

Risques liés à la neige et à la glace

"Modélisation intégrée du vent et du transport de neige en relief complexe"



Résumé du Projet

mars 2000



Centre d'Etudes
de la Neige



Institut de recherche
pour l'ingénierie
de l'agriculture
et de l'environnement

Ce programme de recherches a été proposé par le Centre d'Études de la Neige (Groupe de recherche du Centre National de Recherches Météorologiques de Météo-France) et la division Etna (Érosion Torrentielle, Neige et Avalanches) du Cemagref.

L'ensemble des mesures du Col du Lac Blanc est réalisé sur 4 zones, deux de ces zones sont instrumentées depuis plusieurs années et deux nouvelles zones ont été équipées durant l'été et l'automne 1998. Ces nouveaux sites expérimentaux, équipés grâce au projet actuel, se trouvent à proximité du domaine skiable de l'Alpe d'Huez et sont accessibles par les remontées mécaniques au départ de Vaujany. Le soutien logistique de la SATA (Service des Pistes et de la Sécurité du domaine de l'Alpe d'Huez) nous a été précieux, tant pendant la phase d'installation des différents équipements, que pour l'accès au site de mesures tout au long de la saison.

Ce projet, axé autour des problèmes liés au déplacement de la neige par le vent, fait l'objet d'un financement dans le cadre du XI^{ème} contrat de plan Etat-Région. Le contrat en cours (Venrec : Vent et Neige en Relief Complexe) est financé par la région Rhône-Alpes. Le budget obtenu pour l'année 1998 était de 30 kF en fonctionnement et 270 kF en équipement. Pour la deuxième tranche du projet (1999), il s'est élevé à 140 kF.

Rappel des objectifs et du contexte de l'étude

Le transport de la neige par le vent pose de nombreux problèmes que ce soit dans un contexte haute-montagne avec la formation de corniches et de plaques à vent (*avalanches*) ou dans un contexte plateau avec la formation de congères (*viabilité hivernale, enfouissement de bâtiments*).

L'amélioration sensible de la prise en compte du risque accidentel de déclenchement d'avalanches dans la prévision opérationnelle nécessite une meilleure connaissance des effets du vent sur la répartition du manteau neigeux et sur sa stabilité. De plus, la nécessité de pouvoir disposer d'outils d'aide à la décision en matière d'aménagement et de gestion ponctuelle du risque, amène à développer une approche numérique du transport de neige par le vent. La disponibilité d'un outil opérationnel permettant de suivre et de prévoir l'accumulation de la neige dans des zones soumises au transport de neige se heurte à notre connaissance limitée sur la répartition du vent à échelle fine. Les développements récents en matière de modèles météorologiques non hydrostatiques à échelle fine et de simulations physique et numérique du phénomène de transport, nous ont conduit à proposer l'étude d'un fonctionnement intégré de ces modèles.

Il s'agit de rechercher le couplage d'outils existants de modélisation du vent à petite échelle et de modélisation numérique en 3D du transport de neige par le vent. Pour cette étude, nous disposons également d'outils, déjà existants, permettant de simuler l'évolution du manteau neigeux et d'estimer l'épaisseur de neige transportable. Cette simulation se fera sur deux zones test avec relief réel, les conditions nivo-météorologiques seront mesurées sur ces zones et permettront de comparer les résultats des simulations (zones de dépôt et d'érosion) et les conditions sur site. L'étude comparée des résultats des simulations pourra ensuite être effectuée grâce aux mesures déjà réalisées sur site instrumenté (site du Col du Lac Blanc - Alpe d'Huez). On tentera de reconstituer les zones de dépôt - érosion sur deux zones expérimentales du site du Col du Lac Blanc qui ont reçu à cette occasion une instrumentation complémentaire.

L'objectif visé est d'apprécier dans quelle mesure ces modèles sont capables de représenter les phénomènes de transport de neige observés sur des sites montagneux réels. L'aboutissement final est de pouvoir disposer d'un outil intégré opérationnel permettant d'analyser le risque de déclenchement d'avalanches sur un site donné en fonction des conditions météorologiques dominantes ou sur des cas particuliers.

Équipement du site expérimental

Comme il a été rappelé en introduction, on dispose sur ce site d'un certain nombre de données expérimentales que l'on envisage d'exploiter à la lumière des nouveaux développements numériques entrepris. Notamment, pour ce projet, nous disposons déjà des enregistrements de deux centrales de mesures.

