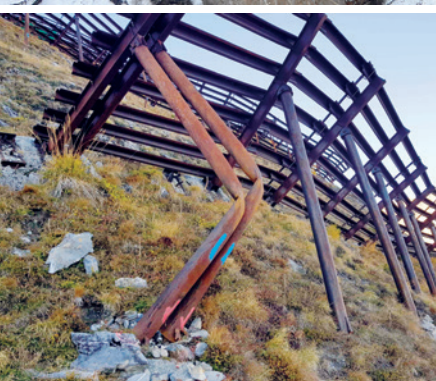
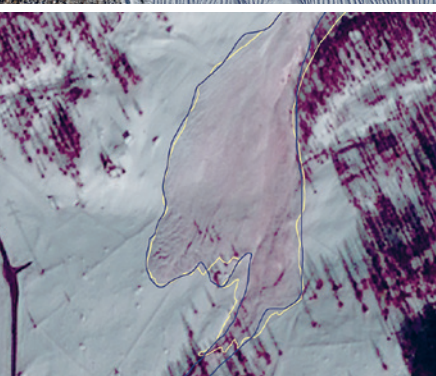




Heft 80, 2019

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Analyse des événements de la situation avalan- cheuse de janvier 2018

Michael Bründl
Elisabeth Hafner
Peter Bebi
Yves Bühler
Stefan Margreth
Christoph Marty
Mark Schaer
Lukas Stoffel
Frank Techel
Kurt Winkler
Benjamin Zweifel
Jürg Schweizer



SLF

WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos



Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL
CH-8903 Birmensdorf

Heft 80, 2019

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Analyse des événements de la situation avalan- cheuse de janvier 2018

Michael Bründl
Elisabeth Hafner
Peter Bebi
Yves Bühler
Stefan Margreth
Christoph Marty
Mark Schaer
Lukas Stoffel
Frank Techel
Kurt Winkler
Benjamin Zweifel
Jürg Schweizer

Éditeur

WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL,
Birmensdorf

Responsable de la série de publications
Prof. Dr Konrad Steffen, Directeur du WSL

Responsable de ce cahier
Dr Jürg Schweizer, Directeur du SLF

Autrices et auteurs
Bründl, M.; Hafner, E.; Bebi, P.; Bühler, Y.; Margreth, S.; Marty, C.; Schaer, M.; Stoffel, L.; Techel, F.; Winkler, K.; Zweifel, B.; Schweizer, J.

Donneur d'ordre
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Responsable de la rédaction
Sandra Gurzeler, responsable équipe publications, WSL

Secrétaires de rédaction
Pierre Huguenin, SLF; Christine Huovinen, WSL

Mise en page
Jacqueline Annen, WSL

Citation
BRÜNDL, M.; HAFNER, E.; BEBI, P.; BÜHLER, Y.; MARGRETH, S.; MARTY, C.; SCHAER, M.; STOFFEL, L.; TECHEL, F.; WINKLER, K.; ZWEIFEL, B.; SCHWEIZER, J., 2019: Analyse des événements de la situation avalancheuse de janvier 2018. WSL Berichte, 80. 162 p.

ISSN 2296-3448 (imprimé)
ISSN 2296-3456 (en ligne)

Téléchargement en format PDF: <https://www.wsl.ch/fr/publicationsrecherche/rapports-du-wsl.html>

Traduction: TTN Translation Network, Genève, Suisse

Groupe d'accompagnement et revue
Commission d'experts en avalanches et en chutes de pierres (CEAC): Reto Baumann (président), Niels Haehlen, Marc Hauser, Rolf Kaufmann, Andrea Predazzini, Urban Rieder, Pascal Stoebener, Christian Wilhelm

Photos de couverture:

1. Domaine skiable de Samnaun (GR), décrochement impressionnant suite à un minage, photo: G. Darms.
2. Décrochement dans l'ouvrage paravalanche d'Urseren, Brienz (BE), photo: U. Ryter.
3. Avalanche de neige mouillée près de Goppenstein (VS), photo: S. Margreth.
4. Comparaison de la cartographie d'avalanches par données satellitaires et par Monoplotting, © Airbus DS 2018.
5. Putzloiwna près d'Eisten, vallée de Saas (VS), photo: P. Stoebener.
6. Piliers périphériques pliés sur les ouvrages «Dickru» de La Loutze, Leytron (VS), photo: Nivalp SA.

Recherche pour les êtres humains et l'environnement: l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL surveille et étudie la forêt, le paysage, la biodiversité, les dangers naturels ainsi que la neige et la glace. Centre de recherches de la Confédération, il appartient au domaine des EPF. Le WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF fait partie du WSL depuis 1989.

© Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL
Birmensdorf, 2019

Préambule

Sécheresse marquée pendant l'été, plus de 18 000 avalanches en hiver, est-ce que les situations «extrêmes» sont désormais «normales»? MétéoSuisse caractérise l'année 2018 par «une chaleur et un manque persistant de pluie»: elle a été en effet l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1864. La sécheresse de cet été, particulièrement extrême en Suisse orientale, fait presque oublier que l'hiver 2017/18 a été très enneigé en montagne. Les quantités de précipitations ont été en général largement au-dessus de la normale et même, dans certaines parties du Valais et des Grisons, parfois deux fois supérieures à la moyenne. Les importantes quantités de neige dans de nombreuses régions des Alpes ont provoqué une situation avalancheuse exceptionnelle qui ne s'était plus produite depuis l'hiver avalancheux de 1999. Il était logique d'étudier ces événements et de vérifier si les mesures prises après 1999 ont porté leurs fruits. En d'autres termes: examen réussi?

Le danger d'avalanches a atteint son apogée entre le 21 et le 23 janvier 2018. Pendant une journée et demie, il a été évalué comme «très fort», le plus haut degré de danger. Au même moment, les premiers contacts ont été pris avec SwissTopo pour une documentation aérienne des événements. Dès le 24 janvier, le satellite Spot 6 a effectué des prises de vue de tout l'espace alpin concerné. Pour la première fois, une situation avalancheuse exceptionnelle a donc pu être complètement documentée grâce à l'utilisation de la télédétection. Les prises de vue ont constitué une base essentielle pour la présente analyse des événements, que le SLF n'a pu élaborer sous cette forme détaillée qu'avec le soutien de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). La collaboration avec la Confédération, les cantons et de nombreuses parties prenantes, notamment les services des avalanches des vallées les plus touchées, ont permis une description complète de ces événements extraordinaires. Celle-ci a constitué à son tour une base pour les contrôles d'efficacité. Les enseignements tirés de l'hiver avalancheux de 1999 ont-ils été pris en compte, et si oui, quelle en a été l'efficacité? L'analyse des événements par le SLF «L'hiver avalancheux de 1999» et la brochure BUWAL «Apprivoiser le risque d'avalanches – les leçons de l'hiver avalancheux» avaient indiqué en 26 points les actions essentielles nécessaires pour éliminer les points faibles constatés en 1999 et pour continuer d'optimiser la protection contre les avalanches face aux défis futurs.

La présente analyse des événements le montre: la situation avalancheuse de janvier 2018 a représenté pour toutes les personnes concernées un défi majeur, bien maîtrisé en règle générale. Les mesures prises après 1999 ont fait leurs preuves. Même si la situation de janvier 2018 n'a pas été aussi extrême que celle de février 1999, la protection intégrale contre les avalanches a réussi son examen de passage. Les dommages ont été comparativement faibles, et on n'a pas eu à déplorer de victimes dans les localités ou sur les voies de communication, ce qui ne fut pas le cas lors des hivers avalancheux importants du XX^e siècle. Le nombre de personnes ayant péri dans des bâtiments ou sur des routes diminue notablement depuis le milieu du siècle dernier. Une situation avalancheuse exceptionnelle avec le degré de danger «très fort» n'est plus obligatoirement une situation catastrophique. C'est le résultat très clair des efforts importants consentis dans la protection intégrale contre les avalanches en Suisse. Ce bilan positif ne perdurera cependant que si les mesures de construction, de planification et d'organisation sont systématiquement maintenues, avec de nouveaux développements bien adaptés.

L'analyse des événements 2017/18 prend sa place dans la série des études antérieures. L'objectif concret a toujours été d'aller au-delà d'une simple documentation des événements et de tirer les enseignements qui permettront d'être préparés au mieux aux futurs défis. Le réchauffement climatique en fait partie, et son impact sur la cryosphère, c'est-à-dire la neige et la glace, est particulièrement marqué en haute montagne. On observera beaucoup moins de neige non seulement à basse altitude, mais aussi aux altitudes moyennes. Est-ce que moins de neige signifie également moins d'avalanches? Il est impossible aujourd'hui de répondre de façon définitive à cette question. Selon les scénarios climatiques actuels, les quantités et les intensités de précipitations devraient légèrement augmenter en hiver. Il sera donc tout à fait possible d'observer encore à l'avenir de grosses chutes de neige qui conduisent à des situations avalancheuses exceptionnelles. L'extension des grandes avalanches vers les vallées, et donc les menaces pour les populations et infrastructures dépendront avant tout de la température pendant les chutes de neige. En janvier 2018, la température a été

variable et plutôt douce, et il a plu à plusieurs reprises aux altitudes moyennes, alors qu'en janvier 2019, il a fait nettement plus froid pour une situation de chutes de neige équivalente. Le type d'écoulement a donc été différent: avalanches mouillées dans les zones de dépôt en 2018, avalanches de poudreuse en 2019. Il est cependant trop tôt en l'état actuel des connaissances pour entreprendre des modifications de la gestion des risques.

Les signataires remercient toutes les personnes impliquées directement ou indirectement dans l'analyse de la situation avalancheuse de janvier 2018 pour le travail effectué.

Dr. Jürg Schweizer
Directeur du SLF
WSL Institut pour l'étude
de la neige et des avalanches SLF

Josef Eberli
Directeur de la division Prévention
des dangers à l'Office fédéral
de l'environnement (OFEV)

Table des matières

Préambule	3
1 Introduction	9
2 Situation météorologique et nivologique	11
2.1 Météorologie	11
2.1.1 Évolution météorologique avant l'épisode avalancheux	11
2.1.2 Situation météorologique	14
2.1.3 Température	14
2.1.4 Précipitations et vent	15
2.1.4.1 Précipitations et vent du 15 au 19 janvier 2018	15
2.1.4.2 Précipitations et vent du 21 au 23 janvier 2018	21
2.3.4.3 Comparaison avec février 1999	35
2.2 Evolution des hauteurs de neige	38
2.2.1 Hauteur de neige le 15 janvier 2018	38
2.2.2 Hauteur de neige le 23 janvier 2018	48
2.2.3 Comparaison avec février 1999	46
2.2.4 Charge de neige pendant l'hiver 2017/18	46
2.3 Structure du manteau neigeux	49
2.3.1 Structure du manteau neigeux avant l'épisode avalancheux	49
2.3.2 Structure du manteau neigeux pendant l'épisode avalancheux	49
2.3.3 Comparaison avec février 1999	52
2.4 Bulletin d'avalanches et activité avalancheuse du 15 au 20 janvier 2018	53
2.4.1 Situation de départ le 15 janvier 2018	53
2.4.2 16 au 20 janvier 2018	53
2.5 Bulletin d'avalanche du 21 au 23 janvier 2018	53
2.6 Activité avalancheuse du 21 au 23 janvier 2018	57
2.6.1 Plus gros épisode avalancheux depuis 1999	57
2.6.2 Evolution temporelle	57
2.6.3 Activité avalancheuse tirée des images satellitaires SPOT 6	60
2.6.3.1 Images satellitaires et cartographie des avalanches	60
2.6.3.2 Analyse de l'activité avalancheuse	65
2.6.3.3 Résultats et conclusions	72
2.7 Contrôle des degrés de danger prévus	72
3 Dommages et voies de communication interrompues	75
3.1 Avalanches ayant provoqué des accidents de personnes	75
3.2 Avalanches avec dommages aux biens ou actions de recherches	75
3.2.1 Répartition spatiale et temporelle	75
3.2.2 Comparaison avec l'hiver avalancheux de 1999	75
3.2.3 Dommages aux bâtiments provoqués par les avalanches et la pression de la neige	77
3.2.4 Dommages aux voies de communication	78
3.2.4.1 Routes	78
3.2.4.2 Dommages aux lignes de chemin de fer	78
3.2.5 Dommages aux lignes électriques	79
3.2.6 Dommages sur des remontées mécaniques	79
3.2.7 Dommages aux forêts et aux champs	80
3.3 Sélection d'avalanches ayant provoqué des dommages	82
3.3.1 Andermatt, gare du col de l'Oberalp	82
3.3.2 Andermatt, vallée de l'Oberalp	84
3.3.3 Zernez, Val da Barcli	85
3.3.4 Trun, Alp Cavistrau	87

3.3.5	Vallée de Tourtemagne	89
3.3.6	Saas Fee	98
3.3.7	Route Sils-Maloja	99
3.3.8	Davos, Dischma	101
3.3.9	Oberried am Brienzersee	103
3.3.10	Samnaun Laret et Compatsch	104
4	Mise en œuvre et maintien de la protection intégrale contre les avalanches	109
4.1	Mesures constructives	109
4.1.1	Ouvrages de retenue	109
4.1.1.1	Situation nivologique pour les ouvrages de retenue	109
4.1.1.2	Efficacité des ouvrages de retenue	111
4.1.1.3	Dommages dans les ouvrages de retenue	112
4.1.2	Ouvrages de protection contre les congères	116
4.1.3	Digues pare-avalanches	119
4.1.4	Galeries d'avalanches	120
4.1.5	Barrières contre les chutes de pierres	121
4.2	Mesures d'aménagement du territoire	122
4.3	Cartes de dangers d'avalanches	123
4.3.1	Activité avalancheuse et mesures	124
4.3.1.1	Toutes les régions sauf vallées de la Viège et Lötschental, ainsi que Basse-Engadine et Samnaun	124
4.3.1.2	Vallées de la Viège et Lötschental	128
4.3.1.3	Basse-Engadine et Samnaun	132
4.3.1.4	Remarques sur la levée des mesures	133
4.3.1.5	Synthèse des autres avalanches mentionnées	134
4.3.2	Bases pour le travail des services d'avalanches	134
4.3.2.1	Bulletin d'avalanches	134
4.3.2.2	Données des stations automatiques et observations propres	135
4.3.2.3	Préinformation / Préalertes et prévisions météorologiques	135
4.3.2.4	GIN, IFKIS-EVAL et IFKIS-MIS	135
4.3.3	Organisation des services de prévision d'avalanches	136
4.3.3.1	Modifications dans l'organisation en comparaison avec 1999	136
4.3.3.2	Remarques concernant la formation	137
4.3.4	Exécution de fermetures et d'évacuations	138
4.3.4.1	Fermetures et cas spécifique des bâtiments isolés le long des routes	138
4.3.4.2	Évacuations, consignations à domiciles, moyens	139
4.3.4.3	Avalanches sur les voies de communication ouvertes et dans les localités habitées	139
4.3.5	Déclenchement artificiel des avalanches	140
4.3.5.1	Installations fixes pour le déclenchement artificiel	140
4.3.5.2	Minages depuis un hélicoptère	140
4.3.5.3	Information de la population sur les actions de sécurisation prévues	140
4.3.5.4	Actions de sécurisation effectuées, et avalanches déclenchées	141
4.3.6	Systèmes d'alarme et de détection	144
4.3.6.1	Systèmes d'alarme dans les parcours d'avalanches	144
4.3.6.2	Systèmes d'alarme sur le versant opposé	144
4.3.6.3	Systèmes de détection d'avalanches	145
4.3.7	Neige glissante	146
4.4	Forêt de protection	146

5	Contrôle d'efficacité	151
6	Résultats et actions requises	155
6.1	Résultats	155
6.2	Contexte juridique et financements	157
6.3	Actions nécessaires	157
7	Littérature	161

1 Introduction

Après les chutes de neige exceptionnelles de janvier 2018, les nombreux départs d'avalanches ayant justifié, pour la première fois depuis deux décennies, l'alerte au plus haut degré de danger d'avalanches pour de grandes régions des Alpes suisses, le WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF a été chargé par l'Office fédéral de l'environnement OFEV de rédiger une analyse des événements de janvier 2018, afin de vérifier notamment si les efforts pour une protection intégrale contre les avalanches ont fait leurs preuves, et si des actions sont encore nécessaires sur certains points.

Après l'hiver avalancheux de 1999, une analyse complète des événements «L'hiver avalancheux de 1999» (SLF 2000) et une brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (BUWAL 1999) ont été élaborées. L'analyse des événements a présenté le déroulement des phénomènes avalancheux catastrophiques, indiqué les dommages survenus, et évalué l'efficacité des mesures prises à court et à long terme, ainsi que les besoins d'actions nécessaires. La brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» présente sous une approche journalistique les enseignements principaux et les actions essentielles nécessaires.

Suite à la publication de ces deux documents, le projet le plus important engagé a été le «Système intercantonal de préalerte et d'information en cas de crises IFKIS», ayant pour objectif de construire un concept de formation et un cahier des charges pour les services d'avalanches, ainsi qu'un système d'informations permettant d'améliorer la communication entre le SLF et les services d'avalanches d'une part, et entre les services d'avalanches d'autre part. C'est ainsi que dès l'hiver 2000, les premiers cours de base «Neige et avalanches» se sont déroulés sur l'Engstligenalp dans l'Oberland bernois, ont été depuis proposés chaque année sous forme de cours de base ou avancé pour les niveaux A et B, en alternance en allemand, français et italien, et ont été suivis par plus de 1000 praticiens depuis cette date. Le système d'informations IFKIS représente pour les responsables locaux de la sécurité un instrument où la plupart des renseignements nécessaires pour l'évaluation du danger d'avalanches local et régional sont disponibles. Depuis 2010, la plate-forme commune d'information GIN a complété cette offre, pour la remplacer complètement depuis 2017.

Aujourd'hui, une vingtaine d'années après l'hiver avalancheux de 1999, les institutions actives dans la protection intégrale contre les avalanches s'interrogent sur la façon dont les mesures mises en place ont fait leurs preuves. Ce rapport documente et analyse donc, comme pour l'analyse des événements de 1999, le déroulement des événements, les dommages observés et les mesures prises. Les améliorations constatées depuis 1999 sont évaluées et les actions nécessaires le cas échéant sont identifiées. Nous nous concentrons sur la période du 15 au 23 janvier 2018 et ne citons le reste de l'hiver que lorsque cela devient nécessaire pour une bonne compréhension.

L'analyse rigoureuse de la gestion des événements extrêmes, et la déduction des mesures permettant d'améliorer cette gestion représentent une longue tradition en Suisse, et pas seulement pour les phénomènes avalancheux. Ainsi une documentation des événements a été rassemblée déjà après les grands départs d'avalanches de 1887/88, et surtout après l'hiver avalancheux 1950/51. Les mesures mises en œuvre à partir des enseignements de plusieurs décennies ont mené la Suisse à une gestion du danger d'avalanches, distinguée en novembre 2018 par son entrée dans le Patrimoine immatériel de l'humanité de l'UNESCO. Dans la lignée de cette tradition, nous espérons que ce rapport, qui complète le rapport annuel de l'hiver rédigé par le WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, aidera également à conserver, voire à encore améliorer le niveau élevé de gestion du danger d'avalanches.

2 Situation météorologique et nivologique

Entre le 21 et le 23 janvier 2018 s'est produit dans les Alpes suisses l'épisode avalancheux de trois jours le plus intense depuis l'hiver avalancheux de 1999. Depuis le 15 janvier, les chutes de neige avaient été continues, et à la fin, particulièrement intenses. À cette occasion, des records de hauteurs de neige en altitude pour cette période de l'année ont été battus à plusieurs reprises. Un vent d'ouest fort à tempétueux persistant, et une remontée de la limite pluie-neige à 2000 m ont induit en de nombreuses régions un degré de danger d'avalanches «très fort» (degré 5). De nombreuses grandes avalanches (taille 4) et par endroits également très grandes (taille 5) se sont déclenchées. Elles ont entraîné de nombreux dommages matériels. Dans les localités et sur les voies de communication ouvertes, aucune victime n'a été déplorée.

2.1 Météorologie

2.1.1 Évolution météorologique avant l'épisode avalancheux

La neige est tombée dès le début de l'hiver, et à partir du 6 novembre 2017, l'ensemble des Alpes suisses était enneigé. Après les chutes de neige successives de novembre et décembre, les hauteurs de neige étaient supérieures à la moyenne en altitude à fin décembre. Après des chutes de neige d'environ 50 cm en toutes régions dès le 30/31 décembre 2017, un mètre de neige supplémentaire est venu se déposer dans les quatre premiers jours de la nouvelle année dans le Valais et dans le nord, et tout particulièrement à l'ouest. La limite pluie-neige a fortement oscillé et elle est remontée plusieurs fois jusqu'à environ 2000 m d'altitude. Après une courte pause, il est tombé entre le 5 et le 9 janvier encore 1,5 à 2 m de neige dans les vallées supérieures de la Viège et dans la région du Simplon. Les jours suivants ont vu se développer des éclaircies.

Versant nord des Alpes

L'évolution des hauteurs de neige est illustrée par la station comparative de Hasliberg (Fig. 1), qui est une des stations les plus élevées du versant nord des Alpes possédant de longues séries de mesures, à 1825 m. Même à cette altitude, la station a enregistré plusieurs fois de la pluie, notamment en janvier.

Lors des premières chutes de neige du 6 novembre, la hauteur de neige a atteint immédiatement des valeurs supérieures à la moyenne. Des chutes de neige répétées ont fait s'épaissir le manteau neigeux jusqu'à un maximum le 17 décembre. Ce n'est que le 19 janvier que cette valeur a été dépassée, notamment parce qu'une grande partie des précipitations du 1^{er} au 4 janvier était tombée sous forme de pluie. Le 22 janvier également, il est tombé par moments de la pluie, de telle sorte que malgré les précipitations intenses, la hauteur de neige n'a que peu augmenté. Le manteau neigeux déjà plusieurs fois arrosé par la pluie ne s'est tassé que légèrement par la suite, par ailleurs il n'y a pas eu de fortes chutes de neige ensuite pendant une longue période. Ce n'est qu'autour de Pâques que des précipitations intenses ont conduit à un maximum de hauteur de neige de 3 m, correspondant exactement à la valeur la plus élevée jamais enregistrée un 1^{er} avril.

Aux stations IMIS situées encore plus haut, et qui ont enregistré toutes les précipitations sous forme de neige, les hauteurs de neige ont été encore plus importantes, et parfois des records journaliers de neige fraîche ont été mesurés. On notera cependant que leurs séries de mesures sont inférieures à 30 ans.

¹ Ce rapport utilise les désignations de tailles d'avalanches valables pour l'hiver 2017/18: taille 1: coulée ou très petite avalanche; taille 2: petite; taille 3: moyenne; taille 4: grande; taille 5: très grande (WSL-SLF 2017). Ces désignations ont été modifiées dans toute l'Europe pour l'hiver 2018/19, ainsi: taille 1: petite; taille 2: moyenne; taille 3: grande; taille 4: très grande et taille 5: extrêmement grande.

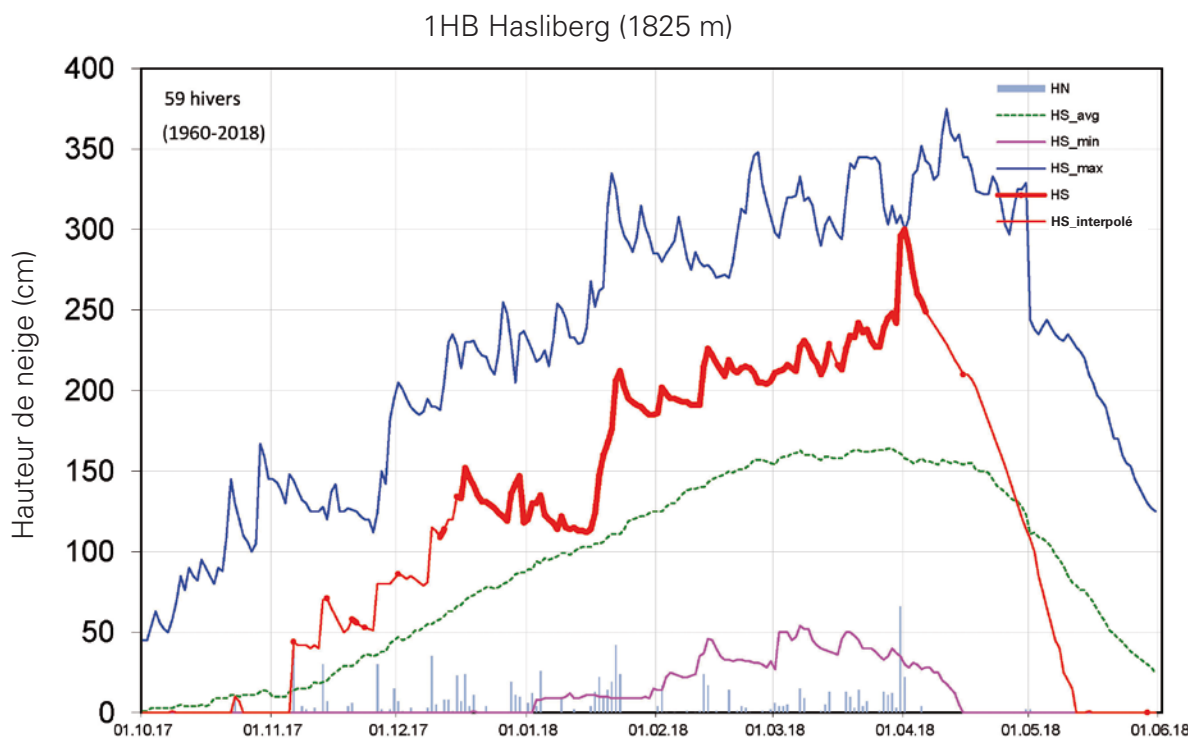


Fig. 1: Courbes de hauteur de neige à la Station 1HB, Hasliberg, BE, 1825 m, (n=59 hivers). Sont représentées les hauteurs de neige (rouge, gras: mesurée, HS; rouge, fin: HS_interpolé), la neige fraîche (colonnes grises, HN), les hauteurs de neige maximales à long terme (bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales à long terme (violet, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes à long terme (vert, HS_avg).

Nord et centre des Grisons, Basse-Engadine

La répartition des hauteurs de neige est illustrée par la station comparative du Weissfluhjoch, 2536 m (Fig. 2). Après un début d'hiver dans les normales, la hauteur de neige à la station comparative du Weissfluhjoch a fortement augmenté avec les grosses chutes de neige de mi-décembre, du 30 décembre au 4 janvier et du 15 au 23 janvier. La hauteur maximale de neige de l'hiver a été atteinte le 23 janvier. Pour 14 jours au total, soit le 5 janvier, et du 21 au 29 janvier ainsi que du 2 au 5 février, on a enregistré les hauteurs de neige maximales pour les jours calendaires correspondants. Il a toutefois manqué 53 cm pour atteindre la hauteur maximale jamais enregistrée.

Valais

L'évolution de la hauteur de neige dans le Valais est illustrée par la station de mesure Kühboden (Fiesch, VS), 2210 m (Fig. 3). Après les premières neiges du 6 novembre, les hauteurs de neige sont restées dans la normale, et pendant un certain temps supérieures à la normale après les précipitations du 8 au 11 décembre. Dans le Bas-Valais, et particulièrement dans sa partie la plus occidentale, les chutes de neige du début de l'hiver ont été plus abondantes et les hauteurs de neige nettement au-dessus de la normale. Avec les nouvelles chutes de neige du 28 décembre au 4 janvier, du 9 janvier puis du 15 au 23 janvier, les hauteurs de neige sont passées largement au-dessus de la normale également dans le nord du Valais. Le maximum de hauteur de neige de l'hiver a été atteint à la station de Kühboden dès le 23 janvier, avec 274 cm. Kühboden a été l'une des quelques stations auxquelles on a mesuré le maximum absolu, cependant pour une durée de mesure de seulement 30 ans.

Vallées supérieures de la Viège

Les vallées supérieures de la Viège ont reçu de fortes précipitations non seulement par situations d'ouest et de nord-ouest, mais aussi lors des flux de sud-est des 8 et 9 janvier et au début du mois de mai. L'hiver 2017/18 y a donc été exceptionnellement enneigé. Ceci est illustré de manière exemplaire par l'évolution des hauteurs de neige à la station comparative à long terme de Saas-Fee (Fig. 4), même

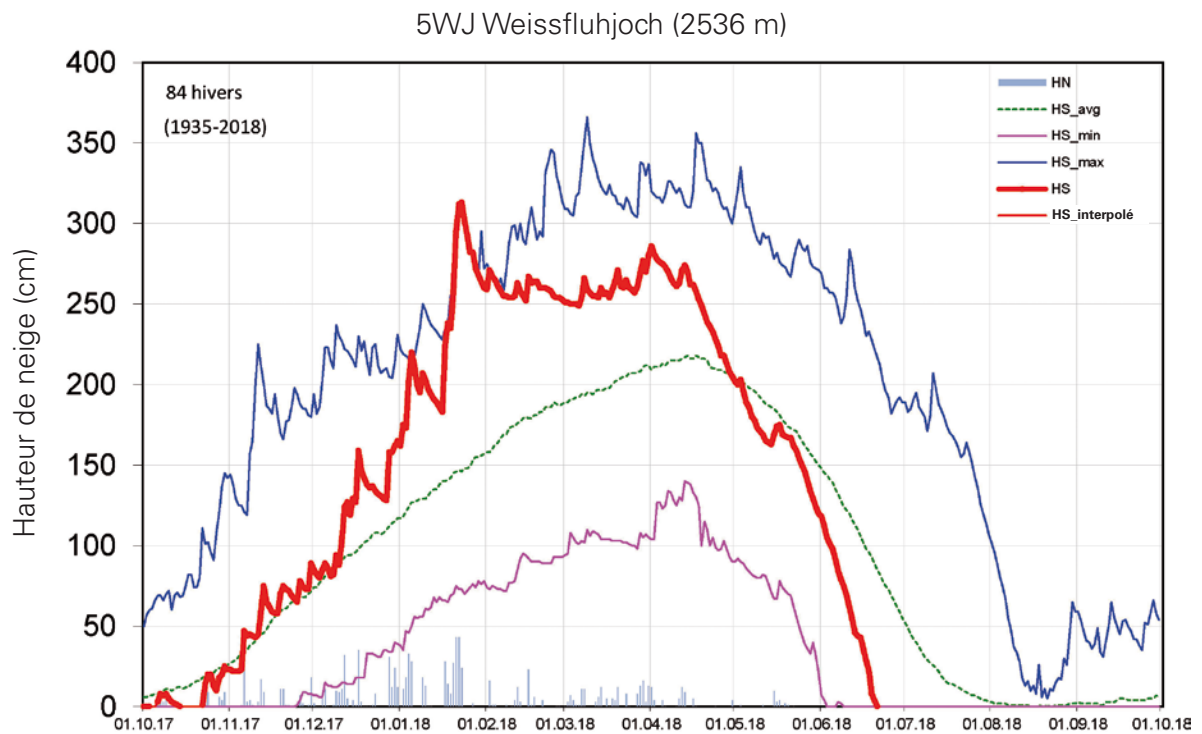


Fig. 2: Courbe de hauteur de neige à la station 5WJ, Weissfluhjoch, 2536 m, (n=84 ans). Sont représentées la hauteur de neige (rouge, gras: mesurée, HS; rouge, fin: HS_interpolé), la neige fraîche (colonnes grises, HN), les hauteurs de neige maximales à long terme (bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales à long terme (violet, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes à long terme (vert, HS_avg).

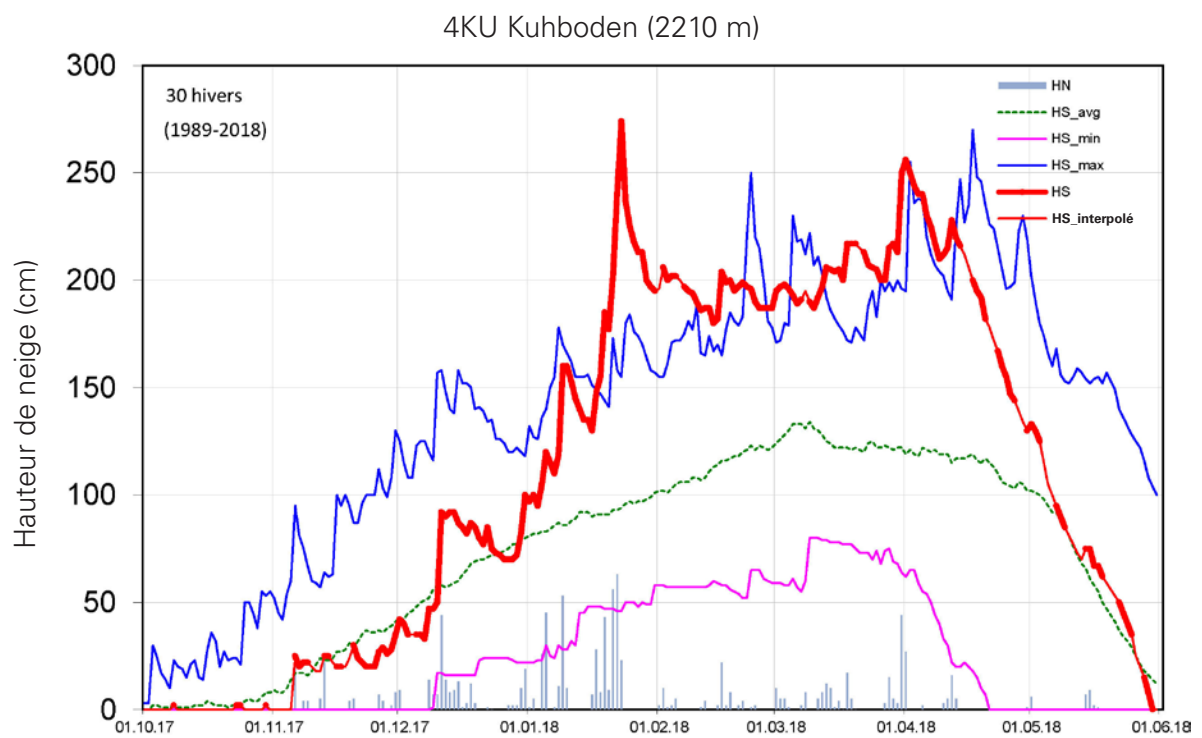


Fig. 3: Courbe de hauteur de neige à la station 4KU, Kühboden, 2210 m (n=30 hivers). Sont représentées la hauteur de neige (rouge, gras: mesurée, HS; rouge, fin: HS_interpolé), la neige fraîche (colonnes grises, HN), les hauteurs de neige maximales à long terme (bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales à long terme (violet, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes à long terme (vert, HS_avg).

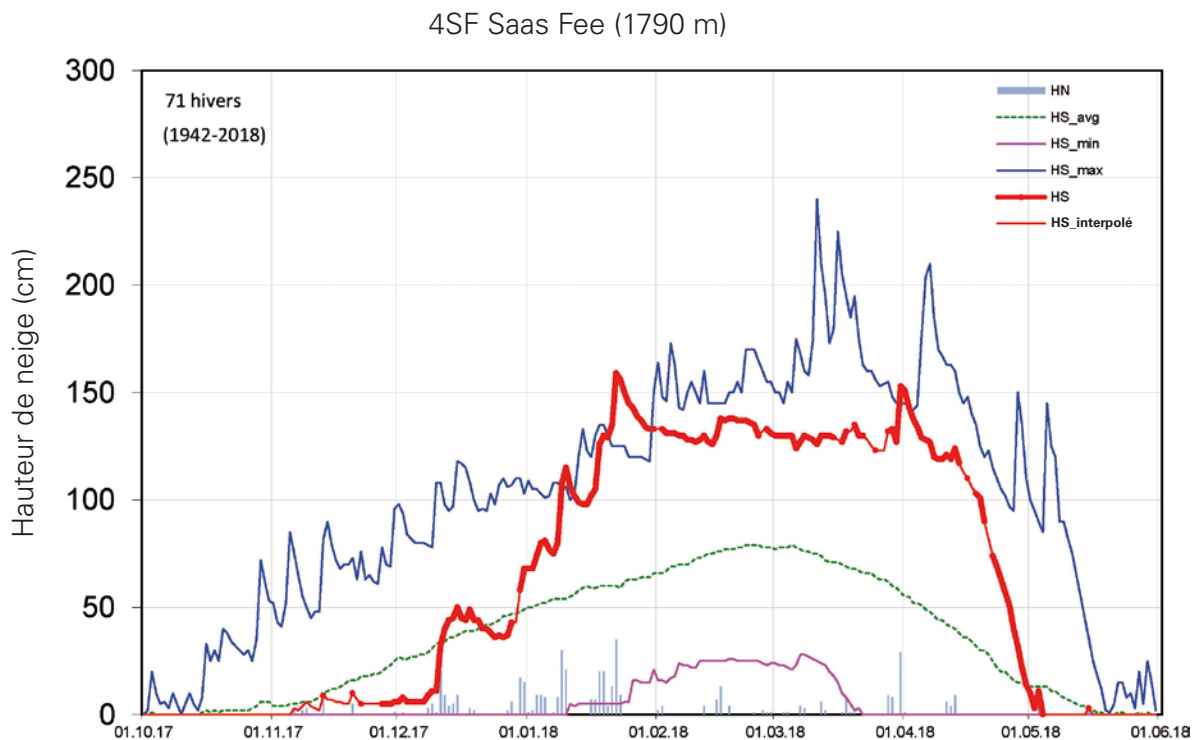


Fig. 4: Courbe de hauteur de neige à la station 4SF, Saas-Fee, VS, 1790 m, n=71 ans. Sont représentées les hauteurs de neige (rouge, gras: mesurée, HS ; rouge, fin: HS_interpolé), la neige fraîche (colonnes grises, HN), les hauteurs de neige maximales normales (bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales normales (violet, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes normales (vert, HS_avg).

si à cette altitude une partie des précipitations est tombée sous forme de pluie, et si les quantités de neige à des altitudes plus élevées sont encore nettement plus importantes.

Après les premières neiges du 6 novembre, les quantités de neige sont restées tout d'abord faibles. Le véritable hiver n'est arrivé que mi-décembre. À partir du 28 décembre, plusieurs grosses chutes de neige ont fait augmenter fortement les hauteurs de neige jusqu'au maximum du 22 janvier. Dès les chutes de neige intenses du 9 janvier, les hauteurs maximales de neige ont été mesurées pendant une courte période pour les jours calendaires correspondants, et à partir du 21 janvier pour une période plus longue.

2.1.2 Situation météorologique

Pendant toute la période du 15 au 23 janvier, les vents ont soufflé en altitude d'ouest à nord-ouest. Selon la classification de Hess et Brezowsky (GERSTENGARBE *et al.* 1999), les situations météorologiques suivantes ont été identifiées sur la base du flux à 500 hPa, à chaque fois à 0 heure:

16 janvier	Situation d'ouest indifférenciée (n° 17)
17 janvier	Situation de nord-ouest cyclonique (n° 3)
18 janvier	Situation d'ouest anticyclonique (n° 9)
19 janvier	Situation d'ouest cyclonique (n° 1)
20 janvier	Situation de nord-ouest indifférenciée (n° 19)
21 janvier	Situation de nord-ouest cyclonique (n° 3)
22 janvier	Situation de nord-ouest indifférenciée (n° 19)

2.1.3 Température

La température, et donc également la limite pluie-neige, ont varié souvent et fortement pendant les précipitations (Fig. 5). Pendant une longue période, la limite pluie-neige est restée aux alentours de

1500 m. Entre-temps, elle est descendue le 17 janvier, les 19 et 20 janvier et encore une fois brièvement le 21 janvier jusqu'à basse altitude. Vers la fin de l'épisode de précipitations, l'après-midi du 22 janvier, elle est remontée à 1800 ou 2000 m, voire localement encore plus haut.

Au total, janvier 2018 a été le plus chaud depuis le début des mesures de MétéoSuisse en 1864. Ce sont les températures exceptionnellement douces à basse altitude qui ont été déterminantes. Dès le début janvier, il a plu au nord, et le 22 janvier dans toutes les régions jusqu'à 2000 m d'altitude. C'est pourquoi on n'observait que peu de neige en dessous d'environ 1300 m. Au moment de l'activité avalancheuse la plus importante les 22 et 23 janvier, la neige de surface était humide en dessous d'environ 2000 m.

2.1.4 Précipitations et vent

Avec un vent d'ouest fort à tempétueux permanent d'ouest à nord-ouest, les précipitations ont été persistantes entre la soirée du 15 et la matinée du 23 janvier (Fig. 6 à 10, Fig. 15, Fig. 17). Ce n'est qu'à partir du 20 janvier qu'a débuté un épisode sec prolongé.

2.1.4.1 Précipitations et vent du 15 au 19 janvier 2018

Dans la nuit du 15 au 16 janvier, il est tombé dans le Valais, la région du Gothard ainsi que sur le centre et l'est du versant nord des Alpes environ 10 cm de neige. Pendant les quatre jours suivants, il est tombé surtout sur la crête nord des Alpes et dans le Valais quotidiennement de 20 à 40 cm de neige, les quantités de neige fraîche étant variables localement en raison du caractère d'averses des précipitations (Fig. 6 à 10). Dans le sud et en Engadine, les quantités de neige fraîche ont été nettement moins importantes. La limite pluie-neige a oscillé entre les fonds de vallée et 1600 m d'altitude. (Fig. 5).

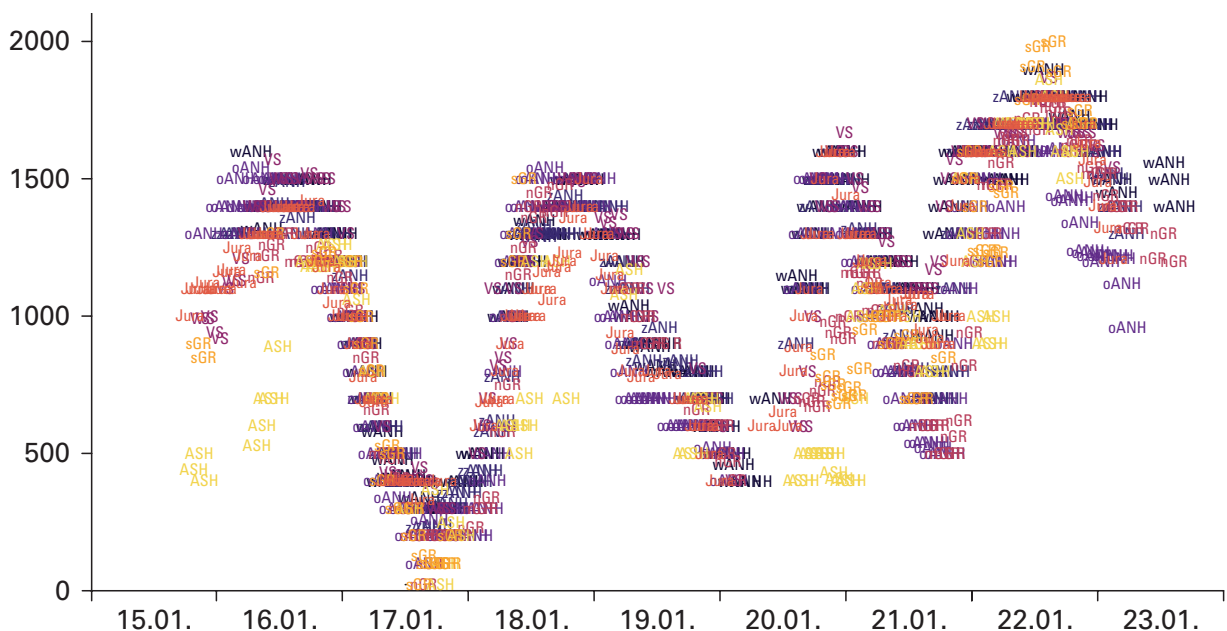
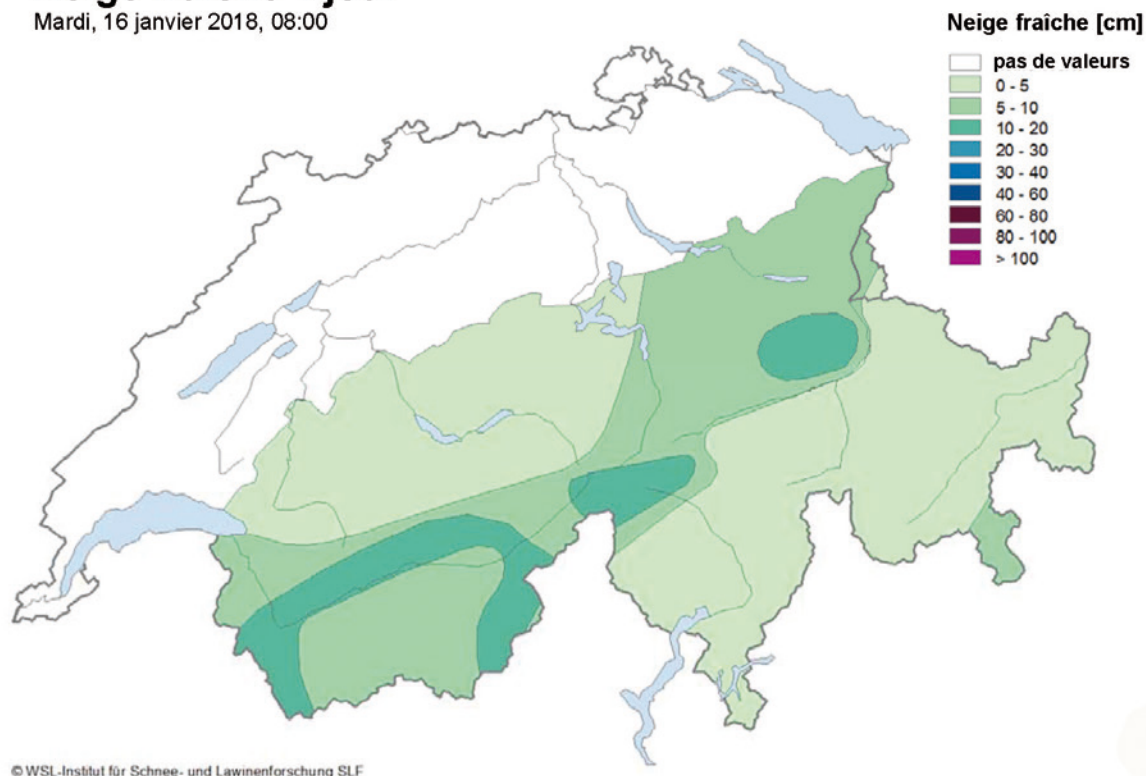


Fig. 5: Limite pluie-neige pendant l'épisode de précipitations du 15 au 23 janvier 2018. Le calcul a permis de déterminer la limite pluie-neige en utilisant la température du thermomètre mouillé des différentes stations IMIS et de quelques stations SwissMetNet, et en prenant pour seuil la température de +1,3°C et un gradient vertical de 0,6°C pour 100 mètres. Pour chaque pas de temps, le quantile 90 % est représenté pour chaque région climatique. Les textes en couleur s'appliquent aux régions climatiques suivantes: wANH=ouest du versant nord des Alpes, zANH=centre du versant nord des Alpes, oANH=est du versant nord des Alpes, VS=Valais, nGR=nord et centre des Grisons, ASH=centre du versant sud des Alpes, sGR=Engadine et vallées adjacentes du sud, Jura.

Neige fraîche 1 jour

Mardi, 16 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Lundi, 15 janvier 2018, 20:00

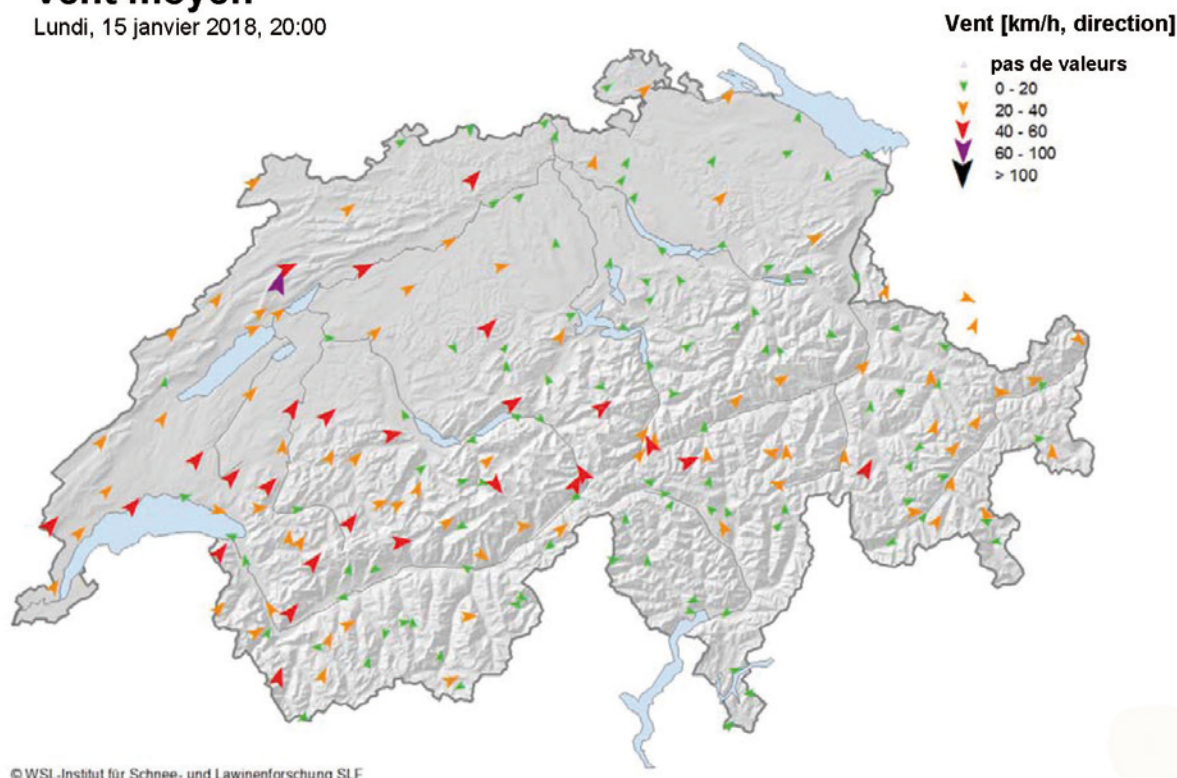
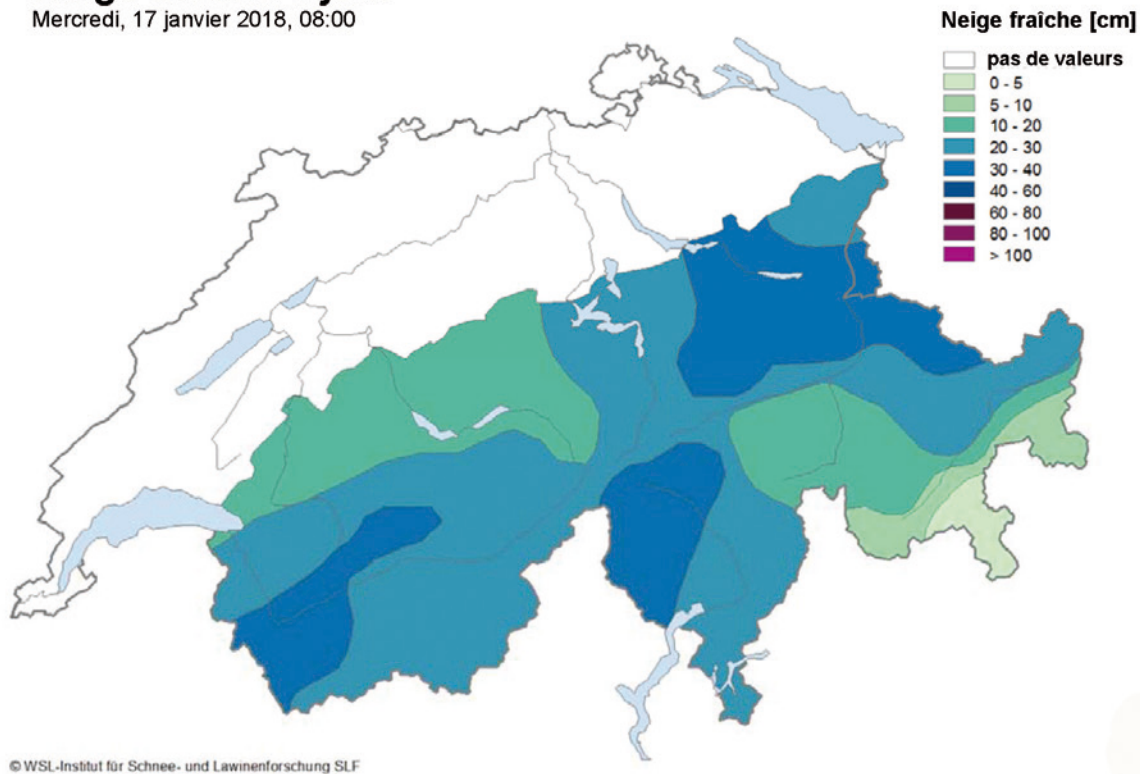


Fig. 6: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le mardi 16 janvier 2018. En bas, la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le lundi 15 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 1 jour

Mercredi, 17 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Mardi, 16 janvier 2018, 20:00

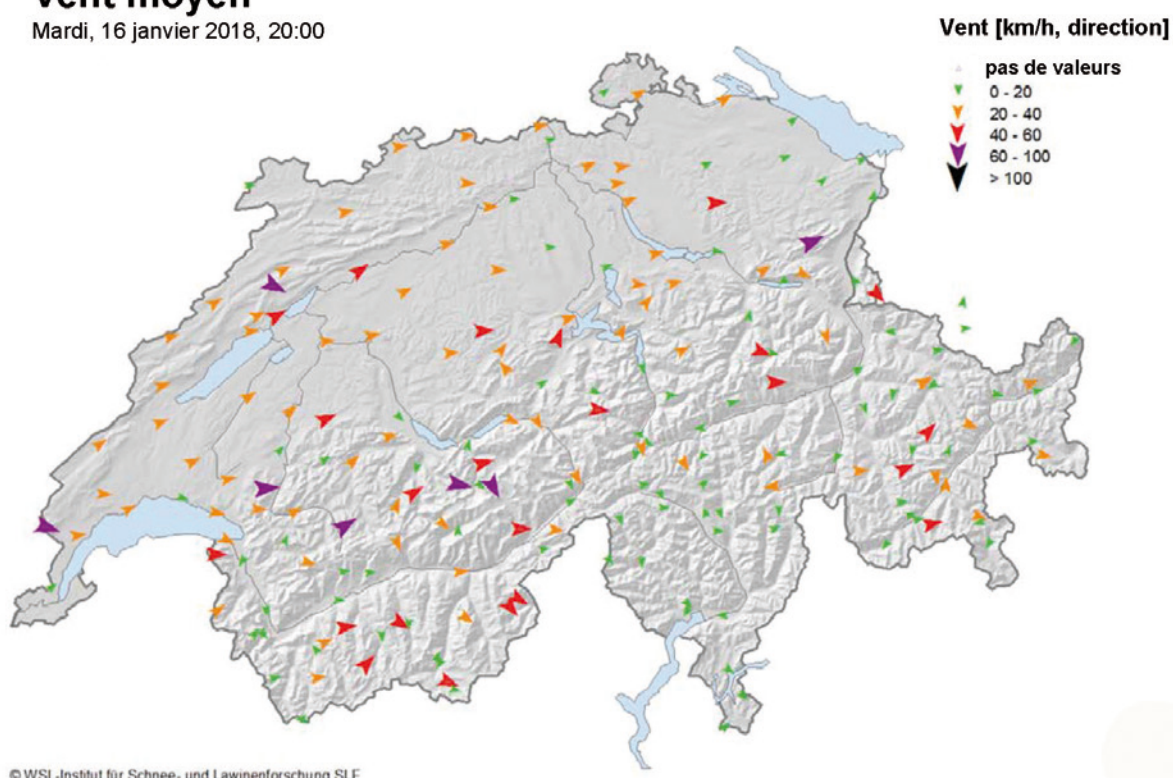


Fig. 7: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le mercredi 17 janvier 2018. En bas, la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le mardi 16 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 1 jour

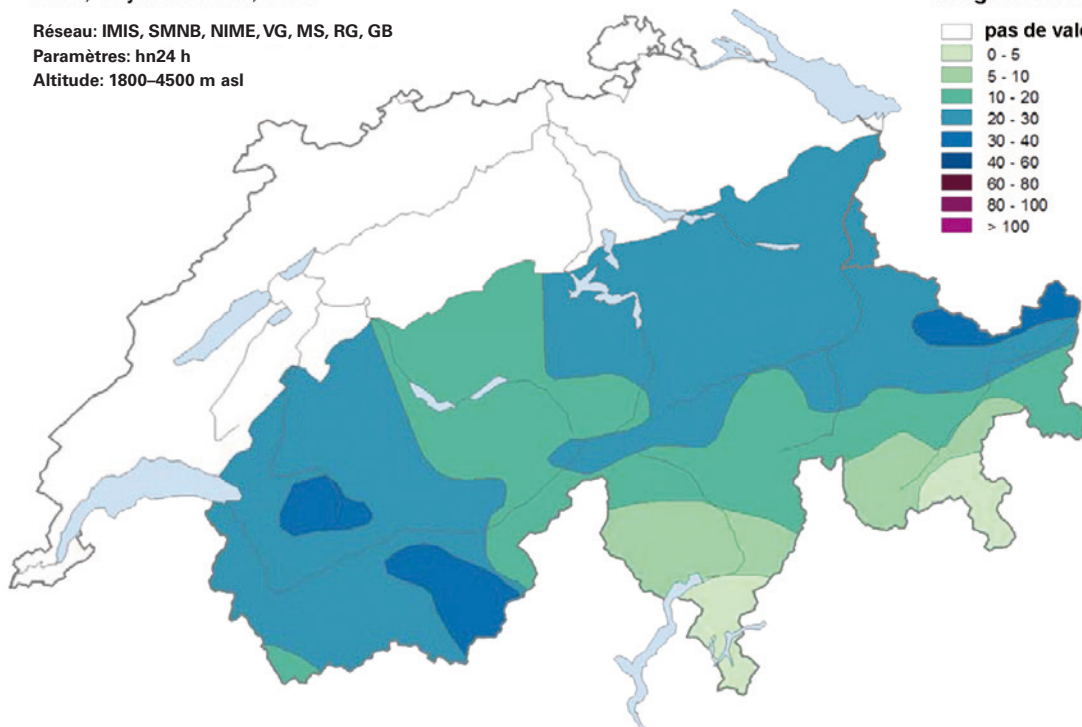
Jeudi, 18 janvier 2018, 08:00

Réseau: IMIS, SMNB, NIME, VG, MS, RG, GB

Paramètres: hn24 h

Altitude: 1800–4500 m asl

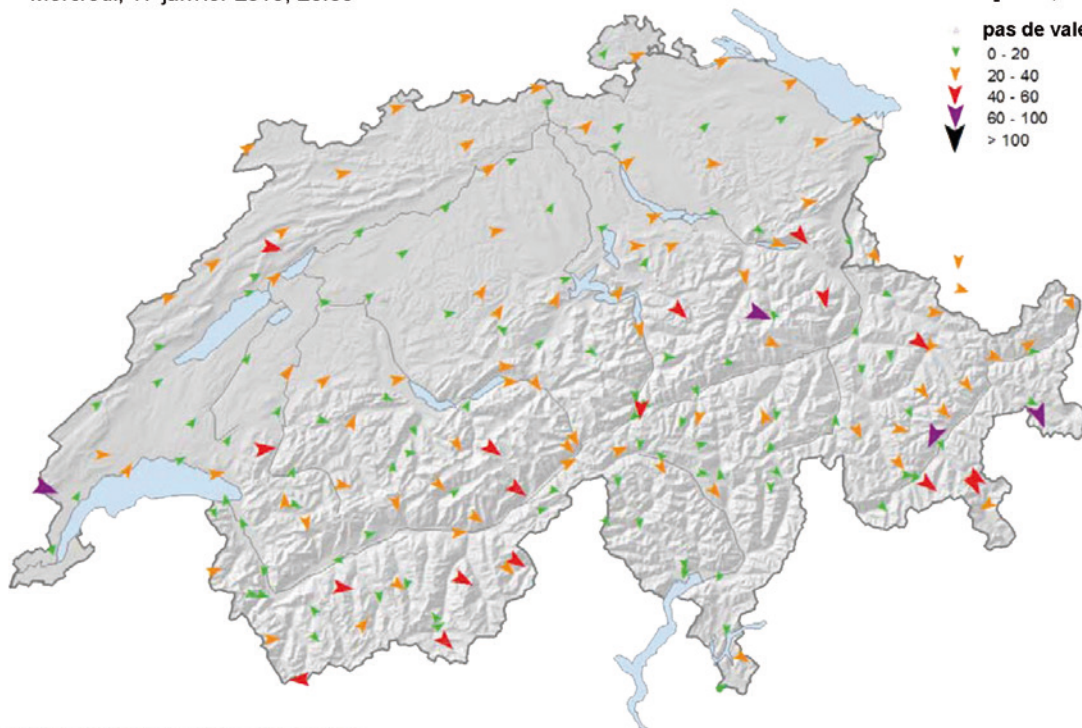
Neige fraîche [cm]



Vent moyen

Mercredi, 17 janvier 2018, 20:00

Vent [km/h, direction]



© WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Fig. 8: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le jeudi 18 janvier 2018. En bas, la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire mercredi 17 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

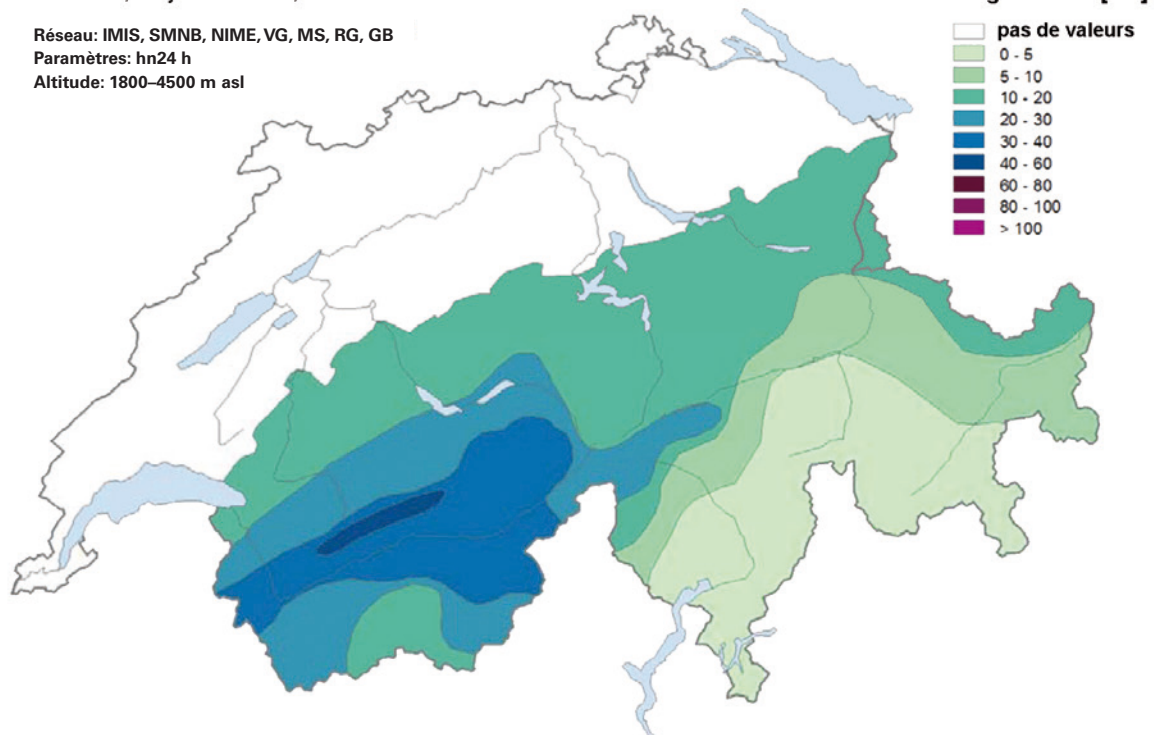
Neige fraîche 1 jour

Vendredi, 19 janvier 2018, 08:00

Réseau: IMIS, SMNB, NIME, VG, MS, RG, GB

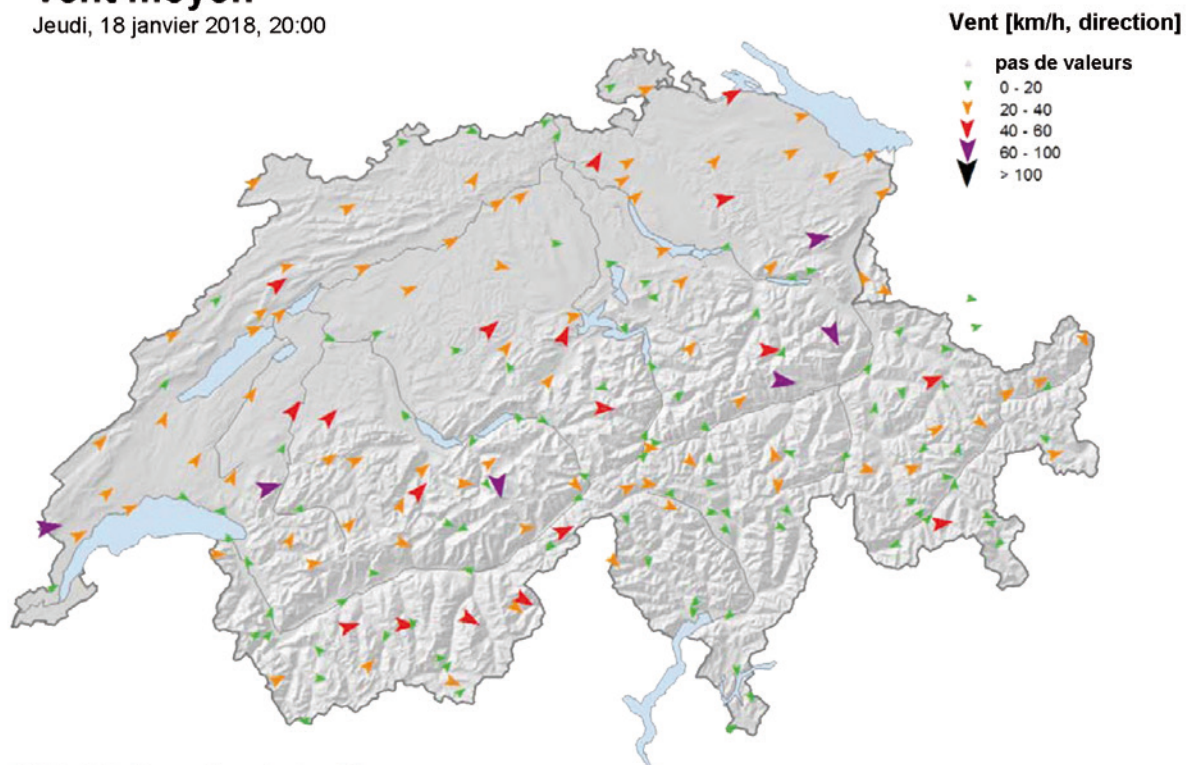
Paramètres: hn24 h

Altitude: 1800–4500 m asl



Vent moyen

Jeu, 18 janvier 2018, 20:00

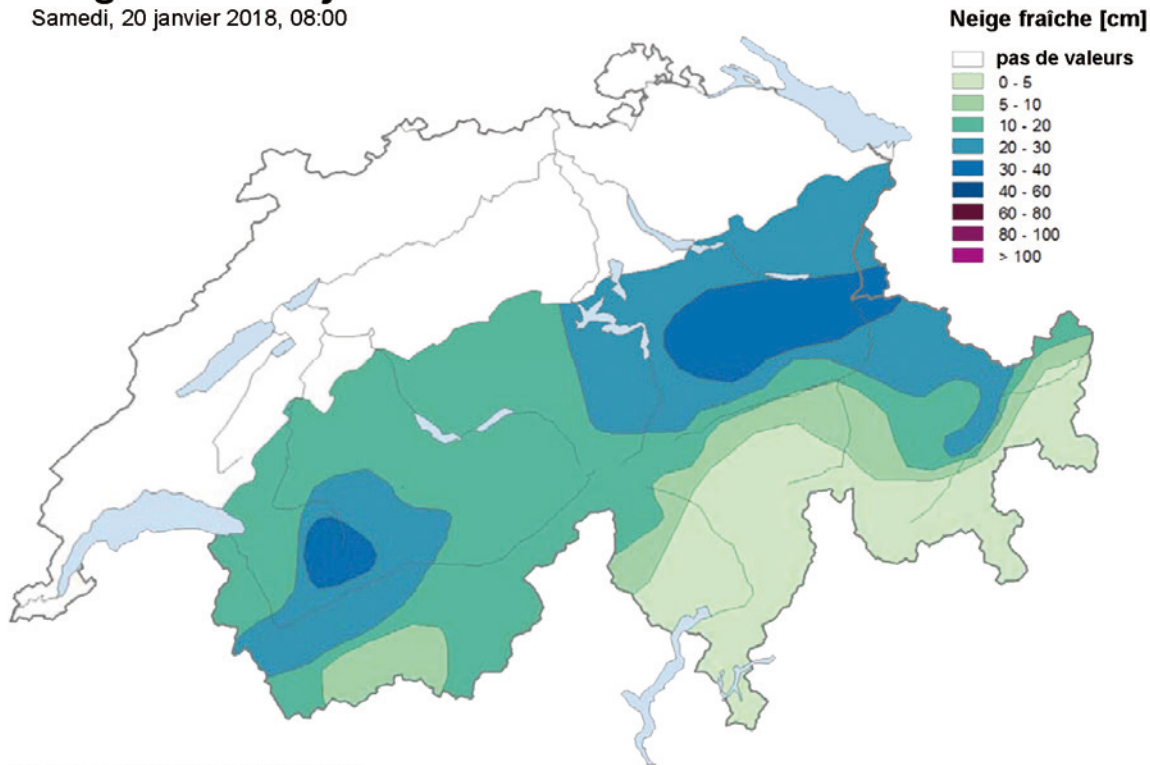


© WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Fig. 9: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le vendredi 19 janvier 2018. En bas, la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le jeudi 18 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 1 jour

Samedi, 20 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Vendredi, 19 janvier 2018, 20:00

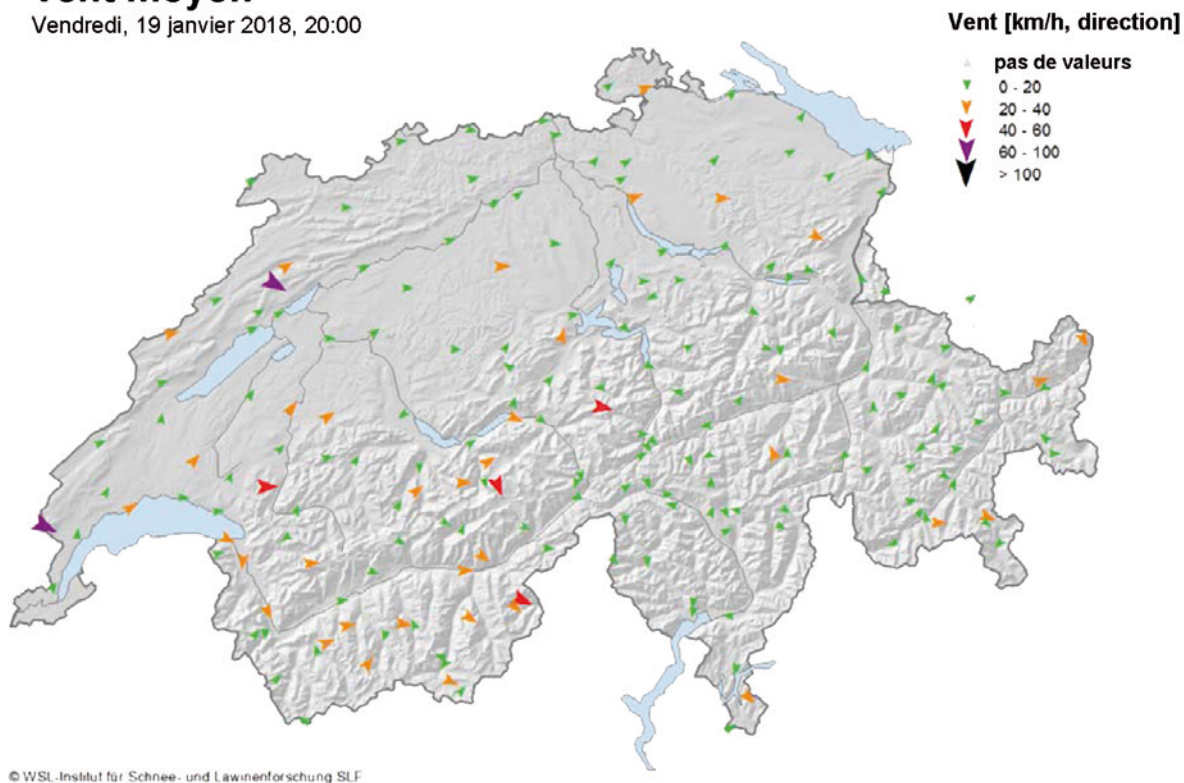


Fig. 10: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le samedi 20 janvier 2018. En bas, la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le vendredi 19 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 5 jours

Samedi, 20 janvier 2018, 08:00

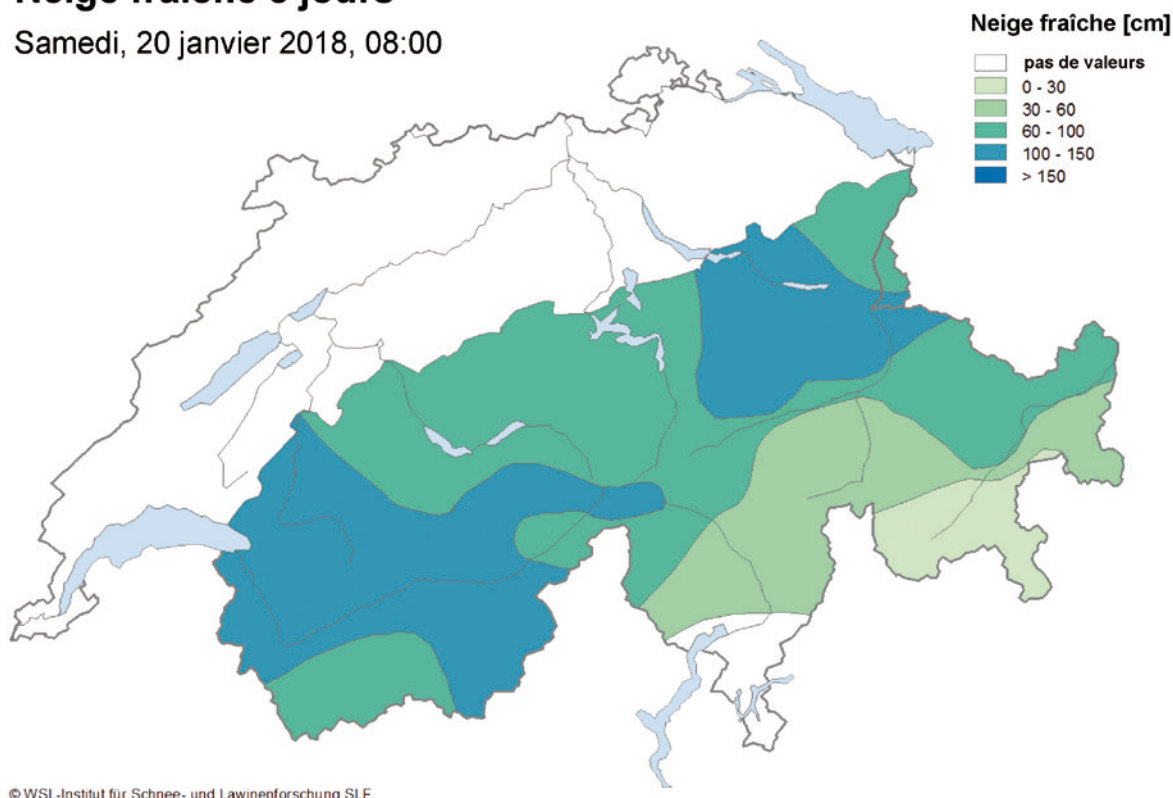


Fig. 11: Cumul de neige fraîche pour 5 jours du 16 au 20 janvier 2018 au-dessus d'environ 1800 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00.

