



Changements climatiques dans les Alpes européennes

**ADAPTER LE TOURISME D'HIVER
ET LA GESTION DES RISQUES
NATURELS**



Changements climatiques dans les Alpes européennes

ADAPTER LE TOURISME D'HIVER ET LA GESTION DES
RISQUES NATURELS

Direction de la publication

Shardul Agrawala (OCDE)

Crédits photos

Figure 14. Christine Rothenbühler, Academia Engiadina, Samedan, Suisse.

Figure 15. Markus Weidmann, Chur, Suisse.

Figure 16. Christine Rothenbühler, Academia Engiadina, Samedan, Suisse.

Figure 17. Christine Rothenbühler, Academia Engiadina, Samedan, Suisse.

Avant-propos

Le changement climatique met gravement en question le développement socio-économique dans tous les pays. A l'évidence, il importe de négocier des engagements internationaux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais il faut aussi placer le changement climatique et ses répercussions au cœur des politiques sectorielles et économiques aussi bien dans les pays en développement que dans les pays développés.

C'est dans ce contexte que l'OCDE consacre des travaux à l'adaptation au changement climatique depuis 2002. Elle a d'abord mis l'accent sur la prise en compte systématique de l'adaptation dans la coopération pour le développement, mais ses activités récentes portent aussi sur la situation dans les pays développés. Le présent ouvrage, intitulé « Adaptation au changement climatique dans les Alpes – Tourisme d'hiver et risques naturels », fait partie des résultats de ces travaux.

Cette étude a été supervisée par le Groupe de travail sur les questions d'environnement mondiales et structurelles de l'OCDE. Shardul Agrawala a dirigé la publication et le projet qui lui a donné le jour. Les commentaires et les suggestions de Simone Gigli, tout au long du projet, nous ont été précieux. Jane Kynaston, Kathleen Mechali, Elizabeth Corbett et Carolyn Sturgeon-Bodineau ont effectué un inestimable travail de secrétariat pour la publication et le projet. En dehors de celles des auteurs, nous sommes également très reconnaissants à Guillaume Prudent (Pôle grenoblois d'étude et de recherche pour la prévention des risques naturels), Anne-Sophie Robin (École nationale supérieure agronomique de Montpellier) et Jonas Franke (Université de Bonn) pour leurs contributions.

Ces travaux ont aussi bénéficié des réflexions ou observations de Martin Beniston (Université de Genève), Marc Gilet (ONERC), Max Gretener (ASA), Thomas Hlatky (Grazer Wechselfseitige Versicherung AG/CEA), Andreas Kääh (Université d'Oslo), Martin Kamber (UIR), Ellina Levina (OCDE), Roberto Loat (OFEV), Helen Mountford (OCDE), Roland Nussbaum (MRN/CEA), Elisabeth Ottawa (BMF), Franz Pretenthaler (Université de Graz), Magali Pinon-Lecomte (DPPR), Florian Rudolf-Miklau (BMLFUW), Markus Stoffel (Université de Genève), Gerhard Wagner (UNIQA), Christian Wilhelm (Services forestiers, Grisons), et des participants à l'Atelier de l'OCDE sur l'adaptation des Alpes aux effets du changement climatique, organisé à Wengen en octobre 2006.

Contributions

Bruno Abegg (*Université de Zurich*)

Simon Jetté-Nantel (*OCDE*)

Florence Crick (*Université d'Oxford*)

Anne de Montfalcon (*Université de Paris Dauphine*)

Table des matières

Liste des abréviations	9
Résumé	11
<i>Chapitre 1 : Les Alpes : localisation, économie et climat</i>	17
1. Caractéristiques du climat des Alpes	19
2. Tendances observées du climat	19
3. Incidences des changements climatiques et principales vulnérabilités	21
4. Axe de la suite du présent rapport	23
<i>Chapitre 2 : Effets des changements climatiques et adaptation dans le tourisme d'hiver</i>	25
1. Impact des changements climatiques sur la fiabilité de l'enneigement naturel des domaines skiables des Alpes	28
2. Mesures d'adaptation : options technologiques	38
3. Adaptation des comportements : pratiques des exploitants, outils financiers et nouveaux modèles d'entreprise	51
4. Discussion et conséquences pour l'action des pouvoirs publics	62
<i>Chapitre 3 : Adaptation aux changements climatiques et gestion des risques naturels</i> ..	65
1. Les risques naturels dans les Alpes : aperçu général et incidences des changements climatiques	66
2. Synthèse des principales vulnérabilités et conséquences pour l'adaptation	74
3. Mise à profit des mécanismes existants de gestion des risques naturels et de transfert des risques	76
4. Une gestion plus robuste et plus souple des risques naturels	86
5. Réactions aux impacts observés des changements climatiques	89
6. Discussion et conséquences pour l'action des pouvoirs publics	99
<i>Bibliographie</i>	102

Appendice 1.	Domaines skiables présentant un enneigement naturel fiable	115
Appendice 2.	Perception des changements climatiques dans le secteur du tourisme	121
Appendice 3.	L'avenir du marché du ski : résultats d'enquêtes et d'études analogiques	122
Appendice 4.	Adaptation : tendances, contraintes et synergies.....	124
Appendice 5.	Catastrophes naturelles survenues dans les Alpes, 1980-2005.....	131
Appendice 6.	Politique de prévention des risques naturels dans les Alpes françaises.....	132
Appendice 7.	Mécanismes de transfert de risques dans les Alpes.....	133

Liste des tableaux

Tableau 1.	Chiffres clés dans le secteur des sports d'hiver en France, en Autriche, en Suisse et en Italie.....	26
Tableau 2.	Altitude de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel dans les zones alpines des cinq pays pris en compte dans la présente analyse	32
Tableau 3.	Fiabilité présente et future de l'enneigement naturel des domaines skiables dans les Alpes, à l'échelon national	34
Tableau 4.	Développement et utilisation actuelle des équipements de neige artificielle dans les Alpes.....	45
Tableau 5.	Consommation d'eau d'un système de production de neige artificielle de Garmisch-Partenkirchen (Allemagne) selon la température ambiante.....	49
Tableau 6.	Incidences des changements climatiques sur les risques naturels dans l'Arc alpin	75
Tableau 7.	Activités financées par le Fonds Barnier entre 2003 et 2005, et projections jusqu'en 2007.....	79
A.1. Tableau 1.	Fiabilité actuelle et future de l'enneigement naturel des domaines skiables des Alpes au niveau régional	115

Liste des figures

Figure 1.	Vue des Alpes.....	18
Figure 2.	Anomalies des températures annuelles moyennes dans les Alpes ...	20
Figure 3.	Nombre de domaines skiables par pays et par région.....	29
Figure 4.	Moyennes régionales des plages d'altitude des domaines skiables alpins.....	31
Figure 5.	Sensibilité des domaines skiables des Alpes à un changement de la limite de fiabilité de l'enneigement naturel	34
Figure 6.	Fiabilité de l'enneigement des domaines skiables des Alpes dans les conditions actuelles et avec un réchauffement de 1, 2 ou 4 °C ...	36

Figure 7.	Répartition des pistes de ski équipées d'installations de neige artificielle dans les Alpes.....	44
Figure 8.	Catastrophes et phénomènes ayant causé des dégâts dans les Alpes, 1980-2005.....	67
Figure 9.	Pertes économiques et assurées associées aux risques naturels dans les Alpes, 1980-2005.....	69
Figure 10.	Pertes humaines, événements glaciaires et GLOF en Autriche, en France, en Italie et en Suisse.....	73
Figure 11.	Le cycle du risque.....	77
Figure 12.	Coûts annuels et réduction des risques correspondant à différentes mesures d'adaptation dans le Canton du Valais, Suisse.....	91
Figure 13.	Coût-efficacité des mesures d'adaptation pour parer aux risques glaciaires dans le Canton du Valais, Suisse.....	92
Figure 14.	Glacier du Belvédère et ses lacs glaciaires.....	94
Figure 15.	Ouvrages de protection contre les avalanches et les coulées de débris à Pontresina.....	97
Figure 16.	Vue des zones de pergélisol sur le Schafberg, au-dessus de Pontresina.....	98
Figure 17.	Modification du lit de la rivière Flaz.....	99
A.1. Figure 1.	Part en pourcentage des domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	116
A.1. Figure 2.	Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes suisses, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	117
A.1. Figure 3.	Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes françaises, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	118
A.1. Figure 4.	Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes italiennes, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	119
A.1. Figure 5.	Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable en Autriche et en Allemagne (Bavière), aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	120
A.6. Figure 1.	Mise en place de plans de prévention des risques naturels en France, 1980-2005.....	132
A.6. Figure 2.	Risques naturels dans les Alpes françaises : exposition, événements et plans de prévention.....	132
A.7. Figure 1.	Impact potentiel des changements climatiques sur la répartition des probabilités de sinistres et conséquences pour les assureurs.....	134
A.7. Figure 2.	Évolution des provisions et des dommages assurés de la CCR.....	134
A.7. Figure 3.	Indemnités versées par le Fonds autrichien d'assurance contre les catastrophes.....	135
A.7. Figure 4.	Sinistres assurés dus à des risques naturels en Suisse.....	136

Liste des encadrés

Encadré 1.	Tourisme d’hiver dans les Alpes françaises	27
Encadré 2.	Neige artificielle en France	46
Encadré 3.	Législation concernant l’enneigement artificiel	52
Encadré 4.	Mesures de soutien en faveur des initiatives de diversification dans la région des Rhône-Alpes, France	59
Encadré 5.	Fonds de solidarité de l’Union européenne	81
Encadré 6.	Elaboration de stratégies de gestion intégrée	85
Encadré 7.	Développement d’une directive européenne pour combattre les inondations.....	88

Liste des abréviations

AEE	Agence européenne pour l'environnement
ANPNC	Association nationale des professionnels de la neige de culture
BMF	Bundesministerium für Finanzen (ministère fédéral des Finances, Autriche)
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (ministère fédéral de l'Agriculture, des Forêts, de l'Environnement et des Eaux, Autriche)
BWV	Bundeswasserbauverwaltung (Office fédéral des aménagements hydrauliques, Autriche)
CARIP	Cellule d'analyse des risques et d'information préventive
CCR	Caisse centrale de réassurance
CDD	Contrat de développement diversifié
CHF	Franc suisse
CIPRA	Commission internationale pour la protection des Alpes
CPER	Contrat de plan Etat-région
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (Suisse)
DPPR	Direction de la prévention des pollutions et des risques (France)
ECA	Etablissement cantonal d'assurance
EUR	Euro
FIS	Fédération internationale de ski
GLOF	Inondation par vidange de lac glaciaire <i>ou</i> crue de rupture de lac glaciaire
MCG	Modèle de circulation générale
MCR	Modèle climatique régional
MEDD	Ministère de l'Écologie et du Développement durable (France)
MISILL	Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité intérieure et des Libertés locales (France)
MRN	Mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels
NAO	Oscillation nord-atlantique
OFEV	Office fédéral de l'environnement (Suisse)
OFPP	Office fédéral de la protection de la population (Suisse)
ONG	Organisation non gouvernementale
PACE	Permafrost And Climate in Europe
PERMOS	Permafrost Monitoring Switzerland
PPR	Plan de prévention des risques naturels
UE	Union européenne
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung (Service fédéral de génie forestier chargé des torrents et de la lutte contre les avalanches, Autriche)

Résumé

Le présent rapport fournit une évaluation de l'impact des changements climatiques et de l'adaptation à ces phénomènes dans le secteur du tourisme d'hiver et dans le domaine de la gestion des risques naturels dans les Alpes¹. Les conclusions que l'on peut en tirer sont néanmoins valables pour d'autres régions. Les indications sur les coûts de l'adaptation, les rôles respectifs du secteur privé et des organismes publics, ainsi que les enseignements plus généraux sur les synergies et les équilibres à trouver entre l'adaptation aux changements climatiques et les autres priorités dans différents secteurs et en matière de développement peuvent probablement s'appliquer aussi à d'autres massifs montagneux confrontés à des problèmes climatiques et contextuels du même ordre, par exemple en Amérique du Nord, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Plus généralement, l'examen de la situation dans les Alpes, où la capacité d'adaptation est élevée, peut mettre en lumière des exemples de bonnes pratiques d'adaptation, le rôle des mécanismes financiers, de même que les contraintes et les limites de l'adaptation. Ces enseignements sont précieux non seulement pour les pays développés concernés, mais aussi pour les pays en développement.

Les changements climatiques ont déjà des conséquences dans les Alpes et l'adaptation est vitale

Les Alpes sont particulièrement sensibles aux changements climatiques et le réchauffement récent y est à peu près trois fois supérieur à la moyenne mondiale. Les années 1994, 2000, 2002 et, surtout, 2003 y ont été les plus chaudes depuis 500 ans. Les modèles climatiques prévoient des changements encore plus nets dans les décennies à venir, notamment une réduction du manteau neigeux à basse altitude et, plus haut, le recul des glaciers et le dégel du pergélisol, ainsi qu'une modification des températures et précipitations extrêmes. Ces bouleversements climatiques touchent un système qui est non seulement d'une importance économique et écologique déterminante, mais aussi déjà exposé à un large éventail de risques naturels et de pressions démographiques et environnementales. La viabilité des mesures d'adaptation à ces changements revêt donc une importance cruciale dans les pays alpins. La Conférence alpine en a d'ailleurs pris acte, fin 2006, en invitant les parties à la Convention alpine à concevoir sans tarder des stratégies d'adaptation pour les secteurs les plus touchés. Parallèlement, une étude

¹ Les Alpes s'étendent sur cinq pays membres de l'OCDE (France, Suisse, Italie, Autriche et Allemagne), auxquels s'ajoutent Monaco, le Lichtenstein et la Slovaquie.

réalisée récemment à l'échelon européen a montré que l'augmentation des pertes enregistrées dans le secteur du tourisme d'hiver sous l'effet de la diminution du manteau neigeux, ainsi qu'une aggravation de l'exposition des foyers d'habitation et des infrastructures aux risques naturels, étaient les principales menaces auxquelles les changements climatiques exposaient les Alpes. C'est pourquoi ces deux domaines sont au centre de la présente analyse approfondie.

Le tourisme d'hiver est particulièrement vulnérable, mais sa sensibilité aux changements climatiques varie dans l'arc alpin

Dans les conditions climatiques actuelles, 609 des 666 domaines skiables alpins (soit 91 %) d'Autriche, de France, d'Allemagne, d'Italie et de Suisse peuvent être considérés comme fiables du point de vue de l'enneigement naturel. Les 9 % restants fonctionnent déjà dans des conditions naturelles tout juste suffisantes. Le nombre de domaines fiables chuterait à 500 dans le cas d'un réchauffement de 1 °C, à 404 dans le cas d'un réchauffement de 2 °C et à 202 dans le cas d'un réchauffement de 4 °C. Le présent rapport synthétise la première analyse internationale systématique de la fiabilité de l'enneigement dans les Alpes en présence d'une modification du climat, qui porte sur 80 % du domaine skiable. Les chiffres précis obtenus dépendent des hypothèses retenues, mais ce sont la tendance générale et l'hétérogénéité spatiale des impacts qui sont intéressantes du point de vue de l'action publique. En effet, la sensibilité aux changements climatiques varie fortement d'un pays alpin à l'autre. Elle culmine en Allemagne, où un réchauffement de seulement 1 °C entraîne une baisse de 60 % (par rapport à la situation actuelle) du nombre de domaines skiables dont l'enneigement naturel est fiable. Si la température augmente de 4 °C, pratiquement aucun domaine skiable allemand ne pourra bénéficier d'un enneigement naturel fiable. La Suisse est quant à elle le moins sensible des cinq pays étudiés : un réchauffement de 1 °C provoque une baisse de 10 % seulement du nombre de domaines skiables fiables, et un réchauffement de 4 °C un recul de 50 % (par rapport à la situation actuelle). En outre, il y aura des « gagnants » et des « perdants », que ce soit à l'échelle des régions (comme les Grisons, le Valais et la Savoie, qui sont beaucoup moins vulnérables que les Alpes-Maritimes, la Styrie et le Frioul-Vénétie-Julienne) ou des domaines skiables eux-mêmes (ceux qui s'étendent sur une plage d'altitude élevée sont beaucoup moins vulnérables que les autres).

Le secteur du tourisme d'hiver s'adapte d'ores et déjà aux changements climatiques, mais les mesures ont un coût et des limites

Le secteur du tourisme d'hiver réagit aux conséquences des changements observés, et diverses mesures d'adaptation technologiques et comportementales ont été mises en œuvre. Le recours à la neige artificielle reste la principale stratégie d'adaptation. Les autres mesures résident dans le damage des pistes de ski, dans le déplacement des domaines skiables à des altitudes plus élevées et sur les glaciers, dans la protection des glaciers contre la fonte au moyen de bâches de plastique, dans la diversification des activités touristiques, et dans l'utilisation des assurances et des produits dérivés météorologiques. Les mesures d'adaptation ont néanmoins des coûts,

ainsi que des limites. La neige artificielle se révèle rentable, mais les estimations ne tiennent compte que des coûts financiers à la charge des exploitants des domaines skiables, et omettent les répercussions potentielles de la consommation d'eau et d'énergie ou les effets sur le paysage et les écosystèmes. De plus, les coûts de la neige artificielle n'augmenteront pas de manière linéaire à mesure que les températures s'élèveront, et si celles-ci dépassent un certain seuil, la production de neige artificielle ne sera plus viable de toute façon. De même, le damage des pistes peut certes réduire de 10 à 20 centimètres l'épaisseur de neige nécessaire à la pratique des sports d'hiver, mais il ne pallie pas une diminution importante du manteau neigeux et encore moins son absence. Les bâches en plastique utilisées pour freiner la fonte des glaciers se sont montrées efficaces compte tenu de leur coût, mais les surfaces qu'elles peuvent protéger ne sont pas sans limites et elles ne peuvent pas empêcher les glaciers de disparaître, à terme, si le réchauffement se confirme. Pour leur part, les assurances peuvent atténuer les pertes financières imputables à des déficits d'enneigement occasionnels, mais elles ne prémunissent pas contre une tendance systématique au réchauffement des hivers sur la longue période.

Les pouvoirs publics peuvent aussi jouer un rôle essentiel en facilitant une adaptation durable dans le secteur du tourisme d'hiver

L'un des principaux problèmes qui se posent aux pouvoirs publics a trait au degré du contrôle qu'il faudra peut-être exercer sur ce qui est, en grande partie, une adaptation autonome obéissant aux forces du marché. Les pouvoirs publics pourraient avoir un rôle déterminant à jouer au sujet des répercussions environnementales et sociales susceptibles de découler de la mise en œuvre (éventuellement excessive) de certaines stratégies d'adaptation. Par exemple, la production de neige artificielle consomme de l'eau et de l'énergie, le damage des pistes de ski peut porter atteinte à la stabilité des pentes, tandis que l'aménagement de domaines skiables à des altitudes plus élevées risque de menacer des écosystèmes fragiles. Actuellement, l'action des pouvoirs publics varie beaucoup d'un pays à l'autre et à l'intérieur des pays concernés. Ainsi, la France et l'Allemagne n'appliquent pas de réglementations concernant la neige artificielle, même si certains aspects relèvent d'autres réglementations relatives aux prélèvements d'eau. Des dispositions spécifiques sont en vigueur en Autriche, mais elles diffèrent selon les provinces, tandis qu'en Italie, seul le Haut-Adige a adopté des mesures. En Suisse, l'installation de canons à neige fait l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement, et il existe des réglementations précises sur les périmètres dans lesquels ils peuvent être employés. De même, les réglementations varient ou n'existent pas en ce qui concerne l'utilisation d'additifs dans la neige artificielle, le damage des pistes et le déplacement des activités de sports d'hiver à des altitudes plus élevées.

Les pouvoirs publics pourraient peut-être intervenir également pour faciliter la transition aux « perdants » de l'équation de l'adaptation. En effet, les conséquences des changements climatiques sur le tourisme d'hiver sont loin de s'exprimer équitablement. Les petites stations, qui, de surcroît, se trouvent souvent à des altitudes plus basses, sont plus vulnérables aux changements climatiques et, en même temps, ont moins de ressources à consacrer à des adaptations toujours onéreuses. En revanche, les

conglomérats de stations de sports d'hiver sont moins vulnérables (leurs domaines skiables se situent souvent à des altitudes plus élevées), diversifient mieux les risques (ils exploitent plusieurs sites) et ont plus de ressources pour s'adapter. Ici aussi, la réaction des pouvoirs publics varie beaucoup et va de la non-intervention à l'attribution d'aides financières aux plus vulnérables. En particulier, les gouvernements et les collectivités locales doivent impérativement faire face ensemble à un choix entre les mesures d'adaptation qui tendent à préserver le *statu quo* aussi longtemps que possible en dépit de conditions climatiques de plus en plus défavorables, et celles qui facilitent une transition moins brutale vers les nouvelles réalités qu'imposent les changements climatiques. Globalement, l'accent est mis pour l'instant sur le maintien du *statu quo*, et non pas sur l'aménagement d'une transition qui pourrait se révéler coûteuse aussi bien économiquement que politiquement à court terme.

Les répercussions des changements climatiques sur les risques naturels dans les Alpes sont complexes et dépendent du risque considéré

Le deuxième cas examiné dans le présent rapport, à savoir les risques naturels, est à la fois lié à celui du tourisme d'hiver et très différent. Si les changements climatiques ont des effets perceptibles sur le tourisme hivernal, son incidence sur divers risques naturels déjà existants dans les Alpes est beaucoup plus complexe. De plus, alors que les mesures d'adaptation du tourisme d'hiver sont le plus souvent prises de façon autonome par le secteur privé, les mesures destinées à faire face aux conséquences des changements climatiques pour les risques naturels feront très certainement intervenir les pouvoirs publics, devront être beaucoup mieux coordonnées et planifiées, et viendront sans doute se superposer aux politiques et dispositions déjà adoptées dans les différents pays alpins face aux risques naturels. La nécessité de mettre en place des mesures d'adaptation pour faire face aux effets des changements climatiques sur les risques naturels dépend du degré de corrélation entre les changements climatiques et le risque considéré, et de l'importance générale de ce risque. La présente analyse conclut que de nombreux dangers étroitement associés à la modification du climat ont en fait une importance économique de moyenne à faible. Les effets les plus nets concernent les zones glaciaires et le pergélisol, et n'ont pas forcément de répercussions économiques de grande ampleur à l'échelle nationale, même si leurs conséquences pour les collectivités locales peuvent être très importantes. Pour leur part, les dangers qui pourraient avoir des retombées économiques et sociales beaucoup plus lourdes, comme les inondations et les tempêtes, ont des liens beaucoup plus complexes et incertains avec les changements climatiques. En dépit des incertitudes concernant l'incidence des changements climatiques sur les crues et les tempêtes hivernales, les risques liés à ces changements doivent être pris au sérieux étant donné les conséquences de ces événements et l'aggravation de la vulnérabilité des sociétés alpines sous l'effet des pressions démographiques, entre autres, et des conflits d'utilisation des terres.

Les changements climatiques représentent une raison supplémentaire de gérer efficacement les risques existants

La question est donc de savoir comment faire en sorte que la gestion des risques naturels intègre les risques liés aux changements climatiques dans les Alpes ? L'analyse prêche de toute évidence en faveur d'une action à plusieurs niveaux. Il serait logique, dans un premier temps, d'agir au niveau des structures institutionnelles et des mécanismes de transfert des risques déjà mis en place dans les pays alpins pour faire face aux risques naturels. Les changements climatiques et ses implications (même incertaines) donnent une raison de plus d'améliorer l'efficacité de ces structures et mécanismes. Les trois pays alpins étudiés dans cette partie de l'analyse (France, Suisse et Autriche) ont manifestement une capacité d'adaptation aux risques naturels très élevée. Ces pays possèdent des réglementations et des structures institutionnelles consacrées à la gestion des risques naturels, de même que des mécanismes d'assurance permettant le transfert des risques. Après avoir initialement fait porter l'effort sur la reprise après sinistre, les pays alpins mettent de plus en plus l'accent sur la prise en compte de tous les éléments du cycle du risque (de la prévention à la remise en état). La Convention alpine encourage elle aussi la mise en œuvre de la gestion intégrée des risques dans l'arc alpin. Ce mode de gestion offre plusieurs points d'entrée pour introduire l'information sur le risque climatique, par exemple dans la cartographie des dangers, l'aménagement de l'espace, et la conception des mesures de prévention. Quoi qu'il en soit, cette évaluation montre que les risques auxquels sont exposés actuellement les pays alpins, et a fortiori les implications des changements climatiques, constituent pour eux un véritable défi. Par exemple, les dispositifs de gestion intégrée ne sont pas encore pleinement opérationnels et leur mise en œuvre reste bien souvent problématique. Il est intéressant de noter qu'aucun des pays étudiés ne table réellement sur les incitations économiques pour appuyer et renforcer les efforts de prévention. Les primes d'assurance, par exemple, sont généralement indépendantes de l'exposition aux risques des assurés, ce qui n'encourage guère les initiatives de prévention.

L'adaptation aux changements climatiques exige aussi une gestion plus souple et prospective des risques naturels

La gestion classique des risques naturels repose sur des informations rétrospectives qui ne seraient plus adaptées si les changements climatiques modifiaient le profil et la répartition des risques. Des mécanismes prospectifs seront donc nécessaires pour prendre en compte les risques climatiques anticipés. Une stratégie pourrait consister à durcir les normes de précaution applicables à la gestion des risques, car la prise en considération d'événements plus intenses et extrêmes dans le processus de planification améliorera la résilience aux changements climatiques. En Suisse, par exemple, les cartes de risques ont été ajustées de façon à intégrer des événements ayant une période de retour de 300 ans au lieu de s'en tenir aux événements à récurrence de 100 ans. Des ajustements ont également été opérés dans la planification des mesures d'urgence, qui prennent désormais en compte des événements ayant une période de retour de 1 000 ans. On peut aussi prévoir des mises à jour systématiques plus fréquentes des cartes de risques, pour permettre aux décideurs de prendre en

considération l'évolution du profil des risques, comme dans le cas des risques liés au pergélisol et aux glaciers. Toutefois, la nécessité de procéder à des mises à jour plus fréquentes des cartes doit être soigneusement mise en balance avec les coûts importants liés à leur établissement. Il importe également de noter que des changements significatifs fréquents peuvent entraîner des coûts de transaction élevés, voire des recours juridiques, notamment si les modifications se fondent uniquement sur des projections établies à partir de modèles. Cependant, une solution médiane pourrait être d'utiliser les cartes de risques qui prennent en compte des scénarios d'incidences futures à des fins consultatives et pas comme des outils de régulation.

Les compagnies d'assurance s'appuient uniquement sur les événements passés et sont à cet égard très proches des responsables publics. Passer d'une méthodologie de tarification fondée sur des données historiques à la prise en compte de considérations théoriques entachées de fortes incertitudes pourrait s'avérer difficile à faire accepter aux consommateurs et à mettre en œuvre, en particulier dans un secteur de l'assurance concurrentiel. Néanmoins, les assureurs de la région alpine sont de plus en plus conscients des changements climatiques. En Autriche, des compagnies privées financent l'élaboration de scénarios locaux des changements climatiques, tandis qu'en France, un consortium étudie actuellement les conséquences des changements climatiques sur les réserves et la tarification des assurances. En tout état de cause, ces initiatives n'en sont encore qu'à leurs premiers stades et doivent encore se traduire par une modification des principes de fonctionnement.

La surveillance active et la réduction des risques liés aux changements climatiques sont nécessaires

Enfin, dans le cas des risques climatiques évoluant à grande vitesse ou des impacts qui se manifestent d'ores et déjà (fonte du pergélisol et déglaciation, notamment), les stratégies d'adaptation devront, pour être efficaces, les placer sous haute surveillance et instituer des projets de réduction des risques. Des progrès ont été faits dans ces deux domaines. L'Union européenne, par exemple, a financé deux projets régionaux pour surveiller les risques climatiques : PACE (Permafrost and Climate in Europe), entre 1997 et 2000, puis Glaciorisk, de 2000 à 2003. Parallèlement, en ce qui concerne les actions concrètes, il existe quelques exemples de mesures d'adaptation des infrastructures aux risques croissants que font peser le dégel du pergélisol et les glaciers sous l'effet des changements climatiques. Ainsi, un lac glaciaire potentiellement dangereux a été en partie vidé sur le Mont Rose, sur la frontière italo-suisse, et des talus de protection ont été érigés à Pontresina, en Suisse, pour mettre la population à l'abri des avalanches et des coulées de débris. Ces initiatives sont certes encourageantes, mais elles ne sont au mieux que des exemples isolés et limités par rapport à l'ampleur des changements climatiques à l'œuvre dans les Alpes. Manifestement, il est nécessaire d'établir des mécanismes plus durables pour assurer une surveillance des risques climatiques qui ne soit pas cantonnée à des cycles budgétaires de courte durée, et pour faire en sorte que ces activités dépassent le stade de la recherche et apportent des informations et des outils pouvant être exploités dans le but de mieux tenir compte du climat dans les cartes des risques et dans les politiques de gestion des risques naturels.

Chapitre 1

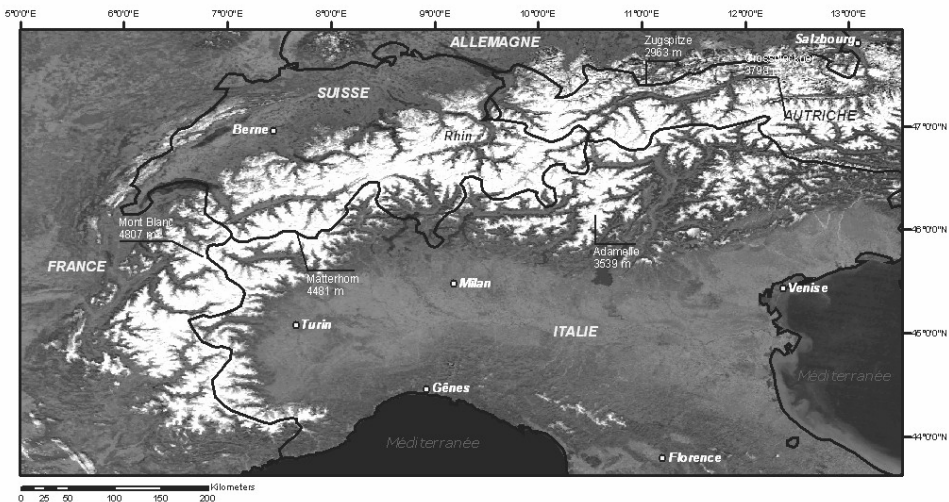
Les Alpes : localisation, économie et climat

par
Shardul Agrawala

Les Alpes sont particulièrement sensibles au changement climatique et, par ailleurs, elles jouent un rôle économique et écologique tout à fait essentiel. Elles font partie des régions les plus visitées, constituent le « château d'eau » de l'Europe et possèdent une biodiversité qui figure parmi les plus riches sur le continent. Le présent chapitre donne un aperçu du climat alpin et met en lumière les vulnérabilités de la région au changement climatique, ainsi que la nécessité d'appliquer des mesures d'adaptation. Le réchauffement récent dans les Alpes est à peu près trois fois supérieur à la moyenne mondiale et les modèles climatiques prévoient des bouleversements encore plus sensibles dans les décennies à venir, notamment la diminution du manteau neigeux à basse altitude, le recul des glaciers et le dégel du pergélisol à plus haute altitude, de même qu'une évolution des températures et précipitations extrêmes. Les premiers à en pâtir seront le secteur du tourisme d'hiver, qui enregistrera un manque à gagner de plus en plus important en raison de la diminution de l'enneigement, et les zones habitées et les infrastructures, qui seront de plus en plus exposées aux risques naturels. La viabilité des mesures envisagées pour s'adapter aux répercussions du changement climatique revêt donc une importance déterminante pour les pays alpins. Le présent chapitre porte sur l'Allemagne, l'Autriche, la France, l'Italie et la Suisse.

Les Alpes forment une chaîne de montagnes qui s'étend de Nice à Vienne, le long d'un arc de 1 200 kilomètres. Elles sont généralement divisées en deux parties, les Alpes occidentales et les Alpes orientales, séparées par le Rhin et le col du Splügen, dans l'Est de la Suisse. Les Alpes occidentales sont plus élevées, mais aussi moins longues et plus incurvées. Elles se situent en France, à Monaco, en Italie et dans l'Ouest de la Suisse. Les Alpes orientales, qui se trouvent dans l'Est de la Suisse, en Italie, en Allemagne, au Liechtenstein, en Autriche et en Slovénie (figure 1) sont quant à elles plus allongées. Sources de trois grands fleuves européens (le Rhin, le Rhône et le Pô), ces montagnes sont le « château d'eau » du continent. Elles constituent aussi l'un des écosystèmes les plus variés d'Europe, avec plus de 30 000 espèces d'animaux et de 13 000 espèces de végétaux.

Figure 1. Vue des Alpes



Note : Données du satellite MODIS diffusées par le *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC), du *Center for Earth Resources Observation and Science* (EROS), qui relève du U.S. Geological Survey (USGS) <http://LPDAAC.usgs.gov>.

L'arc alpin couvre une superficie de quelque 190 000 kilomètres carrés et compte à peu près 15 millions d'habitants. La majeure partie de la population est concentrée dans des vallées à basse altitude, où la densité démographique est souvent très élevée. Les Alpes sont situées entre deux régions très densément peuplée, à savoir les pays du Rhin au Nord, et l'Italie septentrionale au Sud. Les tunnels alpins forment les itinéraires les plus communs pour passer du Nord au Sud de l'Europe. Les Alpes sont aussi parmi les régions les plus visitées. Environ 60 à 80 millions de touristes, soit quatre à six fois la population locale, séjournent chaque année dans la région. Parallèlement, l'agriculture de montagne, bien qu'étroitement associée au tourisme

d'hiver et toujours très importante, devient de moins en moins viable du point de vue économique et dépend de plus en plus des subventions.

Tout en contribuant au développement économique, bon nombre des tendances ci-dessus (essor et hétérogénéité spatiale de la population et du tourisme, renforcement de la concurrence entre différentes utilisations des terres et développement des transports interalpins et transalpins) exercent des pressions supplémentaires sur l'environnement. Dans de nombreux cas, elles accroissent la vulnérabilité de la société alpine aux risques environnementaux. Les répercussions des changements climatiques sur les Alpes doivent donc être considérées dans ce contexte socio-économique et environnemental plus large.

1. Caractéristiques du climat des Alpes

Les Alpes sont caractérisées par quatre influences climatiques principales : l'air doux et humide de l'Atlantique en provenance de l'Ouest ; l'air chaud méditerranéen en provenance du Sud ; l'air froid polaire en provenance du Nord ; la masse d'air continental (froid et sec en hiver et chaud en été) à l'Est. Le climat de la région est aussi influencé par les tempêtes qui éclatent dans l'Atlantique ou en Méditerranée. De leur côté, les Alpes elles-mêmes ont une incidence considérable sur le climat du fait de leur hauteur, de leur végétation et de leur couverture neigeuse.

Les Alpes se caractérisent en outre par des variations spatiales considérables de leur climat, et leur physiographie joue un rôle fondamental dans la détermination des températures et des précipitations. Le fond des vallées est généralement plus chaud et plus sec que les pics environnants. Les températures moyennes en janvier y sont comprises entre -5 °C et 4 °C, et peuvent monter jusqu'à 8 °C dans les montagnes qui bordent la Méditerranée. En juillet, elles s'y établissent entre 15 et 24 °C. Les inversions de température sont courantes pendant l'automne et en hiver jusqu'à une altitude de 1 000 mètres environ. Au-delà, les températures sont plus douces que dans le fond des vallées, bien qu'elles redescendent de nouveau à très haute altitude. S'agissant des précipitations, on observe un gradient est-ouest, les pluies et les chutes de neige étant moins abondantes en Suisse orientale et en Autriche que dans la partie occidentale des Alpes, exposée à l'humidité provenant de l'Atlantique. En hiver, la presque totalité des précipitations au-dessus de 1 500 mètres d'altitude se présente sous forme de neige. A 2 000 environ, le manteau neigeux se maintient approximativement de la mi-novembre à la fin mai. En termes de saisonnalité, les températures culminent pendant les mois d'été dans toutes les Alpes. En revanche, la saisonnalité des pluies est beaucoup plus variable spatialement et elle est fonction de l'endroit et de l'orographie (Frei et Schär, 1998).

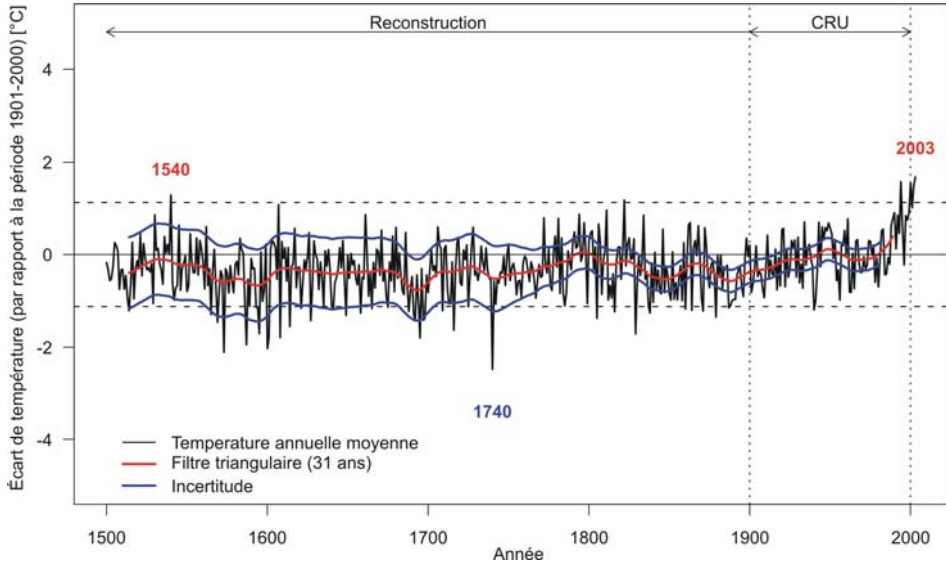
2. Tendances observées du climat

Les reconstructions en haute résolution du climat des Alpes depuis 1500 après J.-C. font état d'une transition entre des conditions froides avant 1900 et la douceur actuelle au cours du XX^{ème} siècle et au-delà (figure 2 ; Casty *et al.*, 2005). Les

températures nocturnes minimums en hiver ont enregistré des augmentations pouvant aller jusqu'à 2°C au cours du XX^{ème} siècle, et les températures maximums des hausses plus modestes. Le réchauffement plus récent observé dans les Alpes depuis le milieu des années 80, quoique en phase avec le réchauffement planétaire, est à peu près trois fois plus sensible que la moyenne mondiale (Beniston, 2005). Le réchauffement le plus marqué est intervenu après 1990. Ainsi, les années 1994, 2000, 2002 et surtout 2003 ont été les plus chaudes dans les Alpes au cours des cinq cents dernières années. En revanche, on ne constate pas de tendance similaire à long terme en ce qui concerne les précipitations moyennes dans les Alpes sur cette même période, bien qu'une légère diminution des précipitations régionales moyennes ait été observée depuis 1970 à peu près (Casty *et al.*, 2005).

Le réchauffement intense constaté dans les Alpes durant les années 90 est en partie associé au comportement de l'oscillation nord-atlantique (NAO). La NAO est caractérisée par des fluctuations cycliques de la pression atmosphérique et des modifications de la trajectoire des tempêtes dans l'Atlantique Nord. Elle est mesurée par un indice qui correspond à la différence entre la pression relevée au niveau de la mer sur un site aux Açores (ou au Portugal), au milieu de l'Atlantique, et sur un autre site en Islande, dans le Nord de l'Atlantique. On pense que la NAO influence en particulier le climat dans les régions des Alpes situées à haute altitude, alors que les zones se trouvant à basse altitude y sont beaucoup moins sensibles (Beniston, 2000).

Figure 2. Anomalies des températures annuelles moyennes dans les Alpes (par rapport à la moyenne 1901-2000)



Source : Casty *et al.*, 2005. Reproduit avec l'autorisation de John Wiley & Sons Ltd, pour le compte de la Royal Meteorological Society. © Royal Meteorological Society.

Il est cependant difficile de dire dans quelles proportions exactement le changement de climat observé dans les Alpes est imputable au réchauffement mondial d'une part, et à la NAO d'autre part. Il ressort de certaines analyses récentes qu'un indice NAO nettement positif, depuis le milieu des années 80, a amplifié l'élévation observée des températures minimales dans les Alpes. En l'absence de ce concours de la NAO, les températures en question n'auraient pas augmenté de 1.5 °C au cours du XX^{ème} siècle, mais de 0.5 °C, conformément à la moyenne mondiale (Beniston, 2004). Parallèlement, l'incidence potentielle de la NAO sur les températures maximums n'est pas aussi prononcée. Celles-ci auraient de toute façon augmentée dans les Alpes dans la dernière partie du XX^{ème} siècle (Beniston, 2004).

Néanmoins, si l'on examine le climat passé sur une période beaucoup plus longue, la relation entre NAO et caractéristiques du climat alpin est nettement plus ambiguë. En particulier, il a été démontré que le lien entre un indice NAO positif et une augmentation de la température et/ou une baisse des précipitations dans les Alpes n'est établi que pendant certaines périodes au cours des cinq cents dernières années (Casty *et al.*, 2005). En outre, l'amplification du réchauffement récent n'est pas propre aux Alpes et a aussi été constatée dans des zones de haute altitude qui ne sont pas soumises à l'influence de la NAO telles que l'Himalaya (Shreshtha *et al.*, 1998 ; Liu et Chen, 2002). Enfin, on ne sait pas non plus exactement si l'indice NAO positif persistant observé ces dernières décennies (qui a été associé aux changements récents du climat dans les Alpes) est lui-même influencé ou non par les changements climatiques. Le troisième Rapport d'évaluation du GIEC, par exemple, note que les changements constatés dans la NAO pourraient être, au moins en partie, une réaction du système aux modifications observées dans les températures de la mer en surface (GIEC, 2001).

3. Incidences des changements climatiques et principales vulnérabilités

Les modèles de circulation générale (MCG) sont très peu performants pour rendre compte de la topographie des Alpes du fait de leur médiocre résolution spatiale et ils ne peuvent pas être employés seuls pour anticiper les changements climatiques et leurs effets dans la région. C'est pourquoi les résultats des MCG sont souvent utilisés comme conditions initiales et limites dans les modèles climatiques régionaux (MCR). Ces derniers ont une résolution d'une vingtaine de kilomètres (contre 120 km dans le cas des MCG) et sont donc plus à même de prendre en compte les détails topographiques des Alpes. Bien qu'imparfaits, ces modèles régionaux « emboîtés » permettent d'imiter assez bien plusieurs aspects du climat actuel de la région alpine, ce qui est nécessaire pour pouvoir ensuite simuler les changements climatiques futurs.

Les résultats des simulations effectuées avec ces modèles climatiques régionaux et prévoyant un doublement du CO₂ indiquent un réchauffement général dans les Alpes en hiver comme en été, mais toutefois plus prononcé en été. Par ailleurs, d'après ces projections, les températures augmenteraient beaucoup plus aux altitudes plus élevées, ce qui concorde avec les valeurs observées. En outre, le réchauffement estival, notamment, devrait être beaucoup plus intense dans les Alpes occidentales (Heimann et Sept, 2000). Les précipitations devraient quant à elles devenir plus abondantes et plus

intenses en hiver, mais être sensiblement réduites en été (Haeberli et Beniston, 1998). Ces observations générales sont conformes aux scénarios des changements climatiques établis pour les Alpes suisses, dans lesquels les projections font état d'une augmentation des températures de 1 à 5 °C environ en été et de 1 à 3 °C à peu près en hiver d'ici à 2050, par rapport à 1990. Dans le même temps, les précipitations devraient augmenter de 5 à 25 % approximativement en hiver et décroître de 5 à 40 % environ en été (OcCC, 2003).

