



Evolution du climat en montagne, de l'observation à l'incertitude. Application à la neige de culture

Résumé

Cette note synthétise le travail présenté lors de l'intervention publique du 18 novembre 2011 à Albertville pour la journée du Centre d'Etude de Recherche sur la Neige et les Avalanches, sur le thème « Gestion de l'incertitude dans la production de neige et le risque d'avalanche ».

Contexte :

La production de la neige de culture s'effectue dans des conditions de froid bien définies qui peuvent évoluer dans le cadre du changement climatique. Cette incertitude sur les potentialités thermiques est aujourd'hui au cœur des questionnements, d'autant plus que les conditions de l'hiver 2010/2011 ont montré la dépendance des domaines skiables à la neige de culture.

Incertitudes et méthode :

Il s'avère toujours extrêmement complexe de tenter de déterminer les impacts d'un changement climatique, qui se conçoit sur des décennies et s'observe à travers des grandes moyennes, à une activité économique et technologique qui se doit de gérer une production sur de très courtes échelles de temps. La complexité se situe à la fois sur le problème d'échelle entre le changement de climat et l'aléa météorologique, ainsi que sur les techniques de fabrication de neige qui peuvent compenser et s'adapter à l'imprévu. De plus, les modèles climatiques n'offrent pas de réponse sur le court terme. L'un des seuls moyens de répondre à cette incertitude est d'analyser les données passées et de les extrapoler en termes de probabilité.

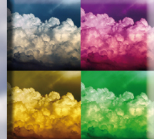
La méthodologie est donc basée dans un premier temps sur l'analyse des tendances climatiques observées dans le passé pour mieux cerner les possibilités de rencontrer des hivers froids ou doux, fortement ou faiblement enneigés, dans le futur proche (à l'échelle de la décennie). Les difficultés rencontrées par le passé dans la production de neige de culture servent de référence : le risque existe d'une succession d'hivers très doux qui grèverait fortement l'activité économique. Il faut donc s'adapter, mais quelles sont les marges de manœuvre ?

Les données :

Le travail doctoral de Christophe Chaix sur l'évolution des plages de froid répond en partie à la question : en fonction de l'altitude, du début ou de la fin de saison, il est possible grâce à l'analyse des données météorologiques mesurées sur les domaines skiables d'établir des graphes de probabilité du nombre suffisant d'heure de froid pour enneiger, ainsi que de simuler l'évolution de ces plages avec un réchauffement global.

Conclusion :

Les analyses montrent que la situation est assez tendue sur le court terme pour les basses altitudes, en-dessous de 1500m, mais qu'il reste encore de grandes possibilités au-dessus de 2000m et ce sur le long terme. Toutefois, la gestion de l'enneigement artificiel s'avère ici le principal levier d'adaptation : il existera à court et moyen terme toujours des plages de froid suffisantes entre 1500m et 2000m, l'objectif étant de ne surtout pas les rater !



Introduction

Dans les Alpes, les températures ont connu une augmentation pouvant aller jusqu'à 2°C entre le début du 20ème siècle et la fin de la première décennie du 21^{ème} siècle. Le réchauffement, depuis le milieu des années 1980, bien qu'en phase avec le réchauffement planétaire, est à peu près trois fois plus sensible que la moyenne mondiale, et deux fois plus que pour l'hémisphère nord. Les records s'accumulent : 1989, 1994, 2003, 2006, 2009, 2011 sont les années les plus chaudes jamais mesurées. Cette dernière décennie a ainsi battu tous les records. Cette évolution hors du commun se retrouve dans toutes les séries de mesures climatiques, nous avons donc ici une grande certitude sur nos observations. Mais quid de demain, et surtout à court terme ?

Paradoxalement, les modèles climatiques ne peuvent offrir pour l'instant qu'une vision à long terme : la variabilité naturelle des phénomènes climatiques, entre autres, rendent difficile les prédictions de court terme (interactions océan-atmosphère, oscillations nord-atlantique, activité solaire, volcanisme...).

Comment, dans ce cas, gérer cette incertitude de court terme dans les activités économiques liées au tourisme de montagne comme la production de neige de culture ?

