MOVING MOUNTAINS FORUM

Livre blanc

Montagnes en transition

Les stratégies face aux défis climatiques, économiques et sociétaux

Livre blanc, version 1
Un document de référence créé par le Moving Mountain Forum.
Rédigé par Cléo Tarashev avec le concours d'Anne-Sophie Fioretto et de Thierry Meyer

Août 2025

Table des matières

Résumé 4

Déclaration d'intention 6

Introduction 8
Guide du lecteur 8
Origine et évolution de l'importance culturelle et socio-économique des stations de ski 10

Comment le changement climatique affecte les zones montagneuses 14

La neige artificielle, un outil multifacettes 15

Gestion de l'enneigement 16
Neige de culture artificielle 17
Conservation de neige 19

Quelles stratégies pour quelles situations? 24
Technologie et diversification de l'offre 25
Cinq exemples internationaux, des rocheuses américaines, au jura français, des alpes grisonnes et vaudoises aux préalpes autrichiennes 28
The Aspen skiing company – USA *28*
Laax-Flims/Weisse Arena *30*
Métabief *31*
Autriche *32*
Les Alpes vaudoises: un laboratoire en trois volets *35*

Conclusion 38

Ouverture – changer l'imaginaire pour transformer durablement la montagne 39

Bibliographie 40

Résumé

Ce livre blanc explore les réponses mises en œuvre par les stations de montagne face aux défis des évolutions climatiques et de leurs conséquences. L'augmentation des températures et la baisse de la fiabilité de l'enneigement raccourcissent les saisons hivernales et menacent directement l'économie des sports d'hiver, étroitement liée à la neige.

À partir d'exemples issus des Alpes européennes, d'Amérique du Nord et d'autres massifs, il présente les stratégies adoptées pour maintenir l'activité et réduire l'empreinte environnementale: optimisation de la gestion de la neige, diversification des activités, innovations techniques et engagement dans des pratiques plus durables.

En s'appuyant sur des cas concrets et des retours d'expérience internationaux, ce document offre une première vue d'ensemble des différentes approches possibles. Il montre qu'il n'existe pas de solution unique, mais une diversité de réponses adaptées aux spécificités de chaque territoire, afin de concilier viabilité économique, préservation de l'environnement et résilience des communautés de montagne.

Ce livre blanc explore les défis auxquels sont confrontées les stations de montagne face au changement climatique, en particulier la hausse des températures et la diminution des enneigements. Il met en évidence les stratégies les plus couramment utilisées par les stations pour rester économiquement viables tout en restant attractives pour les visiteurs. De la gestion technique de la neige à la diversification des activités touristiques tout au long de l'année, l'adaptation apparaît comme une nécessité. De plus, le rapport souligne l'importance du développement durable comme fondement de l'avenir du tourisme de montagne.

Il n'existe pas de solution unique pour les stations de montagne, mais un défi est universel: la hausse des températures et la diminution des chutes de neige. Ces changements environnementaux menacent le cœur même du tourisme hivernal et obligent les stations de montagne à s'adapter pour maintenir leur viabilité économique et continuer à attirer les touristes. Pour répondre aux attentes des clients, il faut désormais faire preuve d'innovation et de flexibilité.

Pour faire face à l'incertitude quant à la fiabilité de l'enneigement, les stations s'appuient de plus en plus sur des techniques avancées de gestion de la neige, notamment l'enneigement artificiel et la conservation de la neige. Parallèlement, beaucoup élargissent leur offre pour inclure des activités tout au long de l'année, telles que l'alpinisme, les parcs d'aventure et la randonnée. Cette diversification permet non seulement de combler le vide laissé par des saisons de ski plus courtes, mais aussi de réduire la dépendance des communautés à l'égard du tourisme de ski pour leur viabilité économique.

Le développement durable est au cœur de toute stratégie à long terme pour les régions montagneuses. De nombreuses communautés, régions et même des pays entiers dépendent fortement des revenus générés par le tourisme de ski. Il n'est donc pas viable ni durable de simplement le supprimer. Il est donc essentiel de s'adapter aux changements environnementaux et culturels actuels. Un changement notable dans les préférences des touristes, qui délaissent le ski au profit d'activités telles que l'escalade, la randonnée et les visites urbaines, complique encore la situation.

Pour assurer leur succès à long terme, les stations de ski doivent s'engager dans des pratiques durables. Cela inclut des investissements dans les énergies renouvelables, une meilleure gestion de l'eau et de la neige, et l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la consommation d'eau des infrastructures enneigées. De telles mesures sont essentielles pour s'adapter à la fois aux réalités environnementales et à l'évolution des attentes des visiteurs.

Serons-nous encore en train de skier à la fin du siècle? La réponse reste incertaine. Mais une chose est sûre: l'avenir du ski n'est pas aussi sombre qu'il n'y paraît. Grâce à leur résilience, à leur capacité d'innovation et à leurs actions durables, les pistes auront peut-être encore des histoires à raconter et de la neige à partager pour les générations à venir.

Déclaration d’intention

Depuis sa création en 2012, le Moving Mountains Forum rassemble ceux qui vivent et respirent la montagne – habitants, élus, acteurs économiques, touristiques, sociaux et culturels, scientifiques, chercheurs et visiteurs passionnés – dans le but de partager des idées concrètes et pragmatiques pour construire un avenir durable pour les communautés montagnardes.

En tant que plateforme des meilleures pratiques en matière de transition durable, le Moving Mountains Forum aborde chaque année un thème central. Il rassemble des réponses diverses à des problèmes communs afin de sensibiliser et de permettre aux régions de montagne de faire progresser leurs perspectives.

Au cours des quelque 15 années d’existence du forum, un thème récurrent a émergé, qui a largement influencé les discussions et les projets présentés :

comment les stations de montagne, dont l’économie dépend en grande partie du tourisme hivernal (ski et snowboard), peuvent-elles relever les défis posés par le changement climatique?

Fidèle à sa mission, qui est de rassembler des réponses diverses à un thème universel, le Moving Mountains Forum a pris l’initiative de faire le point sur cette question fondamentale pour favoriser la réflexion et l’action des communautés de montagne. En un peu plus d’un demi-siècle, le ski – et tout ce qui l’accompagne – a profondément transformé la vie socio-économique et culturelle des vallées, principalement dans les Alpes européennes, en Amérique du Nord, mais aussi dans d’autres régions montagneuses du monde. Le changement systémique des conditions d’enneigement auquel ces régions sont désormais confrontées, et la perspective de son accélération, soulèvent pour leurs populations des questions profondes qui dépassent largement les aspects techniques ou financiers.

Dans un contexte clivant et passionné, où s’affrontent dogmes, intérêts et jeux de pouvoir, le Moving Mountains Forum souhaite apporter une première contribution documentaire: un éventail de méthodes et de tendances observables, illustrées par des exemples et des faits, sans porter de jugement. Il ne s’agit pas d’un rapport d’étude sur le changement climatique, ni d’une étude de cas ou d’une tentative d’analyse des régions de montagne, mais plutôt d’un recueil de pratiques existantes (benchmarking international) visant à démontrer qu’il n’existe pas de réponse unique aux problèmes posés par le changement climatique. Il existe plutôt un certain nombre de stratégies qui impliquent des conditions cadres spécifiques, des stratégies collectives existantes ou pas, et d’autres facteurs clés qui doivent être pris en compte.

Ce premier livre blanc est donc une graine que nous plantons dans l’espoir de lancer un projet qui sera développé au fil des ans, avec l’aide de praticiens et de chercheurs universitaires. L’objectif à long terme est de constituer un corpus de connaissances suffisamment complet pour évaluer comment les stations de montagne se préparent pour l’avenir et quelles en seront les conséquences environnementales, économiques, sociales et culturelles. En fin de compte, nous voulons mettre en discussion des réalités contrastées et des éléments concrets, comme le veut la mission du forum.

Nous tenons à remercier Cléo Tarashev, chef de projet chez Dynamics Group et titulaire d’un MSci en sciences biologiques de l’University College London, qui a été chargée par l’association Moving Mountains de collecter des informations et des exemples liés à ce sujet et de rédiger la première version de ce document. Nous tenons également à remercier Anne Sophie Fioretto, géographe, chargée de projets à l’Institut de tourisme de la HES-SO Valais-Wallis et spécialiste de la transformation des stations de montagne, pour ses conseils avisés et sa relecture attentive du document. Enfin, nous souhaitons remercier Thierry Meyer, président de l’association Moving Mountains, pour sa précieuse contribution.

MOVING MOUNTAINS FORUM

Introduction

Guide du lecteur

Ce livre blanc est axé sur les défis que pose le changement climatique aux stations de montagne (plus précisément aux stations de ski). Il s'appuie sur des exemples de régions du monde où les sports d'hiver sont importants, populaires et/ou jouent un rôle socio-économique majeur. Il s'agit plus précisément des Alpes européennes, de l'Amérique du Nord et de la Scandinavie. L'accent sera principalement mis sur l'Europe, car il s'agit du plus grand marché mondial du tourisme de ski (Hugues et al., 2023). Elle abrite environ 50% de toutes les stations de ski du monde et plus de 80 % de celles qui accueillent plus d'un million de skieurs par an (Hugues et al., 2023).

Le facteur déterminant pour le tourisme hivernal est la présence de neige. En effet, il a été démontré que l'épaisseur de la neige naturelle avait un impact statistiquement significatif sur le nombre de nuitées dans les stations de ski (Steiger et al., 2024). Il convient de souligner que cela est presque exclusivement le cas dans les stations de moyenne et basse altitude, car les stations de haute altitude ne sont pas confrontées aux mêmes difficultés en matière de disponibilité de neige naturelle (Steiger et al., 2024). Chaque saison, la Suède accueille environ 10 millions de skieurs alpins, dont plus de 80% dans les 32 plus grandes stations de ski (Steiger et al., 2024).

Il existe une vérité controversée selon laquelle les stations de haute altitude disposent ironiquement de plus de ressources pour gérer le développement durable que les stations situées à plus basse altitude et sont donc également plus à même de relever les défis posés par le changement climatique. Le graphique ci-dessous, tiré d'un article sur le changement climatique publié en 2023, servira de fil conducteur à ce rapport (voir figure 1).

Le tourisme de montagne est l'une des formes de tourisme les plus sensibles aux conditions météorologiques. Cela signifie que la faisabilité des activités touristiques dépend de variables telles que la température et les précipitations. Le changement climatique modifiera sans aucun doute la probabilité de ces conditions météorologiques idéales et aura donc un impact considérable sur le comportement des touristes et le tourisme en général.

Comme mentionné ci-dessus, le tourisme du ski est fortement dépendant des chutes de neige (voir figure 1). Le risque lié à l'enneigement pour le tourisme de ski est défini comme la fréquence des conditions de neige insuffisante sur les pistes de ski. Trois facteurs principaux influencent ce risque: premièrement, la faible fréquence des chutes de neige et les températures élevées pendant les mois d'hiver. Deuxièmement, l'exposition, c'est-à-dire l'altitude, l'orientation géographique et le dénivelé de la station. Troisième élément, le facteur socio-économique: dans quelle mesure ces communautés dépendent-elles des revenus générés par le tourisme du ski, et par conséquent de l'enneigement?

