

LIEN ENTRE L'ENNEIGEMENT EN MOYENNE MONTAGNE DANS LES ALPES DU NORD ET LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE EN ARCTIQUE

GALLÉE H. ⁽¹⁾, KÉVORKIAN A. ⁽²⁾, GRENET T. ⁽³⁾, HUYGHE P. ⁽⁴⁾

(1) UJF-Grenoble 1 / CNRS, LGGE, 54 rue Molière, 38041 St Martin d'Hères, France [gallee@lgge.obs.ujf-grenoble.fr]

(2) 38700 Le Sappey-en-Chartreuse, France [a.kevorkian@teemphotonics.com]

(3) Institut Néel, CNRS, Grenoble, France [thierry.grenet@grenoble.cnrs.fr]

(4) Université Joseph Fourier, Grenoble, France [pascale.huyghe@ujf-grenoble.fr]

Résumé – Le réchauffement climatique en Arctique s'est amplifié depuis le début de ce siècle. Il se traduit par un recul marqué de la glace de mer et des changements dans la circulation de l'atmosphère, avec un affaiblissement du vortex polaire. C'est une mauvaise surprise car ce phénomène d'amplification du réchauffement arctique n'est pas prévu par les modèles de circulation générale atmosphérique utilisés pour établir le dernier rapport du GIEC. Toutefois ces changements du climat arctique pourraient influencer directement le climat des Alpes du Nord, et plus particulièrement le climat en hiver. Ainsi depuis 1990 la tendance à avoir des hivers progressivement plus doux tend à disparaître, avec un effet non négligeable sur l'activité de petites stations de ski de la moyenne montagne dans les Alpes du Nord. On montre comment la régie des remontées mécaniques de la station de ski du Sappey en Chartreuse s'est adaptée à cette situation. Nous discutons également la question de savoir si cette situation est la conséquence de la variabilité climatique naturelle ou si elle peut persister suite au réchauffement climatique.

Mots-clés : changement climatique, neige, Alpes, Arctique.

Abstract – *Snow cover of the Northern Alps and link with the decadal variability in the Arctic.* Global warming in the Arctic has amplified since the beginning of the century. It is characterized by a marked retreat of the sea-ice cover and by a change in the atmospheric large scale circulation, with a weakening of the polar vortex. This is a bad surprise since the amplification of the Arctic warming was not projected by atmospheric general circulation models used in the last assessment report of the IPCC. Climate change in the Arctic could impact directly on the climate of the Northern Alps, and more particularly on the winter climate. Tendency to get milder winter has disappeared since 1990, with a non negligible effect on the activities of small low elevation ski resorts in the Northern Alps. It is shown how the management of a ski resort in the Chartreuse massif was adapted to this situation. We also discuss if this situation is the consequence of natural climate variability or if it may persist as a consequence of global warming.

Keywords: climate change, snow, Alps, Arctic.

Introduction

Il est de plus en plus reconnu que la gestion d'une station de ski, lorsque celle-ci dépend d'un enneigement incertain, est influencée par la variabilité climatique (Lehr *et al.*, 2012). C'est le cas pour les stations de ski de moyenne montagne dans les Alpes du Nord, comme celle du Sappey. Celle-ci est située dans le massif de la Chartreuse, au nord de Grenoble, en France, non loin de la station météorologique du Col de Porte, entre 1000 et 1338 m d'altitude (<http://www.chartreuse-tourisme.com/fr/neige-glisser-ski-alpin-sappey-chartreuse.aspx>). Le nombre de jours d'ouverture de la station est très variable d'une année à l'autre, avec parfois un manteau neigeux trop peu épais durant toute la saison d'hiver pour pouvoir ouvrir la station. La politique d'ouverture a été établie de manière à rentabiliser au mieux la station (ouverture seulement les week-ends, les mercredis après-midi et les vacances). Cependant pour les années avec peu ou pas de jours d'ouverture, les coûts d'entretien et de maintenance annuels entraînent un déficit budgétaire qui pèse sur les finances communales. En 2009, le conseil communal, en charge de la station, a dû décider d'effectuer une maintenance multi-décennale coûteuse, ou de fermer la station. La décision de maintenir la station a été prise en fonction de l'enneigement de la station au cours des années récentes et de son évolution possible durant les 10 prochaines années. Il fallait dès lors mieux comprendre quels sont les facteurs climatiques qui influencent l'enneigement, et si possible, les prévoir à l'échelle décennale.

1. L'enneigement et le rôle de la température de l'air

C'est la température moyenne hivernale (de décembre à mars) qui dicte le nombre de jours d'ouverture de la station du Sappey. Les précipitations sont en règle générale suffisantes sur la façade nord-ouest des Alpes durant l'hiver pour obtenir un manteau neigeux skiable quand la température est suffisamment basse (voir figure 1).

