constat est similaire pour les autres alternatives étudiées pour Bromont. Cela s'explique par le fait que la station possède un système d'enneigement de pointe à grande capacité et que l'accroissement de la « force de frappe » en enneigement produira de faibles gains marginaux, du moins pour l'horizon d'analyse et sur le territoire déjà en exploitation.

6.1.2 Modification des conditions d'opération pour Sutton

Le mont Sutton possède actuellement un débit de pointe de 1 500 GPM. La Figure 20 montre l'impact de tripler la capacité de fabrication de neige à la station avec un investissement important dans les équipements actuels. Cette mesure est une des trois mesures d'augmentation de la capacité de fabrication de neige étudiées pour Sutton. Les graphiques sont assez éloquentes à l'effet que l'impact du réinvestissement à la montagne à Sutton est beaucoup plus important que pour Bromont. Des gains majeurs en termes de date d'ouverture, de nombre de jours ouverts et de pourcentage de pistes ouvertes en moyenne dans l'année sont attendus pour tout l'horizon d'étude. Le temps de fabrication est réduit substantiellement d'une moyenne de 750 heures à environ 400 heures. Pour certains paramètres comme le % moyen de pistes ouvertes, la mise en place de cette mesure permet de contrebalancer complètement l'effet des changements climatiques sur l'horizon d'analyse sur la baisse du nombre de pistes ouvertes.



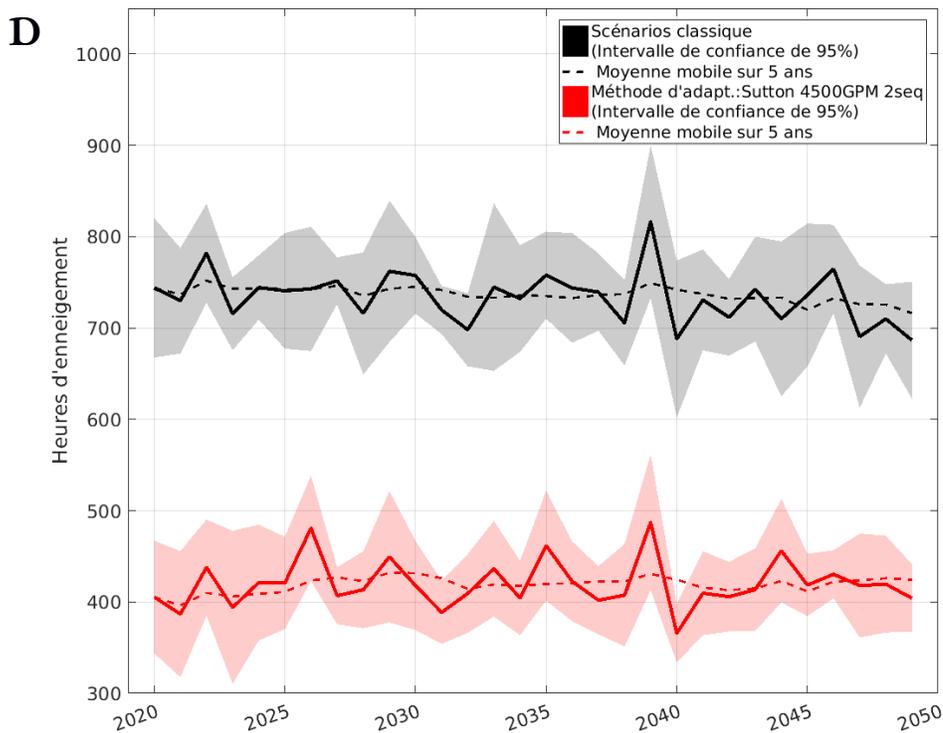
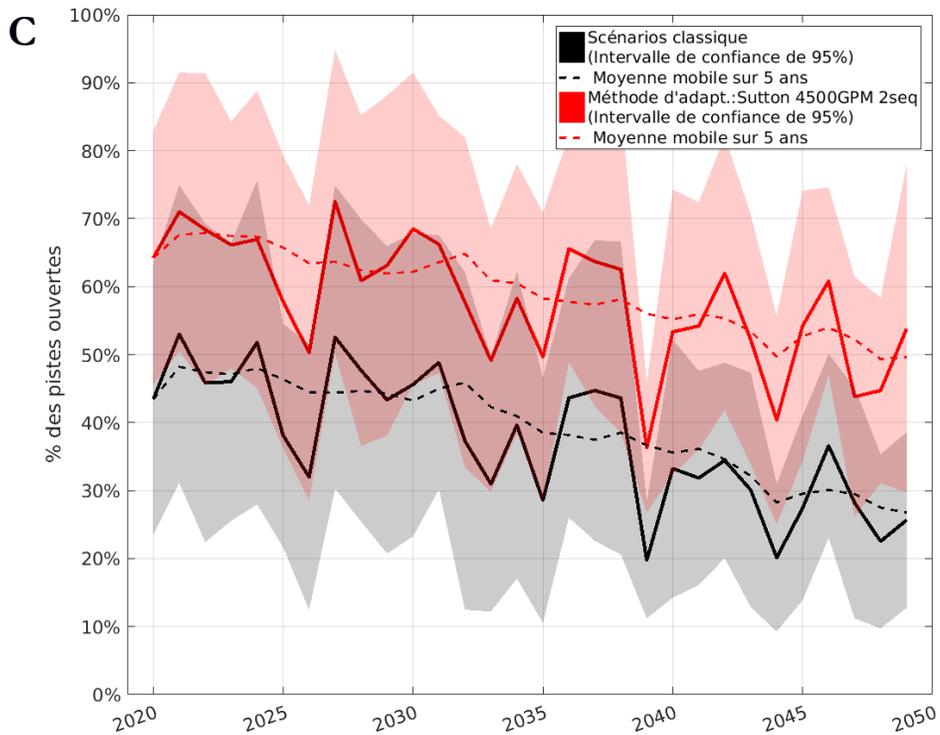
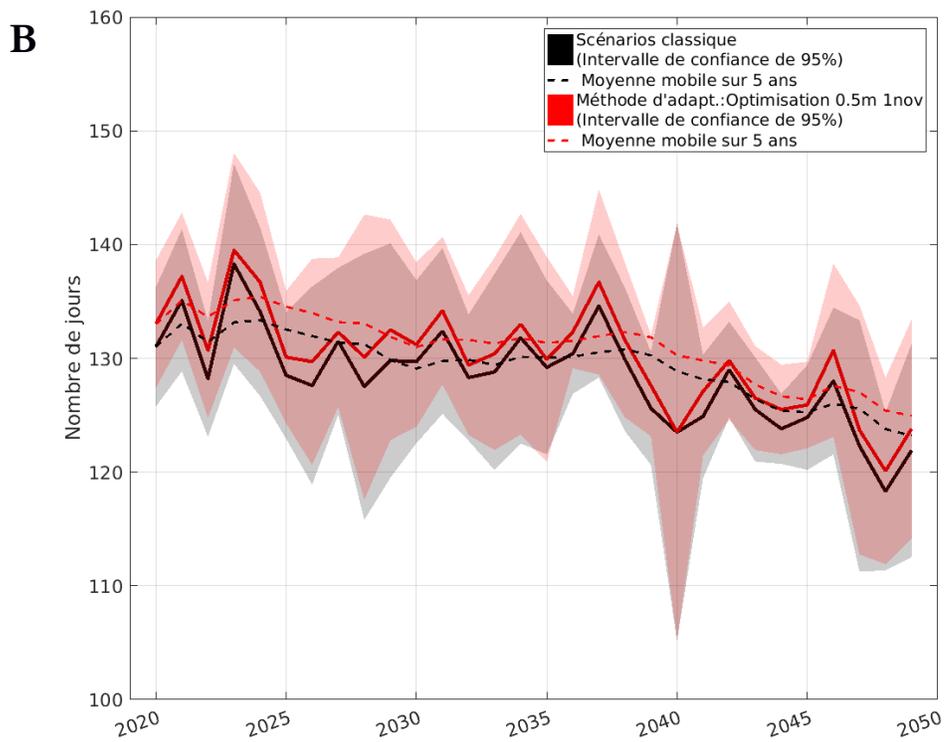
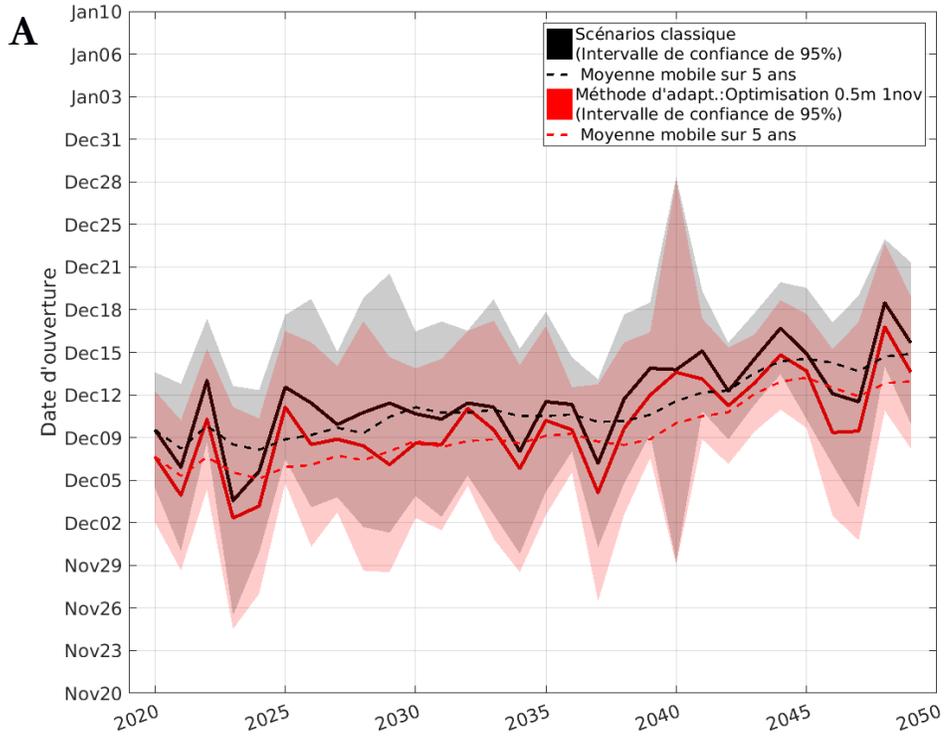


Figure 20 : Station de ski Sutton - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon le scénario d'adaptation S1.3. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

6.1.3 Modification des conditions d'opération pour Orford

Dans le cas du mont Orford, les mesures étudiées au niveau des mécanismes de fabrication de neige comprennent à la fois l'augmentation de la capacité d'enneigement et l'optimisation des processus de fabrication de neige. Le Mont Orford possède actuellement un débit de pointe qui varie entre 1 500 et 2 100 GPM en fonction de la section de la montagne qui est enneigée. L'optimisation de la fabrication de neige passe par la définition de règles d'opération qui permettent de réduire le nombre d'heures d'enneigement tout en maintenant ou améliorant les paramètres de conditions d'opération (date d'ouverture, nombre de jours ouverts, pourcentage de pistes ouvertes). La Figure 21 montre l'impact de mettre en place une cible de hauteur de neige à 0,5 m en démarrant la fabrication au plus tôt le 1^{er} novembre. Cette mesure permet de réduire de manière significative les heures d'enneigement, tout en augmentant la durée de la saison et le pourcentage de pistes ouvertes. Ce type de stratégie n'implique pas de coûts d'investissement et permet dans certains cas une réduction des coûts d'opération totaux.

Le mont Orford, tout comme Sutton possède une capacité d'enneigement qui est moins grande et performante que Bromont. Ce faisant, l'investissement dans ce type d'équipement peut générer des gains importants au niveau des conditions d'ouverture et d'enneigement. La Figure 22 illustre ces conclusions en présentant la différence entre la situation sans accroissement de la capacité d'enneigement et un des scénarios d'accroissement de la capacité.



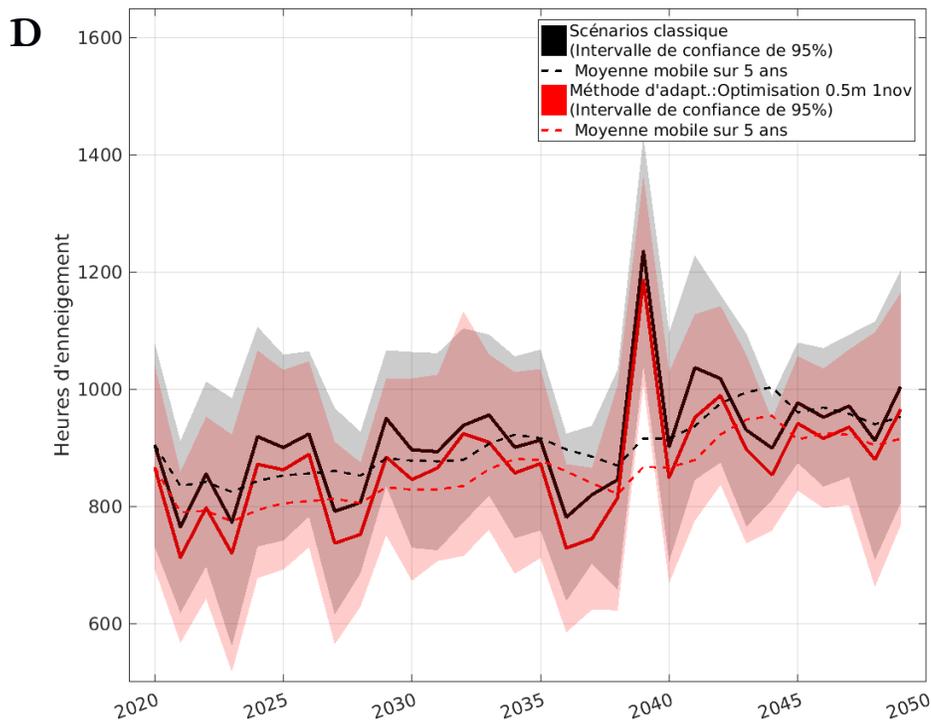
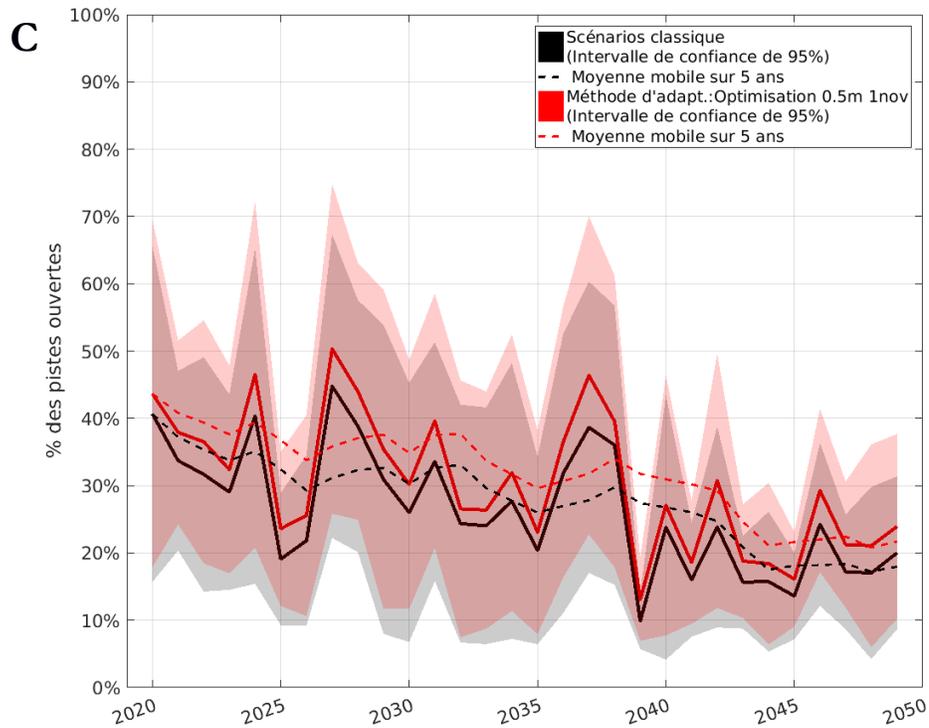
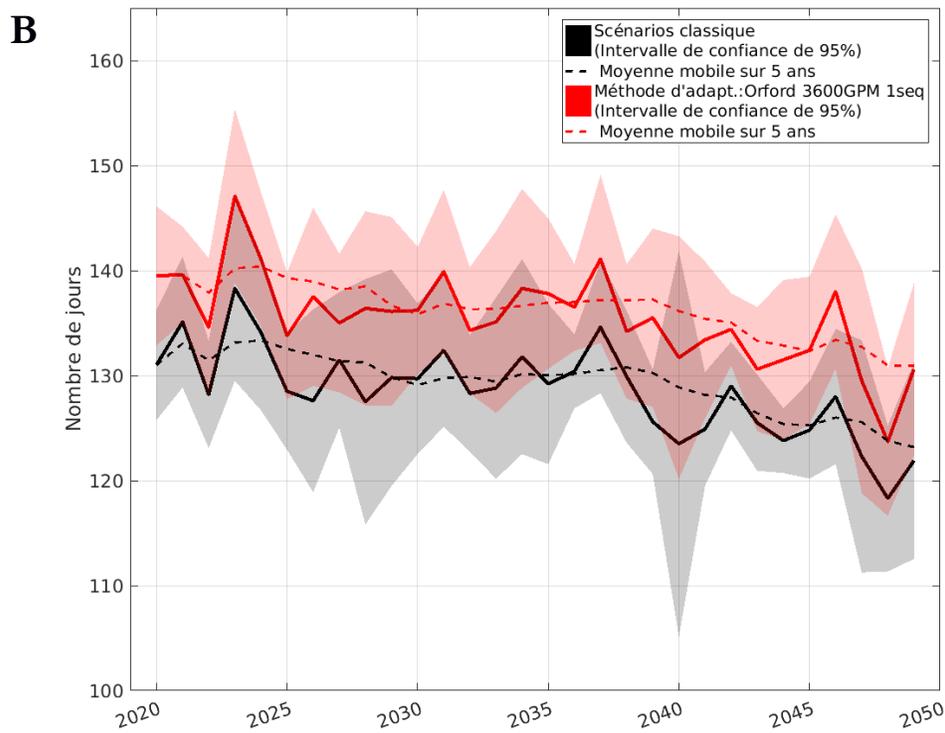
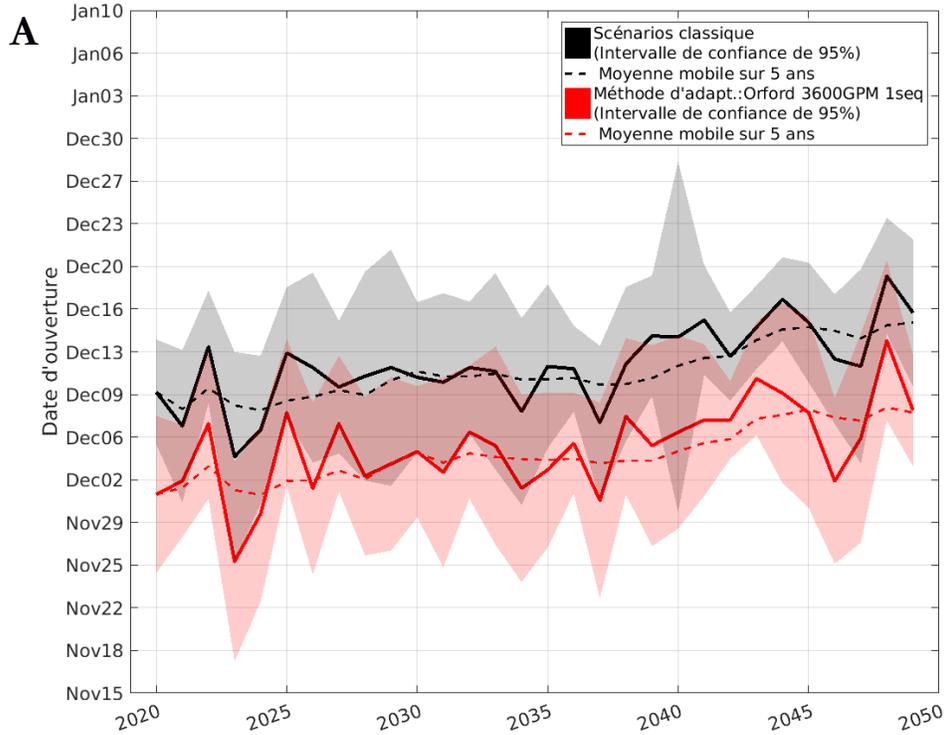