C'est ainsi que sont tombées au total les quantités de neige suivantes pendant la première période de l'épisode de précipitations, de la soirée du 15 à la matinée du 20 janvier au-dessus de 1800 m (Fig.6 à 10):

- nord du Valais, Alpes vaudoises, Haut-Valais, est du versant nord des Alpes: 100 à 130 cm, localement jusqu'à 160 cm
- reste du versant nord des Alpes, sud du Bas-Valais, nord-ouest du Tessin, nord des Grisons, nord de la Basse-Engadine: 60 à 100 cm
- reste du nord du Tessin, centre des Grisons, reste de la Basse-Engadine: 30 à 60 cm
- autres régions: moins de 30 cm

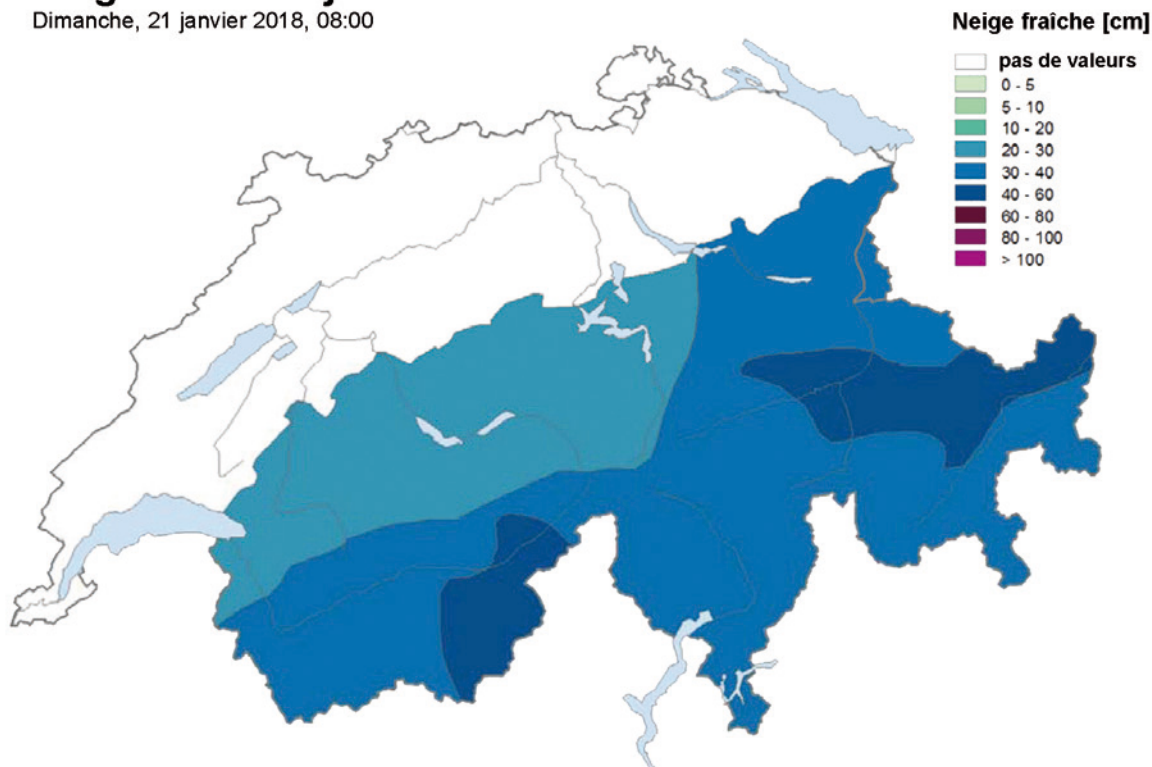
Ces chutes de neige ont été accompagnées de vents d'ouest forts à tempétueux. La direction constante du vent a provoqué la formation d'importantes accumulations de neige soufflée, surtout sur les versants est. Le 19 janvier, le vent a un peu faibli en soirée, et il est resté généralement faible à modéré de secteur nord-ouest.

2.1.4.2 Précipitations et vent du 21 au 23 janvier 2018

Le 20 janvier, le centre du versant sud des Alpes sans la région du Gothard, certaines parties du centre des Grisons, l'Engadine et les vallées méridionales adjacentes ont vu le soleil pendant quelques heures. Dans les autres régions également, le temps a été temporairement sec, mais couvert. Dans la nuit du 20 au 21 janvier, de nouvelles précipitations intenses ont débuté; dans le Valais et au nord, il est tombé par régions environ 80 cm de neige en 24 heures (Fig. 12 à 14). La limite pluie-neige est remontée nettement le 22 janvier, à l'ouest et au nord jusqu'à environ 2000 m; par la suite, elle

Neige fraîche 1 jour

Dimanche, 21 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Samedi, 20 janvier 2018, 20:00

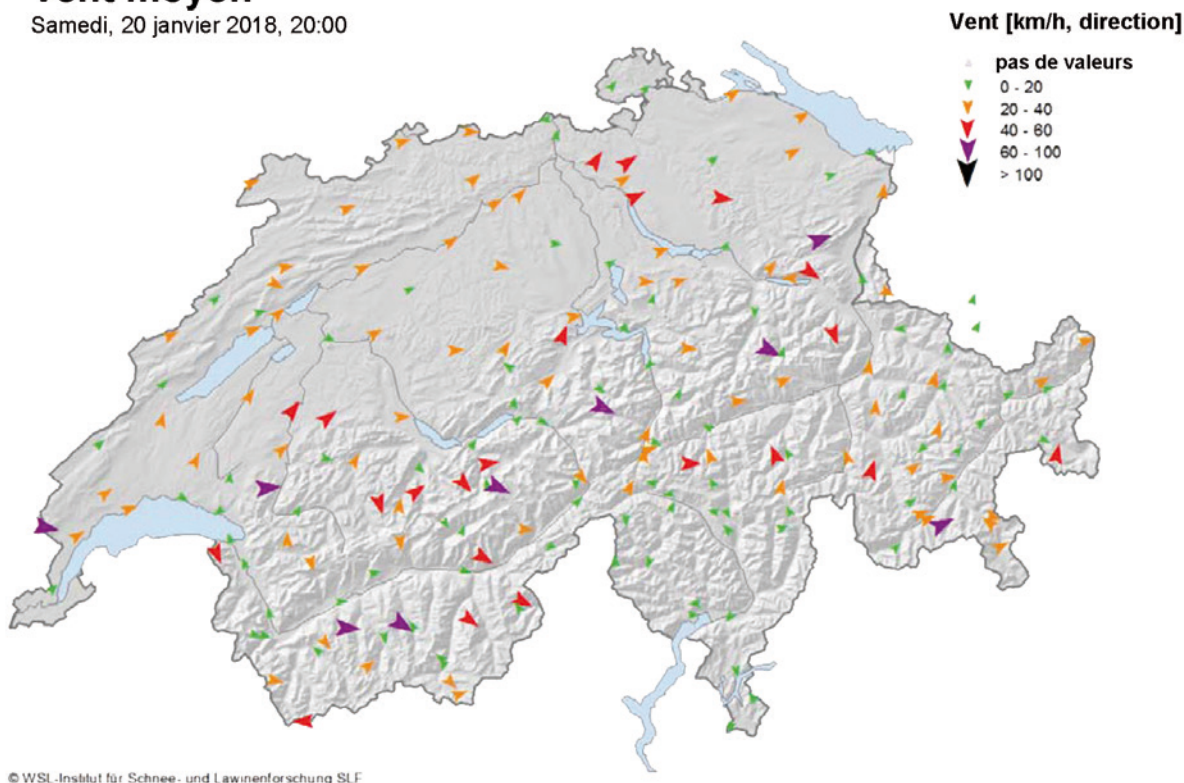
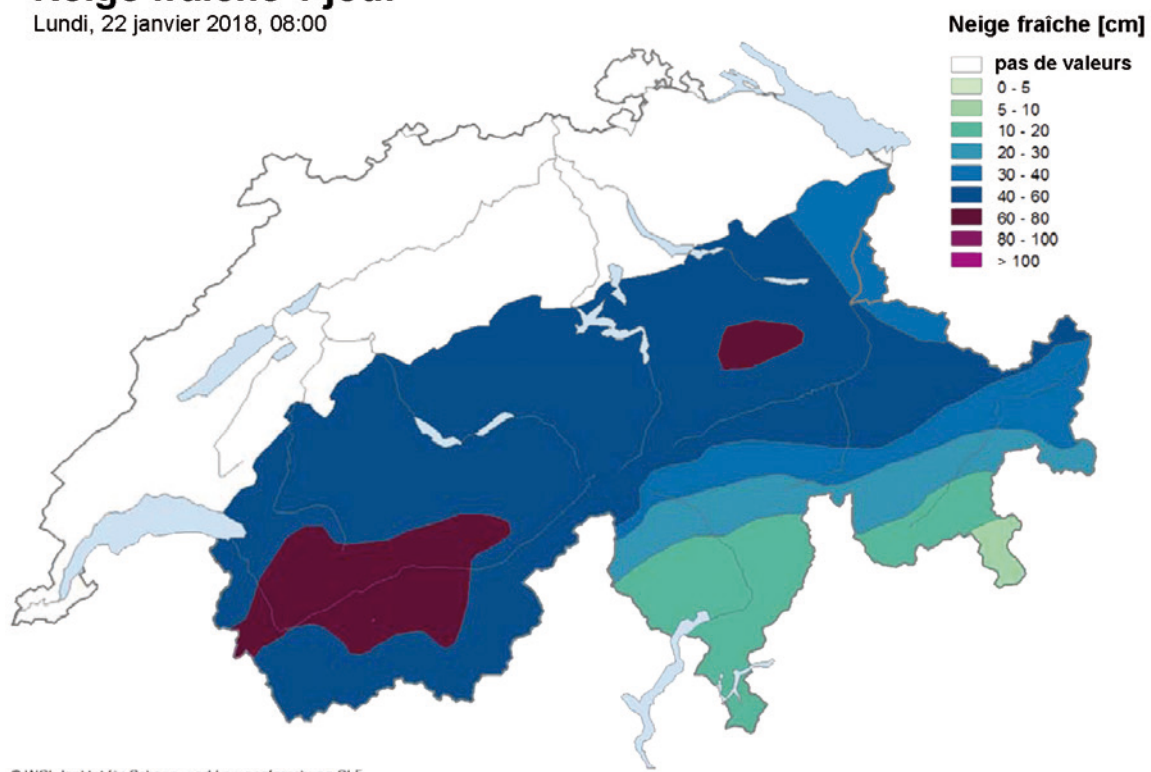


Fig. 12: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 2000 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le dimanche 21 janvier 2018. La carte inférieure indique la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le samedi 20 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 1 jour

Lundi, 22 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Dimanche, 21 janvier 2018, 20:00

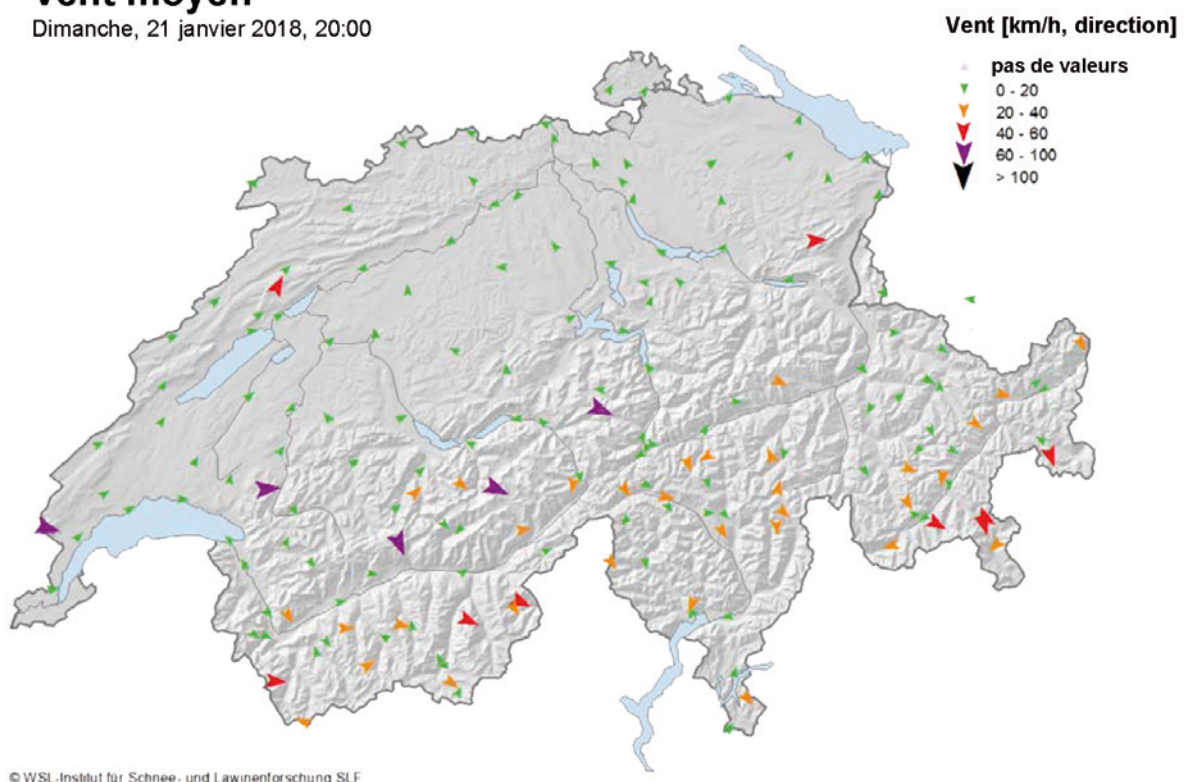
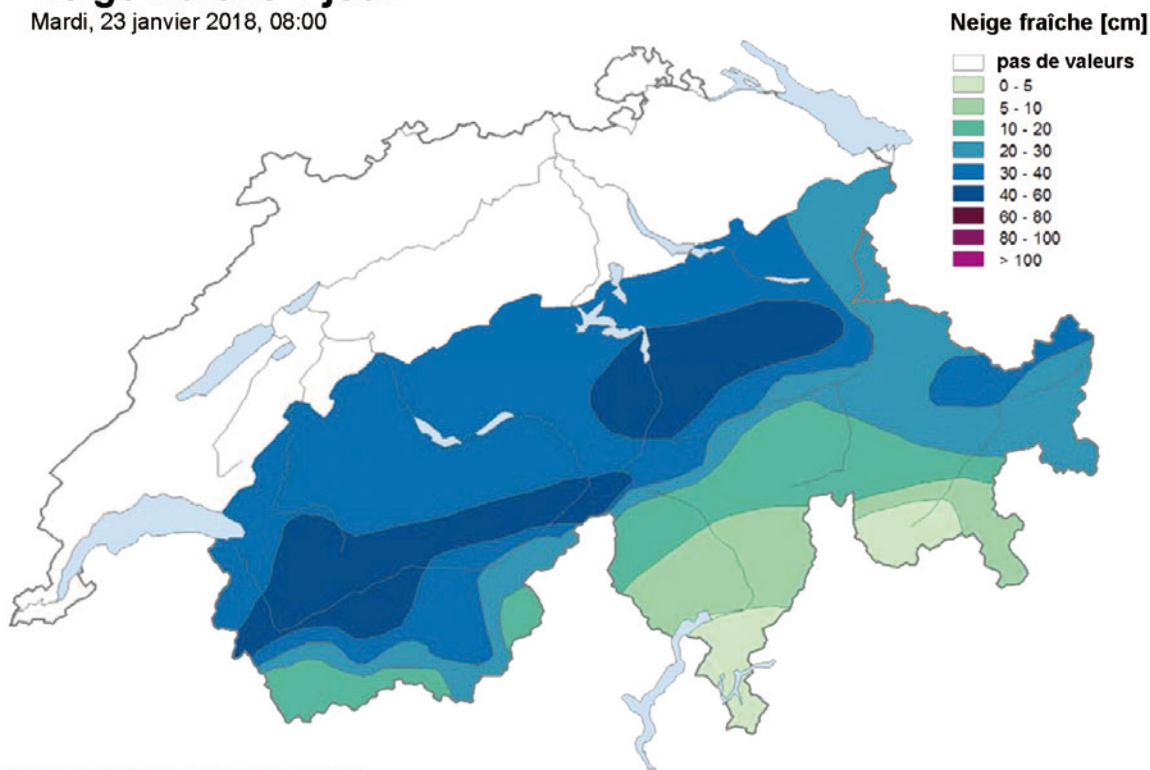


Fig. 13: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 2000 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le lundi 22 janvier 2018. La carte inférieure indique la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le dimanche 21 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 1 jour

Mardi, 23 janvier 2018, 08:00



Vent moyen

Lundi, 22 janvier 2018, 20:00

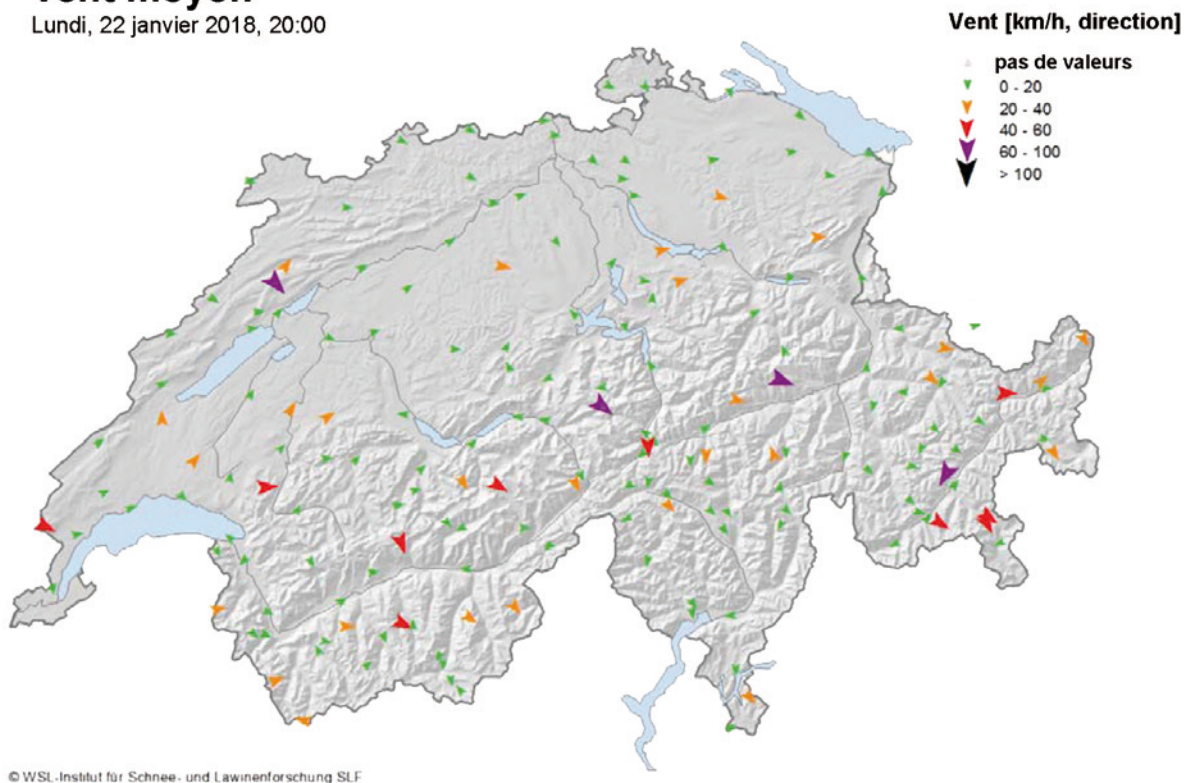
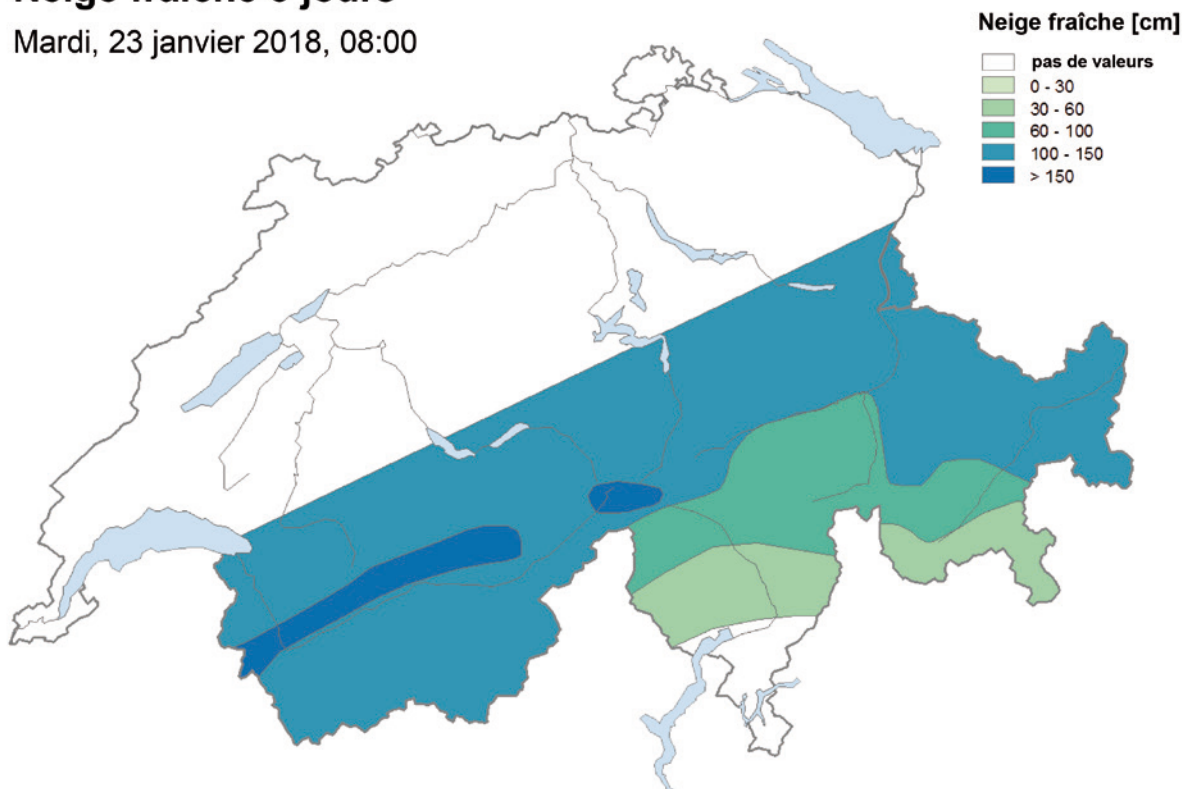


Fig. 14: En haut, le cumul de neige fraîche pour 24 heures au-dessus de 2000 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00, le mardi 23 janvier 2018. La carte inférieure indique la force et la direction du vent au milieu de la période de 24 heures (c'est-à-dire le lundi 22 janvier 2018 à 20h00), mesurées par les stations anémométriques IMIS et de MétéoSuisse.

Neige fraîche 3 jours

Mardi, 23 janvier 2018, 08:00



© WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Fig. 15: Cumul de neige fraîche pour 3 jours du 21 au 23 janvier 2018 au-dessus d'environ 2200 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00.

est redescendue légèrement (Fig. 5). Les précipitations se sont terminées dans la nuit du 22 au 23 janvier, et en journée, le temps a été assez ensoleillé au-dessus de 2000 m.

Ces chutes de neige ont également été accompagnées de vents forts à tempétueux d'ouest à nord-ouest. C'est pourquoi les accumulations de neige soufflée déjà importantes des jours précédents ont continué à croître. Dans la nuit du 22 au 23 janvier, le vent a faibli lentement par l'ouest, et n'a continué d'être fort à tempétueux qu'en haute montagne et en Engadine. Au sud, un vent fort de secteur nord a soufflé dans la nuit du 22 au 23 janvier jusqu'en fond de vallées.

C'est ainsi que sont tombées au total les quantités de neige suivantes pendant la deuxième période de l'épisode de précipitations, de la soirée du samedi 20 janvier jusqu'à la matinée du mardi 23 janvier au-dessus de 2200 m (Fig. 15):

- régions au nord d'une ligne Rhône-Rhin, Valais, région du Gothard, nord des Grisons et Basse-Engadine: 100 à 150 cm, dans le nord du Valais localement jusqu'à 170 cm
- autres régions: 60 à 100 cm, tout au sud moins

Ces quantités de neige sont importantes, et parfois même exceptionnelles. Suivant les régions, elles sont observées tous les 10 à 50 ans (Figure 16). Les stations avec des durées de retour de plus de 20 ans se situent presque exclusivement dans le Valais par ailleurs plutôt faiblement enneigé suivant les endroits, et dans les régions directement adjacentes.

La durée de retour calculée dépendant fortement de la longueur des séries de mesures existantes, seules ont été prises en compte les stations de mesures qui étaient déjà opérationnelles lors de l'hiver avalancheux de 1999, c'est-à-dire ayant déjà une ancienneté de plus de 20 ans. Ceci réduit le réseau IMIS à environ 30 stations. Il existe certes bien plus de stations manuelles avec des séries de mesures à long terme, mais nombre d'entre elles se situent plutôt à basse altitude. En raison de la limite pluie-neige relativement élevée, les durées de retour ne sont présentées pour cet épisode que

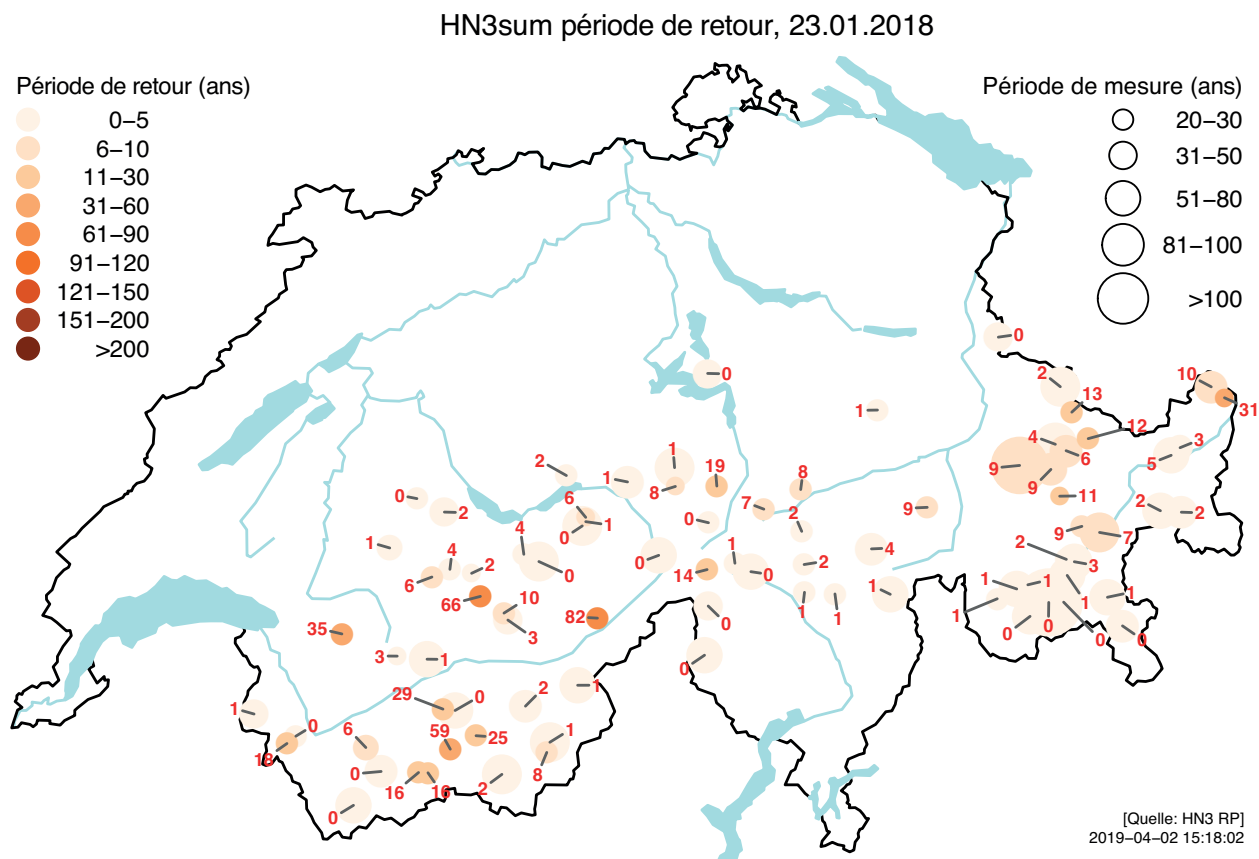


Fig. 16: Durée de retour (chiffre rouge) du cumul de neige fraîche sur 3 jours le 23 janvier 2018 pour les stations manuelles et automatiques au-dessus de 1500 m. Plus les cercles sont fonceés, plus longue est la durée de retour. Plus les cercles sont grands, plus la série de mesures disponible est longue.

pour les stations situées au-dessus de 1500 m. Ce ne sont pratiquement que des stations au-dessus de 2000 m qui ont enregistré des quantités de neige vraiment exceptionnelles. Il n'existe que 8 stations d'observation manuelle à ces altitudes, dont toutes sont opérationnelles depuis une trentaine d'années à l'exception du Weissfluhjoch. L'influence de la longueur de la série de mesures sur les durées de retour est présentée avec l'exemple du cumul de neige fraîche sur 25 jours (Figure 20).

Des défauts dans les données ou des avalanches sur les stations peuvent entraîner des calculs erronés des quantités de neige fraîche aux stations IMIS. C'est pourquoi les périodes où des départs d'avalanches ont été observés ou avec des valeurs extrêmes manifestement erronées ont été exclues de l'analyse. Pourtant, l'expérience montre que des valeurs extrêmes erronées restant dans une plage «normale» ne sont parfois pas identifiées comme telles. De telles valeurs extrêmes annuelles erronées peuvent conduire sur certaines stations IMIS à une sous-estimation des durées de retour. Souvent, les valeurs extrêmes sont enregistrées pendant des épisodes tempétueux, ce qui fut le cas en janvier 2018. Le vent peut alors influencer les valeurs dans un sens ou dans un autre. Ainsi, la hauteur de neige peut diminuer malgré de fortes chutes de neige, car l'érosion par le vent est plus importante.

Cumul de neige fraîche sur 7 jours le 23 janvier 2018

Au total, cet épisode de précipitations d'une semaine jusqu'au mardi matin 23 janvier, a apporté les quantités de neige suivantes au-dessus d'environ 2200 m (Fig. 17):

- Valais, crête nord des Alpes et Grisons d'Arosa jusqu'à Samnaun: 2 à 3 m, dans le nord du Bas-Valais et dans les Alpes Glaronnaises parfois encore plus
- autres régions: en général 1 à 2 m, moins en direction du sud

Neige fraîche 7 jours

Mardi, 23 janvier 2018, 08:00

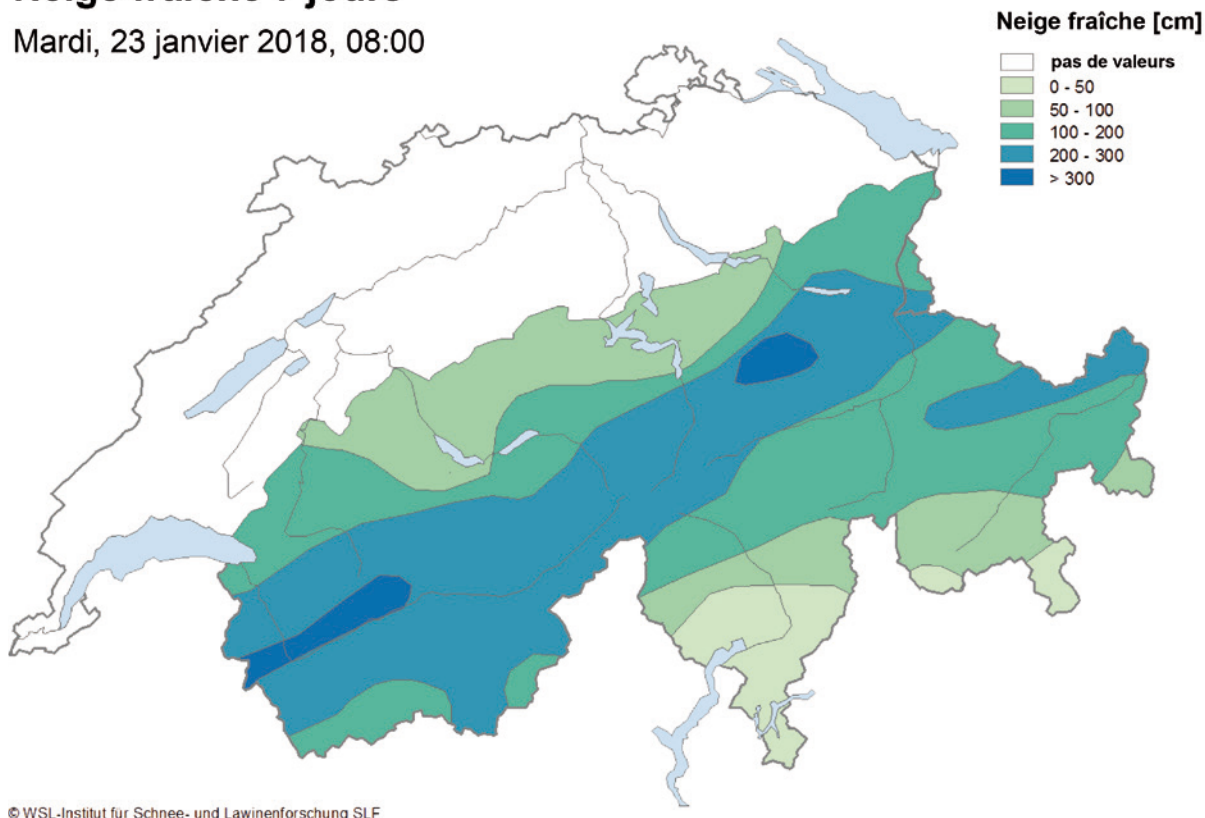


Fig. 17: Cumul de neige fraîche sur 7 jours du 17 au 23 janvier 2018 au-dessus d'environ 2200 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00.

Avec 2 à 3 m, les cumuls de neige fraîche mesurée sur 7 jours (somme de la neige fraîche mesurée ou calculée chaque jour à 8 heures) sont exceptionnels. Dans les régions habituellement plutôt peu arrosées du Valais et des Grisons, ces quantités ne sont observées généralement que tous les 15 ou 30 ans. Les durées de retour les plus importantes (>40 ans) sont constatées à certaines stations du Valais au-dessus de 2000 m (Fig. 18). Certaines stations ont atteint le 23 janvier 2018 de nouveaux records pour les cumuls de neige fraîche sur 7 jours (Tab. 1):

Tab. 1: Stations avec de nouveaux records de cumul de neige fraîche sur 7 jours le 23 janvier 2018

Station	Canton	Hauteur	Cumul de neige fraîche sur 25 jours	Nombre d'années de mesure
CHA2, Chaussy	VD	2218 m	361 cm	21
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	411 cm	21
ANV2, Orzival	VS	2640 m	277 cm	21
ARO3, Arolla	VS	2602 m	174 cm	22
VDS2, Vallée de la Sionne	VS	2385 m	369 cm	20
4KU, Kühboden	VS	2210 m	230 cm	30
4EG, Egginer	VS	2645 m	240 cm	26
BED2, Bedretto	TI	2540 m	436 cm	22
5AR, Arosa	GR	1845 m	207 cm	65
5IG, Innerglas	GR	1820 m	140 cm	26
VIN2, Vinadi	GR	2729 m	251 cm	20

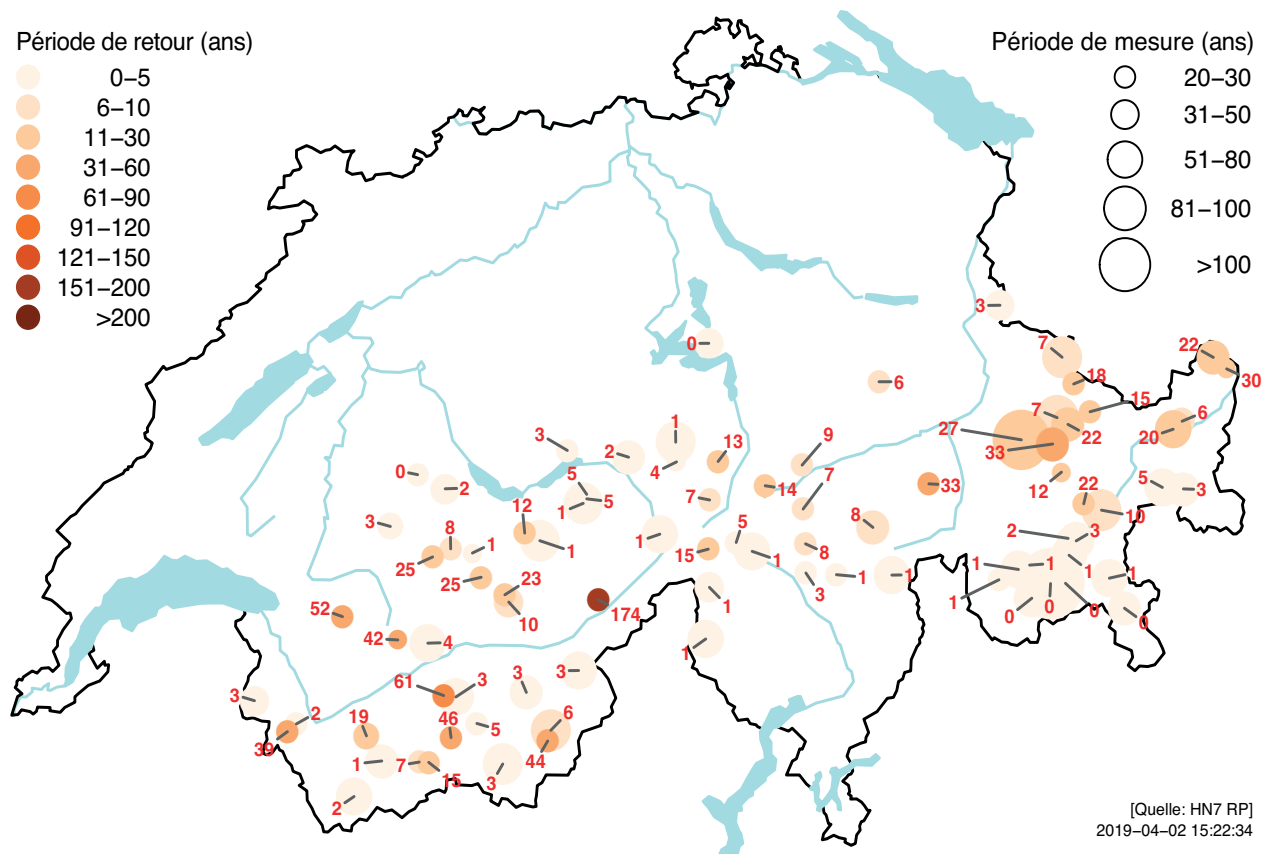


Fig. 18: Durée de retour (chiffre rouge) du cumul de neige fraîche sur 7 jours le 23 janvier 2018 pour les stations manuelles et automatiques au-dessus de 1500 m. Plus les cercles sont foncés, plus longue est la durée de retour. Plus les cercles sont grands, plus la série de mesures disponible est longue.

Cumul de neige fraîche sur 25 jours le 23 janvier 2018

Avant même le 15 janvier, de grosses chutes de neige se sont produites surtout dans le sud du Valais, dans le Haut-Valais et dans le nord-ouest du Tessin, et plus précisément du 28 décembre au 5 janvier et du 8 au 10 janvier, ce qui donnerait jusqu'au 23 janvier un cumul de neige fraîche sur 27 jours. Par la suite nous nous concentrons cependant sur le cumul de neige fraîche sur 25 jours, car la région des vallées de la Viège, particulièrement touchées, présente les plus longues durées de retour pour 25 jours, et que les différences de durées de retour sont par ailleurs faibles.

À partir du 30 décembre, les cumuls de neige fraîche sur 25 jours au-dessus d'environ 2200 m sont les suivants (Fig. 19):

- Valais et partie occidentale de la région du Gothard: 4 à 5 m, dans le nord du Bas-Valais, sur la crête principale des Alpes du Haut-Valais et dans le Bedretto, parfois plus
- autres régions de la crête nord des Alpes et du nord-ouest du Tessin, nord des Grisons et nord de la Basse-Engadine: 3 à 4 m
- autres régions: en général 2 à 3 m

Certaines stations ont atteint le 23 janvier 2018 de nouveaux records pour les cumuls de neige fraîche sur 25 jours (Tab. 2). La station de Triftchumme (ZER2) a également enregistré des valeurs très élevées, mais a été touchée le 4 janvier par une avalanche, de telle sorte qu'aucune évaluation fiable n'est possible.

Une analyse des données des stations avec des séries d'au moins 20 ans, révèle les durées de retour suivantes pour les cumuls de neige fraîche sur 25 jours (Fig. 20, en haut):

- fond des vallées supérieures de la Viège: env. 70 ans
- reste du Valais: 10 à 40 ans
- région du Gothard et nord des Grisons: 15 à 25 ans

Neige fraîche 25 jours

Mardi, 23 janvier 2018, 08:00

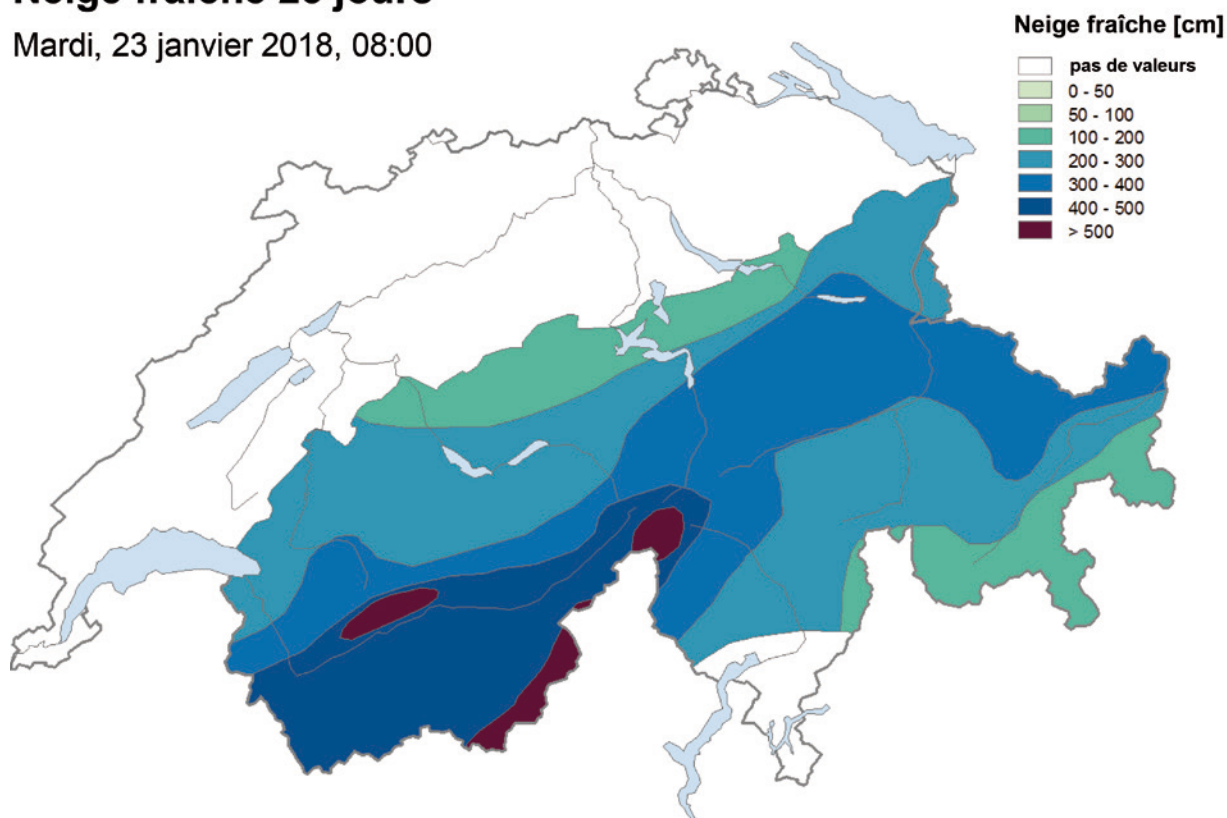


Fig. 19: Cumul de neige fraîche sur 25 jours du 31 décembre au 23 janvier 2018 au-dessus d'environ 2200 m, interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00.

Tab. 2: Stations avec de nouveaux records de cumul de neige fraîche sur 25 jours le 23 janvier 2018

Station	Canton	Hauteur	Cumul de neige fraîche sur 25 jours	Nombre d'années de mesure
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	739 cm	21
ANV2, Orzival	VS	2640 m	513 cm	21
ANV3, Anniviers	VS	2589 m	259 cm	21
ARO3, Arolla	VS	2602 m	407 cm	22
4AO, Arolla	VS	2070 m	255 cm	28
VDS2, Vallée de la Sionne	VS	2385 m	670 cm	20
4KU, Kühboden	VS	2210 m	418 cm	30
4ZE, Zermatt	VS	1600 m	255 cm	73
4EG, Egginer	VS	2645 m	539 cm	26
SAA3, Mälliga	VS	2950 m	431 cm	22
VIN2, Vinadi	GR	2729 m	425 cm	20

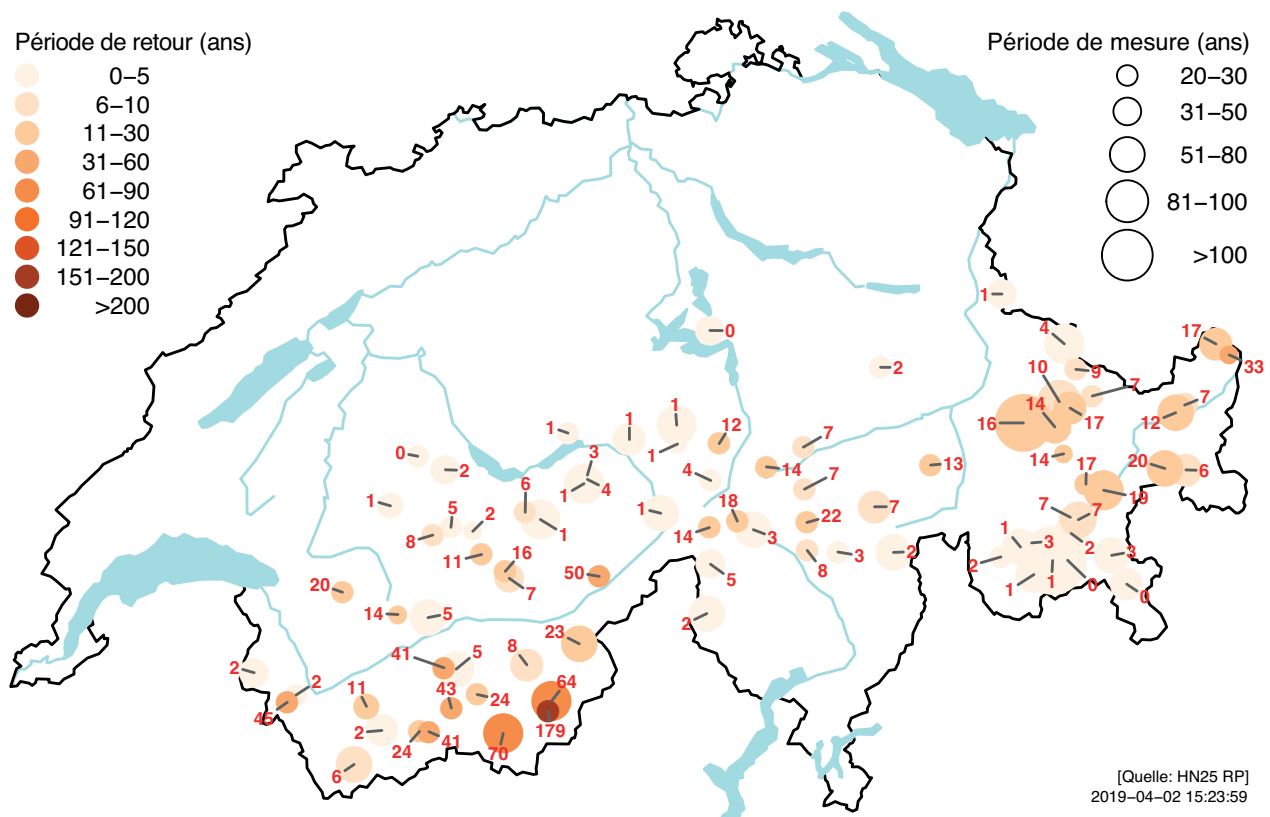
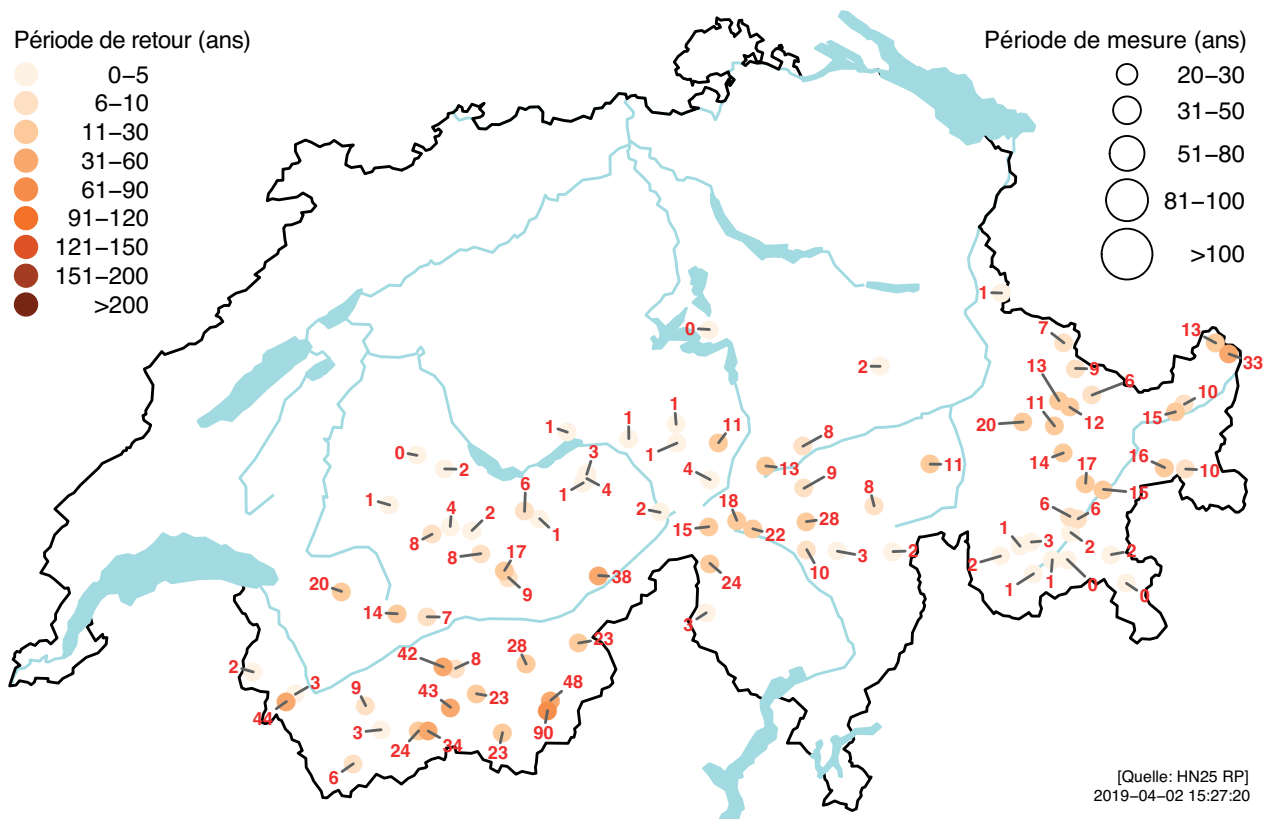


Fig. 20: Durée de retour (chiffre rouge) du cumul de neige fraîche sur 25 jours du 30 décembre au 23 janvier 2018 pour les stations manuelles et automatiques au-dessus de 1500 m. En haut, avec utilisation des données de mesure complètes, en bas avec prise en compte uniquement des 20 dernières années. Plus les cercles sont foncés, plus longue est la durée de retour. Plus les cercles sont grands, plus la série de mesures disponible est longue.

Pour montrer l'influence de la longueur des séries de données sur la durée de retour, la même analyse est présentée dans la Fig. 20 (ci-après) en utilisant pour toutes les stations uniquement les 20 dernières années (1999–2018). Ainsi les différences entre les stations sont atténuées. Ce sont surtout les grandes durées de retour aux stations de Zermatt et Saas-Fee, où les mesures sont effectuées depuis environ 70 ans, qui diminuent d'environ la moitié pour revenir à des valeurs de 25 à 40 ans. La raison de cette diminution est que le caractère particulier des valeurs record de janvier 2018 est moins mise en relief dans des séries de mesures plus courtes. Il existe également le cas inverse, avec une augmentation de la durée de retour. À Grächen par exemple, avec une série de mesures de 50 ans, la période de retour passe de 8 à 28 ans. Dans ce cas, 2018 se trouve au huitième rang, et les sept hivers les plus enneigés sont tous antérieurs à 1999.

Comparaison avec des périodes avalanches antérieures provoquées par des situations de barrage côté nord-ouest

Dans quelle mesure la période avalancheuse du 21 au 23 janvier 2018 a-t-elle été exceptionnelle? Il n'est pas possible de répondre de façon globale à cette question, mais uniquement pour chaque paramètre. Il faut alors faire la distinction entre épisodes de chutes de neige et départs d'avalanches.

Dans l'analyse des événements de l'hiver avalancheux de 1999, une étude des situations météorologiques ayant entraîné jusque-là des épisodes avalancheux importants a été conduite. Il a été constaté que les périodes d'activité avalancheuse accrue au nord (avec plus de 20 avalanches ayant provoqué des dommages) se sont produites principalement par situations de barrage côté nord-ouest. Ce fut le cas pendant la phase principale de la période avalancheuse décrite ici aux alentours du 22 janvier. Nous nous limitons donc pour la comparaison qui suit aux épisodes avalancheux entraînés par des situations de barrage côté nord-ouest. Les données sont tirées de l'analyse des événements de l'hiver avalancheux de 1999.

Pour janvier 2018, les cumuls de neige fraîche sur 3 jours (Fig. 15), 7 jours (Fig. 17) ainsi que 25 et 27 jours (Fig. 19 et 28) sont représentés. Les cartes présentant les dommages dus aux avalanches font l'objet de la 67 à la Fig. 69. Une comparaison avec des épisodes avalancheux antérieurs (Fig. 21 à 27) montre ce qui suit:

- Le cumul de neige fraîche pour trois jours a été relativement modeste avec par endroits 150 cm. Les 300 cm sur 7 jours dans certaines régions représentent cependant des valeurs tout à fait comparables à celles des grands hivers avalancheux, notamment 1950/51. Cependant, en janvier 2018, ce n'est qu'à des altitudes relativement élevées que l'ensemble des précipitations est tombé sous forme de neige.
- Pour les épisodes avalancheux étudiés, il était toujours tombé jusqu'ici des quantités de neige plus importantes sur le versant nord des Alpes que dans le Valais. Cette année, les plus grandes valeurs ont parfois été obtenues dans le Valais surtout en ce qui concerne le cumul de neige fraîche sur 7 jours. La raison repose certainement dans la situation d'ouest temporaire qui a en partie régné au début de l'épisode de 7 jours (2.1.1).
- Le cumul de neige fraîche sur 25 et 27 jours découle de situations météorologiques entièrement différentes. Ainsi, en particulier des situations d'ouest et un flux de sud-est ont apporté des quantités considérables autour du 9 janvier. C'est ainsi que le Valais a été inhabituellement touché, alors que les valeurs n'étaient pas extrêmes sur le versant nord des Alpes.
- Avec 141 avalanches ayant provoqué des dommages (état des connaissances janvier 2019), les journées du 21 au 23 font partie des épisodes avalancheux les moins intenses parmi ceux étudiés ici. L'ampleur des dommages se trouvait loin derrière celle des grands hivers avalancheux de 1951, 1968, 1984 et 1999. La raison réside probablement dans le manteau neigeux pas trop fragile, la neige humide à moyenne altitude, le faible enneigement en dessous d'environ 1300 m et les mesures de protection mises en œuvre après les hivers avalancheux antérieurs.
- 1999 a été, à part dans les vallées de la Viège, un événement de précipitations et d'avalanches nettement plus important. Il est décrit dans la section suivante. Pour ceci, la période complète qui a duré presque un mois est prise en compte.

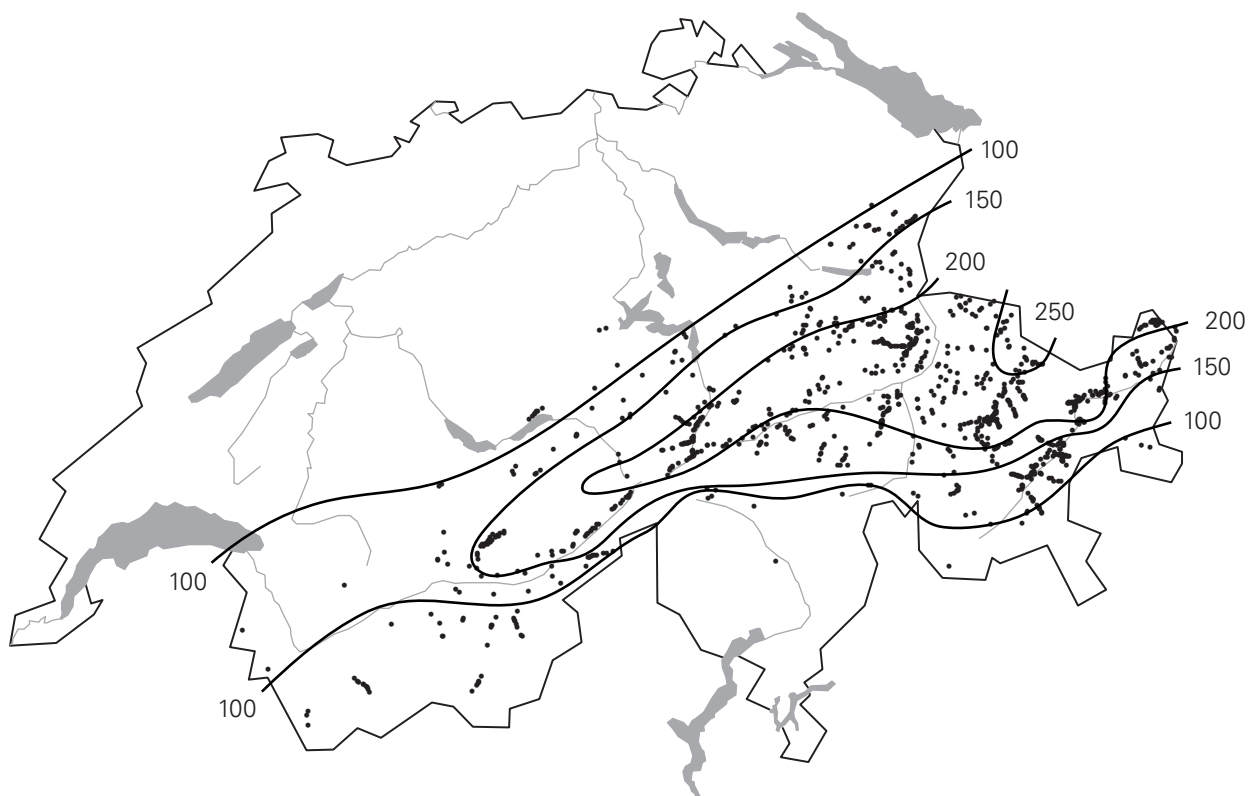


Fig. 21: Cumul de neige fraîche sur 6 jours le 22 janvier 1951 (isolignes en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages pour cette période (points noirs, plus de mille).

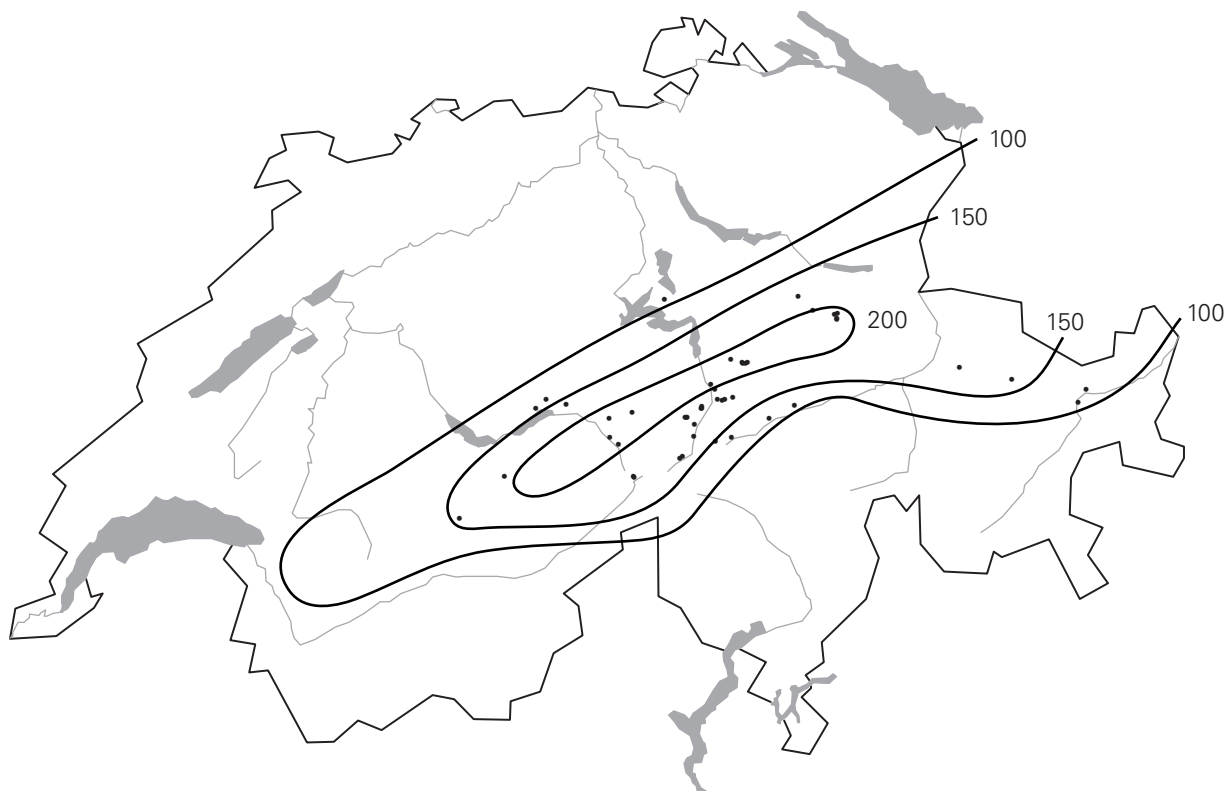


Fig. 22: Cumul de neige fraîche sur 5 jours le 21 mars 1967 (isolignes, en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages du 20 au 22 mars 1967 (points noirs, 47).



Fig. 23: Cumul de neige fraîche sur 3 jours le 27 janvier 1968 (isolignes, en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages les 26/27 janvier (points noirs, presque 250).

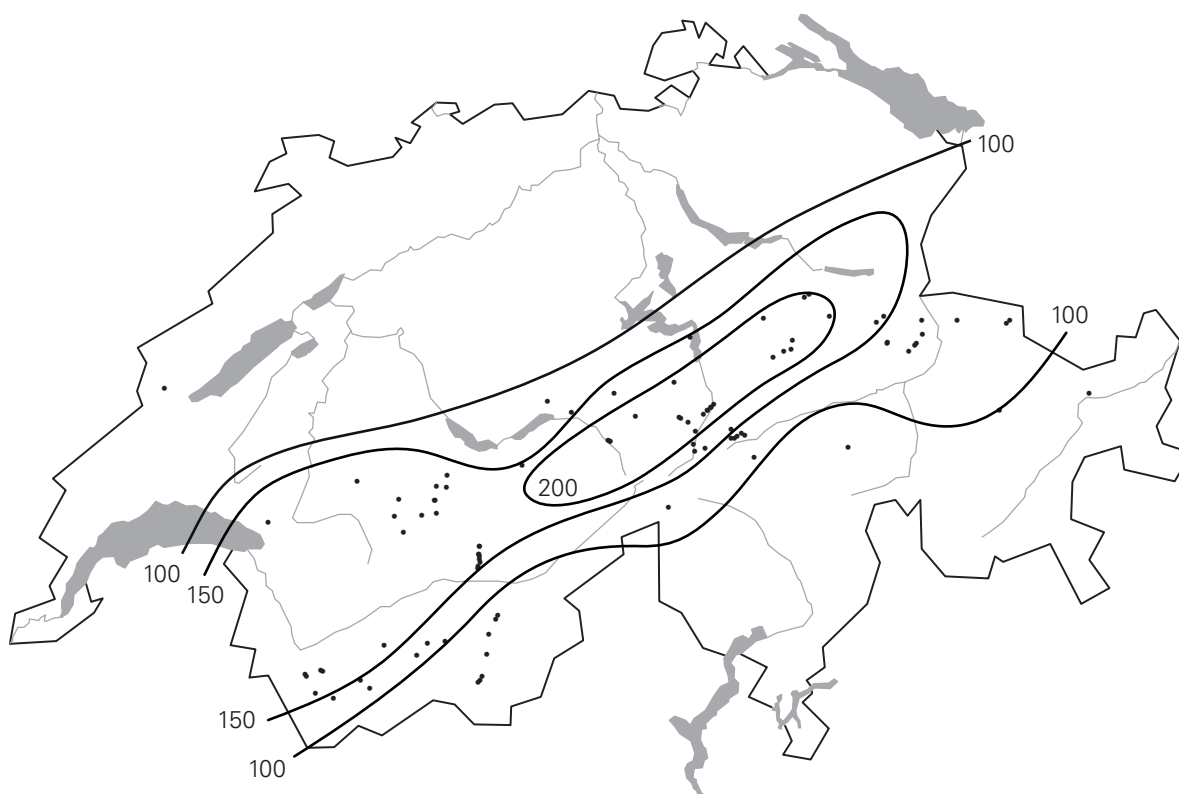


Fig. 24: Cumul de neige fraîche sur 9 jours le 21 janvier 1981 (isolignes, en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages du 15 au 22 janvier (points noirs, 100)

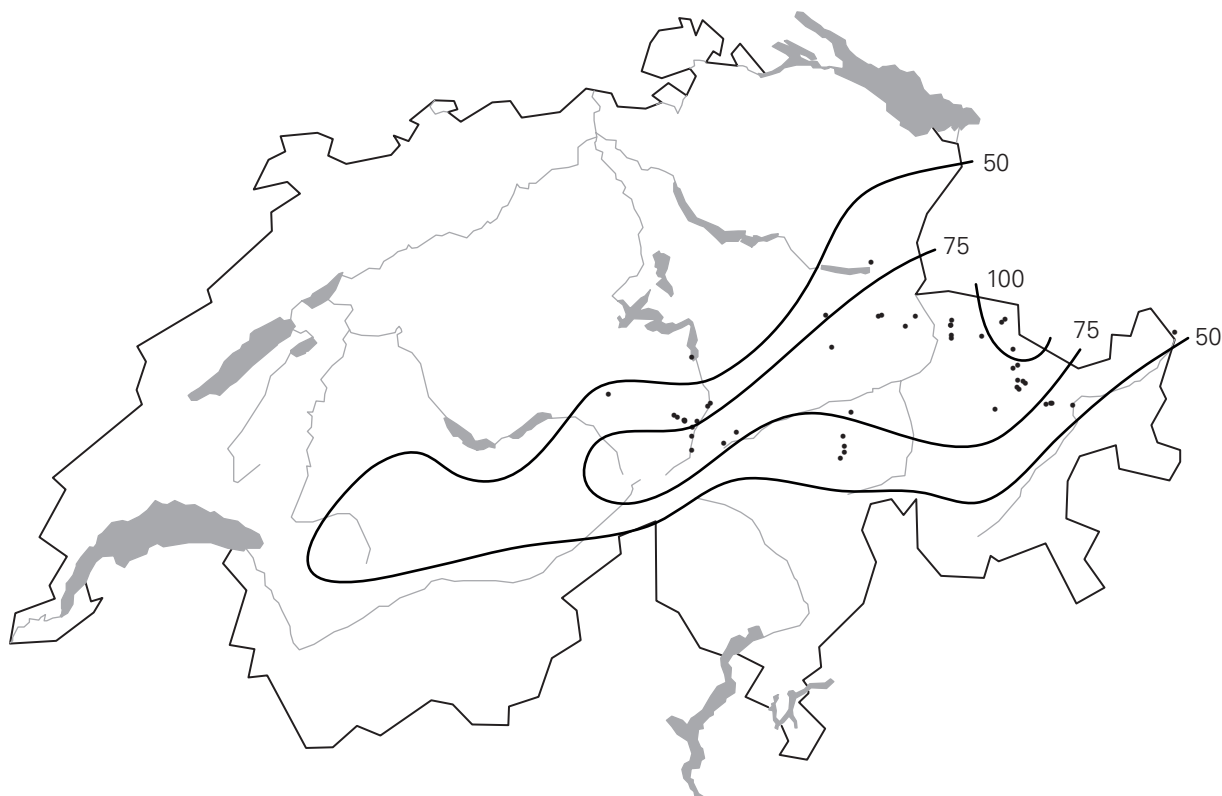


Fig. 25: Cumul de neige fraîche sur 24 heures le 30 janvier 1982 (isolignes en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages pour cette période (points noirs, 54).

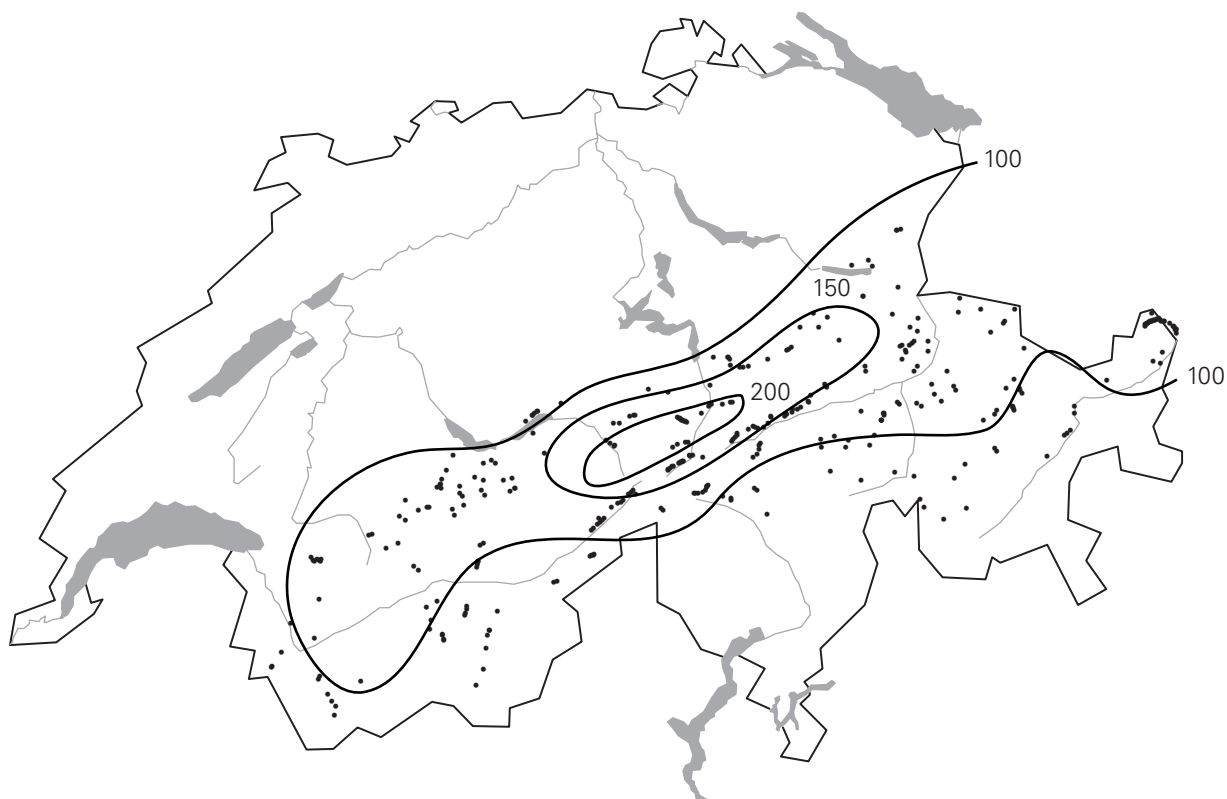


Fig. 26: Cumul de neige fraîche sur 4 jours le 10 février 1984 (isolignes, en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages du 8 au 10 février (points noirs, plus de 350)

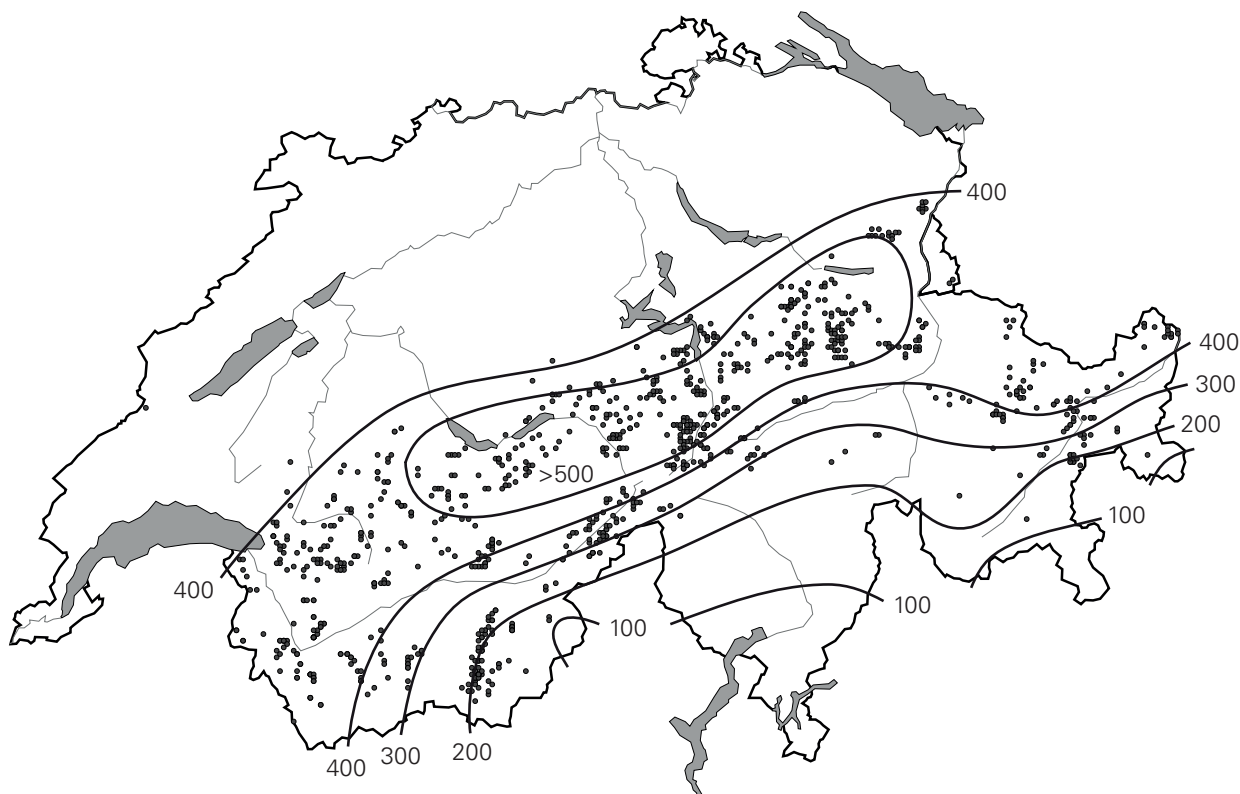


Fig. 27: Cumul de neige fraîche sur 30 jours le 25 février 1999 au-dessus d'environ 1500 m (isolignes, en cm) et avalanches ayant provoqué des dommages durant cette période, et connues en octobre 1999 (points noirs, environ 1000)

2.3.4.3 Comparaison avec février 1999

Trois périodes de précipitations se sont suivies à courts intervalles également en 1998/1999, le dernier grand hiver avalancheux (SLF 2000). Cependant, en 1998/1999, les pauses entre les épisodes neigeux ont été plus courtes, de telle sorte que le manteau neigeux s'est moins stabilisé à l'époque. Comme pour l'hiver 2017/2018, c'est le dernier des trois épisodes de précipitations qui a été le plus intense en 1998/1999. Il avait apporté dans les régions les plus concernées par les précipitations des cumuls de neige fraîche sur 9 jours compris entre 2,5 et 3,5 m. Cependant, à l'époque, ces valeurs maximales avaient été mesurées sur le versant nord des Alpes, habituellement plus arrosé. Les cumuls de neige fraîche maximaux du dernier épisode de précipitations en février 1999 ont donc été nettement plus grands que ceux du 16 au 23 janvier 2018.