La figure 1 représente la relation entre le nombre de jours d'ouverture et la température moyenne d'hiver au Sappey (en °C). Cette dernière est calculée à partir de celle du Col de Porte, à laquelle 2°C ont été ajoutés. Les données réelles de 1999 à 2008 sont représentées par les losanges violets, tandis que la droite approxime cette relation. Les saisons plus anciennes de 1996 à 1998, objets d'une politique d'ouverture plus fréquente de la station (c-à-d en semaine), sont indiquées en vert.

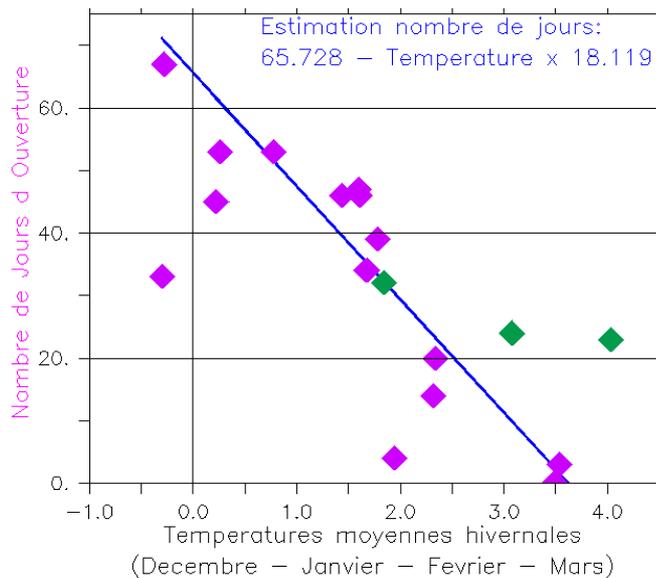


Figure 1. Relation entre le nombre de jours d'ouverture de la station de ski du Sappey-en-Chartreuse et sa température moyenne hivernale

On peut voir (figure 2) que les températures moyennes d'hiver suivent elles-mêmes remarquablement bien l'indice de l'oscillation arctique (OA). L'oscillation arctique décrit le changement de position en latitude du rail des dépressions qui circulent d'ouest en est dans l'hémisphère Nord. Plus l'indice est négatif, plus le flux d'air doux d'ouest est faible et dirigé vers les latitudes plus basses, et plus les températures hivernales sont négatives au Sappey.

Durant la seconde moitié du XXe siècle, les hivers devenaient de plus en plus doux, avec de moins en moins d'enneigement et une réduction du nombre de jours d'ouverture. Mais la tendance s'est inversée depuis 1990, sans revenir à la situation du milieu du XXe siècle.

Comme le réchauffement climatique global au cours de la même période (1960-2008) est beaucoup plus faible, c'est bien la variabilité climatique qui influence l'enneigement de la station du Sappey. On peut dès lors s'attendre à ce que ce soit cette variabilité climatique qui joue le rôle prépondérant pour la prochaine dizaine d'années. Nous allons voir maintenant comment estimer les effets de cette variabilité, aussi bien à l'échelle décennale qu'à l'échelle saisonnière.

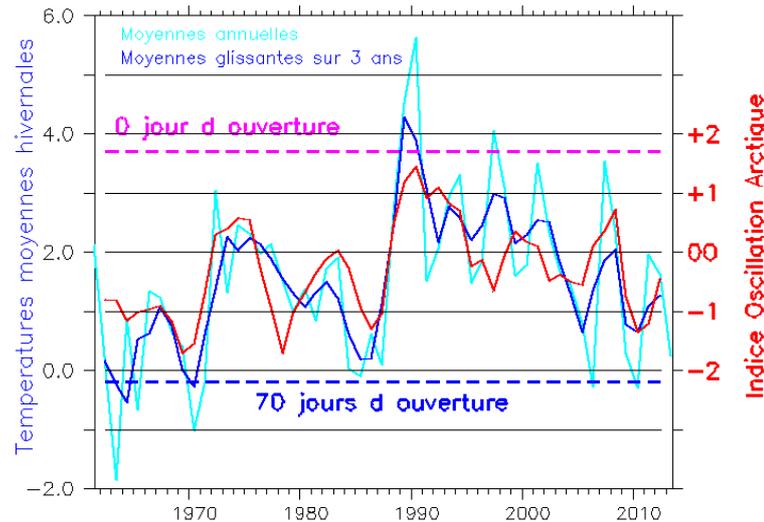


Figure 2. Comparaison de la température moyenne hivernale à la station de ski du Sappey-en-Chartreuse (courbe turquoise, la courbe bleue représentant une moyenne glissante sur 3 ans) et l'indice d'oscillation arctique (courbe rouge). La corrélation est excellente.

