



HAL
open science

Intégration d'un schéma de transport de neige par le vent dans la chaîne opérationnelle française de prévision du risque d'avalanches

G. Guyomarc'H, Y. Durand, G. Giraud, F. Naaim-Bouvet

► To cite this version:

G. Guyomarc'H, Y. Durand, G. Giraud, F. Naaim-Bouvet. Intégration d'un schéma de transport de neige par le vent dans la chaîne opérationnelle française de prévision du risque d'avalanches. International Snow Science Workshop (ISSW), Oct 2013, Grenoble - Chamonix Mont-Blanc, France. p. 92 - p. 98. hal-00948592

HAL Id: hal-00948592

<https://hal.science/hal-00948592>

Submitted on 18 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intégration d'un schéma de transport de neige par le vent dans la chaîne opérationnelle française de prévision du risque d'avalanches.
Integration of a drifting snow scheme in the French operational modeling for avalanche risk forecasting: validation over 10 years.

G. Guyomarc'h¹, Y. Durand¹, G. Giraud¹, F. Naaim-Bouvet²

1 - Météo-France/CNRS, CNRM-GAME UMR-3589, Grenoble, France

2 – IRSTEA UR ETGR, Grenoble, France

RESUME¹ : Depuis de nombreuses années, le Centre d'Etudes de la Neige de Météo-France et l'unité de recherche ETNA (Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches d'IRSTEA ont conjugué leurs efforts pour étudier les effets induits du vent sur la répartition et la modification du risque d'avalanches. Dans ce but, un site expérimental (Col du Lac Blanc, 2700 m, Alpes françaises) a été choisi et équipé de capteurs spécifiques dont les données sont enregistrées sur des stations automatiques qui mesurent les paramètres météorologiques pertinents pour notre sujet d'étude. Pour compléter ces mesures automatiques, des campagnes de mesures intensives ont été organisées sur site autour de périodes d'évènements de transport de la neige.

L'objectif final est d'introduire un schéma de transport éolien de la neige (règles spécifiques et formulations) et de proposer des diagnostics dans la modélisation numérique du risque d'avalanches en France (PRA). Afin d'évaluer l'amélioration du risque d'avalanches, différents tests ont été effectués sur dix années dans trois directions :

1. Une partie du travail sur site a consisté à observer régulièrement l'épaisseur de neige le long d'un profil horizontal de perches graduées de part et d'autre du col. Nous avons comparé ces relevés avec les résultats du modèle Sytron qui vise à simuler la distribution de la neige en fonction du vent pendant ou après une chute de neige.
2. Une comparaison entre les occurrences de transport de neige par le vent estimées par le modèle et les observations sur notre site expérimental.
3. Enfin, une comparaison entre les deux chaînes opérationnelles de PRA, l'une intégrant le transport de neige, l'autre non) sur 3 massifs de l'Isère.

Dans ce papier, nous montrons les résultats de ces différentes comparaisons qui ont abouti à prendre la décision de tester ce schéma de transport éolien de la neige pendant l'hiver 2012-2013 au centre météorologique de Grenoble qui est responsable des bulletins quotidiens de prévision du risque d'avalanches sur l'Isère.

MOTS-CLEF : Transport de neige par le vent, mesures in-situ, prévision opérationnelle du risque d'avalanches.

ABSTRACT: For several years the Snow Study Centre of Météo-France and the Snow avalanche engineering and torrent control research unit of IRSTEA have been investigating the wind-induced snow transport and the consequences of this phenomena on the snow distribution and consequently on the modification of avalanche risk. For this purpose, an experimental site (Col du Lac Blanc, 2 700m, French Alps) has been chosen and equipped with lots of specific sensors and automatic weather stations which measure meteorological parameters according to our study aims. In order to complement these automatic measurements, some manual measurements are performed in situ during intensive observation periods around drifting snow events.

The final goal is to introduce a drifting snow scheme (specific rules and formulation) and to propose some diagnostics in the French operational modelling for avalanche risk. In order to estimate the improvement of the avalanche risk assessment, different tests over around 10 winter seasons have been performed according to three ways :

1. A part of the work at the experimental site consists of observing regularly the snow depth along an horizontal profile of graduated poles on both slopes of the pass. We compare these measurements with the results of our tools Sytron which aims at simulating snow cover distribution during a snow fall with wind or after a wind-induced snow transport event.

