

# L'enneigement artificiel dans l'arc alpin

## Rapport de synthèse

### CONTENU

<b>Introduction</b> .....	<b>2</b>
La controverse autour des canons à neige.....	2
Les origines et l'évolution de l'enneigement artificiel.....	2
<b>De l'art de faire de la neige</b> .....	<b>3</b>
Que produisent les canons à neige ? .....	3
Le principe de fonctionnement des canons à neige.....	3
Une histoire d'eau.....	4
La neige est pleine d'énergie... ..	5
<b>La situation actuelle dans les Alpes</b> .....	<b>6</b>
Étendue des surfaces enneigeables.....	6
Tendances.....	8
<b>Coûts</b> .....	<b>9</b>
Coûts d'investissement et d'entretien .....	9
Qui paie ? .....	10
<b>Répercussions de l'enneigement artificiel sur l'environnement</b> .....	<b>11</b>
Travaux de construction : plus c'est haut, plus c'est délicat .	11
La flore.....	11
La faune.....	12
Le régime des eaux .....	13
Paysage et détente.....	13
<b>Perspectives</b> .....	<b>14</b>
Le changement climatique.....	14
L'avenir des sports d'hiver .....	16
Alternatives.....	16
<b>Bibliographie</b> .....	<b>18</b>

# L'enneigement artificiel dans l'arc alpin

par Felix Hahn, CIPRA-International

## Introduction

### La controverse autour des canons à neige

Dans l'arc alpin, un nombre croissant de pistes de ski est équipé d'installations d'enneigement artificiel. Aujourd'hui, les domaines skiables sont en mesure d'enneiger 100 % de leurs pistes. À l'origine, la neige produite artificiellement devait contribuer à pallier certaines „faiblesses“ de la neige naturelle, en particulier son caractère imprévisible. Or, de plus en plus, la neige naturelle est considérée comme un complément à la neige artificielle, et non le contraire.

Les écologistes et les secteurs du tourisme ont généralement des avis controversés quant à l'opportunité d'utiliser les canons à neige et à l'endroit où le faire. L'augmentation de la température et la diminution de la sécurité d'enneigement – liées au changement climatique - contribuent à accentuer cet antagonisme. La discussion ne concerne pas seulement les répercussions possibles de l'enneigement artificiel sur l'environnement, mais aussi le financement des installations d'enneigement artificiel. Une piste enneigeable d'un hectare exige 140 000 euros d'investissements. Les sociétés de remontées mécaniques, qui prennent souvent en charge une grande partie des coûts, revendiquent une participation accrue des pouvoirs publics et du secteur touristique dans son ensemble. Telle est la direction dans laquelle on semble s'orienter aujourd'hui.

### Les origines et l'évolution de l'enneigement artificiel

L'enneigement artificiel a vu le jour aux États-Unis il y a une cinquantaine d'années. Il fallut attendre une dizaine d'années, jusqu'au début des années 60, pour que les canons à neige se développent en Amérique du Nord. Une autre décennie s'écoula avant que les installations d'enneigement artificiel ne gagnent l'Europe, en particulier les Alpes et la Scandinavie.

Rien ne semble devoir arrêter la marche triomphale de la neige artificielle. Dans les Alpes, l'enneigement artificiel a connu une brusque accélération suite aux hivers à faible enneigement de la fin des années 80. La sécurité d'enneigement continue de régresser sous l'effet du réchauffement climatique global, tandis que la commercialisation des sports d'hiver atteint un niveau tel que la neige est souvent considérée comme un « must ». Beaucoup de sociétés de remontées mécaniques souhaiteraient être moins conditionnées par la situation météorologique, perspective que semblent encourager les canons à neige. „Nous avons recours à l'enneigement artificiel non seulement à cause des conditions météorologiques défavorables, mais aussi pour prolonger la saison des sports d'hiver. Voilà pourquoi les installations d'enneigement ont une grande importance pour l'économie alpine durant la saison hivernale“ (Landesamt für Seilbahnen in Südtirol/I 2004:30).

Selon Ulrike Pröbstl (2000), le développement exponentiel des canons à neige tient essentiellement à quatre raisons :

- assurer l'utilisation à pleine capacité des capacités touristiques (branche touristique dans son ensemble),
- assurer les revenus des sociétés de remontées mécaniques,
- assurer l'image des sites accueillant des compétitions internationales de ski et
- assurer les conditions nécessaires aux entraînements et à la pratique du sport de compétition.

La concurrence existant entre les sociétés de remontées mécaniques favorise l'essor des installations d'enneigement artificiel. Où cette évolution mènera-t-elle ?

## De l'art de faire de la neige

### Que produisent les canons à neige ?

La réponse est évidente : de la neige, par un procédé mécanique. Cette neige, que l'on nomme généralement neige artificielle, est-elle le contraire de la neige fraîche tombant naturellement, à savoir de la neige naturelle ? Non, car ce n'est pas la neige qui est artificielle, mais la façon dont elle est produite. Étant donné qu'en matière de tourisme outdoor, la notion d' „artificiel“ a souvent une connotation négative, tandis que le terme de „naturel“ est positif, certains milieux préfèrent les vocables de „neige fabriquée“ ou de „neige de culture“. Quel que soit le nom qu'on lui donne, cette neige possède une structure cristalline différente de la neige naturelle. Elle est plus compacte, moins perméable à l'air et moins isolante que la neige naturelle.

### Le principe de fonctionnement des canons à neige

Pour fabriquer de la neige artificielle, il faut pulvériser de fines gouttelettes d'eau dans l'air froid de l'hiver. Une partie de l'eau s'évapore, ôtant de la chaleur aux zones environnantes : de ce fait, une autre partie des gouttelettes refroidit, elle se congèle et tombe au sol sous forme de petits cristaux et agglomérats de glace, ce qui forme la neige artificielle. L'enneigement artificiel n'est efficace que si la température de l'air est inférieure à  $-4^{\circ}\text{C}$ , l'humidité de l'air inférieure à 80 %<sup>1</sup> et la température de l'eau de  $2^{\circ}\text{C}$  maximum. Si la température de l'air est supérieure à  $-3^{\circ}\text{C}$ , l'enneigement artificiel n'est plus rentable<sup>2</sup>. En d'autres termes : plus l'air est sec, plus l'air et l'eau sont froids, meilleures sont les conditions d'enneigement artificiel.

Pour produire de la neige artificielle, il faut de l'eau, de l'air et de l'énergie.

#### Digression : les additifs

Lorsque la température est trop élevée, on a recours à des additifs qui modifient la température à laquelle l'eau gèle. Le SNOMAX, de la société York, est le plus connu d'entre eux. Avec le SNOMAX, il est encore rentable d'enneiger artificiellement à  $-3^{\circ}\text{C}$ , voire à  $0^{\circ}\text{C}$  lorsque l'humidité de l'air est très faible.

La substance active du SNOMAX est la bactérie *Pseudomonas syringae*. Cultivée dans des réservoirs spéciaux, elle est lyophilisée et, d'après le fabricant, totalement exterminée par stérilisation. Les bactéries, qui font fonction de germes de glace, accélèrent le processus de cristallisation, même à des températures relativement élevées. Ce procédé permet de produire de la neige à une température où l'eau ne gèlerait pas si elle était dépourvue de substances actives.

Le système SNOMAX produit de la neige en utilisant une moindre quantité d'eau et d'énergie, raison pour laquelle ses partisans le qualifient de „compatible avec l'environnement“. Mais aucune étude longitudinale n'a été consacrée aux répercussions possibles de tels additifs sur l'homme et sur l'environnement.

Aujourd'hui, la neige artificielle est fabriquée par des canons à air comprimé (systèmes haute pression) et par des canons à hélice (systèmes basse pression). En réalité, les termes de haute et basse pression ne sont pas exacts. Les canons à hélice, à savoir les systèmes basse pression, requièrent souvent une plus grande pression de l'eau que les systèmes haute pression pour obtenir de la neige de bonnes performances.

<sup>1</sup> La température humide mesure la température de l'air (à savoir la température sèche) en rapport avec l'humidité relative de l'air. Sauf en cas de saturation de l'air, la température humide est toujours inférieure à la température de l'air. Ainsi, une température de l'air de  $-4^{\circ}\text{C}$  pour une humidité de l'air de 80 % correspond à une température humide d'à peine  $-5^{\circ}\text{C}$ . Pour une humidité de l'air de 30 %, elle est inférieure à  $-7^{\circ}\text{C}$ .