L'une, abritée dans un chalet au Col du Lac Blanc (2 710 m d'altitude), comprend les enregistrements des capteurs installés à une centaine de mètres au nord du col :

- ◆ Épaisseur de neige (mesure par ultrasons) : moyenne, max. et min. horaires
- ◆ Vitesse et direction du vent (capteurs chauffés) : moyenne, maxi. et mini. horaires. Les valeurs sont intégrées sur 20 secondes.
- ◆ Équivalent en eau des précipitations : valeurs horaires, deux pluviomètres, disposant d'un système de réchauffement, sont distants d'une centaine de mètres.
- ◆ Température de l'air : moyenne, max. et min. horaires.

L'autre est abritée dans le chalet du service des pistes au Dôme des Petites Rousses. Ce site situé à 2 820 mètres d'altitude présente l'avantage d'être relativement dégagé des reliefs environnant (à l'exception de la chaîne de Grandes Rousses). La mesure de vent est donc assez proche du vent en atmosphère libre. Il comprend :

- ◆ Vitesse et direction du vent (capteurs chauffés) : moyenne, max. et min. horaires. Les valeurs sont intégrées sur 1 seconde.
- ◆ Température de l'air : moyenne, maxi. et mini. horaires.

En complément des mesures de ces sites, il était nécessaire de prendre en compte les aspects tridimensionnels et temporels du phénomène de transport de neige par le vent dans le cadre plus spécifique du projet en cours. Deux sites tests ont ainsi été sélectionnés à proximité du Col du Lac Blanc et équipés de perches à neige, de capteurs vent et de détecteurs acoustiques de transport de neige grâce au financement du projet en cours.

Un site test, d'une dimension caractéristique d'environ 100m par 100m, est situé sur une zone d'accumulation au nord du Col du Lac Blanc. Sur ce site sont installés :

- ◆ environ 25 perches à neige suivant trois profils horizontaux.
- ◆ une centrale d'acquisition à laquelle sont connectés un ensemble anémomètre - girouette et un capteur acoustique de transport de neige.

Les perches à neige, dont les hauteurs ont été relevées périodiquement durant la saison, permettent de suivre l'évolution de l'épaisseur de neige et de connaître les hauteurs des dépôts afin de dresser leur carte.

Le capteur acoustique de transport de neige par le vent permettra de connaître de façon précise la durée de l'épisode de transport et d'estimer grossièrement l'intensité du transport éolien. Ce capteur de transport de neige a été développé au sein de la division Etna du Cemagref et sa commercialisation est assurée par la société grenobloise Hydroemac. Les performances de ce capteur ont été testées sur la station de ski de La Molina (*Pyénées orientales catalanes*) en collaboration avec l'Université de Barcelone.