2. Mise au point d'une prévision saisonnière

Au cours de ces dernières années, les chercheurs ont mis en évidence qu'un Arctique plus chaud en automne tend à favoriser la phase négative de l'OA, spécialement lorsque les mers de Barentz et de Kara sont plus chaudes qu'en moyenne (Cohen *et al.*, 2014). Ces mers plus chaudes peuvent ensuite induire plus de précipitations neigeuses sur la Sibérie, refroidir cette région rapidement et exciter des ondes de Rossby qui se propagent verticalement et déferlent dans la stratosphère, freinant le vortex polaire. Suite à cette interprétation, ils ont mis au point un modèle statistique permettant de prévoir la phase de l'OA en hiver (décembre-janvier-février) à partir d'observations de la progression au Sud de 60°N des champs de neige eurasiens durant le mois d'octobre précédent (Cohen et Jones, 2011). Cependant ce modèle statistique n'a pas toujours été valide (Peings *et al.*, 2013) et il importe dès lors de déterminer sous quelles conditions il l'est. Malgré cette lacune, la relation entre phase de l'OA et nombre de jours d'ouverture de la station du Sappey nous permet de faire une prévision qui a été vérifiée jusqu'à présent.

3. Mise au point d'une prévision à plus long terme

Les scénarios d'évolution du climat établis pour le dernier rapport du GIEC montrent que le réchauffement global se poursuivra, mais ce réchauffement restera faible au cours de la prochaine décennie quand il est comparé à la variabilité climatique. Par contre, le réchauffement actuel de l'Arctique est plus fort. Ce réchauffement est dû au recul rapide de la glace de mer, marqué surtout en automne. Paradoxalement, ce recul fait diminuer la différence de température entre l'Arctique et nos latitudes, ce qui favoriserait une phase de plus en plus négative de l'OA, même si les modèles du GIEC ne prévoient pas de changement de circulation (Belleflamme *et al.*, 2015).

Mais il n'a pas encore été possible de simuler le mécanisme proposé par Cohen *et al.* (2014) avec un modèle d'atmosphère global (cfr. e.g., Riddle *et al.*, 2013), et la question se pose de savoir si ce n'est pas en partie dû à une représentation trop grossière du maillage et des mécanismes physiques propres aux régions froides dans ce type de modèle. Il est en effet nécessaire de disposer d'un maillage fin pour pouvoir représenter correctement le couplage entre basse et haute troposphère dans les fronts froids et responsable de blocages anticycloniques (Crocini-Maspoli and Davies, 2010). L'utilisation d'un modèle à aire limitée

développé pour simuler le climat des régions polaires à des résolutions horizontales de 40 km ou plus fines, et contenant notamment une représentation détaillée du manteau neigeux, du transport de la neige par le vent, et des nuages mixtes (eau liquide et glace) devrait permettre de commencer à répondre à cette question.

Conclusion et perspectives

L'évolution de l'OA depuis plus de 10 ans vers une phase de plus en plus négative en hiver tend à favoriser l'ouverture de la station du Sappey-en-Chartreuse, pour autant que soient maintenues une gestion financière rigoureuse et une politique d'ouverture étroitement liée à la météorologie et l'évolution du manteau neigeux. Une prévision saisonnière de l'OA et par là de l'enneigement permet d'atteindre plus facilement ce dernier objectif.

Références bibliographiques

- Belleflamme A., Fettweis X., Erpicum M., 2015 : Recent summer Arctic atmospheric circulation anomalies in a historical perspective. *The Cryosphere*, **9**, 53-64, doi:10.5194/tc-9-53-2015.
- Cohen J.L., Jones J., 2011 : A new index for more accurate winter prediction. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L21701, doi : 10.1029/2011GL049626.
- Cohen, J., Screen J.A., Furtado J.C., Barlow M., Wittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J., Jones J., 2014 : Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, **7**, 627-637.
- Croci-Maspoli M., Davies H.C., 2010. Key dynamical features of the 2005/2006 european winter. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 664-678.
- Lehr C., Ward P.J., Matti K., 2012 : Impact of Large-scale Climatic Oscillations on Snowfall-related Climate Parameters in the World's Major Downhill Ski Areas : A Review. *Mountain Research and Development*, **32**(4), 431-445.
- Peings Y., Brun, E., Mauvais V., Douville, H., 2013 : How stationary is the relationship between Siberian snow and Arctic Oscillation over the 20th century ? *Geophys. Res. Lett.*, **40**, doi : 10.1029/2012GL054083.
- Riddle E.E., Butler A.H., Furtado J.C., Cohen J.L., Kumer A., 2013 : CFSv2 ensemble prediction of the wintertime Arctic Oscillation. *Clim. Dyn.*, **41**, 1099-1116, DOI : 10.1007/s00382-013-1850-5.