<sup>2</sup> [http://www.fellhorn.de/Home/winter\\_pistenbeschneigung.html](http://www.fellhorn.de/Home/winter_pistenbeschneigung.html)

Dans les systèmes haute pression, l'air sous pression passe par des tuyaux, tandis que dans les systèmes basse pression, c'est une hélice qui produit le flux d'air nécessaire à la pulvérisation de l'eau (ces derniers requièrent donc une ligne d'alimentation électrique). À l'origine, les deux systèmes étaient utilisés exclusivement près du sol. Aujourd'hui, ils sont parfois montés sur des tourelles, qui offrent une plus longue distance de projection et de meilleures performances aux températures limite. Le système HKD est une autre technique innovante. Il s'agit de longues lances qui, de par leur principe de fonctionnement, relèvent des canons haute pression. Tous ces systèmes présentent des avantages et des inconvénients, chacun d'entre eux étant plus ou moins adapté aux conditions ambiantes (nature du terrain, infrastructures existantes, taille envisagée de l'installation etc.). Les systèmes basse pression consomment généralement moins d'énergie et sont plus silencieux que les systèmes haute pression.

Dans les installations d'enneigement artificiel, seuls les enneigeurs et les regards sont généralement visibles. Or, ils ne représentent qu'une petite partie de l'installation (de 5 à 20 % des coûts d'investissement). En général, les installations d'enneigement artificiel comportent les éléments suivants :

- prise et parfois réservoir d'eau,
- pompes,
- système de canalisation principale (pour l'eau, l'électricité, l'air comprimé),
- regards,
- bâtiments de la station,
- compresseurs (installations haute pression),
- installations de fourniture d'énergie et câble terrestre,
- système de commande,
- installation de refroidissement (facultatif),
- petite station météo de mesure,
- enneigeur.

Un schéma des différentes installations d'enneigement artificiel est disponible sur le site <http://www.strom-online.ch/7alles.pdf> (de). Pour des informations détaillées sur les techniques d'enneigement en général, se reporter au site <http://www.anpnc.com/recueil/cadre%20recueil.htm> (fr).

Outre les typologies courantes de canons à neige évoquées ci-dessus, il existe également les cryo-canons<sup>3</sup> et les canons à glace<sup>4</sup>. Ces deux systèmes peuvent être utilisés pour fabriquer de la neige à des températures supérieures à 0 °C, mais, en raison de leur coût, ils ne sont pas utilisés pour l'enneigement de grandes surfaces. On les utilise pour des événements spéciaux comme le tournage de films.

## Une histoire d'eau

Dans les installations d'enneigement artificiel, l'eau est une ressource essentielle. Avec 1 000 litres d'eau, soit un mètre cube, on peut produire en moyenne de 2 à 2,5 mètres cubes de neige. Pour l'enneigement de base (environ 30 cm d'épaisseur – on enneige souvent davantage) d'une piste d'un hectare, il faut au moins un million de litres, soit 1 000 mètres cubes d'eau. En fonction des conditions ambiantes, les enneigements successifs exigent une quantité d'eau encore plus importante. D'après une étude réalisée en France, l'enneigement d'un hectare de pistes lors de la saison 2002/03 a nécessité environ 4 000 mètres cubes d'eau.<sup>5</sup> Pour enneiger les 23 800 ha de pistes enneigeables des

<sup>3</sup> Les cryo-canons utilisent généralement de l'azote liquide pour le refroidissement.

<sup>4</sup> Les canons à glace transforment l'eau en glace selon le même principe que le réfrigérateur, en la concassant en fines particules de glace.

<sup>5</sup> <http://www.senat.fr/rap/I02-215-2/I02-215-228.html>

Alpes et compte tenu de la consommation d'eau susmentionnée, il faut compter environ 95 millions de mètres cubes d'eau par an pour la fabrication de neige artificielle, soit à peu près la consommation annuelle en eau d'une ville d'1,5 millions d'habitants.

L'eau est prélevée des ruisseaux, des rivières, des sources et de l'approvisionnement en eau potable, sauf en période de sécheresse. L'enneigement artificiel est essentiellement pratiqué en novembre et en décembre, mais aussi en janvier et en février. A cette époque, la plupart des eaux naturelles sont soumises à des contraintes, et les ruisseaux et les sources atteignent leur étiage.

Lorsque la température de l'eau prélevée des nappes phréatiques et des eaux de source est trop élevée, on construit des tours de refroidissement. Pour les besoins de l'enneigement artificiel, il est important de disposer de très grandes quantités d'eau en un court laps de temps. Lorsque les conditions météorologiques le permettent, on s'efforce, particulièrement en début de saison, de fabriquer la précieuse neige „à plein régime“. Voilà pourquoi la construction de bassins de retenue est souvent favorisée, pour assurer l'approvisionnement en eau des installations d'enneigement artificiel.

### La neige est pleine d'énergie...

Outre l'eau et l'air, la neige artificielle contient une quantité considérable d'énergie. La consommation d'énergie dépend de la technique choisie, du site, de l'approvisionnement en eau et des conditions climatiques. En France, d'après une enquête réalisée par le Service d'Études et d'Aménagement Touristique de la Montagne SEATM (2002a), la consommation d'énergie a été de 25 426 kWh par hectare de piste enneigée au cours de la saison 2001/02. Si l'on considère que ce chiffre vaut pour l'ensemble de l'arc alpin (23 800 ha de pistes enneigées), il en résulte une consommation énergétique totale des installations d'enneigement artificiel de 600 GWh, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle de 130 000 foyers de quatre personnes. En France, pendant la saison 2001/02, la consommation d'énergie par mètre cube de neige artificielle s'est élevée en moyenne à 3,48 kWh.

S'il est vrai que les nouveaux modèles de canons à neige sont moins gourmands en énergie, il convient de signaler l'augmentation vertigineuse des nouvelles installations d'enneigement artificiel et l'extension de celles existantes. Il en résulte que la puissance installée des installations va croissant, et qu'elles sont de plus en plus fréquemment en fonctionnement.<sup>6</sup> Globalement, la consommation d'énergie a augmenté de manière vertigineuse ces dernières années et, compte tenu des tendances actuelles, elle se poursuivra encore.

À cela s'ajoute que les installations d'enneigement artificiel sont les pires consommateurs d'énergie pour les centrales électriques : d'une part, ces installations sont exploitées l'hiver, à savoir à une époque où les besoins en électricité sont considérables ; d'autre part, elles transforment en neige les eaux disponibles l'hiver, alors que celles-ci pourraient servir à la production d'électricité. De plus, la neige fabriquée artificiellement fond à une époque où la disponibilité en eau est largement suffisante.

Tableau 1 : Consommation hydrique et électrique annuelle pour les besoins de l'enneigement artificiel dans les Alpes, comparaison avec la consommation annuelle équivalente d'un foyer moyen de quatre personnes en Allemagne.

	Pour un foyer de 4 personnes	Pour une piste enneigée	Pour l'enneigement dans l'arc alpin
<b>Consommation hydrique</b>	200 m <sup>3</sup>	4 000 m <sup>3</sup>	95 millions m <sup>3</sup>
<b>Consommation électrique</b>	4 500 kWh	25 000 kWh	600 millions kWh

<sup>6</sup> D'après une enquête réalisée dans des domaines skiables français (SEATM 2002a), la durée d'utilisation moyenne des installations d'enneigement est passée de 544 heures (saison 2000/01) à 760 heures (saison 2001/02).

## La situation actuelle dans les Alpes

### Étendue des surfaces enneigeables

D'après le WWF Autriche (2004), 90 % des grands espaces skiables alpins disposent d'installations d'enneigement artificiel. Le tableau ci-après donne un aperçu de l'étendue actuelle des possibilités d'enneigement dans les pays alpins.

Tableau 2 : Pistes de ski enneigeables dans l'arc alpin.

