

# **Afecciones del Calentamiento Global a las Estaciones de Esquí Alpino**



## **PLATAFORMA EN DEFENSA DE LAS MONTAÑAS. Febrero de 2007**

La Plataforma en Defensa de las Montañas de Aragón (PDMA) viene advirtiendo de los efectos del calentamiento global sobre las montañas y en particular sobre las zonas que ocupan las estaciones de esquí alpino desde hace más de tres años. (Ver capítulo 9 del Informe de la PDMA Noviembre 2006 sobre Cambio Climático. Documento adjunto 1). Los recientes informes científicos no han hecho sino corroborar otros informes anteriores que ya alertaban sobre la situación de calentamiento que sufren las cadenas montañosas y las españolas muy especialmente.

Por esa razón, entre otras, la PDMA solicitó una moratoria en la creación y ampliación de estaciones de esquí alpino y una mejora en las actuales estaciones de esquí mientras un estudio sereno y sosegado sobre este asunto fuera realizado. Igualmente se emprendió un Iniciativa Legislativa Popular avalada por 30000 firmas solicitando la efectiva protección de la alta montaña cuyo debate fue rechazado por los grupos que apoyan el actual Gobierno aragonés y con la abstención del Partido Popular.

Muy al contrario la política del Gobierno de Aragón, a través de su empresa ARAMON, ha sido un rápido relanzamiento del monocultivo del esquí alpino como única alternativa al desarrollo económico de las poblaciones de montaña en conjunción con una serie de operaciones urbanísticas en los municipios colindantes, ligadas al sostenimiento de los déficits de este tipo de industria.

Los recientes datos suministrados por los servicios meteorológicos de la mayoría de los países europeos son concluyentes: el pasado año 2006 ha sido el más cálido en las últimas décadas. En particular el servicio Meteorológico francés ha constatado que la temperatura del pasado otoño fue 2.9°C superior a la normal (promedio de los últimos 30 años) y que ha sido la estación más cálida en los últimos 50 años. Datos similares de los servicios de otros países constatan este hecho. (Documento adjunto 2)

Esto no significaría mucho por si sólo si constituyera un episodio aislado en la fluctuación usual de temperaturas. El problema radica en que las predicciones de estos mismos servicios, no ya a medio, largo o muy largo plazo y por lo tanto excluyendo polémicas sobre el llamado cambio climático, sino a corto plazo, durante las próximas décadas, informan que esta tendencia se va a mantener en promedio, con sus lógicos altibajos.

En particular el servicio Meteorológico Británico advierte de que el presente año 2007 puede ser el más cálido desde 1659 y el francés que los estudios de simulación de clima realizados para los próximos decenios indican que en invierno las temperaturas dulces se harán más usuales en Francia. En particular sobre todos los macizos montañosos franceses la persistencia de temperaturas muy dulces (de 3 a 4 °C por encima de lo normal) ha coincidido con precipitaciones (del 40-60% en los Alpes y del 30% en Pirineos) más débiles respecto de los valores normales. Estos últimos déficits se producen cada 5-8 años y no son excepcionales.

Todos los servicios meteorológicos europeos predicen en las próximas décadas un mantenimiento promedio de temperaturas más altas de lo normal. La afección de

estas predicciones a los macizos montañosos de los Pirineos o Alpes se traducen en un mantenimiento de la rápida fusión de sus neveros y glaciares. Igualmente Meteo France ha constatado una disminución regular del espesor medio de la nieve en los últimos 45 años y una disminución en la duración de la misma. Se espera pues que la tendencia significativa a la baja en la innivación en los próximos decenios se mantenga, en especial en cotas no muy altas. (Documento adjunto 2)

Igualmente existen otros informes científicos concluyentes sobre las afecciones del calentamiento global a las zonas montañosas. En particular un estudio reciente del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) publicado en el "Journal of Global Environmental Change" (Febrero 2007, ver Documento adjunto 3) prevén un aumento promedio de 3.2º para 2055 de la temperatura en las zonas montañosas lo que supondría la extinción de especies alpinas, desaparición de glaciares, variaciones de los caudales de los ríos entre otros impactos previsibles. Dicho afección es de capital importancia, dicen los autores, en las estaciones de esquí alpino, "que pueden ver reducidos sus espesores y la duración del manto de nieve, por lo que su papel como factor económico dinamizador de los ámbitos montañosos puede quedar en entredicho".

Otro informe reciente sobre el mismo asunto es el procedente de la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) en el que incide en las ideas anteriores, sugiriendo una rápida adaptación del turismo invernal a estos efectos (Documento adjunto 4). Igualmente las conclusiones del reciente estudio del grupo de Cambio Climático e Impacto Climático de la Universidad de Ginebra (Jose Ignacio Lopez-Moreno) reseñadas en el Heraldo de Aragón (18-2-07) contribuyen a la gran cantidad de evidencias que ponen de manifiesto la gravedad del problema.

Estas predicciones comprometen fuertemente el futuro de las estaciones de esquí pirenaicas y españolas en general. Los promotores de las mismas han optado desde hace unos cuantos años por grandes ampliaciones alentadas por el generalizado desarrollismo urbanístico que sufre nuestro país. Dichas ampliaciones han supuesto en no pocos casos la destrucción de parajes de importante valor ecológico y la mercantilización de un patrimonio natural y cultural que es la principal fuente de riqueza de las poblaciones montañosas.

Todas las estaciones de esquí alpino españolas utilizan masivamente la producción artificial de nieve mediante cañones, un recurso que debería ser de uso esporádico y controlado debido a su elevado coste hídrico, energético y medioambiental.

La nieve artificial fabricada con cañones se ha convertido actualmente en una necesidad acuciante para las estaciones. De hecho en todas las nuevas ampliaciones este recurso está siendo instalado y utilizado de forma generalizada en todas las pistas, requiriendo gran movimiento de tierras para las tuberías, depósitos de agua que pueden hipotecar su uso en poblaciones y un gran consumo de energía eléctrica. (Ver informe de Mountain Wilderness y otras organizaciones francesas al respecto. Documento adjunto 5)

Las estaciones de esquí, a pesar de poseer todos los sellos medioambientales exigidos por las administraciones autonómicas, despilfarran agua y energía en grandes cantidades.

Basta tener en cuenta que una hectárea de esquí innivada artificialmente requiere más del doble de agua que el cultivo de un campo de maíz del mismo tamaño. El agua que precisan para mantener las 1200 hectáreas de pistas españolas innivadas es del orden de 5 millones de m<sup>3</sup>, que se obtienen de la acumulada en grandes balsas en

primavera y verano, captación de agua en el nacimiento de los ríos o incluso una pequeña parte de agua potabilizada. Los casi de 4000 cañones españoles de nieve artificial disponen de una potencia aproximada de 70 MW y consumen alrededor de 35 millones de kWh. Los datos correspondientes a las estaciones aragonesas son aproximadamente un 30% de los anteriores.

Estos datos pueden compararse con los que requiere cualquier población mediana o con la que requiere la totalidad de las poblaciones de los valles correspondientes, antes de que la fiebre de la construcción multiplique el número de viviendas por 20 o 30 y realmente de forma definitiva la insostenibilidad del actual modelo turístico de la nieve.

La otra solución alternativa al uso masivo de cañones de nieve sería el elevar las cotas de zonas esquiables causando, en los lugares en que esto fuera posible, grandes daños en los frágiles ecosistemas de altura y la destrucción de la alta montaña.

Por todo lo anterior la Plataforma en defensa de las Montañas cree que es preciso un urgente replanteamiento de la política de monocultivo del esquí adoptada en esta Comunidad Autónoma como única opción de desarrollo posible para las poblaciones montañosas.

**Documentos Adjuntos:**

1. "El Cambio Climático y sus efectos sobre los deportes de nieve", del Informe de la PDMA sobre Estaciones de Esqui Alpino (Capítulo 9, Noviembre 2006) <http://www.ecologistasaragon.org/nieve/>
2. Informe de Meteo France sobre innovación de Diciembre de 2006
3. Estudio del CSIC sobre Calentamiento en Sistemas Montañosos (Febrero de 2007)
4. Informe OCDE sobre Cambio Climático en los Alpes Europeos. (Enero de 2007)
5. Informe Mountain Wilderness y otras organizaciones francesas sobre Cañones de Nieve. (Diciembre de 2006)

## **Documento Adjunto 1**

### **Capítulo 9**

### **EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS DEPORTES DE NIEVE**

#### **1. El cambio climático: principal reto ambiental en Europa**

Según la Agencia Europea para el Medio Ambiente (AEMA), el cambio climático encabeza la lista de retos medioambientales en Europa y "es necesario que los responsables políticos, las empresas y los ciudadanos actúen ya, de lo contrario se pagará un alto precio en el futuro"<sup>1</sup>. El informe 'El medio ambiente europeo - Estado y perspectivas 2005' establece que la temperatura media europea ha subido 0,95 °C a lo largo del siglo XX, lo que representa un 35 % más que el aumento medio global del planeta de 0,7 grados. Los cuatro años más calurosos de los que se tienen datos son 1998, 2002, 2003 y 2004.

Una prueba irrefutable de este proceso se encuentra en los glaciares que están en rápida retirada. El calor de hace un año rebajó en un 10% la masa de los glaciares alpinos, que entre 1850 y 1980 ya la habían visto reducida en un tercio. Al ritmo actual, se prevé que el 75 % de los glaciares suizos se deshiele antes de 2050. En Norteamérica diversos estudios advierten de fenómenos similares. Según el "World Resources Institute"<sup>2</sup> una de las consecuencias del calentamiento global será la desaparición de todos los glaciares de las Montañas Rocosas en Montana (EEUU) en 2030.

Según señala la AEMA<sup>3</sup>, en este siglo las temperaturas promedio subirán entre 2 y 6,3 grados. Los inviernos fríos serán cosa del pasado y los veranos asfixiantes más frecuentes. Para 2080, los termómetros de la Península Ibérica marcarán temperaturas superiores a las actuales, entre los 3,6 grados de subida en Galicia y el sureste a los 4,5 en la meseta central; en Levante, 3,7; Aragón y el interior de Cataluña, 3,9; Andalucía oriental y la meseta norte, incluido el País Vasco, 4.

#### **2. España se encuentra entre los países más perjudicados**

Otra de las conclusiones a la que llegan los estudios científicos es que la región mediterránea es la más vulnerable de Europa a los efectos del cambio climático. Un reciente estudio publicado en la revista Science en octubre de 2005<sup>4</sup> aborda la influencia del calentamiento global en el continente europeo y abarca los 15 países de la UE anteriores a la ampliación, más Noruega y Suiza, en tres plazos (2020, 2050 y 2080), respecto a 1990. El estudio está dirigido por el Instituto Postdam de Investigación de Impacto del Clima, en Alemania y han participado casi 40 investigadores de 15 instituciones europeas.

Dicho estudio pronostica un fuerte ascenso de las temperaturas y un descenso de lluvias en las próximas décadas. La investigación revela que, en un cuadro de fuerte crecimiento económico y alto consumo de combustible fósil, como el actual, la península Ibérica llegaría a registrar un aumento de temperaturas de 4,4 grados. Los impactos incluyen, entre otros, escasez de agua, aumento del riesgo de los incendios forestales, desplazamiento hacia el norte de la distribución de especies vegetales típicas y pérdida de potencial agrícola. Estas consecuencias serán particularmente preocupantes en España.

<sup>1</sup> Agencia Europea de Medio Ambiente, 29-11-2005. Aumenta la preocupación en Europa: el cambio climático encabeza la lista de retos medioambientales. <http://local.es.eea.eu.int/> (fecha de acceso 05-01-06)

<sup>2</sup> World Resources Institute, 2002. How global warming has an impact on you. [www.wri.org/wri/olympics/impacts.html](http://www.wri.org/wri/olympics/impacts.html) (fecha de acceso: 03-05-2004)

<sup>3</sup> Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004. Señales medioambientales de la AEMA.

<sup>4</sup> El País, 28-10-2005. España está situada en la zona de Europa más vulnerable al cambio climático.

Este estudio también afirma que otras regiones europeas especialmente vulnerables, son las montañosas, donde el desplazamiento de las nieves hacia mayores alturas no sólo afectará radicalmente al turismo, sino que perturbará los regímenes fluviales. En los Alpes, la cota invernal media de nieve pasará de los 1.300 metros de altura actualmente a 1.500 ó 1.750 a finales del siglo XXI.

### 3. Efectos sobre el turismo de nieve y el Pirineo Aragonés

Expertos de todo el mundo advertían en el "IV Congreso Mundial del Turismo de Nieve y Montaña", celebrado en Soldeu (Andorra) en abril de 2005 y organizado por el Gobierno de Andorra y la Organización Mundial del Turismo (OMT), que el actual modelo de esquí está agotado<sup>5</sup>. Un dato especialmente relevante es que decenas de estaciones de esquí de EE.UU. han desaparecido en los últimos años. Una de las voces más pesimistas a la hora de hablar del futuro que aguarda al negocio de la nieve fue la de Francesco Frangialli, secretario general de la Organización Mundial de Turismo (OMT). Este advertía que la subida de las temperaturas pasará factura al negocio: "con la subida de sólo dos grados, que es lo mínimo previsto, muchas estaciones van a perder, entre diciembre y abril, un mes de actividad, al faltarles nieve". Además, aseguraba que el negocio de la nieve tira piedras a su propio tejado al mantener el modelo actual, "que contribuye, precisamente, a calentar el planeta con el aumento del tráfico de vehículos de esquiadores que van y vienen en un solo día a la estación, al reducirse las pernoctaciones y estancias largas".

Los efectos específicos del cambio climático sobre los deportes de invierno también han sido objeto de análisis científicos. El estudio "*Cambio climático y deportes de invierno: amenazas medioambientales y económicas*"<sup>6</sup>, desarrollado por el Profesor Rolf Bürki y colaboradores, del Departamento de Geografía Económica de la Universidad de Zurich en Suiza, establecía entre otras cosas, que el calentamiento global puede originar el cierre de mas del 50% de las estaciones de esquí de los Alpes en 2050. El estudio fue encargado por el Programa para el Medio Ambiente de la Organización de Naciones Unidas (UNEP) y presentado en la "V Conferencia Mundial sobre Deporte y Medio Ambiente" en diciembre de 2003<sup>7</sup>.

El estudio se basa en datos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), integrado por más de 2000 investigadores, que prevé una subida de temperaturas de entre 1.4 y 5.8°C en este siglo. El calentamiento se prevé más intenso en el hemisferio norte y en invierno, por lo que afectará de manera especial al turismo de nieve en Europa.

Esto provocará que las precipitaciones en forma de nieve serán cada vez más escasas, irregulares e impredecibles. El estudio considera dos escenarios posibles para los Alpes en un horizonte temporal entre el año 2030 y 2050; el primero con un aumento en la cota de nieve hasta los 1500m y el segundo hasta los 1800m, lo que significaría el cierre del 37 y 56% de las estaciones de esquí de los Alpes, respectivamente (Tabla 1). Por el contrario, aquellas estaciones situadas por encima de 1980m tendrán un gran incremento en el riesgo de aludes.

<sup>5</sup> La Vanguardia, 15-04-2005. El turismo de nieve toca fondo.

<sup>6</sup> Bürki R., Elsasser H., Abegg B., 2003. Climate Change and Winter Sports: Environmental and Economic Threats. 5th World Conference on Sport and Environment, International Olympic Committee /United Nations Environmental Programme, Turin, Italy, 2-3 December 2003.

Bürki R., Elsasser H., Abegg B., 2003. Climate Change -Impacts on the Tourism Industry in Mountain Areas. 1st International Conference on Climate Change and Tourism, Djerba, 9-11 April 2003.

<sup>7</sup> UNEP. 2003. Many Ski Resorts Heading Downhill as a Result of Global Warming. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=362&ArticleID=4307&l=en> (fecha de acceso: 03-05-2004). V World Conference on Sport and the Environment, Organizada por el Comité Olímpico Internacional, el Comité Organizador de los XX Juegos Olímpicos de Invierno y UNEP, y celebrada en Turín, Italia, los días 2 y 3 de diciembre de 2003.

El estudio afirma que "el cambio climático tendrá el efecto de desplazar los deportes de invierno a zonas de mayor altitud, concentrando los impactos ambientales en espacios cada vez más escasos y ecológicamente sensibles".

Tabla 1. Disponibilidad de nieve de las estaciones de esquí Suizas en el periodo 2030-2050

Región	No. de Estaciones	1200 m.s.n.m.		Cota de Nieve		1800 m.s.n.m.	
		No.	%	No.	%	No.	%
Jura	15	4	27	1	7	0	0
Alps (Vaud + Frib.)	19	16	84	7	37	4	21
Valais	54	54	100	52	96	40	74
Bern (ex. Jura)	35	30	86	20	57	12	34
Central Switzerland	35	26	74	13	37	7	20
Ticino	8	8	100	3	38	2	25
Eastern Switzerland	18	11	61	6	33	3	17
Grisons	46	46	100	42	91	33	72
Suiza	230	195	85	144	63	101	44

Fuente: Rolf Bürki, Hans Elsasser, Bruno Abegg. *"Climate Change and Winter Sports: Environmental and Economic Threats. 5th World Conference on Sport and Environment"*, Turin 2-3 December 2003 (International Olympic Committee /United Nations Environmental Programme).

Otros trabajos<sup>8</sup> han calculado que el coste económico del cambio climático sobre el sector turístico en Suiza podría ascender a 1-1.3 billones de euros anuales en 2050 (equivalente al 0.6-0.8% del PIB Suizo de 1995). A esto habría que sumar el coste económico de los aludes, cuya frecuencia se incrementaría en años excepcionales de grandes precipitaciones de nieve. En 1999, este fenómeno provocó perdidas de 110 millones de euros en Suiza. En conclusión, el impacto económico del cambio climático sobre las regiones de montaña será más severo cuanto más dependientes sean éstas del turismo de nieve.

En España, el Instituto Nacional de Meteorología España ha documentado una disminución de la precipitación media anual superior al 5 % en los últimos 60 años, que se ha reflejado asimismo en el Pirineo Aragonés (García Ruiz y col., 2001)<sup>9</sup> con una disminución más acusada en los meses de enero, febrero y marzo, precisamente coincidiendo con la temporada de esquí. Según estos mismos autores existe además una tendencia al aumento de las temperaturas muy acusada entre los meses de noviembre a marzo. El efecto combinado de una disminución de precipitaciones y un aumento de temperaturas es la reducción del manto nivoso, que lleva aparejada una tendencia decreciente de los recursos hídricos, con una pérdida entre el 20 y el 30% en los últimos 30 años. Estas tendencias regresivas se hacen más patentes durante el invierno y la primavera.

El resultado de todo ello es bien conocido en las estaciones de esquí del Pirineo Aragón, donde entre 1989 y 2006 ha habido 5 temporadas con graves problemas por falta de nieve (88-89, 89-90, 91-92, 92-93, 99-00 y 04-05) lo que supone más de una tercera parte de los años. Para corregir este déficit de nieve, las estaciones han reaccionado cerrando las pistas en las cotas más bajas y ampliando sus dominios esquiables hacia cotas más altas, cuando es posible. Paralelamente, se han instalado sistemas de innovación artificial financiados con dinero público.

El resultado de todo ello es el esquí en el Pirineo Aragonés cada vez se aleja más de una práctica adaptada al medio, pues la fabricación de nieve artificial supone la creación de embalses y depósitos de agua (a veces utilizando ibones), conducciones eléctricas, tuberías, zanjas, etc. Los

<sup>8</sup> Meier R., 1998. Sozioökonomische Aspekte von Klimaaenderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz. Schlussbericht NFP 31. vdf, Zurich.

<sup>9</sup> García Ruiz et al. (2001) Los recursos hídricos superficiales del Pirineo Aragonés y su evolución reciente. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), 192pp.

costes, tanto económicos como medioambientales se hacen progresivamente mayores, de manera que las condiciones artificiosas y adulteradas hacia las que tiende el esquí en el Pirineo Aragonés, chocan con las esencias de este deporte y con el espíritu olímpico de la candidatura de Jaca.

Le 17 décembre 2006

## L'AUTOMNE 2006 ET L'ENNEIGEMENT MI DECEMBRE 2006: CARACTERISATION CLIMATOLOGIQUE, SITUATION ET PERSPECTIVES

### RAPPORT DE METEO-FRANCE AU MINISTRE DES TRANSPORTS, DE L'EQUIPEMENT, DU TOURISME ET DE LA MER

#### RÉSUMÉ

A l'échelle de la France métropolitaine, avec une température moyenne supérieure à la normale<sup>1</sup> de près de 2,9 °C, l'automne 2006 a été le plus chaud depuis au moins 1950, loin devant les automnes 2005 (+1,4 °C) et 2000 (+1,1 °C). Toutes saisons confondues, cet automne a été la seconde saison la plus chaude par rapport aux normales, derrière l'été 2003 (+3,7 °C) et devant l'hiver 1990 (+2,0 °C). Ces caractéristiques exceptionnelles se retrouvent largement à l'échelle d'une grande partie de l'Europe.