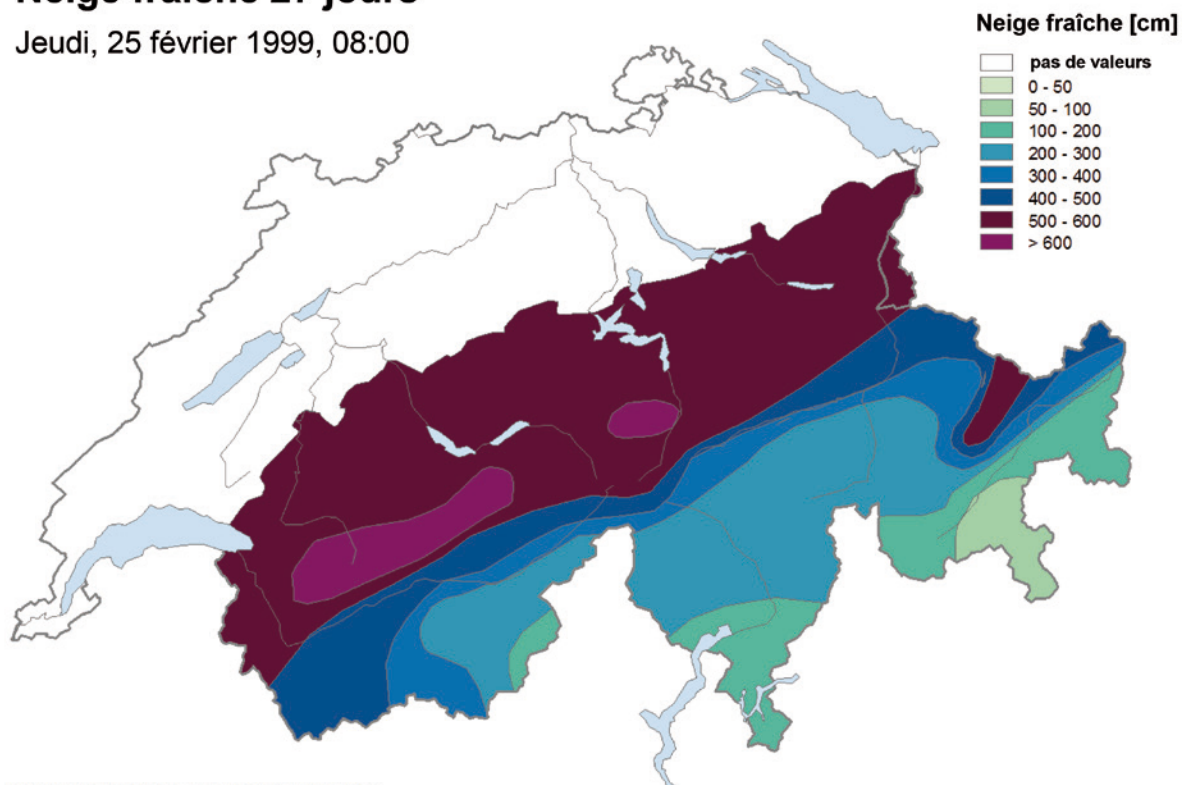
Pour l'hiver avalancheux de 1999, c'est le cumul de neige fraîche sur 30 jours pour les trois épisodes de précipitations qui a été déterminant. C'est sur le versant nord des Alpes qu'il a été le plus important avec 5,5 à 7,5 m, ce qui correspond à une durée de retour de 80 à 100 ans (SLF 2000).

Pendant l'été 2017/2018, l'évènement complet sur l'ensemble de la Suisse a duré 27 jours. C'est pourquoi le plus grand cumul de neige fraîche sur 27 jours de l'hiver 1999, également au-dessus d'environ 2000 m, a été déterminé pour la comparaison (Fig. 28). Pour février 1999, nous considérons le cumul de neige fraîche sur 27 jours du 30 janvier au 25 février; on constate ce qui suit:

- C'est sur le versant nord des Alpes et dans le nord du Bas-Valais qu'il est tombé le plus de neige en 1998/1999 avec 5 à 7 m en 27 jours. Ce fut nettement plus que pendant l'hiver 2017/2018 avec par régions 3 à 4 m.
- Pendant l'hiver 2017/2018, il est tombé dans le Haut-Valais 4 à 5 m de neige, et parfois encore plus le long de la crête principale des Alpes. Ce fut nettement plus qu'en 1998/1999 avec 2 à 4 m.
- Dans le nord des Grisons, il est tombé en 1998/1999 généralement 4 à 5 m de neige, en 2017/2018 seulement 2 à 4 m.

Neige fraîche 27 jours

Jeudi, 25 février 1999, 08:00



Neige fraîche 27 jours

Mardi, 25 janvier 2018, 08:00

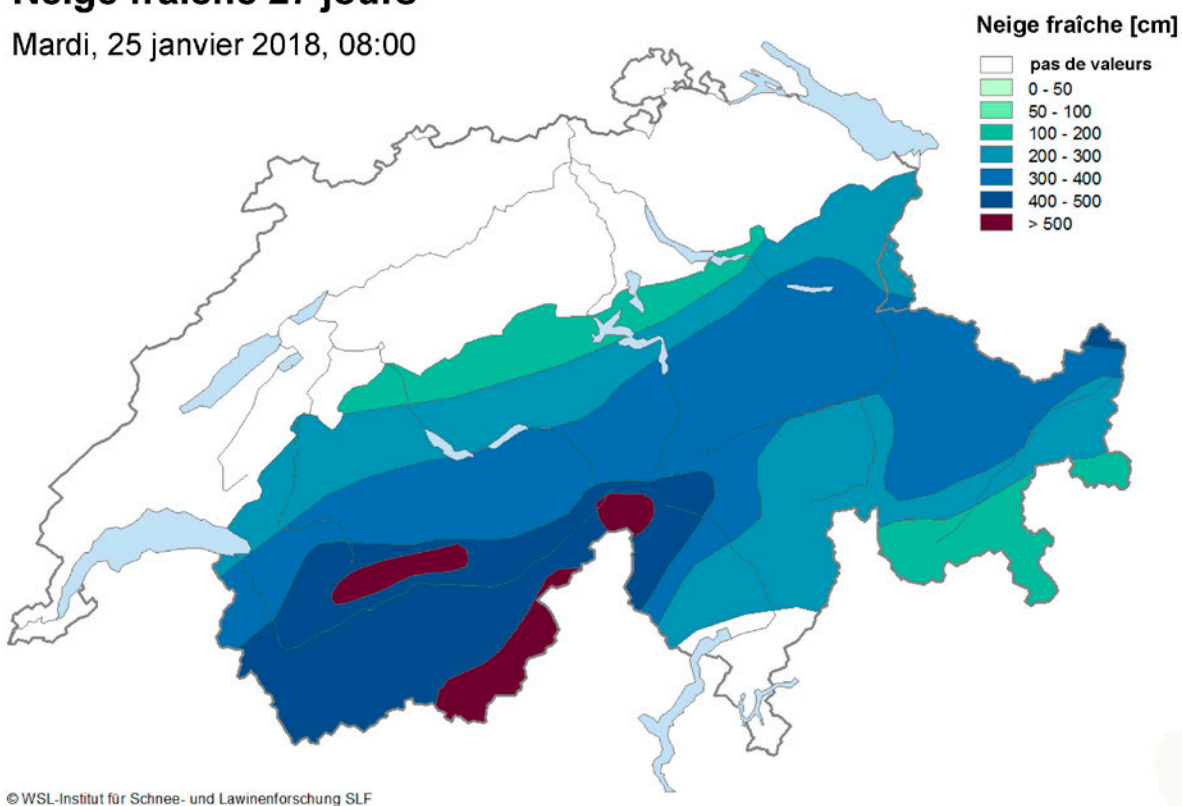


Fig. 28: Cumul de neige fraîche pour 27 jours au-dessus d'environ 2000 m interpolé à partir des valeurs de neige fraîche mesurées manuellement sur les sites d'observation, et calculées aux stations automatiques IMIS à 8h00. En haut: pour le 25 février 1999. En bas pour le 23 janvier 2018.

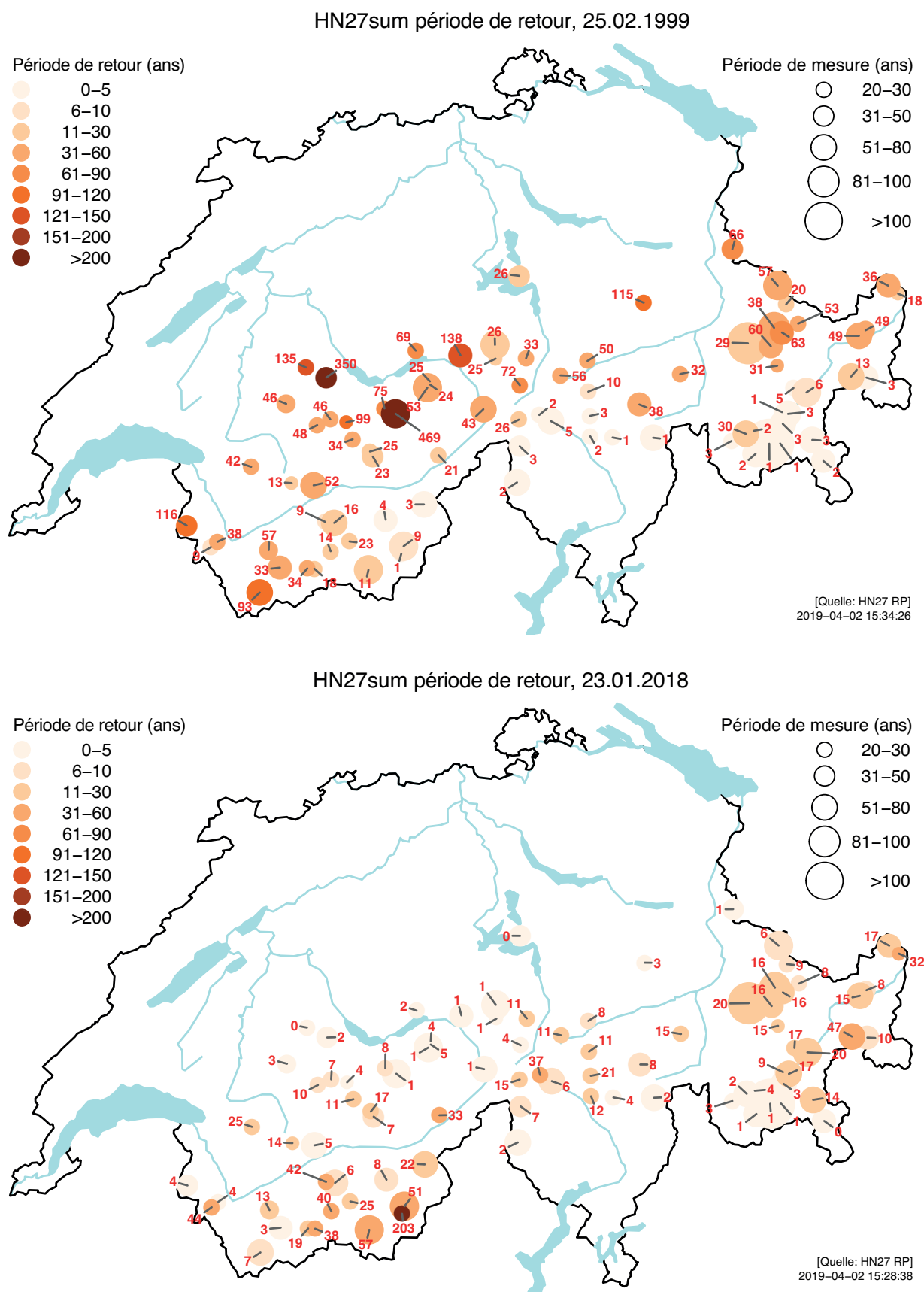


Fig. 29: Durée de retour (chiffre rouge) du cumul de neige fraîche sur 27 jours pour les stations manuelles et automatiques au-dessus d'environ 1500 m. En haut: 25 février 1999. En bas: 23 janvier 2018. Plus les cercles sont foncés, plus la durée de retour est grande. Plus les cercles sont grands, plus la série de mesures disponible est longue.

Une comparaison des durées de retour correspondantes pour le cumul de neige fraîche sur 27 jours au cours des deux hivers montre clairement des valeurs plus importantes en 1999, surtout sur le versant nord des Alpes et dans le nord des Grisons (Fig. 29). La seule région avec des durées de retour largement plus grandes en 2018 est celle des vallées supérieures de la Viège, qui n'avaient reçu que peu de précipitations en 1999. Les durées de retour supérieures à 150 ans doivent être considérées avec précaution, car toute durée de retour supérieure à trois fois la longueur de la série de données présente de grandes incertitudes.

2.2 Evolution des hauteurs de neige

2.2.1 Hauteur de neige le 15 janvier 2018

Après un début d'hiver précoce et des chutes de neige successives en novembre et décembre, les hauteurs de neige étaient supérieures à la normale dès fin décembre. Du 30 décembre au 9 janvier, les précipitations ont été abondantes en toutes régions. Au nord, la limite pluie-neige est remontée plusieurs fois jusqu'à environ 2000 m.

À la mi-janvier, on observait les quantités de neige suivantes (Fig. 30 à 32, en haut):

- à 2500 m en général 1,5 à 2,5 m, en Engadine 0,8 à 1,5 m
- à 2000 m au nord d'une ligne Rhône-Rhin, dans la région du Gothard ainsi que dans le Prättigau en général 1,2 à 2 m, dans les autres régions environ 1 m
- à 1500 m en général 0,5 à 1,2 m

La comparaison avec la normale pour ce jour calendaire (15 janvier), montre ce qui suit (Fig. 33 à 35), en haut.

- au-dessus d'environ 2100 m, les hauteurs de neige étaient partout supérieures à la normale. À l'ouest et dans le Valais, les valeurs étaient largement au-dessus de la moyenne, et dans le sud du Valais parfois fortement supérieures.
- entre 1600 et 2100 m, les hauteurs de neige étaient généralement légèrement supérieures à la moyenne, voire bien supérieures dans le Valais.
- entre 1000 et 1600 m, les hauteurs de neige étaient légèrement supérieures à la moyenne dans le Valais. Dans les autres régions, elles étaient plus au moins dans la moyenne, sur le versant nord des Alpes et au sud parfois un peu en dessous.

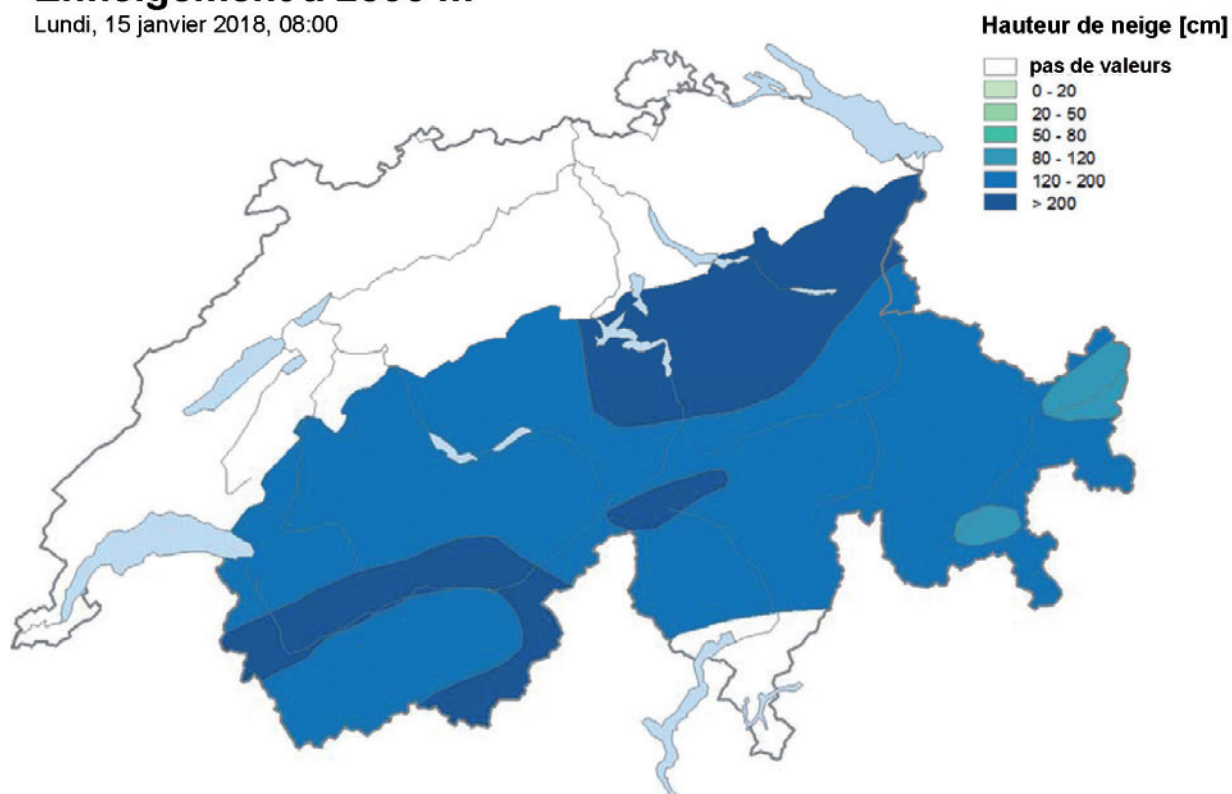
2.2.2 Hauteur de neige le 23 janvier 2018

À la fin de la période de précipitations, on observait les quantités de neige suivantes (Fig. 30 à Fig. 32, en bas):

- à 2500 m, en général 2 à 3 m, dans les Alpes vaudoises, le nord du Bas-Valais, le Haut-Valais et dans les parties nord du centre et de l'est du versant nord des Alpes, 3 à 4 m, voire même plus de 4 m dans le nord du Bas-Valais. C'est sur le centre du versant sud des Alpes sans le nord-ouest du Tessin, ainsi qu'en Haute-Engadine et dans les vallées méridionales adjacentes qu'il y avait le moins de neige.
- à 2000 m au nord d'une ligne Rhône-Rhin, dans l'ouest du Bas-Valais et des parties du sud du Haut-Valais, dans la région du Gothard ainsi que dans le Prättigau, en général 2 à 3 m, voire plus dans le nord du Bas-Valais et dans certaines parties des Alpes Glaronnaises. Dans les autres régions, on observait entre 1 et 2 m de neige.
- à 1500 m, on observait en général de 1 à 2 m de neige, dans les Alpes glaronnaises et dans l'ouest de la région du Gothard un peu plus.

Enneigement à 2500 m

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00



Enneigement à 2500 m

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

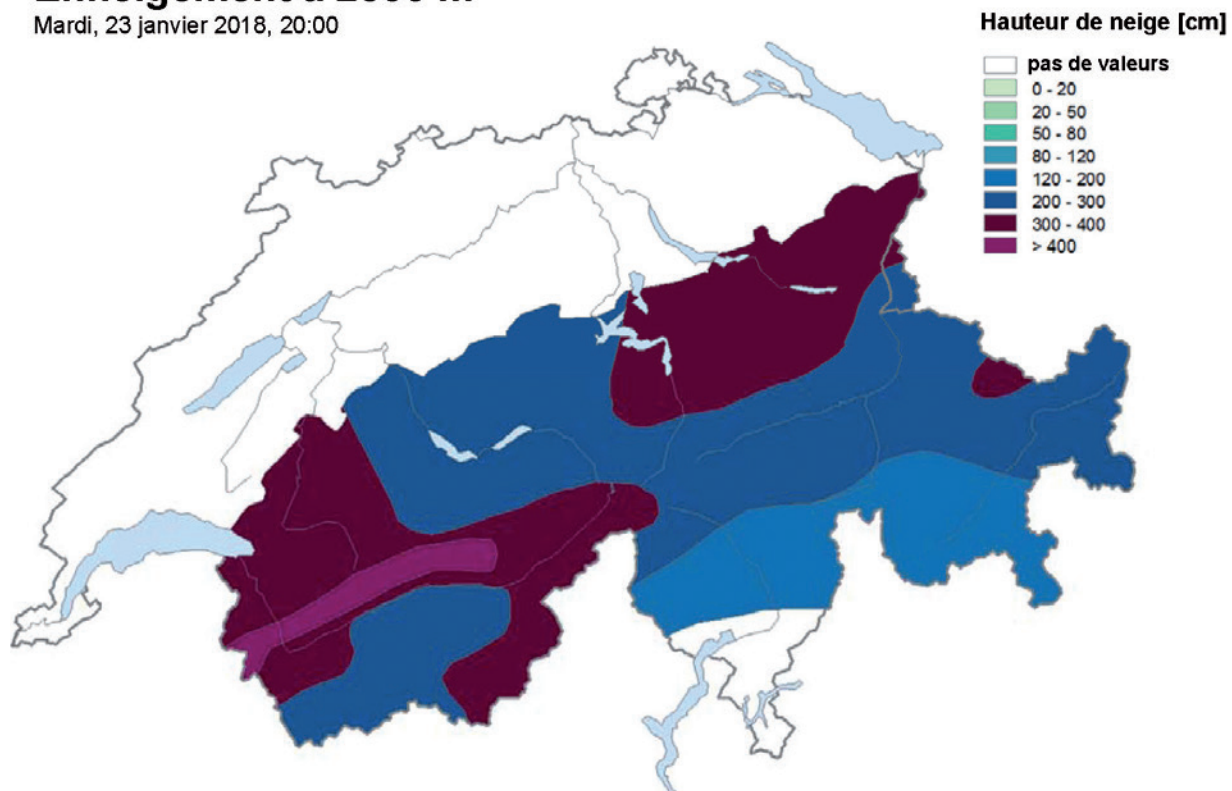
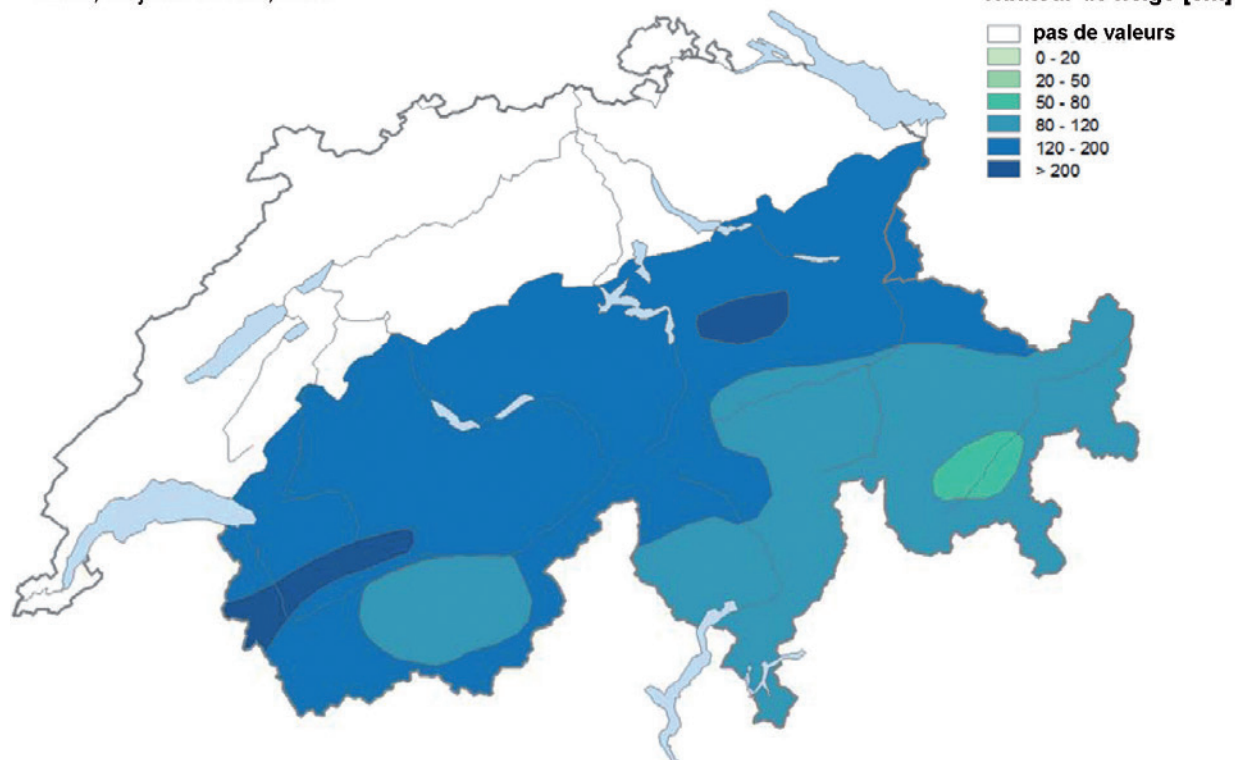


Fig. 30: Hauteurs de neige à 2500 m, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018).

Enneigement à 2000 m

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00



Enneigement à 2000 m

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

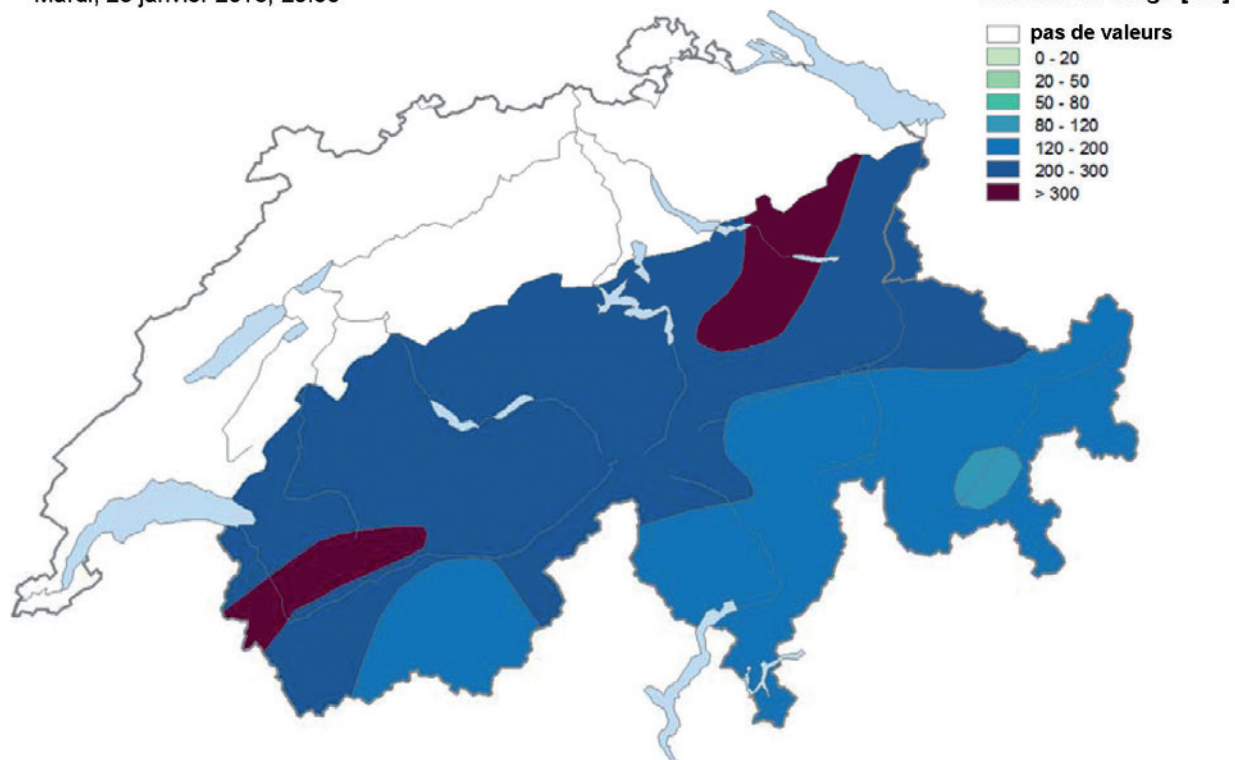
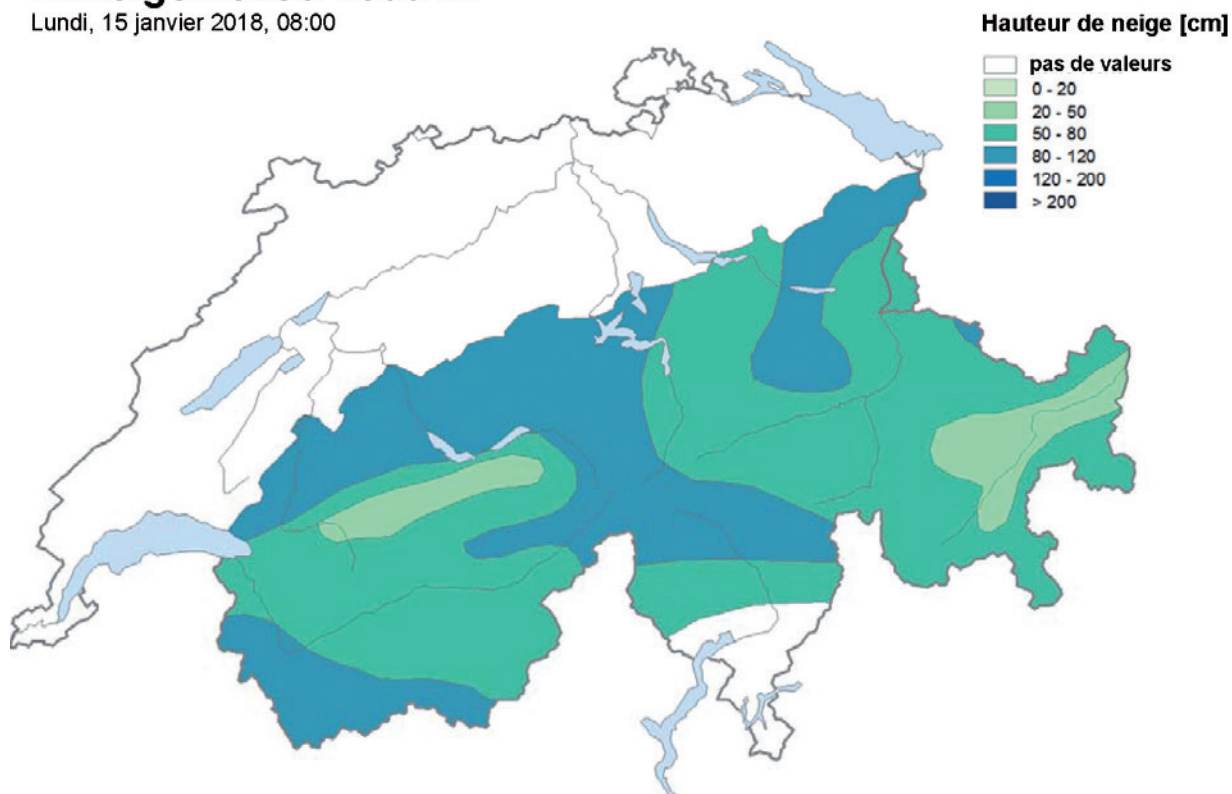


Fig. 31: Hauteurs de neige à 2000 m, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018).

Enneigement à 1500 m

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00



Enneigement à 1500 m

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

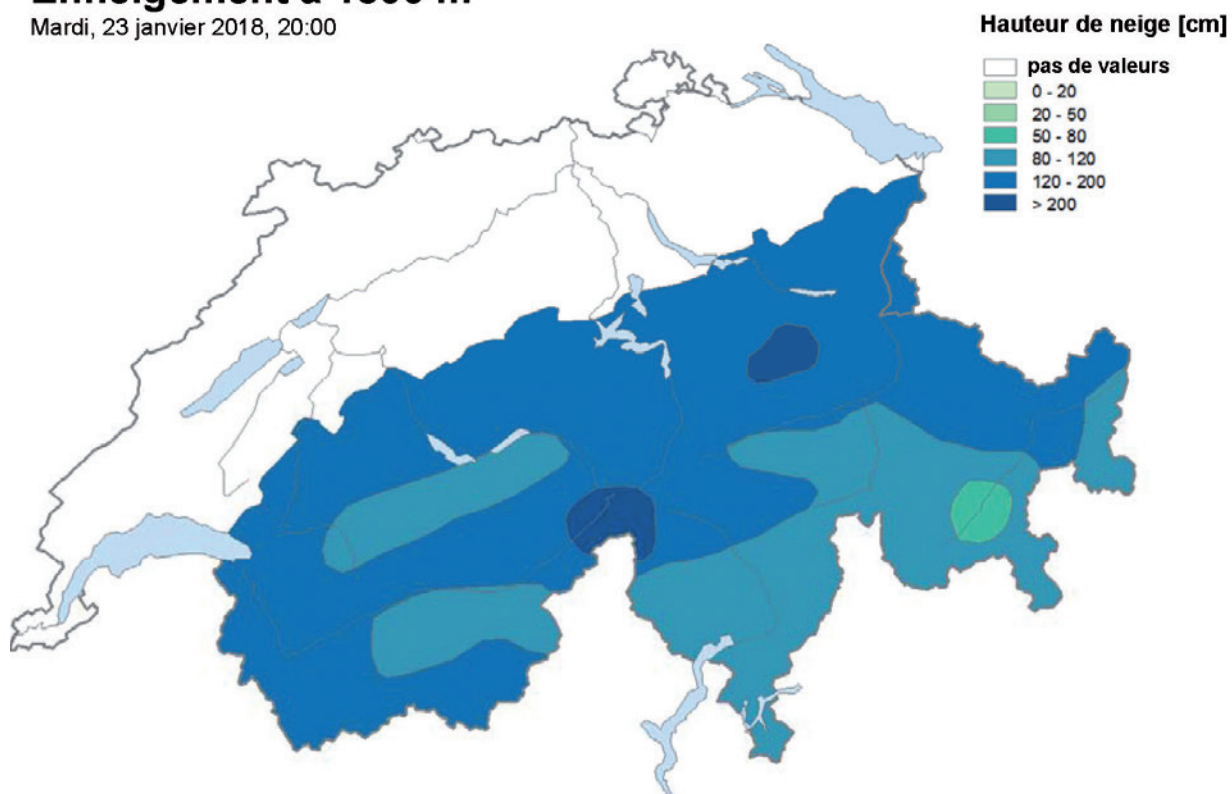


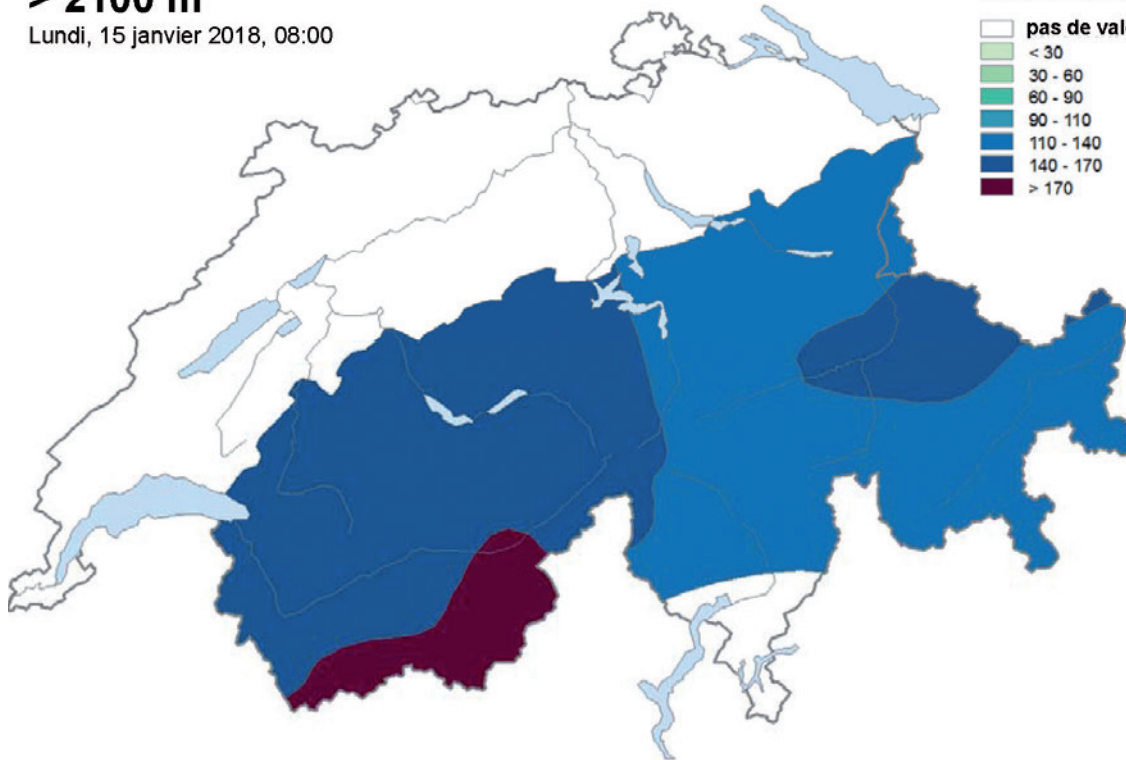
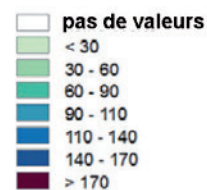
Fig. 32: Hauteurs de neige à 1500 m, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018)..

Enneigement relatif

> 2100 m

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00

Hauteur de neige [%]



Enneigement relatif

> 2100 m

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

Hauteur de neige [%]

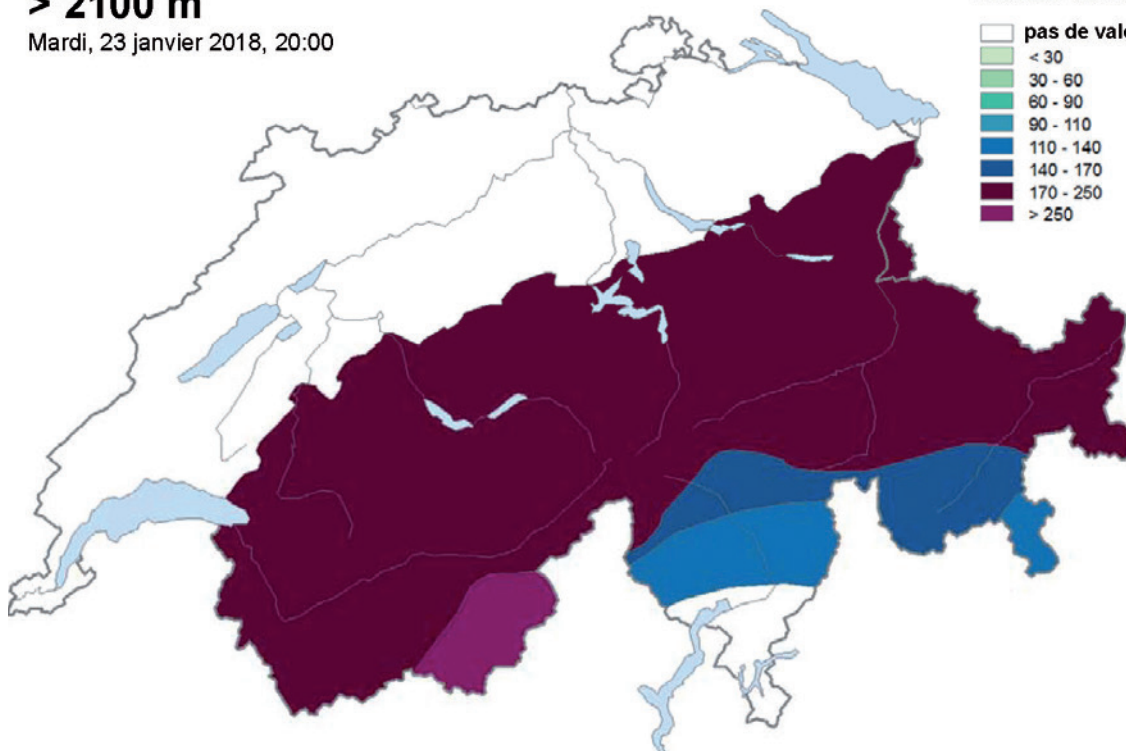
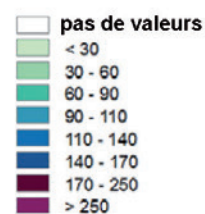
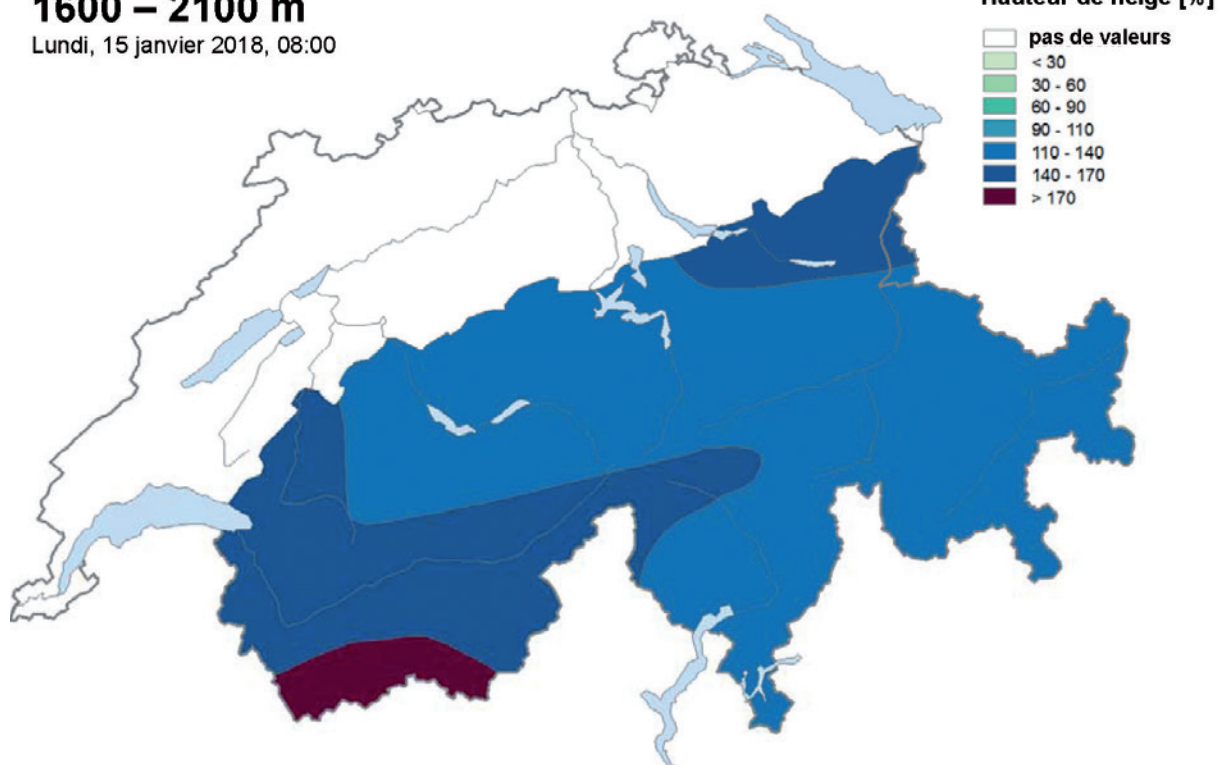


Fig. 33: Hauteurs de neige en comparaison avec la valeur moyenne du jour calendaire correspondant, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS pour les altitudes supérieures à 2100 m. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018).

Enneigement relatif**1600 – 2100 m**

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00

**Enneigement relatif****1600 – 2100 m**

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

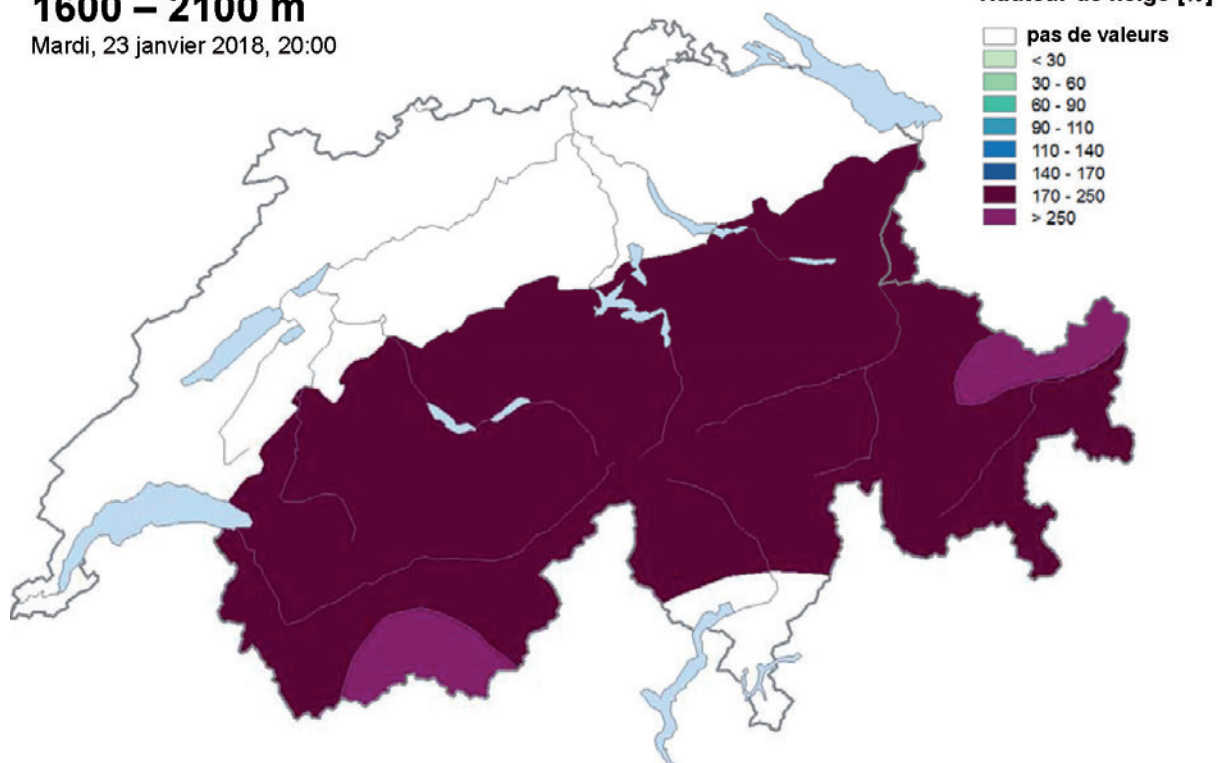


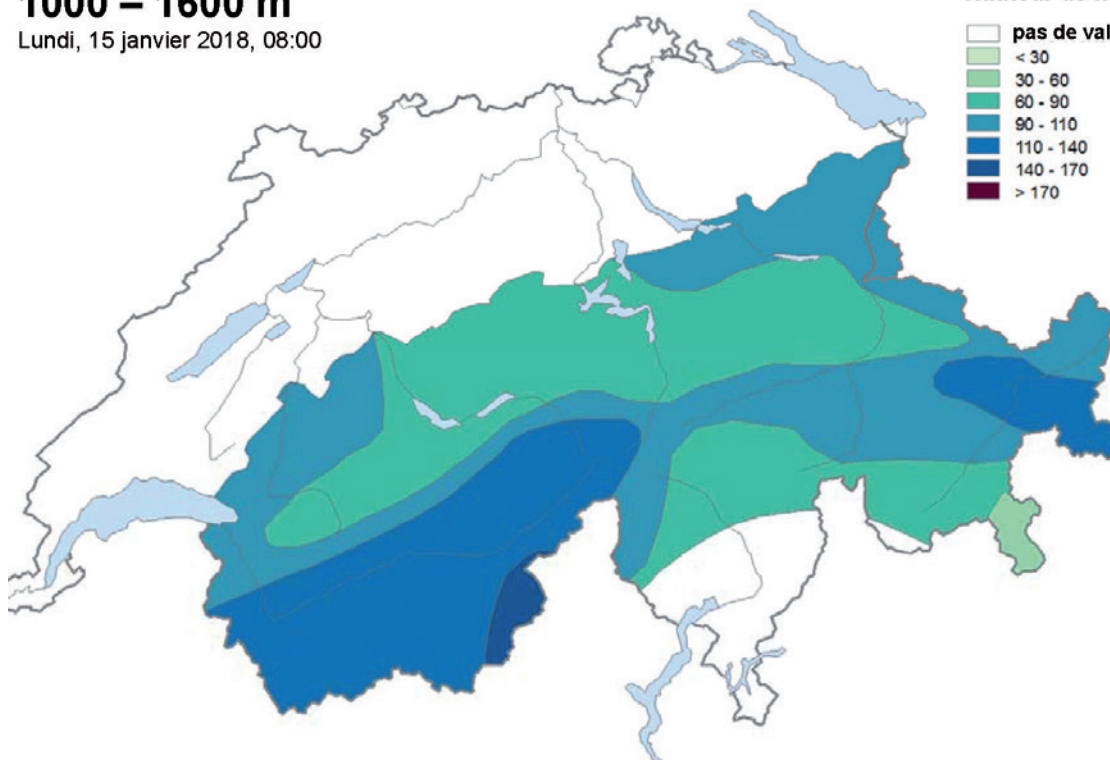
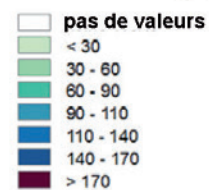
Fig. 34: Hauteurs de neige en comparaison avec la valeur moyenne du jour calendaire correspondant, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS pour la plage d'altitude 1600 - 2100 m. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018).

Enneigement relatif

1000 – 1600 m

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00

Hauteur de neige [%]



Enneigement relatif

1000 – 1600 m

Mardi, 23 janvier 2018, 20:00

Hauteur de neige [%]

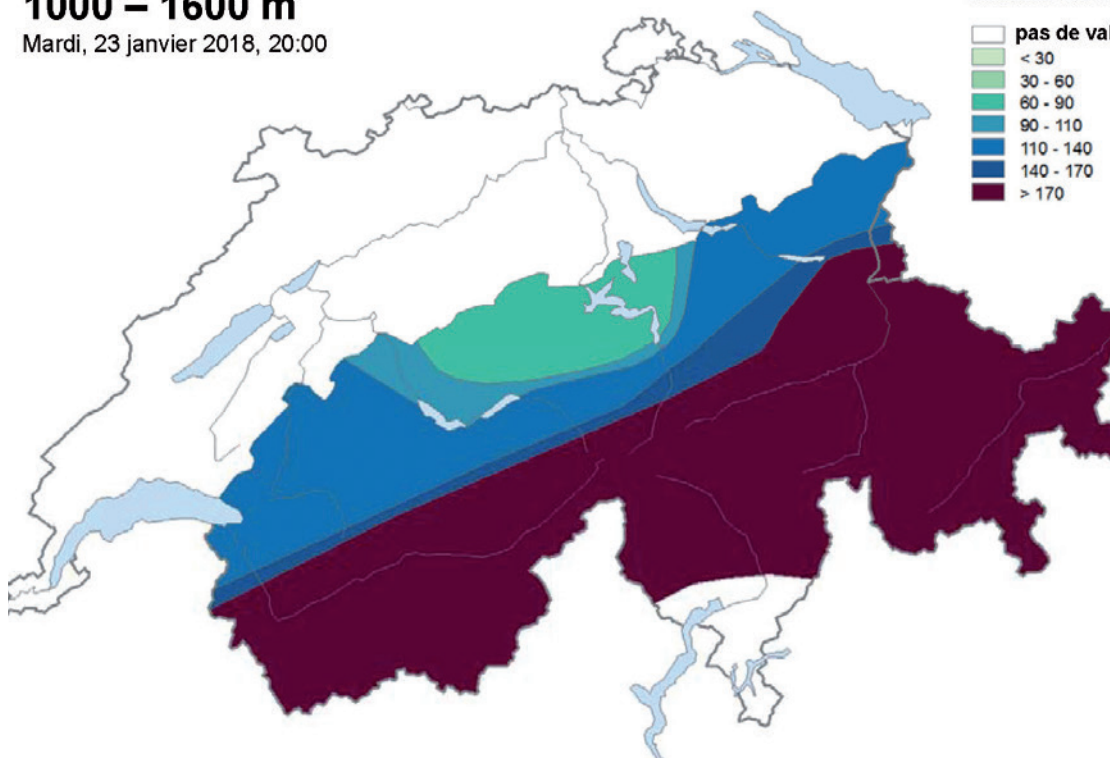
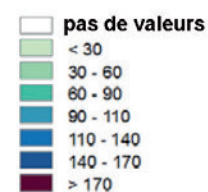


Fig. 35: Hauteurs de neige en comparaison avec la valeur moyenne du jour calendaire correspondant, mesurées sur les sites de mesures manuelles du SLF et aux stations automatiques IMIS pour la plage d'altitude 1000–1600 m. En haut, les valeurs avant l'épisode de précipitations (15 janvier 2018), en bas les valeurs après (23 janvier 2018).

La comparaison avec la normale pour ce jour calendaire (23 janvier) montre ce qui suit (Fig. 33 à 35, en bas):

- au-dessus d'environ 2100 m, les hauteurs de neige sur le centre du versant sud des Alpes sans le nord-ouest du Tessin, ainsi qu'en Haute-Engadine et dans les vallées méridionales adjacentes étaient supérieures à la normale, sinon partout fortement inférieures à la normale. Dans les vallées méridionales de la Viège, on trouvait même plus de deux fois et demie la quantité de neige habituelle à cette époque de l'année.
- entre 1600 et 2100 m, les hauteurs de neige étaient partout fortement supérieures à la normale. Dans certaines parties du sud du Valais et de Davos au nord de la Basse-Engadine, on trouvait même plus de deux fois et demie de neige qu'habituellement à cette époque de l'année.
- Entre 1000 et 1600 m, la limite pluie-neige parfois élevée surtout au nord se fait sentir. Une grande partie des précipitations étant tombée sous forme de pluie, les hauteurs de neige étaient localement inférieures à la normale dans les Préalpes, et aussi sur le reste du versant nord des Alpes seulement légèrement supérieures à la normale. Dans toutes les autres régions, les hauteurs de neige étaient fortement supérieures à la normale à ces altitudes.

De telles hauteurs de neige dès le mois de janvier sont très inhabituelles et ne sont attendues statistiquement en de nombreuses stations que tous les 20 à 100 ans (Fig. 36). La grande majorité des stations (12 de 17) avec une durée de retour de plus de 50 ans pour la hauteur de neige en janvier se trouve dans le Valais. Le reste des stations (avec une seule exception) se concentre dans l'est des Grisons.

À la suite du mois de janvier extrêmement doux de 2018, la durée de retour des hauteurs de neige était fortement dépendante de l'altitude. Les trois stations de Klosters (1200 m), Davos (1560 m) et Weissfluhjoch (2536 m) en sont un exemple parfait. Les durées de retour correspondantes pour les hauteurs de neige de janvier (sur la base de 20 ans entre 1999 et 2018) s'élèvent à 8, 16 et 29 ans.

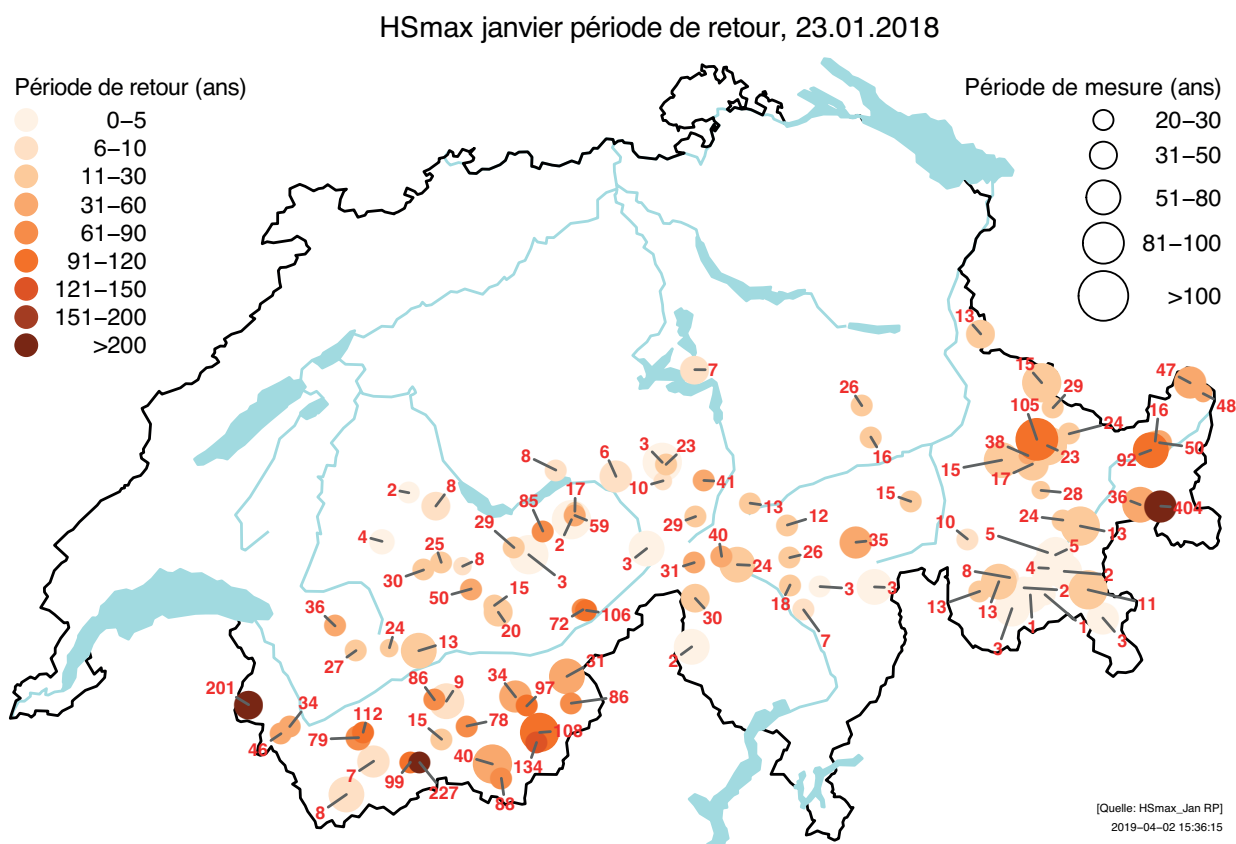


Fig. 36: Durée de retour (en rouge) des hauteurs de neige du 23 janvier 2018 en comparaison avec les autres maxima de janvier à des stations manuelles et automatiques au-dessus de 1500 m. Plus les cercles sont foncés, plus la durée de retour est importante. Plus les cercles sont grands, plus la série de mesures disponible est longue.

Tab. 3: Stations avec des records absolus de hauteur de neige le 23 janvier 2018.

Station	Canton	Hauteur	HS _{max} le 23.01.2018	HS _{max} antérieur	Nombre d'années de mesure
FNH2, Finhaut	VS	2252 m	454 cm	349 cm	21
4KU, Kühboden	VS	2210 m	274 cm	270 cm	30
STN2, Oberer Stelligletscher	VS	2914 m	350 cm	305 cm	20
DAV3, Hanengretji	GR	2455 m	292 cm	239 cm	20

Environ un tiers de toutes les stations d'observateurs à long terme en dessous de 2000 m n'avait encore jamais enregistré autant de neige un 23 janvier. Des records absolus de hauteur de neige sur des stations ayant des séries de mesures d'au moins 20 ans n'ont été atteints qu'à trois stations dans le Valais et une station dans les Grisons (Tab. 3). Une analyse sur l'ensemble de l'hiver montre que des hauteurs maximales de neige comme en 2018 ne sont cependant attendues dans les régions spécialement concernées du Valais et des Grisons que tous les 15 à 30 ans.

Même si le 23 janvier 2018, les hauteurs de neige maximales jamais enregistrées n'avaient été atteintes que très rarement, une telle quantité de neige si tôt dans l'hiver présentait pourtant un réel danger:

- En cas d'autres grosses chutes au cours de l'hiver, la charge de neige maximale que peuvent supporter les toits aurait pu être dépassée (chapitre 2.2.4).
- De nombreux ouvrages paravalanches à partir d'une altitude d'environ 2000 m étaient déjà remplis aux deux tiers de neige, et certaines rangées d'ouvrages, notamment dans les versants sous le vent, totalement enneigées. Ici aussi, de grosses chutes de neige ultérieures auraient entraîné des problèmes.
- Les dommages provoqués par les glissements du manteau neigeux n'ont pas été observés directement pendant cet épisode avalancheux, mais plus tard dans l'hiver en raison des grandes hauteurs de neige. De tels dommages se sont produits par exemple sur des bâtiments ou des chemins, mais aussi par arrachement des sols, ce qui a favorisé par la suite les glissements de terrain.

2.2.3 Comparaison avec février 1999

Janvier 2018 a été bien plus doux que février 1999. C'est pourquoi les précipitations de 2018 sont souvent tombées à basse et moyenne altitude sous forme de pluie. Ainsi, on a observé un enneigement nettement inférieur en dessous d'environ 1300 m qu'en février 1999, et en dessous d'environ 2000 à 2200 m, la surface du manteau neigeux s'est humidifiée en fin de précipitations. En altitude, les hauteurs de neige ont atteint le 23 janvier 2018 dans le sud du Valais des valeurs similaires à celles de février 1999, ailleurs elles sont restées inférieures.

2.2.4 Charge de neige pendant l'hiver 2017/18

Lors du mois de janvier enneigé de 2018, les charges dues à la neige sur les toitures ont également été importantes au-dessus d'environ 1000 m. Les grandes quantités de neige ont par ailleurs été accompagnées de pluie jusqu'à haute altitude. Dans de telles situations, on s'interroge souvent sur le dépassement de la charge de dimensionnement d'un toit, et sur un éventuel déblaiement de la neige à titre de mesure d'urgence. La charge de neige sur le toit est souvent déterminante en montagne pour le dimensionnement d'un bâtiment. Le calcul de la charge de neige est fixé par la norme SIA261 de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA, 2014). La valeur caractéristique de la charge de neige est déterminée pour une période de retour de 50 ans en fonction de l'altitude. Cette altitude est corrigée en fonction du climat régional. La correction varie de - 200 m à +500 m. Cette valeur de charge de neige s'applique à un terrain horizontal, et elle est ensuite corrigée par différents coefficients pour la toiture concernée (ces coefficients tiennent compte de la forme de toiture, de l'exposition au vent et des transferts thermiques à travers le toit).



Fig. 37: Au début de février 2018 la neige a été dégagée sur toute la surface de la patinoire de Davos pour éviter des problèmes structurels en cas de grosses chutes de neige ultérieures. Lors du dégagement de la neige d'un toit, l'équilibre statique de la structure doit être respecté. Un dégagement d'un seul côté, ou bien des amas locaux doivent être évités. Les personnes travaillant sur le toit de la patinoire étaient assurées avec des cordes. Le déblaiement de la neige des toitures ne doit être effectué que par des personnes formées (photo: SLF/S. Margreth).

Lors de l'hiver 2017/18, la charge de neige ou la teneur en eau de l'ensemble du manteau neigeux (SWE) a été déterminée toutes les deux semaines sur 48 stations comparatives. Le 23 janvier 2018, la charge de neige atteignait à Davos 380 kg/m^2 . Cette valeur correspond à peu près à 60 % de la charge de neige SIA de 640 kg/m^2 . Comme on pouvait supposer que la charge de neige pouvait encore augmenter au cours de l'hiver, la neige a été déblayée par exemple du toit de la patinoire de Davos (Fig. 37). La charge de neige maximale de l'hiver s'est élevée à Davos le 3 avril 2018 à 500 kg m^2 (soit 78 % de la charge de neige SIA; Fig. 38).

Pour quatre stations comparatives disposant de séries de mesures d'au moins 30 ans, de nouvelles valeurs maximales de charge de neige ont été mesurées pendant l'hiver 2017/18. Par exemple sur le Rigi (1640 m, 57 ans), une nouvelle charge record de 950 kg/m^2 a été mesurée. Une comparaison entre les charges de neige mesurées pendant l'hiver 2017/18 et la charge de neige SIA 261 montre, comme on pouvait s'y attendre, que la charge de neige SIA n'a été atteinte en aucun point de mesure (Fig. 39). En conséquence, nous n'avons connaissance que de quelques dommages sur les toitures en raison d'une trop grosse charge de neige. Pendant l'hiver avalancheux de 1999, on trouvait à basse altitude beaucoup plus de neige que pendant l'hiver 2017/18, et les charges de neige étaient généralement plus importantes. Pendant l'hiver 1999, les dommages provoqués par la charge due à la neige sur les bâtiments ont atteint environ 100 millions de francs.

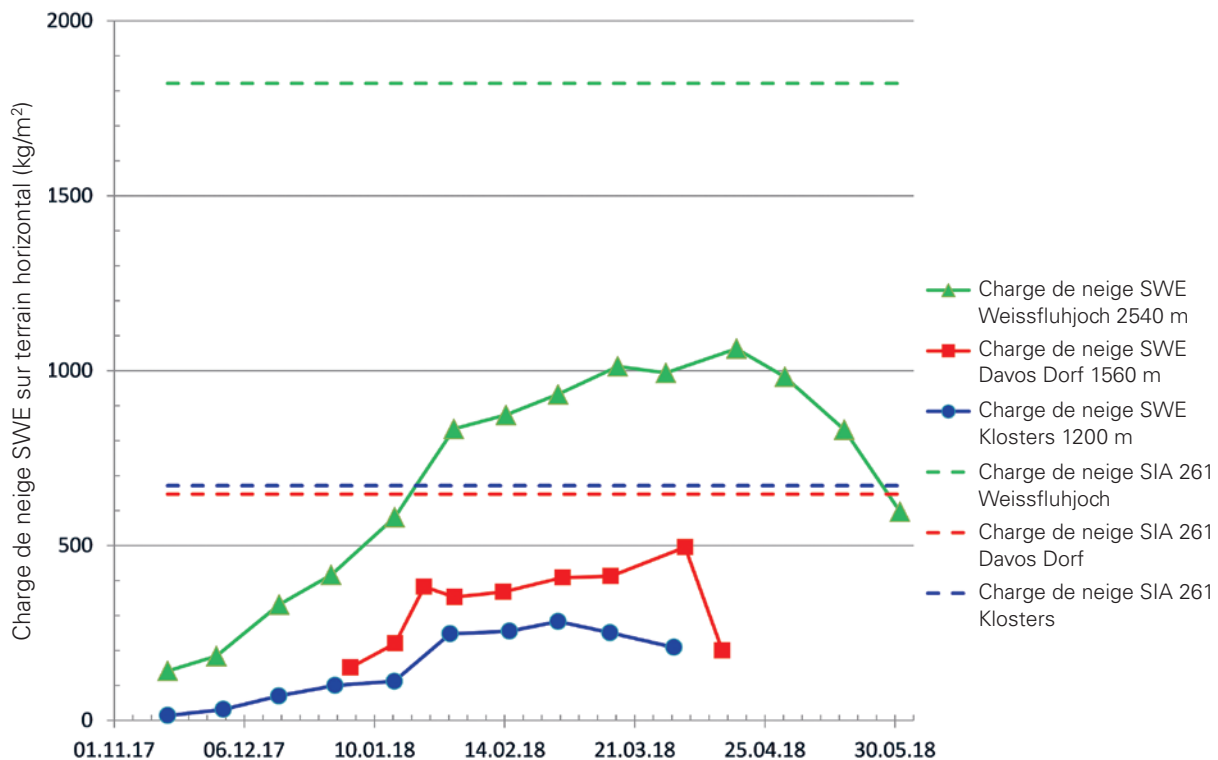


Fig. 38: Courbe de la charge de neige pendant l'hiver 2017/18 mesurée à Klosters, Davos et au Weissfluhjoch en comparaison avec la charge de neige de la norme SIA 261.

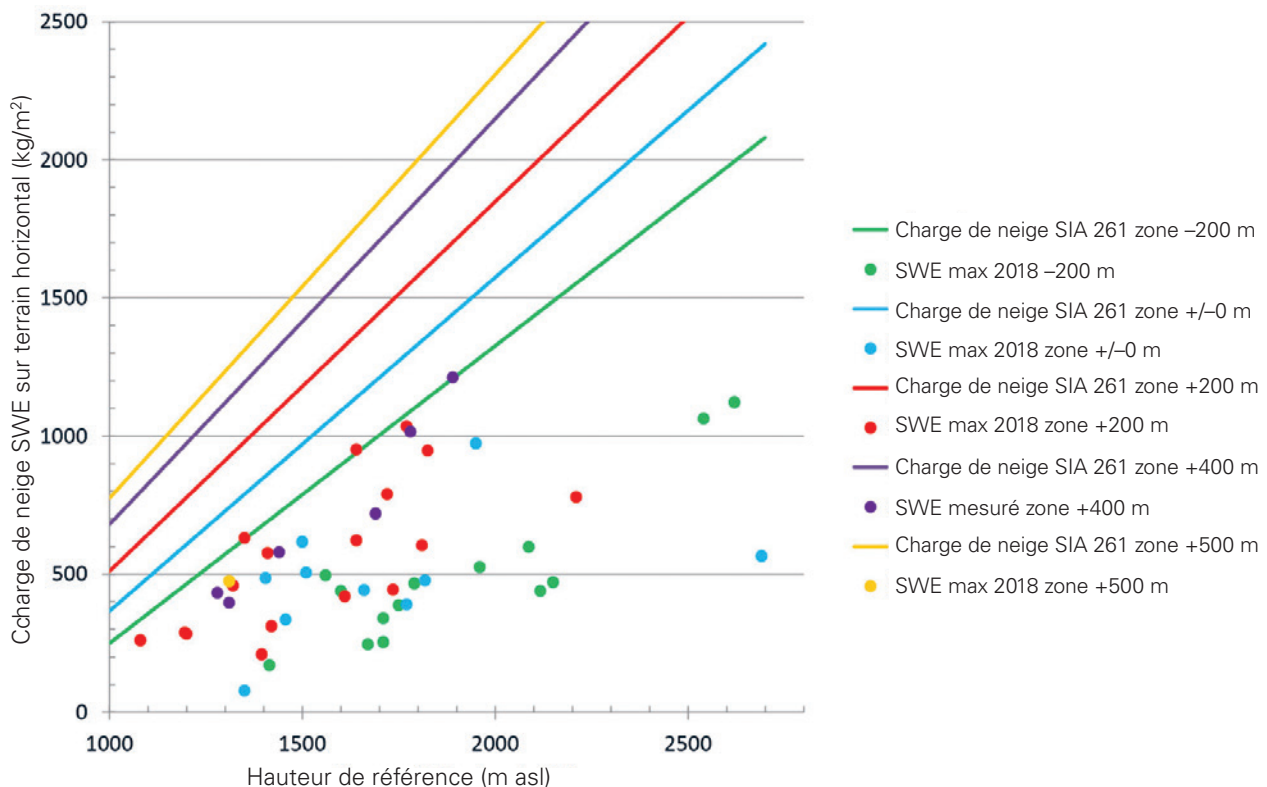


Fig. 39: Comparaison des charges de neige maximales mesurées à différentes stations de mesure pendant l'hiver 2017/18 et de la charge de neige SIA 261. L'altitude de référence est l'altitude au-dessus du niveau de la mer corrigée conformément à l'annexe D de la norme SIA 261.

2.3 Structure du manteau neigeux

2.3.1 Structure du manteau neigeux avant l'épisode avalancheux

Avant l'épisode de précipitations du 16 au 23, le manteau neigeux présentait une structure favorable le 15 janvier au nord. On n'observait pratiquement pas de couches meubles à grains anguleux, typiques des couches fragiles (Fig. 40). Dans le Valais, il existait certes de telles couches fragiles potentielles, mais déjà recouvertes d'un manteau épais, et donc difficilement déclenchables. Au sud, et dans une grande partie des Grisons, la structure du manteau neigeux était un peu moins favorable. Les couches fragiles potentielles y étaient plus fréquentes et par ailleurs moins recouvertes.

Quelques belles journées accompagnées de nuits claires (10 au 15 janvier 2018) avaient cependant soumis les couches proches de la surface sur les versants à l'ombre à une métamorphose constructive à grains anguleux, qui les avait rendues meubles. Par ailleurs, on observait en surface en de nombreuses régions un givre de surface parfois important (Fig. 41). La surface de la neige ancienne représentait donc une couche fragile potentielle pour les chutes de neige ultérieures.

2.3.2 Structure du manteau neigeux pendant l'épisode avalancheux

Pendant tout l'épisode de précipitations, le vent a toujours été fort à tempétueux d'ouest à nord-ouest. C'est pourquoi de très grosses accumulations de neige soufflée se sont accumulées toujours sur les mêmes versants sous le vent. Elles se sont déposées surtout sur les versants protégés du vent, et dans la zone de la limite de la forêt sur le manteau neigeux ancien fragile du 15 janvier (Fig. 42). On peut supposer que de nombreuses avalanches spontanées des 17 et 18 janvier, parfois grandes (taille 4), se sont déclenchées dans cette couche dans le Valais.