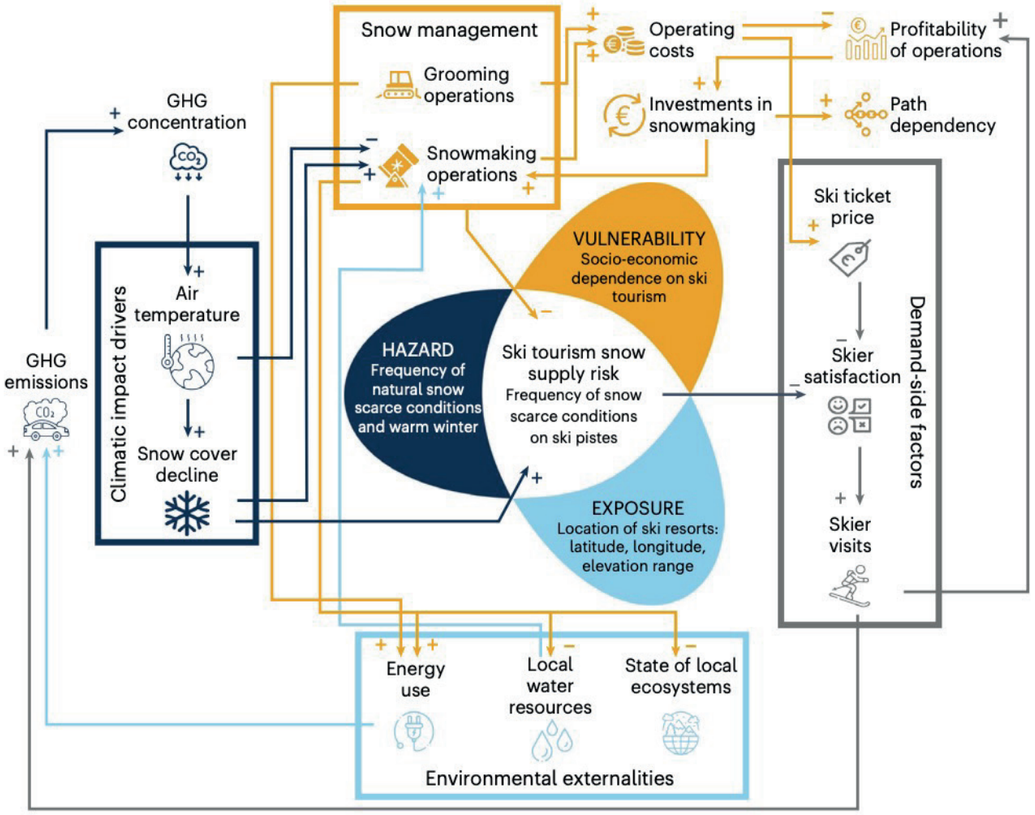


Figure 1: Ce graphique illustre et résume le problème auquel sont confrontées les stations de ski. Ce problème trouve son origine dans la diminution des chutes de neige naturelles due au réchauffement climatique mondial. Le graphique montre ensuite les liens entre les quatre principaux enjeux: le climat, l'environnement, la gestion de la neige et la demande des clients. Ce graphique est tiré d'un article publié en 2022 sur le changement climatique intitulé «Le changement climatique aggrave les défis liés à la neige, à l'eau et à l'énergie pour le tourisme de ski en Europe».

D'autres éléments entrent ensuite en jeu et ont un impact sur les variables mentionnées ci-dessus. Première en ligne, la gestion de la neige, facteur devenu déterminant au cours de la dernière décennie. Les stations situées à basse altitude, en particulier, dépendent de plus en plus des techniques d'enneigement artificiel, qui dépendent elles-mêmes de la disponibilité des ressources environnementales. Cette solution technologique consomme de l'énergie et de l'eau et augmente l'empreinte carbone de la station. A contrario, les techniques d'enneigement artificiel et de damage des pistes augmentent la satisfaction des skieurs et la demande (augmentation du nombre de visites et de forfaits vendus). Les bénéfices peuvent être réinvestis dans des infrastructures et des équipements permettant d'améliorer les infrastructures d'enneigement artificiel et la gestion du manteau neigeux. Le revers de la médaille est qu'une augmentation du tourisme entraîne également une hausse des besoins en transports et en hébergement, qui contribuent eux aussi, et dans une mesure considérable pour ce qui est des transports, aux émissions de gaz à effet de serre.

Un exemple de perche automatique à neige, reliée à un réseau fixe de distribution d'eau.

Ces éléments contradictoires illustrent parfaitement le plus grand challenge auquel sont confrontées les stations de montagne aujourd'hui. Elles doivent trouver un moyen de rester rentables afin de poursuivre leurs activités tout en faisant face aux défis posés par le changement climatique et en s'y adaptant. Leur réponse à ces défis dépend principalement de l'altitude à laquelle elles sont situées et des ressources financières dont elles disposent. Les stations situées à basse et moyenne altitude sont les plus touchées, tandis que celles situées en haute altitude ne sont pas encore aussi affectées. L'objectif de toutes les stations de montagne est finalement le même: trouver un moyen de se développer de manière durable – économiquement, socialement et d'un point de vue environnemental.

Origine et évolution de l'importance culturelle et socio-économique des stations de ski

Depuis leur création au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, et surtout dans les années 60 et 70, lorsque le ski comme activité touristique de masse est devenu une tendance populaire dans les pays développés disposant de régions de montagne, les stations de ski ont joué un rôle important dans l'économie locale, modifiant considérablement l'équilibre économique, le pouvoir d'achat et le mode de vie de ces régions. Dans certains pays, comme l'Autriche ou la Suisse, les stations de ski sont même les principaux contributeurs à l'économie touristique nationale. Dans les vallées où le tourisme hivernal domine, il représente 75 % à 95 % des revenus annuels. Seules quelques destinations renommées affichent un équilibre plus stable entre les activités hivernales et estivales, sans parler des revenus générés par les quatre saisons – la part de l'automne et du printemps, hors saison de ski, est minime.

Traditionnellement, les stations de ski ont été d'importants moteurs économiques, créant des emplois et stimulant l'industrie du tourisme, mais avec la baisse de la prévisibilité des chutes de neige et l'augmentation des coûts d'entretien des infrastructures de ski, certaines des communautés qui vivent prioritairement du tourisme hivernal voient leur équilibre économique menacé. Il reste à voir comment la tendance récente à la hausse des prix et au positionnement haut de gamme des destinations les plus grandes et les plus célèbres affectera l'équilibre économique des régions concernées. La fermeture de remontées mécaniques telles que Château d'Oex/Les Moulins-Monts Chevreuils (Suisse) dès 2001 ou Grand Puy (France) en 2024, parmi des dizaines d'exemples, démontre les conséquences sociales et économiques de l'instabilité et de l'imprévisibilité croissante de ce secteur. Lorsque des

La station savoyarde de Val-d'Isère, l'une des premières à s'être développée après-Guerre dans les Alpes françaises.

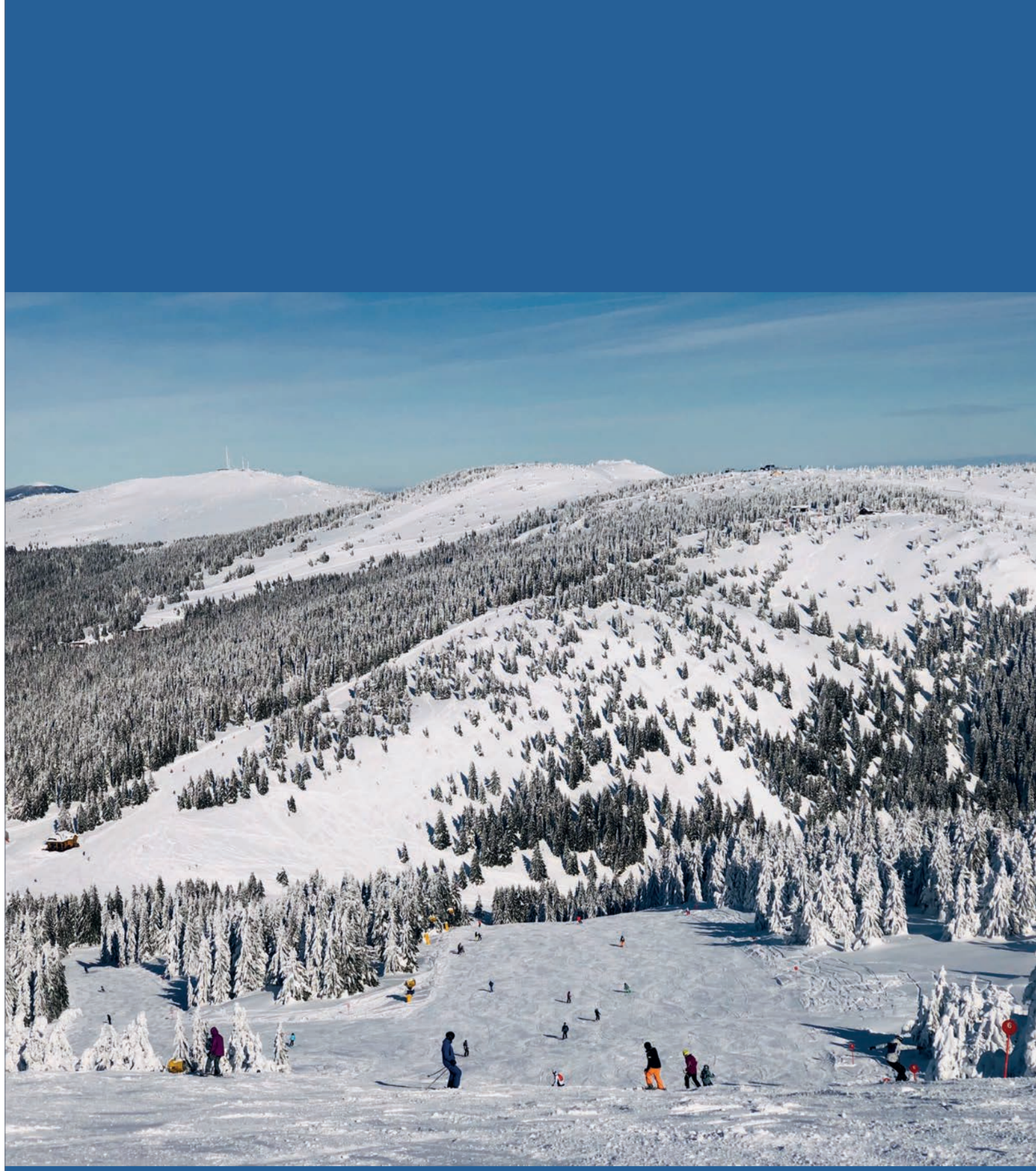
sociétés de remontées mécaniques ferment, c'est tout l'écosystème touristique de la station qui est touché. Dans le pire des cas, des entreprises telles que les magasins de location et les hôtels ferment leurs portes et les économies locales sont confrontées à un déclin immédiat. Certaines stations ou régions ont su anticiper le changement et réorienter leur modèle économique, mais cela a souvent un coût élevé en termes économiques et crée de vives tensions au sein des communautés.

Inauguration des premières installations des Monts-Chevreuils, dans les Alpes vaudoises, le 10 février 1945. Une modernisation avait eu lieu dans les années 1970. Musée du Pays-d'Enhaut

Pour relever ces défis, les exploitants de stations de ski se sont de plus en plus concentrés sur la diversification de leur offre, l'amélioration des infrastructures et l'adoption de nouveaux modèles commerciaux afin d'assurer la pérennité de leurs activités et de rester compétitifs. Les grandes stations, en particulier celles situées à haute altitude, ont généralement mieux réussi à s'adapter à ces changements. C'est, comme relevé plus haut, le paradoxe de la situation actuelle, qu'on pourrait résumer par l'expression «on ne prête qu'aux riches»: les stations les plus élevées en altitude et dont les domaines sont les plus grands, qui sont moins immédiatement touchées par les effets du réchauffement du climat, disposent de davantage de moyens pour réagir, s'équiper et diversifier leur stratégie touristique. Cet avantage apparent n'est que temporaire et ne remet pas en question la nécessité fondamentale d'une réflexion stratégique: à titre d'exemple, Zermatt doit revoir la cartographie de son domaine de ski sur glacier, et a dû équiper certains secteurs d'enneigement mécanique à très haute altitude. En revanche, l'avenir des petites stations reste incertain, quelle que soit leur altitude, en raison des investissements nécessaire à garantir une durabilité économique.