¹ *Corresponding author address:*

Gilbert Guyomarc'h;
Météo-France/Centre d'Études de la Neige,
1441 rue de la Piscine, 38400 St-Martin d'Hères, FRANCE.
E-Mail: gilbert.guyomarch@meteo.fr

2. A comparison between periods of drifting snow calculated by the modelling with the observed drifting snow periods at our experimental site.
3. A comparison between the two operational modelling chains (integrating or not the drifting snow) in term of accidental avalanche risk estimation on 3 mountainous massifs of Isère department.

In this paper, we will show the results of these different comparisons which led to take the decision of running the operational modelling chain with its drifting snow scheme during the 2012-2013 winter season at the Grenoble meteorological centre which is responsible for the daily avalanche risk reports for Isère department.

KEYWORDS: : blowing snow modeling, in-situ measurements, operational forecast for avalanche hazard..

1 INTRODUCTION

Le déplacement éolien de la neige, pendant ou après une chute de neige, influence grandement la répartition de la neige au sol et, par conséquent, la stabilité du manteau neigeux (Guyomarc'h et al., 2009). Le Centre d'Etudes de la Neige (centre de recherche spécialisé de Météo-France) et l'unité de recherche Etna (Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches d'IRSTEA – anciennement CEMAGREF) ont associé leurs efforts depuis quelques années pour améliorer leurs connaissances sur le phénomène de transport de neige par le vent (TNV) et modéliser ses effets sur le manteau neigeux en zones alpines. De nombreuses mesures et observations ont été réalisées sur un site expérimental de haute altitude, le Col du Lac Blanc (Guyomarc'h et al., 2012). Ces expérimentations ont permis d'aboutir à des modélisations permettant la simulation du phénomène à différents niveaux : NEMO (Naaim Bouvet et al., 1998, 2010) pour l'échelle fine, Sytron 2 & 3 (Durand et al., 2004, 2005) pour prendre en compte la redistribution de la neige et son évolution à une maille de 45 m. Les premières modélisations (Sytron1) s'étaient focalisées sur la modélisation de l'occurrence du phénomène en utilisant le modèle Crocus d'évolution du manteau neigeux. Plus récemment, un schéma de transport de neige par le vent est pris en compte dans un modèle atmosphérique à méso-échelle pour simuler de manière explicite ce phénomène en environnement alpin (Vionnet et al., 2011).

Le travail présenté ici décrit les premiers tests et validations pour introduire les résultats de ces études dans la simulation numérique opérationnelle développée à Météo-France (Safran-Crocus-Meptra) de Prévision du Risque d'Avalanches (PRA).

2 DESCRIPTION DU SITE EXPERIMENTAL

Le site expérimental du Col du Lac Blanc est situé à 2700 m d'altitude, dans le massif des Grandes Rousses sur la commune d'Oz en Oisans, à proximité des pistes du domaine de l'Alpe d'Huez. Du fait de son altitude élevée et de son orientation prononcée nord-sud, c'est un lieu d'observation idéal pour les chutes de neige ventées ou les épisodes de transport de neige par le vent (Figure 1). Ce site peut être considéré comme une "soufflerie naturelle" et permet, en complément des données collectées automatiquement par les stations automatiques (vitesse et direction du vent, température de l'air, hauteur de neige, équivalent en eau des précipitations), d'effectuer régulièrement des relevés des épaisseurs de neige le long d'un profil horizontal de part et d'autre du col (Figures 2 et 3).

Par ailleurs, ces dernières années des campagnes de mesures intensives ont été organisées autour d'épisodes de TNV, avec ou sans précipitations. Ces observations se sont focalisées sur la mesure de profils verticaux de densité de la neige transportée près de la surface, des mesures fines de vent dans les premiers mètres au dessus de la neige et des relevés de la répartition du manteau neigeux (avant et après un épisode de TNV avec ou sans précipitations) par une technique basée sur l'utilisation d'un scanning laser des surfaces enneigées entourant notre site expérimental (Prokop, 2008). De plus, nous avons également testé des profils de SPC (Snow Particle Counters : compteurs de particules de neige) (Sato, 1993) en parallèle avec des mesures de flux (Naaim, et al., 2010).