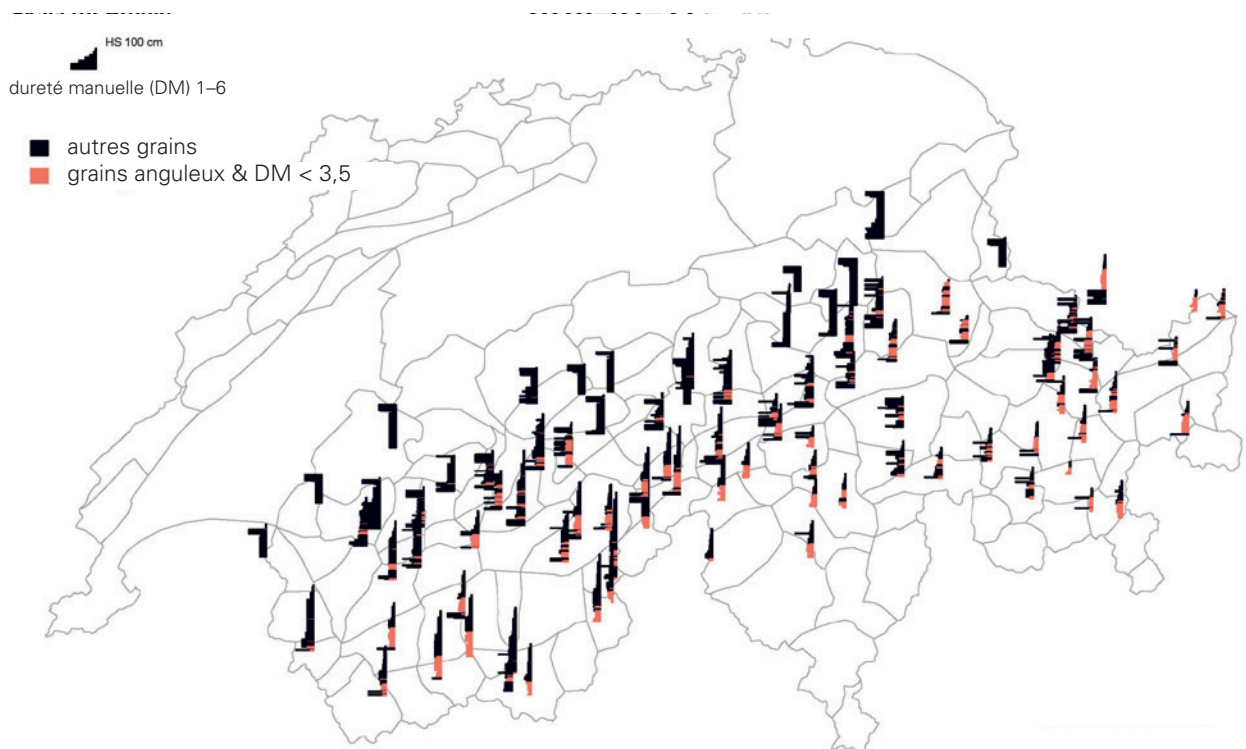


Fig. 40: Profils de neige simulés avec le modèle de manteau neigeux SNOWPACK sur les versants nord près des stations IMIS le 11 janvier 2018. La dureté manuelle modélisée des couches est représentée. Les couches rouges montrent des couches avec des cristaux de neige anguleux et une dureté manuelle HH relativement faible (poing, 4 doigts ou 1 doigt), qui sont les couches fragiles potentielles les plus probables.

Lundi, 15 janvier 2018, 08:00

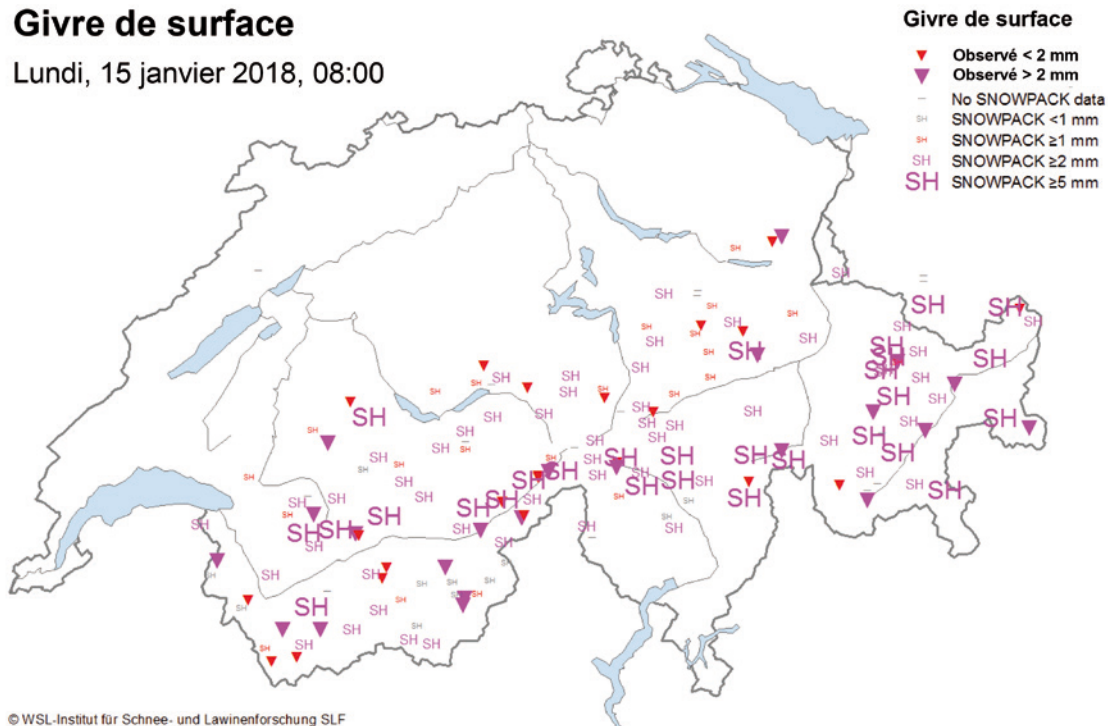


Fig. 41: Givre de surface mesuré (triangles) et calculé avec SNOWPACK («SH») au matin du 15 janvier 2018.

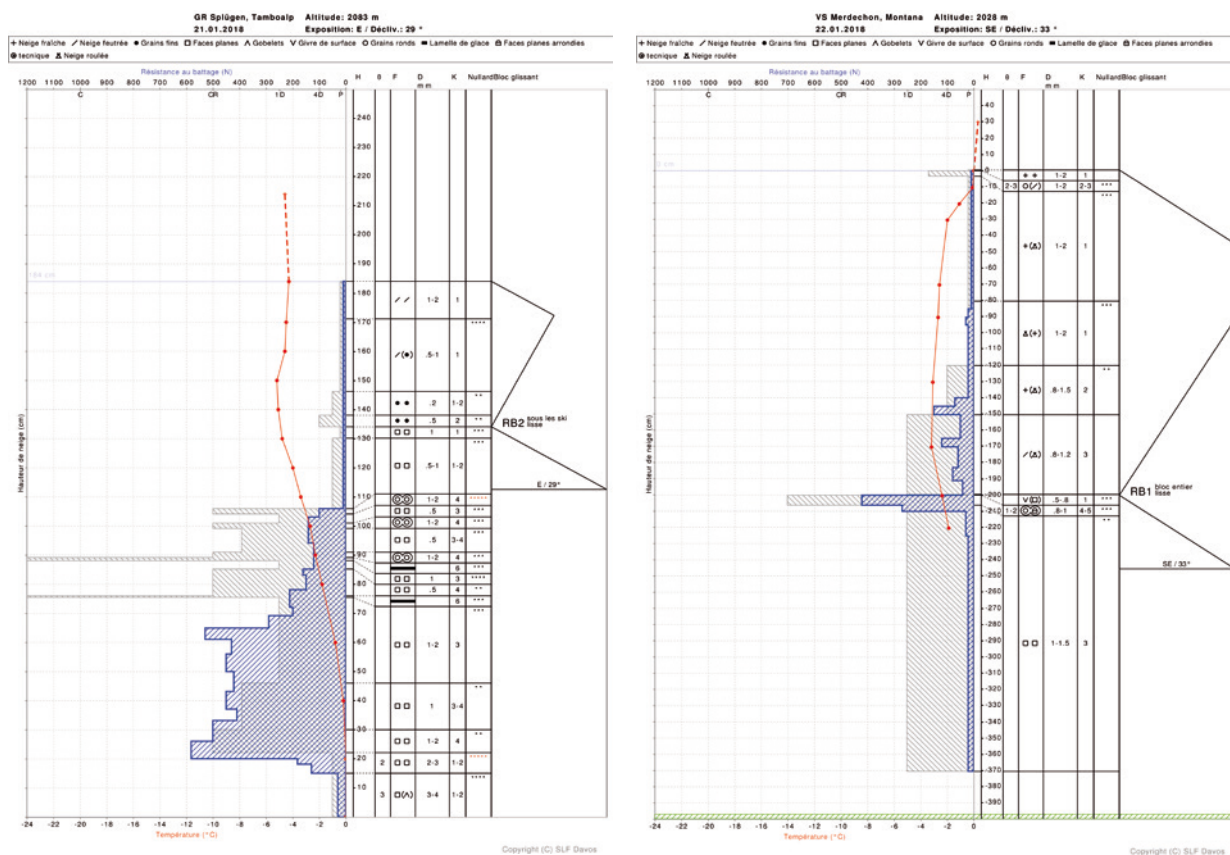


Fig. 42: La surface de la neige du 15 janvier 2018 constituait surtout sur les versants protégés du vent et dans la zone de la limite de la forêt une couche fragile bien marquée. Elle avait souvent été, particulièrement sur les versants à l'ombre, soumise à une métamorphose constructive à grains anguleux, et elle était meuble comme sur le profil de gauche, relevé le 21 janvier 2018 à Splügen (GR) à 2083 m. Du givre de surface avait parfois également été enneigé, comme dans le profil de droite, relevé à Montana (VS), le 22 janvier 2018 sur un versant sud à 2028 m.

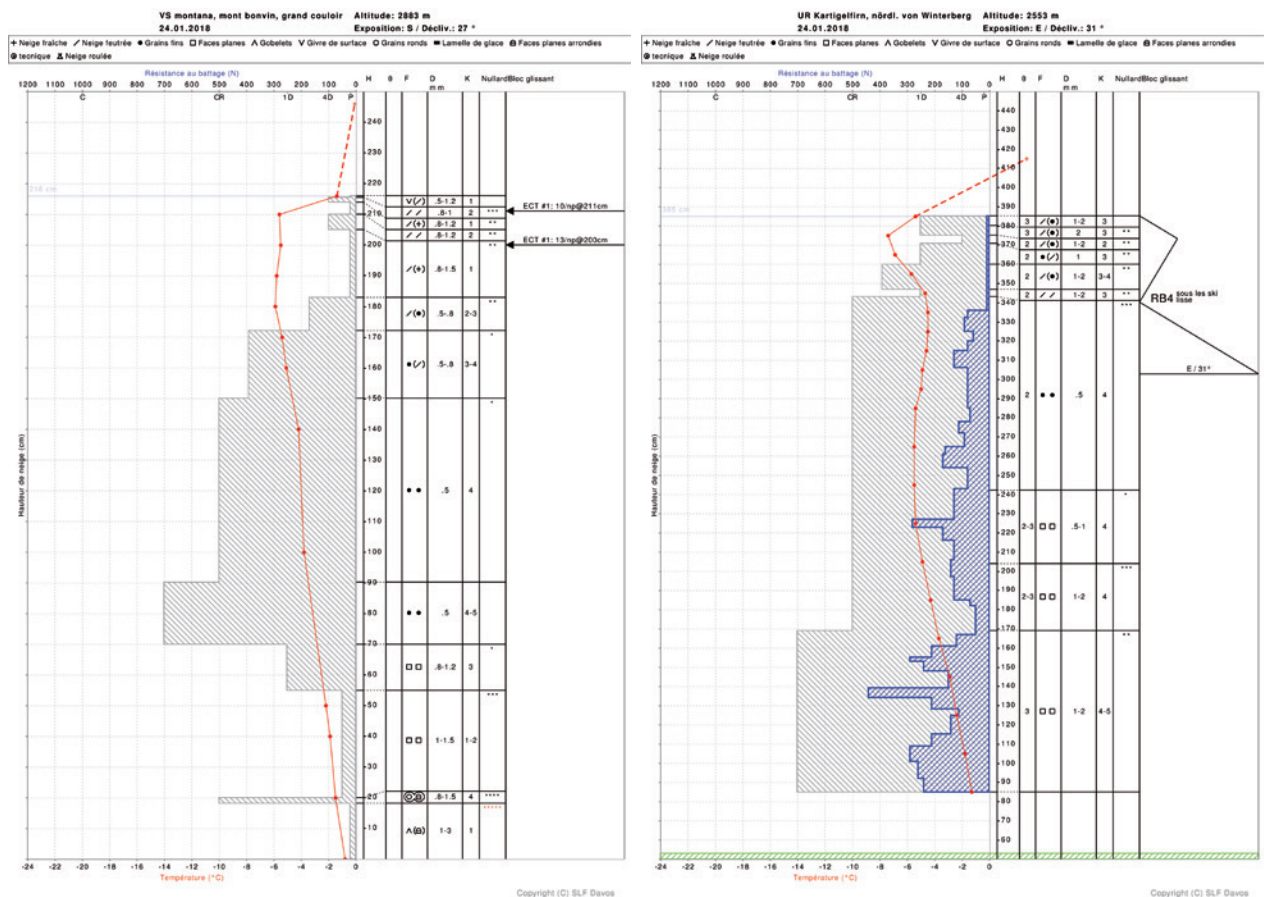


Fig. 43: Deux profils de neige du 24 janvier 2018. À gauche sur un versant sud à 2883 m à Montana (VS), à droite sur un versant est à 2553 m sur le Kartigelfirn (Wassen, UR). Les deux profils ne montrent pas de givre de surface enfoui, sans indiquer si celui-ci n'a pas été recouvert ou s'il s'est décomposé entre temps. Au sein des différentes couches de neige fraîche et de neige soufflée de la dernière période de précipitations, des ruptures ont pu certes encore se produire, mais elles ne se sont plus propagées sur le bloc entier. Le profil de gauche montre que les couches du début de l'hiver ont constitué un pied fragile, dans le profil de droite les 85 cm inférieurs n'ont pas été étudiés.

Par la suite, les tests de stabilité et les départs d'avalanches ont montré que les couches proches de la surface du 15 janvier s'étaient un peu consolidées au cours des épisodes de précipitations. Les avalanches du 21 au 23 janvier se sont certes déclenchées sur certaines surfaces, mais pas toujours assez profondément pour que la surface de neige du 15 janvier puisse être considérée comme une couche faible.

Il n'y a pratiquement pas d'études du manteau neigeux pendant ces journées. Les études effectuées ultérieurement n'ont plus fait apparaître de couches fragiles marquées au sein des énormes couches de neige fraîche et de neige soufflée (Fig. 43). Ainsi, de nombreuses avalanches ont dû se déclencher dans des couches fragiles à durée de vie brève au sein des différentes couches de neige fraîche et de neige soufflée. Ceci explique également l'activité avalancheuse parfois élevée sur les versants sud-est. Diverses prises de vue d'avalanches ont indiqué que celles-ci avaient parfois entraîné lors de leur parcours de grandes quantités du manteau neigeux encore frais (entraînement important).

Les couches profondes fragiles n'étaient, à la différence des épisodes avalancheux de début janvier 2018, encore susceptibles de se déclencher que de manière très isolée. Les images satellitaires n'ont montré en tous cas que quelques avalanches qui s'étaient déclenchées à proximité du sol.

Avec la limite pluie-neige oscillant fortement, la surface de la neige aux altitudes moyennes a été humidifiée à plusieurs reprises (Fig. 44). Cela a provoqué, surtout le 22 janvier en dessous d'environ 2200 m, des avalanches mouillées parfois grandes (taille 4), qui sont descendues jusqu'aux prairies découvertes. Par contre la neige humide a freiné les avalanches de poudreuse parties plus haut dans le manteau neigeux sec sur leur chemin vers l'aval. En dessous d'environ 1300 m, il n'y avait que très peu de neige.

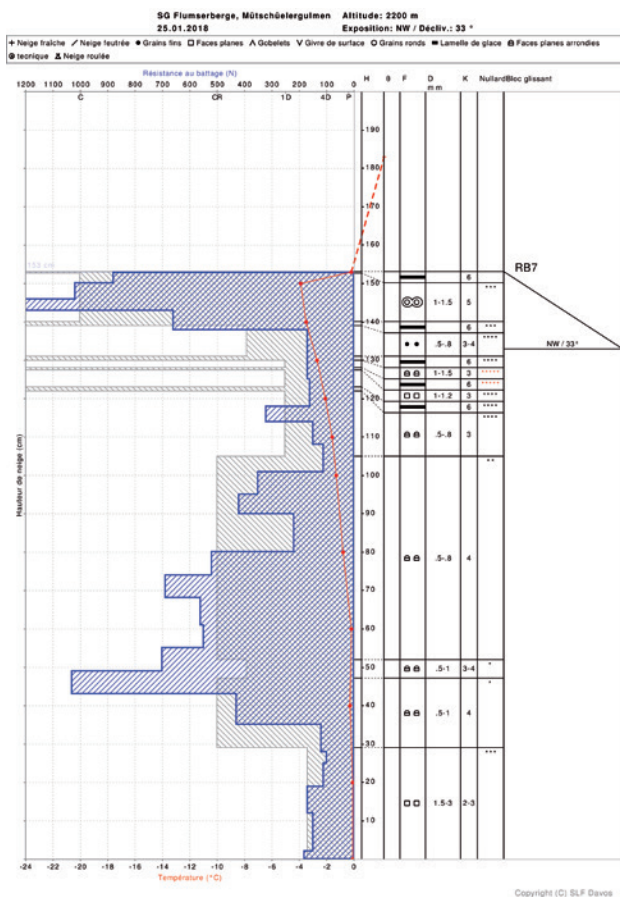


Fig. 44: Profil de neige du 25 janvier 2018 sur un versant nord-ouest à 2220 m sur le Mütschuelergulmen, Quarten (SG). Cinq croûtes et lamelles de glace en partie supérieure du profil montrent que la surface de la neige sur le versant nord des Alpes a été plusieurs fois mouillée entre les chutes de neige à cette altitude.

2.3.3 Comparaison avec février 1999

Pendant l'hiver 1998/99, les hauteurs de neige sont restées dans la moyenne jusqu'au mois de janvier. Avant les grosses chutes de neige, le manteau neigeux avait parfois subi une métamorphose à grains anguleux, avec plusieurs croûtes intégrées. Il était donc en général plus fragile que pendant l'hiver 2017/18.

- Pourtant, le manteau neigeux ancien n'a été que rarement entraîné lors du premier épisode de grosses chutes de neige fin janvier 1999. La plupart du temps, les avalanches se sont déclenchées à la transition entre la neige ancienne et la neige fraîche.
- Pour la deuxième grosse chute de neige du 5 au 12 février 1999, la forte activité avalancheuse n'a commencé dans les régions bien enneigées que lorsque le cumul de neige a atteint environ 1,5 m. Les volumes de dépôt n'étaient généralement pas énormes. Avec la neige froide et meuble en surface, de grandes avalanches de poudreuse se sont parfois déclenchées (taille 4). Ce fut différent lors de l'hiver 2017/18, car la neige était généralement humide aux altitudes moyennes, de telle sorte que les avalanches de poudreuse ont été freinées dans leur parcours.
- La troisième et dernière grosse chute de neige de février 1999 a été la plus abondante. La surcharge a alors été si importante que les avalanches se sont souvent déclenchées dans les couches proches du sol. Cela a provoqué de nombreuses très grandes avalanches (taille 5) et de grands dommages du 22 au 25 février 1999. Par contre, la base du manteau neigeux était plus stable pendant l'hiver 2017/18, de telle sorte que seules quelques avalanches se sont déclenchées dans les couches profondes.

2.4 Bulletin d'avalanches et activité avalancheuse du 15 au 20 janvier 2018

2.4.1 Situation de départ le 15 janvier 2018

Dès le 4 janvier, puis dans les vallées de la Viège de manière très marquée le 9 janvier, de nombreuses grandes (taille 4) et parfois aussi très grandes avalanches (taille 5) se sont déclenchées. Dans ces régions, la rugosité du sol avait déjà été lissée dans de nombreux parcours. Dans la zone d'étalement, il existait en outre un danger que les nouvelles avalanches soient déviées par d'anciens dépôts et quittent latéralement le parcours habituel.

2.4.2 16 au 20 janvier 2018

La neige fraîche abondante, un vent fort à tempétueux et une surface de la neige ancienne parfois défavorable ont permis au danger d'avalanches d'augmenter de manière marquée en de nombreux endroits (Fig. 45). La neige fraîche et la neige soufflée étaient facilement déclenchables au début, et dès le 16 janvier, les premières avalanches sont parties spontanément dans le Valais.

Le 17 janvier, le degré de danger 4 (fort) a été prévu pour l'extrême ouest et le nord du Bas-Valais, le 18 janvier pour l'ensemble du Valais et de grandes parties du versant nord des Alpes (Fig. 45). Pour ces deux jours, c'est surtout dans le Valais que les avalanches ont été annoncées (Fig. 46). Parmi celles-ci, on note deux énormes avalanches de poudreuse l'après-midi du 17 janvier au Grand Chavalard (Fully, VS) et dans la vallée de Zermatt (VS). Les observations ont cependant dû être très incomplètes, car la visibilité était très limitée et beaucoup de domaines skiables étaient fermés en raison de la tempête. Pendant cette phase, de grandes avalanches spontanées ont été détectées par des radars, notamment dans les parcours d'avalanches pouvant menacer la route vers Zermatt (VS) et sur le site d'étude du SLF dans la Vallée de la Sionne (VS). Cette dernière a atteint une vitesse de plus de 200 km/h et a de ce fait été l'une des plus grandes avalanches de poudreuse des dernières années sur ce site.

2.5 Bulletin d'avalanche du 21 au 23 janvier 2018

De dimanche soir 21 janvier jusqu'au mardi matin 23 janvier, le degré de danger 5 (très fort) a été prédit pratiquement pour tout le Valais, des parties de la crête nord des Alpes ainsi que du Prättigau jusqu'à Samnaun (Fig. 47).

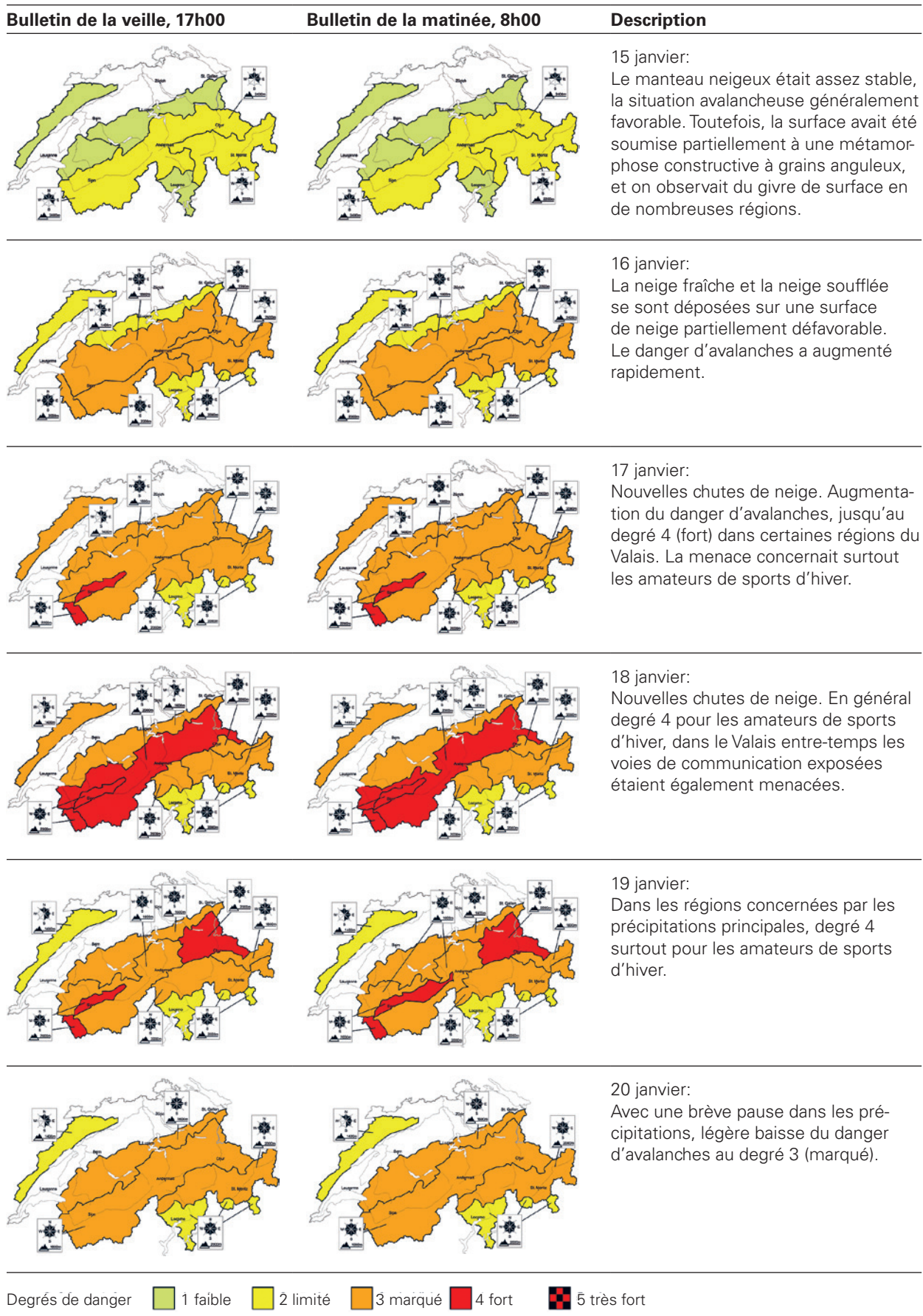


Fig. 45: Danger d'avalanches prévu du 15 au 20 janvier 2018.

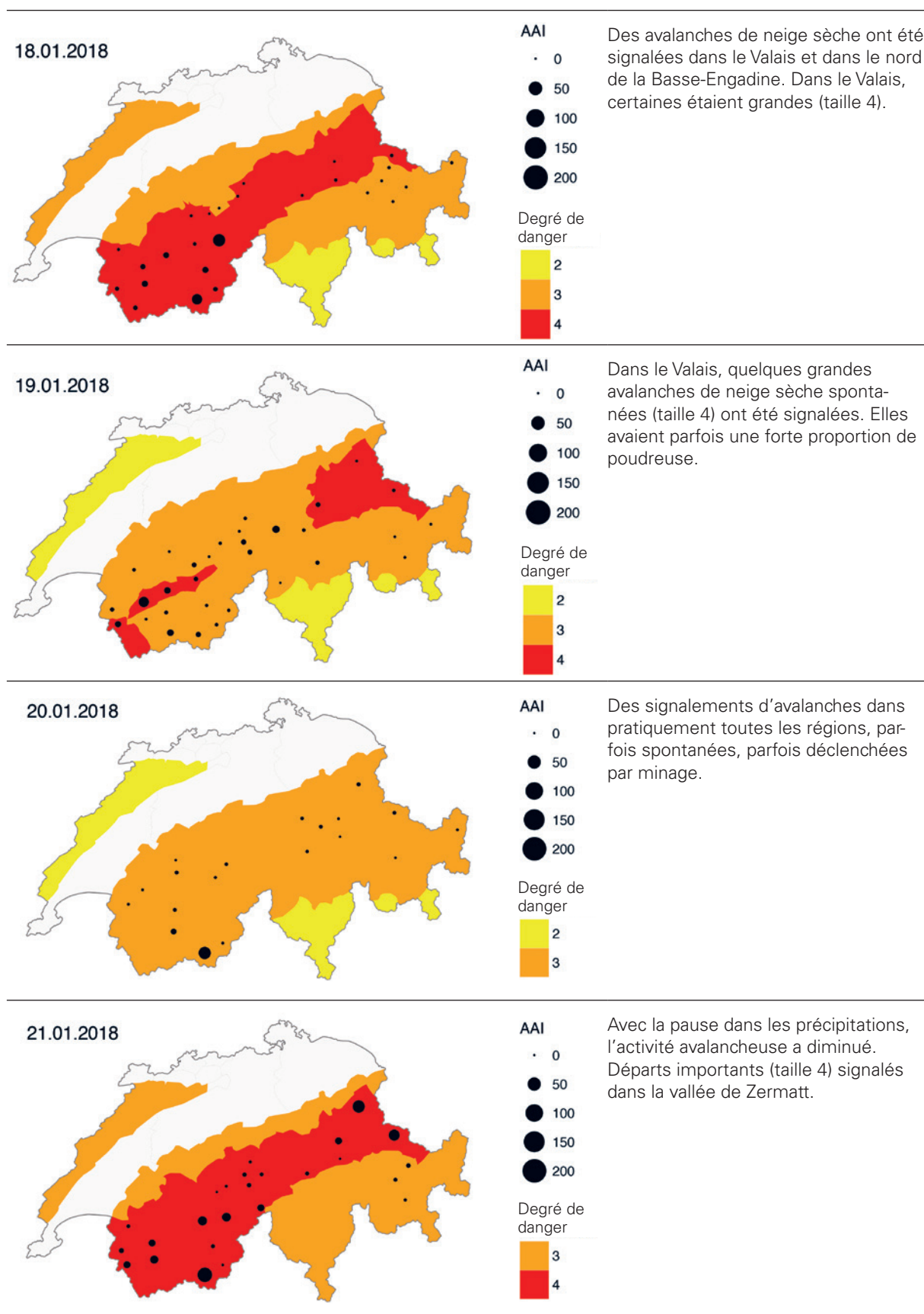


Fig. 46: Degré de danger (bulletin de la veille au soir) et avalanches signalées par les observateurs du SLF. L'indice d'activité avalancheuse AAI est représenté dans les différentes régions d'alerte. En cas de mauvaise visibilité et dans les régions reculées, toutes les avalanches sont loin d'avoir toutes été répertoriées. Les figures ne donnent donc qu'une synthèse approximative de l'activité avalancheuse.

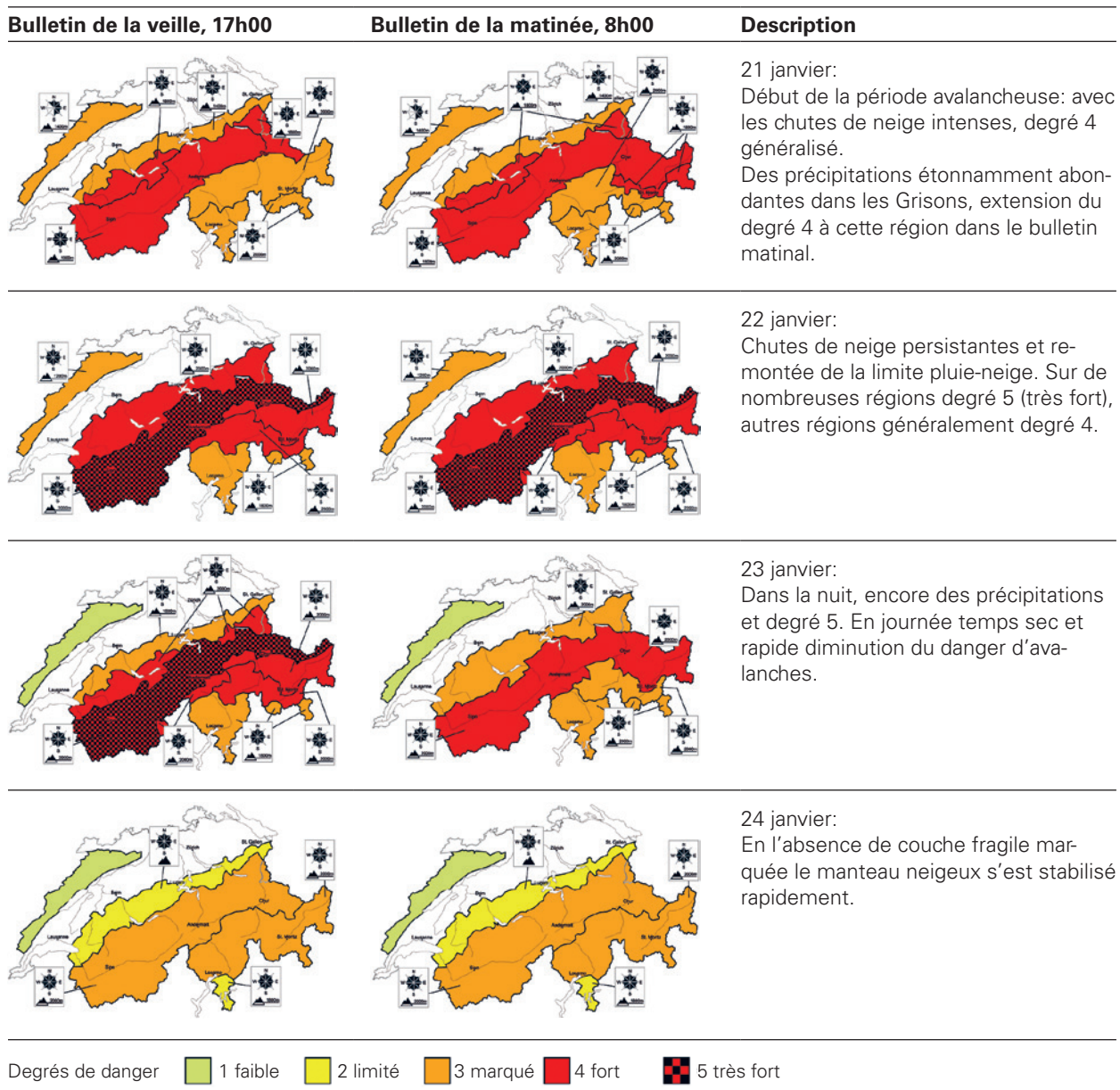


Fig. 47: Danger d'avalanches prévu du 21 au 24 janvier 2018

2.6 Activité avalancheuse du 21 au 23 janvier 2018

2.6.1 Plus gros épisode avalancheux depuis 1999

L'activité avalancheuse a été déterminée sur la base de l'indice d'activité d'avalanches AAI. Pour calculer cet indice sans dimensions, les avalanches signalées par les observateurs du SLF sont pondérées selon leur nombre, leur taille et le type de déclenchement, puis additionnées.

2017/18 a été l'hiver le plus avalancheux depuis le début des calculs de l'indice d'activité avalancheuse pour l'hiver 2001/02 et donc certainement depuis l'hiver avalancheux 1998/99 (Fig. 48). La période du 21 au 23 janvier a été la plus grande période avalancheuse sur 3 jours depuis que l'indice d'activité avalancheuse est calculé, et donc certainement depuis février 1999.

2.6.2 Evolution temporelle

L'évolution temporelle de l'activité avalancheuse est évaluée à partir des messages des observateurs et de l'indice d'activité avalancheuse calculé à partir de ceux-ci (Fig. 49 à Fig. 51). Contrairement aux avalanches identifiées sur les images satellitaires, le moment du déclenchement de ces avalanches (connues ou évaluées) est disponible, ainsi que des informations sur le type et l'humidité. Toutefois, ces données sont très incomplètes, surtout par mauvais temps et dans les régions reculées.

Activité avalancheuse AAI
depuis hiver 2001/02

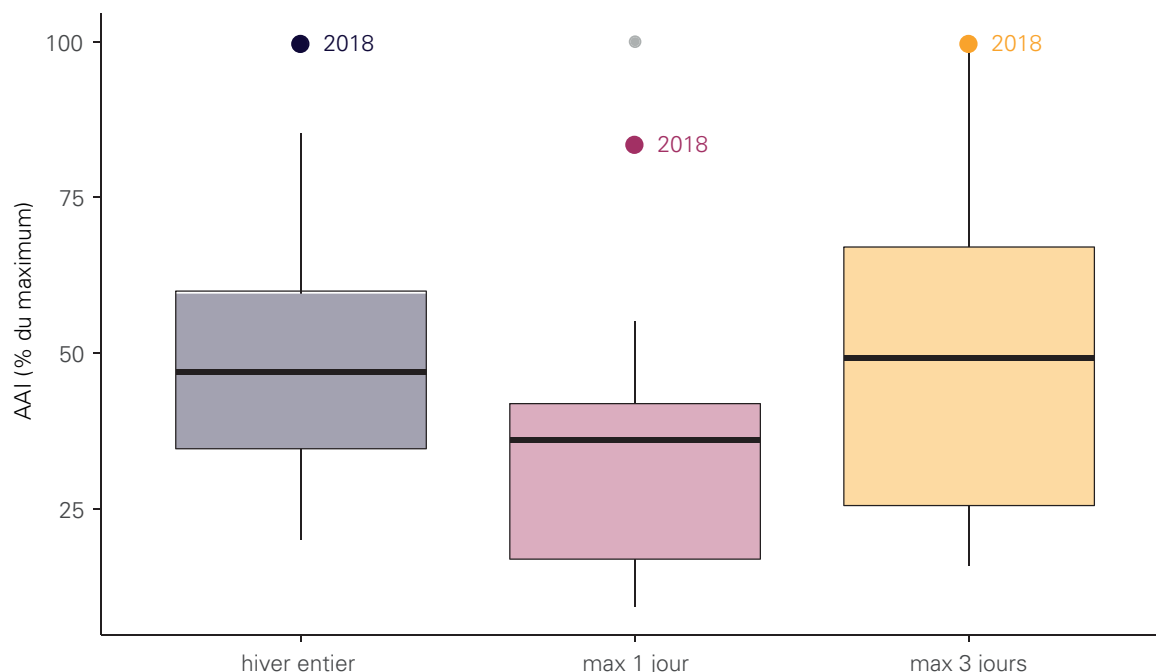


Fig. 48: Indice d'activité avalancheuse (AAI) pendant l'hiver 2017/18 (points colorés) et comparaison avec tous les hivers depuis 2001/02 (boxplot) entre décembre et avril. L'axe vertical indique la valeur de l'AAI, normé par la valeur maximale absolue. Sont représentés l'AAI cumulé sur tout l'hiver (à gauche), la valeur maximale de chaque hiver (au centre) ainsi que la plus grande période avalancheuse de 3 jours de chaque hiver (à droite). Les lignes noires en gras montrent la médiane pour tous les hivers, ce qui signifie que la valeur est située en dessous pour la moitié des hivers, et au-dessus pour l'autre moitié. Les rectangles colorés montrent la zone dans laquelle se situent 50 % des hivers. Les deux lignes fines s'étendent jusqu'à la valeur la plus élevée, respectivement la plus faible, qui se trouve à une fois et demie la valeur interquartile du quartile supérieur (limite supérieure du rectangle) ou du quartile inférieur (limite inférieure du rectangle). Les valeurs en dehors de ces deux lignes sont considérées comme des «valeurs aberrantes» et sont affichées sous forme de points.

Activité avalancheuse (index, par région)

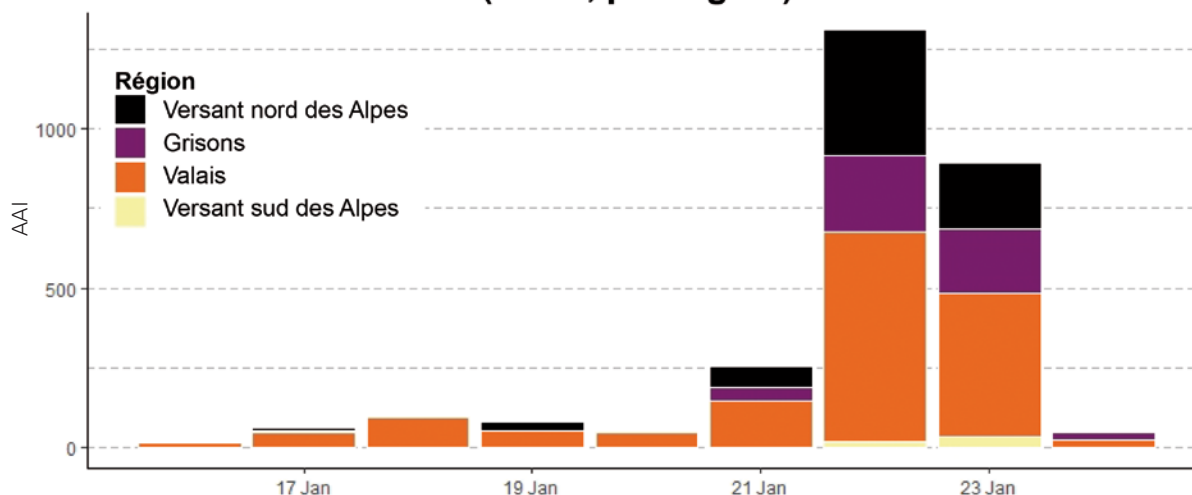


Fig. 49: Évolution de l'indice d'activité avalancheuse dans les différentes régions climatiques.

Activité avalancheuse 15–24 janvier (index)

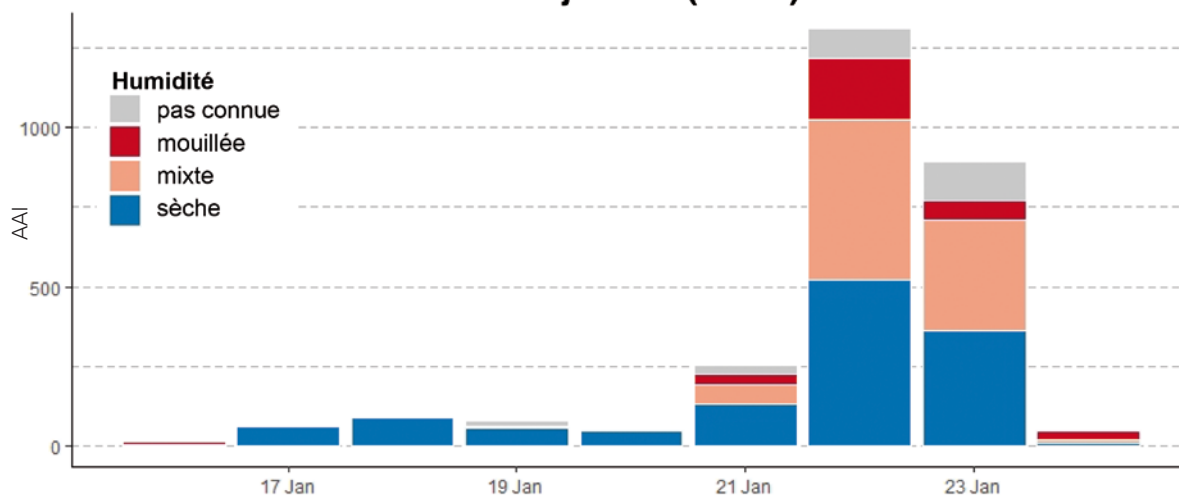


Fig. 50: Évolution de l'indice d'activité avalancheuse selon l'humidité des avalanches.

C'est surtout les 22 et 23 janvier 2018 que de très nombreuses avalanches se sont déclenchées, dont de nombreuses grandes et quelques-unes très grandes (tailles 4 et 5). L'indice d'activité avalancheuse a donc été élevé pour ces deux journées. Pendant toute la période, l'activité avalancheuse a été la plus importante dans le Valais, suivie par le versant nord des Alpes et les Grisons (Fig. 49).

Le 23 janvier, l'activité avalancheuse a été un peu moins forte dans le Valais et les Grisons que le 22 janvier. Dans les Grisons le réchauffement a été un peu plus tardif que dans les autres régions, de telle sorte que la même activité avalancheuse élevée a été observée pour les deux jours. Sur le centre du versant sud des Alpes, les précipitations abondantes et donc aussi les grands départs d'avalanches se sont limités essentiellement au nord-ouest du Tessin. Ainsi l'activité avalancheuse a été globalement petite au sud.

Avec la remontée de la limite pluie-neige, à partir du 21 janvier on a signalé dans la plupart des régions non seulement des avalanches sèches, mais aussi de plus en plus d'avalanches mouillées en dessous d'environ 2200 m (Fig. 50). Souvent, des avalanches déclenchées en altitude dans le manteau neigeux sec ont rencontré aux altitudes moyennes de la neige humide (avalanches mixtes). Ce sont surtout les avalanches de poudreuse qui ont été freinées, ce qui a limité leur progression vers l'aval.

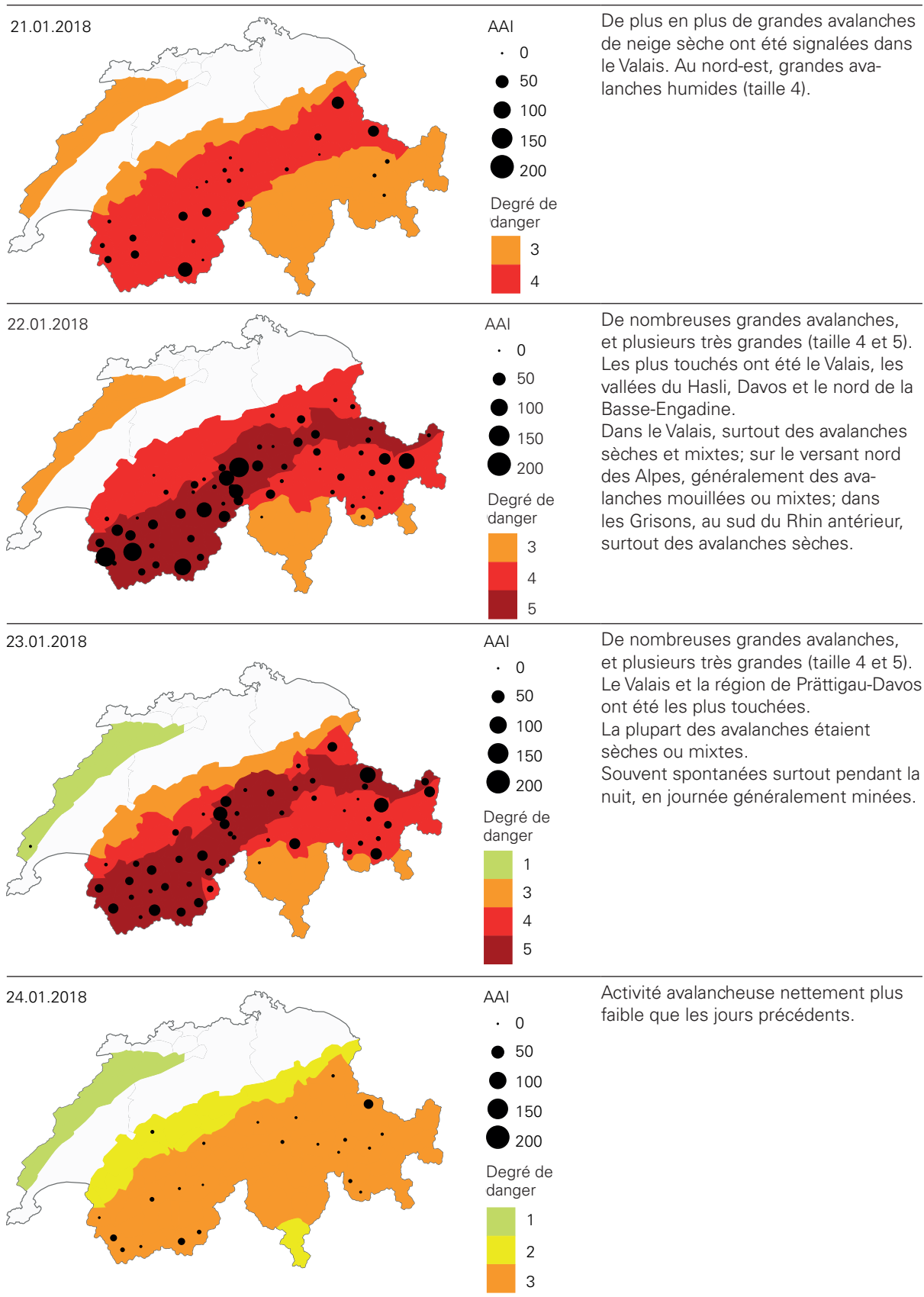


Fig. 51: Degré de danger (bulletin de la veille au soir) et avalanches annoncées par les observateurs du SLF. L'indice d'activité avalancheuse AAI est représenté dans les différentes régions d'alerte. En cas de mauvaise visibilité et dans les régions reculées, toutes les avalanches sont loin d'avoir été répertoriées. Les figures ne donnent qu'une synthèse approximative de l'activité avalancheuse.

2.6.3 Activité avalancheuse tirée des images satellitaires SPOT 6

2.6.3.1 Images satellitaires et cartographie des avalanches

Des images satellitaires (SPOT 6) ont été commandées le 23 janvier 2018 chez Swisstopo, National Point of Contact (NPOC) pour toutes les régions avec le degré de danger 5 (très fort) plus les régions adjacentes avec degré de danger 4 (fort). Pour la documentation de l'activité avalancheuse, SPOT6 offre quatre bandes spectrales (rouge, vert, bleu et proche infrarouge) et dispose dans le canal Pan d'une définition spatiale de 1,5 m. La région étudiée a une surface d'environ 12 500 km² et englobe ainsi environ 50 % des Alpes suisses et un peu plus des deux tiers de la surface du Liechtenstein.

La commande a été effectuée environ 12 heures avant les prises de vue le 24 janvier 2018. La valeur de telles prises de vue pour une cartographie des avalanches sur une grande surface et plusieurs jours consécutifs avait déjà été testée par le SLF lors de l'épisode avalancheux du 4 au 10 janvier 2018. Pour cet essai, les données avaient été livrées à peine 12 heures après leur commande par le SLF, mais leur géoréférencement était insuffisant. C'est pourquoi pour la seconde prise de vue, le géoréférencement a été effectué par Swisstopo, ce qui a demandé plusieurs jours. Contrairement aux données tests entre le 6 et le 12 janvier 2018, celles du 24 janvier ont été prises en l'absence totale de nébulosité, et permettent une cartographie étendue sans lacunes. Pour cette cartographie, nous avons travaillé sur une image en fausses couleurs faisant intervenir le proche infrarouge (CIR), en raison du meilleur contraste.

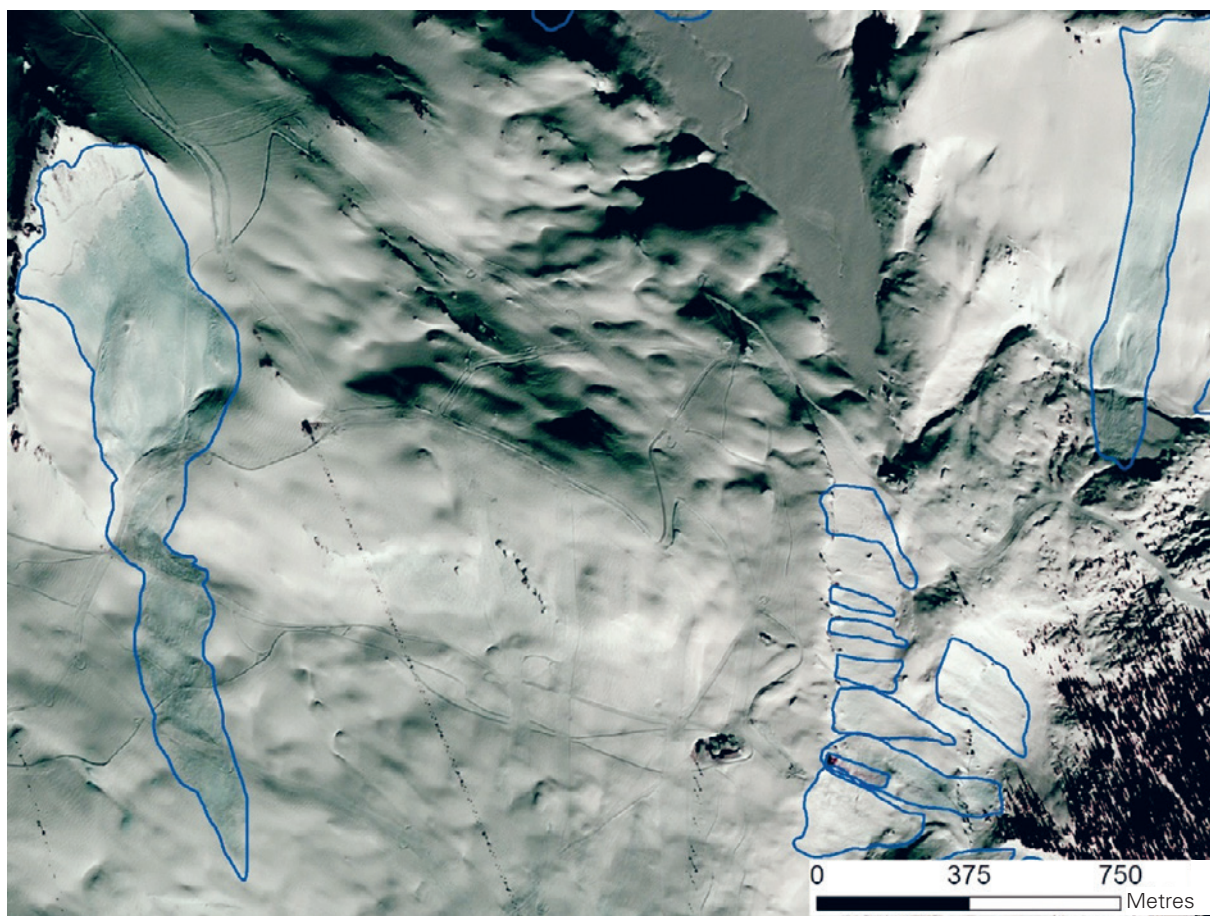


Fig. 52: Exemple pour la cartographie dans le domaine skiable de Flims (données SPOT6 © Airbus DS 2018).

Tab. 4: Attributs de l'avalanche.

Attribut	Qualificatif des attributs	Description					
Facteur de qualité du contour	Précis	L'ensemble du contour de l'avalanche, du décrochement au dépôt en passant par le parcours, est clair et visible partout.					
	Évalué	Décrochement, parcours et dépôt sont visibles en grande partie; parfois cependant, il reste un doute sur le tracé du contour. Le contour est interprété, là où il n'est pas visible, à l'aide des données de terrain.					
	Reconstitué	Seul le dépôt ou le décrochement est visible, ou bien les deux seulement pour de très petites parties. À l'aide du relief et de l'interprétation, un contour est «reconstitué», celui qui est le plus vraisemblable à la vue du terrain. Cela s'applique également aux avalanches situées en bordure de l'image satellitaire, et qui sont en partie coupées (si elles sont assez visibles). Si seul le dépôt est visible, alors le type d'avalanche est inconnu, et si seul le décrochement est visible, seul le type d'avalanche peut être indiqué.					
Type d'avalanche	Avalanche de plaque	L'avalanche de plaque est caractérisée par un décrochement linéaire, généralement transversal.					
	Avalanche de neige meuble	L'avalanche de neige meuble se détache en un seul point dans des pentes extrêmement raides, et s'étend généralement sous forme de poire. Pour une cartographie, elle doit avoir au moins 100 m de long.					
	Avalanche de glissement	Une fissure de glissement est une fissure en traction dans le manteau neigeux, provenant de son mouvement différentiel sur des versants raides et lisses. Lorsque le glissement de neige se transforme en un mouvement nettement plus rapide d'avalanche, on parle d'une avalanche de glissement.					
	Inconnu	Seul le dépôt d'avalanche est visible (c'est-à-dire facteur de qualité: «reconstitué») ou bien l'avalanche est globalement tellement recouverte de neige fraîche que le type d'avalanche n'est plus identifiable.					
Taille des avalanches	Pour la classification des avalanches selon leur taille, il existe une répartition de l'European Avalanche Warning Services (EAWS) selon le potentiel de dommages, la longueur du parcours et les dimensions (WSL 2017). Ces trois paramètres ne sont pas cependant calculables automatiquement pour des avalanches cartographiées à partir des images satellitaires. C'est pourquoi nous avons utilisé pour la répartition des avalanches les valeurs limites déjà existantes dans Protocols (PROTOCOLS 2016), un outil destiné à la cartographie des avalanches pour les services de sécurité.						
	Taille des avalanches	Désignation	Type EAWS	Longueur	Type EAWS	Superficie en m² (*)	
	1	Coulée		10–30 m		100 m³	10 bis 500
	2	Petite avalanche		50–100 m		1000 m³	501 bis 10 000
	3	Avalanche moyenne		Plusieurs centaines de mètres		10 000 m³	10 001 bis 80 000
	4	Grande avalanche		1–2 km		100 000 m³	80 001 bis 500 000
	5	Très grande avalanche		env. 3 km		> 100 000 m³	> 500 000
	(*) Ces informations en m² sont une aide pour l'affectation des tailles à partir des images satellitaires, pour toutes les autres évaluations, c'est uniquement la classification de l'EAWS qui s'applique.						
Exposition	L'exposition est exprimée dans l'une des huit expositions principales (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) et donne l'exposition moyenne de la zone de décrochement. Comme les zones de décrochement n'ont pas été cartographiées séparément, elles ont été calculées à l'aide de valeurs-seuils pour le rapport entre le dénivelé parcouru et la largeur de l'avalanche. L'exposition a été déterminée à partir des zones de départ calculées dont la pente était d'au moins 27°. L'exposition est alors celle du plus grand nombre des cellules de grille du modèle d'altitude de maille 10 m x 10 m dans la zone de décrochement. Pour les avalanches dont la surface totale est inférieure ou égale à 230 m², l'exposition a été calculée avec la même méthode, mais pour toute la surface de l'avalanche. Nous donnons également pour les avalanches «reconstituées» une indication d'exposition, qui doit être interprétée avec précaution en termes de précision.						
Altitude du décrochement	L'altitude du décrochement correspond à l'altitude du point le plus élevé d'une avalanche cartographiée, calculée sur la base du modèle d'altitude 10 m x 10 m. Pour les avalanches «reconstituées», il n'est pas possible de donner une altitude de la zone de décrochement.						

Procédure pour le dépouillement

Les contours de toutes les avalanches, visibles à l'échelle 1:5000, ont été identifiés et cartographiés sous forme de polygones (Fig. 52). Pour les zones à l'ombre assez importantes au mois de janvier, la représentation a été optimisée et cartographiée à part. Pour ne pas oublier d'avalanche, une grille posée sur les images a permis une cartographie systématique.

Pour chaque contour d'avalanche, des informations supplémentaires ont été collectées ou calculées (Tab. 4), d'une part sur la qualité de la cartographie (facteur de qualité contour), d'autre part sur les caractéristiques de l'avalanche (type, taille, exposition, altitude de la zone de décrochement). Le facteur de qualité contour est essentiel pour l'évaluation de la précision des caractéristiques calculées. Parmi les caractéristiques de l'avalanche, seul le type a été déterminé dès la cartographie, les autres ont été calculées plus tard.

La cartographie a été retravaillée deux fois: une fois avec la carte topographique et l'inclinaison du versant, et une nouvelle fois avec des images Spot 6 optimisées pour le soleil et les ombres. À cette occasion, la direction d'écoulement, l'inclinaison du versant de la zone de décrochement, l'extension de l'avalanche et l'exhaustivité de la cartographie dans la région ont été contrôlées. Ce sont surtout les avalanches qui sont arrivées à proximité des infrastructures ou d'ouvrages paravalanches qui ont été contrôlées avec précision. À l'aide des procédures décrites ici, 18 737 avalanches ont été cartographiées dans l'ensemble de la région étudiée.

Qualité de la cartographie

Nous ne disposons pas d'un jeu de données sur une grande surface avec une précision suffisante pour la validation, c'est pourquoi la précision de la cartographie n'a été testée que sur un très petit échantillon. Les données de référence proviennent de photos prises par hélicoptère, travaillées grâce à l'outil Monoplotting (BOZZINI *et al.* 2012). Cet outil permet de géoréférencer des images inclinées du paysage (aussi bien terrestres qu'aériennes) et de les préparer pour en faire des sources utilisables pour des évaluations ou mesures quantitatives.

Pour référencer des photos d'avalanches avec l'outil Monoplotting, des points de contrôle sont nécessaires. En raison du terrain sur lequel les avalanches surviennent, il faut souvent identifier des arbres ou des rochers. Mais il est alors beaucoup plus difficile de retrouver le même point sur les deux jeux de données que, par exemple, pour des croisements de routes. La précision du référencement est cependant importante pour que les conclusions sur la précision de la cartographie des avalanches soient aussi peu biaisées que possible par les erreurs d'évaluation des points de référence. Huit images d'avalanches ont été géoréférencées avec l'outil Monoplotting, de telle sorte que l'erreur maximale soit inférieure à 5 m, et l'erreur moyenne inférieure à 3 m. Les photos utilisées ont permis de cartographier 13 avalanches (entières ou partielles, selon la photo) avec une surface totale de 434 574 m². Cette surface a ensuite été comparée avec les mêmes avalanches que celles de la cartographie (Fig. 53).

La superposition a montré que 73 % de la surface de l'avalanche a été correctement identifiée (Tab. 5). Au soleil, la précision est meilleure avec 80 %, à l'ombre elle est nettement plus faible avec 64 %. L'erreur d'omission, donc les zones appartenant à l'avalanche mais qui n'ont pas été identifiées comme telles, est de 25 % plus importante à l'ombre qu'au soleil (seulement 9 %). Les erreurs de commission, donc les zones qui ont été affectées de manière erronée à l'avalanche, concernent le soleil et l'ombre, sont, avec 12 % et 10 % respectivement, très proches l'une de l'autre. Les résultats confirment l'impression obtenue lors de la cartographie: les dimensions précises de l'avalanche à

Tab. 5: Précision de la cartographie d'avalanches

Précision	Ensemble	Soleil	Ombre
Correct	73,4 %	79,6 %	64,1 %
Erreur d'omission	15,5 %	8,9 %	25,4 %
Erreur de commission	11,1 %	11,5 %	10,5 %

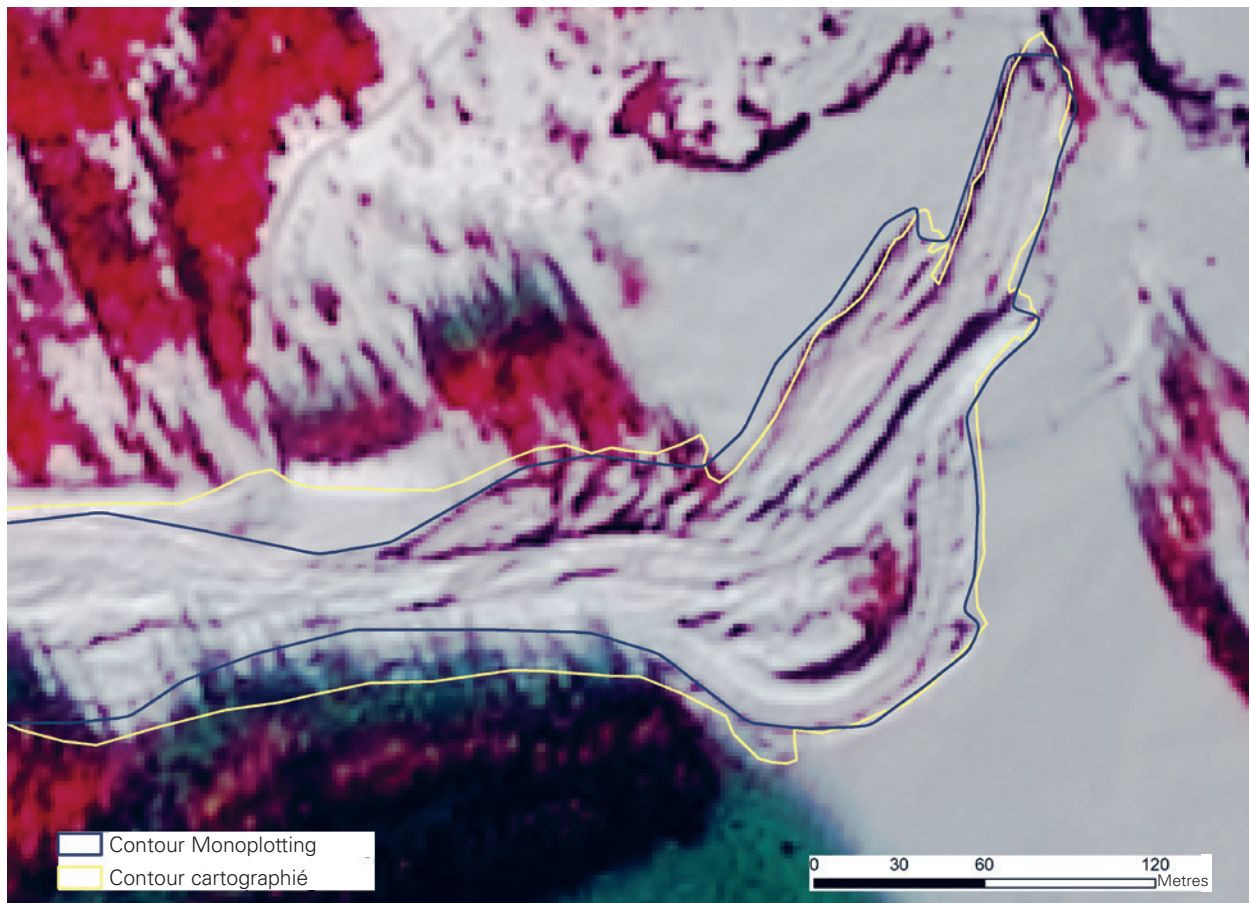


Fig. 53: La comparaison des contours cartographiés à partir de l'image satellitaire (bleu) et de ceux cartographiés à partir de la photographie grâce à l'outil Monoplotting (jaune) pour une avalanche dans le Trient (VS). Les différences sont notoires surtout à l'ombre, et pour des dépôts de faible épaisseur. L'image satellitaire (données SPOT6 © Airbus DS 2018) en fausses couleurs sert d'arrière-plan.

l'ombre sont plus difficiles à déterminer qu'au soleil, par conséquent la surface a tendance à y être sous-évaluée.

Cette statistique n'évalue que la précision des contours d'avalanches cartographiés, d'autres sources d'erreurs potentielles ou défis posés à la cartographie, pour lesquels il n'existe pas de statistique, sont les suivants:

- Pour plusieurs avalanches dans le même parcours, il n'est pas possible d'affecter le dépôt aux différentes dates; dans certains cas il peut y avoir une affectation à une seule avalanche.
- Des dépôts qui se chevauchent peuvent ne pas être affectés à la «bonne» avalanche.
- Les avalanches qui traversent des forêts (peu denses) ou dévalent des parois rocheuses ne sont que difficilement, voire pas du tout, visibles et cartographiables.
- Les avalanches recouvertes de neige fraîche ou de neige soufflée, avec de faibles hauteurs de décrochement et de dépôts, ne sont que difficilement détectables et cartographiables.
- Les dépôts d'avalanches qui s'avancent dans des ravins étroits (à l'ombre), sont difficilement visibles, et leur longueur d'étalement difficilement évaluable.
- En cas de rugosité de surface élevée, il est possible d'arriver à des classifications erronées, car la structure de la surface de la neige peut être très semblable à celle d'une avalanche. Parmi celles-ci, il y a les structures formées par le vent, mais aussi des congères avec chutes de boules dans le versant en aval. Ceci peut ressembler sur une image satellitaire au décrochement d'une avalanche de plaque, avec parcours et dépôt associés.

Ancienneté des avalanches

Pour pouvoir évaluer le pourcentage d'avalanches plus anciennes, nous avons utilisé les images satellitaires qui avaient été prises au début janvier pour l'évaluation méthodique et la détection des avalanches du premier épisode du début janvier. Dans deux régions-test, la vallée de Zermatt et la Basse-Engadine, nous avons contrôlé visuellement pour toutes les avalanches, par comparaison avec les images satellitaires, si elles étaient déjà descendues les 6 et 12 janvier 2018 (vallée de Zermatt) ou le 8 janvier 2018 (Basse-Engadine). Les deux régions-test constituent 5 % de l'ensemble de la région étudiée. Le nombre des avalanches dans les deux régions s'élève pratiquement à 550. Les données de référence ne sont pas exemptes de nébulosité, et présentent parfois des déformations qui influencent la visibilité. C'est pourquoi toutes les avalanches cartographiées n'ont pas pu être considérées.

La vérification a montré que pour environ 20 % (Basse-Engadine) et 22 % (vallée de Zermatt), une avalanche était déjà partie avant la période avalancheuse du 21 au 23 janvier, car elle a été identifiée comme identique sur la base de ses caractéristiques de décrochement et de dépôt. En outre, des avalanches d'une autre ampleur que celles cartographiées avec les images satellitaires du 24 janvier 2018 étaient sorties dans 16 % (Basse-Engadine) et 25 % (vallée de Zermatt) des parcours (départ d'avalanches dans le même parcours, mais avec une extension différente, Fig. 54). Ces chiffres ne sont pas transposables sur l'ensemble du territoire, car les deux régions-test avaient déjà subi début janvier une période avec de nombreux départs d'avalanches, alors que dans le reste de la région étudiée, l'activité avalancheuse n'a pas été aussi marquée.

Dans la vallée de Zermatt, 92 % des avalanches qui étaient entièrement parties avant le 6 janvier et qui étaient encore visibles le 24 janvier, avaient une dimension de plus de 10 000 m². Parmi les avalanches qui sont parties entre cette première prise de vue et celle du 12 janvier, 81 %, avaient encore une surface supérieure à 10 000 m² et parmi toutes celles qui ont été cartographiées le 24 janvier 78 % avaient encore une surface supérieure à 10 000 m².

Cela signifie que même après une grosse chute de neige, des avalanches anciennes peuvent encore être visibles, et que les grandes avalanches ont tendance à être visibles plus longtemps que les petites. Cette évaluation signifie également que toutes les 18 737 avalanches cartographiées ne proviennent pas de la période avalancheuse du 21 au 23 janvier, mais qu'environ un cinquième (en comparaison au 36–47 % des régions-test) auraient pu partir antérieurement.

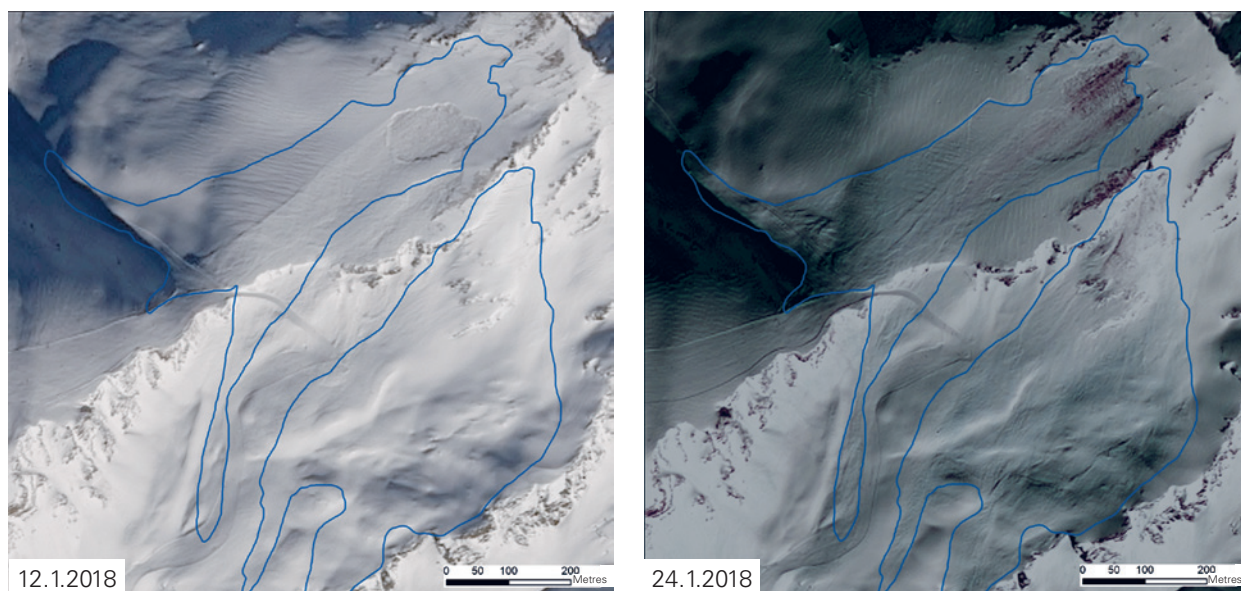


Fig. 54: Prises de vue SPOT 6 (Données SPOT6 © Airbus DS 2018) à deux moments à proximité de l'Oberrothorn, VS. Dans le parcours d'avalanche nord, une avalanche est déjà partie au début janvier 2018 (reconnaissable dans l'image de gauche). Sur l'image de droite du 24 janvier 2018, une avalanche plus importante est visible dans le même parcours, le dépôt et le bourrelet frontal de l'avalanche de début janvier 2018 sont encore reconnaissables. L'avalanche du parcours sud n'est pas détectable sur l'image du 12 janvier 2018, et donc partie très probablement lors de la période avalancheuse du 21 au 23 janvier.

2.6.3.2 Analyse de l'activité avalancheuse

Caractère marqué des attributs

Visibilité des contours

Pour l'ensemble des 18 737 avalanches cartographiées, le facteur de qualité du contour est un des attributs les plus importants (Tab. 4). Un tiers des avalanches étaient assez visibles pour que leur cartographie soit précise. Pour 58 % des avalanches, le contour a pu être évalué, et seulement 9 % étaient si peu visibles qu'une partie du contour a dû être reconstitué (Fig. 55).

Comme le montrent le Tableau 6 et la Figure 56, la possibilité de cartographier précisément une avalanche dépend de sa taille et de son exposition. En général, les coulées et petites avalanches (taille 1 et 2) sont souvent déterminées plus précisément que les grandes avalanches. Au moment de la prise de vue du satellite, le soleil éclairait les expositions est à sud. À ces expositions, le pourcentage des avalanches précisément cartographiées était le plus élevé, alors que la plupart des contours reconstitués se trouvaient précisément en face dans les zones à l'ombre. Les contours évalués se trouvaient par contre régulièrement répartis à toutes les expositions.

Type d'avalanche

À partir des images satellitaires, par bonne visibilité, il est possible de déterminer le type d'avalanche dont il s'agit (Tab. 4). Pratiquement trois quarts des avalanches sont des avalanches de plaque (Fig. 57), 11 % sont des avalanches de glissement et une très petite partie (3 %) sont des avalanches de neige meuble. Pour les 14 % restants, le type n'a pas pu être déterminé. Dans cette catégorie, on compte toutes les avalanches reconstituées dont seul le dépôt était visible, et les avalanches ayant

Tab. 6: Proportions des tailles d'avalanches pour les différents niveaux du facteur de qualité du contour.

	Précis	Évalué	Reconstitué
Taille 1 et 2 (<10 000 m ²)	59,0 %	37,8 %	3,2 %
Taille 3 (10 000–80 000 m ²)	22,7 %	65,2 %	12,1 %
Taille 4 et 5 (> 80 000 m ²)	15,7 %	72,6 %	11,7 %

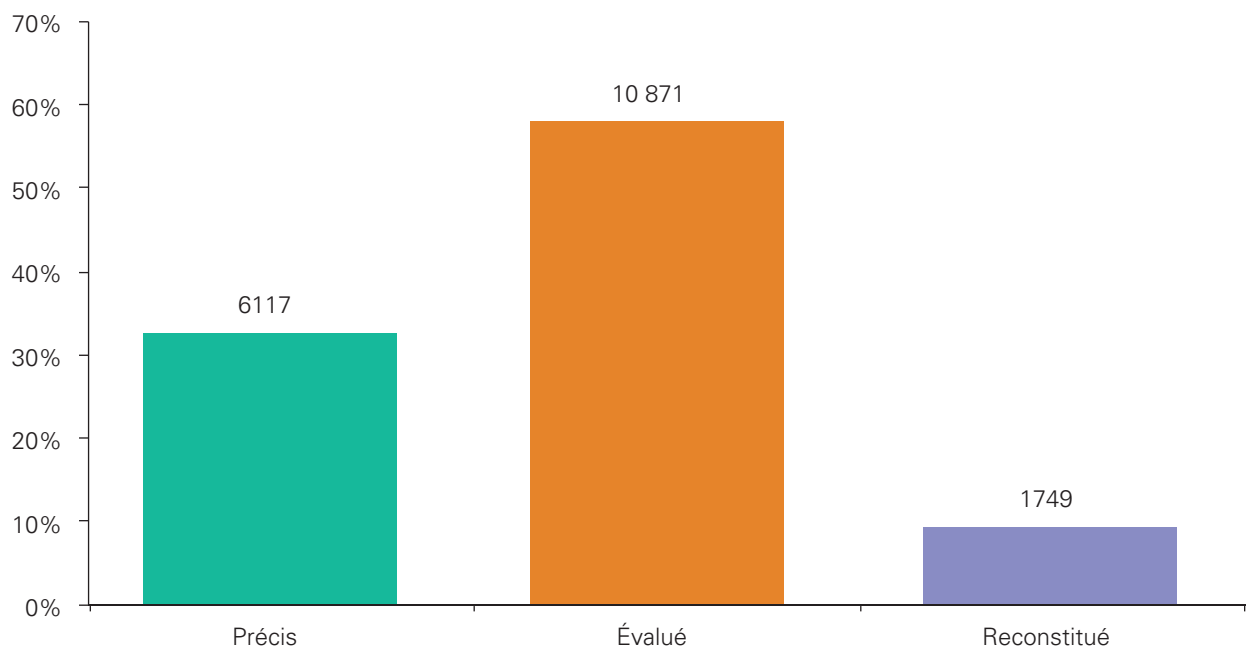


Fig. 55: Précision des avalanches cartographiées en fonction du facteur de qualité du contour.