	Surface des pistes enneigeables (en %)	Surface des pistes enneigeables (en ha)	Surface totale des pistes (en ha)
Slovénie <sup>7</sup>	27	320	1 200
Autriche <sup>8</sup>	40	9 200	23 000
Liechtenstein <sup>9</sup>	0	0	5
Suisse <sup>10</sup>	10	2 290	22 000
Alpes italiennes <sup>11</sup>	40	9 000	22 600
Bavière/D <sup>12</sup>	10	380	3 700
Alpes françaises <sup>13</sup>	13	2 650	20 800
<b>Total Alpes</b>	<b>27</b>	<b>23 840</b>	<b>93 300</b>

Actuellement, la surface des pistes enneigeables au niveau alpin – 24 000 hectares – représente une fois et demi celle de la Principauté du Liechtenstein, soit un bon quart de la surface totale des pistes. En pourcentage, l'Italie et l'Autriche disposent d'un nombre particulièrement élevé de pistes enneigeables artificiellement.

<sup>7</sup> Communauté slovène des exploitants de pistes de ski 2004

<sup>8</sup> <http://www.seilbahnen.at/winter/beschneigung>

<sup>9</sup> Au Liechtenstein, il n'existe actuellement pas d'installations d'enneigement artificiel. Toutefois, une telle installation est envisagée dans le domaine skiable de Malbun.

<sup>10</sup> Remontées mécaniques suisses 2004

<sup>11</sup> Selon l'Istituto geografico De Agostani (2000) 37.5% des pistes pouvaient être enneigées artificiellement en Italie en 1999 et, selon l'Association nationale des exploitants de remontées mécaniques (ANEF), 22.5% des pistes pouvaient être enneigées en 1998/99 (<http://www.anef.it/pubblica/dats/immagini/pdf/foglio12.htm>). Pour les présentes statistiques, on compte une moyenne de 30% de pistes ayant pu être enneigées en 1999. Même si cette estimation reste en l'état, on considère qu'aujourd'hui au moins 40% des pistes italiennes sont susceptibles d'être enneigées. Dans le Tyrol du Sud/I, en Bavière/D, en Suisse et dans les Alpes françaises (seules régions dans lesquelles les données sont disponibles), la surface des pistes enneigeables a augmenté d'au moins un tiers, parfois de beaucoup plus depuis 1999.

<sup>12</sup> Doering & Hamberger 1996, actualisé jusqu'en 2003.

<sup>13</sup> Service d'Études et d'Aménagement touristique de la montagne (SEATM) 2002a

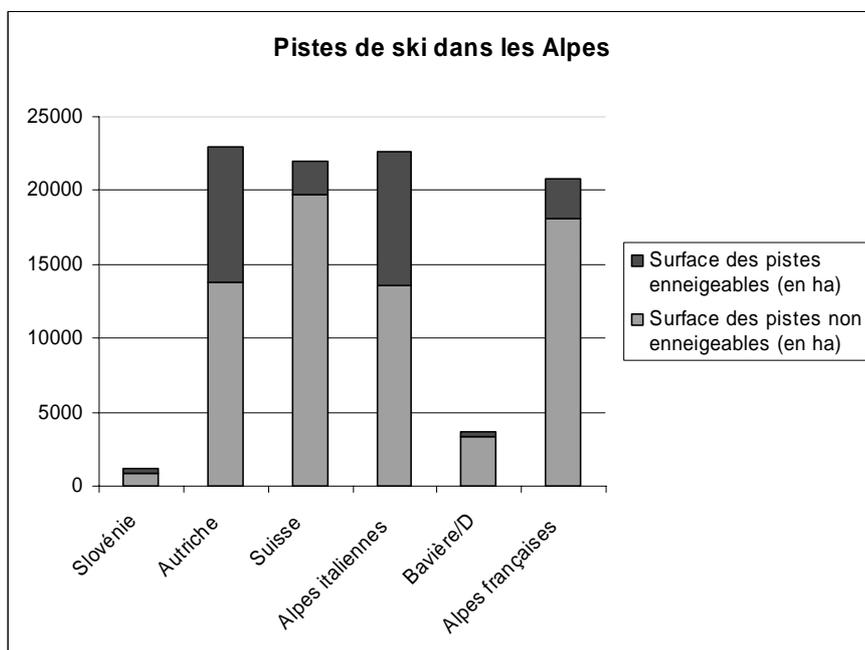


Figure 1 : Pistes de ski enneigables et non enneigables dans l'arc alpin.

Dans l'arc alpin, le champion de l'enneigement artificiel est la Province italienne de Bolzano-Tyrol du Sud, où plus de 80 % des pistes de ski sont enneigées.<sup>14</sup>

La figure 2 montre qu'aujourd'hui, plus de deux tiers de toutes les pistes enneigables des Alpes se situent en Italie et en Autriche. Les Alpes françaises et suisses possèdent une surface de pistes comparable à celle de l'Autriche et de l'Italie, mais elles ne comptent que 10 % des pistes enneigables à l'échelon alpin. Par conséquent, les pressions en faveur d'une extension des pistes enneigables sont de plus en plus fortes en France, en Suisse et en Allemagne.

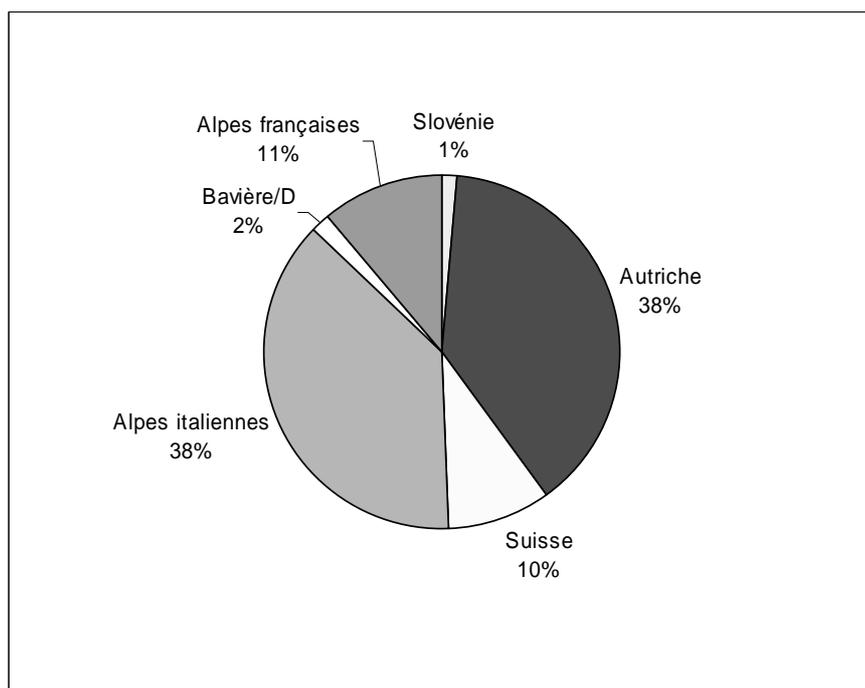


Figure 2 : Pourcentage des pistes enneigables dans les pays alpins.

<sup>14</sup> Seilbahnen in Südtirol/I (2004) et [http://www.provinz.bz.it/wasser-energie/3701/wasser/innevamento\\_d.htm](http://www.provinz.bz.it/wasser-energie/3701/wasser/innevamento_d.htm)

## Tendances

Globalement, le pourcentage de pistes enneigeables augmente de manière vertigineuse. Le mouvement en faveur de l'enneigement a démarré plus ou moins tôt dans les différents pays, si bien que les situations initiales sont fort disparates. Aujourd'hui cependant, des sommes considérables sont dépensées presque partout dans les installations d'enneigement artificiel. Dans les pays où il existe un faible pourcentage de pistes pouvant être enneigées, on assiste à une véritable course de rattrapage. Ceci mène à une situation difficilement maîtrisable, que personne n'aborde de manière critique. L'Italie et l'Autriche sont souvent considérées comme des modèles en vertu de leur potentiel d'enneigement.

En l'espace de cinq ans, de 1997 à 2002, la surface enneigeable du Tyrol du Sud/I<sup>15</sup> et de la France a progressé d'environ 60 %. En Suisse, elle a doublé, tandis qu'en Bavière elle a progressé de près de 140 %<sup>16</sup>.