Figure 1. Vue vers le sud-est du site expérimental.



Figure 2. Vue vers le nord du Col du Lac Blanc avec une partie du profil horizontal de perches, une des stations automatiques et le profil vertical de vent.

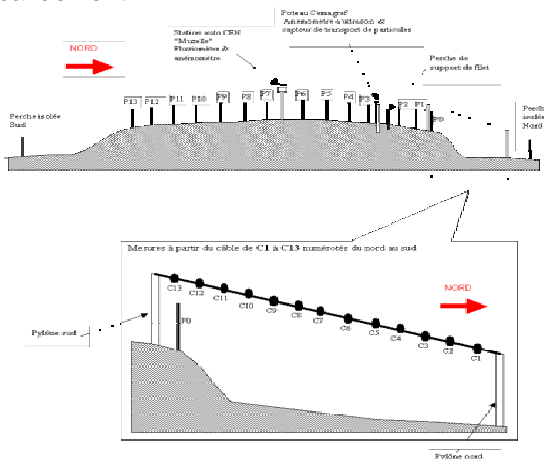


Figure 3. Profil des perches à neige utilisées de part et d'autre du site expérimental.

3 PRINCIPE DE L'INTEGRATION DU SCHEMA DE TRANSPORT EOLIEN DE NEIGE

Afin de prendre en compte le schéma de TNV dans la simulation numérique du risque d'avalanches (Safran-Crocus-Mepra - SCM), un module appelé Sytron1 a été développé, celui-ci effectue un diagnostic de l'occurrence de TNV en fonction du type de neige de surface et du

vent estimé : (Protéon, Guyomarc'h et Mérindol, 1998), il a ensuite été introduit suivant le principe de la figure 4 dans la chaîne opérationnelle. Ensuite, pour chaque niveau d'altitude (pas de 300m) simulé par Safran, chaque exposition et uniquement pour les pentes de 40°, une partie de la neige estimée « transportable » est érodée sur le versant au vent et partiellement re-déposée sur le ou les versants opposés en fonction de la direction du vent spécifique calculé par Safran (Figure 5). De plus, durant ce transfert, Sytron modifie la morphologie des grains, leur densité et prend en compte la sublimation d'une partie de la neige érodée. Cette nouvelle chaîne a été baptisée Safran-Sytron-Crocus-Mepra (SSCM) (Guyomarc'h et al., 2009).

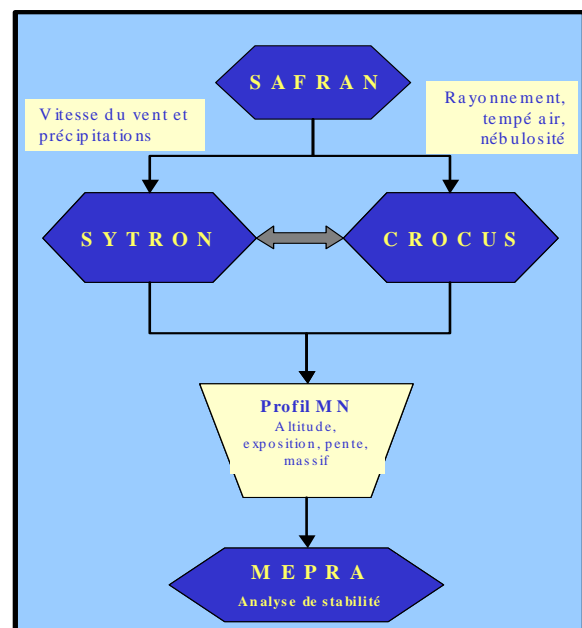


Figure 4. Ce schéma représente l'articulation des différents modules de la modélisation numérique de la PRA intégrant le transport de neige par le vent.