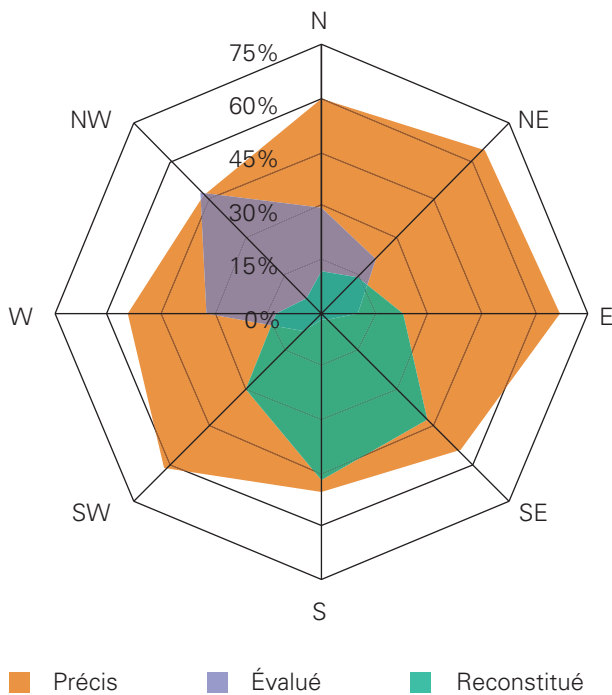


Fig. 56: Répartition de la visibilité du contour selon l'exposition: pour chaque exposition, la proportion des différents niveaux du facteur de qualité est représentée. La somme de chaque exposition s'élève donc à 100 %. L'exposition dans cette figure se rapporte à l'ensemble du contour de l'avalanche, et pas seulement de l'exposition dans la zone de décrochement calculée.

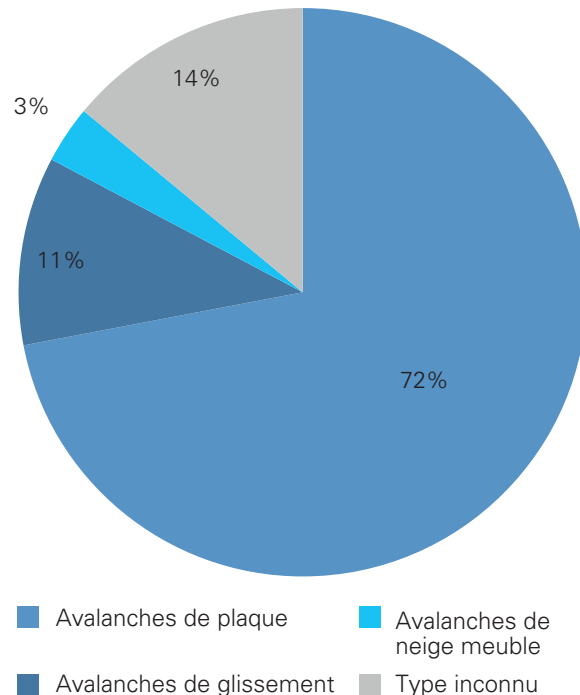


Fig. 57: Proportion des différents types d'avalanches

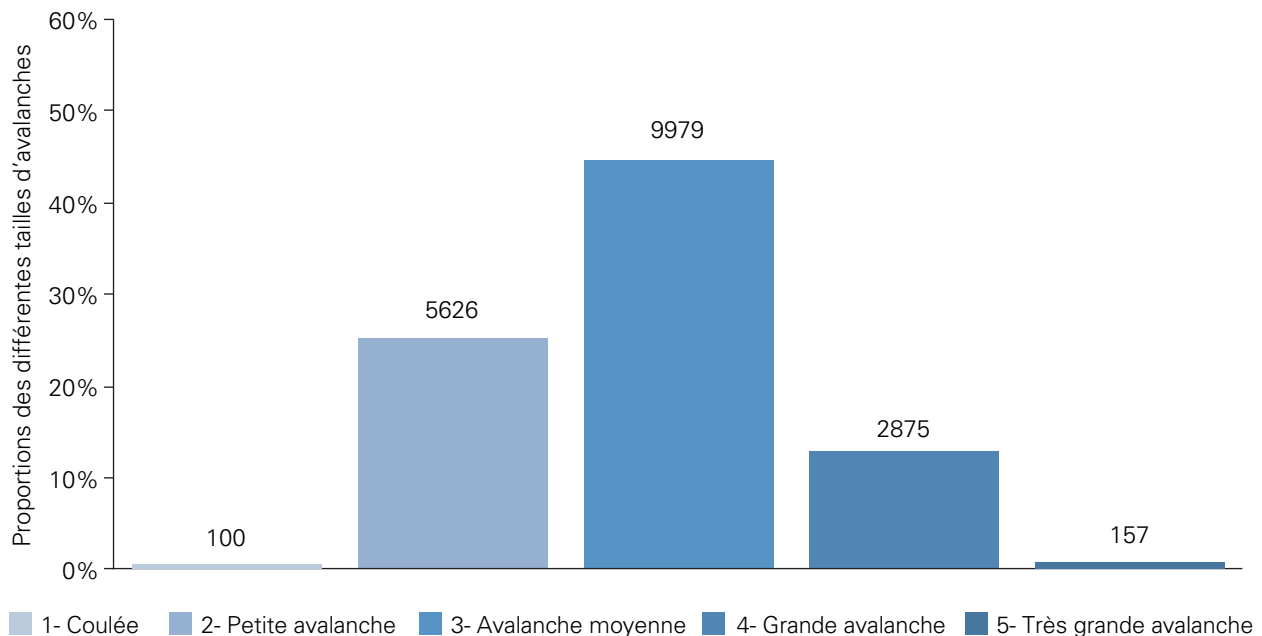


Fig. 58: Proportions des différentes tailles d'avalanches cartographiées.

subi l'influence du vent ou recouvertes par les chutes de neige entre le moment du décrochement et la prise de vue par satellite.

Taille des avalanches

Selon la définition (Tab. 4), plus de la moitié (9979) des avalanches cartographiées sont moyennes (taille 3), 16,1 % sont grandes (taille 4) et très grandes (taille 5); les 30,5 % restants sont des petites avalanches (taille 2) et des coulées (taille 1) (Fig. 58).

Exposition

Comme le montre la Figure 59, les avalanches cartographiées sont réparties sur toutes les expositions, mais le pourcentage le plus important se trouvait aux expositions est à sud. Comme indiqué au début du chapitre, le vent a été fort à tempétueux d'ouest à nord, ce qui explique les gros dépôts de neige soufflée aux expositions est à sud. Au moment de la prise de vue du satellite, le soleil éclairait précisément ces expositions. Des avalanches grandes et très grandes (taille 4 et 5) se sont produites également à toutes les expositions; leur répartition correspond à peu près à celle de l'ensemble de toutes les avalanches.

Mais si on considère séparément l'exposition pour chaque type d'avalanche, on observe des différences notoires (Fig. 60). Les avalanches de glissement se sont produites presque exclusivement aux expositions sud-est à sud-ouest. Cela paraît logique, car pour qu'une avalanche de glissement puisse se produire, la neige doit être humide à l'interface avec le sol. Ceci est favorisé par un sol chaud. Le sol pourrait avoir été plus chaud aux expositions sud-est à sud-ouest que par exemple sur les versants nord.

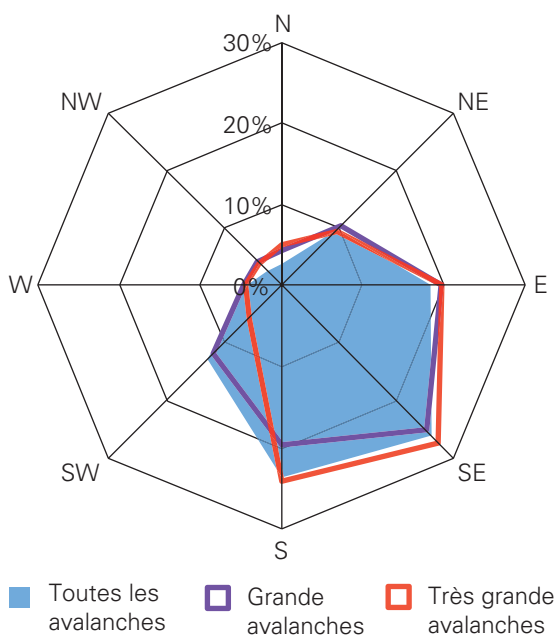


Fig. 59: Répartition des avalanches cartographiées aux différentes expositions: la répartition de toutes les avalanches et des grandes et très grandes avalanches (taille 4 et 5) à toutes les expositions s'élève au total à 100 %. La figure montre qu'aux expositions est à sud des avalanches nettement plus nombreuses qu'aux autres expositions se sont produites, mais que la proportion de grandes et très grandes avalanches est cependant très similaire à chaque exposition.

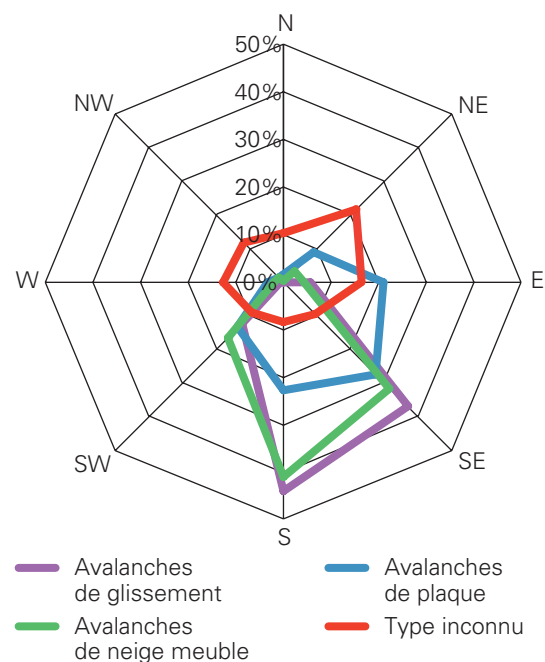


Fig. 60: Répartition selon les différentes expositions suivant le type d'avalanche: la somme des pourcentages des différents types d'avalanches à toutes les expositions s'élève à chaque fois à 100 %.

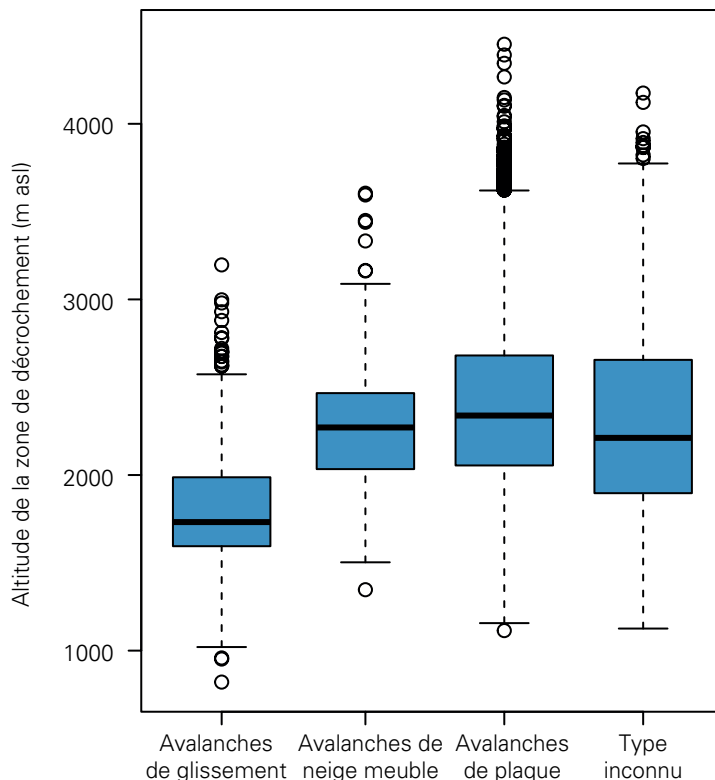


Fig. 61: Répartition de l'altitude de la zone de décrochement selon le type d'avalanches (à chaque fois le point le plus élevé d'une avalanche, sans les avalanches avec facteur de qualité «reconstitué»).

Les avalanches de neige meuble cartographiées présentent une répartition similaire à celle des avalanches de glissement; elles se déclenchent le plus souvent par fort réchauffement, et ce qui était certainement le cas aux expositions sud-est à sud-ouest, en raison du rayonnement solaire incident. Les avalanches de plaque présentent une répartition similaire à celles de l'ensemble des avalanches, la plupart ayant eu lieu aux expositions ensoleillées avec de la neige soufflée. La répartition des avalanches dont le type est inconnu diffère fortement de toutes les autres. La plupart de celles-ci se trouvent dans le secteur nord-est à est, mais les pourcentages aux expositions ouest à nord sont bien plus élevés que pour tous les autres types d'avalanches.

Altitude des zones de décrochement

La Figure 61 indique que des avalanches de plaque se sont produites à toutes les altitudes enneigées, et que l'altitude moyenne de leurs décrochements se trouvait à 2388 m. Les avalanches de glissement présentent par contre une altitude moyenne (1791 m) nettement plus basse que celle des avalanches de plaque. Au total, 90 % des avalanches de glissement se sont produites en dessous de 2200 m. Les avalanches de neige meuble et celles de type inconnu présentent des altitudes moyennes de la zone de décrochement similaires à celles des avalanches de plaque.

Répartition spatiale des avalanches

Densité des avalanches au kilomètre carré

Les 18737 avalanches couvrent 7 % de la région étudiée. Si l'on considère la proportion de cellules de grille de 1 km² traversées par les avalanches, on observe une densité importante dans les Alpes uranaises, dans la vallée de Conches, dans l'est de l'Oberland bernois, dans les vallées de la Gredetsch, de Baltischied et de Bietsch, dans le nord du Bas-Valais, du val d'Hérens jusque dans les vallées de la Viège, ainsi qu'en Basse-Engadine (Fig. 62). Quelques cellules de grille sont recouvertes à plus de 61 % par des avalanches, avec un maximum de 88 % d'un kilomètre carré recouvert par une avalanche. Les régions à plus forte densité sont presque identiques à celles d'occurrence de grandes et très grandes avalanches (taille 4 et 5).

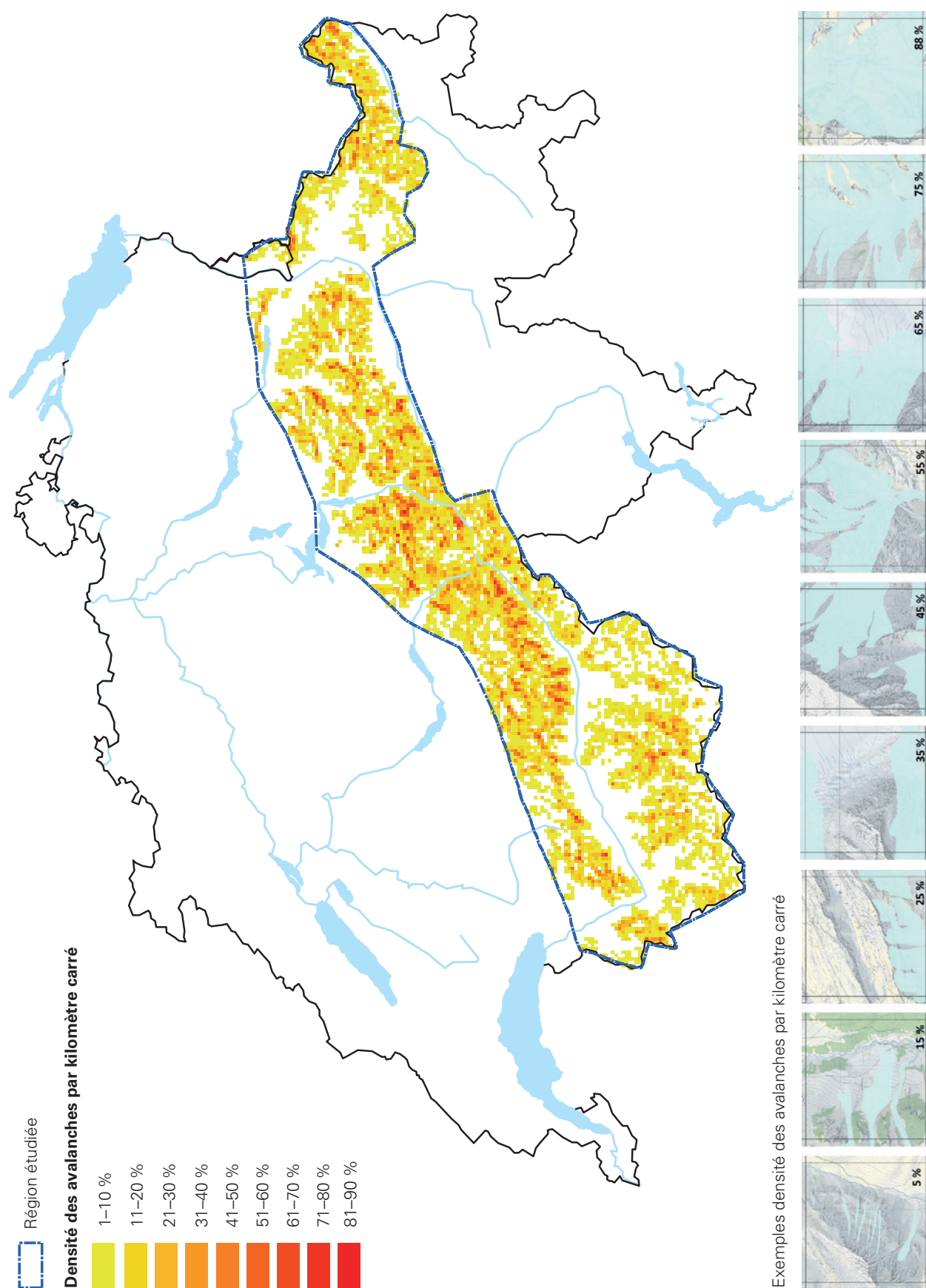


Fig. 62: Densité des avalanches par kilomètre carré en tenant compte de toutes les avalanches

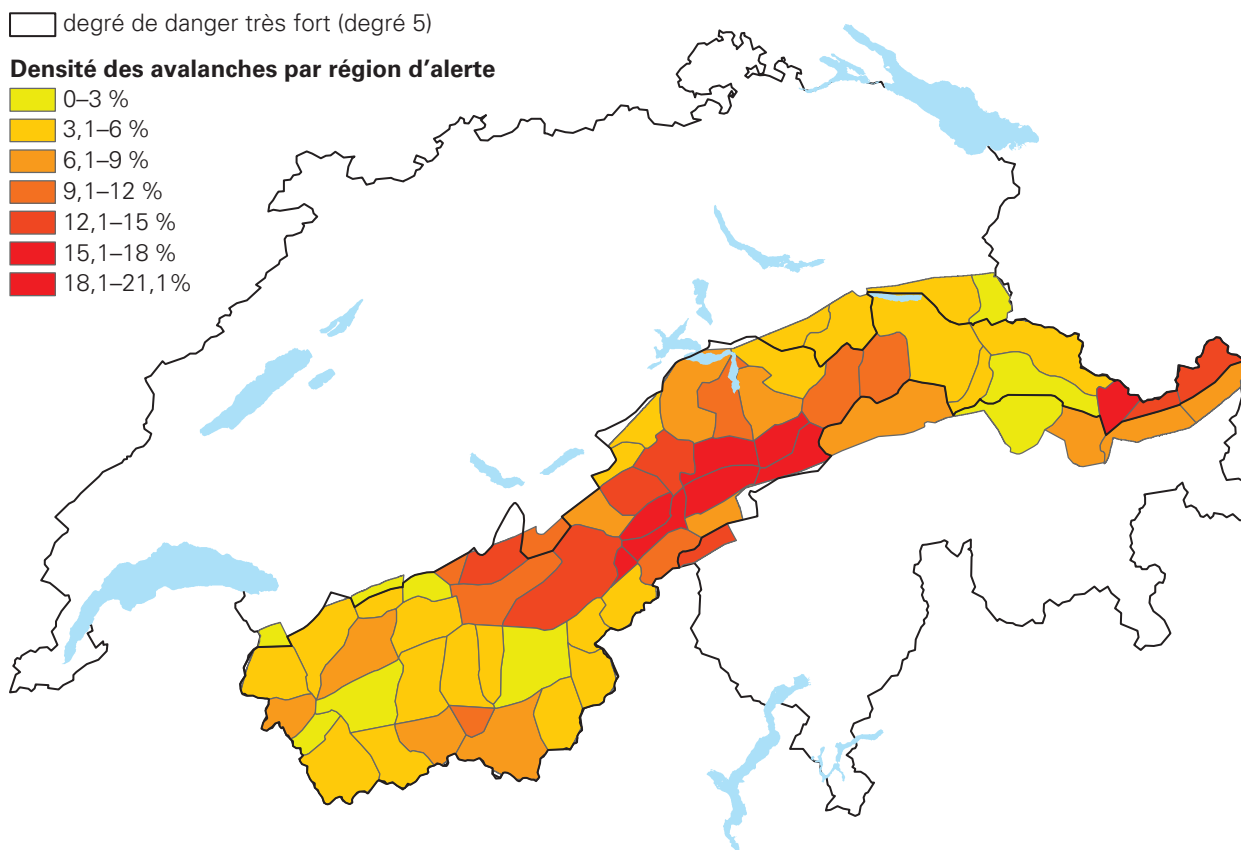


Fig. 63: Densité des avalanches par région d'alerte en tenant compte de toutes les avalanches. Pour le calcul, on ne tient compte que des régions d'alerte (ou parties de celles-ci) qui se trouvent dans la région d'études.

Densité dans les régions d'alerte

Si on considère la surface des avalanches par rapport à une surface plus grande, celle des régions d'alerte, la proportion maximale qui a été balayée par des avalanches était de 21 % (Fig. 63). Les densités les plus élevées se trouvent de la région d'Aletsch jusqu'au Tujetsch, et dans certaines parties de la Basse-Engadine.

L'occurrence de grandes et très grandes avalanches (taille 4 et 5) dans les différentes régions d'alerte peut être évaluée à l'aide des cartographies suivantes. La Fig. 64 indique que les grandes avalanches (taille 4) se sont produites dans toutes les régions d'alerte de la région étudiée. On trouve de grandes avalanches particulièrement nombreuses par rapport à la superficie de la région d'alerte de la région d'Aletsch jusque dans l'Urseren, et leur densité est élevée également à l'est à la frontière avec l'Autriche. De très grandes avalanches (taille 5) ne se sont pas produites dans toutes les régions d'alerte (Fig. 65). Il n'y a par exemple pas eu une seule très grande avalanche dans le Prättigau et dans certaines parties du Valais.

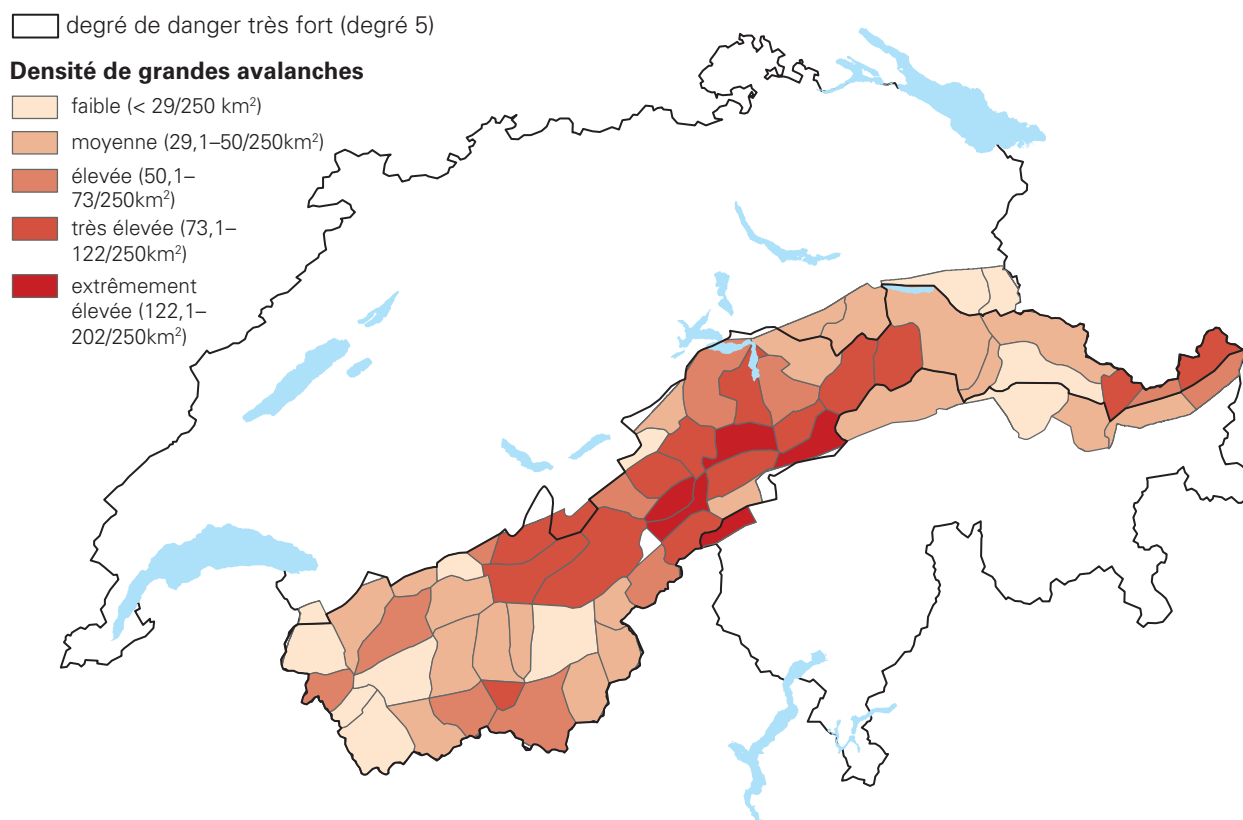


Fig. 64: Densité d'avalanches (nombre/superficie) selon les régions d'alerte pour les grandes avalanches (taille 4)

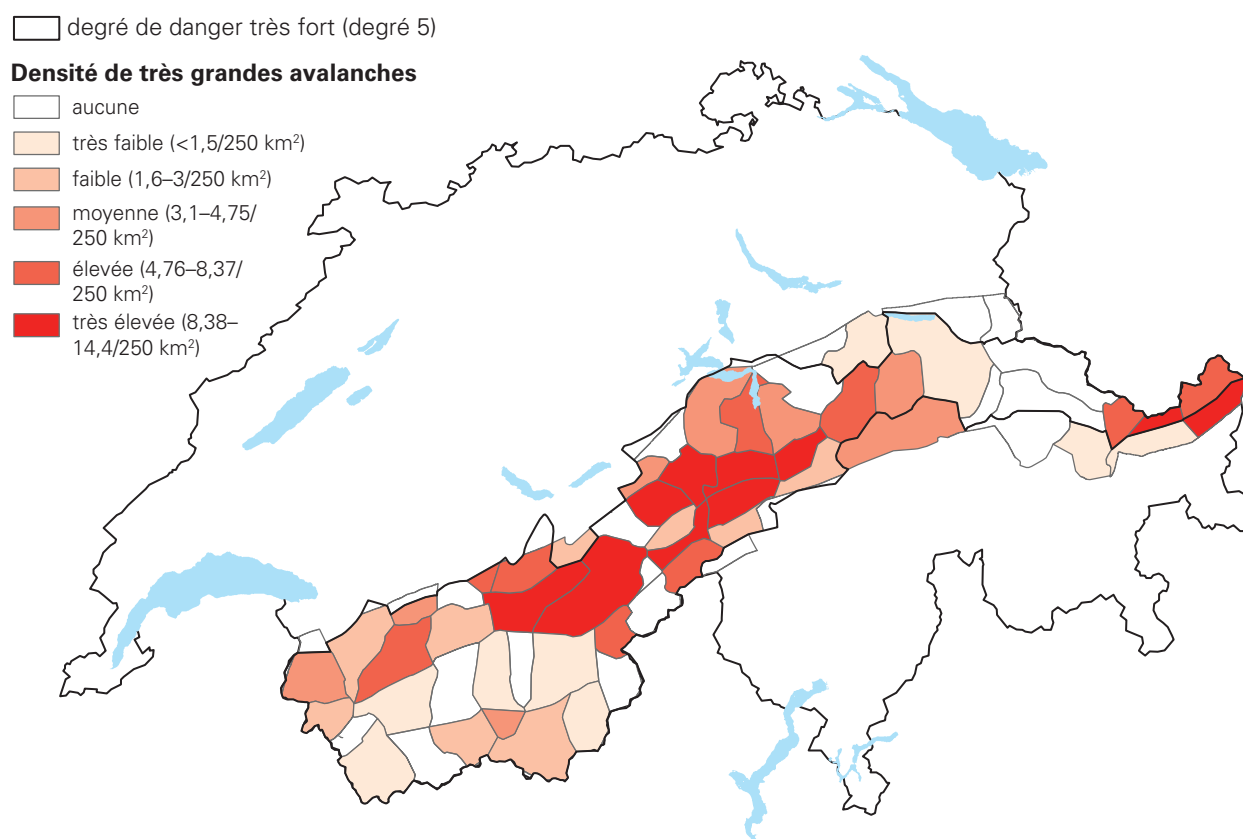


Fig. 65: Densité d'avalanches (nombre/superficie) selon les régions d'alerte pour les très grandes avalanches (taille 5).

2.6.3.3 Résultats et conclusions

Lorsqu'après une période d'activité avalancheuse élevée, le temps permet une prise de vue sans nébulosité, la cartographie des avalanches à partir des images satellitaires permet la détermination la plus complète possible de cette activité avalancheuse. Les avalanches pouvant rester visibles suivant les conditions pendant des jours et des semaines après leur départ, il serait avantageux d'effectuer régulièrement des prises de vue pour pouvoir vérifier après une période de forte activité avalancheuse si toutes les avalanches détectables se sont bien produites pendant l'épisode, ou si elles sont éventuellement descendues auparavant. La visibilité des avalanches dépend non seulement de la nébulosité (absence de nuages), mais aussi des conditions d'éclairage. Dans les zones ensoleillées, il est nettement plus facile de cartographier un contour précis. La cartographie des avalanches permet toute une série d'analyses pour une meilleure compréhension, une amélioration des prévisions futures et qui peuvent également être mises en application lors de la cartographie des zones de danger.

La cartographie des avalanches sur les images satellitaires présente également un potentiel important pour l'examen a posteriori des situations extrêmes, avec les restrictions déjà évoquées. Le 16.01.2019, de nouvelles images satellitaires ont été prises par SPOT 6 pour permettre d'analyser le degré de danger d'avalanches très fort (degré 5) qui s'étendait sur une grande région le 14.01.2019. Pour cette situation, la limite pluie-neige se situait bien plus bas, et à l'opposé de janvier 2018, de nombreuses avalanches sèches à forte proportion de poudreuse ont été signalées au Service de prévision d'avalanches. Après la cartographie et l'analyse de la situation de janvier 2019, le SLF espère pouvoir donner une description précise de l'adéquation des données satellitaires pour différents épisodes avalancheux, et donc des recommandations pour l'utilisation de cette méthode à l'avenir.

2.7 Contrôle des degrés de danger prévus

Les journées du 21 au 23 janvier 2018 ont constitué la période avalancheuse de trois jours la plus intense depuis le début du calcul de l'indice d'activité avalancheuse, et donc vraisemblablement depuis février 1999. Aussi bien les cumuls de neige fraîche sur 3 jours, que ceux sur 7 jours ou 25 jours calculés au 23 janvier 2018 présentent des durées de retour d'environ 10 à 40 ans, les valeurs les plus élevées ayant été atteintes dans le Valais, et parfois dans le nord des Grisons. Dans les vallées supérieures de la Viège, la durée de retour a été localement encore plus élevée. À cette occasion, les précipitations ont atteint des valeurs aussi élevées que lors de situations de barrage côté nord-ouest antérieures. Ainsi, l'utilisation du degré de danger 5 (très fort) semble justifié également a posteriori, même si cet épisode est resté nettement inférieur à février 1999 en termes de quantités de précipitations et surtout de dommages.

Une comparaison des avalanches cartographiées avec l'indice d'activité avalancheuse AAI montre que la proportion des avalanches signalées par les réseaux d'observateurs du SLF était d'à peu près 10 %, tout du moins en ce qui concerne les avalanches moyennes à très grandes (taille 3 à 5). Cette valeur peut sembler faible à première vue, mais il ne faut pas oublier que de nombreuses avalanches se sont produites dans des zones reculées, ou bien n'étaient pas observables depuis la vallée en raison de la visibilité médiocre. Même si toutes les avalanches, et de loin, n'ont pas pu être signalées par les observateurs, leurs rapports montrent clairement que l'activité avalancheuse la plus élevée a duré de la soirée du 21 jusqu'à la matinée du 23 janvier. Elle a donc été correctement prévue, tout comme sa diminution rapide par la suite.

Quelles sont les régions, expositions et altitudes où le danger a été bien prévu? L'activité avalancheuse relevée permet une vérification de ce point. Selon la définition de l'EAWS (2017), le degré 5 est caractérisé par «De nombreux départs spontanés de grandes avalanches (taille 4), parfois aussi de très grandes (taille 5)». Cependant, il s'agit de savoir comment comprendre «nombreux» et «parfois» et à quelle plage de temps et taille de région on se réfère. En l'absence d'une définition claire, nous utilisons pour les différentes régions d'alerte les critères suivants: au moins une activité «moyenne» de grandes avalanches (plus de 29 grandes avalanches, taille 4, pour 250 km², Fig. 50) ou au moins une activité «moyenne» de très grandes avalanches (plus de 0,7 très grande avalanche,

taille 5, pour 250 km², Fig. 64). Il n'est pas possible d'évaluer aujourd'hui si ces critères s'appliquent en général, car jusqu'ici nous n'avons pas de cartographie complète des avalanches. Sur toute la durée de l'épisode, on obtient les résultats suivants (Fig. 66):

- Avec les critères ci-dessus pour l'activité avalancheuse, le degré de danger 5 (très fort) a été justifié dans 47 des 54 régions d'alerte pour lesquelles il a été prévu. Sur la base de cette activité avalancheuse, il n'a pas été atteint dans les sept régions d'alerte suivantes: Génèpi, Val d'Entremont – Val Ferret, Martigny – Verbier, vallées inférieures de la Viège, sud de la région du Simplon, Iffigen et sud du Prättigau. On remarque que deux de ces sept régions d'alerte sont très petites (Génèpi et Iffigen), de telle sorte que le hasard a pu y jouer un certain rôle. Deux autres régions d'alerte (Martigny – Verbier et vallées inférieures de la Viège) présentent en outre des zones importantes à basse altitude, ce qui réduit la densité des avalanches. Dans le sud de la région du Simplon, le danger a été évalué à 5 dans le bulletin du soir du 21 janvier, puis dès la matinée du 22 janvier redescendu à 4 en raison des chutes de neige moins intenses que prévu.
- Dans les quatre régions d'alerte suivantes, le degré de danger 4 a été prévu, mais a posteriori, le degré de danger 5 aurait été justifié selon les critères ci-dessus: Glaris nord et centre, Flims, Davos, partie nord du Val Suot. A posteriori, il est difficile de conclure si le degré de danger 5 aurait été également justifié dans d'autres régions d'alerte, car les images satellitaires n'ont été prises qu'à peine au-delà des régions où le degré 5 était prévu. Sur la base du bilan des dommages et des messages d'observateurs, on peut considérer que ce ne fut pas le cas.
- Le bulletin prévoyait que les avalanches sèches partiraient surtout à des altitudes supérieures à 2000 m. Ceci a été confirmé a posteriori, car trois quarts des avalanches sont parties au-dessus de cette altitude (Fig. 61). On considère qu'une grande partie des avalanches parties à des altitudes inférieures étaient mouillées, ou tout du moins humides. Cela ne peut pas être vérifié, car les obser-

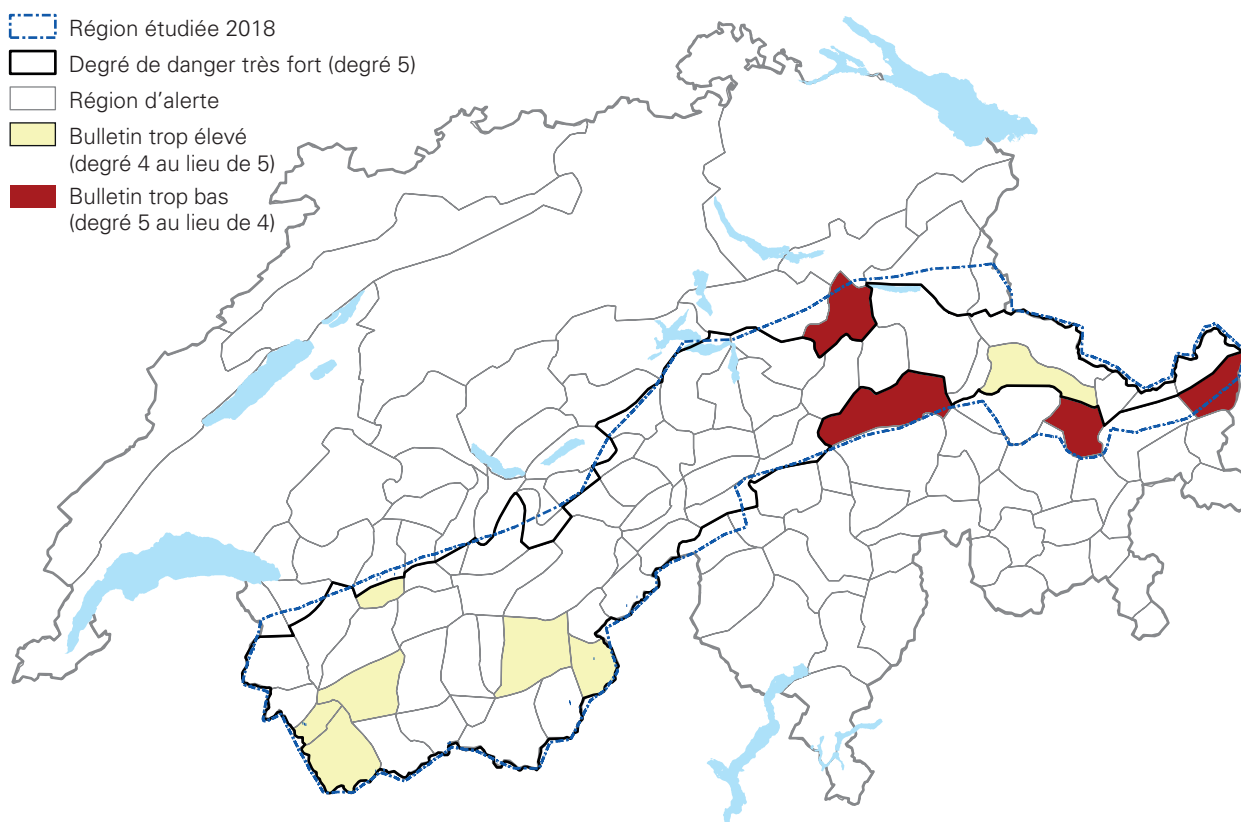


Fig. 66: Contrôle du danger d'avalanches prévu sur la base de la cartographie d'avalanches par région d'alerte. Blanc avec cadre noir dans la zone bordée de bleu: degré 5 prévu et confirmé. Jaune: degré 5 prévu mais rétrospectivement le degré 5 aurait été justifié au vu de l'activité avalancheuse. Rouge: degré 4 prévu, mais rétrospectivement le degré 5 aurait été justifié au vu de l'activité avalancheuse.

vateurs n'ont vu généralement que l'humidité des dépôts, et non du départ, et que la cartographie indique certes le type d'avalanche, mais pas son humidité.

- Les avalanches de glissement ont été prévues surtout pour des altitudes en dessous de 2200 m. La cartographie des avalanches indique que cette valeur était plutôt un peu élevée, mais trois quarts des avalanches de glissement sont parties en dessous d'environ 2000 m (Fig. 61).
- L'alerte indiquait des avalanches à toutes les expositions. Selon la cartographie, l'activité avalancheuse était nettement plus importante sur les versants sud et est que sur les versants nord et ouest, mais la proportion de grandes et très grandes avalanches (taille 4 et 5) était semblable à toutes les expositions. Il n'est donc pas possible de conclure sur l'exactitude d'une prévision d'avalanches à toutes les expositions. Manifestement l'influence de la structure du manteau neigeux plus fragile sur les versants nord a été un peu surestimée lors de la dernière phase, la plus active.

Dans l'ensemble, les prévisions d'avalanches diffusées pendant cette période peuvent être considérées a posteriori comme très justes. Les bonnes prévisions des modèles météorologiques Cosmo 1 et Cosmo E de MétéoSuisse ont certainement contribué notablement à cette réussite.

3 Dommages et voies de communication interrompues

Des accidents de personnes plus nombreux que la moyenne se sont produits pendant l'hiver 2017/18, mais principalement en dehors de la période d'activité avalancheuse élevée de janvier 2018. Ci-après, nous décrivons uniquement les dommages survenus entre le 4 et le 23 janvier 2018. Pour de nombreuses avalanches ayant provoqué des dommages, il n'est pas possible de déterminer exactement la date de départ, c'est pourquoi l'ensemble de la période du 4 au 23 janvier a été prise en compte pour certaines évaluations. Elles comprennent certainement tous les événements constatés pendant la période du 21 au 23 janvier, mais aussi certains événements de début janvier, qui ont été nombreux surtout dans les vallées de la Viège. Toutes les autres avalanches ayant provoqué des dommages lors de l'hiver 2017/18 sont analysées et décrites dans le rapport de l'hiver du SLF.

3.1 Avalanches ayant provoqué des accidents de personnes

Dans la période du 4 au 23 janvier, aucun dommage aux personnes n'a été signalé dans les zones sécurisées. Personne n'a été touché par une avalanche sur les voies de communication ou dans les bâtiments. Toutefois, une avalanche a pénétré dans une maison habitée (chapitre 3.3.10).

Des victimes ont été déplorées avec deux accidents en terrain non sécurisé. Ainsi, un skieur hors-piste est décédé le 18 janvier à Ovronnaz, VS, et deux randonneurs sont morts le 19 janvier à Gumenihubel, BE.

3.2 Avalanches avec dommages aux biens ou actions de recherches

Au total, 141 événements avalancheux ont été enregistrés dans la banque de données du SLF pour les avalanches ayant provoqué des dommages entre le 4 et le 23 janvier. Parmi celles-ci, 25 avalanches ont provoqué des dommages à des bâtiments, 55 à des voies de communication, des véhicules, des lignes électriques ou des installations de transport, et 83 à des forêts ou des champs. Une action d'évacuation ou de recherche a été déclenchée pour 53 avalanches.

3.2.1 Répartition spatiale et temporelle

Des avalanches ayant provoqué des dommages ont été signalées dans le Valais, sur le versant nord des Alpes et dans les Grisons. Sur le versant sud des Alpes, il n'y a pas eu de dommages dus aux avalanches pendant cette période. Le cumul le plus marquant d'avalanches ayant provoqué des dommages est survenu dans les vallées de la Viège et dans la vallée de Tourtemagne. Mais de telles avalanches ont également été nombreuses dans la Surselva, dans la région de Davos et en Basse-Engadine (Fig. 67).

3.2.2 Comparaison avec l'hiver avalancheux de 1999

L'hiver avalancheux de 1999 comprenait trois épisodes avalancheux, alors que le présent rapport ne se penche que sur une seule période. Ceci rend difficile une comparaison directe. Cependant, la synthèse suivante montre clairement que les événements de 1999 ont eu une ampleur bien plus considérable.

Bâtiments

Hiver avalancheux de 1999:	734 dommages aux bâtiments enregistrés
21 au 23 janv. 2018:	34 dommages aux bâtiments enregistrés
Moyenne des hivers 2000-2017:	7 dommages aux bâtiments enregistrés par hiver

Avalanches ayant provoqué des dommages aux biens, ou actions de recherche de recherche (Bâtiments, objets, voies de circulation, forêt, bétail)

4 au 23 janvier 2018

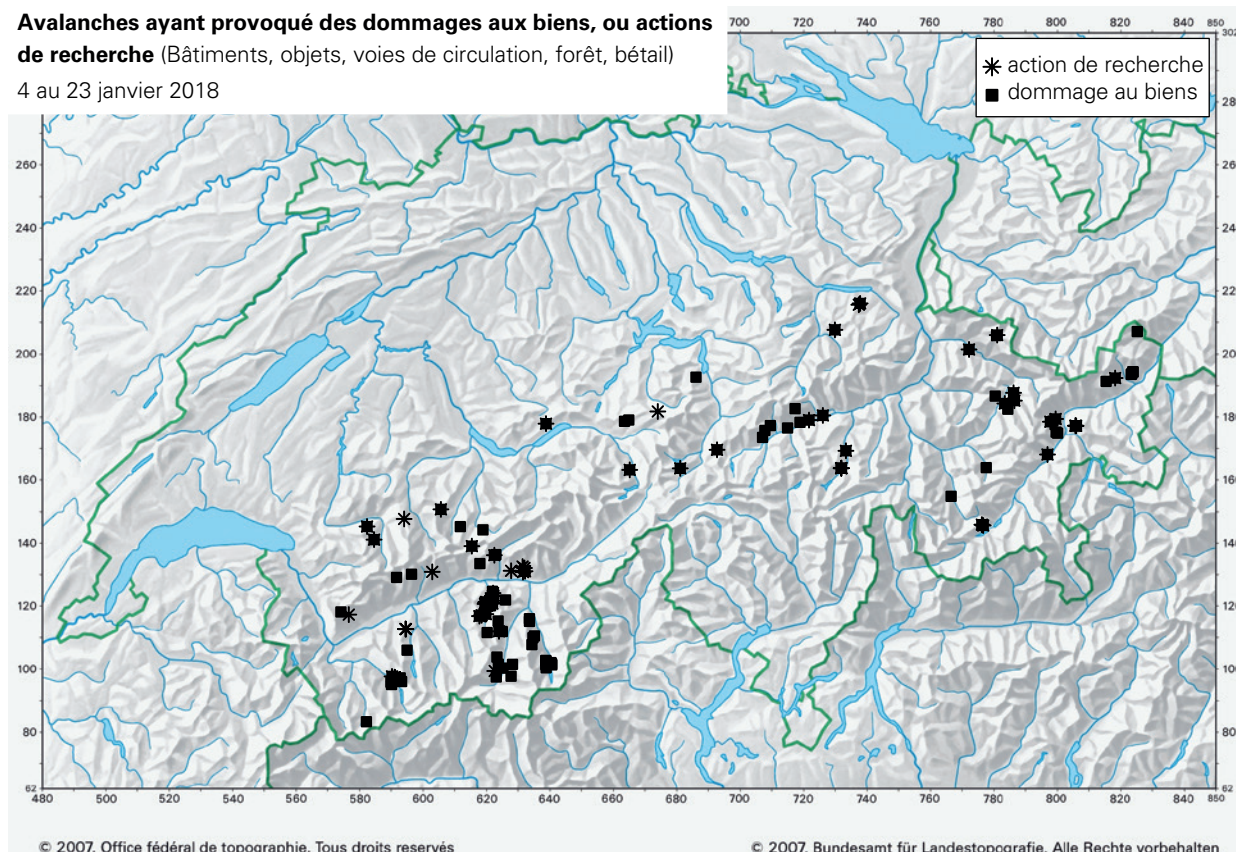


Fig. 67: Avalanches ayant provoqué des dommages aux biens, ou actions de recherche du 4 au 23 janvier 2018. Le 21 janvier 5 avalanches ont été signalées, le 22 janvier 78 et le 23 janvier 15. Les 78 avalanches du 22 janvier n'ont pas pu être datées précisément, car le moment exact du départ n'a été déterminé que dans quelques cas.

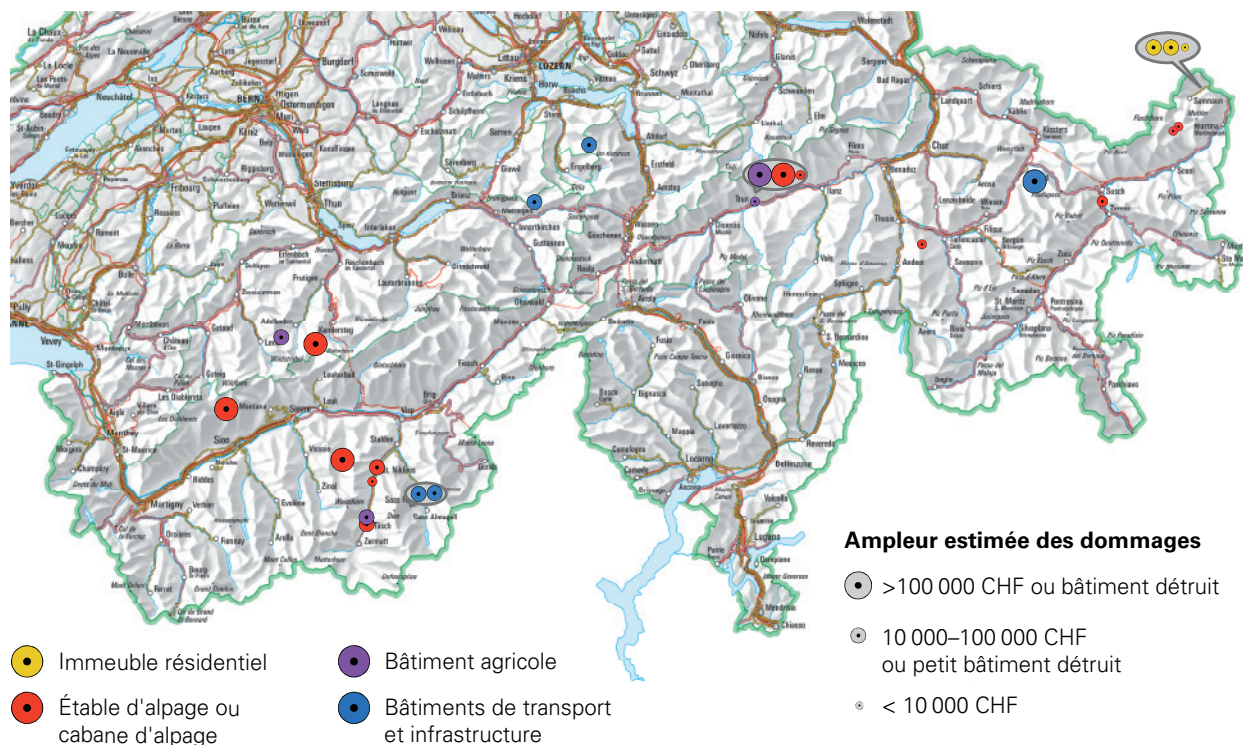


Fig. 68: Dommages aux bâtiments provoqués par des avalanches entre le 21 et le 23 janvier 2018. Au total, 7 bâtiments ont été détruits ou fortement endommagés.

Villages isolés pendant au moins 3 jours

Hiver avalancheux de 1999:	12 villages ou vallées d'une certaine taille n'ont pas été accessibles pendant 3 à 12 jours ni par la route ni par les transports publics (au total 80 journées pour ces villages/vallées)
21 au 23 janv. 2018:	3 villages ou vallées d'une certaine taille (Zermatt, Obergoms, Loèche-les-Bains) ont été isolés (au minimum de 7 heures du matin à 20 heures) pour 3 à 5 jours (au total 11 journées).
Hiver «normal»	pas de villages/localités de vallée non accessibles pour plus de 2 jours.

3.2.3 Dommages aux bâtiments provoqués par les avalanches et la pression de la neige

Deux petites avalanches ont atteint des bâtiments habités en permanence dans une localité (chapitre 3.3.10). Sinon, les dommages aux bâtiments provoqués par des avalanches n'ont concerné que des bâtiments à occupation saisonnière (refuges d'alpage, mayens), des étables d'altitude, des bâtiments pour l'exploitation agricole et des ouvrages d'infrastructure locale (p. ex. réservoirs d'eau, cabanes de remontées mécaniques, Fig. 68).

Selon les informations des assurances-bâtiments, 948 dommages ont été enregistrés ou au moins partiellement remboursés pour des bâtiments en raison de la pression de la neige. La plus grande partie des dommages a été enregistrée dans les Grisons (563) (Fig. 69). Au total, les dommages se sont élevés à 5,7 millions de francs et 129 dommages se sont élevés à plus de 10 000 francs. Parmi les 81 % de dommages dont le mois est connu, 38 % se sont produits en janvier, 26 % en février et 21 % en mars.

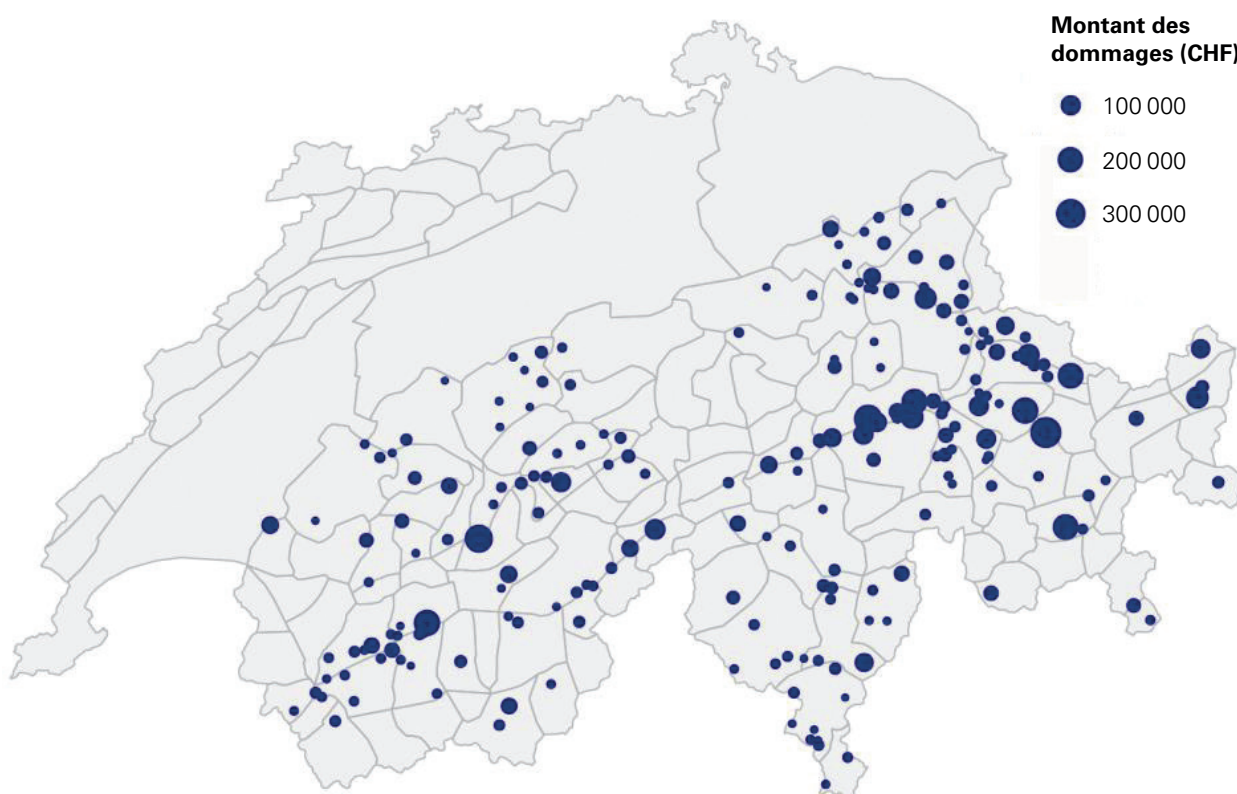


Fig. 69: Répartition des dommages provoqués par la pression de la neige et enregistrés. Les coordonnées du centre de la commune où le dommage a été enregistré sont représentées. La taille du symbole représente le montant des dommages par commune (source des données: assurances-bâtiments).

3.2.4 Dommages aux voies de communication

3.2.4.1 Routes

Dommages matériels

Le seul dommage matériel important connu est le pont en bois emporté par une avalanche sur le Hirscherengraben près d'Oberried. Ce pont est cependant spécifiquement construit pour pouvoir être emporté par l'avalanche. La route avait été fermée préventivement au moment où l'avalanche s'est déclenchée (chapitre 3.3.9). Sinon de nombreux dommages, en général limités, ont été signalés pour des glissières de sécurité, des panneaux de signalisation, etc.

Routes fermées

La Figure 70 donne une vue d'ensemble des routes fermées en raison du danger d'avalanches.

3.2.4.2 Dommages aux lignes de chemin de fer

Au total, neuf lignes de chemin de fer ont été fermées.

Lignes à voie normale

Il n'a pas été rapporté que des avalanches aient atteint un tronçon de ligne à voie normale. Pour des raisons de sécurité, la ligne d'altitude du Gothard a été fermée pendant 38 heures.

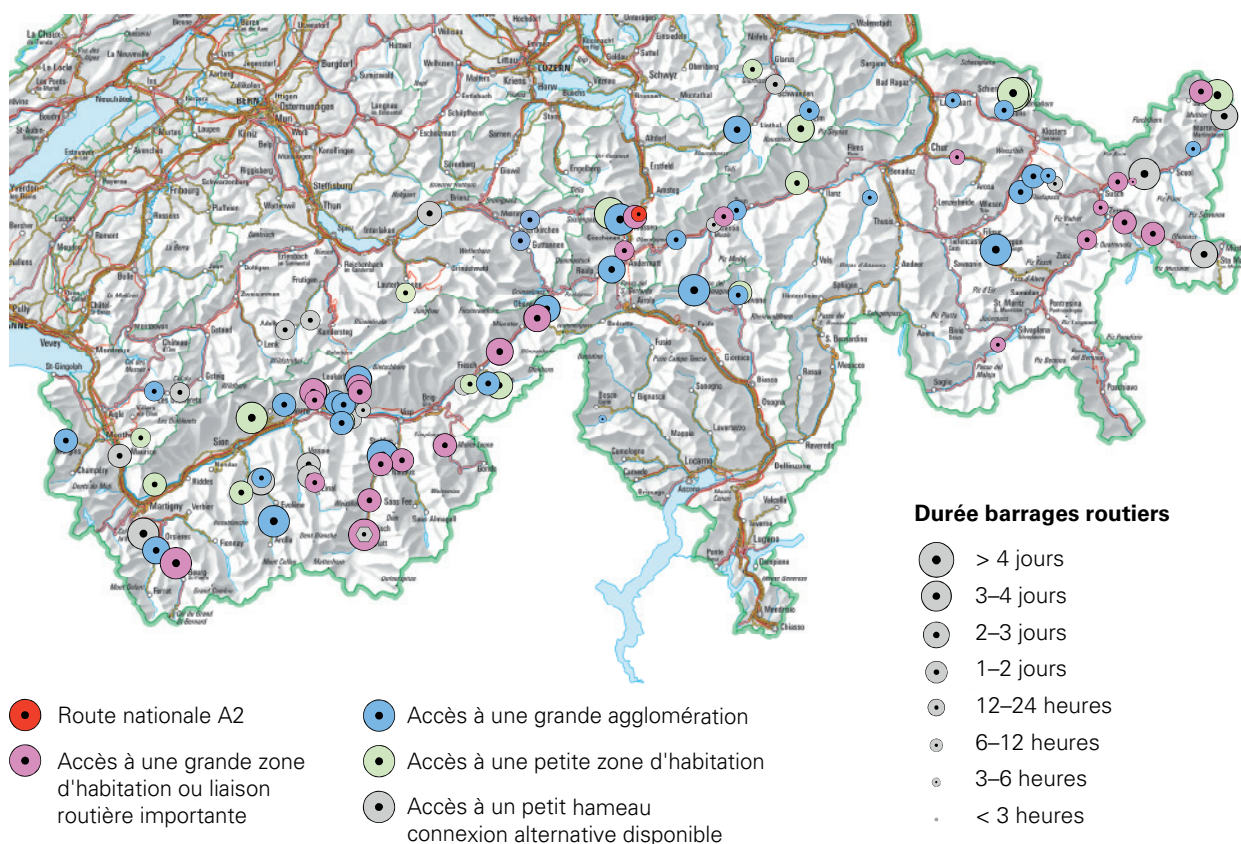


Fig. 70: Vue d'ensemble des routes fermées, codées selon leur importance, du 21 au 25 janvier 2018. Note: après la descente de laves torrentielles, l'autoroute A2 a été barrée et elle a été maintenue fermée pendant 22 heures en raison de la situation avalancheuse.

Tab. 7: Lignes de chemin de fer à voie normale coupées.

SBB	Tronçon d'altitude Erstfeld-Biasca	21 janvier 2018, 22h00 jusqu'au 23 janvier 2018, 12h00
-----	------------------------------------	--

Tab. 8: Lignes de chemin de fer à voie étroite coupées (à l'exception des lignes purement touristiques).

MGB	Visp-Täsch-Zermatt	19 janvier 2018, 22h00 au 24 janvier 2018, 17h00
MGB	Nätschen-Tschamutt	16 janvier 2018 au 25 janvier 2018
MGB	Göschenen-Andermatt	20 janvier 2018 au 22 janvier 2018
MGB	Andermatt-Realp	20 janvier 2018 au 23 janvier 2018
MGB	Niederwald-Oberwald	20 janvier, 20h00 au 24 janvier 2018 en matinée
RHB	Ilanz-Disentis	21 janvier 2018 au 22 janvier 2018
RHB	Scuol-Samedan	21 janvier 2018 au 23 janvier 2018
RHB	Davos-Filisur	21 janvier 2018 au 22 janvier 2018

Lignes à voie étroite

Les seuls dommages matériels à l'infrastructure ont été signalés au col de l'Oberalp: une avalanche y a arraché des poteaux de ligne électrique (chapitre 3.3.1).

Sur les tronçons Andermatt-Sedrun, Stalden-Täsch et Täsch-Zermatt, la voie a été ensevelie, sans que des dommages dignes d'être mentionnés ne soient survenus.

3.2.5 Dommages aux lignes électriques

Deux dommages signalés concernaient des lignes de transport à haute tension:

- Engadinerkraftwerke: une avalanche partie du Val Barcli (Col dal Fuorn) a détruit un pylône (chapitre 3.3.3)
- Dommages moins importants sur deux pylônes du Val de Bagnes

3.2.6 Dommages sur des remontées mécaniques

Les dommages suivants ont été signalés pour des remontées mécaniques:

- Un pylône emporté sur le téléski Hienergräti, Unterbach.
- Station de surveillance et abri de chronométrage au téléski Dorf de Saas-Fee (chapitre 3.3.6)
- Pylône du téléski de Balmeregg endommagé par une avalanche déclenchée par minage; ce pylône est équipé d'un coin paravalanche.
- Dommages matériels limités à la gare aval du télésiège Engstlensee-Jochpass.
- Une avalanche déclenchée par minage a fortement endommagé le téléski de Tsantonnaire (domaine d'Ovronnaz).

Trois dommages ultérieurs dus au glissement de la neige ou à des avalanches de glissement peuvent être considérés comme consécutifs aux grandes quantités de neige tombées:

- Une grande avalanche de glissement (taille 4) a déplacé le 4 avril 2018 un pylône du téléski Petit Van (commune d'Ormont Dessous).
- Sous l'impact des glissements de neige, deux pylônes du télésiège de Pleus (Elm) ont été déplacés.
- Sous l'impact des glissements de neige, un pylône du télésiège Lengenbrand-Parwenge à St Stephan (BE) a été endommagé.

3.2.7 Dommages aux forêts et aux champs

Les dommages aux forêts ont été évalués sur la base de différentes sources complémentaires. Ils ont été extraits de la banque de données des avalanches ayant provoqué des dommages du SLF (SLDB) et additionnés aux autres informations disponibles. En outre, les avalanches cartographiées à partir des images satellitaires de janvier 2018 ont été superposées dans le système d'information géographique avec les informations spatiales sur la surface forestière, pour évaluer les surfaces potentiellement touchées par les avalanches.

La cartographie des avalanches en région forestière permet de conclure qu'un grand nombre de parcelles forestières ont été touchées par les avalanches (Fig. 71 et Tab. 9). Les avalanches avec une cartographie «précise» de contour ont pu être superposées avec une superficie forestière totale de 224 ha. Elle a pu être complétée dans la région étudiée par presque 2000 ha de superficie forestière, qui ont été superposés à des avalanches dont les contours avaient été «évalués». La plupart de ces quelque 5000 avalanches ayant pu toucher des zones forestières se sont écoulées dans des parcours déjà établis, et n'ont donc pas provoqué de gros dommages forestiers, en dehors des parcours d'avalanches qui n'avaient pas été touchés régulièrement dans le passé ou tout du moins pendant des périodes de forte activité avalancheuse.

Le volume de bois abattu par les avalanches de l'hiver 2017/18 enregistrées dans la banque de données des avalanches ayant provoqué des dommages avec la mention «dommages forestiers» s'élève à environ 9000 m³. Ces informations sont cependant entachées d'incertitude, car il doit exister un nombre important de petits dommages forestiers non enregistrés et donc des volumes de bois qui n'ont pas été directement déterminés, mais plutôt évalués approximativement à partir d'informations supplémentaires (surface, âge) ou en combinaison avec des photographies aériennes. Sur la base de ces informations supplémentaires et de la cartographie satellitaire dans des régions sans dommages forestiers enregistrées, l'ensemble des dommages peut être évalué au total à environ 18000 (±3000) m³ ou environ 400 (±100) ha. Malgré ces incertitudes, les informations de la banque de

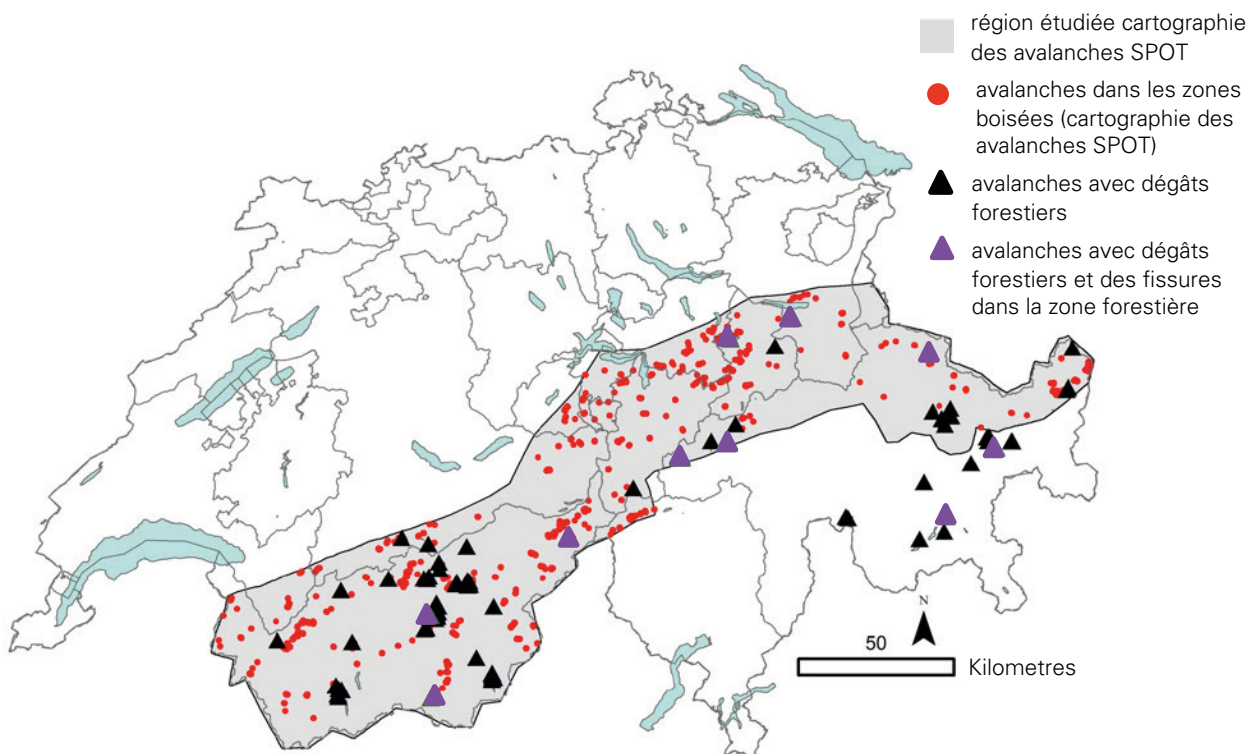


Fig. 71: Vue d'ensemble des zones forestières touchées par les avalanches pendant l'hiver 2017/18, sur la base de la cartographie des avalanches issue des images satellitaires (points rouges) dans la région étudiée grise, et sur la base des dommages forestiers signalés tirés de la banque de données des avalanches ayant provoqué des dommages du SLF (triangles noir et violet).

Tab. 9: Dommages forestiers comptabilisés pendant l'hiver 2017/18 et comparaison avec des tempêtes et hivers avalancheux antérieurs.

Évènement	Source	Évaluation des dommages forestiers	
		Volume de bois (m ³)	Surface (ha)
Hiver 2017/18	Évaluation SLDB et autres sources	18 000	400
Hiver 1999	SLF 2000	160 000	1440
Hiver 1951	SLF 2001	177 000	2100
Hiver 1887/88	COAZ 1889	82 000	1340
Chablis Vivian 1990	WSL et BUWAL 2001, WOHLGEMUTH <i>et al.</i> 2017	4 900 000	4928
Chablis Lothar 1999	WSL et BUWAL 2001	12 660 000	46 000

données des avalanches ayant provoqué des dommages confirment que l'ampleur des dommages forestiers pendant l'hiver 2017/18 est nettement plus faible que pendant les hivers avalancheux antérieurs (Tab. 9). La comparaison avec les hivers avalancheux antérieurs montre notamment que les dommages forestiers moyens de l'hiver 2017/18, avec environ 60 m³ à l'hectare, ont été relativement faibles en comparaison avec d'autres années. Cela démontre à son tour que la plupart des avalanches ne sont en général pas sorties de leurs parcours habituels. En outre, aux altitudes boisées inférieures, les avalanches de poudreuse ont dû être rares, car à ces altitudes la surface de la neige était souvent humide et a freiné les avalanches de poudreuse.

Les dommages à la forêt ont certes été globalement limités pendant l'hiver 2017/18, mais on enregistre cependant quelques cas d'ampleur importante, car certaines avalanches ont quitté leur parcours habituel (Fig. 72 et chapitre 3.3). On peut citer l'exemple d'une avalanche sous l'Alp da Schlans



Fig. 72: Exemples de dommages forestiers importants: Alp da Schlans/Trun GR (à gauche, photo: R. Levy, 29.05.2018; chapitre 3.3.4); vallée de Tourtemagne VS (en haut à droite, photo: SLF/E. Hafner, 13.09.2018); c) Gassterntal BE (en bas à droite, photo: J.-L. Dubouloz, 20.05.2018)

près de Trun (GR) qui a emporté quelque 4000 m³ de bois sur une surface d'environ 20 ha (Fig. 72, à gauche), et a même touché dans la partie supérieure un peuplement forestier âgé de 200 ans. Cette avalanche qui a provoqué des dommages dans 20 ha de forêt, a rejoint en partie inférieure (Fig. 72, à gauche) son parcours habituel. Pour la première fois, l'avalanche est partie d'une zone très raide sur le Cavistrau Pign et a totalement détruit la pessière au-dessus des chalets (hors de la photo) (chapitre 3.3.4). D'autres dommages importants ont été signalés notamment dans la vallée de Tourtemagne VS ou la vallée de Gastern près de Kandersteg BE.

3.3 Sélection d'avalanches ayant provoqué des dommages

Nous décrivons ci-après une sélection d'avalanches ayant provoqué des dommages qui ont été bien documentées.

Les extraits de cartes sont reproduits avec l'autorisation de Swisstopo. Il s'agit d'une carte-pixel numérique, sans ombrages du relief. À la place, nous superposons des informations d'inclinaison en quatre classes (<30 degrés, 30–35 degrés, 35–40 degrés, 40–45 degrés et >45 degrés). Elles sont dérivées d'un modèle altimétrique numérique combiné composé de swissALTI-3D avec une résolution de 10 m. La légende suivante s'applique à tous les extraits de cartes:

	30–35 degrés
	35–40 degrés
	40–45 degrés
	plus de 45 degrés

La composition s'appuie sur des documents du service de prévision d'avalanches du SLF, des rapports de services d'avalanches locaux, et d'enregistrements du cadastre des événements naturels StorMe (OFEV 2019a). Quelques descriptions ont été reprises mot pour mot de cette documentation.

3.3.1 Andermatt, gare du col de l'Oberalp

Une avalanche endommage la caténaire

Une avalanche spontanée a enseveli la voie de MGB et endommagé la caténaire. Deux pylônes de caténaire et un portique ont été détruits (Fig. 73). Par conséquent, le tronçon Gütsch – Tschamutt a été fermé jusqu'au 25 janvier.



Fig. 73: La caténaire endommagée en soirée du 22 janvier 2018. Vue de la gare du col de l'Oberalp dans la direction du tunnel sur le versant uranais (photo: Andermatt-Sedrun Sport AG, 22.01.2018).

La liaison ferroviaire Nättschen-Dieni a été fermée le 20 janvier 2018. Le départ d'avalanche s'est produit le 22 janvier 2018 pendant la chute de neige. Le 23 janvier au matin, les traces de l'avalanche étaient déjà partiellement recouvertes par la neige fraîche, et la zone de décrochement de l'avalanche ayant provoqué ces dommages n'a pas pu être déterminée précisément. La Fig. 74 montre des traces d'avalanches aussi bien près de «Vorder Satz», que «Verborgen Plangge» et «Mittler Satz». Un autre départ d'avalanche est reconnaissable au pied des rochers du Schneehüenderstock.

Cette avalanche a franchi la zone Platte, dont l'inclinaison n'est que de 20°, et a sauté Vorder Satz pour dévaler dans le Fellital. Nous ne savons pas si cela a déclenché de grandes avalanches secondaires au niveau de Vorder Satz.