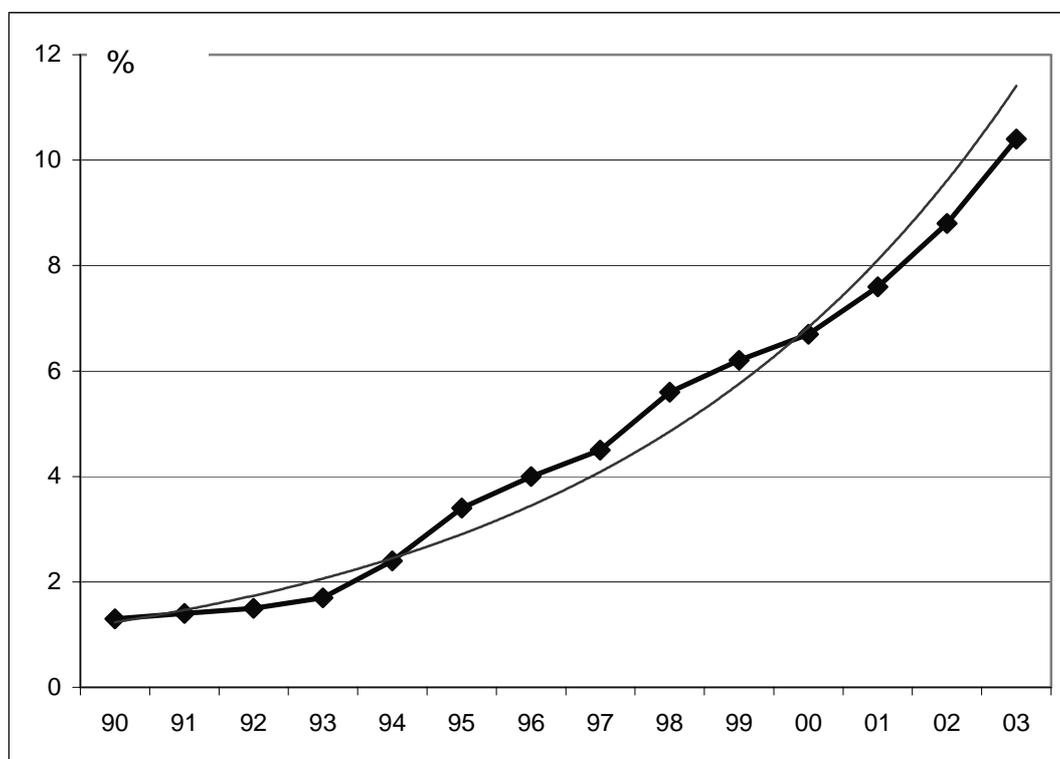


Figure 3 : Évolution du pourcentage de pistes enneigeables en Suisse par rapport à la surface totale des pistes (1990 - 2003). La ligne au fin tracé représente une fonction exponentielle et montre la tendance de l'évolution.

La figure 3 montre que l'augmentation des surfaces enneigeables en Suisse est plus exponentielle que linéaire.

Quand cette augmentation prendra-t-elle fin ? Aux États-Unis, il n'est pas rare que 70-80 % des pistes des domaines skiables soient enneigées artificiellement. Bien qu'en Europe on souligne de toutes parts que les conditions y sont différentes qu'en Amérique du Nord, la réalité montre qu'une évolution analogue est en cours. Dans les Alpes, certains grands espaces skiables - Tre Valli dans le Tyrol du

<sup>15</sup> Dans le Tyrol du Sud, il n'existe pas de statistiques concernant les surfaces, mais on dispose des statistiques de l'Office régional des Remontées mécaniques du Tyrol du Sud/I (Landesamt für Seilbahnen 2004), qui indiquent le nombre de canons à neige.

<sup>16</sup> Nous n'avons pas trouvé de chiffres correspondants pour l'Autriche, la Slovénie et les Alpes italiennes.

Sud/I ou Chamrousse dans le département de l'Isère en France – possèdent déjà 100 % de pistes enneigeables<sup>17</sup>.

En Suisse, où „seulement“ 10 % de la surface des pistes est aujourd'hui équipé de canons à neige, une société de remontées mécaniques sur dix enneige 30 % de ses pistes. Un bon quart de toutes les sociétés ne procède (encore) à aucun enneigement (Remontées mécaniques suisses 2004).

Ce qui est inquiétant, c'est d'une part l'augmentation des surfaces enneigeables, et d'autre part le fait que les installations d'enneigement artificiel se développent de plus en plus en altitude, dans des zones particulièrement sensibles sur le plan écologique. Cette tendance reflète la stratégie de nombreux domaines skiables, qui tendent à se développer toujours plus en altitude. Aujourd'hui déjà, certains glaciers sont enneigés artificiellement.

## Coûts

### Coûts d'investissement et d'entretien

Les coûts d'investissements des installations d'enneigement artificiel sont élevés, et leur exploitation engloutit des sommes considérables. Un mètre cube de neige artificielle (y compris amortissements, énergie, frais de personnel) coûte aujourd'hui de trois à cinq euros aux sociétés de remontées mécaniques.

En Suisse, on estime en général qu'un kilomètre de piste enneigeable requiert 650 000 euros d'investissements. D'après Zurschmitten & Gehrig (2004), les charges d'exploitation dans le Canton du Valais s'élèvent à 33 000 euros en moyenne par kilomètre, la différence entre les hivers normaux et les hivers à faible enneigement étant minime (environ 2 000 euros). Pour les remontées mécaniques, les coûts atteignent 50 000 euros par kilomètre. En moyenne, les remontées mécaniques du canton du Valais consacrent 8,5 % de leur chiffre d'affaires à l'enneigement artificiel, cette part atteignant 17 % pour les petites remontées.

En Suisse, on a investi à ce jour près de 330 millions d'euros dans les installations d'enneigement artificiel (Mathis, Siegrist & Kessler 2003). Cet investissement a permis d'enneiger environ 2 300 hectares de pistes. Il en résulte un investissement moyen dans les installations d'enneigement de 143 000 euros par hectare de piste enneigeable. Ce chiffre est comparable aux calculs de la CIPRA, selon lesquels un hectare de nouvelle surface à enneiger nécessite en moyenne 136 000 euros. Les installations nécessaires à l'enneigement artificiel des pistes alpines enneigeables artificiellement, dont la surface est estimée à 23 800 hectares, requièrent un investissement de plus de trois milliards d'euros. D'après Mathis, Siegrist & Kessler (2003), les sociétés de remontées mécaniques suisses devraient investir près de 1,2 milliards d'euros dans les installations d'enneigement artificiel pour atteindre un niveau comparable à celui de l'Autriche.

En Autriche, 128 millions d'euros ont été investis dans les installations d'enneigement pendant la saison 2002/03 (Fachverband der Seilbahnen Österreichs 2003). Pour la saison 2003/04, cet investissement a même atteint 176 millions d'euros<sup>18</sup>. En France, il a été de 60,5 millions d'euros en 2004 (SEATM 2003).<sup>19</sup> La figure 5 montre l'énorme progression des investissements ces dernières années.

<sup>17</sup> <http://www.adac-skiguide.de>

<sup>18</sup> <http://www.seilbahnen.at/winter/beschneigung>

<sup>19</sup> Une grande partie de cette somme a été investie dans les Alpes.

