

Domaines skiables français : futurs contrastés pour l'enneigement au 21^e siècle

Deux nouvelles études sur l'évolution future de l'enneigement des stations des Alpes et des Pyrénées au cours du 21^e siècle, menées par le Centre national de recherches météorologiques (CNRM, Météo-France/CNRS¹) et Irstea Grenoble², viennent d'être publiées dans *The Cryosphere*³ (24 avril 2019) et *Scientific Reports*⁴ (29 mai 2019). Les résultats permettent d'envisager de façon quantitative l'impact du changement climatique sur l'enneigement dans les stations de sports d'hiver.

Depuis plusieurs décennies, l'enneigement des stations ne dépend pas seulement des chutes de neige et de l'évolution naturelle du manteau neigeux, mais également de la façon dont ce dernier est géré par les opérateurs, via le damage et l'apport de neige de culture. L'évolution de l'enneigement des domaines skiables dans un contexte de changement climatique est un enjeu majeur au 21^e siècle pour l'aménagement du territoire en montagne. Or, le changement climatique impacte de plusieurs façons l'enneigement : il entraîne une réduction de l'enneigement naturel, en particulier à basse altitude, et influe sur la température de l'air et donc sur la possibilité de produire de la neige de culture.

De nouvelles simulations sur l'état de la neige sur les pistes de ski alpin

Les chercheurs du CNRM et d'Irstea Grenoble ont développé un ensemble d'outils pour exploiter les projections climatiques utilisées par le GIEC dans les massifs montagneux afin de simuler l'évolution du manteau neigeux sur piste, en tenant explicitement compte du damage et de la neige de culture. Les effets physiques de ces interventions et leurs modalités de mise en œuvre (dates et heures de damage, critères et objectifs de production, etc.) ont été modélisés grâce à des échanges directs et des enquêtes auprès des gestionnaires de domaines skiables.

La méthode de modélisation tient également compte de la géographie de chaque station (distribution d'altitude, d'orientation et de pentes, position des remontées mécaniques et espace couvert par la neige de culture). Un ensemble d'outils permet de produire des données d'enneigement au sein de chaque station et une estimation du volume d'eau associé à la production de neige. Cette quantité d'eau consommée dépend de plusieurs facteurs : la surface couverte par la neige de culture, les besoins de production identifiés au cours de la saison pour compenser le déficit d'enneigement naturel, et le rendement des enneigeurs.

Cette approche a été appliquée à des simulations couvrant l'ensemble du 21^e siècle et s'appuyant sur plusieurs scénarios climatiques, en particulier un scénario « bas » (forte réduction des émissions et atteinte de la neutralité carbone en cours de siècle, RCP2.6), et un scénario « haut » (poursuite de la hausse des émissions, RCP8.5) dans les deux études décrites ci-après.

¹ associé à l'Université de Toulouse, et à l'Université Grenoble Alpes concernant le Centre d'études de la neige

² Unités LESSEM (Laboratoire écosystèmes et sociétés en montagne) et ETNA (Erosion torrentielle, neige et avalanches)

³ Spandre, P., H. François, D. Verfaillie, M. Pons, M., Vernay, M., Lafaysse, E. George, and S. Morin: Winter tourism under climate change in the Pyrenees and the French Alps: relevance of snowmaking as a technical adaptation, *The Cryosphere*, 13, 1325-1347, <https://doi.org/10.5194/tc-13-1325-2019>, 2019.

⁴ Spandre, P., H. François, D. Verfaillie, M. Lafaysse, M. Déqué, N. Eckert, E. George and S. Morin, Climate controls on snow reliability in French Alps ski resorts, *Scientific Reports*, www.nature.com/articles/s41598-019-44068-8, 2019..