Cet automne exceptionnellement doux annonce une année 2006 parmi les plus chaudes du dernier siècle en France métropolitaine et sur une grande partie de l'Europe.

Sur tous les massifs montagneux français, la persistance de températures très douces - de 3 à 4 degrés au dessus des normales - a été exceptionnelle pendant cet automne. Elle a coïncidé en octobre et novembre avec des déficits de précipitations de 40% à 60% par rapport aux normales dans les Alpes, et de 30% dans les Pyrénées. Des déficits de cet ordre se produisent en moyenne tous les 5 à 8 ans dans les Alpes et ne sont donc pas exceptionnels.

Ces deux facteurs expliquent l'ensoleillement très faible constaté jusque dans les premiers jours de décembre dans les Alpes comme dans les Pyrénées. Le niveau d'ensoleillement n'avait cependant aucun caractère exceptionnel pour un début de saison, même si le déficit était plus remarquable en haute montagne, où l'épaisseur de neige observée à 1800 et 2400 mètres était en général 2 à 3 fois plus faible que la moyenne.

La situation globale de l'ensoleillement s'est sensiblement améliorée dans la première quinzaine de décembre en France comme en Suisse ou en Autriche. Ceci montre bien combien la situation peut évoluer rapidement en fonction de la séquence des événements météorologiques, particulièrement à haute altitude, où les températures sont relativement plus basses. Ainsi, les chutes de neige intervenues du 6 au 10 décembre ont permis de retrouver mi-décembre des hauteurs de neige proches des normales au dessus de 2400m dans tous les massifs alpins. Sans être exceptionnel, le déficit est globalement plus marqué dans les Pyrénées, où on constate un ensoleillement plus favorable à l'Ouest qu'à l'Est du massif.

Les conditions sont devenues temporairement plus favorables à l'ensoleillement artificiel dans la plupart des stations d'altitude des deux massifs, mais cette neige encore peu tassée correspond à un faible stock neigeux pour la saison. En revanche, les stations de basse altitude sont restées

<sup>1</sup> Il s'agit de la normale 1971-2000.

pénalisées par la persistance de températures très douces.

Compte tenu de cette grande sensibilité à la séquence des événements météorologiques, rien ne permet d'affirmer aujourd'hui que l'enneigement sera déficitaire dans les prochaines semaines, et a fortiori tout au long de la saison de tourisme hivernal. A l'image de l'hiver 1994-1995, les hivers sont nombreux où l'enneigement a été satisfaisant sur un massif pour l'ensemble de la saison, grâce à d'abondantes chutes de neige en janvier et février, alors qu'il était moins favorable avant Noël qu'en 2006. A fortiori, rien ne permet de conclure que la saison de tourisme hivernal est compromise, d'autant plus que grâce aux techniques modernes de traitement des pistes, la skiableté peut être assurée avec des épaisseurs de neige moins importantes qu'autrefois.

L'état de l'art en matière de prévision météorologique permet de prévoir l'enchaînement des événements météorologiques jusqu'à 10 jours d'échéance, avec une incertitude qui croît en fonction de l'échéance, et d'avoir des indications sur la probabilité d'anomalies de températures moyennes positives ou négatives à attendre en moyenne sur la deuxième semaine.

L'évolution du temps dans la semaine du 18 décembre se caractérisera jusqu'au 25 décembre par un maintien de conditions anticycloniques sur la France, dans un air nettement rafraîchi par rapport aux dernières semaines, avec un temps généralement gris mais sec en plaine, et beau en montagne. Il ne faut pas s'attendre à des précipitations significatives, mais ces conditions anticycloniques devraient permettre de conserver la neige présente sur l'ensemble des massifs, sans faire évoluer significativement l'enneigement naturel, ni à la hausse, ni à la baisse. Les températures en baisse, froides au petit matin, et l'air plus sec permettront l'activation des systèmes d'enneigement artificiel, même en moyenne montagne.

D'après les prévisions probabilistes qui sont disponibles au-delà de 10 jours d'échéance, il est peu probable que la semaine du 25 au 31 décembre soit en moyenne plus froide que la normale sur la France.

Au-delà de deux semaines d'échéances, les prévisions saisonnières font état d'un trimestre décembre-janvier-février *en moyenne* plus chaud que les normales saisonnières sur la France métropolitaine. Il faut relativiser la portée de ces prévisions, en rappelant que la prévisibilité est faible sur la France métropolitaine, mais souligner que six modèles de prévision indépendants (deux français, un anglais, un américain, un européen et un japonais) ont prévu depuis juillet, avec une rare unanimité, un automne plus chaud que les normales saisonnières, ce qui donne un supplément de confiance à leurs prévisions du prochain trimestre. S'agissant de l'impact sur l'enneigement, il convient de rappeler qu'en tout état de cause, les conditions moyennes du trimestre ne préjugent en rien des séquences de phénomènes météorologiques qui interviendront effectivement dans les mois à venir et qui seront décisives. Si les températures restaient effectivement beaucoup plus douces que les normales saisonnières au cours du prochain trimestre, l'enneigement serait probablement plus pénalisé en moyenne montagne que dans les stations d'altitude.

Les simulations du changement climatique réalisées par Météo-France pour les prochaines décennies indiquent qu'en hiver les températures douces devraient devenir plus courantes en France métropolitaine à la fin de ce siècle, mais que les précipitations devraient augmenter en moyenne. La durée moyenne d'enneigement pendant la saison hivernale devrait diminuer sensiblement en moyenne montagne, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y neigera plus du tout et que le tourisme hivernal y est condamné.

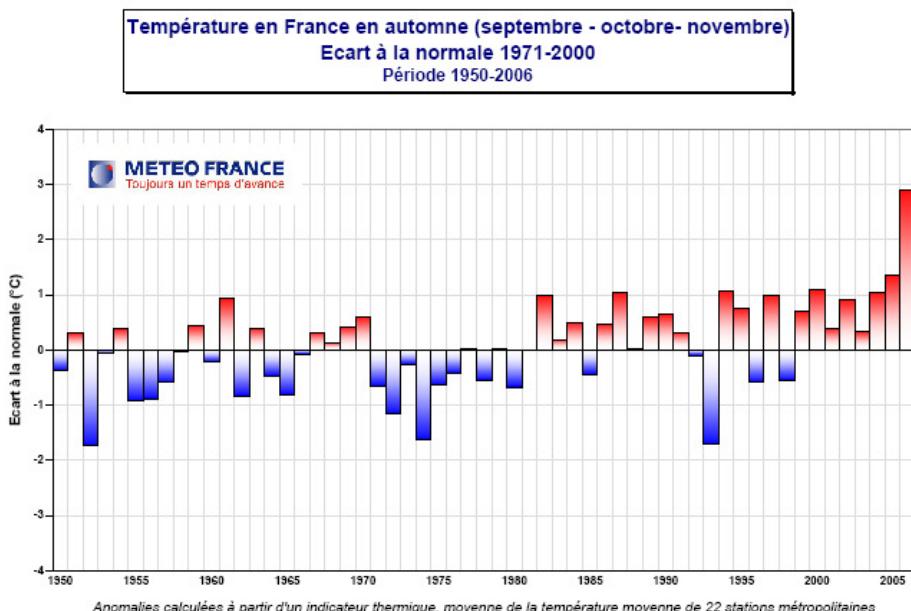
## 1- INTRODUCTION

Ce rapport établi à la demande de Dominique Perben, ministre des transports, de l'équipement du tourisme et de la mer, présente :

- une analyse climatologique de l'automne 2006 (septembre-octobre-novembre), à l'échelle de la France métropolitaine et de l'Europe (chapitre 2);
- une analyse climatologique plus détaillée sur les massifs montagneux (chapitre 3);
- une analyse climatologique de la situation de l'enneigement qui en résultait sur les massifs français à la fin du mois de novembre (chapitre 4);
- une présentation de la situation de l'enneigement constatée au 14 décembre sur les mêmes massifs, compte tenu des phénomènes météorologiques intervenus dans la première quinzaine de décembre (chapitre 5) ;
- les éléments de prévision disponibles le 17 décembre 2006 (chapitre 6) ;
- une brève présentation des impacts constatés et à attendre (tendances) du changement climatique en cours sur la durée d'enneigement en montagne (Annexe).

## 2- UN AUTOMNE EXCEPTIONNELLEMENT DOUX QUI ANNONCE UNE ANNÉE 2006 PARMI LES PLUS CHAUDES DU DERNIER SIÈCLE

Avec une température moyenne supérieure à la normale de près de 2,9 °C, le trimestre septembre - octobre - novembre 2006 a été en France métropolitaine le plus chaud depuis 1950, loin devant les automnes 2005 (+1,4 °C) et 2000 (+1,1 °C).



L'amplitude de l'écart aux normales saisonnières (+2,9 °C) fait par ailleurs de cet automne 2006 la seconde saison la plus chaude par rapport aux normales depuis 1950, toutes saisons confondues, derrière l'été 2003 (+3,7 °C) et devant l'hiver 1990 (+2,0 °C).

Ces constats sont établis à partir des observations réalisées sur 22 stations de référence, la normale étant définie comme la moyenne sur 1971-2000, la période climatologique de référence.

L'indisponibilité de certaines de ces 22 stations avant 1950 empêche de poursuivre la comparaison plus amont, mais les séries chronologiques de Marignane, Lyon ou Toulouse montrent que pour ces villes, une telle douceur automnale ne s'était jamais produite depuis 1921 au moins. A Paris-Montsouris, on remonte à 1873 sans trouver trace d'un automne comparable.

### *Le film de l'automne 2006 sur l'ensemble de la France métropolitaine*

Septembre a été remarquablement chaud sur l'ensemble du territoire métropolitain, avec une température moyenne supérieure de 2,9 °C à la normale, qui fait de ce mois le second mois de septembre le plus chaud depuis 1950, derrière 1961 (+3,0 °C).

La douceur exceptionnelle s'est poursuivie en octobre avec une température moyenne supérieure de 3,3 °C à la normale. Octobre 2006 se classe ainsi au second rang des mois d'octobre les plus chauds depuis 1950, derrière 2001 (+3,5 °C)

La température moyenne de novembre 2006 dépasse la normale de 2,6°C, situant ce mois au deuxième rang des mois de novembre les plus chauds depuis 1950, derrière 1994 (+3,6 °C).

Les quinze premiers jours de décembre ont également été particulièrement doux, l'écart aux normales saisonnières étant en moyenne de l'ordre de 2,7°C.



Film de l'automne 2006 : évolution des températures moyennes journalières (en rouge) pour un ensemble de 22 stations représentatives de l'ensemble du territoire, jusqu'au 14 décembre. Les normales saisonnières (1971-2000) sont représentées en bleu

Les journées des 26 octobre, 25 novembre et 5 décembre ont été particulièrement remarquables avec des températures moyennes supérieures de près de huit degrés à la normale.

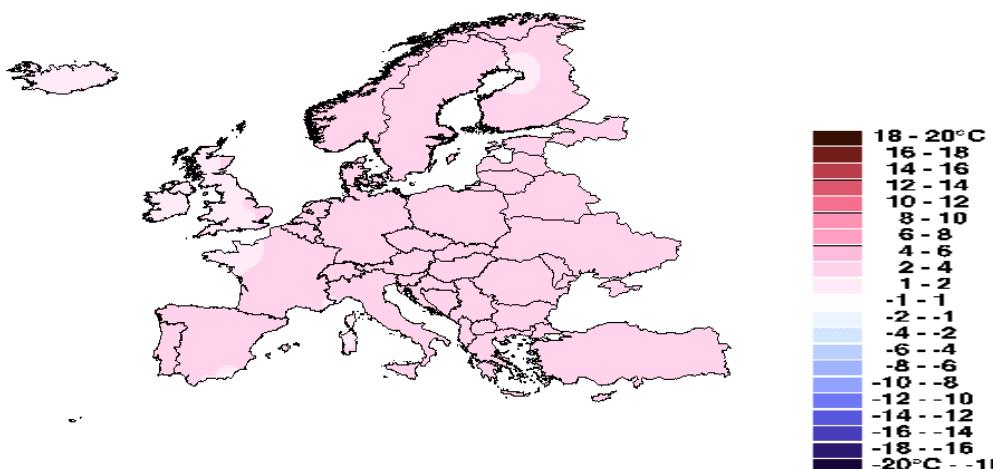
## *L'annonce d'une année 2006 parmi les plus chaudes du dernier siècle*

Compte tenu des onze premiers mois, et de la situation observée début décembre, l'année 2006 s'annonce comme une année parmi les plus chaudes du dernier siècle en France métropolitaine.

Si l'écart aux normales saisonnières restait en moyenne supérieur à +4,0 °C pendant la deuxième moitié de décembre, 2006 serait l'année la plus chaude depuis 1950. S'il se situait entre +2 et +3,5°C, 2006 serait encore l'année la plus chaude, mais à égalité avec 2003. S'il était compris 0 et +1,5°C, 2006 serait la seconde année la plus chaude, derrière 2003 et à égalité avec 1994, et même s'il était négatif et atteignait -2,5, 2006 serait encore la troisième année la plus chaude derrière 2003 et 1994, à égalité avec 2002 et 2000.

## *Un phénomène d'ampleur Européenne*

Le caractère exceptionnellement doux de l'automne 2006 a eu une ampleur européenne, à l'échelle du continent. D'après l'Organisation Météorologique Mondiale, l'écart des températures moyennes par rapport à la normale a été supérieur à 3°C dans les régions situées entre le sud de la Norvège et le versant nord des Alpes.



Extension européenne du caractère exceptionnel de l'automne 2006 : on constate sur l'ensemble du continent (ici pour le mois de novembre) des écarts aux normales saisonnières de 2 à 4°C pour les températures mensuelles.

Bon nombre de pays n'avaient pas connu d'automne aussi chaud depuis le début des relevés officiels : 1659 dans le centre de l'Angleterre, 1706 aux Pays-Bas et 1768 au Danemark.

## **3- L'AUTOMNE 2006 EN MONTAGNE**

L'ensoleillement constaté en fin d'automne résulte à la fois de l'historique des précipitations et de celle des températures, puisque celles-ci déterminent le type de précipitations (neige ou pluie) et la tenue de la neige.

En ce qui concerne les températures, en montagne comme à l'échelle de la France, c'est la persistance des températures très douces pendant tout l'automne qui a été exceptionnelle sur tous les massifs, de 3 à 4 degrés au dessus des normales.

Dans les Alpes, ces températures très douces ont coïncidé avec des déficits significatifs des cumuls

de précipitations observés en octobre et novembre, de l'ordre de 40% dans les Alpes du Sud et de 60% dans les Alpes du Nord. Sans être exceptionnels, des déficits de cet ordre se produisent en moyenne tous les 5 à 8 ans en octobre et novembre, période à laquelle la neige commence normalement à tomber en altitude.

Dans les Pyrénées, le déficit des précipitations a été moindre, de l'ordre de 30% par rapport à la normale sur les mois d'octobre et novembre.

#### *Dans les Alpes*

A Grenoble, octobre 2006 a été le plus « chaud » depuis le début des mesures en 1946, et la température moyenne de l'automne a dépassé de 3°C la normale. A Chamonix, où des mesures sont disponibles depuis 1951, la température moyenne de l'automne 2006 a été supérieure de près de 2°C à la normale. Cette tendance est observée à toutes altitudes : ainsi, aux Aiguilles Rouges (Haute-Savoie) à 2300m, la température moyenne du mois d'octobre 2006 a été bien supérieure à celle du mois d'août 2006, particulièrement maussade il est vrai (6,5°C contre 4,8°C).

Le nombre de jours de gel a été très faible à moyenne altitude, sans être exceptionnel. Ainsi, au col de Porte, à 1325 m, la température minimale n'a été inférieure à -2°C que pendant 6 jours dans la période du 1<sup>er</sup> novembre au 6 décembre. Cette valeur se situe parmi les valeurs les plus basses observées depuis 1962, au même niveau que 1963 et 1989, mais au dessus de 1984 et 2003 (3 jours) et surtout de 1994 (0 jour). La situation est donc loin d'être sans précédent.

#### *Dans les Pyrénées*

L'automne 2006 a été le plus doux depuis quarante ans au moins sur l'ensemble du massif Pyrénéen, dépassant généralement de plus de 1 °C celui de 1997 qui était jusqu'alors le plus doux au regard des mesures disponibles.

En altitude, les moyennes saisonnières se sont souvent situées entre 3 °C et 5 °C au dessus des normales. Ainsi, la température a été en moyenne supérieure à la normale de 4,7°C à l'Hospitalet-près-l'Andorre (Ariège, 1400 mètres) et de 2.9°C à Cauterets (Hautes-Pyrénées, 920 mètres).

Au pied des Pyrénées, à Tarbes, l'automne 2006 a été le plus doux depuis 1946 au moins, avec une anomalie de température de +2,5 °C.

### **4- SITUATION DE L'ENNEIGEMENT FIN NOVEMBRE ET CARACTERISATION CLIMATOLOGIQUE**

Fin novembre et jusque dans les premiers jours de décembre, l'enneigement était très faible dans les Alpes comme dans les Pyrénées, sans que la situation soit exceptionnelle.

En moyenne montagne, typiquement entre 800 et 1500 m, ce type de situation s'est déjà produit à plusieurs reprises : à titre d'exemple, c'est la 11<sup>ème</sup> fois depuis 1960 qu'on constate l'absence de neige à cette époque de l'année au laboratoire du col de Porte, situé en Chartreuse à 1320 m d'altitude.

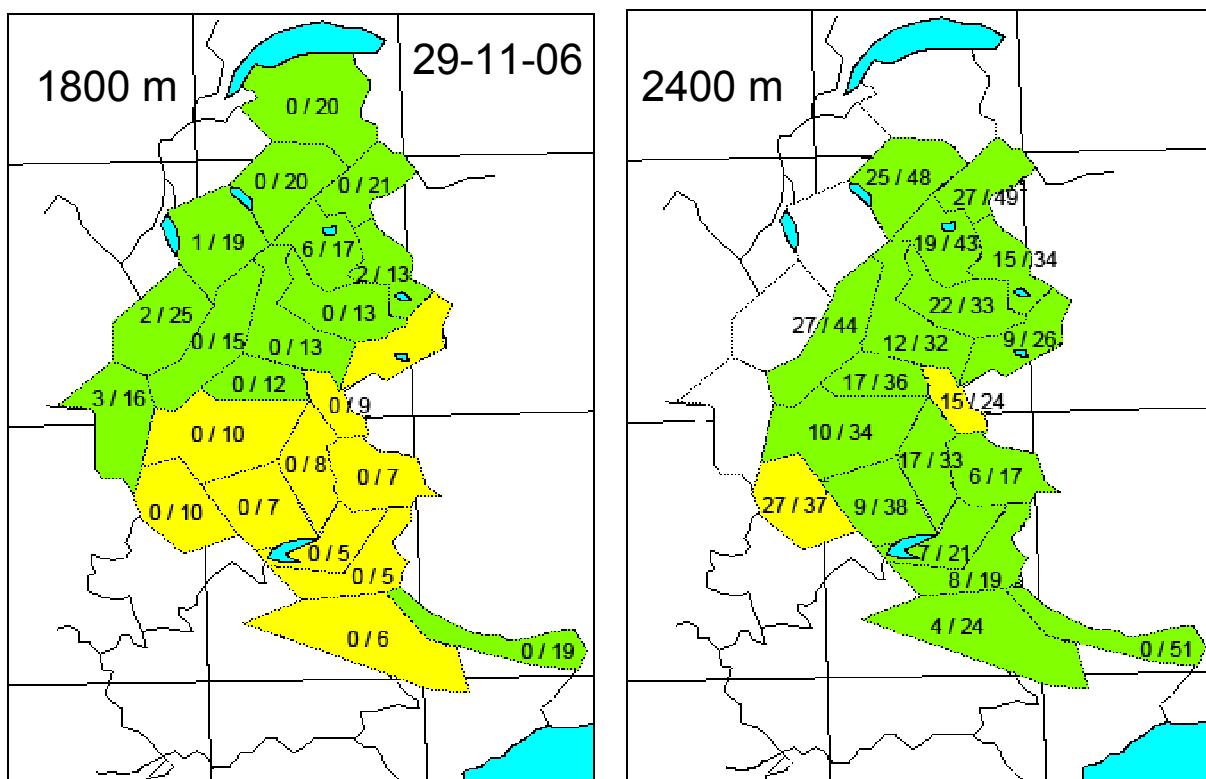
Bien que les séries de mesures disponibles soient moins longues en haute montagne, on peut affirmer que le déficit par rapport à la normale était plus remarquable: l'épaisseur de neige observée à 1800 et 2400 mètres était en général 2 à 3 fois plus faible que la moyenne. Par exemple, à Bellecôte, à 3000 m d'altitude en Vanoise, la hauteur de neige au sol n'était que de 26 cm, alors que la moyenne sur les vingt-deux dernières années est de 93 cm : il s'agit de la valeur la plus faible

depuis 1985, juste devant novembre 2005 (27 cm).

Toutefois, dans l'ouest et le centre des Pyrénées, le déficit n'était que de 25 à 30%.