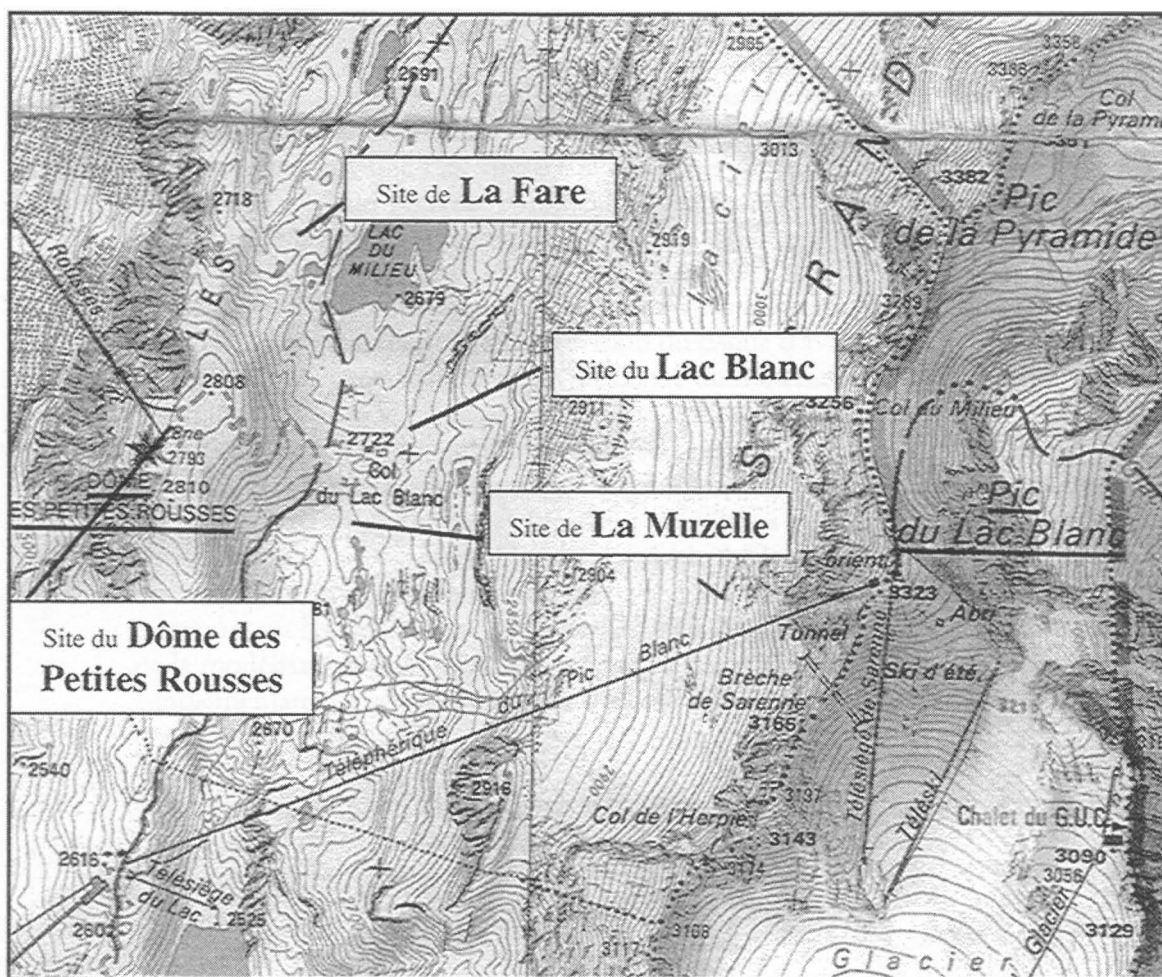
Le deuxième site test est situé dans une zone d'érosion/accumulation à proximité immédiate du Col du Lac Blanc. Sur cette zone d'érosion et dans la direction du vent dominant ont été implantés :

- ◆ 25 perches à neige disposées selon une répartition régulière sur une zone de 50 m par 50 m.

- ◆ Six capteurs de transport installés sur des perches à neige et reliés à une centrale de mesures. Les couples (perche à neige, capteurs) ont été disposés dans le sens de l'écoulement (vent dominant) et sur une longueur de 160 m.
- ◆ Un ensemble anémomètre - girouette de mesure du vent. Les valeurs sont intégrées sur 1 seconde.

Hormis l'aspect validation de l'approche numérique de la répartition du manteau neigeux en fonction des conditions de vent et la topographie, le but de cette expérimentation est aussi d'étudier l'évolution de l'arrachement des particules en vue d'améliorer l'expression de la fonction d'érosion et la connaissance de la longueur nécessaire à l'obtention de la saturation. Il semble difficile de déterminer sur ce site de l'Alpe d'Huez un véritable point zéro, considéré comme point de départ du transport éolien. Cependant cette expérience permettra d'améliorer les connaissances (une seule publication internationale à ce jour) dans ce domaine. Il sera nécessaire pour chaque épisode de transport considéré de caractériser le type des grains de neige.

Une vingtaine de sondages par battage et profils stratigraphiques du manteau neigeux ont été effectués, chaque saison, à proximité des zones instrumentées. Ces mesures ont détaillé plus particulièrement les couches supérieures de la neige et des mesures mécaniques (résistance au cisaillement, densité de la neige, etc ..) ont complété la caractérisation morphologique des types de neige susceptibles d'être déplacés ou qui ont déjà subi un épisode de transport.



Développements effectués pour cette étude

Grâce à notre site expérimental de haute altitude du Col du Lac Blanc, nous avons pu créer une base de données bien documentée sur le vent, les épisodes de transport, et l'évolution des couches de neige du manteau. Nous avons essayé de tirer le meilleur bénéfice de dix années d'expériences et d'observations sur le site instrumenté du Col du Lac Blanc afin de régler et de valider différentes formulations et de lois empiriques sur les problèmes liés au transport de neige. Ce projet a permis, par la synergie des deux équipes impliquées de faire avancer simultanément deux études complémentaires :