Ces conditions entraîneraient une forte réduction du manteau neigeux et de la masse des glaciers dans les décennies à venir. La couverture neigeuse présente des variations considérables d'une année ou d'une décennie à l'autre dans les Alpes. Cependant, sa diminution dans les années 80 et 90 est attribuée à la hausse des températures. L'influence d'éventuels changements dans les précipitations sur le manteau neigeux en général est modeste et ne rejillira pas sur la diminution globale due à l'élévation des températures. Entre 1850 et 1980, les glaciers des Alpes ont perdu approximativement 30 à 40 % de leur superficie et la moitié de leur masse (Haeberli et Beniston, 1998). Depuis 1980, 10 à 20 % supplémentaires de la glace restante ont fondu (Haeberli et Hoelzle, 1995). A elle seule, la canicule de l'été 2003 a provoqué une diminution de 10 % de la masse des glaciers subsistant dans les Alpes. D'ici 2050, environ 75 % des glaciers des Alpes suisses auront probablement disparu. D'après des recherches récentes, les Alpes pourraient perdre la quasi totalité de leurs glaciers d'ici 2100 si la température de l'air en été augmentait de 5 °C (Zemp *et al.*, 2006). Les changements climatiques devraient aussi relever la limite inférieure du pergélisol de plusieurs centaines de mètres (Hoelze et Haeberli, 1995). Le recul des glaciers exposera d'importants dépôts morainiques et accroîtra l'instabilité des pentes abruptes. Celui du pergélisol contribuera probablement aux éboulements, comme cela a été observé sur le Cervin pendant la canicule de 2003 (Gruber *et al.*, 2004). En outre, le dégel du pergélisol déstabilise les infrastructures à haute altitude.

Globalement, le réchauffement devrait se traduire par un déplacement des zones à risque, ce qui impliquerait que les informations historiques utilisées pour gérer les risques perdraient de leur pertinence (Haeberli et Beniston 1998). On s'attend aussi à ce qu'il modifie profondément le cycle hydrologique dans les Alpes. D'après les projections, les précipitations hivernales devraient se faire plus intenses. De surcroît, sous l'effet de la hausse des températures, une plus grande partie de ces précipitations se présentera sous forme de pluie. Les changements climatiques entraîneront aussi une fonte plus précoce au printemps et, peut-être, une aggravation du risque d'inondation dans les bassins hydrographiques alimentés par la fonte des glaciers. Cependant, la réduction des précipitations estivales qui est prévue fera probablement diminuer les débits en été dans les bassins alimentés par les pluies.

Dans la déclaration de leur 9^{ème} conférence, consacrée aux changements climatiques dans les Alpes, les parties à la Convention alpine ont pris acte, en 2006, de la forte sensibilité des Alpes au phénomène. Cette déclaration insiste pour que les pays signataires et toute la communauté internationale prennent des mesures d'atténuation des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre. Elle appelle aussi les pays alpins à concevoir sans tarder des stratégies d'adaptation pour les secteurs économiques

les plus concernés, à savoir le tourisme, les transports, l'agriculture et la foresterie, et à prendre des mesures appropriées de gestion des risques naturels qui, selon les prévisions, iront en s'aggravant.

Dans son évaluation de 2005, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) a mis en évidence les principales vulnérabilités auxquelles les changements climatiques exposent la région alpine:

- Augmentation du risque de manque à gagner économique dans le tourisme d'hiver, la saison étant plus douce et la couche de neige moins importante, notamment à faible altitude (à moins de 1 500 mètres par exemple).
- Accroissement de la vulnérabilité des zones d'habitation et des infrastructures aux risques naturels comme les crues éclair, les avalanches, les glissements de terrain, les éboulements et les coulées de boue provoqués par de fortes pluies et la remontée de la limite des neiges en altitude.
- Modification de la biodiversité et de la stabilité des écosystèmes, de nombreuses espèces alpines étant menacées d'être remplacées par les herbages et les arbres migrant en altitude sous l'effet de l'élévation des températures ; cette dernière accroît aussi la fréquence des feux de forêt.
- Modification du bilan hydrique : les bassins hydrographiques alimentés par les glaciers sont plus exposés aux inondations compte tenu de l'accroissement de la fonte glaciaire, tandis que les bassins alimentés par les pluies pourraient être exposés à des pénuries en raison d'une baisse des précipitations estivales.
- Aggravation de la vulnérabilité de la santé humaine et du tourisme due au aux canicules, aux crues éclair, à l'accroissement de la pollution et à l'augmentation de la consommation d'énergie.

4. Axe de la suite du présent rapport

L'étude des possibilités d'adaptation présentée dans ce rapport est axée sur les deux premières vulnérabilités caractérisées dans l'évaluation de l'AEE, à savoir : 1) l'augmentation du risque de manque à gagner économique dans le tourisme d'hiver, due à une saison plus douce, et 2) l'accroissement de la vulnérabilité des zones d'habitation et des infrastructures aux risques naturels, auquel les changements climatiques pourraient contribuer.

Le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels revêtent une importance cruciale dans les Alpes, et ils constituent des activités dans lesquelles l'incidence des changements climatiques se fait de plus en plus sentir. S'agissant du premier, le recul de

la limite des neiges et le raccourcissement des hivers ont déjà amené certains acteurs, comme les professionnels des sports d'hiver, à réagir au coup par coup, pour « s'adapter ». Des questions fondamentales se posent donc en ce qui concerne les coûts et les externalités potentielles de ces ajustements autonomes, qui sont souvent le fait du secteur privé, et aussi leur pertinence et leurs limites eu égard aux changements climatiques futurs. Parallèlement, pour ce qui est des risques naturels et des extrêmes météorologiques, la tendance générale est à l'aggravation des préjudices, mais il est souvent difficile de dire avec précision dans quelle mesure une évolution de la fréquence des événements est liée aux changements climatiques. La capacité des organismes publics qui ont pour mission de prendre en charge les risques naturels à l'échelon national, régional, départemental, cantonal ou local à s'occuper des risques climatiques, ainsi que les moyens dont ils doivent disposer pour ce faire, soulèvent également des questions. Le rôle du secteur privé est important également, notamment celui des assureurs.

Ces questions et d'autres qui leur sont liées sont analysés en profondeur dans les deux sections qui suivent. Le chapitre 2 est consacré au tourisme d'hiver, notamment en France, en Suisse, en Autriche, en Italie, et en Allemagne. Le chapitre 3 porte sur les risques naturels en France, en Suisse et en Autriche.

Chapitre 2

Effets des changements climatiques et adaptation dans le tourisme d'hiver

par

Bruno Abegg, Shardul Agrawala, Florence Crick et Anne de Montfalcon

Le secteur du tourisme d'hiver contribue largement à l'économie des pays alpins. Le présent chapitre analyse la fiabilité de l'enneigement des zones alpines en Allemagne, en Autriche, en France, en Italie et en Suisse. Il présente également un examen général des mesures d'adaptation et de leurs limites. Sous l'effet d'un climat plus chaud, le nombre de domaines skiables bénéficiant d'un enneigement naturel fiable diminuerait nettement. La sensibilité au changement climatique varie toutefois fortement d'une zone à l'autre dans les Alpes. Le secteur du tourisme d'hiver ne reste pas inerte face aux répercussions du changement climatique observé, et diverses mesures d'adaptation d'ordre technique ou comportemental ont d'ores et déjà été mises en œuvre. L'enneigement artificiel est en l'occurrence la première des stratégies retenues. Cependant, si la tendance au réchauffement se poursuit, cette solution et les autres mesures techniques ne suffiront peut-être plus pour parer aux aléas croissants de l'enneigement. Dans certaines régions, il pourrait se révéler nécessaire de passer peu à peu à des activités économiques ne dépendant pas de la neige. Les pouvoirs publics peuvent jouer un rôle essentiel en supervisant ce processus qui constitue, dans une large mesure, une adaptation autonome obéissant aux forces du marché, et aussi en facilitant la transition à ceux qui ont quelque chose à y perdre. Le présent chapitre porte sur l'Allemagne, l'Autriche, la France, l'Italie et la Suisse.

Les activités touristiques génèrent dans les Alpes un chiffre d'affaires de près de 50 milliards EUR par an et y assurent 10 à 12 % des emplois. On constate néanmoins des différences d'une région à l'autre, ces activités étant concentrées dans seulement 10 % des collectivités locales (AEE, 2005). A l'origine, le principal moteur de l'activité était le tourisme d'été. Toutefois, celui-ci stagne depuis le début des années 70, alors que le tourisme d'hiver a connu un essor important, prenant ainsi la relève (Pechlaner et Tschurtschenthaler, 2003).

On dénombre aujourd'hui plus de 600 stations de ski et 10 000 installations de ski dans les Alpes (WWF Italia, 2006b). En Europe, les principales destinations pour le ski sont la France, la Suisse, l'Autriche et l'Italie. Ensemble, ces quatre pays représentent 85 % du domaine skiable du continent². Ils ont lourdement investi dans le secteur du ski et ont créé en grand nombre stations et infrastructures (voir le tableau 1).

Tableau 1. Chiffres clés dans le secteur du ski en France, en Autriche, en Suisse et en Italie

Pays alpin	Domaine skiable total du pays (ha)	% du domaine skiable européen	Nombre de stations et centres de ski	Nombre d'installations de transport	Chiffre d'affaires des installations de transport (hiver 2003-2004, millions EUR)	Journées-skieurs hiver 2003-2004 (million)
France	> 118 000	30 %	308	3 865	970	54.8
Autriche	79 000	19 %	255	3 016	901	49.9
Suisse	84 000	20 %	230	1 672	588	28
Italie	75 000	18 %	200	3 100	431	27

Source : Direction du Tourisme, 2004 ; Direction du Tourisme, 2005 ; WWF Italia, 2006b.

L'activité touristique hivernale apporte une contribution importante à l'économie de ces pays. Dans beaucoup de zones rurales des Alpes suisses, par exemple, le tourisme d'hiver est la source de revenus la plus importante et se trouve à la base de la croissance économique régionale (König et Abegg, 1997 ; Bürki *et al.*, 2005). En Autriche, il représente 4.5 % du PNB et la moitié des recettes du tourisme (Breiling, 1998a ; Breiling, 1998b). On observe toutefois des écarts régionaux et locaux importants dans les flux touristiques en Autriche, la partie alpine du pays, dans l'Ouest, représentant la majeure partie de l'activité touristique (Breiling, 1998a). L'hiver est plus court dans l'Est, qui reçoit beaucoup de visiteurs venus pour des séjours d'une journée seulement, et les plaines de l'Est et du Nord ne se prêtent pas aux activités que permet la neige en hiver (Breiling et Charamza, 1999). Parmi les quatre pays, la France est celui qui enregistre le chiffre d'affaires le plus élevé en hiver. A l'intérieur du pays, les Alpes se classent en tête des destinations pour les sports d'hiver. 77.5 % des nuitées en rapport avec les sports d'hiver et 73.9 % des séjours en relation avec ces activités en France ont

² Ce chiffre englobe cependant la totalité des chaînes de montagne à l'intérieur de ces pays.

lieu dans les Alpes (Direction du Tourisme, 2004, 2006). Les différences régionales à l'intérieur des Alpes françaises sont décrites dans l'encadré 1.

Encadré 1. Tourisme d'hiver dans les Alpes françaises

La partie française des Alpes est une destination de sports d'hiver de premier plan, qui offre aux touristes un vaste domaine skiable et des stations bien équipées (voir le tableau A).

Tableau A. Importance des infrastructures de ski dans les Alpes françaises en 2003/2004

Superficie (ha)	Nombre de domaines skiables	Nombre de stations / centres de ski	Nombre de remontées mécaniques	Superficie totale des domaines skiables (ha)	Pistes de ski (estimation) (ha)	Superficie enneigée avec neige artificielle (ha)
Alpes du Nord	147	136	2 186	85 890	16 572	2 339
Alpes du Sud	62	59	721	29 800	4 223	883
Total Alpes	209	195	2 907	115 690	20 795	3 222
% du total en France	64 %	64 %	75 %	84 %	83 %	80 %

Source : Direction du Tourisme, 2002, Direction du Tourisme, 2004.

Dans les Alpes françaises, les départements qui accueillent le plus de touristes en hiver sont la Savoie, la Haute-Savoie et les Hautes-Alpes, qui ont représenté 37 %, 32 % et 14.5 %, respectivement, des nuitées hivernales dans les Alpes en 2003/2004 (Direction du Tourisme, 2004), comme en témoigne le tableau B.

Tableau B. Nombre de nuitées hivernales dans six départements des Alpes françaises, saison 2003/2004

	Départements des Alpes françaises	nombre de nuitées hivernales en 2003/2004 (en millions)	% du total de nuitées hivernales dans les Alpes
Alpes du Nord	Savoie	21.2	37 %
	Haute-Savoie	18.1	32 %
	Isère	4.7	8 %
Alpes du Sud	Hautes-Alpes	8.3	14.5 %
	Alpes-Maritimes	2.5	4.4 %
	Alpes-de-Haute-Provence	2.3	4 %

Source : Adapté à partir de Direction du Tourisme, 2004.

1. Impact des changements climatiques sur la fiabilité de l'enneigement naturel des domaines skiables des Alpes

L'analyse exposée dans la présente section porte sur les zones géographiques d'Allemagne d'Autriche, de France, d'Italie et de Suisse définies par la Convention alpine. Afin d'évaluer l'impact des changements climatiques sur le domaine skiable des Alpes, des données sur les stations de ski, comme l'altitude et la longueur des pistes, ont été recueillies sur plus de 750 sites dans les cinq pays. Cependant, seules les sites répondant à certains critères³ concernant l'ampleur des installations et leur type ont été pris en considération dans l'analyse⁴.

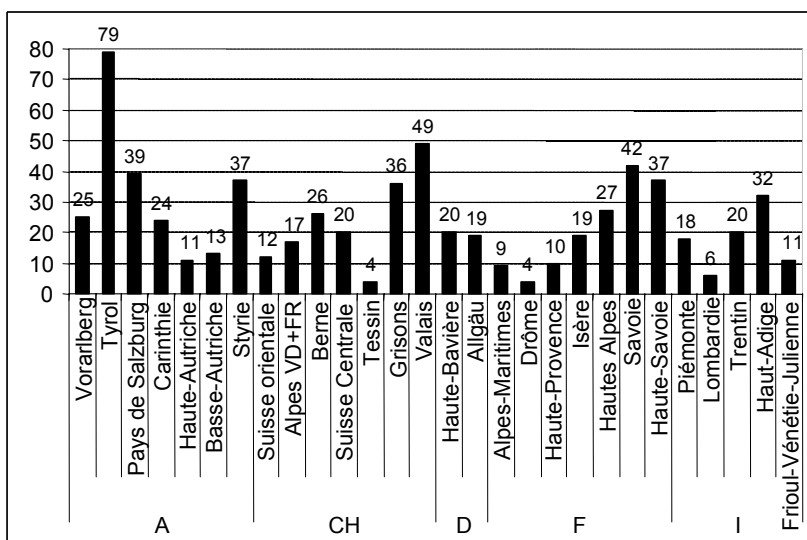
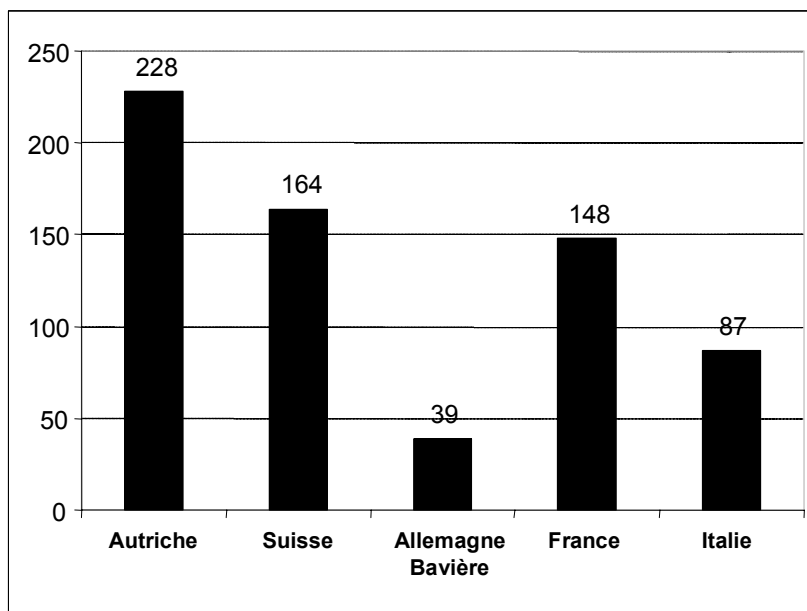
Compte tenu de ces critères, 666 domaines skiables ont été pris en considération dans l'étude. Le nombre de domaines par pays et par région est indiqué dans la figure 3. Dans la plupart des cas, la classification des régions correspond aux limites administratives et politiques existantes⁵. Les moyennes régionales des plages d'altitude entre le point le plus bas et le point le plus haut des domaines sont illustrées par la figure 4.

³ Seuls les domaines de taille moyenne et de grande taille disposant d'au moins trois installations de transport (téléskis et télésièges, hors remontées pour enfants) et d'au moins cinq kilomètres de pistes sont pris en considération. En outre, seuls sont pris en compte également les domaines où l'activité est sans interruption pendant la saison (c'est-à-dire que ceux où les activités sont praticables uniquement pendant le week-end ou les vacances sont exclus). Par ailleurs, les domaines desservis par une même station ou un même village, mais situés sur des versants opposés de la vallée (et non reliés entre eux) sont comptabilisés séparément. Les domaines reliés qui ont des accès et des pentes distincts et/ou des tarifications différentes sont également comptabilisés séparément.

⁴ En ce qui concerne l'Italie, des informations complémentaires à l'échelle des stations de sports d'hiver peuvent également être consultées dans une note de synthèse à l'adresse www.oecd.org/env/cc/alps.

⁵ *Bundesländer* en Autriche, départements en France, *Regierungsbezirke* de Souabe (Allgäu) et de Haute-Bavière en Allemagne, Regioni comme le Piémont et la Lombardie en Italie [toutefois, les provinces de Bolzano (Haut-Adige) et de Trente (Trentin) sont comptabilisées séparément], et régions touristiques prédéfinies en Suisse, comme les Alpes VD + FR (zones alpines des cantons de Vaud et Fribourg), Valais (canton du Valais), Oberland bernois (canton de Berne), Suisse centrale (cantons de Lucerne, Obwald/Nidwald, Schwyz et Uri), Suisse orientale (cantons d'Appenzell, Glaris et St-Gall, et Principauté du Liechtenstein), Grisons (canton des Grisons), et Tessin (canton homonyme).

Figure 3. Nombre de domaines skiables par pays (en haut) et par région (en bas)



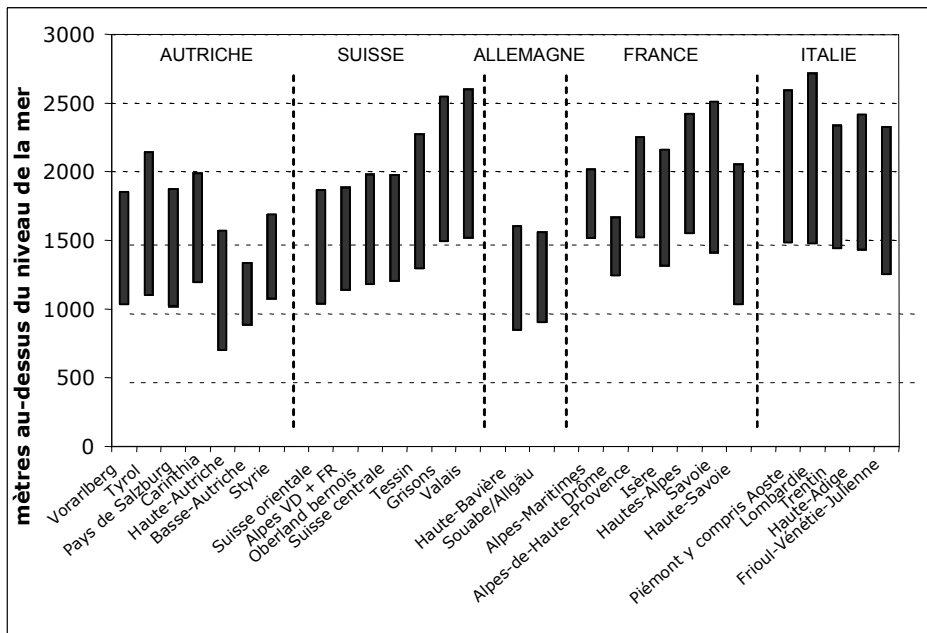
Note : A = Autriche ; CH = Suisse ; D = Allemagne ; F = France ; I = Italie.

1.1 La règle des cent jours et l'altitude de la fiabilité de l'enneigement naturel des domaines skiables des Alpes

Dans la plupart des domaines skiables des Alpes, la saison dure au moins 120 jours. Elle commence généralement dans la première moitié de décembre (certains petits domaines n'ouvrent qu'au week-end qui précède Noël) et s'achève, selon les conditions d'enneigement bien entendu, vers Pâques ou la mi-avril. Compte tenu de la forte demande qui s'y exprime et des recettes qu'elles engendrent en relativement peu de temps, trois périodes revêtent une importance cruciale : Noël/Jour de l'An, les vacances scolaires de février ou du début du printemps et Pâques. La viabilité financière du secteur du tourisme d'hiver repose dans une large mesure sur les précipitations neigeuses et sur la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables. Une certaine quantité de neige est en effet nécessaire pour aménager les pistes, pour protéger le sol, pour garantir une exploitation sans danger et pour offrir aux skieurs une glisse agréable. L'épaisseur minimum indispensable (du point de vue de l'exploitation, car les skieurs peuvent en avoir un autre) est fonction des caractéristiques de la pente. En général, on considère que 30 centimètres créent des conditions suffisantes, 50 centimètres des conditions satisfaisantes et 75 centimètres des conditions excellentes (Witmer, 1986). Cependant, les pentes rocheuses, à des altitudes élevées, peuvent exiger une épaisseur de neige beaucoup plus importante pour être skiable (jusqu'à 1 mètre).

D'après les projections, le manteau neigeux diminuera dans les Alpes sous l'effet des changements climatiques, ce qui se répercutera sur la fiabilité de l'enneigement naturel. Afin d'étudier les effets des changements climatiques sur le secteur du tourisme d'hiver dans la zone, il est donc important de définir la notion de fiabilité de l'enneigement naturel. Différents critères ont été examinés dans la perspective d'évaluer cette dernière dans les domaines skiables (pour un récapitulatif, voir Abegg, 1996). La règle dite des cent jours, évoquée pour la première fois par Witmer (1986), synthétise les principaux points de ces travaux. Elle stipule que pour exploiter un domaine skiable avec un résultat satisfaisant, il faut un manteau neigeux suffisant pour la pratique du ski pendant au moins cent jours par saison. Cette règle est non pas un impératif indiscutable, mais un outil de travail accepté par bon nombre des exploitants de grands domaines skiables en Suisse (Pfund, 1993, Abegg, 1996).

Figure 4. Moyennes régionales des plages d'altitude des domaines skiables alpins



Source : données sur l'Allemagne, la Suisse et l'Italie : DSV-Atlas Ski Winter 2005, brochures de domaines skiables (hiver 2005/06) et sites web sur ces derniers ; données sur l'Autriche : site web de Bergfex ; données sur la France : sites web sur le ski pour les Alpes-de-Haute-Provence, les Alpes-Maritimes, la Drôme et l'Isère, et brochures sur le tourisme d'hiver pour les Hautes-Alpes, la Savoie et la Haute-Savoie.

En Suisse, selon Föhn (1990) et Laternser et Schneebeli (2003), les critères de la règle des cent jours (épaisseur de neige de 30 centimètres au minimum) sont actuellement remplis par les domaines qui se situent à plus de 1 200-1 300 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il en ressort que dans ce pays, et dans les conditions climatiques actuelles, une altitude de 1 200 mètres au minimum est nécessaire pour exploiter avec profit une station de ski. Cette altitude est considérée comme la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel.

Cette limite fluctue d'un point à l'autre de l'arc alpin, car le climat varie lui-même énormément dans les différentes parties des Alpes. Les régions plus froides bénéficient ainsi d'une fiabilité de l'enneigement naturel à une altitude plus basse que les autres. Wielke *et al.*, (2004), qui ont comparé la durée du manteau neigeux dans les Alpes, ont observé des schémas similaires en Suisse et en Autriche, à ceci près que les caractéristiques semblables se manifestent environ 150 mètres plus haut en Suisse que dans l'Est de l'Autriche, ce qui révèle une transition entre un climat atlantique-maritime et un climat plus continental. Afin de tenir compte de l'effet de la continentalité (hivers plus froids dans la partie la plus orientale des Alpes), la limite inférieure de la fiabilité

de l'enneigement naturel établie pour la Suisse a été abaissée de 150 mètres (soit 1 050 mètres pour l'Est de l'Autriche au lieu de 1 200 mètres pour l'Ouest du pays et la Suisse). Parallèlement, en ce qui concerne les régions alpines influencées par le climat méditerranéen, plus chaud, la limite de fiabilité de l'enneigement a été relevée de 300 mètres pour opérer une distinction avec les zones septentrionales de la chaîne (climat atlantique-maritime, plus froid) (Witmer, 1986, Matulla *et al.*, 2005 ; Martin *et al.*, 1994). En conséquence, si l'on s'en tient à la règle des cent jours, actuellement la limite inférieure de la fiabilité de l'enneigement naturel pour les régions étudiées se situe aux altitudes indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2. Altitude de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel dans les zones alpines des cinq pays pris en compte dans la présente analyse

Limite de la fiabilité de l'enneigement naturel	France	Suisse	Autriche	Italie	Allemagne
1 050 m			<ul style="list-style-type: none"> • Pays de Salzbourg • Styrie • Haute-Autriche • Basse-Autriche 		<ul style="list-style-type: none"> • Haute-Bavière
1 200 m	<ul style="list-style-type: none"> • Isère • Savoie • Haute-Savoie 	<ul style="list-style-type: none"> • Alpes Vaudoises et fribourgeoises • Valais • Oberland bernois • Suisse centrale • Suisse orientale • Grisons 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorarlberg • Tyrol • Carinthie (si l'on considère que l'effet « positif » de la continentalité est compensé par l'effet « négatif » du caractère méridional) 		<ul style="list-style-type: none"> • Souabe
1 500 m	<ul style="list-style-type: none"> • Drôme • Hautes-Alpes • Alpes-de-Haute-Provence • Alpes-Maritimes 	<ul style="list-style-type: none"> • Tessin 		<ul style="list-style-type: none"> • Piémont • Lombardie • Haut-Adige • Frioul-Vénétie-Julienne • Trente 	

1.2. Fiabilité de l'enneigement dans les domaines skiabiles des Alpes en fonction du climat actuel et dans le futur

Selon les estimations, dans un climat plus chaud, la limite des neiges, ainsi que la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel, monteraient de 150 mètres par degré Celsius gagné (Föhn, 1990 et Haerberli et Beniston, 1998). En conséquence, une modification du climat pourrait entraîner une augmentation de 150 mètres, 300 mètres et 600 mètres de l'altitude de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel si le réchauffement était de 1 °C, 2 °C ou 4 °C, respectivement. Cette information peut maintenant être utilisée pour relier le concept de fiabilité de l'enneigement naturel des domaines skiabiles (règle des cent jours) aux projections de changements climatiques. Il

en résulte trois séries différentes de valeurs seuils dans les conditions actuelles et futures :

1. Dans les régions où la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel se situe actuellement à 1 050 m, elle passera à 1 200 m, 1 350 m ou 1 650 m si le réchauffement est de 1 °C, de 2 °C ou de 4 °C, respectivement.
2. Dans les régions où la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel se situe actuellement à 1 200 m, elle passera à 1 350 m (1 °C), 1 500 m (2 °C) et 1 800 m (4 °C).
3. Dans les régions où la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel se situe actuellement à 1 500 m, elle passera à 1 650 m (1 °C), 1 800 m (2 °C) et 2 100 m (4 °C).

Dans la présente analyse, un domaine skiable donné est considéré comme fiable du point de vue de son enneigement naturel si la moitié supérieure de la plage d'altitude dans laquelle il se situe se trouve au-dessus de la valeur seuil de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel. Cette hypothèse s'appuie sur le fait que l'essentiel des stations de ski sont situées dans les parties supérieures des domaines skiables. La plupart des exploitants assurent des liaisons « aériennes » vers des zones situées plus haut, au moyen de télésièges, de télécabines, etc., afin de pouvoir maintenir l'activité y compris en cas de manque de neige en bas des pistes.

La limite de la fiabilité de l'enneigement naturel est un outil précieux pour détecter les tendances et la forme de la distribution géographique des domaines skiables naturellement fiables. Cependant, si l'on souhaite approfondir l'analyse d'un domaine skiable particulier, des facteurs locaux supplémentaires doivent être pris en considération afin de tenir compte de la réalité du climat, de la topographie et de l'exploitation. Par exemple, Witmer (1986) présente une analyse détaillée de l'épaisseur de la neige en fonction de la pente : fin mars, l'épaisseur est deux fois plus importante sur une pente de 20° exposée au Nord que sur une surface horizontale, alors que, sur une pente de 20° exposée au Sud, elle ne représente que 30 % de l'épaisseur observée sur une surface horizontale. Les résultats présentés ci-après visent à tracer les grandes lignes et ne rendent pas compte des caractéristiques de sites particuliers.

1.2.1 Résultats à l'échelle nationale

Dans les conditions climatiques actuelles, 609 des 666 domaines skiables alpins (soit 91 %) peuvent être considérés comme fiables du point de vue de l'enneigement naturel (voir le tableau 3 et l'annexe 1 pour plus de précisions). Les 9 % restants fonctionnent déjà dans des conditions naturelles tout juste suffisantes. À l'avenir, le nombre de domaines fiables pourrait chuter à 500 (75 % des domaines existant aujourd'hui) dans le cas d'un réchauffement de 1 °C, à 404 (61 %) dans le cas d'un réchauffement de 2 °C et à 202 (30 %) dans le cas d'un réchauffement de 4 °C.

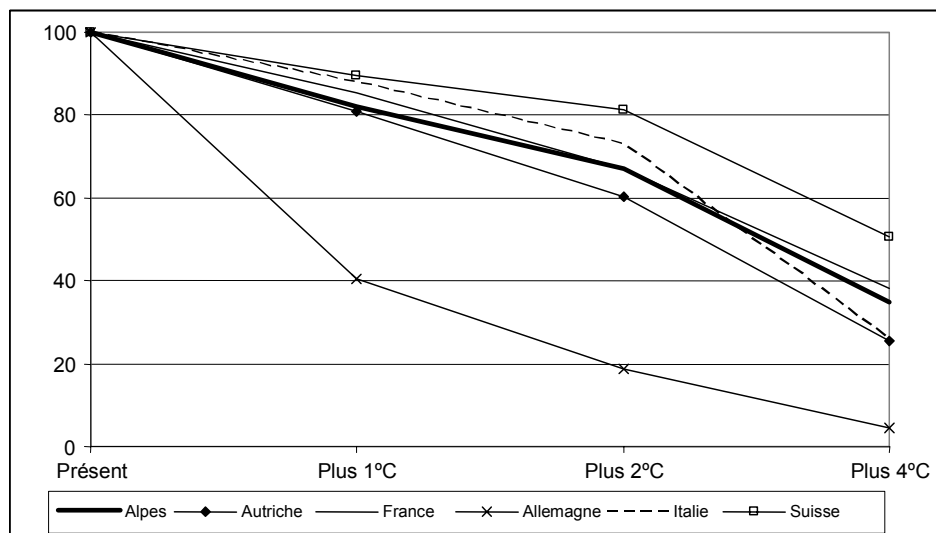
Tableau 3. **Fiabilité présente et future de l'enneigement naturel des domaines skiables dans les Alpes, à l'échelon national**

Pays	Nombre de domaines skiables	Enneigement fiable dans les conditions actuelles	+1 °C	+2 °C	+4 °C
Autriche	228	199	153	115	47
Suisse	164	159	142	129	78
Allemagne	39	27	11	5	1
France	148	143	123	96	55
Italie	87	81	71	59	21
Total	666	609	500	404	202

La sensibilité des domaines skiables aux modifications de la limite de fiabilité de l'enneigement naturel diffère nettement d'un pays alpin à l'autre (voir la figure 5). L'Allemagne est la plus touchée, un réchauffement de 1 °C entraînant une diminution de 60 % du nombre de domaines fiables. Légèrement en deçà de la moyenne, l'Autriche est un peu plus sensible que les Alpes dans leur ensemble. La France est à peu près dans la moyenne et l'Italie légèrement au-dessus, au moins jusqu'à une élévation de 300 mètres de la limite (à +2 °C en 2050). C'est en Suisse que les conséquences sont les moins sensibles, le pourcentage des domaines fiables restant toujours supérieur à la moyenne des Alpes.

Figure 5. **Sensibilité des domaines skiables des Alpes à un changement de la limite de fiabilité de l'enneigement naturel**

(en %, 100 = domaines fiables à l'heure actuelle)



1.2.2 Résultats à l'échelle infranationale (régionale)

Les résultats régionaux, commentés ci-après et présentés dans la figure 6 et l'annexe 1, apportent davantage de précisions sur les effets des changements climatiques sur le tourisme d'hiver.

Autriche

Sous l'effet des changements climatiques, la fiabilité de l'enneigement naturel des domaines skiables autrichiens diminuera sensiblement, notamment parce qu'ils se situent dans une plage d'altitude peu élevée (voir la figure 4). Dans de nombreux cas, les stations elles-mêmes sont à faible altitude, comme en témoignent celles de Schladming et de Kitzbühl, mondialement connues, qui ne se trouvent qu'à 745 m et 800 m au-dessus du niveau de la mer. Bon nombre des montagnes d'Autriche ne montant pas très haut, il est impossible d'exploiter des sites plus élevés. L'effet négatif de l'altitude relativement faible (par rapport à celles qui sont atteintes en Suisse, par exemple) n'est pas compensé par le climat plus continental, et donc plus froid, qui prévaut en Autriche.

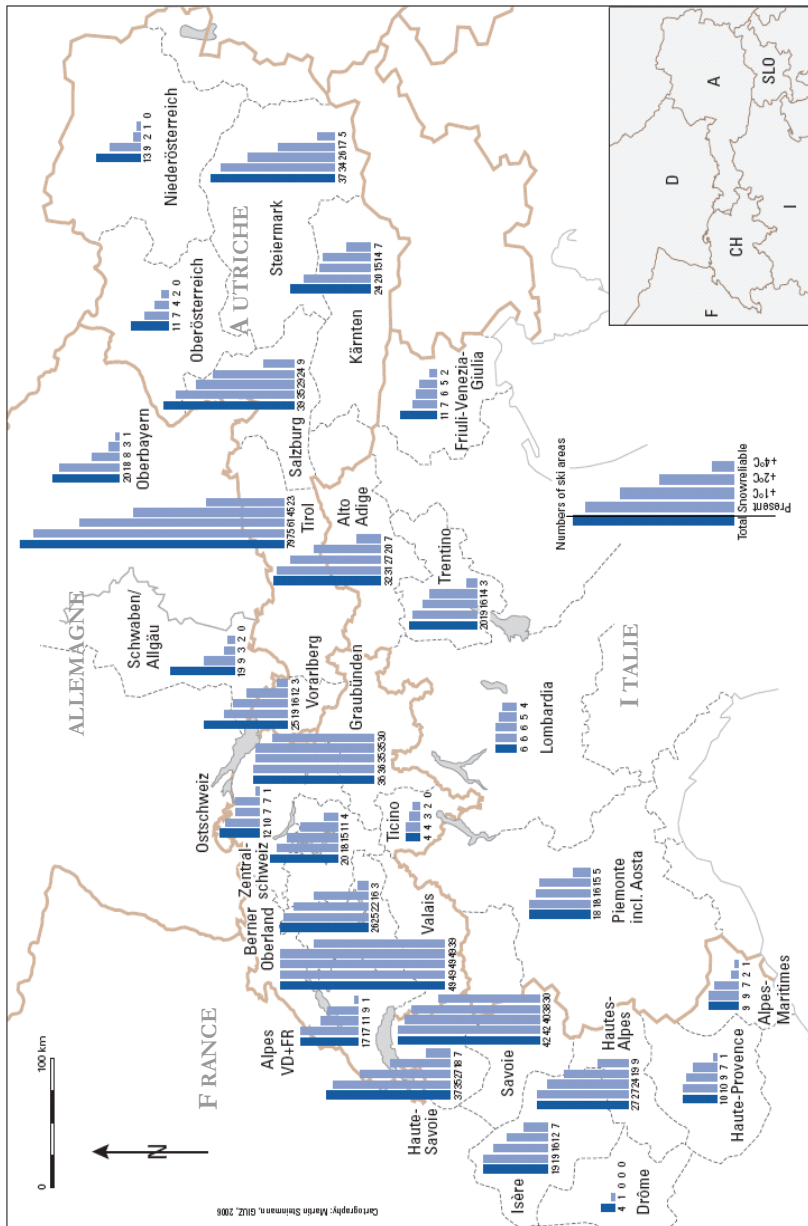
Si la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel remontait de 300 m (2 °C supplémentaires d'ici 2050), le nombre de domaines fiables tomberait à 8 % en Basse-Autriche et à 62 % dans le Pays de Salzbourg, par rapport à la situation actuelle, ce qui révèle une forte différence entre la région la moins sensible du pays et la plus sensible. Les « Bundesländer » du Nord-Est, à savoir la Basse-Autriche et la Haute-Autriche, seront très touchés, tandis que 50 % à peu près des domaines skiables des autres régions pourraient conserver un enneigement naturel fiable.

Suisse

Comme nous l'avons déjà indiqué, les domaines skiables de Suisse seront les moins frappés de toutes les Alpes. Cependant, il existe de nettes différences entre régions. L'enneigement naturel resterait fiable dans une vaste majorité des domaines des Grisons et du Valais (83 % et 80 %, respectivement), même si la limite de la fiabilité s'élevait de 600 m en altitude (augmentation de 4 °C de la température d'ici 2100). Toutes les autres régions de Suisse seraient touchées beaucoup plus durement, un peu plus de 50 % de tous les domaines conservant un enneigement naturel fiable en présence d'un recul de 300 m de la limite de la fiabilité (plus 2 °C d'ici 2050).

Les résultats indiqués dans le présent rapport diffèrent légèrement de ceux qui figurent dans de précédentes études sur la fiabilité de l'enneigement en Suisse (voir Abegg, 1996, et Bürki, 2000). En effet, les critères appliqués ici ont conduit à exclure les domaines à basse altitude du Jura suisse. De plus, seuls ont été pris en considération les domaines comptant au moins trois installations de transport et cinq kilomètres de pistes. Ces critères ont réduit le nombre de domaines skiables analysés, lesquels sont en l'occurrence situés à plus haute altitude et donc moins sujets à une modification de la fiabilité de leur enneigement naturel.

Figure 6. Fiabilité de l'enneigement des domaines skiables des Alpes dans les conditions actuelles et avec un réchauffement de 1, 2 ou 4 °C



Note : A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie, SLO=Slovénie

Allemagne

En Allemagne, les domaines skiables de faible altitude situés en Bavière seront fortement touchés, même si le recul de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel reste modeste (voir figure 6 et annexe 1). Les pourcentages de domaines fiables en Souabe et en Haute-Bavière sont très différents : ils s'établissent à 47 % et 90 %, respectivement, dans les conditions actuelles, et à 16 % et 40 % dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1 °C. Selon la classification établie par Matulla *et al.* (2005) pour l'arc alpin, la Souabe appartient à la région climatique nord-ouest/sud-ouest, et la Haute-Bavière à la région nord-est/est. La différence dans le pourcentage de domaines skiables où l'enneigement naturel est fiable peut donc être attribuée à une modification différente de la limite inférieure de la fiabilité. Cependant, dans le scénario où la température augmente de 2 °C et où la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel remonte de 300 m, la proportion de domaines dont l'enneigement resterait fiable tomberait à 15 % en Haute-Bavière et à 11 % dans la Souabe, ce qui ne représente pas un écart important. De manière générale, la hauteur des Alpes bavaroises ne laisse que très peu de possibilités pour exploiter des sites plus élevés. Les domaines skiables de Bavière sont par conséquent particulièrement sensibles à l'évolution de la limite de la fiabilité de leur enneigement.

France

En France, beaucoup de domaines skiables atteignent des altitudes assez hautes (voir la figure 4). Cela est dû à la présence de massifs élevés, dont l'accès est aménagé (Mont Blanc, par exemple), et à la construction de « stations intégrées » (stations créées uniquement pour la pratique du ski) pour lesquelles le tourisme d'hiver français est réputé. Ces stations, comme l'Alpes d'Huez, La Plagne, Les Arcs, Tignes et Val Thorens, sont généralement situées à des altitudes relativement élevées, au-dessus des villages traditionnels (qui sont au cœur de la plupart des domaines skiables en Autriche, en Allemagne et en Suisse), et parfois même au-dessus de la limite forestière.

Un recul de 300 m de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel (2 °C supplémentaires d'ici 2050) ramènerait le nombre de domaines skiables disposant d'un enneigement naturel fiable à seulement 80 % environ du total actuel dans les départements de Savoie, des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence (où se trouvent les domaines présentant les plages d'altitude les plus élevées). Toutefois, si la limite remontait de 600 m (4 °C de plus d'ici 2100), il tomberait à 71 % en Savoie, à 33 % dans les Hautes-Alpes et à 10 % dans les Alpes-de-Haute-Provence. Les départements des Alpes-Maritimes, au Sud, et de l'Isère et de la Drôme, à l'Ouest, sont plus sensibles à un déplacement de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel. Il en va de même de la Haute-Savoie, qui compte beaucoup de domaines skiables opérant à des altitudes plus basses.

Italie

De manière générale, les domaines skiables italiens se caractérisent par des plages d'altitude élevées (voir la figure 4). Cela est dû au fait que des sites élevés sont accessibles, notamment dans le Nord-Ouest, où se trouvent les massifs les plus hauts (Mont Blanc et Mont Rose), mais aussi au fait que les stations qui les desservent se trouvent assez haut elles aussi. Comme en France, les domaines partant d'un village situé à haute altitude sont assez nombreux, de même que les stations spécifiquement créées pour la pratique du ski, dont la plus célèbre est Sestrières.

L'altitude des domaines skiables explique pourquoi la fiabilité de l'enneigement naturel est relativement élevée. Si la limite de celle-ci s'élevait de 300 m (dans le cas d'un réchauffement de 2 °C d'ici 2050), la proportion de domaines bénéficiant d'un enneigement naturel fiable dans les Alpes italiennes serait ramenée à 68 %. Cependant, la fiabilité diminue graduellement d'Ouest en Est, (voir la figure 6 et l'annexe 1), les domaines skiables du Piémont (en particulier ceux du Val d'Aoste) et de Lombardie restant les plus fiables (83 % dans les deux cas), suivis de ceux du Trentin (70 %) puis de ceux du Haut-Adige (63 %). Les domaines skiables sont plus sensibles en Frioul-Vénétie-Julienne, où ils sont 45 % à ne plus être fiables si la limite de l'enneigement naturel remonte de 300 m.