Autre élément qui mérite d'être mentionné et qui joue un rôle supplémentaire dans les obstacles auxquels est confrontée l'industrie du tourisme hivernal: l'importance culturelle des sports d'hiver, elle aussi en pleine évolution. Dans plusieurs pays occidentaux tels que la Suisse et l'Autriche, le ski est profondément ancré dans la culture et fait partie de l'identité nationale. L'Autriche en est le meilleur exemple, où le ski est le sport national, encore plus que la Suisse. Pour ces pays, le tourisme du ski est donc un pilier de l'économie nationale, contribuant ainsi de manière significative aux économies locales en créant des emplois dans les communautés montagnardes, mais aussi, dans une certaine mesure, en renforçant le sentiment d'identité et d'unité au sein du pays. Les camps de ski traditionnels, qui ont accueilli des centaines de milliers de jeunes en Suisse ou en Autriche au cours des cinquante dernières années, en sont le meilleur exemple.

Cependant, le secteur est aujourd'hui confronté à une baisse de la demande due à l'évolution des conditions météorologiques, à des conditions logistiques, réglementaires et financières plus strictes, à l'évolution des préférences des consommateurs, ainsi qu'à un changement culturel. Les fusions et acquisitions entre stations de ski, les offres combinées de forfaits saisonniers et la restructuration des remontées mécaniques sont une réponse directe à ces défis. Le ski n'est plus le seul attrait du tourisme de montagne, car des alternatives s'y développent, tandis que les vacances à la plage et les city trips sont devenues plus populaires. En outre, le vieillissement de la population sur des marchés clés tels que l'Allemagne, la tendance à des vacances plus courtes et les changements culturels induits par l'arrivée d'une importante population issue de l'immigration et originaire de pays non-skieurs ont réduit le bassin de skieurs potentiels.



Comment le changement climatique affecte les zones montagneuses

Les conséquences du changement climatique sont visibles partout dans le monde. L'augmentation de l'imprévisibilité saisonnière et des phénomènes météorologiques extrêmes se fait sentir et s'observe partout. Les régions montagneuses sont particulièrement touchées car, par rapport aux zones de plaine, la hausse des températures y est plus rapide (Steiger et al., 2024). Dans les Alpes, par exemple, qui s'étendent sur 1 200 km d'ouest en est à travers l'Europe occidentale et centrale et comptent quelque 40 sommets de plus de 4 000 m d'altitude, la température moyenne a augmenté de près de 2 °C depuis le XIXe siècle, soit deux fois la moyenne mondiale (Kotlarski et al., 2022).

Cette tendance au réchauffement a entraîné une réduction de la couverture neigeuse et du pergélisol et accéléré le recul des glaciers. Cela a ensuite provoqué un changement des conditions environnementales qui a de graves répercussions sur les écosystèmes montagneux (Kotlarski et al., 2022). En raison des températures plus élevées et de la remontée de la limite des chutes de neige, les écosystèmes sont contraints de s'adapter sous peine de dépérir (Kotlarski et al., 2022; Tito, Vasconcelos et Feeley, 20220). Les espèces végétales sont les plus défavorisées, car leur migration vers des altitudes plus élevées est très compliqué et menacer par des espèces invasives, ce qui menace la biodiversité et la stabilité globale des écosystèmes montagneux (Petitpierre et al., 2016). Même les espèces capables de migrer verront leur territoire rétrécir, ce qui mettra encore plus à rude épreuve leur capacité de survie (Elsen et Tingley, 2015).

Les stations de ski, qui dépendent de périodes régulières d'enneigement pour maintenir leurs activités économiques, sont soumises à un test de résistance similaire (Reynard, 2020). Les enjeux dépassent largement la simple continuité des activités touristiques et commerciales actuelles : au cours des 50 à 70 dernières années, les sports d'hiver et le tourisme de masse moderne ont façonné des territoires, des modes de vie et des identités tout entiers (Reynard, 2020). Ce livre blanc ne se penche pas en détail sur les nombreuses implications sociales, culturelles et économiques des changements majeurs que la durée, la prévisibilité et la régularité de l'enneigement entraînent pour les régions de montagne. Il est toutefois important de garder à l'esprit que toute perspective et tout projet de développement soulève des questions fondamentales qui touchent tous les secteurs de l'activité humaine.

Les stations situées à basse altitude (entre 1 000 et 2 000 mètres au-dessus du niveau de la mer) sont particulièrement vulnérables. Certaines d'entre elles n'ont pas les moyens de compenser le manque de neige et sont donc contraintes de fermer ou de se tourner vers d'autres activités qui ne dépendent pas d'un enneigement régulier pendant la saison hivernale. Les machines à neige artificielle sont un moyen très populaire pour pallier le manque de neige, mais à basse altitude, cela n'en vaut tout simplement pas la peine, car les conditions de température moyenne, y compris nocturnes, rendent impossible la couverture de l'ensemble d'un domaine skiable par l'enneigement mécanique. En outre, les changements climatiques de plus en plus fréquents, drastiques et rapides, avec des variations de température de plus de 10 °C en quelques jours, rendent toute perspective d'investissement irrecevable par manque total de prévisibilité et de possibilité de planification logistique et économique.

Cela dit, même les stations plus importantes situées à moyenne et haute altitude, qui disposent de moyens plus importants, ressentent les conséquences du changement climatique et doivent déjà largement recourir à la neige artificielle pour rester compétitives.

La neige artificielle, un outil multifacette

A ce sujet, il est sans doute utile de mentionner que l'enneigement mécanique n'est pas strictement lié à la nécessité de compenser une raréfaction de l'enneigement naturel. A la fin des années 1990, l'industrie du ski a dû réagir à une perte sensible de popularité, face à la concurrence de nouvelles pratiques de sports de loisir jugées plus attractives et moins contraignantes, comme en particulier le snowboard.

A une nouvelle technologie de fabrication des skis, intégrant dans la conception du ski une découpe facilitant le déclenchement du virage (« carving »), a répondu la nécessité de disposer de pistes damées à la perfection et à la couche de fond stable et régulière, pour que cette transformation séduise la clientèle la plus large possible, sans aptitudes sportives particulières. Par sa compacité, sa répartition uniforme et sa capacité à résister à un damage intensif, la neige artificielle devenait donc consubstantielle de cette évolution. A cela s'est évidemment ajouté la nécessité de garantir à la clientèle skieurs des accès – en particulier vers les stations, au bas des domaines skiables – sécurisés, sans cailloux apparents, au manteau neigeux compact et sûr.

Gestion de l’enneigement

La gestion de l’enneigement («Snow management») désigne la gestion stratégique et proactive de la neige dans le contexte des sports d’hiver. Elle englobe toute une série de pratiques visant à optimiser les conditions d’enneigement tout en tenant compte des facteurs environnementaux, économiques et techniques. Ces pratiques varient considérablement en fonction des exigences spécifiques des stations de ski, des sites événementiels ou des disciplines sportives, chacune étant façonnée par un contexte climatique et géographique unique. Au cœur de la gestion de l’enneigement se trouve l’utilisation efficace des ressources pour la production de neige et l’entretien des pistes, une approche qui vise à améliorer la qualité des installations, à minimiser les coûts d’exploitation et à soutenir la durabilité à long terme. À ce titre, la gestion de la neige joue un rôle crucial pour garantir que les infrastructures de sports d’hiver fonctionnent de manière responsable et tournée vers l’avenir. Ce chapitre explore plus en détail deux éléments clés de ces pratiques: la neige de culture (production artificielle de neige) et la conservation (ou le stockage) de la neige.

Comme les situations varient d’une station à l’autre en termes d’altitude, d’exposition, de conditions topographiques et météorologiques, d’histoire et d’identité, de ressources économiques et financières, de positionnement sur le marché, etc., les pratiques actuelles diffèrent également les unes des autres. Parmi les réponses communes adoptées par la majorité des exploitants ou des autorités des stations, les machines à neige artificielle et les techniques de conservation de la neige, telles que le stockage de la neige, ont permis aux stations de continuer à fonctionner même en cas de chutes de neige réduites et imprévisibles.

Bien que ces technologies ne constituent que des solutions temporaires, elles permettent aux stations de prévoir et même de prolonger leurs saisons et d’atténuer une partie des pertes de revenus causées par le changement climatique.

Les progrès réalisés en matière d’efficacité et de fiabilité de ces différentes techniques et programmes ont également permis aux stations de définir des plans d’investissement et de capacité d’exploitation pour un avenir prévisible. Cependant, ils ne s’attaquent pas à la cause profonde du problème : la hausse globale des températures. Sans efforts plus larges et sans changements politiques pour lutter contre le changement climatique, la viabilité à long terme des stations de ski (c’est-à-dire au cours des prochaines décennies) reste au mieux incertaine.

Neige de culture artificielle

Toutes les grandes stations de ski mondiales ont de plus en plus recours à la neige artificielle («snow making») pour soutenir leurs activités de sports d’hiver. Certaines d’entre elles disposent aujourd’hui d’un réseau d’enneigement artificiel qui couvre plus 75% de leurs pistes balisées (Ebner et al., 2021; Hugues François et al., 2023). Cette technologie leur permet de rester ouvertes, attractives et donc compétitives durant toute la saison hivernale, soit de l’approche des Fêtes de fin d’année jusqu’à mars, voire Pâques pour les domaines les plus grands et les plus élevés en altitude.

La neige artificielle est populaire depuis des décennies et, aujourd’hui, les canons à neige sont incontournables dans les stations de ski du monde entier. Ces machines, qui libèrent des gouttelettes d’eau qui gèlent pour former des particules de neige, ont besoin d’eau et d’air comprimé provenant de la vallée. Bien que cette technologie ne soit pas nouvelle, les systèmes modernes de fabrication de neige ont évolué pour utiliser des méthodes de réfrigération plus efficaces sur le plan énergétique, similaires à celles utilisées dans les systèmes de refroidissement des supermarchés. Au cours de la dernière décennie, les progrès ont permis de mettre au point des procédés d’enneigement plus efficaces et plus respectueux de l’environnement, réduisant considérablement les coûts d’exploitation, et diminuant les besoins en eau et en énergie. L’enneigement artificiel est donc plus attractif pour les stations de ski, en particulier dans les pays développés où la technologie a été perfectionnée.

Il existe deux types de technologies d’enneigement artificiel: les canons à neige traditionnels et les enneigeurs tout temps. Ces deux catégories se subdivisent en plusieurs alternatives, par exemple les machines à neige mobiles qui propulsent la neige à l’aide d’un grand ventilateur, ou les systèmes en forme de perches qui sont installés le long des pistes damées pendant toute la saison. Les canons à neige ne sont efficaces que lorsque les températures sont égales ou inférieures à zéro degré Celsius. Ils sont utilisés pour obtenir une base de neige plus épaisse et plus compacte afin d’assurer une couverture suffisante et de la rendre plus résistante au dégel lorsque les températures sont plus élevées, ainsi que pour redistribuer la neige sur les pistes. Les canons à neige tout temps, en revanche, peuvent fonctionner dans des conditions plus chaudes – techniquement jusqu’à 30 °C – ce qui permet aux stations de ski de prolonger leur saison et de garantir un enneigement fiable, même en cas de conditions météorologiques imprévisibles (Laskin, 2020). Afin de transformer la neige en pistes praticables, des dameuses sont ensuite utilisées pour répartir et compacter la neige de manière uniforme.

Le cas de Boler Mountain au Canada illustre comment la technologie d’enneigement artificiel tout temps peut changer la donne pour les petites stations de ski (Goh, 2022). Confrontée au réchauffement climatique, Boler Mountain a pu s’assurer un approvisionnement fiable en neige en investissant dans les canons à neige. Cela a non seulement permis à la station de garantir l’ouverture de la saison de ski quelles que soient les conditions météorologiques, mais lui a également donné un avantage concurrentiel grâce à une saison de ski prolongée. En effet, Boler Mountain est devenue l’une des rares stations de ski à maintenir ses pistes ouvertes pendant toute la saison 2022-2023 dans sa région.