Figure 21 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon un scénario d'optimisation du processus d'enneigement (O1.2). (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement



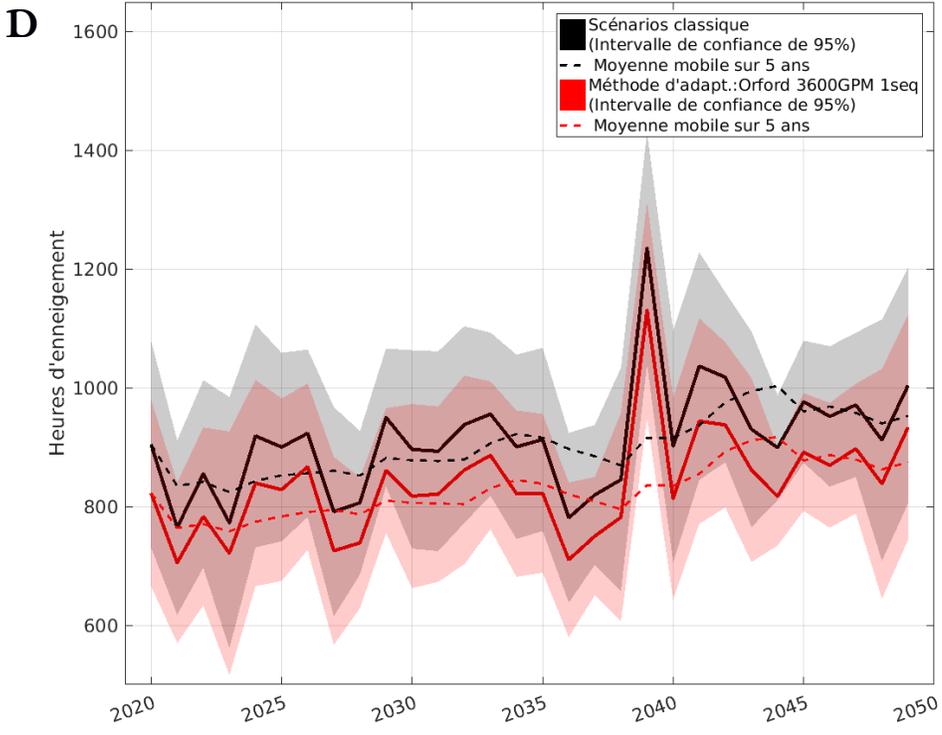
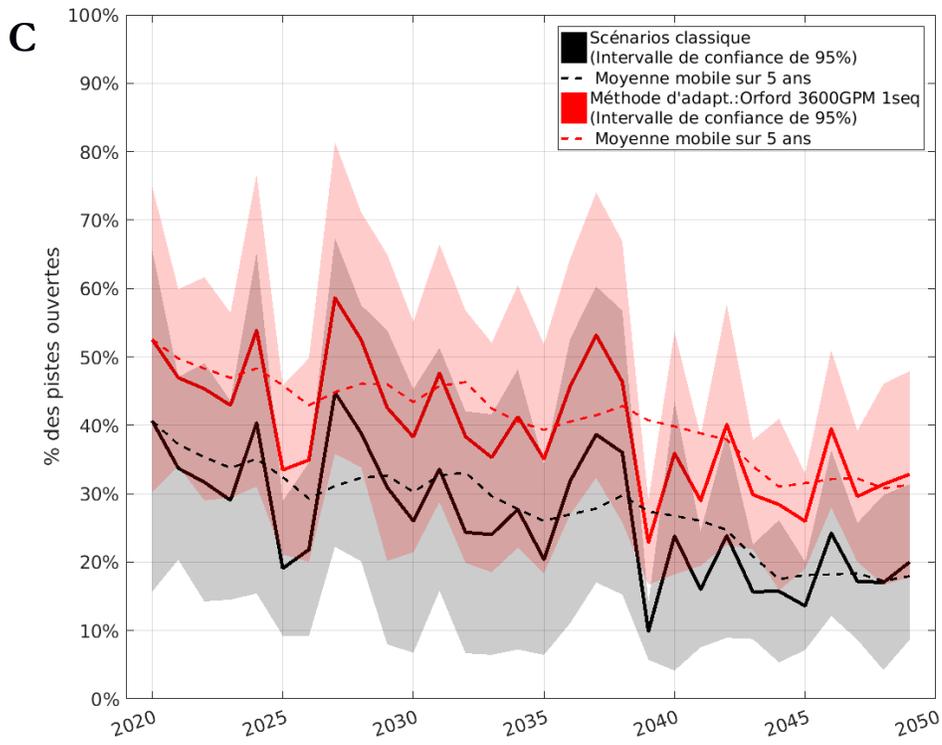


Figure 22 : Station de ski Orford - Évolution des conditions d'opération entre 2020 et 2050 selon un scénario d'augmentation de la capacité d'enneigement. (A) Date d'ouverture, (B) Durée de la saison, (C) Pourcentage de pistes ouvertes durant le temps des fêtes, (D) Heures cumulées d'enneigement

Les résultats suggèrent que l'accroissement de la capacité d'enneigement permet de contrebalancer une part importante de la détérioration attendue dans les paramètres d'opération en réponse aux changements climatiques. Par exemple, pour la date d'ouverture, la mise en place d'une capacité d'enneigement augmentée permet de maintenir la moyenne du début de saison avant le 10 décembre, ce qui correspond environ à la moyenne de la date d'ouverture en début d'horizon d'analyse sans adaptation. Les mêmes constats sont tirés pour le pourcentage de pistes ouvertes et les heures d'enneigement. La mise en place de ces équipements ne permet toutefois pas d'éviter totalement la réduction de la durée de la saison.

Ces gains importants en termes de conditions d'opération peuvent porter à croire qu'il serait bénéfique de les mettre en œuvre. Il faut toutefois s'intéresser à leur rentabilité pour juger des réels bénéfices à l'échelle des stations. Les mesures étudiées génèrent-elles suffisamment de bénéfices pour compenser les coûts d'investissement qu'elles impliquent ? Les prochaines sections étudient cette question par l'analyse financière de ces mesures.

6.2 Analyse de la rentabilité des mesures d'adaptation

L'analyse coûts-avantages vise à évaluer la rentabilité des projets d'adaptation aux changements climatiques pour les stations de ski. Les analyses réalisées projettent l'évolution des flux financiers avec et sans les projets d'adaptation de sorte à pouvoir évaluer si les avantages des mesures étudiées dépassent leurs coûts d'investissement à long terme et les frais associés à leur entretien et leur opération.

6.2.1 Rentabilité des mesures technologiques

Tel que présenté à la section précédente, les mesures d'adaptation technologiques modifient la capacité des stations de ski à maintenir des conditions de glisse de qualité tout au long de la saison. Ces mesures pourraient permettre de modifier l'achalandage à la montagne en prolongeant la durée de la saison et en augmentant le nombre de pistes ouvertes. Ces gains doivent cependant être mis en perspective avec la modification des coûts associés à la mise en place de ce type mesure. Bien que le remplacement des anciens équipements puisse mener à des gains d'efficacité substantiels de consommation électrique et en eau, l'augmentation de la capacité d'enneigement implique généralement une consommation énergétique totale égale ou supérieure qui peut augmenter la facture d'électricité des stations. Il faut savoir que l'électricité occupe près de la moitié des coûts variables liés à la fabrication de neige tel que présenté au Tableau 18.

Tableau 18 : Coûts de la fabrication de neige pour les trois stations participantes des Cantons-de-l'Est pour les saisons 2013/14 à 2015/16 (milliers de dollars de 2015)

	2013/14	2014/15	2015/16	Moyenne
Main-d'œuvre	813	787	751	784 [39,5 %]
Électricité	1 034	859	947	947 [47,8 %]
Autres	256	201	300	252 [12,7 %]
Total	2 104	1 847	1 998	1 983 [100 %]
<i>Galonnage total (m³)</i>	1 550 789	1 524 022	1 519 309	1 531 373

La tarification de l'électricité des stations de ski pose des défis importants de modélisation puisque ces programmes sont en évolution et donc la structure tarifaire n'est pas fixe dans le temps. À titre d'exemple, un programme dédié à la clientèle affaires d'Hydro-Québec permet aux stations de ski de

recevoir des crédits si elles délestent une partie de leur consommation lors des appels à puissance lors des pointes de consommation hivernale. En fonction du moment où se produisent ces appels à puissance, cela peut influencer le plan d'enneigement des stations de même que le coût moyen de l'électricité. Pour ces raisons, nous avons basé les analyses sur les données historiques afin de fixer le prix moyen du kWh.

Avant de plonger dans les résultats des analyses coûts-avantages, nous explorons les effets attendus sur les revenus et les coûts de chacune des stations.

Évolution des revenus

Un des premiers objectifs des investissements est d'accroître les revenus des stations de ski en améliorant l'expérience de ski et attirant une plus grande clientèle. Selon nos modélisations, cet objectif est atteint avec les mesures d'adaptation en lien avec l'augmentation de la capacité d'enneigement.

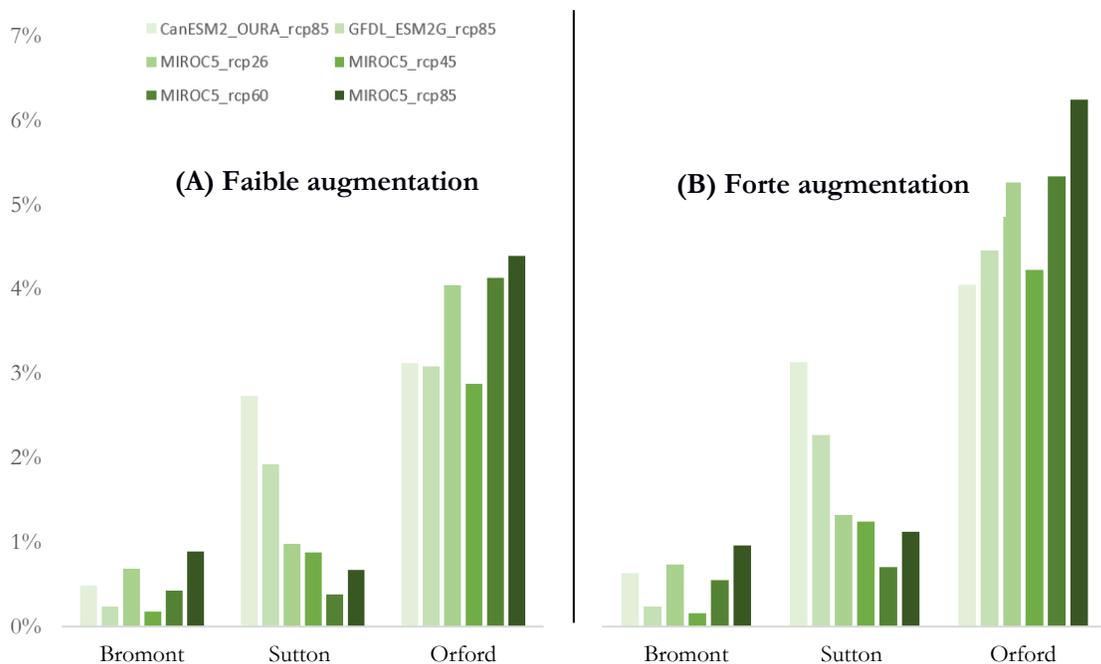


Figure 23 : Impacts des mesures d'adaptation sur les revenus des stations participantes pour une faible augmentation de la capacité d'enneigement (A) et pour une forte augmentation de la capacité d'enneigement (B) pour les six scénarios climatiques.

La Figure 23 présente l'évolution des revenus en fonction de deux niveaux d'investissement en fabrication de neige et en fonction des six scénarios climatiques considérés pour les trois stations de ski. Les résultats suggèrent que l'impact des investissements en fabrication de neige diffère entre les trois stations. L'effet de l'augmentation de la capacité à Bromont est relativement faible, indépendamment du niveau d'investissement. Cela semble traduire le fait que les skieurs ont un niveau de confiance élevé par rapport aux conditions de glisse à la station, qui est reconnue dans l'industrie pour sa force de production de neige. Puisque les mesures proposées influencent marginalement les conditions de glisse à la montagne, la réponse n'est que marginale. Les skieurs se rendent à la montagne indépendamment du nombre de pistes ouvertes ou de la hauteur du couvert de neige, car ils ont

confiance que l'expérience sera au rendez-vous. Cela reflète également le fait que les gains d'efficacité, d'optimisation et de réactivité des processus d'enneigement semblent limités pour Bromont. Toutefois, la station pourrait choisir de poursuivre sa stratégie d'investissement intensif en matière de fabrication de neige, afin de maintenir son statut de *leader* aux yeux de la clientèle.

Pour Sutton et Orford, les mesures d'adaptation technologiques permettent d'accroître les revenus de la station entre 1 et 3 % pour Sutton et 3 et 6 % pour Orford en comparaison de la situation sans adaptation. Cette augmentation est importante et s'explique principalement par une augmentation du nombre de jours ouverts durant la saison en comparaison à la situation sans adaptation. L'influence de l'amélioration de la qualité des conditions de ski est présente, mais relativement modeste. Autrement dit, il apparaît que l'impact de l'ouverture de la station est plus important pour les revenus totaux annuels que le maintien de bonnes conditions de glisse, ce qui rappelle l'importance pour une station de ski d'être en opération pour la période des fêtes.