Les premières photos des dommages ont pu être prises en soirée du 22 janvier (Fig. 73). La neige s'est manifestement transformée temporairement en pluie, car aussi bien les pylônes encore debout que ceux qui ont été détruits étaient totalement exempts de neige. Lors du survol de la zone le jour suivant, les dépôts d'avalanches étaient légèrement recouverts de neige au niveau du col. On voit cependant que des dépôts à grains fins, typiques d'avalanches fortement fluidisées, se sont avancés

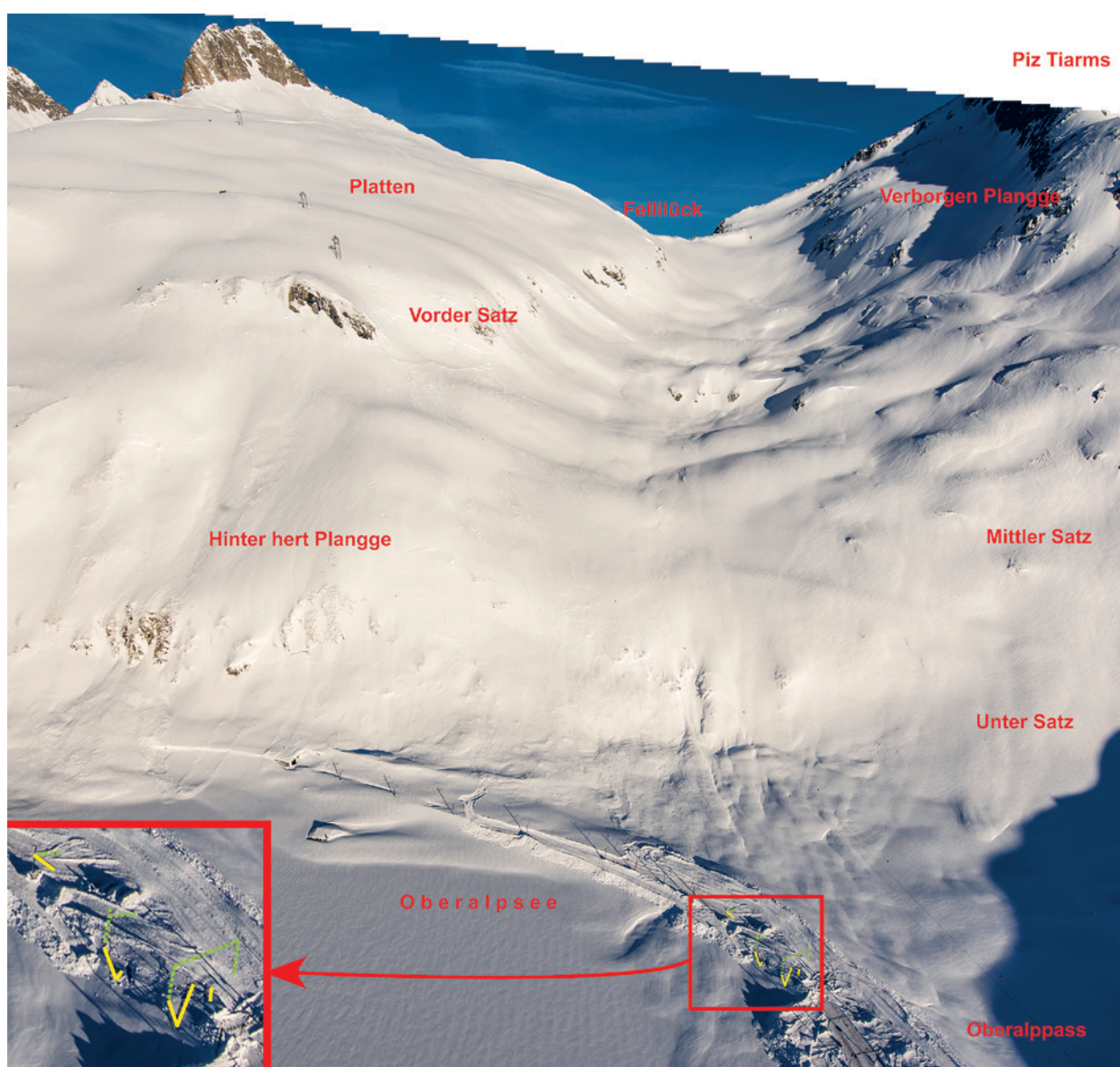


Fig. 74: Les dépôts d'avalanche autour de la gare du col de l'Oberalp indiquent que les deux versants du Fellital ont été concernés. La position des structures détruites avant resp. après l'avalanche a été surlignée en vert resp. jaune (photo: SLF 24.01.2018).



Fig. 75: La photo du 23 janvier 2018 montre des traces faiblement recouvertes de neige fraîche d'une avalanche partie du Schneehüenderstock, qui a éventuellement déclenché des avalanches secondaires au niveau du ressaut entre «Vorder Satz» et le Fellilücke. La zone de départ non recouverte entre Löcher et «Vorder Satz» provient d'une avalanche survenue ultérieurement (photo: Andermatt-Sedrun Sport AG, janvier 2018).

jusqu'à 200 m du pied du versant. Des dépôts plus grossiers se terminent à environ 100 m du pied du versant. On ne distinguait plus de traces d'avalanches de poudreuse. Les pylônes n'offrant que peu de surface exposée jusqu'à 5 m de hauteur, il est peu probable qu'une avalanche avec écoulement dense fluidisée les ait renversés. Nous supposons qu'une avalanche de poudreuse a touché la partie supérieure des pylônes en entraînant les caténaires, et qu'elle est donc responsable des dommages.

Le 20 février 2000 déjà, une avalanche de poudreuse était arrivée à proximité de la gare du col de l'Oberalp et avait renversé un ouvrier (SL 20272). La zone d'étalement de cette avalanche avait été jugée étonnamment longue à l'époque.

3.3.2 Andermatt, vallée de l'Oberalp

Une avalanche avec déclenchement sous un ouvrage paravalanche ensevelit la voie MGB

La ligne fermée du «Matterhorn Gotthard Bahn» a été ensevelie par une avalanche qui s'est déclenchée sous l'ouvrage paravalanche «Stafler Bort».

Un ouvrage de soutien sécurise le versant sud, haut d'environ 150 m directement au-dessus de la voie ferrée. Cependant les 60 à 80 m de dénivelé inférieur de la zone de départ n'ont pas été équipés. La Fig. 76 du 23 janvier 2018 montre une hauteur de rupture relativement importante dans cette zone. La liaison était interrompue au moment de l'avalanche, et la voie n'a pas été dégagée.

Le «Stafler Bort» est un emplacement problématique connu pour le «Matterhorn Gotthard Bahn». Des avalanches parties de cette zone atteignent régulièrement la voie ferrée, souvent également



Fig. 76: L'avalanche s'est écoulée jusqu'à la Reuss de l'Oberalp, mais n'a pas provoqué de dommages matériels malgré la hauteur de la rupture. Au premier plan, une autre avalanche partiellement recouverte de neige fraîche est visible (photo: Matterhorn Gotthard Bahn, janvier 2018).

sous forme de neige mouillée. De telles avalanches de neige mouillée ont entraîné cinq dérangements ou fermetures du tronçon Nätschen-Oberalp au cours du mois d'avril. La société «Matterhorn Gotthard Bahn» prévoit de renforcer l'ouvrage «Stafler Bort» par des rangées d'ouvrage paravalanche supplémentaires (chapitre 4.1.1).

3.3.3 Zernez, Val da Barcli

Une grande avalanche (taille 4) détruit un pylône de ligne à haute tension et des râteliers en bois

Une avalanche de plaque spontanée a enseveli pendant la nuit la route fermée du Col dal Fuorn sur une longueur de 220 m, détruit environ 460 m de râteliers en bois et arraché un pylône d'une ligne à haute tension de sa fondation. Suite à la destruction de ce pylône, l'exploitation de la centrale d'Ova Spin a dû être interrompue jusqu'à l'installation d'un pylône de secours à la fin février.

L'avalanche responsable des dégâts s'est déclenchée spontanément le 23 janvier 2018 vers 00h40 à environ 2800 m d'altitude (Fig. 77). Environ 150 mètres de dénivelé au-dessus de la route du Col dal Fuorn, après une descente de plus de 1000 m de dénivelé, à un coude du ravin, l'avalanche de poudreuse et la partie rapide fluidisée de l'avalanche se sont séparées de la neige coulante plus lente. Celle-ci a suivi le fond du ravin en direction de la galerie de protection et s'est précipitée sur une largeur de 300 m directement en direction de la route du Col dal Fuorn et de la Spöl (flèche bleue sur la Fig. 77).

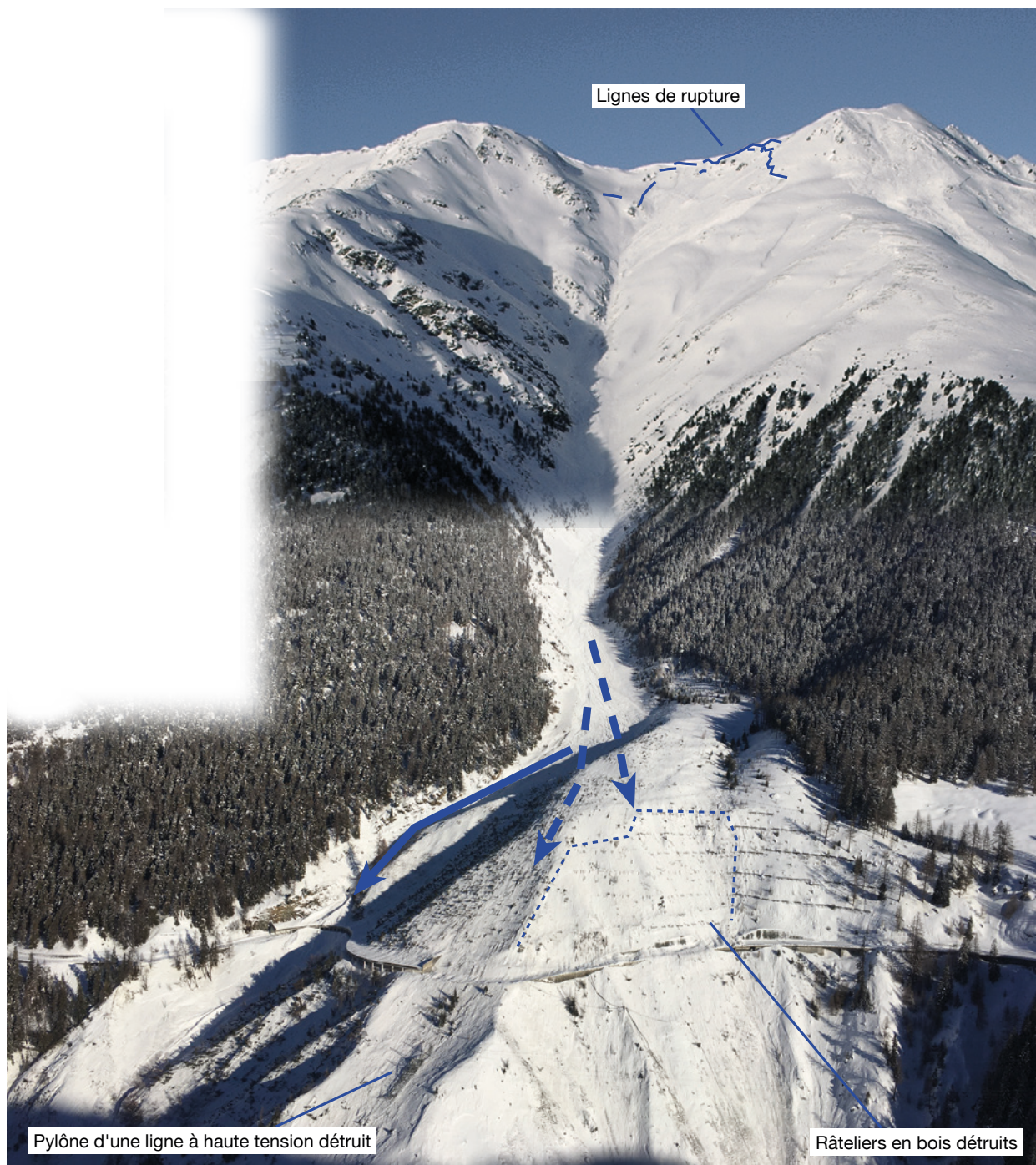


Fig. 77: Vue du parcours d'avalanche du Val da Barcli le 24 janvier 2018. Environ 150 m au-dessus de la route du Col dal Fuorn, la partie coulante de l'avalanche, plus lente, (flèche bleue continue) et l'avalanche de poudreuse et la partie fluidifiée rapide (flèche bleue en traitillé) se sont séparées (photos: Service forêt et dangers naturels GR, vue constituée de photos de deux points de vue légèrement différents).

L'avalanche du 23 janvier 2018 a dû être la deuxième plus importante depuis 70 ans. Seule celle du 23 janvier 1999 a été nettement plus grande. À l'époque aussi, la ligne haute tension avait été détruite, et au-dessus de la route du Col dal Fuorn, environ 2 ha de forêt avaient été dévastés. Les râteliers en bois détruits le 23 janvier 2018 avaient été installés pour favoriser le reboisement de ces surfaces forestières.

3.3.4 Trun, Alp Cavistrau

Une très grande avalanche de plaque (taille 5) endommage trois bâtiments et provoque des dommages sur environ 20 ha de forêt

Une très grande avalanche de plaque spontanée a détruit deux chalets d'alpage et une étable. Elle a provoqué des dommages sur 20 ha de forêt et 10 ha de champs.

La rupture de l'avalanche s'est effectuée directement sous le sommet du Cavistrau-Pign sur un versant sud-est extrêmement raide (Fig. 79). L'avalanche s'est écoulée sur Plaun-Sura en direction d'Alp da Schlans. Un avancement au-delà de Plaun-Sura n'avait encore jamais été documenté. La forêt au-dessus d'Alp da Schlans-Sut a été détruite en grande partie. Elle avait vraisemblablement plus de 200 ans. Les deux chalets d'alpage ont été complètement détruits (Fig. 78 et Fig. 80).

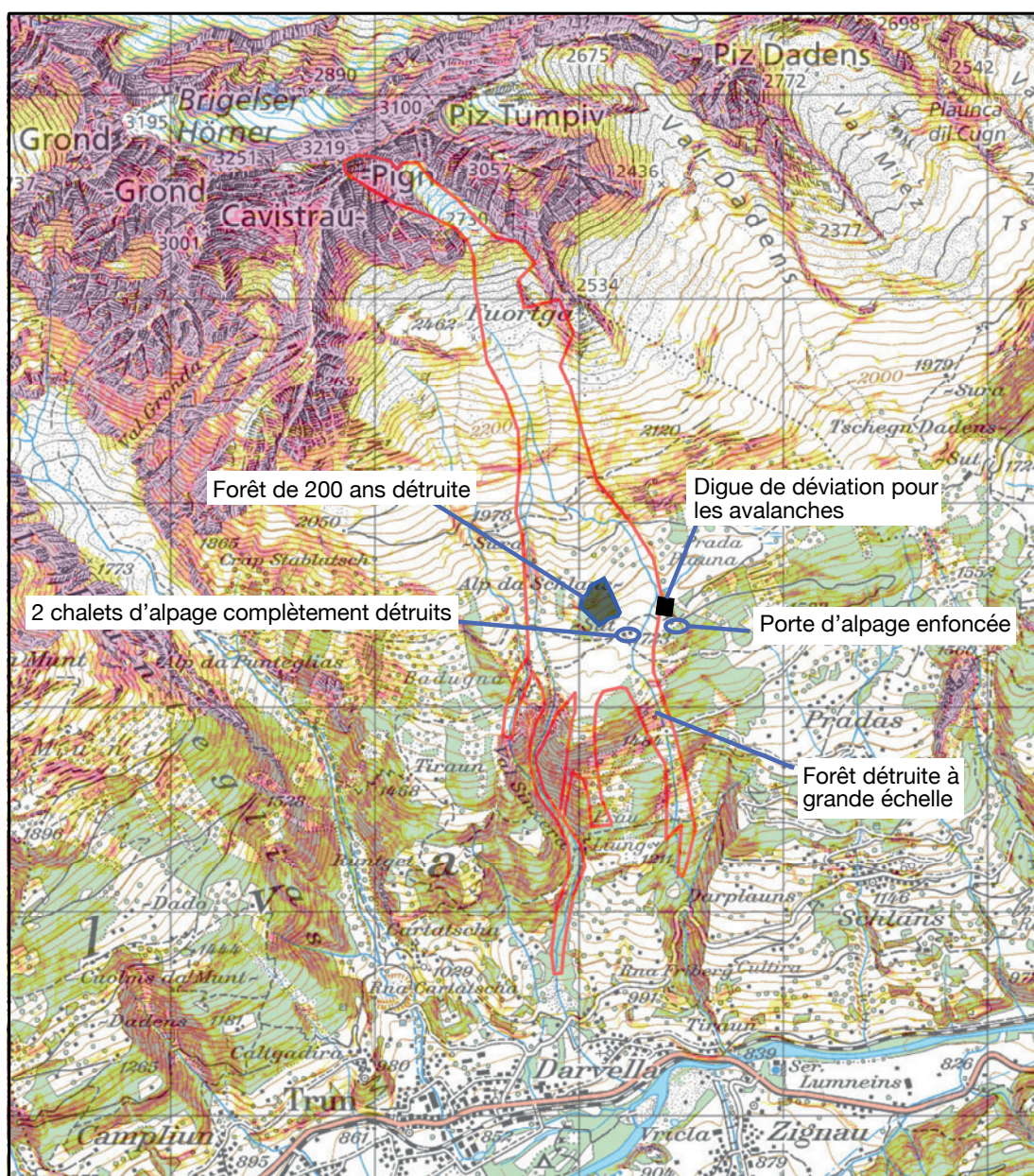


Fig. 78: L'avalanche s'est déclenchée sur le versant sud-est du Cavistrau Pign. Seules des surfaces relativement petites de la zone de départ sont plus raides que 30°.

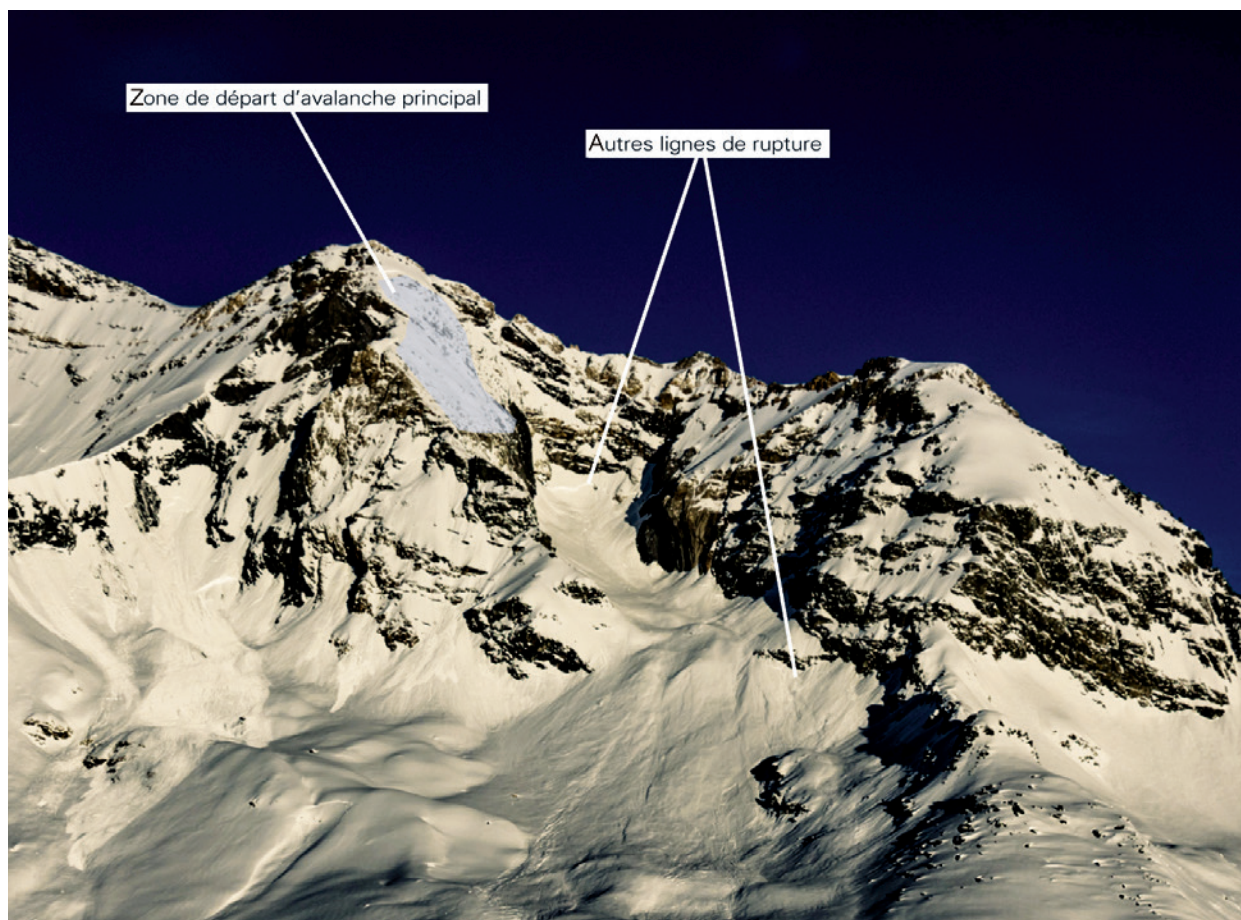


Fig. 79: La zone de départ primaire sous le sommet s'étend sur environ 3,5 ha, avec une pente de 46°. D'autres lignes de rupture sont visibles sur le glacier et à 2600 m d'altitude. (photo: SLF 24.01.2018)



Fig. 80: Les deux chalets d'alpage de l'Alp da Schlans Sut ont été complètement détruits (photo: Radio-television Svizra Rumantscha, été 2018).

Sous l'alpage, l'avalanche s'est divisée en trois branches. Le bras de gauche a suivi le Val Farbertg et s'est écoulé jusqu'à environ 1100 m d'altitude. La forêt âgée d'environ 35 ans, détruite pour la dernière fois en 1984, a été à nouveau dévastée. Le bras central s'est écoulé à travers la forêt de protection entre Val Farbertg et Val Sinzera. À part quelques arbres âgés, c'est surtout la jeune forêt qui a été en grande partie détruite. De petites accumulations de neige ont été observées jusqu'à juste au-dessus de Prau Liung à la hauteur du chemin de randonnée «Senda Sursilvana». Le bras de droite a suivi le versant vers le Val Sinzera, où des avalanches de neige mouillée se sont avancées plusieurs fois dans des cas extrêmes (1999) jusqu'à la digue de retenue de Sinzera. Cette fois-ci, l'avalanche s'est arrêtée à environ 200 m au-dessus de la digue, à 970 m d'altitude.

Ce que nous considérons comme exceptionnel pour ce phénomène, c'est que la zone primaire de décrochement d'une superficie relativement petite (environ 3,5 ha) a donné naissance à une avalanche aussi grande. Manifestement, des départs secondaires se sont produits, et de grandes masses de neige ont dû être entraînées sur le parcours. Avec RAMMS, un programme utilisé couramment aujourd'hui pour les calculs de dynamique des avalanches, qui ne prend pas en compte l'entraînement de la neige dans le parcours d'avalanche, il est difficile de simuler a posteriori l'avalanche observée.

Pendant l'été 2018, la carte de dangers a été retravaillée pour tenir compte du départ de l'avalanche sur le Cavistrau Pign, qui n'avait encore jamais été observé.

3.3.5 Vallée de Tourtemagne

Environ 25 ha de forêt et deux chalets détruits

Activité avalancheuse exceptionnelle dans la vallée de Tourtemagne: environ 15 grandes (taille 4) et de nombreuses petites et moyennes avalanches (taille 2 et 3) ont détruit environ 25 ha de forêt ainsi que deux chalets isolés.

Deux avalanches dans la vallée de Tourtemagne antérieure (près de l'Eggimatte au Locheralpji), toutes deux ayant presque atteint des bâtiments isolés, n'avaient pas été prises en compte dans la carte de dangers. Les dommages concernent deux grandes surfaces forestières près de Locheralpji et Alpetjini. Sinon, ce sont surtout les lisières des tranchées d'avalanches existantes qui ont été touchées. La protection assurée par la forêt contre les avalanches ne devrait pas au total en avoir trop pâti. Les hameaux qui se trouvent en partie dans une zone fortement menacée n'ont pas été atteints par les avalanches. En dessous de Blüomatt, un chalet qui se trouvait dans la zone d'étalement, à proximité de la fin de la zone rouge de danger, a été totalement détruit. Un autre chalet a également été détruit par une avalanche.

Les avalanches ont déposé beaucoup de bois dans les cours d'eau. L'évacuation de ce bois, nécessaire pour éviter des barrages, a coûté 360 000 francs.

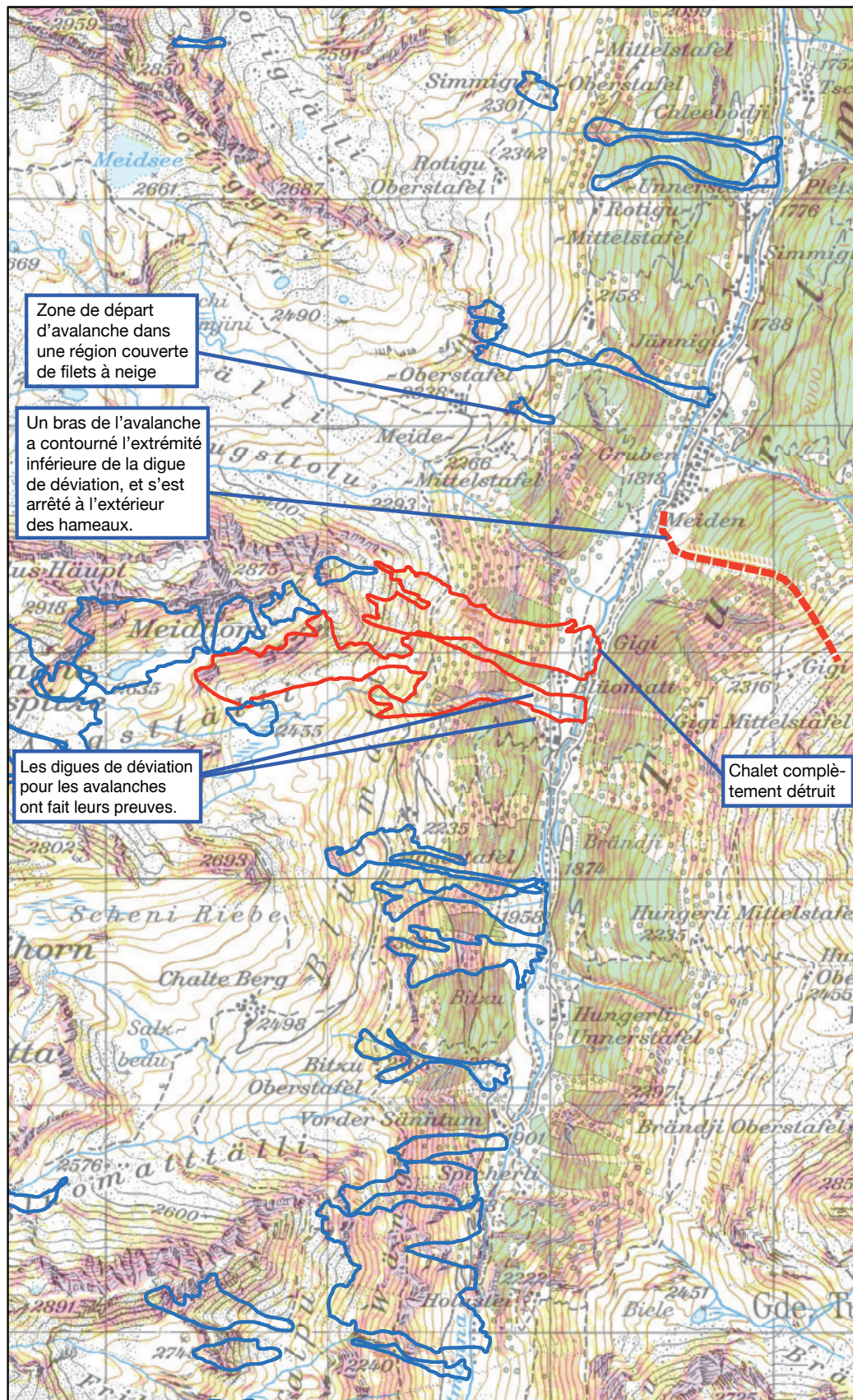


Fig. 82: Avalanches dans la partie sud de la vallée de Tourtemagne. En rouge, les avalanches ayant provoqué des dommages forestiers selon nos informations. En bleu, les autres avalanches cartographiées à partir des images satellitaires Spot. Pour les avalanches non cartographiées ayant provoqué des dommages, l'axe approximatif de l'avalanche a été dessiné.

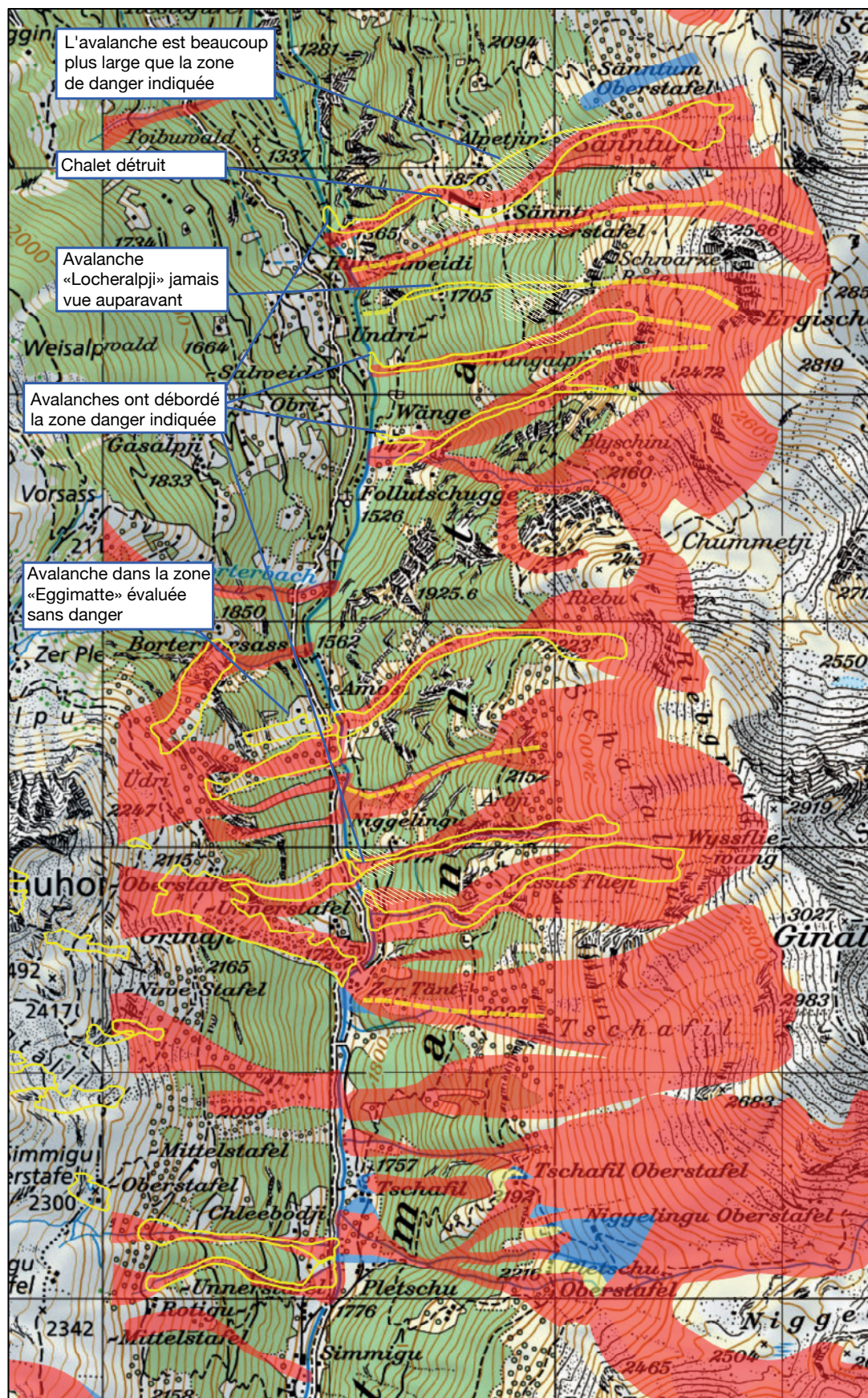


Fig. 83: Comparaison des avalanches avec les zones de danger existantes dans la partie nord de la vallée de Tourtemagne.

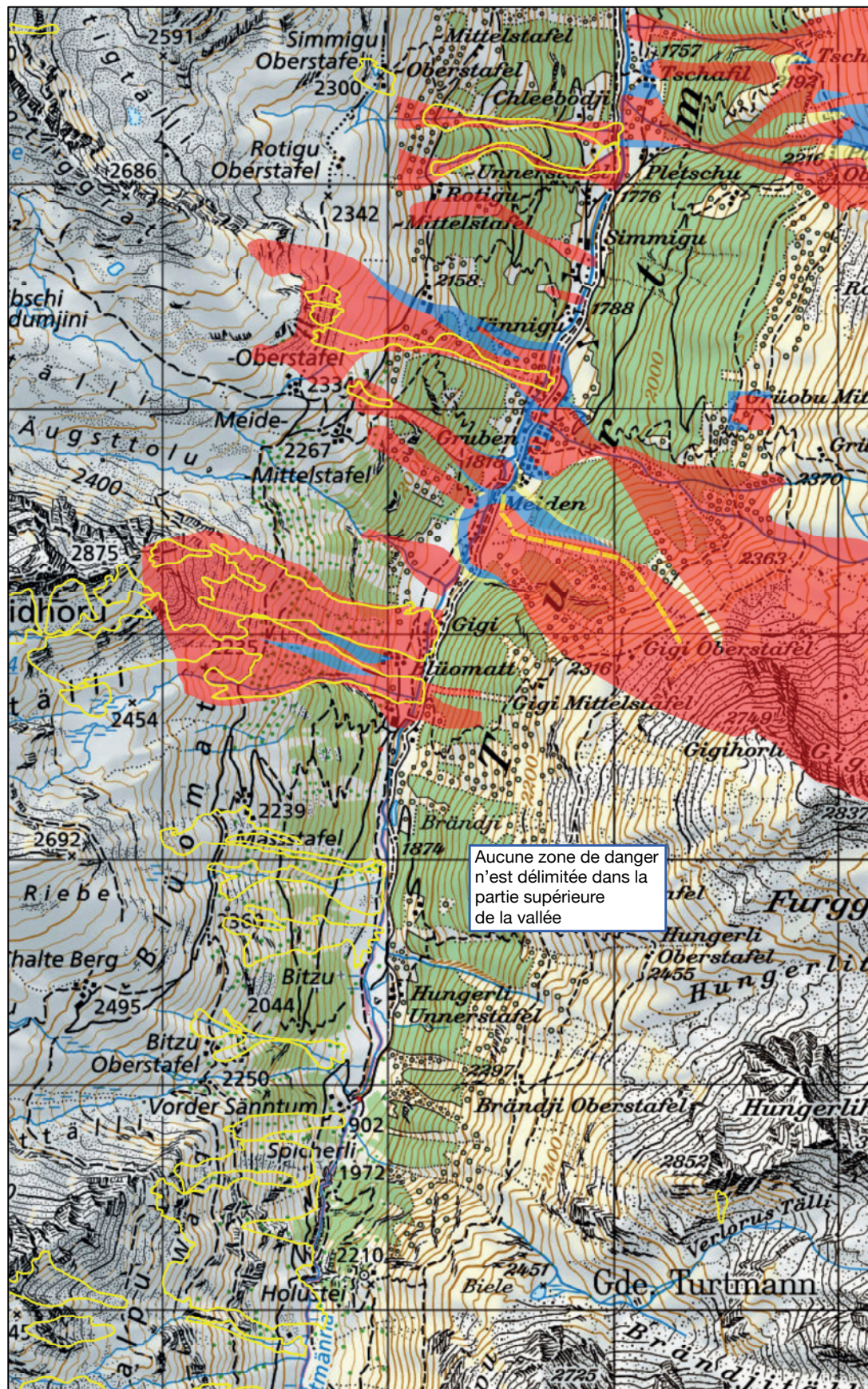


Fig. 84: Comparaison des avalanches avec les zones de danger existantes dans la partie sud de la vallée de Tourtemagne. Dans la partie supérieure de la vallée, aucune zone de danger n'est délimitée.



Fig. 85: Le chalet détruit sous le hameau de Blüematt se situait sur le versant opposé en bordure de la zone d'étalement de l'avalanche ainsi qu'en bordure de la zone rouge de danger (photo: SLF/K. Winkler, 31.05.2018).



Fig. 86: Le hameau de Blömmatt le 23 janvier 2018. Le chalet détruit se trouve un peu en dehors de l'image (photo: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).



Fig. 87: Au-dessus de Locheralpji, 5,1 ha de forêt ont été détruits (photo: Forst Visp, 05.06.2018).



Fig. 88: Près de Meiden, un bras de l'avalanche a contourné l'extrémité inférieure de la digue de déviation, et s'est arrêté à seulement 20 m du hameau (photo: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).



Fig. 89: Une avalanche s'est déclenchée dans les filets à neige au-dessus de Meiden, en dessous de la ligne supérieure de l'ouvrage et a traversé l'ensemble de l'ouvrage. L'avalanche s'est écoulée dans la jeune forêt en dessous de l'ouvrage, sans provoquer de dommages (photo: Rinaldo Hugo, 29.01.2018).

3.3.6 Saas-Fee

Une avalanche descendue du Gemshorn détruit deux petites constructions près du télési de Saas-Fee

Une grande avalanche de plaque spontanée (taille 4) a entraîné une cabane de télési (station de surveillance) et l'abri de départ du slalom parallèle. Elle a enseveli la piste fermée et provoqué des dommages à la forêt.

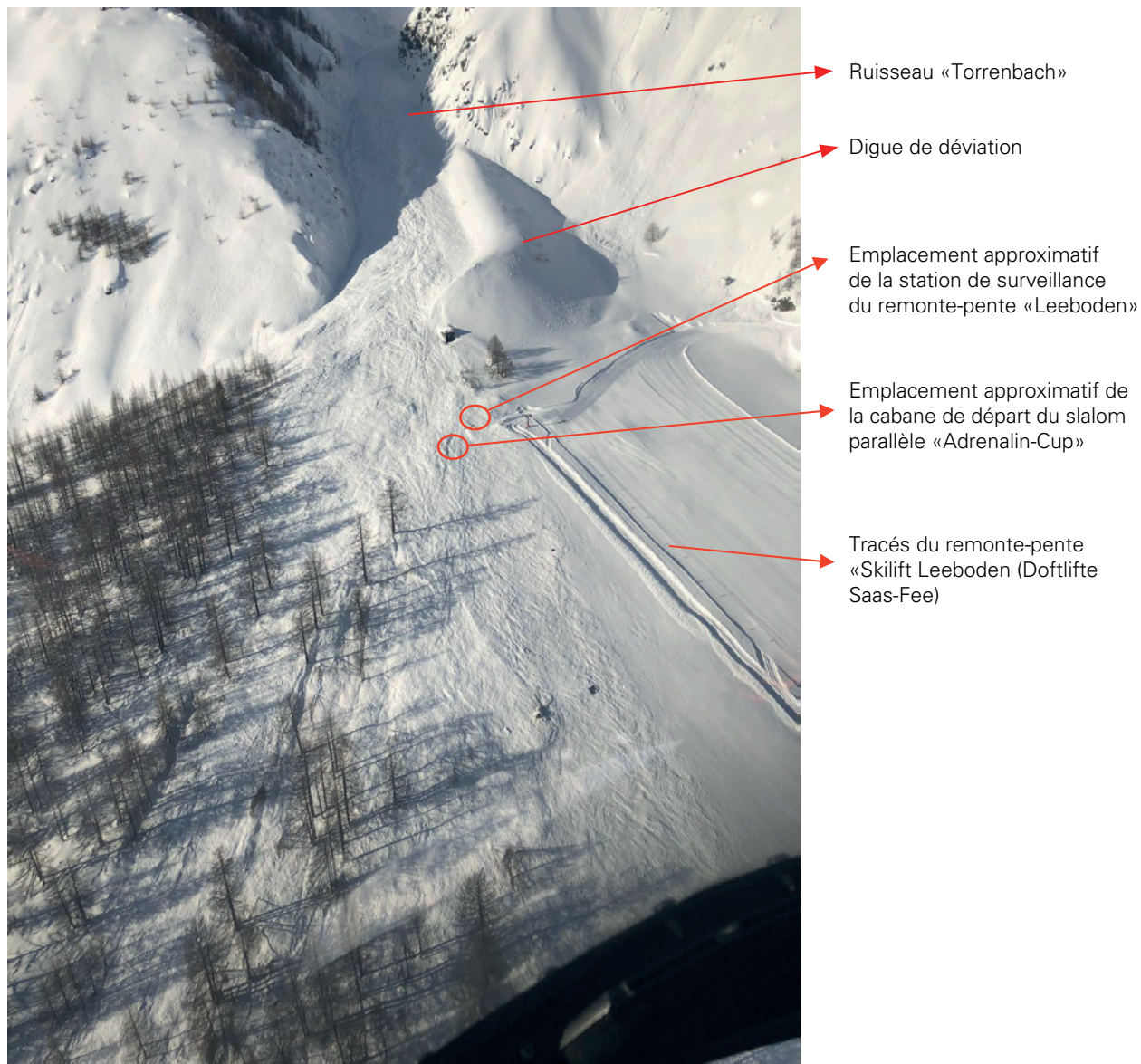


Fig. 90: La station de surveillance et un abri de départ du télési de Leeboden ont été détruits. Grâce à la digue de déviation, le télési lui-même n'a pas été endommagé (photo: Saastal Bergbahnen AG, janvier 2018).

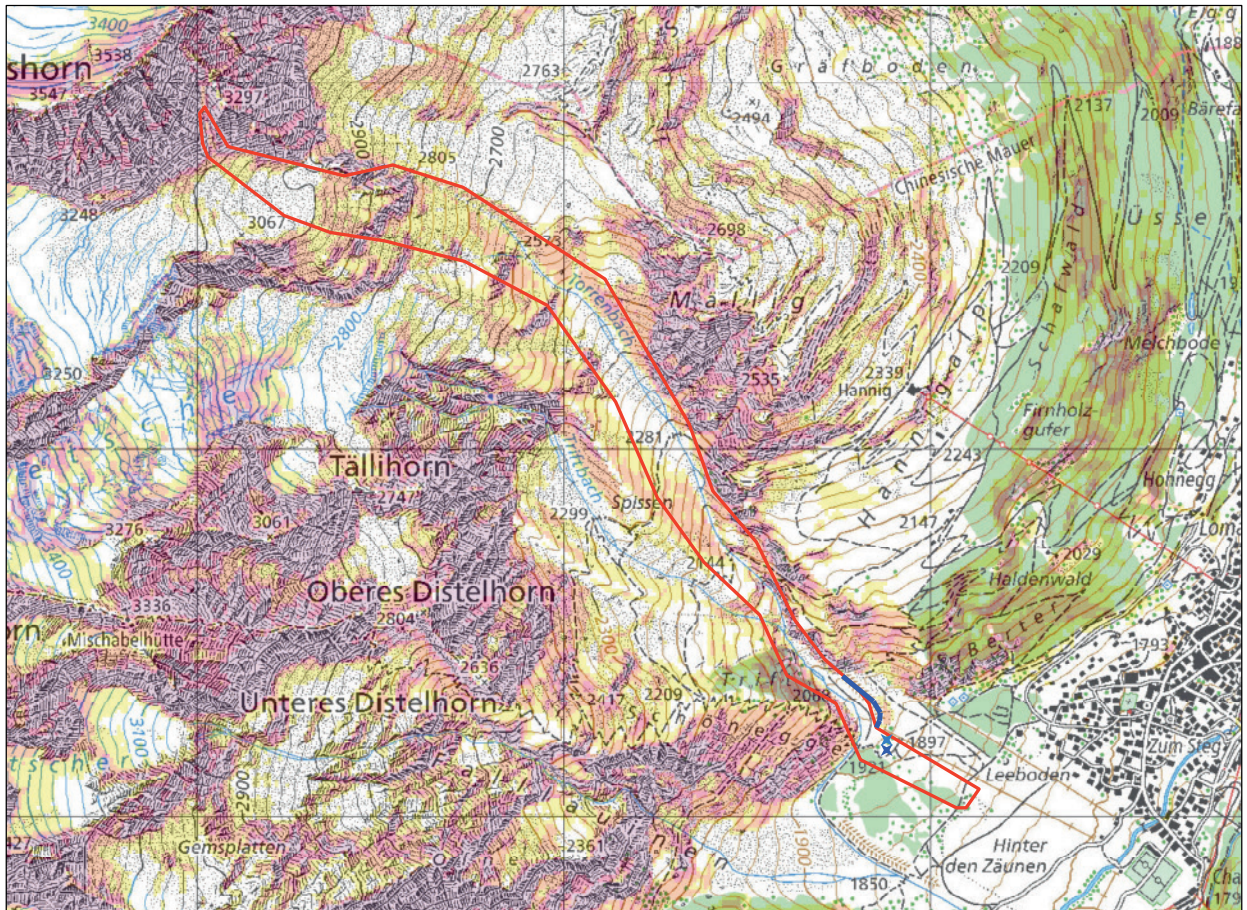


Fig. 91: L'avalanche est partie sous le sommet du Gemshorn. La digue de déviation de l'avalanche et les emplacements de la cabane du téléski et de l'abri de départ sont indiqués en bleu.

3.3.7 Route Sils-Maloja

Descente d'une avalanche sur la route cantonale ouverte

Une avalanche de plaque spontanée a enseveli le 22 janvier la route cantonale ouverte en deux points. Une automobiliste en provenance de da Plaun da Lej a été arrêtée par le petit cône d'avalanche ouest. Le véhicule a été bloqué lors de la tentative de passer ce dépôt. L'automobiliste s'en est sortie indemne. Plus à l'est, la route cantonale a été ensevelie sur env. 100 m. En outre, la forêt a été légèrement touchée.

Des collaborateurs de l'office des ponts et chaussées ont immédiatement éloigné l'ensemble des personnes présentes aux endroits dangereux.

Les deux cônes d'avalanche ont été explorés par sécurité, avec la participation de la Rega, de 4 équipes de chiens d'avalanches, de membres du CAS, des pompiers, de la police cantonale et de l'office des ponts et chaussées. Cette recherche n'a pas donné de résultats.



Fig. 92: Le véhicule a été bloqué lors d'une tentative de passage de la première avalanche (photo: J. A. Bisaz, 22.01.2018).



Fig. 93: Zone de départ de l'avalanche. Une partie de l'avalanche s'est partiellement écoulée sur les ouvrages de retenue. Les ouvrages les plus hauts étaient totalement remplis (photo: SLF, janvier 2018).

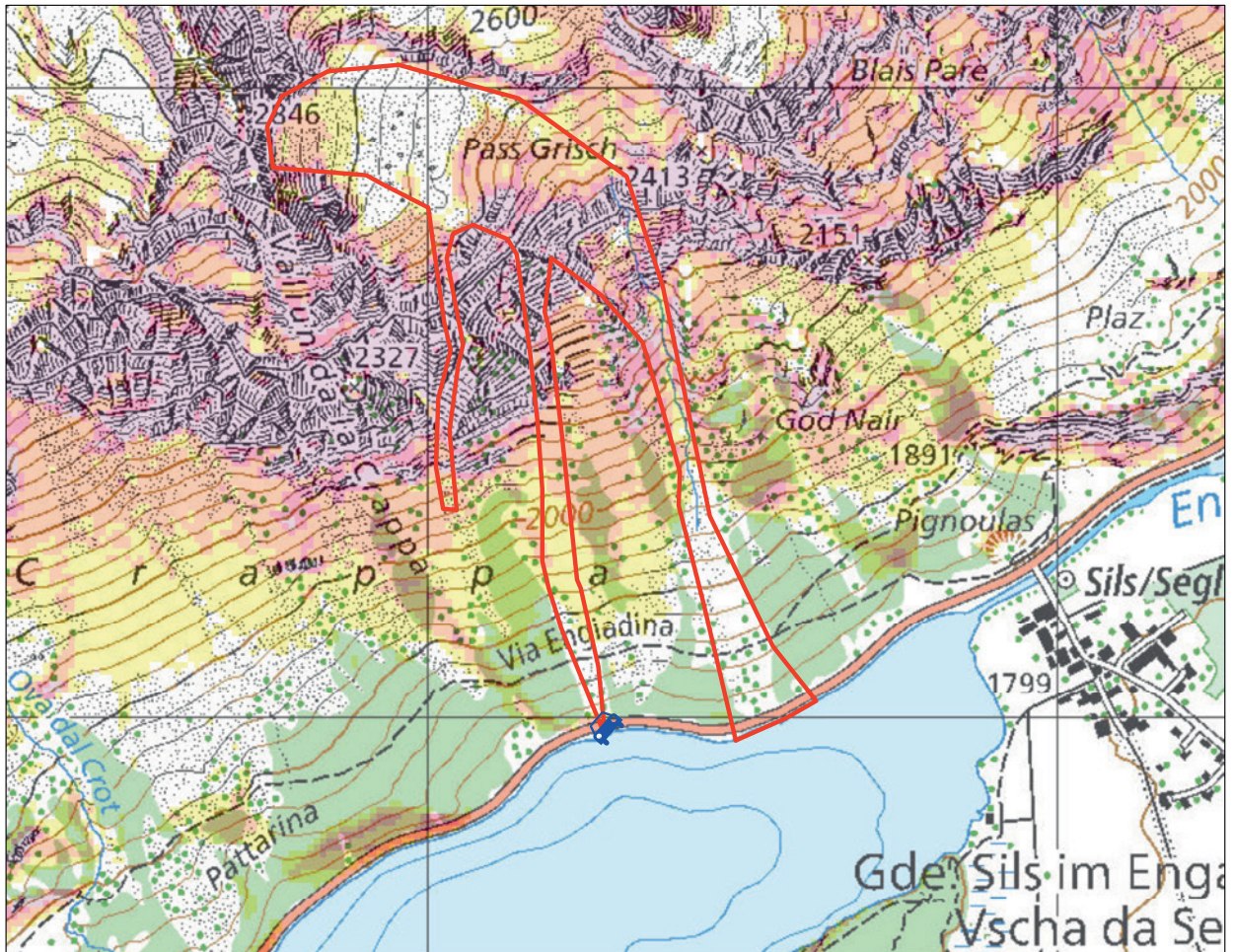


Fig. 94: Le véhicule qui circulait en direction de Sils a été bloqué en tentant de franchir le dépôt d'une largeur de 5 m de la branche ouest de l'avalanche.

3.3.8 Davos, Dischma

Une avalanche descendue du Büelenhorn ensevelit la route fermée et la piste de ski de fond

Une avalanche de plaque spontanée venue du Büelenhorn a enseveli dans la Dischma, une des vallées latérales de Davos, la route sur 280 m et la piste de ski de fond sur 250 m. Ces deux voies de communication sont restées fermées pendant 60 heures. Le volume du dépôt s'est élevé à 120 000 m³. En outre, 2,5 ha de forêts et 6 ha de champs ont été touchés.

Sans doute en raison de l'exposition sud-ouest des zones de départ, les grandes avalanches ne se produisent pas régulièrement au Büelenhorn, mais seulement tous les 10 ans environ. La végétation repousse en partie dans le parcours de l'avalanche entre les événements, et celle-ci transporte donc souvent beaucoup de bois ce qui par la suite engendre un travail de déblaiement de la route et des champs important.

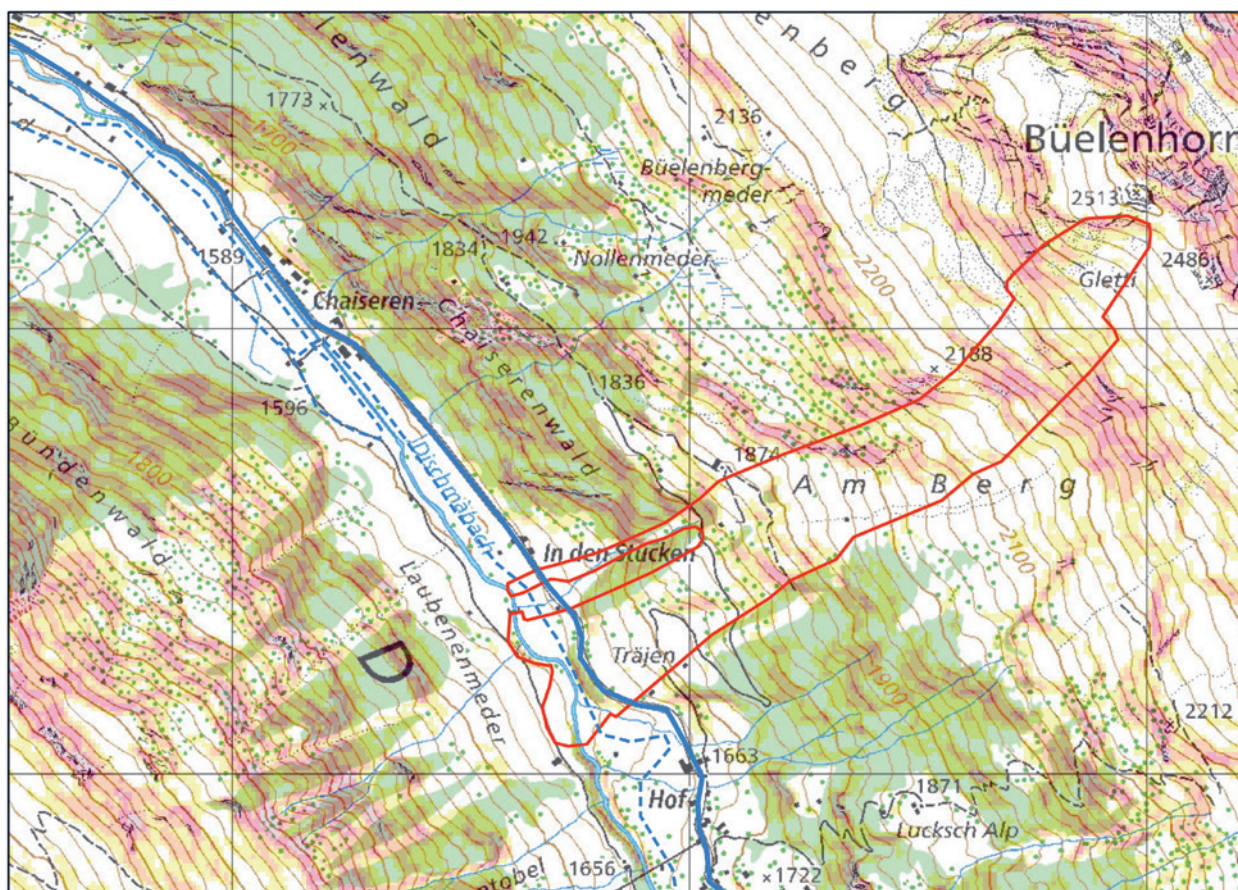


Fig. 95: L'avalanche est partie directement sous le sommet du Büelenhorn et s'est divisée en une branche «Trajen» et une branche «in den Stücken». La route et la piste de ski de fond qui ont été ensevelies sont marquées en bleu.



Fig. 96: Avalanche du Büelenhorn (photo: SLF/J. Schweizer, 24.01.2018)



Fig. 97: La route de la Dischma pendant le déneigement (photo: SLF/J. Schweizer, 24.01.2018).

3.3.9 Oberried am Brienzersee

Un pont mobile de la route principale entraîné

Une grande avalanche de plaque spontanée (taille 4) a entraîné le 22 janvier à environ 5h30 le pont mobile de la route principale et la clôture d'un terrain cultivé le long du chemin de la rive du lac.

Le pont sur le Hirscherengraben étant souvent emporté par l'avalanche, ou bien en été par le torrent en crue, il a été conçu comme une construction en bois légère sur de solides culées en béton. Un pont de réserve est entreposé à proximité, de telle sorte que dès que la situation avalancheuse le permet, il peut être installé en quelques heures. Le coût impliqué s'élève, d'après l'inspection de la voirie Oberland Ost, à environ 10 000 à 15 000 francs (citation www.beo-news.ch).



Fig. 98: (photo: '#SRFAugenzeuge Susanne', janvier 2018)



Fig. 99: Route principale ensevelie près de Brienz (photo: Thuner Tagblatt, janvier 2018)

3.3.10 Samnaun Laret et Compatsch

Deux petites avalanches endommagent trois bâtiments d'habitation

En début de matinée du 21 janvier 2018, deux petites avalanches se sont déclenchées directement sous des zones équipées d'ouvrages de retenue ou de tripodes, et ont atteint plusieurs bâtiments d'habitation non évacués.

À Samnaun Compatsch, une avalanche s'est déclenchée directement sous des tripodes sur une largeur de 32 m. Après s'être écoulée sur 40 m, elle a brisé trois portes vitrées du balcon d'une maison habitée au moment de l'évènement, et elle a pénétré dans la maison (Fig. 104 à Fig. 106). À Samnaun Laret, une avalanche s'est déclenchée sous un ouvrage paravalanche en claies d'acier, sur une largeur de 53 m (Fig. 100 à Fig. 103). Elle a atteint quatre habitations après une descente de 180 m, et enseveli une rue du quartier. De gros dommages se sont produits sur l'extérieur de l'un des bâtiments. Des dommages moins importants ont été notés sur un deuxième bâtiment.

Les deux parcours d'avalanche ont été sécurisés pendant l'été 2018 par des ouvrages supplémentaires.



Fig. 100: À Samnaun Laret, une avalanche se déclenche sous une zone équipée d'ouvrages de retenue, et atteint des bâtiments d'habitation.



Fig. 101: Vue de la zone de départ de l'avalanche près de Samnaun Laret le 23.01.2018 (photo: AWN GR)



Fig. 102: Vue du bâtiment situé le plus haut, touché par l'avalanche (photo: Fam. Moser-Jenal).



Fig. 103: Dépôts épais d'avalanches devant la maison située le plus à l'est parmi les bâtiments touchés (photo: Fam. Moser-Jenal).

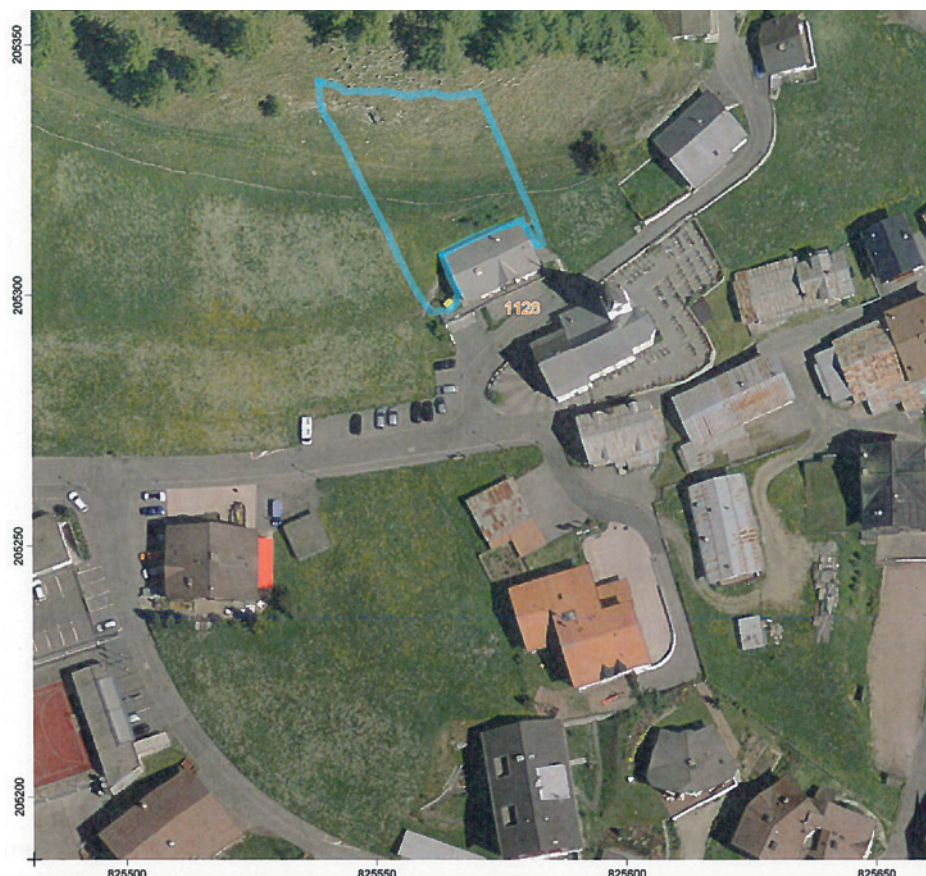


Fig. 104: À Samnaun Compatsch, une avalanche se déclenche sous une zone équipée de tripodes, et pénètre dans une maison habitée.



Fig. 105: Vue de la zone de départ de l'avalanche près de Samnaun Compatsch le 23.01.2018 (photo: AWN GR).



Fig. 106: Neige à l'intérieur de la maison à Samnaun Compatsch (photo: habitants de la maison).

4 Mise en œuvre et maintien de la protection intégrale contre les avalanches

4.1 Mesures constructives

Les ouvrages de retenue sont, en Suisse, les mesures de protection constructives permanentes contre les avalanches les plus importantes. Aujourd'hui, il existe plus de 500 km d'ouvrages de retenue permanents, avec une valeur de remplacement évaluée à 1,5 milliards de francs. Les ouvrages de retenue ont pour objectif de prévenir le déclenchement des avalanches. Pendant l'hiver 2017/18, ce sont les hauteurs de neige relativement élevées qui ont entraîné les plus gros problèmes sur les ouvrages de retenue. Le chapitre suivant analyse les hauteurs de neige en janvier 2018, mais aussi pour l'ensemble de l'hiver, en regard de l'efficacité des ouvrages de retenue, et évalue les dommages survenus. De la même manière, l'efficacité pendant l'hiver 2017/18 d'autres mesures de protection comme les digues, les galeries ou les ouvrages de protection contre les congères sera évaluée. La présente analyse s'appuie sur les informations et documents mis à notre disposition par les cantons.

4.1.1 Ouvrages de retenue

4.1.1.1 Situation nivologique pour les ouvrages de retenue

La hauteur de neige est le critère décisif pour l'efficacité et le dimensionnement des ouvrages de retenue. Conformément à la directive de Constructions d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement (MARGRETH 2007), la hauteur d'un tel ouvrage doit correspondre au minimum à la hauteur de neige extrême de durée de retour 100 ans. Une analyse des données des sites de mesures manuelles et des stations automatiques pendant l'hiver 2017/18 montre que les durées de retour des hauteurs maximales sont généralement inférieures à 30 ans. Les hauteurs de neige maximales de l'ensemble de l'hiver n'ont été atteintes que de manière isolée dès janvier 2018. Localement, par exemple en Basse-Engadine, dans le Chablais et dans le sud du Valais, des durées de retour supérieures à 30 ans ont été enregistrées. Les maxima de hauteur de neige sont survenus généralement seulement en mars, voire en avril. La hauteur des ouvrages de retenue se base sur la moyenne superficielle des hauteurs de neige extrêmes donnée dans la directive de Constructions d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement (MARGRETH 2007). La hauteur de neige extrême est calculée sur la base de l'altitude d'un site, corrigée régionalement (Fig. 107). La comparaison des hauteurs de neige maximales mesurées pendant l'hiver 2017/18 avec la moyenne superficielle des hauteurs de neige extrêmes de durée de retour 100 ans montre que les hauteurs mesurées se situent en moyenne 1 à 2 m en dessous des valeurs définies dans la directive technique. Ces valeurs n'ont été dépassées qu'à trois stations: Schilthorn (SCH2), Simplon (SPN3) et Gandegg (GAN2). Ces stations sont connues pour être influencées par le vent et le terrain, avec des hauteurs de neige mesurées qui ne sont pas représentatives.

Pendant l'hiver 1998/99, environ 19 ouvrages ont été recouverts de neige au point de disparaître sur des surfaces importantes. Par contre, pendant l'hiver 2017/18, pratiquement aucun ouvrage de retenue n'a été recouvert sur une surface étendue, mais un certain nombre ont cependant été recouverts localement (Fig. 108 et Fig. 109). En janvier 2018, la répartition de la neige en raison de l'influence du vent a été assez irrégulière dans les zones équipées. Par ailleurs, l'hiver 2017/18 a été caractérisé par le fait que dès la fin janvier, un certain nombre d'ouvrages étaient fortement enneigés. Ce fait a été estimé problématique par les responsables de sécurité pour l'évolution ultérieure de l'hiver, car sur les sites d'altitude, on sait par expérience que la hauteur de neige peut encore augmenter d'environ 1 m jusqu'à son maximum, qui ne survient généralement qu'en mars, voire en avril. On peut citer la station de mesure d'Hasliberg où la hauteur de neige est passée entre le 23 janvier 2018 et le 1^{er} avril 2018 de 212 cm à 300 cm. Pour quelques stations de mesure, le maximum de l'hiver pour la hauteur de neige a été enregistré le 23 janvier 2018.

Pour être préparé à une augmentation ultérieure des hauteurs de neige, impliquant une diminution de l'efficacité des ouvrages de retenue, le canton des Grisons a développé fin janvier des scénarios pour les équipements critiques, décrivant l'évaluation de l'augmentation de la menace, notamment

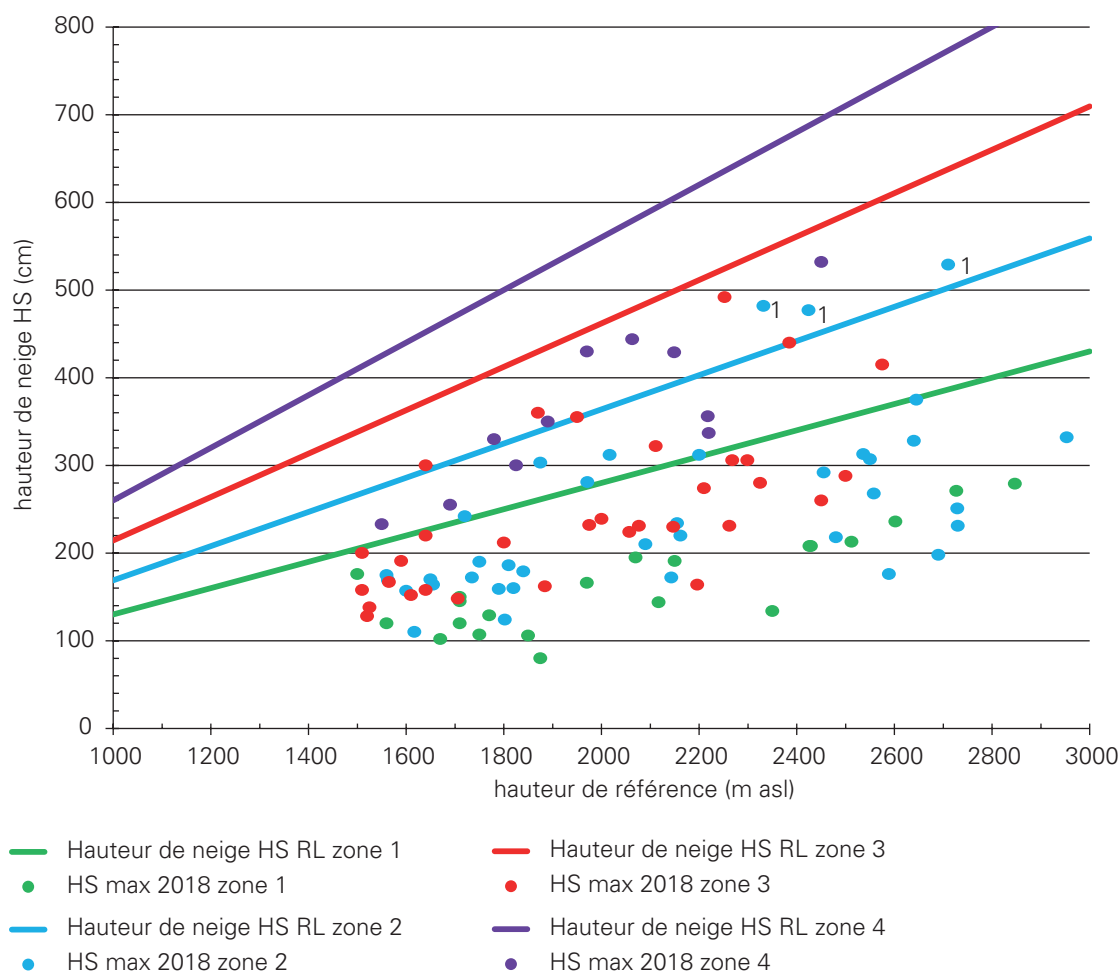


Fig. 107: Comparaison entre les hauteurs de neige maximales mesurées pendant l'hiver 2017/18 aux stations manuelles et automatiques et la moyenne superficielle des hauteurs de neige extrêmes de durée de retour 100 ans conformément à la directive technique (MARGRETH 2007). Les mesures ont été affectées aux quatre zones climatiques de la directive. Les trois stations IMIS avec une hauteur de neige maximale supérieure aux hauteurs de neige extrêmes de durée de retour 100 ans conformément à la directive technique sont marquées (avec le chiffre 1).



Fig. 108: Ouvrage de retenue de La Rebarme dans le Bas-Valais. Dans la partie centrale de l'image, les ouvrages de retenue présentent une hauteur de 6 mètres. La hauteur de neige a dû s'élever le 24 janvier 2018 localement à plus de 8 m (photo: J.L. Lugon).



Fig. 109: Ouvrage de retenue de Cavistrau, Trun (GR), partiellement recouvert de neige le 24 janvier 2018. En partie supérieure de l'équipement, les ouvrages présentent une hauteur de 4 m, et plus bas de 3,5 m (photo: SLF/S. Margreth).

en cas de départ de grandes avalanches en amont des ouvrages, et les mesures à prendre. Le problème peut résider dans la prise en compte totale de l'efficacité des ouvrages de retenue dans une carte de dangers, lorsqu'uniquement un petit risque résiduel a été conservé. Pour un tel scénario, qui ne s'est heureusement pas réalisé pendant l'hiver 2017/18, il faut évoquer également des mesures temporaires en dehors des zones de danger. Il est très important que les scénarios pris en compte en relation avec les cartes de danger et les mesures de protection soient connus, et que la situation nivologique dans les ouvrages de retenue critiques soit régulièrement surveillée et documentée.

Dans le passé, pour certains projets, la hauteur nécessaire des ouvrages de retenue a souvent été sous-estimée ou la variation locale de la répartition de la neige n'a été que trop peu prise en compte. Aujourd'hui, quand de nouveaux ouvrages de retenue sont planifiés, il est recommandé d'élaborer des cartes de hauteur de neige (Fig. 122) indiquant la répartition exacte de la neige. La mise en œuvre de drones en combinaison avec une évaluation photogrammétrique des images permet de dessiner les cartes de hauteur de neige à relativement peu de frais avec une résolution spatiale et une précision de l'ordre du décimètre, sans aucune lacune même dans des zones de départ difficiles à atteindre. L'expérience montre que les hauteurs nécessaires pour les ouvrages doivent être déterminées avec précaution pour minimiser la problématique d'ouvrages recouverts et d'éventuelles avalanches en amont.

4.1.1.2 Efficacité des ouvrages de retenue

Etonnament, pendant l'épisode avalancheux des 22/23 janvier 2018, des départs d'avalanches sur des surfaces relativement importantes ont été observés dans une dizaine d'ouvrages de retenue. Pendant l'hiver 1998/99, on n'a pratiquement constaté aucun départ dans ces ouvrages. Les épaisseurs de décrochement de ces avalanches de janvier 2018 étaient plutôt petites, généralement dans une plage d'environ 0,5 m. Les ouvrages n'étant généralement pas remplis totalement de neige, les écoulements de neige ont été freinés, et partiellement arrêtés par les rangées successives. Plus le terrain était raide, et plus il y avait de neige dans les ouvrages, moins la neige a pu être retenue. En ce qui concerne la propagation de la rupture, les rangées d'ouvrages n'ont pratiquement pas eu d'efficacité. Dans l'ouvrage d'Urseren, au-dessus de Brienz, la ligne de rupture a traversé quatre rangées successives (Fig. 110). L'efficacité des ouvrages s'est limitée à freiner et retenir la neige qui venait de partir. La formation et la propagation de la rupture n'ont pas pu être évitées par la présence des ouvrages. Nous supposons qu'une couche fragile marquée se trouvait au sein des différentes couches de neige fraîche et de neige soufflée. La surface de glissement se trouvait en général au-dessus de la surface du 15 janvier 2018. La formation d'entonnoirs d'écoulement à travers les grilles des ouvrages indique qu'il s'agissait de neige avec une faible cohésion. Les masses de neige s'écoulant des ouvrages sont restées généralement petites, et n'ont pas provoqué de dommages, ou seulement insignifiants. Lorsque des zones de départ secondaires ou des pentes raides se trouvaient sous les ouvrages, les avalanches ont également pu prendre une ampleur importante. Au col de l'Oberalp, de telles avalanches ont enseveli la voie de la société Matterhorn Gotthard Bahn.

Ces départs d'avalanche de janvier 2018 montrent les limites d'un ouvrage de retenue, et la présence d'un danger résiduel. Un ouvrage de retenue n'offre pas une protection totale contre les avalanches. Selon la directive technique (MARGRETH 2007), un ouvrage de retenue a pour mission d'éviter le départ des avalanches, ou au minimum de limiter les mouvements de neige qui n'ont pas pu être totalement évités pour qu'ils ne provoquent pas de dommages. S'il n'existe pas de zone d'étalement, ou même si d'autres zones de départ se trouvent sous les ouvrages de retenue, de tels mouvements de neige peuvent également provoquer des dommages. Selon la directive PROTECT «Efficacité des mesures de protection techniques» (ROMANG (Ed.) 2008), le cas 2: «départ d'avalanche dans l'ouvrage de retenue» est l'un des trois cas qui doit être considéré pour juger de l'efficacité des ouvrages de retenue, afin de déterminer les scénarios suivant les mesures prises.



Fig. 110: Ouvrage de retenue d'Urseren, Brien (BE), dans lequel une avalanche de plaque de grande surface s'est déclenchée lors de l'épisode avalancheux des 21 et 22 janvier 2018. La hauteur de rupture a dû atteindre environ 50 cm. L'avalanche n'a pas provoqué de dommages (photo: U. Ryter, 24.01.2018).



Fig. 111: Ouvrage de retenue de Schiahorn, Davos (GR), à côté duquel quelques grandes avalanches (taille 4) se sont déclenchées pour s'écouler vers le Schiatobel. Aucun départ d'avalanche n'a été constaté dans l'ouvrage même (photo: M. Phillips, 24.01.2018).

Lorsqu'un ouvrage de retenue a un objectif de protection très élevé, et que même les petits mouvements de la neige doivent être évités, les possibilités suivantes existent:

- Espacement inférieur des rangées d'ouvrage par rapport à ce que recommandent les directives, surtout en terrain raide.
- Combinaison de l'ouvrage de retenue avec un reboisement.
- Extension des ouvrages vers l'aval jusqu'à ce que le terrain présente une inclinaison nettement inférieure à 30°.
- Pour stopper plus efficacement les petites avalanches qui partent au sein des ouvrages, la grille de retenue des différentes rangées peut être recouverte d'un grillage à mailles fines.

En janvier 2018, quelques départs d'avalanche ont été observés également directement à côté ou en dessous des ouvrages de retenue. Une quantification des départs d'avalanches retenus par les ouvrages n'est cependant pas possible (Fig. 111).

4.1.1.3 Dommages dans les ouvrages de retenue

Les hauteurs de neige importantes et les glissements marqués ont sollicité de manière importante les ouvrages de retenue pendant l'hiver 2017/18. Des dommages ont été constatés dans de nombreux ouvrages lors du contrôle annuel. Dans la plupart des cas, il s'agissait de dommages locaux, qui n'ont pas compromis la fonction de l'ouvrage, ou tout du moins relativement peu. Les dommages aux ouvrages de retenue se sont concentrés sur les cantons des Grisons, du Valais et d'Uri. Au cours de l'hiver 2017/18, le montant total des dommages aux ouvrages de retenue a dû s'élever à environ 1,5 million de francs. Ce chiffre ne représente que quelques millièmes du coût total des ouvrages de retenue. La somme des dommages de l'hiver 2017/18 est nettement inférieure à celle de l'hiver avalancheux 1999. À l'époque les dommages aux ouvrages de retenue ont été évalués à 8 millions de francs. Parmi les dommages observés, il s'agit de phénomènes bien connus, déjà survenus au cours d'hivers précédents.

Dommages résultant de la pression de la neige

Ouvrages tordus ou pliés

Pendant l'hiver 2017/18, environ 200 piliers d'ouvrages de retenue se sont pliés vers l'aval. Ce sont surtout les ouvrages de type «Züllig SA», «Voest-Alpine BT» et «Dickru» qui ont été particulièrement touchés, ainsi que différents types d'ouvrage de construction plus ancienne. Pour les seuls ouvrages



Fig. 112: Piliers périphériques pliés sur les ouvrages « Dickru » de La Loutze, Leytron (VS). Des forces accrues de pression de la neige s'exercent en périphérie. C'est pourquoi l'ouvrage a été renforcé avec des montants et piliers doublés en périphérie (photo: Nivalp SA, 12.11.2018).