2. Mesures d'adaptation : options technologiques

Les professionnels du tourisme et des sports d'hiver ne restent pas inertes en attendant que se manifestent les conséquences des changements climatiques. Ils ont d'ores et déjà commencé à s'adapter (Bürki *et al.*, 2005). Ils savent que l'industrie du ski est largement tributaire des conditions d'enneigement et que les hivers où la neige est peu abondante constituent pour lui un risque. Les différentes mesures d'adaptation adoptées par les stations sont de deux ordres : technologiques et comportementales. A ce jour, les premières semblent avoir la préférence des acteurs du tourisme dans les Alpes. Il en existe quatre types : le remodelage du paysage et la création de pistes ; le déplacement à des altitudes supérieures et sur les pentes exposées au Nord ; le ski sur les glaciers ; et l'enneigement artificiel.

2.1. Remodelage du paysage et création de pistes

Cette stratégie suppose de remodeler le paysage dans les grands domaines skiables (procéder à un terrassement mécanique des pistes ou les aménager au bulldozer, créer des zones ombragées, par exemple) et d'aménager des dénivelés ou de surfaçer le sol dans les domaines plus petits (nivellement des surfaces rocailleuses et bosselées, par exemple, ou suppression des obstacles comme les rochers et les arbustes). Le but est de réduire l'épaisseur de neige nécessaire à la pratique du ski, ce qui permet aussi de limiter la quantité de neige artificielle à produire en cas de besoin. Il est également possible, dans le cadre de cette stratégie, d'ériger des clôtures pour retenir la neige, de planter ou de conserver des arbres pour ombrager en partie les pistes et de

drainer les terrains humides pour aider la neige à s'accumuler plus tôt et retarder sa fonte. Différentes méthodes sont aussi employées pour faire durer plus longtemps le manteau neigeux. Par exemple, les pistes abritées du vent sont praticables en ski quinze jours de plus, la création de zones ombragées peut faire gagner trente jours, et l'entretien et le nettoyage quotidiens des pistes en hiver sept jours, grâce à l'augmentation de l'albédo (l'albédo de la neige propre peut atteindre 90 %, tandis que celui de la neige sale peut descendre à 47 %).

En Bavière, 27 % du domaine skiable (999 hectares sur 3 665) ont été modifiés par remodelage du paysage et la création de pistes (Dietmann et Kohler, 2005). Cela a consisté à terrasser le terrain (75 %, soit 751 hectares) et à déboiser (15 %, soit 152 hectares). Ces modifications ont manifestement eu une incidence sur la sensibilité de la zone à l'érosion, puisque 63 % de tous les dommages imputables à cette dernière se produisent sur les terrains réaménagés. Comme le montre cet exemple, les impacts du remodelage du paysage et de la création de pistes sur l'environnement alpin doivent être pris en considération. L'aménagement du terrain, notamment au bulldozer, a des répercussions énormes sur la végétation. Celle-ci, de même que les couches superficielles du sol, sont gravement endommagées par le passage des bulldozers, voire totalement détruites. Wipf *et al.* (2005), qui ont étudié des parcelles nivelées et des parcelles laissées intactes, ont constaté que la réaction de la végétation était très prononcée sur les premières. Ils ont observé que les indicateurs relatifs aux éléments nutritifs et à la lumière affichaient des valeurs plus élevées sur les pistes terrassées mécaniquement, mais que la couverture végétale, la productivité des plantes, la diversité des espèces et l'abondance des plantes à floraison précoce et ligneuses y étaient inférieures. La proportion de sols nus, propices à un accroissement du ruissellement et de l'érosion en présence de fortes pluies, est presque cinq fois plus importante sur les parcelles terrassées que sur les parcelles non terrassées ; elle ne varie pas sous l'effet des mesures de remise en végétation (semis) ou du passage du temps après le terrassement. La reconstitution du couvert végétal est donc très difficile à obtenir, notamment en haute altitude (voir aussi Urbanska, 1997). D'après Wipf *et al.*, (2005), le terrassement mécanique est une activité particulièrement préjudiciable, dont les conséquences sont plus graves et plus durables à plus haute altitude.

L'aménagement de pistes de ski au bulldozer a aussi un effet négatif sur l'attractivité de l'environnement alpin. Cela peut avoir des répercussions dommageables sur le tourisme estival, les randonneurs ne tenant pas à rencontrer des paysages altérés de la sorte. En Suisse, par exemple, une évaluation environnementale est nécessaire pour passer des pistes au bulldozer (Département fédéral de l'Intérieur, 1991). Toutefois, il est déjà arrivé que ces engins soient utilisés illégalement, provoquant la colère des défenseurs de l'environnement.

2.2. Monter plus haut et exposer les pistes au Nord

Le but de cette stratégie est de concentrer les domaines skiables dans les endroits qui présentent un avantage climatique. Dans ce cadre, les différentes options envisageables sont les suivantes :

- développer les pistes exposées au Nord, où le manteau neigeux se maintient plus longtemps ;
- déplacer les activités dans la partie supérieure du domaine, afin de tirer tout le parti possible d'une plage d'altitude donnée ;
- étendre un domaine skiable existant sur des sites plus élevés comprenant des glaciers, où l'enneigement est en général plus fiable et l'allongement de la saison possible ;
- créer de nouveaux domaines skiables sur des sites plus élevés comprenant des glaciers.

Ces vingt dernières années, beaucoup de téléskis ont été remplacés par des télésièges. L'expression allemande « bodenunabhängige Transportanlagen » (équipement de transport sans contact avec le sol) rend très bien compte de l'intérêt des seconds sur les premiers : alors qu'il faut de la neige au sol pour utiliser les téléskis, elle n'est pas nécessaire pour emprunter les télésièges (et les télécabines). En effet, lorsque la neige fait défaut au pied des stations, les skieurs doivent monter plus haut. Cependant, le remplacement des téléskis par les télésièges s'explique aussi par d'autres raisons liées au renforcement des normes de sécurité, à la capacité de transport et au confort (notamment pour les surfeurs).

En 2001, la Commission internationale pour la protection des Alpes (CIPRA) a répertorié 155 projets d'extension dans toute la région (en ce qui concerne la Suisse, voir aussi Mathis *et al.*, 2003). Deux ans après, 12 projets étaient achevés, 26 approuvés, 63 prévus et 54 pouvaient être considérés comme étant encore à l'étude. En outre, il était prévu de relier des domaines skiables existants (48 projets) et d'en créer de nouveaux dans des zones jusque là intactes (26 projets) (CIPRA, 2003). Ces projets n'ont pas tous la même ampleur, n'en sont pas tous au même stade et n'ont pas tous la même faisabilité économique. Leurs chances d'aboutir sont donc variables et certains d'entre eux ne seront jamais menés à bien. Néanmoins, qu'ils se concrétisent ou non, ils participent tous d'une même tendance à l'agrandissement des stations et à l'amélioration de la fiabilité de leur enneigement. Bien qu'il ne soit pas encore approuvé, le projet suisse « Savognin 1900 » (1900 renvoie à l'altitude) donne une idée des projets qui pourraient être proposés à l'avenir. Située à 11 km de Savognin, dans le canton des Grisons, cette station serait aménagée dans une vallée élevée et compterait 500 appartements, 1 200 lits d'hôtel et 1 500 places de stationnement. En outre, le domaine skiable existant de Savognin serait agrandi d'un tiers et engloberait Piz Mez, à une altitude de 2 718 m. D'après les estimations, le coût de ce projet se montera à 130 millions CHF. Si elle est menée à terme, cette opération sera le signal d'une remise

en question radicale des stations de village traditionnelles en Suisse : « Skis aux pieds à la sortie de l'hôtel, voilà ce que veulent les clients, maintenant et dans trente ans, quand la limite des neiges aura remonté à cause des changements climatiques » (Leutwyler, 2006).

Cependant, la stratégie qui consiste à « monter plus haut » et à exposer les pistes au Nord se heurte à des contraintes :

- Les skieurs veulent être sûrs de trouver de la neige, mais ils préfèrent skier au soleil plutôt que sur des pistes ombragées orientées vers le Nord.
- Pour beaucoup d'exploitants, cette stratégie n'est pas suffisante pour surmonter les nouvelles conditions climatiques, à cause de la plage d'altitude très limitée (et finie) de leur domaine skiable.
- Même dans les cas où il est possible d'étendre le domaine skiable en altitude, d'autres contraintes peuvent se manifester. Ainsi, d'après les projections, les hivers seront plus humides, ce qui se traduira par une neige plus abondante à plus haute altitude. Certes, cela vient conforter encore la fiabilité de l'enneigement des sites élevés, mais une surabondance de neige pourrait se révéler problématique à son tour, car elle accroîtrait probablement le risque d'avalanches. De plus, les domaines skiabiles en haute altitude sont aussi plus exposés aux vents violents. Ces deux phénomènes sont des facteurs de perturbation de l'activité, voire d'interruption.
- Du point de vue économique, étendre les domaines skiabiles en altitude est onéreux. Mathis *et al.* (2003), qui ont conduit une enquête sur des aménagements prévus en Suisse, ont constaté que les agrandissements en haute montagne coûteraient de 40 à 49 millions CHF.
- Les écosystèmes de haute altitude sont particulièrement fragiles et toutes les initiatives visant à implanter des domaines skiabiles dans cet environnement se heurteront probablement à l'opposition de l'opinion publique et des défenseurs de l'environnement.

2.3. Ski sur glacier

Le ski sur glacier était à l'origine conçu comme un marché de niche pour l'été. Néanmoins, la série d'hivers pendant lesquels la neige a manqué à la fin des années 80 a mis en évidence l'intérêt des glaciers dans le cadre des sports d'hiver. Tandis que les domaines skiabiles à basse altitude souffrent des pénuries de neige, les stations reliées à des glaciers peuvent ouvrir plus tôt et présentent des conditions d'enneigement satisfaisantes tout l'hiver. En fait, elles tirent même profit des conditions défavorables

qui règnent plus bas (voir König et Abegg, 1997). A la suite des hivers où la neige a fait défaut, à la fin des années 80, l'ancien directeur de la Fédération suisse du tourisme, Gottfried Künzi, déclarait : « si les projections sur les changements climatiques se révèlent exactes, il faudra se demander si les glaciers doivent rester sacro-saints » (cité dans Abegg, 1996). Il existe d'ores et déjà plusieurs projets reposant sur l'aménagement de sites en haute montagne, en particulier des projets d'agrandissement de domaines skiables existants (sur des glaciers)⁶. Dans le Tyrol autrichien, par exemple, il est probable que les glaciers de Pitztal et de Kaunertal seront exploités à l'avenir. En mai 2004, le « Landtag » du Tyrol a modifié la réglementation concernant la protection des glaciers, en vertu de quoi il est désormais possible d'étendre les domaines skiables sur ces derniers dans le cadre de projets d'aménagement liés au tourisme. La construction d'installations nouvelles pour le ski sur glacier était jusqu'alors prohibée par un texte de 1990 relatif à l'aménagement des pistes, mais cette interdiction ne figure plus dans la nouvelle réglementation de 2004. Le projet élaboré en mai 2004 prévoit de faire monter 400 mètres plus haut, sur le glacier Weissseeferner, le domaine skiable de Kaunertal, qui deviendrait le plus haut d'Autriche à 3 520 m d'altitude. Dans la région de Pitztal, les exploitants espèrent agrandir le domaine skiable sur deux glaciers situés plus au Nord, ce qui garantirait un meilleur enneigement. L'assouplissement de la réglementation sur la protection des glaciers dans le Tyrol autrichien a suscité des protestations chez les défenseurs de l'environnement, qui ont procédé à une enquête d'opinion (80 % de la population du Tyrol sont opposés à une extension des domaines skiables sur les glaciers) et lancé une campagne intitulée « Ne touchez pas aux glaciers » (Hasslacher, 2005).

Investir les glaciers pour agrandir les domaines skiables n'est peut-être pas viable à moyen ou long terme, dans la mesure où, d'après les estimations, environ 75 % des glaciers des Alpes suisses auront disparu d'ici 2050 et la quasi totalité des glaciers de toutes les Alpes pourrait avoir disparu en 2100 (voir la section 1.3 pour plus de précisions). Cette tendance à la réduction de la taille et du nombre des glaciers est d'ores et déjà manifeste. Dans les années 70, on répertoriait dans les Alpes environ 5 150 glaciers totalisant une superficie de 2 909 km². Si l'on fait une comparaison avec 1850, lorsque les glaciers s'étendaient sur 4 474 km², la diminution était de 35 % dans les années 70 et de près de 50 % en 2000 (2 272 km²). Zemp *et al.* (en cours d'impression) estiment que la superficie des glaciers a baissé de 2.9 % tous les dix ans entre 1850 et 1973, et que ce taux est passé à 8.2 % entre 1973 et 2000. Le phénomène a de graves répercussions sur l'aspect « esthétique » de la montagne, mais aussi sur la pratique du ski sur les glaciers en été comme en hiver. En Suisse, par exemple, une nouvelle remontée a été inaugurée fin 2003 sur le glacier Hockengrat (à Lötschental, canton du Valais), exposé au Sud, mais dès l'année suivante, l'ouverture de la station a dû être retardée parce qu'il n'y avait pas assez de neige sur le glacier⁷. Cet exemple illustre les problèmes que pourraient rencontrer à l'avenir les stations de ski sur glacier.

⁶ Plusieurs exemples en Autriche sont répertoriés sur le site web Österreichischer Alpenverein (www.alpenverein.at) (voir Naturschutz, Alpine Raumordnung, Skierschliessungsprojekte).

⁷ Voir le site web AlpMedia à l'adresse <http://www.alpmedia.net>.

Une nouvelle pomme de discorde entre les exploitants de domaines skiables et les défenseurs de la nature est sur le point d'apparaître. Face à l'accélération du recul des glaciers alpins ces dernières années, notamment pendant l'été exceptionnellement chaud de 2003, certains domaines skiables ont commencé à installer des bâches blanches pour mettre la glace à l'abri des rayons du soleil et limiter la fonte en été. En Autriche, un projet de recherche intitulé « Aktiver Gletscherschutz » (protection active des glaciers) est en cours (Fischer *et al.*, 2006). Les premiers résultats obtenus sur un site expérimental, à 2 950 m d'altitude, ont montré que des quantités considérables de neige et de glace pourraient être préservées (environ 150 cm).

Dans le Tyrol, 28 hectares sont recouverts de bâches blanches, soit environ 3 % de la superficie skiable sur glacier ou 1‰ de la superficie totale des glaciers. En Suisse, des exemples montrent que ces protections peuvent être employées dans de nombreux cas différents (Schmid, 2006) : portions critiques des pistes sur glacier (Saas Fee et Verbier, dans le canton du Valais, par exemple), ancrages des mats des remontées mécaniques sur les glaciers (Engelberg, Suisse centrale), couverture des halfpipes (Laax, canton des Grisons), et voie d'accès aux glaciers à partir des stations (Andermatt, Suisse centrale).

Du point de vue de l'industrie du ski, la protection active des glaciers est une technologie utile. Les bâches blanches sont faciles à installer, peuvent être employées plusieurs fois, ne coûtent pas cher (celles qui sont utilisées en Suisse, fabriquées en polyester, coûtent 4.00 CHF par mètre carré) et paraissent efficaces. De plus, elles facilitent la préparation des pistes en début de saison et peuvent réduire les besoins en neige artificielle. Cette méthode est donc jugée économique. Les défenseurs de la nature ont quant à eux une opinion très différente. Les organisations comme Greenpeace et Pro Natura regrettent que l'emploi des bâches de protection ne soit pas réglementé. Ils craignent que se répète le scénario qui s'est déjà produit avec les installations de neige artificielle : dans un premier temps, l'emploi des canons à neige est resté limité (les exploitants avaient promis de restreindre leur utilisation aux portions critiques sur les pistes), mais il s'est généralisé dans toutes les Alpes (certaines pistes sont pourvues de canons du haut en bas). En conséquence, les associations de défense de l'environnement réclament la mise en place de procédures officielles, de manière à ce que l'installation de bâches blanches sur les glaciers soit soumise à autorisation, ainsi que la formulation de réglementations uniformes concernant l'emploi de ces protections, car, en Suisse du moins, les textes varient d'un canton à l'autre.

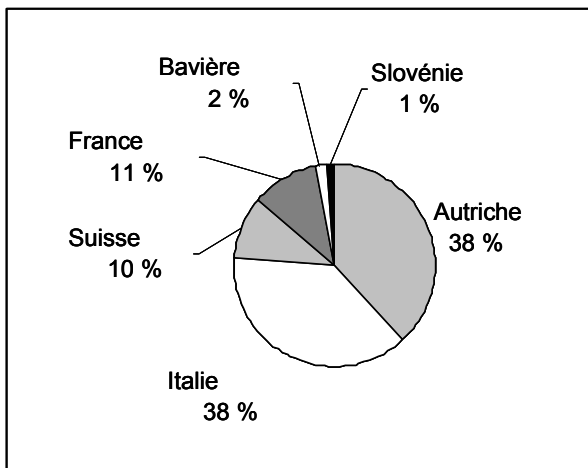
Quoi qu'il en soit, les bâches de protection ne sauveront pas les glaciers. A court et moyen termes, la pratique du ski sur les glaciers en hiver sera remise en question par la fonte de la glace, ce qui entraînera des problèmes dont les solutions sont coûteuses, comme le manque de neige en début de saison (qui imposera de fabriquer davantage de neige artificielle), l'instabilité des infrastructures (ancrage des mats de remontée mécanique, par exemple) et les difficultés d'accès. A long terme, il deviendra impossible de skier sur les glaciers en maints endroits, où ils auront fini par disparaître totalement.

2.4. Neige artificielle

Le recours à la neige artificielle est la stratégie d'adaptation la plus répandue parmi les exploitants de domaines skiables (Elsasser et Messerli, 2001 ; Bürki *et al.*, 2005). Cette méthode est employée pour prolonger la saison et étendre la gamme des variations et changements climatiques auxquels les domaines skiables sont à même de faire face. Elle était à l'origine considérée comme un luxe et donc comme une solution de dernier recours, mais elle passe désormais pour indispensable. Une déclaration de Wolfgang Bosch, directeur de l'Association allemande des remontées mécaniques, reflète le point de vue des exploitants : « Sans neige, pas de ski, et sans ski, pas de tourisme d'hiver compétitif »⁸.

La première application commerciale de la neige artificielle remonte aux années 50 et a eu lieu aux Etats-Unis. En Europe, son utilisation à grande échelle est apparue plus tard et ne s'est réellement développée qu'à partir des années 80. L'essor et l'utilisation actuelle des installations de neige artificielle dans les cinq pays alpins étudiés dans la présente analyse sont synthétisés dans le tableau 4. La figure 7 indique quant à elle la proportion de pistes de ski équipées d'installations de neige artificielle dans chacun des pays considérés. Selon Pröbstl (2006), le développement rapide de cette technique est dû à la nécessité de garantir les revenus des exploitants des domaines skiables, le succès des stations de ski – moyennant un enneigement « assuré » – et le respect du calendrier des compétitions internationales établi par la Fédération internationale de ski. Une étude de cas sur l'utilisation de la neige artificielle dans les Alpes françaises est présentée dans l'encadré 2.

Figure 7. Répartition des pistes de ski équipées d'installations de neige artificielle dans les Alpes



Source : CIPRA, 2004.

⁸ Source : www.seilbahnen.de.

Tableau 4. Développement et utilisation actuelle des équipements de neige artificielle dans les Alpes⁹

Autriche	En Autriche, en 1991, on dénombrait déjà 127 stations équipées de 250 installations de neige artificielle, soit 20 % de la totalité des pistes de ski du pays pour une superficie de 5 000 ha (Breiling, 1998). Aujourd'hui, 50 % des pistes (environ 11 500 ha) sont équipés. Dans la seule année 2005, les exploitants des domaines skiables ont investi 144 millions EUR dans des installations nouvelles (Fachverband der Seilbahnen Österreichs, 2005).
Suisse	En Suisse, la superficie équipée est passée de 1.5 % de la totalité du domaine skiable en 1990 à 18 % (prévisions pour l'hiver 2006/2007), soit 3 960 hectares (Felix Maurhofer, Seilbahnen Schweiz, communication personnelle, 25 juillet 2006).
Allemagne	En Bavière, la superficie équipée est passée de 323 hectares en 2000 à quelque 425 hectares en 2004 (à peu près 360 hectares en Souabe et en Haute-Bavière). Cela représente à peu près 11.5 % de la totalité du domaine skiable (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz).
France	Dans la France entière, la superficie équipée d'installations de neige artificielle est passée de 121 hectares en 1983/1984 à 4 003 hectares en 2003/2004. Dans le même laps de temps, le nombre de domaines skiables recourant à ces équipements est passé de 25 à 187. Dans les Alpes, 3 222 hectares sont équipés, soit environ 15.5 % de la totalité du domaine skiable en 2003/2004 (www.tourisme.gouv.fr).
Italie	Le nombre de canons à neige installés dans le Haut-Adige a presque triplé entre 1994 (511) et 2004 (1 407) (Amt für Seilbahnen, 2006: 34). Entre 1997 et 2002, la superficie équipée y a augmenté de 60 % (CIPRA, 2004: 6). D'après les estimations de la CIPRA, 40 % du domaine skiable italien, soit 9 000 ha, sont équipés (CIPRA, 2004).

⁹ Les informations sur l'utilisation des équipements de neige artificielle dans les Alpes sont abondantes. Cependant, les données proviennent de nombreuses sources différentes qui se contredisent parfois. Certaines renvoient au nombre de canons à neige, d'autres à l'étendue des pistes équipées. Les informations ne sont donc pas toujours comparables.

Encadré 2. Neige artificielle en France

La neige artificielle a été utilisée pour la première fois à grande échelle en France en 1973, à Flaine (Haute-Savoie), sur un dénivelé de 600 mètres et une superficie de 14 hectares (site web de l'ANPNC). Depuis, et notamment à partir du début des années 90, les stations françaises de ski ont beaucoup investi dans les installations de production de neige, dans le but de se prémunir contre le déficit d'enneigement (Direction du Tourisme, 2004 ; Dubois et Ceron, 2003). Aujourd'hui, 187 stations sur les 308 existant en France sont équipées (voir la figure A.1 et A.2).

Figure A.1 Evolution du nombre de stations françaises de ski équipées d'installations de production de neige artificielle

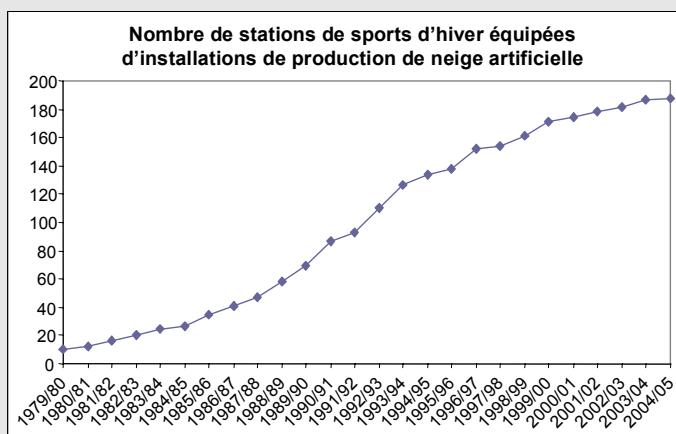
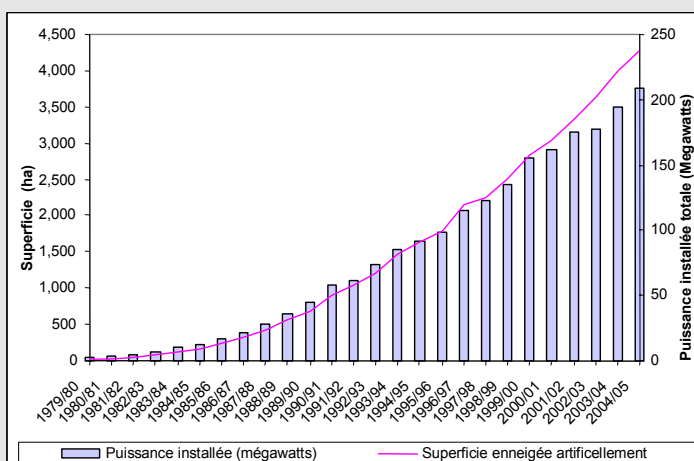


Figure A.2 Evolution de la superficie enneigée artificiellement et de la puissance installée



Source : Direction du Tourisme, 2004.

Voir page suivante pour la suite de l'encadré 2.

Encadré 2. Neige artificielle en France (suite)

Les stations des Alpes représentent 72 % de la capacité de production de neige artificielle en France. En outre, les superficies enneigées artificiellement dans les Alpes représentent 81 % du total pour tout le pays (voir le tableau A). Dans l'ensemble, 12 000 canons à neige sont installés en France, dont 8 480 (71 %) dans les Alpes.

Tableau A. Superficie enneigée artificiellement et puissance installée totale dans les Alpes

	Superficie enneigée artificiellement (ha)	Puissance installée (kW)
Alpes du Nord	2 339	115 403
Alpes du Sud	883	29 607
Total Alpes	3 222	145 010
% du total en France	80 %	75 %

Source : Direction du Tourisme, 2004.

Pour la saison 2003-2004, les investissements dans l'équipement de production de neige artificielle ont atteint 60 millions EUR en France, dont 45 millions EUR dans les Alpes uniquement. Le tableau B indique la répartition de ces investissements entre Alpes du Nord et Alpes du Sud en 2003. Il convient toutefois de noter que les investissements dans des équipements neufs concernent rarement des installations totalement nouvelles, mais plutôt l'agrandissement ou l'amélioration d'installations existantes. Les coûts de fonctionnement pour cette même saison se sont montés à 9.4 millions EUR en France, dont 6.6 millions EUR dans les Alpes.

Tableau B. Investissements dans les équipements de production de neige artificielle dans les Alpes française

Département/zone	Investissements (millions d'euros)
Haute-Savoie	8.24
Savoie	21.94
Isère et Drôme	6.1
Total pour les Alpes du Nord	36.28
Alpes du Sud	12.52
Total pour les Alpes françaises	48.8

Source : SEATM, 2003.

Les coûts de production de la neige artificielle sont néanmoins élevés, en particulier pour les petites et moyennes stations. Des centaines de millions d'euros ont déjà été investis dans l'ensemble des pays alpins. En France, par exemple, près d'un demi milliard d'euros ont été dépensés entre 1990 et 2004. En Autriche, ce sont 800 millions EUR environ qui ont été consacrés aux installations de neige artificielle

entre 1995 et 2003 (CIPRA, 2004). En Suisse, les investissements se montent à 330 millions EUR à ce jour (CIPRA, 2004).

Les coûts se répartissent entre l'investissement, l'exploitation et la maintenance. Le coût indiqué pour la production d'un mètre cube de neige n'est pas toujours le même. Ainsi, l'Association autrichienne des remontées mécaniques estime qu'il oscille entre un et cinq euros, alors que selon la CIPRA (2004), il s'établit entre trois et cinq euros. En Autriche, l'installation d'un réseau de production de neige artificielle coûte 25 000 à 100 000 EUR par hectare¹⁰, alors qu'en Suisse, il est estimé à 650 000 EUR par kilomètre (Elsasser et Messerli, 2001 ; Elsasser et Bürki, 2002 ; Mathis *et al.*, 2003). D'après les estimations de la CIPRA (2004), enneiger artificiellement une superficie d'un hectare revient à 136 000 EUR. Les coûts d'exploitation s'échelonnent entre 19 000 et 32 000 EUR par kilomètre en Suisse (30 000 à 50 000 CHF). Par exemple, dans le canton du Valais, ils ont été estimés à 33 000 EUR par kilomètre (52 000 CHF). Cependant, la différence entre les hivers normaux et les hivers où l'enneigement est déficitaire n'est que de 2 000 EUR. En moyenne, les exploitants de domaines skiables consacrent 8.5 % de leur chiffre d'affaires à l'exploitation et à la maintenance de leurs équipements de production de neige artificielle (CIPRA, 2004).

La neige artificielle peut contribuer à compenser les effets des changements climatiques sur la fiabilité de l'enneigement naturel, mais il y a bien entendu des limites à cela, tant économiques que physiques. La production de neige artificielle a en outre un coût environnemental, du fait de la consommation d'énergie et d'eau qu'elle entraîne, ainsi que des répercussions écologiques. A l'heure actuelle, la plupart des canons à neige ne fonctionnent que si la température ambiante n'est pas supérieure à -2 °C. Des additifs (comme le Snowmax) permettent d'élever le seuil de température à 0 °C, mais ils ne suppriment pas totalement la limite physique. En outre, si les fabricants d'additifs affirment que leurs produits n'ont pas de conséquences sur l'environnement, Rixen *et al.* (2003) adoptent une position plus prudente. Ils concluent de leur examen de la littérature spécialisée que si certaines études indiquent que les additifs sont sans effets, d'autres font état de répercussions (au demeurant variables) sur la croissance des végétaux. Ces auteurs recommandent donc d'approfondir les recherches et de procéder à des études plus longues sur les conséquences écologiques de l'utilisation d'additifs avant de tirer des conclusions définitives.

Du point de vue économique, si la température monte, le coût de production de la neige artificielle augmentera dans des proportions démesurées, car non seulement il faudra des quantités plus importantes, mais elles devront être produites à une température plus élevée. La consommation d'énergie est déjà le poste le plus important dans le coût total de l'enneigement artificiel [en France, elle représente 46 % de ce coût (Direction du Tourisme, 2004)], de sorte que son augmentation aura une forte incidence sur les coûts totaux. Par ailleurs, l'utilisation et les coûts de production de la neige ne seront pas étalés uniformément tout au long de la saison, car certaines périodes comme l'ouverture nécessiteront plus de neige artificielle étant donné que l'enneigement naturel

¹⁰ www.seilbahnen.at.

devrait diminuer. Des investissements supplémentaires dans les technologies employées devront donc être consentis en raison de la hausse des températures (Scott *et al.*, en cours d'impression).

Produire davantage de neige artificielle suppose aussi de prélever plus d'eau. Cette consommation préoccupe les collectivités et les défenseurs de l'environnement. Elle est fonction, entre autres, des conditions climatiques, de l'efficacité du système de production de neige et, bien entendu, de la superficie à enneiger. *Grosso modo*, 1 m³ d'eau permet de produire 2 à 2.5 m³ de neige. Entre 70 et 120 litres par mètre carré sont donc nécessaires pour créer une épaisseur satisfaisante pour skier (20 à 35 cm) (Pröbstl, 2006). Le tableau 5 indique la consommation d'eau d'un système qui enneige à Garmisch-Partenkirchen, en Bavière, une zone de 40 mètres de large sur 1.1 kilomètre de long au moyen de quatre canons qui répandent au total 11 000 m³ de neige sur 25 centimètres d'épaisseur. Ce tableau montre dans quelle mesure la consommation d'eau augmente à mesure que la température monte.

Tableau 5. Consommation d'eau d'un système de production de neige artificielle à Garmisch-Partenkirchen (Allemagne) selon la température ambiante

	-4 °C	-7 °C	-10 °C
Capacité de production de chaque canon à neige	23 m ³ /h	34 m ³ /h	45 m ³ /h
Consommation d'eau par canon	11 m ³ /h	15 m ³ /h	18 m ³ /h
Durée de fonctionnement	120 h	81 h	61 h
Consommation totale d'eau	5 261 m ³	4 853 m ³	4 400 m ³

Source : Adapté de Pröbstl, 2006.

D'après une étude réalisée en France, 4 000 m³ d'eau ont été nécessaires en moyenne pour enneiger un hectare de piste pendant l'hiver 2002/2003 (Direction du Tourisme, 2004). D'après la CIPRA (2004), il faudrait chaque année 95 millions de mètres cubes chaque année pour enneiger artificiellement en totalité les 23 800 ha de pistes équipées de canons à neige dans les Alpes. Ce volume correspond à la consommation annuelle d'une ville de 1.5 million d'habitants (CIPRA, 2004).

Le recours accru à la neige artificielle au cours de la décennie écoulée se traduit directement par un accroissement de la demande d'eau. Dans les Alpes françaises, par exemple, la consommation d'eau imputable à l'enneigement artificiel est passée de 3.7 millions de mètres cubes en 1994/1995 à 10.6 millions en 2003/04¹¹. Lorsque l'eau est prélevée dans la nature, par exemple dans les rivières ou les lacs, le niveau des ressources peut baisser à des moments critiques de l'année, ce qui se répercute sur la vie

¹¹ www.tourism.gouv.fr.

aquatique (CIPRA, 2004 ; Pröbstl, 2006). En hiver, une grande quantité d'eau est emprisonnée sous forme de neige et de glace, et n'est donc pas disponible pour fabriquer de la neige artificielle. Faire venir de l'eau de loin est coûteux. Occasionnellement, l'eau doit être rafraîchie, et parfois même purifiée, ce qui augmente encore le prix de revient. Elle peut aussi être prélevée dans les réserves d'eau potable, au risque d'entraîner des perturbations sur les réseaux de distribution (cela s'est déjà produit dans certaines stations). Afin de garantir l'approvisionnement nécessaire à la fabrication de neige, de nombreux réservoirs ou lacs artificiels ont été construits ces dernières années. Néanmoins, leur construction est très coûteuse et, qui plus est, elle peut se révéler très destructrice pour l'environnement et laisser des « cicatrices » sur le paysage alpin, lorsque des routes nouvelles doivent être construites pour faciliter l'accès à cette altitude. De plus, les réservoirs aménagés en altitude sont vulnérables aux crues, aux chutes de pierres et aux avalanches, et ces risques doivent être pris en considération, en particulier si les changements climatiques entraînent une aggravation de ces risques naturels.

D'autres effets environnementaux et écologiques de la production de neige artificielle font l'objet d'une attention de plus en plus soutenue. Les répercussions de la préparation des pistes sur la flore des Alpes sont liées au compactage du manteau neigeux, qui entraîne le gel du sol, la formation de couches de glace, des dommages mécaniques et un retard dans le développement des végétaux. Il s'ensuit une modification de l'éventail des espèces représentées et une diminution de la biodiversité. L'utilisation de la neige artificielle modifie certains de ces impacts (*cf.* Cernusca *et al.*, 1990 ; Kammer, 2002 ; Rixen *et al.*, 2003 ; Wipf *et al.*, 2005 ; et Pröbstl, 2006). Le gel du sol est atténué, sous l'effet d'une meilleure isolation de la neige accumulée. La formation de couches de glace est à peine modifiée, mais les impacts mécaniques des dameuses sont atténués par l'épaisseur plus importante de la neige. La fonte de la neige étant retardée, le développement des végétaux l'est aussi. En outre, la neige artificielle accroît les apports d'eau et d'ions sur les pistes, ce qui peut avoir un effet fertilisant et modifier la composition de la gamme des espèces végétales représentées. Wipf *et al.* (2005) concluent : « Pour déterminer si l'impact de la neige artificielle sur la végétation alpine est positif ou négatif, il faut prendre en considération l'état présent de la végétation et les objectifs environnementaux de la station concernée. Si les perturbations mécaniques provoquées par les dameuses ou les carres de ski constituent un grave problème, la protection renforcée qu'offre la neige artificielle peut être jugée bénéfique. Néanmoins, dans le cas des habitats pauvres en éléments nutritifs déjà menacés, comme les marais oligotrophes ou certaines prairies, l'apport d'éléments nutritifs contenus dans l'eau issue de la fonte de la neige artificielle est à l'évidence un impact négatif ». Les conséquences du bruit des canons à neige pour les personnes, de même que les effets du bruit et de la lumière sur la faune des Alpes, sont aussi au nombre des problèmes que soulève l'enneigement artificiel (Pröbstl, 2006). D'après une étude conduite dans une station allemande, le démarrage de la saison de ski en décembre amène beaucoup d'animaux sauvages à changer brusquement d'habitat et à modifier leurs habitudes diurnes (CIPRA, 2004). Considérable, le bruit engendré par les canons à neige varie de 60 dB à 115 dB environ, ce qui est comparable à celui que l'on entend le long d'une route très fréquentée (CIPRA 2004).

Le recours aux équipements de neige artificielle n'est pas réglementé de la même manière partout dans les Alpes, car il n'existe pas de législation commune à tous les pays concernés. La question a été abordée dans les négociations sur la Convention alpine, mais elle ne figure pas dans le texte final, les parties n'étant pas parvenues à s'entendre sur une formulation. Par conséquent, les réglementations diffèrent d'un pays à l'autre, voire à l'intérieur des pays. Les opérations qui sont réglementées sont le prélèvement de l'eau, la construction des réseaux (étude d'impact sur l'environnement, par exemple) et l'exploitation des systèmes de neige artificielle (horaire de fonctionnement pendant la nuit, entre autres). La législation appliquée dans ce domaine en France, en Allemagne, en Autriche, en Italie et en Suisse est examinée dans l'encadré 3.

Les stations de ski militent pour le développement des équipements, mais les défenseurs de l'environnement redoutent de plus en plus qu'ils se multiplient indéfiniment à l'avenir. Par exemple, en 2004, des canons à neige ont été installés pour la première sur un glacier, en l'occurrence à Tignes, à 3 000 mètres d'altitude. Depuis, la station de Val d'Isère lui a emboîté le pas et l'Alpe d'Huez prévoit de faire de même (Mountain Wilderness, 2005). Le but est de permettre la pratique du ski en été.

Cependant, il importe de prendre en considération les contraintes de coût (comme nous l'avons déjà souligné) et les réglementations. Même lorsque la fabrication de la neige est faisable du point de vue météorologique et lorsque l'approvisionnement en eau peut être assuré, la production de grandes quantités (coûts supplémentaires induits par les infrastructures et les frais d'exploitation) et à des températures moyennes plus élevées peut se révéler non rentable pour certaines stations. De plus, beaucoup de stations de petite et moyenne tailles n'auront probablement pas les moyens de financer des installations supplémentaires. Les réserves qui persistent quant à l'utilisation des canons à neige sont encore confortées par une résolution adoptée en mai par la Commission internationale pour la protection des Alpes, qui stipule : « [la CIPRA] doute que les mesures de lutte sur le court terme contre les symptômes des changements climatiques, comme par exemple l'enneigement artificiel, soient des stratégies d'adaptation axées sur la durabilité »

3. Adaptation des comportements : pratiques des exploitants, outils financiers et nouveaux modèles d'entreprise

La présente section porte sur les différents types d'adaptation des comportements, qu'il s'agisse des pratiques des exploitants, des outils financiers, des nouveaux modèles d'entreprise ou de la diversification des activités. Certaines des adaptations possibles semblent à ce jour très peu exploitées dans les Alpes.

Encadré 3. Législation concernant l'enneigement artificiel

En France, il n'existe pas de réglementations spécifiques relatives à l'utilisation d'équipements de neige artificielle. Celles qui s'appliquent concernent les changements provoqués par l'installation et l'utilisation des équipements de ce type (construction d'une « usine à neige », prélèvements d'eau dans le milieu naturel, utilisation de compresseurs d'air et extension des domaines skiables, par exemple). Ainsi, la réglementation sur l'eau s'applique aux installations de prélèvement dans l'environnement naturel et aux travaux touchant les cours d'eau. Elle impose de maintenir un débit minimum dans ces cours d'eau et permet de soumettre les chantiers à des contraintes en matière de protection des ressources en eau potable. Les systèmes d'enneigement artificiel qui comportent des compresseurs d'air sont soumis aux réglementations sur les installations classées, et les compresseurs doivent être inspectés tous les trois ans, afin de vérifier qu'ils sont en bon état. Certaines lois, comme la loi relative à la protection de la nature, exigent qu'il soit procédé à un équivalent d'une étude d'impact sur l'environnement avant que soit autorisée l'installation des équipements.

En Allemagne, le seul texte applicable semble être la loi sur l'eau, qui régit les prélèvements dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface. Il impose de prendre en considération les préjudices que pourraient subir l'équilibre naturel et l'harmonie du milieu rural. La Bavière était connue pour ses réglementations relativement strictes (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz). Toutefois, récemment, elles ont été assouplies, de sorte qu'il est désormais plus facile d'obtenir une autorisation et que les stations peuvent produire de la neige plus tôt et plus tard dans la saison. Néanmoins, l'utilisation des additifs est interdite.

En Autriche, les réglementations concernant l'utilisation des équipements de neige artificielle varient entre les provinces, lesquelles n'attachent pas toute la même importance aux problèmes touchant les ressources en eau.

En Italie, la région du Trentin-Haut-Adige a adopté des réglementations spécifiques concernant l'enneigement artificiel. Avant qu'une installation puisse être construite, une étude doit être réalisée par les autorités forestières et la Commission de protection du milieu rural. Une autorisation des autorités chargées des ouvrages hydrauliques est également nécessaire si des ressources en eau relevant du domaine public sont sollicitées.

En Suisse, à l'échelon fédéral, la loi sur l'aménagement du territoire soumet la construction d'immeubles et d'installations neufs à l'approbation des autorités compétentes. Aux termes de la loi fédérale sur la protection de l'environnement, les canons à neige doivent également faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement, au titre des mesures applicables aux sites enneigés de plus de 5 hectares. Il n'est pas possible d'enneiger artificiellement des pistes complètes en dessous de 1 600 mètres d'altitude, ni des portions de pistes à moins de 1 200 mètres. En outre, les canons à neige d'une station ne peuvent pas être actionnés tant qu'il est possible de skier sur les autres pistes de cette station. Concrètement, cela empêche les exploitants de prolonger la saison de ski au moyen de la neige artificielle. Il existe par ailleurs des différences de réglementation entre les cantons, et l'association Remontées mécaniques suisses a elle aussi adopté plusieurs principes visant à limiter l'usage des canons à neige.

3.1. Pratiques des exploitants

Les exploitants des stations de ski ont la possibilité de modifier la façon dont ils organisent la saison, ainsi que ses dates d'ouverture et de fermeture. Pour beaucoup de domaines skiables des Alpes, les semaines qui précèdent les vacances de Noël ne représentent qu'une petite partie de la fréquentation annuelle des skieurs. Si un changement de climat entraîne une diminution de la fiabilité de l'enneigement naturel et une augmentation du coût de l'enneigement artificiel, cette partie de la saison risque de ne plus être rentable. Cela pourrait entraîner une modification de la date d'ouverture de la saison, comme cela se pratique déjà dans certaines stations de petite ou moyenne taille implantées à faible altitude. Les exploitants pourraient aussi décider d'intensifier l'utilisation d'un domaine skiable en accroissant la capacité des remontées mécaniques ou en limitant le nombre de pistes accessibles, pour concentrer les moyens d'enneigement artificiel. Néanmoins, cet intensification de l'exploitation ne se révélera efficace (augmentation du chiffre d'affaires, réduction des coûts d'exploitation) que si les skieurs restent satisfaits.

Pour certains usages très localisés et très précis, les exploitants pourraient aussi recourir aux revêtements synthétiques sans neige. Apparus dans les années 70, ces revêtements ont été perfectionnés depuis et assurent désormais une glisse et des prises de carres satisfaisantes, sans dommage pour le matériel. Cette technologie est peu employée pour l'instant, mais elle pourrait trouver des applications ponctuelles sur les pistes à l'avenir, par exemple sur les passages très fréquentés (comme sous les téléskis), sur les petites pistes d'entraînement et sur les pistes de surf. En Bavière, un projet qui n'a pas été mené à son terme prévoyait de créer un petit « domaine skiable d'été » en revêtement synthétique sur deux hectares, à une altitude de 1 000 mètres.