Évolution des coûts d'opération

Du côté de l'évolution des coûts d'opération, en dehors des coûts d'investissement, les mesures d'adaptation génèrent une augmentation des coûts variables à la montagne au niveau de la masse salariale et des coûts associés à la fabrication de neige. Tel que mentionné précédemment, les mesures d'adaptation permettent d'accroître la durée de la saison et le nombre de jours ouverts en comparaison de la situation sans adaptation. Cela fait en sorte que les employés de la station travaillent plus, ce qui augmente les coûts au niveau de la masse salariale. Similairement, une plus grande puissance d'enneigement génère un accroissement en main-d'œuvre au niveau de la fabrique de neige, de même qu'une augmentation des coûts d'électricité associée à la fabrication de neige. À cet effet, mentionnons que pour Sutton et Orford, les investissements en augmentation de la capacité d'enneigement impliquent le remplacement d'une portion de la flotte actuelle de canons ce qui accroît l'efficacité en matière de consommation d'eau, d'énergie et de main-d'œuvre en lien avec la fabrique de neige. Cependant, l'augmentation de la capacité pour ces stations vise aussi l'accroissement de la puissance globale installée qui contrebalance les gains générés en accroissement d'efficacité.

Par ailleurs, rappelons que les mesures d'adaptation d'accroissement de la capacité d'enneigement ne comprennent pas l'automatisation des systèmes d'enneigement qui mènerait probablement à une réduction des coûts en main-d'œuvre.

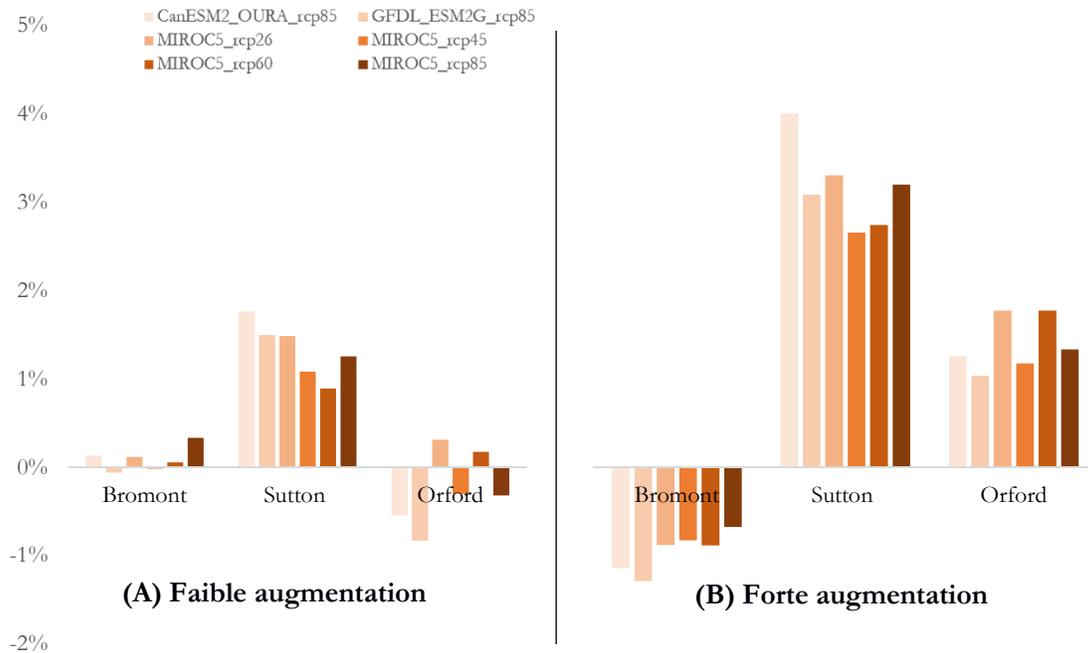


Figure 24 : Impacts des mesures d'adaptation sur les coûts totaux annuels des stations participantes pour une faible augmentation de la capacité d'enneigement (A) et pour une forte augmentation de la capacité d'enneigement (B) pour les six scénarios climatiques.

La Figure 24 présente l'impact des mesures d'adaptation sur les coûts totaux des stations de ski en comparaison à la situation sans adaptation. L'effet des mesures varie en fonction de la station étudiée. Pour Bromont, une faible augmentation de la capacité génère un impact marginal sur les coûts totaux tandis qu'un investissement massif dans le système d'enneigement génère une baisse d'environ 1 % des coûts totaux en raison de la réduction du nombre d'heures de fabrication de neige et d'une amélioration de l'efficacité des équipements.

Pour Sutton, l'augmentation de la capacité d'enneigement génère systématiquement une augmentation des coûts qui varie entre 1 et 4% en fonction de la mesure étudiée et du scénario climatique. Cette augmentation s'explique essentiellement par une hausse des coûts totaux d'électricité et de main-d'œuvre.

À Orford, les résultats suggèrent que les mesures d'adaptation de faible augmentation de la capacité ont un effet tantôt négatif, tantôt positif sur les coûts totaux alors que les coûts augmentent entre 1 et 2 % avec une augmentation importante de la capacité d'enneigement en comparaison de la situation sans adaptation. Ce résultat fait en sorte que les gains réalisés par l'augmentation marquée des revenus à Orford sont partiellement contrebalancés par l'augmentation des coûts variables.

Il faut mentionner que nos hypothèses de travail sur l'impact des mesures d'adaptation sur les variations de coûts ont été construites au meilleur de notre compréhension des structures financières des stations à l'étude. Le déploiement des mesures devrait être réfléchi de sorte à tenter d'optimiser le contrôle des coûts variables notamment au niveau des décisions d'ouverture et de fermeture de la montagne en fin et début de saison afin de réduire les jours ouverts à faible niveau de rentabilité.

Résultats

Rappelons que la réalisation des analyses coûts-avantages passe par l'estimation de la valeur actuelle nette (VAN) des investissements en adaptation. La VAN est calculée en prenant la différence actualisée des revenus et des coûts annuels entre les situations sans adaptation et avec adaptation.

En fonction des hypothèses de travail et de la modélisation de l'évolution des revenus et des coûts, les résultats suggèrent qu'aucune des mesures d'adaptation technologiques qui nécessitent des investissements majeurs n'est rentable à l'échelle de l'entreprise à un taux d'actualisation de 4 %. Seules les mesures d'optimisation de la fabrication de neige à Orford présentent une VAN positive. Ces résultats sont surprenants considérant le niveau d'influence des mesures au niveau des conditions d'opération particulièrement pour les stations Sutton et Orford. Les analyses de rentabilité suggèrent que les mesures ne sont pas rentables non plus à des taux d'actualisation de 2% ou de 6 % et 8%. Autrement dit, le taux d'actualisation n'influence pas les résultats de l'analyse.

Tableau 19 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique

Stations	Mesures	Scénarios climatiques									
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Bromont	B1.1										
	B1.2										
	B1.3										
	B1.4										
	B1.5										
	B1.6										
	B1.7										
Sutton	S1.1										
	S1.2										
	S1.3										
Orford	O1.1										
	O1.2										
	O1.3										
	O2.1										
	O2.2										
	O2.3										

VAN positive	VAN négative
--------------	--------------

Un point important à soulever est que les coûts d'investissement de la plupart des mesures sont très élevés. Il est extrêmement difficile pour les stations de rentabiliser ces mesures à même une diminution des coûts de fabrication ou une augmentation des revenus. Les coûts d'immobilisation en fabrication de neige représentent pour plusieurs stations une barrière importante à l'investissement considérant la capacité financière de celles-ci et le niveau de risque sur ces investissements. La rentabilité des mesures ne peut se justifier à l'échelle des stations. Il devient alors important de poser un regard sur la rentabilité économique de ces mesures à l'échelle régionale (voir chapitre 7). C'est potentiellement ce qui explique

pourquoi certaines destinations du monde travaillent davantage en synergie régionale, où la station est vue comme un moteur économique pour la région et donc adopte des modèles de partage de risque financier lorsque des investissements sont nécessaires. Alors que d'autres destinations ont adopté une approche de programme d'aide à l'investissement comme au Vermont.

Les mesures d'adaptation qui n'impliquent pas d'investissement massif, comme l'optimisation de la fabrication de neige, permettent des économies de fabrication significatives à coût nul, ce qui rend ce type de mesure rentable à l'échelle de la station comme il est possible de le constater pour Orford.

Ces résultats laissent croire que les gains en termes d'augmentation de revenus et dans certains cas de réduction de coûts ne sont pas suffisants à l'échelle des stations seules, pour générer un retour sur investissement qui soit positif. Dans le contexte actuel et en fonction de nos hypothèses de calcul, sans un support gouvernemental ou régional pour couvrir une partie des montants nécessaires pour investir à la montagne, il semble difficile pour les stations de ski de rentabiliser à elles seules ce niveau d'investissement dans le contexte de l'évolution attendue dans le climat.

Le Tableau 20 reprend le calcul des VAN pour chaque mesure technologique évaluée pour chacune des stations en y appliquant l'appui financier auquel les stations sont éligibles dans le cadre de la Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal. Cet appui financier permet d'obtenir du soutien financier gouvernemental jusqu'à 33 % du coût de mise en œuvre des projets.¹⁴

L'analyse suggère que le support gouvernemental est un facteur déterminant, mais non suffisant pour assurer la rentabilité du déploiement de ce type de mesure à la montagne. La rentabilité de l'investissement est assurée pour trois des six scénarios climatiques pour la configuration B1.2 pour Bromont et deux scénarios sur six pour la configuration B1.6. À Sutton et Orford, seule une configuration offre une VAN positive pour un seul scénario climatique, soit les configurations S1.1 et O2.1.

Il faut aussi mettre en perspective ces résultats par rapport à leur impact sur les revenus et les coûts au cours de l'horizon d'analyse. Nos projections reposent sur plusieurs hypothèses qu'il est important de mentionner. D'abord, l'effet de mesures liées à l'équipement d'enneigement sur la consommation énergétique a été modélisé de manière simplifiée. L'influence des coûts d'électricité dans la rentabilisation des mesures d'adaptation est un élément clé. Notre compréhension de l'augmentation de la capacité d'enneigement dans les stations Orford et Sutton supposait que les stations remplaçaient progressivement leurs anciens équipements par des équipements plus performants et augmentaient ensuite le nombre de canons sur la montagne. L'augmentation de la capacité était suffisamment importante pour que les gains d'efficacité ne génèrent pas suffisamment d'économie pour couvrir totalement l'augmentation de la puissance installée.

L'autre incertitude provient de la structure tarifaire imposée aux stations de ski. Une modification importante de la puissance installée pourrait mener à un changement dans la grille tarifaire d'Orford et/ou Sutton. Il est possible d'imaginer que la structure tarifaire des stations de ski soit revue tel que

¹⁴ L'appui gouvernemental total via l'accès à d'autres programmes de soutien peut atteindre 50 % dans le cas des organismes à but lucratif et de 80 % dans le cas des organismes à but non lucratif comme Orford. Dans le présent rapport, nous avons considéré seulement l'appui financier maximal provenant de la Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal.

revendiqué par l'industrie depuis de nombreuses années. De manière simplifiée, nous avons étudié l'effet d'une diminution des tarifs d'électricité sur la rentabilité des mesures d'adaptation d'augmentation de la capacité d'enneigement. Cette analyse de sensibilité vise à évaluer l'importance que joue ce poste de dépenses sur la rentabilité des mesures d'adaptation.

Tableau 20 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique, en intégrant le programme d'aide financière de la Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal

Stations	Mesures	Scénarios climatiques									
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Bromont	B1.1										
	B1.2										
	B1.3										
	B1.4										
	B1.5										
	B1.6										
	B1.7										
Sutton	S1.1										
	S1.2										
	S1.3										
Orford	O1.1										
	O1.2										
	O1.3										
	O2.1										
	O2.2										
	O2.3										

VAN positive	VAN négative
--------------	--------------

Le Tableau 21 résume les résultats de cette analyse de sensibilité qui démontre que pour les stations Sutton et Orford, le coût en électricité est un facteur déterminant de la rentabilisation des investissements en fabrication de neige, alors que pour la très grande majorité des scénarios climatiques projetés une réduction des coûts d'électricité rendrait ces mesures rentables sur l'horizon d'étude. Pour Bromont, les résultats demeurent à peu près inchangés. Cela indique que l'augmentation des revenus ne permet pas de générer un retour sur l'investissement, indépendamment de l'impact sur les coûts d'électricité. Il est probable que ce résultat découle du fait que la station a déjà investi beaucoup d'effort à l'optimisation électrique de sa flotte d'équipements.

Les analyses coûts-avantages offrent un éclairage sur la rentabilité des mesures d'adaptation liées à la fabrication de neige. Malheureusement, la quantité d'information disponible relativement aux autres mesures ne permettent pas une analyse aussi détaillée. Dans ce contexte, et pour répondre aux objectifs initiaux du projet, c'est-à-dire de produire une information financière et économique pour étudier le déploiement de l'adaptation aux CC dans l'industrie du ski alpin au Québec, nous procédons à des analyses par seuil de rentabilité pour certaines des autres mesures d'adaptation étudiées.

Tableau 21 : Résumé des VAN pour chaque mesure technologique et chaque scénario climatique, en supposant des tarifs d'électricité réduits de moitié

Stations	Mesures	Scénarios climatiques									
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Bromont	B1.1										
	B1.2										
	B1.3										
	B1.4										
	B1.5										
	B1.6										
	B1.7										
Sutton	S1.1										
	S1.2										
	S1.3										
Orford	O1.1										
	O1.2										
	O1.3										
	O2.1										
	O2.2										
	O2.3										

VAN positive	VAN négative
--------------	--------------

6.3 Analyses par seuil de rentabilité des mesures

Les seuils de rentabilité sont basés sur l'analyse des projections de coûts futurs et fournissent de l'information sur le seuil de nouvelle clientèle devant être attirée à la montagne afin de rentabiliser les investissements proposés.

6.3.1 Installation d'une piste de ski synthétique à Bromont Montagne d'expérience

La station de ski Bromont Montagne d'expériences est déjà diversifiée au niveau saisonnier grâce à son parc aquatique et aux sentiers de vélo de montagne. Dans ce même ordre d'idée, la mise en place d'une piste de ski synthétique pourrait venir bonifier l'offre de services en été et également potentiellement favoriser le développement de la relève de skieurs en initiant les enfants lors de camp d'été notamment. Des structures plus importantes avec des modules de parc à neige peuvent être incluses pour diversifier la clientèle possible.

Les informations sur les coûts de mise en œuvre ont été extraites à partir des sites commerciaux des fournisseurs de ce type de technologies (<http://www.snowflex.com/investors/approximate-costs/>).

Tableau 22 résume les hypothèses retenues pour cette analyse.

Tableau 22 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour la piste de ski synthétique

Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût d'installation pour une superficie de 3 000 m² est de 1 000 000 \$. • La durée de vie de l'infrastructure est de 10 ans. Au cours de l'horizon d'analyse (2021-2050) la piste doit être remplacée deux fois. • Les coûts variables, qui correspondent essentiellement à la main-d'œuvre à la billetterie, l'électricité pour la remontée mécanique et le système d'arrosage de la piste et la main-d'œuvre qui surveille les skieurs correspondent à 1 000 \$/jour. • L'entretien de ce type d'infrastructure est fonction de l'usage. Il correspond à un coût de 0,45 \$ par skieur/heure.
Revenus	<ul style="list-style-type: none"> • Le prix moyen pour ce type de structure aux États-Unis ou en Europe correspond à environ 15\$/skieur/heure. • Afin de demeurer conservateurs, nous assumons qu'aucun autre revenu n'est tiré de la présence des skieurs à la montagne. • La pente de ski synthétique pourra être utilisée environ 100 jours par année.

Le seuil de rentabilité correspond à 25 000 skieurs-heures, soit une moyenne de 250 personnes par jour durant l'été. À ce seuil, les revenus dépassent les coûts à un taux d'actualisation de 4 %.

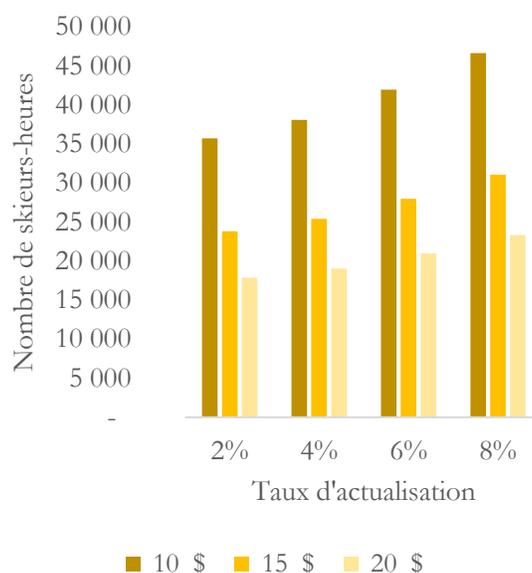


Figure 25 : Seuil de rentabilité de la piste de ski synthétique pour la station Bromont Montagne d'expérience en fonction du prix du tarif à l'heure et du taux d'actualisation

La Figure 25 présente le résultat des différentes analyses de sensibilité réalisée pour cette mesure d'adaptation. Elle offre en un coup d'œil, les seuils de rentabilité de la mesure en fonction du taux d'actualisation et du prix du tarif à l'heure par skieur. Il est possible de constater qu'à un tarif de 10 \$ par skieur/heure, l'achalandage annuel doit augmenter de manière importante afin de rentabiliser l'investissement et couvrir les coûts variables. Inversement, un tarif à 20 \$ par heure permet de maintenir l'achalandage nécessaire à moins de 25 000 skieur/heure, peu importe le taux d'actualisation.