Observation de l'évolution climatique

Observons tout d'abord l'évolution du climat en montagne depuis 1950, date à laquelle nous disposons de données fiables. Grâce au travail de Météo-France, plusieurs séries climatiques sont disponibles. Nous nous concentrerons sur celles de la Savoie. Cela ne pose pas réellement de problème de représentativité puisque le réchauffement étant une tendance de fond, on retrouve le même signal sur l'ensemble des Alpes, malgré les particularités locales et la diversité des situations en zone de montagne.

On peut dire qu'à l'heure actuelle, fin 2011, la température est montée de +1.5°C depuis 1950 en plaine et jusqu'à 2°C en montagne, la moyenne se situant vers +1.8°C. On peut aussi décomposer ces 60 dernières années en deux périodes climatiques de 30 ans, et dans ce cas on observe une élévation de +1°C entre ces deux périodes. La quasi-totalité de ce réchauffement s'est produit dans les années 80, vers 1985 exactement : on observe sur la figure 1 ce passage entre les deux paliers (on n'a pas eu d'évolution linéaire). Cette dynamique assez particulière n'est pas encore bien comprise par les chercheurs, mais elle n'est pas illogique quand on connaît la complexité du système climatique et l'influence de multiples facteurs.

Quant à l'année 2011, elle s'apprête à devenir l'année la plus chaude jamais enregistrée en montagne...

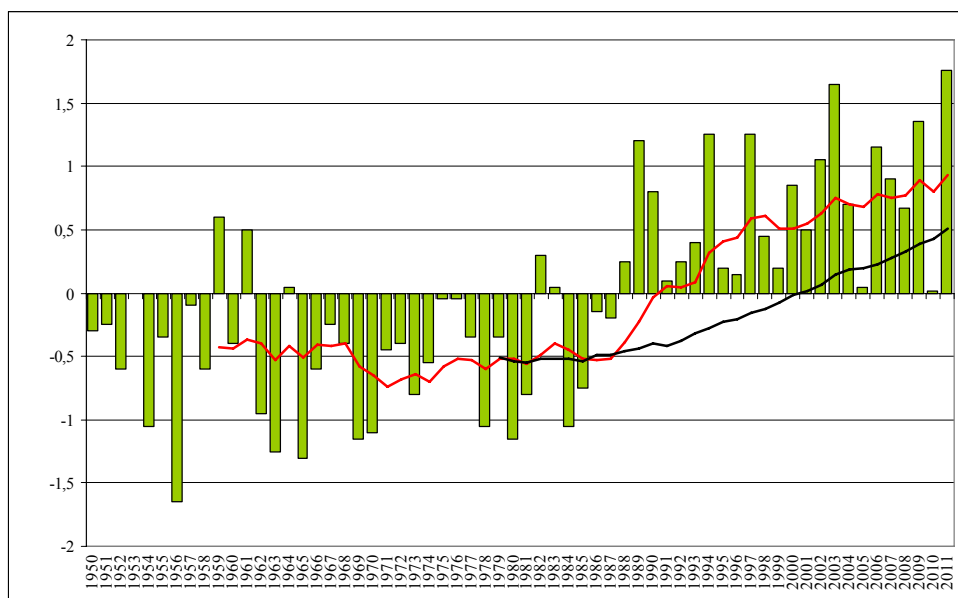


Fig.1 : Ecart de la température moyenne annuelle à Bourg-Saint-Maurice de 1950 à 2011 par rapport à la normale 1971/2000.

Données Météo-France, Université de Savoie, C.Chaix
Courbe noire : moyenne glissante sur 30 ans (normale climatique) ; Courbe rouge : moyenne glissante sur 10 ans.



Si on décompose cette évolution annuelle en évolution saisonnière, que voit-on ? Un réchauffement important des étés et des hivers depuis 1950 (+2°C), mais surtout des printemps depuis 1980 (+2.5°C). L'automne c'est aussi fortement réchauffé ces dernières années mais dans une moindre mesure sur le long terme. A l'heure actuelle, ce sont surtout les printemps qui inquiètent : fortes chaleurs, sécheresses... Quant aux hivers, ils furent un peu plus chauds dans les années 90 que dans les années 2000, mais cette dernière décennie a connu une forte variabilité avec des hivers très chauds et assez froids. Toutefois, les derniers hivers les plus froids n'auraient été que des hivers moyens pendant les années 1960/1980...