Canon à neige à Boler Mountain. Source: https://www.cbc.ca/news/canada/london/boler-makes-snow-in-war-mer-temperatures-1.6661874

De même, Ski Ward, dans le Massachusetts, aux États-Unis, a constaté que la neige artificielle lui permettait d'attirer des visiteurs en offrant une prévisibilité dans un climat de plus en plus incertain.

Si la neige artificielle contribue à atténuer les impacts économiques du changement climatique, elle n'est pas sans inconvénients pour l'environnement. L'utilisation accrue de la neige artificielle et de la préparation des pistes a suscité des inquiétudes quant à ses effets sur les écosystèmes alpins. Cette pratique peut entraîner le gel du sol, retarder la croissance des plantes et modifier la composition des espèces végétales, ce qui, à terme, réduit la biodiversité. De plus, l'utilisation d'additifs pour la neige, tels que les sels et les bactéries nucléarisées de glace, peut modifier davantage l'équilibre hydrique et nutritif du sol, ce qui peut nuire à la vie végétale. Certaines études suggèrent que ces additifs, en particulier les sels, peuvent avoir des effets fertilisants qui favorisent la croissance de certaines plantes tout en en endommageant d'autres, perturbant ainsi davantage l'équilibre écologique.

Au-delà de l'enneigement artificiel, la modification physique des pistes de ski pour les préparer à l'enneigement artificiel peut avoir des effets durables sur le terrain. Le réchauffement du sol causé par le nivellement des pistes peut entraîner la perte du pergélisol, un élément essentiel des écosystèmes alpins. Même lorsque les pistes de ski ne sont plus utilisées, la régénération du terrain reste lente, la végétation repoussant de manière plus clairsemée qu'auparavant et la biodiversité ne retrouvant jamais complètement son état d'origine. Ces défis écologiques soulignent la nécessité pour les stations de ski de ne pas se contenter de recourir à l'enneigement artificiel, mais aussi d'adopter des stratégies visant à diversifier le tourisme et à réduire la dépendance aux sports d'hiver.

Facteur essentiel à la fabrication de neige de culture, l'eau est un enjeu majeur, sujet de controverses environnementales. Afin de garantir une accessibilité à l'eau et de la centraliser en des points stratégiquement distribués, la plupart des domaines skiables ont créé des bassins artificiels pour stocker l'eau et pouvoir la pomper au besoin pour alimenter le réseau de perches ou les canons à neige. Ces étangs constituent une intervention dans le paysage et l'environnement naturel. L'eau elle-même est un enjeu : son utilisation multiforme (irrigation, énergie, consommation domestique et industrielle, etc.) met sa disponibilité sous pression, alors même que l'une de ses sources renouvelables – les glaciers – subit le changement climatique de plein fouet. Les derniers développements technologiques de l'enneigement artificiel ont permis de réduire de manière significative les besoins en eau, mais cette question de gestion de l'eau comme matière première demeure un sujet important.

Conservation de neige

Le stockage de neige («snow farming») est une autre réponse innovante et populaire aux défis posés par le changement climatique dans l'industrie des stations de ski (Grünewald et al., 2018). Les chutes de neige naturelles devenant de plus en plus imprévisibles et la variabilité climatique s'accentuant, les stations de ski se tournent vers le stockage de neige comme solution pour maintenir un approvisionnement constant en neige pendant la saison hivernale. Cette pratique consiste à stocker la neige artificielle à la fin d'une saison, à la conserver pendant les mois les plus chauds et à l'utiliser pour démarrer la saison suivante (Grünewald et al., 2018). En isolant les tas de neige avec des matériaux tels que de la sciure de bois ou des isolants spécialisés tels que des géotextiles, les stations de ski peuvent réduire le recours à l'enneigement artificiel, très gourmand en énergie, et ainsi diminuer leur consommation d'électricité et d'eau (Grünewald et al., 2018).

Ces dernières années, la conservation de neige a gagné en popularité, en particulier dans les pays d'Europe centrale tels que la Suisse, où cette pratique permet de lutter contre l'imprévisibilité des chutes de neige. L'efficacité du stockage de neige repose sur une technologie de pointe qui permet aux stations de ski d'identifier les méthodes et les emplacements optimaux pour stocker la neige afin de résister à la hausse des températures, aux précipitations et au vent. Si cette pratique offre des avantages considérables, notamment une réduction des coûts d'exploitation et une meilleure expérience de ski grâce à une meilleure qualité de neige, elle n'est pas sans poser des défis en matière d'environnement et d'empreinte carbone (Grünewald et al., 2018).

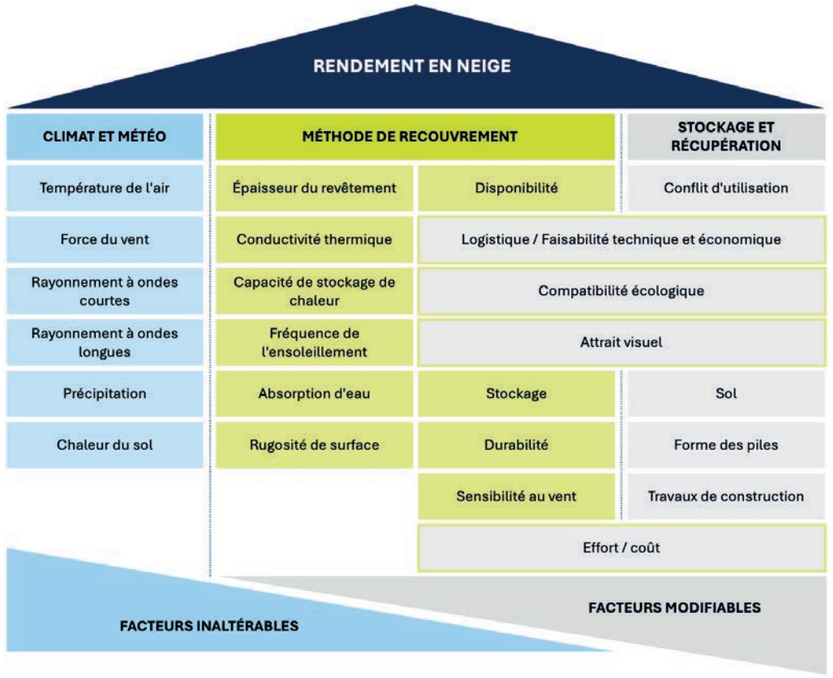
Pour les stations de ski, s'engager dans le stockage de neige est une entreprise importante qui s'accompagne d'une série de défis logistiques, à commencer par le choix d'un lieu de stockage approprié. Les tas de neige étant constitués de dizaines de milliers de mètres cubes et d'une hauteur moyenne d'environ 20 mètres, il est difficile de trouver un site approprié. La plupart des sites montagneux situés à l'altitude requise ne disposent pas d'une surface plane, à l'ombre, pour que les tas de neige ne soient pas trop exposés au soleil et ne risquent pas de glisser en raison du terrain accidenté. De plus, la partie du tas de neige qui fondra inévitablement doit être évacuée de manière biologique, ce qui doit se faire par les cours d'eau ou les rivières de montagne afin de ne pas perturber les écosystèmes existants plus que nécessaire.

Une fois le site trouvé, voici comment fonctionne le stockage: pendant la saison de ski, la technologie d'enneigement artificiel permet de créer de la neige en abondance, qui est ensuite stockée. Certains domaines utilisent également parfois de la neige naturelle ou un mélange des deux. Cependant, la neige naturelle n'est généralement pas utilisée car ses propriétés sont moins favorables. Une fois le monticule formé, il est recouvert d'une couche de sciure de bois de 40 cm d'épaisseur.

De leur côté, les glaciers sont protégés pendant l'été à l'aide de géotextiles, qui agissent comme une couche protectrice isolant la glace du soleil grâce à un effet albedo, qui renvoie le rayonnement solaire. Cependant, cette méthode ne fonctionne pas pour la culture de neige en raison d'une altitude insuffisante. Les monticules recouverts de géotextiles fondraient complètement avant l'été.

La sciure de bois est idéale pour plusieurs raisons. Elle offre une couverture uniforme et homogène, agissant comme une couche isolante efficace. Une série d'expé-riences scientifiques a démontré que 40 cm est l'épaisseur optimale pour la rétention de la chaleur (une épaisseur supplémentaire n'apporte pas d'amélioration significative en termes de rétention de la neige et ne justifie pas le coût supplémentaire), empêchant les rayons du soleil de pénétrer dans la neige. La sciure de bois emmagasine également la chaleur, qu'elle libère pendant la nuit, et absorbe les précipitations qui, en s'évaporant, refroidissent la neige. Si elle est correctement mise en œuvre, la culture de neige entraîne une perte de volume de 20 à 30 % due à la fonte et à la compression naturelle sous son propre poids. Néanmoins, le volume de neige restant a un impact précieux. Par exemple, si le monticule de neige à la fin de l'été est d'environ 20 000 mètres cubes, il peut créer une piste de ski de fond de 4 km de long, qui ne nécessitera que quelques mètres de large pour fonctionner de manière satisfaisante.

Stockage de neige à Davos sous une couche de sciure de bois protectrice.



Comme mentionné ci-dessus, la neige artificielle est mieux adaptée à la culture de la neige que la neige naturelle pour de nombreuses raisons. La différence entre la neige naturelle et la neige artificielle est évidente au niveau microscopique. La neige artificielle est constituée de gouttelettes d'eau gelées et compactes, tandis que la neige naturelle est composée de cristaux lâches (voir figure 2). La structure plus dense et plus ronde de la neige artificielle est non seulement plus adaptée aux sports d'hiver, mais elle est également plus résistante aux températures élevées et aux précipitations que la neige naturelle, ce qui la rend idéale non seulement pour la culture, mais aussi pour les pistes artificielles ou les terrains de compétition.

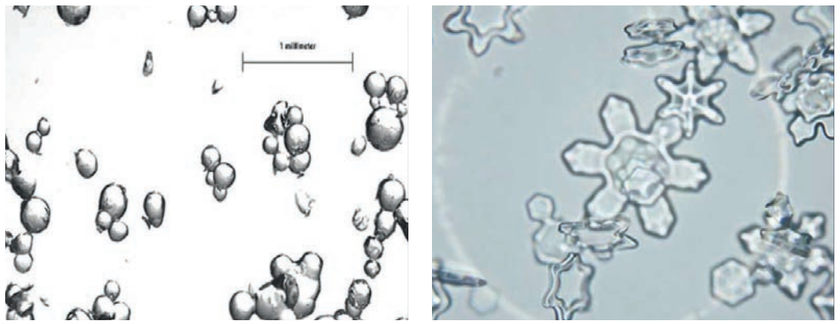


Figure 2: Cette illustration montre les di érences microscopiques qui rendent la neige arti icielle plus adaptée à la culture de neige que la neige naturelle. À gauche: vue microscopique de particules de neige artificielle. À droite: vue microscopique de flocons de neige naturelle.

La conservation de neige est une entreprise colossale qui représente un engagement financier important pour les stations de ski. Par exemple, Davos, en Suisse, où la conservation de neige est une pratique courante depuis 2008, dépense CHF 150’000.- par an (hors coûts d’investissement) pour le stockage de la neige et la création d’une piste de ski de fond. Il faut environ une semaine pour déblayer et répartir la neige sur quelque 4 km de piste. Il est intéressant de noter que si le stockage de neige représente un investissement supplémentaire, la partie la plus coûteuse est l’épandage de la neige, et non la fabrication ou le stockage proprement dit. Néanmoins, une fois qu’une station a décidé de stocker de la neige, elle peut garantir un début de saison précoce et offrir aux athlètes des possibilités d’entraînement qui leur donnent un avantage concurrentiel.