### *Dans les Alpes*

Les deux cartes ci-dessous décrivent la situation de l'enneigement au 29 novembre 2006 dans les différents massifs des Alpes françaises à 1800m (à gauche) et 2400 m (à droite). Ils comparent la hauteur de neige (à gauche dans les couples de valeurs X/Y) à la moyenne des années 1980 à 1991 (valeur de droite). Les zones où l'enneigement est déficitaire par rapport à cette moyenne figurent en vert, et celles où la situation est plus proche de la normale (différence de moins de 10 cm ou enneigement actuel compris entre 90 % et 110 % de la valeur moyenne) en jaune.

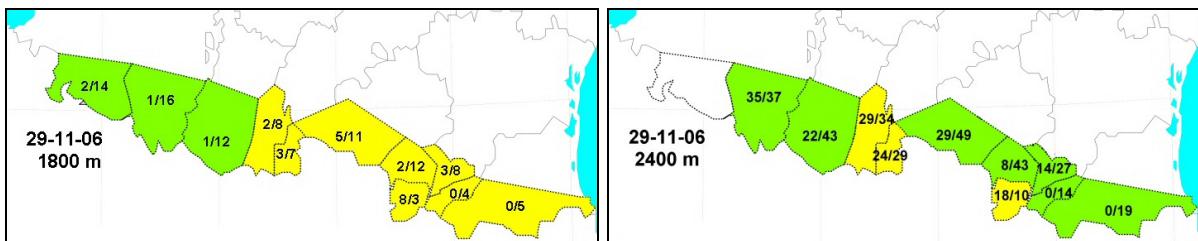


Cartes de l'enneigement constaté le 29 novembre 2006 sur le massif Alpin à 1800 m et 2400m. En vert déficitaire (<90%) – en jaune normal (90 à 110%) – en bleu excédentaire (>110%)

### *Dans les Pyrénées*

Vers 1750 m, à l'altitude correspondant à la partie basse des domaines skiables des grandes stations, il n'y avait pratiquement pas de neige jusqu'au 5 décembre. Cette situation, observée à plusieurs reprises depuis 1986 à La Mongie - en 1987, 1989, 1991, 1994 et 2000 - n'est pas exceptionnelle : les chiffres indiquent que le manque de neige à 1750m d'altitude avant Noël survient en moyenne une fois tous les 5 ans, et il faut rappeler qu'au cours des 5 dernières années, l'enneigement a été bon sur les Pyrénées dès le début du mois de décembre.

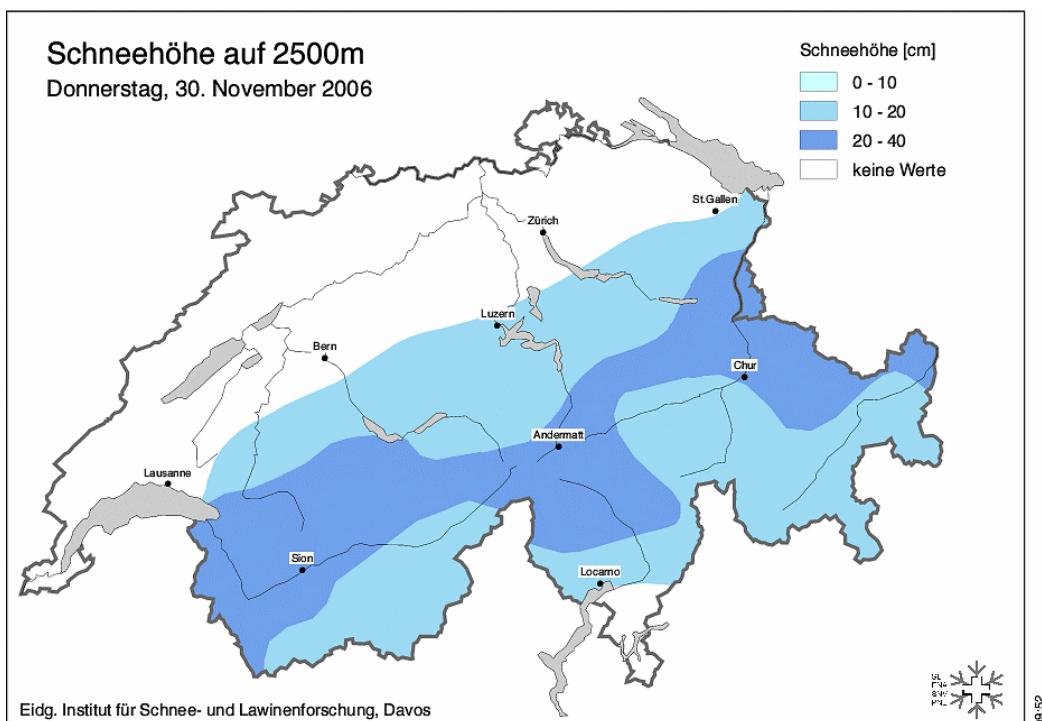
Vers 2450 m d'altitude, à l'altitude correspondant à la partie haute des domaines skiables des grandes stations, les déficits étaient beaucoup plus marqués, puisqu'à l'Ardiden, on mesurait 30 cm le 5 décembre, alors que la valeur la plus basse enregistrée depuis 10 ans est de 60 cm, pour un enneigement moyen de 80cm et une valeur maximale de 1m30. La neige se cantonnait à la crête frontière avec l'Espagne au-dessus de l'altitude 2000m, ce qui a permis à la station de Piau-Engaly d'ouvrir sur sa partie haute le 6 décembre.



Cartes de l'enneigement constaté le 29 novembre 2006 sur le massif Pyrénéen à 1800 m et 2400m. En vert déficitaire (<90%) – en jaune normal (90 à 110%) – en bleu excédentaire (>110%). Période de référence (1984-1994)

### Ailleurs en Europe

La douceur de l'automne ayant été générale sur l'ensemble des Alpes, l'enneigement a été particulièrement faible en Suisse et en Autriche jusqu'à fin novembre. Ainsi, en Suisse, l'enneigement est resté largement inférieur aux valeurs moyennes jusque fin novembre : sur le site de Weissfluhjoch (2500 m d'altitude), on mesurerait 33 cm de neige le 30/11/06, ce qui constitue la onzième valeur la plus faible depuis le début des mesures il y a 71 ans. L'épaisseur minimum (8 cm) a été observée le 30.11.1948 et le maximum (180 cm) le 30.11.1944.



Enneigement à 2500 m en Suisse le 30 novembre 2006 (source MétéoSwiss).

En Autriche, la situation était également déficiente fin novembre, l'enneigement n'apparaissant que vers 1600-2000 m en versant nord et vers 2000-2400 m en versant sud.

## 5- SITUATION DE L'ENNEIGEMENT AU 14 DECEMBRE 2006

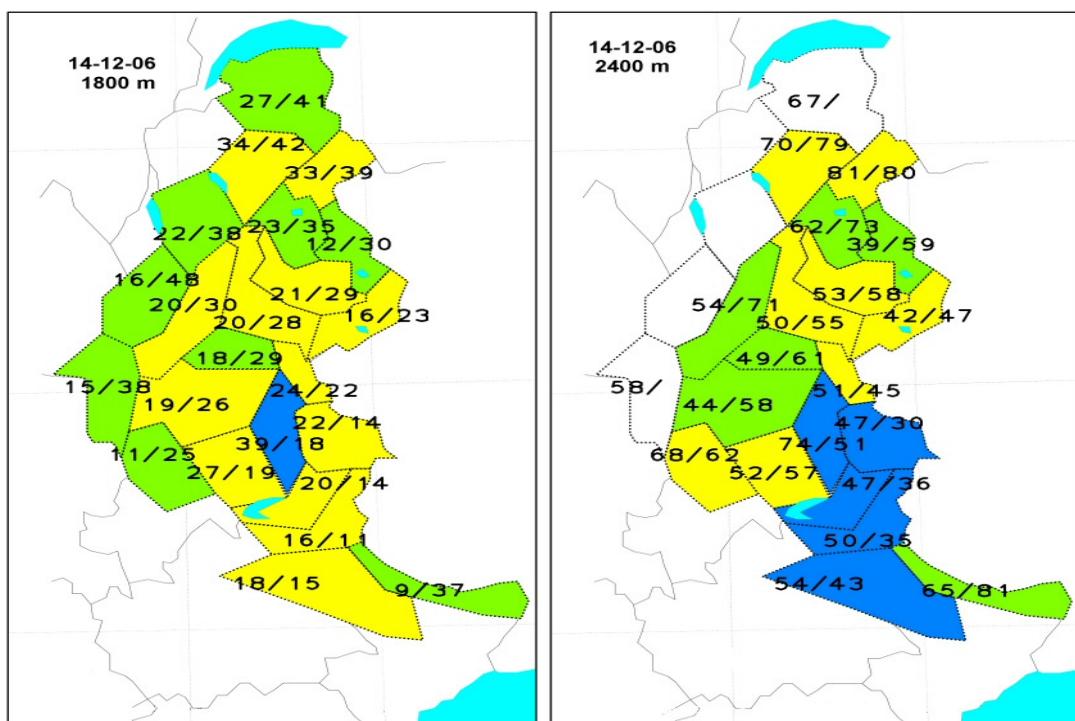
L'évolution constatée pendant la première quinzaine de décembre montre combien la situation de l'enneigement peut évoluer rapidement en fonction de la séquence des événements météorologiques, particulièrement à haute altitude, où les températures sont relativement plus basses. En effet, l'évolution a été nettement favorable en haute montagne, suite à trois épisodes de chutes de neige qui ont touché à peu près tous les massifs. Toutefois, l'évolution constatée confirme que la persistance de températures nettement plus douces que les normales saisonnières pénalise les stations de basse altitude, où les conditions d'enneigement artificiel ne sont pas remplies.

Compte tenu de la grande sensibilité de l'enneigement à la séquence des événements météorologiques, rien ne permet d'affirmer aujourd'hui que l'enneigement sera déficitaire dans les prochaines semaines, et a fortiori tout au long de la saison de tourisme hivernal. Les exemples sont d'ailleurs nombreux - l'hiver 1994-95 notamment - où l'enneigement sur l'ensemble de la saison a été satisfaisant sur tel ou tel massif, alors que la situation constatée avant Noël était moins favorable que celle de 2006. A fortiori, rien ne permet d'affirmer que la saison de tourisme hivernal est compromise, d'autant plus que grâce aux techniques modernes de traitement des pistes, la skiableté peut être assurée avec des épaisseurs de neige moins conséquentes qu'autrefois.

### *Dans les Alpes et en Corse*

Dans les Alpes du Nord, même si l'enneigement est un peu faible pour une mi-décembre, la situation est devenue plus favorable au nord du massif. Ainsi, l'enneigement est tout à fait correct sur les massifs de Haute-Savoie, où la neige se rencontre dès 800m d'altitude avec des épaisseurs de 50 à 60 cm vers 2000m. En revanche, en Savoie et surtout en Isère, l'épaisseur du manteau neigeux reste très faible à basse altitude : on ne trouve que quelques cm en dessous de 1500 m en versant nord et 2000 m en versant sud. Vers 2500 m le manteau neigeux atteint quand même 40 à 70 cm. On note toutefois que les manteaux neigeux, principalement constitués de neige peu tassée, ne représentent qu'un faible stock neigeux pour la saison. Ainsi dans la plupart des massifs la masse de neige ne correspond qu'à 30 à 50% de la valeur moyenne à 1800 m et 50 à 70% à 2400m.

Dans les Alpes du Sud, la situation s'est très nettement améliorée avec les dernières chutes de neige, abondantes dans les alpes maritimes, malgré une limite pluie/neige souvent au-dessus de 2000m. Les limites d'enneigement en versant nord se situent de 1200 à 1800m du nord au sud du massif, et l'enneigement est très correct à partir de 2000 à 2200m pour une mi-décembre. En l'absence de sous-couche les versants sud sont toutefois peu skiables en dessous de 2200 voire 2500m.

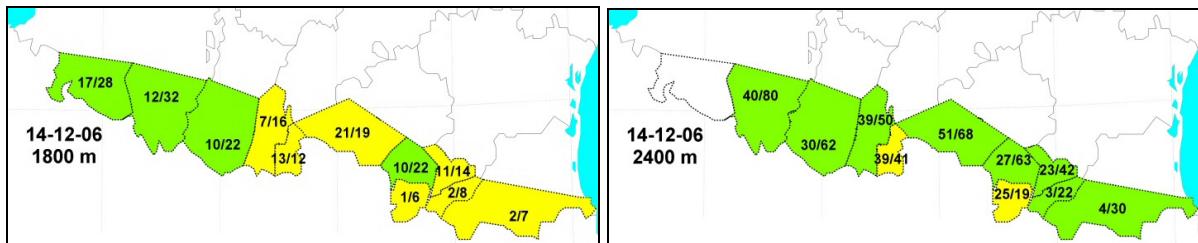


Cartes de l'enneigement constaté le 14 décembre 2006 sur le massif Alpin à 1800 m et 2400m. En vert déficitaire (<90%) – en jaune normal (90 à 110%) – en bleu excédentaire (>110%)

En Corse, les chutes de neige du week-end des 9-10 décembre se sont traduites par un enneigement faible à partir de 1500m.

#### *Dans les Pyrénées*

Dans les Pyrénées, les hauteurs de neige sont globalement déficitaires, plus faibles que ces dernières années mais ce déficit n'est pas exceptionnel si on se réfère aux séries d'observations les plus longues. On constate un fort contraste entre l'Ouest et l'Est du massif, moins enneigé. Ainsi les limites d'enneigement en versant nord se situent vers 1200m à l'Ouest alors qu'on ne trouve de la neige qu'à partir de 1800m dans les Pyrénées Orientales. De même, les épaisseurs vers 2000m varient de quelques cm à l'Est de la chaîne à 40 cm à l'Ouest, voire plus sur la partie frontalière.



Cartes de l'enneigement constaté le 14 décembre 2006 sur le massif Pyrénéen à 1800 m et 2400m. En vert déficitaire (<90%) – en jaune normal (90 à 110%) – en bleu excédentaire (>110%)

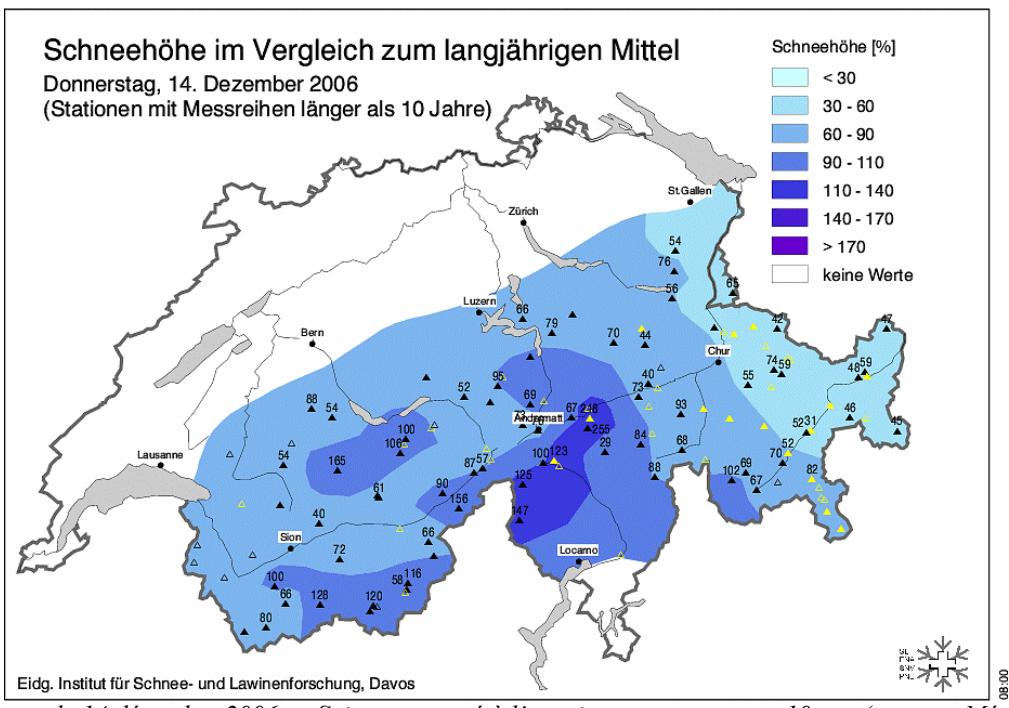
#### *Dans les autres massifs*

En moyenne montagne, pour l'ensemble des massifs Jura, Vosges et Massif Central, les premières chutes significatives se sont produites les 8 et 9 décembre. Elles n'ont fait que blanchir les sommets des Vosges et du Massif Central, mais, dans le Jura, on trouve quelques centimètres de neige à 1000m et 20 à 30 cm sur les sommets. La situation n'a rien d'exceptionnel pour ces massifs où l'absence de neige avant Noël est fréquente : cela se produit 1 hiver sur 3 ou 4 dans les Vosges et 1 hiver sur 2 dans le Cantal. Dans le Jura, à Mouthe (935m), on n'observe plus de 10 cm de neige à Noël que 2 années sur 5.

#### *A l'étranger*

En Suisse, les chutes de neige ont permis de retrouver depuis début décembre des niveaux presque normaux en haute montagne, tandis que les altitudes plus basses et les pré-Alpes du Nord restent déficitaires.

La situation est comparable en Autriche, où les chutes de neige récente ont amené 10-20cm de neige fraîche en altitude (localement 30 cm) dans l'ouest du pays, la neige faisant son apparition vers 1000 m d'altitude.



Enneigement le 14 décembre 2006 en Suisse comparé à l'enneigement moyen sur 10 ans (source : MétéoSwiss).

## 6- ÉLÉMENTS DE PRÉVISION DISPONIBLES LE 17 DECEMBRE 2006

L'état de l'art en matière de prévision météorologique permet de prévoir l'enchaînement des événements météorologiques jusqu'à 10 jours d'échéance, avec une incertitude qui croît en fonction de l'échéance, et d'avoir des indications sur la probabilité d'anomalies de températures positives ou négatives à attendre en moyenne sur la deuxième semaine.

Depuis le 14 décembre, les conditions météorologiques n'ont pas modifié notablement l'enneigement. Le temps doux, humide et souvent très nuageux de la fin de semaine a encore réduit ou fait disparaître la neige présente en faible épaisseur aux plus basses altitudes. La perturbation peu active qui a atteint les principaux massifs montagneux dans la journée du 16 décembre n'a apporté que quelques centimètres de neige, au maximum 10 à 20 cm au dessus de 200 à 2200 m sur certains massifs.

Dans la journée de lundi et la nuit de lundi à mardi, à l'arrière de cette perturbation, des systèmes nuageux s'organiseront le long de la frontière italienne et produiront des chutes de neige faibles en moyenne. Dans le même temps, à l'avant d'une nouvelle perturbation qui aborde le nord de l'Espagne, l'ouest des Pyrénées connaîtra tout au plus quelques flocons.

Au delà de mardi, seule la Corse est susceptible de connaître encore quelques chutes de neige jusqu'en milieu de semaine, principalement sur les versants est. L'évolution du temps jusqu'au 25 décembre se caractérisera en effet par un maintien de conditions anticycloniques sur la France, dans un air nettement rafraîchi par rapport aux dernières semaines. Il ne faut pas s'attendre à des précipitations significatives, le temps étant généralement gris mais sec en plaine, et beau en montagne où les nuits seront froides.

Pour l'ensemble des massifs, ces conditions anticycloniques devraient permettre de conserver la neige présente, sans évolution significative de l'enneigement naturel ni à la hausse, ni à la baisse. Par ailleurs, les températures fraîches en journée et froides la nuit et au petit matin, ainsi que le retour d'un air plus sec permettront l'activation des systèmes d'enneigement artificiel, même en moyenne montagne, contrairement à ce qui s'est souvent produit en novembre et début décembre.

D'après les prévisions probabilistes qui sont disponibles au-delà de 10 jours d'échéance, il est peu probable que la semaine du 25 au 31 décembre soit en moyenne plus froide que la normale sur la France.

