

## Titre du projet : GANESH

Volet : Recherche

Porteur du projet : Samuel Morin

Laboratoires impliqués : CNRM/CEN, LGGE, Irstea/DTM, Irstea/ETNA

## Bilan du projet pour la période 2015-2016

### Bilan d'activité (1 page max)

Le projet GANESH (analyse de la gestion de la neige dans les stations de sports d'hiver) est concomitant à la thèse de Pierre Spandre, de problématique éponyme, et qui pendant la période 2013-2016 a rassemblé un ensemble de connaissances nouvelles au sujet des modalités de gestion de la ressource neige dans les stations de sport d'hiver et de leurs impacts sur l'enneigement sur les pistes. Ce projet financé par le LabEx OSUG@2020 a associé le CNRM/CEN, Irstea/DTM et le LGGE.

Le projet de thèse a abordé, d'une part, les aspects purement physiques du comportement du manteau neigeux soumis au damage et à l'adjonction de neige de culture, et leur modélisation sous forme d'un nouveau module du modèle de manteau neigeux Crocus (Spandre et al., 2016). Le développement et l'évaluation de ce modèle ont nécessité de nombreuses mesures sur le terrain (sur piste et en bordure de piste, dans des zones soumises ou non au damage et à la production de neige de culture). D'autre part, le travail de thèse a permis de préciser le comportement des acteurs responsables de la gestion de la neige en station, à court terme (gestion opérationnelle) et à moyen terme (perspectives d'équipement de neige de culture). Ce travail, basé sur des visites de terrain et des enquêtes adressées aux acteurs de terrain par le relais d'associations professionnelles partenaires, a abouti à une publication de synthèse sur le niveau actuel et envisagé d'équipement des stations de sports d'hiver, en relation avec l'évolution récente du climat (Spandre et al., 2015). Le projet LabEx OSUG@2020 a financé une grande partie des dépenses occasionnées par les nombreux séjours sur le terrain (parfois sur plusieurs jours pour les stations les plus lointaines). Les travaux de thèse sont en cours d'achèvement, la soutenance de la thèse étant prévue pour décembre 2016.

Le projet LabEx OSUG@2020 GANESH avait également pour ambition de développer un appareil de suivi de l'évolution de la distribution de hauteur de neige, destiné à suivre l'évolution de la topographie neigeuse sur une piste par une méthode de télémétrie laser automatisée. L'appareil, financé par le LabEx OSUG@2020, a été construit par le LGGE, mais il n'a pas encore été exploité pour sa destination première. En effet, suite à sa construction, il a été décidé de le déployer prioritairement en parallèle des mesures réalisées dans le cadre du projet d'intercomparaison OMM-SPICE au Col de Porte, permettant de contribuer spécifiquement à ce projet au travers d'un instrument innovant, et d'en utiliser les résultats pour l'analyse des performances des autres capteurs déployés dans le cadre du projet OMM-SPICE. Les mesures réalisées par le capteur déployé au Col de Porte pendant la saison hivernale 2014-2015 ont servi de support à une publication versée à l'édition spéciale multi-journaux du projet OMM-SPICE (Picard et al., 2016). Cet appareil a donné toute satisfaction pour le suivi 4D de

l'évolution du manteau neigeux sur une zone de 100 m<sup>2</sup> environ (quand situé à 6 m de surface) et il pourra être envisagé de le déployer sur les pistes de ski au gré des futurs développements prévus en la matière. Par ailleurs, des études spatiales de l'évolution de la neige sur pistes, notamment au cours du processus d'accumulation de neige de culture, ont été menées sur le terrain en collaboration entre le CEN et Irstea/ETNA, au cours de l'hiver 2015-2016, en utilisant diverses techniques y compris le laserscanner adapté aux zones enneigées et mutualisé par les équipes de l'OSUG. Il faut aussi tenir compte de la montée en puissance des dispositifs de mesure de hauteur de neige installés sur les dameuses, qui fournissent des cartes de hauteur de neige encore peu exploitées à ce jour, tant du point de vue opérationnel par les stations elles-mêmes que pour les études scientifiques.

Le projet LabEx OSUG@2020 GANESH a donc permis la réalisation d'un nombre important de mesures de terrain dans les stations de sport d'hiver, conformément à son objectif, qui ont déjà fait l'objet de valorisation et vont continuer à l'être en parallèle de l'achèvement de la thèse de Pierre Spandre. Ces travaux nourrissent plusieurs projets soumis ou en préparation au sujet des dynamiques d'adaptation de l'industrie touristique de montagne dans un contexte de changement climatique. En outre, ce projet a permis de développer et de qualifier un instrument très innovant et efficace pour le suivi de topographie de surface du manteau neigeux, dont l'usage est appelé à se généraliser dans nombres de projets liés à l'observation du manteau neigeux dans les laboratoires de l'OSUG (études de transport de neige par le vent dans les Alpes, suivi fin de la topographie du manteau neigeux à Dôme C, Antarctique, suivi de l'enneigement sur piste, suivi de l'enneigement sous couvert forestier etc.).