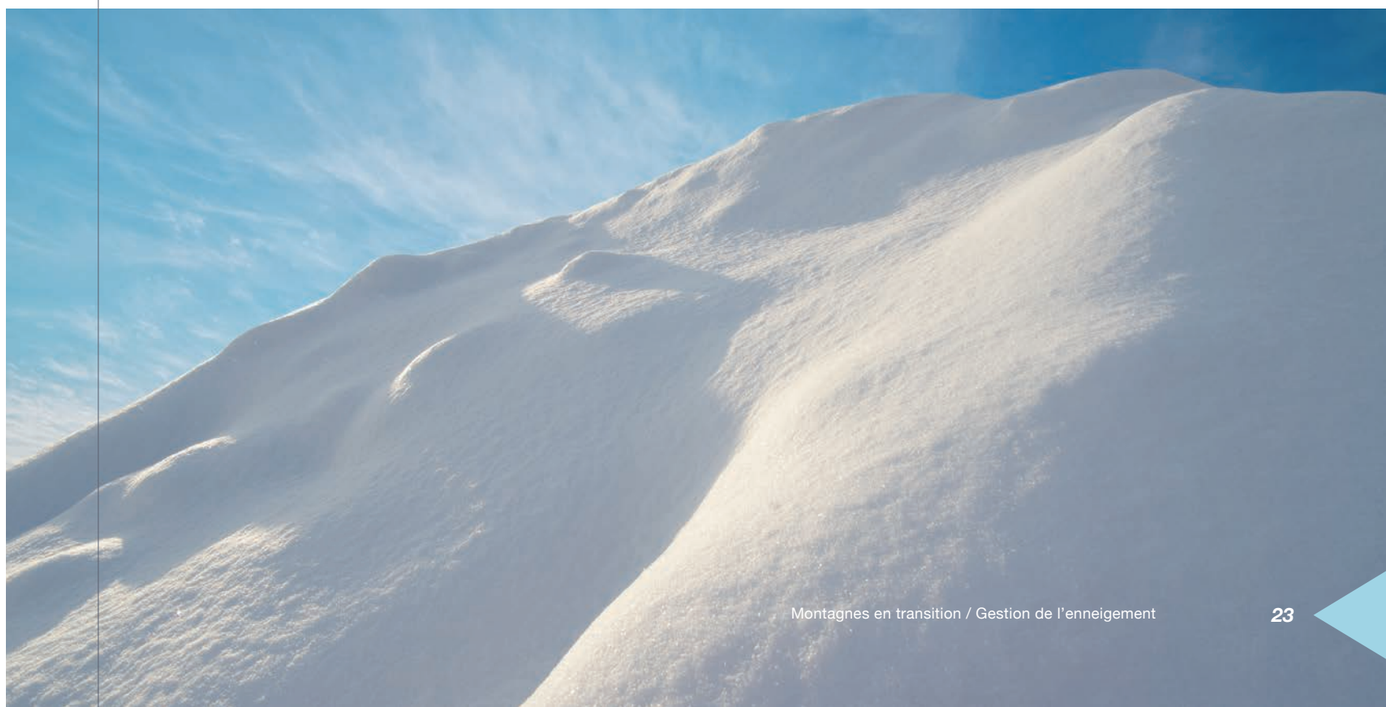
Poids lourds transportant la neige stockée vers les pistes.

En matière de conservation de la neige, les stations de ski doivent tenir compte non seulement de leur empreinte économique, mais aussi de leur empreinte écologique. D’une part, la neige conservée permet aux athlètes de s’entraîner dans leur pays, ce qui réduit leur empreinte carbone en évitant les déplacements en avion vers les régions nordiques. Cependant, la conservation de la neige n’est pas sans impact écologique. Rien qu’à Davos, environ 1 000 trajets en camion ainsi que des heures de travail avec des dameuses sont nécessaires pour la préparation des pistes de ski de fond, ce qui augmente considérablement l’empreinte carbone de la station. La transition vers un parc de machines zéro émissions est un objectif important pour les stations, alors même que les opérations liées à la conservation de la neige sont appelées à se développer.

Les progrès de la recherche scientifique dans le domaine du stockage de neige sont l’un des principaux moyens de garantir à l’avenir des opérations plus efficaces sur le plan énergétique et plus respectueuses des ressources. En mesurant des variables telles que la température, la vitesse du vent et les précipitations à différents niveaux au-dessus de la neige, des données sont collectées afin de maintenir la qualité et la durabilité de la neige au fil du temps. On sait par exemple que l’air juste au-dessus de la neige est légèrement plus frais que l’air situé plus en hauteur. Une hypothèse est que des clôtures placées de part et d’autre de la piste pourraient servir à piéger cet air plus frais, préservant ainsi la neige plus longtemps.

Davos n’est pas la seule station suisse à recourir à la culture de neige. Des destinations populaires telles qu’Adelboden et Engelberg y ont également recours de manière régulière. La culture de neige est particulièrement importante pour les compétitions internationales, telles que le saut à ski, le biathlon et le slalom, où les événements doivent être planifiés à l’avance et ne peuvent dépendre d’une météo de plus en plus imprévisible.

Si le stockage de neige ne résout pas la crise climatique sous-jacente, il aide les stations de ski à rester compétitives et à poursuivre leurs activités. En garantissant un début de saison précoce, le stockage de neige offre un avantage considérable aux communautés dont la stabilité économique dépend du tourisme hivernal.



Quelles stratégies pour quelles situations ?

La dernière partie de ce livre blanc est consacrée aux «meilleures pratiques» (best practice) illustrées par des exemples concrets. Avec la hausse des températures mondiales, les stations de ski, en particulier celles situées dans les régions montagneuses de moyenne altitude, sont confrontées à un défi croissant: la diminution et l'imprévisibilité des chutes de neige.

Le changement climatique perturbe non seulement les écosystèmes locaux, mais affecte également la prévisibilité et la durabilité des saisons de ski, parfois à des niveaux insoutenables, lorsque les variations de température et d'humidité pendant la haute saison ne permettent pas la continuité des activités, transformant ainsi le défi en un cauchemar logistique et humain avant même de prendre en compte le facteur enneigement.

Comme mentionné ci-dessus, en réponse au changement climatique la plupart des stations ont recours à l'enneigement artificiel et, de plus en plus, à diverses méthodes de stockage de neige. La fiabilité accrue offerte par la neige artificielle et le stockage de neige permet aux stations de ski de maintenir une activité régulière, garantissant ainsi le maintien des emplois et la viabilité économique des stations. Dans les cas où même l'enneigement artificiel et le stockage de neige ne suffisent pas à lutter contre le changement climatique, les stations sont contraintes de diversifier et de modifier leur offre afin de maintenir la viabilité économique de leurs communautés.

Il est important de noter que cette diversification varie considérablement en fonction de l'altitude à laquelle se trouve la station. On peut globalement distinguer trois catégories : basse altitude, moyenne altitude et haute altitude.

Bien sûr, il n'existe pas de chiffres universels pour définir l'altitude moyenne, car les latitudes et les systèmes météorologiques font que les altitudes varient considérablement d'une région du monde à l'autre. Dans les Alpes, on peut considérer que l'altitude moyenne concerne les stations dont le dénivelé s'étend entre une altitude minimale de 1 000 m au-dessus du niveau de la mer et un sommet des installations en-dessous de 2 500 m. Ces chiffres sont nettement inférieurs en Scandinavie ou dans le nord-est des États-Unis, par exemple, tandis qu'au contraire, les stations des Rocheuses se situent à des altitudes moyennes plus élevées, mais avec des différentiels d'altitude moindre que dans les Alpes. Néanmoins, certaines tendances peuvent être observées dans ces trois catégories.

Les stations de ski situées à basse altitude sont le plus souvent contraintes d'arrêter leurs activités liées au ski (ou de cesser d'en faire une priorité) et de se diversifier en proposant un tourisme tout au long de l'année. Les stations de moyenne altitude sont les plus touchées, car elles doivent jongler avec de nombreux défis. Non seulement elles doivent trouver des moyens de compenser le manque de neige naturelle et le raccourcissement des saisons dû au réchauffement climatique, mais elles doivent également trouver un moyen de maintenir leur viabilité économique. Cela signifie le plus souvent proposer une gamme plus large d'activités qui peuvent être pratiquées indépendamment de l'enneigement et également pendant d'autres saisons. Les stations de haute altitude ont un avantage par rapport aux deux autres, car elles ne sont pas autant confrontées au problème de la neige naturelle. Elles disposent d'une stabilité économique suffisante pour investir dans leur propre développement durable. Ces stations de ski sont plus ou moins en mesure de fonctionner normalement, peut-être avec un peu d'aide des canons à neige, et peuvent se projeter dans un avenir où la neige pourrait se raréfier. Elles ont, pour l'instant, le luxe de pouvoir anticiper et se préparer à l'avenir afin d'assurer autant que possible leur survie à long terme.

Technologie et diversification de l'offre

Les stations de ski sont confrontées à un dilemme: assurer leur survie ou opérer des changements et faire des sacrifices dans leur fonctionnement afin de lutter contre le changement climatique, ce qui garantirait leur activité à long terme. Elles doivent néanmoins rester en activité, car la réalité est que d'innombrables personnes et communautés dépendent de l'industrie des sports d'hiver pour leurs revenus et leur viabilité économique.

A Levi (Finlande), en raison de la localisation très septentrionale de la station, le domaine skiable est éclairé avec des LED.

Le « cliff walk » de Grindelwald, dans les Alpes bernoises.

Par exemple, la station de ski de Levi, en Laponie finlandaise, illustre parfaitement la manière dont l'efficacité énergétique et la conservation des ressources sont prioritaires dans l'exploitation d'une station. La station utilise un éclairage LED, des systèmes d'enneigement artificiel automatisés (qui ne produisent que la quantité de neige nécessaire pour économiser l'énergie) et des techniques de conservation de la neige afin de réduire la consommation d'énergie et de promouvoir la conservation de l'eau. En outre, l'aménagement des pistes vise à améliorer les zones existantes plutôt qu'à s'étendre sur de nouveaux terrains, et des efforts d'aménagement paysager sont entrepris pour préserver la biodiversité locale et le patrimoine culturel.

Pour assurer leur viabilité à long terme, les stations de ski se tournent de plus en plus vers la diversification. Il est essentiel de proposer des activités autres que le ski pendant les saisons hivernale et estivale afin de s'adapter aux effets du changement climatique. L'élargissement de l'offre, avec par exemple des promenades en traîneau, des randonnées guidées en montagne, des randonnées pédestres, du VTT et des festivals, peut attirer des visiteurs tout au long de l'année. Par exemple, dans les Alpes suisses, qui couvrent plus de 60 % du territoire national, des activités telles que le ski de randonnée, le ski hors-piste, la randonnée et même le parapente ont gagné en popularité, le ski seul devenant moins fiable. Ces offres dites «4 saisons» destinées aux touristes sont de plus en plus présentes sur les sites web des stations de ski.

Grindelwald en est un exemple. Bien que restant une destination de ski très prisée, la station a mis en place un large éventail d'activités pour les mois les plus chauds. Il s'agit notamment du trail, des via ferrata et de sports à sensations fortes tels que le parapente et le parachutisme. En diversifiant leur offre, les stations peuvent réduire leur dépendance à la saison hivernale et maintenir des revenus stables tout au long de l'année.

Un aspect crucial du tourisme montagnard durable est la modification du comportement des consommateurs, en particulier en matière de déchets et de consommation alimentaire. Les stations de ski génèrent souvent de grandes quantités de déchets, notamment liés à la restauration. Réduire les plastiques à usage unique, encourager le recyclage et rationaliser la gestion des déchets sont essentiels pour minimiser l'empreinte environnementale des stations de ski. En outre, des moyens de transport durables pour acheminer la nourriture et les fournitures vers les zones de montagne peuvent réduire davantage l'empreinte carbone des activités liées au ski.