6.3.2 Mise à niveau des infrastructures pour la station Mont Sutton

Les analyses sur l'industrie du ski alpin au Québec suggèrent généralement que les infrastructures de plusieurs stations de ski au Québec sont vieillissantes et désuètes en comparaison de celles des marchés concurrents que sont l'Ontario et le Nord-Est américain, malgré une position favorable en termes climatiques.

Ainsi, il est généralement reconnu qu'au cours des prochaines années des investissements importants sont nécessaires pour que le Québec maintienne un produit de ski alpin de qualité et compétitif (Archambault, 2017b). Cette situation représente une problématique qui affecte un grand nombre de stations au Québec. À Sutton par exemple, l'âge moyen des remontées mécaniques est de 43 ans (Archambault, 2017b). La Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal déployé par le gouvernement du Québec en 2015 vise notamment à combler ce fossé entre l'offre des stations québécoises et la concurrence dans le Nord-Est des États-Unis.

L'analyse par seuil de rentabilité cherche à évaluer l'accroissement de la clientèle nécessaire afin de rentabiliser les investissements liés à la mise à niveau des infrastructures. Nous utilisons les projections d'achalandage et de revenus hivernaux pour chacun des dix scénarios climatiques pour Sutton afin d'évaluer un niveau d'achalandage moyen supplémentaire. Concernant le coût des infrastructures majeures pour les stations, nous utilisons les estimations provenant des travaux d'Archambault (Archambault, 2017b).

Tableau 23 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour la mise à niveau des infrastructures de Sutton

Coûts	<ul style="list-style-type: none">• La mise à niveau des infrastructures comprend le remplacement du chalet d'accueil, la mise en place de nouvelles remontées mécaniques et le remplacement du garage.• La durée de vie des infrastructures est de 30 ans, soit la durée de notre horizon d'analyse.• Les coûts d'opération des nouvelles infrastructures ne diffèrent pas de ce qui est en place actuellement.
Revenus	<ul style="list-style-type: none">• Les revenus supplémentaires tirés de cette mesure d'adaptation proviennent de l'accroissement de la clientèle ou d'une augmentation des sommes dépensées par jours-ski.

Ces investissements ne doivent pas nécessairement être vus comme un moyen d'accroître les revenus de la station, mais plutôt comme une mise à niveau nécessaire afin de maintenir un standard de qualité comparable à la concurrence et d'augmenter l'attractivité pour la clientèle touristique. Il est toutefois intéressant d'évaluer l'augmentation des revenus nécessaire permettant de rentabiliser ces investissements.

Dans le cas spécifique de Sutton et en supposant l'absence de support gouvernemental à la station pour investir dans ces infrastructures, les revenus hivernaux devraient augmenter d'environ 15 à 17 % dépendamment des scénarios climatiques.

6.3.3 Éclairage du mont Giroux pour la station Mont Orford

Dans la majorité des stations de ski au Québec, la pratique du ski est limitée par la durée de la journée, ce qui fait en sorte que les infrastructures et les équipements ne sont pas utilisés à leur pleine capacité. Une façon de remédier à cette problématique est d'installer un éclairage sur la montagne afin d'offrir du ski de soirée et de tirer un maximum de revenus des infrastructures de la montagne.

Cette mesure ne vient pas nécessairement faire en sorte de se prémunir contre le risque climatique, mais dans l'optique d'une diminution progressive du nombre de jours ouverts, la possibilité de rentabiliser davantage les jours skiables pourrait permettre de concentrer les skieurs dans une saison écourtée sans nécessairement mener à des problèmes de *crowding*.

Le Tableau 24 résume les hypothèses de modélisation pour l'analyse par seuil de rentabilité pour l'éclairage du mont Giroux à Orford.

Tableau 24 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour l'éclairage du mont Giroux

Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût de mise en place a été tiré des estimations reçues des stations réalisées dans le cadre du plan de réinvestissement. • Les coûts variables par jour ouvert incluent les salaires de la billetterie, les remontées et la patrouille de même que les coûts d'électricité en éclairage, en remontées mécaniques et les coûts autres.
Revenus	<ul style="list-style-type: none"> • Le plein tarif du billet de soirée est fixé à 38,94 \$. • Le <i>yield ratio</i> sur les billets de soirée est fixé à 50 % • Nous assumons qu'il n'y a pas de transfert de skieurs entre le jour et le soir. • L'analyse porte seulement sur les variations anticipées dans la billetterie. Autrement dit, nous n'évaluons pas l'effet potentiel de nouveaux abonnements de soirée.

La Figure 26 présente le seuil de rentabilité de la mesure en fonction du taux d'actualisation et du prix du billet de soirée. À un prix de 38,94 \$ (qui correspond au prix moyen du billet de soirée des stations majeures au Québec) et un taux d'actualisation de 4 %, le nombre de billets vendus annuellement devrait osciller autour de 20 000 billets de soirée, soit en moyenne 175 billets par soir ouvert.

Les analyses de sensibilité font varier le nombre de billets de soirée nécessaires entre 17 000 et 25 000. Cela représente une augmentation importante du nombre de billets vendus actuellement sur une base quotidienne (près de 25 % d'augmentation), mais est assez logique avec ce qu'il est possible d'observer sur les autres montagnes qui ont mis en place des systèmes d'éclairage. Les billets achetés en soirée représentent généralement le tiers des billets totaux vendus par les stations qui offrent du ski de soirée.

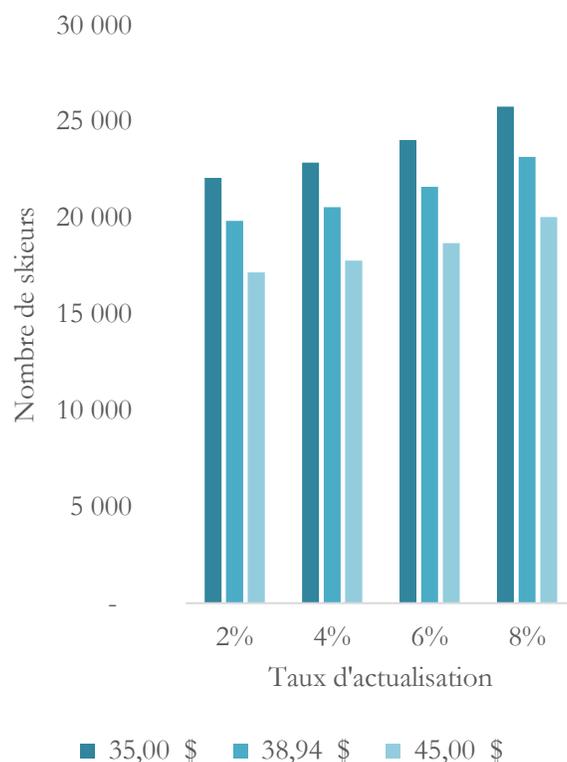


Figure 26 : Seuil de rentabilité de l'éclairage du mont Giroux pour la station Mont Orford en fonction du prix du billet et du taux d'actualisation

6.3.4 Aménagement des pistes pour clientèle débutante et intermédiaire

La deuxième mesure d'adaptation soumise à l'analyse par seuil de rentabilité pour le mont Orford est celle de l'aménagement des pistes pour une clientèle débutante et intermédiaire. Cette mesure vise avant tout à revoir le bassin de clientèle de la station de ski et tenter d'attirer une clientèle familiale qui trouvera dans le domaine skiable une aire de jeu sécuritaire et accessible pour tous. L'objectif de cette mesure est également de faire mousser les activités de l'école de ski, ce qui favorise un attachement à la montagne et permet de former la relève de skieurs.

Cette mesure s'apparente beaucoup à l'expansion des heures d'ouverture en ce sens qu'elle implique un investissement initial et qu'elle vise à augmenter la clientèle totale à la station. La station possède également un plan de réaménagement de plus grande envergure qui pourrait être déployé à plus long terme, mais qui n'a pas été étudié pour le moment. Cette stratégie mériterait une étude de marché qui viendrait valider que cette clientèle serait bel et bien au rendez-vous advenant le cas du déploiement de cette stratégie de positionnement stratégique à l'échelle régionale.

Tableau 25 résume les hypothèses de modélisation pour les analyses par seuil de rentabilité pour le réaménagement des pistes pour une clientèle débutante et intermédiaire.

En fonction des hypothèses de modélisations retenues, le seuil de rentabilité à un taux d'actualisation de 4 % est de 623 billets supplémentaires devant être vendus annuellement afin de rentabiliser le coût de l'investissement à la montagne.

La station possède également un plan de réaménagement de plus grande envergure qui pourrait être déployé à plus long terme, mais qui n'a pas été étudié pour le moment. Cette stratégie mériterait une étude de marché qui viendrait valider que cette clientèle serait bel et bien au rendez-vous advenant le cas du déploiement de cette stratégie de positionnement stratégique à l'échelle régionale.

Tableau 25 : Hypothèses de réalisation de l'analyse par seuil de rentabilité pour l'aménagement des pistes pour une clientèle débutante et intermédiaire

Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Les coûts sont ceux associés au travail sur les pistes afin de réduire les pentes, transformer certaines pistes noires en pistes bleues et vertes. Cela correspond au plan développé par la station à court terme dans le cadre de son plan d'investissement. • Nous ne modélisons pas d'investissements supplémentaires en marketing, mais il faudra prévoir une modification de la stratégie marketing afin de viser la clientèle cible.
Revenus	<ul style="list-style-type: none"> • Les revenus tirés du réaménagement passent par un accroissement de la clientèle débutante et intermédiaire. Il est supposé que les revenus hivernaux vont croître par une augmentation du nombre de billets vendus. • Le prix du billet journalier (plein tarif) est de 61 \$ • Le <i>yield ratio</i> utilisé est de 0,41

6.3.5 Sommaire des analyses par seuil de rentabilité

Le Tableau 26 résume les résultats des analyses par seuil de rentabilité. Rappelons que ces mesures d'adaptation n'ont pas fait l'objet d'analyses coûts-avantages à proprement dit en raison de l'incertitude sur l'évolution dans les revenus tirés de la mise en œuvre de ces mesures. Les analyses par seuil de rentabilité permettent d'évaluer le niveau de réalisme de la rentabilisation de ces actifs en comparant le niveau d'activité nécessaire pour que les revenus dépassent les coûts de mise en œuvre et d'entretien.

Les mesures étudiées dans ce cadre d'analyse spécifique concernant des mesures qui sont en continuité avec le modèle d'affaires actuelles des stations. On peut voir dans le tableau résumé que la rentabilisation de ces investissements nécessite pour la plupart des augmentations substantielles de clientèle, ce qui laisse croire que ces mesures devraient être combinées à des efforts marketing et de développement de marché afin de faire connaître les nouveaux aménagements à la montagne.

Tableau 26 : Résumé des analyses par seuil de rentabilité

	Bromont	Sutton	Orford
Mesure d'adaptation	Installation d'une piste de ski synthétique	Mise à niveau des infrastructures	Éclairage du mont Giroux
			Aménagement des pistes pour clientèle débutante et intermédiaire
Seuil de rentabilité¹⁵	25 000 heures de visites par été	28 526 visites supplémentaires par année	20 000 visites supplémentaires par année
			623 visites supplémentaires par année

¹⁵ Selon les hypothèses de modélisation de base.

7. La contribution économique des stations de ski dans un climat changeant

Les impacts des changements climatiques se feront ressentir au-delà des stations elles-mêmes, dans les activités régionales entourant les entreprises de glisse. Seize régions touristiques de la province comptent des stations de ski alpin, souvent en dehors des grands centres urbains. Dans plusieurs communautés, elles agissent comme des moteurs d'activités économiques importants. La capacité d'attractivité des stations et les revenus générés par celles-ci se répercutent au-delà des stations elles-mêmes et contribuent à maintenir un écosystème économique régional dynamique, dans lequel gravitent notamment des établissements d'hébergement, des restaurants, des épiceries, des bars, des boutiques, des stations-service, etc. Au Québec, les quelques 6 millions de jours-ski en moyenne par année contribuent à hauteur de 800 M\$ au PIB. Le secteur du ski alpin représente à lui seul 6,4% du PIB touristique québécois (Archambault, 2015).

Le Tableau 27 résume la répartition moyenne des dépenses des skieurs au Québec. Certaines de ces dépenses sont réalisées sur place, mais une bonne proportion peut s'exécuter à l'extérieur des limites de la station (par exemple en hébergement, restaurants et bars, épicerie, transport, etc.).

Tableau 27 : Répartition moyenne des dépenses par skieurs (tirés de l'enquête IPSOS 2014)

Postes de dépenses	Proportion des dépenses
Vêtements et équipements	16 %
Restaurant et bars	13 %
Hébergement	19 %
Billetterie	24 %
École de ski	3 %
Location d'équipement	1 %
Épicerie	7 %
Loisirs et divertissement	4 %
Transport et carburant	13 %
Total	100%

La région des Cantons-de-l'Est occupe une place unique dans le paysage de l'industrie du ski dans la province en générant près de 20 % de l'achalandage total. Cela s'explique en partie par sa localisation avantageuse près du bassin de population du Grand Montréal, mais également par une offre touristique diversifiée, autant en hiver qu'en été.

En exploitant le modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec, les travaux d'Archambault confirment que la contribution économique des stations de ski des Cantons-de-l'Est est substantielle¹⁶. Les simulations produites de l'effet des dépenses touristiques des visiteurs, des dépenses d'immobilisation et d'exploitation suggèrent que la contribution des stations de ski Bromont

¹⁶ Le modèle intersectoriel du Québec est un instrument qui permet de simuler les effets de certains changements réels, anticipés ou hypothétiques relatifs à l'économie québécoise. Il s'appuie sur les tableaux d'entrées-sorties du Québec qui comportent des données détaillées relatives aux échanges de biens et services entre les agents économiques. Il montre les relations entre les secteurs en indiquant, pour chacune des catégories de biens et services ceux qui les utilisent et ceux qui les produisent (Institut de la statistique du Québec, 2018).

et Sutton à l'économie québécoise s'élèverait à 88 M\$ et 44 M\$ respectivement. Cet apport à l'économie découle à la fois des dépenses des skieurs à la montagne et dans les commerces environnants, de même que des investissements réalisés autant par les stations que par les entreprises situées dans le rayon d'influence des stations (Archambault, 2017b). Cette activité économique permettrait de générer près de 2 000 emplois équivalent temps complet et plus de 20 M\$ en recettes fiscales pour les différents paliers de gouvernement.

Tableau 28 : Contribution économique des stations Bromont et Sutton pour la saison 2016-2017

	Bromont	Sutton
Dépenses des visiteurs à la station (<i>in et ex situ</i>) + investissements	106,2 M\$	51,7 M\$
Contribution au PIB	87,6 M\$	43,8 M\$
Emploi	1 327	631
Recettes fiscales	15,1 M\$	7,6 M\$

Pour la station Orford, nous ne disposons pas de résultats équivalents. Considérant l'achalandage de la station et le profil de dépenses des visiteurs, il est possible de présumer que sa contribution économique à l'économie régionale est comparable à celle du Mont Sutton.

7.1 La contribution économique future des stations de ski - Cantons-de-l'Est

La contribution des stations de ski varie significativement d'année en année, et par conséquent l'activité économique qui en dépend varie elle aussi annuellement. Dans un futur où les températures sont en augmentation et les précipitations neigeuses en diminution, la contribution économique des stations de ski sera inévitablement amenée à évoluer en réponse à ces nouvelles conditions climatiques. Les résultats présentés au chapitre 4 suggèrent qu'en l'absence d'adaptation, l'achalandage moyen des stations pourrait baisser de 10 %. Lors de certaines saisons, l'achalandage pourrait même chuter sous le seuil de la saison 2015-2016, reconnue comme la pire saison des vingt dernières années. Plusieurs épisodes de pluie pendant la saison, combinés à un mois de décembre très chaud, ont impacté lourdement l'achalandage aux stations qui s'est chiffré à 5,2 millions de jours-ski, une baisse de 16,7 % par rapport à la moyenne des vingt dernières saisons. Cela s'est répercuté sur les services connexes offerts à la station : boutique, restaurants et dans une moindre mesure l'école de ski (Archambault et Morin, 2017).