Au niveau des précipitations, c'est plus flou. Tout d'abord, les tendances annuelles sur l'ensemble des Alpes ne sont pas uniformes comme les températures. Plutôt augmentation au nord des Alpes, diminution au sud, elles stagnent aussi sur une bonne partie du massif et aussi en Savoie. La déclinaison saisonnière montre une légère hausse au printemps, une légère baisse en été et en hiver (dont une forte baisse hivernale en Haute-Maurienne). Depuis 2003 la Savoie connaît une sécheresse assez importante qui se prolonge à l'heure actuelle, et qui pourrait se manifester par une encore plus forte baisse des précipitations hivernales : des hivers comme celui de 2010/2011 pourraient être de plus en plus récurrent, impactant ainsi la quantité de neige à toutes les altitudes. Mais attention, cela reste une perspective de court terme liée à ce phénomène de sécheresse très particulier.

La Savoie dispose grâce à Météo-France d'un nombre intéressant de postes de mesure de l'enneigement, à différentes altitudes, mais jamais au-dessus de 1500m. Rappelons que pour avoir une tendance climatique nous avons besoin de longues séries de données d'au moins 60 ans, les données des stations météo installées récemment en altitude ne répondent pas à cette contrainte.

Le constat est simple : depuis 1959, les cumuls de neige ont diminué de 30% (environ 10% de marge d'erreur) entre 1000 et 1500m, ce qui correspond peu ou prou à 1 m de neige cumulé. L'explication de cette baisse n'est pas liée à une modification des précipitations solides mais bien au réchauffement : celui-ci provoque une remontée de la limite pluie-neige, ce qui touche d'abord les basses altitudes. D'ailleurs, les courbes d'enneigement et de précipitation sont bien corrélées. On voit quand même sur la figure 2 que la baisse de l'enneigement intervient dans les années 80, soit lors de la forte montée des températures.

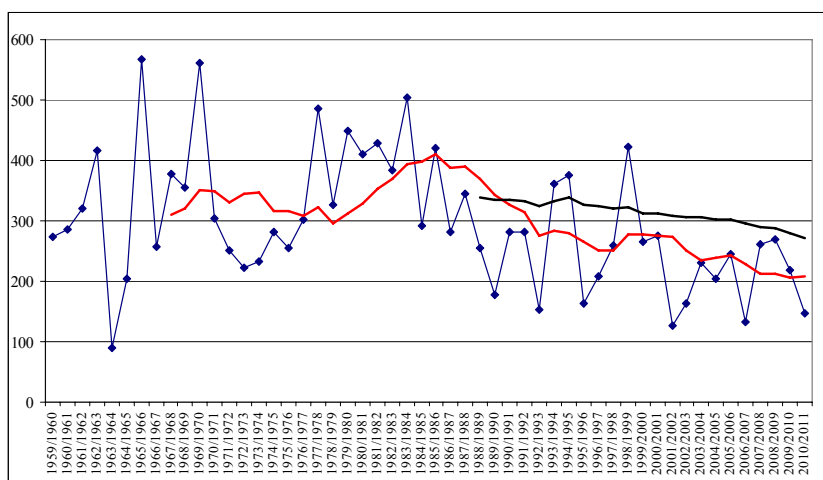


Fig.2 : Cumuls de neige annuels à Peisey-Nancroix (1350m) de 1959 à 2011.

Données Météo-France, Université de Savoie, C.Chaix
Courbe noire : moyenne glissante sur 30 ans (normale climatique)
Courbe rouge : moyenne glissante sur 10 ans.



Découpons maintenant notre saison hivernale en trois parties : l'avant-saison (nov-déc), la pleine saison (janv-fev) et l'arrière-saison (mars-avril). Qu'observe-t-on ?