### Illustrations - avec légende et crédit (à envoyer également séparément)

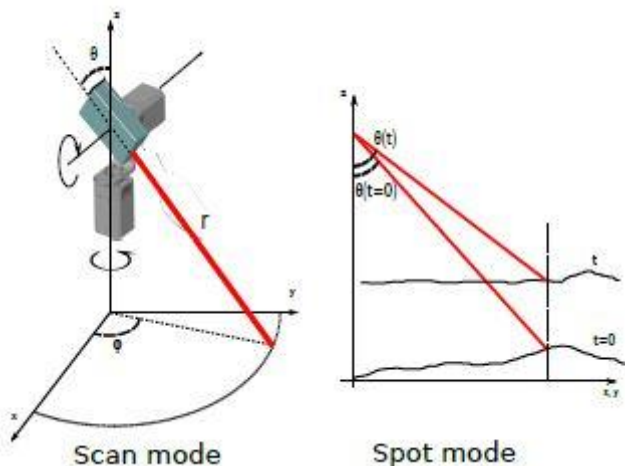


Figure 1 : Schéma de principe du système laser décrit par Picard et al. (2016)

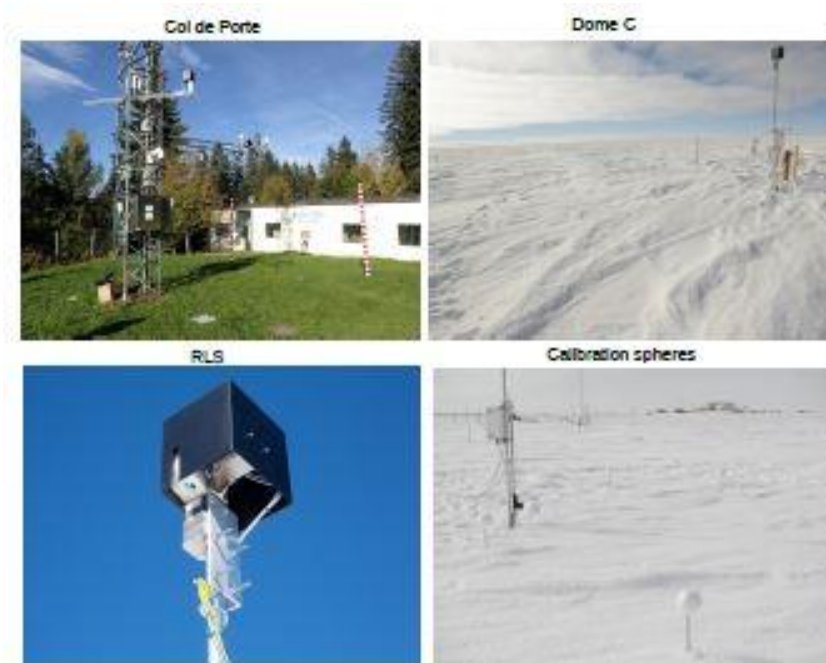


Figure 2 : Images de l'installation du système laser au Col de Porte et à Dôme C, Antarctique (Picard et al., 2016).

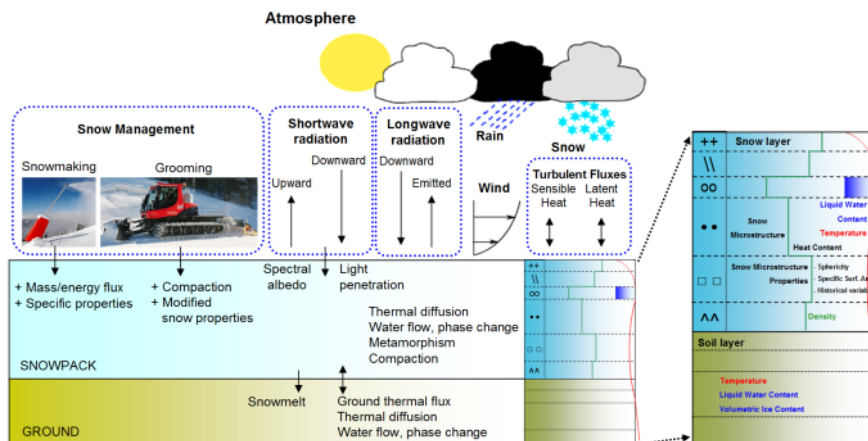


Figure 3 : Schéma de principe du modèle Crocus-Resort (d'après Spandre et al., 2016).