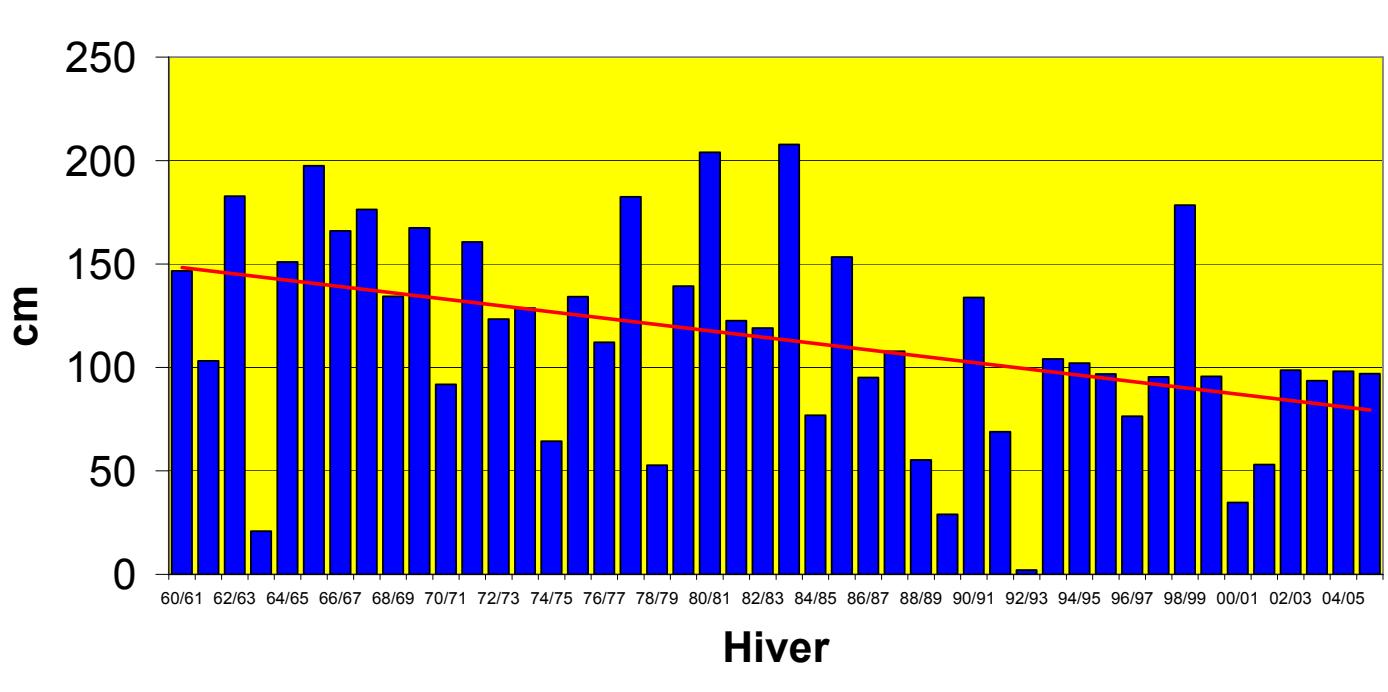
A plus long terme, les prévisions saisonnières font état d'un trimestre décembre-janvier-février *en moyenne* plus chaud que les normales saisonnières avec des précipitations, elles, proches des normales.

Il faut cependant rappeler que la prévisibilité de ces paramètres moyens est beaucoup plus faible sur la France métropolitaine qu'outre-mer : la corrélation entre les températures moyennes observées et prévues n'y est que de l'ordre de 20% - contre 80% sur certaines zones tropicales - et la prévisibilité des précipitations est encore plus faible. Il faut, a contrario, souligner que six modèles de prévision indépendants (deux français, un anglais, un américain, un européen et un japonais), réactualisés tous les mois, ont prévu depuis juillet, avec une rare unanimité, un automne plus chaud que les normales saisonnières, et qu'ils ne se sont pas trompés jusqu'ici.

En tout état de cause, s'agissant de l'impact potentiel sur l'ensoleillement, les conditions moyennes du trimestre ne préjugent en rien des séquences de phénomènes météorologiques qui interviendront effectivement dans les mois à venir et qui seront décisives. Si les températures restaient effectivement beaucoup plus douces que les normales saisonnières au cours du prochain trimestre, l'ensoleillement serait probablement plus pénalisé en moyenne montagne que dans les stations d'altitude.

## ANNEXE : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT SUR L'ENNEIGEMENT

Au plan climatologique, on constate en moyenne montagne une diminution régulière de l'épaisseur de neige au fil des ans, accompagnée d'une réduction de la durée d'enneigement. A titre d'exemple, au col de Porte (1320 m en Chartreuse), la hauteur moyenne de neige a été réduite de 40% entre le début des années 60 et le début du siècle actuel, tandis que la durée d'enneigement perdait presque 25 jours.



Evolution au cours des ans de l'enneigement observé à la mi-février depuis 1960 au Col de Porte (Massif de la chartreuse, 1320 m)

La tendance observée depuis deux décennies est très cohérente avec les études d'impact d'une hausse de la température sur l'enneigement menée par Météo-France dans les années 90. Ces études avaient montré qu'une hausse même minime des températures sur les Alpes aurait un impact considérable sur l'enneigement, en particulier de 1000 à 1800 m.

Il faut donc s'attendre à ce que la tendance significative à la baisse de la durée moyenne de l'enneigement observée en moyenne montagne ces dernières décennies se poursuive au cours des décennies à venir. Ceci n'exclut évidemment pas de revoir quelques hivers à fort enneigement mais ceux-ci seront de plus en plus rares. En tout état de cause, il ne faut pas en conclure qu'il ne neigera plus du tout en moyenne montagne et que le tourisme hivernal y est condamné.

**El otoño de 2006 y la innivación en Diciembre 2006.  
Caracterización climatológica, situación y perspectivas.  
Informe de Meteo-France al ministerio de Transporte,  
Equipamientos, Turismo y Mar.**

El Servicio de Meteorología francés (Meteo France) ha realizado un informe para el Ministerio de Transporte, Equipamientos, Turismo y Mar del país vecino sobre la caracterización meteorológica del otoño de 2006 y la innivación en Diciembre de este mismo año.

El prestigioso servicio certifica que la temperatura de este otoño ha sido 2.9 °C superior a la normal (promedio 1971-2000), por delante de los +1.4°C del 2005 , +1.1°C más que el 2000, y que ha sido el otoño más cálido desde 1950. Igualmente indica que ha sido la estación más cálida junto con el verano de 2003 (3.7°C más alto que la media) y el invierno de 1990 (2°C más alto que la media). Estas características son similares a las de las mayor parte de las regiones europeas.

En particular sobre todos los macizos montañosos franceses la persistencia de temperaturas muy dulces (de 3 a 4 °C por encima de lo normal) ha coincidido con precipitaciones (del 40-60% en los Alpes y del 30% en Pirineos) más débiles respecto de los valores normales. Estos últimos déficits se producen cada 5-8 años y no son excepcionales.

Los factores anteriores explican la inivación muy débil constatada en Diciembre en los macizos montañosos. El espesor de la nieve en esta época observado entre 1800 y 2400m de altitud es 2 o 3 veces más pequeño de lo normal. Estos datos pueden mejorar rápidamente y aunque no se puede decir que es un comportamiento excepcional, si que el déficit está claramente marcado en los Pirineos. Todo lo anterior hace que las estaciones de ski alpino, especialmente las situadas en baja altitud (donde además las temperaturas no son muy bajas) se vean afectadas de forma importante. Lo anterior no significa que la situación pueda mejorar sensiblemente en los primeros meses del año 2007.

Se constata una disminución regular del espesor medio de la nieve en los últimos 45 años y una disminución en la duración de la misma. Los datos anteriores son congruentes con los estudios que predicen una subida de la temperatura. Estos mismos estudios predicen un impacto considerable sobre la inivación en los Alpes de acuerdo con los datos anteriores. Se espera pues que la tendencia significativa a la baja en la ininvación en los próximos decenios se mantenga, en especial en cotas no muy altas.

Los estudios de simulación de cambio climático realizadas por Meteo France para los próximos decenios indican que en invierno las temperaturas dulces se harán más usuales en Francia, aunque las precipitaciones (en promedio) parece que aumentarán. La duración media de la innivación durante la estación invernal disminuirá sensiblemente en media montaña (alrededor de 2000m), lo que no quiere decir que no nevara en absoluto y que el turismo invernal esté condenado en estas zonas.

Para información más completa consultar el informe en  
<http://www.meteofrance.com/pub-adm/display/000/001/615/16150.pdf>

## NOTA DE PRENSA

En el último número de ‘Journal of Global Environmental Change’

### **Un estudio del CSIC pronostica que las montañas se calentarán este siglo más del doble que el pasado**

- ▶ Los expertos prevén un aumento de 3,2º para 2055, en un escenario de uso intensivo de recursos fósiles
- ▶ La extinción de especies alpinas, la desaparición de glaciares o la variación de caudales de ríos, entre los impactos previsibles

**Madrid, 1 de febrero, 2007** Un estudio realizado por geógrafos y biólogos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) pronostica que durante el siglo XXI el aumento de la temperatura en las montañas de todo el Planeta será más del doble que en el siglo pasado. El trabajo, que se publica en el último número de *Journal of Global Environmental Change*, evalúa el calentamiento climático durante el presente siglo en todos los sistemas montañosos del mundo, al tiempo que describe sus posibles impactos ecológicos, hidrológicos y socioeconómicos.

El coordinador del estudio, el investigador del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), en Madrid, David Nogués, explica que el estudio prevé que para el año 2055 se produzca un aumento en la temperatura de las montañas de 3,2º (0,4º de aumento por década), en un contexto de uso intensivo de recursos fósiles; o bien de 2,1º (0,26º por década), en caso de que se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Durante la segunda mitad del siglo XX el aumento fue de 0,65º (0,13 por década).

Nogués resume las consecuencias que podría tener este aumento de temperatura: “El aumento de temperaturas pronosticado podría influir en una mayor variabilidad de los caudales de los ríos, la posible modificación de los

Página 1 de 3

#### DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN

BARCELONA

934 426 576

uctt@bicat.csic.es

MADRID

915 855 243

g.prensa@csic.es

VALENCIA

963 622 757

malastuey@dicv.csic.es

patrones de gestión del agua en los embalses, una posible mayor necesidad de construcción de presas y una mayor inestabilidad en la producción de energía hidroeléctrica”.

Para estos científicos, los impactos en los recursos hídricos estarán relacionados con la reducción o desaparición de los glaciares y de las cubiertas de nieve, tanto en su duración a lo largo del año, como en su espesor, lo que podría provocar la extinción de especies alpinas, que no encontrarían las características ecológicas necesarias para su supervivencia.

“Las estaciones de esquí pueden experimentar una reducción de los espesores y de la duración del manto de nieve, por lo que su papel como factor económico dinamizador de los ámbitos montañosos puede quedar en entredicho”, apunta el coordinador del estudio.

Nogués añade: “Los datos del artículo demuestran que los impactos futuros en las montañas serán mayores con una economía basada en el consumo de petróleo”. Ante esta amenaza, el investigador del CSIC opina que “es necesario desarrollar programas y marcos específicos de investigación para zonas de montaña, con el objeto de evaluar los impactos del cambio climático, y desarrollar además las estrategias adecuadas de mitigación y adaptación al cambio climático, como la reducciones de emisión de CO<sub>2</sub>”.

## MAYOR CALENTAMIENTO EN LAS CORDILLERAS POLARES

Los autores del trabajo subrayan que el calentamiento será mayor para aquellas cordilleras situadas en las zonas polares y boreales que para las tropicales. Además, señalan, los factores socioeconómicos también modularán el impacto. El investigador del CSIC y coautor del estudio, Juan Pablo Martínez Rica, del Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), argumenta: “El cambio climático en las cordilleras puede afectar de forma más grave a aquellas situadas en los países pobres, que tienen una menor capacidad adaptativa ante los cambios que se avecinan”.

Las montañas son uno de los sistemas terrestres más amenazados por el cambio global, y su influencia se extiende hacia las llanuras que las rodean. El Karakorum, los Himalayas, los Andes o los Pirineos aportan recursos básicos como el agua o la producción eléctrica a miles de millones de personas que viven en India, China, Perú, Bolivia o España.

Nogués Bravo, D., Araujo, M. B., Errea, P. y Martínez Rica, J.P. 2007 **Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. Global Environmental Change.** Enero 2007. [www.elsevier.com/locate/gloenvcha](http://www.elsevier.com/locate/gloenvcha).

**David Nogués** (Zaragoza, 1975) es contratado posdoctoral en el Laboratorio de Biodiversidad y Cambio Global (<http://www.biochange-lab.eu/>) del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). Ha participado en proyectos de investigación sobre cambio climático y Biodiversidad en la Universidad de Oxford y en la Universidad de Copenhague (proyecto ALARM).



# Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century

D. Nogués-Bravo<sup>a,b,\*</sup>, M.B. Araújo<sup>c,b</sup>, M.P. Errea<sup>d</sup>, J.P. Martínez-Rica<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Macroecology and Conservation Unit, University of Évora, Estrada dos Leões, 7000-730 Évora, Portugal

<sup>b</sup>Center for Macroecology, Institute of Biology, University of Copenhagen, Universitetsparken 15, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark

<sup>c</sup>Department of Biodiversity and Evolutionary Biology, National Museum of Natural Sciences, CSIC, C/José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid, Spain

<sup>d</sup>Pyrenean Institute of Ecology, CSIC, Campus de Aula Dei, Apartado 202, 50080-Zaragoza, Spain

Received 27 June 2006; received in revised form 20 November 2006; accepted 20 November 2006

## Abstract

We provide an assessment of surface temperature changes in mountainous areas of the world using a set of climate projections at a 0.5° resolution for two 30-year periods (2040–2069 and 2070–2099), using four Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) emission scenarios and five AOGCM. Projected average temperature changes varied between +3.2 °C (+0.4 °C/per decade) and +2.1 °C (+0.26 °C/per decade) for 2055 and +5.3 °C (+0.48 °C/per decade) and +2.8 °C for 2085 (+0.25 °C/per decade). The temperature is expected to rise by a greater amount in higher northern latitude mountains than in mountains located in temperate and tropical zones. The rate of warming in mountain systems is projected to be two to three times higher than that recorded during the 20th century. The tendency for a greater projected warming in northern latitude mountain systems is consistent across scenarios and is in agreement with observed trends. In light of these projections, warming is considered likely to affect biodiversity (e.g., species extinctions, changes in the composition of assemblages), water resources (e.g., a reduction in the extent of glaciated areas and snow pack), and natural hazards (e.g., floods). Accurate estimate of the effects of climate change in mountain systems is difficult because of uncertainties associated with the climate scenarios and the existence of non-linear feedbacks between impacts.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Keywords:** Mountains; Climate warming; Impact assessment; Exposure rank; Spatial patterns; Uncertainty

## 1. Introduction

Mountains are amongst the most fragile environments in the world (Diaz et al., 2003). They are a repository of biodiversity, water and other ecosystem services (Körner, 2004; Woodwell, 2004; Viviroli and Weingartner, 2004), and their influence exceeds that of their geographical limits and extends to the surrounding lowlands. Approximately, 26% of the world human population inhabit mountainous regions (Meybeck et al., 2001). Mountains constitute centres of endemism for biodiversity, harbouring endangered

species and ecosystems. Mountains also provide services with tangible economic value as power supply, tourism, or crop and livestock productions. They are also key to shaping regional climates in the surrounding areas. Currently, these environments are affected by different pressures from economic and population growth (Spehn et al., 2002). Other pressures include climate change impacts on alpine species distributions, retreat of glaciers or alteration of hydrological cycles (e.g., Barry and Seimon, 2000; Foster, 2001; Hill et al., 2002; Dyurgerov, 2003; Grabherr, 2003; Konvicka et al., 2003; Wilson et al., 2005; Schröter et al., 2005; Thuiller et al., 2005; Bradley et al., 2006). The magnitude of the expected climate warming has been assessed for particular mountain ranges (e.g., Bradley et al., 2004), but to our knowledge no study has addressed the magnitude of future warming during the 21st century on different mountain systems. Here, a set of

\*Corresponding author. Center for Macroecology, Institute of Biology, University of Copenhagen, Universitetsparken 15, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark. Tel.: +45 34627354331; fax: +45453532321.

E-mail addresses: [dnoques@uevora.pt](mailto:dnoques@uevora.pt), [\(D. Nogués-Bravo\)](mailto:dnoques@bi.ku.dk), [maraudo@mncn.csic.es](mailto:maraudo@mncn.csic.es) (M.B. Araújo), [jpmr@ipe.csic.es](mailto:jpmr@ipe.csic.es) (J.P. Martínez-Rica).

0.5°-resolution climate data-sets from five Atmosphere–Ocean General Circulation Models (AOGCM) and four Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) emission scenarios (Special Report on Emission Scenarios—SRES), are used to assess the expected change in surface temperature of 13 mountain systems in the world, between baseline (1961–1990) and two periods in the future (2040–2069 and 2070–2099). We also address two further aims: (i) to examine the statistical significance of any differences found between the projected warming for each mountain group and the warming projected for non-mountain regions within their own latitudinal band; (ii) to rank the magnitude of temperature changes for each mountain group under each emission scenario: what we call ‘exposure ranking’.

## 2. Data and analyses

The World Mountain Map of UNEP-WCMC (United Nations Environmental Program-World Conservation Monitoring Centre) (Kapos et al., 2000; <http://www.unep-wcmc.org/habitats/mountains/region.html>) was used to delimit the study area (Fig. 1). The mountains identified by UNEP-WCMC were then grouped by continents and bioclimatic regions using the Holdridge classification (Holdridge, 1967). High-latitude mountains belonging to the polar, sub-polar and boreal zones are located between 90°N and 55°N in the New World and between 90°N and 60°N in Eurasia. Mid-latitude mountain systems in the cool temperate and warm temperate zones are located between 55°N–60°N and 25°N, and 25°S and 60°S; low-latitude mountains are located in the tropical zone between 25°N and 25°S. We created 13 mountain groups by taking into account their position within the bioclimatic zones and continents (Fig. 1). Although other classifications are possible, this scheme allows the integration of all UNEP-WCMC mountains in relatively simple and intuitive classes that are consistent with previous bioclimatic classifications of the world (Holdridge, 1967).

Temperature scenarios from transient atmosphere–ocean coupled GCM simulations (CSIRO2, ECHAM4/OPYC3, CGCM2, HadCM3, PCM; see Table 1 for more details)

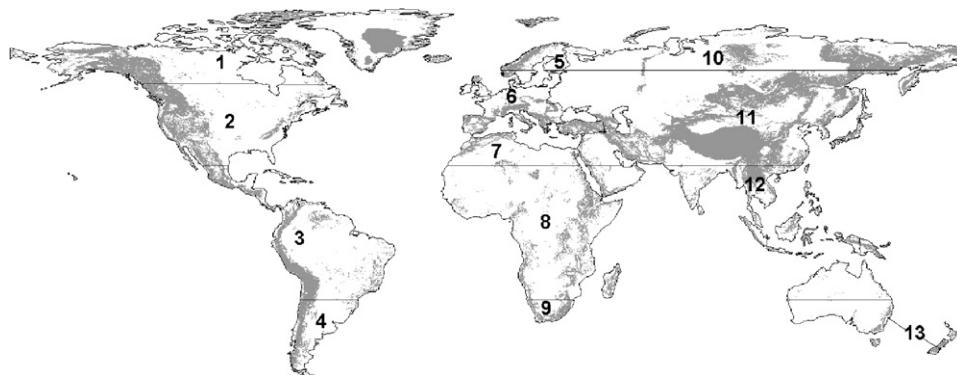


Fig. 1. Mountain areas were delimited following the UNEP-WCMC mountain map (plotted in dark grey): (1) America high-latitude mountains at northern hemisphere (High\_NAmerica); (2) America mid-latitude mountains at northern hemisphere (Mid\_NAmerica); (3) America low-latitude mountains (Low\_America); (4) America mid-latitude mountains at southern hemisphere (Mid\_SAmerica); (5) Europe high-latitude mountains (High\_Europe); (6) Europe mid-latitude mountains (Mid\_Europe); (7) Africa mid-latitude mountains at northern hemisphere (Mid\_NAfrica); (8) Africa low-latitude mountains (Low\_Africa); (9) Africa mid-latitude mountains at southern hemisphere (Mid\_SAfrica); (10) Asia high-latitude mountains (High\_Asia); (11) Asia mid-latitude mountains (Mid\_Asia); (12) Asia low-latitude mountains (Low\_Asia); (13) Australia and New Zealand (AustraliaNZ).

Table 1

A list of AOGCM used by Climatic Research Unit at the University of East Anglia to develop climate change scenarios used herein (0.5° of spatial resolution) to assess the future climate change in mountain environments

Model name	Centre (country)	Reference	Atmospheric resolution	Ocean resolution
ECHAM4/OPYC3	DKRZ (Germany)	Roeckner et al. (1996)	T42 (2.8 × 2.8) L19	2.8 × 2.8 L11
CGCM2	CCCma (Canada)	Flato and Boer (2001)	T32 (3.8 × 3.8) L10	1.8 × 1.8 L29
HadCM3	UKMO (UK)	Gordon et al. (2000)	2.5 × 3.75 L19	1.25 × 1.25 L20
CSIRO Mk2	CSIRO (Australia)	Gordon and O'Farrell (1997)	R21 (3.2 × 5.6) L9	3.2 × 5.6 L21
DOE PCM	NCAR (USA)	Washington et al. (2000)	T42 (2.8 × 2.8) L18	0.67 × 0.67 L32

Atmospheric resolution: horizontal and vertical resolution. The former is expressed either as degrees latitude × longitude or as a spectral truncation with a rough translation to degrees latitude × longitude. An asterisk indicates enhanced meridional resolution in midlatitudes. ZA indicates a zonally averaged model (360° zonal resolution). Vertical resolution is expressed as “Lmm”, where mm is the number of vertical levels.