3.2. Instruments financiers

Les assurances contre les aléas d'enneigement et les produits dérivés météorologiques pourraient devenir des outils financiers importants pour les exploitants des domaines skiables. Acheter des produits dérivés météorologiques a pour but de protéger une station ou un domaine skiable d'une diminution de son chiffre d'affaires sous l'effet d'un manque de neige. Un produit de ce type est un contrat entre deux parties qui prévoit le paiement qui sera versé par l'une à l'autre en fonction des conditions météorologiques qui auront prévalu pendant la durée dudit contrat (Zeng, 2000). Très souples, ces instruments peuvent s'appuyer sur divers paramètres météorologiques et avoir des durées variables. Par exemple, un domaine skiable peut fonder un contrat de ce type sur l'épaisseur de la neige pendant les vacances de Noël, qui sont une période cruciale. En achetant un contrat de ce genre, les exploitants peuvent limiter les pertes qu'ils sont susceptibles de subir du fait d'un manque de neige. Cependant, pour que le transfert du risque soit efficace et souple, il faut que les données météorologiques soient fiables, que les acheteurs et les vendeurs aient à faire face à des risques corrélés négativement et qu'ils souhaitent donc négocier à partir du même indice météorologique et sur la même durée. Dans le cas des Alpes, où le temps peut changer du tout au tout d'une vallée à l'autre, il peut être difficile de trouver assez d'acteurs

confrontés à des risques corrélés négativement sur la base du même indice météorologique. Par conséquent, les coûts de transaction de l'établissement des contrats peuvent être supérieurs aux bénéfices potentiels.

Les assurances contre les pénuries de neige sont une autre possibilité. Elles permettent de se prémunir contre les pertes financières qui peuvent découler d'un enneigement très inférieur à la moyenne pendant une saison. Des produits de ce type sont disponibles, parfois aussi réclamés, mais ils sont rarement utilisés dans l'industrie du ski. Aux Etats-Unis, par exemple, la société *Vail Resorts*, qui possède des stations dans le Colorado, a acheté une assurance contre les aléas d'enneigement pour la saison 1999-2000 et a reçu 13.9 millions USD au motif que, les chutes de neige étant insuffisantes, les visiteurs ont été moins nombreux (Scott, 2006). Cependant, depuis, les primes ont beaucoup augmenté, ce qui témoigne peut-être de l'adaptation de ce produit d'assurance par le secteur financier, et les grands exploitants de stations de ski comme Intrawest et Vail Resorts ont par conséquent renoncé à s'assurer contre ce type de risque (Scott, 2006).

Les produits dérivés météorologiques et les assurances contre les aléas d'enneigement peuvent permettre aux stations d'expérimenter avec plus de latitude les offres commerciales qu'elles peuvent proposer aux skieurs pour les convaincre de réserver un séjour même s'ils ne sont pas sûrs d'avoir de la neige. Par exemple, elles peuvent leur accorder une réduction si un pourcentage prédéterminé des pistes est resté fermé. Conjuguée aux produits dérivés météorologiques et aux assurances contre les aléas d'enneigement, cette stratégie marketing peut se révéler intéressante. Cependant, la tendance générale dans le tourisme est à un raccourcissement de la période d'anticipation des voyages (réservation de dernière minute, par exemple). Une autre solution consiste à faire fluctuer les prix des forfaits en fonction du nombre de remontées mécaniques ouvertes. Cette stratégie est couramment appliquée dans les stations australiennes (König, 1998).

La fiabilité de l'enneigement, atout majeur, est de plus en plus employée comme argument commercial. Les stations indiquent leur capacité d'enneigement artificiel (neige garantie à 100 %, par exemple), ou mettent en avant la plage d'altitude sur laquelle s'étend leur domaine skiable, parfois jusque dans leur nom (« Isola 2000 » renvoie à l'altitude de la station elle-même et « Zillertal 3000 » à l'altitude du point le plus haut du domaine). Pendant l'hiver 2005-2006, la Suisse a lancé une campagne de publicité internationale qui indiquait qu'aucun autre pays d'Europe ne possédait 29 domaines skiables dépassant 2 800 mètres.

3.3. Soutien financier

Il existe de nombreuses façons d'apporter un appui financier à un domaine skiable. Les autorités locales versent des contributions ponctuelles ou annuelles, accordent des prêts ou encore prennent des participations dans l'entreprise. Parfois, elles exploitent elles-mêmes le domaine skiable. Il est également arrivé que les autorités nationales accordent des prêts elles aussi, généralement à des taux d'intérêt très

favorables, voire sans intérêts du tout. Ces fonds publics servent à subventionner l'exploitation des stations, à résorber leurs déficits et à financer aussi bien le renouvellement que le développement des installations de transport. De plus en plus, ils sont utilisés pour financer l'enneigement artificiel.

En Suisse, quelques exemples illustrent l'importance du soutien financier des autorités locales et nationales (Odermatt, 2005) :

- Les autorités de Saint-Moritz, dans le canton des Grisons, possèdent quelques installations de transport dans les domaines skiables ; d'après le budget de l'an dernier, 2.3 millions CHF ont été consacrés à leur exploitation.
- A Melchsee-Frutt, en Suisse centrale, les autorités locales ont financé l'installation d'un nouveau télésiège, pour un montant total de 8.5 millions CHF.
- A Gstaad, dans l'Oberland bernois, environ 70 millions CHF sont nécessaires pour renouveler les installations de transports existantes. La municipalité de Saanen et les cantons de Berne et de Vaud prendront en charge la plus grande partie, à savoir 39 et 28 millions CHF, respectivement.

A Flims-Laax-Falera, dans le canton des Grisons, une société a été créée pour financer le développement des installations de neige artificielle du domaine skiable de « Weisse Arena ». Les trois collectivités concernées ont accepté, à l'issue d'un vote public, d'y prendre une participation de 80 %. Cette formule est très avantageuse pour l'exploitant du domaine skiable, puisque les autorités locales bénéficient d'une note financière supérieure à celles des exploitants (autrement dit, elles obtiennent des conditions d'emprunt plus favorables) et que c'est la collectivité qui assume les risques. D'autres formules intéressantes de financement des futurs investissements sont présentées dans Bieger et Laesser (2005).

Une analyse des extensions réalisées en Suisse (de 1993 à 2001) a montré que c'était les cantons qui prenaient en charge la majeure partie des investissements (42 %), suivis des banques et des exploitants de domaines skiables eux-mêmes (21 % chacun). La Confédération helvétique et les autorités locales n'y contribuent qu'à hauteur de 5 % chacune (Mathis *et al.*, 2003). Selon les auteurs, les cantons accordent une grande importance aux critères économiques régionaux, tandis que la rentabilité, le développement durable et la protection de la nature paraissent secondaires. Il ressort par ailleurs de cette étude que les conséquences prévisibles du réchauffement climatique ne sont pas prises en considération (Mathis *et al.*, 2003).

Sous l'effet de la modification du climat, les demandes de soutien financier augmenteront probablement. Les domaines skiables réclameront sans doute des aides supplémentaires pour conforter leur activité, en mettant l'accent sur leur contribution à l'économie locale et régionale. En outre, ils essaieront de partager leurs coûts,

notamment en ce qui concerne l'enneigement artificiel. Un nombre croissant d'exploitants de domaines skiables considèrent cette dernière activité comme un « service public » et estiment donc que tous ceux qui en retirent un bénéfice (l'industrie hôtelière et, surtout, la collectivité dans son ensemble) devraient contribuer aux coûts de production.

3.4. *Coopération et fusions*

Il existe plusieurs formes et plusieurs degrés de coopération. L'association régionale, qui permet de proposer un seul et même forfait pour plusieurs domaines skiables, est très courante. Pratiquée dans toutes les Alpes, il lui arrive de chevaucher les frontières. Les exploitants de domaines voisins qui souhaitent coopérer peuvent mettre en place des activités commerciales communes. Ils peuvent partager des équipements (les autoneiges, par exemple) et du personnel (spécialistes de l'informatique, entre autres), bénéficier de meilleures conditions d'achat et échanger leur savoir-faire. Les fusions constituent une autre forme de coopération. Elles visent (ou peuvent viser) à limiter la concurrence sur le marché, à réduire les coûts et/ou à accroître la part de marché. La fusion de « Lenzerheide Bergbahnen Danis Stätz AG » et de « Rothornbahn & Scalottas AG » est un exemple récent. La nouvelle entité, appelée « Lenzerheide Bergbahnen », est la troisième société de remontées mécaniques du canton des Grisons (Suisse) et affiche un chiffre d'affaires total de 35 millions CHF. A l'avenir, ses dirigeants souhaiteraient relier le domaine skiable de Lenzerheide à la station voisine d'Arosa, car ils considèrent que seules les grands domaines survivront sur le marché international.

Les raisons qui expliquent les coopérations et les fusions sont nombreuses et comprennent la concurrence, la diversification, les économies d'échelle, la part de marché et les synergies. Bieger et Laesser (2005) ont établi une liste des synergies potentielles (meilleure utilisation des ressources complémentaires) dans le secteur des remontées mécaniques. Ils concluent qu'une coopération peu structurée est moins efficace qu'une fusion et mettent donc en avant les sociétés totalement intégrées. Néanmoins, toute fusion n'est pas nécessairement synonyme de succès. Des problèmes peuvent se poser, par exemple en raison de différences d'identité entre les entreprises fusionnées. Une autre solution, pour améliorer l'assise financière d'une entreprise, réside dans l'intégration verticale. Bieger et Laesser (2005) recommandent ainsi aux exploitants de domaines skiables de diversifier leurs activités en se lançant, par exemple dans la location de matériel de ski et dans l'hébergement. Le stade suivant est la création d'une société d'exploitation de stations, ou bien une holding de destinations, proposant tous les services allant de la réservation du voyage aller jusqu'au retour, éventuellement avec des étapes dans plusieurs endroits/pays.

Le conglomérat de stations de ski est un concept intéressant qui s'est développé aux Etats-Unis (Scott, 2006). Dans ce cadre, des entreprises acquièrent des domaines skiables dans différents endroits dans toute l'Amérique du Nord. Cette formule pourrait être l'un des moyens d'adaptation aux changements climatiques les plus efficaces, même si tel n'était pas le but au départ. Ces conglomérats assurent un meilleur accès

aux capitaux et aux ressources commerciales, ce qui renforce la capacité d'adaptation et, simultanément, réduit la vulnérabilité aux effets de la variabilité du climat et aux changements climatiques futur moyennant la diversification régionale des activités. Lorsque les conditions sont défavorables, les répercussions financières peuvent être réparties dans tout le groupe, et les résultats économiques supérieurs à la moyenne dans une région ou plus peuvent compenser les pertes enregistrées dans une autre. Les entreprises dont les domaines skiables sont regroupés dans une seule région, de même que les domaines skiables indépendants (le cas le plus fréquent dans les Alpes) risquent davantage de pâtir de conditions météorologiques médiocres.

3.5. *Diversification des sources de revenu en hiver*

Les sports d'hiver, notamment le ski alpin et le surf, mais aussi le ski de fond, restent la principale attraction des stations des Alpes pendant cette période de l'année. Néanmoins, beaucoup de gens ne skient qu'occasionnellement. D'ailleurs, parmi les visiteurs qui séjournent dans les stations, de plus en plus ne skient pas du tout. D'après le président de Ski France, un skieur moyen pratique environ quatre heures par jour et, dans les stations françaises, un visiteur sur quatre ne skie pas du tout (Guillot, 2006). Le phénomène est encore plus prononcé en Italie, où 48 % des visiteurs des stations de sports d'hiver ne pratiquent ni le ski, ni le surf des neiges (WWF Italia, 2006a). Sur le Rigi, célèbre montagne de Suisse centrale, la clientèle d'hiver a considérablement changé : dans les années 80, elle était presque exclusivement composée de skieurs, alors que l'hiver dernier, 65 % des visiteurs étaient des randonneurs, 15 % des lugeurs et seulement 20 % des skieurs. Ainsi, les non-skieurs représentent un marché important et croissant dans les stations de ski.

Beaucoup d'entre elles ont réalisé des investissements substantiels pour satisfaire ce marché en expansion. Les activités les plus recherchées sont la randonnée (plus de 2 500 kilomètres de chemins aménagés en Suisse uniquement), la luge (environ 500 pistes en Autriche) et les raquettes (possibilités innombrables dans toutes les Alpes). Bien entendu, le problème de ces activités est qu'elles exigent elles aussi de la neige (en moins grande quantité, toutefois, que le ski alpin). Elles sont susceptibles d'attirer des visiteurs supplémentaires, mais elles ne diminuent pas la dépendance des stations de sports d'hiver alpines vis-à-vis de la neige, alors que c'est cette dernière qui pose un problème en présence du réchauffement du climat, notamment dans les stations de basse altitude. Par ailleurs, de nombreuses stations, en particulier les grandes, mettent à la disposition des touristes une gamme de produits variée comprenant des spas, des clubs de remise en forme, des salles de sport, des concerts, des festivals, des expositions, ainsi que des bars, des restaurants et des commerces. Cette offre s'adresse aussi bien aux skieurs qu'aux non-skieurs. Les visiteurs en tirent parti et il n'est pas exclu qu'ils s'attendent à une telle variété, mais de manière générale, ce sont non pas ces produits « complémentaires » qui les amènent à séjourner dans une station donnée, mais plutôt les activités liées à la neige.

D'autres produits sans rapport avec la neige pourraient être proposés (tourisme de santé, de congrès, etc.), et il en existe aussi, destinés à des micromarchés, qui portent

leurs fruits (le festival de l'humour d'Arosa, par exemple), mais le potentiel de diversification ne doit pas être surestimé :

- Les offres évoquées ci-dessus ne sont pas directement tributaires de la neige. Néanmoins, indirectement, cette dernière peut jouer un rôle important dans le choix du lieu d'organisation d'un congrès, par exemple.
- Les projections des changements climatiques annoncent aussi des hivers plus humides. Des précipitations plus abondantes, conjuguées à un nombre croissant de jours couverts, risquent aussi d'éroder l'attractivité des activités sans lien avec la neige.
- Les hôtels et les restaurants, qui accueillent tous les touristes, sont plus susceptibles de bénéficier de la diversification que les exploitants des domaines skiables, dont les revenus sont très tributaires du transport des skieurs.
- Les responsables du tourisme dans le canton des Grisons, en Suisse, estiment que 20 % des visiteurs actuels pourraient être attirés par des propositions sans rapport avec la neige (Abegg, 1996).

Il semble donc peu probable que les activités en relation avec la neige puissent être intégralement remplacées par d'autres qui ne revêtent pas cette caractéristique. Les offres qui sont sans rapport avec la neige jouent un rôle important, car elles ajoutent à la variété des produits disponibles et renforcent l'activité hivernale. Cependant, elles ne sont pas à même de faire vivre le secteur du tourisme d'hiver. Pour l'instant, aucune activité ne pourrait suppléer les sports d'hiver traditionnels, notamment le ski, dans leur fonction de source de revenus.

3.6. *Tourisme quatre saisons*

Beaucoup de stations comptent énormément sur une seule saison : l'hiver. Cette stratégie commerciale peut être très périlleuse en raison de la variabilité actuelle du climat (enneigement déficitaire certains hivers) et des répercussions potentielles des changements climatiques prévus. Afin de réduire la dépendance à l'égard des conditions d'enneigement, le renforcement des activités pendant le reste de l'année est souvent recommandé. Ces activités comprennent le tourisme d'été (y compris en demi-saison), mais aussi les offres indépendantes du climat et du temps, comme le tourisme de congrès, éducatif et de santé. Cette stratégie a pour objectifs de soutenir l'activité et de réduire la dépendance des stations vis-à-vis de la neige.

Encadré 4. Mesures de soutien aux initiatives de diversification dans la région Rhône-Alpes, France

Les autorités départementales de Savoie, de Haute-Savoie et d'Isère ont décidé de soutenir la diversification des activités touristiques dans les stations de ski. En Savoie, le Conseil général a annoncé son intention de développer le tourisme pendant toute l'année et de diversifier les infrastructures touristiques pour rompre avec la spécialisation et s'adapter à l'évolution de la demande. Cette décision n'est absolument pas due à la crainte du manque de neige, mais reflète la nécessité d'anticiper les changements climatiques. En Isère, où abondent les stations de moyenne altitude dont les activités sont menacées par la modification du climat, le Conseil général est résolu à les aider à donner un nouvel élan au tourisme et à diversifier leurs activités en développant des actions en ce sens au niveau départemental (entretien avec Le Scan, 2004). Les instruments utilisés pour déployer les mesures de diversification sont les « *contrats stations moyennes* », à l'échelon départemental, et les « *contrats de plan Etat-région* » (CPER), à l'échelon régional. Le but des *contrats stations moyennes* est d'encourager le développement des stations de moyenne altitude qui disposent de plus de 2 000 lits pour les touristes. Ces contrats sont destinés à stimuler la création de projets réalistes et durables du point de vue économique, à l'échelle locale. Les CPER sont conçus sur mesure, au cas par cas, en fonction des besoins de chaque station. Les fonds débloqués dans ce cadre financent des programmes de promotion commerciale et des investissements, avec pour but principal de développer le tourisme estival. Des « *contrats de développement diversifié* » ont également été mis en place au niveau départemental. Selon la vulnérabilité des stations au manque de neige, leur objectif est de les aider soit à accroître leurs activités liées à la neige, soit à les réduire tout en appuyant des projets de diversification.

On trouve un exemple de l'application des contrats de développement diversifié en Isère, où le Conseil général consacre des ressources techniques et financières à la mise en œuvre d'une nouvelle politique visant à étendre l'éventail des activités touristiques en montagne. En 2001, une étude sur le tourisme a été conduite dans le département, et il en est ressorti qu'il convenait de lancer des projets de développement et de diversification. En 2003, le Conseil général s'est appuyé sur les conclusions de cette étude pour proposer plusieurs scénarios. Les aides financières qu'il accorde sont destinées à encourager la diversification des activités (évaluation du potentiel touristique et recherche de nouvelles activités), à faciliter la décision d'abandonner les activités liées à la neige dans les stations les moins enneigées, à améliorer les installations comme les hébergements et à développer les activités liées au tourisme.

Dans le cadre du CPER 2000-2006, le Conseil régional de Rhône-Alpes a reconduit son initiative « entreprise-station » (lancée à l'origine en 1995) pour la période 2000-2006, avec pour thème principal les stations de moyenne altitude. Un projet « entreprise-station » consiste à définir ou, le cas échéant, à poursuivre, une stratégie propre à une station été-hiver, qui optimise la gestion interne de cette dernière et, parallèlement, organise la promotion commerciale de son offre. Dans le cadre des CPER, les aides débloquées par l'Etat et par les régions peuvent être utilisées par les autorités locales et par les structures de gestion responsables des stations éligibles.

Il existe aussi, dans le cadre des CPER, des « contrats montagne » en partie financés par l'Union européenne. Ils visent à exploiter le potentiel touristique régional, en diversifiant les activités sur l'ensemble de l'année, en mettant en valeur les atouts du territoire concerné, et en améliorant l'hébergement et les transports.

Une initiative intéressante (voir Simon, 2006) a lieu actuellement dans le département de l'Isère, en France. Les domaines skiables de cette partie des Alpes françaises, notamment les plus petits peu équipés, ne peuvent pas rivaliser avec leurs concurrents plus vastes. Ils sont aussi plus exposés aux répercussions des changements climatiques. Pour préparer l'avenir, le Conseil général (les autorités départementales) a décidé de soutenir financièrement la diversification du tourisme, moyennant la mise en place de *contrats de développement diversifié*. Les fonds sont employés, par exemple, pour améliorer la qualité des produits (estivaux) existants, pour développer des offres nouvelles, en particulier à l'intention des familles, et pour financer le démantèlement des anciennes installations de ski. Cependant, une partie des crédits est encore consacrée au tourisme fondé sur leski. L'encadré 4 apporte des précisions sur cette initiative et sur d'autres qui sont en cours dans la région Rhône-Alpes.

Le tourisme estival dans les Alpes est tributaire des conditions météorologiques. En comparaison avec les conditions stables de la Méditerranée, le temps est assez variable en été dans les Alpes, d'où un indice de satisfaction des touristes inférieurs sur ce plan. Toutefois, la situation pourrait changer à l'avenir, car les projections climatiques régionales prévoient des étés plus chauds et plus secs en Europe. Les étés en Méditerranée pourraient devenir trop chauds, tandis que les températures à des altitudes plus élevées, associées à des précipitations moins abondantes, devraient rester clémentes. La canicule de l'été 2003 (et, dans une moindre mesure, celle de 2006) est à cet égard révélatrice : les habitants de la plaine, au pied des Alpes, allaient se réfugier dans les montagnes pour échapper temporairement aux fortes chaleurs. Néanmoins, les changements climatiques auront aussi des effets négatifs sur le tourisme estival dans les Alpes avec le recul des glaciers (voir la section 1.3), qui diminuera fortement l'attractivité de l'environnement montagnard. Cette atteinte au plaisir esthétique s'accompagnera, qui plus est, de la disparition d'attractions touristiques comme les grottes de glace et, sans doute, des derniers domaines skiables en été. En outre, les changements climatiques intensifieront le dégel du pergélisol et rendra certaines zones de montagnes plus sujettes aux glissements de terrain. Les gares et les mâts des remontées mécaniques, comme d'autres constructions, pourraient devenir instables (Haeberli, 1992) et des sommes considérables seront nécessaires pour les consolider. La randonnée et l'escalade pourraient également devenir plus dangereuses en raison des chutes de pierres plus nombreuses (Behm *et al.*, 2006). Les activités en eau vive, comme le rafting, pourraient quant à elles perdre de leur attractivité à cause de la baisse du niveau des cours d'eau dans les Alpes.

Répetons-le, les hôtels et les restaurants tireront probablement davantage parti de la diversification saisonnière que les exploitants de remontées mécaniques. En Suisse, les vacanciers ne consacrent que 7.9 % de leurs dépenses quotidiennes aux transports en été, contre 22.9 % en hiver (Seilbahnen Schweiz, 2005a). Dans le passé, seuls les exploitants de remontées mécaniques qui permettaient d'accéder à un sommet célèbre pouvaient gagner de l'argent en été. Certains ont cessé ou réduit leur activité en période estivale, tandis que d'autres ont menacé de suivre leur exemple si les stations ne participaient pas aux frais d'exploitation (Sportbahnen Vals AG, dans le canton des Grisons, en Suisse, par exemple). Certains exploitants de remontées s'efforcent de stimuler la demande en ciblant des groupes de clients particuliers comme les vététistes

et les parapentistes. De plus, ils investissent dans la gastronomie, les randonnées à thème, les parcs d'aventure et les pistes de luge d'été pour attirer davantage de familles, de randonneurs et de touristes. Par exemple, les entreprises suisses de remontées mécaniques exploitent actuellement 21 pistes de luge d'été (dont 19 dans les Alpes). Après les hivers de la fin des années 80, où la neige a manqué, plusieurs entreprises ont commencé à envisager de développer leurs activités estivales, et pour quelques-unes, la luge d'été était tout à fait prioritaire. Par conséquent, le nombre de pistes a rapidement augmenté, mais elles n'ont pas toutes rencontré le succès (Mathis *et al.*, 2003). La réussite dépend, entre autres, des études de marché, qui visent à mesurer la demande potentielle, de l'attractivité du produit et des moyens disponibles pour faire la promotion de ce dernier.

3.7. Retrait de l'industrie du ski

Les domaines skiables de basse altitude, dont la survie économique a été remise en question par une série d'hivers doux, peuvent se lancer activement dans une restructuration ou quitter l'industrie du ski. En général, les conditions naturelles ne le permettent guère de se doter d'installations de production de neige artificielle (à cause de l'altitude, notamment) et/ou ils ne disposent pas des moyens financiers nécessaires. En outre, les institutions financières ne sont disposées à accorder des prêts à ces domaines skiables qu'à des conditions très restrictives. Ainsi, les banques suisses n'accordent plus que des crédits très limités à ceux qui sont situés à moins de 1 500 mètres (Elsasser et Bürki, 2002), et certaines banques du Canada s'interrogent sur les répercussions des changements climatiques lorsqu'elles négocient des conditions financières avec des stations de ski (Scott *et al.*, en cours d'impression). Les représentants du secteur du tourisme sont très partagés sur le bien-fondé du maintien en activité de ces domaines skiables et sur la manière de garantir et de financer leur exploitation à l'avenir s'ils ne sont pas fermés. Certains considèrent qu'une réduction de l'activité est nécessaire et que les domaines non rentables devraient être démantelés. D'autres, au contraire, estiment qu'il est indispensable de les conserver, en particulier pour des raisons économiques régionales (Elsasser et Bürki, 2002).

Le petit domaine skiable de Gschwender Horn, à Immenstadt, en Bavière, est un exemple connu de retrait programmé et réussi du secteur du ski. Au début des années 90, après une série d'hivers où la neige avait fait défaut, la municipalité a décidé, conjointement avec Allianz Umweltstiftung, d'abandonner les activités centrées sur le ski, qui n'étaient plus rentables. Les installations (deux télésièges et un téléski transportable pour enfants) ont été démontées et les pistes de ski (environ 40 hectares) ont été rendues à la nature. Aujourd'hui, le domaine est utilisé dans le cadre du tourisme estival et hivernal pour la randonnée, le VTT, les raquettes et le ski de randonnée (voir Allianz Umweltstiftung, 2005).

Il existe d'autres initiatives, comme le « Gemeinденetzwerk Ökomodell Achtal e.V. » (réseau de collectivités de l'éco-modèle d'Achtal). Ce réseau international a mis en place un service gratuit d'autocars qui transporte les skieurs de huit collectivités différentes de Bavière et du Tyrol jusqu'aux stations où l'enneigement

est le plus fiable dans la zone du réseau. Les stations les plus basses s'abstiennent d'étendre leur domaine skiable et se concentrent sur l'écotourisme (Neuhäuser, 2006). Une autre idée consiste à établir un fonds pour soutenir financièrement le retrait volontaire du secteur du ski, par exemple le démontage des installations. Ces formules (et beaucoup d'autres) seront probablement appliquées de plus en plus souvent si les changements climatiques se confirment.

4. Discussion et conséquences pour l'action des pouvoirs publics

Les modifications du climat ont d'ores et déjà de fortes répercussions sur le tourisme d'hiver dans les Alpes, et les changements prévus devraient provoquer une nouvelle diminution importante de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables. Cependant, ces impacts ne sont pas uniformes et ils feront des « gagnants » et des « perdants », qu'il s'agisse des « régions » (comme les Grisons, le Valais et la Savoie, qui sont beaucoup moins vulnérables que les Alpes-Maritimes, la Styrie et le Frioul-Vénétie-Julienne) ou des domaines skiables eux-mêmes (ceux qui s'étendent sur une plage d'altitude élevée sont nettement moins vulnérables que les autres). Le secteur du tourisme d'hiver réagit aux répercussions observées, et une série de mesures techniques et de changements de comportement ont été adoptés pour compenser les effets préjudiciables. Cependant, ces mesures d'adaptation ne peuvent pas être isolées des autres décisions industrielles et sont influencées par un large éventail d'autres facteurs, à savoir la demande, la concurrence et les réglementations relatives à la protection de l'environnement. Par ailleurs, les adaptations constatées résultent pour une large part d'une réaction aux phénomènes climatiques et, d'après les données, rares sont les domaines skiables qui élaborent une stratégie d'entreprise à long terme pour anticiper les modifications futures du climat.

Pour plusieurs raisons, on prévoit également que, en grande partie, les opérateurs de l'industrie du ski prendront des mesures individuellement en vue de s'adapter aux changements climatiques. Les possibilités d'adaptation varieront en fonction des caractéristiques géographiques (plage d'altitude, conditions climatiques locales et distance par rapport aux principaux marchés, etc.), de l'action des pouvoirs publics (politique du tourisme, mesures de protection de l'environnement, droits d'accès à l'eau, entre autres) et des modèles d'entreprise (exploitants individuels de domaine skiable par opposition aux conglomérats, par exemple). Autrement dit, l'adaptation sera très tributaire du contexte. Étant donné l'horizon temporel des changements climatiques prévus, le tourisme d'hiver ne connaîtra pas un bouleversement soudain. Les changements climatiques peuvent être considéré comme un catalyseur qui renforcera les restructurations dans ce secteur en mettant en évidence les opportunités et les risques inhérents au développement touristique actuel et futur. En définitive, c'est la capacité d'adaptation (et non le climat) qui déterminera l'avenir des stations face aux changements climatiques.

Deux problèmes se posent donc aux pouvoirs publics. Le premier a trait au degré de contrôle et d'intervention qui pourrait être nécessaire dans ce qui est, en grande partie, une adaptation autonome obéissant aux forces du marché. Les pouvoirs publics

pourraient avoir un rôle déterminant à jouer au sujet des répercussions environnementales et sociales susceptibles de découler de la mise en œuvre (éventuellement excessive) de certaines stratégies d'adaptation. Par exemple, la production de neige artificielle consomme de l'eau et de l'énergie, le damage des pistes de ski peut avoir des répercussions sur la végétation et porter atteinte à la stabilité des pentes, tandis que l'aménagement de domaines skiables à des altitudes plus élevées risque de menacer des écosystèmes fragiles. Actuellement, l'action des pouvoirs publics varie beaucoup d'un pays à l'autre et à l'intérieur des pays concernés. La France et l'Allemagne n'appliquent pas de réglementations particulières concernant la neige artificielle, même si certains aspects relèvent d'autres réglementations relatives aux prélèvements d'eau. Des dispositions spécifiques sont en vigueur en Autriche, mais elles diffèrent selon les provinces, tandis qu'en Italie, seul le Haut-Adige a adopté des mesures. En Suisse, l'installation de canons à neige fait l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement, et il existe des réglementations précises sur les périmètres dans lesquels ils peuvent être employés. De même, les réglementations varient ou n'existent pas en ce qui concerne l'utilisation d'additifs dans la neige artificielle, le damage des pistes et le déplacement des activités de ski à des altitudes plus élevées.

Les pouvoirs publics et leur action pourraient peut-être aussi être mis à contribution pour fournir un filet de sécurité adéquat aux « perdants » de l'équation de l'adaptation. En effet, les conséquences des changements climatiques sur le tourisme d'hiver dans les Alpes sont loin de s'exprimer équitablement. Les petites stations, qui, de surcroît, se trouvent souvent à des altitudes plus basses, sont plus vulnérables et, en même temps, ne peuvent pas recourir à autant de solutions d'adaptation, faute de moyens financiers notamment. Parallèlement, les conglomérats de stations de ski sont moins vulnérables au risque climatique (leurs domaines skiables se situent souvent à des altitudes plus élevées), diversifient mieux les risques et ont accès à des ressources techniques et financières plus abondantes pour s'adapter. Les grandes stations qui demeurent rentables et restent en activité seront probablement aussi en position de tirer parti d'une conjoncture économique altérée par le climat et de gagner des parts de marché sous l'effet d'une diminution de la concurrence due à la cessation d'activité d'autres stations. S'agissant de la réaction des pouvoirs publics, ici encore, elle varie beaucoup d'une région à l'autre et va de la non-intervention à l'attribution d'aides financières destinées à compenser les préjudices subis. En particulier, les gouvernements et les collectivités locales doivent impérativement faire face ensemble à un choix entre les mesures qui tendent à préserver le *statu quo* aussi longtemps que possible et celles qui facilitent une transition plus douce vers les nouvelles réalités qu'imposent les changements climatiques. Globalement, l'accent a été mis jusqu'à présent sur le maintien du *statu quo*, et non pas sur l'aménagement d'une transition qui pourrait se révéler coûteuse aussi bien économiquement que politiquement.

Chapitre 3

Adaptation aux changements climatiques et gestion des risques naturels

par

Simon Jetté-Nantel et Shardul Agrawala

Inévitables dans les pays alpins, les risques naturels y ont des incidences significatives sur la société et sur l'économie, et sont sensibles, à des degrés divers, au changement climatique. Le présent chapitre récapitule les risques naturels et les vulnérabilités de l'arc alpin, avant d'examiner les répercussions de l'adaptation au changement climatique sur leur gestion en Autriche, en France et en Suisse. Du point de vue de la vulnérabilité, beaucoup de risques étroitement liés au changement climatique, comme ceux qui sont associés aux glaciers ou au pergélisol, ont en fait une importance économique de moyenne à faible. Par ailleurs, des risques qui ont des répercussions économiques et sociales beaucoup plus fortes, comme les inondations et les tempêtes, présentent des liens plus complexes et moins définis avec le changement climatique. Une action à plusieurs niveaux est donc nécessaire pour prendre en compte les risques liés au changement climatique dans la gestion des risques naturels en général. Malgré leur très grande capacité d'adaptation en la matière, la France, la Suisse et l'Autriche ont beaucoup à faire pour parer aux risques existants, et a fortiori aux incidences du changement climatique. Outre l'amélioration de l'efficacité de la gestion des risques actuels, une approche plus prospective qui tienne compte aussi des risques climatiques anticipés s'impose. Enfin, dans les cas particuliers où les risques liés au climat évoluent rapidement ou bien dans ceux où leurs effets sont déjà manifestes (fonte du pergélisol et des glaciers, par exemple), la mise en place d'actions de surveillance et de réduction des risques constituerait une stratégie d'adaptation efficace.

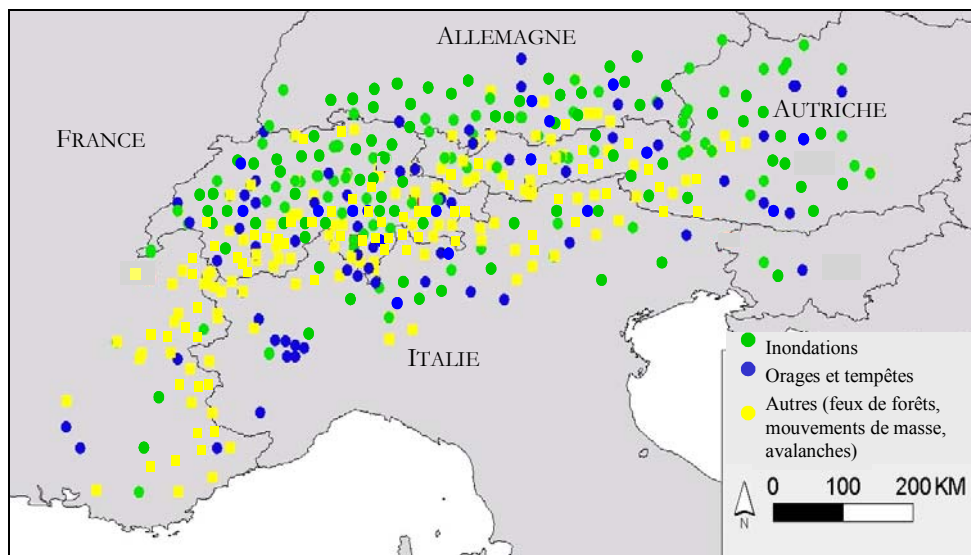
Outre le tourisme d'hiver, les changements climatiques devraient aussi affecter la vulnérabilité des Alpes aux risques naturels. Il existe à l'évidence des liens entre le tourisme d'hiver et les risques naturels. Ainsi, tout accroissement de l'exposition des zones de montagne aux risques naturels devrait avoir une incidence directe sur les infrastructures de tourisme hivernal et sur les zones d'habitation qui servent de base aux activités touristiques. D'un autre côté, il existe des différences claires entre les deux. Si les changements climatiques ont des effets perceptibles sur la fiabilité de l'enneigement dans les domaines skiables, son incidence sur différents risques naturels déjà existants dans les Alpes est beaucoup plus complexe. De plus, alors que les mesures d'adaptation du tourisme d'hiver ont été le plus souvent prises de façon autonome par le secteur privé en réponse à des situations spécifiques, les mesures destinées à faire face aux conséquences des changements climatiques pour les risques naturels laisseront très certainement une plus large place aux pouvoirs publics, devront être beaucoup mieux coordonnées et planifiées, et viendront sans doute se superposer aux politiques et mesures déjà adoptées dans les différents pays alpins face aux risques naturels. Dans le même temps, le secteur privé, notamment les compagnies d'assurance et de réassurance, est appelé à jouer un rôle également important.

La présente analyse passe tout d'abord en revue les risques naturels et vulnérabilités de l'Arc alpin. Les principaux dangers liés aux facteurs météorologiques et climatiques sont ensuite examinés, de même que les implications potentielles des changements climatiques. La suite de l'analyse est consacrée aux implications de l'adaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques naturels dans trois pays alpins : la France, la Suisse et l'Autriche. Seront examinés les cadres de gestion des risques naturels et mécanismes d'assurance déjà en place puis les mesures additionnelles que pourraient nécessiter les nouveaux risques liés aux changements climatiques.

1. Les risques naturels dans les Alpes : aperçu général et incidences des changements climatiques

Les risques naturels sont inhérents aux pays alpins (figure 8) et ont des conséquences non négligeables pour les sociétés et économies alpines : ils ont engendré quelque 57 milliards EUR de pertes économiques pendant la période 1982-2005 (figure 9), auxquels s'ajoutent les sommes considérables investies par ces pays dans les mesures de protection et de prévention. Ces risques dépendent fortement de facteurs naturels et climatiques (précipitations, températures, pente et couverture végétale, par exemple) et sont donc sensibles, à des degrés divers, aux changements climatiques. Cinq types de risques naturels sont pris en considération dans le présent rapport : les inondations, les orages et tempêtes, les mouvements de masse, les avalanches et les feux de forêts. Ils ont été choisis compte tenu de leur impact sur les sociétés alpines et de leur sensibilité au climat.

Figure 8. Catastrophes et phénomènes ayant causé des dégâts dans les Alpes, 1980-2005



Source : D'après un document fourni par Munich Re, Geo Risks Research © 01/2006 NatCatSERVICE ®.

1.1. Inondations

Les inondations résultent de la conjonction de niveaux de précipitation extrêmes, de la saturation hydrique des sols et de la fonte des neiges, qui entraîne une augmentation brutale des volumes d'eau dans le lit des cours d'eau. Dans les régions de montagne, les crues éclairs sont des phénomènes soudains et violents qui peuvent entraîner des matériaux tels que du bois, de la boue et des pierres. La violence de ces phénomènes provoque souvent une érosion des rives qui fait augmenter la concentration de débris dans l'eau et peut entraîner des coulées de boue ou des laves torrentielles. L'absence d'entretien des cours d'eau, le bétonnage des rives et l'imperméabilisation des sols en zones urbaines représentent aussi des facteurs aggravants propices aux inondations.

De tous les risques observés dans les régions alpines, les inondations sont ceux qui occasionnent le plus gros préjudice économique (figure 9), et bon nombre de zones alpines parmi les plus densément peuplées ont été victimes de fortes crues au cours des dernières années (annexe 5). Lorsqu'il s'agit de crues éclairs, les préavis d'alerte sont souvent courts et l'évacuation n'est pas toujours possible. Les torrents d'eau et les gros débris qu'ils charrient peuvent détruire les bâtiments et infrastructures, notamment les routes et voies ferrées, d'où de possibles perturbations du réseau de transport. Les dépôts de sédiments plus fins sont très coûteux à nettoyer et peuvent endommager les

cultures. Les inondations peuvent aussi avoir un impact écologique grave si l'eau contient des substances chimiques.

A l'heure actuelle, aucune tendance n'a été observée en ce qui concerne l'incidence des crues dans les Alpes et il n'est pas possible de dire si les phénomènes de crues extrêmes (en 2002 et 2005 en Autriche et en Suisse, par exemple) sont entièrement imputables à des fluctuations naturelles ou si les changements climatiques ont été des facteurs aggravants. Toutefois, s'agissant des tendances générales, une forte augmentation des précipitations intenses (temps de retour de 30 jours) en hiver et en automne a été enregistrée dans de nombreuses zones des Alpes suisses pendant la période 1901-1994 (Frei et Schär 2001).

Dans les scénarios de changement climatique, l'incidence des crues pourrait être modifiée par le retrait de l'isotherme $0\text{ }^{\circ}\text{C}^{12}$, qui risque de faire augmenter les débits de pointe de ruissellement puisque les précipitations liquides seront plus importantes (OcCC 2003). Une étude sur le bassin rhénan a également conclu que, dans les zones alpines, les changements climatiques feront augmenter les débits de pointe de ruissellement en période hivernale (Middelkoop *et al.* 2001). En hiver, l'accroissement des volumes de pluie conjugué à la réduction de la perméabilité des sols gelés pourrait faire augmenter la probabilité de crues. Les effets de la modification de l'enneigement sur les crues de printemps ne sont pas certains (OcCC 2003), mais le déplacement des précipitations vers les périodes hivernales devrait réduire l'incidence des crues éclaircies en haute montagne puisque les précipitations sous forme de neige seront plus importantes comparées aux événements analogues actuellement observés à la fin du printemps ou en été (Beniston 2006). Pendant l'été, le volume total des précipitations devrait diminuer, mais les événements extrêmes devraient être plus fréquents. L'impact des changements climatiques sur les crues d'orage d'été n'est pas connu à ce stade (OcCC 2003). Enfin, les changements climatiques devraient entraîner une augmentation des précipitations d'hiver et une diminution des précipitations d'été, ce qui devrait faire augmenter l'incidence des crues dans les vallées mais la faire baisser à haute altitude.

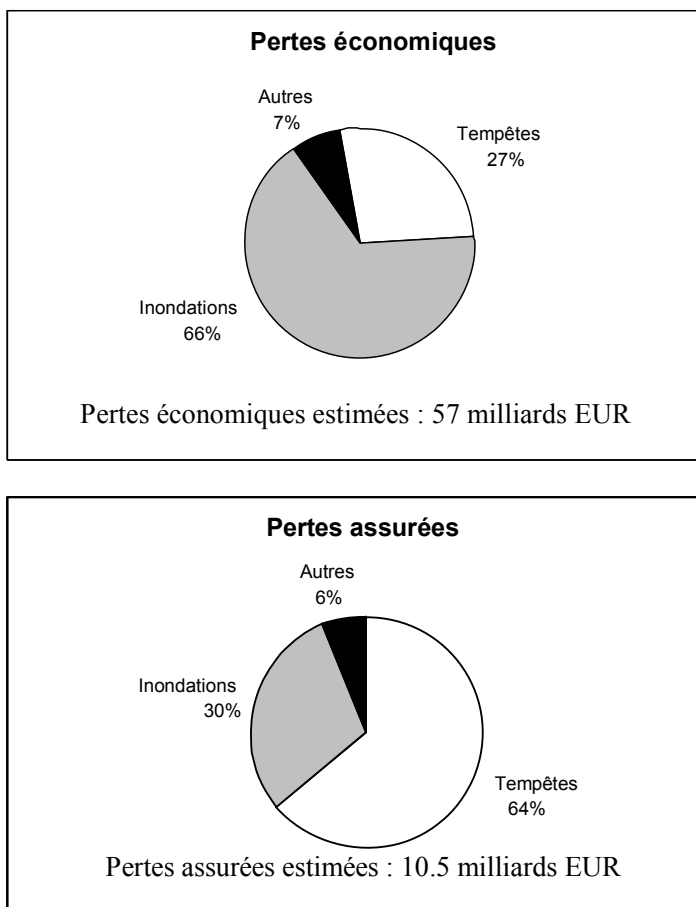
1.2. Orages et tempêtes

La plupart des régions de l'Arc alpin sont exposées à des risques de tempêtes hivernales (Vivian et Lothar, 1999, par exemple). Ces tempêtes peuvent causer d'importants dommages à la propriété, aux infrastructures et aux forêts, avec des conséquences économiques non négligeables pour le secteur des assurances et l'industrie forestière. Ces orages et tempêtes sont liés à des systèmes de basse pression intense, des gradients thermiques élevés, et une activité cyclonique dans l'Atlantique Nord. Toutefois, les liens avec l'indice NAO n'ont pas été formellement établis jusqu'ici (OcCC 2003). D'autre part, les orages d'été affectant les régions alpines sont

¹² Altitude à laquelle la température est de zéro degré.

souvent liés au *foehn*¹³ et concernent principalement les Alpes du Nord. Les orages et tempêtes sont la deuxième cause de préjudice économique et la première cause de dommages assurés associés aux risques naturels dans l'Arc alpin (figure 9). Les événements extrêmes ont les conséquences les plus graves sachant que les dommages causés par les orages et tempêtes augmentent de façon non-linéaire avec à la vitesse maximum du vent (Klawe et Ulbrich, 2003).

