

## **La station de sky du Sappey-en-Chartreuse : comment est-elle gérée et comment prendre en compte le changement climatique**

### **Le Sappey-en-Chartreuse ski resort: how it is managed and how to take into account climate change ?**

Hubert Gallée<sup>1</sup>, Antoine Kévorkian<sup>2</sup>, Thierry Grenet<sup>3</sup>, and Pascale Huyghe<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Grenoble 1 / CNRS, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, France.

<sup>2</sup>Le Sappey-en-Chartreuse, France.

<sup>3</sup>Institut Néel, CNRS, Grenoble, France.

<sup>4</sup>Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

**RESUME :** La station de ski du Sappey-en-Chartreuse est située dans le massif de la Chartreuse, dans les Alpes françaises. Son domaine se situe entre 1000 et 1300 m d'altitude ( <http://www.chartreuse-tourisme.com/fr/neige-glisse-ski-alpin-sappey-chartreuse.aspx> ). Le conseil communal est en charge de la station et a récemment du prendre une décision d'effectuer la maintenance multi – décennale coûteuse, ou de fermer la station. Pour ce faire il a demandé un avis à propos de l'influence du réchauffement global sur l'enneigement de la station au cours de la prochaine décennie. Notre étude a montré une corrélation significative entre la température de l'air et le nombre de jours d'ouverture à la station durant les saisons 1996 - 2008. De plus ces températures étaient elle-mêmes bien corrélées avec l'index de l'oscillation arctique durant la période de référence, alors que le réchauffement global jouait un rôle relativement moins important. Le résultat principal, basé sur plusieurs scénarios de projection climatique, est que la station pouvait rester ouverte et que la maintenance pouvait être effectuée, pour autant que pouvaient être mises en place une gestion financière rigoureuse, une politique d'ouverture et une prévision saisonnière de l'enneigement.

**MOTS-CLEF :** Station de ski, Alpes françaises, Enneigement

**ABSTRACT:** The Sappey-en-Chartreuse is situated in the Chartreuse mountains, in the French Alps. The low elevation ski resort spans a range of 1000 to 1300 m a.s.l in altitude (see <http://www.chartreuse-tourisme.com/fr/neige-glisse-ski-alpin-sappey-chartreuse.aspx> ). The village council, in charge of the ski resort, recently faced a costly multi-decadal maintenance milestone entailing a possible closure of the resort. The council requested guidance regarding the possible influence of global warming on snow cover and snow pack thickness expectations for the coming decade. Our detailed study showed the number of opening days of the seasons 1996 – 2008 to be significantly correlated with average winter air temperatures. Moreover these temperatures were themselves well correlated with the so called Arctic Oscillation (AO) index over the period of reference. We also noted that the impact of global warming has been up to now significantly less important than that of recent climate variability. In this paper the management of the station in general will also be discussed. The main result of our investigations was that, based on several projection scenarios, the resort could remain open and the special maintenance program carried out, provided that a combination of careful financial management, opening policy and in season snow forecast be put in place.

**KEYWORDS:** Ski resort. French Alps. Snow Cover.

#### 1 INTRODUCTION

La station de ski du Sappey est située dans le massif de la Chartreuse, sur le versant Nord-Ouest des Alpes françaises, non loin de la station météorologique du Col de Porte.

Nous résumons ici et prolongeons un rapport réalisé pour l'administration communale en vue de décider de fermer ou non la station de ski (Kévorkian et al., 2009). Plus spécifiquement nous mettons l'accent sur les développements récents dans nos connaissances du climat et du changement climatique récent et en cours. Cette note reprend quelques résultats du rapport et en propose de nouveaux obtenus grâce à l'utilisation d'un modèle climatique à aire limitée (le MAR (Modèle Atmosphérique Régional – Gallée and Schayes, 1994).

---

*Adresse de l'auteur correspondant :* Hubert Gallée,  
UJF – Grenoble 1 / CNRS, Laboratoire de Glaciologie et  
Géophysique de l'Environnement, UMR 5183, Grenoble, F-  
38041, France;  
tel: +33 476 824213; fax: +33 476 824201;  
email: gallee@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

## 2 L'INFLUENCE DOMINANTE DE L'OSCILLATION ARCTIQUE

Nous discutons ici la relation entre le nombre de jours d'ouverture et l'index caractérisant l'intensité de l'oscillation Arctique (OA). Pour ce faire on considère d'abord la relation entre le nombre de jours d'ouverture de la station et la température moyenne hivernale, et ensuite la relation entre la température moyenne hivernale et l'OA.

Sur la figure 1 on représente la relation entre le nombre de jours d'ouverture de la station et la température moyenne hivernale (de décembre à mars). C'est la température moyenne d'hiver qui dicte le nombre de jours d'ouverture de la station du Sappey, En effet les précipitations sont en règle générale toujours suffisantes sur la façade nord-ouest des Alpes durant la période d'hiver pour obtenir un manteau neigeux skiable quand la température est suffisamment basse.