Ocean resolution: horizontal and vertical resolution. The former is expressed as degrees latitude × longitude, while the latter is expressed as “Lmm”, where mm is the number of vertical levels. An asterisk indicates enhanced horizontal resolution near the Equator. ZA indicates a zonally averaged model for each ocean basin. The following classification of ocean horizontal resolution is used: Coarse: >2°, medium: 2/3° to 2°, Eddy-permitting: 1/6° to 2/3°, Eddy-resolving: <1/6°.

covering emerged land-masses but excluding Antarctica were used. A range of AOGCM and emission scenarios were used as recommended by IPCC (IPCC, 2001). This allows variability in climate change projections to be taken into account. Climate change scenarios were produced by the Climatic Research Unit at the University of East Anglia ([http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/TYN\\_SC\\_2\\_0.html](http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/TYN_SC_2_0.html); Mitchell et al., 2004). Baseline observed surface temperatures for 1961–1990 were used for comparison with future scenarios (New et al., 1999; see also Mitchell et al., 2004).

Four emission scenarios were used as follows. A1FI (global economic) is a fossil fuel intensive world of rapid economic growth, low population growth and rapid introduction of new and more efficient technologies. A2 (regional economic) is a world of strengthening regional cultural identities, with an emphasis on family values and local traditions, high population growth, and less concern for rapid economic development. B1 (global environmental) is a convergent world with rapid change in economic structures, ‘dematerialization’ and introduction of clean technologies. The emphasis is on global solutions to environmental and social sustainability. B2 (regional environmental) is a world in which the emphasis is on local solutions to economic, social, and environmental sustainability. It is a world with less rapid, and more diverse technological change but a strong emphasis on community initiatives and social innovation to find local, rather than global solutions. These four scenarios account for ca. 68% of the variation in the 40 emission scenarios published by the IPCC (IPCC, 2001, Table SPM-3a). The 20 climate change scenarios used here (five AOGCM times four emission scenarios) account for 95% of the variability in IPCC climate change scenarios for the 21st century (Mitchell et al., 2004).

To assess future temperature changes in mountain systems the following protocol was utilised. First, we computed surface temperature changes for each one of the 20 future climate scenarios by subtracting them to 1961–1990 baseline temperature values. Then, we averaged temperature changes for the world mountain system as a whole and for each one of the individual mountain groups considered in isolation. Second, we assessed whether differences in temperature changes within emission scenarios for each mountain group were significantly different because of the AOGCMs. Differences were tested with standard analysis of variance (ANOVA). Also, we calculated the standard deviation ( $\sigma_{\Delta T}$ ) of projected temperature changes among AOGCMs within each emission scenario to estimate the inter-model consistency of regional patterns. Consistency was measured as the mean projected warming,  $\{\Delta T\}$ , across all five AOGCM within each emission scenario divided by its standard deviation ( $\{\Delta T\}/\sigma_{\{\Delta T\}}$ ). Third, we ranked mountain systems on the basis of their estimated temperature change for each emission scenario and then we added the ranks obtained under each emission scenario to develop a synthetic ranking of exposure to

climate change. Fourth, using temperature warming projected for each climate change scenario, we compared statistical differences, using ANOVA tests, between the temperature changes of each group of mountains and the non-mountain land within their latitudinal band.

### 3. Results

First, the mountain systems of the world are expected to warm in the 21st century, although to differing extents. World-wide, the two most divergent scenarios are A1FI and B1, which predict an average temperature change of between  $+3.2^{\circ}\text{C}$  ( $+0.4^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $+2.1^{\circ}\text{C}$  ( $+0.26^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) for 2055 and  $+5.3^{\circ}\text{C}$  ( $+0.48^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $+2.8^{\circ}\text{C}$  for 2085 ( $+0.25^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ). When analyses are carried out by mountain group, the high-latitude mountains of Asia show the greatest increase in average temperatures under the four emission scenarios (2055:  $+5.0^{\circ}\text{C}$  under A1FI ( $+0.62^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $+3.6^{\circ}\text{C}$  under B1 ( $+0.45^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ); 2085:  $+8.4^{\circ}\text{C}$  ( $+0.76^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $+4.8^{\circ}\text{C}$ , respectively ( $+0.43^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ), while New Zealand and Australian mountains are projected to show the smallest change: 2055— $+2^{\circ}\text{C}$  under A1FI ( $+0.25^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ); and  $+1.5^{\circ}\text{C}$  under B1 ( $+0.18^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ); 2080— $+3.7^{\circ}\text{C}$  ( $+0.33^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ); and  $+1.9^{\circ}\text{C}$ , respectively ( $+0.17^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ). Results show a latitudinal gradient of temperature change in which those mountains at high and medium latitudes show the greatest temperature rise. These include high-latitude mountains of Asia, previously reported, the high-latitude mountains of North America, mid-latitude mountains of Asia or high-latitude mountains of Europe (see Table 2). Conversely, tropical and mid-latitude mountains in Africa and South America are expected to warm less (see Table 2).

World-wide, the A1FI scenario predicts the greatest average warming, followed by A2, B1 and B2 (Table 2). The difference between the two most divergent scenarios, A1FI and B1, is  $1.1^{\circ}\text{C}$  in 2055 ( $+0.13^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $2.2^{\circ}\text{C}$  in 2085 ( $+0.19^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ). Differences between these two scenarios also show a marked spatial pattern. For high-latitude Asian mountains, the difference between A1FI and B1 is  $1.4^{\circ}\text{C}$  in 2055 ( $+0.17^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) and  $1.2^{\circ}\text{C}$  for Asia mid-latitude mountains ( $+0.15^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) or  $1^{\circ}\text{C}$  ( $+0.12^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ) for North America high-latitude mountain systems. In contrast, mid-latitude mountains in South America, ( $+0.7^{\circ}\text{C}$ ;  $+0.09^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ), and New Zealand–Australian mountain systems, ( $+0.7^{\circ}\text{C}$ ;  $+0.09^{\circ}\text{C}/\text{per decade}$ ), show smaller differences in relation to emission scenarios. More specifically, polar and boreal mountains of eastern Asia, Alaska and northern Canada are predicted to show the greatest variation due to alternative socio-economic pathways for the future (see Fig. 2).

Second, although each emission scenario predicts different temperature changes, only high-latitude mountains of Europe, Scandinavian mountains, show statistically

Table 2

Predicted average temperature change for different emission scenarios, the standard deviation ( $\sigma_T$ ) of projected temperature among AOGCMs within each emission scenario, the  $p$ -values showing the statistical differences between each mountain group and the lowlands in the same latitudinal band, and the rank to climate change exposure

Mountain group (number in Fig. 1)	A1FI	A2	B1	B2	$\sigma_T$	A1FI-B1	$p$ -value	Rank
<b>2055</b>								
High_Asia (10)	5.0	3.8	3.6	3.6	0.7	1.4	>0.05	1
High_NAmerica (1)	4.1	3.3	3.0	3.1	0.5	1.1	>0.05	2
High_Europe (5)	3.6	2.9	2.7	2.8	0.4	0.9	>0.05	3
Mid_Asia (11)	3.8	2.9	2.7	2.7	0.6	1.1	>0.05	4
Mid_Africa (9)	3.4	2.6	2.4	2.4	0.5	1.0	>0.05	5
Mid_NAmerica (2)	3.3	2.5	2.3	2.3	0.5	1.0	>0.05	6
Mid_Europe (6)	3.3	2.5	2.3	2.3	0.5	1.0	>0.05	7
Low_America (3)	2.7	2.1	1.8	1.8	0.4	0.9	>0.05	8
Low_Africa (8)	2.7	2.1	1.8	1.8	0.4	0.9	>0.05	9
Mid_SAfrica (9)	2.4	1.8	1.6	1.6	0.4	0.8	>0.05	10
Low_Asia (12)	2.3	1.8	1.6	1.6	0.4	0.7	>0.05	11
Mid_Samerica (4)	2.2	1.8	1.5	1.6	0.3	0.7	>0.05	12
AustraliaNZ (13)	2.0	1.5	1.3	1.3	0.3	0.7	<0.05	13
Average	3.2	2.4	2.1	2.2	0.5	1.1		
<b>2085</b>								
High_Asia (10)	8.4	6.6	4.8	5.0	1.7	3.4	>0.05	1
High_NAmerica (1)	6.7	5.4	3.8	4.1	1.3	2.5	>0.05	2
Mid_Asia (11)	6.5	5.0	3.6	3.8	1.4	2.7	>0.05	3
High_Europe (5)	5.9	4.8	3.4	3.7	1.1	2.2	>0.05	4
Mid_NAmerica (2)	5.4	4.2	3.0	3.2	1.1	2.3	>0.05	5
Mid_Africa (9)	5.5	4.3	2.9	3.2	1.2	2.3	>0.05	6
Mid_Europe (6)	5.3	4.1	2.9	3.1	1.1	2.2	>0.05	7
Low_Africa (8)	4.6	3.6	2.4	2.6	1.0	2.0	>0.05	8
Low_America (3)	4.6	3.5	2.4	2.6	1.0	2.0	>0.05	9
Mid_SAfrica (9)	4.4	3.4	2.3	2.4	1.0	1.9	>0.05	10
Low_Asia (12)	3.9	3.1	2.1	2.3	0.9	1.7	>0.05	11
Mid_Samerica (4)	3.7	3.0	2.0	2.1	0.8	1.6	>0.05	12
AustraliaNZ (13)	3.7	2.9	1.9	2.1	0.8	1.6	<0.05	13
Average	5.3	4.1	2.8	3.1	1.1	2.2		

significant differences ( $p < 0.05$ ) within each emission scenario because of the great inter-model variability of future warming. Also, results show a good agreement in relation to inter-model consistency of regional patterns. In all cases, the values of the consistency index are above 2 (recommended threshold by IPCC 2001 Report is 1).

Third, and using the ranking index (Table 2), polar, subpolar and boreal mountain systems are projected to warm most, while tropical mountains are projected to warm least. The rank is stable between the two time periods considered and only mid-latitude mountains of Asia and high-latitude mountains of Europe change their ranks. Specifically, mountain ranges located in the northeast of Asia such as the Chukot or Kolyma ranges, the Kamchatka mountainous areas and mountains of Baffin Island and the Queen Elizabeth Islands mountains in northern Canada show the largest exposure to global warming: 5–7 °C temperature increase in 2055 under A1FI scenario and 4–5 °C under B1 (see Fig. 2). Finally, only New Zealand–Australian mountain systems differ significantly from the increase of temperatures of emerged lands in their latitudinal band. The other groups of mountain systems do not show significant differences

relating to global warming (see “ $p$ -values” column of Table 2).

#### 4. Discussion

The projected amount of warming for mountain areas in the 21st century is greater than that recorded in the 20th century; this pattern is consistently observed when different emission scenarios and AOGCM are considered. A global comparison of surface and free-air temperatures recorded at high elevations (Pepin and Seidel, 2005) reported a median warming at the surface of +0.13 °C/decade in the second half of the 20th century (+0.65 °C in the past 50 years). Similarly, an increase of +0.6 °C was reported for the tropical Andes from 1939 to 1998, +0.1 °C/decade (Vuille and Bradley, 2000) and an increase of +0.9 °C for the Pyrenees from 1880 to 1950 (Bucher and Dessens, 1991; an increase of +0.11 °C/decade). In contrast, the average projected warming for global mountain systems as a whole up to 2055 (A1FI and B1) ranges from +3.2 °C (+0.4 °C/decade) to +2.1 °C (+0.26 °C/decade); in other words, the magnitude of future projections, per decade, is two to three

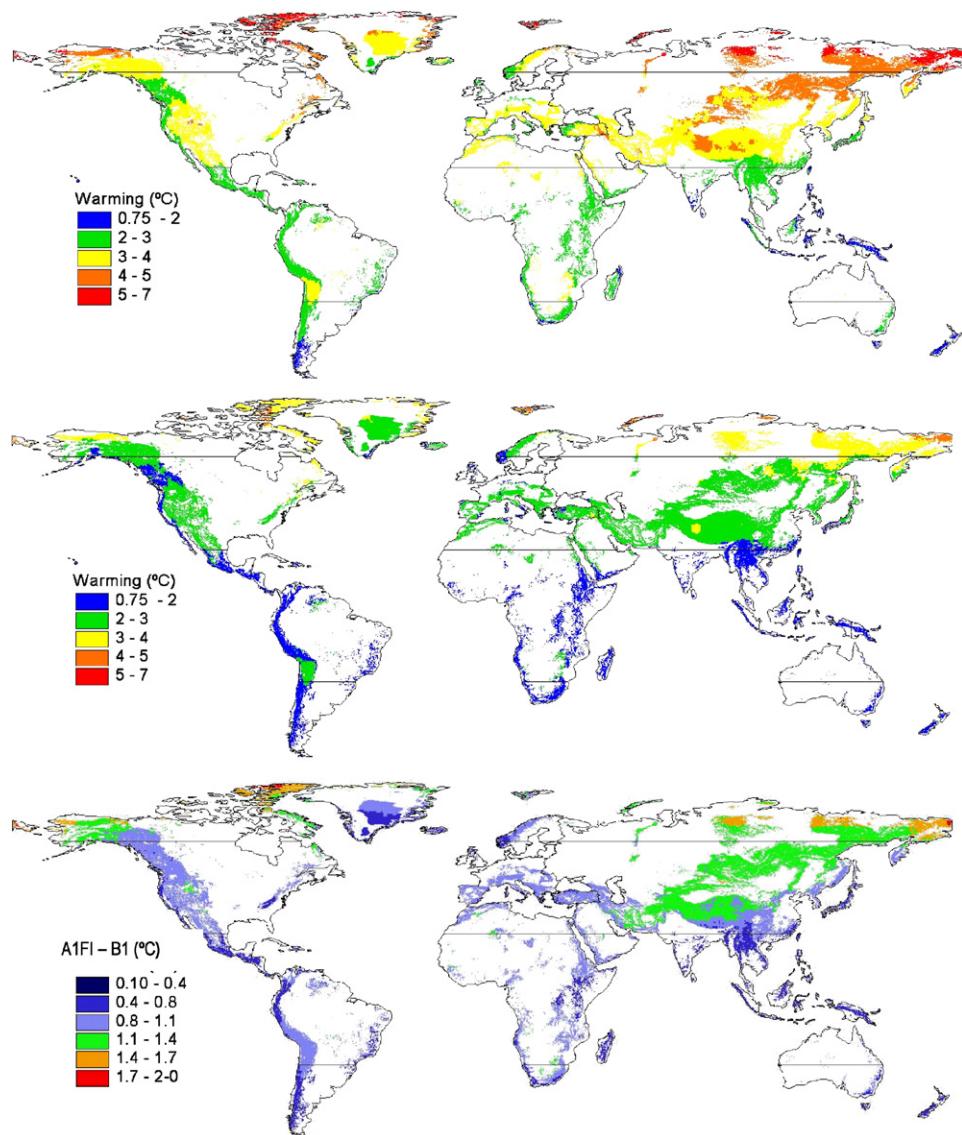


Fig. 2. Projected warming for 2055 (A1FI—upper; B1—middle) after averaging the five AOGCM. There is a clear latitudinal warming pattern from arctic and boreal mountains to tropical mountains in both scenarios. Bottom map shows the difference between the two most divergent scenarios (A1FI and B1) showing also a longitudinal pattern in the exposure of global mountain systems to warming because of the emission scenario.

times greater than that recorded by Pepin and Seidel (2005) for the 20th century.

In accordance with the projections described here, both authors reported a significant and greater warming during the 20th century in mountains located at high latitudes in the Northern Hemisphere, in agreement with previous global analyses (Jones and Moberg, 2003). Moreover, differences between recorded and projected warming are greater for polar and boreal mountain systems than for tropical systems. Although a comparable latitudinal gradient of temperature warming was recorded during the second half of the 20th century, the magnitude of warming during this period was lower for Northern Hemisphere mountains than that projected for the 21st century. For example, an increase of +0.7 °C (+0.14 °C/decade) was observed for North American mountains from

1948 to 1998 (Pepin and Seidel, 2005), whereas an increase of +2.7 °C (+0.34 °C/decade) is projected for 2055 under the most conservative emission scenario, B1 (warming calculated after averaging groups 1 and 2; see Fig. 1).

We have not observed significant differences in future warming between mountains and lowlands located in the same latitudinal band, except for New Zealand and Australian mountain systems. Previous studies have suggested that the recorded increase in temperature has been more intense in areas of high elevation (Beniston et al., 1997; Diaz and Bradley, 1997); however, other studies failed to reach the same conclusion (e.g., Vuille and Bradley, 2000; Pepin, 2000). In a recent comparison of surface and free-air temperatures at high elevations, Pepin and Seidel (2005) failed to find any significant relationship between the magnitude of temperature trends and

elevation, despite the findings of the studies cited above. This lack of agreement between different studies indicates the need for future research on this topic to improve existing projections of climate change in mountainous areas.

The impact of climate warming on environmental and socio-economic systems in mountainous areas should be expected over the next century on the basis of climate-change impacts recorded in the past (Beniston, 2003) and the degree of warming projected for the future. Among the currently observed biological impacts, we must consider those impacts related to upward shifts in vegetation belts to higher elevations, northward advances in the geographical ranges of species in the northern hemisphere, and changes in the compositions of several communities (see Walther et al. (2002), Parmesan and Yohe (2003), and Root et al. (2003) for a synthesis of the future impacts of climate change on biodiversity). For example, an investigation involving 4 years of experimental warming and nutrient addition revealed changes in the dominance hierarchies, community structure, and diversity of an alpine biodiversity hotspot in southern Norway (Klanderud and Totland, 2005). Walther et al. (2005) also reported that changes in vegetation in the southeast Swiss Alps have accelerated since 1985, consistent with the effects of climate change. In addition, a recent European study that modelled the distributions of plants in relation to climate (Thuiller et al., 2005) reported that mountain species, specifically those located near the Mediterranean Basin, are disproportionately sensitive to climate change (up to 60% species loss by 2080).

Other potential biological impacts have received less attention compared to the well-known effect of elevation-related changes in biodiversity resulting from climate warming. In light of the projected warming reported here, we suggest that a change in biogeographic types is likely to occur: mountain ecosystems may change to thermophilic types. Thus, arctic mountains may become increasingly boreal, while boreal mountains may change to temperate types, temperate to Mediterranean, etc. This pattern of change will be more difficult to detect than the upwards shifting pattern because it involves colonization by new species across large distances; however, such changes have been documented previously over long time spans, such as the colonization of ice-free areas by plants during the Holocene (Delcourt and Delcourt, 1991).

Second, the fact that glaciers are retreating and decreasing in volume is unquestionable, especially since the end of the 1980s: 7000 km<sup>2</sup> of mountain glaciers disappeared in the last four decades of the 20th century (Dyurgerov, 2003). Other local and regional studies have reported similar trends (Diaz and Graham, 1996). For example, the extent of glaciers in the European Alps has decreased by 30–40% during the 20th century (Haeberli and Beniston, 1998), and a decrease of 25% has been recorded for glaciers in the Canadian Rockies over the same period (Luckman and Kavanagh, 2000). Therefore, it

is only to be expected that there will be a gradual disappearance of many glaciers over the coming decades. Similarly, significant reductions in snow pack have been reported (Breiling and Charmanza, 1999; Beniston et al., 2003; López-Moreno, 2005).

Third, the influence of glaciers and snow pack on the hydrological cycle is of key importance, particularly in regions where the water supply is mainly derived from snowmelt or ice (Barnett et al., 2005), although this influence is also of importance in tropical areas (Bradley et al., 2006). Mountain regions supply a large proportion of the world's population with fresh water. In humid areas, mountains supply up to 20–50% of the total discharge, while in arid areas this figure is 50–90%, with extremes of over 95% (Viviroli and Weingartner, 2004). A change from snow-fed to rain-fed regimes associated with climate warming (i.e., less winter precipitation falls as snow and the melting of winter snow occurs earlier in spring) implies increasing variability in discharge (López-Moreno and García-Ruiz, 2004), possible modifications of reservoir management patterns, and the increased necessity for dam construction (López-Moreno et al., 2005). Climate warming will also impact on hydropower generation. For example, on the basis of moderate climate-change scenarios, we must expect changes in discharge regimes in the future, leading to unstable regional trends in hydropower potential and reductions in hydropower potential of 25% or more for southern and southeastern European countries (Lehner et al., 2005). In addition to the impacts of warming on hydrological cycles, the synergetic relationships between temperature, precipitation, and changes in land use are likely to have a significant effect on water resources.

Fourth, the impact of the projected warming may well vary spatially because the economic role of mountains varies significantly between developed and developing countries. Mountains in developed countries are usually managed via a sub-exploitation model that involves the intensive use of productive areas and the abandonment of traditional activities. For example, ski resorts might well experience a reduction in the length of the snow season (Breiling and Charmanza, 1999), leading to important reductions in profits. In contrast, mountains in developing countries remain centres of crop and livestock production. Accordingly, changes in the timing of specific chilling periods will affect crop yields and lead to an increase in xeric conditions that is likely to degrade herbaceous pastures and grazing livestock (Slingo et al., 2005). Finally, Tol et al. (2004) propose that climate change is likely to impact more severely on poorer countries because their adaptive capacity is lower, although the authors note that the geographical pattern of vulnerability is complex because it is not solely related to per capita income.