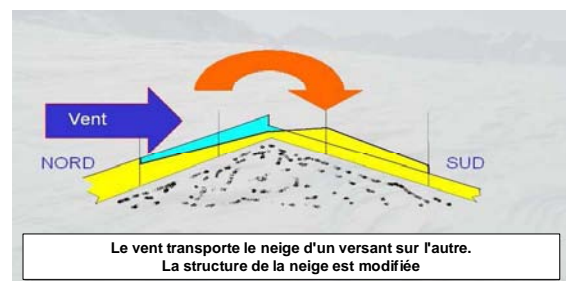


Figure 5. Ce schéma explicite le principe de fonctionnement de Sytron1 : paramétrisation des effets du TNV à l'échelle du massif.

4 COMPARAISON DES SIMULATIONS SYTRON1 ET LES PROFILS DE PERCHES

Les simulations de Sytron1 produisent des nouveaux profils de neige. Une première vérification réalisée consiste à comparer ces épaisseurs de neige simulées sur le massif des Grandes Rousses (2700 m, nord et sud), avec et sans le schéma de TNV, aux relevés des perches à neige effectués tout au long de l'année sur le site expérimental. Ce profil relevé régulièrement s'étend du nord au sud du site expérimental. Ces comparaisons sont illustrées par les graphiques de la figure 6 sur lesquels, pour chaque saison, une courbe représente les épaisseurs de neige simulées par SCM et SSCM pour les profils nord et sud, et les valeurs des perches regroupées représentatives du nord et du sud. Ces graphiques ont montré que les simulations SSCM étaient dans la grande majorité des cas plus proches des observations du site expérimental que celles faites par SCM.

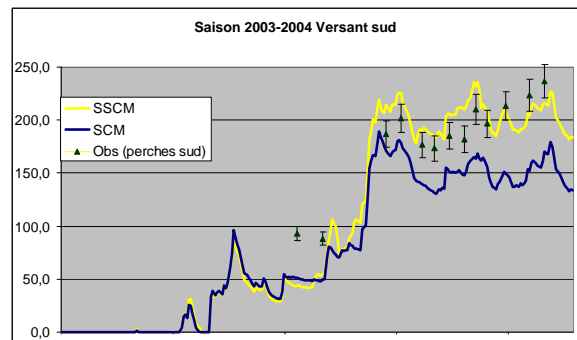
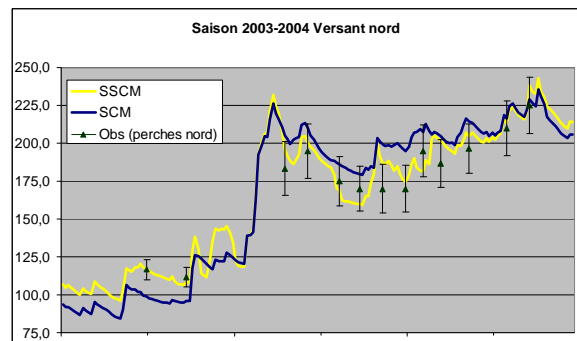
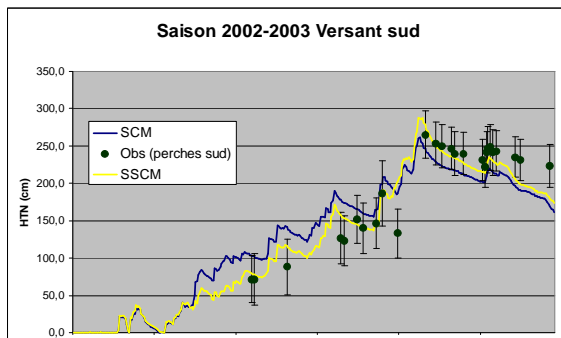
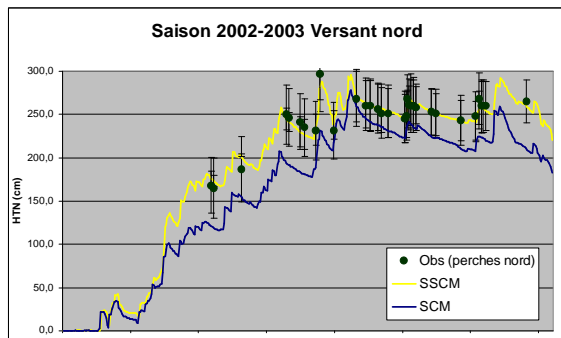


Figure 6. Exemples de courbes des hauteurs de neige pour les saisons 2002-2003 et 2003-2003 modélisées avec schéma de TNV (SSCM) et sans (SCM) sur le site du Lac Blanc (Grandes Rousses, 2700 m, nord et sud). Les données sont comparées aux mesures des perches.