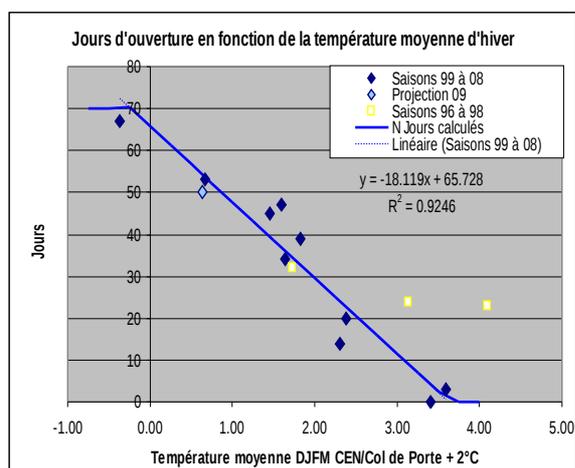


Figure 1 : Jours d'ouverture de la station en fonction de la température du Sappey. Celle-ci est estimée à partir des valeurs données par le Centre d'Étude de la Neige (CEN) de Météo France augmentées de 2°C pour compenser le différentiel d'altitude de la base de la station avec le col de Porte. La droite correspond à l'approximation linéaire des données réelles 99 à 08 représentées par les losanges en bleu sombre. La saison 09 est projetée, avec un losange bleu clair et les saisons plus anciennes 96 à 98 objet d'une politique d'ouverture conduisant à un plus grand nombre de jours sont indiquées en jaune clair.

On considère ensuite sur la figure 2 la relation entre l'OA et la température moyenne hivernale. A nouveau la corrélation est forte. Elle indique clairement le rôle prépondérant de l'OA dans le comportement de la température moyenne hivernale et de ce fait dans celui du nombre de jours d'ouverture de la station de ski du Sappey-en-Chartreuse.

Figure 2 : Courbes de températures d'hiver du Sappey (bleues, M3=moyenne sur trois ans) comparées avec un ajustement linéaire ( $R^2 = 69\%$ ) de l'indice d'Oscillation Arctique (courbe marron) en moyennes de 3 saisons d'hiver consécutives. L'indice utilisé est celui de l'oscillation arctique (OA), un phénomène plus général mais très lié à la NAO, source <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html> (NAM index)

## 3 LE FUTUR DE L'OSCILLATION ARCTIQUE

L'oscillation arctique subit un changement en profondeur depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, probablement suite au couplage entre la troposphère et la couche mélangée océanique dans cette région du monde. Ce couplage est à l'origine d'un changement de circulation atmosphérique dans l'Arctique, favorisant la phase négative de l'OA. L'effet de ce couplage est fort, induisant en été une augmentation du flux d'air chaud sur la calotte glaciaire du Groenland et une augmentation de la température de l'air environ trois fois plus importante que celle qu'on attend suite au réchauffement global (Fettweis et al., 2013). Il en résulte une accentuation inattendue de la fonte à la surface du Groenland. A l'opposé les glaciers de l'archipel du Svalbard voient un recul plus lent que prévu, voire négligeable (Lang, communication personnelle) tandis que les hivers sur les Alpes tendent à rester relativement froids et neigeux. Cependant aucun modèle climatique global n'est capable de simuler ce changement de circulation, ce qui rend difficile une évaluation à moyen terme de la fonte sur la calotte glaciaire et, entre autres, de l'enneigement en moyenne montagne durant les hivers alpins.

## 4 EFFET DU RECHAUFFEMENT GLOBAL

L'effet du réchauffement global sur le devenir des champs de neige alpin a été estimé dans le cadre du projet SCAMPEI financé par l'ANR (Agence Nationale française de la Recherche). Le modèle atmosphérique régional MAR couplé à un modèle de manteau neigeux (Gallée and Schayes, 1994, Gallée et al., 2001) a été forcé à ses frontières latérales par les champs météorologiques générés par le modèle de circulation atmosphérique générale LMDz du Laboratoire de Météorologie Dynamique. LMDz était soumis au scénario A1B du GIEC pour les gaz à effet de serre. Le modèle régional a été utilisé avec une résolution horizontale égale à 20 km et on a ainsi évalué l'évolution du climat moyen global sur trois périodes de temps (1971 – 2000, 2021 – 2050 et 2071 – 2100). Sur la figure 3 on représente pour un point de grille proche du Sappey et ayant une altitude de 1000 m et pour ces 3 périodes le nombre de jours avec un manteau neigeux d'une épaisseur supérieure à 20 cm, et ce en fonction de la température moyenne hivernale. Vu le manque de finesse de la grille et les biais simulés pour le climat présent par le modèle LMDz les résultats présentés ici sont qualitatifs. Notons qu'un manteau neigeux d'une épaisseur égale à 20 cm en bas des pistes permet en principe l'ouverture du domaine skiable.