- ◆ En particulier, nous avons trouvé des résultats intéressants concernant les coefficients de rafale, qui peuvent être plus grand pour le vent sur notre site expérimental que les valeurs de la bibliographie. De plus, grâce au capteur acoustique de transport de neige par le vent, nous avons mis en évidence le fait qu'un épisode de transport important se produit en général plutôt durant une période de vent fort et régulier qu'avec de fortes rafales de vent ponctuelles.
De plus, la base de données que nous avons réalisée, nous a permis de tester sur des données in situ le modèle numérique de transport de la neige par le vent développé au Cemagref. Pour améliorer encore ce modèle, il faudrait maintenant pouvoir introduire des mesures du flux de neige transportée comme paramètre d'entrée du modèle. Ce flux était en effet jusqu'à présent calculé au moyen d'une formule empirique utilisant la vitesse de vent mesuré ainsi que des vitesses seuils. Pour ce faire, nous devons calibrer le capteur acoustique, afin de pouvoir corrélérer le signal enregistré sur le capteur avec le débit de transport de la neige par le vent.
- ◆ Par ailleurs, nous avons essayé de prendre en compte les effets de transport dus au vent dans la chaîne opérationnelle de prévision du risque d'avalanches, où ce phénomène est actuellement négligé. La principale difficulté du traitement numérique d'un tel problème provient de la grande diversité des échelles spatiales impliquées et du forçage important de la topographie locale, mais c'est aussi son intérêt.
Les premiers résultats montrent bien la grande influence du phénomène de transport sur les hauteurs de neige simulées ; l'étude se poursuivra bientôt par une évaluation des risques d'avalanche associés. Mais la principale faiblesse vient de la détermination, parfois erronée, du vent de transport ainsi que d'une simulation, parfois incomplète, des effets de transport sur les deux versants. Le projet actuel consiste à utiliser cette première version de la modélisation dans la chaîne opérationnelle afin d'y insérer un diagnostic supplémentaire de risque d'avalanche en cas de fort transport et de formation prévue de plaques ou de corniches.

Les développements et études réalisés dans le cadre du projet ont fait l'objet de communications et de publications dont le détail est donné dans le paragraphe suivant.

Publications et communications

Les publications et communications rapportées ici concernent uniquement celles réalisées pendant le projet et directement associées à celui-ci.

"Bilan des données du projet Venrec au Col du Lac Blanc sur la saison 1998-1999" : édité en mai 1999, ce document collectif rassemble sous forme de graphiques tous les paramètres enregistrés sur le site et les mesures complémentaires in-situ. Il a été envoyé à tous les partenaires du projet.

"Transport de la neige par le vent sur un site de montagne : mesures et modélisation numérique à l'échelle du massif". Par Yves Durand, Gilbert Guyomarc'h et Laurent Mérindol du Centre d'Etudes de la Neige, Météo-France. Communication lors de la réunion de la section Glaciologie-Nivologie de la SHF à Grenoble (mars 2000).

"Transport de la neige par le vent sur un site de montagne : mesures et modélisation numérique". Par Jean-Luc Michaux, Florence Naaim-Bouvet, Mohamed Naaim de la Division ETNA du Cemagref. Communication lors de la réunion de la section Glaciologie-Nivologie de la SHF à Grenoble (mars 2000).

Les deux articles précédents ont été soumis à la revue "La Houille Blanche" et se trouvent en annexe.

"Numerical Experiment of Wind Transport over an Instrumented Site: Part 1, Medium and large scales" par Durand, Guyomarc'h, Merindol, Panel and Pugliese. Communication lors du colloque de l'IGS (International Geophysical Society) à Innsbruck (Autriche) du 22 au 26 mai 2000.

"Numerical Experiments of Wind Transport over an Mountainous Instrumented Site: Part 2, Avalanche path scale" par Bouvet, Michaux, Naaim. Communication lors du colloque de l'IGS à Innsbruck (Autriche) du 22 au 26 mai 2000.

Les textes de ces deux dernières communications seront publiés dans "Annals of Glaciology".

Deux communications et un poster seront proposés à l'ISSW (International Snow Science Workshop) qui aura lieu dans l'état du Montana (USA) en octobre 2000.

Par ailleurs deux reportages de télévision ont été enregistrés sur le site :

- ◆ un pour l'émission "Envoyé spécial" sur France 2 diffusé en mars 2000.
- ◆ l'autre pour l'émission "Les aventuriers de la science" de France 3 nationale diffusé en février 2000.

Un article sur ce projet est paru dans la page Sciences du "Monde" en janvier 1999 et un article de 7 pages dans la revue "Eureka" en février 2000.