L'avant-saison est celle qui se réchauffe le moins depuis la brusque montée des températures des années 80. On reste toutefois sur des situations tendues pour le mois de novembre, contrairement à décembre où le froid persiste toujours. Finalement l'enneigement naturel évolue peu depuis 1959. Mais avec les décalages saisonniers que l'on connaît depuis quelques années la situation de 2011 de sécheresse et de douceur en altitude pourrait parfaitement se reproduire dans l'avenir.

La pleine saison n'a pas connu non plus d'évolution marquée depuis les années 80. C'est même elle qui porte le léger refroidissement des hivers de la décennie 2000/2009 par rapport à la décennie 1990/1999. Mais les données sur l'enneigement naturel sont plus inquiétantes : depuis 2000, les cumuls restent chaque année parmi les plus faibles depuis 1959, frôlant souvent les minimas (fig. 3).

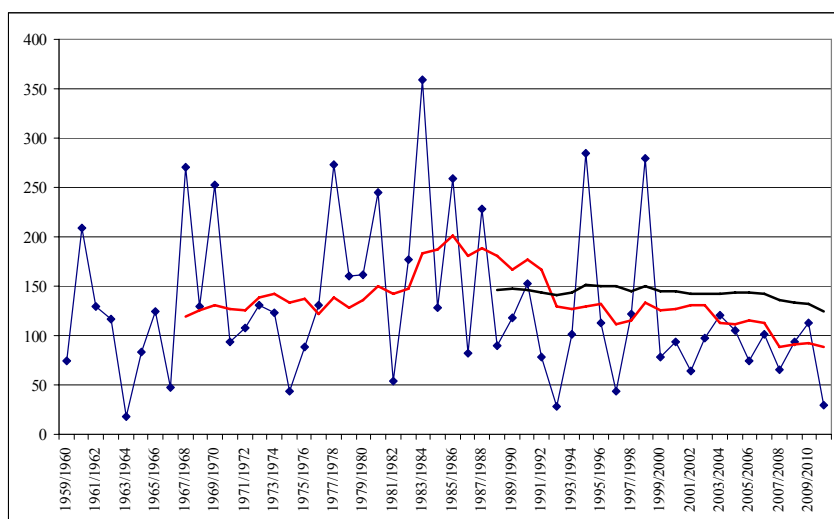


Fig.3 : Cumuls de neige de la pleine saison (janv-fev) à Peisey-Nancroix (1350m) de 1959 à 2011.

Données Météo-France, Université de Savoie, C.Chaix
Courbe noire : moyenne glissante sur 30 ans (normale climatique)
Courbe rouge : moyenne glissante sur 10 ans.

Enfin l'arrière-saison, en accord avec les tendances sur le printemps, est la période hivernale qui s'est le plus réchauffée, de $+1.5^{\circ}\text{C}$ exactement depuis les années 80. On constate d'ailleurs de véritables changements de types de temps à partir du 15 mars en montagne à l'heure actuelle. De plus, il n'est pas rare qu'aucune température ne descende en dessous des -5°C vers 1500m lors du mois de mars (1, C.Chaix).

La conséquence sur les cumuls de neige est directe : une baisse importante entre les années 80 et 90, avec malgré tout une stabilisation des cumuls moyens autour d'une forte variabilité interannuelle depuis 10 ans (fig.4). Mais en 2011, nous avons connu un triste record : pas un cm de neige en mars et en avril, ce qui n'était jamais arrivé depuis le début des mesures.