5 COMPARAISON DES OCCURENCES D'EPISODES DE TNV SIMULES ET OBSERVES

A partir des observations terrain, des mesures enregistrées (variation des hauteurs de neige, pluviomètres, mesures de vent, ...), d'une interprétation « experte » éventuellement confirmée par les données de la caméra du site (permettant souvent, de jour, de discriminer les événements avec ou sans précipitations), nous avons constitué une base de données des événements de transport de neige par le vent sur 10 ans de 2001-2002 à 2010-2011 (Vionnet et al, 2013). Nous avons fait la différence entre les périodes de chutes de neige ventée et de transport de neige sans précipitation et retenu des critères identiques de sélection, tels que une durée au moins égale à 5 h et lors de précipitations, une précipitation dont l'équivalent en eau est supérieur à 5 mm et un vent recalculé à 5 m (en effet, la hauteur du capteur dépend de la hauteur de neige au sol) supérieur à 6 m/s. La figure 7 montre les événements répertoriés selon ces mêmes critères au Col du Lac Blanc sur 11 ans.

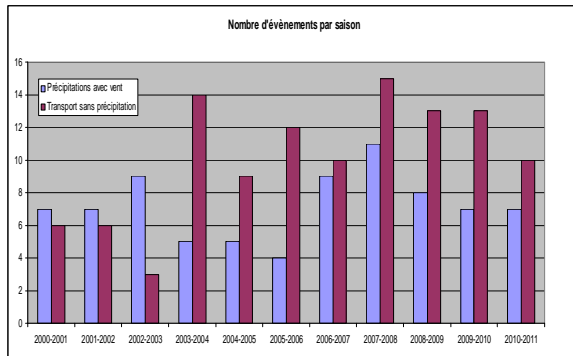


Figure 7. Nombre d'événements de TNV au Col du Lac Blanc sur 10 ans.

Une comparaison a ensuite été faite sur neuf années avec les occurrences déduites des simulations SSCM sur le massif des Grandes Rousses à 2700 m d'altitude par pas de 24h. La figure 8 montre un tableau de contingence de cette comparaison. Le taux de réussite (bonnes prévisions) est égal à 0.89, et l'indice de Rousseau (prenant en compte la fréquence de chaque classe : TNV/nonTNV) est de 0.44. Ce résultat est plutôt satisfaisant compte tenu de la particularité du site expérimental où les vents sont canalisés et la situation météorologique très marquée. Néanmoins, le taux de « fausse alerte » (prévu/non observé) et de « mauvaise prévision » (observé/non prévu) est encore trop important.

saisons 2002-2010		Observations CLB	
		Nobs	obs
Estimations Sytron V2	Nprévu	1117	91
	Prévu	51	72

Figure 8. Le tableau de contingence compare les observations d'occurrences de TNV au Col du Lac Blanc avec les estimations effectuées par SSCM jour par jour.

6 COMPARAISON DES CHAINES AVEC OU SANS SCHEMA DE TNV

Il est très difficile de réaliser une réelle validation de la chaîne opérationnelle incluant le transport de neige par le vent. Les difficultés sont liées au choix de sites « représentatifs » d'une altitude, d'une exposition et d'un massif, nous avons décidé d'effectuer une comparaison exhaustive entre les résultats des chaînes avec (SSCM) ou sans schéma de TNV (SCM : chaîne opérationnelle) sur les 5 massifs de l'Isère (Chartreuse, Vercors, Belledonne, Grandes Rousses et Oisans). Cette analyse sur 10 ans est basée sur l'indice d'activité avalancheuse spontanée (naturelle), un indice d'activité ava-

lancheuse provoquée (accidentelle) et l'examen détaillé des situations pour lesquelles l'écart entre les deux chaînes est important.

Pour ce qui concerne le risque naturel, les différences moyennes des indices (SSCM et SCM) calculées sur les cinq massifs de l'Isère sont faibles (Figure 9).