En l'absence d'adaptation, cette baisse d'achalandage se traduirait par une baisse des dépenses des touristes et donc une diminution de l'activité économique régionale. La recherche de solutions novatrices et le développement de collaboration entre les acteurs pour conserver le dynamisme des stations de ski sont d'une importance capitale pour l'écosystème économique dans lesquelles elles gravitent.

Il n'existe pas d'information quantitative sur la variation potentielle de l'activité économique régionale en réponse à une baisse d'achalandage aux stations. Nous savons par contre, sur la base des enquêtes menées par l'ASSQ, que pour chaque dollar dépensé par un skieur en billetterie : 3,75 \$ sera dépensé durant le séjour par un client québécois, 5 \$ par un Ontarien et 7 \$ par un client américain. Concrètement, cela veut dire que les hôtels, les restaurants, les magasins et les autres commerces qui dépendent en partie de l'achalandage aux stations de ski pour attirer une portion de leur clientèle

pourraient subir les contrecoups des variations d'achalandage. Prenons l'exemple d'une auberge dans les Cantons-de-l'Est qui pourrait subir une diminution du nombre de nuitées passées par des skieurs dans la région. Pour un établissement hôtelier qui tire d'importants revenus de la clientèle qui se rend dans la région pour skier, cela peut affecter la rentabilité de ses activités. Plus concrètement, il est possible de constater que la diminution marquée de l'achalandage aux stations de ski dans les Cantons-de-l'Est durant le mois de décembre 2015 en raison des conditions peu clémentes, se sont traduit par un taux d'occupation de près de 2,5 % inférieur au mois de décembre de l'année 2014 selon les indicateurs du Bulletin Touristique publiés par le Ministère du Tourisme (Ministère du Tourisme, 2018).

Initialement, le projet avait l'ambition d'estimer l'impact économique régional d'une variation de l'achalandage aux stations en réponse aux changements climatiques. Plusieurs facteurs nous ont empêchés d'exploiter ce modèle afin de produire une information de l'impact économique sur les Cantons-de-l'Est sur le PIB, l'emploi, les valeurs foncières et les recettes fiscales. Sommairement, le modèle d'impact économique régional n'a pas pu être adapté adéquatement pour prendre en compte l'évolution de l'achalandage aux stations en réponse à l'impact des changements climatiques et en particulier pour reproduire de façon réaliste l'influence des stations de ski dans l'économie régionale.

7.2 Le surplus du consommateur

Une analyse économique de l'impact des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin serait incomplète si nous étudions seulement l'effet des CC sur les stations elle-même et sur l'économie régionale. Les changements climatiques affecteront d'abord et avant tout les skieurs eux-mêmes. Dans les sections précédentes, nous avons étudié l'effet des nouvelles conditions climatiques sur les conditions de l'offre ainsi que sur la demande, c'est-à-dire l'achalandage prévu à la montagne, sans toutefois poser un regard sur l'expérience client du skieur et son évolution dans un contexte de changement climatique.

Comme pour n'importe quelle activité récréative, la « valeur totale » du ski pour le consommateur comprend : 1) les dépenses directes assumées pour skier (prix du billet, transport, équipement, etc.) et 2) le montant que le consommateur serait prêt à payer au-delà du montant réellement dépensé, autrement dit ; la valeur qu'il accorde à son expérience. Cette dernière composante représente le surplus du consommateur.

La première composante est capturée par les estimations des dépenses des skieurs et on peut aisément mesurer sa contribution économique, alors que la seconde est plus difficilement quantifiable puisqu'elle doit être évaluée par des méthodes d'enquête. Elle constitue pourtant une mesure du bien-être économique, tout aussi importante que la contribution économique du secteur.

En parallèle à la présente étude, un mémoire de maîtrise a tenté de mesurer le surplus du consommateur pour la pratique du ski alpin dans les Cantons-de-l'Est et a évalué sa variation dans un contexte de changement climatique.

Les résultats obtenus révèlent que le bien-être par skieur associé à une journée de ski varie entre 0,47 \$ et 21\$, en fonction des conditions de glisse et des conditions climatiques. Ces résultats sont relativement faibles comparativement au montant estimé dans la littérature à l'extérieur du Québec.

Par exemple, les travaux de Rosenberger et al. (2017) suggèrent que le surplus du consommateur pour une journée de ski est égal à 77,63 US\$.

Le surplus du consommateur

Repensez à votre dernière sortie de ski. Vous vous êtes déplacé vers le Mont Orford pour profiter de la dernière tempête de neige qui s'est abattue sur le Québec. Partant de Montréal, vous avez voyagé en direction d'Orford en voiture avec trois de vos amis. Vos dépenses comprenaient le billet de remontée, le plein de votre voiture (à l'Ange-Gardien), la bière d'après-ski et le lunch que vous vous êtes préparé avant de partir. Alors votre surplus du consommateur correspond à quoi exactement ?

En arrivant à la montagne, les conditions à la montagne étaient absolument incroyables. La poudreuse vous a rapidement fait oublier les tracas du travail et vous avez passé une journée incroyable en compagnie de vos amis ! En buvant votre bière devant le feu de foyer du chalet, vous retracez les moments mémorables de la journée. Bien que vous ayez payé 50 \$ pour votre billet de remontée, vous vous dites que vous auriez été prêt à payer au moins le triple du prix du billet (150 \$) pour skier aujourd'hui tellement les conditions étaient parfaites. Votre surplus du consommateur est donc de 100 \$. Ce montant correspond directement à la valeur que vous attribuez à votre expérience à la montagne.

Quoi qu'il en soit, ce surplus du consommateur sera amené à varier en fonction des conditions climatiques et des conditions de glisse dans le futur. Les résultats de la projection démontrent que, bien que la longueur des saisons de ski diminuera de quelques jours pour la période visée par l'étude, les skieurs ne subiront aucune perte de bien-être associée aux changements climatiques, mais plutôt un léger gain. Ceci s'explique par le fait que les conditions météorologiques et de glisse futurs pourraient être davantage en ligne avec les préférences des skieurs, particulièrement au niveau du nombre de journées froides (température sous -9°C) ainsi que des journées à surface de neige damée (Shinder, 2018) qui sont associés à un surplus du consommateur plus élevé.

Ces résultats contrastent avec la littérature sur le sujet qui trouve en général que le surplus du consommateur sera affecté négativement par les changements climatiques en raison de la diminution des précipitations neigeuses (les gens préfèrent avoir beaucoup de neige) et de la hausse des températures (les gens préfèrent températures froides, sans être glaciale). Ce résultat pourrait émerger des conditions climatiques particulières au Québec où les journées de grand froid sont relativement fréquentes en hiver et que ces journées sont associées avec un surplus du consommateur relativement petit. La relation entre l'achalandage à la station et la température suggère plutôt une relation hyperbolique entre le nombre de skieurs et la température. Cela suppose que la baisse du nombre de journées de grands froids va plus que contrebalancer la hausse des journées trop chaude pour skier.

7.3 Les effets de substitution

Les données présentées à la section 7.1 ont démontré que l'argent dépensé par les skieurs qui visitent les stations Sutton et Bromont contribue pour plus de 130 M\$ au PIB pour la région. Bien que cette information soit pertinente en soit, il est important de mentionner qu'elle nous informe d'abord sur la quantité d'activité économique qui dépend de la présence des stations de ski. Elle ne nous fournit par contre aucune information sur le niveau d'activité économique supplémentaire que génère la présence des stations de ski dans l'économie régionale. Autrement dit, il y a une distinction importante à faire entre la contribution des stations de ski et leur impact économique dans la région.

Contribution économique ou impact économique ?

La contribution économique s'intéresse essentiellement à la manière dont l'argent dépensé dans une industrie circule à l'intérieur de l'économie d'une région donnée. (Watson et al., 2007). L'impact économique s'intéresse plutôt aux revenus supplémentaires qu'une industrie attire dans une région et qui ne seraient pas générés en l'absence de cette industrie. Dit plus simplement, l'impact économique est défini comme la différence d'activité économique attribuable à l'industrie étudiée¹⁷. Elle doit être mesurée en quantifiant : 1) les exportations générées par l'industrie; 2) la portion supplémentaire de la valeur ajoutée des revenus conservés dans l'économie par les dépenses des consommateurs locaux en comparaison au substitut le plus près dans l'économie locale, 3) la portion de la demande finale des ventes aux visiteurs dans la région découlant de la présence de l'industrie, 4) la portion de la demande finale des consommateurs locaux qui auraient dépensé leur argent en dehors de la région en l'absence de l'industrie.

Le plus important à comprendre de cette distinction est que pour réellement saisir l'impact économique des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin, il est primordial d'intégrer les effets de substitution des consommateurs. En modélisant ces changements, il est alors possible de comprendre ce qui se produirait réellement lors d'une variation de l'achalandage à la station, causée par les changements climatiques par exemple.

La question devient alors : quel serait le comportement des skieurs qui ne se rendront pas à la montagne en raison des mauvaises conditions climatiques ou de glisse ? La baisse de fréquentation des stations de ski qui résulte des changements climatiques se traduira nécessairement par une augmentation du budget disponible pour effectuer d'autres activités. L'effet de substitution est induit par la diminution des dépenses consacrées aux activités de ski et l'augmentation des dépenses allouées aux nouvelles activités qui auront la faveur des personnes qui délaisseront les pentes de ski.

Selon la théorie d'Iso-Ahola (Iso-Ahola, 1986), lorsque les usagers d'un service de loisirs ne peuvent plus le pratiquer de la même manière, il y a trois comportements possibles :

- La substitution temporelle : les skieurs reportent à plus tard cette activité et en modifient l'intensité (p. ex. au lieu de skier deux samedis par mois pendant 4 mois, ils skient tous les samedis pendant 2 mois) ;
- La substitution spatiale : les skieurs modifient le lieu d'activité (p. ex. au lieu de skier à Bromont, ils skient à Tremblant) ;
- La substitution d'activité : les skieurs changent d'activité (p. ex. au lieu de skier, ils jouent au tennis).

Les effets de substitution ne seront pas les mêmes selon le type de skieurs et sa provenance. Nous possédons un certain nombre d'informations sur les comportements anticipés des skieurs devant

¹⁷ Elle doit être mesurée essentiellement en quantifiant : 1) les exportations générées par l'industrie; 2) la portion supplémentaire de la valeur ajoutée des revenus conservés dans l'économie par les dépenses des consommateurs locaux en comparaison au substitut le plus près dans l'économie locale, 3) la portion de la demande finale des ventes aux visiteurs dans la région découlant de la présence de l'industrie, 4) la portion de la demande finale des consommateurs locaux qui auraient dépensé leur argent en dehors de la région en l'absence de l'industrie (Watson et al., 2007).

substituer leur activité de ski à partir de la littérature sur le sujet. D’abord, il faut mentionner que les comportements de substitution adoptés dépendent de plusieurs facteurs tels que le niveau en ski des skieurs (Rutty *et al.*, 2015a), la fréquence de leur pratique (Dawson, Scott et Mcboyle, 2009; Dawson, Havitz et Scott, 2011), le type de tourisme pratiqué par la clientèle des stations (Cocolas, Walters et Ruhanen, 2016), la permanence/durée de l’impossibilité de pratiquer l’activité dans la station où a lieu l’enquête (Rutty *et al.*, 2015a) et la taille des stations (Rutty *et al.*, 2017). En général, le comportement de substitution le plus fréquemment déclaré est celui de la substitution spatiale. Les répondants se déclarent généralement prêts à assumer un coût supérieur pour pratiquer le ski ailleurs et conduire plus longtemps (Unbehaun, Pröbstl et Haider, 2008).

Ces résultats sont issus des travaux sur d’autres régions que les Cantons-de-l’Est et pourraient ne pas représenter le comportement des skieurs qui fréquentent les stations étudiées. La réalisation en parallèle d’un projet de recherche sur le bien-être économique des skieurs (Shinder, 2018) permet notamment de mieux comprendre comment les skieurs des Cantons-de-l’Est substitueront leurs activités de ski. Le sondage administré lors de la saison 2017/18 suggère qu’environ 40 % des skieurs se rendraient à une autre station si la station était fermée pour la journée (substitution spatiale) alors que 58 % reporteraient leur journée de ski à un autre jour (substitution temporelle). Grâce à ces informations, nous pouvons évaluer le niveau de substitution spatiale des skieurs des Cantons-de-l’Est en fonction de leur provenance. Ces résultats sont résumés Tableau 29.

Tableau 29 : Résumé des hypothèses des effets de substitution des baisses d’achalandage

Provenance clientèle*	Proportion de la clientèle	Substitution spatiale (hors CDE)
Clientèle locale	58,3 %	13 %
Villégiateurs	17,4 %	21 %
Ontario	0,9 %	52 %
États-Unis	2,0 %	52 %
Autres	21,4 %	52 %
Total excursionnistes et touristes	24,3 %	
Total	100 %	24 %

* La provenance des skieurs a été établie en fonction des informations contenues dans le rapport Archambault et al. (Archambault, Nguyen et Morin, 2016) et des informations obtenues de la provenance des skieurs pour la station Orford. C-d-E : Cantons-de-l’Est

Sur la base des résultats de l’enquête, nous savons que la clientèle locale¹⁸ aurait moins tendance à substituer spatialement sa sortie de ski. Le même constat s’applique aux villégiateurs¹⁹ qui substitueraient dans une proportion de 21 % leur activité de ski. La clientèle excursionniste et touristique est évidemment celle qui est la plus mobile : 52 % de ces répondants ont affirmé qu’ils se déplaceraient vers une autre station pour skier.

L’impact économique des changements climatiques sur l’économie régionale dépendra réellement des comportements adoptés par les skieurs qui fréquentent les stations de la région et qui pourraient

¹⁸ La clientèle locale est définie comme les skieurs dont la résidence principale se situe dans la région des Cantons-de-l’Est.

¹⁹ La clientèle de villégiateurs est définie comme les skieurs qui possèdent une résidence secondaire dans la région.

éventuellement se tourner vers d'autres régions pour skier. Par contre, ce même comportement des touristes pourrait aussi constituer une opportunité. Les changements climatiques affecteront toutes les régions à travers l'Amérique du Nord. Plusieurs rapports mentionnent que la fréquentation des stations de ski du Nord-Est américain et de l'Ontario connaîtra une baisse importante de leur fréquentation. Par exemple, les travaux de Wobus et al. (Wobus *et al.*, 2017) suggèrent que le Nord-Est américain sera une des régions américaines les plus impactées par les changements climatiques et que la fréquentation des stations de ski pourrait chuter drastiquement en raison de la réduction de la durée de la saison et de la détérioration des conditions de glisse.

Dans un tel contexte, si la région des Cantons-de-l'Est affiche de meilleures conditions de glisse pendant certaines périodes de la saison, il est possible qu'une portion des skieurs provenant de ces marchés soient prêts à s'y déplacer. Pour cela, il faudrait que les stations de ski des Cantons-de-l'Est soient moins vulnérables aux changements climatiques que leurs concurrents. Aucune étude pour le moment ne permet de poser un tel constat. Il serait intéressant d'étudier les modifications de la position concurrentielle de l'industrie québécoise du ski alpin dans le marché nord-américain en contexte de changements climatiques. L'impact économique régional des variations de fréquentation en réponse à la transformation du climat n'est donc pas encore clair. La prochaine section propose un chemin à suivre pour répondre à cette question d'intérêt.

7.4 Recommandations pour évaluer l'impact économique sur l'économie régionale

Les skieurs n'adoptent pas tous les mêmes comportements de substitution. Pour améliorer la modélisation de l'impact économique régional des changements climatiques, il est nécessaire de mieux comprendre les comportements des skieurs fréquentant les stations des Cantons-de-l'Est. Cette amélioration des connaissances permettrait de mieux saisir l'effet régional de la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Pour ce faire, nous encourageons l'industrie à déployer des initiatives permettant de mesurer les comportements des skieurs lorsque les conditions climatiques ne sont pas propices à la pratique de leur sport. La même information à propos des comportements des skieurs localisés dans les régions adjacentes permettrait aussi de raffiner l'analyse. De plus, cette information permettrait d'orienter les efforts marketing vers les bassins de skieurs les plus susceptibles de se tourner vers les stations du Québec en cas de conditions moins intéressantes dans leur région.

Par ailleurs, en **termes de politiques publiques, il est incontournable de réfléchir à la question de l'impact économique régionale des changements climatiques sur l'ensemble de l'industrie touristique, de même qu'aux bénéfices économiques du déploiement d'un plan de mesures d'adaptation à l'échelle régionale.** La conception des programmes d'appui à l'industrie devrait s'appuyer sur des analyses d'impact économique et non de contribution économique afin de mieux saisir l'efficacité des mesures d'appui qui sont déployées pour l'industrie.

8. Vers une industrie du ski résiliente aux changements climatiques

Partout dans le monde, l'industrie du ski est actuellement en mutation en réponse au plus important défi auquel elle aura été confrontée de son histoire : les changements climatiques. Se dresse alors une industrie qui agit, ici comme ailleurs, en pionnière afin d'aborder de front la question de l'adaptation que ce soit au point de vue des techniques d'opération, de l'offre de services ou même de son modèle d'affaires.