Ces exemples illustrent les transitions que les stations de ski du monde entier sont contraintes de traverser. Évidemment, certaines ont plus de facilité que d'autres, car elles disposent des moyens et du temps nécessaires pour effectuer cette transition de la manière la plus harmonieuse et la plus respectueuse de l'environnement possible. Pour d'autres, ce n'est pas aussi simple, car pour entamer une transition durable, il faut rester économiquement viable dans le présent. Ces stations doivent d'abord investir dans une «assurance survie» qui leur permette d'avoir une saison hivernale raisonnable. C'est là qu'interviennent les investissements dans les canons à neige et la culture de la neige.

D'autres stations ont adopté une approche encore plus radicale en garantissant la pratique du ski indépendamment de tout facteur externe. Par exemple, dans une petite ville suédoise proche de la frontière norvégienne appelée Torbsy, un «tunnel de ski» a été construit. Il s'agit exactement de ce que son nom indique, à savoir un tunnel en béton recouvert d'une couche de neige artificielle à une température constante de -4°C. Même si les conditions naturelles sont encore favorables au ski, cette communauté assure l'avenir de cette activité grâce à cette approche.

Toutefois, cette dernière approche n'est pas encore très répandue, d'autant plus que contrairement à d'autres sports tels que le patinage et le hockey, le ski est considéré comme un sport de plein air. Ainsi, les stations de ski qui ont assuré leur survie dans le présent peuvent utiliser leurs ressources pour investir dans des solutions durables et de nouvelles technologies.

Le tunnel pour le ski de fond à Torsby, en Norvège.

Cinq exemples internationaux, des Rocheuses américaines, au Jura français, des Alpes grisonnes et vaudoises aux Préalpes autrichiennes

La section suivante, qui présente des exemples concrets dans plusieurs pays, montre comment les stations de ski ont non seulement le potentiel de réaliser des transitions remarquables, mais peuvent également servir de référence pour d'autres industries en matière de développement durable. Nous avons choisi cinq exemples emblématiques: **Aspen**, station historique et huppée des Rocheuses américaines, dans l'Etat du Colorado, pionnière de l'approche durable; **Laax-Flims**, domaine suisse des Grisons, qui s'est donné pour objectif la neutralité carbone à l'horizon 2030; **Métabief**, dans le Jura français, qui a pris la décision d'arrêter l'exploitation de son domaine skiable alpin, une première en Europe; **l'Autriche en général**, qui tente de concilier sa culture intrinsèque du ski alpin avec des mesures de durabilité, le tout à des altitudes critiques (entre moins de 1000m et 2300m en moyenne); et **les Alpes vaudoises**, avec trois sous-régions très proches, mais aux caractéristiques et réponses différentes.

Aspen, dans le Colorado.

The Aspen Skiing Company – États-Unis

L'Aspen Skiing Company (ASC) est une entreprise basée aux États-Unis depuis 1947. Elle comprend quatre stations de ski dans le Colorado (Snowmass, Aspen Mountain, Aspen Highlands et Buttermilk Mountain) qui couvrent 5 000 acres (un peu plus de 2000 hectares) et attirent 1,4 million de skieurs et snowboardeurs chaque hiver. ASC est un pionnier en matière de développement durable dans les stations de ski. Elle a publié son premier rapport sur le développement durable pour la saison 1999-2000 et a inscrit le développement durable et le respect de l'environnement dans ses valeurs fondamentales. Elle dispose d'un département chargé des questions environnementales et d'un directeur de l'environnement, une première dans l'industrie du ski.

Depuis sa création, le département des affaires environnementales a réduit la consommation de ressources, amélioré l'efficacité, mis en œuvre des pratiques de construction écologique pour les rénovations et les nouvelles constructions, et investi dans les énergies renouvelables et les carburants alternatifs dans le groupe de stations de ski d'Aspen. ASC a non seulement fait preuve d'efforts et d'engagement continus, mais a également démontré avec succès sa responsabilité publique, ce qui lui a valu plusieurs certifications environnementales telles que la certification ISO (norme internationalement reconnue pour les systèmes de gestion environnementale), qui est juridiquement contraignante et l'oblige donc à respecter des normes plus strictes. La particularité d'ASC réside dans le fait qu'il s'agit de l'une des premières stations à avoir étendu son engagement environnemental au-delà du secteur du ski. En bref, ses dirigeants ont compris que pour avoir un impact significatif et lutter efficacement contre le changement climatique, ils devaient viser plus haut que l'efficacité et la conservation et s'engager en faveur des énergies propres et d'une législation nationale sur le climat.

Depuis la première publication de leur rapport sur le développement durable en 1999/2000, qui montrait déjà qu'ils avaient agi relativement tôt par rapport à d'autres stations, qui ont attendu que l'urgence soit reconnue publiquement pour prendre des mesures, ils ont pris des mesures assez «extrêmes», selon nos normes actuelles, afin de se développer en ayant le moins d'impact possible sur l'environnement. Par exemple, dans son rapport 1999/2000, elle décrit comment elle a construit un télésiège éolien, qui le rend entièrement écologique. La construction a été programmée entre les périodes de nidification et de reproduction des animaux, et aucun équipement mécanique n'a jamais touché la toundra, tout a été transporté par les travailleurs eux-mêmes. ASC est également la première entreprise à acheter des crédits d'énergie éolienne renouvelable pour compenser la totalité de sa consommation d'énergie.

Si l'entreprise a réussi à réduire l'impact environnemental de ses activités en montagne, sa contribution la plus notable en matière de durabilité réside dans son plaidoyer en faveur de politiques climatiques et énergétiques plus larges. Cela distingue ASC dans l'industrie du ski, car elle reconnaît que les véritables progrès environnementaux vont au-delà des gains d'efficacité opérationnelle immédiats. Animée par cette perspective, Aspen a collaboré avec les communautés locales à diverses initiatives, notamment dans les domaines de l'éducation, de la restauration de la nature sauvage et des soins de santé.

Il convient de mentionner que l'ASC n'est pas un exemple exceptionnel de durabilité dans l'industrie du ski simplement grâce à sa volonté. La structure de gestion de l'entreprise y contribue grandement, car le fait d'avoir un PDG engagé en faveur de l'environnement fait évoluer la culture d'entreprise de manière unique vers cette même cause. Cela conduit à traiter différemment les projets et les plans d'affaires potentiels, en sacrifiant les profits au profit de l'environnement. Comme mentionné ci-dessus, ASC s'investit également dans la lutte contre le changement climatique en dehors de l'industrie du ski et peut utiliser sa position dans le secteur et sa contribution à l'économie comme levier pour faire évoluer la législation au niveau régional et national. Le dernier facteur, et peut-être le plus important, est que l'ASC dispose des moyens et des ressources nécessaires.

Ces arguments remettent en question l'idée selon laquelle «passer au vert» est simple et rentable, suggérant plutôt que la durabilité nécessite des investissements et des ressources importants. Dans le même temps, ils soulignent la volonté de la direction d'Aspen de reconnaître ouvertement et de manière transparente les difficultés rencontrées par les stations de ski et d'autres industries. Une approche réaliste des questions climatiques est une caractéristique essentielle pour une entreprise à la pointe de la durabilité dans son domaine.

Le «Clean-Up Day» sur le domaine de Laax-Flims-Falera, le 14 juin 2025, où des volontaires bénévoles ont contribué à collecter des déchets restés dans la nature après la saison de ski. (Philipp Ruggli)

Laax-Flims/Weisse Arena – Grisons, Suisse

Première station suisse à afficher clairement cet objectif, le domaine skiable de Laax-Flims dans les Grisons affirme sur son site web que «les saisons hivernales raccourcissent et la limite des chutes de neige remonte. Nous avons donc pour objectif clair de ne plus utiliser de combustibles fossiles et d'alimenter l'ensemble de nos activités avec 100 % d'énergie renouvelable, du consommateur au producteur».

La politique stratégique du domaine s'articule autour de cinq axes principaux: gestion de l'énergie, de l'eau, d'une approche sans déchets, des restes alimentaires et de la biodiversité. Dans le domaine énergétique, l'électrification de la mobilité et le remplacement de toutes les infrastructures à hydrocarbures par des énergies renouvelables est en cours. Weisse Arena s'est fixé pour objectif de remplacer tous les systèmes de chauffage au fioul par des systèmes efficaces et renouvelables d'ici 2025. En remplaçant le système de chauffage existant du bâtiment de départ du téléphérique de Nagens par une pompe à chaleur air/eau, l'entreprise a franchi une étape importante vers la réalisation de cet objectif.

Une promotion active d'économie circulaire de l'eau, de circuits courts de consommation et des ressources à disposition des touristes vise à diminuer au minimum les déchets et les transports. L'exploitation de la biomasse fait partie de la stratégie de la station, ainsi que la mise en place de systèmes numériques et d'une flotte de véhicules électriques de tailles variables pouvant être commandés à la demande, afin d'optimiser les transports de clients et de limiter l'impact du trafic.

Weisse Arena, comme d'autres domaines, s'est dotée de technologies comme LIDAR pour monitorer la couche de neige et les interventions des dameuses sur le domaine, afin de limiter l'impact sur le terrain au strict nécessaire.

La «luge des cimes» de Métabief, inaugurée en été 2022.

Métabief – Doubs, France

Premier domaine skiable européen d'importance à franchir le pas, Métabief, dans le Jura français (Doubs), à la frontière avec la Suisse, a pris la décision en 2018 d'opérer une transition complète vers des alternatives au ski alpin. L'impulsion date de 2016, comme le raconte le directeur de la transition Olivier Evard (https://www.inexpeditions.com/immersion/metabief): "Nous avions du mal à amortir nos précédents investissements dans la neige de culture, il était impossible de prendre encore plus de risque en finançant de nouvelles remontées mécaniques, il a fallu faire un choix". La station a réalisé une étude à partir des données du DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement), avec pour constat, tombé dès les premières modélisations: d'ici 10 à 15 ans, il ne serait plus possible de compter sur le ski.

Afin de prendre une décision qui engage l'avenir et ne soit pas vécue comme une capitulation, les autorités locales lancent un masterplan qui inclut la population et l'ensemble des activités économiques. Sept ans après la prise de décision, des éléments intéressants se dégagent: tout d'abord, on fait encore du ski à Métabief, la transition ne signifie pas une cassure nette. Deuxième constat: si personne n'est capable de dire ce qui va remplacer le ski, tout le monde s'accorde sur le fait que ce ne sera pas une seule activité, mais une multitude de solutions. Pour l'heure, une infrastructure symbolise le changement, l'installation d'une luge sur rail de 710m de long, exploitée toute l'année.

Troisième constat: cette décision, qui s'est traduite par la fermeture de 30% du domaine skiable en 2024-2025, ne va pas sans controverse. Une pétition de 4000 signatures a enjoint les autorités à ne pas fermer un secteur du domaine qui permettait l'accès depuis la frontière suisse, à un domaine qui a été le premier dans le Jura français à adhérer au Magic Pass, cette alliance de 80 stations proposant un abonnement annuel forfaitaire.

Métabief constitue un laboratoire à ciel ouvert de la transformation d'une station de ski qu'il sera passionnant à suivre ces prochaines années.

Autriche – plusieurs exemples

Comme dans d'autres pays alpins, le ski est profondément ancré dans la culture autrichienne et est lié à l'identité nationale. L'industrie du ski en Autriche stimule non seulement l'économie des communautés où se trouvent les stations, mais aussi à l'échelle nationale. La saison 2022/2023 a généré un chiffre d'affaires brut total de 12,6 milliards d'euros et plus de 50 millions de journées-skieurs ont été enregistrées au cours de la même saison. L'Autriche s'est imposée comme une destination de choix pour les sports d'hiver avec environ 70 millions de nuitées enregistrées au cours de la saison 2022/2023. Néanmoins, comme dans d'autres régions alpines, les stations de ski autrichiennes sont confrontées aux mêmes problèmes liés à l'augmentation des températures mondiales qui affectent les régions montagneuses.