Figure 9. **Pertes économiques et assurées associées aux risques naturels dans les Alpes, 1980-2005**



Source : Données communiquées par MunichRe, GeoRisk Research © 01/2006 NatCatSERVICE ®.

¹³ Le *foehn* est un vent chaud, sec et souvent fort qui souffle dans les Alpes du Nord. Il peut provoquer une hausse soudaine et spectaculaire de la température en l'espace de quelques heures.

Les changements climatiques pourraient se traduire par une exacerbation des orages et tempêtes due à la modification des gradients de pression et de température et à l'accélération de la circulation atmosphérique. Pour ce qui est des tempêtes de *foehn*, les effets des changements climatiques ne sont pas encore clairs (OcCC 2003). Les scénarios indiquent toutefois une intensification possible des tempêtes hivernales en Europe occidentale (OcCC 2003). Selon une étude récente de SwissRe, les orages et tempêtes augmenteront en fréquence et en intensité en Europe. Dans le cas de la Suisse, l'étude fait état d'une augmentation moyenne de 19 % des pertes économiques annuelles durant la période 1975-2085 (SwissRe 2006).

1.3. Avalanches

Les avalanches se produisent sur les versants escarpés, et les fortes chutes de neige dans les secteurs situés à plus de 1200m sont le principal facteur climatique en cause (OcCC 2003). Les avalanches résultent de la rupture de l'équilibre du manteau neigeux, que peuvent déclencher les vibrations provoquées par des skieurs, des animaux ou des chutes de rochers ou de séracs. Elles peuvent être extrêmement violentes et causer de très gros dégâts dus au poids et au volume de la neige déplacée et aux divers matériaux qu'elles entraînent sur leur passage (glace, rochers, arbres, etc.). Les régions les plus touchées sont les zones de haute montagne, notamment les Alpes françaises et suisses et la partie occidentale de l'Autriche. Au cours des 30 dernières années, les avalanches ont fait en moyenne 100 victimes par an dans les Alpes (EEA 2003). Les victimes sont principalement des skieurs. Les plus grosses avalanches peuvent parcourir des kilomètres et entraîner des destructions massives dans les forêts et les zones habitées situées en aval. Dans les 19 cantons suisses couvert par des régimes d'assurance publics, les avalanches ont causé pour près de 70 millions EUR (110 millions CHF) de dommages assurés durant la période 1995-2005¹⁴. On peut aussi citer l'exemple de l'avalanche de Montroc, survenue en 1999 en France, qui a déplacé près de 300 000 mètres cubes de neige, tuant 12 personnes, en blessant 20 autres et détruisant 14 chalets (Glass *et al.* 2000).

Aucune tendance nette ne ressort en ce qui concerne la fréquence et le nombre d'avalanches dans les Alpes au cours du siècle dernier. En Suisse, un recul de l'enneigement a été enregistré durant les années 90, mais les liens avec l'incidence des avalanches demeurent incertains. Dans certaines régions, notamment de haute altitude, l'accroissement des précipitations hivernales sous l'effet des changements climatiques pourrait se traduire par un épaississement du manteau neigeux. Si la fréquence des fortes chutes de neige augmente, les risques d'avalanches extrêmes pourraient également augmenter. A de plus basses altitudes, le risque d'avalanche ne devrait pas s'aggraver (OcCC 2003).

¹⁴ Source : Union intercantonale de réassurance, www.kgvonline.ch.

1.4. *Mouvements de masse*

Les mouvements de masse, qu'il s'agisse de glissements de terrain, de coulées boueuses ou d'éboulements de rochers, font chuter ou glisser de grandes quantités de pierres ou de sol. Certains peuvent être soudains, comme les petits éboulements ou les coulées de boue, tandis que d'autres sont précédés de signes précurseurs clairs et peuvent mettre longtemps à se déclencher (gros éboulements de rochers, glissements de terrain profonds ou fluage). Les mouvements de masse résultent le plus souvent de l'instabilité des versants et de la dégradation des sols induites par les phénomènes de dissolution et d'érosion. La saturation hydrique des sols résultant de fortes chutes de pluie ou de la fonte des neiges est souvent propice aux mouvements de masse.

Les mouvements de masse peuvent présenter un danger pour les personnes et les biens matériels ; si les chutes de pierres peuvent faire des victimes humaines, les gros éboulements peuvent causer des dégâts et endommager les bâtiments et infrastructures. Dans les 19 cantons suisses assurés par des assureurs publics, les mouvements de masse ont causé pour près de 21 millions EUR (33 millions CHF) de dommages assurés durant la période 1995-2005¹⁵. Le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux est un autre type de mouvement de masse lié aux sécheresses, qui endommage les fondations des habitations. En France, dans le département des Alpes maritimes, ce risque est devenu le plus coûteux depuis quelques années (Prudent, 2006).

Certaines tendances se dégagent actuellement de l'étude de l'incidence des mouvements de masse. Dans les zones de plus faible altitude (<2 200m) des Alpes françaises, le nombre de coulées de débris et la fréquence des coulées de moins de 400 m de long a fortement diminué depuis les années 80 (Jomelli *et al.* 2004). Les liens entre les mouvements de masse et les changements climatiques sont complexes en raison des divers facteurs susceptibles d'influer sur leur incidence. L'accroissement des précipitations en hiver, augmentant les apports d'eau, pourraient réduire la stabilité et conduire à des mouvements de masse plus fréquents. Mais l'élévation de la limite de la forêt pourrait stabiliser certaines zones qui n'étaient pas boisées auparavant. Les scénarios de changements climatiques indiquent une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des glissements de terrains et laves torrentielles due à l'intensification des précipitations en été. La fréquence des éboulements devrait aussi s'accroître en raison de la modification du processus de dégel au printemps¹⁶. Cependant l'incidence des mouvements de masses ne devrait pas évoluer uniformément dans les régions alpines. Dans les Alpes du Sud, les changements climatiques pourraient réduire le nombre de mouvements de masse car les effets de l'intensification des précipitations seront contrebalancés par le climat plus sec (Bathurst *et al.* 2005).

¹⁵ Source : Union intercantonale de réassurance, www.kgvonline.ch.

¹⁶ Markus Stoffel, Université de Fribourg, communication personnelle.

1.5. Glaciers et pergélisol

L'évolution des glaciers met en mouvement de grandes masses de glace qui peuvent causer des dommages aux infrastructures (remontées mécaniques, par exemple), mais peut aussi provoquer des événements beaucoup plus graves notamment des inondations par vidange de lacs glaciaires (GLOF) ou des avalanches de glace. Le déversement des lacs glaciaires peut aussi entraîner des laves torrentielles. L'évolution des glaciers peut aussi avoir des répercussions sur les cours d'eau en été, les périodes de fortes chaleurs pouvant accroître la quantité d'eau de fonte. Toutefois, à plus long terme, la réduction de la masse glaciaire devrait réduire le débit des cours d'eau en été. D'un autre côté, la fonte du pergélisol peut déstabiliser les rochers ou débris qui s'y trouvent et provoquer des éboulements et laves torrentielles. Les réactions en chaîne et les combinaisons de risques (chutes de blocs déclenchant des inondations par vidange de lacs glaciaires ou des avalanches) sont également possibles.

Les inondations par vidange de lacs glaciaires constituent le plus grand danger glaciaire en raison de l'importance du volume d'eau et de la superficie de terrains concernés. Heureusement, les lacs glaciaires responsables des GLOF se forment généralement très lentement et peuvent être surveillés (Kääb *et al.* 2005). Toutefois, la formation de poches d'eau à l'intérieur des glaciers est moins bien comprise par les scientifiques, et ces phénomènes sont beaucoup plus difficiles à surveiller. Les avalanches de glace sont des phénomènes beaucoup plus soudains mais affectent des zones beaucoup plus circonscrites. Elles peuvent toutefois entraîner des réactions en chaîne dont les conséquences sont bien plus importantes.¹⁷ Les zones de haute altitude des Alpes suisses, françaises et italiennes sont les plus exposées aux risques glaciaires (voir la figure 10).

A l'échelle planétaire, 30 à 50 % des glaciers actuels pourraient disparaître d'ici 2100 en cas de réchauffement de 2 à 4 °C (Beniston 2003). Selon les études récentes sur les Alpes suisses, un réchauffement de 5 °C ferait disparaître pratiquement tous les glaciers alpins d'ici 2100 (Zemp *et al.* 2006). L'élévation des températures et la récession des glaciers favorisant la formation de lacs glaciaires pourraient faire augmenter l'incidence des GLOF. Dans les scénarios de changement climatique, le réchauffement du pergélisol entre les parois rocheuses devrait provoquer des éboulements et des problèmes géotechniques récurrents qui affecteront les infrastructures humaines (Gruber *et al.* 2004). D'une façon générale, dans les zones de glacier et de pergélisol, le réchauffement du climat devrait réduire la stabilité des versants et accroître le risque de mouvements de masse.

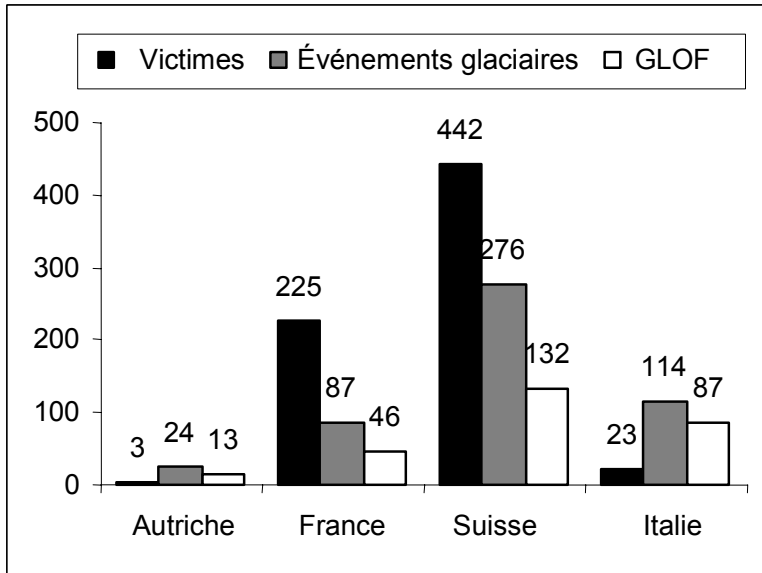
La multiplication des mouvements de masse dans les zones de pergélisol et de glaciers a été attestée dans certaines régions des Alpes. Par exemple, les laves torrentielles issues de glaciers sont plus nombreuses dans le Canton du Valais en Suisse (OcCC 2003). La canicule de l'été 2003 a été associée à des éboulements exceptionnels dus à la déglaciation de la roche (Gruber *et al.* 2004). Ces dangers sont directement liés

¹⁷ Wilfried Haerberli, Université de Zurich, communication personnelle.

à la récession des glaciers et du pergélisol, qui est certainement le signe le plus manifeste des changements climatiques. Toutefois, une étude récente a montré que les laves torrentielles issues des zones de pergélisol au Ritigraben (Alpes suisses) ont diminué, mais il faut ajouter à ce constat qu'une réduction de la fréquence peut entraîner des phénomènes de plus grande ampleur en raison de l'accumulation d'une plus grande quantité de matériaux entre chaque événement (Stoffel et Beniston, 2006).

Figure 10. **Pertes humaines, événements glaciaires et GLOF en Autriche, en France, en Italie et en Suisse**

(phénomènes attestés, approx. 1600 à 2000)



Source : <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>.

1.6. Feux de forêts

Les conditions propices aux feux de forêts sont largement déterminées par les variables climatiques et la couverture végétale, cette dernière étant également conditionnée par l'activité humaine. La chaleur, la sécheresse, les vents (*le foehn*) et les orages sont autant de facteurs climatiques directement liés aux feux de forêts. Cependant, les incendies de forêts sont souvent provoqués par l'homme. Les zones de basse montagne des Alpes du Sud sont particulièrement touchées en raison de facteurs à la fois climatiques et environnementaux (FAO 2001, OcCC 2003).

Les feux de forêts affectent directement les forêts et les industries exploitant cette ressource, notamment le tourisme d'été et l'industrie forestière, mais aussi indirectement les intérêts écologiques. Les bâtiments et infrastructures situés à proximité des zones forestières peuvent aussi subir des dommages. Les plans

d'évacuation et de sauvetage permettent généralement d'éviter les victimes, même si quelques cas sont parfois signalés.

Les changements climatiques pourraient faire sensiblement augmenter le risque d'incendie. On observe déjà une évolution dans ce sens dans certaines régions des Alpes. Reinhard *et al.* (2005) ont montré que le risque d'incendie dû à la sécheresse avait augmenté entre 1971 et 2005 dans la partie sud des Alpes suisses. De même, dans les massifs situés au nord du Canton du Valais en Suisse, le nombre d'incendies et la superficie touchée par le feu ont été 3 à 4 fois plus importants au cours des années 90 qu'au cours des décennies précédentes (OcCC 2003). En revanche, le département des Alpes maritimes, qui est la région la plus affectée des Alpes françaises, a enregistré une baisse de la superficie touchée par les feux de forêts entre 1973 et 2005¹⁸. Sous l'effet des changements climatiques, l'intensification prévue des orages d'été pourrait faire augmenter les risques d'incendie de forêts. Dans les Alpes du Sud, l'élévation prévue des températures, le renforcement probable des vents et l'intensification des sécheresses devraient aussi créer des conditions plus favorables aux feux (OcCC 2003).

2. Synthèse des principales vulnérabilités et conséquences pour l'adaptation

La nécessité de mettre en place des mesures d'adaptation pour faire face aux effets des changements climatiques sur les risques naturels dépend du degré de corrélation entre les changements climatiques et le risque considéré, et de l'importance générale de ce risque. Le tableau 6 présente une synthèse subjective des liens entre les différents risques et les changements climatiques en reprenant les éléments de l'analyse proposée dans la précédente section et en indiquant l'importance des risques au plan géographique et économique.

Il ressort de ce tableau 6 que de nombreux dangers étroitement associés aux changements climatiques ont en fait une importance économique de moyenne à faible. Les effets les plus nets des changements climatiques sur les risques naturels concernent les zones glaciaires et le pergélisol. Dans une perspective *nationale*, les dommages associés à ces dangers ont des implications économiques limitées étant donné que les régions touchées sont généralement isolées et très peu peuplées. Ces dommages ont en revanche beaucoup plus d'importance pour les communautés *locales* et peuvent aussi avoir des conséquences négatives indirectes pour l'industrie du tourisme.

D'autre part, les dangers, tels que les inondations et les tempêtes, qui pourraient avoir des retombées économiques et sociales beaucoup plus importantes, ont des liens beaucoup plus complexes et incertains avec les changements climatiques. En dépit des incertitudes concernant les impacts potentiels des changements climatiques sur les crues et les tempêtes hivernales, les risques liés à ces changements doivent être pris au sérieux étant donné l'importance économique de ces événements pour les sociétés alpines qui sont de plus en plus vulnérables en raison des pressions démographiques, des conflits d'utilisation des terres et d'autres pressions.

¹⁸ Source : Base de données Promethee, www.promethee.com.

Tableau 6. **Incidences des changements climatiques sur les risques naturels dans l'Arc alpin**

Modification des risques naturels	Degré de confiance dans les changements projetés	Régions les plus touchées	Importance économique
<u>Risques liés au pergélisol</u> : Augmentation de la fréquence des éboulements et de l'ampleur des laves torrentielles	Très élevé	Haute montagne, zones touristiques	Faible
<u>GLOF</u> : accroissement de l'incidence des inondations par vidange de lacs glaciaires	Très élevé	Haute montagne, zones touristiques	Faible
<u>Autres risques glaciaires</u> : Plus fréquents et plus importants	Élevé	Haute montagne, zones touristiques	Faible
<u>Crues d'hiver</u> : Augmentation en intensité et en fréquence	Moyen	Basse montagne, zones densément peuplées	Très élevée
<u>Orages et tempêtes</u> : Augmentation en intensité et en fréquence	Moyen	Arc alpin, zones densément peuplées	Très élevée
<u>Éboulements de rochers</u> : Plus fréquents	Moyen	Basse et moyenne montagne	Moyenne
<u>Feux de forêts</u> : plus nombreux dans les Alpes du Sud	Moyen	Basse montagne du sud des Alpes	Moyenne
<u>Glissements de terrain et laves torrentielles</u> : Plus fréquents et plus importants	Moyen/Faible	Basse et moyenne montagne	Moyenne
<u>Avalanches</u> : plus fréquentes et plus importantes à haute altitude	Faible	Haute montagne, zones touristiques	Moyenne

La question est maintenant de savoir comment faire en sorte que la gestion des risques naturels intègre les risques liés aux changements climatiques dans les Alpes ? L'analyse ci-dessus prêche de toute évidence en faveur d'une action à plusieurs niveaux. Il serait naturel dans un premier temps d'agir au niveau des structures institutionnelles et des mécanismes de transfert de risques déjà mis en place dans les pays alpins pour faire face aux risques naturels. Les changements climatiques et ses implications (même incertaines) donnent une raison de plus d'améliorer l'efficacité de ces structures et mécanismes. Deuxièmement, les changements climatiques pourraient aussi nécessiter d'ouvrir ces mécanismes sur l'avenir pour tenir compte des risques anticipés, et de les assouplir pour pouvoir y intégrer plus facilement les informations nouvelles à mesure de l'évolution des risques. Troisièmement, dans le cas des risques climatiques évoluant plus rapidement (fonte du pergélisol et déglaciation, notamment), les stratégies d'adaptation devront, pour être efficaces, placer ces risques sous haute

surveillance. Enfin, on connaît déjà quelques cas, de plus en plus nombreux, dans lesquels les changements climatiques font peser une menace particulière sur l'homme et les infrastructures. Ces situations devront faire l'objet de projets spécifiques ponctuels pour prévenir à un stade précoce l'aggravation de ces risques.

Les sections qui suivent passent en revue les éléments de l'approche multidirectionnelle envisagée pour faire face aux implications des changements climatiques en termes de risques naturels : mise à profit des cadres existants de gestion des risques naturels et des mécanismes de transfert des risques, assouplissement et ouverture vers l'avenir des mécanismes existants, surveillance active de l'évolution des risques climatiques, et mise en oeuvre de projets spécifiques d'adaptation pour faire face aux dangers immédiats dus aux changements climatiques.

3. Mise à profit des mécanismes existants de gestion des risques naturels et de transfert des risques

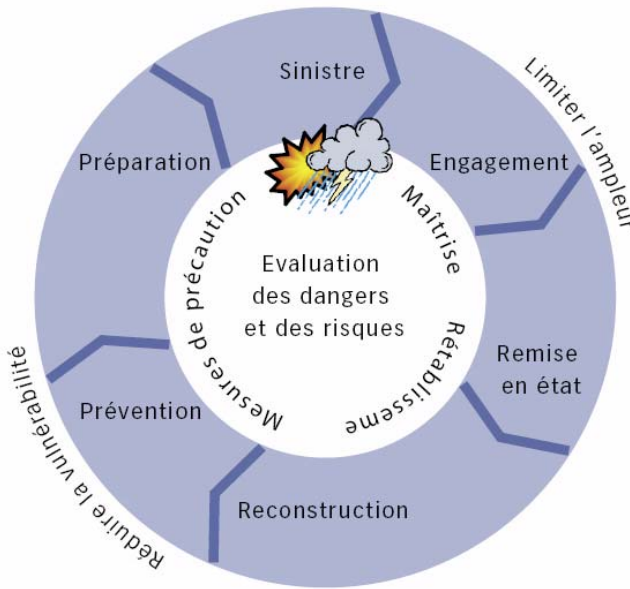
Les pays alpins ont été exposés de tous temps à des risques naturels. Pour gérer ces phénomènes, les communautés et les autorités ont eu recours à divers instruments économiques, juridiques et techniques à différents niveaux du cycle du risque (voir figure 11). La préparation fait intervenir des mesures telles que la mise en place de systèmes d'alerte précoce, la planification des opérations de sauvetage, l'évacuation, et le relogement provisoire. Les mesures de prévention et de protection contribuent à réduire l'exposition aux dangers. Chacune d'elle présente divers avantages et inconvénients au plan économique, social et environnemental. Les dispositions de protection peuvent certes réduire l'exposition mais elles peuvent aussi induire un relâchement des efforts en émoussant la conscience du risque, et en fin de compte accroître l'exposition en favorisant l'aménagement de zones protégées. D'un autre côté, l'aménagement du territoire vise à réduire les dommages en gérant ou limitant l'exposition. Toutefois, les avantages à long terme des politiques d'aménagement, qui réduisent généralement les possibilités d'utilisation de l'espace, sont souvent en contradiction avec les intérêts économiques locaux à court terme. De plus, les risques doivent être très précisément cartographiés parce que l'exposition peut varier considérablement entre deux zones, même très proches, et que la surface habitable est très réduite en montagne. Par conséquent, il pourra être difficile politiquement de gérer efficacement l'exposition par le biais de l'aménagement de l'espace. Le recours aux assurances pour diluer les coûts financiers fait aussi partie des éléments clés de la gestion des dangers et permet d'améliorer la résilience des communautés. Toutefois, l'ampleur des dommages et leur amplification par effet « boule de neige », conjugués au manque d'informations sur l'exposition aux risques, peuvent être problématiques et compromettre l'assurabilité des risques.

3.1. Cadres nationaux de gestion des risques naturels

Les cadres de gestion des risques naturels des pays alpins présentent certaines similitudes mais diffèrent aussi au niveau des structures de gouvernance, de l'engagement des parties concernées dans la gestion des dangers, et de la portée et de

l'efficacité des politiques en place. Dans cette section, on passera brièvement en revue ces cadres en faisant ressortir certains de leurs points forts et certains de leurs faiblesses.

Figure 11. Le cycle du risque



Source : ARE, 2006.

3.1.1. Autriche

En Autriche, les responsabilités en matière de gestion des risques naturels sont partagées entre les autorités fédérales, celles des *Lander* et les autorités locales. Dans la pratique, l'aménagement spatial, l'intervention et la gestion des crises, de même que les mesures de remise en état incombent aux *Lander* et aux autorités locales. Au niveau fédéral, le gouvernement autrichien fournit des orientations, une expertise ainsi que des ressources pour planifier et financer les activités de gestion des différents dangers. Le ministère fédéral de l'Agriculture, des Forêts, de l'Environnement et des Eaux et les agences qui en dépendent jouent un rôle de premier plan dans la gestion des risques naturels.

Le Service fédéral de génie forestier chargé des torrents et de la lutte contre les avalanches (WLV) est responsable de la planification et de la mise en oeuvre des mesures de contrôle et de protection techniques et biologiques ; l'Office fédéral des aménagements hydrauliques (BWV) intervient quant à lui en prenant des mesures de prévention et de protection contre les inondations. Ces mesures sont financées par les autorités locales et par le Fonds de secours en cas de catastrophe qui relève du ministère

fédéral des Finances. Ce Fonds consacre environ 150 millions EUR chaque année aux mesures de prévention¹⁹.

Les agences fédérales, à savoir le WLV et le BWV, cartographient les risques en coopération avec les autorités et les communautés locales. En 2005, des cartes de dangers avaient été établies pour 30 à 100 % des zones à risque, ce chiffre variant selon les Lander. Ces zones devraient être intégralement cartographiées en 2010 (BMLFUW 2005). Les cartes de risques n'ont pas d'incidences juridiques. Les textes législatifs concernant l'aménagement du territoire émanent des Lander et se limitent la plupart du temps à des recommandations non contraignantes à l'intention des autorités locales. Or les autorités locales ont souvent appliqué ces recommandations en donnant la priorité à l'attractivité de leur communauté, au détriment de la planification (BMLFUW 2004). De fait, selon le BMLFUW (2004) « *l'ampleur des dommages [dus aux inondations de 2002] dans de nombreuses régions peut être attribuée dans une très large mesure au manque de coordination des textes relatifs au zonage des risques et à la planification régionale* » (p.396). En 2006, certains Lander ont resserré leurs politiques d'aménagement du territoire pour mieux gérer l'exposition aux risques naturels. Le Land de Basse-Autriche a tout simplement interdit la construction dans les zones de crues centennales. Le Land du Tyrol a quant à lui amendé sa législation sur l'aménagement du territoire jugée trop vague et précisé les critères applicables pour déterminer quels terrains sont constructibles et quelles zones présentent des dangers, ce qui réduit la marge de manoeuvre des autorités locales²⁰.

3.1.2. France

En France, la gestion des risques naturels est centralisée et relève principalement de l'État. Elle incombe au ministère de l'Écologie et du Développement durable et, dans une moindre mesure, au ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Intérieure et des Libertés Locales (MISILL). Au plan local, les principaux acteurs chargés de la gestion des risques naturels sont les préfets, qui représentent le pouvoir central, et les maires. Au ministère de l'Écologie et du Développement durable, la Direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR) élabore les politiques de prévention des risques naturels ; ces mesures sont planifiées et mises en oeuvre au plan local. Les maires doivent veiller à l'application du principe de précaution. Les agences publiques nationales (Météo France, le Cemagref, par exemple) et départementales (Cellules d'Analyse des Risques et d'Information Préventive – CARIP, par exemple) fournissent des services et compétences spécialisés et un soutien technique.

Il importe de noter qu'en France les mesures de prévention sont centralisées depuis 1995 dans un cadre unique : le plan de prévention des risques naturels prévisibles

¹⁹ Elisabeth Ottawa, Ministère fédéral des Finances de l'Autriche (Bundesministerium für Finanzen), communication personnelle.

²⁰ Elisabeth Stix, Conférence autrichienne pour l'aménagement du territoire (ÖROK), communication personnelle.

(PPR). Les PPR sont adaptés pour chaque commune et doivent être développés et approuvés par le préfet en consultation avec les collectivités locales et les représentants de la société civile (assurances, ONG, par exemple). Les PPR apportent des informations de par l'identification des zones à risque et définissent les mesures de prévention que doivent prendre les autorités locales, ainsi que les utilisations possibles des terres ou des bâtiments situés dans ces zones. Un Fonds national (Fonds Barnier) accompagne la mise en oeuvre des PPR en finançant diverses activités (voir tableau 7).

Table 7. **Activités financées par le Fonds Barnier entre 2003 et 2005, et projections jusqu'en 2007**

Dépenses (millions EUR)	2003	2004	2005	2006*	2007*
Expropriations	3,05	1,71	7,98	0,66	0,28
Financement de l'établissement des PPR	8,39	3,47	6,96	16,00	16,00
Mesures de prévention et évacuation temporaire	0,01	0,04	14,92	7,10	7,10
Études et planification locales	–	–	6,36	30,00	30,00
Mesures extraordinaires	5,6	–	–	2,00	5,00
TOTAL	17,05	5,22	36,22	57,76	58,38

*Projections

Source : Ministère de l'Écologie et du Développement durable/DPPR.

En décembre 2005, plus de 5 000 communes avaient établi un PPR. Cependant, dans les régions alpines²¹, seulement 35 % des 2193 communes exposées à des risques naturels avaient un PPR prescrit ou approuvé, d'où la nécessité de continuer à promouvoir et accélérer les initiatives de prévention. La plupart des plans de prévention des communes des Alpes couvrent les inondations (92 %) suivies des mouvements de masse (56 %), des avalanches (26 %) et des feux de forêts (14 %) (voir annexe 6). Il importe par ailleurs de noter que le non-respect des mesures prescrites par les PPR peut avoir des incidences juridiques, ce qui encourage fortement les communes à respecter leurs obligations en matière de prévention. Le manque de volonté politique et les difficultés rencontrées pour mettre en place une coopération efficace entre les différents niveaux d'administration affaiblissent toutefois les efforts de prévention des risques déployés par le gouvernement français (OCDE 2006).

²¹ Les Alpes françaises ont été définies comme l'ensemble des départements suivants : Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes Maritimes, Drôme, Isère, Savoie, Haute-Savoie, Var et Vaucluse.

3.1.3. Suisse

En Suisse, le gouvernement fédéral définit le cadre juridique régissant la gestion des risques naturels ainsi que le soutien financier et technique, les autorités cantonales et locales étant chargées des aspects opérationnels. La Constitution fédérale ainsi que la législation fédérale concernant les forêts, les cours d'eau et les aménagements hydrauliques, et l'aménagement du territoire établissent les fondements législatifs de la gestion des risques naturels. Le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) sont les principaux organismes chargés de la gestion des risques naturels. Les autorités cantonales et communales se chargent quant à elles des aspects opérationnels de la gestion des risques naturels. Aux termes de la Loi fédérale sur les forêts, les autorités cantonales doivent assurer la gestion intégrée des risques naturels en tenant compte des intérêts de la gestion forestière, des ouvrages hydrauliques, de la protection de la nature et des paysages, de l'agriculture et de l'aménagement du territoire. Les cantons doivent aussi assurer la sécurité face aux risques naturels en privilégiant dans la mesure du possible les mesures respectueuses de l'environnement.

Les mesures de protection techniques et biologiques sont planifiées et mise en oeuvre par les autorités locales et cantonales en liaison avec les propriétaires fonciers et les services d'ingénierie. Les autorités fédérales appuient ce processus et les efforts déployés en versant des subventions qui peuvent couvrir jusqu'à 50 % des coûts. Cependant, les mesures de prévention concernant les biens isolés incombent à leurs propriétaires qui peuvent être des personnes privées ou des institutions publiques.

Aux termes de la Loi fédérale sur les forêts, les autorités cantonales doivent fournir les documents nécessaires à la protection contre les risques naturels. En Suisse, la base de données numériques StorMe, qui réunit des informations sur les événements de risque, est accessible depuis la fin des années 90 aux autorités cantonales afin d'améliorer l'information et la mise en commun des expériences. Les principaux documents sont les cartes de risques qui délimitent les zones exposées à des risques élevés, moyens et faibles. Les autorités élaborent les mesures et réglementations relatives à l'aménagement de l'espace en tenant compte de ces cartes. Les constructions nouvelles sont généralement interdites dans les zones de risque élevé (zones rouges) et doivent répondre à certaines prescriptions et règles de sécurité dans les zones de risque moyen (zones bleues). Dans les zones de risque faible (zones jaunes) seuls les bâtiments sensibles (les écoles, par exemple) sont interdits. A l'heure actuelle, la couverture des cartes de risques suisses atteint 66 % pour les avalanches, 30 % pour les inondations, 29 % pour les éboulements de rochers et 23 % pour les glissements de terrain (DETEC 2006a). Elle devrait être totale en 2011. Ces documents ont force obligatoire et renforcent la législation sur l'aménagement spatial en assurant une mise en oeuvre plus efficace. Dans les secteurs où la population ou des biens de grande valeur sont exposés à des risques naturels, les autorités locales sont tenues de mettre en place des systèmes d'alerte et bénéficient pour ce faire du concours d'institutions nationales telles que l'Institut suisse de météorologie et l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches.

3.2. Assurance et mécanismes de transfert des risques

Les mécanismes d'assurance représentent un instrument important pour répartir les risques et atténuer les conséquences financières des risques naturels. Ces mécanismes jouent un rôle clé pour accroître la résilience à la variabilité et aux changements climatiques. Les assureurs peuvent aussi contribuer au transfert des initiatives de prévention, notamment à travers l'application de codes de construction ou la définition de conditions d'assurance basées sur l'exposition au risque. En Autriche, en France et en Suisse, les risques naturels sont généralement couverts par les assurances dommages aux biens, ce qui accroît la résilience des sociétés de ces pays aux conséquences des changements climatiques. L'UE a par ailleurs mis en place le Fonds de solidarité de l'Union européenne afin de renforcer la solidarité transfrontalière face aux dommages causés par les catastrophes naturelles (voir encadré 5). Cependant, l'amplification des dommages pourrait compromettre l'assurabilité des risques naturels. Les assureurs ont donc cherché à gagner en efficacité et ont amélioré le transfert des incitations à la prévention de façon à réduire le coût des systèmes d'assurance.

Encadré 5. Fonds de solidarité de l'Union européenne

Le Fonds de solidarité de l'Union européenne (FSUE) a été créé en 2002 en réponse aux inondations dévastatrices qui ont eu lieu au cours de l'été 2002 et aux dommages qu'elles ont causés. Le Fonds verse des aides financières en cas de catastrophe occasionnant des dégâts nationaux dont l'estimation est soit supérieure à 3 milliards EUR (prix 2002) soit représente plus de 0.6 % du revenu national brut. Des exceptions peuvent être faites si les dégâts affectent la majeure partie de la population de la région concernée et si la stabilité économique est menacée. Le budget annuel du Fonds de solidarité est d'un milliard EUR. Le Fonds peut financer la mise en oeuvre de mesures provisoires d'hébergement, la réparation immédiate et temporaire des infrastructures clés (eau, énergie, transport), et le nettoyage des zones affectées. L'Autriche a ainsi reçu 134 millions EUR du FSUE au titre des inondations de 2002 et 14.8 millions EUR pour celles de 2005 (BMF 2006)²².

Source : CCE 2005.

3.2.1. Autriche

En Autriche, les compagnies d'assurance privées offrent des assurances contre les risques naturels sur un marché non réglementé. L'assurance contre les risques naturels (tempêtes, pression de la neige, éboulement/chutes de rochers et de pierres et glissements de terrain) est proposée en extension de l'assurance-dommages de base et sans franchise (couverture intégrale). Les primes sont calculées d'après l'ensemble des dommages anticipés mais il n'existe pas de différenciation spatiale en fonction de

²² Elisabeth Ottawa, Ministère fédéral des Finances de l'Autriche (Bundesministerium für Finanzen), communication personnelle.

l'exposition au risque. Depuis 1995, les assurances contre les inondations peuvent être prises en option, mais l'indemnisation est limitée (de 3 500 et 5 000 EUR environ) et les primes sont élevées. Des assurances inondations peuvent être aussi prises en option dans les zones qui ne devraient pas être affectées par des crues centennales. En conséquence, l'assurance contre les inondations demeure limitée et coûteuse²³.

L'un des principaux obstacles auxquels se heurtent les compagnies privées d'assurance autrichiennes qui offrent des assurances contre l'inondation est l'intervention des pouvoirs publics qui en indemnisant les dommages par le biais du Fonds autrichien pour les catastrophes, n'encouragent pas les individus à souscrire ce type d'assurance. Le secteur public joue un rôle important en matière d'indemnisation des dommages liés aux risques naturels. Les indemnités ne couvrent en général que 20 à 30 % des pertes privées (BMF 2006). Elles sont financées par le gouvernement fédéral (60 %) et par les Lander (40 %). Dans certaines circonstances, les niveaux d'indemnisation peuvent être plus élevés, comme ce fut le cas pour les inondations de 2002 où les indemnités ont oscillé entre 30 % et 67 % selon les Lander (Prettenhaler et Veters 2006).

3.2.2. France

En France, les compagnies d'assurance privées offrent la garantie tempête, grêle et neige (TGN) sur un marché réglementé. Les dommages causés par d'autres phénomènes tels que les inondations, les avalanches et les glissements de terrain sont considérés comme non assurables et sont couverts par un programme public-privé (régime CatNat) soutenu par l'État à travers la Caisse Centrale de Réassurance (CCR). La législation en place assure le financement du régime CatNat grâce à l'application d'une surprime à tous les contrats d'assurance-dommages aux biens dans tout le pays. Cette surprime de 12 %²⁴ est la même dans toutes les régions et ne dépend pas de l'exposition aux risques naturels. En France, l'assurance dommages aux biens est obligatoire d'où une grande diversification des risques, chaque unité de propriété devant être assurée. Le système d'assurance français est aussi directement lié à la mise en oeuvre de mesures de prévention. Premièrement, 2 % de la surprime sont versés au Fonds Barnier qui finance les efforts de prévention des collectivités locales ou des individus. L'absence d'un plan de prévention des risques (PPR) approuvé dans une commune peut donner lieu à une augmentation de franchise. Ces mécanismes tendent à réduire les problèmes d'aléa moral²⁵, mais avec plus ou moins de succès (Dumas *et al.* 2005).

²³ Gerahrd Wagner, UNIQA Versicherungen AG, communication personnelle.

²⁴ Cette surprime est de 12 % pour tous les biens, à l'exception des véhicules terrestres à moteur pour lesquels le taux est de 6 %.

²⁵ Le terme aléa moral est employé pour désigner une situation créée par une information asymétrique, dans laquelle l'existence de mécanismes d'assurance ou de transfert des risques conduit les preneurs d'assurance à accepter une plus grande exposition au risque.

3.2.3. Suisse

En Suisse, des assureurs de droit public en situation de monopole, les établissements cantonaux d'assurance (ECA), assurent la protection complète des biens (garantie illimitée) contre les risques naturels dans 19 cantons. Les 7 autres cantons font appel à des compagnies privées sur des marchés réglementés. Dans les cantons couverts par les ECA, l'assurance risques naturels est obligatoire : les primes sont uniformes dans la plupart de ces cantons et ne dépendent pas de l'exposition aux risques naturels. Les ECA ont ceci de particulier qu'ils participent à l'organisation et au financement des activités de prévention. Leur situation de monopole leur permet d'internaliser le coût des efforts de prévention qui se traduisent pas une réduction des dommages et des demandes d'indemnisation, et d'assurer une gestion intégrée des dangers (Kamber 2006, Ungern-Sternberg 2004). Les ECA peuvent imposer des codes de construction et des prescriptions applicables aux nouveaux bâtiments dans les zones à risque²⁶ pour réduire les dommages potentiels. Lorsque les prescriptions ne réduisent pas suffisamment les dommages potentiels, les ECA peuvent également appliquer une surprime²⁷.

Sept cantons suisses, dont plusieurs situés dans les régions alpines (cantons du Valais, de Ticino et de Genève) ont un régime d'assurance privée réglementé. Contrairement aux ECA, ces compagnies d'assurance privées n'offrent pas de garantie illimitée. Bien que l'assurance ne soit pas obligatoire dans ces sept cantons, 95 % des bâtiments y sont assurés. Les primes d'assurance sont réglementées et uniformes dans toutes les régions et ne tiennent donc pas compte de l'exposition aux risques des bâtiments. Les franchises et le champ d'application sont les mêmes dans toutes les régions et ne sont pas liés à l'exposition au risque.²⁸

3.3. Évaluation des mécanismes existants

Dans une perspective mondiale, la capacité d'adaptation des pays alpins aux risques naturels est très élevée. Ces pays possèdent des réglementations et structures institutionnelles destinées à faciliter la gestion des risques naturels, de même que des mécanismes d'assurance permettant le transfert des risques. Après avoir initialement fait porté l'effort sur la reprise après sinistre, les pays alpins s'orientent de plus en plus vers la prévention des catastrophes et cherchent à privilégier des stratégies d'adaptation à caractère anticipatif en exploitant au mieux les synergies. Autre évolution positive : la gestion intégrée des risques naturels, qui met l'accent sur l'engagement et la sensibilisation des parties intéressées et sur la prise en compte de tous les éléments du cycle du risque (de la prévention à la remise en état), gagne du terrain. Cela se traduit par une meilleure coordination et coopération entre les parties concernées par la gestion

²⁶ Le code de construction et les prescriptions sont principalement appliqués dans les zones bleues (risque moyen) et toute nouvelle construction est interdite dans les zones rouges (risque élevé).

²⁷ Markus Fisher, GVA Graubünden, communication personnelle.

²⁸ Maz Gretener, Swiss Insurance Association, communication personnelle.

des risques naturels et une plus large place accordée aux mesures de prévention, peu utilisées par le passé. L'encadré 6 présente deux initiatives qui vont en ce sens, l'une lancée par la Convention alpine, et l'autre prenant place au plan national en Suisse. L'évolution vers une gestion intégrée s'est traduite par un renforcement de la législation concernant l'aménagement du territoire et le développement de l'information, notamment sous forme de cartes des risques à l'appui des efforts de prévention et de sensibilisation. La gestion intégrée des risques a de nombreux avantages et peut sensiblement accroître la capacité d'adaptation en améliorant l'efficacité des institutions existantes et en renforçant la coopération et la prise de conscience des risques. Elle offre aussi plusieurs points d'entrée pour introduire l'information sur le risque climatique, par exemple dans la cartographie des dangers, l'aménagement de l'espace, et la conception des mesures de prévention.

Cette évaluation montre toutefois que les risques auxquels sont exposés actuellement les pays de l'Arc alpin, et a fortiori les implications des changements climatiques, constituent pour eux un véritable défi. Par exemple, les dispositifs de gestion intégrée ne sont pas encore pleinement opérationnels dans les pays alpins, et leur mise en oeuvre reste bien souvent problématique. En France, la prévention des risques naturels souffre toujours du faible intérêt pour la connaissance et la culture du risque, de l'insuffisance des efforts de prévention due aux problèmes d'aléa moral, et de la difficulté de mettre en place une coopération efficace entre les acteurs publics (OCDE 2006). En Autriche, une étude réalisée en 2003 sur les mécanismes de transfert des risques a conclu qu'une sensibilisation insuffisante allait souvent de pair avec une information lacunaire et que les efforts passés s'étaient souvent limités à la prise de mesures techniques de protection. Les stratégies adaptatives intégrées qui allient des mesures techniques, organisationnelles, économiques, climatiques, éducatives et d'aménagement restent de rares exceptions (Hyll *et al.* 2003). La Suisse est probablement le pays le plus avancé de l'Arc alpin en matière de gestion intégrée des risques naturels. Toutefois, en 2004, la mise en oeuvre des plans de gestion n'était que partielle (PLANAT 2004).

Encadré 6. **Elaboration de stratégies de gestion intégrée**

La Plate-forme Risques naturels de la Convention alpine (PLANALP)

En 2004, la Convention alpine a créé la *Plate-forme Risques naturels - Convention alpine (PLANALP)*. La mission de PLANALP est d'élaborer des stratégies de gestion des risques naturels communes à tous les pays membres de la Convention alpine (Allemagne, Autriche, France, Italie, Liechtenstein, Monaco, Slovénie, Suisse) et des stratégies d'adaptation appropriées pour faire face à l'évolution des conditions, notamment aux changements climatiques et à leurs effets sur les régions de montagne. Le premier programme de travail PLANALP, établi au printemps 2006, prévoyait d'identifier les "meilleures pratiques", d'améliorer les échanges d'expériences transfrontalières, de renforcer le dialogue sur les risques, notamment avec le public, et d'intensifier la coopération entre les parties de la Convention alpine en vue de promouvoir une gestion intégrée et commune des risques naturels. Les premières activités PLANALP se déroulent dans le cadre du programme INTERREG IIIB "Espace alpin" de l'UE. La nécessité d'une gestion intégrée des risques naturels a été également soulignée dans la Déclaration de la IX^{ème} conférence alpine sur les changements climatiques dans les Alpes.