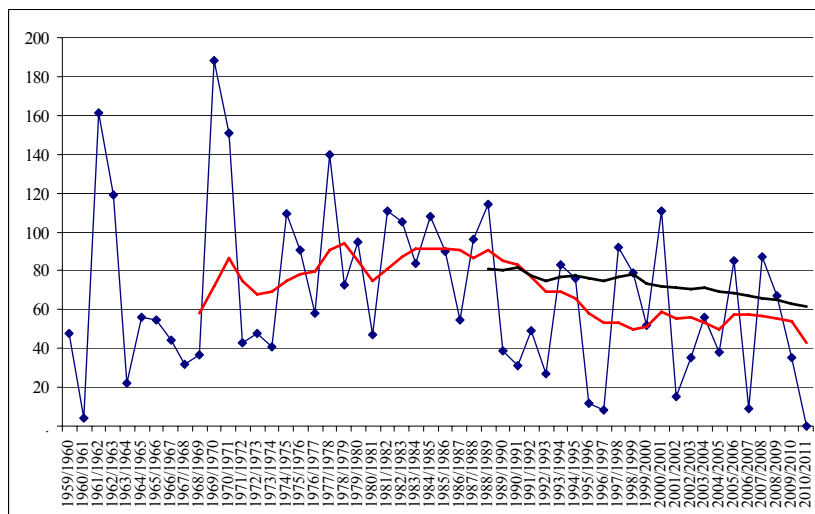


Fig.3 : Cumuls de neige de l'arrière-saison (mars-avril) à Peisey-Nancroix (1350m) de 1959 à 2011.

Données Météo-France, Université de Savoie, C. Chaix
 Courbe noire : moyenne glissante sur 30 ans (normale climatique)
 Courbe rouge : moyenne glissante sur 10 ans.

Pour conclure cette analyse des conséquences du changement climatique sur l'enneigement, regardons les séries de données de certaines stations de ski sur des mesures de hauteur du manteau neigeux, vers 2000m et parfois jusqu'à 3000m, et ce depuis 30 ans. Ces mesures mettent en évidence, en dehors d'une très forte variabilité interannuelle surtout en haute altitude, une baisse assez significative des hauteurs de neige vers 2000m (mais peu significative vers 3000m). Par contre l'hiver dernier, les records de hauteur minimale ont été largement battus à toutes les altitudes, en rapport avec l'absence de précipitation. Ainsi, même les stations dont les domaines s'étendent en altitude ne sont pas à l'abri si ce genre de cas se répétait sur le long terme. La sécheresse est un phénomène aux conséquences multiples.

L'incertitude sur l'avenir proche.

Les observations que nous venons d'analyser sont sans appel sur l'évolution climatique et ses impacts actuels, mais la recherche actuelle ne permet pas d'établir de prédiction statistique ou physique sur les évolutions de court terme (10 à 20 ans). Ceci est inhérent aux modèles climatiques, comme expliqué en introduction (variabilité naturelle). Comment se faire alors une idée sur la qualité des hivers à venir en termes de température et d'enneigement naturel ? Le seul moyen est de se baser sur la passé proche. Celui-ci nous indique certaines tendances qui pourraient continuer à l'échelle décennale, comme l'augmentation de la variabilité interannuelle : les hivers seront de plus en plus différents d'une année sur l'autre. Toutefois, on observe aussi en fonction de la dynamique de certains paramètres cosmiques (soleil) ou terrestres (El Nino, El Nina), la présence d'hivers analogues qui s'enchaînent : les hivers chauds du début des années 90, les hivers froids de ces dernières années.

Il convient de remarquer que l'hiver 2009/2010 aurait du être suivant la connaissance que l'on a des paramètres climatiques l'un des hivers les plus froids depuis 150 ans (soleil en berne, phase El Nina, oscillation nord-atlantique hyper-négative). Or il a été dans les normes. On bat régulièrement des records de chaleurs, mais pas de froid. On peut voir 40cm de neige tomber à Chambéry un 01 décembre alors que la montagne reste peu enneigée le reste de l'hiver. En 2011, il a autant neigé le 01 juin en montagne que sur la période janvier/avril...



Face à ces incertitudes, la prudence s'impose... Mais il existe une situation qui pourrait vraiment générer du risque pour les stations de ski : la succession d'hiver doux et sans neige. Les conséquences à tous les niveaux seraient passablement catastrophiques.

Pour le futur plus lointain, on peut consulter les résultats du projet Scampeï, en ligne <http://www.cnr.meteo.fr/scampeï/index.php>

Les premières analyses montrent que la neige naturelle sera de moins en moins présente au début et à la fin de l'hiver (-15% par degré de réchauffement) et ce dès 2030.