L'un des principaux moyens de réduire les émissions et de devenir plus respectueux de l'environnement consiste à se tourner vers les sources d'énergie renouvelables et à les intégrer dans les activités quotidiennes. En Autriche, de nombreuses stations de ski ont déjà effectué cette transition et utilisent uniquement des énergies renouvelables pour alimenter leurs activités. L'Autriche s'est imposée comme l'un des pays leaders dans la transition durable de ses régions skiables en utilisant des énergies renouvelables pour alimenter ses bâtiments et ses remontées mécaniques et en recourant à des technologies de pointe pour l'enneigement et la conservation de la neige afin d'économiser l'énergie et l'eau.

Une installation photovoltaïque sur le domaine du glacier de Pitzol, dans le Tyrol autrrichian. (Julia Brunner)

Les trois principaux domaines de progrès sont les énergies renouvelables, les transports plus écologiques et une fabrication et un entretien de la neige plus efficaces. Voici quelques stations de ski exemplaires qui font tout leur possible pour réduire leur empreinte carbone et être plus durables.

Ski Arlberg : Ski Arlberg est l'une des plus grandes stations de ski au monde, avec ses domaines renommés de St. Anton et Lech Zürs, et est alimentée par une centrale hydroélectrique autonome. De plus, St. Anton exploite une installation de chauffage à biomasse, tandis que Lech Zürs utilise quatre centrales à biomasse alimentées par des copeaux de bois locaux pour chauffer ses remontées mécaniques, ses téléphériques et la plupart des bâtiments à proximité. L'ensemble de l'infrastructure de la station, y compris les remontées mécaniques, les restaurants et les téléphériques, fonctionne entièrement à l'énergie hydraulique par pompage.

D'autres stations telles que Kitzbühel, Snow Space Salzburg et Zell am See Kaprun utilisent également autant d'énergie verte que possible. Qu'il s'agisse de faire fonctionner les remontées mécaniques à l'énergie hydraulique et solaire, d'utiliser des énergies renouvelables pour les canons à neige et les téléphériques ou de récupérer la chaleur excédentaire générée par les moteurs des téléphériques pour chauffer les bâtiments, ces stations déploient des efforts importants pour atteindre leurs objectifs respectifs de neutralité carbone dans un avenir proche.

Comme mentionné précédemment dans ce rapport, une grande partie de l'empreinte carbone d'une station de ski provient des moyens de transport utilisés par les visiteurs pour se rendre à la station et sur les pistes. Les stations de ski ont peu d'influence sur le mode de transport choisi par les visiteurs pour se rendre à la station. Les personnes venant de l'étranger ont automatiquement une empreinte carbone importante pour leur semaine de ski. Cependant, la station a son mot à dire sur l'itinéraire entre le lieu d'hébergement et les pistes, ainsi que sur les correspondances vers les stations voisines, le cas échéant. En résumé, ce problème peut être résolu en rendant les transports publics plus accessibles et plus confortables, ce qui permettrait de réduire l'empreinte carbone des visiteurs de la station. Les stations de ski autrichiennes ont également fait des efforts considérables dans ce domaine.

Kitzbühel dispose du plus grand réseau de transport gratuit des Alpes, avec de nombreux bus, dont beaucoup sont électriques, qui relient toutes les stations de la vallée. De plus, ses parkings sont équipés de bornes de recharge pour les véhicules électriques. Zell am See-Kaprun encourage également les déplacements sans voiture en proposant des trajets gratuits en bus et en train dans toute la région du printemps à l'automne grâce à sa carte de mobilité. Dans la région de Seefeld, les visiteurs peuvent accéder aux bus et trains locaux avec une seule carte d'hôte. La Blue Fleet de Lech Zürs propose des bus gratuits pour les skieurs, ainsi que la location de vélos électriques et un garage électrique pour recharger les véhicules électriques. St. Anton est une autre destination pratique sans voiture, qui bénéficie de son intégration au réseau ferroviaire international et de services de bus fréquents.

Nous l'avons vu, les stations de ski dépendent de plus en plus de la neige artificielle, qui a son propre bilan carbone et son impact sur l'environnement. À Kitzbühel, comme dans la plupart des grandes stations européennes et américaines, la technologie d'enneigement artificiel a été perfectionnée en collectant des données sur l'altitude et l'exposition des pistes et en utilisant des données GPS pour mesurer la profondeur de la neige afin de calculer exactement la quantité de neige nécessaire pour éviter la surproduction et économiser l'eau et l'énergie. Un autre facteur à prendre en compte pour la préparation des pistes est le damage, qui nécessite également beaucoup d'énergie. Depuis la saison 2023/2024, Zell am See-Kaprun utilise pour ses dameuses et ses chenillettes un carburant renouvelable, le HVO100, un substitut sans fossile (qui, selon le fabricant, émet environ 90 % moins de CO_2 que les carburants fossiles traditionnels) fabriqué à partir de déchets naturels tels que l'huile de cuisson.

Un autre aspect fondamental pour le caractère durable de ces stations est la provenance de tout le matériel de ski et des produits utilisés par les restaurants et les hôtels. Le fait de pouvoir soutenir les entreprises locales et les produits locaux, ce qui réduit les émissions liées à l'importation (réduction de l'impact carbone du transport de marchandises sur de longues distances) et stimule l'innovation et l'activité économique locale dans son ensemble, est un moyen très efficace d'y parvenir. L'Autriche est un leader mondial de l'agriculture biologique et compte plus de 24 000 fermes certifiées biologiques, soit plus d'un cinquième du total des fermes du pays. De plus, il existe un fort sentiment de communauté et d'héritage qui découle de l'évolution biologique des stations de ski. La majorité des restaurants et des hôtels sont des entreprises familiales fières de leur héritage et qui renforcent ce sentiment de communauté.

Les Alpes vaudoises - Suisse: un laboratoire en trois volets

1) La stratégie d'adaptation de Villars-Gryon-Les Diablerets, résultat du projet Climsnow présenté en 2024

La stratégie des remontées mécaniques TVGD (Télé Villars-Gryon-Les Diablerets): investir pour la qualité et la durabilité
La société des remontées mécaniques du domaine de Villars-Gryon-Les Diablerets, situé entre 1200m et 2000m d'altitude, avec des orientations variables (plein sud à plein nord) a engagé une stratégie de modernisation ambitieuse, combinant amélioration de l'expérience client et réduction de l'empreinte environnementale. Les investissements se concentrent sur le renouvellement des installations pour augmenter leur efficacité énergétique, optimiser le débit et limiter l'impact sur les zones naturelles. Le recours à l'enneigement artificiel est raisonné, avec une gestion fine des ressources en eau grâce à des systèmes de mesure et de pilotage en temps réel. Des aménagements légers, tels que des barrières pour retenir la neige soufflée par le vent, visent à aider à une meilleure conservation de l'enneigement naturel. Parallèlement, la station renforce son attractivité par une offre quatre saisons, misant sur le VTT, la randonnée et les événements culturels pour diversifier les flux et stabiliser les revenus au-delà de l'hiver.

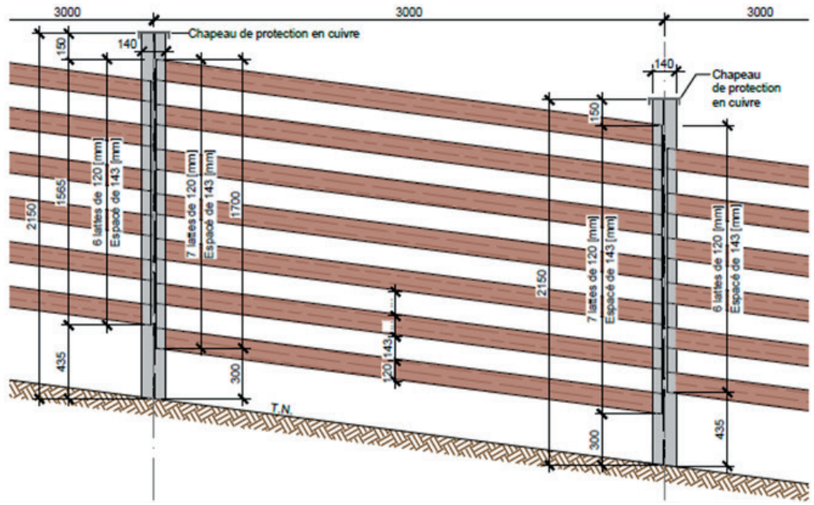


Schéma représentant le projet de barrières à neige au Chamossaire, sur le domaine skiable de Villars-Bretaye (VD). Barrières bois adaptées pour permettre le dépôt de la neige sur les pistes: 2 rangées de 223m et 247m. Gain estimé ~ 37'600m3 de neige.

2) La stratégie de transition du Pays-d’Enhaut

Au Pays-d’Enhaut, une transition résolue vers un tourisme «doux»
Après la fermeture de la plupart de ses remontées mécaniques (hormis le domaine de Rougement, relié à Gstaad et aux stations voisines), et les conclusions pessimistes pour cette vallée d’une étude globale sur l’avenir économique du tourisme hivernal des Alpes vaudoises, le Pays-d’Enhaut a choisi de faire du développement durable le fil conducteur de sa stratégie touristique. Ce positionnement, qui a suscité de vifs débats au sein de la population, se traduit par une valorisation des ressources locales – produits du terroir, artisanat, patrimoine bâti – et par un engagement fort en faveur de la mobilité douce et des circuits courts. La région mise sur la complémentarité des saisons, en développant des offres qui relient activités de nature, événements culturels et expériences authentiques. Cette approche participative, co-construite avec les acteurs locaux, vise à renforcer la résilience économique du territoire tout en préservant ses paysages, sa biodiversité et son identité culturelle.

Le Festival international de ballons à air chaud de Château d’Oex, qui se déroule fin janvier, est un événement phare du Pays-d’Enhaut.

Image d’illustration du projet de baignade naturelle publique, aux Mosses, sur la commune d’Ormont-Dessous.

3) La stratégie de transformation d’Ormont-Dessous

A Ormont-Dessous, une stratégie de transformation face au défi climatique
Consciente de sa vulnérabilité face au réchauffement climatique, la commune d’Ormont-Dessous a initié une réflexion stratégique sur l’avenir de son tourisme. Plutôt que de chercher à maintenir coûte que coûte un modèle centré sur le ski, elle explore des scénarios de diversification intégrant des expériences annuelles, la mise en valeur du patrimoine naturel et paysager, ainsi que l’accueil d’événements sportifs et culturels. Cette démarche repose sur un diagnostic partagé et sur la mobilisation des acteurs locaux, afin de bâtir un modèle touristique aligné avec les ressources réelles du territoire, intégrant de nouveaux acteurs, et adapté aux évolutions climatiques et sociétales à venir. La prise de conscience est récente, puisqu’elle a été initiée en 2024 et 2025, mais le processus de «changement d’imaginaire» est en cours et doit permettre de ne plus penser uniquement «ski à l’échelle d’une station», mais de penser «attractivité touristique annuelle à l’échelle de l’ensemble du territoire».

Conclusion

Le changement climatique transforme en profondeur le visage du tourisme de montagne. La hausse des températures, la diminution de la fiabilité de l'enneigement et l'évolution des attentes des visiteurs imposent aux stations un double impératif: s'adapter pour rester économiquement viables tout en réduisant leur impact environnemental.

Ce livre blanc montre qu'il n'existe pas de solution unique. Les réponses varient selon l'altitude, les ressources disponibles et la culture locale: de la gestion optimisée de la neige à la diversification quatre saisons, de l'innovation technologique à la réinvention complète du modèle touristique.

Les exemples analysés démontrent qu'une stratégie réussie repose sur trois leviers essentiels: la capacité à anticiper, l'investissement dans des solutions durables et la mobilisation collective des acteurs du territoire.