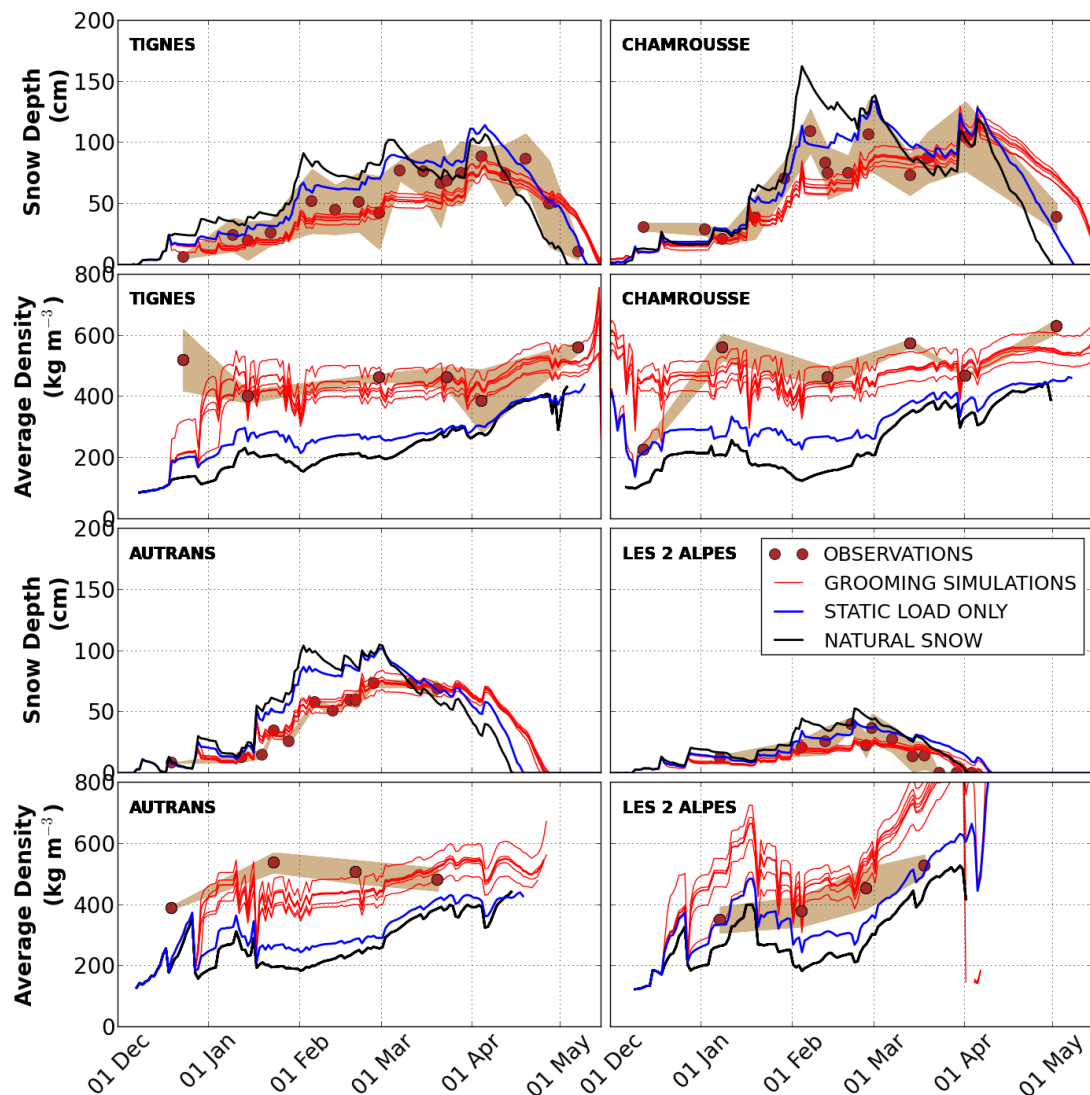


Figure 4 : Comparaison des performances du modèle Crocus-Resort avec et sans damage pendant la saison 2014-2015 aux postes de mesure de Tignes, Chamrousse, Autrans et Les 2 Alpes (Spandre et al., 2016).

### Production scientifique (articles scientifiques, actes de congrès...)

- Spandre, P., H. François, S. Morin and E George-Marcelpoil, Dynamique de la neige de culture dans les Alpes Françaises. Contexte climatique et état des lieux, *Revue de Géographie Alpine*, 103-2, doi :[10.4000/rga.2913](https://doi.org/10.4000/rga.2913), 2015.
- Spandre, P., S. Morin, M. Lafaysse, Y. Lejeune, H. François and E. George-Marcelpoil, Integration of snow management processes into a detailed snowpack model, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 125, 48-64, doi :[10.1016/j.coldregions.2016.01.002](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.01.002), 2016.
- Picard, G., Arnaud, L., Panel, J.-M., and Morin, S. : Design of a scanning laser meter for monitoring the spatio-temporal evolution of snow depth and its application in the Alps and in Antarctica, *The Cryosphere*, 10, 1495-1511, doi :[10.5194/tc-10-1495-2016](https://doi.org/10.5194/tc-10-1495-2016), 2016.



Ce projet est soutenu par le Laboratoire d'Excellence OSUG@2020 (ANR10 LABX56) financé par le programme d'Investissements d'Avenir lancé par l'Etat et mis en oeuvre par l'ANR.



**Bilan financier succinct** (avec suivant les cas : co-financements éventuels, équipements achetés, missions, recrutements divers, fonctionnements divers...)

2.8 k€ ont été utilisés pour financer les missions de terrain dans les stations de sports d'hiver (crédits gérés au CNRM/CEN).

7 k€ ont été utilisés pour financer le développement du lasermètre par le LGGE (crédits gérés au LGGE).

**Annexes si besoin ou lien sur des sites existants et pérennes jusqu'à la fin du Labex (2020)**