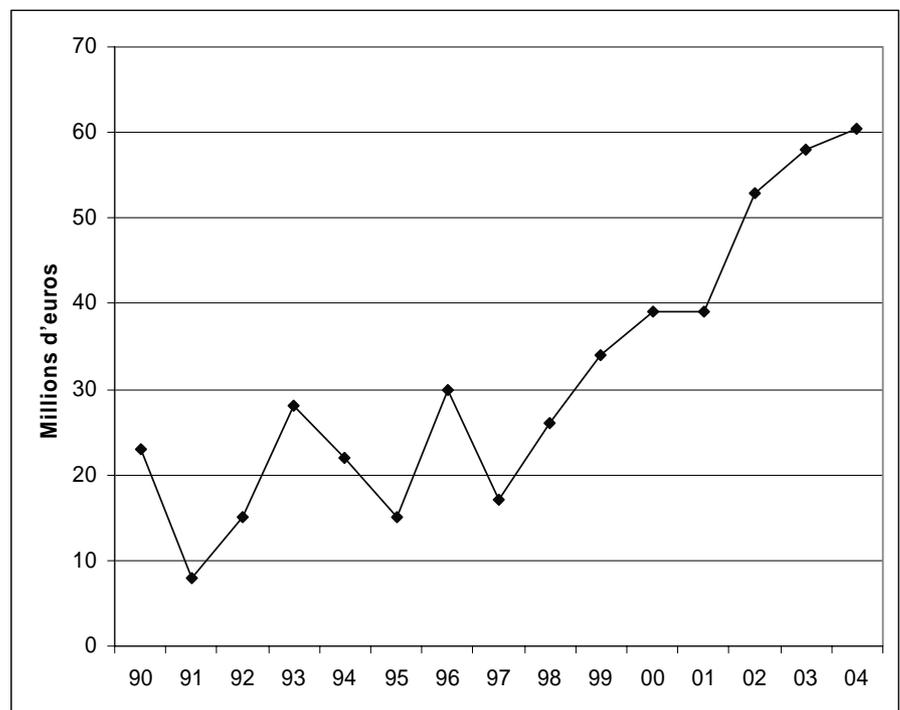


Figure 4: Évolution des investissements dans les installations d'enneigement artificiel en France (1990 - 2004).

Entre 1990 et 2004, la France a investi un peu moins d'un demi milliard d'euros dans les installations d'enneigement artificiel. Quant à Autriche, elle y a consacré environ 800 millions d'euros entre 1995 et 2003 (Fachverband der Seilbahnen Österreichs 2003).

### Qui paie ?

Le montant des investissements dans les installations d'enneigement artificiel est considérable. La répartition des coûts entre les sociétés de remontées mécaniques et les pouvoirs publics est variable, et il arrive que les communes soient propriétaires d'une partie des sociétés de remontées mécaniques. Il est donc difficile de savoir exactement qui paie quoi, car les opportunités de subventions varient non seulement d'un pays à l'autre, mais aussi d'un Land à l'autre, d'un Canton à l'autre et d'une Province à l'autre. L'étendue des contributions versées par les pouvoirs publics est importante.

Dans de nombreux pays, les installations d'enneigement bénéficient de mesures d'aide économique. C'est le cas du Tyrol du Sud, où il n'est pas rare que les subventions accordées aux installations d'enneigement artificiel par l'État atteignent 23 % des coûts d'investissements. En Suisse, la tendance est analogue, comme l'indique la nouvelle loi sur la promotion économique du Canton des Grisons, selon laquelle, à l'avenir, les canons à neige continueront d'être financés par des fonds cantonaux. Certes, la Confédération et les Cantons pouvaient déjà financer les installations d'enneigement avant, mais c'était assez rarement le cas. D'après Mathis, Siegrist & Kessler (2003), ce sont les communes qui jouent le plus grand rôle à cet égard en Suisse.

En règle générale, les pouvoirs publics des pays alpins sont soumis à des pressions croissantes pour augmenter leur participation au financement des installations d'enneigement artificiel. L'exemple le plus récent est la Bavière, où les débats houleux au sein du Parlement régional révèlent que si les aides de l'État aux installations d'enneigement artificiel ne sont pas encore une réalité, elles ne tarderont pas à le devenir. Selon l'Association professionnelle autrichienne des sociétés de remontées mécaniques, il serait juste qu'à l'avenir tous ceux qui profitent du tourisme hivernal (y compris l'hôtellerie etc.) participent davantage au financement des coûts. D'après les statistiques autrichiennes sur les remontées mécaniques (<http://www.seilbahn.net/daten/statoest/statistik.htm>), en 1999

84 % des investissements dans les installations d'enneigement et 97 % des charges d'exploitation desdites installations ont été financés par les sociétés de remontées mécaniques.

Dans plusieurs pays, les autorités elles-mêmes sont convaincues que l'enneigement artificiel constitue un impératif, et qu'il doit dès lors être encouragé. Une commission du Sénat français a formulé cette idée comme suit : « La mission commune d'information, tout en rappelant que la production de neige de culture n'est pas possible lorsque la température est exceptionnellement élevée et qu'elle suppose une ressource en eau suffisamment abondante, estime néanmoins que son développement apparaît aujourd'hui comme une solution indispensable pour contrecarrer les effets de l'aléa climatique, notamment en début et en fin de saison ; elle souligne également que ce procédé contribue à garantir la sécurité de l'utilisation du domaine skiable » (Sénat N° 15, rapport d'information, session ordinaire de 2002-2003, Annexe au procès-verbal de la séance du 9 octobre 2002 <http://www.senat.fr/rap/r02-015-1/r02-015-11.pdf>).

## Répercussions de l'enneigement artificiel sur l'environnement

Les répercussions des installations d'enneigement artificiel sur l'écologie sont de diverse nature, et elles sont souvent sujettes à controverse. On oublie fréquemment que la pratique du ski et la préparation des pistes représentent elles-mêmes une atteinte massive à l'environnement.

Les paragraphes qui suivent se basent sur les remarques de Doering & Hamberger (1996). Il convient de prendre en compte les répercussions de la construction d'infrastructures pour les besoins de l'enneigement artificiel, mais aussi les conséquences de son exploitation, qui sont loin de toucher exclusivement les surfaces enneigées.

### Travaux de construction : plus c'est haut, plus c'est délicat

L'enneigement ne peut être réalisé sans infrastructures lourdes. La pose de conduites d'eau, d'air et d'électricité requiert d'importants travaux de construction et l'intervention de machines lourdes. Ceci porte atteinte à la faune, à la flore, au sol et au paysage. Les écosystèmes montagnards sont sensibles, et plus le chantier est situé en altitude, plus les cicatrices mettront du temps à guérir, d'ailleurs plus ou moins bien. Il faut parfois attendre des années, voire des siècles pour que le sol et la végétation se remettent de telles nuisances.

À cela s'ajoute que la construction d'installations d'enneigement artificiel va souvent de pair avec le nivellement des pistes, car il est plus facile d'enneiger artificiellement des pistes nivelées. Ceci constitue une autre atteinte massive à la nature et au paysage.

### La flore

Outre les importants préjudices causés à la végétation par les travaux de construction, la neige artificielle en tant que telle porte atteinte à la flore. La gravité de ces effets est diversement appréciée. Aujourd'hui, nous ne disposons pas des résultats d'études longitudinales. Il convient dès lors de suivre de près cette évolution.

Les conséquences de la neige artificielle sur la végétation sont généralement moins marquées dans les zones proches des vallées ou exploitées de manière intensive que dans les zones situées en altitude ou soumises à une exploitation extensive. Les interventions sont particulièrement néfastes dans les sites extrêmes (zones humides, prairies maigres, etc.).

### **Le manteau de neige artificielle observé à la loupe – une étude du SLF**

De 1999 à 2001, l'Institut fédéral pour l'Étude de la Neige et des Avalanches (SLF) de Davos/Suisse a réalisé un projet de recherche sur trois ans visant à étudier les effets de la neige artificielle et des additifs sur la végétation et le sol alpins (SLF 2002). Les premiers résultats de cette étude sont présentés ci-dessous.

Sur les pistes de neige artificielle, le manteau neigeux est plus épais de 70 cm au milieu, et il contient deux fois plus d'eau que celui des pistes à neige naturelle. En outre, l'eau issue de la fonte de la neige artificielle contient quatre fois plus de minéraux et de nutriments que l'eau de fonte naturelle. Il en résulte une augmentation des espèces indicatrices révélant la présence accrue de nutriments et d'eau sur les pistes à neige artificielle. Les plantes ligneuses, qui sont sensibles aux atteintes mécaniques subies par les pistes de ski (carres de ski, travaux sur les pistes) sont présentes en plus grand nombre sur les pistes à neige artificielle que sur celles à neige naturelle, car elles sont protégées par une couche de neige plus épaisse.

Le sol recouvert par de la neige naturelle atteint des températures minimales inférieures à  $-10^{\circ}\text{C}$ , car la couverture neigeuse relativement fine et dense fournit une mauvaise isolation, et le sol refroidit rapidement. En revanche, sous les pistes à neige artificielle, de même que sous la neige non préparée, les températures atteignent environ  $0^{\circ}\text{C}$ . La faible température du sol des pistes à neige naturelle donne lieu à une augmentation des espèces adaptées à ces conditions : il s'agit des espèces typiques des crêtes ventées alpines (arêtes et sommets alpins à faible couverture neigeuse).