8.1 Les bonnes pratiques dans l'industrie

L'industrie québécoise du ski alpin reconnaît depuis plusieurs années que les changements climatiques imposeront une transformation de ses activités à terme. Sous le leadership de l'ASSQ, l'industrie s'est engagée dans l'identification de bonnes pratiques qui permettront d'accroître la résilience des stations de ski face aux changements climatiques. De plus, pour demeurer à l'affût des tendances et innovations en matière d'adaptation aux changements climatiques, les réseaux d'association des différents territoires skiables du monde collaborent et partagent leurs avancées. D'importants acteurs tels que Protect our winter (POW) et la National Ski Area Association (NSAA) génèrent des connaissances en matière d'impact des changements climatiques et de l'adaptation des domaines skiables.

Afin de favoriser le partage et la diffusion des savoir-faire dans l'ensemble de l'industrie et d'intervenir en appui aux stations de toute taille, l'ASSQ a développé, en collaboration avec les leaders du secteur, des guides de bonnes pratiques pour outiller les gestionnaires sur les meilleures méthodes et connaissances disponibles : guide de bonnes pratiques pour l'enneigement, guide de bonnes pratiques sur le damage et l'entretien des pistes, guide de bonnes pratiques pour l'optimisation de la performance électrique, etc. Bien que ces outils n'abordent pas directement la question des changements climatiques, ils permettent aux stations d'augmenter leur résilience, leur efficacité et leur compétitivité en réduisant leurs coûts d'opération et en augmentant la qualité du produit.

Les résultats de cette étude ont démontré que l'optimisation de pratiques de fabrication de neige présente encore un potentiel important de gain en matière de réduction de coûts et d'amélioration de la qualité des conditions du domaine skiable. À la lumière des nouvelles connaissances, la mise à jour du guide des bonnes pratiques pour l'enneigement apparaît une avenue à envisager pour intégrer les informations climatiques spécialisées pour le secteur alpin, notamment celles sur les hauteurs cibles optimales de couvert de neige. La notion de « registre d'historique climatique » pourrait aussi être bonifiée en intégrant les projections climatiques régionales à long terme dans la planification des investissements en infrastructures, particulièrement pour les équipements de fabrication de neige, les bâtiments et les infrastructures.

L'industrie, grâce à l'apport de l'ASSQ et de ces stations pionnières, s'implique activement dans la réalisation de projet de recherche, avec le milieu académique, afin d'améliorer les connaissances sur les impacts des changements climatiques sur leurs activités opérationnelles et décisionnelles. De plus, la région des Cantons-de-l'Est, très proactive en recherche et développement notamment dans le dossier

des changements climatiques trace la voie pour d'autres qui souhaiteraient emboîter le pas et passer à l'action face au défi climatique maintenant incontournable ²⁰.

8.2 Les apprentissages

Cette analyse contribue à faire progresser l'adaptation aux changements climatiques dans l'industrie du ski alpin. Elle s'impose comme une tentative manifeste de rapprocher les résultats de la science aux réalités opérationnelles et financières dans lesquelles les stations de ski évoluent. Le projet visait le développement d'une boîte à outils scientifiquement robuste, mais utile, pour la prise de décision en matière d'adaptation aux changements climatiques.

Les stations de ski évoluent dans un environnement concurrentiel complexe, où les aléas des conditions climatiques dictent les conditions d'opérations de l'entreprise au quotidien. Malgré cela, ces entreprises doivent constamment s'adapter à l'évolution des exigences de la clientèle, au développement exponentiel de la concurrence en tourisme et loisirs, et ce, avec un accès limité aux capitaux nécessaires à l'investissement, tout en protégeant le milieu naturel qu'est la montagne afin d'assurer la pérennité de leurs activités.

Il va s'en dire que la question de l'adaptation aux changements climatiques doit alors s'inscrire dans un cadre de réflexion qui permet d'intégrer cette complexité de l'environnement d'affaires, qui soit flexible, évolutive et s'intègre aux mécanismes de prise de décision de l'industrie.

8.2.1 Les conditions d'opérations

La modélisation du couvert de neige a permis de reproduire ; l'évolution des phases d'enneigement de la montagne, l'épaisseur du couvert de neige naturelle et fabriquée, ainsi que le nombre de pistes ouvertes sur toute la durée de la saison. En plus des dates d'ouverture et de fermeture de la station, le nombre de pistes ouvertes durant la saison donne des informations cruciales pour évaluer la qualité de la saison. La construction du modèle de couvert de neige est une avancée significative au Québec et devrait servir de base pour les analyses de stations autres que celles qui ont participé à la présente étude. Les résultats issus de ces travaux ont permis de conclure que :

- En l'absence d'adaptation, le démarrage de la saison serait progressivement décalé à mesure que les changements climatiques se manifesteront. Le décalage de la saison devrait atteindre environ 7 à 10 jours à l'horizon 2050 par rapport à la situation présente (2020). Sur la durée totale de la saison, on observerait une réduction de 10 à 20 jours d'opération. Toutefois, cette diminution ne compromettra pas la capacité des stations à opérer au-dessus du seuil minimum de 100 jours de ski. Il est prévu que le domaine skiable disponible subirait une baisse variant entre 20 et 30 % des pistes en moyenne pour les trois stations à l'horizon 2050.

²⁰ Mentionnons notamment les projets d'Analyse socioéconomique des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques de l'industrie touristique au Québec réalisés par la Chaire de Tourisme Transat et d'Évaluation expérimentale et théorique de l'efficacité de canons à neige et modélisation 1D du couvert de neige d'une piste de ski réalisé grâce à une collaboration Bromont Montagne d'expérience et l'université de Sherbrooke.

Recommandations :

- Pour assurer l'efficacité et la saine gestion de leurs opérations, les stations de ski devraient poursuivre leurs efforts quant à l'optimisation des pratiques d'enneigement. Minimale, les opérateurs devraient mettre en application les bonnes pratiques identifiées dans le Guide de bonnes pratiques sur la fabrication de neige, publié par l'ASSQ.
- Le déploiement du plan d'enneigement en début de saison est un exercice d'optimisation complexe qui implique de bien anticiper les variations de températures et de précipitations, afin de pouvoir ouvrir la station à temps pour la période des fêtes, tout en évitant de fabriquer un surplus de neige. La prise en compte des prévisions saisonnières, de même que l'évolution des probabilités en matière de fenêtre de froid pourrait améliorer l'efficacité du déploiement des plans d'enneigement, tout en optimisant les coûts d'opération.
- Le développement d'un modèle de neige pour les trois stations des Cantons-de-l'Est est un avancement scientifique majeur par rapport à la capacité à reproduire fidèlement le couvert de neiges des stations en fonction des séquences de fabrication de neige et des précipitations naturelles. Un transfert efficace devrait être planifié par l'industrie et éventuellement adapté afin de pouvoir appuyer les autres stations de ski n'ayant pas participé à la présente étude.

8.1.2 L'achalandage dans les stations de ski

La modélisation de l'achalandage a permis de mieux comprendre l'influence des conditions météorologiques et des conditions de glisse sur la décision des skieurs de se rendre en station. Cette modélisation a été construite afin de pouvoir projeter l'achalandage attendu au cours des trente prochaines années. Les principales conclusions tirées de cette phase de modélisation sont :

- Les transformations des conditions climatiques et incidemment des conditions de glisse vont mener à une baisse généralisée de l'achalandage avoisinant les 10 % pour les Cantons-de-l'Est si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place.
- La variabilité des conditions de glisse affectera également les abonnements de saison qui devraient se contracter d'environ 2 à 7 % d'ici 2050.

Recommandations :

- L'utilisation des projections d'achalandage dans la planification à court terme (jours/semaines) pour les opérations des stations de ski. De telles prévisions peuvent faciliter la prise de décision des gestionnaires quant aux ressources humaines déployées sur le terrain, à l'entretien des pistes, à l'ouverture des divers secteurs d'une montagne, aux stratégies marketing, etc. Ce genre d'usage pourrait faciliter l'appropriation des méthodes développées par la communauté scientifique et faciliter l'intégration des outils de planification dans la prise de décision à long terme sur les questions d'adaptation aux changements climatiques. Dans une logique de contrôle des coûts, un suivi serré des coûts d'exploitation fera une grande différence pour préserver le chiffre d'affaires dans un contexte de changement climatique.

- Développement des modèles de projection pour l'industrie. Au même titre que le modèle de couvert de neige, le modèle d'achalandage a été développé spécifiquement pour les trois stations de ski participantes, chacune ayant des paramètres différents qui influencent leur achalandage. Le développement de modèle d'achalandage pour les autres stations de ski du Québec permettrait de meilleures projections d'achalandage favoriserait une communication adaptée de sorte à moduler l'achalandage durant les périodes clés.
- La diversification des activités et la collaboration régionale. De sorte à conserver l'attractivité et la compétitivité des stations de ski et de la région, une réflexion vers une destination « weather proof » peut donner un avantage important aux entreprises et réduire la baisse anticipée de l'achalandage.

8.1.3 La position financière des stations

La modélisation des revenus et des coûts a permis de jeter les bases d'une meilleure compréhension des sensibilités climatiques des différents postes de revenus et de coûts des stations de ski au Québec. Elle vise également à structurer le cadre d'analyse des investissements en adaptation afin qu'il soit possible d'évaluer s'il est rentable d'investir en adaptation aux changements climatiques dans une perspective d'investissement en projet privé. Les principales conclusions tirées de cette phase de modélisation sont :

- La diminution de l'achalandage et du nombre de jours d'exploitation affectera à la baisse les revenus totaux hivernaux (-3 à -10 % entre 2020 et 2050) alors que les coûts totaux devraient rester relativement stables ou légèrement diminuer (0 à -3 % entre 2020 et 2050). Même si les impacts attendus sont à prendre au sérieux en vue de pérenniser la santé financière des stations de ski, les impacts quantifiés dans ce rapport ne suggèrent pas une détérioration importante de la position financière des stations. Ils amplifient toutefois la nécessité de considérer les risques climatiques dans l'environnement d'affaires afin de maintenir une marge bénéficiaire viable à moyen et long terme.
- Lors des saisons particulièrement mauvaises, les stations de ski au Québec ont généralement réussi à compenser les pertes d'achalandage par une hausse des dépenses par jour-ski grâce à la diversification des produits et services offerts à la clientèle. Nos résultats sont cohérents avec cette tendance historique.

Recommandations :

- Alors que les ventes de billetterie diminuent d'environ 8 % (médiane) pour les trois stations, les revenus totaux diminuent dans une moindre mesure (autour de 4 %). Cette résilience intrinsèque des stations de ski est à mentionner, car elle constitue probablement une des plus grandes forces de l'industrie devant le défi qui s'annonce. Il faut harnacher cette force pour en faire un puissant outil d'adaptation. La créativité des entrepreneurs pourrait leur permettre de pallier la baisse d'achalandage par une diversification des activités et des revenus.

- Un contrôle des coûts plus serré pour les postes les plus importants (électricité et main-d'œuvre) doit permettre de rendre plus réactive la gestion financière des stations. L'utilisation de projection à court terme grâce au modèle d'achalandage est un moyen à envisager.

8.1.4 La rentabilité de l'adaptation aux changements climatiques

Cette étude pose également les fondations nécessaires à l'analyse de l'adaptation aux changements climatiques, ce qui a été réalisé dans un 2^e temps. Les analyses financières ont permis d'évaluer la capacité des mesures d'adaptation technologiques à lutter efficacement contre les tendances climatiques qui se dessinent pour l'avenir de l'industrie.

En fonction des hypothèses de travail et de la modélisation de l'évolution des revenus et des coûts, les résultats suggèrent qu'aucune des mesures d'adaptation technologiques qui impliquent des investissements majeurs en équipement de fabrication de neige ne peut être rentabilisée par une hausse des revenus d'exploitation ou une baisse des coûts d'opération de l'entreprise à elle seule, à un taux d'actualisation de 4 %. Seules les mesures à faible investissement tel que l'optimisation de la fabrication de neige sont rentables financièrement à l'échelle des stations de ski, notamment car elles n'impliquent pas d'acquisition importante. Les principaux résultats issus de l'analyse de la rentabilité financière des stations :

- Les résultats des analyses financières montrent qu'il est difficile d'absorber les investissements en équipement de fabrication de neige à l'échelle des stations de ski seule. Le poids de la mise à niveau des équipements pour l'accroissement de la capacité de fabrication de neige, en particulier pour les stations ayant des équipements vieillissants et de faibles capacités, est substantiel. Le déploiement d'équipement de fabrication performant permet d'accroître la compétitivité des stations, de maintenir des conditions de neige adéquates en tirant profit des périodes de froid pour enneiger. Il reste cependant que le coût de ces investissements est tellement pénalisant que la baisse des dépenses attendue en consommation d'énergie et la hausse des revenus de billetterie découlant de l'attractivité de la montagne ne sont pas suffisantes pour récupérer les montants consentis pour l'infrastructure. Ce constat est assez unanime pour les trois stations à l'étude et il est logique de croire qu'il serait le même pour les autres stations au Québec. Cette situation ranime le débat sur le rôle des stations de ski comme moteurs économiques régionaux et sur le partage des risques financiers. À l'image du modèle d'affaires de certains pays, il pourrait être intéressant d'analyser et éventuellement s'inspirer des modèles communaux, par exemple, où l'ensemble de la communauté d'affaires qui gravite dans l'écosystème de la montagne contribue à son développement pour permettre de conserver l'attractivité et la compétitivité des régions.
- Les résultats mettent aussi en évidence qu'en complément aux investissements stratégiques d'amélioration de la capacité d'enneigement et d'optimisation des pratiques de fabrication de neige, les stations de ski doivent mieux répartir les risques climatiques sur les quatre saisons. En ce sens, les démarches de réflexion sur le modèle d'affaires à long terme doivent se poursuivre. Certaines avenues envisagées peuvent comprendre : la diversification des activités offertes, le renouvellement des technologies et de l'environnement bâti, la poursuite d'intégration des pratiques écoresponsables. Il pourrait aussi être possible de considérer l'utilisation des méthodes novatrices de marketing et le développement de nouveaux marchés.

De par sa position géographique stratégique, le Québec a le potentiel d'augmenter son attraction des skieurs en provenance des marchés limitrophes qui pourraient être davantage vulnérables aux CC, mais ce potentiel n'a toujours pas été documenté.

Ces mesures apparaissent comme incontournables à la pérennisation des activités des stations de ski ici, comme ailleurs dans le monde. Toutefois, l'analyse de rentabilité financière de ces mesures a été plus ardue qu'anticipée et, il est difficile d'affirmer avec un grand niveau de confiance laquelle ou lesquelles de ces trajectoires d'adaptation détiennent le plus grand potentiel financier et économique pour le contexte spécifique des Cantons-de-l'Est. Nous abordons plus en détail les limites du modèle et les avenues de recherche futures à la section suivante.

Recommandations

Un des objectifs du projet était d'utiliser le cas des stations des Cantons-de-l'Est pour tirer des conclusions qui s'appliquent plus largement à l'industrie. Cette extrapolation des résultats est un exercice complexe dans la mesure où la modélisation construite s'est basée sur une reproduction spécifique des mécanismes opérationnels des trois stations participantes. Malgré cela, certaines généralisations peuvent être tirées des résultats obtenus afin de guider la prise de décision ailleurs au Québec.

- Au même titre que l'accroissement de la capacité d'enneigement, l'optimisation des pratiques de fabrication de neige mériterait de recevoir plus d'attention. Il reste encore dans de nombreuses stations de ski des gains d'efficacité à aller chercher afin d'améliorer les pratiques d'enneigement actuellement en place. L'ASSQ participe à l'éducation des stations grâce à des outils de référence comme les guides de bonnes pratiques qui encouragent l'usage de plan d'enneigement, entre autres, pour optimiser la gestion des opérations de la montagne. La mise en application des meilleures pratiques d'affaires dans l'ensemble des stations de ski du Québec pourrait mener à des économies importantes qui viendraient améliorer la performance financière des stations. Dans le cadre du projet, la modélisation de l'optimisation des pratiques de fabrication de neige à Orford a démontré que des économies de plusieurs dizaines de milliers de dollars par année étaient possibles, sans investissement majeur. Dans le jargon de l'adaptation aux changements climatiques, c'est ce qu'on nomme les « mesures sans regret » qui permettent de tirer des bénéfices importants, peu importe l'intensité du changement climatique attendu.

8.3 Le chemin qu'il reste à parcourir

8.3.1 Recherche et développement

Le présent projet constitue une avancée méthodologique majeure pour la compréhension des impacts des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin de même que pour l'analyse des mesures d'adaptation. Malgré un effort important afin d'imbriquer les effets en cascades de la transformation des conditions climatiques et la santé financière des stations, le travail de modélisation réalisé dans ce projet possède des limites qui méritent d'être mentionnées afin d'orienter les travaux futurs et poursuivent la production de connaissances sur l'impact du climat.