Sources : Convention alpine, 2006a ; Convention alpine, 2006b ; Convention alpine, 2006c.

Plate-forme nationale « Dangers naturels » – Suisse (PLANAT)

En 1997, le Conseil fédéral suisse a créé la Plate-forme nationale « Dangers naturels » (PLANAT). Cette commission interdisciplinaire a pour mandat de 1) mettre au point une nouvelle stratégie de gestion des dangers, 2) induire une évolution culturelle débouchant sur une nouvelle approche de la gestion des risques naturels – « *favoriser le passage d'une pure défense contre le danger à une gestion du risque* » et 3) coordonner les actions afin de favoriser l'échange d'expériences et de savoirs au niveau national et international. Le rôle des changements climatiques dans l'aggravation des dangers liés aux risques naturels a été reconnu lors de l'élaboration de cette stratégie.

La stratégie PLANAT, présentée en novembre 2004, repose sur une approche intégrée de la gestion des risques. Elle cherche à intégrer toutes les étapes du cycle du risque en tenant compte également d'autres risques, notamment technologiques. La stratégie met aussi l'accent sur la sensibilisation aux risques, l'engagement des différentes parties prenantes dans la gestion des risques et l'acceptation des risques résiduels par ces parties. Elle s'inscrit par ailleurs dans une perspective durable en intégrant les aspects économiques, environnementaux et sociaux dans le choix des mesures de gestion des risques naturels. Enfin, la stratégie PLANAT représente une approche prospective axée sur le long terme puisqu'elle vise à prévenir l'apparition de nouvelles sources de risques et recommande de réévaluer fréquemment (tous les cinq ans) les dangers.

Source : PLANAT, 2004.

Certains éléments importants de la gestion des risques naturels font par ailleurs défaut dans certains pays. Par exemple, la couverture du risque d'inondation reste très

limitée en Autriche. Les indemnités versées par l'État ont quelque peu soulagé les particuliers, mais la couverture des prestations reste limitée (20 à 30 % en général). De plus, l'intervention récente de l'État, a non seulement coûté cher au gouvernement, mais elle a aussi réduit la capacité des compagnies privées d'offrir une couverture étendue à un prix abordable (Hyll *et al.* 2003). À l'inverse, la France offre de bonnes garanties aux propriétaires privés. Le régime français, compte tenu de son champ d'application et de son accessibilité financière, souffre cependant de l'absence de politiques de prévention efficaces, d'où des problèmes d'aléa moral (Dumas *et al.* 2005, OCDE 2006). Des lacunes ont été récemment observées dans l'aménagement spatial en Autriche, dues au laxisme de la réglementation en place dans la plupart des Länder (BMLFUW 2004). La Suisse, en revanche, semble relativement plus au point avec des lois plus strictes sur l'aménagement du territoire et une couverture complète des risques, même si le coût de l'assurance a augmenté au cours des dernières décennies dans de nombreux cantons alpins.

Il est intéressant de noter qu'aucun des pays étudiés ne table réellement sur les incitations économiques pour appuyer et renforcer les efforts de prévention. Les primes d'assurance, par exemple, sont généralement indépendantes de l'exposition aux risques des assurés, ce qui n'encourage guère les initiatives de prévention. Il existe toutefois certaines exceptions. Par exemple, dans certains cantons suisses, les ECA ont la possibilité de relever les primes dans les zones à risque (définies par les cartes de risques) si la mise en oeuvre des codes de construction et des restrictions applicables ne réduit pas suffisamment l'exposition aux risques. L'efficacité de cet outil est cependant limitée car le relèvement des primes est modeste et rarement effectif²⁹. Citons un autre exemple, observé en France. Depuis 2000, les franchises du régime CatNat peuvent être relevées dans les communes qui ont connu des « événements CatNat » depuis 1995 et qui n'ont toujours pas de PPR prescrit ou approuvé (voir l'annexe 7). Toutefois, en dépit de la forte augmentation du nombre de PPR prescrits ou approuvés depuis 2000, l'équité de ces mesures pour les particuliers est contestable (Dumas *et al.* 2005) et l'efficacité des PPR comme outil de prévention est aussi limitée (OCDE 2006).

L'une des raisons pour lesquelles les primes d'assurance ne sont généralement pas liées à l'exposition aux risques au plan local tient au fait que beaucoup d'assureurs ne sont pas en mesure d'effectuer une évaluation des risques. Une autre, peut-être plus importante, tient au principe de solidarité selon lequel les plus exposés aux risques ne doivent pas être pénalisés. Cependant, maintenant que l'on dispose d'informations plus complètes sur le risque, il serait judicieux de mettre en balance les avantages sociaux de la solidarité et les effets positifs d'une assurance basée sur le risque qui inciterait les personnes et les communautés à prendre des mesures de prévention.

4. Une gestion plus robuste et plus souple des risques naturels

Le renforcement et la mise en œuvre efficiente des mécanismes existants de gestion des risques naturels seraient un bon point de départ, mais insuffisant à lui seul

²⁹ Markus Fisher, GVA Graubunden, communication personnelle.

pour s'adapter aux changements climatiques. En effet, la gestion actuel des risques naturels est tributaire d'informations de nature *rétrospective* en ce qui concerne la localisation, la fréquence et l'intensité de risques particuliers. Toutefois, ces trois paramètres – localisation/couverture spatiale, fréquence et intensité – peuvent évoluer, parfois dans des proportions considérables, à mesure que les impacts des changements climatiques se manifestent. C'est notamment le cas des risques glaciaires, des coulées de débris et des mouvements de terrain qui sont très sensibles aux augmentations de température et aux variations de précipitations. En d'autres termes, le passé – d'où découlent les pratiques actuelles de gestion des risques naturels – pourrait perdre de sa pertinence pour gérer les risques en cas de changement climatique.

Comment peut-on rendre les pratiques de gestion des risques naturels plus *prospectives*, compte tenu des fortes incertitudes liées à l'évolution de nombre des risques relatifs aux changements climatiques ? Une stratégie pourrait consister à durcir les normes de précaution applicables à la gestion des risques en prévision de changements dans la fréquence/intensité des risques. La prise en compte d'événements plus intenses et extrêmes dans le processus de planification devrait conduire à des mesures plus robustes. En Suisse, par exemple, les cartes de risques ont été ajustées de façon à intégrer des événements ayant une période de retour de 300 ans au lieu de s'en tenir aux événements à récurrence de 100 ans. Des ajustements ont également été opérés qui prennent désormais en compte des événements ayant une période de retour de 1 000 ans.³⁰ Que l'on intègre ou non les changements climatiques, élever les normes de précaution augmente la résilience aux événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité.

On peut aussi choisir de prévoir des mises à jour systématiques plus fréquentes des cartes de risques, qui servent de base pour l'aménagement du territoire, les conditions d'assurance et autres moyens d'intervention. En mettant fréquemment à jour ces cartes, on pourrait y intégrer des profils de risques évolutifs comme le sont les risques liés au pergélisol et aux phénomènes glaciaires. Dans les trois pays étudiés les critères utilisés pour déclencher un examen de l'exposition aux risques et des cartes pertinentes sont parfois vagues et toujours de nature réactive. Dans le cas de la Suisse, les politiques en matière d'actualisation des cartes de risques sont relativement floues, préconisant seulement des remises à jour périodiques. En France, l'examen des plans de prévention des risques et des cartes de risques est requis uniquement si les évaluations existantes des risques sont remises en cause par des événements nouveaux. De même, dans le cas de l'Autriche, le renouvellement des cartes de risques ne s'impose que s'il y a des changements dans les conditions d'un bassin hydrographique ou en cas de faits nouveaux résultant d'événements catastrophiques. L'actualisation des cartes de risques d'inondation en Autriche a été plutôt irrégulière. Si quelques cartes de risques, approuvées en 2000 ou 2001, ont déjà été réexaminées, il n'en va pas de même pour un grand nombre d'autres qui ont été établies beaucoup plus loin dans le passé (entre 1985 et 1998) (BMLFUW 2005b). A côté des mises à jour fréquentes qui prennent en compte les événements récents, on pourrait aussi inclure dans les cartes de risques des données

³⁰ Roberto Loat, Office fédéral de l'environnement, communication personnelle.

sur les risques *anticipés* posés par les changements climatiques. Par exemple, le projet de Directive pour combattre les inondations de la Commission des Communautés européennes requiert de faire figurer des données sur les changements climatiques dans les évaluations des risques d'inondation qui sous-tendent l'élaboration des cartes des inondations et des plans de gestion des crues (voir encadré 7).

Encadré 7. Développement d'une directive européenne pour combattre les inondations

A la suite des importants dommages humains et économiques provoqués par les inondations dans plusieurs pays d'Europe entre 1998 et 2004, la Commission des Communautés européennes (CCE) a classé les dommages causés par les inondations parmi les questions nécessitant une action au niveau communautaire du fait de l'aggravation potentielle des dommages imputables aux effets des changements climatiques sur l'ampleur et la fréquence des inondations et de la vulnérabilité croissante des personnes et des biens. La CCE a donc élaboré un projet de Directive pour combattre les inondations visant à réduire et à gérer l'impact des inondations sur la santé humaine, les biens et l'environnement. La Directive pour combattre les inondations devrait compléter le Fonds de solidarité de l'Union européenne en offrant une solution de rechange aux mesures d'urgence a posteriori financées par ce Fonds. Elle complète également la Directive cadre sur l'eau adoptée en 2000 qui présente des synergies avec l'adaptation aux changements climatiques en proposant des plans de gestion intégrée, durable et prospective de l'eau d'un bassin hydrographique, mais ne vise pas directement les changements climatiques.

Le projet de Directive pour combattre les inondations comporte trois grandes étapes. La première étape consiste à réaliser une évaluation du risque de crues qui comprend « l'évaluation de la probabilité d'inondations futures en fonction des données hydrologiques, des types d'inondations et de l'incidence prévue des changements climatiques et des tendances en matière d'affectation des terres » (COM(2006) 15 final p. 15). A la suite de cette évaluation, des cartes des risques d'inondation doivent être dressées et un plan de gestion des risques établi pour 2015, au plus tard. Il vise également à intégrer tous les aspects du cycle de gestion des risques en mettant particulièrement l'accent sur les étapes de prévention, protection et intervention en cas d'urgence ; et fixe le niveau de protection approprié pour réduire les risques environnementaux, humains et économiques. On prévoit de réitérer la totalité du processus tous les six ans de façon à incorporer les données nouvelles. Cependant, le projet de Directive ne règle pas l'épineuse question de l'harmonisation des informations incertaines sur les changements climatiques avec les processus décisionnels en vigueur, faute de précisions sur la façon dont les incidences des changements climatiques seraient concrètement prises en compte dans la mise en œuvre du plan de gestion des risques d'inondation.

Source : CCE, 2006.

Toutefois, la nécessité de procéder à des mises à jour plus fréquentes des cartes de risques doit être soigneusement mise en balance avec les coûts importants liés à leur établissement. Ainsi, par exemple, en Autriche le coût des cartes des risques d'inondation s'échelonne de moins de 1 000 euros à plus de 20 000 euros par kilomètre

de cours d'eau couvert (BMLFUW 2005b). Au-delà de la question des coûts, il importe également de noter que les cartes de risques servent ensuite de référence pour la planification et la réglementation de l'espace, et que des coûts de transaction élevés pourraient survenir (et même des recours juridiques) si des changements significatifs sont fréquemment apportés à ces cartes, là encore sur la base de scénarios fondés sur des modèles. Cependant, une solution médiane pourrait être d'utiliser les cartes de risques qui prennent en compte des scénarios d'incidences futures à des fins consultatives et pas comme des outils de régulation. Par exemple, ces cartes pourraient être utiles en sensibilisant l'opinion et en mettant à la disposition des décideurs des informations sur les changements climatiques. En possession de ces informations, il se pourrait que les décideurs y regardent à deux fois avant de lancer des projets d'investissement à long terme et irréversibles dans des zones susceptibles d'être exposées plus tard à des risques élevés.

Suivant de très près les décideurs sur ce point, les compagnies d'assurance s'appuient largement sur des données rétrospectives. A ce jour, les stratégies retenues par les assureurs dans l'arc alpin n'intègrent pas l'impact des changements climatiques. Passer d'une méthodologie de tarification fondée sur des données historiques à la prise en compte de considérations théoriques entachées de fortes incertitudes pourrait s'avérer difficile à accepter par les consommateurs, et à mettre en œuvre par les assureurs, en particulier dans un secteur de l'assurance concurrentiel (Loster 2005). Les assureurs de la région alpine sont de plus en plus conscients des changements climatiques, mais ils ne font que commencer à agir pour mieux se préparer à y faire face. En Autriche, les assureurs privés financent l'élaboration de scénarios locaux des changements climatiques de façon à améliorer les informations sur le sujet³¹. En France, si l'Association « Mission risques naturels » (MRN) commence à analyser les conséquences des changements climatiques sur les réserves et la tarification des assurances, à ce jour, aucune réelle stratégie ou cadre n'a été élaborée³². Bien que délicate, l'adaptation des produits d'assurance pour prendre en compte les données sur les changements climatiques contribuerait à la sensibilisation de l'opinion et à la diffusion au sein des collectivités locales des mesures d'incitation à l'adaptation.

5. Réactions aux impacts observés des changements climatiques

Dans certaines zones, les manifestations des changements climatiques peuvent justifier des mesures visant plus directement les impacts du phénomène. Dans ces situations, il faudrait exploiter au mieux les synergies avec d'autres objectifs et maintenir la flexibilité comme un critère fondamental, eu égard à l'aspect dynamique des changements climatiques. L'incidence croissante des risques relatifs aux glaciers et au pergélisol est la manifestation la plus claire des répercussions des changements

³¹ Gerhard Wagner, UNIQA Versicherungen AG, et Thomas Hlatky, Grazer Wechselseitige Versicherung, communication personnelle.

³² Roland Nussbaum, Mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels, communication personnelle.

climatiques sur les risques naturels dans les régions alpines. On suit depuis de nombreuses années les évolutions dans le dégel du pergélisol et le recul des glaciers, ainsi que dans les risques naturels liés à ces changements. Pour maintenir les niveaux de protection contre les risques, les impacts de ces évolutions doivent donc être intégrés dans la gestion des risques dans les zones périglaciaires. Dans les Alpes européennes, diverses initiatives ont été lancées dans ce sens. Des efforts ont été entrepris à l'échelon national et supranational pour documenter ces tendances et les impacts possibles sur les risques naturels en milieu périglaciaire, mais également pour mettre au point des outils destinés à faciliter l'intégration de ces données dans les processus décisionnels et les mesures d'adaptation éventuelles. En dépit de ces signaux évidents des changements climatiques, on ne relève à l'échelon local que très peu d'exemples de mise en œuvre de mesures concrètes.

5.1. Initiatives régionales et nationales

5.1.1. GLACIORISK

Le projet de recherche GLACIORISK a duré trois ans, de 2001 à 2003 et a étudié les catastrophes d'origine glaciaire en Europe. Les objectifs spécifiques du projet étaient d'identifier, de suivre et de prévenir les phénomènes catastrophiques d'origine glaciaire afin de mieux évaluer les risques potentiels dans un contexte climatique et socioéconomique en évolution. Pour ce faire, le projet a fédéré et intégré les travaux d'experts de l'ensemble de l'Arc alpin. Plusieurs modules d'activités ont été élaborés, chacun se déroulant à l'intérieur de divers pays et institutions, par exemple le Cemagref (France), l'Institut fédéral suisse de technologie de Zurich, l'Université de Salzbourg (Autriche), la Societa Meteorologica Sualpina (Italie). Les modules d'activités du projet comprenaient la plupart des étapes conduisant à l'adaptation aux changements climatiques, depuis la collecte de données jusqu'à l'analyse économique et les aides à la décision.

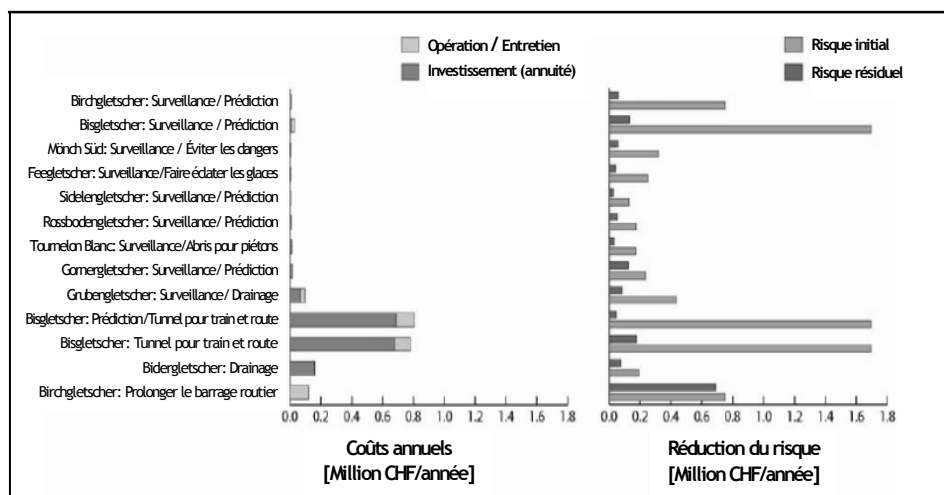
Dans un premier temps, le projet a fourni des informations sur les phénomènes glaciaires à risque grâce à une base de données donnant accès aux expériences passées dans l'ensemble des régions concernées. L'étude a été axée sur les phénomènes liés aux crues de rupture de lacs glaciaires (GLOF), à la stabilité des glaciers, aux avalanches liées aux chutes de sérac et au changement dans la longueur des glaciers. Le projet visait à sensibiliser l'opinion aux risques glaciaires en diffusant des informations au grand public et aux utilisateurs finaux. Outre la réalisation d'une vidéo sur les risques glaciaires, différents atlas de glaciers à risques ont été publiés pour plusieurs pays.

Les divers risques glaciaires ont également été étudiés par les scientifiques pour nous permettre de mieux comprendre les phénomènes et d'améliorer la capacité de prévision et d'atténuation de ces risques. Un bilan des connaissances préexistantes à l'échelle mondiale et des expériences de terrain dans les Alpes a été réalisé. Des simulations numériques des glaciers et des risques ont été effectuées pour accroître notre compréhension des conditions de déclenchement, de l'ampleur et de la fréquence des phénomènes, étudier la sensibilité aux changements climatiques et augmenter la

capacité de prévision des phénomènes. Le but ultime de cette opération était d'effectuer un zonage des risques et d'établir des cartes de risques. Cependant, les divers processus déterminant l'incidence de ces risques, notamment les systèmes hydrologiques sous-glaciaires, étant aujourd'hui mal connus, l'équipe de recherche n'a pas été en mesure de tracer des cartes de risques. Néanmoins, le projet a débouché sur des lignes directrices pour l'évaluation des risques. Ces lignes directrices, qui portent sur l'élaboration de scénarios de risques, d'estimations des dommages potentiels et d'un inventaire des mesures de précaution, sont ensuite soumises aux parties prenantes dans un atelier consacré à l'évaluation des risques. Un deuxième atelier est ensuite organisé avec des décideurs et des spécialistes des risques pour évaluer les mesures préventives.

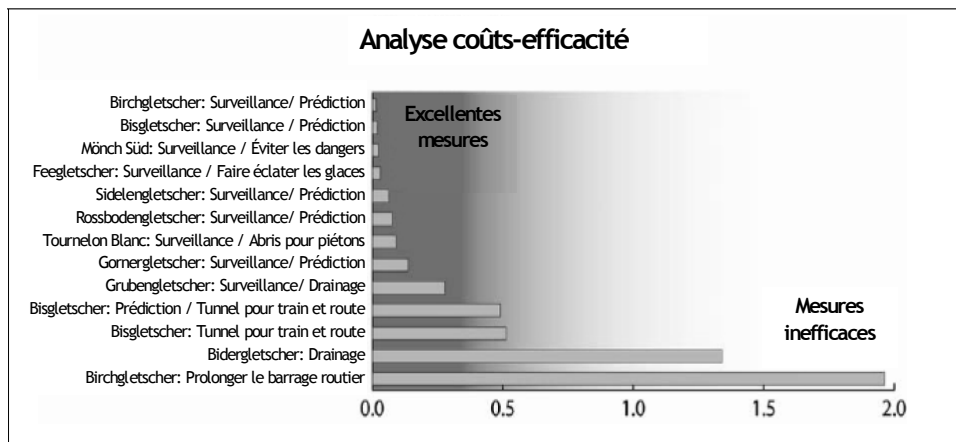
Un cadre d'analyse des risques a été mis au point à l'occasion de ce processus pour rendre ces informations aussi exploitables que possibles par les décideurs et pour permettre l'évaluation des mesures tout en intégrant divers scénarios et la perception des risques par la population concernée. Sur la base du rapport coût-efficacité, les résultats prennent en compte les données sur les changements climatiques et la perception du risque par le public, d'où la possibilité pour les décideurs de fixer les priorités en conséquence (voir figures 12 et 13). Pour le canton du Valais, Suisse, il ressort de l'analyse coût-efficacité que l'application de stratégies de surveillance et de prévention est plus rentable que la construction d'infrastructures coûteuses telles que des galeries de drainage et des dispositifs de protection des routes et des voies ferrées.

Figure 12. **Coûts annuels et réduction des risques correspondant à différentes mesures d'adaptation dans le Canton du Valais, Suisse**



Source : Richard et Gay (2003), et Charly Wuilloud, Service des Forêts et du Paysage, du canton du Valais, Suisse.

Figure 13. **Coût-efficacité des mesures d'adaptation pour parer aux risques glaciaires dans le Canton du Valais, Suisse**



Source : Richard et Gay (2003), et Charly Wuilloud, Service des Forêts et du Paysage, du canton du Valais, Suisse.

5.1.2. *Le projet PACE (Pergélisol And Climate in Europe)*

Le projet PACE est un autre exemple de recherche internationale sur les conséquences des changements climatiques pour l'environnement et les risques naturels dans les Alpes. Le projet PACE a été lancé en 1997 avec trois objectifs distincts :

- établir un cadre pour suivre l'impact des changements climatiques planétaire sur les régimes géothermiques du pergélisol dans les montagnes européennes ;
- élaborer des méthodes de cartographie et de modélisation de la distribution du pergélisol de montagne thermiquement sensible, et prévoir les évolutions de cette distribution résultant des changements climatiques ;
- proposer de nouvelles méthodes systématiques d'évaluation des risques environnementaux et géotechniques liés à la dégradation du pergélisol de montagne.

Le programme de recherche a fourni des données intéressantes sur l'évolution du pergélisol dans les montagnes européennes. Les données obtenues grâce au réseau de surveillance pointent en direction d'une tendance au réchauffement du permafrost, mais aussi d'importantes fluctuations interannuelles imputables aux changements dans la couverture neigeuse (Harris *et al.* 2003).

Ainsi, partant des caractéristiques topographiques, climatiques et pédologiques, le groupe de recherche a élaboré un protocole pour identifier l'impact potentiel du dégel du pergélisol sur les risques naturels. Dans un premier temps, le protocole préconise d'identifier les risques potentiels en s'appuyant sur une reconnaissance des sites et une analyse des données tirées des phénomènes géoclimatiques et historiques. Dans un deuxième temps, il est suggéré de dresser une carte détaillée du permafrost, ce qui suppose des recherches plus poussées faisant intervenir levés géophysiques et forages de puits.

5.1.3. Mesures nationales en Suisse

La Suisse a participé aux projets PACE et GLACIORISK, mais a également constitué le réseau Pergélisol Monitoring Switzerland (PERMOS) dont la mission est d'assurer un suivi scientifique à long terme de l'évolution du pergélisol dans les Alpes suisses. Les activités du projet PERMOS sont notamment la collecte de données concernant la couverture neigeuse et la température du sol, et le forage de puits dans les zones de permafrost. En outre, des photos aériennes complètent les données de terrain, de façon à obtenir une vue plus exhaustive des changements spatiaux. (Mühl *et al.* 2004).

S'appuyant sur ces efforts, l'Office fédéral de l'environnement suisse a récemment dressé une carte du pergélisol en Suisse, laquelle a été mise à la disposition des cantons afin que ces informations soient intégrés dans les cartes de risques et les activités d'aménagement du territoire (DETEC, 2006b).

5.2. Mesures locales d'adaptation

Les menaces liées aux phénomènes périglaciaires étant relativement circonscrites par nature, les mesures d'adaptation concrètes sont prises au niveau local. Grâce aux découvertes scientifiques et à l'observation des phénomènes en cours, quelques collectivités ont pris conscience des impacts potentiels des changements climatiques sur les risques naturels. Elles ont réagi en essayant de parer à ces risques aussi efficacement que possible par l'adoption de mesures d'adaptation synergiques et souples.

5.2.1. Mesures prises pour parer aux risques glaciaires croissants à Macugnaga

Le Mont Rose, situé dans les Alpes pennines est l'un des plus hauts sommets des Alpes et le massif s'étend depuis la Suisse jusqu'à la région italienne du Piémont. A l'intérieur du massif du Mont Rose, l'instabilité récente des glaciers a menacé le village de montagne de Macugnaga, perché à 1,327 mètres d'altitude, dans la Province du Verbano-Cusio-Ossola. La ville se trouve à la base du Mont Rose, et est connue pour son exploitation minière (Miniera della Guia), mais à l'instar de nombre d'autres villages des Alpes, la principale activité économique de la ville est le tourisme en raison des possibilités de ski en hiver et de randonnée en été.

La situation a été rendue problématique par le glacier du Belvédère, situé sur la face est du Mont Rose. Le glacier a provoqué 7 ruptures de lac au cours du siècle passé. Cependant, en 2001 des signes d'instabilité glaciaire ont été décelés. Le glacier a entamé un mouvement d'avancée rapide conduisant à une intensification des chutes de pierres et à la formation d'un lac glaciaire en 2002 (voir figure 14). Les chutes de pierres et de glace ont principalement menacé les zones touristiques, par exemple les pistes de ski et chemins de randonnée, tandis que d'importantes chutes de glace et ruptures de lacs ont également mis en péril des agglomérations dans la vallée. Ces risques ont créé des problèmes de sécurité qui n'ont pas manqué de prendre une dimension économique en raison de la fermeture d'une des principales pistes de ski.

Figure 14. **Glacier du Belvédère et ses lacs glaciaires**



Photo: C. Rothenbühler, Academia Engiadina, Samedan, Suisse.

Ces mouvements d'avancée rapide sont relativement atypiques pour le glacier du Belvédère. Bien qu'il ne soit pas nécessairement lié aux changements climatiques, il est vraisemblable que le mouvement résulte d'une altération dans les systèmes glaciaires provoquée par des modifications dans les conditions limitrophes (par exemple température du sol et de l'air). Les avalanches de glace et les chutes de pierres sont des phénomènes naturels pour le glacier, mais leur fréquence peut augmenter pendant les périodes de transition glaciaire, qui peuvent être induites par les changements climatiques.

D'un autre côté, la formation du lac glaciaire du Belvédère a été directement liée à des périodes chaudes. On dispose d'indices qui montrent que les conditions au Mont Rose et au glacier du Belvédère évoluent rapidement. S'agissant des risques glaciaires, les périodes de transition sont les plus problématiques et la fréquence et l'ampleur des risques évolueront probablement au fil du temps. Les probabilités de formation de lacs devraient augmenter dans certaines zones, alors que dans d'autres on enregistrera une aggravation des chutes de pierres en raison du recul du glacier. Toutefois, l'évolution et la chronologie des risques demeurent incertaines³³.

L'observation de l'instabilité du glacier en 2001 a alerté les autorités locales. Les guides de montagne locaux ont entrepris de surveiller l'environnement, et la situation évoluant rapidement, un comité de crise a été constitué pour gérer le problème et assurer la sécurité publique. Le comité a été créé par la protection civile nationale italienne et comprenait des experts de diverses disciplines (par exemple géologues, ingénieurs).

Au vu des circonstances, et compte tenu de l'incertitude concernant l'évolution future des risques, il a été décidé de mettre en œuvre une stratégie de surveillance, combinée à des mesures de protection souples. Cette décision a été le fruit de réunions entre les autorités régionales de protection civile et un comité scientifique, qui a établi une liste de priorités fondée sur la fréquence et la magnitude des phénomènes potentiels ainsi que sur la possibilité d'événements en chaîne. Ces mesures de surveillance ont été mises en œuvre à compter de 2001 et se sont décomposées comme suit :

- mesures sur le terrain (1-2 fois par an) ;
- photos aériennes (2-3 fois par an) ;
- caméras automatiques, vidéos ;
- instruments automatiques de prise de mesures diverses, telles que l'épaisseur de la glace, la pression, la formation de lacs.³⁴

De même, pour maintenir les activités de ski, des travaux d'excavation ont été effectués et des murs ont été érigés pour protéger les skieurs contre les avalanches de pierres et de glace. En 2003, à la suite d'une augmentation du volume du lac, un câble à haute tension et une pompe ont été installés pour vider le lac. Des modèles informatiques et des scénarios de risques ont également été utilisés pour évaluer les risques d'inondation pour les habitants de la vallée; ils ont conduit à l'évacuation partielle du village. Au lendemain de ces événements, des mesures de cartographie des risques et d'aménagement du territoire ont également été prises par les autorités locales.²⁷

³³ Andreas Kääb, Université d'Oslo, communication personnelle.

³⁴ Paolo Semino, Direzione Opere Pubbliche, Region Piemonte, communication personnelle.

5.2.2. Ouvrages de protection contre les avalanches et les coulées de débris à Pontresina

L'agglomération de Pontresina, petit village traditionnel de 1847 habitants dans le sud-est de la Suisse, est à l'avant-garde de la lutte contre les changements climatiques. L'agglomération est située dans la région de l'Engadine à 1800 mètres au-dessus du niveau de la mer et est bien connue pour ses activités touristiques. Outre la valeur historique de l'agglomération dont certains bâtiments remontent au 13^{ème} siècle, l'économie de Pontresina est axée sur les activités touristiques qu'elle offre, notamment 350 km de domaine skiable pendant l'hiver et 500 km de chemins de randonnée pendant l'été, se traduisant par une capacité d'accueil de plus de 90 000 visiteurs par an.

Se trouvant au pied du Mont Schafberg célèbre pour ses avalanches, le village de Pontresina a une longue habitude des risques naturels. En fait, à l'origine, l'agglomération avait été construite en deux entités séparées de façon à limiter les dommages potentiels des avalanches, la partie centrale servant de couloir pour les avalanches. Mais l'expansion de l'agglomération a conduit à l'aménagement de la partie centrale de la ville d'où une augmentation de l'exposition aux dangers d'avalanches. Pour y parer, les autorités locales ont commencé dans les années 70 à ériger sur les pentes du Mont Schafberg 16 km de barrières qui contribuent à protéger contre les avalanches et les chutes de pierres.

Par ailleurs, la montagne est partiellement recouverte de permafrost. Le pergélisol du Mont Schafberg dégèle lentement (Switzerland, 2005). Au début des années 1990, le pergélisol se réchauffait, mais la mince couche de neige des hivers 1995 et 1996 a stoppé cette tendance. Depuis 1997, la température à une profondeur de 10 mètres augmente de nouveau lentement (Mühlh *et al.* 2004). Le lent dégel du pergélisol est devenu un problème pour les habitants de Pontresina car il diminue la stabilité des pentes et augmente le volume des coulées de débris potentielles. On estime qu'environ 100 000 m³ de matière pourraient glisser et atteindre la ville de Pontresina (SwissInfo 2001). Le phénomène pose également des problèmes pour les barrières de protection actuellement en place car celles-ci sont ancrées dans le permafrost. On a constaté que les barrières de protection se déplacent vers le bas de 5 à 20 cm par an depuis la fin des années 80, phénomène qui pourrait réduire leur capacité protectrice et leur durabilité (SwissInfo 2003).

Les deux formes de risques potentiels, avalanches et mouvements de terrain, pourraient infliger de sérieux dégâts à la ville de Pontresina. De grandes coulées de débris pourraient provoquer des dommages importants sans parler de l'effet négatif sur l'industrie du tourisme. Pour faire face à ces dangers, le conseil municipal de Pontresina a décidé en 2001 d'exploiter la synergie entre la protection contre les avalanches et les coulées de débris potentiels résultant du dégel du pergélisol pour ériger une barrière susceptible de protéger la ville contre des avalanches de 280 000 m³ et des coulées de débris de 100 000 m³ (voir figures 15 et 16). Les gouvernements fédéral et cantonal ont financé à hauteur de 75 % le projet dont le montant total dépasse 4.5 millions EUR (7 millions CHF) (Switzerland 2005).

Figure 15. **Ouvrages de protection contre les avalanches et les coulées de débris à Pontresina**



Photo : Markus Weidmann, Chur, Suisse.

5.2.3. *Modification du lit de la Flaz à Samedan*

Au cours des dernières décennies, la collectivité de Samedan, situé dans l'Engadine, Suisse, a été victime de plusieurs inondations dues au débordement de la rivière Flaz. Ces événements ont provoqué de gros dégâts et se sont produits malgré la construction de barrages et des restrictions à l'affectation des terrains imposées par le Canton des Grisons. En conséquence, les gouvernements local, cantonal et fédéral ont décidé de renforcer les mesures de prévention en vigueur, celles-ci ayant été jugées insuffisantes. L'impact du recul du glacier et le déplacement de la limite de la couverture neigeuse induite par les changements climatiques, l'un et l'autre susceptibles d'influer sur le risque d'inondation, ont été pris en compte dans l'évaluation des risques (Switzerland 2005).

Une première solution à ce problème aurait été une consolidation de la digue en place et une extension de la canalisation de la rivière, ce qui aurait eu pour effet de renforcer les mesures de protection en vigueur. C'est une solution habituellement proposée pour adapter les mesures de prévention en cas de phénomènes extrêmes et de

changements dans l'intensité et la fréquence des crues. Mais, en dernière analyse, la solution retenue s'est écartée de la stratégie traditionnelle et a fait appel dans une plus grande mesure à un changement dans l'affectation des terrains le long des berges de la rivière. On a décidé qu'il fallait dévier le cours de la rivière sur une distance de 4.2 km pour qu'elle retrouve un régime plus proche de son régime naturel. Les zones situées sur les deux rives ont été transformées en zones tampons qui absorbent une partie des eaux de crues. Certaines parties d'un terrain d'aviation adjacent peuvent également être recouvertes par les eaux et jouer le rôle de zones tampons en cas de débordement. Le projet a également un volet environnemental, car une des rives de la rivière a été affectée à la préservation de la faune et de la flore. Grâce à cette mesure, les autorités locales espèrent également récolter les avantages touristiques d'un parcours de randonnée.

Figure 16. **Vue des zones de pergélisol sur le Schafberg, au-dessus de Pontresina**

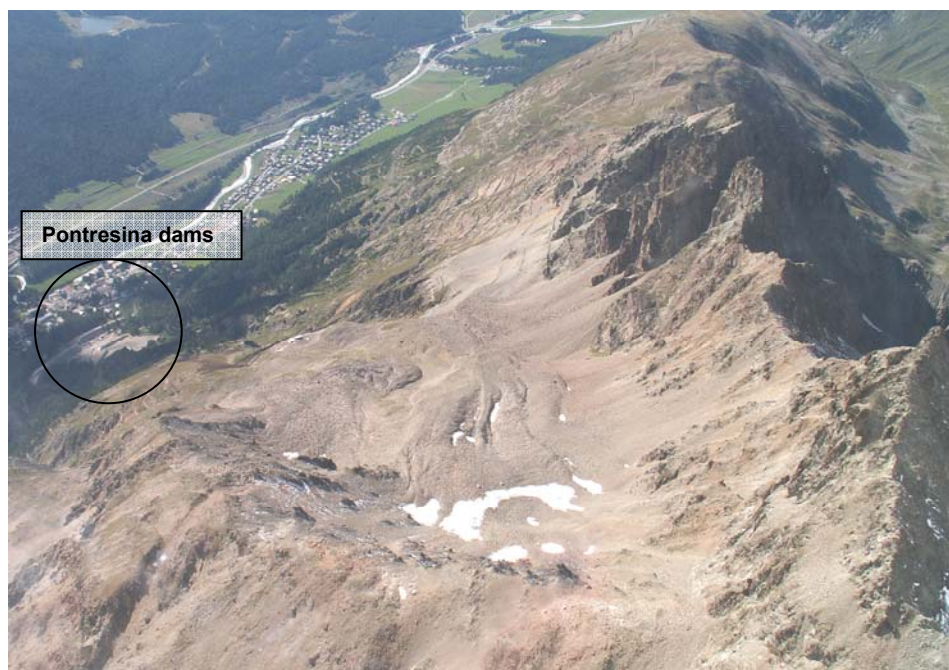


Photo: C. Rothenbühler, Academia Engiadina, Samedan, Suisse.

Cette décision d'adaptation est le résultat d'un consensus laborieux et de négociations prolongées entre la collectivité locale, les autorités cantonales, le Parlement et les autorités fédérales (FOEN), et diverses associations. Il s'agit d'un projet ambitieux, prévoyant la construction de six nouveaux ponts et le déblaiement de 300 000 m² de terrain pour un coût total d'environ 28 400 000 CHF (18 325 000 EUR).

La Confédération et le Canton prennent à leur charge 75 % du coût, le restant est financé par la collectivité locale et quelques autres partenaires³⁵.

Figure 17. **Modification du lit de la Flaz**



Source : www.flaz.ch.

6. Discussion et conséquences pour l'action des pouvoirs publics

Les risques naturels, en particulier les inondations et les tempêtes, affectent considérablement les communautés et les économies alpines. On s'attend à ce que les changements climatiques accroissent la fréquence et l'intensité de nombre de ces risques et modifie leur distribution spatiale et temporelle. Les risques dans les zones glaciaires et les zones de pergélisol sont très sensibles aux changements climatiques. Si leur importance économique peut paraître mineure à l'échelon national, elles peuvent néanmoins frapper durement les économies locales. D'un autre côté, les risques ayant une importance économique et sociale beaucoup plus grande, tels que les inondations et les tempêtes de vent, ont des liens plus complexes et moins évidents avec les changements climatiques. Toutefois, l'incertitude quant au rôle des changements climatiques dans les inondations et les tempêtes d'hiver ne doit pas bloquer les adaptations bien que la nature des contre-mesures puisse en être modifiée.

³⁵ Projekt Hochwasserschutz Samedan 2002 bis 2006, www.flaz.ch.

Les changements climatiques apportent une raison supplémentaire d'accroître l'efficacité des activités existantes de gestion des risques naturels. Les ressources institutionnelles des pays alpins envisagés dans la présente analyse sont à l'évidence très considérables. Mais de nombreux obstacles restent à surmonter pour parvenir à une politique optimale de gestion des risques. La mise en œuvre de règles d'aménagement du territoire demeure difficile dans de nombreuses régions alpines et les recours à des mesures d'incitation économique pour soutenir et renforcer les efforts de prévention des risques demeurent peu fréquentes. Les mécanismes d'assurance constituent un outil important par l'intermédiaire duquel les signaux du marché peuvent encourager la prévention et l'adaptation. Assurer une couverture appropriée et exploiter l'atout potentiel du marché de l'assurance représentent pour les pays alpins un moyen clé de promouvoir la sensibilisation à l'égard des risques, la prévention et l'efficacité économique. Les informations sur les risques étant toujours plus accessibles, peut-être conviendrait-il de réévaluer les mesures d'incitation positives créées par les assurances fondées sur les risques qui sont proposées aux particuliers et aux collectivités pour les encourager à faire des efforts de prévention.

Si le manque de données disponibles concernant les événements passés limite souvent l'efficacité de la gestion actuelle des risques, d'importantes ressources sont effectivement mobilisées pour compléter cette base d'informations et élaborer des cartes des risques. Cependant, la situation étant en perpétuelle évolution, des mécanismes prospectifs seront également nécessaires pour prendre en compte efficacement les risques anticipés. Il faudra absolument fournir des données fiables sur les impacts des changements climatiques et des aides à la décision pour épauler les autorités locales dans leurs efforts d'évaluation et l'évaluation des risques liés aux changements climatiques. Cependant, même en s'appuyant sur des données historiques, les décisions en matière de gestion des risques sont souvent controversées car elles brident l'activité économique et imposent des coûts non négligeables (par exemple, expropriation, structure de protection). La prise de telles décisions à partir de scénarios incertains relatifs aux changements climatiques sera encore plus sujette à contentieux et politiquement difficile à soutenir. L'inclusion d'informations incertaines concernant les changements climatiques dans les cartes de risque, qui servent de base à l'aménagement du territoire, pour déterminer les conditions d'assurance et à d'autres moyens d'intervention, pourrait même représenter des défis au niveau juridique.

Il faut donc impérativement s'interroger sur la meilleure façon d'intégrer les données sur les changements climatiques dans les cadres juridiques et économiques actuels. On peut partiellement y parvenir en élevant les normes de précaution applicables à la gestion des risques, en mettant fréquemment à jour les cartes de risques et en adoptant des cadres plus souples. Ces solutions revêtent une importance particulière si on prend en compte les investissements à long terme comme les propriétés immobilières et les infrastructures. Toutefois, ces stratégies ont elles aussi un coût, car elles peuvent également limiter les possibilités d'utilisation des sols et supposent des ressources non négligeables. L'expérience des pays alpins accrédite également la thèse que la surveillance peut être une mesure d'adaptation efficace, en particulier dans les situations où les risques liés au climat sont suivis et évoluent rapidement, comme c'est le cas pour le pergélisol et les risques glaciaires. En outre, en

dépit des changements relevés dans les zones de glacier et de permafrost, rares sont les projets d'adaptation qui ont été effectivement mis en œuvre. Bien que ces régions ne soient pas à risque dans leur intégralité, les décideurs doivent accorder davantage d'attention aux risques liés aux changements climatiques et des dispositifs de surveillance permanents pourraient s'avérer très utiles et efficaces dans la gestion de ce type de risques.

Bibliographie

- Abegg, B. (1996), “Klimaänderung und Tourismus”, Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen, Zurich.
- Abegg, B., *et al.* (1997), “Climate Impact Assessment im Tourismus”, *Die Erde*, Vol. 128, pp. 105-116.
- AEE (Agence européenne pour l’environnement) (2003), “Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe”, Environmental Issues, report No 35, Copenhagen, Danemark.
- AEE (2005), “Vulnerability and adaptation to climate change in Europe”, Technical Report No7/2005, Copenhagen, Danemark.
- Allianz Umweltstiftung (ed.) (2005), “Gschwender Horn: Eine Schneise für die Natur”, In: Allianz Journal April 2005, Munich, consultable à l’adresse : <http://allianz-umweltstiftung.de>.
- Amt für Seilbahnen (ed.) (2006), “Seilbahnen in Südtirol 2005”, Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Bozen/Bolzano, disponible en allemand et en italien à l’adresse : [http://www.provinz.bz.it/mobilitaet/3803/seilbahnen/seilbahnen %202005.pdf](http://www.provinz.bz.it/mobilitaet/3803/seilbahnen/seilbahnen%202005.pdf).
- ARE (2006), Recommandation aménagement du territoire et dangers naturels, Office fédéral du développement territorial, Berne, mars 2006.
- Association of British Insurers (2005), “Financial risks of climate change – Summary report”, Londres, Royaume-Uni.
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Information on snowmaking consultable à l’adresse : <http://www.bayern.de/lfu/index.html>.
- Bathurst, J.C., *et al.* (2005), “Scenario modeling of basin-scale shallow landslide sediment yield, Valsassina, Italian Southern Alps”, *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 5, pp. 189-202.
- Behm, M., G. Raffener et W. Schöner (2006), Auswirkungen der Klima- und Gletscheränderung auf den Alpinismus. Umweltdachverband, Vienne.
- Behringer, J., R. Bürki et J. Fuhrer (2000), “Participatory integrated assessment of adaptation to climate change in Alpine tourism and mountain agriculture”, *Integrated Assessment*, Vol. 1, pp. 331-338.