Sur les pistes à neige artificielle, la neige reste deux à trois semaines plus longtemps que sur les pistes à neige naturelle. Le début de la croissance des plantes est donc retardé. Sur les pistes à neige artificielle, la présence prolongée de la neige favorise la croissance des plantes affectionnant les lieux où la fonte des neiges est très tardive (les combes à neige).

En règle générale, sur toutes les pistes – qu'elles soient couvertes de neige naturelle ou de neige artificielle – la diversité des espèces et leur productivité est moindre que sur les surfaces témoins non perturbées.

Les tests relatifs aux effets des additifs sur les plantes alpines font apparaître de légères modifications de la croissance, induites par l'emploi de germes de cristallisation, mais aussi un important effet fertilisant provoqué par les agents servant à durcir la neige.

Toutes les analyses montrent que le facteur „nivellement“ exerce l'influence la plus forte sur la végétation des pistes de ski. En règle générale, le facteur „neige artificielle“ ne produit qu'une légère modification supplémentaire de la végétation par rapport au facteur „piste de ski“.

### **La faune**

Les sports d'hiver dans leur ensemble ont des effets négatifs sur les animaux sauvages qui, surtout l'hiver, ont besoin de se reposer et d'économiser leur énergie. L'enneigement artificiel est un facteur de perturbation supplémentaire, qui se manifeste particulièrement la nuit. La première source de nuisances est le bruit et la lumière. Des études réalisées sur le Fellhorn en Allemagne ont montré que le début de l'exploitation des pistes de ski à la mi-décembre entraîne une brusque modification du choix de l'habitat et des activités diurnes des tétras (ainsi que d'autres animaux sauvages). Au-dessus de 1 500 m, les chouettes hulottes, les chouettes de Tengmalm et les chouettes chevêchettes ont presque totalement abandonné leurs territoires enneigés artificiellement. Les lièvres, les chamois, les cerfs et les chevreuils évitent eux aussi la proximité des installations d'enneigement artificiel en fonctionnement.

En outre, les ouvrages destinés au stockage de l'eau pour les besoins de l'enneigement artificiel peuvent se transformer en pièges pour les amphibiens, car le niveau de l'eau y est très variable. Le prélèvement de l'eau des ruisseaux peut nuire à l'écosystème de ces derniers, en particulier lorsque la quantité d'eau résiduelle n'est pas suffisante.

## Le régime des eaux

En règle générale, l'eau utilisée pour l'enneigement artificiel provient des cours d'eau et des lacs naturels ou artificiels. L'eau peut également être prélevée de l'alimentation en eau potable, des sources, des nappes phréatiques et des galeries des centrales électriques. Dans les Alpes françaises, environ la moitié de l'eau destinée à l'enneigement artificiel provient des bassins de retenue, un quart directement des cours d'eau superficiels ou souterrains et un quart du réseau d'eau potable.<sup>20</sup>

Les effets sur le régime des eaux se manifestent lors du prélèvement de l'eau, mais aussi de la fonte, qui donne lieu à un écoulement plus important.

S'agissant du problème du prélèvement de l'eau, il convient de prendre en compte non seulement la quantité mais aussi, au moins dans une égale mesure, le moment et l'intensité du prélèvement. C'est en novembre/décembre que l'enneigement artificiel est le plus intense, ce qui signifie que de grandes quantités d'eau sont prélevées du régime naturel alors que le débit est le plus bas. Le débit résiduel généralement prescrit est souvent insuffisant au plan limnologique et, d'après l'association Bund Naturschutz (Bavière), ces prescriptions ne sont souvent pas respectées (Doering & Hamberger 1996). Dans certains cas, l'approvisionnement en eau potable est même en danger.

Entre 2001 et 2003, l'Institut de recherche Cemagref de Grenoble/F et l'Université de Turin/I ont réalisé une étude sur le SNOMAX et sur ses répercussions sur l'environnement.<sup>21</sup> Ils ont constaté que la neige artificielle produite par le SNOMAX contient une quantité de microorganismes bien supérieure à la moyenne. Le SNOMAX crée des conditions nutritives idéales pour la reproduction des microorganismes contenus dans l'eau transformée en neige artificielle. En cas d'emploi d'additifs comme le SNOMAX, la qualité de l'eau utilisée revêt dès lors une grande importance. En outre, l'eau utilisée pour l'enneigement artificiel contient beaucoup plus de sels minéraux que la pluie ou la neige, et elle engendre souvent un effet fertilisant indésirable. C'est également le cas lorsqu'on utilise de l'eau potable. Le prélèvement de l'eau dans les rivières et les ruisseaux provoque un risque d'épandage de substances nocives et d'agents pathogènes, qui peuvent porter atteinte non seulement à la végétation et au sol, mais aussi aux sources et aux nappes phréatiques (Cernusca 1992 ; Umweltbundesamt Österreich 1992).

Une étude du SLF (2002) montre que les pistes enneigées artificiellement peuvent donner lieu à une augmentation considérable de l'eau d'écoulement au printemps. Les surfaces testées par le SLF ont fait apparaître une augmentation moyenne par mètre carré de 360 litres d'écoulement par rapport aux surfaces témoins non perturbées, et ce, du fait de la présence de neige artificielle. Ceci contribue à aggraver les problèmes posés par l'eau d'écoulement, qui affectent les pistes de ski en raison de la forte compression du sol. Compte tenu des mauvaises conditions générales du sol et de la végétation sur les pistes de ski, on peut assister localement à une augmentation de l'érosion. En outre, au printemps, il peut en résulter que les zones proches des pistes, comme les forêts, sont gorgées d'eau. Les écosystèmes particulièrement sensibles, comme les tourbières et les biotopes humides, sont rapidement détruits par les modifications du régime des eaux. En outre, le risque de glissements de terrain est accru sur les pentes gorgées d'eau.

## Paysage et détente

La construction des canalisations souterraines nécessaires aux installations d'enneigement artificiel provoque souvent des blessures longuement visibles dans le sol et la végétation. Les parties fixes des installations d'enneigement artificiel situées au-dessus du sol, comme les regards et les stations de pompage, défigurent le paysage tout au long de l'année. Mais il existe des installations bien plus voyantes dans les domaines skiables : il suffit de songer aux remontées mécaniques ou aux pistes nivelées. Les prises d'eau et les étangs de stockage constituent une autre atteinte au paysage.

<sup>20</sup> <http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-228.html>

<sup>21</sup> [http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/InfMedia/im62/infomed62\\_1.pdf](http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/InfMedia/im62/infomed62_1.pdf)

À cela s'ajoutent les nuisances sonores et la „pollution lumineuse“. C'est surtout la nuit et dans les vallées étroites que l'on entend les canons à neige, parfois à des kilomètres de distance. Globalement, les installations d'enneigement sont préjudiciables à la valeur récréative des paysages de montagne.

### **Digression : bruit et lumière**

Le bruit et la lumière des installations d'enneigement artificiel peuvent déranger considérablement l'homme et la faune, en particulier la nuit. Plus la densité de gibier d'une région est élevée et plus les habitations sont proches, plus important est le potentiel de conflit provoqué par ces installations. Lorsqu'ils sont dérangés, les animaux sauvages se retirent dans la forêt, et ils peuvent perturber le rajeunissement naturel.

Les installations haute pression sont en principe plus bruyantes que les installations basse pression, tandis que le système HKD se situe à mi-chemin. Le niveau sonore d'un canon à hélice à faible émission est de 92 dB latéralement et de 94 dB antérieurement et postérieurement (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2001). En 1999, une série de mesures des émissions sonores provoquées par les canons à neige en Styrie a révélé un niveau sonore de 76 à 95 dB devant le canon (canons haute pression) et de 58 à 70 dB pour les canons basse pression. À titre de comparaison, il convient de signaler qu'une voiture particulière émet 70 dB, une route à grande circulation 80 dB, un poids lourd 90 dB. Les émissions sonores des systèmes haute pression peuvent atteindre des valeurs maximales de 115 dB, soit plus qu'un marteau-piqueur.