Fig. 113: Piliers pliés des ouvrages « Züllig SA » à Stelli, Untervaz (GR). Des dommages aux piliers ont déjà été constatés sur cet ouvrage au cours des hivers 1994/95 et 1998/99 (photo: M. Kalberer, 30.05.2018).

d'Ondadusa, de Val Murtès et de Stelli (tous GR), ainsi que La Loutze (VS) environ 125 piliers se sont pliés en direction de l'aval (Fig. 112 et Fig. 113). La torsion ou le flambage est la conséquence d'une charge normale importante, liée à une sollicitation latérale des poteaux par la retenue du manteau neigeux vers l'aval. De tels dommages sont déjà survenus au cours d'hivers enneigés précédents. On peut citer les ouvrages de Stelli et La Loutze dont de nombreux piliers ont déjà plié lors des hivers 1994/95 et 1998/99. Il est intéressant de noter que les piliers qui ont plié cet hiver n'avaient pas été endommagés au cours des hivers antérieurs. Jusqu'en 2007, les ouvrages n'étaient dimensionnés, conformément à la directive (BUWAL/WSL 1990), que pour une force normale. Les dommages ne sont survenus pratiquement qu'uniquement sur des ouvrages construits avant 2007. Le dimensionnement des ouvrages selon la directive technique actuelle (MARGRETH 2007), tenant compte de la force normale et de la force transversale, semble porter ses fruits. Sur les sites extrêmes, il faut se référer au chapitre 4.6.1 de la directive technique, et il peut être judicieux d'utiliser une charge transversale accrue (c'est-à-dire de choisir un facteur déterminant >1).

Raccords endommagés

Les pattes de fixation d'un poteau et d'une traverse ont plié sur l'ancrage latéral pour un ouvrage «Voest-Alpine BT» à Grotzenegg (UR) (Fig. 114). La force de pression sur le poteau a dû atteindre au moins 360 kN pour que ces pattes de fixation cèdent. Une telle charge peut survenir lorsque la hauteur de neige au-dessus de l'ouvrage est au moins d'un mètre. Dans la présente situation, le dommage a pu être provoqué par l'impact dynamique d'une avalanche de glissement. Lorsque le poteau ne présente pas de longueur supplémentaire et s'il n'y a pas de charge transversale, la charge de flambage du poteau est supérieure à celle des pattes de fixation. Des dommages identiques se sont produits sur l'ouvrage de Stelli (GR).

À Rinistock (UR), un sabot de pilier d'un ouvrage «Züllig SA» a été arraché latéralement (Fig. 115). L'ouvrage était recouvert de neige et le pilier était renforcé (double profil creux quadratique RRW). Nous supposons qu'une charge transversale trop forte s'est exercée sur le sabot de pilier à la suite de l'appui du manteau neigeux sur le poteau. Il est conseillé de souder le sabot des piliers renforcés.

Basculements et ruptures de poutrelles

Sur certaines rangées d'ouvrages recouverts de neige, le bras en porte-à-faux des montants en acier a basculé ou s'est rompu. C'est le moment de flexion du bras au niveau du raccord avec le pilier qui est critique. Une hauteur de neige trop importante mène à une augmentation de ce moment. Sur un ouvrage «BEDO» ($D_k=3,5$ m, $N=2,5$), la poutrelle peut casser lorsque la hauteur de neige dépasse de 0,6 m l'ouvrage (Fig. 116).



Fig. 114: Pattes de fixation de pilier tordues sur des ouvrages «Voest-Alpine BT» de Grotzenegg, Unterschächen (UR) (photo: R. Planzer, 22.08.2018).



Fig. 115: Sabot de pilier plié sur un ouvrage «Züllig SA» avec double poteau renforcé à Rinistock, Meien-Wassen (UR) (photo: R. Planzer, 29.08.2018).



Fig. 116: Poutrelle IPE rompue à la suite d'un recouvrement par la neige pour un ouvrage «BEDO» à Rinistock, Meien-Wassen (UR). Lorsqu'un ouvrage est recouvert de neige, le moment en flexion maximal s'exerce sur la poutrelle dans la zone du raccord au pilier (photo: R. Planzer, 29.08.2018).



Fig. 117: Traverses de claies déformées sur un ouvrage «Züllig SA» à Ob der Mettenenalp, Unterschächen (UR) (photo: R. Planzer, 08.08.2018).

Traverses de claies tordues ou tombées

Des traverses de claies ont été tordues sur certains ouvrages (Fig. 117). Il faut s'attendre à de tels dommages sur des ouvrages ensevelis dans la neige. La pression spécifique de la neige, déterminante pour le dimensionnement des barres de grille, peut être dépassée. Les déformations des éléments principaux de l'ouvrage, et l'impact des avalanches a pu détacher ou entraîner des traverses intermédiaires. Lors du montage des traverses intermédiaires, il est important que le chevauchement avec les traverses de l'ouvrage principal soit suffisamment important ($> \text{env. } 10 \text{ cm}$). En cas de glissement important de la neige, la traverse de claies inférieure est la plus sollicitée. À Rinistock et à Geissberg (UR), la traverse inférieure de certains ouvrages a été tordue. La directive technique indique qu'une pression de neige augmentée de 25 % doit être prise en compte dans le quart inférieur du tablier de claies. La capacité porteuse de la traverse inférieure peut être dépassée lorsque sa distance au sol est supérieure à 0,5 m.

Domages sur les fondations

Les dommages sur les fondations des ouvrages n'ont pas été très nombreux lors de l'hiver 2017/18. On n'a pratiquement pas observé d'ancrages arrachés. Toutefois, des ancres amont de câble ont été arrachés sur des filets à neige sur l'ouvrage du Petit Chavalard (VS). La plus grande sollicitation sur un ancrage de câble s'exerce au niveau du coude du câble. Ces ancres rompus avaient été correctement montés, comme l'indiquent les essais d'arrachement et les vérifications de mortier effectuées. Pour la fondation aval, les micropieux se plient surtout latéralement, et moins souvent dans la direction de la vallée. Quelques autres ruptures d'ancrages sont survenues. Des ancres amont ont été tordus ou cisailés sur des ouvrages à tablier à claies (Fig. 118). Les ancres amont sont dimensionnés uniquement en traction. Lors du dimensionnement d'un ouvrage, on suppose par ailleurs que la pression de la neige ne s'exerce que sur la surface d'appui, et pas sur les ancres. Les dommages sur les ancres amont en traction sont liés à une forte pression de la neige à la suite de son glissement. Souvent, la partie supérieure du terrain est repoussée. L'ancrage de traction, dimensionné seulement pour des efforts en traction, est alors sollicité également par des forces transversales. La charge transversale de la barre d'ancrage est encore augmentée lorsque la distance entre la traverse inférieure du tablier et le sol est importante (Fig. 119).



Fig. 118: Sous l'influence de la pression de la neige (entre autres en raison du fort glissement) et d'un trop grand espacement entre la traverse inférieure et le sol, l'ancrage de traction amont de l'ouvrage «Züllig SA» de Rinistock, Meien-Wassen (UR), a été déformé (photo: R. Planzer, 29.08.2018).

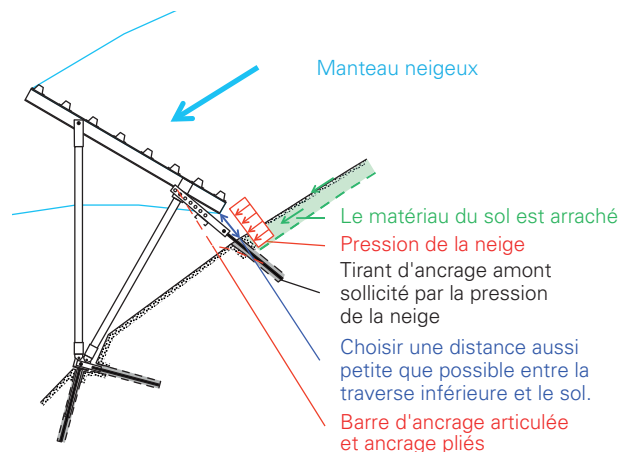


Fig. 119: Pour le dimensionnement d'un ouvrage de retenue, on suppose que la pression de la neige ne s'exerce que sur le tablier, et pas sur le tirant d'ancrage. Lorsque la distance entre le sol et la traverse inférieure est supérieure à env. 20 cm, le tirant d'ancrage peut également être sollicité par la pression de la neige.

Domages à la suite des charges dynamiques d'une avalanche

Les ouvrages sont dimensionnés pour une pression de la neige statique. Les espacements entre les ouvrages sont choisis de telle sorte que les pressions dynamiques soient inférieures à la pression statique de la neige. Si un ouvrage de retenue est touché par une avalanche partie en amont, ses éléments sont théoriquement fortement endommagés, voire détruits. Lors de l'hiver 1999, cinq ouvrages ont subi de grosses destructions suite à une avalanche partie en amont. En janvier 2018, selon nos informations, seul un ouvrage de retenue temporaire a été touché par une avalanche. Environ 460 m de râteliers en bois ont été détruits par l'avalanche du «Val da Barcli» le 23 janvier 2018 (Fig. 120 et Fig. 121, 3.3.3). Les dommages se sont élevés à environ 450 000 francs. L'avalanche du 23 février 1999 dans le Val da Barcli avait provoqué de gros dommages forestiers. La route du col dal Fuorn n'était donc plus protégée des avalanches qui se déclenchent au-dessus de celle-ci. Cette zone de décrochement a été par la suite équipée de râteliers en bois. Le SLF a étudié dans le cadre d'une expertise l'avalanche du 23 janvier 2018 et a évalué la durée de retour d'une avalanche du Val da Barcli atteignant les ouvrages à plus de 30 ans. Les râteliers en bois ont été remplacés pendant l'été 2018.

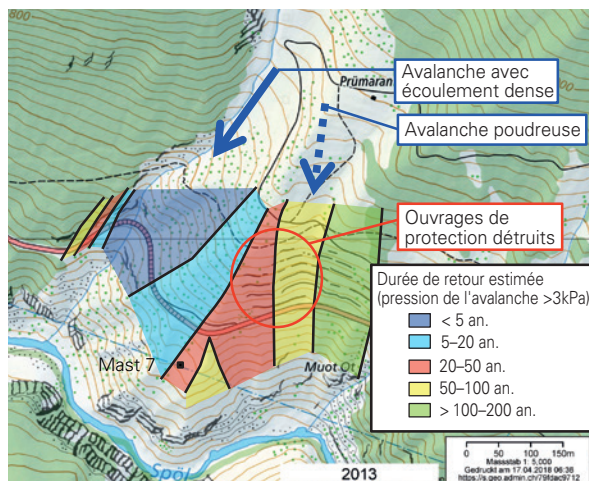


Fig. 120: Parcours de l'avalanche du «Val da Barcli» dans la zone de la route du Col dal Fuorn, avec la durée de retour estimée d'un ensevelissement de la route. On peut s'attendre à des impacts importants d'avalanches tous les 30 à 200 ans dans la zone des ouvrages temporaires. Le parcours principal d'avalanche suit le cours du ruisseau, dans la zone duquel la route est protégée par une galerie.



Fig. 121: L'avalanche du «Val da Barcli» du 23 janvier 2018 a détruit environ 460 m de râteliers de type SLF avec sabot de traverse. La fixation du pilier sur la plaque de base s'est révélée un point faible lors de l'impact de l'avalanche. Le pilier n'étant pas fixé à la plaque de base, des forces relativement faibles suffisent pour le repousser. Les piliers et les longrines ont été arrachés sur pratiquement tous les ouvrages détruits (photo: SLF/S. Margreth, 27.03.2018).

4.1.2 Ouvrages de protection contre les congères

En janvier 2018, la répartition de la neige était fortement influencée par le vent. De nombreuses barrières contre la neige soufflée et contre l'érosion ont montré une bonne efficacité. Des observations détaillées de la barrière située au-dessus de l'ouvrage de retenue de Tannggrindel, Brienz (BE) ont été effectuées sur demande de la Division Dangers naturels de l'Office des forêts du canton de Berne. La barrière de 4 m de haut et de 90 m de long réduit le dépôt de neige soufflée dans la zone de décrochement adjacente. Elle se trouve sur une élévation de terrain inclinée d'environ 26° à une distance de 30 m de l'arête. Le 27 janvier 2018, une carte de hauteur de neige a été établie dans la zone de l'ouvrage par balayage laser (Fig. 122). La barrière a montré une bonne efficacité. Environ 40 m³ de neige se sont déposés derrière chaque mètre de barrière (Fig. 123). La hauteur maximale de dépôt

était d'un peu plus de 4 m. Au total, environ 5000 m³ de neige ont dû être retenus par la barrière. En janvier 2018, la barrière contre la neige soufflée n'avait pas encore atteint sa capacité maximale. Pendant l'hiver 1967, une étude similaire intéressante avait été effectuée (SCHWARZ 1967). Les mesures sur le terrain du 14 avril 1967 ont montré qu'à l'époque, quelque 10000 m³ de neige soufflée avaient été retenus par la barrière.

Les plus gros dommages subis par des ouvrages de protection contre les congères pendant l'hiver 2017/18 se sont produits sur l'ouvrage de Valtischamela, Churwalden (GR). Pour protéger des accumulations de neige soufflée un ouvrage de retenue situé dans une combe, une barrière contre la neige soufflée de 275 m, a été construite entre 2015 et 2017 au sud de l'ouvrage. La barrière contre la neige soufflée est constituée d'éléments larges de 4 m, qui possèdent deux piliers verticaux supportés latéralement. 16 planches de bois sont vissées sur les deux piliers. Le taux de remplissage est de 50 % et l'espace avec le sol varie entre 40 et 50 cm. Cette barrière a été ancrée par des micropieux. L'inclinaison le long de la barrière varie entre 25° et 30°. Il a été constaté au printemps 2018 qu'une grande partie de la barrière avait été basculée vers l'aval jusqu'à une inclinaison de 30°. Les piliers en acier et les ancrages ont été pliés, de nombreuses planches rompues. Le montant des dommages s'élève environ à 300 000 francs. Les dommages ont été provoqués par la pression de la neige (Fig.124 et Fig. 125). La barrière contre la neige soufflée n'a été dimensionnée que pour la charge du vent. Par ailleurs, l'espacement trop faible avec le sol a entraîné un enneigement précoce de la barrière. Lorsqu'une barrière contre la neige soufflée est prévue dans un versant, il faut la dimensionner également pour la pression de la neige. Des constructions sans supports latéraux ont fait leurs preuves, afin de minimiser la surface d'action pour la pression de la neige.

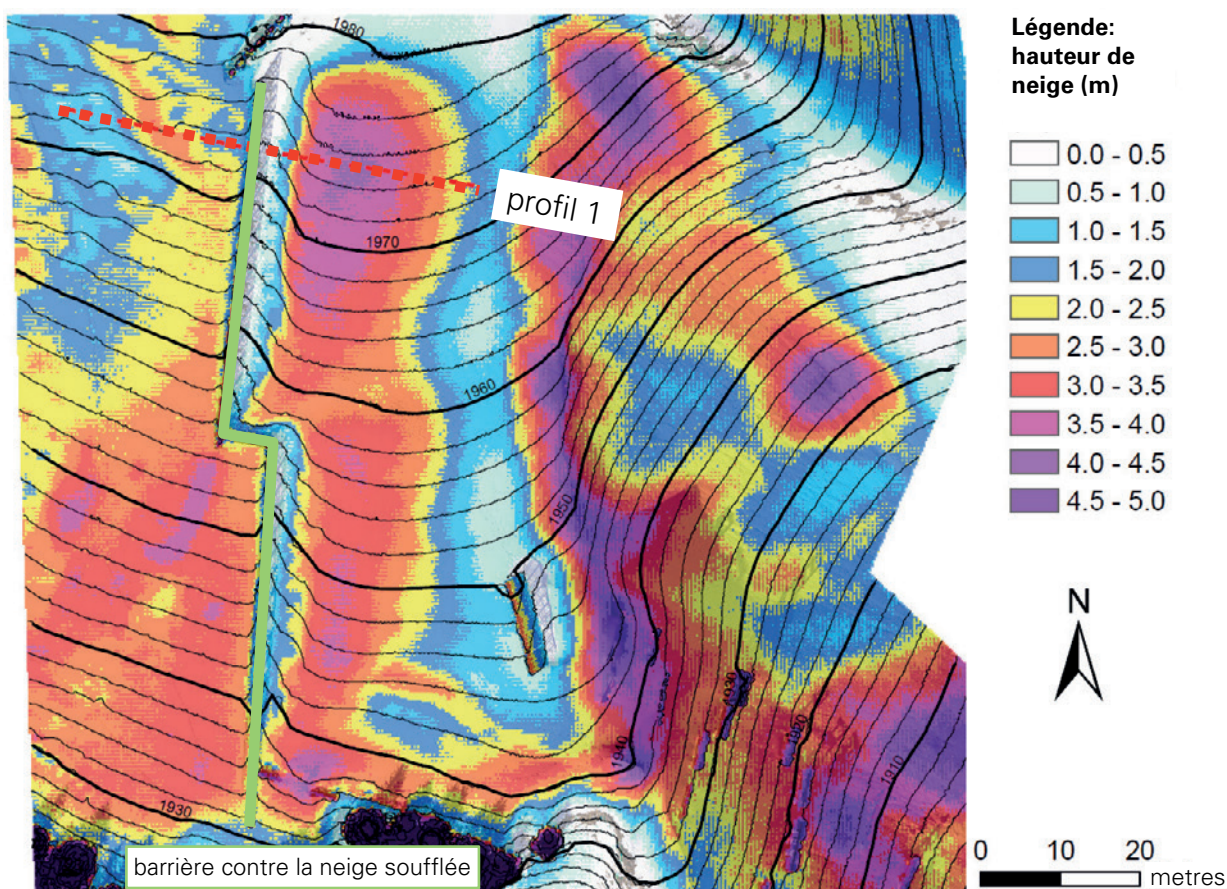


Fig. 122: Hauteurs de neige le 27 janvier 2018 pour la barrière contre la neige soufflée de Tannggrindel, Brienz (BE). La hauteur de la barrière est de 4 m, le taux de remplissage 66 % et l'espacement au sol 0,6 m. La direction principale du vent est WNW (données de l'Office des forêts du canton de Berne, Division Dangers naturels).

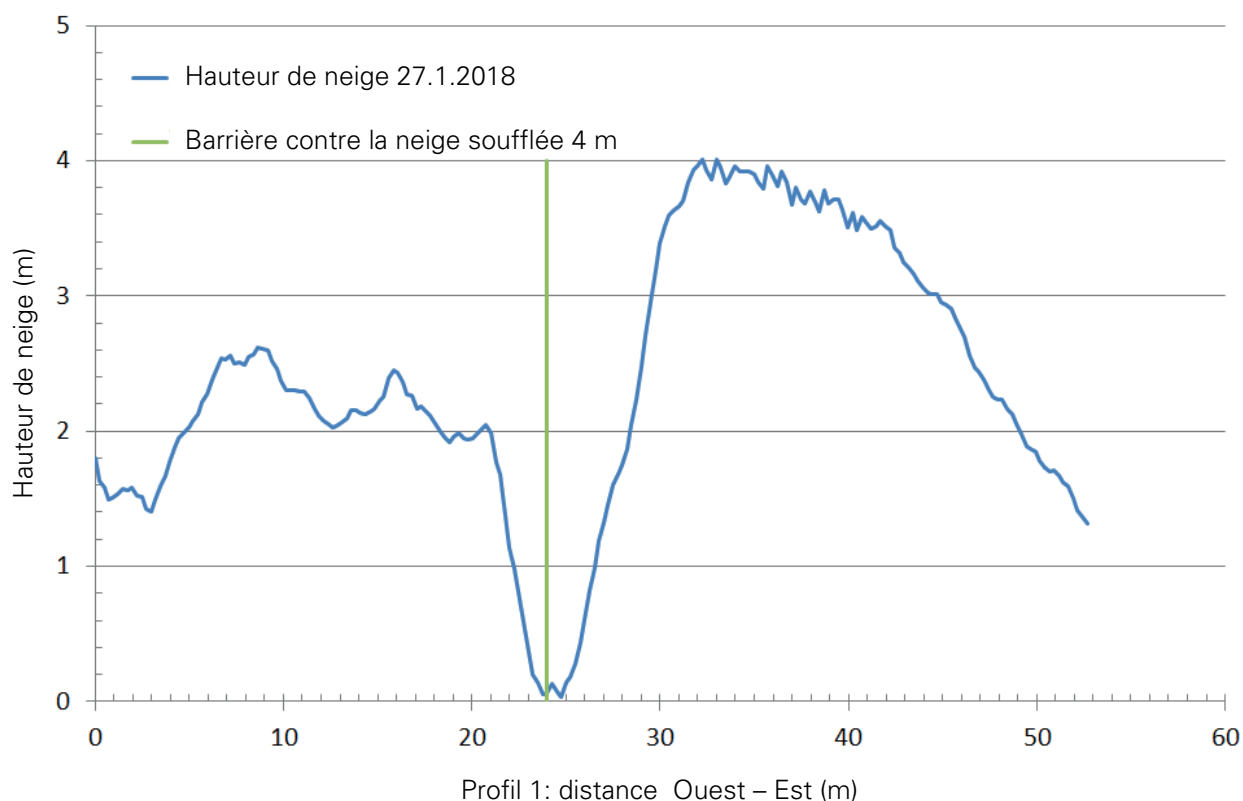


Fig. 123: Hauteur de neige le long du profil 1 (Fig. 122), barrière contre la neige soufflée de Tanngrindel, Brienz (BE). Environ 40 m^3 de neige sont retenus par mètre linéaire de barrière. (Données de l'Office des forêts du canton de Berne, Division Dangers naturels).



Fig. 124: Barrière contre la neige soufflée endommagée à Valtschamela, Churwalden (GR). La barrière est constituée d'éléments larges de 4 m, ancrés par quatre micropieux. La pression latérale de la neige a déformé la barrière vers l'aval (photo: SLF/S. Margreth, 17.08.2018).

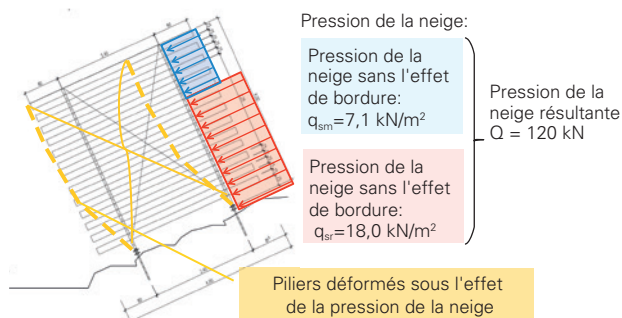


Fig. 125: La pression résultante de la neige sur un élément de barrière de 4 m de large s'élève à environ 120 kN. Ce sont surtout les montants en acier et les ancrages qui ont été déformés

4.1.3 Lawinendämme

Des avalanches sont descendues en janvier 2018 dans quelques parcours équipés de digues. Un petit nombre de digues ont été touchées. La majorité des grandes digues se trouvant plutôt à des altitudes basses, elles n'ont pas été touchées, ou alors pas avec des intensités maximales. Les masses de neige se sont arrêtées juste au pied des digues dans trois parcours d'avalanches près de Zinal dans le Val d'Anniviers (VS) (Fig. 126 et 127).

Un ouvrage de retenue dans le Lötschental a été détruit en grande partie par l'avalanche «Bachtela», partie sous le Tennbachhorn, le 20 février 1999 au-dessus de Wyssenried (VS). Une digue de déviation de 380 m de long et 10 m de haut en forme de coin a été construite sur une terrasse de terrain pour protéger le village et l'ouvrage de retenue des avalanches. En janvier 2018, l'avalanche «Bachtela» a atteint la même taille qu'en 1999. Les masses de neige qui se sont écoulées ont été totalement déviées par la digue (Fig. 128 et 129). À l'extrémité supérieure de la digue, les masses de neige ont pratiquement atteint la crête. S'il y avait eu des départs d'avalanches ultérieurs, la hauteur de la digue n'aurait probablement plus été suffisante. Sans cette digue de déviation, les ouvrages de retenue auraient à nouveau subi des dommages.



Fig. 126: À Zinal, des avalanches ont été observées dans trois parcours équipés de digues de retenue. Les avalanches se sont arrêtées juste au pied des digues (photo: P. Stoeber, 10.01.2018).



Fig. 127: La digue d'avalanche du torrent du Perrec à Zinal, dans le Valais, a vu l'avalanche s'arrêter juste à son pied. Il n'est pas possible de juger l'efficacité ou le dimensionnement de la digue (photo: P. Stoeber, 10.01.2018).

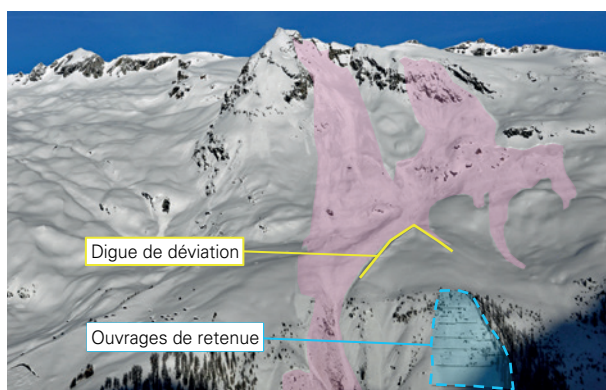


Fig. 128: Zone de départ de l'avalanche «Bachtela», déclenchée artificiellement sur le Tennbachhorn dans le Lötschental (VS). L'avalanche a été déviée vers l'ouest par la digue Ritzmad en forme de coin. L'ouvrage de retenue existant pour la protection de Wyssenried n'a pas été touché (photo: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).



Fig. 129: Le dépôt de l'avalanche a pratiquement atteint la crête de la digue de déviation Ritzmad, d'une hauteur de 10 m. Il n'y a pas eu de déversement sur la digue. Les accumulations de neige soufflée ont fortement chargé le côté est de la digue (photo: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).

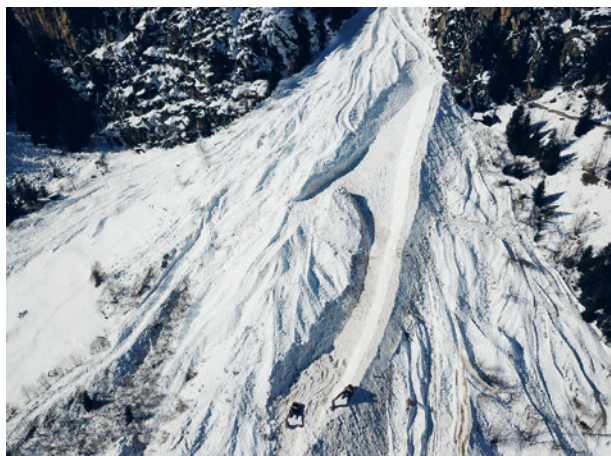


Fig. 130: Plusieurs départs d'avalanches ont été observés en janvier 2018 le long du Blattbach, au sud de Saint-Nicolas (VS). La ligne ferroviaire MGB est protégée par une galerie longue de 130 m, qui s'est révélée trop courte. Pour réduire la menace d'avalanches ultérieures pour la ligne, une digue d'une hauteur d'environ 5 m a été construite avec de la neige (photo: W. Gitz, 14.02.2018).



Fig. 131: Dans le parcours de Biel près de Saint-Nicolas (VS), le mur de déviation sur un cône de déjection surélevé en 2016 a été rempli jusqu'en haut par les dépôts d'avalanches. La hauteur de ce mur de déviation varie entre 5 et 10 m. Un départ supplémentaire aurait pu menacer le pylône en charpente métallique d'une ligne à haute tension et des habitations. Par la suite, les dépôts d'avalanches ont été évacués mécaniquement (photo: Geoformer, 05.01.2018).

Dans la région de Saint-Nicolas dans la vallée de Zermatt (VS), l'avalanche de Blattbach, ainsi que d'autres avalanches, ont enseveli le Matterhorn Gotthard Bahn (MGB). Par ailleurs, dans les parcours de Biel et Spiess, l'efficacité de protection des digues a été fortement réduite par des descentes d'avalanches. Pour éviter si possible au cours de la suite de l'hiver un nouvel ensevelissement de la ligne ferroviaire par des avalanches successives, qui auraient pu descendre très loin dans les parcours dégagés, des mesures immédiates ont été prises: des dépôts d'avalanches ont été en partie évacués, et plusieurs digues de retenue et de déviation d'une hauteur de 3 à 7 m en neige ont été construites (Fig. 130 et Fig. 131) par de puissantes pellesteuses. Ces interventions s'effectuant dans des couloirs d'avalanches, un concept de sécurité a été élaboré et le danger d'avalanches évalué en permanence. Les coûts de construction de ces digues en neige se sont élevés à environ 150 000 francs. Toutefois, aucune avalanche importante ne s'est produite pendant le reste de l'hiver.

4.1.4 Galeries d'avalanches

Les galeries paravalanches constituent une protection efficace pour les axes de communication. En janvier 2018, des avalanches se sont déversées en Suisse au-dessus d'au moins 50 galeries. C'est ainsi que dans la région de Goppenstein, des avalanches ont dévalé par-dessus pratiquement toutes les galeries existantes de voies ferrées et de routes. Les quantités de neige déposées ont été bien plus faibles que pendant l'hiver 1999 (Fig. 132). Un des problèmes liés aux galeries réside toujours dans leur longueur. Pour des raisons économiques, une galerie est toujours prévue aussi courte que possible. Dans des situations avalancheuses extrêmes comme en janvier 2018, cette longueur est souvent insuffisante. Une dizaine d'entrées de galerie ont été ensevelies (Fig. 133).

Un dommage intéressant est survenu sur la galerie Naye Aval, longue de 180 m, qui protège la ligne ferroviaire sur les Rochers-de-Naye (VD) contre les coulées de neige et les chutes de pierres. Cette galerie construite en 2008 est constituée d'une structure porteuse en poutrelles d'acier, couverte de plaques de béton et de planches de bois. Pendant l'hiver 2017/18, une grosse congère s'est formée le long de la galerie (Fig. 134). Il y avait donc sur le toit de la galerie jusqu'à 8,5 m de neige, avec une densité d'environ 540 kg/m³. Le manteau neigeux en reptation et en glissement au-dessus



Fig. 132: Dans la région de Goppenstein, pratiquement toutes les galeries ont connu un déversement d'avalanche. Toutefois, en comparaison avec l'hiver avalancheux de 1999, les dépôts d'avalanche ont été beaucoup plus petits (photo: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).



Fig. 133: Près d'Eisten, Saastal (VS) l'avalanche Putzloiwna a enseveli les deux entrées de la galerie en janvier 2018 (photo: P. Stoebener, 10.01.2018).

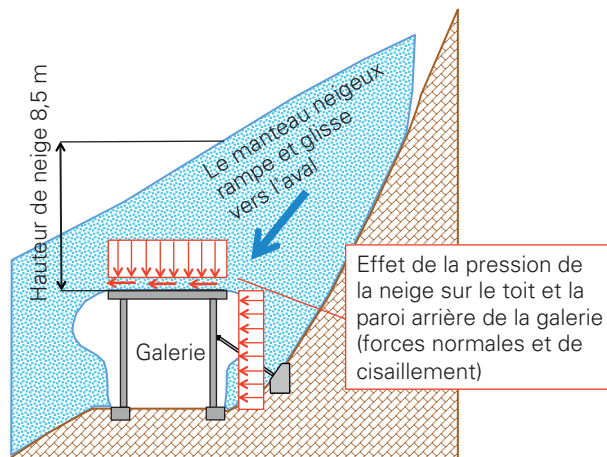


Fig. 134: La galerie Naye Aval, construite pour la protection de la voie ferrée sur les Rochers-de-Naye (VD) a été endommagée pendant l'hiver 2017/18 en raison des hauteurs de neige inhabituelles ayant exercé une forte pression.



Fig. 135: Les poutres de soutien amont de la galerie Naye Aval ont été tordues ou rompues par la pression de la neige. En outre, quelques poutrelles en acier ont été déformées (photo: Geobrugg, 22.08.2018).

de la galerie a provoqué une grosse charge latérale sur la galerie. Pour cette raison, quelques poutrelles d'acier se sont déformées, et des raccords se sont rompus (Fig. 135). Pour décharger la galerie et pouvoir réparer les dégâts, le manteau neigeux a été évacué en mai 2018 dans la zone de la galerie avec une dameuse et une pelle-araignée.

4.1.5 Barrières contre les chutes de pierres

L'aléa des chutes de pierres est souvent combiné avec celui des avalanches. Pourtant, leur impact est par principe très différent. Lorsqu'un bloc percute un filet de protection contre les chutes de pierres, la charge est ponctuelle. La capacité de déformation du filet permet de dissiper une partie de l'énergie du choc, afin de ne pas trop solliciter la structure porteuse. Par contre, si une avalanche rencontre une barrière contre les chutes de pierres, la charge est surfacique et peut provoquer une sollicitation bien plus importante de la structure porteuse. Le choix de la «bonne» mesure de protection est



Fig. 136: L'avalanche de Schafgraben à l'entrée de Zermatt (VS) est descendue plusieurs fois en janvier 2018, et a endommagé des barrières contre les chutes de pierres, construites pour protéger le chemin de fer du MGB. Les filets de protection contre les chutes de pierres doivent être remplacés par des digues (photo: P. Stobener, 10.01.2018).



Fig. 137: Des claies à neige et des barrières contre les chutes de pierres ont été construites dans le parcours d'avalanches Wandschluichen dans le Lötschental (VS). En janvier 2018, quelques barrières contre les chutes de pierres ont été endommagées par des avalanches et par la pression de la neige. Des dommages similaires étaient déjà survenus au cours d'hivers précédents (photo: SLF/S. Margreth, 24.01.2018).

difficile dans de telles situations. En janvier 2018, quelques barrières contre les chutes de pierres, construites dans des couloirs d'avalanches, ont été endommagées. On peut citer les barrières contre les chutes de pierres à l'entrée de Zermatt, endommagées par l'avalanche de Schafgraben (Fig. 136), ainsi que des filets de protection contre les chutes de pierres à l'entrée du Lötschental dans la zone de Wandschluichen ayant subi des dégâts sous l'effet de la pression provoquée par des glissements de neige (Fig. 137). Sur les sites menacés par les avalanches ou la pression de la neige, la construction d'une digue peut représenter une solution durable, si le terrain n'est pas trop raide et s'il y a assez de place.

4.2 Mesures d'aménagement du territoire

En 2018, environ 98 % des communes avec des zones sous la menace des avalanches étaient couvertes par des cartes de dangers, qui sont appliquées pour l'aménagement du territoire. En 1999, cette proportion n'était que de 90 %. Dans de nombreuses localités se situant à des altitudes entre 1000 et 1600 m, où le manteau neigeux était humide en janvier 2018, tout du moins en surface, de nombreuses avalanches présentaient des zones d'étalement relativement courtes. Dans les régions bien enneigées avec une activité avalancheuse élevée comme la vallée de Zermatt ou de Saas, de nombreuses avalanches se sont arrêtées dans la zone rouge de danger (Fig. 138). Seules quelques avalanches isolées ont atteint la zone bleue. Selon les informations que nous possédons, aucune avalanche n'a dépassé en zone habitée, dans la direction principale d'écoulement, les limites indiquées sur les cartes de danger d'avalanches. Des évaluations SIG précises ont montré que dans des parcours isolés, de petits dépassements des limites de la carte se sont produits latéralement, sans représenter cependant un véritable déficit. Dans une situation avalancheuse extrême avec une activité élevée, il ne peut jamais être exclu qu'une avalanche prenne un autre parcours que celui supposé, et franchisse en conséquence les limites des cartes de danger. C'est pourquoi il est judicieux de vérifier les cartes de danger après un hiver avalancheux. Pendant l'hiver avalancheux de 1999, quelques bras d'avalanches, comme à Evolène, avaient franchi les limites des zones d'étalement prévues. Les cartes de dangers concernées ont été adaptées par la suite.

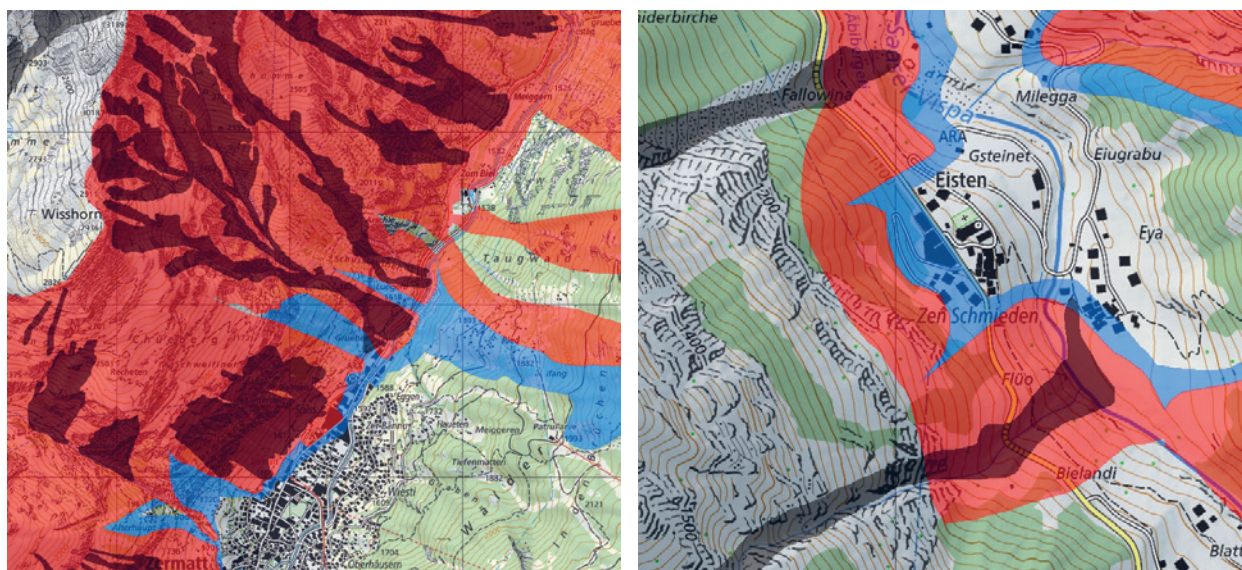


Fig. 138: Carte de danger d'avalanches de Zermatt et Eisten, Valais, avec les avalanches de janvier 2018 (surfaces noires).

4.3 Mesures organisationnelles

Les mesures organisationnelles comprennent les coupures temporaires des voies de communication, la consignation à domicile (personne ne doit se trouver à l'extérieur), les évacuations et le minage des avalanches. Les mesures organisationnelles sont extrêmement importantes en période de danger d'avalanches accru, afin d'éviter dans la mesure du possible les dommages aux personnes. Ce sont à chaque fois le moment et la durée d'une fermeture de route, ou encore d'une évacuation qui sont déterminants. Les mesures organisationnelles sont décidées localement par les services d'avalanches. Le déclenchement artificiel des avalanches est mis en œuvre dans de nombreux domaines skiables (et ne sera que brièvement évoqué par la suite) et en partie le long des voies de communication et en amont des zones habitées. Les mesures temporaires mises en œuvre ont été déterminées grâce à des entretiens avec neuf services de prévision d'avalanches. Ces neuf services se répartissent sur tout l'espace alpin, dans les régions où l'activité avalancheuse a été élevée (Fig. 139 et Tab. 10). Au total, 36 personnes ont été interrogées.

Tab. 10: Régions dans lesquelles des entretiens ont été effectués.

N°	Canton	Région	Services de prévision d'avalanches
1	VS	Sion-Evolène	Services des avalanches Commune d'Evolène, Commune d'Hérémence Val des Dix, Commune de Conthey
2	VS	Vallées de la Viège / Lötschental	Services des avalanches vallée de Zermatt, de Saas et Lötschental
3	BE	Oberland bernois	Services des avalanches Adelboden, Kandersteg, Lauterbrunnen, Hasliberg
4	UR	Uri	Service des avalanches ponts et chaussées et centrale d'avalanches Andermatt
5	TI	Leventina supérieure	Service des avalanches Piotta et Commission cantonale
6	GR	Surselva supérieure	Services des avalanches Tujetsch et Disentis
7	GL	Glaris	Services des avalanches ponts et chaussées du canton de Glaris ainsi que Glaris Sud
8	GR	Davos	Services des avalanches communes de Bergün, Davos, Klosters, St Antönien
9	GR	Basse-Engadine / Samnaun	Services des avalanches ponts et chaussées Grisons district 4 et Samnaun

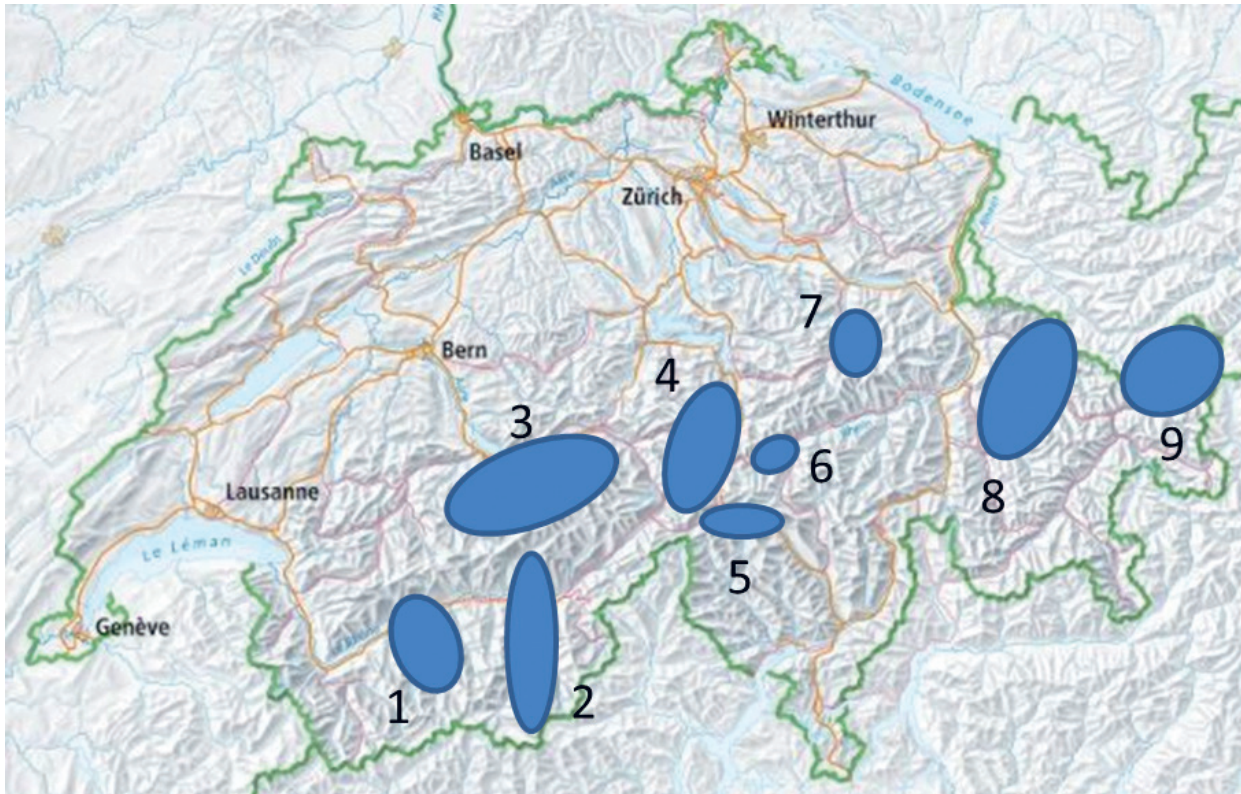


Fig. 139: Vue d'ensemble des régions dans lesquelles des entretiens ont été conduits. Les chiffres 1–9 décrivent les régions selon le Tableau 10.

Par la suite, nous ne décrivons pas seulement les mesures et expériences de la période avalancheuse du 21–23 janvier 2018, mais aussi celles des événements de début janvier. Dès les 4 et 5 janvier 2018, le danger d'avalanches prévu était «fort» dans la majorité des neuf régions, et le 9 janvier 2018 même «très fort» pour les régions des vallées de la Viège et du Simplon. Certains services des avalanches avaient donc déjà été très sollicités au début de janvier.

Les sections suivantes présentent d'abord les résultats des entretiens pour sept des neuf services. Nous décrivons séparément par la suite les résultats pour les deux régions des vallées de la Viège et du Lötschental, ainsi que de la Basse-Engadine et de Samnaun.

4.3.1 Activité avalancheuse et mesures

4.3.1.1 Toutes les régions sauf vallées de la Viège et Lötschental, ainsi que Basse-Engadine et Samnaun

Période de chutes de neige du 3 au 5 janvier 2018

Pendant cette période de chutes de neige, les services d'avalanches n'ont dû prendre que quelques mesures de fermetures de routes ou d'évacuations (Tab. 11). De grandes avalanches (taille 4) isolées se sont produites (Tab. 11). Deux avalanches près de Pralong dans le Val d'Hérémence au sud de Sion (VS) et dans le Val Russein au nord de Disentis (GR) se sont heureusement arrêtées juste avant des mayens habités.

Déclenchements artificiels

Comme l'indique le Tableau 12 qui suit, des déclenchements artificiels ont été effectués dans les différentes régions. Des interventions précoces ont permis de déclencher des avalanches parfois de grande taille (3 à 4).

Tab. 11: Activité avalancheuse et mesures dans les sept régions pendant la période de chutes de neige du 3 au 5 janvier 2018.

Région	Fermetures Routes / voies ferrées	Évacuations	Avalanches spontanées	Divers
1 Sion-Evolène	Néant (route vers Arolla: fermetures pendant des minages)	3 au 5 janv.: mayen au-dessus de Dailon, évacuation des bâtiments dans la zone rouge et la zone bleue 4 janv.: 6 personnes évacuées près de Pralong (zone rouge)	30 déc. 2017: Vallée de la Sionne, avalanche spontanée jusqu'au bunker 4 janv. env. 17 h: grande avalanche (taille 4) près de Pralong jusqu'à proximité d'habitations (7 habitants)	Les 7 personnes se trouvaient dans un bâtiment non renforcé
3 Oberland bernois	Néant	Néant	Haslital: beaucoup d'avalanches, parties au-dessus d'environ 2000 m	3 janv.: foehn fort; limite pluie-neige élevée, pluie > 2000 m; parfois événements de type neige détrempée
4 Uri	4 janv. 5h30 au 5 janv. 10h30 Hospental-Realp fermé	Aucune	4 janv.: avalanches près de Bristen, à Schöllenen, Gurntellerberg. 5 janv.: Meiental, Göscheneralp (mouillée)	4/5 janv.: forte pluie jusqu'à env. 2000 m; en vallée, parfois glissements de terrain
5 Levantina supérieure	Aucune	Aucune	Petite activité avalancheuse	
6 Surselva supérieure	Aucune	Aucune	Avalanche «Val Sogn Placi» près de Disentis 4/5 janv.: grande avalanche (taille 4) dans le Val Russein, jusqu'à proximité de mayens	Seule une partie de la zone de départ est partie Des personnes se trouvaient dans les mayens
7 Glaris	Aucune (route cantonale)	Néant (consignations à domicile à Braunwald)	Avalanches Mettlen et Guppenrus de taille moyenne	Parfois mélange de neige et d'eau sur la route
8 Davos	Néant (route cantonale)	Aucune	4/5 janv.: Avalanche de poudreuse Chanaletta, Bergün	Quelques routes secondaires fermées en raison de la tempête Burglind

Tab. 12: Interventions de minage des avalanches dans les sept régions pendant l'épisode de chutes de neige du 3 au 5 janvier 2018.

Région	Interventions	Méthodes de minage	Observations
1 Sion-Evolène	6 interventions pour sécuriser la route Les Haudères-Arolla: 30/31 déc. /1, 5, 9 et 10 janv.	Minages depuis un hélicoptère dans les régions d'Evolène et Pralong	Pas de déclenchement de très grandes avalanches (taille 5) près d'Arolla, le portail d'une galerie a été enseveli
3 Oberland bernois	Interventions dans les domaines skiables	Gazex, minage depuis un hélicoptère, charges explosives lancées à la main, catex, potences à explosifs	Hasliberg: fin décembre (dernière semaine de l'année), de nombreuses avalanches minées, de telle sorte que les zones de départ étaient «déchargées». Adelboden: jusqu'au 10 janv., de nombreuses avalanches déclenchées
4 Uri	Interventions de sécurisation de la route Hospental-Realp, avalanche de talus	Minages depuis un hélicoptère	
5 Leventina supérieure	Fiesso: plusieurs interventions dans les parcours d'avalanches Vallone del Solco et Tre Capelle	3 mâts à explosifs Wyssen	En raison de la mauvaise visibilité, le résultat du minage est resté plusieurs fois incertain
6 Surselva supérieure	Minages Val Vadretg et Tgom (Sedrun) le 30 déc. /3, 4 janv. (DERAGISCH <i>et al.</i> 2018)	3 mâts à explosifs Wyssen	Déclenchement uniquement de petites avalanches
7 Glaris	Interventions uniquement dans les domaines skiables		
8 Davos	Davos Frauentobel	4 mâts à explosifs Wyssen, minages depuis un hélicoptère	Déclenchement, mais sans signification pour l'évolution ultérieure
	Klosters Tallawine et ouest de Monbiel	6 mâts à explosifs Wyssen, minages depuis un hélicoptère	Au début de l'hiver, défaillances en raison de mèches anciennes

Période de chutes de neige du 18 au 23 janvier 2018

Entre dimanche 21 janvier et mardi 23 janvier, des routes ont été fermées dans les sept régions selon le Tableau 13. Environ 230 personnes ont été évacuées. Les avalanches ont été en de nombreux endroits moins importantes que ce que les chutes de neige pouvaient laisser attendre, en particulier elles ne sont pas descendues jusqu'aux bâtiments habités.

Dans la plupart des régions, les services d'avalanches se sont posés, en début de matinée du dimanche 21 janvier, la question de savoir s'il fallait fermer des routes, et quand, en raison des chutes de neige intenses de la nuit. Cette décision dépend essentiellement de la façon dont les tronçons concernés sont exposés. Certaines routes ont été fermées dès le matin à 6 heures, quelques autres en cours de journée et souvent enfin en soirée à partir de 20 ou 22 heures.

La route Hospental-Realp (UR) a été fermée le 21 janvier à 15h30. Quelques minutes plus tard, la Spitzegglaui a largement enseveli la route. Une personne se trouvait encore sur la route déjà officiellement fermée, et n'a échappé que de justesse à l'avalanche.

Le 22 janvier, vers 17 h, un agriculteur n'a échappé que de justesse à l'avalanche Brämbüel dans la Dischma près de Davos. Il était sur la route pour aller nourrir ses animaux.

Tab. 13: Fermetures et mesures dans les sept régions pendant la période de chutes de neige du 18 au 23 janvier 2018.

Région	Fermetures (routes/voies ferrées)	Évacuations	Avalanches spontanées
1 Sion-Evolène	Arolla	Pas d'informations	(surtout avalanches artificielles)
	Pralong	22 janv.: 30 personnes évacuées, surtout hors de la zone rouge; à Satarma 8 personnes	
	Conthey	21-23 janv.: 6 ou 7 personnes évacuées	La route fermée a été ensevelie près de Mâche
3 Oberland bernois	Adelboden	À partir du 21 janv., 21 h, quelque 100 personnes ont été évacuées au-dessus de Daillon	24 janv.: avalanche La Mapas, pas de dommages; une autre avalanche jusqu'à proximité des chalets
	Kandersteg	Décision d'évacuation de différentes zones; les habitants avaient déjà quitté en partie les bâtiments	22. janv., 4 heures: gros départ (taille 4) Gsür (tout le bassin versant), pas jusqu'à la route
	Lauterbrunnen	21 janv., soirée: 30 personnes évacuées d'un monastère en bordure de Kandersteg (jusqu'au 24 janv.)	une grande avalanche minée (taille 4) brise la glace du lac d'Öschinen
	Hasliberg	22 janv.: l'école est fermée; consignation à domicile pour plusieurs bâtiments	
		21 janv.: 64 personnes évacuées de chalets d'alpage (jusqu'au 23 janv.)	
4 Uri	Plusieurs routes cantonales fermées: Wassen - Meien (20 janv., 19 h jusqu'au 25 janv. 10 heures: 111 heures) Linthal - Urnerboden 21 janv., à partir de 6 h Hospental - Realp (21 janv., 15h30 jusqu'au 24. janv., 18 heures; MGB dès 15h00) Gurtellen - Wassen 21 janv., à partir de 18 h Göschenen - Hospental 21 janv., 22 h (Andermatt complètement coupé) MGB fermé au-dessus du col de l'Oberalp du 16 au 24 janvier (25 journées pour tout l'hiver)	Bristen: Consignation à domicile pour les maisons en dehors du cœur du village	Entre autres 21 janv., 15h30 grande avalanche du Spitzegglaui avant Realp sur la route coupée juste avant 21 janv., 17 h grande avalanche d'Arnitalaui dans le Meiental sur la route fermée 21/22 janv., pendant la nuit Geissberg-laui Gurtellerberg jusqu'à proximité de bâtiments 22 janv., 6 h Avalanche du Felli sur l'Oberalp (6 pylônes de caténaires du MGB) 22 Jan, 16h40 Avalanche de Wilerplanggen sur la route cantonale coupée Divers: le 22 janv., glissements de terrain et laves torrentielles à basse altitude

Region	Sperrungen (Strassen/Bahn)	Evakuierungen	Spontane Lawinen
5 Leventina supérieure	Quinto	Néant	Aucune
	Bedretto	Fermeture de la route de vallée dans le Val Bedretto	23 janv.: avalanche moyenne Pizzo Pettine
	Blenio	Fermeture route Olivone–Campo Blenio	23 janv.: avalanche Vallone di Ronco sur la route
6 Surselva supérieure			Grande avalanche (taille 4) au nord de Campo Blenio
	Route cantonale Sumvitg - Disentis fermée le 21 janv. en soirée, RhB fermée 21 janv., 22 heures; routes fermées près de Sedrun	Disentis Caprau: maison en zone rouge: 3 personnes s'opposent à l'évacuation	21 janv., 10h: avalanche de poudreuse Rodunda, jusqu'à proximité d'une maison en amont de Sedrun
			22 janv.: avalanches Sedrun Pulanera et Alp Culmatsch (plus petite qu'attendues) 22 janv. 19h30: Disentis Val Sogn Placi (pas jusqu'à la route), également Lumpegna, Val Clavaniev
7 Glaris	21 janv., 22h diverses sections de routes cantonales fermées	Consignation à domicile près d'Elm	20/21 janv., pendant la nuit: Mettlen et Guppenlauri; puis à nouveau et plus grande le 22 janv. 22 janv.: avalanche Schoss inférieure et supérieure à Elm Pas de routes ensevelies
8 Davos	Bergün	21 janv., 6 h fermeture de routes locales	Néant
	Davos	21 janv., 6 heures: Fermeture de la route et de la piste de ski de fond dans les vallées latérales de Flüela, Dischma et Sertig	21 janv., 20 heures: consignation à domicile pour les bâtiments supérieurs Alberti
	Klosters	21 janv., 13 heures: fermeture de la route vers Monbiel	22/23 janv. quelques grandes avalanches (taille 4) à l'est de Klosters
	St. Antönien	21 janv., 7h30: fermeture de routes locales	Plusieurs avalanches jusqu'à proximité de bâtiments habités

Dans le Val Bedretto, un véhicule a été touché par une avalanche relativement petite et bloqué sur la route de vallée fermée par le service des ponts et chaussées. Les occupants n'ont pas été blessés. Il s'agissait de personnes évacuées qui quittaient la vallée avec beaucoup de retard. Les personnes et le véhicule ont dû être évacués par le service des ponts et chaussées hors de la zone de danger.

Déclenchements artificiels

Comme l'indique le Tableau 14 qui suit, des déclenchements artificiels ont été effectués dans les différentes régions. Les avalanches déclenchées ont provoqué de petits dommages.

Le 23 janvier, des minages effectués depuis un hélicoptère n'ont pas donné de résultats (pas de déclenchements). Dans la zone du refuge de Fründen au-dessus du lac d'Öschinen, Kandersteg (BE), une intervention de minage le 23 janvier n'a pas donné de résultats; le 25 janvier, une grande avalanche spontanée (taille 4) s'est cependant déclenchée.

Dans le Vallone del Solco près de Fiesso (TI) les interventions de minage ont été considérées comme très précieuses. Sans ces minages, un problème semblable à celui de 2014 aurait éventuellement pu se produire au printemps 2018, avec un danger de très grandes avalanches (taille 5) menaçant la ligne CFF.

Tab. 14: Interventions de minage des avalanches dans les sept régions pendant l'épisode de chutes de neige du 18 au 23 janvier 2018.

Région	Interventions	Méthodes de minage	Observations
1 Sion-Evolène	4 Interventions pour la sécurisation de la route Les Haudères-Arolla: 17/19/23/24 janv.	Minages depuis un hélicoptère dans les régions d'Evolène et Pralong	Arolla: avalanches pas plus grandes qu'au début de janvier; petits dommages forestiers
3 Oberland bernois	Interventions dans les domaines skiables	Gazex, minages depuis un hélicoptère, explosifs lancés à la main, catex, potences à explosifs, mâts à explosifs Wyssen	Hasliberg, Mägisalp: Avalanches jusqu'à proximité des chalets d'alpage; Adelboden: pertes matérielles, panneaux, marquages de pistes
4 Uri	Interventions uniquement pour sécurisation de la route Hospental-Realp, avalanches de talus	Minages depuis un hélicoptère	23 janv.: talus: négatif (pas de déclenchement)
5 Leventina supérieure	Fiesso: 11 Interventions dans le Vallone del Solco et Tre Capelle (jusqu'au 23 janv.)	3 mâts à explosifs Wyssen	Grandes avalanches (taille 4) déclenchées, dépôts d'avalanches atteignant 10 m; conclusion positive
6 Surselva supérieure	Sedrun: avalanche Val Vadretg et Tgom 17/21 janv.	3 mâts à explosifs Wyssen	21 janv.: avalanche dans le Val Vallatscha ev. jusque dans le Rhin (pas de visibilité)
7 Glaris	Interventions uniquement dans les domaines skiables		
8 Davos	Davos Frauentobel, autres parcours d'avalanches	4 mâts à explosifs Wyssen et interventions depuis un hélicoptère	Frauentobel et Salezertobel: déclenchements d'avalanches, Hürel-Drusatscha: pas de déclenchement
	Avalanche de vallée de Klosters et ouest de Monbiel	6 mâts à explosifs Wyssen et interventions depuis un hélicoptère	

4.3.1.2 Vallées de la Viège et Lötschental

Période de chutes de neige du 3 au 10 janvier 2018

Vallée de Zermatt

Dans la vallée de Zermatt, les avalanches descendues pendant la première période de chutes de neige étaient parfois de plus grande taille que plus tard autour du 22 janvier. Les 3 et 4 janvier, des filets de protection contre les chutes de pierres, installés pour la protection du Matterhorn Gotthard Bahn (MGB), ont été endommagés à Schafgraben à l'entrée de Zermatt (Fig. 136) – vers la fin de l'épisode de précipitations, il avait plu haut en altitude. Le 4 janvier, peu après 14 heures, l'avalanche de Luegelti, au nord de Zermatt, est partie spontanément au-dessus de la route fermée Täsch – Zermatt, sous forme d'avalanche mixte (partie poudreuse, partie humide). Une personne a échappé de justesse à cette avalanche sur la route enneigée et fermée, comme l'a montré une caméra de surveillance (<https://www.youtube.com/watch?v=2PT51Aqos6w>). Le 8 janvier, la gare aval de la remontée de Chumme, âgée de 37 ans, a été détruite par une grande avalanche (taille 4). De la même manière, le 8 janvier, deux étables ont été détruites à la Täschalp. À basse altitude, on a observé des chutes de pierres et des laves torrentielles (Fig. 142).

Zermatt n'a plus été accessible depuis Täsch à partir du 8 janv., 17 h jusqu'au 10 janv., 17h15 par la route, ni par le Matterhorn-Gotthard Bahn. À Zermatt, le 8 janvier, 70 personnes ont été évacuées de bâtiments dans la zone rouge; à Täsch tout comme à Saint-Nicolas, des personnes ont été évacuées de deux immeubles. L'avalanche de Luegelti à l'entrée de Zermatt est partie sur une grande surface (Fig. 140)

Les grandes à très grandes avalanches (taille 4 à 5) de la vallée de Zermatt, avec des dépôts importants, ont eu une grande influence sur le parcours des avalanches ultérieures. L'avalanche du Blattbach, au sud de Saint-Nicolas, s'est arrêtée lors de sa première descente juste en amont de la galerie. Dès le 8 janvier, une deuxième avalanche a enseveli les rails sous des mètres de neige, et a endommagé la caténaire (Fig. 141).

En conséquence des gros dépôts d'avalanche, des travaux ont débuté le 15 janvier pour construire quatre digues de déviations en neige. Près de Saint-Nicolas, ces dépôts ont concerné les parcours de Sparru et de Spiss ainsi que l'avalanche du Blattbach (Fig. 130).



Fig. 140: Dépôts d'avalanche de grande épaisseur sur la route Täsch-Zermatt (VS) dans le parcours d'avalanche du Luegelbach. Déblaiement avec pelleuse et chargeuse sur pneus, également la nuit (photo: P. Steffen, 10.01.2018).



Fig. 141: Avalanche du Blattbach près de Saint-Nicolas (VS) (photo: B. Jelk, 10.01.2018).



Fig. 142: Chutes de pierres le 9 janvier 2018 près de Kalpetran, en plus des avalanches dans les vallées de la Viège (VS; Photo: W. Gitz, 10.01.2018).

Vallée de Saas

Une très grande avalanche (taille 5) s'est produite près d'Eisten, le long du torrent vers Eia. Près de Saas-Almagell, dommages sur des arbres âgés de 100 à 300 ans. Dans la vallée de Saas, aucune évacuation n'a été effectuée. La station automatique de Mälliga a enregistré 95 cm de neige fraîche le 9 janvier au matin; 48 cm le 8 janvier.

Lötschental

Dans le Lötschental, la situation a été un peu moins grave. Des avalanches spontanées se sont produites sur les versants nord situés au sud de la vallée. Une évacuation a été envisagée dans le hameau de Weissenried, au-dessus de Blatten, qui n'est pas habité en permanence; mais les personnes concernées ont refusé de quitter leur maison, et seule une consignation à domicile a été imposée.

Période de chutes de neige du 16 au 23 janvier 2018

Vallée de Zermatt

Les avalanches Luegelti et Schusslauri, directement au nord de Zermatt, ont enfoui la route sous des mètres de neige, une fois de plus sur de grandes surfaces. Pour rouvrir la route, deux dameuses ont dû pousser la neige. L'avalanche de Luegelbach a détruit des arbres âgés d'une soixantaine d'années à proximité de l'héliport de Zermatt, et enseveli le portail sud de la galerie du MGB; cette avalanche avait été déclenchée artificiellement. L'avalanche de Luegelbach a également enseveli la conduite permettant à la Viège de Zermatt de s'écouler en cas d'obstruction du lit. Une pelleteuse a été mise en œuvre pour que l'eau puisse à nouveau s'écouler par la conduite.



Fig. 143: Le 22 janvier en soirée, un bloc de rocher de 10 tonnes est tombé sur les rails du MBG près de Mattsand (VS) (photo: W. Gitz, 23.01.2018).

Autour du 22 janvier, l'avalanche de Blattbach est descendue trois fois avec une grande taille jusqu'en vallée près de Saint-Nicolas.

Alors que la réouverture de la ligne Täsch-Visp du MGB était imminente le 23 janvier, un gros bloc de rocher s'est abattu sur la voie à 5 heures près de Mattsand (Fig. 143).

Zermatt n'a plus été accessible pendant presque 5 jours, du 19 janvier à 22 h jusqu'au 24 janvier à 17 h, ni par le MGB, ni par la route.

Pendant la période avec un danger d'avalanches «très fort», 70 personnes ont été évacuées des bâtiments situés en zone rouge à partir du 21 janvier. À Täsch comme à Saint-Nicolas, des personnes ont été évacuées de deux bâtiments.

Dans la vallée de Zermatt, des digues de déviation ont été érigées à partir de dépôts d'avalanche, surtout les 15 et 16 janvier, ainsi qu'après le 24 janvier, afin de protéger la ligne du MGB. Quatre grandes digues étaient présentes après le 6 février près de Saint-Nicolas dans les parcours de Sparru et de Spiss, près du Blattbach, ainsi qu'avant Zermatt près du Luegeltibach (Fig. 130). Ces digues érigées à titre préventif n'ont pas eu besoin de démontrer leur utilité pendant le reste de l'hiver.

Vallée de Saas

Dans la vallée de Saas, des avalanches spontanées n'ayant pas une taille exceptionnelle se sont produites autour du 22 janvier.

La route a été fermée le dimanche 21 janvier. Près d'Eisten, les habitants d'un bâtiment situé en zone bleue ont été évacués du 21 au 23 janvier.

Le 24 janvier en début de matinée, l'avalanche de Fall près de Saas-Fee a été déclenchée avec des explosifs lancés depuis un hélicoptère. Elle s'est développée en une grande avalanche de poudreuse (taille 4), dont la partie poudreuse est descendue jusqu'au centre de Saas-Fee. (Fig. 144).

Lötschental

À Goppenstein, dès le dimanche 21 janvier vers 4 heures, une grande avalanche (taille 4) est descendue dans la vallée (il avait plu environ 400 m plus haut que prévu). La route de vallée a été fermée par la suite vers 5 h. De même, l'atelier de la voie ferrée près de Goppenstein a été considéré comme menacé, et fermé.

Près de Ried, 8 personnes ont été évacuées d'une maison en zone bleue.



Fig. 144: Saas-Fee (VS), avalanche de Fall: Avalanche de poudreuse déclenchée artificiellement le 24 janvier 2018 vers 8h30 (photos tirées de la vidéo YouTube de Diego Imboden).

L'avalanche de Dornbach près de Ferden s'est écoulée trois fois en l'espace d'une heure dans le lac de retenue. Les pompiers ont fermé la zone menacée dans la localité de Ferden. À cette occasion, un pompier a arrêté un paysan qui voulait nourrir ses moutons de l'autre côté du parcours, juste avant que l'avalanche ne descende.

Le 23 janvier, sur le Tennbachhorn, une très grande avalanche (taille 5) s'est déclenchée à la 5e charge d'explosif, et a atteint le fond de la vallée près de Ried (chapitre 4.3.6). Le déclenchement s'est produit relativement bas dans la zone de départ, avant que la rupture ne se propage finalement largement vers l'amont. La digue de déviation, construite à 2200 m après l'hiver avalancheux de 1999 pour protéger les ouvrages paravalanche de Ried en aval, a parfaitement fait son office (chapitre 4.1.3).

4.3.1.3 Basse-Engadine et Samnaun

Période de chutes de neige du 3 au 5 janvier 2018

Dans la région de Samnaun, l'activité avalancheuse spontanée a été importante les 4 et 5 janvier, avec parfois des départs depuis des zones de décrochement inclinées à 30–35°. L'avalanche du Val da Mot a enseveli le 4 janvier vers 17 heures l'accès à Samnaun, fermé environ deux heures auparavant, sous 9 m de neige (réchauffement après grosse chute de neige, pluie dans la vallée). Les dépôts ont par ailleurs été généralement plutôt petits, de telle sorte qu'on ne s'attendait pas à des déviations importantes d'avalanches en cas de périodes ultérieures de chutes de neige. De nombreuses avalanches, notamment une grande partie de celles déclenchées artificiellement, étaient parties sous forme de neige poudreuse. L'accès à Samnaun a été complètement coupé pendant 29 heures à partir du 4 janvier 15 heures. Aucune évacuation n'a été effectuée dans les zones habitées.

Dans la Basse-Engadine, de nombreuses autres avalanches sont descendues (en partie suite à des déclenchements artificiels).

Ces départs ont été considérés comme extrêmement importants pour la suite de l'hiver par les responsables des services des avalanches, car la neige ancienne ayant subi une métamorphose constructive a été en partie entraînée. Le réchauffement et la pluie qui ont suivi les chutes de neige doivent avoir contribué à la forte activité avalancheuse. La tempête avec des vents très violents a provoqué des accumulations d'une taille inhabituelle, de telle sorte qu'on n'observait que peu de neige à proximité des crêtes.

Déclenchements artificiels

Les interventions de déclenchement des avalanches effectuées dans la région ont été considérées comme très importantes. Un grand nombre de mâts à explosifs Wyssen sont installés à Samnaun. L'avalanche du Munschuns sud a été déclenchée grâce à des mâts à explosifs le 4/5 janvier, et la partie coulante est descendue jusqu'à Schergenbach, tandis que la partie poudreuse a atteint la route cantonale fermée sur le versant opposé. Une telle ampleur n'avait plus été observée depuis 1999 (alors que l'avalanche avait été souvent déclenchée depuis 2000).

Dans la région de Samnaun, les avalanches déclenchées artificiellement les 4 et 5 janvier sont plus grandes que celles du 22 janvier. Une raison pour cette ampleur pourrait être la neige ancienne ayant subi une métamorphose constructive qui a également été entraînée.

Période de chutes de neige du 16 au 23 janvier 2018

Le dimanche 21 janvier, cinq ruptures spontanées ont été détectées entre minuit et 3 heures du matin dans la zone de départ de l'avalanche de Gonda près de Lavin.

Le 21 janvier vers 5 heures du matin, une avalanche descendant d'un versant d'environ 30 m de haut a atteint une maison près de Samnaun-Compatsch, tandis que dans le quartier de Champlad (Samnaun Laret), une avalanche est descendue d'un versant haut de 120 m jusqu'à une maison (dommages matériels mineurs, chapitre 3.3.10).

Le lundi 22 janvier, l'activité avalancheuse spontanée a été importante dans la région, notamment vers 11 heures près de Brail, Tantervals, où une avalanche a pratiquement atteint la route cantonale fermée Brail-Zerne. L'après-midi, l'arrivée de la pluie a aggravé la situation. Dans la région de Zerne, plusieurs grandes avalanches se sont déclenchées. Dans la nuit du 22 au 23 janvier, l'avalanche de Val da Barcli s'est déclenchée sous forme poudreuse et a détruit un pylône de ligne à haute tension (chapitre 3.3.3).

De nombreuses routes cantonales ont été fermées le dimanche 21 janvier à 2 heures (accès à Samnaun, y compris frontière nationale de Martina), Zerne-Brail et Zerne-Tschierv (Col dal Fuorn). Samnaun a été coupée du monde extérieur entre le 21 janvier à 2 heures et le 23 janvier à 17 heures.

Des personnes ont été évacuées des bâtiments les plus à l'ouest de Brail (zone rouge) le dimanche à 15 heures, pour deux jours. À Vnà, des personnes ont été évacuées le 22 janvier à 19 heures des bâtiments les plus à l'ouest (zone bleue, avec des constructions généralement non renforcées). Des consignations à domiciles ont été décidées: Sent, Hotel Val Sinestra; Martina, bâtiments près d'Ovel-la et Vinadi; Samnaun-Laret, bâtiments près de Champlad.

Déclenchements artificiels

Plusieurs grandes avalanches ont été déclenchées, notamment par minage depuis hélicoptère, par exemple le mardi 23 janvier l'avalanche Tantervals près de Brail et Laschadura au Col dal Fuorn (qui a atteint une taille similaire à celle du 4 janvier) ainsi qu'à Val Chastè près de Vinadi. L'avalanche de Motnaida entre Ravaisch et Samnaun Dorf a été déclenchée le 22 janvier par la mise en œuvre de mâts Wyssen, elle a atteint une grande taille et enseveli la route cantonale fermée (chapitre 4.3.5.4).

4.3.1.4 Remarques sur la levée des mesures

La levée des mesures a été relativement simple au début de janvier, ainsi que le 23 janvier, car le fort réchauffement a contribué à une stabilisation rapide du manteau neigeux. Par ailleurs, des interventions de déclenchement artificiel n'ont généralement pas donné de résultats.

Le déblaiement de la neige a souvent été difficile, surtout là où les voies de communication ont dû être libérées des dépôts d'avalanches. Sur la route de Samnaun, des dépôts d'avalanches importants ont même dû être pelletés à partir des anciennes galeries (qui présentent parfois de petites ouvertures vers l'aval).

Les dépôts d'avalanches existants, parfois de très grande taille, ont posé des problèmes importants surtout dans la vallée de Zermatt, car on s'attendait à ce que d'éventuelles avalanches ultérieures puissent prendre des directions d'écoulement non souhaitables.

4.3.1.5 Synthèse des autres avalanches mentionnées

Nous décrivons ci-après quelques autres avalanches intéressantes qui ont été mentionnées au cours des entretiens:

Uri:

- 28 janvier 2018, Meiental: un employé du service des ponts et chaussées a remonté le Meiental vers 6 heures pour effectuer un contrôle. Lors de son retour, il a constaté qu'entre-temps, une grande avalanche de glissement (taille 4) avait enseveli la route près de Färnigen. Une opération de recherches de grande ampleur a dû être lancée. Heureusement, personne n'avait été touché.
- 21 avril 2018, 16 heures, vallée d'Urseren: une très grande avalanche (taille 5) déclenchée artificiellement a enseveli la route Hospental– Realp «In den Böschen», sur plus de 500 m.
- 20 mai 2018, col du Klausen: une avalanche entraîne un véhicule et en touche un autre (heureusement, pas de victimes); par ailleurs, deux véhicules en déplacement ont été touchés par des chutes de pierres.

Zermatt (VS):

- 15 février 2018: une avalanche s'écoule au-dessus d'un dépôt existant dans une galerie du MGB; le tronçon Täsch – Zermatt reste fermé pendant cinq heures.
- Entre le 31 mars et le 19 avril 2018: plusieurs fermetures de la route Täsch – Zermatt; une fois pendant 39 heures, 15 fois dans l'après-midi (souvent entre 13 et 20 heures).

Grisons:

- 18 février 2018, St Antönien: avalanche de neige mouillée jusqu'à une ferme isolée; elle s'est déposée sur plusieurs mètres de hauteur à proximité latérale immédiate de l'habitation.
- 31 mars 2018, Surselva supérieure: pendant une situation de barrage côté sud, très grandes avalanches déclenchées artificiellement (taille 5) près de Sedrun dans le Val Vadretg (largeur de décrochement environ 1 km, étalement dans le Rhin) et sur le versant nord du col du Lukmanier. Avalanches plus grandes qu'en janvier 2018.

4.3.2 Bases pour le travail des services d'avalanches

4.3.2.1 Bulletin d'avalanches

Le bulletin est considéré comme un bon produit; les informations détaillées de la section «Manteau neigeux et météo» sont particulièrement appréciées.

Les services d'avalanches ont remarqué que le SLF prévoit plus souvent qu'auparavant le degré de danger «4 – fort», comme le SLF l'avait annoncé à la suite d'une application plus harmonisée des dangers d'avalanches par les services de prévision européens, au début de l'hiver 2017/18. Pour les services d'avalanches des communes, cela peut présenter un problème, car la population s'attend parfois à des premières mesures pour un danger d'avalanche «fort».

Lorsque le degré de danger «5 – très fort» est prévu dans le bulletin d'avalanches, des fermetures de grande ampleur sont généralement indiquées. Dans certaines des neuf régions, le danger qui avait été prévu «5 – très fort», a été évalué localement à «4 – fort». Pour la justification des mesures, c'est toujours l'évaluation locale qui est décisive. Le degré de danger «5 – très fort» est considéré comme

bon dans un sens de dissuasion, car les habitants et touristes restent alors plutôt dans le centre des villages. Il faut toutefois veiller à rester prudent pour l'utilisation du degré de danger «5 – très fort», car il n'existe pas de degré de danger supplémentaire (extrême).

Les retours collectés ne montrent pas de besoins d'évolution du bulletin d'avalanches.

4.3.2.2 *Données des stations automatiques et observations propres*

Les stations automatiques ont bien fonctionné. Leurs données sont considérées comme extrêmement précieuses.