Massifs	Chartreuse	Vercors	Belledonne	Grandes Rousses	Oisans
différence indmep nat.	0,01	0,06	0,11	0,05	0,08

Différence indmep nat.	Chartreuse	Vercors	Belledonne	Grandes Rousses	Oisans
0 < d < 1	342	442	674	658	656
1 < d < 2	67	65	53	40	43
2 < d < 3	10	9	6	4	5
d > 3	1	1	1	1	0

Figure 9 : différence (valeur absolue) des indices Mepra (SCM et SSCM) pour le risque naturel sur les cinq massifs de l'Isère (tableau du haut) et table de contingence des différences entre les deux indices (tableau du bas).

Un indice de déclenchement accidentel composite est calculé en prenant la valeur maximum sur les 4 expositions principales de l'indice accidentel Mepra pour la tranche d'altitude 1800 – 3000 m et une pente de 40°. Cet indice varie de 0 à 1 (à titre d'exemple, pour Belledonne, l'indice moyen sur 10 ans est de 0,34). L'indice Mepra est calculé pour chaque niveau d'altitude, de pente et d'exposition en affectant un poids sur une échelle à 4 niveaux (très faible et faible : poids 0, modéré : poids 0.5 et fort : poids 1). Le graphique de la figure 10 illustre pour une saison (2005-2006) l'évolution de l'indice d'activité avalancheuse accidentelle pour les deux chaînes. Cette saison a présenté le plus grand nombre d'avalanches accidentelles sur cette période.

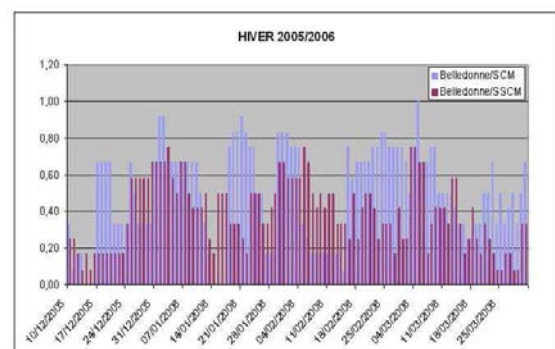


Figure 10. Comparaison pour le massif de Belledonne (saison 2005-2006) des deux indices (SCM et SSCM) d'activité avalancheuse accidentelle.

Pour le risque accidentel, le tableau du haut de la figure 11 présente un comparatif des indices pour le massif de Belledonne. La moyenne est légèrement supérieure pour la chaîne inté-

grant le schéma de TNV sur les 10 années. Le tableau du bas montre la répartition des valeurs absolues des écarts entre les indices SSCM et SCM.

	Belledonne (SCM)	Belledonne (SSCM)
moyenne	0,34	0,37
max	1	1
sigma	0,24	0,22
cas non nuls	2425	2711
pour 2005-2005		
moyenne	0,53	0,51

Ecart : valabs(SCM-SSCM)	Belledonne
0 < écart < 0,1	1953
0,1 <= écart < 0,2	183
0,2 <= écart < 0,3	35
0,3 <= écart < 0,4	36
0,4 <= écart < 0,5	16
0,5 <= écart < 0,6	9
0,6 <= écart < 0,7	6
0,7 <= écart < 0,8	0
0,8 <= écart < 0,9	0
0,9 <= écart < 1	0

Figure 11. Comparaison des indices accidentels pour Belledonne.

L'examen des cas particuliers (différences entre les indices SSCM et SCM très importantes) fait apparaître peu de situations :

- Pour le risque naturel (4 cas de différences supérieure à 3), il s'agit surtout de situations de descente de risque pour lesquelles l'indice SSCM est supérieur à SCM, à l'inverse, dans une situation, c'est SSCM qui est plus proche du risque du bulletin nivologique (BRA). D'autres cas de différences entre 2 et 3 sont liées à des périodes de précipitations ventées et de variations de la limite pluie-neige.
- Pour le risque accidentel, les différences importantes s'expliquent souvent par des vitesses de vent simulées très différentes de celles mesurées. Mais on peut constater que la prise en compte du TNV amène un meilleur comportement lors de la formation des plaques et une meilleure précision sur la localisation du risque accidentel, mais ce risque évolue très peu ensuite et se trouve alors supérieur à la chaîne de référence (SCM).