- Beniston, M. (1997), “Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcings”, *Climatic Change*, Vol. 36, pp. 281-300.
- Beniston, M. (2000), “Environmental Change in Mountains and Uplands”, Arnold/Hodder and Stoughton/Chapman and Hall Publishers, Londres, Royaume-Uni, et Oxford University Press, New York, Etats-Unis, 172 pp.
- Beniston, M. (2003), “Climatic Change in Mountain Regions: a review of possible impacts”, *Climatic Change*, Vol. 59, pp. 5-31.
- Beniston, M. (2004), “Climatic change and its impacts. An overview focusing on Switzerland”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Pays-Bas et Boston/Etats-Unis, pp. 296.
- Beniston, M. (2005), “Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps”, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 162, pp. 1587-1606.
- Beniston, M. (2006), “Climatic Change in the Alps: perspectives and impacts”, OCDE – atelier de Wengen 2006 : Adaptation to the impacts of climate change in the European Alps, Wengen, Suisse, 4-6 octobre.
- Beniston, M., F. Keller et S. Goyette (2003), “Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impact studies”, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 74, pp. 19-31.
- Beniston, M. *et al*, (2003), “Estimates of snow accumulation and volume in the Swiss Alps under changing climate conditions”, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 76, pp. 125-140.
- Bieger, T. et C. Laesser (2005), *Erfolgsfaktoren, Geschäfts- und Finanzierungsmodelle für eine Bergbahnindustrie im Wandel*. St. Gall.
- BMLFUW (Umweltbundesamt) (2004), “Environmental Situation in Austria”, Septième rapport sur l'état de l'environnement présenté par le ministère fédéral de l'Environnement à l'Assemblée nationale du Parlement autrichien, Vienne, septembre 2004.
- BMLFUW (2005a), Service chargé des torrents et de la lutte contre les avalanches, ministère fédéral de l'Agriculture, des Forêts, de l'Environnement et des Eaux, Vienne, Autriche.
- BMLFUW (2005b), “Gefahrenzonenausweisung und Abflussuntersuchungen der Bundeswasserbauverwaltungen in Österreich”, juin 2005. Consultable à l'adresse : www.wassernet.at/filemanager/download/11305/.

- Böhm, R. *et al.* (2001), “Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series”, *International Journal of Climatology*, Vol. (21), pp. 1779-1801.
- Breiling, M. (1994a), “Climate variability: The impact on the national economy, the Alpine environments of Austria and the need for local action”. Document présenté à la Conférence “Snow and Climate”, Genève, septembre 1994.
- Breiling, M. (1994b), “Climate variability: the near term perspective of possible climate change and its impact on winter tourist industry and the Alpine environment”. Notes présentées à un séminaire Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, janvier 1994.
- Breiling, M. (1998a), “Mountain Regions, Winter Tourism and Possible Climate Change: Example Austria”. Symposium: Concern for Environment. Komaba Campus, Université de Tokyo, Juin 1998.
- Breiling, M. (1998b), “The role of snow cover in Austrian economy during 1965 and 1995 and possible consequences under a situation of temperature change”. Document présenté à la Conférence de la Japanese Snow and Ice Society. Niigata, octobre 1998.
- Breiling, M. et P. Charamza (1999), “The impact of global warming on winter tourism and skiing: a regionalised model for Austrian snow conditions”, *Regional Environmental Change* Vol. 1(1), pp. 4-14.
- Bürki, R. (2000), “Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus”, Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Neue Folge – Heft 6, St. Gallen.
- Burki R. *et al.* (2005), “Climate change and tourism in the Swiss Alps”, In: (eds., M. Hall and J. Higham) *Aspects of Tourism. Tourism, recreation and climate change*, pp. 155-163.
- Casty, C. *et al.* (2005), “Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500”, *International Journal of Climatology*, Vol. 25(14), pp. 1855-1880.
- CCE (Commission des Communautés européennes) (2005), “Fonds de solidarité de l’Union européenne - Rapport annuel 2004”, Bruxelles, décembre 2005.
- CCE (2006), “Proposition de Directive du Parlement européen et du Conseil relative à l’évaluation et à la gestion des inondations”, Bruxelles, janvier 2006.
- CCR (Caisse Centrale de Réassurance) (2005), “Les Catastrophes naturelles en France – Natural disasters in France”, Caisse centrale de Réassurance, Paris, France. Consultable à l’adresse : <http://www.ccr.fr>.

- Cernusca, A. *et al.* (1990), Auswirkungen von Kunstschnee: eine KaEtats-Unislanalyse der Belastungsfaktoren. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 19: 746-757.
- CIPRA – Commission Internationale pour la Protection des Alpes (ed.) (2003), “Aufrüstung im alpinen Wintersport – ein Hintergrundbericht”. Consultable à l’adresse : <http://www.alpmedia.net>.
- CIPRA – Commission Internationale pour la Protection des Alpes (ed.) (2004), “L’enneigement artificiel dans l’arc alpin - Rapport de synthèse”. Consultable à l’adresse : <http://www.alpmedia.net>.
- Convention alpine (2006a), “Déclaration de la IX^e conférence alpine sur les changements climatiques dans les Alpes ”, Secrétariat permanent de la Convention alpine, Innsbruck, Autriche, novembre 2006.
- Convention alpine (2006b), Programme de travail 2005 - 2006 Plate-forme « Dangers naturels » de la Convention alpine, Secrétariat permanent de la Convention alpine, Innsbruck, Autriche, avril 2006. Consultable à l’adresse : <http://www.planat.ch>.
- Convention alpine (2006c), “La Plate-forme « Dangers naturels » de la Convention alpine démarre son projet de travail”. Communiqué de presse, Secrétariat permanent de la Convention alpine, Innsbruck, Autriche, mai 2006. Consultable à l’adresse <http://www.planat.ch>.
- Département fédéral de l’intérieur (ed.) (1991), “Landschaftseingriffe für den Skisport – Wegleitung zur Berücksichtigung des Natur- und Landschaftschutzes”, Berne.
- DETEC (Département fédéral de l’Environnement, des Transports, de l’Énergie et de la Communication) (2006a), “*Cartographie des dangers : les cantons doivent encore fournir de gros efforts*”, Département fédéral de l’Environnement, des Transports, de l’Énergie et de la Communication, Berne, juin 2006.
- DETEC (2006b), “*Aperçu de l’évolution du pergélisol en Suisse*”, Département fédéral de l’Environnement, des Transports, de l’Énergie et de la Communication, Berne, juillet 2006.
- Deutscher Skiverband (2004), “DSV-Atlas Ski Winter 2005”, Verlagsgruppe J. Fink GmbH & Co, Ostfildern.
- Dietmann T. et U. Kohler (2005), “Die Skipistenuntersuchung Bayern: Landschaftsökologische Untersuchung in den bayrischen Skigebieten. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz”, Augsburg.

- Direction du Tourisme (2002), “Les chiffres clés du tourisme de montagne en France, 3^{ème} édition”, Ministère des Transport, de l’Équipement, du Tourisme et de la Mer, France. Service d’Études et d’Aménagement touristique de la montagne.
- Direction du Tourisme (2004), “Les chiffres clés du tourisme de montagne en France. 4^{ème} édition”, Ministère des Transport, de l’Équipement, du Tourisme et de la Mer, France. Service d’Études et d’Aménagement touristique de la montagne.
- Direction du Tourisme (2005), “Le positionnement de l’offre française de sports d’hiver - Note de Synthèse”, Ministère des Transport, de l’Équipement, du Tourisme et de la Mer, France. Étude réalisée par le cabinet d’Architecture et Territoire pour le compte de la direction du Tourisme.
- Direction du Tourisme (2006), “Les comptes du tourisme. Compte 2005”, Ministère des Transport, de l’Équipement, du Tourisme et de la Mer, France. Rapport présenté à la Commission des Comptes du Tourisme, Mai 2006.
- Dubois, J.P. et G. Ceron (2003), “Changes in leisure/tourism mobility patterns facing the stake of global warming: the case of France”, in A. Montanari and P. Salvà Tomàs (eds.), *Human mobility in a globalizing world*, Numéro spécial du *Belgian Journal of Geography*, pp. 103-120.
- Dumas, *et al.* (2005), “Rapport Particulier sur les Aspects Assuranciers et Institutionnels du Régime CATNAT”, Rapport No. 2004-0304-01, Conseil général des ponts et chaussées, Paris, France, septembre 2005.
- Elsasser, H. et P. Messerli (2001), “The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps”, *Journal of Mountain Research and Development*, Vol. 21(4), pp. 335-339.
- Elsasser, H. et R. Bürki (2002), “Climate change as a threat to tourism in the Alps”, *Climate Research*, Vol. 20, pp. 253-257.
- Fachverband der Seilbahnen Österreich (2005), “Österreichs Seilbahnen voll im Aufwärtstrend. Medienservice Winter 2005/06”. Consultable à l’adresse : <http://www.seilbahnen.at>.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture) (2001), “Global Forest Fire Assessment 1990-2000”, Département des forêts, Document de travail sur l’évaluation des ressources forestières – 055, Rome, Italie.
- Fischer, A., M. Olefs et J. Lang (2006), “Adaptation measures to climate change for glacier ski resorts”, Poster présenté à la 9th Österreichischer Klimatag, Vienne, 16-17 mars 2006. Résumé consultable à l’adresse : <http://www.austroclim.at>.

- Fitharris, B. (1995), "The cryosphere: Changes and their impacts", Cambridge University Press, New York, NY, Etats-Unis, pp. 241-265.
- Föhn, P. (1990), "Schnee und Lawinen. In: Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre", Internationale Fachtagung, Mitteilungen *VAW ETH Zurich* No. 108, pp. 33-48.
- Frei, Ch. (2004), "Die Klimazukunft der Schweiz – eine probabilistische Projektion". Consultable à l'adresse : http://www.occc.ch/Products/CH2050/ch2050_scenario_d.html (consulté le 20 juin 2006).
- Frei, C. et C. Schär (1998), "A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations", *International Journal of Climatology*, Vol. 18(8), pp. 873 – 900.
- Frei C. et C. Schär (2001), "Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region", *Journal of Climate*, Vol. 14, pp. 1568-1584.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2001), "The IPCC Third Assessment Report, Volumes I (Science), II (Impacts and Adaptation) and III (Mitigation Strategies)". Cambridge, New York, Cambridge University Press.
- Glass B. *et al.* (2000), "Retour d'expérience sur l'avalanche du 9 février 1999 à Montroc, commune de Chamonix", Inspection Générale de l'environnement, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Affaire n° IGE 00 002.
- Gruber, S., M. Hoelzle et W. Haeberli (2004), "Pergélisol thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003", *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L13504.
- Guillot, J. (2006), "Herausforderungen für den Tourismus", In: Lebensministerium (ed.) *Klimawandel im Alpenraum – Auswirkungen und Herausforderungen*, Vienne, pp. 39-41.
- Haeberli, W. (1992), "Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts", *Pergélisol and Periglacial Processes*, Vol. 3, pp. 111-124.
- Haeberli, W. et M. Hoelzle (1995), "Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps", *Annals of Glaciology*, Vol. 21, pp. 206-212.

- Haerberli, W. et M. Beniston (1998), "Climate change and its impacts on glaciers and pergélisol in the Alps", *Ambio*, Vol. 27, pp. 258-265.
- Hoelzle, M. et W. Haerberli (1995), "Simulating the effects of mean annual air-temperature changes on pergélisol distribution and glacier size: an example from the Upper Engadin, Swiss Alps", *Annals of Glaciology*, Vol. 21, pp. 399-405.
- Hall, M.C. et J. Higham (eds.) (2005), "Tourism, recreation and climate change", *Aspects of Tourism 22*, Channel View Publications, Clevedon/Buffalo/Toronto.
- Hantel, M., M. Ehrendorfer et A. Haslinger (2000), "Climate sensitivity of snow cover duration in Austria", *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 615-640.
- Harris, C. *et al.* (2003), "Warming Pergélisol in European Mountains", *Global and Planetary Change*, Vol. 39, pp. 215-225.
- Hasslacher, P. (2005), Gletscherschutz – ein wichtiger Baustein der Alpinen Raumordnung. In: Oesterreichischer Alpenverein (ed.) *Bedrohte Alpengletscher, Alpine Raumordnung Nr. 27*, Innsbruck, 7-15.
- Heimann D. et V. Sept (2000), "Climate Change Estimates of Summer Temperature and Precipitation in the Alpine Region", *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 66(1-2), pp. 1-12.
- Hyll, W., N. Vettters, et F. Prettenhaler (2003), "What is the Optimal Mix of Insurance, Public Risk Pooling and Alternative Risk Transfer Mechanisms", *Projet StartClim.8*, Université de Graz, Graz, Autriche.
- Jomelli, V. *et al.* (2004), "Geomorphic Variations of Debris Flows and Recent Climatic Change in the French Alps", *Climatic Change*, Vol. 64, pp. 77-102.
- Kamber, M. (2006), "Climate change and property insurance: perspective from the Swiss public insurers", *OCDE – atelier de Wengen 2006 : Adaptation to the impacts of climate change in the European Alps*, Wengen, Suisse, 4-6 octobre.
- Kammer, P.M. (2002), "Floristic changes in subalpine grasslands after 22 years of artificial snowing", *Journal for Nature Conservation*, Vol. 10, pp. 109-123.
- Klawka, M. et U. Ulbrich (2003), "A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 3, pp. 725-732.
- König, U. et B. Abegg (1997), "Impacts of climate change on winter tourism in the Swiss Alps", *Journal of Sustainable Tourism*, Vol. 5(1), pp. 46-58.

- König, U. (1998), “Tourism in a warmer world”, Implications of climate change due to enhanced Greenhouse effect for the ski industry in the Australian Alps, Zurich.
- Latenser, M. et M. Schneebeli (2003), “Long-term snow climate trends of the Swiss Alps 1931-1999”, *International Journal of Climatology*, Vol. 23, pp. 733-750.
- Leutwyler, C. (2006), “Bettenburg mitten auf der Alp”, In: Tages-Anzeiger, juillet, 24th 2006.
- Liu, X. et B. Chen (2000), “Climatic Warming in the Tibetan Plateau During Recent Decades”, *International Journal of Climatology*, Vol. 20(14), pp. 1729-42.
- Loster, T. (2005), “Strategic management of climate change – Options for the insurance industry”, In *Weather catastrophes and climate change - Is there still hope for us?*, Geo Risks Research, MunichRe, Munich, Allemagne, pp. 236-243.
- Martin, E., E. Brun et Y. Durand (1994), “Sensitivity of the French Alps snow cover to the variation of climatic variables”, *Annales Geophysicae*, Vol. 12, pp. 469-477.
- Mathis, P., D. Siegrist et R. Kessler (2003), “Neue Skigebiete in der Schweiz? Planungsstand und Finanzierung von touristischen Neuerschliessungen unter besonderer Berücksichtigung der Kantone”, Berne.
- Matulla, C. *et al.* (2005), “Outstanding past decadal-scale climate events in the Greater Alpine Region analysed by 250 years data and model run”, GKSS-Forschungszentrum, Geesthacht.
- Middlekoop, H. *et al.* (2001), “Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin”, *Climatic Change*, Vol. 49(1-2), pp. 105-128.
- Mountain Wilderness (2005), “Enneigement artificiel: Eau Secours!” Consultable à l’adresse : <http://france.mountainwilderness.org/download/document/TAPCanons.pdf>.
- Mühl, D.V. *et al.* (2004), “Pergélisol in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002”, Glaciological Report (Permafrost) No. 2/3, Glaciological Commission (GC) of the Swiss Academy of Sciences (SAS), Institute of Geography, Université de Zurich, Zurich, Suisse.
- Neuhäuser, V. (2006), “Tourismusbranche ohne Fantasie?” In: CIPRA Info 80: 7.
- OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques) (2003), “Extreme Events and Climate Change”, Berne, Suisse.

- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) (2006), “France- Politique de Prévention et d’Indemnisation des Dommages Liés aux Inondations”, Études de l’OCDE sur la gestion des risques, Paris, France.
- Odermatt, M. (2005), “Frischer Schnee aus Staatskanonen”, In: Tages-Anzeiger, 7 février 2005: 19.
- ÖROK (Austrian Conference on Spatial Planning) (2005), “Präventiver Umgang mit Naturgefahren in der Raumordnung, Materialienband”, Vienne.
- Pechlaner & Tschurtschenthaler (2003), “Tourism policy, tourism organizations and change management in Alpine regions and destinations: a European perspective”, *Current issues in tourism*, Vol. 6(6), pp. 508-538.
- Pfund, C. (1993), “Die Seilbahnen in Zahlen”, Présentation à la 23^{ème} réunion annuelle de l’Association of Swiss Cableways (Seilbahnen Schweiz), Champéry (Suisse), 16 septembre 1993.
- PLANAT (National Platform for Natural Hazards) (2004), “*Stratégie Dangers naturels en Suisse - Rapport de Synthèse*”, Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne.
- Prettenhaler, F. et N. Vettters (2006), “Adapting National Risk Transfer systems: How much regulation for the insurance markets?”, OCDE – atelier de Wengen 2006 : Adaptation to the impacts of climate change in the European Alps, Wengen, Suisse, 4-6 octobre.
- Pröbstl, U. (2006), “Kunstschnee und Umwelt. Entwicklung und Auswirkungen der technischen Beschneigung”, Berne.
- PRUDENCE (Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects [Projet européen sur le climat]). Information consultable à l’adresse : <http://prudence.dmi.dk>.
- Prudent, G. (2006), “Climatic change in the Alpine arc: focus on natural hazards”, Rapport de consultant établi pour l’OCDE, Paris, France.
- Reinhard, M., M. Rebetez et R. Schlaepfer (2005), “Recent climate change: Rethinking drought in the context of Forest Fire Research in Ticino, South of Switzerland”, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 82, pp. 17-25.
- Richard, D. et M. Gay (2003), GLACIORISK Final report - Survey and Prevention of Extreme Glaciological Hazards. Consultable à l’adresse : <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>.

- Rixen, C., V. Stoeckli et W. Ammann (2003), “Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review”, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Vol. 5(4), pp. 210-230.
- Scherrer, S.C., C. Appenzeller et M. Laternser (2004), “Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L13215.
- Schmid, A. (2006), “Gut gekühlte Gletscher halten etwas länger”, in: NZZ am Sonntag, 16 juillet 2006, pp. 21.
- Scott, D., G. McBoyle et B. Mills (2003), “Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation”, *Climate Research* Vol. 23, pp. 171-181.
- Scott, D. (2006), “Global Environmental Change and Mountain Tourism”, in: Gössling, St. and Hall, C. M. (eds.) *Tourism and Global Environmental Change*, Londres, pp. 54-75.
- Scott, D., G. McBoyle, B. Mills et A. Minogue (2006), “Climate change and the sustainability of ski-based tourism in eastern North America: a reassessment”, *Journal of Sustainable Tourism*, Vol. 14(4), pp. 376-398.
- Scott D., G. McBoyle et A. Minogue (In press), “Climate change and Quebec’s ski industry”, *Global Environmental Change*.
- SEATM (Service d’Etudes et d’Aménagement Touristique de la Montagne) (2003), “Bilan des investissements dans les domaines skiables français en 2003”, *Aménagement & Montagne* No. 179, octobre/novembre 2003.
- Seifert, W. (2004), *Klimaänderungen und (Winter-)Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmungen und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung. Arbeitsmaterialien zur Raumordnung und Raumplanung, Heft 233*, Bayreuth.
- Seilbahnen Schweiz (ed.) (2003), “Schweizer Seilbahnen – wohin? Bericht zur Lage der Seilbahnbranche in der Schweiz, Berne.
- Seilbahnen Schweiz (ed.) (2005a), “Seilbahnen der Schweiz – Fakten und Zahlen 2004, Berne.
- Seilbahnen Schweiz (ed.) (2005b), “Seilbahnverbände fördern den Wintersportnachwuchs. Communiqué de presse, consultable à l’adresse : <http://www.seilbahnen.org>.

- Seiler, W. (2006), "Der Klimawandel im Alpenraum: Trends, Auswirkungen und Herausforderungen". In: Lebensministerium (ed.) Klimawandel im Alpenraum – Auswirkungen und Herausforderungen, Vienne, pp. 7-20.
- Shreshtha, *et al.* (1999), "Maximum Temperature Trends in the Himalaya and Its Vicinity: An Analysis Based on Temperature Records from Nepal from the Period 1971-94", *Journal of Climate*, Vol. 12(9), pp.2775-89.
- Simon, C. (2006), "Eine neue Politik für die Tourismusorte der Isère/F", In: CIPRA Info 80 pp. 9.
- Stoffel, M. et M. Beniston (2006), "On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps", *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L16404.
- SwissInfo (2001), "Village pioneers defences against global warming", Swiss Broadcasting Corporation, 7 septembre 2001. Consultable à l'adresse : <http://www.swissinfo.org>.
- SwissInfo (2003), "Pontresina becomes village of the dammed", Swiss Broadcasting Corporation, 13 août 2003. Consultable à l'adresse : <http://www.swissinfo.org>.
- SwissRe (2006), "Conséquences des changements climatiques : davantage de dommages dus aux tempêtes en Europe", Rapport de synthèse, SwissRe, Zurich, Suisse.
- Suisse (2005), "Quatrième communication nationale de la Suisse à la CCNUCC", Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage; Berne, Suisse.
- von Ungern-Sternberg, Thomas (2004), "Efficient Monopolies: The Limits of Competition in the European Property Insurance Market", Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni.
- Umweltbundesamt et Max Planck Institute for Meteorology (eds.) (2006), "Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier April 2006. Consultable à l'adresse : <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz> (consulté le 9 juin 2006).
- Urbanska, K.M. (1997), "Restoration ecology research above the timberline: colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run", *Biodiversity and Conservation*, Vol. 4, pp. 1655-1670.
- Viner D. et M. Agnew (1999), "Climate Change and its impacts on tourism", Rapport établi par le WWF-Royaume-Uni.

- Wielke, L.-M., L. Haimberger et M. Hantel (2004), “Snow cover duration in Switzerland compared to Austria”, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, pp. 13-17.
- Wipf, S., C. Rixen, M. Fischer, B. Schmid et V. Stoeckli (2005), “Effects of ski piste preparation on alpine vegetation”, *Journal of Applied Ecology* 42: 306-316.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (ed.) (2005), “Nachhaltige Entwicklung des Schneesports und des Wintersporttourismus in Baden-Württemberg”, Ein Leitfaden für Politik, Sport, Kommunen and touristische Leistungsträger, Offenburg.
- Witmer, U. (1986), “Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz”, *Geographica Bernensia* G25.
- Wolfsegger, C., S. Gössling et D. Scott (In press), “Climate change risk appraisal in the Austrian ski industry”, soumis à *Tourism Review International*.
- WWF (Fonds mondial pour la nature) Italia (2006a), “Alpi e turismo: trovare il punto di equilibrio”, Consultable à l’adresse : http://www.wwf.it/ambiente/dossier/Alpi_e_Turismo.pdf.
- WWF Italia (2006b), “Alpi, turismo e ambiente: alla ricerca di un equilibrio”, Rapport du WWF, pp. 137.
- Zebisch, M. *et al.* (2005), “Climate change in Germany: vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors”, Rapport de recherche établi pour le compte de l’Agence allemande pour l’environnement (Umweltbundesamt). Consultable à l’adresse : <http://www.umweltbundesamt.de>.
- Zemp, M. *et al.* (2006), “Alpine glaciers to disappear within decades?” *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L13504.
- Zemp, M. *et al.* (In press), “Glacier fluctuations in the European Alps 1850-2000: an overview and spatio-temporal analysis of available data”, in: Orlove, B., Wieganddt, E. et B. Luckman (eds.), *The darkening peaks: Glacial retreat in scientific and social context*, University of California Press.
- Zeng, L. (2000), “Weather derivatives and weather insurance: concept, application, and analysis”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 81, pp. 2075-2082.

Sites Internet

AlpMedia. Le service d'informations pour les Alpes, <http://www.alpmedia.net>.

ANPNC. Le site Internet de l'Association Nationale des Professionnels de la Neige de Culture, <http://www.anpnc.com>.

Association of British Insurers, Londres, Royaume-Uni,
<http://www.abi.org.uk/climatechange>.

Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Water management, <http://www.hochwasserrisiko.at>.

DPPR, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Paris France,
<http://www.ecologie.gouv.fr>.

Glaciorisk project, <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>.

IRV/UIR, Intercantonal Reinsurance Union, Bern, Switzerland,
<http://www.kgvonline.ch/>.

Ministère des Transport, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer,
<http://www.tourisme.gouv.fr>.

Osterreichischer AlpenVerein, <http://www.alpenverein.at>.

Projekt Hochwasserschutz Samedan 2002 bis 2006, <http://www.flaz.ch>.

Promethee database, <http://www.promethee.com>.

ProNatura. Conservation Organisation, <http://www.pronatura.ch>.

Verband Deutscher Seilbahnen, <http://www.seilbahnen.de>.

APPENDICE 1

Domaines skiables pré sentant un enneigement naturel fiable

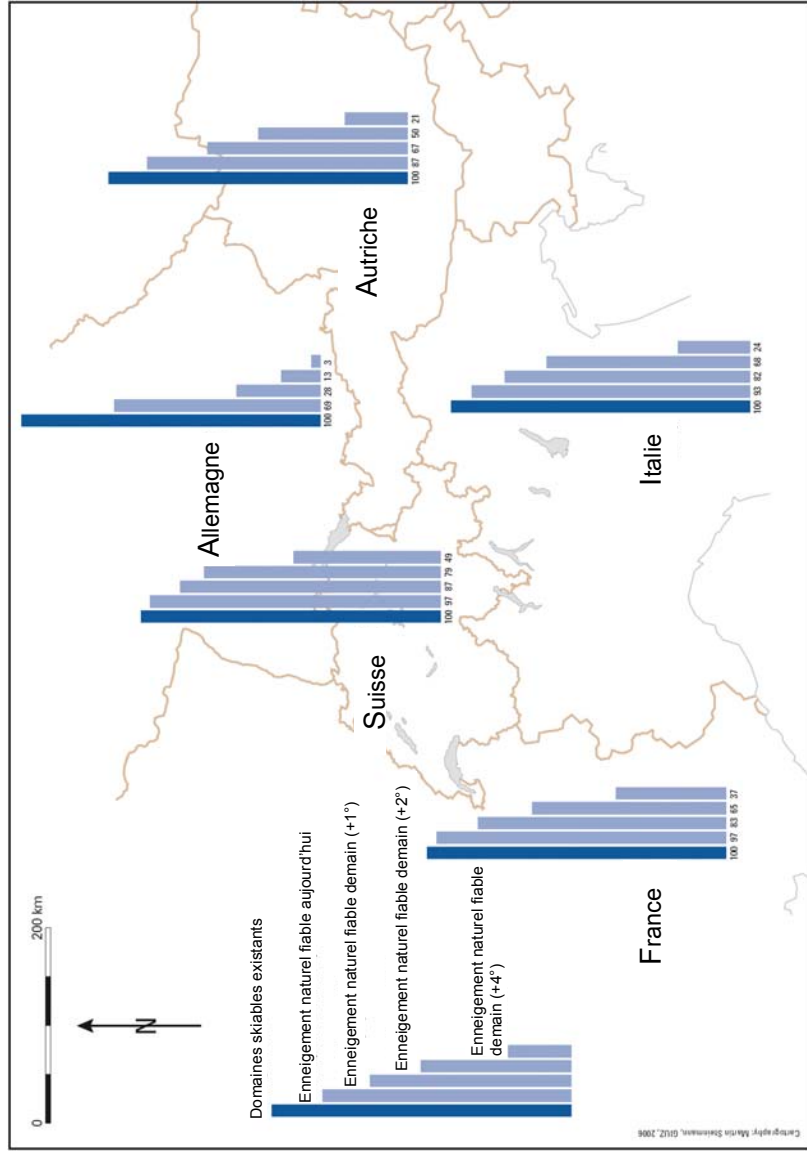
A.1. Tableau 1. **Fiabilité actuelle et future de l'enneigement naturel des domaines skiables des Alpes au niveau régional**

Nombre et pourcentage de domaines skiables qui conserveront un enneigement suffisant par rapport aux chiffres actuels

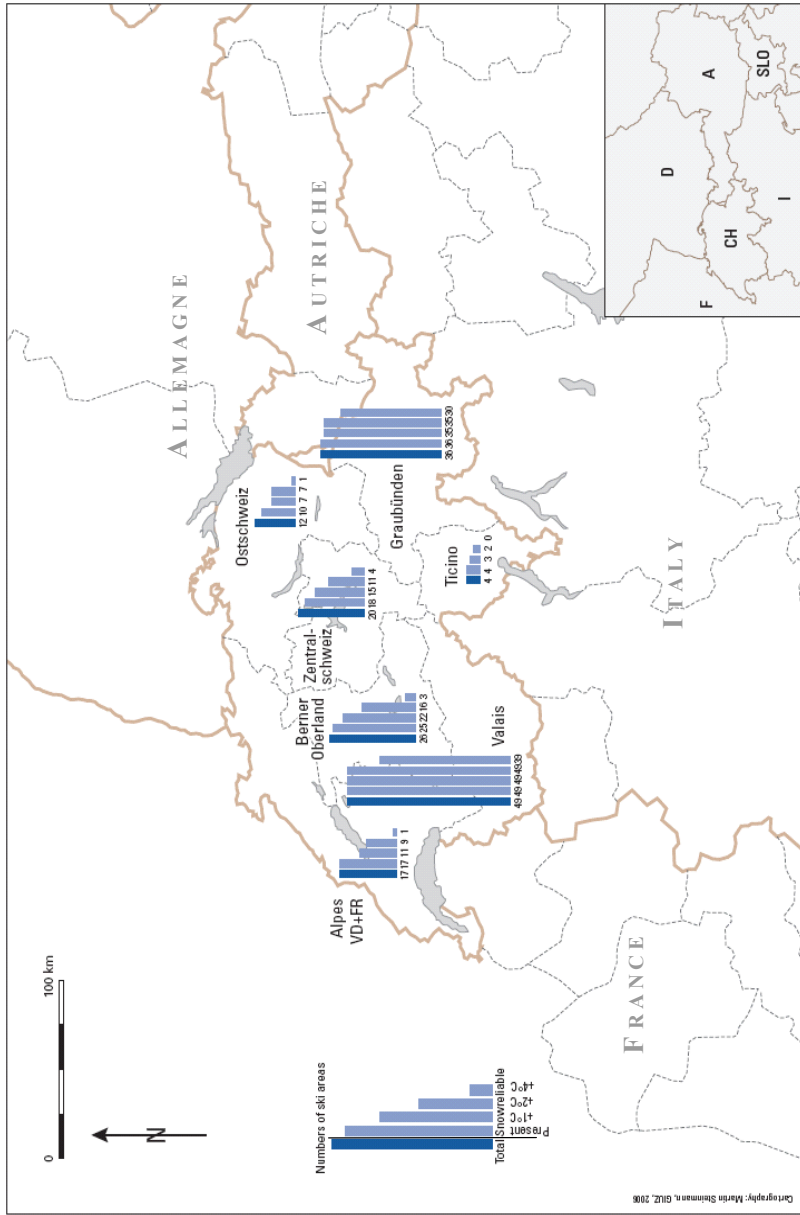
A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie

	Région	Domaines skiables	Aujourd'hui	+1 °C	+2 °C	+4 °C
A	Vorarlberg	25	19 (76 %)	16 (64 %)	12 (48 %)	3 (12 %)
	Tyrol	79	75 (95 %)	61 (77 %)	45 (57 %)	23 (29 %)
	Salzbourg	39	35 (90 %)	29 (74 %)	24 (62 %)	9 (23 %)
	Carinthie	24	20 (83 %)	15 (63 %)	14 (58 %)	7 (29 %)
	Haute-Autriche	11	7 (64 %)	4 (36 %)	2 (18 %)	0
	Basse-Autriche	13	9 (69 %)	2 (15 %)	1 (8 %)	0
	Styrie	37	34 (92 %)	26 (70 %)	17 (46 %)	5 (14 %)
CH	Suisse orientale	12	10 (83 %)	7 (58 %)	7 (58 %)	1 (8 %)
	Alpes Vaud+Frib.	17	17 (100 %)	11 (65 %)	9 (53 %)	1 (6 %)
	Oberland bernois	26	25 (96 %)	22 (85 %)	16 (62 %)	3 (12 %)
	Suisse centrale	20	18 (90 %)	15 (75 %)	11 (55 %)	4 (20 %)
	Tessin	4	4 (100 %)	3 (75 %)	2 (50 %)	0
	Grisons	36	36 (100 %)	35 (97 %)	35 (97 %)	30 (83 %)
	Valais	49	49 (100 %)	49 (100 %)	49 (100 %)	39 (80 %)
D	Haute-Bavière	20	18 (90 %)	8 (40 %)	3 (15 %)	1 (5 %)
	Schwaben/Allgäu	19	9 (47 %)	3 (16 %)	2 (11 %)	0
F	Alpes-Maritimes	9	9 (100 %)	7 (78 %)	2 (22 %)	1 (11 %)
	Drôme	4	1 (25 %)	0	0	0
	Haute-Provence	10	10 (100 %)	9 (90 %)	7 (70 %)	1 (10 %)
	Isère	19	19 (100 %)	16 (84 %)	12 (63 %)	7 (37 %)
	Hautes-Alpes	27	27 (100 %)	24 (89 %)	19 (70 %)	9 (33 %)
	Savoie	42	42 (100 %)	40 (95 %)	38 (90 %)	30 (71 %)
	Haute-Savoie	37	35 (95 %)	27 (73 %)	18 (49 %)	7 (19 %)
I	Piémont	18	18 (100 %)	16 (89 %)	15 (83 %)	5 (28 %)
	Lombardie	6	6 (100 %)	6 (100 %)	5 (83 %)	4 (67 %)
	Trentin	20	19 (95 %)	16 (80 %)	14 (70 %)	3 (15 %)
	Sud-Tyrol	32	31 (97 %)	27 (84 %)	20 (63 %)	7 (22 %)
	Frioul/Vénétie/ Julienne	11	7 (64 %)	6 (55 %)	5 (45 %)	2 (18 %)

A.1. Figure 1. Part en pourcentage des domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain

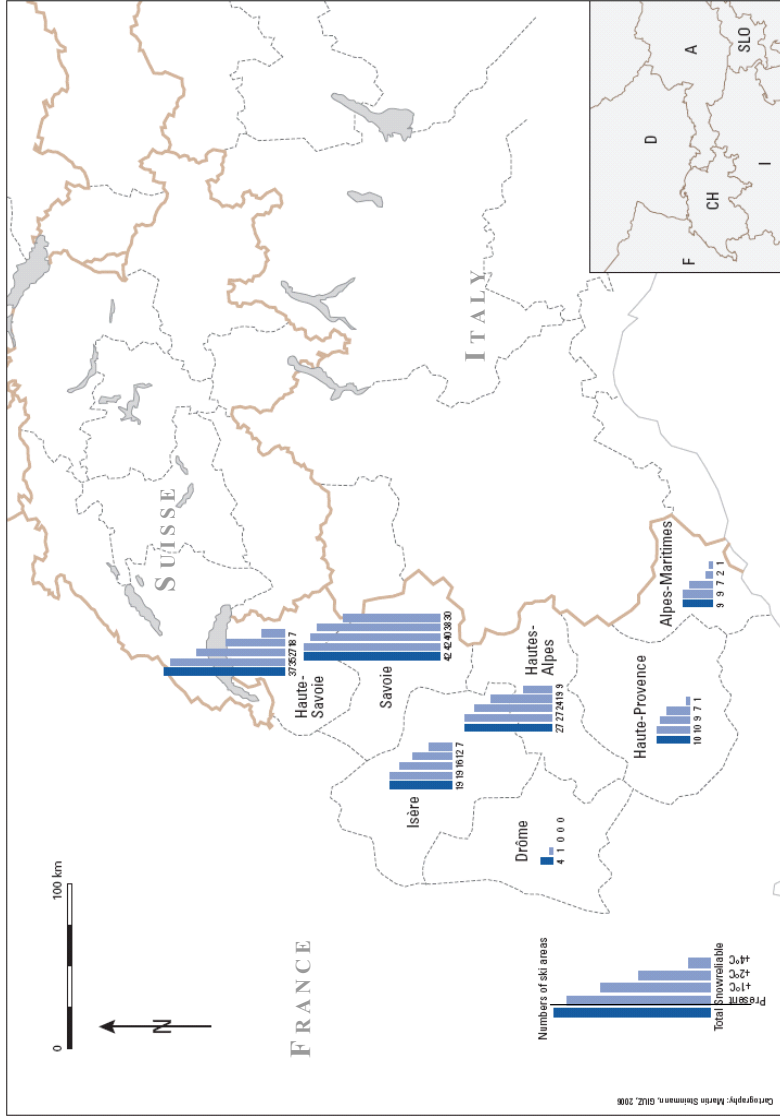


A.1. Figure 2. Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes suisses, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain



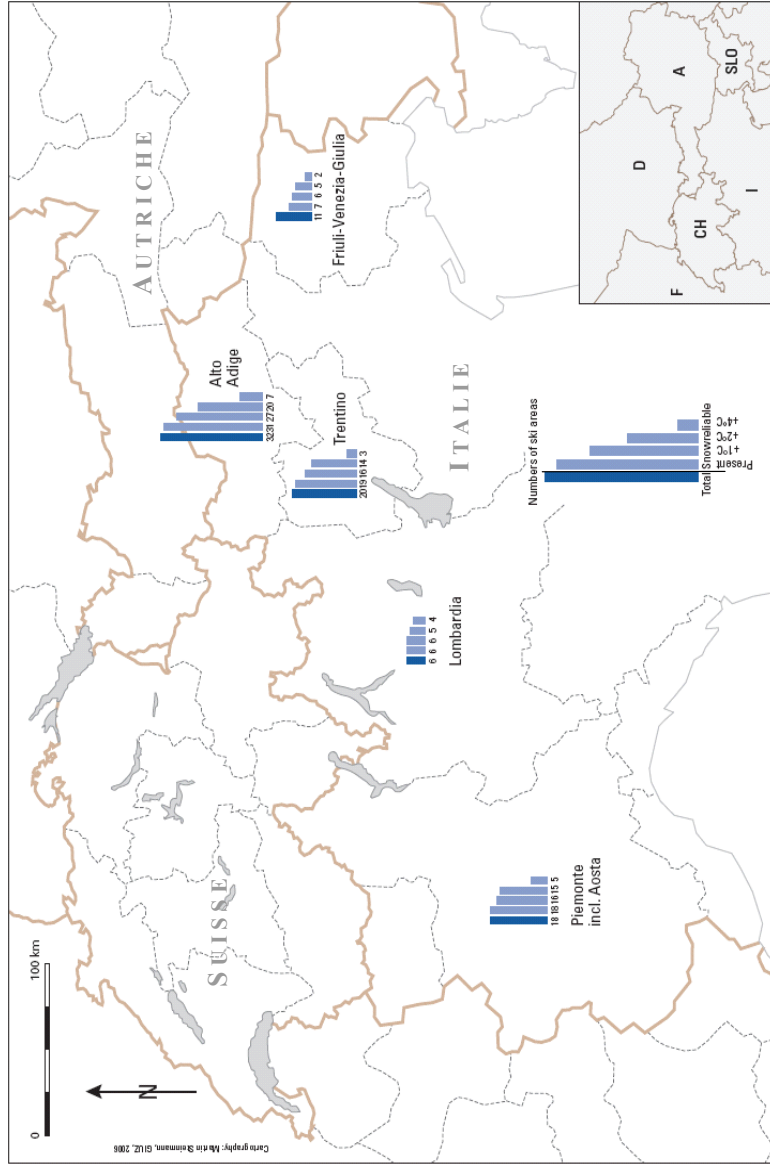
Note : A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie, SLO=Slovénie.

A.1. Figure 3. Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes françaises, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain



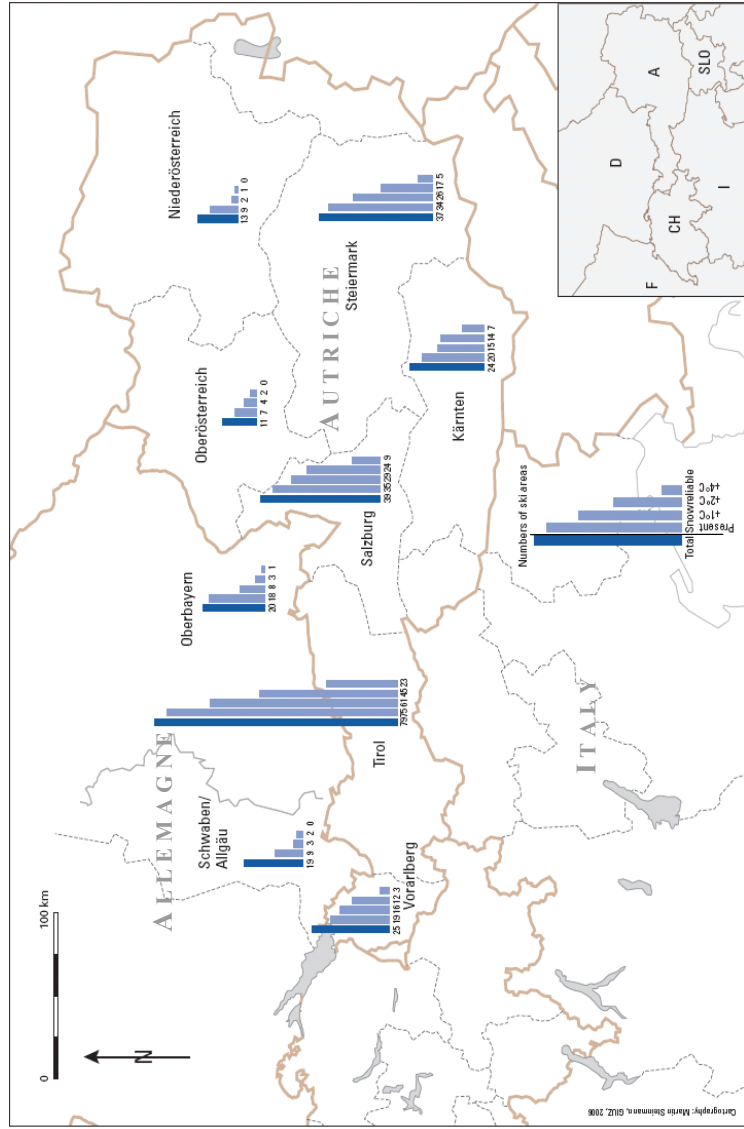
Note : A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie, SLO=Slovénie.

A.1. Figure 4. Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes italiennes, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain



Note : A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie, SLO=Slovénie.

A.1. Figure 5. Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable en Autriche et en Allemagne (Bavière), aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain



Note : A = Autriche, CH = Suisse, D = Allemagne, F = France, I = Italie, SLO=Slovénie.