Et pour l'enneigement artificiel ? Rappelons que le rôle des enneigeurs est surtout de s'assurer face à l'aléa climatique, et c'est bien ce vers quoi nous tendons dans l'avenir proche. Ils ne peuvent rien face à une forte montée des températures qui priverait les canons de fenêtres de froid...

Impact sur la neige de culture

Il s'avère toujours extrêmement complexe de tenter de déterminer les impacts d'un changement climatique, qui se conçoit sur des décennies et s'observe à travers des grandes moyennes, à une activité économique et technologique qui se doit de gérer une production sur de très courtes échelles de temps. La complexité se situe à la fois sur le problème d'échelle entre le changement de climat et l'aléa météorologique, ainsi que sur les techniques de fabrication de neige qui peuvent compenser et s'adapter à l'imprévu. D'une certaine manière, fabriquer un manteau neigeux de qualité revient à produire un bon vin : cela dépend de plusieurs paramètres, ainsi que de l'enchaînement des épisodes météo durant la saison.

De plus, comme nous l'avons expliqué, les modèles climatiques n'offrent pas de réponse sur le court terme. L'un des seuls moyens de répondre à cette incertitude est d'analyser les données passées et de les extrapoler en termes de prospective et de probabilité sur le court terme.

Pour revenir à nos enneigeurs, trois « campagnes » d'enneigement artificiel sont menées chaque saison : en novembre, vers Noël, et avant les vacances de février. Il faut environ 100h de froid pour chacune de ses campagnes afin de reproduire un manteau neigeux acceptable, les températures devant être inférieures approximativement à -3°C.

La question est alors : avec le réchauffement des températures, les fenêtres de froid indispensables à la fabrication de neige de culture seront-elles encore suffisamment larges dans l'avenir ?

Lors d'une étude doctorale (1), des données de température issues de l'automatisation des installations d'enneigement artificiel avaient été analysées pour tenter de répondre à cette problématique. Ces températures ont été mesurées à différentes altitudes, aux Menuires, à Val Thorens, à Aussois et à Valloire, puis moyennées sur la période 1995/2005 pour les mois de décembre à mars.

A titre d'exemple, pour Aussois (fig.4), les résultats montrent que pour la période 1998/2005 environ 3 mois de décembre sur 10 n'obtiennent pas 100 heures inférieures à -3°C à 1500m. La production est donc déjà vulnérable pour cette altitude (mais pas compromise : il est toujours possible de rattraper le retard causé par une période douce). Par contre, vers 2000m, les critères sont toujours remplis.

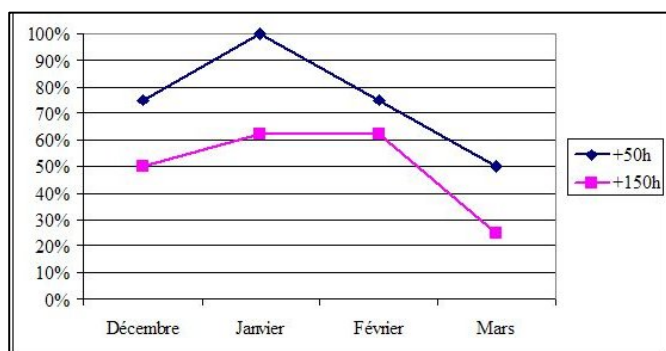


Fig.4 : Probabilités mensuelles d'avoir 50h ou 150h de températures inférieures à -3°C à Aussois, versant sud, 1550m, sur 8 saisons de mesures (1998/2005)

Données Johnson Controls Industries, analyse C.Chaix

Pour simuler un réchauffement du climat, nous avons modifié le seuil et recherché le nombre d'heures pendant lesquelles la température est inférieure à -5°C (soit $+2^{\circ}\text{C}$, horizon 2030/2060). Dans ce cas là, la probabilité d'avoir le nombre d'heure de froid suffisant devient de suite moins important. Les résultats ont été synthétisés sur la fig.5.

Comme on peut le constater, il existera seulement une chance sur deux (50%) d'avoir 100h en décembre à 1500m, mais 80% à 2000m et 100% au-dessus de 2350m. Les probabilités sont évidemment plus fortes pour les mois de janvier et février. Nous n'avons pas de données pour novembre, mais on peut prendre les valeurs du mois de mars.