In summarizing the possible impacts of climate change on mountainous areas, we emphasise that different features (e.g., biodiversity, hydrological resources) in mountainous areas do not show a common response to projected global warming. A sector-by-sector analysis undertaken by Hitz

and Smith (2004) found a range of negative, positive, linear, and parabolic relationships between a global-scale increase in mean temperature and resulting benefits. Nevertheless, Hitz and Smith (2004) predict that a warming of mean temperature beyond 3–4 °C is likely to result in increasingly adverse impacts in sectors such as agriculture, water resources, terrestrial ecosystem productivity, and human health, although their study was not designed for mountainous areas. In light of current projections of climate warming reported herein and the 3–4 °C threshold reported by Hitz and Smith (2004), the adverse impacts in the sectors analysed by these authors are also likely to occur in mountainous areas. Specifically, for 2055, seven of the 13 considered mountain systems show a projected warming greater than 3 °C under the A1Fi emission scenario, mainly those systems located in the artic, boreal, or temperate zones of Asia, North America, and Europe. However, only the artic and boreal mountains of Asia and North America (two of 13 systems) go beyond this threshold under the most conservative emission scenario (see Table 2).

Previous studies have highlighted the degree of uncertainty involved in different climate-change scenarios and the use of different methodological approaches to assess potential impacts (see Thuiller et al. (2004) for an example of the uncertainty involved in predicting the risk of species extinction). Assuming that temperature decreases by 0.6 °C for every 100-m increase in elevation (Del Barrio et al., 1990), isotherms will move upward by between 380 and 550 m in the mid-latitude mountain systems of Europe and North America (calculated for the two most divergent scenarios: B1 and A1f1). Thus, the potential consequences of climate change in terms of the upward movement of vegetation belts or changes in the extent of the glaciated area below the equilibrium line altitude (ELA) will vary markedly depending upon the choice of emission scenario.

In addition, the nature of the predicted effects are complicated by the synergetic and non-linear relationships among related impacts. For example, as climate warming would lead to an increase in vegetation productivity, it could also act as a secondary force in the process of vegetation recovery (e.g., see Vicente-Serrano et al. (2005), for an account of the effect of human management on vegetation). The afforestation process involves a reduction in erosion rates and a reduction of water availability for human use because of the consumption of water by plants (Beguería et al., 2003). In summary, accurate estimation of the effects of climate change is difficult because of the uncertainties associated with climate scenarios and because of non-linear feedbacks between impacts.

The climate-change scenarios developed here, with a spatial resolution of 0.5°, provide a broad-brush perspective of predicted future temperatures for different groups of mountain ranges. The coarse resolution of AOGCMs may be capable of capturing the mean climate behaviour, showing consistent regional patterns (Giorgi and Bi, 2005) and similar temperature changes to those predicted

by Regional Climate Models (RCMs) (Deque et al., 2005). But these earlier studies also highlight the fact that the behaviour is different for precipitation and that the model bias is twice as large as the climate response (these previous studies compared global high-resolution data with Limited Area Model climate-change projections for Europe). In addition, AOGCMs are not usually successful in reproducing higher-order statistics and extreme values or adequately reproducing the elevational dependency of changing temperature (Giorgi et al., 1997).

The coarse spatial resolution of the climate-change scenarios used here does not enable a consideration of the complex topographical patterns of temperature change and other regional climate features. Regional and local projections based on RCM (see Giorgi and Mearns (1991) for a pioneering manuscript in this regard) or statistical downscaling techniques (Murphy, 2000) should be considered in future research to account for local patterns of climate change within individual mountain ranges. Regional approaches provide consistent improvements in the spatial detail of simulated climate compared to AOGCMs. Regional projections of the impacts of climate change are therefore required by researchers, planners and decision-makers to develop specific adaptation and mitigation strategies.

While new models are developed to fine-tune and improve regional-scale projections of climate change, the coarse assessment reported here provides a first step towards an understanding of the potential impacts of climate change and the spatial patterns of change on mountain environments during the course of the current century.

## Acknowledgements

Research by DNB and MBA is funded by the EC FP6 ALARM project (GOCE-CT-2003-506675). MBA is a “Ramón y Cajal” Research Fellow funded by the Spanish Ministry of Education and Science. Thanks Dr. Scott Butler ([www.sciencemanager.com](http://www.sciencemanager.com)), for English style revision of the manuscript. We would like to extend our gratitude to López-Moreno for his suggestions on cryosphere impacts and to two anonymous reviewers for their helpful comments. The Map of the Mountain of the world was supplied by UNEP-WCMC.

## References

- Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438 (7066), 303–309.
- Barry, R.G., Seimon, A., 2000. Research for mountain area development: climatic fluctuations in the mountains of the Americas and their significance. *Ambio* 29, 364–370.
- Beguería, S., López-Moreno, J.I., Lorente, A., Seeger, M., García-Ruiz, J.M., 2003. Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Ambio* 32 (4), 283–286.

- Beniston, M., Diaz, H.F., Bradley, R.S., 1997. Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change* 36, 233–252.
- Beniston, M., 2003. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59 (1–2), 5–31.
- Beniston, M., Keller, F., Goyette, S., 2003. Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impact studies. *Theoretical and Applied Climatology* 74, 19–31.
- Bradley, R.S., Keimig, F., Díaz, H.F., 2004. Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophysical Research Letters* 31, L16210.
- Bradley, R.S., Vuille, M., Díaz, H.F., Vergara, W., 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* 312 (5781), 1755–1756.
- Breitling, M., Charmanza, P., 1999. The impact of global warming on winter tourism and skiing: a regionalised model for Austrian snow conditions. *Regional Environmental Change* 1 (1), 4–14.
- Bucher, A., Dessens, J., 1991. Secular trends of surface temperatures at an elevated observatory in the Pyrenees. *Journal of Climate* 4, 859–868.
- Del Barrio, G., Creus, J., Puigdefábregas, J., 1990. Thermal seasonality of the high mountain belts of the Pyrenees. *Mountain Research and Development* 10, 227–233.
- Delcourt, H., Delcourt, P., 1991. Quaternary Ecology: A Paleoecological Perspective. Chapman & Hall, New York, NY.
- Deque, M., Jones, R.G., Wild, M., Giorgi, F., Christensen, J.H., Hassell, D.C., Vidale, P.L., Rockel, B., Jacob, D., Kjellstrom, E., de Castro, M., Kucharski, F., van den Hurk, B., 2005. Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results. *Climate Dynamics* 25, 653–670.
- Diaz, H.F., Graham, N.E., 1996. Recent changes in tropical freezing heights and the role of sea surface temperature. *Nature* 383 (6596), 152–155.
- Diaz, H.F., Bradley, R.S., 1997. Temperature variations during the last century at high elevation sites. *Climatic Change* 36, 253–279.
- Diaz, H.F., Grosjean, M., Graumlich, L., 2003. Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. *Climatic Change* 59 (1–2), 1–4.
- Dyurgerov, M., 2003. Mountain and subpolar glaciers show an increase in sensitivity to climate warming and intensification of the water cycle. *Journal of Hydrology* 282, 164–176.
- Flato, G.M., Boer, G.J., 2001. Warming asymmetry in climate change experiments. *Geophysical Research Letters* 28, 195–198.
- Foster, P., 2001. The potential negative impacts of climate change on tropical montane cloud forests. *Earth Science Review* 55, 73–106.
- Giorgi, F., Mearns, L.O., 1991. Approaches to the simulation of regional climate change—a review. *Reviews of Geophysics* 29, 191–216.
- Giorgi, F., Hurrell, J.W., Marinucci, M.R., Beniston, M., 1997. Elevation dependency of the surface climate change signal: a model study. *Journal of Climate* 10, 288–296.
- Giorgi, F., Bi, X., 2005. Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophysical Research Letters* 32, L21715.
- Gordon, H.B., O'Farrell, S.P., 1997. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice. *Monthly Weather Review* 125, 875–907.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H.T., Gregory, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B., Wood, R.A., 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16, 147–168.
- Grabherr, G., 2003. Overview: alpine vegetation dynamics and climate change—a synthesis of long-term studies and observations. In: *Alpine Biodiversity in Europe*, Springer, Berlin.
- Haeberli, W., Beniston, M., 1998. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27, 258–265.
- Hill, J.K., Thomas, C.D., Fox, R., Telfer, M.G., Willis, S.G., Asher, J., Huntley, B., 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proceedings Royal Society London B* 269, 2163–2171.
- Hitz, S., Smith, J., 2004. Estimating global impacts from climate change. *Global Environmental Change Part A* 14 (3), 201–218.
- Holdridge, L.R., 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
- IPCC Third Special Report, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, P.D., Moberg, A., 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and update to 2001. *Journal of Climate* 16, 206–223.
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Ravilious, C., Price, M.F., 2000. Developing a Map of the World's Mountain and Forests. *Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report for 2000*. CAB International, Wallingford.
- Klanderud, K., Totland, O., 2005. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. *Ecology* 86, 2047–2054.
- Konvicka, M., Maradova, M., Benes, J., Fric, Z., Kepka, P., 2003. Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detected on a regional scale. *Global Ecology and Biogeography* 12, 403–410.
- Korner, C., 2004. Mountain biodiversity, its causes and function. *Ambio Supplement* 13, 11–17.
- Lehner, B., Czisch, G., Vassolo, S., 2005. The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy* 33, 839–855.
- López-Moreno, J.I., García-Ruiz, J.M., 2004. Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Hydrological Sciences Journal* 49, 1–16.
- López-Moreno, J.I., 2005. Recent variations of snowpack depth in the central Spanish Pyrenees. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 37, 253–260.
- López-Moreno, J.I., Beguería, S., García-Ruiz, J.M., 2005. The management of a large mediterranean reservoir: storage regimens of the Yesa Reservoir, Upper Aragon River Basin, Central Spanish Pyrenees. *Environmetal Management* 34 (4), 508–515.
- Luckman, B., Kavanagh, T., 2000. Impact of climate fluctuations on mountain environments in the Canadian Rockies. *Ambio* 29, 371–380.
- Meybeck, M., Green, P., Vörösmarty, C., 2001. A new typology for mountains and other relief classes: an application to global continental water resources and population distribution'. *Mountain Research and Development* 21, 34–45.
- Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P., Hulme, M., New, M., 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100). *Report of Tyndall Centre for Climate Change Research, Working paper* 55, 30pp.
- Murphy, J., 2000. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. *International Journal of Climatology* 20, 489–501.
- New, M., Hulme, M., Jones, P., 1999. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829–856.
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37–42.
- Pépin, N.C., 2000. Twentieth century change in the climate record for the Front Range, Colorado, USA. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 32 (2), 135–146.
- Pépin, N.C., Seidel, D.J., 2005. A global comparison of surface and free-air temperatures at high elevations. *Journal of Geophysical Research* 110, D03104.
- Roeckner, E., Oberhuber, J.M., Bacher, A., Christoph, M., Kirchner, I., 1996. ENSO variability and atmospheric response in a global coupled atmosphere–ocean GCM. *Climate Dynamics* 12, 737–754.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Araújo, Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T.H., 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* Doi:10.1126/science.1115233 *Science*.

- Slingo, J.M., Challinor, A.J., Hoskins, B.J., Wheeler, T.R., 2005. Introduction: food crops in a changing climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B—Biological Sciences* 360, 1983–1989.
- Spehn, E.M., Messerli, B., Körner, C., 2002. A global assessment of mountain biodiversity: synthesis. In: *Mountain Biodiversity. A Global Assessment*. Parthenon, Boca Raton.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A., 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, 57–60.
- Thuiller, W., Araújo, M.B., Pearson, R.G., Whittaker, R.J., Brotons, L., Lavorel, S., 2004. Uncertainty in predictions of extinction risk. *Nature* 430, 33.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M., Prentice, I.C., 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings National Academy Science USA* 102 (23), 8245–8250.
- Tol, R.S.J., Downing, T.E., Kuik, O.J., Smith, J.B., 2004. Distributional aspects of climate change impacts. *Global Environmental Change* 14, 259–272.
- Vicente-Serrano, S., Lasanta, T., Romo, A., 2005. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: role of Human management. *Environmental Conservation* 34 (6).
- Viviroli, D., Weingartner, R., 2004. Hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrological Earth Systems Science* 8 (6), 1016–1029.
- Vuille, M., Bradley, R.S., 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters* 27, 3885–3888.
- Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395.
- Walther, G.R., Beissner, S., Burga, C.A., 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science* 16, 541–548.
- Washington, W.M., et al., 2000. Parallel Climate Model (PCM): control and transient simulations. *Climate Dynamics* 16, 755–774.
- Wilson, R.J., Gutierrez, D., Gutierrez, J., Martinez, D., Agudo, R., Monserrat, V.J., 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8, 1138–1146.
- Woodwell, G.M., 2004. Mountains: top down. *Ambio Supplement* 13, 35–38.

## ***Executive Summary***

This report provides an assessment of the impacts of, and adaptation to, climate change in the areas of winter tourism and natural hazards management for the European Alps.<sup>1</sup> The implications of this assessment however extend beyond the European Alps. Insights into the costs of adaptation, the roles of the private sector and government agencies, and broader lessons on the synergies and trade-offs between climate change adaptation and other sectoral and development priorities are also likely to be relevant for other mountain systems which face similar climatic and contextual challenges, for example in North America, Australia and New Zealand. More generally, examining the case of the European Alps – where there is high adaptive capacity – can highlight examples of good adaptation practices and the role of financial mechanisms, as well as identify constraints and limits to adaptation. Such insights would be valuable not only for other developed country contexts, but for developing countries as well.

---

### **Climate change is already affecting the European Alps, and adaptation is of vital importance**

---

The Alps are particularly sensitive to climate change, and recent warming has been roughly three times the global average. The years 1994, 2000, 2002, and particularly 2003 have been the warmest on record in the Alps in the past 500 years. Climate models project even greater changes in the coming decades, including a reduction in snow cover at lower altitudes, receding glaciers and melting permafrost at higher altitudes, and changes in temperature and precipitation extremes. These climatic changes are impacting a system that is not only of critical economic and ecological importance, but one which is also already vulnerable to a wide range of natural hazards as well as demographic and environmental pressures. The viability of measures to adapt to the impacts of climate change is therefore of critical importance for Alpine countries. This has been recognised by the Alpine Convention, which in late 2006 invited member countries to develop adaptation strategies promptly for the most affected sectors. Alongside, a recent Europe-wide assessment has identified increasing losses in winter tourism due to reduced snow cover and the increased exposure of settlements and infrastructure to natural hazards as the primary vulnerabilities to climate change in the Alps. These two sectors are therefore the focus of this in-depth analysis.

---

### **Winter tourism is particularly vulnerable, but sensitivity to climate change varies across the Alpine arc**

---

Under present climate conditions, 609 out of the 666 (or 91%) Alpine ski areas in Austria, France, Germany, Italy, and Switzerland can be considered as naturally snow-reliable. The remaining 9% are already operating under marginal conditions. The number of naturally snow-reliable areas would drop to 500 under 1 °C, to 404 under 2 °C, and to 202 under a 4 °C warming of climate. This is the first systematic cross-country analysis of snow-reliability under climate change for the Alps and covers more than 80% of the skiing domain. While the precise numbers are a function of the assumptions made, it is the overall trend as well as the spatial heterogeneity in the impacts which are of policy relevance. Sensitivity to climate change varies markedly among the Alpine countries. Germany is most sensitive, with only a 1 °C warming leading to a 60% decrease (relative to present) in the number of naturally snow-reliable ski areas. Practically none of the ski areas in Germany will be left naturally snow-reliable under a 4 °C warming. Switzerland, meanwhile, is the least sensitive of the five countries, with a 1 °C warming leading to only a 10% decrease, while a 4 °C warming would lead to a 50% decrease (relative to present) in the number of naturally snow-reliable areas. There will also be “winners” and “losers”, both in terms of regions – for example Alpes Maritimes, Styria, and Friuli-Venezia-Giulia are considerably more vulnerable than Grisons, Valais, and Savoie – and in terms of the ski areas themselves, with low-lying ski areas being considerably more vulnerable than areas with high altitudinal range.

---

<sup>1</sup> The Alps include five OECD Members (France, Switzerland, Italy, Austria, and Germany) as well as Monaco, Lichtenstein and Slovenia.

---

## **The winter tourism industry is already adapting to climate change, but there are costs and limits**

---

The winter tourism industry has responded to the implications of observed changes, and a range of technological and behavioural adaptation measures have been put into practice. Artificial snow-making remains the dominant adaptation strategy. Other measures include grooming of ski slopes, moving ski areas to higher altitudes and glaciers, protecting against glacier melt with white plastic sheets, diversification of tourism revenues, and the use of insurance and weather derivatives. Adaptation measures also have costs, as well as limits. Snow-making has proven cost-effective, but such estimates are based only on the direct financial costs to ski operations and do not include the potential externalities of such practices on water consumption, energy demand, landscape, or ecology. Furthermore, snow-making costs will increase non-linearly as temperatures increase – and if ambient temperatures increase beyond a certain threshold snow-making will simply not be viable. Likewise, grooming of ski slopes can reduce the minimum snow-depth required for ski operations by 10 or 20 cm. However, no amount of grooming can overcome significant declines or the total absence of snow cover. Similarly, plastic sheets have been shown to be cost-effective in protecting glacier mass, but there are limits to the area that can be covered by such sheets and they cannot prevent the eventual disappearance of glaciers if warming trends continue. Insurance, meanwhile, can reduce the financial losses from occasional instances of snow-deficient winters, but cannot protect against systemic long-term trends towards warmer winters.

---

## **Governments can also play a key role in facilitating sustainable adaptation in winter tourism**

---

A key issue for governments is the degree of oversight that might be needed in what is, to a large extent, autonomous adaptation driven by market forces. One place where the government role might be critical is with regard to the environmental and social externalities that might be created by the implementation (or over-implementation) of particular adaptation strategies. For example, snow-making has implications on water and energy consumption, the grooming of ski slopes can reduce slope stability, while moving ski operations to higher altitudes can threaten fragile environments. Currently policies vary considerably, both across and within countries. France and Germany do not have regulations regarding snow-making, although some aspects are covered within existing regulations for water withdrawal. Austria, meanwhile, has explicit regulations, but they vary across provinces, while in Italy only South Tyrol has snow-making regulations. In Switzerland, meanwhile, snow cannons are subject to environmental impact assessment and there are specific regulations on where they can be used. Regulations vary similarly – or are absent entirely – for the use of snow additives, grooming of ski slopes, and moving ski activities to higher altitudes.

Yet another place where public policy might play a role is in facilitating transition for those at the “losing” end of the adaptation equation. This is because climate change impacts have significant equity implications. Smaller resorts, which also tend to be at low altitudes are both more vulnerable to climate change and have fewer resources for expensive adaptations. Meanwhile, ski conglomerates have lower climate risk (as their ski areas often have greater altitudinal range), better diversification of risk (as they operate a number of resorts), and more resources to make adaptation. Here again public policies vary considerably, from *laissez faire* (let the market decide) to the provision of financial support to those who are most vulnerable. In particular, a key tension that governments and local communities need to confront jointly is between adaptation measures that tend to protect the *status quo* for as long as possible despite increasingly unfavourable climatic conditions, and those which facilitate a smoother transition to the new realities of the changing climate. Overall, there has been more emphasis on preserving the *status quo*, and less on transitions that might be economically and politically expensive in the short-term.

---

## **Implications of climate change on natural hazards in the Alps are complex and hazard-specific**

---

The second case examined in this report – natural hazards – is both linked to, and yet significantly different from, winter tourism. While climate change has clearly discernible impacts on winter tourism, its implications on a diverse array of natural hazards that are already prevalent in the Alps are much more complex. Furthermore, while adaptation in winter tourism has largely been autonomous and initiated primarily by the private sector, any responses to address the implications of climate change on natural hazards will almost certainly involve public agencies, require much more co-ordination and planning, and would be superimposed on existing policies and measures to deal with natural hazards. The necessity of suitable adaptation measures to the effects of climate change on natural hazards depends both on the strength of the linkages between climate change and particular hazards, as well as the overall significance of the hazard itself. This analysis concludes that many hazards which have strong linkages to climate

change actually have relatively low/medium economic significance. The clearest impacts of climate change on natural hazards occur in glacial and permafrost zones which may be of limited economic significance from a national perspective, although their implications for local communities may be quite significant. On the other hand, hazards which have considerably higher economic and social significance, such as floods and windstorms, have more complex and less certain linkages with climate change. Despite the uncertainty of climate change impacts on floods and winter storms, the risk related to these changes should be taken seriously given the impacts of such events and the growing vulnerability of Alpine societies to such events due to demographic, land-use and other pressures.