Plus que jamais, l'avenir des stations dépendra de leur aptitude à conjuguer performance économique et responsabilité écologique. Cela implique d'intégrer la durabilité au cœur de chaque décision, de renforcer la coopération entre destinations et de s'appuyer sur la force des communautés locales. Si l'incertitude climatique demeure, la résilience, l'innovation et l'engagement peuvent tracer la voie vers un tourisme de montagne capable de s'épanouir dans un environnement en mutation – et de continuer à transmettre, aux générations futures, la passion et la magie des sports de montagne.

Ouverture – Changer l'imaginaire pour transformer durablement la montagne

Par Anne-Sophie Fioretto

Transformer un territoire de montagne, ce n'est pas seulement changer ses infrastructures, ses offres ou ses modèles économiques: c'est avant tout changer la façon dont on l'imagine, dont on le raconte, et dont on se projette collectivement dans son avenir. Tant que l'imaginaire reste ancré dans une vision figée – celle d'un hiver éternellement enneigé, centré sur le ski – chaque décision sera prise en regardant dans le rétroviseur. Or, dans un contexte de changement climatique et sociétal, il est vital d'ouvrir de nouveaux horizons mentaux pour ouvrir de nouvelles voies d'action. ***Changer l'imaginaire, c'est passer:***

Du déni à la lucidité *– accepter les faits climatiques et économiques, sans nostalgie paralysante.*

De la résistance à l'adaptation *– considérer le changement comme une opportunité de réinvention plutôt qu'une menace.*

Du "ski avant tout" à l'expérience globale *– valoriser toutes les dimensions d'un séjour en montagne, en toute saison.*

Du cloisonnement à la coopération *– mobiliser habitants, acteurs économiques, élus, visiteurs autour d'une vision partagée.*

Les facteurs clés de succès pour enclencher ce changement d'imaginaire sont clairs:

Des récits fédérateurs *– raconter autrement la montagne, avec authenticité et inspiration.*

Des expériences concrètes *– traduire la vision en projets visibles, tangibles et engageants.*

Une gouvernance ouverte *– faire place à la diversité des points de vue et à l'intelligence collective.*

Des alliances élargies *– croiser les mondes (tourisme, culture, agriculture, innovation) pour inventer ensemble.*

Une pédagogie continue *– accompagner le changement par le dialogue, la formation et l'expérimentation.*

Changer l'imaginaire n'est pas un luxe: c'est la condition pour que les investissements, les stratégies et les efforts consentis aujourd'hui construisent un avenir désirable et durable. Car avant de changer les paysages, il faut changer la carte mentale qui les dessine.

Bibliographie

La Bibliographie présente dans l'ordre alphabétique les documents consultés, selon la norme APA.

Aeschlimann, I. (2023, 20 janvier). Les moyennes montagnes face au changement climatique. Le Temps. https://www.letemps.ch/videos/actualite/moyennes-montagnes-face-changement-climatique

Albasini, J. (2023, 2 novembre). SOS, glacier en double détresse. L'Illustré. https://www.illustre.ch/magazine/sos-glacier-en-double-detresse-651670

Beuchat, A. (2023, 16 novembre). Dans les stations, la délicate transition vers le tourisme quatre saisons. Le Temps. https://www.letemps.ch/economie/dans-les-stations-la-delicate-transition-vers-le-tourisme-quatre-saisons

Beuchat, A. (2024, 13 novembre). Face au réchauffement climatique, les acteurs du tourisme hivernal ne veulent pas rester les bras croisés. Le Temps. https://www.letemps.ch/economie/face-au-rechauffement-climatique-les-acteurs-du-tourisme-hivernal-ne-veulent-pas-rester-les-bras-croises

Bhandari, S. R., & Pema, T. (2024, 23 janvier). Snowless winter in Himalayas – Another sign of climate change. Radio Free Asia. https://www.rfa.org/english/news/environment/tibet-snowless-winter-01232024144224.html

Climate ADAPT. (2024). Accelerating transformative climate adaptation for higher resilience in European mountain regions. European Environment Agency. https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/projects/accelerating-transformative-climate-adaptation-for-higher-resilience-in-european-mountain-regions

David, M. (2023, 13 janvier). Des stations de ski sans neige, mais avec des idées. L'Illustré. https://www.illustre.ch/magazine/des-stations-de-ski-sans-neige-mais-avec-des-idees-561985

Devaux, N. (2024, 13 novembre). Suisse: Le tourisme hivernal au défi du réchauffement climatique. 24 Heures. https://www.24heures.ch/suisse-le-tourisme-hivernal-au-defi-du-rechauffement-climatique-446510444039

Ebner, P. P., Koch, F., Premier, V., Marin, C., Hanzer, F., Carmagnola, C. M., François, H., Günther, D., Monti, F., Hargoaa, O., Strasser, U., Morin, S., & Lehning, M. (2021). Evaluating a prediction system for snow management. The Cryosphere, 15(8), 3949–3973. https://doi.org/10.5194/tc-15-3949-2021

Elsen, P. R., & Tingley, M. W. (2015). Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. Nature Climate Change, 5(8), 772–776. https://doi.org/10.1038/nclimate2656

François, H., et al. (2023, 28 août). Climate change exacerbates snow-water-energy challenges for European ski tourism. Nature Climate Change, 13, 1–8. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01759-5

Fumagalli, A. (2024, 8 février). Switzerland's ski slopes don't reflect the country's population. Neue Zürcher Zeitung. https://www.nzz.ch/english/switzerlands-ski-slopes-dont-reflect-the-countrys-population-ld.1777802

Gobiet, A., & Kotlarski, S. (2020, 27 août). Future climate change in the European Alps. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.767

Goodman, D. (2022, December 3). Taking Back the Mountains. The New York Times. https://www.nytimes.com/2022/12/03/travel/skiing-snowboarding-overcrowding-lift-lines.html

Greenwood, I. (2024, 8 octobre). Major French ski resort closes for good. Powder.com. https://www.powder.com/news/major-french-ski-resort-closes

Grünewald, T., et al. (2018, 31 janvier). Snow farming: Conserving snow over the summer season. The Cryosphere, 12(1), 385–400. https://doi.org/10.5194/tc-12-385-2018

Jungfrau Region Tourismus AG. (2025). Summer activities. https://grindelwald.swiss/en/discover/experiences/summer-activities.html

Kotlarski, S., et al. (2022, 10 mai). 21st century Alpine climate change. Climate Dynamics, 60(1–2), 65–86. https://doi.org/10.1007/s00382-022-06303-3

Laskin, J. (2020). The future of all-weather snowmaking. SAM Ski Area Management. https://www.saminfo.com/archives/2020-2029/2024/july-2024/the-future-of-all-weather-snowmaking

Le Monde. (2024, 7 octobre). Dans les Alpes, une station de ski ferme définitivement, victime du réchauffement climatique. Le Monde. https://www.lemonde.fr/planete/article/2024/10/07/dans-les-alpes-une-station-de-ski-ferme-definitivement-victime-du-rechauffement-climatique_6345880_3244.html

McGowan, H., et al. (2018, 13 mars). Global warming in the context of 2000 years of Australian alpine temperature and snow cover. Scientific Reports, 8(1). https://doi.org/10.1038/s41598-018-22766-z

Morin, S., Samacoïts, R., François, H., Carmagnola, C. M., Abegg, B., Demiroglu, O. C., Pons, M., Soubeyroux, J.-M., Lafaysse, M., Franklin, S., Griffiths, G., Kite, D., Hoppler, A. A., George, E., Buontempo, C., Almond, S., Dubois, G., & Cauchy, A. (2021). Pan-European meteorological and snow indicators of climate change impact on ski tourism. Climate Services, 22, 100215. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100215

Moser, D. J., & Baulcomb, C. (2020, février). Social perspectives on climate change adaptation, sustainable development, and artificial snow production: A Swiss case study using Q methodology. Environmental Science & Policy, 104, 98–106. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.001

Nguyen, D.-Q. (2024, 26 février). En graphiques – En Suisse, la pratique du ski est en chute libre. Le Temps. https://www.letemps.ch/data/en-graphiques-en-suisse-la-pratique-du-ski-est-en-chute-libre

Nordin, S., et al. (2019, 1 juillet). Destination governance transitions in skiing destinations: A perspective on resortisation. Tourism Management Perspectives, 31, 24–37. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.03.003

Österreichischer Alpenverein. (2023). Erschließungswelle bedroht Ötztaler Alpen. https://www.alpenverein.at/portal/news/2023/2023_03_23_Erschliessungswelle-Oetztaler-Alpen.php

Petitpierre, B., McDougall, K., Seipel, T., Broennimann, O., Guisan, A., & Kueffer, C. (2016). Will climate change increase the risk of plant invasions into mountains? Ecological Applications, 26(2), 530–544. https://doi.org/10.1890/14-1871

Reynard, E. (2020). Mountain Tourism and Water and Snow Management in Climate Change Context. Revue de Géographie Alpine, 108-1. https://doi.org/10.4000/rga.6816

Rixen, C., et al. (2003, janvier). Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 5(4), 219–230. https://doi.org/10.1078/1433-8319-00036

Root, T. (2024, 15 février). Greener snowmaking is helping ski resorts weather climate change. TIME. https://time.com/6695481/ski-resorts-snowmaking-climate-change

Save Our Snow. (2019, 2 février). Green resorts. https://saveoursnow.com/green-resorts/

Sierra, F. (2024, 3 décembre). The Vallter 2000 cable car project in Catalonia's Eastern Pyrenees. Mountain Wilderness. https://www.mountainwilderness.org/2024/12/03/the-vallter-2000-cable-car-project-in-catalonias-eastern-pyrenees

Snow Secure USA Inc. (2024). Snow farming and snow storages: Ensuring a sustainable future for ski. https://www.snowsecure.com/pages/snow-farming-and-snow-storages-ensuring-a-sustainable-future-for-ski-resorts

SnowTrex. (2022, November 22). How is Artificial Snow Created? SnowTrex Ski Magazine. https://www.snowtrex.co.uk/magazine/sustainability/artificial-snow/

Spandre, P., François, H., George-Marcelpoil, E., & Morin, S. (2016). Panel based assessment of snow management operations in French ski resorts. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 16, 24–36. https://doi.org/10.1016/j.jort.2016.09.002

Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2020). Mountain Ecosystems as Natural Laboratories for Climate Change Experiments. Frontiers in Forests and Global Change, 3. https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00038

Tombez, V. (2023, 8 novembre). Going downhill: More than 50 Swiss ski lifts are rusting away. SWI Swissinfo.ch. https://www.swissinfo.ch/eng/business/going-downhill-more-than-50-swiss-ski-lifts-are-rusting-away/48961570

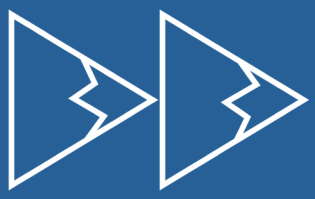
Troxler, P., et al. (2024, 23 août). The development of ski areas and its relation to the Alpine economy in Switzerland. Swiss Journal of Economics and Statistics, 160(1). https://doi.org/10.1186/s41937-024-00127-0

Turuban, P. (2020, 18 décembre). The importance of "white gold" to the Alpine economy. SWI Swissinfo.ch. https://www.swissinfo.ch/eng/business/the-importance-of-white-gold-to-the-alpine-economy/46233650

Vogelwarte. (2016). Mountains and Alpine habitats. Swiss Ornithological Institute. https://www.vogelwarte.ch/modx/en/atlas/evolution/mountains-and-alpine-habitats

Willsher, K. (2024, 7 octobre). Large French Alpine ski resort to close in face of shrinking snow season. The Guardian. https://www.theguardian.com/travel/2024/oct/07/large-french-alpine-ski-resort-to-close-in-face-of-shrinking-snow-season

Zilm, M. (2015, 28 novembre). Using snow machines to deal with climate change. SWI Swissinfo.ch. https://www.swissinfo.ch/eng/life-aging/winter-sport_snow-machines-versus-climate-change/41800502



MOVING MOUNTAINS FORUM

movingmountainsforum.com