Les pompes et les groupes frigorifiques sont des sources de bruit supplémentaires. D'après le Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2000), la surface exposée à la pollution sonore peut représenter jusqu'à six fois celle de la surface enneigée.

## **Perspectives**

### **Le changement climatique**

Les hivers à faible enneigement deviendront de plus en plus fréquents sous l'effet des changements climatiques, ce qui aura des retombées importantes sur les stations de sports d'hiver.

Les prévisions climatiques sont incertaines. Il est toutefois prouvé que, depuis 1970, la température mondiale a augmenté de 0,5 °C, tandis qu'elle a progressé d'environ 1,5 °C en Suisse. En outre, ces changements se poursuivent : les divers scénarios et modèles de calcul tablent sur une nouvelle augmentation de la moyenne des températures de 1,4 °C à 5,8 °C d'ici la fin du siècle (OFEFP 2002). Dans le passé, nous avons vu que les Alpes ont été particulièrement affectées par le réchauffement climatique. Par décennie, les températures ont augmenté de 0,5 °C en Suisse au cours de ces dernières années, tandis que la moyenne mondiale progressait de 0,1 à 0,2 °C. Le réchauffement est particulièrement marqué l'hiver (OFEFP 2002). En règle générale, on considère qu'à chaque fois que la température augmente de 1°C, le seuil du degré zéro se décale de 150 m vers le haut. L'un des effets les plus évidents de l'augmentation de la température est la fonte rapide des glaciers, qui fait souvent la une des médias. Le nombre de jours à enneigement sûr est également en diminution. En France, sur le Col de Porte (1320 m au dessus du niveau de la mer), le nombre de jours où la couverture neigeuse atteint au moins 20 cm d'épaisseur a diminué d'environ un septième au cours des quarante dernières années (SEATM 2002b).

Une modélisation de Météo France montre quelle pourrait l'évolution future (cf. Figure 5). Un réchauffement de 1,8°C entraînerait une diminution annuelle d'un quart - dans les cas extrêmes de la moitié - du nombre de jours d'enneigement à 1 500 m d'altitude. En règle générale, on considère qu'un domaine skiable offre une bonne sécurité d'enneigement si sept hivers sur dix, entre le 1<sup>er</sup> décembre et le 15 avril, la couche de neige est suffisante pour la pratique du ski, à savoir si elle atteint au moins

30 à 50 cm pendant 100 jours. Si l'on en croit le scénario modélisé par Météo France, dans les Alpes du sud françaises (Haute Alpes, Alpes de Haute Provence, Alpes Maritimes), il deviendrait peu probable de trouver des domaines skiables à enneigement sûr en dessous de 1 500 m d'altitude.

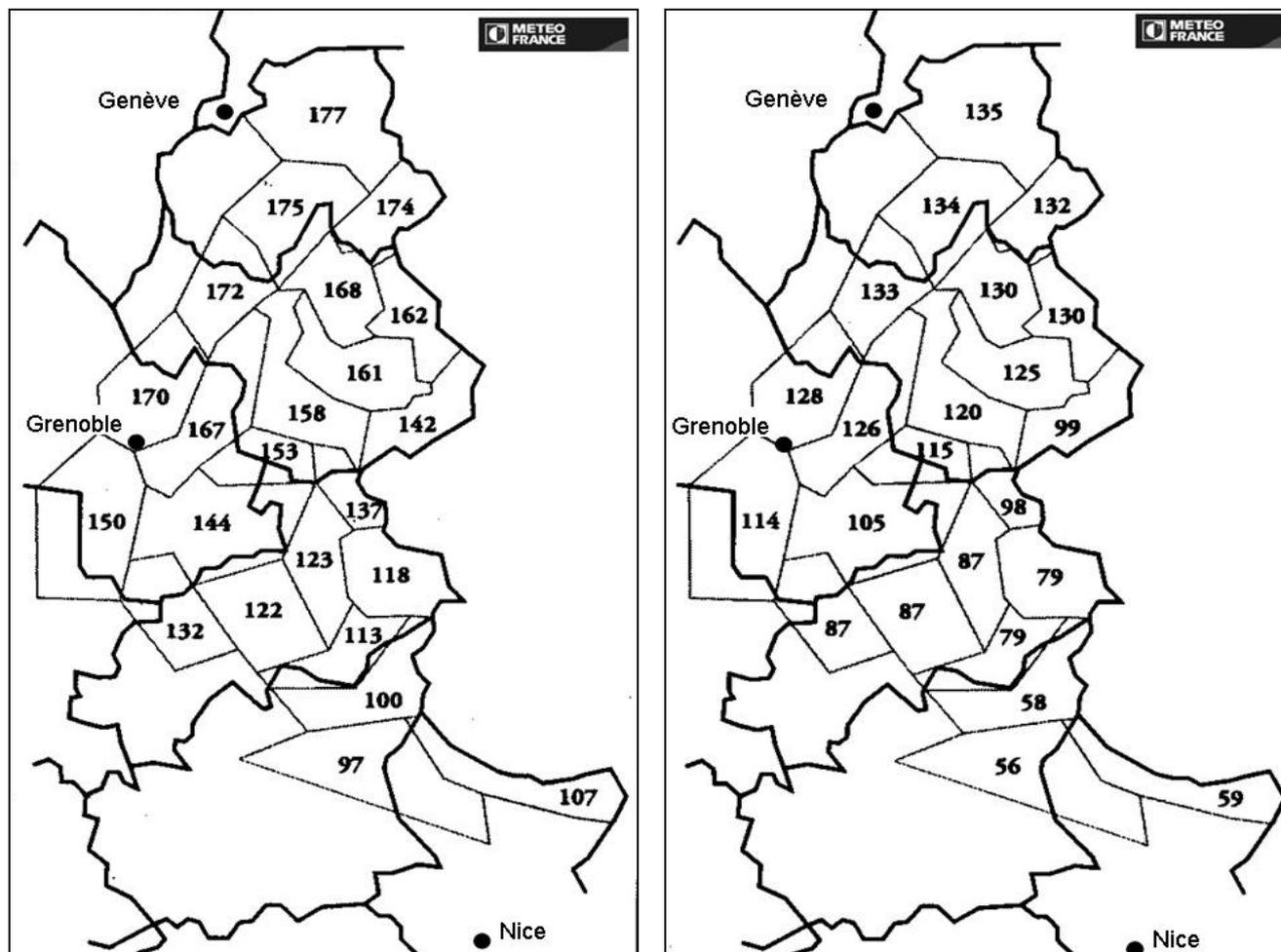


Figure 5 : Nombre annuel moyen de jours où la couverture neigeuse est assurée à 1 500 m d'altitude dans les Alpes françaises. À gauche la situation actuelle, à droite en cas de réchauffement de 1,8°C (Source : Météo France, extrait de SEATM 2002b:22/23).

D'après Bürki (2000), pour la période 2030-2050, seuls les domaines skiables situés au-dessus de 1 600/2 000 m pourront offrir une sécurité d'enneigement. Si un scénario „sécurité d'enneigement = 1'800 m ou plus“ se vérifiait, seulement 44 % des domaines skiables et 2 % des petites stations offriraient une telle sécurité en Suisse. Les domaines skiables aujourd'hui peu rentables (Préalpes, Jura et Tessin) n'auraient pratiquement aucune chance de survie. Les pressions en vue de développer les domaines skiables dans les milieux sensibles de haute montagne iraient croissant. En Bavière/D, en Slovénie et en Autriche, le pourcentage de domaines skiables concernés par l'élévation de la limite d'enneigement sera encore plus important qu'en Suisse.

Il est incohérent de justifier la mise en exploitation de la haute montagne et la construction d'installations d'enneigement artificiel par l'argument des changements climatiques – imminents ou réels -, tout en restant fermement attachés au tourisme hivernal traditionnel (et en minimisant voire ignorant le réchauffement climatique). Le changement climatique accroît le risque de voir les muta-

tions structurelles qui s'imposent au secteur des remontées mécaniques se solder par une concurrence ruineuse.

En 1996, Doering & Hamberger s'exprimaient déjà en ce sens : „...dans ce contexte (les changements climatiques) la course aux canons neige paraît presque absurde. ...L'enneigement artificiel entretient l'illusion que tout est encore possible. Les hivers à fort enneigement, qui deviennent de plus en plus rares surtout en raison des gaspillages d'énergie, semblent devoir être compensés par de nouveaux gaspillages d'énergie pendant une période de transition“ (Doering & Hamberger 1996:2).