---

### **Climate change is one additional reason for effective management of current hazards**

---

How best, then, to take climate change risks into account in dealing with natural hazards in the Alps? Clearly, a multi-pronged approach is needed. A natural place to start would be from the institutional structures and risk transfer mechanisms that already exist in the Alpine countries to deal with natural hazards. Climate change and its implications (even if uncertain) are one more reason to improve the efficiency of such structures and mechanisms. The three Alpine countries (France, Switzerland and Austria) examined in this part of the in-depth analysis clearly have very high adaptive capacities with regard to dealing with natural hazards. Institutional structures and regulations for managing natural hazards are in place, as are insurance mechanisms to facilitate risk transfer. While early hazard mitigation efforts focused primarily on disaster recovery, there has been growing emphasis on integrated natural hazards management that includes all elements of the risk cycle (from prevention to recovery). The Alpine Convention is also fostering the implementation of integrated management of hazards across the Alpine arc. Integrated hazard management offers several obvious entry-points for factoring in climate risk information, for example in hazard mapping, spatial planning, as well as the design of prevention measures. However this assessment also demonstrates that the Alpine countries nevertheless face significant challenges in dealing with current hazards, let alone the implications of climate change. For example, integrated management schemes are not yet fully operational, and in many cases implementation remains difficult. It is also noteworthy that, in all countries surveyed, there appears to be very little use of economic incentives to support and strengthen actual hazard prevention efforts. Insurance premiums, for example, are generally not linked to risk exposure, thereby reducing the incentives for undertaking risk prevention.

---

### **Climate change adaptation also requires more flexible and forward-looking natural hazards management**

---

Natural hazards management traditionally relies on retrospective information which will no longer be appropriate if climate change alters hazard profiles and distribution. There is therefore a need for more forward-looking approaches that also consider anticipated climate risks. One strategy might be to raise the precautionary standard for hazards management, as including more intense and extreme events into the planning process will enhance resilience to climate change. For example, in Switzerland hazards maps have been adjusted to include events with a 300 year return period instead of being limited to 100 year events. Adjustments have also been made in the planning of emergency measures which now account for events with a 1 000 year return period. Another strategy would be to update hazard maps more frequently to enable decision-makers to take evolving hazard profiles into account, as is the case for permafrost and glacier hazards. Frequent updating of hazard maps, however, needs to be carefully balanced against the significant costs that this might entail. There might be also high transaction costs, and even legal challenges, if significant changes are made to hazard maps on a frequent basis, particularly if such changes are made purely on the basis of model-based projections. A mid-way solution, however, might be to use hazard maps that incorporate scenarios of future impacts as advisory, and not regulatory, tools.

Much like public decision-makers, insurance companies base their operational practices only on the basis of past hazard events. Going from a pricing methodology based on past evidence to the inclusion of theoretical considerations surrounded by large uncertainties may prove difficult to accept for consumers, and to implement by insurers, especially within a competitive insurance sector. However, awareness of climate change is growing among Alpine insurers. In Austria, private insurers are funding the development of local climate change scenarios while in France a consortium of insurers is examining the consequences of climate change on insurance reserves and pricing. These efforts are still in at an early stage and are yet to translate into changes in operational guidelines.

---

**Active monitoring and risk reduction of climate change related hazards is also needed**

---

Finally, in specific cases where climate related risks are rapidly evolving or the impacts are already evident, as is the case for permafrost and glacial risks, an effective adaptation strategy would be to institute risk monitoring and risk reduction projects. Some progress has been made on both these aspects. The European Union, for example, funded two regional activities: Permafrost and Climate in Europe (PACE) between 1997-2000 and Glaciorkrisk between 2000-2003, to monitor climate risks. At the project level, meanwhile, there are some examples of infrastructural adaptation measures to the increasing risk of permafrost and glacial hazards under climate change. These include the partial drainage of a potentially dangerous glacial lake on the Monte Rosa on the Swiss-Italian border, and the construction of protective dykes against avalanche and debris flows in Pontresina (Switzerland). While these developments are clearly encouraging, they remain, at best, isolated niche examples relative to the scale of the climatic changes underway in the Alps. There is also a clear need to establish more durable mechanisms for climate hazard monitoring that extend beyond short-term funding cycles, and to ensure that such activities extend beyond research and generate information and tools that can then be used to better incorporate climate risks in hazard maps and natural hazard management policies.

ENNEIGEMENT ARTIFICIEL

# EAU SECOURS !



DOCUMENT

mountain wilderness

# CANONS À NEIGE : LA FUITE EN AVANT !

L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL, LIÉ AU PHÉNOMÈNE DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, EST DEVENU EN QUELQUES ANNÉES LA RÉPONSE MIRACLE AUX DIFFICULTÉS DE NOS STATIONS. LES INCONVÉNIENTS ENVIRONNEMENTAUX NE FONT ÉVIDEMMENT PAS LE POIDS FACE AUX ARGUMENTS ÉCONOMIQUES DE "L'ASSURANCE NEIGE". LE "MARKETING" QUI SEMBLE COMMANDER AUX STRATÉGIES DES STATIONS VAUT TANT POUR LE KILOMÉTRAGE DE PISTES OFFERT PAR UNE STATION QUE POUR LA SURFACE DE PISTES ENNEIGÉES ARTIFICIELLEMENT. LA NEIGE ARTIFICIELLE, C'EST LA BELLE POUR QUI RIEN NE SEMBLE TROP BEAU.

MAIS QUE SE CACHE-T-IL EN RÉALITÉ DERRIÈRE CE CONSTAT ?

Les stations de sports d'hiver doivent garantir à leurs actionnaires les 5 % de croissance annuelle qu'ils attendent. Le nombre de skieurs n'augmente plus ; il faut donc accroître coûte que coûte l'offre de pistes et le nombre de jours skiables. En quelques années, la neige artificielle est donc passée d'une solution d'appoint à un pur argument commercial, d'où la surenchère entre les stations. Cette fuite en avant risque de faire beaucoup de dégâts, les ressources nécessaires à la fabrication de ce paradis artificiel n'étant pas inépuisables. Fabriquer de la neige artificielle génère une augmentation conséquente des besoins en énergie, un épuisement des ressources en eau, avec les conflits d'usages qui en découlent, des atteintes au milieu et aux paysages, une pollution des sols...

## De lourds impacts sur le milieu naturel

Sans être exhaustif, mentionnons, en ce qui concerne la faune, les nuisances sonores, les conséquences des prélèvements dans les cours d'eau en période d'étiage sur les poissons et les amphibiens, l'impact sur les batraciens de la destruction de tourbières... Les impacts sur la végétation sont tout aussi importants. Sans parler des additifs utilisés, la plus forte teneur en eau de la neige artificielle soumet la végétation et le sol à un excès d'eau. Cela affecte fortement les associations végétales typiques des zones de montagne. Cette neige artificielle, plus compacte et moins perméable que la neige naturelle, fond plus tardivement, augmentant les contraintes auxquelles sont soumis ces écosystèmes fragiles. Les retenues collinaires sont construites sur les rares endroits plats, entraînant la destruction de milieux humides à forte valeur patrimoniale. Les prélèvements d'eau et la fonte retardée modifient les régimes hydriques, impliquant également des risques de glissements de terrain et d'érosion.

## De nouvelles atteintes au paysage

L'impact sur les paysages est d'autant plus grand que l'on recourt de plus en plus aux canons à neige fixes, moins gourmands

en énergie. Ces hautes perches brillantes, d'une douzaine de mètres de haut, balisent les pistes à l'année.

Autre conséquence : pour faciliter le travail des dameuses et maintenir la neige au sol plus longtemps, des travaux d'aplanissement, de concassage, de drainage, de réengazonnement — souvent avec des espèces exogènes — sont réalisés. Les pistes ainsi aménagées, plus plates que des autoroutes, ont un énorme impact visuel en été. Et en hiver, les langues de neige dévalant les pentes au milieu de l'herbe ne sont pas très naturelles !

Quant aux retenues collinaires, ces lacs artificiels, aux formes rectilignes et au fond recouvert d'une bâche, montrent une intégration paysagère faible ou inexistante. La multiplication de ces retenues collinaires artificielles gigantesques, aux berges abruptes et donc barricadées, et l'importance des travaux nécessaire à leur mise en place —en particulier pistes d'accès pour les engins de chantiers— tendent à modifier profondément les paysages. Des questions de sécurité se posent aussi : rupture ou glissement de terrain auraient de graves conséquences. La mise en place des centrales de production de neige artificielle nécessite également de lourds travaux.

## Des craintes pour l'avenir

L'homme a pris la mauvaise habitude de croire qu'il peut impunément dicter sa loi à la nature. Aujourd'hui, pour pouvoir annoncer que la majeure partie des domaines skiables de nos massifs sera ouverte chaque saison, on veut ignorer les effets pervers.

On pouvait espérer que les canons à neige ne servent qu'à garantir l'ensoleillement des domaines existants ; ils deviennent aussi une garantie pour la création de pistes —voire de stations— à toute altitude... participant ainsi à la course à l'or blanc.

Ce qui aurait dû rester une assurance de dernier recours est devenu la bête noire des Alpes.



# DE LA SURENCHÈRE AUX DÉRIVES...

## Toujours plus haut !

En Suisse, cela fait quelques années que des glaciers sont équipés de canons à neige pour garantir un bon ski d'été. La France a franchi le pas en 2004 avec l'installation de canons à neige à 3 000 mètres d'altitude sur le glacier de Tignes. Val d'Isère a suivi, avec l'équipement du glacier du Pissaillas. Et l'Alpe d'Huez projette d'enneiger artificiellement le glacier et la piste de Sarenne jusqu'à 3 300 m.

## Des conflits d'usage autour de « l'or bleu »

La consommation en eau est telle que se posent parfois des problèmes d'approvisionnement en eau potable. En hiver, l'eau, prisonnière du gel, est rare. Paradoxalement, c'est dans ces périodes de déficit que l'eau est sollicitée pour les canons à neige. En 2002, on est passé très près de la pénurie dans les Hautes-Alpes. Il a fallu l'intervention de l'armée pour ravitailler des villages du Champsaur. En 2001, une commune de la Haute-Savoie avait vu la dégradation de la qualité de ses eaux, à la suite de quoi les prélevements pour enneigement avaient dû être stoppés. Idem dans les Hautes-Pyrénées, où un village de la vallée de Luz a dû être ravitaillé en bouteilles d'eau en 2004. A Chamrousse, un projet de retenue collinaire a été bloqué : il aurait privé d'eau les communes de piémont. Même les "grandes" ne sont pas à l'abri : Megève et le Grand-Bornand ont manqué d'eau en 2005...

## Techniquement, tout est possible...

La Belgique s'y met aussi ! Dans les Ardennes, la piste de Wanne est équipée depuis l'hiver 2004 de canons à neige fixes. Mais ça ne suffit pas : il est prévu de réfrigérer une zone de 7 ha grâce à 170 km de tuyauterie

enfouie contenant 85 000 L de liquide cryogénique. Plus fort encore : un complexe de 3 pistes sous une cloche de verre va ouvrir pour Noël 2005 à... Dubaï, en plein désert !

## ... du moins, tant qu'il ne fait pas trop chaud !

Car, à moins d'en arriver aux extrémités de Dubaï, quelle que soit la température à laquelle on arrive à la produire, la neige fond à 0°C. Durant la saison 2000-2001, les canons à neige de Gresse-en-Vercors n'ont pu fonctionner : il faisait trop chaud. Pire, la station du Mas de la Barque, en Lozère, s'était équipée pour plus d'un million d'Euros d'une retenue artificielle et de canons... qui n'ont jamais fonctionnés. La station va bientôt être totalement démontée...

## Halte au feu !

Premières prises de conscience : en 2002, dans son discours inaugurant l'Année Internationale des Montagnes, le Ministre de l'Environnement insistait sur l'importance de l'opération "Installations obsolètes" de Mountain Wilderness, en ces périodes de réchauffement climatique. Changement climatique dû à l'homme, cycle normal, la faute à El Nino ? La question n'est plus là ! Cette prise de conscience, le Conseil général de l'Isère essaye de la traduire dans les faits en diversifiant l'offre des petites stations du département ; le comité de Massif des Alpes lance une réflexion sur le devenir des stations moyennes, n'excluant pas la fermeture de certains sites de ski alpin.

En attendant, des sites qui auront besoin de neige artificielle continuent à s'équiper de pistes et remontées mécaniques. De futures installations obsolètes ?..



# LA NEIGE ARTIFICIELLE EN QUELQUES FAITS

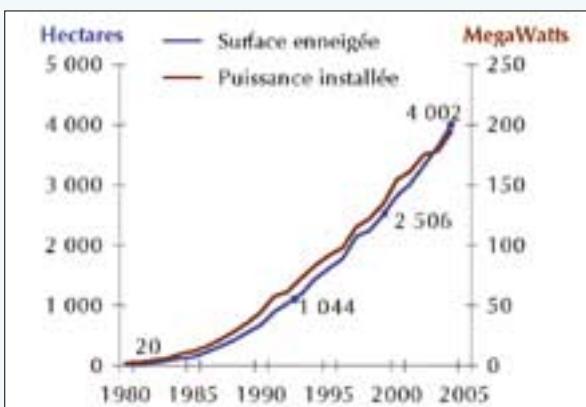


LE CANON À NEIGE, COMMENT ÇA MARCHE, COMBIEN ÇA COÛTE ? COMBIEN D'HECTARES ENNEIGÉS ?  
QUELLE EST LA PROGRESSION DES ÉQUIPEMENTS ? ET LES ADDITIFS ?  
LES RÉPONSES EN QUELQUES LIGNES ET TABLEAUX...

En quelques années, ce qui n'aurait dû rester qu'une solution d'appoint est devenue une véritable industrie ! S'il est difficile de connaître le nombre exact de canons à neige composant le parc français, certaines données sont bien mieux connues. Et sont alarmantes ! Au point que lors de l'assemblée générale du Syndicat national des téléphériques de France (SNTF), le président de la Commission « pistes » a demandé aux exploitants « de ne pas trop communiquer sur la quantité de neige artificielle utilisée »...

## Une croissance exponentielle du parc français

En 2001, sur les 357 stations de ski et 25239 ha de pistes, 175 sites étaient équipés en neige artificielle, soit une surface de 3000 ha. En 2004, on dépassait les 4000 ha, 58 % étant situés dans les Alpes du Nord, 23 % dans les Alpes du Sud et 13 dans les Pyrénées. Cette progression se lit directement sur les courbes de puissance installée et d'hectares enneigés.



Certains sites se distinguent : Méribel avec plus de 600 canons, l'Alpe d'Huez avec plus de 770... Tignes et Val d'Isère se signalent par l'altitude : glaciers de Tignes et du Pissaillas sont désormais équipés, pour pérenniser... le ski d'été !

## Des investissements toujours plus lourds

En 2001, 37 millions d'Euros ont été consacrés à la neige artificielle en France. En 2003, sur les 324 millions d'Euros hors taxes investis sur les domaines skiables, 58 millions l'ont été pour la neige artificielle.

le (dont 6 pour les retenues collinaires), et 25 pour les aménagements des pistes y afférents. En 2004, sur un total de 348 millions d'Euros d'investissement, 60 concernait directement la neige artificielle (dont 12 millions pour les retenues collinaires) et 24 les pistes.

## Que d'eau, que d'eau !

En moyenne, l'enneigement artificiel nécessite 4 000 m<sup>3</sup> d'eau à l'hectare, ratio très supérieur à celui de l'irrigation du maïs —une des cultures les plus exigeantes en eau, avec 1 700 m<sup>3</sup>/ha. En France, 10 millions de m<sup>3</sup> d'eau ont été consommés en 1999/2000 pour fabriquer de la neige artificielle, soit l'équivalent de la consommation annuelle d'une ville de 170 mille habitants (la taille de Grenoble !). Près d'un quart provenait directement du réseau d'eau potable. Durant l'hiver 2003-2004, 12 millions de m<sup>3</sup>, en 2004-2005, 13 millions... 55 % de l'eau provient des réserves collinaires, 30 % des cours d'eau, et 15 du réseau d'eau potable.

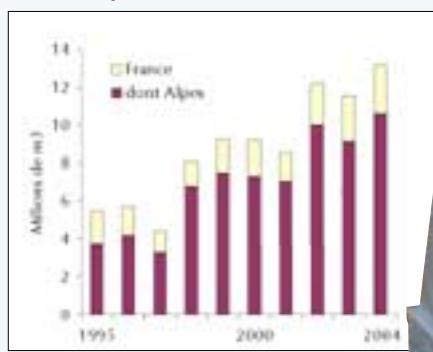
Sur l'ensemble de l'Arc alpin, c'est 95 millions de m<sup>3</sup> par an qui sont utilisés pour produire de la neige : la consommation annuelle d'une ville de 1,5 millions d'habitants.

1 m<sup>3</sup> d'eau fournit de 2 à 2,5 m<sup>3</sup> de neige artificielle. Les pertes sont évaluées entre 10 et 30 %, par évaporation et suintement, en fonction des conditions météorologiques. Et rappelons que ces prélèvements d'eau ne s'étendent que sur quelques mois de l'année...

## La consommation énergétique

C'est la part la plus importante du budget de fabrication de la neige artificielle : 50 % du coût total. 25 000 kWh sont utilisés chaque année par hectare de piste. Certains types de canons à neige permettent de limiter la consommation énergétique, mais leur impact paysager est plus important (canons fixes), et l'on constate dans le même temps l'augmentation de leur densité et de leur période d'utilisation. Cette demande énergétique intervient à un moment où la demande est déjà forte, et concurrence la production électrique en utilisant les rares eaux disponibles l'hiver !

Données : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Service d'étude et d'aménagement touristique de la Montagne et SNTF



Une industrie de plus en plus gourmande en eau

### Des nuisances sonores à prendre en compte

Les nuisances sonores engendrées par la fabrication de la neige artificielle ne sont pas négligeables. Elles concernent les canons à neige eux-mêmes, mais aussi les ventilateurs de la tour de refroidissement et la salle des machines. Il faut compter de 76 à 96 dB pour un canon haute pression et de 60 à 70 dB pour un canon basse pression. Les canons fonctionnant fréquemment la nuit, les nuisances qu'ils occasionnent concernent aussi bien les résidents « au pied des pistes » que la faune sauvage.

### Un impact paysager toujours plus lourd

Outre les canons alignés le long de pistes terrassées comme des autoroutes et les usines à neiges installées à flanc de montagne, il faut compter avec l'énorme impact des retenues collinaires. Il y en a plus d'un millier en France, certaines dépassant les 5 ha. On compte ainsi des retenues collinaires de 90 000 m<sup>3</sup> à Val-Thorens, de 100 000 aux Ménuires, 110 000 m<sup>3</sup> à Villards de Lans (incongrue dans ce Vercors karstique !) et 300 000 m<sup>3</sup> aux Arcs...

### LA REGLEMENTATION

En France, il n'y a pas de réglementation spécifique aux installations d'enneigement artificiel. Les textes qui doivent être appliqués sont ceux relatifs aux aménagements induits par l'installation d'enneigement : construction de l'usine à neige, prélèvements d'eau dans le milieu naturel, utilisation de compresseurs d'air, extension du domaine skiable...

L'exploitation de compresseurs d'air de forte puissance électrique impose ainsi d'obtenir une autorisation préfectorale relevant de la Loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection

de l'environnement. Les prélèvements d'eau dans le milieu naturel sont également sujets à autorisation préfectorale après enquête publique (Article 10 de la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992).

S'appliquent également la loi sur les études d'impact si l'installation dépasse un certain seuil et les règles d'urbanisme (permis de construire, installations et travaux divers...).

Cette réglementation n'est cependant pas bien respectée ; les instances en charge du contrôle rencontrent des difficultés à assurer le contrôle par manque de personnel.

### COMMENT ÇA MARCHE

#### L'utilisation d'un phénomène physique

Un canon à neige fonctionne en appliquant les effets du phénomène thermodynamique de la détente adiabatique sur de l'eau vaporisée. Lorsque l'air s'échappe par des buses de très petit diamètre, tout en aspirant et pulvérisant l'eau comme dans un vaporisateur, il subit un fort refroidissement qui amène sa température bien en dessous de 0°C. Les gouttelettes portées par ce jet d'air glacé se transforment instantanément en petits cristaux de glace si la température ambiante est suffisamment basse. Les canons peuvent être installés à demeure ou être mobiles.

Dans le premier cas, l'impact paysager est énorme, mais les consommations d'eau et d'énergie sont plus faibles.

#### De la neige quelle que soit la température !

L'utilisation d'additifs — cristaux d'argent, silice, Snomax — permet de produire de la neige à des températures de plus en plus élevées. Le Snomax a été développé aux États-Unis dans les années 80 ; en France, 15 % des stations l'utilisent ; il est interdit ou réglementé dans plusieurs pays. Le principe actif du Snomax est une protéine bactérienne qui facilite la cristallisation des gouttes en flocons à une température de 2 à 3 degrés supérieure à la neige naturelle. Une étude, commanditée par la société commercialisant le Snomax, conclut à l'innocuité de ce produit sur le milieu naturel, mais note qu'il constitue un milieu de culture favorable aux germes pathogènes : la bonne qualité des eaux utilisées est primordiale. Un encouragement à l'utilisation d'eau potable ?

Le procédé Snowline permet même de fabriquer de la neige par des températures pouvant atteindre 30°C, en utilisant une chambre froide. On a pu ainsi enneiger une petite station de Lozère, ou encore les rues de Nantes...