Premièrement, la modélisation des activités de ski passe par une compréhension et une reproduction de plusieurs niveaux de décisions humaines tant au niveau des opérations des stations de ski que des décisions des skieurs eux-mêmes. Même si les décisions opérationnelles peuvent être reproduites avec un certain niveau de confiance, les mécanismes de prise de décision sont intrinsèquement en évolution à mesure que l'environnement opérationnel évolue. Mentionnons par exemple la décision d'ouvrir ou de fermer la station de ski lors de journées de mauvaises conditions ou bien de fixer la date d'ouverture de la station.

Du côté du comportement des skieurs, à travers les données d'achalandage, il est certainement possible d'analyser statistiquement la prise de décision des skieurs en fonction de différents paramètres décisionnels et de différentes variables (climatiques et autres). Cependant, le skieur d'aujourd'hui n'est pas le skieur de demain et les facteurs qui dictent la décision de se rendre à la montagne aujourd'hui peuvent différer largement de ce qui sera important dans le futur, ne serait-ce qu'en raison de l'évolution des alternatives qui s'offrent à lui. Il faut donc interpréter les résultats comme une reproduction des comportements attendus des skieurs d'aujourd'hui dans un climat de demain.

Deuxièmement, le projet a permis de faire progresser substantiellement la compréhension de l'impact des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin, en poussant l'analyse jusqu'au niveau de la modélisation financière des stations. Bien que cette approche soit une avancée majeure en termes d'outil de prise de décision, elle ajoute un niveau de complexité à l'incertitude liée aux différents types de projections ; climatiques, du couvert de neige et de l'achalandage. Le travail réalisé a consisté à décortiquer les états financiers des stations de ski. Cependant, reproduire avec fidélité la réponse de chaque poste de revenus et de coûts en fonction du climat est un exercice complexe qui implique l'établissement d'une série d'hypothèses de modélisation. L'exercice de simplification effectué permet tout de même de bien comprendre les principales tendances qui se dessineront au niveau de la santé financière des stations et de faciliter la prise de décision en matière d'investissements structurants. L'outil de simulation d'investissement en adaptation aux changements climatiques permet aux gestionnaires de poser les hypothèses de variations de revenus et de coûts qui leur semblent le plus réalistes.

Troisièmement, l'horizon d'analyse retenu dans l'étude se veut un compromis entre deux échelles de travail et de planification. D'un côté, un horizon de projection de 30 ans représente une planification stratégique à très long terme pour les entreprises du secteur privé de l'industrie touristique. De l'autre, au niveau climatique, ce même horizon constitue une projection de court terme. La plus grande incertitude à cet horizon est celle liée à la variabilité naturelle et aux modèles climatiques utilisés dans l'étude. À cet horizon d'analyse, les simulations climatiques impliquant un maintien ou un accroissement du niveau d'émissions de gaz à effet de serre et celles impliquant une diminution marquée des émissions ne se démarquent que très peu l'une de l'autre. L'amplification du réchauffement du climat pour les scénarios climatiques à forte concentration de CO₂ se produira autour de 2050. Les stations de ski devront donc s'en intéresser davantage, car les mesures d'adaptation qui sont efficaces pour les 30 prochaines années pourraient ne pas l'être pour les 30 suivantes.

Quatrièmement, l'identification des mesures d'adaptation aux CC dans l'industrie du ski, ou dans n'importe quelle industrie par ailleurs, nécessite le déploiement de mécanismes de concertation, de réflexion et de négociation entre les différentes parties prenantes afin de faire émerger des mesures qui soient à la fois techniquement, économiquement, écologiquement et socialement viables. Le présent

projet ne prétend pas avoir réussi un tel tour de force. Nous avons posé les bases d'un cadre d'analyse qui peut être exploité pour étudier différentes trajectoires d'adaptation, mais ces trajectoires devront émerger des acteurs sectoriels impliqués.

Cinquièmement, le projet avait l'ambition d'accroître la compréhension des impacts socioéconomiques que pourrait subir la région en réponse à l'effet des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin. Certaines complications méthodologiques ont limité l'arrimage prévu entre les modélisations à l'échelle des stations et sa traduction en impact économique régionalisée. Les défis rencontrés liés aux échelles d'analyse, aux hypothèses de modélisation macroéconomique, à l'influence du développement socioéconomique sur la demande de ski et au rôle des effets de substitution ont forcé l'équipe de recherche à renoncer aux ambitions initiales et à recadrer cette portion de l'analyse. Il y a donc place à développer davantage ces connaissances et construire sur les obstacles méthodologiques rencontrés dans le cadre de ce projet afin de mieux prendre en compte les différentes échelles spatiales dans l'analyse des coûts et avantages des mesures d'adaptation.

Sixièmement, le développement d'un cadre d'analyse multicritères a servi de filtre supplémentaire afin d'intégrer les considérations sociales et environnementales de chacune des mesures d'adaptation. Il semblait également pertinent d'utiliser ce cadre d'analyse pour introduire le travail d'analyse financière pour étudier certaines mesures plus exploratoires. Or, en cours de route, il nous est apparu que même avec une approche d'analyse qualitative, un certain niveau de détails techniques sur les mesures étudiées ainsi que des données tangibles sur les impacts environnementaux et sociaux étaient essentiels pour dresser un portrait fiable via une analyse multicritères. Il nous semble également pertinent de mentionner que ce cadre d'analyse devrait être mis à profit dans le cadre de projets ou d'initiatives de réflexion commune sur l'adaptation aux changements climatiques regroupant les gestionnaires de stations de ski, les représentants de l'industrie, mais également les représentants régionaux, les groupes de pression et toute autre partie prenante. Ce type de structure d'analyse peut aider à développer des approches innovantes, réduire les conflits potentiels et intégrer le savoir qualitatif dans l'analyse des trajectoires d'adaptation (Bonzanigo, Giupponi et Balbi, 2016).

De ces limites, il en ressort trois perspectives de recherche prometteuses :

1. Le présent projet s'est intéressé à l'influence du climat sur l'industrie du ski alpin en adoptant une posture scientifique où *toutes autres choses sont égales par ailleurs*. En particulier, les projections d'achalandage ne prennent pas en compte l'évolution des conditions démographiques et socioéconomiques à long terme et l'évolution potentielle d'une relève de skieurs. Ces facteurs pourraient jouer un rôle majeur, à la hausse ou à la baisse, dans le bassin futur de skieurs potentiels de même que dicter la capacité des individus à se payer des activités de loisir. De même pour les grandes transitions générationnelles de même que l'arrivée importante d'immigrants qui pourraient impacter le bassin de clientèle de skieurs dans le futur. L'intégration de ces dimensions en combinaison avec l'effet du climat sur la pratique du ski viendrait enrichir grandement notre compréhension de la situation de l'industrie dans les prochaines décennies.
2. L'identification et la quantification de mesures d'adaptation qui ne sont pas liées à la technologie ont posé un défi de taille dans le cadre du présent projet. D'une part parce que les stations se trouvent dans un nouveau contexte où tout est à créer et d'autre part parce que les modèles d'analyse existants nécessitent des données historiques d'opération rendant les mesures innovantes

difficiles à quantifier. Le modèle d'analyse tente de reproduire le plus fidèlement le mode de fonctionnement actuel des stations de ski afin de projeter son évolution future. Or, lorsque ce même cadre est utilisé pour évaluer la rentabilité de mesures exploratoires qui sortent du modèle d'affaires traditionnel des stations de ski, il devient alors très difficile de comprendre et surtout de projeter les répercussions financières de ces mesures.

Il y a donc nécessité, avant même de quantifier l'impact financier de ce type de mesures, de mobiliser les acteurs de l'industrie touristique afin de réfléchir à l'avenir de l'industrie de la montagne et de faire progresser la réflexion au-delà des références connues. Les mesures qui seront déployées doivent émerger du milieu et surtout se construire autour d'un plan d'action précis, coordonner entre les acteurs régionaux et cohérent avec les trajectoires climatiques anticipées. Un projet de recherche-action de mobilisation du milieu pourrait certainement s'attaquer à ce défi en exploitant la structure de modélisation développer dans le cadre de ce projet.

3. Tel que mentionné dans la section précédente, la modélisation de l'impact économique régional a posé des défis méthodologiques majeurs qui ont limité la portée de l'analyse régionale. Bien que les analyses réalisées aient permis de fournir une information quantitative sur la contribution économique dans un climat en évolution, il demeure un travail à faire pour comprendre avec précision les implications d'une variation de l'achalandage aux stations et l'effet des mesures d'adaptation sur la santé économique des régions. De plus, il semble inévitable que pour favoriser l'adaptation de l'industrie du ski alpin aux changements climatiques, il soit nécessaire d'intégrer les bénéfices des mesures d'adaptation sur l'ensemble de l'écosystème d'affaires des stations. En ce sens, il importe de poursuivre les travaux afin de mieux comprendre l'effet potentiel d'une diminution de l'achalandage aux stations, ou de la fermeture de stations en raison des mauvaises conditions climatiques, sur les attraits environnants. À cet effet, une opportunité de recherche pourrait s'appuyer sur le passé de l'industrie au Québec. Entre les années 80 et aujourd'hui, une rationalisation majeure de l'industrie s'est opérée ce qui a fait passer le nombre de stations de 125 à 75 aujourd'hui. L'analyse de l'impact économique régionale de ces fermetures pourrait être quantifiée afin de fournir une information quantitative sur le rôle que jouent les stations dans l'économie locale.

8.3.2 Outil appliqué pour les stations participantes

L'implication des stations de ski ; Bromont, Montagne d'expériences, Mont Sutton et du Mont Orford a permis de faire progresser la compréhension des vulnérabilités aux changements climatiques et de l'adaptation à une échelle d'analyse très fine. En matière d'adaptation aux changements climatiques, ces stations détiennent maintenant de nouveaux outils leur permettant de mieux comprendre les trajectoires climatiques qui caractérisent leur montagne, de même que les implications techniques et financières des moyens d'adaptation à leur disposition.

Plus important encore, en plus du présent rapport, elles détiennent un outil de simulation des investissements en adaptation qui transfère la capacité d'analyse du milieu de la recherche scientifique en un instrument de prise de décisions pour les acteurs de l'industrie.

Au moment de déposer ce rapport, les trois stations sont en implantations de projets d'investissements majeurs en infrastructures, stimulés par l'appui financier découlant de la Stratégie de mise en valeur du

tourisme hivernal. Il y a donc une opportunité à saisir afin d'intégrer dans la planification de ces investissements, les enjeux liés aux changements climatiques. En particulier pour les infrastructures qui sont dépendantes aux conditions climatiques, il est primordial que leur conception, leur mise en œuvre et leur déploiement tiennent compte de la réalité climatique actuelle et surtout future. Le climat est en évolution et la conception des ouvrages ne peut plus se baser sur les données climatiques historiques.

Le simulateur d'investissement en adaptation aux changements climatiques devrait être mis à profit pour évaluer la rentabilité de ces investissements à moyen et long terme. Plus important encore, les stations participantes ont maintenant les outils nécessaires intégrer le risque climatique dans leur stratégie d'investissement, tout comme elles intègrent déjà le risque financier ou toute autre forme de risque organisationnel.

8.3.3 Pour l'industrie et l'Association des stations de ski du Québec

Le projet s'est intéressé à trois stations de ski, concentrées dans une seule région touristique. Bien que la région des Cantons-de-l'Est soit un laboratoire très utile afin d'anticiper les impacts des changements climatiques pour le reste des stations de ski au Québec, il importe d'accroître le niveau de connaissances des impacts dans les autres régions de Québec. Plusieurs généralisations ont été tirées pour tenter de fournir une information utile pour les autres régions du Québec. Il reste cependant que chaque station évolue dans un environnement d'affaires et économique particulier et surtout, dans une zone climatique qui lui est propre. La méthodologie et les données (climatiques, achalandages et financières) sont disponibles pour réaliser l'exercice pour les autres stations de ski du Québec et fournir une information globale à l'échelle de la province sur les stations/régions les plus vulnérables aux CC. Ultimement, cela permettra d'orienter les efforts d'adaptation vers les régions et les stations qui doivent s'adapter prioritairement.

Quant aux mesures d'adaptation à déployer sur le territoire, elles sont fonction des conditions climatiques régionales et locales, de l'environnement concurrentiel spécifique à chaque station, de la dynamique touristique régionale et des caractéristiques de développement de chaque organisation. L'adaptation devrait être réfléchi à une échelle plus régionale où la station et les acteurs du milieu auraient à mettre en branle des actions qui leur sont propres et qui se complètent. Ce projet a permis de jeter les bases méthodologiques pour le faire. Il reste maintenant aux stations à s'approprier cette problématique, mobiliser leur milieu et intégrer les connaissances climatiques à jour dans leur stratégie d'affaires à court, comme à long terme.

L'ASSQ pourra jouer un rôle important dans le transfert des nouveaux savoirs et dans l'identification des besoins spécifiques des stations de ski en matière d'adaptation aux changements climatiques. En matière de diffusion, l'ASSQ agit comme relayeur de connaissances auprès de ses membres grâce à diverses plateformes telles qu'un congrès annuel, des ateliers régionaux, des guides de bonnes pratiques, des comités consultatifs, etc. L'adaptation aux changements climatiques pourrait devenir un thème de mobilisation des intervenants. En matière de données, l'ASSQ agit de manière proactive en sondant annuellement les stations de ski dans le cadre de son « Étude économique et financière ». Les données recueillies par cette enquête ont été d'une grande utilité pour comprendre les sensibilités et évaluer la rentabilité des mesures. Le sondage administré annuellement pourrait être mis à profit davantage en documentant les investissements spécifiques en adaptation aux changements climatiques. Cela permettrait de suivre les progrès de l'industrie et comprendre les besoins en accompagnement.

Bien que les changements climatiques soient généralement vus comme une menace et un risque additionnel aux secteurs économiques, la transformation du climat peut toutefois fournir des opportunités que les organisations doivent être en mesure de saisir. C'est l'occasion pour les entreprises de repenser leur produit, d'exploiter toutes les particularités de la montagne pour en faire un pôle d'activités quatre saisons, intérieur ou extérieur.

Du point de vue la clientèle, le bouleversement de la structure concurrentielle du marché de ski du Nord-est américain et de l'Ontario pourrait mener à un positionnement favorable des stations de ski québécoises pour attirer de nouveaux visiteurs. Les changements climatiques n'impacteront pas les différents marchés concurrents de la même manière. Il importe de comprendre comment la position concurrentielle de l'offre de ski québécoise évoluera au cours des prochaines décennies. Même si intuitivement, il serait logique de croire que le Québec pourrait tirer profit de la vulnérabilité accrue des stations de ski ontariennes et américaines et réussir à attirer un nombre important de skieurs de cette province, aucune étude n'est venue le confirmer (Burakowski et Magnusson, 2012).

En effet, on mentionne rarement que l'adaptation aux changements climatiques est une opportunité réelle de revisiter les façons de faire en vue de participer à une transformation du modèle actuel vers une structure économique plus résiliente, plus durable et qui génère plus de bien-être pour la société. C'est également dans cette optique que les experts ont mentionné la nécessité de se pencher davantage sur les mesures qui sortent du cadre de réflexion actuel en matière d'adaptation technologique, très répandue dans l'industrie du ski alpin au Québec. La revue de la littérature et la documentation des pratiques à l'international ont fait ressortir que les mesures les plus désirables devraient promouvoir les partenariats à l'échelle de l'industrie, de la région et entre les différentes organisations de développement économique et récréotouristique. Ces mesures restent des idéaux à atteindre, qui nécessiteront temps, consultation et réflexions pour se concrétiser en plan d'action pour en saisir les bénéfices et ultimement être déployées dans un futur à moyen terme.

8.3.4 Les gouvernements

La Stratégie de mise en valeur du tourisme hivernal, lancé en février 2014 par le ministère du Tourisme, évoque les changements climatiques à la fois comme une opportunité et comme une menace au tourisme hivernal québécois. La reconnaissance de la problématique des changements climatiques dans les documents-cadre des programmes du ministère du Tourisme est une avancée significative en matière de prise en compte des CC dans les politiques publiques.

Le gouvernement doit poursuivre ces efforts en ce sens et pousser cette intégration en supportant l'acquisition de connaissances scientifiques sur le sujet et en utilisant la connaissance disponible dans la conception des politiques et des programmes. En particulier, dans le cadre des programmes d'appui à l'industrie du ski alpin, il serait novateur que les ministères offrent aux bénéficiaires l'accompagnement nécessaire afin que les projets soutenus fassent preuve de résiliences face à la transformation du climat à court et long terme.

8.4 S'engager sur la voie de l'adaptation

Cette étude a fait progresser la réflexion sur l'adaptation aux changements climatiques au sein du secteur du ski alpin. Elle a aussi rapproché les résultats des sciences climatiques et économiques aux

réalités opérationnelles et financières dans lesquelles les stations de ski évoluent. Ces travaux ont permis de mieux identifier les conditions financières et économiques permettant le déploiement de l'adaptation dans l'industrie du ski alpin au Québec.