## 5 DISCUSSION

La gestion d'une station de ski de moyenne montagne comme celle du Sappey-en-Chartrreuse nécessite entre-autres une bonne évaluation du nombre de jours d'enneigement durant la saison hivernale à venir. Cette dernière dépend en grande partie de la prévisibilité de l'oscillation arctique (OA). Ces dernières années ont vu l'OA devenir progressivement plus négative, et ce hiver comme été. Or les modèles de climat ne sont actuellement pas en mesure de reproduire ce changement de circulation. Cependant ce changement se met en place sur une période de temps de plusieurs années, avec des fluctuations d'une année à l'autre, ce qui permet de définir une politique de gestion de la station pour une échelle de temps de l'ordre de la dizaine d'années. Par contre rien n'est assuré quant au devenir de l'index de l'OA sur une période de l'ordre du siècle. Tout au plus peut-on estimer que dans un climat plus chaud la relation entre le nombre de jours d'enneigement et la température va changer, probablement suite à un changement dans le régime des précipitations. En particulier des hivers plus humides dans un climat plus chaud doivent permettre, à température égale, de générer un manteau neigeux plus épais et de ce fait susceptible de se maintenir durant une période plus longue.

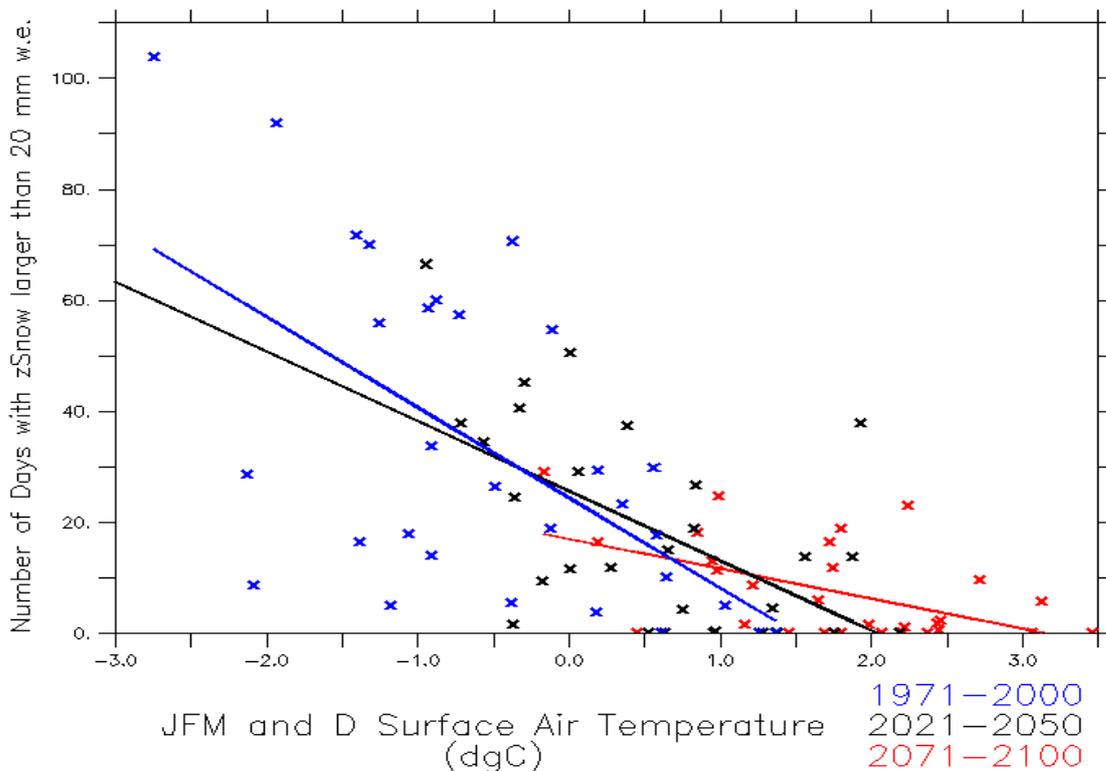


Figure 3. Scénario du nombre de jours avec une épaisseur du manteau neigeux supérieure à 20 cm, en fonction de la température moyenne hivernale (DJFM), pour 3 périodes.

En conclusion il est nécessaire de mieux comprendre les mécanismes responsables des fluctuations de l'OA à des échelles de temps de plusieurs années.

## 6 REFERENCES

- Fettweis, X., Hanna, E., Lang, C., Belleflamme, A., Ericum, M., and Gallée, H.: Brief communication "Important role of the mid-tropospheric atmospheric circulation in the recent surface melt increase over the Greenland ice sheet", *The Cryosphere*, 7, 241-248, doi:10.5194/tc-7-241-2013, 2013.
- Gallée, H., and G. Schayes, 1994. Development of a Three-Dimensional Meso-gamma Primitive Equations Model, Katabatic Winds Simulation in the area of Terra Nova Bay, Antarctica. *Mon Wea Rev* 122: 671 – 685
- Gallée, H., Guyomarc'h, G., and E. Brun, 2001. Impact of Snow Drift on the Antarctic Ice Sheet Surface Mass Balance. Possible Sensitivity to Snow Surface Properties. *Boundary-Layer Meteorol* 99: 1 – 19
- Kévorkian, A., T. Grenet, H. Gallée, P. Huyghe and P. Douillet, 2009. Perspectives de l'activité ski de piste du Sappey en Chartreuse. Rapport à l'attention de la mairie du Sappey-en-Chartreuse, Association du centenaire du ski , 47 pp.