MOUNTAIN WILDERNESS EST NÉE À L'INITIATIVE DES PLUS GRANDS NOMS DE L'ALPINISME MONDIAL. 22 PERSONNALITÉS DU MONDE DE LA MONTAGNE, DE LA CULTURE ET DES SCIENCES, EN SONT LES GARANTS INTERNATIONAUX.

mountain wilderness

AGIT EN FAVEUR DE LA PRÉSÉRATION  
DES ESPACES DE MONTAGNE MENACÉS

ALERTE L'OPINION SUR LES PROBLÈMES  
LIÉS À LA GESTION DE LA MONTAGNE

PROPOSE DES ALTERNATIVES DOUCES À  
LA MARCHANDISATION DE LA MONTAGNE

ETUDES DOCUMENTAIRES, PUBLICATIONS THÉMATIQUES, GUIDES PRATIQUES, EXPERTISES TECHNIQUES, CONSEIL AUPRÈS DES COLLECTIVITÉS, ORGANISATION DE RENCONTRES ET COLLOQUES, MANIFESTATIONS ET DÉBATS AVEC LES MÉDIAS ET LES ÉLUS



MOUNTAIN WILDERNESS FRANCE

5, PL. BIR-HAKEIM - 38000 GRENOBLE - TÉL. 04 76 01 89 08 - FAX. 04 76 01 89 07  
[www.france.mountainwilderness.org](http://www.france.mountainwilderness.org)  
MEL : [france@mountainwilderness.org](mailto:france@mountainwilderness.org)

ASSOCIATION LOI 1901 RECONNUE AU TITRE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Maquette : Souris verte - 04 76 49 54 81 - Mise en page : Mountain Wilderness - Imp. : Imprimerie des deux Ponts - Photos : A. van Limburg V. Nelink A. Paris

DOCUMENT RÉALISÉ  
AVEC LE SOUTIEN DE :



Région  
Rhône-Alpes



ISBN : 2-9519510-3-5

© MOUNTAIN WILDERNESS

DÉPÔT LÉGAL : DÉCEMBRE 2005

ENNEIGEMENT ARTIFICIEL

# EAU SECOURS !



DOCUMENT

mountain wilderness

# CANONS À NEIGE : LA FUITE EN AVANT !

L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL, LIÉ AU PHÉNOMÈNE DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE, EST DEVENU EN QUELQUES ANNÉES LA RÉPONSE MIRACLE AUX DIFFICULTÉS DE NOS STATIONS. LES INCONVÉNIENTS ENVIRONNEMENTAUX NE FONT ÉVIDEMMENT PAS LE POIDS FACE AUX ARGUMENTS ÉCONOMIQUES DE "L'ASSURANCE NEIGE". LE "MARKETING" QUI SEMBLE COMMANDER AUX STRATÉGIES DES STATIONS VAUT TANT POUR LE KILOMÉTRAGE DE PISTES OFFERT PAR UNE STATION QUE POUR LA SURFACE DE PISTES ENNEIGÉES ARTIFICIELLEMENT. LA NEIGE ARTIFICIELLE, C'EST LA BELLE POUR QUI RIEN NE SEMBLE TROP BEAU.

MAIS QUE SE CACHE-T-IL EN RÉALITÉ DERRIÈRE CE CONSTAT ?

Les stations de sports d'hiver doivent garantir à leurs actionnaires les 5 % de croissance annuelle qu'ils attendent. Le nombre de skieurs n'augmente plus ; il faut donc accroître coûte que coûte l'offre de pistes et le nombre de jours skiables. En quelques années, la neige artificielle est donc passée d'une solution d'appoint à un pur argument commercial, d'où la surenchère entre les stations. Cette fuite en avant risque de faire beaucoup de dégâts, les ressources nécessaires à la fabrication de ce paradis artificiel n'étant pas inépuisables. Fabriquer de la neige artificielle génère une augmentation conséquente des besoins en énergie, un épuisement des ressources en eau, avec les conflits d'usages qui en découlent, des atteintes au milieu et aux paysages, une pollution des sols...

## De lourds impacts sur le milieu naturel

Sans être exhaustif, mentionnons, en ce qui concerne la faune, les nuisances sonores, les conséquences des prélèvements dans les cours d'eau en période d'étiage sur les poissons et les amphibiens, l'impact sur les batraciens de la destruction de tourbières... Les impacts sur la végétation sont tout aussi importants. Sans parler des additifs utilisés, la plus forte teneur en eau de la neige artificielle soumet la végétation et le sol à un excès d'eau. Cela affecte fortement les associations végétales typiques des zones de montagne. Cette neige artificielle, plus compacte et moins perméable que la neige naturelle, fond plus tardivement, augmentant les contraintes auxquelles sont soumis ces écosystèmes fragiles. Les retenues collinaires sont construites sur les rares endroits plats, entraînant la destruction de milieux humides à forte valeur patrimoniale. Les prélèvements d'eau et la fonte retardée modifient les régimes hydriques, impliquant également des risques de glissements de terrain et d'érosion.

## De nouvelles atteintes au paysage

L'impact sur les paysages est d'autant plus grand que l'on recourt de plus en plus aux canons à neige fixes, moins gourmands

en énergie. Ces hautes perches brillantes, d'une douzaine de mètres de haut, balisent les pistes à l'année.

Autre conséquence : pour faciliter le travail des dameuses et maintenir la neige au sol plus longtemps, des travaux d'aplanissement, de concassage, de drainage, de réengazonnement — souvent avec des espèces exogènes — sont réalisés. Les pistes ainsi aménagées, plus plates que des autoroutes, ont un énorme impact visuel en été. Et en hiver, les langues de neige dévalant les pentes au milieu de l'herbe ne sont pas très naturelles !

Quant aux retenues collinaires, ces lacs artificiels, aux formes rectilignes et au fond recouvert d'une bâche, montrent une intégration paysagère faible ou inexistante. La multiplication de ces retenues collinaires artificielles gigantesques, aux berges abruptes et donc barricadées, et l'importance des travaux nécessaire à leur mise en place —en particulier pistes d'accès pour les engins de chantiers— tendent à modifier profondément les paysages. Des questions de sécurité se posent aussi : rupture ou glissement de terrain auraient de graves conséquences. La mise en place des centrales de production de neige artificielle nécessite également de lourds travaux.

## Des craintes pour l'avenir

L'homme a pris la mauvaise habitude de croire qu'il peut impunément dicter sa loi à la nature. Aujourd'hui, pour pouvoir annoncer que la majeure partie des domaines skiables de nos massifs sera ouverte chaque saison, on veut ignorer les effets pervers.

On pouvait espérer que les canons à neige ne servent qu'à garantir l'ensoleillement des domaines existants ; ils deviennent aussi une garantie pour la création de pistes —voire de stations— à toute altitude... participant ainsi à la course à l'or blanc.

Ce qui aurait dû rester une assurance de dernier recours est devenu la bête noire des Alpes.



# DE LA SURENCHÈRE AUX DÉRIVES...

## Toujours plus haut !

En Suisse, cela fait quelques années que des glaciers sont équipés de canons à neige pour garantir un bon ski d'été. La France a franchi le pas en 2004 avec l'installation de canons à neige à 3 000 mètres d'altitude sur le glacier de Tignes. Val d'Isère a suivi, avec l'équipement du glacier du Pissaillas. Et l'Alpe d'Huez projette d'enneiger artificiellement le glacier et la piste de Sarenne jusqu'à 3 300 m.

## Des conflits d'usage autour de « l'or bleu »

La consommation en eau est telle que se posent parfois des problèmes d'approvisionnement en eau potable. En hiver, l'eau, prisonnière du gel, est rare. Paradoxalement, c'est dans ces périodes de déficit que l'eau est sollicitée pour les canons à neige. En 2002, on est passé très près de la pénurie dans les Hautes-Alpes. Il a fallu l'intervention de l'armée pour ravitailler des villages du Champsaur. En 2001, une commune de la Haute-Savoie avait vu la dégradation de la qualité de ses eaux, à la suite de quoi les prélevements pour enneigement avaient dû être stoppés. Idem dans les Hautes-Pyrénées, où un village de la vallée de Luz a dû être ravitaillé en bouteilles d'eau en 2004. A Chamrousse, un projet de retenue collinaire a été bloqué : il aurait privé d'eau les communes de piémont. Même les "grandes" ne sont pas à l'abri : Megève et le Grand-Bornand ont manqué d'eau en 2005...

## Techniquement, tout est possible...

La Belgique s'y met aussi ! Dans les Ardennes, la piste de Wanne est équipée depuis l'hiver 2004 de canons à neige fixes. Mais ça ne suffit pas : il est prévu de réfrigérer une zone de 7 ha grâce à 170 km de tuyauterie

enfouie contenant 85 000 L de liquide cryogénique. Plus fort encore : un complexe de 3 pistes sous une cloche de verre va ouvrir pour Noël 2005 à... Dubaï, en plein désert !

## ... du moins, tant qu'il ne fait pas trop chaud !

Car, à moins d'en arriver aux extrémités de Dubaï, quelle que soit la température à laquelle on arrive à la produire, la neige fond à 0°C. Durant la saison 2000-2001, les canons à neige de Gresse-en-Vercors n'ont pu fonctionner : il faisait trop chaud. Pire, la station du Mas de la Barque, en Lozère, s'était équipée pour plus d'un million d'Euros d'une retenue artificielle et de canons... qui n'ont jamais fonctionnés. La station va bientôt être totalement démontée...

## Halte au feu !

Premières prises de conscience : en 2002, dans son discours inaugurant l'Année Internationale des Montagnes, le Ministre de l'Environnement insistait sur l'importance de l'opération "Installations obsolètes" de Mountain Wilderness, en ces périodes de réchauffement climatique. Changement climatique dû à l'homme, cycle normal, la faute à El Nino ? La question n'est plus là ! Cette prise de conscience, le Conseil général de l'Isère essaye de la traduire dans les faits en diversifiant l'offre des petites stations du département ; le comité de Massif des Alpes lance une réflexion sur le devenir des stations moyennes, n'excluant pas la fermeture de certains sites de ski alpin.

En attendant, des sites qui auront besoin de neige artificielle continuent à s'équiper de pistes et remontées mécaniques. De futures installations obsolètes ?..



# LA NEIGE ARTIFICIELLE EN QUELQUES FAITS

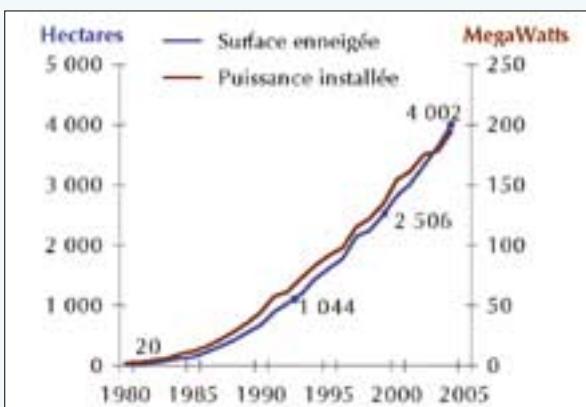


LE CANON À NEIGE, COMMENT ÇA MARCHE, COMBIEN ÇA COÛTE ? COMBIEN D'HECTARES ENNEIGÉS ?  
QUELLE EST LA PROGRESSION DES ÉQUIPEMENTS ? ET LES ADDITIFS ?  
LES RÉPONSES EN QUELQUES LIGNES ET TABLEAUX...

En quelques années, ce qui n'aurait dû rester qu'une solution d'appoint est devenue une véritable industrie ! S'il est difficile de connaître le nombre exact de canons à neige composant le parc français, certaines données sont bien mieux connues. Et sont alarmantes ! Au point que lors de l'assemblée générale du Syndicat national des téléphériques de France (SNTF), le président de la Commission « pistes » a demandé aux exploitants « de ne pas trop communiquer sur la quantité de neige artificielle utilisée »...

## Une croissance exponentielle du parc français

En 2001, sur les 357 stations de ski et 25239 ha de pistes, 175 sites étaient équipés en neige artificielle, soit une surface de 3000 ha. En 2004, on dépassait les 4000 ha, 58 % étant situés dans les Alpes du Nord, 23 % dans les Alpes du Sud et 13 dans les Pyrénées. Cette progression se lit directement sur les courbes de puissance installée et d'hectares enneigés.



Certains sites se distinguent : Méribel avec plus de 600 canons, l'Alpe d'Huez avec plus de 770... Tignes et Val d'Isère se signalent par l'altitude : glaciers de Tignes et du Pissaillas sont désormais équipés, pour pérenniser... le ski d'été !

## Des investissements toujours plus lourds

En 2001, 37 millions d'Euros ont été consacrés à la neige artificielle en France. En 2003, sur les 324 millions d'Euros hors taxes investis sur les domaines skiables, 58 millions l'ont été pour la neige artificielle.

le (dont 6 pour les retenues collinaires), et 25 pour les aménagements des pistes y afférents. En 2004, sur un total de 348 millions d'Euros d'investissement, 60 concernait directement la neige artificielle (dont 12 millions pour les retenues collinaires) et 24 les pistes.

## Que d'eau, que d'eau !

En moyenne, l'enneigement artificiel nécessite 4 000 m<sup>3</sup> d'eau à l'hectare, ratio très supérieur à celui de l'irrigation du maïs —une des cultures les plus exigeantes en eau, avec 1 700 m<sup>3</sup>/ha. En France, 10 millions de m<sup>3</sup> d'eau ont été consommés en 1999/2000 pour fabriquer de la neige artificielle, soit l'équivalent de la consommation annuelle d'une ville de 170 mille habitants (la taille de Grenoble !). Près d'un quart provenait directement du réseau d'eau potable. Durant l'hiver 2003-2004, 12 millions de m<sup>3</sup>, en 2004-2005, 13 millions... 55 % de l'eau provient des réserves collinaires, 30 % des cours d'eau, et 15 du réseau d'eau potable.

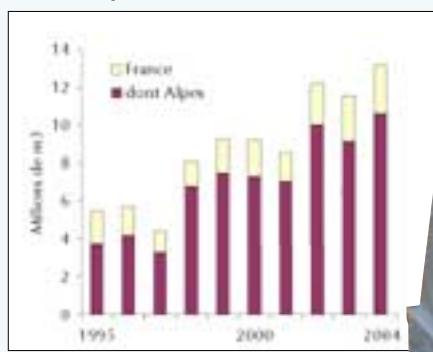
Sur l'ensemble de l'Arc alpin, c'est 95 millions de m<sup>3</sup> par an qui sont utilisés pour produire de la neige : la consommation annuelle d'une ville de 1,5 millions d'habitants.

1 m<sup>3</sup> d'eau fournit de 2 à 2,5 m<sup>3</sup> de neige artificielle. Les pertes sont évaluées entre 10 et 30 %, par évaporation et suintement, en fonction des conditions météorologiques. Et rappelons que ces prélèvements d'eau ne s'étendent que sur quelques mois de l'année...

## La consommation énergétique

C'est la part la plus importante du budget de fabrication de la neige artificielle : 50 % du coût total. 25 000 kWh sont utilisés chaque année par hectare de piste. Certains types de canons à neige permettent de limiter la consommation énergétique, mais leur impact paysager est plus important (canons fixes), et l'on constate dans le même temps l'augmentation de leur densité et de leur période d'utilisation. Cette demande énergétique intervient à un moment où la demande est déjà forte, et concurrence la production électrique en utilisant les rares eaux disponibles l'hiver !

Données : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Service d'étude et d'aménagement touristique de la Montagne et SNTF



Une industrie de plus en plus gourmande en eau

### Des nuisances sonores à prendre en compte

Les nuisances sonores engendrées par la fabrication de la neige artificielle ne sont pas négligeables. Elles concernent les canons à neige eux-mêmes, mais aussi les ventilateurs de la tour de refroidissement et la salle des machines. Il faut compter de 76 à 96 dB pour un canon haute pression et de 60 à 70 dB pour un canon basse pression. Les canons fonctionnant fréquemment la nuit, les nuisances qu'ils occasionnent concernent aussi bien les résidents « au pied des pistes » que la faune sauvage.

### Un impact paysager toujours plus lourd

Outre les canons alignés le long de pistes terrassées comme des autoroutes et les usines à neiges installées à flanc de montagne, il faut compter avec l'énorme impact des retenues collinaires. Il y en a plus d'un millier en France, certaines dépassant les 5 ha. On compte ainsi des retenues collinaires de 90 000 m<sup>3</sup> à Val-Thorens, de 100 000 aux Ménuires, 110 000 m<sup>3</sup> à Villards de Lans (incongrue dans ce Vercors karstique !) et 300 000 m<sup>3</sup> aux Arcs...

### LA REGLEMENTATION

En France, il n'y a pas de réglementation spécifique aux installations d'enneigement artificiel. Les textes qui doivent être appliqués sont ceux relatifs aux aménagements induits par l'installation d'enneigement : construction de l'usine à neige, prélèvements d'eau dans le milieu naturel, utilisation de compresseurs d'air, extension du domaine skiable...

L'exploitation de compresseurs d'air de forte puissance électrique impose ainsi d'obtenir une autorisation préfectorale relevant de la Loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection

de l'environnement. Les prélèvements d'eau dans le milieu naturel sont également sujets à autorisation préfectorale après enquête publique (Article 10 de la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992).

S'appliquent également la loi sur les études d'impact si l'installation dépasse un certain seuil et les règles d'urbanisme (permis de construire, installations et travaux divers...).

Cette réglementation n'est cependant pas bien respectée ; les instances en charge du contrôle rencontrent des difficultés à assurer le contrôle par manque de personnel.

### COMMENT ÇA MARCHE

#### L'utilisation d'un phénomène physique

Un canon à neige fonctionne en appliquant les effets du phénomène thermodynamique de la détente adiabatique sur de l'eau vaporisée. Lorsque l'air s'échappe par des buses de très petit diamètre, tout en aspirant et pulvérisant l'eau comme dans un vaporisateur, il subit un fort refroidissement qui amène sa température bien en dessous de 0°C. Les gouttelettes portées par ce jet d'air glacé se transforment instantanément en petits cristaux de glace si la température ambiante est suffisamment basse. Les canons peuvent être installés à demeure ou être mobiles.

Dans le premier cas, l'impact paysager est énorme, mais les consommations d'eau et d'énergie sont plus faibles.

#### De la neige quelle que soit la température !

L'utilisation d'additifs — cristaux d'argent, silice, Snomax — permet de produire de la neige à des températures de plus en plus élevées. Le Snomax a été développé aux États-Unis dans les années 80 ; en France, 15 % des stations l'utilisent ; il est interdit ou réglementé dans plusieurs pays. Le principe actif du Snomax est une protéine bactérienne qui facilite la cristallisation des gouttes en flocons à une température de 2 à 3 degrés supérieure à la neige naturelle. Une étude, commanditée par la société commercialisant le Snomax, conclut à l'innocuité de ce produit sur le milieu naturel, mais note qu'il constitue un milieu de culture favorable aux germes pathogènes : la bonne qualité des eaux utilisées est primordiale. Un encouragement à l'utilisation d'eau potable ?

Le procédé Snowline permet même de fabriquer de la neige par des températures pouvant atteindre 30°C, en utilisant une chambre froide. On a pu ainsi enneiger une petite station de Lozère, ou encore les rues de Nantes...



MOUNTAIN WILDERNESS EST NÉE À L'INITIATIVE DES PLUS GRANDS NOMS DE L'ALPINISME MONDIAL. 22 PERSONNALITÉS DU MONDE DE LA MONTAGNE, DE LA CULTURE ET DES SCIENCES, EN SONT LES GARANTS INTERNATIONAUX.

mountain wilderness

AGIT EN FAVEUR DE LA PRÉSÉRATION  
DES ESPACES DE MONTAGNE MENACÉS

ALERTE L'OPINION SUR LES PROBLÈMES  
LIÉS À LA GESTION DE LA MONTAGNE

PROPOSE DES ALTERNATIVES DOUCES À  
LA MARCHANDISATION DE LA MONTAGNE

ETUDES DOCUMENTAIRES, PUBLICATIONS THÉMATIQUES, GUIDES PRATIQUES, EXPERTISES TECHNIQUES, CONSEIL AUPRÈS DES COLLECTIVITÉS, ORGANISATION DE RENCONTRES ET COLLOQUES, MANIFESTATIONS ET DÉBATS AVEC LES MÉDIAS ET LES ÉLUS



MOUNTAIN WILDERNESS FRANCE

5, PL. BIR-HAKEIM - 38000 GRENOBLE - TÉL. 04 76 01 89 08 - FAX. 04 76 01 89 07  
[www.france.mountainwilderness.org](http://www.france.mountainwilderness.org)  
MEL : [france@mountainwilderness.org](mailto:france@mountainwilderness.org)

ASSOCIATION LOI 1901 RECONNUE AU TITRE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Maquette : Souris verte - 04 76 49 54 81 - Mise en page : Mountain Wilderness - Imp. : Imprimerie des deux Ponts - Photos : A. van Limburg V. Nelink A. Paris

DOCUMENT RÉALISÉ  
AVEC LE SOUTIEN DE :



Région  
RhôneAlpes



ISBN : 2-9519510-3-5

© MOUNTAIN WILDERNESS

DÉPÔT LÉGAL : DÉCEMBRE 2005