## L'avenir des sports d'hiver

Le changement climatique ne va pas seulement avoir des répercussions sur la sécurité d'enneigement, mais aussi sur la demande de sports d'hiver. En présence d'un climat plus doux et d'une augmentation des périodes à faible enneigement (surtout à faible altitude), l'attrait du ski va diminuer pour beaucoup de personnes. Les mesures techniques (comme l'enneigement artificiel) et l'extension de l'offre ne sauraient suppléer au manque de neige. D'après un sondage réalisé en Suisse centrale, en cas d'absence de neige, une grande partie des touristes s'adonnant aux sports d'hiver se déplacerait vers les régions à enneigement sûr ou skierait moins (Bürki 2000).<sup>22</sup>

Le changement climatique va probablement entraîner une diminution de la rentabilité économique des domaines skiables de faible altitude, tandis que les régions occupant une position favorisée en altitude profiteraient de cette situation. À moyen terme toutefois, ces conséquences négatives affecteraient aussi les domaines skiables situés en altitude, car les sports d'hiver en général perdraient de leur importance. La disparition des domaines skiables proches et à caractère familial aurait un effet démotivant pour l'apprentissage du ski. En outre, les coûts des installations d'enneigement rendent la pratique du ski plus onéreuse. Les sports d'hiver perdent ainsi leur caractéristique de sport populaire. Une étude du Ministère autrichien de l'économie et du travail (Österreichisches Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 1999) indique que les Européens privilégient de plus en plus les destinations soleil et plage pour leurs vacances d'hiver. Les vacances de neige classiques perdent de leur importance dans les congés des Européens à l'étranger. En Allemagne, au cours des années 1996/97 et 1998/99, ceci s'est traduit par une augmentation de 33 % de la formule soleil et plage à l'étranger et par une diminution de 29 % des vacances à la neige et des sports d'hiver à l'étranger.

Enfin, l'évolution démographique des pays alpins et des États environnants laisse présager une diminution de la pratique des sports d'hiver : du fait de la diminution du taux de natalité, le nombre de nouveaux clients potentiels des remontées mécaniques est en recul.

## Alternatives

La plupart des destinations de vacances alpines ne sont pas exclusivement des stations de sports d'hiver. En Allemagne, dans la région de l'Allgäu, environ 20 % des touristes s'adonnent aux sports d'hiver, tandis que 80 % font de la randonnée ou du vélo (Congrès spécialisé des Verts au Parlement régional bavarois – Fachtagung der Grünen im Bayerischen Landtag, 11 avril 2003). À cela s'ajoute que nombre de touristes hivernaux viennent sans leurs skis. À Garmisch-Partenkirchen/D, c'est le cas de près de 90 % des touristes venant l'hiver (Doering & Hamberger 1996). D'après le SEATM (2002b), en l'an 2000 en France, seulement 17,7 % des touristes venus à la montagne y ont pratiqué le ski alpin. 4,2 % d'entre eux se sont adonnés au ski de fond et 7,4 % à d'autres sports d'hiver<sup>23</sup>. Parmi les activités pratiquées, la randonnée, la promenade et la visite de monuments, de musées ou autres curiosités sont mentionnées près de trois fois plus souvent que le ski alpin, le ski de fond et les

<sup>22</sup> Les pertes massives subies par les domaines skiables lors des hivers à faible enneigement de la fin des années 80 montrent qu'il faut s'attendre à ce que les touristes réagissent aux changements climatiques (Bürki 2000).

<sup>23</sup> Plusieurs réponses étaient possibles : la même personne pouvait par exemple indiquer le ski alpin et le ski de fond comme activités.

autres sports d'hiver. Quant aux personnes s'adonnant aux sports d'hiver, seulement la moitié mentionne le ski comme activité principale. Les investissements destinés aux infrastructures de sports d'hiver sont dès lors souvent disproportionnés, surtout en considération du fait que ces infrastructures défigurent le paysage tout au long de l'année.

Un environnement et un paysage intacts sont un capital d'une extraordinaire importance pour le tourisme proche de la nature (et le tourisme en général). D'après une étude commissionnée par le Ministère suisse de l'économie (Centre de recherche pour les loisirs, le tourisme et le paysage 2002), le tourisme proche de la nature n'est plus un tourisme de niche. Les dépenses des vacanciers suisses dans leur pays se sont chiffrées à 5,3 milliards d'euros en 2001, dont 30 % (1,5 milliards d'euros) ont été consacrés au tourisme proche de la nature. Les prestataires proposant cette forme de tourisme tablent sur une augmentation de 10 à 40 % du potentiel financier de ce secteur au cours des dix prochaines années. Le principal potentiel du tourisme compatible avec la nature se situe les mois d'été, la randonnée constituant de loin l'activité principale.

Les sports d'hiver se heurtent à des limites d'ordre financier, écologique et culturel. Les installations d'enneigement y contribuent. À l'avenir, d'autres formes de tourisme seront nécessaires, surtout dans les régions où la neige se fait de plus en plus rare.

## Bibliographie

- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Éditions), 2000 : Technische Beschneigung und Umwelt, Congrès spécialisé, 15 novembre 2000  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Éditeur), 2001 : Beschneiungsanlagen in Bayern – Stand der Beschneigung, potenzielle ökologische Risiken
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Éditeur), 1999: Winterurlaub in Österreich – Untersuchungen am deutschen Markt
- Bürki, R., 2000 : Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Neue Folge, Heft 6
- Cernusca, A. 1992 : Die Ökologie von Schneekanonen aus naturwissenschaftlicher Sicht. Vortrag in Berchtesgaden, November 1992
- Die Grünen im Bayerischen Landtag (Éditions), 2003 : Die Zukunft des (Winter-) Tourismus in den Alpen. Congrès spécialisé, 11 avril 2003, Bad Hindelang  
Office fédéral des forêts, de l'environnement et du paysage OFEFP (Éditeur), 2002 : Le climat est entre nos mains – Connaissances nouvelles et perspectives
- Doering, A. & Hamberger, S., 1996 : Schneekanonen, Aufrüstung gegen die Natur
- Fachverband der Seilbahnen Österreichs (Éditeur), 2003 : Wirtschaftsbericht der Seilbahnen, Bilanzjahr Winter 2002/2003 – Sommer 2002, Berichtsblätter
- Forschungsstelle für Freizeit, Tourismus und Landschaft, Hochschule für Technik Rapperswil FTL-HSR, Abteilung Sozialpsychologie I, Universität Zürich, 2002 : Naturnaher Tourismus in der Schweiz – Angebot, Nachfrage und Erfolgsfaktoren
- Institut fédéral pour l'Étude de la Neige et des Avalanches SLF (Éditeur), 2002 : Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten – Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
- Istituto geografico De Agostini (Éditeur), 1999 : Guida allo sci 2000 : Italia-Europa
- Landesamt für Seilbahnen, 2004 : Seilbahnen in Südtirol 2003
- Mathis, P., Siegrist, D. & Kessler, R., 2003 : Neue Skigebiete in der Schweiz
- Pröbstl, U., 2000 : Kunstschnee und Umwelt – Auswirkungen der technischen Beschneigung, in : Series Club of Cologne, Köln
- Remontées mécaniques suisses (Éditeur), 2004 : Remontées mécaniques suisses – Faits et chiffres
- Service d'Études et d'Aménagement touristique de la montagne SEATM (Éditeur), 2002a : Bilan des investissements dans les domaines skiables français en 2002 – les remontées mécaniques, la neige de culture
- Service d'Études et d'Aménagement touristique de la montagne SEATM (Éditeur), 2002b : Les chiffres clés du tourisme de montagne en France. 3<sup>ème</sup> édition
- Umweltbundesamt Österreich, 1992 : Beschneiungsanlagen in Österreich – Bestandserhebung und Literaturrecherche. UBA Wien Reports 924
- WWF Österreich (Éditeur), 2004 : Die Schigebiete in den Alpen mit spezieller Berücksichtigung Österreichs
- Zurschmitten, K. & Gehrig, S., 2004 : Die Bergbahnen im Kanton Wallis, Analyse, Entwicklungsperspektiven und Strategien