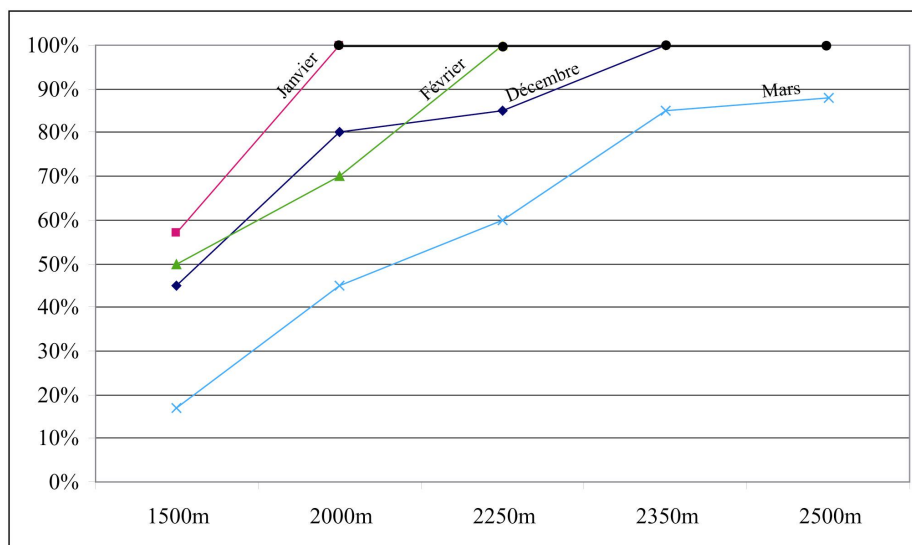


Fig.5 : Probabilités moyennes mensuelles d'avoir au moins 100h de températures inférieures à -5°C par rapport à l'altitude (Stations des Menuires, Val Thorens, Aussois, Valloire).

Données Johnson Controls Industries, analyse C.Chaix

Evidemment, cette étude « toute chose égale par ailleurs », ne prend pas en compte les innovations technologiques possibles, ni l'amélioration des techniques de damage, d'entretien des pistes, etc., mais elle permet de mieux comprendre comment peut évoluer la vulnérabilité « neige » au sein des stations de ski.



En conclusion, la situation sera de plus en plus tendue à 1500m pour la première campagne d'enneigement en novembre/décembre (potentiel thermique un hiver sur deux voir moins, sur le court terme comme le long terme). La probabilité d'extension de ce risque vers 1800m pour +1°C (2030) et 2000m pour +2°C (2050) est forte. Par contre, il reste difficile de se projeter sur la 2^e campagne d'enneigement de fin décembre (on est déjà au cœur de l'hiver), mais il est possible que la variabilité interannuelle s'accroisse.

Quelques recommandations pour les nivoculteurs :

Tout d'abord, se sensibiliser à la climatologie locale des sites d'enneigement, bien étudier les particularités (relief, forêts, etc.) pour reconnaître des lieux sensibles ou protégés (versant bien exposé au sud sensible, inversion de température courante dans une cuvette protégée, ...), afin de réagir au mieux et au plus vite lorsque les conditions météo deviennent favorables, c'est-à-dire lors de passages des fonds froids et les fins de nuits de la période anticyclonique qui les suit. Des collaborations avec les prévisionnistes de Météo-France peuvent être envisagées afin de ne surtout pas rater ces fenêtres de froid.

Car en définitive, malgré la dégradation des conditions climatiques favorables à la production de neige de culture, il existera toujours des périodes de froid avec un réchauffement modéré et donc des possibilités d'enneiger : une gestion adaptée des installations d'enneigement face à ce risque reste la meilleure réponse de court terme.

Christophe Chaix

Mission Développement Prospective

Christophe.chaix@mdp73.net

(1)<http://www.edilivre.com/climatologie-hivernale-des-versants-alpins-savoie-types-de-temps-temperatures-et-vents.html>