APPENDICE 2

Perception des changements climatiques dans le secteur du tourisme

Plusieurs enquêtes menées en Suisse au cours des dix dernières années se sont penchées sur la perception des changements climatiques dans les milieux du tourisme (cf. Abegg, 1996 ; Behringer *et al.*, 2000 ; Bürki, 2000). Elles montrent que les responsables de ce secteur sont conscients du problème que posent les changements climatiques pour le tourisme d'hiver et qu'ils en connaissent les conséquences potentielles, mais qu'ils semblent néanmoins ne pas accorder une grande importance au phénomène. A leurs yeux, le problème des changements climatiques sont largement exagérés par les médias, comme par les milieux scientifiques et politiques. Les discussions menées au sein de groupes de réflexion dans le cadre de ces enquêtes révèlent en fait une attitude ambivalente de la part des intéressés. En effet, d'une part les représentants interrogés sont extrêmement méfiants à l'égard des informations diffusées sur les changements climatiques, dont ils minimisent les conséquences, et d'autre part, ils n'hésitent pas à les invoquer pour justifier leurs stratégies d'avenir. Les changements climatiques et le réchauffement planétaire, ainsi que la concurrence internationale, ont été les principaux arguments avancés pour justifier la construction d'installations de production de neige artificielle, ainsi que pour prolonger les pistes actuelles et en ouvrir de nouvelles dans les régions alpines de haute altitude (au-dessus de 2 500 m).

L'enquête la plus récente à ce sujet vient d'être menée en Autriche par Wolfsegger *et al.* (sous presse), lesquels révèlent que les gérants des stations de basse altitude (dont au moins 50 % du domaine skiable se situent au-dessous de 1 500 m) sont conscients des enjeux. Une nette majorité s'attend au moins à certaines incidences importantes, tandis que 25 % seulement des répondants estiment que le climat restera stable. Pour les exploitants de stations de ski, les effets les plus probables des changements climatiques seront une fréquence accrue des événements extrêmes et une diminution de l'enneigement. 39 % d'entre eux jugent moyenne à élevée la probabilité de voir se réduire la durée de la saison de ski, mais cela ne veut pas nécessairement dire de leur point de vue qu'il y aura moins de touristes. De plus, une majorité des exploitants ne voient pas les changements climatiques comme une menace importante pour leurs activités, car la plupart estiment qu'il suffira de stratégies d'adaptation appropriées, telles que la production de neige artificielle, pour faire face au phénomène au cours du XXI^e siècle : 47 % pensent que leurs activités ne seront plus rentables dans 15 ans s'ils ne prennent aucune mesure pour s'adapter, mais une grande majorité d'entre eux (82 %) estiment qu'elles le resteront pendant encore 30 à 45 ans au moins à condition de prévoir certaines adaptations. De manière générale, la plupart des exploitants de stations de ski semblent fermement convaincus qu'ils sauront s'adapter aux répercussions potentielles des changements climatiques.

Wolfsegger *et al.* (sous presse) ont également demandé aux exploitants de stations de ski autrichiennes de classer un certain nombre de stratégies d'adaptation possibles en fonction de leur pertinence. En ce qui concerne les solutions techniques, la production de neige artificielle est considérée comme la mesure la plus appropriée (90 % des répondants). Vient ensuite le déplacement ou l'agrandissement des domaines skiables à plus haute altitude et, en troisième position, la fermeture des pistes orientées au sud. Les avis sont partagés quant à l'opportunité de produire de la neige artificielle en employant des additifs chimiques ou d'améliorer les informations météorologiques saisonnières. Sur le plan commercial, l'option jugée la plus appropriée est celle qui consisterait à "partager le coût de l'enneigement artificiel avec le secteur de l'hébergement", les autres solutions envisagées étant, par ordre de pertinence, "la fusion de domaines skiables", "la diversification de l'offre d'activités hivernales", la "diversification de l'offre d'activités toute saison" et "l'intensification du marketing". Enfin, "les aides publiques pour la production de neige artificielle" et "la révision de la réglementation environnementale" sont les mesures politiques privilégiées par les exploitants, tandis qu'une action militante pour tenter d'obtenir une réduction des émissions de gaz à effet de serre afin d'atténuer le réchauffement de l'atmosphère et "une indemnisation de l'État en cas de pertes économiques" paraissent moyennement opportunes.

APPENDICE 3

L'Avenir du marché du ski : ré sultats dé nquê tes et dé tudes analogiques

Pour connaître la réaction potentielle des amateurs de ski aux conséquences des changements climatiques sur le tourisme alpin, on dispose actuellement de deux sources d'information : les enquêtes et les études analogiques. Dans le second cas, l'analogie est établie avec les hivers doux observés dans le passé, puisque c'est sans doute à ce type d'hiver qu'il faudra s'attendre en cas de changement climatique. Ainsi, Abegg (1996) a étudié les répercussions de trois hivers à faible enneigement de la fin des années 1980 en Suisse (hivers 1987/88 à 1989/90). De manière générale, ces hivers ont été plus chauds que la moyenne et très peu enneigés jusqu'à la fin de janvier, voire jusqu'au milieu de février. La Suisse avait déjà connu des hivers à faibles chutes de neige auparavant, mais rarement trois hivers de suite présentant d'aussi mauvaises conditions d'enneigement. Cette situation a laissé une marque profonde sur l'industrie du ski. Les recettes des stations de ski ont diminué en moyenne de 20 % par rapport à l'hiver "normal" de 1986/87. Les moniteurs de ski et de snowboard et toutes les activités commerciales liées aux sports d'hiver ont également beaucoup souffert. Cependant, l'impact a été très différent selon les régions. Les petites stations de basse et moyenne altitude sont celles qui ont été le plus touchées (il y a même eu quelques faillites), tandis que les grandes stations situées au-dessus de 1 700 m ont enregistré de bons résultats, et même excellents pour certaines d'entre elles, du fait du report de la clientèle sur des zones à l'enneigement plus fiable (voir également König et Abegg, 1997). Dans le secteur de l'hôtellerie et des locations de vacances, la baisse d'activité a été moins marquée grâce à la présence de touristes non skieurs et aussi du fait que les réservations sont généralement à l'avance. Mais la question se pose néanmoins de savoir jusqu'à quand les gens resteront fidèles au même site s'ils y sont confrontés de façon répétée à une détérioration des conditions d'enneigement.

Une enquête sur l'évolution de la demande de ski a également été menée dans la partie orientale de l'Amérique du Nord pour les deux hivers 2000/01 et 2001/02 (années où des records de chaleur ont été battus), afin d'essayer de comprendre, par analogie, ce qui pourrait se passer dans les années 2050 (selon un scénario intermédiaire) (cf. Scott, 2006). Les résultats font apparaître une baisse de la demande moins forte que prévu qui s'explique peut-être par une adaptation des comportements touristiques, avec une plus grande intensité d'utilisation du domaine skiable (des visites plus fréquentes pendant une saison de plus courte durée). Mais il est à noter que les effets des changements climatiques sont en partie compensés dans ce cas par un recours massif à l'enneigement artificiel.

Contrairement aux professionnels du secteur (cf. annexe 2), les skieurs semblent penser que les changements climatiques constituent un sérieux problème pour l'industrie du tourisme. D'après un sondage effectué dans cinq stations de ski du centre de la Suisse par Bürki (2000), 83 % des skieurs estiment que les changements climatiques auront des répercussions sur le ski, et presque la moitié s'attend à ce que ces effets se fassent sentir entre les années 2000 et 2030. A la question : "Où iriez-vous faire du ski et à quelle fréquence si vous saviez que les cinq prochains hivers seraient caractérisés par de très faibles chutes de neige ?", la majorité des skieurs (58 %) ont répondu qu'ils continueraient de skier aussi souvent (30 % dans la même station et 28 % dans une station jouissant d'un meilleur enneigement), tandis que près d'un tiers (32 %) ont indiqué qu'ils skieraient moins souvent et 4 % qu'ils arrêteraient complètement. Avec plus d'un tiers de skieurs manquant à l'appel ou pratiquant moins souvent, les conséquences des changements climatiques pour la demande future de ski en Suisse seraient considérables. Une enquête analogue menée dans les Snowy Mountains en Australie aboutit à peu près aux mêmes conclusions (König, 1998).

APPENDICE 3 (suite)

Sur la question des stratégies d'adaptation, la moitié environ des skieurs interrogés ont jugé importantes la production de neige artificielle et/ou l'extension des domaines à plus haute altitude, et moins importantes les animations et activités en station qui ne dépendent pas de la couverture neigeuse (Bürki, 2000). Ces résultats marquent un net décalage avec ceux de l'enquête australienne (König, 1998), d'où il ressort que la quasi-totalité des skieurs (92 %) considèrent l'enneigement artificiel comme un outil important pour la pérennité du ski. Cela est également vrai en Amérique du Nord (Scott, 2006), où la neige artificielle fait partie intégrante de la pratique du ski depuis de nombreuses années – exactement comme en Australie. En Suisse, par contre, cette solution laisse beaucoup de skieurs apparemment sceptiques.

APPENDICE 4

Adaptation : tendances, contraintes et synergies

Stratégies d'adaptation	Exemples des tendances actuelles	Limites	Conflits et synergies possibles
Solutions techniques : • Aménagement et remodelage des sites	<ul style="list-style-type: none">• En Bavière, 27 % du domaine skiable (999 ha sur 3 665) ont été aménagés, dont 75 % par des travaux de terrassement et 15 % par déboisement.	<ul style="list-style-type: none">• Activités dommageables pour l'environnement et dont les conséquences sont encore plus graves en haute altitude.• Stratégie intenable dans l'optique d'une politique de tourisme intégré car les atteintes à l'environnement et au paysage alpins risquent d'avoir des conséquences négatives pour le tourisme estival.	<ul style="list-style-type: none">• Impacts écologiques : risque accru d'érosion; incidence sur la biodiversité et la végétation (il est difficile de restaurer le couvert végétal après l'intervention des machines).
• Déplacement des installations à plus haute altitude et orientation des pistes vers le nord	<ul style="list-style-type: none">• En 2001, on a recensé 155 projets d'extension et 48 projets de regroupement de domaines skiables dans les Alpes, ainsi que 26 projets de création de nouveaux domaines dans des secteurs jusque-là non équipés.• En Suisse, le projet "Savognin 1900" prévoit la construction d'une nouvelle station dans une vallée de haute altitude et l'extension du domaine skiable de Savognin qui verrait sa surface agrandie d'un tiers et engloberait le Piz Mez à une altitude de 2 718 m.	<ul style="list-style-type: none">• Manque d'attractivité des versants exposés au nord pour les skieurs.• Possibilité réduite ou nulle de s'étendre en altitude pour de nombreuses stations.• Augmentation possible du risque d'avalanche et de vent violent à plus haute altitude.• L'extension d'un domaine skiable en haute montagne est une mesure très onéreuse : d'après une étude effectuée en Suisse, il en coûterait entre 40 et 49 millions de CHF.	<ul style="list-style-type: none">• Opposition des associations de protection de la nature, car les milieux de haute montagne sont particulièrement fragiles sur le plan écologique.• La construction de nouvelles remontées mécaniques et l'aménagement de nouveaux domaines skiables contribueront à accroître la pollution (du fait de l'augmentation du trafic lié au tourisme) et les émissions de gaz à effet de serre (l'Institut français de l'environnement a estimé entre 571 et 734 GWh la consommation d'énergie de 4 000 remontées mécaniques au cours d'une saison, soit l'équivalent du quart ou du tiers de la production annuelle d'une centrale nucléaire).

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentiel(le)s
<ul style="list-style-type: none"> Équipement des glaciers 	<ul style="list-style-type: none"> En 2003, une nouvelle remontée mécanique a été inaugurée sur le glacier du Hockengrat, orienté au sud, en Suisse. Il existe des projets d'aménagement de pistes de ski sur les glaciers du Pitzal et du Kaunertal en Autriche. 	<ul style="list-style-type: none"> Stratégie intenable à long terme à cause des changements climatiques : d'ici 2050, on estime que 75 % des glaciers auront disparu dans les Alpes suisses et d'ici 2100, que les glaciers pourraient avoir presque entièrement disparu dans l'ensemble des Alpes. Les habitudes de loisirs se modifient au détriment du ski d'été pratiqué sur les glaciers. 	<ul style="list-style-type: none"> Impacts écologiques dus à l'ouverture de nouvelles pistes de ski sur les glaciers : opposition des associations de protection de la nature.
<ul style="list-style-type: none"> Couverture des baches réfléchissantes pour empêcher leur fonte 	<ul style="list-style-type: none"> Au Tyrol (Autriche), 28 ha sont recouverts de baches durant l'été (environ 3 % de la surface dédiée au ski sur glacier) 6 ha du glacier du Pitzal en Autriche sont protégés par des baches Plusieurs stations suisses utilisent des baches pour protéger leur glacier : Saas Fee et Verbier (canton du Valais), Engelberg et Andermatt (Suisse centrale) et Laax (canton des Grisons) 	<ul style="list-style-type: none"> Les baches réfléchissantes ne sauveront pas les glaciers : il s'agit plutôt d'une solution à court terme. Seules les parties les plus vulnérables des glaciers peuvent être protégées étant donné le coût du dispositif. 	<ul style="list-style-type: none"> Opposition des associations écologistes telles que Greenpeace et Pro Natura.

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentielle(s)
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourcentage du domaine skiable enneigé artificiellement dans chaque pays : 50 % en Autriche (11 500 ha), 18 % en Suisse (3 960 ha), 11,5 % en Allemagne, 15,5 % en France (3 222 ha) et 40 % en Italie (9 000 ha). 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût de la neige artificielle augmentera avec le réchauffement climatique, car il faudra de plus grandes quantités d'énergie et d'eau pour produire de la neige à des températures plus douces. 	<ul style="list-style-type: none"> • La forte consommation d'eau des installations d'enneigement exerce une énorme pression sur les ressources hydriques à un moment de l'année où l'eau est rare et pourrait servir à d'autres usages comme l'alimentation humaine ou la production d'électricité.
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> • C'est dans les Alpes autrichiennes et italiennes que l'on trouve la plus forte proportion de pistes de ski équipées d'installations d'enneigement en Europe. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les canons à neige ne sont pas efficaces à des températures supérieures à -2 °C, et l'utilisation d'additifs (tel le Snomax) et de canons "tout-temps" entraîne des coûts beaucoup plus élevés. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des réserves d'eau potable et les prélèvements effectués dans les cours d'eau ou dans les réservoirs de montagne pour la fabrication de neige artificielle peuvent entraîner des coupures au robinet, réduire le niveau des eaux à des moments critiques de l'année pour la faune et la flore aquatiques, et avoir des effets particulièrement destructeurs pour l'environnement et le paysage alpins.
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les Alpes françaises, 135 stations de ski sont équipées d'installations d'enneigement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un grand nombre de petites et moyennes stations ne pourront pas supporter le coût croissant de l'enneigement artificiel du fait de l'élévation des températures et risquent donc de perdre des skieurs qui se reporteront sur des domaines offrant une meilleure sécurité d'enneigement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les réservoirs de montagne sont soumis à des risques de crue, de chute de pierres et d'avalanche qui pourraient s'aggraver sous l'effet des changements climatiques.
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les Alpes françaises, des canons à neige ont été installés ces dernières années sur les glaciers de Tignes et de Val d'Isère, et la station de l'Alpe d'Huez envisage elle aussi ce type d'équipement. 		<ul style="list-style-type: none"> • La neige artificielle et les additifs utilisés pour sa fabrication peuvent être néfastes pour la végétation alpine.
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 			<ul style="list-style-type: none"> • Les nuisances sonores considérables engendrées par les canons à neige semblent avoir un effet sur l'habitat et le comportement de la faune locale.
<ul style="list-style-type: none"> • Production de neige artificielle 			<ul style="list-style-type: none"> • La forte consommation d'énergie des canons à neige contribue aux émissions de gaz à effet de serre et accentue le problème des changements climatiques.

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentiel(le)s
Changements de comportement : <ul style="list-style-type: none"> • Modalités d'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Certaines petites et moyennes stations de basse altitude ont déjà été contraintes de modifier les dates d'ouverture de leur saison. • En Bavière, des projets ont proposé la création d'une petite "aire de ski d'été" de 2 ha située à 1 000 m d'altitude, sur des surfaces de glisse sans neige. 	<ul style="list-style-type: none"> • Accroître le taux d'utilisation ne peut être une réponse adéquate que si les skieurs continuent d'être satisfaits des prestations offertes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une saison de ski plus courte peut avoir des retombées négatives pour l'économie locale : le secteur de l'hôtellerie et de la restauration, par exemple, risque d'être perdant car les établissements auront moins de clients en début et en fin de saison et ils ne seront pas toujours en mesure d'investir pour augmenter leur capacité d'accueil en haute saison.
<ul style="list-style-type: none"> • Instruments financiers et marketing (assurance neige, produits dérivés liés au climat et incitations commerciales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Les stations de ski mettent en avant l'altitude de leur domaine skiable : Isola 2000, Zillertal 3000, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les primes d'assurance neige risquent de devenir trop coûteuses pour les stations : aux Etats-Unis, par exemple, elles ont considérablement augmenté ces dernières années – signe peut-être que le secteur financier est en train d'adapter ses tarifs à ce type de risque – si bien que plusieurs grands exploitants ont cessé de s'assurer. 	

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentiel(le)s
<ul style="list-style-type: none"> • Effort financier 	<ul style="list-style-type: none"> • La municipalité de St. Moritz, dans le canton des Grisons, a dépensé 2,3 millions de CHF l'an dernier pour ses services de transport. • A Melchsee-Fruyt, en Suisse centrale, les autorités locales ont investi 8,5 millions de CHF dans la construction d'un nouveau télésiège. • Sur les quelque 70 millions de CHF dont elle avait besoin pour rénover son réseau de transport, la commune de Gstaad, dans l'Oberland bernois, en a obtenu 67 millions de la municipalité de Saanen et des cantons de Berne et de Vaud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Face à l'augmentation probable des besoins de financement que va entraîner les changements climatiques, les exploitants des stations de ski estiment que les coûts, notamment celui de l'enneigement artificiel, devront être répartis entre tous les bénéficiaires (y compris les prestataires de services d'hébergement et la collectivité dans son ensemble), ce qui risque de susciter une forte opposition au niveau local. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les investissements ne tiennent pas toujours compte des enjeux du développement durable et de la protection de la nature ni des retombées des changements climatiques.
	<ul style="list-style-type: none"> • Une analyse des projets d'extension de domaines skiables en Suisse (de 1993 à 2001) a montré que les cantons avaient financé la majeure partie des investissements requis (42 %), suivis par les banques et les exploitants de stations eux-mêmes (21 % dans chaque cas). 		

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentiel(le)s
<ul style="list-style-type: none"> Coopération et fusions 	<ul style="list-style-type: none"> Les exemples de coopération régionale pour la mise en place de forfaits-ski donnant accès à plusieurs stations se multiplient dans toutes les Alpes. Les sociétés "Lenzerheide Bergbahnen Danis Stätz AG" et "Rothornbahn & Scalottas AG" ont fusionné pour donner naissance à "Lenzerheide Bergbahnen", aujourd'hui troisième exploitant de remontées mécaniques dans le canton des Grisons, en Suisse, avec un chiffre d'affaires de 35 millions de CHF. 	<ul style="list-style-type: none"> Les touristes pourraient être intéressés par les activités hors ski, mais il est rare qu'ils se rendent dans une station donnée précisément pour ces activités complémentaires. Les activités non liées à la neige ne peuvent pas être le moteur économique du tourisme d'hiver, car aucune d'entre elle n'est capable de se substituer aux sports d'hiver classiques en tant que source de recettes. 	<ul style="list-style-type: none"> Conflit potentiel avec l'agriculture de montagne du fait de la pression foncière exercée par les nouveaux projets d'équipement d'urbanisation.
<ul style="list-style-type: none"> Diversification de l'offre touristique hivernale 	<ul style="list-style-type: none"> Diversification des activités : 2 500 km de sentiers entretenus pour la randonnée en Suisse, 500 toboggans sur neige en Autriche et d'innombrables possibilités de randonnée en raquettes dans toutes les Alpes. En Italie, 48 % des touristes présents dans les stations de sports d'hiver ne pratiquent ni le ski ni le snowboard. 	<ul style="list-style-type: none"> Les touristes pourraient être intéressés par les activités hors ski, mais il est rare qu'ils se rendent dans une station donnée précisément pour ces activités complémentaires. Les activités non liées à la neige ne peuvent pas être le moteur économique du tourisme d'hiver, car aucune d'entre elle n'est capable de se substituer aux sports d'hiver classiques en tant que source de recettes. L'industrie du ski a moins à gagner de la diversification de l'offre que le secteur hôtelier et la restauration qui s'adressent à tous les touristes. 	<ul style="list-style-type: none"> Conflit potentiel avec l'agriculture de montagne du fait de la pression foncière exercée par les nouveaux projets d'équipement d'urbanisation.

APPENDICE 4 : Adaptation : tendances, contraintes et synergies (suite)

Stratégies d'adaptation	Exemples de tendances observées	Limites des stratégies	Conflits/Synergies potentielle(s)
<ul style="list-style-type: none"> • Tourisme toutes saisons 	<ul style="list-style-type: none"> • Instauration d'un contrat de développement diversifié dans l'Isère. • Introduction d'un contrat de plan Etat-région comportant un volet touristique consacré aux stations de moyenne montagne dans la région Rhône-Alpes. • Financement, dans le cadre des contrats de plan Etat-région et avec l'aide de l'Union européenne, de contrats-montagne ayant vocation à développer le potentiel touristique régional grâce à une offre toute saison. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les exploitants de remontées mécaniques ont moins à gagner de la diversification saisonnière de l'offre que les hôteliers et les restaurateurs. • Les changements climatiques auront également des conséquences négatives pour le tourisme d'été : par exemple, la fonte des glaciers nuira gravement à l'attrait de l'environnement montagnard. • Certains éléments de l'offre estivale comme les grottes de glace et le ski disparaîtront également. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conflit potentiel avec l'agriculture de montagne du fait de la pression foncière exercée par les activités touristiques. • Risque de dépendance accrue des collectivités locales à l'égard du tourisme (et donc d'un modèle de développement qui pourrait ne pas être viable à long terme) du fait de la réduction ou de l'abandon d'activités économiques potentiellement rentables.
<ul style="list-style-type: none"> • Abandon du tourisme de ski 	<ul style="list-style-type: none"> • La station de Gschwendner Horn à Immenstadt, en Bavière, a démantelé tous ses équipements de ski et remis toutes ses pistes en végétation dans les années 1990 et elle propose aujourd'hui une offre d'activités touristiques hiver comme été (randonnées pédestres, VTT, parcours en raquettes et ski de randonnée). • La compagnie de transport Gemeindennetzwerk Okomodell Achenal e.V. a mis en place un service de bus gratuit dans huit communes de Bavière et du Tyrol pour transporter les skieurs jusqu'aux stations où ils sont le plus sûrs de trouver de la neige dans la région. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les nombreuses stations de ski où le tourisme d'hiver représente la principale source de revenu et d'emploi, l'abandon du ski risque d'être fatal pour l'économie locale s'il ne s'accompagne pas de plans de développement économique ou de création d'emplois. • Développement possible d'un tourisme moins destructeur et plus respectueux de l'environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les nombreuses stations de ski où le tourisme d'hiver représente la principale source de revenu et d'emploi, l'abandon du ski risque d'être fatal pour l'économie locale s'il ne s'accompagne pas de plans de développement économique ou de création d'emplois. • Développement possible d'un tourisme moins destructeur et plus respectueux de l'environnement.

APPENDICE 5

Catastrophes naturelles surv enues dans les Alpes, 1980-2005

Date	Région	Événement	Nombre de morts	Dommmages économiques** (en millions d'euros)	Dommmages assurés
12.7.1984	Allemagne du sud	Tempête de grêle		950	480
18-28.7.1987	Italie du nord (Valtelline)	Glissement de terrain, crues torrentielles	44	625	0
July-Aug. 1987	Suisse (Brigue)	Inondations	8	800	175
25.2.-1.3.1990	Tout l'espace alpin	Tempêtes Vivian et Wiebke	7*	700*	460*
Sept.-Oct. 1993	Suisse (Brigue)	Inondations	2	620	320
4-6.11.1994	Italie du nord (Valtelline)	Inondations	64	9,300	65
Jan.-March 1999	Tout l'espace alpin	Avalanches, dommages dus aux intempéries	108	850	150
May 1999	Allemagne, Suisse	Inondations	8	670	290
3-7.7.2000	Autriche	Tempête de grêle	2	125	70
14-21.10.2000	Italie du nord, Suisse	Glissement de terrain, tempête	38	8,500	420
6-7.7.2001	Allemagne du sud	Fort tempête	6	300	200
7-8.7.2001	Italie du nord	Cyclone		175	30
3.8.2001	Allemagne du sud, Bavière	Fort tempête, tempête de grêle		300	200
August 2002	Allemagne du sud, Autriche, Italie	Inondations, forte tempête, tempête de grêle	30	10,000	1,000
2/3.1.2003	Allemagne, Suisse, France	Tempête Calvann, inondations	6	305	100
August 2003	Autriche, Suisse, Italie, France	Fort tempête, glissements de terrain	5	500	5
20-27.8.2005	Suisse, Allemagne, Autriche	Inondations	11	2,550	1,270

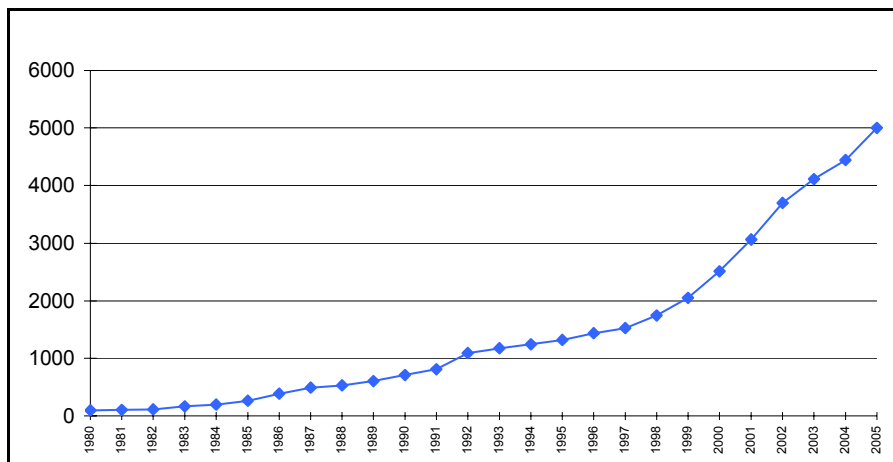
Note : * Autriche et Suisse uniquement. ** Valeurs initiales.

Source : Munich Re, Geo Risks Research, © 01/2006 NatCatSERVICE ®.

APPENDICE 6

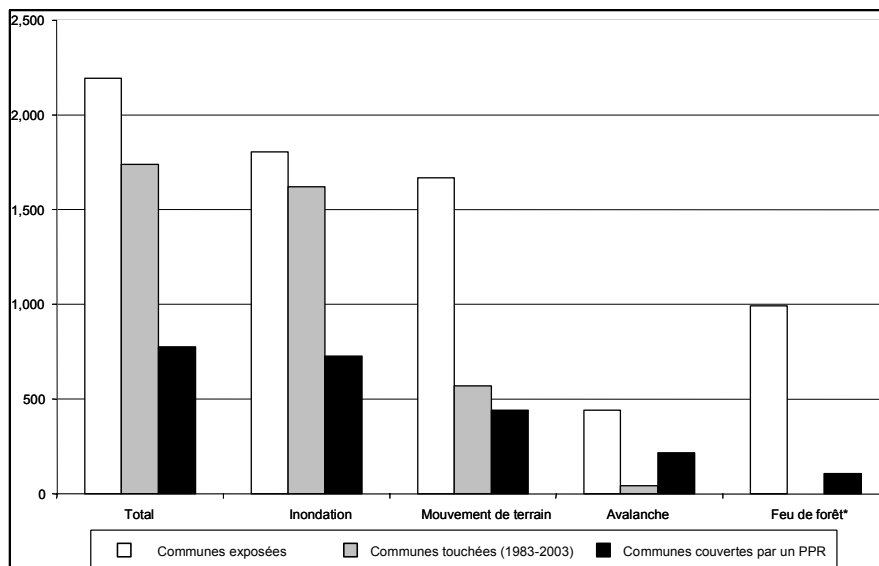
Politique de prévention des risques naturels dans les Alpes françaises

A.6. Figure 1. Mise en place de plans de prévention des risques naturels en France, 1980-2005



Source : DPPR.

A.6. Figure 2. Risques naturels dans les Alpes françaises : exposition, événements et plans de prévention



* L'assurance catastrophes naturelles ne couvre pas les feux de forêt.

Source : DPPR.

APPENDICE 7

Mécanismes de transfert de risques dans les Alpes

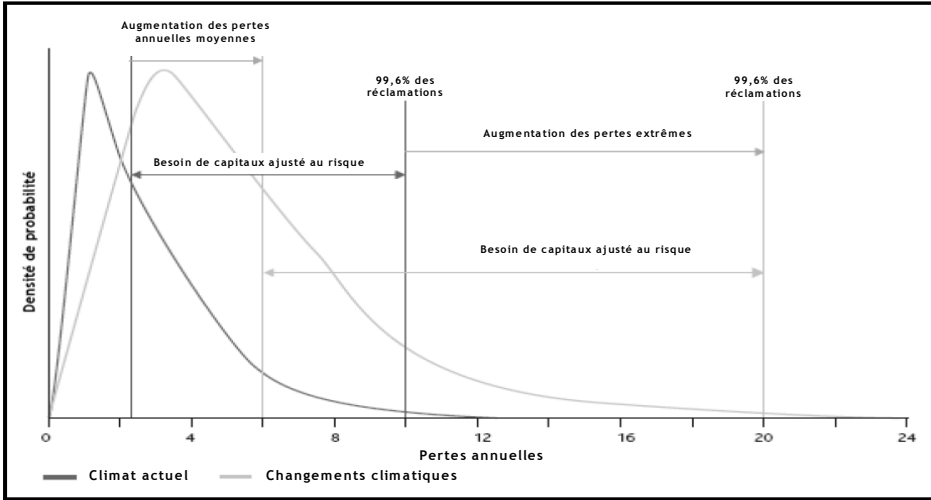
Comme dans beaucoup d'autres régions du monde, les catastrophes survenues récemment dans l'espace alpin, telles que les avalanches et les tempêtes de 1999 et les inondations de 2002 et 2005, ont imposé de lourdes pertes aux divers dispositifs d'assurance ou d'indemnisation (CCR, 2005 ; Kamber, 2006 ; Pretenthaler et Vetter, 2006). Par ailleurs, les scénarios actuels relatifs aux changements climatiques laissent entrevoir une augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles (OcCC, 2003) et des indemnisations qui en découleront (SwissRe, 2006). Compte tenu de la persistance des tendances socio-économiques actuellement observées dans les régions concernées, qui se traduisent de manière générale par une plus grande vulnérabilité des aménagements et par un accroissement des risques encourus, il est probable que ces phénomènes accentueront la pression sur les systèmes d'assurance.

Pour les assureurs, une plus forte probabilité de sinistres et d'événements naturels extrêmes constitue un risque qui doit être compensée par un accroissement des provisions (voir le graphique A.7 figure 1). D'autre part, si les dommages deviennent plus importants du fait de la fréquence et de l'ampleur accrues des risques, il faudra s'attendre également, en règle générale, à une augmentation des primes. Une autre solution consisterait à réduire le champ d'application des régimes d'assurance ou à en resserrer les conditions d'accès, mais elle entraînerait des coûts sociaux et économiques importants, car cela reviendrait alors à faire supporter aux individus et aux collectivités la charge financière des sinistres, ce qui aurait de graves conséquences pour leur situation économique.

Expérience récente des mécanismes de transfert des risques liés aux catastrophes naturelles dans les Alpes

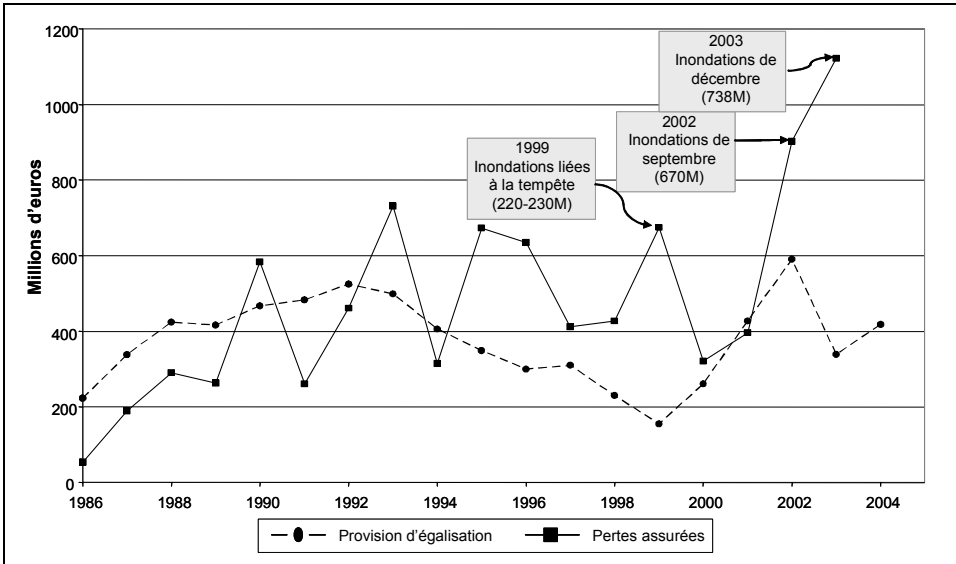
En France, les événements naturels extrêmes ont accru la pression financière sur les provisions de la CCR au cours des dix dernières années. Ainsi, les dommages et les pertes considérables qui ont fait suite à la tempête et aux inondations de 1999 ont contraint l'État à injecter directement 450 millions d'euros dans le dispositif d'indemnisation pour honorer la garantie illimitée. Plusieurs modifications ont ensuite été apportées, en 2000, au régime des catastrophes naturelles afin de reconstituer les provisions de la CCR, notamment un relèvement de la prime additionnelle d'assurance qui est passée à 12 % (CCR, 2005), (voir le graphique A.7 figure 2).

A.7. Figure 1. **Impact potentiel des changements climatiques sur la répartition des probabilités de sinistres et conséquences pour les assureurs**



Source : Association des assureurs britanniques (2005).

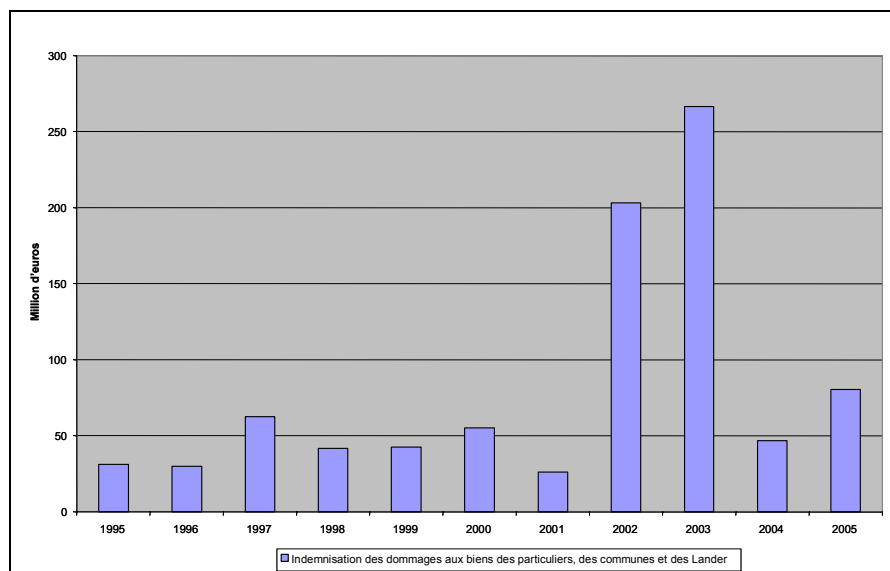
A.7. Figure 2. **Évolution des provisions et des dommages assurés de la CCR**



Source : CCR (2005).

En Autriche, les indemnités versées par le fonds d'assurance contre les catastrophes ont connu d'amples fluctuations au fil des ans et il est déjà arrivé au cours de la dernière décennie que les provisions accumulées soient insuffisantes pour couvrir les dommages à indemniser, ce qui a obligé l'État à prendre le relais (voir le graphique A.7 figure 3). Après les inondations de 2002, par exemple, une forte pression s'est exercée sur les autorités pour obtenir des compensations, étant donné le faible nombre de personnes alors assurées contre ce risque, et l'État a dû compléter les ressources du fonds à hauteur de 500 millions d'euros, dont 250 millions pour indemniser les dommages matériels subis par les particuliers (Hyll *et al.*, 2003).

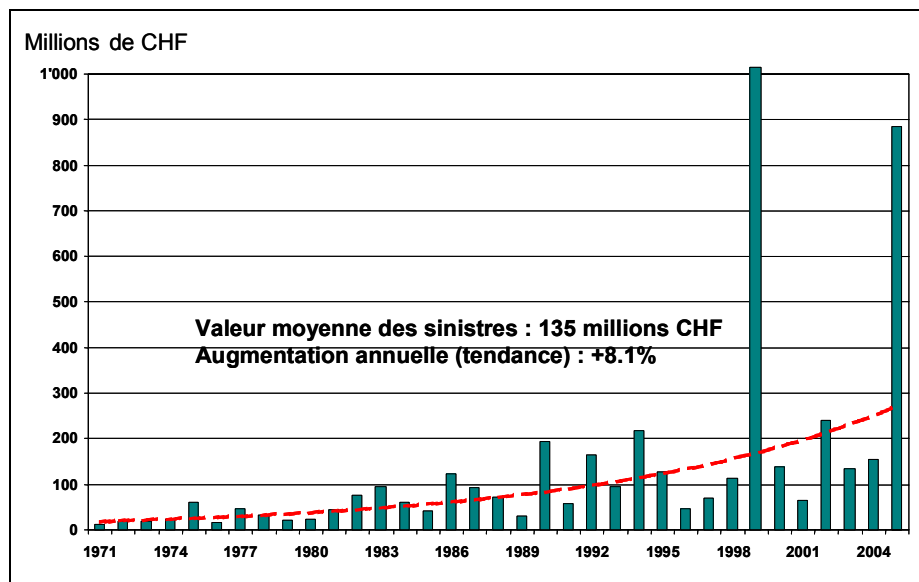
A.7. Figure 3. **Indemnités versées par le Fonds autrichien d'assurance contre les catastrophes**



Source : BMF.

En Suisse, les sinistres déclarés aux assurances cantonales ont augmenté au cours des dernières décennies et plusieurs sinistres catastrophiques extrêmes ont été enregistrés à la suite des avalanches et des tempêtes de l'hiver 1999 ainsi que des inondations de 2005 (voir le graphique A.7 figure 4). Dans le même temps, cependant, les primes d'assurance dommages (y compris la garantie risques naturels) ont diminué de plus de 30 % au cours de la période 1981-1999, avant de remonter légèrement par la suite. Cette faible sensibilité des primes aux événements naturels majeurs tient possiblement à la santé financière des assurances cantonales et à leur travail de prévention concernant les normes de construction et la réglementation. Il est toutefois permis de se demander, compte tenu de la tendance actuelle à l'augmentation des sinistres (+8,1 %), si la situation ne risque pas de devenir intenable à plus long terme.

A.7. Figure 4. **Sinistres assurés dus à des risques naturels en Suisse**



Source : Kamber (2006).

Quelques initiatives pour répondre à l'augmentation des sinistres

Face à l'augmentation des sinistres liés aux risques naturels, en France, les assureurs privés ont décidé de créer une association, baptisée Mission des sociétés d'assurances pour la Connaissance et la Prévention des risques naturels (MRN), qui a vu le jour en 2000. L'objectif de cette structure est 1) de réunir des informations sur les risques naturels et d'en faciliter l'utilisation par les assureurs, 2) de développer la contribution des sociétés d'assurance aux mesures de prévention des risques naturels, et 3) d'informer les assurés sur l'indemnisation des risques naturels et sur les liens entre assurance et prévention.

En Autriche, à la suite des inondations de 2002, les professionnels de l'assurance privée, en partenariat avec le ministère fédéral de l'Agriculture, de la Forêt, de l'Environnement et de la Gestion de l'eau, ont créé un programme de cartographie des crues, le HORA, dont le but est d'informer le public et de le sensibiliser au risque d'inondation. Cette initiative est également une première étape vers une meilleure planification des efforts de prévention et augmentent la capacité des assureurs privés dans la prise en charge du risque d'inondation. (<http://www.hochwasserrisiko.at/>).

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(97 2007 06 2 P) ISBN 978-92-64-03170-8 - n° 55420 2007

Changements climatiques dans les Alpes européennes

ADAPTER LE TOURISME D'HIVER ET LA GESTION DES RISQUES NATURELS

Sous la direction de Shardul Agrawala

Dans tous les pays, le changement climatique pose un grave problème de développement socio-économique. Les engagements pris par la communauté internationale en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre sont essentiels. Mais, dans le monde entier, l'adaptation aux répercussions du changement climatique doit aussi être prise en considération dans les politiques sectorielles et économiques. Cet ouvrage étudie les conséquences du phénomène sur l'économie dans les Alpes. Il met l'accent sur les mesures d'adaptation visant deux problèmes cruciaux : le manque à gagner croissant du secteur du tourisme d'hiver sous l'effet de la diminution de l'enneigement et l'exposition de plus en plus grande des zones d'habitation et des infrastructures aux risques naturels.

Cette publication est le fruit d'une étude conduite pendant deux ans par la Direction de l'environnement de l'OCDE. Elle présente la première analyse internationale systématique des effets du changement climatique sur la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables alpins de cinq pays : la France, la Suisse, l'Autriche, l'Italie et l'Allemagne. Elle examine aussi les conséquences du changement climatique sur plusieurs risques naturels présents dans les Alpes, en insistant sur les cadres d'action et les mécanismes financiers appliqués à la gestion des risques naturels dans trois pays : la France, la Suisse et l'Autriche. Les mesures d'adaptation d'ordre technologique ou comportemental y sont également étudiées, de même que les structures institutionnelles et les mécanismes de transfert des risques.

Au-delà des Alpes, les implications de cette évaluation peuvent être extrapolées à d'autres chaînes de montagnes susceptibles d'être confrontées à des problèmes climatiques et contextuels similaires, par exemple en Amérique du Nord, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Le cas des Alpes européennes, caractérisées par une capacité d'adaptation élevée, fournit des exemples de bonnes pratiques qui sont précieux non seulement pour d'autres pays développés, mais aussi pour les pays en développement.

Le texte complet de cet ouvrage est disponible en ligne à l'adresse suivante :

<http://www.sourceocde.org/environnement/9264031707>

Les utilisateurs ayant accès à tous les ouvrages en ligne de l'OCDE peuvent également y accéder via :

<http://www.sourceocde.org/9264031707>

SourceOCDE est une bibliothèque en ligne qui a reçu plusieurs récompenses. Elle contient les livres, périodiques et bases de données statistiques de l'OCDE. Pour plus d'informations sur ce service ou pour obtenir un accès temporaire gratuit, veuillez contacter votre bibliothécaire ou SourceOECD@oecd.org.



9 789264 031708

ISBN 978-92-64-03170-8
97 2007 06 2 P

www.oecd.org