L'évolution du climat au cours des trente prochaines années ne va pas menacer l'existence même de la pratique du ski au Québec dans la région des Cantons-de-l'Est. Toutefois, les résultats indiquent que des défis importants sont à prévoir pour maintenir la qualité du couvert neigeux et l'expérience client. La rentabilité du secteur et l'activité économique régionale liées aux stations dépendent de la réponse de l'industrie à ces défis. Alors que l'augmentation de la capacité d'enneigement par l'ajout ou la mise à niveau des équipements d'enneigement sont souvent identifiées comme la solution qui depuis quelques décennies pallie aux transformations des conditions climatiques, la présente étude en démontre les limites actuelles et futures. En effet, on observe que les investissements massifs seront difficilement rentabilisés par les activités traditionnelles de la station à elle seule. L'industrie devra redoubler de créativité et d'innovation pour permettre au produit et à l'expérience en station de ski d'évoluer vers de nouveaux modèles d'affaires.

Les contributions scientifiques et opérationnelles pour le tourisme sont nombreuses. Ainsi des résultats climatiques et économiques spécifiques à la région étudiée ont été produits. Ceux-ci serviront à informer d'autres intervenants touristiques concernés par l'impact des changements climatiques dans l'industrie du ski alpin. Le cadre d'analyse développé constitue un outil sophistiqué qui permet dorénavant d'intégrer les tendances climatiques et d'examiner un certain nombre de mesures d'adaptation potentielles utiles aux processus de gestion stratégique à l'échelle du secteur du ski alpin québécois. Aussi, un simulateur d'investissement créé de concert avec les gestionnaires, est un outil qui permettra aux usagers d'investiguer les différentes possibilités d'adaptation dans le contexte économique spécifique de leur organisation, avec plus de flexibilité qu'un rapport statique. Une fiche par station a également été conçue afin de fournir un résumé simple et visuellement intéressant des connaissances produites pour les partenaires du projet, mais aussi pour les intervenants touristiques intéressés.

Le présent projet propose une démarche pour documenter les bénéfices de s'engager sur la voie de l'adaptation aux changements climatiques. La poursuite des efforts d'adaptation devrait s'appuyer sur ce modèle, qui peut être adapté aux réalités intrinsèques des stations de ski, autant au niveau technique que climatique. Il y a également un besoin d'accroître la capacité à analyser et à mettre en place des mesures d'adaptation plus diversifiées, concertées et innovantes. Cela passe par une meilleure mobilisation des acteurs régionaux, une acceptation de l'incertitude entourant ce type de mesures exploratoires et des analyses de marché spécifiques. Il est souhaité que la démarche présentée ici puisse aider à approfondir la réflexion entourant une économie touristique plus résiliente aux conditions climatiques.

9. Bibliographie

- ADEME (2017) *Diversifier l'offre touristique et économique d'un territoire de moyenne montagne*.
- Archambault, M. (2015) *Les retombées économiques de l'industrie du ski alpin au Québec 2013-2014*. Montréal.
- Archambault, M. (2017a) *La modernisation des stations de ski du Québec : prendre le virage de 2020*.
- Archambault, M. (2017b) *Les retombées économiques des stations de Bromont et de Mont Sutton*.
- Archambault, M., Germain, K. et Morin, J. (2015) *Étude économique et financière des stations de ski du Québec - Saison 2014-2015*. Montréal: ASSQ.
- Archambault, M. et Morin, J. (2017) « Étude économique et financière des centres de ski du Québec 2015-2016 », p. 153.
- Archambault, M., Nguyen, D. et Morin, J. (2016) « Étude économique et financière des stations de ski du Québec, 2015-2016 ».
- ASSQ (2016) « Congrès 2016: Le Québec a atteint le 5,125 millions de jours/ski pour la saison 2015-2016 ».
- Belsley, D. A., Kuh, E. et Welsh, R. E. (1980) *Regression diagnostics*. Édité par Wiley. New York.
- Berghammer, A. et Schumde, J. (2014) « The christmas-easter shift: Simulating alpine ski resorts' future development under climate change conditions using the parameter "optimal ski day" », *Tourism Economics*, 20(2), p. 323-336. doi: 10.5367/te.2013.0272.
- Beyazit, M. F. et Koc, E. (2010) « An analysis of snow options for ski resort establishments », *Tourism Management*, 31(5), p. 676-683. doi: 10.1016/j.tourman.2009.07.012.
- Bleau, S. et al. (2012) *Analyse socioéconomique des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques de l'industrie touristique au Québec. Rapport final pour Ouranos*. Montréal.
- Bleau, S., Blangy, S. et Archambault, M. (2015) « Adapting Nature-Based Seasonal Activities in Quebec (Canada) to Climate Change », dans Springer (éd.) *Handbook of Climate Change Adaptation*. Montréal.
- Bonzanigo, L., Giupponi, C. et Balbi, S. (2016) « Sustainable tourism planning and climate change adaptation in the Alps: a case study of winter tourism in mountain communities in the Dolomites », *Journal of Sustainable Tourism*, 24(4), p. 637-652. doi: 10.1080/09669582.2015.1122013.
- Burakowski, E. et Magnusson, M. (2012) « Climate Impacts on the Winter Tourism Economy in the United States », *Prepared for Protect Our Winters (POW) and Natural Resources Defense Council (NRDC)*, (December), p. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/climate-i>.
- Butsic, V., Hanak, E. et Valletta, R. G. (2011) « Climate Change and Housing Prices: Hedonic Estimates for Ski Resorts in Western North America », *Land Economics*, 87(1), p. 75-91. doi: 10.3368/le.87.1.75.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) (2013) *Atlas hydroclimatique du Québec méridional*.
- Cocolas, N., Walters, G. et Ruhanen, L. (2016) « Behavioural adaptation to climate change among winter alpine tourists: an analysis of tourist motivations and leisure substitutability », *Journal of Sustainable Tourism*. Routledge, 24(6), p. 846-865. doi: 10.1080/09669582.2015.1088860.
- Cook, R. D. et Weisberg, S. (1982) *Residuals and Influence in Regression*. Chapman an. Édité par Chapman and Hall. London.
- Crouch, G. I. (1995) « A meta-analysis of tourism demand », *Annals of Tourism Research*, 22(1), p. 103-118. doi: 10.1016/0160-7383(94)00054-V.

- Damm, A. *et al.* (2016) « Impacts of +2 °C global warming on winter tourism demand in Europe », *Climate Services*. doi: 10.1016/j.cliser.2016.07.001.
- Damm, A., Köberl, J. et Prettenhaler, F. (2014a) « Does artificial snow production pay under future climate conditions?—A case study for a vulnerable ski area in Austria », *Tourism Management*, 43, p. 8-21. doi: 10.1016/j.tourman.2014.01.009.
- Damm, A., Köberl, J. et Prettenhaler, F. (2014b) « Does artificial snow production pay under future climate conditions?—A case study for a vulnerable ski area in Austria », *Tourism Management*, 43, p. 8-21. doi: 10.1016/j.tourman.2014.01.009.
- Dawson, J., Havitz, M. et Scott, D. (2011) « Behavioral adaptation of alpine skiers to climate change: Examining activity involvement and place loyalty », *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 28(4), p. 388-404. doi: 10.1080/10548408.2011.571573.
- Dawson, J. et Scott, D. (2013) « Managing for climate change in the alpine ski sector », *Tourism Management*, 35, p. 244-254. doi: 10.1016/j.tourman.2012.07.009.
- Dawson, J., Scott, D. et Havitz, M. (2013) « Skier demand and behavioural adaptation to climate change in the US Northeast », *Leisure/Loisir*, 37(2), p. 127-143. doi: 10.1080/14927713.2013.805037.
- Dawson, J., Scott, D. et Mcboyle, G. (2009) « Climate change analogue analysis of ski tourism in the northeastern USA », *Climate Research*, 39(1), p. 1-9. doi: 10.3354/cr00793.
- Desrochers, F.-A. (2016) *Évaluation expérimentale et théorique de l'efficacité des canons à neige et modélisation 1D du couvert de neige d'une piste de ski*. Université de Sherbooke.
- Destination British Columbia (2014) *The Value of Ski Areas to the British Columbia Economy Phase Two: All Alpine Ski Areas*. Vancouver.
- Falk, M. (2009) « Are multi-resort ski conglomerates more efficient? », *Managerial and Decision Economics*, 30(8), p. 529-538. doi: 10.1002/mde.1470.
- Falk, M. (2015) « The demand for winter sports: empirical evidence for the largest French ski-lift operator », *Tourism Economics*, 21(3), p. 561-580. doi: 10.5367/te.2013.0366.
- Fauve, M., Rhyner, N. et Schneebeli, M. (2002) *Préparation et entretien des pistes: Manuel pour le praticien*. Davos.
- Gagné, Y. *et al.* (2014) *Guide de l'opérateur à l'enneigement*. Bromont: Service de l'enneigement.
- Gonseth, C. (2013) « Impact of snow variability on the Swiss winter tourism sector: Implications in an era of climate change », *Climatic Change*, 119(2), p. 307-320. doi: 10.1007/s10584-013-0718-3.
- Hall, J., Twyman, C. et Kay, A. (2005) « Influence Diagrams for Representing Uncertainty in Climate-Related Propositions », *Climatic Change*. Kluwer Academic Publishers, 69(2-3), p. 343-365. doi: 10.1007/s10584-005-2527-9.
- Hamilton, L. C., Brown, C. et Keim, B. D. (2007) « Ski areas, weather and climate: Time series models for New England case studies », *International Journal of Climatology*, 27(15), p. 2113-2124. doi: 10.1002/joc.1502.
- Hawkins, E. et Sutton, R. (2009) « The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions », *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(8), p. 1095-1107. doi: 10.1175/2009BAMS2607.1.
- Institut de la statistique du Québec (2018) *Étude d'impact économique*. Disponible à: <http://www.stat.gouv.qc.ca/produits-services/etudes-impact-economique.html> (Consulté le: 13 septembre 2018).

- Iso-Ahola, S. E. (1986) « A theory of substitutability of leisure behavior », *Leisure Sciences*, 8(4), p. 367-389.
- Langlois, M. (2013) *Parc National du Mont-Orford: 75 ans de récréation en milieu naturel protégé, Histoire Magog- Société d'histoire*.
- Liao, J. et Ng, K. (1990) « Effect of Ice Nucleators on Snow Making and Spray Freezing », *Eng Chem Res*, 29, p. 361-366.
- Lohmann, C. et Crasselt, N. (2012) « Investments in ski areas: Effects of compensation payments in a complementary value network », *Tourism Economics*, 18(2), p. 339-358. doi: 10.5367/te.2012.0118.
- Mcboyle, G. et Wall, G. (1987) « The impact of CO₂-Induced Warming on Downhill Skiing in the Laurentians », 31(82), p. 39-50. doi: 10.7202/021843ar.
- Mellor, B. (1964) « Eastern Townships skiing », *The Ottawa Citizen*, p. 8.
- Michelson, M. (2017) « A Veteran Snowmaker On the Future of Skiing », *Powder Magazine*, p. 1-6.
- Ministère du Tourisme (2018) *Fréquentation quotidienne des établissements d'hébergement au Québec, Bulletin Touristique*. Disponible à:
http://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/bulletins_info/bulletin/heb_frequentation.php?mois=12&anneeHaut=2015&anneeBas=2014&soumettre=Comparer (Consulté le: 6 décembre 2018).
- OCDE (2007) « Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management Complete Edition-ISBN 9264031685 », *OECD Environment & Sustainable Development*.
- Oliver, P. (2015) « Vermont's great snow gun round-up », *Ski Area Management*.
- Ouranos (2015) *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. 2015^e éd.
- Pickering, C. (2011) « Changes in demand for tourism with climate change: a case study of visitation patterns to six ski resorts in Australia. », *Journal of Sustainable Tourism*, 19(6), p. 767-781. doi: 10.1080/09669582.2010.544741.
- Pons, M. *et al.* (2014) « A georeferenced Agent-Based Model to analyze the climate change impacts on the Andorra winter tourism », *International Journal of Geographical Information Science*, 28(12), p. 2474-2494. doi: 10.1080/13658816.2014.933481.
- Pons, M. *et al.* (2015) « The vulnerability of Pyrenean ski resorts to climate-induced changes in the snowpack », *Climatic Change*, 131, p. 591-605. doi: 10.1007/s10584-015-1400-8.
- Rosenberger, R. S. *et al.* (2017) « Recreation economic values for estimating outdoor recreation economic benefits from the National Forest System », *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-957. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 33 p.*, 957(August), p. 33. Disponible à:
https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/54602%0Ahttps://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr957.pdf.
- Rutty, M. *et al.* (2015a) « Behavioural adaptation of skiers to climatic variability and change in Ontario, Canada », *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. doi: 10.1016/j.jort.2015.07.002.
- Rutty, M. *et al.* (2015b) « The geography of skier adaptation to adverse conditions in the Ontario ski market », *Canadian Geographer*. doi: 10.1111/cag.12220.
- Rutty, M. *et al.* (2017) « Using ski industry response to climatic variability to assess climate change risk: An analogue study in Eastern Canada », *Tourism Management*. Pergamon, 58, p. 196-204. doi: 10.1016/J.TOURMAN.2016.10.020.
- Saha, S. *et al.* (2010) « The NCEP climate forecast system reanalysis », *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), p. 1015-1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1.

Saha, S. *et al.* (2014) « The NCEP climate forecast system version 2 », *Journal of Climate*, 27(6), p. 2185-2208. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1.

Schneider, S. H. (2002) « Can we Estimate the Likelihood of Climatic Changes at 2100? », *Climatic Change*. Kluwer Academic Publishers, 52(4), p. 441-451. doi: 10.1023/A:1014276210717.

Schreiber, L. (2017) « Ski industry taps technology, diversifies to expand its \$300M yearly impact », *Mainebiz*. Disponible à: [http://www.mainebiz.biz/article/20170306/CURRENTEDITION/303019995/ski-industry-taps-technology-diversifies-to-expand-its-\\$300m-yearly-impact](http://www.mainebiz.biz/article/20170306/CURRENTEDITION/303019995/ski-industry-taps-technology-diversifies-to-expand-its-$300m-yearly-impact).

Scott, D. *et al.* (2016) « A Coupled Model of Ski Operations and Tourist Adaptation to Climate Variability & Change □ : Insights for Ontario, Quebec & New England Markets Adaptation », dans.

Scott, D., Dawson, J. et Jones, B. (2008) « Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation - tourism sector », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13, p. 577-596.

Scott, D. et McBoyle, G. (2007) « Climate change adaptation in the ski industry », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, p. 1411-1431. doi: 10.1007/s11027-006-9071-4.

Scott, D., McBoyle, G. et Mills, B. (2003) « Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): Exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation », *Climate Research*, 23, p. 171-181. doi: 10.3354/cr023171.

Scott, D., McBoyle, G. et Minogue, A. (2007) « Climate change and Quebec's ski industry », *Global Environmental Change*, 17, p. 181-190. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.05.004.

Shinder, E. (2018) *L'impact des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin au Québec : une analyse économique de la variation de bien-être des skieurs*. HEC Montréal.

Snowflex (2017) *Snowflex*.

Steiger, R. *et al.* (2017) « A critical review of climate change risk for ski tourism », *Current Issues in Tourism*. Taylor & Francis, 0(0), p. 1-37. doi: 10.1080/13683500.2017.1410110.

Steiger, R. et Mayer, M. (2008) « Snow making and climate change - future options for snow production in tyrolean ski resorts », *Mountain Research and Development*, 28(3/4), p. 292-298.

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (2012) *Prosperité climatique - Face aux éléments: Renforcer la résilience des entreprises au changement climatique*. Ottawa.

Tang, C. H. H. et Jang, S. S. (2011) « Weather risk management in ski resorts: Financial hedging and geographical diversification », *International Journal of Hospitality Management*, 30(2), p. 301-311. doi: 10.1016/j.ijhm.2010.09.012.

Unbehaun, W., Pröbstl, U. et Haider, W. (2008) « Trends in winter sport tourism: challenges for the future », *Tourism Review*. Emerald, 63(1), p. 36-47. doi: 10.1108/16605370810861035.

Watson, P. *et al.* (2007) « Determining Economic Contributions and Impacts : What is the difference and why do we care ? », *Journal Of Regional Analysis And Policy*, 37(2), p. 140-146.

Witt, S. F. et Witt, C. A. (1991) *Modeling and forecasting demand in Tourism*. Cambridge: Academic Press.

Wobus, C. *et al.* (2017) « Projected climate change impacts on skiing and snowmobiling: A case study of the United States », *Global Environmental Change*. Elsevier Ltd, 45(May), p. 1-14. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.04.006.

Wojcik, S. (2014) *Vermont Resorts Launch Largest Snow Gun Efficiency Upgrade Ever for 2014-15 Season, Ski Vermont*.