Étude parue dans *Scientific Reports*

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des outils a été appliqué à 129 stations des Alpes françaises, en considérant un taux de couverture en neige de culture de 45 %. Ce taux constitue le niveau d'équipement prévu au début des années 2025. Les principaux résultats sont les suivants :

- ▶ **Moitié du 21^e siècle** : quel que soit le scénario climatique, un taux de couverture de 45 % de neige de culture permet de maintenir des conditions d'enneigement agrégées pour toutes les stations comparables à la situation de référence sans neige de culture (1986-2005). Un enneigement défavorable demeure possible certaines années, mais pas plus souvent que pendant la période de référence.
- ▶ **Seconde moitié du 21^e siècle** : Après 2050, la situation est relativement stabilisée dans le scénario « bas », et empire fortement jusqu'à la fin du siècle dans le scénario « haut ». L'impact du réchauffement sur l'enneigement dans les stations est fort dès 1,5 °C de réchauffement planétaire et sans neige de culture. Avec 45 % de couverture de neige de culture, l'enneigement demeure comparable à la situation actuelle pour un réchauffement planétaire inférieur à 2 °C, mais au-delà de 3 °C, la neige de culture ne suffit plus à compenser la réduction d'enneigement naturel.

Cette étude a également permis d'estimer la consommation d'eau globale à l'échelle des Alpes, associée à une couverture de 45% de neige de culture. Pendant la période de référence (1986-2005, 15 % de surface équipée en neige de culture en moyenne), la consommation d'eau est de l'ordre de 10 à 20 millions de m³ par an. L'accroissement de cette consommation, jusqu'à présent principalement portée par l'augmentation des surfaces de pistes couvertes par la neige de culture, va se poursuivre dans l'avenir, y compris en cas de stabilisation de ce taux d'équipement. Pour la période 2030-2050, le volume estimé est en moyenne de l'ordre de 40 millions de m³, pouvant varier de 25 à 50 millions de m³ selon les années. Dans la seconde moitié du 21^e siècle, les valeurs sont stables pour le scénario « bas » (RCP2.6) et en hausse continue pour le scénario « haut » (RCP8.5), en dépit d'un enneigement souvent insuffisant.

Les méthodes employées dans cette étude constituent des outils innovants pour quantifier l'impact du changement climatique ainsi que les besoins en eau pour la production de neige de culture afin de contribuer aux réflexions concernant l'adaptation. Elles pourront par exemple être appliquées au cas par cas sur une ou plusieurs stations pour tenir compte plus finement des caractéristiques locales, ou pour analyser la perturbation hydrologique induite par une station de ski de façon la plus objective possible. Toutefois, l'enneigement n'est pas le seul critère déterminant la viabilité socio-économique d'une station de ski ; les dimensions économique et politique doivent également être prises en compte.

Étude parue dans *The Cryosphere*

L'étude parue dans *The Cryosphere* utilise une méthode plus simple, ne permettant pas de calculer le besoin en eau, et ne tenant pas compte des orientations et pentes dans les stations. Les conclusions générales sont similaires, et sont étendues aux stations des Pyrénées françaises, espagnoles et andorranes, pour lesquelles en fin de siècle et dans le scénario « haut », l'enneigement ne serait plus satisfaisant pour la pratique du ski, même avec la neige de culture.

Contacts presse Météo-France

Anne Orliac – 05 61 07 99 47

presse@meteo.fr

[@meteofrance](https://twitter.com/meteofrance)

Irstea

Cécile Bittoun – 01 40 96 61 30

presse@irstea.fr

[@irstea](https://twitter.com/irstea)

CNRS

Samira Techer – 01 44 96 51 51

presse@cnrs.fr

[@CNRS](https://twitter.com/CNRS)

Le Centre d'études de la neige et les unités de recherche LESSEM et ETNA d'Irstea Grenoble sont des laboratoires et équipes associés de l'Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG, CNRS/IRD/Irstea/UGA/Météo-France). Ces études ont été menées dans le cadre de plusieurs projets (projet ADAMONT financé par le ministère de la Transition écologique et solidaire dans le cadre du programme GICC, projet Clim'Py de l'Observatoire pyrénéen du changement climatique, projet Trajectories de l'Univ. Grenoble Alpes). Les développements méthodologiques ont principalement été menés dans le cadre d'un contrat avec Isère Tourisme portant sur l'enneigement dans les stations de l'Isère (2017-2018) ainsi que dans le cadre de la thèse de Pierre Spandre, à Irstea Grenoble et au CNRM/CEN, soutenue en 2016 et financée par la Région Rhône-Alpes.