Une analyse plus poussée des cas particuliers apportera probablement une meilleure compréhension de la prise en compte du schéma de TNV dans la chaîne opérationnelle de PRA, les effets induits étant parfois complexes

lorsque l'on s'intéresse à la production finale du risque de déclenchements d'avalanches.

7 CONCLUSIONS, PERSPECTIVES

Ces travaux préliminaires ont montré un intérêt pour l'introduction d'un schéma de transport dans la chaîne opérationnelle de prévision du risque d'avalanches en France. La comparaison avec les événements observés au Col du Lac Blanc et ceux prévus par la chaîne SSCM aux mêmes altitudes et expositions montre sur neuf années une bonne adéquation. Pour l'analyse systématique sur les massifs de l'Isère, le risque de déclenchement naturel est globalement équivalent dans les deux cas, toutefois l'analyse intégrant le TNV (SSCM) est plus en phase avec le bulletin de risque d'avalanches, sauf dans les cas ponctuels de descente de risque, et pour le risque de déclenchement accidentel, on note une amélioration globale, mais une difficulté pour faire évoluer rapidement la structure du manteau neigeux.

À la suite de ces tests, il a donc été décidé de proposer en opérationnel ces deux chaînes en parallèle sur trois massifs de l'Isère (Oisans, Belledonne et Grandes Rousses) en demandant l'implication des prévisionnistes avalanches départementaux. Ce test a été réalisé durant la saison 2012-2013, le bilan de cette expérimentation fait l'objet d'une présentation lors de l'ISSW 2013 (Goetz et al, 2013).

8 REFERENCES

- Durand, Y., Guyomarc'h, G., Mérindol, L. and Corripio G., J., 2004: Two-dimensional numerical modeling of surface wind velocity and associated snowdrift effects over complex mountainous topography. *Annals of Glaciology*, 38, 59-70.
- Durand, Y., Guyomarc'h, G., Mérindol, L. and Corripio G., J., 2005: Improvement of a numerical snow drift model and field validation. *Cold Region Science and Technology*, 43, 93-103.
- Goetz, G., Latu, V., Guyomarc'h, G., Durand, Y., Giraud, G., Willemet, J.-M., 2013: Integration of a drifting snow scheme in the French operational modelling for avalanche risk forecasting: evaluation by avalanche forecasters, proceedings of ISSW 2013. International Snow Science Workshop, 7-11 oct 2013, Grenoble (FR).
- Guyomarc'h, G and Mérindol, L., 1998: Validation of an application for forecasting blowing snow. *Annals of Glaciology*, 26, 138-143.

- Guyomarc'h, G., Durand, Y. and Giraud, G., 2009: Integration of the snowdrift modeling into the French operational chain for avalanche hazard forecasting, proceedings of ISSW 2009. International Snow Science Workshop, 25 sept. – 2 oct 2009, Davos (CH).
- Naaim M., Naaim-Bouvet F., Martinez H., 1998. Numerical simulation of drifting snow: erosion and deposition models. *Annals of Glaciology*. **26** 191-196
- Naaim-Bouvet, F., Bellot, H., Naaim, M., 2010. Back analysis of drifting snow measurements over an instrumented mountainous site. *Ann. Glaciol.* 51 (54), 207-217.
- Prokop A., 2008. Assessing the applicability of terrestrial laser scanning for spatial snow depth measurements. *Cold Regions Science and Technology* 54, 155-163.
- Sato, T., Kimura, T., Ishimaru, T., Maruyama, T., 1993. Field test of a new snow-particle counter (spc) system. *Ann. Glaciol.* 18, 149-154.
- Vionnet V., E. Martin, V. Masson, E. Brun, Y. Durand, G. Guyomarc'h et C. Lac ; 2011, Simulations of snow-drift events in an alpine terrain In Proc. of the IUGG General Assembly 2011, Melbourne, July 2011.
- Vionnet V., G. Guyomarc'h, F. Naaim Bouvet, E. Martin, Y. Durand, C. Bel, H. Bellot, and P. Pugliese; 2013, Occurrence of blowing snow events at an alpine site over a 10-year period : observations and modeling, *Adv. Water Res.* 55 (2013) 53-63.