Points particuliers pour les différentes stations:

- Vallée de Zermatt, station Stelligletscher: station nivologique détruite le 22 janvier à 12h30 par une grande avalanche (taille 4)
- Zermatt, station Triftchumme: augmentation subite de la hauteur de neige de 60 cm suite à une avalanche le 4 janvier
- Zermatt, station Schwarzsee: grandes variations de la hauteur de neige sous l'influence du vent
- Vallée de Saas, station Seetal en janvier, pannes répétées de la mesure de hauteur de neige; pendant ces pannes, pas de données de neige fraîche, le modèle SNOWPACK les a reconstituées par la suite
- Oberland bernois, station Albrist: parfois pas de données anémométriques
- Uri, station Rienzenstock: arrêtée de mi-décembre à mi-février
- Leventina supérieure (TI), stations anémométriques Lucendro et Tremorgio: autour du 14 janvier, défaillances en raison du givrage; le givre a dû être supprimé sur site
- Surselva (GR), station Lumpegna: plusieurs pannes, parfois givrage
- Glaris, stations anémométriques Ruchi et Schwandergrat: plusieurs défaillances en raison du givrage

L'évaluation sur la base d'observations sur le terrain est considérée comme très importante. Les vols de reconnaissance sont considérés comme précieux et indispensables.

Le fait de pouvoir consulter les données des stations automatiques et aussi du radar de précipitations simplement sur un téléphone mobile a été mentionné comme important. La densité du réseau de mesures n'a pas été abordée.

Il existe un besoin d'évolution concernant la consultation des données sur des téléphones mobiles (chapitre 4.3.2.4), même si ces données sont déjà accessibles notamment par l'application White Risk.

4.3.2.3 *Préinformation / Préalertes et prévisions météorologiques*

La préinformation de fortes chutes de neige et la préalerte neige et danger d'avalanches sont généralement considérées comme précieuses («réveil») et doivent être conservées. Les informations par SMS sont appréciées.

La prévision des quantités de neige fraîche est toujours estimée moyennement fiable. Le bulletin météorologique pour les Alpes est apprécié comme information complémentaire.

Les retours collectés n'indiquent pas de besoins directs d'évolution.

4.3.2.4 *GIN, IFKIS-EVAL et IFKIS-MIS*

L'utilisation de GIN est toujours estimée compliquée par de nombreux collaborateurs de services d'avalanches. Les dossiers mis en place permettent certes de travailler de manière plus ciblée, mais de nombreux services regrettent la représentation simple et très claire d'IFKIS, notamment pour les données des stations automatiques. Les prévisions de neige fraîche (MétéoSuisse: tableaux, carte de la Suisse) sont appréciées. On regrette l'absence d'une version mobile de GIN. On mentionne l'inconvénient que constitue la disparition des signalements d'avalanche.

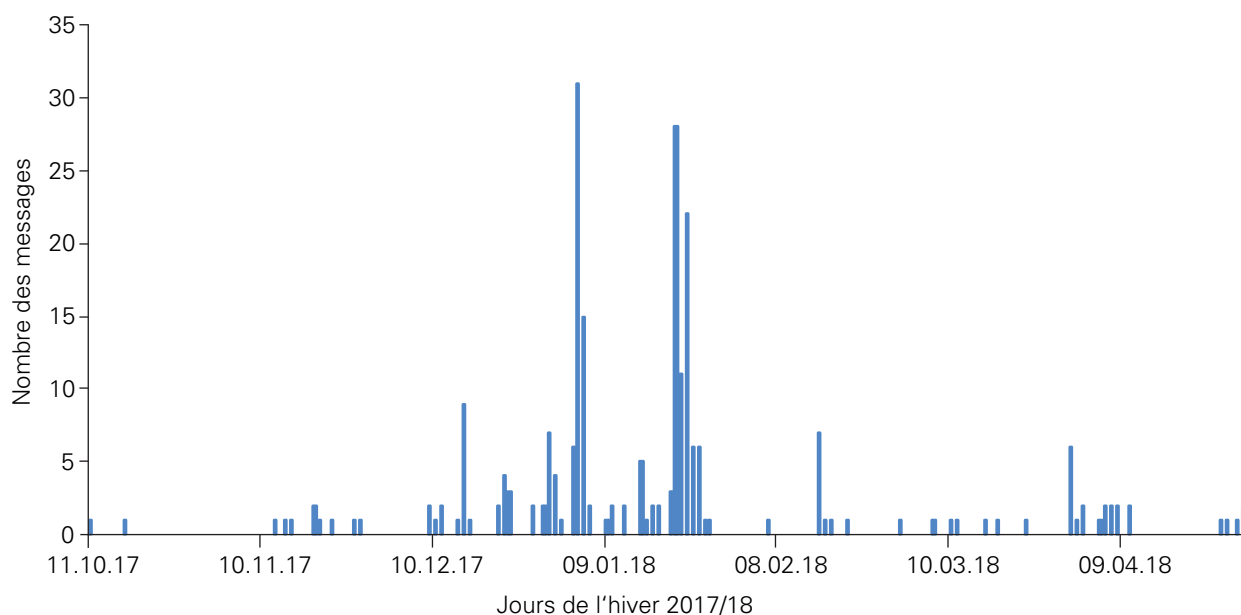


Abb. 145: Nombre de messages IFKIS-MIS par jour pendant l'hiver 2017/18.

La grande majorité des services d'avalanches utilisent l'appli White Risk ou la page web du SLF pour consulter les mesures des stations automatiques ou des observateurs.

L'outil de documentation IKFIS-EVAL est toujours utilisé, le tableau des données recueillies (hauteurs de neige, vent, température) étant considéré comme utile. Les différences avec la veille sont également importantes, et elles sont visibles d'un seul coup d'œil sur le tableau EVAL.

Dans la Surselva supérieure, et dans le canton de Glaris, le système d'information de mesure IFKIS-MIS est très utilisé; au total, IFKIS-MIS est organisé en 7 régions. Pendant l'hiver 2017/18, le nombre le plus élevé (240) de signalements des 12 dernières années a été enregistré (devant l'hiver 2012/13 avec 196 signalements). Si l'on considère la répartition des messages IFKIS-MIS pendant l'hiver 2017/18, ce sont surtout les journées autour des 4 et 22 janvier qui se distinguent (Fig. 145).

Les retours montrent que la consultation des données essentielles sur téléphone mobile est un vrai besoin. GIN ne propose pas cette possibilité pour l'instant, il y a donc une demande pour une solution mobile GIN simplifiée. Pour résumer, on peut considérer que des mesures doivent être prises pour rendre les données ainsi que les outils pour l'évaluation et la documentation disponibles sur les appareils mobiles.

4.3.3 Organisation des services de prévision d'avalanches

4.3.3.1 Modifications dans l'organisation en comparaison avec 1999

Les principes essentiels sont exposés depuis 2007 dans le «Guide pratique. Le travail au sein du service des avalanches».

En général, 2 à 3 personnes sont aujourd'hui responsables de l'évaluation de la situation avalancheuse locale. Les plus grands services des avalanches régionaux (comme par exemple le service des avalanches de la vallée de Zermatt) font également intervenir des observateurs (dans les villages) pour assister l'équipe de base. Dans le cas de la vallée de Saas et du Lötschental, il existe une équipe de direction régionale. Il est jugé important que des remplaçants soient désignés. Des journaux sont tenus par plusieurs personnes, et considérés comme très importants.

De nombreuses communes étaient prêtes à mettre en œuvre des mesures, notamment parce que l'équipe de direction de la commune est également active en été. Lorsqu'une équipe de direction communale est rarement active, elle manque généralement d'expérience pour gérer les évène-

ments. Certaines communes avaient certes une équipe de base d'évaluation de la situation locale, mais qui n'était pas prête à mettre en œuvre des mesures, car les procédures n'étaient pas définies, et il n'existait pas de planification pour les urgences, de cartes d'interventions ou de concepts de sécurité.

Le canton d'Uri est dans une situation particulière avec les centrales d'avalanches d'Andermatt et d'Urnerboden. La centrale d'Andermatt se base fortement sur les prestations de l'armée.

Dans le Tessin, le service des avalanches cantonal a été réorganisé à partir du 1^{er} janvier 2018. Le service spécialisé cantonal, les communes, le service des ponts et chaussées et MeteoSvizzera y participent. Il est prévu que le service spécialisé cantonal, sur la base de la nouvelle loi sur les dangers naturels, élabore de nouveaux principes pour les services de prévision d'avalanches avec comme objectif une organisation similaire de toutes les communes.

Le service cantonal des avalanches de Glaris a été réorganisé au cours des dernières années.

Le LWD Glaris sud possède un service de piquet permanent. Dès que le degré de danger «3 – marqué» est prévu par le bulletin d'avalanches, la situation est surveillée.

L'échange entre les services des avalanches voisins s'effectue toujours par téléphone. Cette solution est considérée comme la meilleure.

Le défi pour l'avenir semble être le recrutement de nouveaux collaborateurs pour les services des avalanches. Il semble que cela devrait devenir plus difficile de trouver de nouveaux membres. Il est important que le service des avalanches fonctionne en équipe.

On peut noter concernant l'organisation des services des avalanches, en comparaison avec 1999:

- Aujourd'hui, c'est une équipe de 2–3 personnes qui est responsable de l'évaluation de la situation avalancheuse locale, alors qu'auparavant, c'était parfois une seule personne. La coordination entre les communes, les services des ponts et chaussées et les exploitants ferroviaires est également largement réglementée aujourd'hui; ce n'était pas encore le cas partout en 1999.
- L'expérience de l'interprétation des données des stations automatiques s'est développée. Les prévisions de neige fraîche ont une meilleure résolution temporelle, même si à l'avenir des écarts avec la prévision continueront d'être observés.
- Des plans de fermeture et d'évacuation sont généralement disponibles. Un plan avec tous les noms de rues et numéros d'habitations est également considéré comme essentiel.
- La communication interne est parfois organisée au moyen de groupes WhatsApp. De manière isolée, des décisions de mesures sont communiquées pour approbation par les autres membres. Certains services ne transmettent cependant délibérément pas d'informations confidentielles.

Les actions suivantes sont nécessaires d'après les retours reçus.

- Des plans d'urgence, des cartes d'interventions et des concepts de sécurité doivent être élaborés dans les communes où ces bases essentielles n'existent pas encore. Des exemples de plans d'urgence et de documents sur l'organisation des services des avalanches seraient également utiles.
- Il faut veiller spécialement à la planification du personnel dans les services de prévision d'avalanches. Les recrutements doivent être préparés à l'avance. Des remplaçants sont importants, mais ils ont parfois moins d'expérience, ou ne sont présents que sur le papier.

4.3.3.2 Remarques concernant la formation

La formation des membres des services des avalanches au travers des cours du SLF est considérée comme très précieuse. Les cours pour patrouilleurs dispensés par les Remontées Mécaniques Suisses sont également très importants. Les personnes qui désirent obtenir le permis fédéral d'emploi d'explosifs doivent tout d'abord suivre le cours central B.

Lors des formations continues, ce sont les études de cas et l'échange d'expériences qui sont considérés comme très importants. Les rencontres d'observateurs du SLF ont été jugées précieuses.

Lors des cours de formation et de formation continue, il faut traiter la problématique de la neige glissante et des autres nouveaux processus difficiles à évaluer comme les écoulements de neige détrempée (slushflows).

4.3.4 Exécution de fermetures et d'évacuations

4.3.4.1 Fermetures et cas spécifique des bâtiments isolés le long des routes

L'absence de victimes d'avalanches sur les voies de communication ou dans les localités, grâce aux fermetures (étendues), est un point très positif.

L'une des fermetures de route les plus longues pour des localités habitées toute l'année est probablement la fermeture de la route Meien-Färnigen entre les 17 et 25 janvier 2018; la route a été coupée pratiquement pendant 200 heures.

Pendant cinq jours à partir du 19 janvier 2018 Zermatt n'était plus accessible ni par la route, ni par le rail. Des personnes ont parfois été transportées par hélicoptère vers Täsch. Un jour, un service de navette par hélicoptère a été proposé, et quelque 500 personnes avec leur valise ont formé une file d'attente; finalement, seulement la moitié des personnes ont pu être transportées par la voie des airs. Les magasins d'alimentation ont subi des ruptures d'approvisionnement. Un hélicoptère a donc été mis en œuvre pour le transport d'aliments, de courrier et de draps propres pour les hôtels.

À Samnaun, des autochtones ont demandé pourquoi la route était fermée alors que des mâts à explosifs étaient présents dans les parcours d'avalanches.

Les informations concernant les fermetures ont été envoyées dans de nombreuses régions par service SMS aux personnes concernées. C'est une grande différence avec 1999, où cette possibilité n'était encore que très peu exploitée. Les frais d'environ 0,10 franc/SMS représentent un désavantage. En de nombreux endroits, les fermetures étaient publiées également sur les sites web. Une information deux heures avant les fermetures est considérée comme souhaitable. Il faut également tenir compte des heures où se déplacent les écoliers.

À Zermatt, on a constaté qu'il ne fallait pas informer trop tôt de l'ouverture prévue d'une route, car sinon une longue file de véhicules risque de se former devant la barrière.

Malheureusement, des routes fermées ont été empruntées de manière isolée par des personnes (p. ex. Täsch - Zermatt). En janvier 2018, plusieurs personnes ont échappé de justesse à un ensevelissement sur des routes officiellement fermées. Peder Caviezel (TBA GR, Scuol) pense que l'acceptation des fermetures de route s'est améliorée depuis 1999; il n'a reçu que peu de réclamations en 2018. D'après lui, ce serait plutôt les personnes extérieures ou les touristes qui enfreindraient les fermetures locales. En janvier 2018, un automobiliste a ouvert deux barrières successives à Martina. Le conducteur a dû cependant faire demi-tour à la barrière massive de la frontière et parcourir à nouveau plusieurs kilomètres de la route menacée par les avalanches.

À Samnaun, la route entre Samnaun Dorf et Ravaisch a dû être fermée à court terme dans la nuit du 20 au 21 janvier (samedi à dimanche) en raison des chutes de neige intenses, et donc de l'augmentation du danger d'avalanches. Les personnes qui étaient encore en déplacement à Samnaun Dorf en fin de soirée auraient été nombreuses à emprunter la route fermée vers Ravaisch. Des pompiers ont été postés toute la nuit aux barrières. En pleine nuit, à une heure du matin, les personnes ont été transportées par un bus des pompiers à travers la zone dangereuse après que des minages ont été effectués.

La fermeture des chemins de randonnée hivernale avec une chaîne et un panneau d'avertissement, ce matériel étant dans un coffret sur place (la clé du coffret étant au service de prévision d'avalanches), s'est révélée être une bonne solution. Différentes personnes ont mentionné que la fermeture des chemins de randonnée à proximité des habitations n'était efficace que temporairement. Dès que quelqu'un laisse des traces, d'autres personnes empruntent le chemin.

Il semblerait qu'il faille réglementer les responsabilités pour l'information des personnes qui vivent le long d'une route cantonale en dehors des localités, et pour la décision (ou mieux la recommandation?) des consignations à domicile en cas de fermeture de la route.

4.3.4.2 Évacuations, consignations à domiciles, mayens

Dans tout l'espace alpin suisse, environ 500 personnes ont dû être évacuées (370 sur la base des enquêtes), dont une centaine de personnes dans des mayens.

Une évacuation de zones étendues dans les localités est considérée comme très difficile. Les ouvrages paravalanches en amont de la gare de Zermatt étant par exemple déjà complètement remplis. Si les chutes de neige avaient continué, il aurait fallu évacuer une zone occupée par environ 800 personnes. À Disentis également, environ 200 personnes vivent derrière la digue de déviation de Sogn Placi dans des zones dangereuses qu'il faudrait évacuer en situation extrême. Dans l'habitat disséminé de St Antönien, il aurait également fallu envisager des évacuations s'il avait continué de neiger. Celles-ci n'auraient alors été possibles que par hélicoptère.

De nombreuses personnes ont quitté spontanément les zones dangereuses pour rejoindre un hébergement plus sûr.

Les consignations à domicile sont considérées comme la première mesure envisageable. Que se passe-t-il cependant lorsque la situation avalancheuse s'aggrave nettement et que les évacuations s'imposent? N'est-il pas éventuellement déjà trop tard, notamment parce que des personnes supplémentaires (pompiers) seraient mises en danger en conduisant l'évacuation? Des aspects supplémentaires à prendre en considération sont le renforcement éventuel des bâtiments, et si ceux-ci se trouvent en zone rouge ou en zone bleue.

La difficulté de savoir qui habite un bâtiment a également été évoquée. L'interface avec le contrôle des habitants est importante: le service des avalanches doit disposer des données actualisées.

Mayens

Pour de nombreux services des avalanches, la situation juridique concernant les occupants de mayens ou d'habitations temporaires en dehors des zones constructibles (p.ex. mayens près des pistes de ski) reste confuse. Par ailleurs, on mentionne que l'occupation hivernale des mayens aurait augmenté. La difficulté de savoir si des mayens ont été loués à des tiers a été soulignée.

La situation juridique concernant les habitants des mayens doit être éclaircie; des travaux préalables ont déjà été effectués dans le cadre d'une étude pour l'Office des forêts et des dangers naturels des Grisons.

Chutes de neige des toitures

Les chutes de neige des toitures ont été évoquées, notamment à Zermatt. Un large espace situé autour de l'église a dû être fermé en raison de possibles chutes de neige de la toiture.

Ecoles

La question de la prise en charge des écoliers a parfois été évoquée, lorsque des mesures de sécurité sont imposées à court terme, avec une interruption de l'enseignement.

Pour résumer, il paraît nécessaire de vérifier les concepts existants dans les communes concernant la présence de personnes dans des bâtiments isolés et la prise en charge des écoliers, et s'ils sont absents, de les élaborer. Il faut également éclaircir les aspects juridiques d'un refus oral d'évacuation par les habitants serait-il valable devant les tribunaux en cas de poursuite judiciaire

4.3.4.3 Avalanches sur les voies de communication ouvertes et dans les localités habitées

Malgré une évaluation attentive de la situation avalancheuse, des avalanches peuvent survenir et s'écouler sur des voies de communication non coupées ou bien toucher des bâtiments non évacués. Selon la banque de données des avalanches ayant provoqué des dommages du SLF, 12 avalanches ont été signalées sur des voies de communication ouvertes en janvier 2018. Six avalanches sont descendues sur des voies de chemin de fer, cinq sur des routes et une sur un chemin pédestre déblayé. Le chapitre 3.3.7 présente à titre d'exemple une telle avalanche sur une route cantonale. Le 21 janvier en début de matinée, deux avalanches en provenance de parcours moins importants ont atteint deux bâtiments à Samnaun (chapitre 3.3.10 et 4.3.1.3). Dans d'autres cas, des avalanches se sont arrêtées à proximité de bâtiments ou de mayens habités (chapitre 4.3.1.1, Tab. 11 et 13).

4.3.5 Déclenchement artificiel des avalanches

Nous décrivons ci-après surtout les actions de sécurisation effectuées. Depuis 1999, différents documents ou guides pratiques ont été rédigés. On peut citer «Déclenchement artificiel d'avalanches: questions juridiques et d'assurances (STOFFEL 2004)», «Beurteilung von Sekundärlawinen bei künstlicher Lawinenauslösung (évaluation des avalanches secondaires pour les déclenchements artificiels d'avalanches, STOFFEL et MARGRETH 2012)» et «Vergleich der Sprengmethoden» (Comparaison entre les méthodes de minage, Stoffel 2013).

4.3.5.1 Installations fixes pour le déclenchement artificiel

Au total, on compte en Suisse 170 explodeurs Gazex, 140 surveillances d'avalanches ou mâts d'avalanches Inauen-Schätti et 230 mâts à explosifs Wyssen (état mars 2018). Ces quelque 550 installations fixes se trouvent dans des domaines skiables, mais aussi le long de voies de communication et parfois au-dessus de localités. En comparaison avec 1999, le nombre d'installations fixes a nettement augmenté. En janvier 2018, on évaluait à 200–250 le nombre d'installations fixes pour la sécurisation des voies de communication et des localités habitées, contre environ 25 en 1999.

Les enquêtes ne montrent que peu de problèmes avec les installations fixes pendant l'hiver 2017/18. Les problèmes de liaison avec les installations sont rares, mais ne peuvent pas être totalement exclus. En raison de l'utilisation non conforme de mèches de sécurité, des défaillances ont été observées dans une zone de mise en œuvre.

Le lance-mines de 12 cm a été qualifié plusieurs fois comme étant encore important pour la protection des populations.

4.3.5.2 Minages depuis un hélicoptère

Des minages depuis un hélicoptère ont été effectués en de nombreux endroits, et sont considérés comme très importants. L'inconvénient est la dépendance aux conditions météorologiques et éventuellement la disponibilité de l'hélicoptère. L'avantage, ce sont les coûts et la possibilité de pouvoir jeter un coup d'œil depuis l'hélicoptère sur la zone concernée ainsi que de pouvoir éventuellement déceler des personnes menacées.

Pour donner un exemple: au nord d'Arolla (VS), des personnes ont été aperçues près d'une galerie avant les minages par hélicoptère; elles se trouvaient dans le secteur fermé.

À Zermatt et Saas-Fee, les interventions par hélicoptère n'ont pas été possibles pendant quatre journées (6 au 9 janvier), et le 10 janvier 2018, les interventions étaient ensuite déjà trop tardives, c'est-à-dire avec des résultats négatifs. Au cours d'autres entretiens, il a été mentionné que les minages depuis un hélicoptère s'effectuaient souvent une journée trop tard.

4.3.5.3 Information de la population sur les actions de sécurisation prévues

Les déclenchements artificiels peuvent être complexes en bordure de localités (fermetures, information des personnes sur les actions de sécurisation prévues).

On s'est interrogé aussi sur la façon d'informer les habitants des mayens ou des refuges sur les interventions de minage prévues. Une solution pourrait être que les propriétaires de chalets préviennent leurs locataires qu'ils doivent donner leur numéro de mobile ainsi que la durée de leur séjour au service des avalanches.

Les routes et les localités sont sécurisées par des barrages. Il faut un certain temps pour que les personnes affectées à ces barrages arrivent sur place. Il est donc important de disposer de listes de contrôle et de cartes appropriées. À Samnaun, les scénarios extrêmes de fermeture, qui prévoient l'évacuation de certaines zones, n'ont jamais été utilisés pour les interventions de minage. Cette approche a été possible, car les mâts à explosifs permettent des minages en continu suivant la situation.

Fig. 146: Deux personnes sur une route fermée près de Täsch (VS), détectées grâce à des projecteurs «Supralux» et une caméra (documents B. Jelk, 21.01.2018).



On considère comme un problème que des personnes de plus en plus nombreuses se déplacent dans le terrain à toute heure. Une information (voire un avertissement) est donnée aujourd'hui en de nombreux endroits sur des panneaux situés sur le terrain.

Des projecteurs «Supralux» ont fait leurs preuves près de Täsch, en permettant d'identifier d'éventuelles personnes dans la portion de vallée menacée. Ainsi, deux personnes ont été découvertes à une occasion (Fig. 146).

Dans le Lötschental, le 23 janvier, un malentendu s'est produit lors des fermetures: la très grande avalanche (taille 5) déclenchée artificiellement du Tennbachhorn est descendue d'environ 3000 m jusqu'à 1450 m à proximité de bâtiments de Ried, dans lesquels se trouvait encore un agriculteur qui n'aurait pas dû être là.

4.3.5.4 Actions de sécurisation effectuées, et avalanches déclenchées

Pendant l'hiver 2017/18, environ 160 tonnes d'explosifs ont été utilisées dans toute la Suisse, ce qui correspond à peu près à une fois et demie la quantité d'un hiver moyen. À notre connaissance, les avalanches déclenchées artificiellement n'ont provoqué que de petits dommages. Des déclenchements de grande portée et sur de grandes surfaces ne se sont produits que rarement en janvier. Parfois, les hauteurs de rupture ont été très importantes (Fig. 147).

Le déclenchement artificiel d'avalanches est considéré comme une mesure temporaire extrêmement importante. Un déclenchement précoce mène en général à des avalanches petites à moyennes, et de manière isolée également grandes (taille 4). Si des déclenchements successifs sont effectués, il y a moins de neige dans les zones de départ (et dans les parcours), ce qui diminue nettement la problématique lors des situations avalancheuses de printemps. Les périodes de fermeture peuvent également être réduites. Les interventions par hélicoptère permettent en même temps d'évaluer la propagation de la rupture, et d'observer s'il y a des fissures dans la neige ancienne. Il faut par ailleurs mentionner les effets intempestifs, notamment «l'avalanche est plus grande que prévu» (dommages possibles), les déclenchements secondaires ou la diminution de la rugosité dans le parcours en raison des dépôts, permettant de meilleures conditions d'écoulement pour des avalanches ultérieures. Des dépôts d'avalanches importants peuvent provoquer des déviations des avalanches ultérieures.

Il est généralement mentionné que les minages au cœur de l'hiver en bordure de localité doivent s'effectuer avant 8h30, pour que si possible aucune personne ne se trouve dans la zone menacée.

Le rechargement des magasins des mâts à explosifs doit être bien planifié. À Samnaun, les conditions météorologiques n'ont été favorables au vol que le 15 janvier pour le rechargement des magasins. Si cette fenêtre de vol n'était pas apparue, des minages successifs adaptés à la situation n'auraient pas été possibles pendant l'épisode suivant de chutes de neige.

Nous présentons ci-après à titre d'exemple des interventions de minage dans différentes régions.

Dans la vallée de Zermatt, les mâts à explosifs Wyssen ont été mis en œuvre 12 journées pendant l'hiver pour la sécurisation des voies de communication; en outre, des interventions par hélicoptère ont été effectuées au cours de 14 journées supplémentaires (au total 26 journées avec des interventions de minage). En général, il n'y a eu qu'un minage par jour; toutefois, le 4 janvier, il y a eu trois interventions pour protéger la ligne du MGB (à 10 h, 18 h et 20 h).

Dans la vallée de Saas et dans le Lötschental, les interventions de déclenchement artificiel ont été effectuées une fois par jour pour protéger les voies de communication. Le 24 janvier, l'avalanche de Fall, déclenchée artificiellement, est descendue sous forme d'avalanche de poudreuse jusqu'au centre de Saas-Fee (Fig. 144).

Dans le domaine de sports d'hiver de Halisberg, des interventions par Gazex ont été effectuées pendant les chutes de neige intenses jusqu'à trois fois par jour.

À Samnaun, les interventions les plus matinales se sont déroulées dans la localité vers 6 heures, les plus tardives la nuit vers 1 h. Le 22 janvier, jusqu'à trois minages ont été effectués dans chaque parcours d'avalanche, et ce à 6, 11 et 20 heures. Pour l'avalanche de Motnaida, à l'est de Samnaun Dorf, la décharge partielle n'a pas fonctionné comme prévu ce jour-là. Malgré des interventions tôt le matin et à midi, une grande avalanche (taille 4) a été déclenchée en soirée et a enseveli la route cantonale fermée sous un mètre de neige. Il s'agissait sans doute d'une avalanche de durée de retour décennale, qui a entraîné par endroit le manteau neigeux ancien ayant subi une métamorphose constructive. À la suite de cet événement, le nombre de mâts à explosifs Wyssen est passé de trois à cinq dans la zone de départ de Motnaida pour l'hiver 2018/19.

En Basse-Engadine, les minages ont été effectués au maximum une fois par jour le long des voies de communication, la plupart du temps tôt le matin. Les responsables ont mentionné que grâce aux minages effectués régulièrement, les avalanches autour du 22 janvier étaient de taille similaire à celle de début janvier. Au cours des deux périodes avalancheuses de grandes avalanches (taille 4) ont été déclenchées, notamment l'avalanche de Laschadura au Col dal Fuorn qui a détruit des glissières de sécurité. Des dommages plus conséquents ont pu cependant être évités. Près de Lavin, 15 interventions ont été effectuées dans la zone de départ de l'avalanche de Gonda avec les huit mâts à explosifs Wyssen pour sécuriser les voies de communication.

La position des mâts à explosifs sur une crête a fait ses preuves dans le cas du Vallone del Solco dans le Tessin, car l'avalanche Tre Capelle a pu être déclenchée comme prévu. Les deux zones de départ sont inclinées au moins à 35°, parfois même à plus de 40°, et reliées par une arête. 11 interventions ont été effectuées avec des mâts à explosifs Wyssen.

On peut en tirer les conclusions suivantes:

- Aucun dommage significatif n'a été provoqué par les avalanches déclenchées artificiellement. Cependant, certaines avalanches isolées ont été plus importantes que prévu et se sont avancées par exemple jusqu'à proximité de zones habitées.
- Des interventions répétées, adaptées à la situation, ont probablement évité des avalanches provoquant des dommages, ce qui est l'effet attendu de déclenchements artificiels. L'expérience montre cependant que des avalanches déclenchées artificiellement peuvent, malgré toutes les précautions, atteindre parfois une taille supérieure à ce que l'on attendait et provoquer des dommages. Dans certains cas, les concepts de déclenchement artificiel doivent être vérifiés.
- Pour de nombreuses avalanches déclenchées artificiellement, il devrait s'agir, dans la mesure où nous pouvons en juger, d'avalanches d'une durée de retour maximale de 10 à 15 ans (partie coulante).
- Le rechargement des magasins des mâts à explosifs doit être bien planifié.
- L'entretien des différents systèmes est extrêmement important.



Fig. 147: Domaine skiable de Samnaun (GR), décrochement impressionnant suite à un minage (photo: G. Darms 23.01.2018).



Fig. 148: Domaine skiable de Crans Montana (VS), décrochement atteignant 4 m de haut pour une avalanche déclenchée artificiellement sur le versant sud du Petit Mont Bonvin à 2400 m; Minage à partir d'un hélicoptère (photo: V. Bettler, 24.01.2018).

4.3.6 Systèmes d'alarme et de détection

Ci-après, nous décrivons brièvement les expériences faites avec des systèmes d'alarme et de détection. Ces indications se basent sur les entretiens effectués et sur des informations des responsables de SensAlpin, Geopraevent et Wyssen.

4.3.6.1 Systèmes d'alarme dans les parcours d'avalanches

Les systèmes d'alarme d'avalanches de SensAlpin et AlpuG détectent les avalanches par des capteurs redondants placés directement dans le parcours. Lorsque le phénomène se déclenche, un signal d'alarme est envoyé par radio à un feu rouge, lequel bloque automatiquement la voie ferrée ou la route et déclenche éventuellement d'autres alarmes. La détection avec plusieurs capteurs de types différents (en général mesure de vitesse grâce à un radar doppler à courte portée, mesure de vibrations par géophone ainsi que mesure de traction par des câbles de détection) permet de bien caractériser le phénomène avalancheux. Ceci permet d'améliorer la qualité de détection et de réduire le nombre des fausses alertes. Par ailleurs, la redondance garantit que la défaillance de certains capteurs n'entrave pas le bon fonctionnement de l'installation.

Parmi les 29 installations actuelles de ce type, quatre étaient déjà en service pendant l'hiver avalancheux de 1999. Les installations ont fait leurs preuves pendant l'hiver 2018, sans pannes.

Voici quelques chiffres d'une installation d'alarme avalanche pour le Matterhorn Gotthard Bahn (MGB) près de Saint-Nicolas: l'installation de détection dans le parcours de Chalchu, à une altitude de 1950 m, a détecté en janvier 2018 au total 27 départs d'avalanches. Huit de ces événements ont déclenché une alarme, c'est-à-dire la fermeture de la voie par l'intermédiaire d'un feu tricolore. Au moins trois de ces avalanches sont effectivement descendues jusque dans la zone de la voie au fond de la vallée (Fig. 149).

Un système équipé d'un câble de déclenchement de Geopraevent a été installé sur la rampe nord du Gothard de la ligne d'altitude des CFF, sur un pont étroit près de Häggrigen. Si ce passage est atteint par une avalanche, les responsables des CFF sont informés par SMS.

L'avalanche de Val Lumpeгна, entre Sumvitg et Disentis, a activé le signal lumineux sur la route cantonale et sur la voie ferrée des RhB. L'avalanche s'est arrêtée de justesse avant les voies de communication. Les voies de communication avaient déjà été fermées par sécurité.

Dans le canton d'Uri (Isenthal), un dispositif de signal lumineux installé en avril 2017, activé par des capteurs d'inclinaison, a fait ses preuves (entretien). Les capteurs d'inclinaison sont disposés dans des barres en plastique situées sur le parcours (source Monitron).

4.3.6.2 Systèmes de détection d'avalanches

Les radars doppler à longue portée de Geopraevent ont permis de détecter de nombreux événements: par exemple avalanches de Luegelti et Schusslaui près de Zermatt, avalanche du Bisgletscher près de Randa, avalanche de Gonda près de Lavin (chapitre 4.3.6.3).

L'installation de Luegelbach/Schusslaui est couplée avec un dispositif de signaux lumineux (Fig. 150). Si une avalanche est détectée dans la zone jaune supérieure, les signaux lumineux passent au rouge. Si l'avalanche n'est pas détectée dans la zone orange inférieure, les feux tricolores repassent au vert après quelques minutes (en janvier 2018, ceci a été effectué manuellement). Dans le Luegelbach et pour l'avalanche Schusslaui, 28 départs ont été détectés le 4 janvier, 27 le 21 janvier et 22 le 22 janvier (source Geopraevent). Il faut noter que la zone de départ de Luegelbach s'étend jusqu'à 3400 m sur le Mettelhorn et comprend différentes zones de décrochement successives, ainsi que la Schusslaui adjacente. La route et la ligne du MGB se situent à environ 1600 m d'altitude. Le radar détecte des avalanches qui se déclenchent à une distance comprise entre 800 m et 1900 m. La première avalanche a été détectée le 10 décembre 2017, la dernière le 8 mai 2018; 18 % des avalanches se sont produites pendant l'hiver 2017/18 par bonne visibilité, 50 % par mauvaise visibilité ou chutes de neige, et 32 % la nuit (source Geopraevent).

4.3.6.3 Systèmes de détection d'avalanches

Les systèmes de détection d'avalanches ont été mis en œuvre pour vérifier les résultats des actions de sécurisation, mais aussi pour enregistrer les avalanches spontanées. Les avalanches peuvent être détectées par différents systèmes, comme indiqué ci-après. Contrairement à 1999, quelques installations étaient opérationnelles pendant l'hiver 2018.

Quatre systèmes à infrasons ont été mis en place à Reckingen et Blitzingen, Quinto et Frutigen. Les infrasons permettent dans certaines conditions de bien détecter une activité avalancheuse locale. Les grandes avalanches (taille 4) sont détectées jusqu'à 3 à 4 kilomètres de distance (MAYER *et al.* 2018).



Fig. 149: Avalanche détectée dans le parcours de Chalh près de Saint-Nicolas (photo W. Gitz/pour SensAlpin).

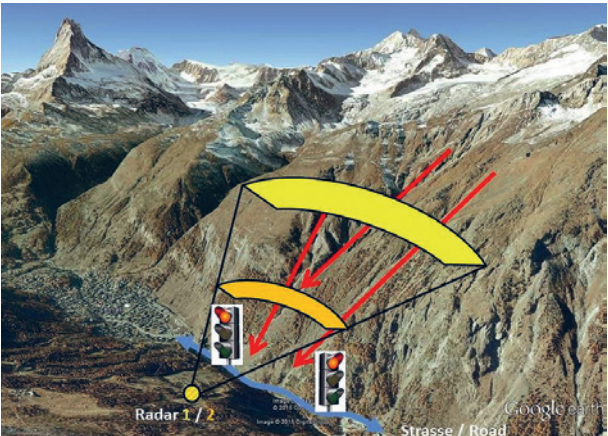


Fig. 150: Vue d'ensemble de l'installation radar Luegelbach/Schusslaui bei Zermatt (documentation B. Jelk/Geopraevent).



Fig. 151: Détection des avalanches par infrasons près de Quinto: en rouge = avalanches déclenchées artificiellement dans le Vallone del Solco et Tre Cappelle vert = avalanches spontanées (documents Wyssen).

Les résultats du système à infrasons de Quinto permettent de conclure que dans la zone de départ inclinée à 35–50° du Vallone del Solco, environ 30 avalanches se sont produites pendant l'hiver 2017/18, plus 11 déclenchées artificiellement (au total une quarantaine d'avalanches Fig. 151). En plus des avalanches du Vallone del Solco, dont la zone de départ se trouve sur le versant opposé, plusieurs avalanches spontanées ont été enregistrées dans les zones de départ étendues au-dessus du site du système à infrasons (flèches vertes dans la Fig. 151). Le système à infrasons dans la vallée de Conches, composé de deux installations (distantes d'environ 4 km), a détecté au total 160 événements ainsi que les minages.

4.3.7 Neige glissante

Les enquêtes ont montré que la neige glissante a parfois posé de grands problèmes aux services des avalanches. Dans le canton d'Uri, trois départs de neige glissante se sont produits sur le même versant, après chaque nouvel épisode de précipitations. La neige glissante a également provoqué une abrasion de la surface du sol. Près de Zermatt, le service des avalanches a également rencontré de gros problèmes de neige glissante. À partir du 2 février, d'importantes gueules de baleines se sont formées sur les versants sud-est au-dessus du village. Près d'Alteuhaupt, des perches ont été placées le 9 mars dans une gueule de baleine pour évaluer ses déplacements. Jusqu'au 23 mars, les déplacements avaient atteint 3 à 8 m, puis une partie de l'épaisse plaque de neige atteignant 3 m de haut a glissé dans la nuit du 2 au 3 avril, et a touché le mur amont d'un hôtel, dans provoquer de dommages. Les chambres du côté amont de l'hôtel n'ont pas été utilisées du 23 mars au 3 avril en raison du danger d'avalanche de glissement.

Le 24 mars après-midi, une avalanche de glissement a enseveli le chemin de randonnée hivernale ouvert Zermatt-Zmutt. L'action de recherche n'a donné aucun résultat. Environ 10 jours plus tard, un signalement de disparition a déclenché une nouvelle recherche, et finalement, le corps d'une personne a été retrouvé (1 victime sur une voie de communication).

Dans la vallée de Saas, dans le Lötschental et dans la région d'Hérémence, de nombreuses gueules de baleines sont apparues, leurs départs ont été extrêmement rares.

Les tripodes ont donné de bons résultats, mais une augmentation de la rugosité du sol à l'aide de troncs horizontaux suffit éventuellement.

Dans plusieurs cas les minages n'ont pas réussi à déclencher une avalanche de glissement. Dans les rares cas où la plaque de neige a commencé à glisser elle s'est arrêtée après quelques mètres.

Les chemins de randonnée hivernale et les pistes de ski ont été partiellement fermés pour une longue durée en raison du danger d'avalanches de glissement.

4.4 Forêt de protection

En considération du nombre d'avalanches au cours de l'hiver 2017/18, on n'a constaté que peu de dégâts dans les forêts. Pendant la cartographie des avalanches, on a pourtant recensé de nombreuses petites avalanches et coulées dans les forêts ouvertes et en lisières des forêts (Fig. 152). Mais il n'est cependant pas possible d'identifier les petites avalanches en forêts plus denses, ce qui provient en partie des difficultés de la méthodologie de cartographie assistée par satellite dans une végétation dense. Parmi les 75 avalanches ayant provoqué des dommages en forêt qui ont été recensées, d'après le compte-rendu et les coordonnées indiquées, seuls dix décrochements se sont produits potentiellement en forêt. Par ailleurs, une vérification des données a indiqué qu'au moins 5 d'entre eux se sont produits juste en dehors de la forêt ou seulement en lisière, et que trois avalanches sont parties dans des tranchées forestières identifiées.

Pour permettre une évaluation grossière de l'efficacité de la forêt de protection malgré le très petit nombre d'avalanches forestières enregistrées pendant l'hiver 2017/2018, différents types d'avalanches ont été portés en Fig. 153 en fonction de la limite potentielle de la forêt. On y constate quelle proportion des différents types d'avalanches est partie en dessous de la limite potentielle de la forêt (donc dans la zone où la forêt de protection joue un rôle). La limite potentielle de la forêt a été évaluée pour chaque carré de 10 km de côté sur la base des arbres les plus élevés selon la statistique suisse



Fig. 152: Exemples d'avalanches avec décrochements à la lisière de la forêt (en haut à gauche, photo: SLF, 24.01.2018), de décrochements d'avalanches de glissement dans des zones partiellement boisées (en bas à gauche, photo: B. Jelk, 10.01.2018) et d'une avalanche de glissement partie de la forêt avec dépôt de neige sur la voie des Chemins de fer réthiques entre Rabiús et Sumvitg (à droite, photo: W. Cadosch, 4.1.2018).

de la superficie. Parmi les quelque 16900 avalanches cartographiées à l'aide des images satellitaires SPOT (période jusqu'au 23 janvier 2018, sans les déclenchements artificiels), environ 35 % étaient parties sous la limite potentielle régionale de la forêt. En association avec le faible nombre de départs d'avalanches en forêt, cela indique une contribution marquée de la forêt de protection à la réduction des dommages. La plupart des avalanches parties sous la limite potentielle de la forêt étaient des avalanches petites à moyennes ($< 1000 \text{ m}^3$). Les grandes à très grandes avalanches de neige meuble ou de plaque (taille 4 et 5) se sont par contre décrochées presque exclusivement au-dessus de la limite potentielle de la forêt (Fig. 153). La différenciation suivant le type et la taille indique donc que la forêt de protection a joué un rôle pendant l'hiver 2017/18 surtout pour réduire les avalanches de glissement et autres petites avalanches sous la limite potentielle de la forêt. Comme nous l'indiquons dans les sections suivantes, c'est en premier lieu une conséquence des conditions nivologiques et météorologiques dans la zone de la forêt de protection, relativement favorables au cours de l'hiver 2017/2018. Lors d'autres hivers avalancheux, le nombre d'avalanches ayant provoqué des dommages en provenance des zones forestières a été nettement plus élevé. Ainsi, la plage d'altitude des zones de départs des avalanches ayant provoqué des dommages dans le canton des Grisons pour les années 1950 à 2013 a été bien plus basse que celle de l'hiver 2017/2018 (Fig. 154).

Il existe différentes raisons à ce faible nombre d'avalanches en forêt, en comparaison avec des hivers avalancheux antérieurs. En comparaison avec les hivers avalancheux antérieurs, l'augmentation de la superficie forestière efficace et l'entretien actif des forêts de protection des zones de

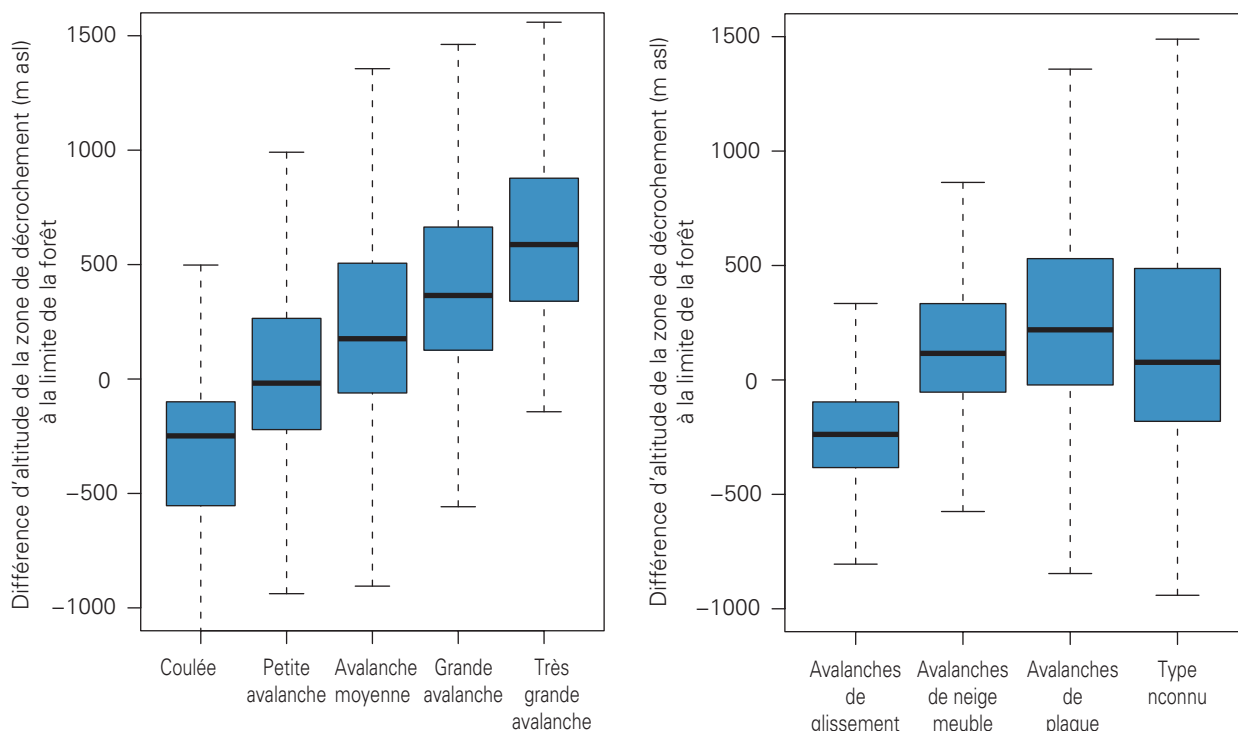


Fig. 153: Répartition de l'altitude des zones de décrochement des avalanches cartographiées suivant la limite régionale de la forêt. À gauche répartition suivant la taille d'avalanche, à droite suivant le type d'avalanche.

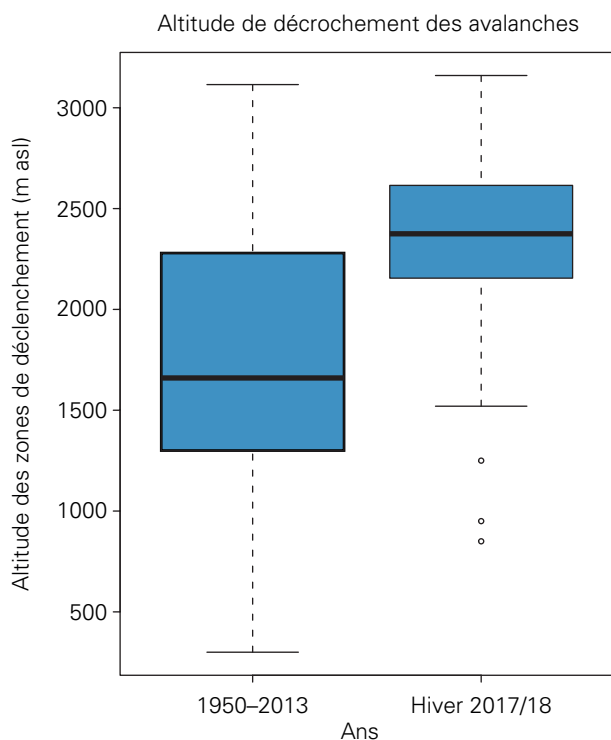


Fig. 154: Comparaison des altitudes de départ (m) des avalanches ayant provoqué des dommages pendant les années 1950 à 2013 (à gauche) avec les altitudes des départs (m) pendant l'hiver 2017/18 (source des données: StorMe).

départs exposées a sûrement joué un certain rôle. Toutefois, l'hiver avalancheux actuel 2018/19, avec à nouveau nettement plus de départs d'avalanches en forêt (même dans la zone de forêts purement de feuillus avec la proportion souhaitable de sapins), indique que le faible nombre d'avalanches en forêt pendant l'hiver 2017/18 ne peut pas être expliqué en premier lieu par cela, et que l'amélioration durable de la fonction de protection contre les avalanches reste une mission à long terme. Les conditions météorologiques ont donc été, aussi bien en 2018 que déjà en 1999, malgré d'importantes masses de neige au-dessus d'environ 1500 m, relativement favorables à une bonne efficacité de la forêt de protection (chapitre 2). La limite pluie-neige ayant été généralement en partie supérieure de la limite de la forêt, il n'y a pratiquement pas eu en 2018 de dispositions prises pour de grandes et très grandes avalanches en provenance des zones forestières. Par ailleurs, les montées et descentes répétées de la limite pluie-neige en dessous de 2000 m, et l'amélioration temporaire du temps le 20 janvier, ont contribué à ce qu'il n'y ait que rarement de manteau neigeux sans cohésion sur de grandes surfaces (comme ce fut le cas par exemple en janvier 1951), ce qui a renforcé l'efficacité de la forêt de protection. En limite supérieure de la forêt, c'est encore une fois la situation nivologique du 22 janvier 2018 qui a été relativement critique, lorsqu'il s'est mis à pleuvoir en toutes régions après de nouvelles chutes de neige marquées. Cependant, les départs d'avalanches de grande ampleur sont restés également rares pendant cette période.

Globalement, il est possible de tirer un bilan de bonne efficacité de la forêt de protection en janvier 2018, avec une amélioration de cette fonction au cours des dernières décennies dans de nombreux endroits. Il faut toutefois encore préciser que les conditions météorologiques et nivologiques au sein de la forêt n'ont pas été excessivement critiques pendant les périodes de précipitations et sur les principaux sites.

5 Contrôle d'efficacité

L'analyse des événements par le SLF «l'hiver avalancheux de 1999» et la brochure OFEFP «Apprivoiser le risque d'avalanches – les leçons de l'hiver avalancheux» avaient indiqué en 26 points les actions essentielles nécessaires pour éliminer les points faibles constatés en 1999 et pour continuer d'optimiser la protection contre les avalanches face aux défis futurs. Nous étudions ci-après comment la protection contre les avalanches a été améliorée au cours des 20 dernières années. Le contrôle d'efficacité (Tab. 15 à 19) se base d'une part sur les résultats de cette analyse des événements et d'autre part sur l'opinion d'experts, car pour plusieurs points il n'existe pas de données précises. L'épisode avalancheux de janvier 2018 ayant été très court, les avalanches n'étant descendues que de manière isolée jusqu'aux fonds de vallées à basse altitude, et les mesures prises depuis 1999 n'ayant ainsi pas été testées en tous points, les conclusions tirées à ce sujet restent limitées. Les premières idées de projets existaient déjà avant 1999 pour un grand nombre de points mentionnés. L'hiver avalancheux de 1999 a donc été un moteur pour continuer à faire avancer ces projets.

Tab. 15: Contrôle d'efficacité des mesures prises depuis 1999 et produits élaborés dans le domaine de la protection intégrale contre les avalanches et de la gestion des risques, en fonction des objectifs qui ont été formulés dans la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999).

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
1	Viser un niveau de sécurité comparable dans toute la Suisse	Les bases ont été déterminées pour cet objectif dans la stratégie PLANAT «Sécurité contre les dangers naturels» (PLANAT 2004, 2018) et dans la recommandation «Niveau de sécurité face aux dangers naturels» (PLANAT 2013, 2015).	Élaboration des bases, mise en œuvre dans la pratique largement réussie
2	Mettre à disposition les moyens financiers et humains pour la protection contre les dangers naturels de manière continue à tous les niveaux	Depuis 1999, la contribution annuelle de la Confédération pour la protection contre les dangers naturels atteint conformément à la LFo, environ 40 millions de francs.	Tâche permanente
3	Continuer à améliorer la protection intégrale contre les avalanches avec des solutions économiques	Les mesures organisationnelles en s'appuyant sur de bonnes bases de décision (entre autres stations de mesures, prévisions, planification des urgences) et des services des avalanches bien organisés ont fait de gros progrès depuis 1999. L'utilisation rigoureuse des cartes de danger dans l'aménagement du territoire et la non-constructibilité des zones avec aléa d'avalanche marqué ont été développées depuis 1999. Par ailleurs, des installations fixes de minage et d'alarme ont été mises en place de plus en plus depuis 1999. En janvier 2018 environ 200 à 250 installations fixes de minage et 30 dispositifs d'alarme pour la protection des voies de communication et des localités étaient en place. En 1999, il n'y avait que 25 installations de minage et 4 dispositifs d'alarme.	Accompli Tâche permanente

Tab. 16: Contrôle d'efficacité des mesures prises depuis 1999 et produits élaborés dans le domaine de la forêt de protection et des mesures d'exploitation forestière.

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
4	Garantir à long terme les ressources humaines et financières pour l'entretien des forêts de protection	Délimitation harmonisée de la forêt de protection en Suisse (SilvaProtect-CH). Dans le cadre de la PFN, l'entretien de la forêt de protection est financé conjointement par la Confédération et les cantons (forfait fédéral 5000 francs/ha; Contribution annuelle de la Confédération env. 70 millions de francs).	Tâche permanente
5	Les forêts de protection à peuplements instables doivent être rapidement entretenues et rajeunies	Chaque année, env. 9000 ha de forêt de protection sont entretenus. Publication et entrée en vigueur des instructions «Gestion durable des forêts de protection» en 2005 (Nais, Frehner et al 2005). Nais joue le rôle d'assurance qualité durable de l'entretien des forêts de protection. Mise à jour permanente depuis l'entrée en vigueur des instructions. La forêt privée, et la problématique de l'impact des animaux sur la forêt compliquent l'entretien des forêts de protection.	Tâche permanente
6	Mettre en place les mesures de protection nécessaires lorsqu'une forêt détruite présente un risque accru.	Après l'hiver 1999, de nombreuses surfaces forestières détruites ont été remplacées par des mesures techniques, et reboisées.	Tâche permanente

Tab. 17: Contrôle d'efficacité des mesures prises depuis 1999 et produits élaborés dans le domaine des mesures d'aménagement et des cartes de danger.

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
7	Élaborer les cartes de danger manquantes, vérifier les cartes de danger existantes et les mettre en œuvre dans l'aménagement du territoire	Après l'hiver 1999, de nombreuses cartes de danger ont été vérifiées et le cas échéant adaptées. En 2018, selon l'OFEV, 98 % des cartes de danger nécessaires ont été créées. Il n'a pas été possible de vérifier l'avancement de la mise en œuvre des cartes de danger dans l'aménagement du territoire sur tout le territoire suisse.	Accompli
8	Refuser en général la reconstruction des bâtiments endommagés dans les zones rouges de danger	Conformément à la Recommandation Aménagement du territoire et dangers naturels (2006), la reconstruction de bâtiments détruits ne doit être autorisée que dans des cas exceptionnels, avec des exigences particulières.	Une vérification de cette exigence n'a pas été réalisée.
9	Moderniser les directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire de 1984, et encourager l'utilisation des cartes de danger comme aide à la décision pour les fermetures et évacuations	La directive de 1984 n'a pas été modernisée. Le Rapport du WSL n° 47 complète la directive pour les glissements de neige et les petites avalanches (MARGRETH 2016). Des cartes d'interventions basées sur les cartes de danger ont été élaborées dans différents cantons.	Partiellement accompli; la mise à jour de la directive de 1984 n'est pas réalisée.
10	Mettre à jour la recommandation pour la prise en compte du danger d'avalanches pour les installations de transport touristiques	Le rapport du WSL «Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles» a été publié en 2015 (MARGRETH <i>et al.</i> 2015).	Accompli

Tab. 18: Contrôle d'efficacité des mesures prises depuis 1999 et produits élaborés dans le domaine des ouvrages paravalanches.

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
11	Garantir les moyens financiers pour la conservation des ouvrages paravalanches	Les cantons rédigent un document de gestion et un inventaire des ouvrages de protection, comme base d'évaluation des moyens financiers nécessaires. L'OFEV a publié en 2017 le modèle de géodonnées Ouvrages de protection contre les dangers naturels.	Tâche permanente: élaboration des bases, mises en œuvre non achevée dans tous les cantons
12	Rédiger des instructions pour pouvoir juger de la rentabilité des mesures constructives de protection contre les avalanches sur tout le territoire d'après des critères unifiés	L'outil en ligne EconoMe (actuellement version 4.0) pour l'évaluation de l'efficacité et de la rentabilité des mesures de protection a été développé sur la base du guide Concept de risque appliqué aux dangers naturels (OFEV 2019b; BRÜNDL ed. 2009).	Partiellement accompli; une édition définitive du guide Concept de risque devrait être effectuée.
13	Améliorer les bases de dimensionnement des digues paravalanches	Le SLF a publié en 2007 Dimensionnement de digues d'arrêt pour avalanches: Démarche à suivre (BAILLIFARD <i>et al.</i> 2007).	Accompli
14	Rédiger une aide à la décision pour les déclassements dans la zone d'influence des mesures de protection	La PLANAT a élaboré en 2009 dans le cadre de son plan d'action un projet de l'outil PROTECT, dans lequel est étudié l'efficacité des mesures de protection (ROMANG ed. 2008).	Partiellement accompli, les aspects d'aménagement du territoire pas encore mis en œuvre dans la pratique, et mise en œuvre non harmonisée: une mise à jour et une version définitive de cet outil doit être effectuée.
15	Améliorer la protection contre les avalanches des principales voies de communication par des mesures économiquement viables	L'OFROU a effectué une analyse des dangers, et effectué une analyse de risque des routes nationales avec l'instrument RoadRisk. Les études et la réalisation des mesures de protection sont en cours. En 2015, l'aide pratique pour la mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce pour les dangers naturels gravitaires a été publiée (SÄTTELE et BRÜNDL 2015; voir également point 3).	Tâche permanente: bases élaborées, mise en œuvre en cours, différente suivant les exploitants d'infrastructures. Il existe des déficits pour les voies ferrées, les routes cantonales et communales.

Tab. 19: Contrôle d'efficacité des mesures prises depuis 1999 et produits élaborés dans le domaine des mesures organisationnelles et de la prévision d'avalanches.

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
16	Sécuriser le financement de la prévision d'avalanches nationale et régionale, et améliorer la formation des responsables de la sécurité	L'OFEV a largement participé depuis 1999 au financement de la prévision d'avalanches (y compris la formation), et soutient financièrement les services de prévision d'avalanches locaux dans le cadre d'accords de programme avec les cantons. Le SLF propose depuis 2000 des cours de formation pour les responsables de la sécurité, avec deux niveaux et en trois langues.	Tâche permanente: Pour sécuriser à long terme le financement par l'OFEV, il faut mieux ancrer dans la loi cette mission avec une adaptation du droit sur les dangers naturels.

N°	Objectifs selon la brochure «Apprivoiser le risque d'avalanches» (OFEFP 1999; cases jaunes)	Mesures et produit	État
17	Améliorer les informations nécessaires et les aides à la décision pour les services d'alerte	En janvier 2018, 180 stations IMIS étaient en service, elles n'étaient que 103 en 1999. Le Système intercantonal de préalerte et d'information en cas de crises (IFKIS) a été mis en place après 1999, puis il a été partiellement remplacé en 2017 par la plate-forme commune d'information GIN. Le Guide pratique – «Le travail au sein du service des avalanches» a été publié en 2007.	Largement accompli. GIN est jugé par les services de prévision d'avalanches comme partiellement adapté à la pratique (notamment l'accès aux données de mesure) Vérifier la mise à jour du Guide pratique «Le travail au sein du service des avalanches»
18	Sécuriser les moyens financiers pour la recherche fondamentale et la modélisation	Le SLF a continué les recherches avec ses propres ressources financières.	Tâche permanente
19	Améliorer l'information du grand public sur la situation avalancheuse.	Depuis 2012, le bulletin d'avalanches est diffusé deux fois par jour en quatre langues. Dans de nombreuses communes, il est possible d'accéder aux informations sur la situation avalancheuse par l'intermédiaire de différents canaux (par exemple SMS). Le portail des dangers naturels www.dangers-naturels.ch a été créé comme source d'informations supplémentaire. En outre, les alertes sont diffusées via les applis du SLF (WhiteRisk) et de MétéoSuisse.	Tâche permanente
20	Construire un réseau de spécialistes des avalanches compétents dans les régions concernées	Le personnel des services des avalanches a été généralement augmenté par rapport à 1999, et les relations entre les différentes organisations mieux réglées.	Tâche permanente; les nouvelles réglementations représentent un défi important et doivent être abordées le plus tôt possible.
21	Garantir la communication avec, et l'approvisionnement de la population dans les localités isolées	L'alimentation en électricité a été améliorée depuis 1999 dans de nombreuses vallées menacées par les avalanches. L'approvisionnement n'a pas été un point critique en janvier 2018, il n'a pas été étudié.	Non étudié
22	Optimiser la collaboration entre les cellules de crise, la police, les pompiers, la protection civile et l'armée	En 2018, en général meilleures structures pour affronter les événements critiques (été et hiver); des états-majors sont parfois intervenus dans les communes.	Non étudié
23	Harmoniser les subventions des services fédéraux et cantonaux pour pouvoir assister les sinistrés sans bureaucratie	N'a pas été étudié.	Non étudié
24	Améliorer la détection précoce et la coordination de l'ensemble des dangers naturels	Création du «Comité de direction Intervention dangers naturels (LAINAT)». En cas d'événements combinés, l'état-major spécialisé entre en fonction. L'état-major spécialisé n'a pas dû être activé en janvier 2018.	Tâche permanente
25	Mettre en œuvre les cartes de danger rapidement dans les plans d'utilisation des sols	Après 1999, de nombreuses cartes de dangers ont été retravaillées et mises en œuvre dans l'aménagement du territoire. Cela a très probablement permis d'éviter des dommages aux biens en 2018. Une quantification n'est cependant pas possible; voir également point 7.	Accompli (voir également point 7)
26	Minimiser le risque résiduel à l'aide d'une gestion intégrale des risques à des coûts proportionnés	La gestion intégrale des risques est désormais établie, et elle est mise en œuvre par les acteurs. L'élimination des risques avalancheux non admissibles est bien avancée dans les cantons et dans le domaine de responsabilité institutionnel. Le risque résiduel est supporté par les assurances, et en dernier recours par la responsabilité individuelle.	Accompli en grande partie Tâche permanente

6 Résultats et actions requises

6.1 Résultats

En janvier 2018, il est tombé des quantités exceptionnelles de neige (2 à 3 m entre le 17 et le 23 janvier 2018; Durée de retour 15–30 ans) et une situation avalancheuse exceptionnelle s’est mise en place. Pour la première fois depuis 1999, le danger d’avalanches a été estimé à «très fort», c’est-à-dire le plus haut degré de danger, pour des régions étendues de l’espace alpin. Par la suite, de multiples très grandes avalanches sont descendues, en de nombreux endroits jusqu’aux voies de communication et aux localités. Comme il a plu à basse altitude, et que le manteau neigeux était humide, les longueurs d’étalement des très grandes avalanches n’ont pas été exceptionnelles en de nombreux endroits. Cela a conduit, en combinaison avec de très bonnes mesures préventives des responsables locaux de la sécurité, à des dommages relativement faibles. Au total, nous n’avions connaissance à la fin janvier 2019 que d’environ 141 avalanches ayant provoqué des dommages sur des bâtiments, des voies de communication, des véhicules, des lignes électriques ou des installations de transport, des forêts ou des champs entre le 3 et le 23 janvier 2018. Cinquante-trois avalanches ont été suivies d’une opération de recherche ou d’évacuation. Aucune victime n’a été déplorée.

L’analyse des événements effectuée sur mandat de l’OFEV a montré que les mesures exigées après l’hiver avalancheux 1998/1999 ont été en grande partie réalisées. Elles ont largement fait leurs preuves. Il faut cependant prendre en considération que les épisodes avalancheux de janvier 2018 n’ont pas atteint l’ampleur, et de loin, de ceux de l’hiver avalancheux de 1999. Une comparaison directe n’est donc possible que de manière limitée.

En particulier, les cumuls de précipitations de 2018 ont été inférieurs à ceux de 1999. Janvier 2018 a été par ailleurs bien plus doux que février 1999. C’est pourquoi les précipitations de 2018 sont souvent tombées à basse et moyenne altitude sous forme de pluie. Ainsi, on a observé un enneigement nettement inférieur en dessous d’environ 1300 m qu’en février 1999, et en dessous d’environ 2000 à 2200 m, le manteau neigeux s’est humidifié en surface en fin de précipitations.

L’isotherme du zéro degré élevé et la pluie jusqu’à de hautes altitudes en janvier 2018 pourraient amener à la conclusion que ces phénomènes sont associés au réchauffement climatique. Il faut cependant remarquer qu’un événement unique comme la situation avalancheuse de janvier 2018 ne permet pas d’établir une relation avec les changements climatiques. Les 19 et 20 février 1999 également, la limite pluie-neige est remontée provisoirement jusqu’à des altitudes supérieures à 2000 m. Lors des derniers épisodes de grosses chutes de neige en janvier 2019, les températures étaient par contre basses. L’impact du réchauffement climatique sur l’activité avalancheuse est en général peu clair.

Les épisodes avalancheux de janvier 2018 ont généralement été bien maîtrisés par les services de prévision d’avalanches, même si la limite pluie-neige parfois élevée et variable a constitué un défi supplémentaire, car cette pluie à basse altitude a déclenché également des phénomènes de types glissements de terrain, laves torrentielles et chutes de pierres.

La prévision d’avalanches du SLF a bien fonctionné. La vérification des prévisions sur la base des données satellitaires a montré que dans une très grande partie des régions où le danger avait été prévu «très fort», ce degré maximal de danger était adapté. Dans quelques régions d’alerte, le danger a été légèrement sur ou sous-estimé.

Les ouvrages de protection et les mesures d’aménagement du territoire (délimitation des zones de danger) ont fait en général leurs preuves, même si des améliorations ponctuelles sont nécessaires. Ainsi, quelques déclenchements importants ont été observés dans des ouvrages paravalanches.

La forêt de protection a bien rempli sa fonction, mais la situation avalancheuse de 2018 n’a pas été un événement typique permettant d’étudier l’efficacité de protection de la forêt de manière approfondie. De très nombreuses avalanches se sont déclenchées au-dessus de la limite de la forêt.

L’évaluation des images satellitaires pour la documentation et l’analyse des événements a fait ses preuves et a permis de produire un jeu unique de données.

Les améliorations essentielles depuis 1999 peuvent être résumées de la façon suivante:

- La prévision d’avalanches a été renforcée au niveau national et régional. Aujourd’hui, des bulletins d’avalanches sont diffusés deux fois par jour en quatre langues. Ceci contribue également à une meilleure information du grand public. Ces améliorations ont fonctionné parfaitement pendant l’épisode avalancheux de janvier 2018.
- Les données d’observation et des modèles à la disposition des services des avalanches ont été améliorées. Le nombre de stations IMIS a été pratiquement doublé depuis 1999, et les lacunes du réseau de mesure ont pu être réduites. Par ailleurs le Système intercantonal de préalerte et d’information en cas de crises (IFKIS) a été mis en place, puis il a été partiellement remplacé en 2017 par la Plate-forme commune d’information sur les dangers naturels GIN.
- Un concept de formation pour les responsables de la sécurité a été mis en place. Le SLF propose depuis l’an 2000 des cours de formation pour les responsables de la sécurité, avec deux niveaux et en trois langues.
- Pour les services de prévision d’avalanches, le guide pratique «Le travail au sein du service des avalanches» a été rédigé en 2007. Ce guide indique les exigences de base pour les activités d’un service de prévision d’avalanches.
- La protection de nombreuses routes et localités a pu être améliorée à moindres coûts grâce à une forte augmentation du nombre d’installations fixes de minage ou d’alarme. Les bases de décisions améliorées depuis 1999 et les services de prévision d’avalanches bien organisés ont largement contribué à une meilleure protection.
- Après l’hiver avalancheux de 1999, les cartes de danger ont été vérifiées et le cas échéant adaptées. En janvier 2018, les limites des cartes de danger n’ont jamais été dépassées dans la direction principale d’écoulement.
- Le guide pratique pour la «Prise en compte du danger d’avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles» a été publié en 2015. En janvier 2018, seulement quatre installations ont été endommagées par les avalanches ou la pression de la neige.
- La mise en place de l’outil en ligne EconoMe en 2008, sur la base du guide Concept de risque appliqué aux dangers naturels de la PLANAT permet de déterminer l’efficacité et la rentabilité des mesures de protection selon des critères harmonisés.
- L’outil PROTECT, publié en 2008 en version préliminaire (Romang 2008) permet de quantifier l’efficacité des mesures de protection selon des critères harmonisés.
- Les conclusions sur l’hiver avalancheux de 1999 ont été prises en compte lors de la mise à jour de la directive technique sur les «Constructions d’ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement» en 2007. Les ouvrages endommagés lors de l’hiver 2018 avaient été construits en grande partie avant 2007. En outre, le guide de Dimensionnement de digues d’arrêt pour avalanches a été publié en 2007.
- La simulation des avalanches a pu être améliorée avec l’introduction des modèles numériques. En 1999 AVAL-1D a été introduit dans la pratique et a été suivi en 2010 par le modèle de simulation bi-dimensionnel RAMMS. Les modèles numériques de simulation permettent une évaluation complète du danger d’avalanches. Les observations de l’hiver avalancheux de 1999 ont pu être pris en compte pour l’étalonnage des modèles numériques de simulation d’avalanches.
- La fonction des forêts de protection a pu être améliorée par leur entretien en de nombreuses régions au cours des dernières décennies. Après l’hiver 1999, de nombreuses surfaces forestières détruites ont été remplacées par des mesures techniques, et reboisées. Dans le cadre de la LFo, le sous-programme Forêts protectrices finance l’entretien de celles-ci (y compris la prévention et la lutte contre les dommages forestiers, et la prévention de l’abroutissement au sein du périmètre de la forêt protectrice) dans le cadre des conventions-programmes quadriennuelles de la Confédération et des cantons. La Confédération affecte les moyens aux cantons sur la base de l’indice des forêts protectrices. Cet indice est un résultat du projet SilvaProtect-CH, lancé en 2004. À cette occasion, les forêts protectrices de la Suisse ont été délimitées pour la première fois avec des méthodes harmonisées sur l’ensemble du territoire. Cette objectivité favorise un entretien de la forêt protectrice au «bon endroit». Le guide «Gestion durable des forêts de protection» publié en 2005 (Nais, FREHNER *et al.* 2005), sert de base pour une assurance qualité durable de l’entretien de ces forêts. Des progrès ont été obtenus depuis 1999 dans l’étude des interactions entre avalanches et forêts, et permettent de mieux prendre en compte la structure forestière dans les modèles de simulation.

- La collaboration des services spécialisés de la Confédération dans le domaine des dangers naturels a été améliorée par la création du «Comité de direction Intervention dangers naturels (LAINAT)».

6.2 Contexte juridique et financements

Les améliorations et projets mentionnés ci-dessus ont été soutenus par l'OFEV, en collaboration avec les cantons, avec des indemnités et des aides financières. La sécurisation contre les avalanches des localités et des axes de communication est une mission commune de la Confédération, des cantons et des communes depuis des siècles. La Confédération accorde des indemnités et des aides financières pour les mesures constructives, organisationnelles et d'aménagement du territoire pour la protection contre les avalanches à hauteur d'environ 10 millions de francs par an. Ajoutées aux contributions des cantons et des communes, ce sont annuellement quelque 25 millions de francs qui sont investis dans toute la Suisse pour la protection contre les avalanches. Viennent s'ajouter chaque année 70 millions de francs de contributions de la Confédération et une participation des cantons à la même hauteur pour l'entretien des forêts de protection. Environ 20 % de ces sommes sont nécessaires pour la protection contre les avalanches.

Le SLF est chargé des prévisions d'avalanches pour la Suisse. Le financement s'effectue d'une part sur le budget du WSL (moyens du domaine des EPF) et d'autre part grâce à des contributions de l'OFEV. Depuis une vingtaine d'années, des contrats de prestation sont établis en ce sens entre le SLF et l'OFEV. Jusqu'à présent, ce financement a globalement suffi à assurer les prestations demandées. Cependant, si la contribution de l'OFEV venait à manquer, la prévision d'avalanches devrait être limitée de manière draconienne, et le standard actuel avec deux bulletins par jour et des prestations supplémentaires ne serait plus assuré.

Les bases juridiques (Loi fédérale sur les forêts du 4 octobre 1991 et Ordonnance sur les forêts du 30 novembre 1992) permettent de garantir une protection contre les avalanches au sens d'une gestion intégrale du risque par les pouvoirs publics. La base juridique pour l'aide financière accordée au SLF doit être améliorée afin de garantir le fonctionnement du Service de prévision d'avalanches.

6.3 Actions nécessaires

Conjointement aux évolutions positives mentionnées ci-dessus dans la protection contre les avalanches, la situation avalancheuse exceptionnelle de janvier 2018 a montré clairement que des améliorations sont possibles dans différents domaines. Nous synthétisons ci-après les actions nécessaires les plus importantes. Elles sont en partie une conséquence directe de l'analyse de la situation avalancheuse de janvier 2018. Par ailleurs, certains points mentionnés découlent de l'expérience accumulée et des évolutions observées depuis 1999.

Protection intégrale contre les avalanches

Mesures d'aménagement du territoire et cartes de danger

- Les «Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire» de l'année 1984 doit être retravaillée. Il faut intégrer, comme pour l'aide à l'exécution mouvements de masse de 2016, le nouveau standard de l'évaluation des dangers également pour les avalanches (modélisations, etc.).

Mesures constructives

- Différents départs d'avalanches à partir de zones de décrochements équipées de paravalanches ont rappelé que des avalanches isolées peuvent survenir malgré ces dispositifs; il n'existe pas de protection absolue. Quelques dommages sur les ouvrages paravalanches montrent clairement que l'importance de l'entretien de ces ouvrages sera de plus en plus grande.

Forêt de protection

- Les interventions d'entretien de la forêt de protection doivent être prévues selon des priorités claires. Les résultats de l'analyse d'efficacité sur des placettes témoins doivent être mis en œuvre. Dans ce contexte, il faut également tenir compte de la problématique de l'abroussement.

Prévision d'avalanches et mesures organisationnelles

- L'organisation et la collaboration entre les états-majors communaux, les services des avalanches, les forces d'intervention, etc. ainsi qu'avec les autres acteurs (communes, routes, voies ferrées, trains de montagne) doivent continuer à être améliorées. Il faut notamment préciser la répartition des compétences, qui par exemple est responsable pour les bâtiments isolés.
- Les exigences accrues sur la sécurité demandent globalement une poursuite de la professionnalisation des services des avalanches, surtout en ce qui concerne les ressources temporelles et en personnel. Celles-ci doivent être garanties durablement. La sécurisation de la continuité et le maintien de la longue expérience des services des avalanches présentent un grand défi dans de nombreuses communes, et doivent être abordés le plus rapidement possible.
- Il existe toujours un besoin de rédaction de plans d'urgence, de cartes d'interventions et de concepts de sécurité dans les communes. Ainsi, dans de nombreux cas, la conduite à tenir avec les habitants de maisons isolées ou de mayens n'est pas claire. Des réglementations pour les fermetures et évacuations doivent être élaborées.
- Les systèmes d'information et les bases de décision pour les services des avalanches doivent être encore améliorés. Ces systèmes doivent être accessibles sur les appareils mobiles.
- La plate-forme commune d'information sur les dangers naturels GIN doit faire l'objet d'un nouvel examen critique et être encore développée en ce qui concerne son aptitude à une utilisation dans la pratique. Une version pour les appareils mobiles doit être développée.
- L'intégration des données de nouveaux systèmes, notamment des installations de détection, dans les systèmes d'information pour les services des avalanches doit être encouragée.
- Des directives sont nécessaires pour le déclenchement artificiel des avalanches en cas d'épisodes de fortes chutes de neige. Il faut également déterminer quand et où les systèmes de détection en combinaison avec des systèmes fixes de déclenchement des avalanches sont indispensables.
- La gestion des épisodes de chute de neige avec une limite pluie-neige élevée doit être intégrée dans les cours de formation des services des avalanches. La pluie aux altitudes inférieures peut entraîner par ailleurs des glissements de terrain, des laves torrentielles ou des chutes de pierres.

Gestion intégrale des risques

- Les bases spécialisées et aides de mise en œuvre d'une gestion intégrale des risques doivent être vérifiées périodiquement et adaptées à l'état actuel des connaissances. On peut citer les deux guides «Concept de risque appliqué aux dangers naturels» (Bründl 2009) et «Efficacité des mesures de protection» (ROMANG 2008), disponibles aujourd'hui seulement comme versions préliminaires des années 2008 resp. 2009. L'édition définitive de ces outils doit donc être entreprise rapidement.
- L'attente d'une sécurité absolue est une illusion. La population doit être sensibilisée à la gestion des risques résiduels et du rôle d'une responsabilité individuelle bien appliquée.
- L'importance croissante des mesures organisationnelles dans le cadre d'une gestion intégrale des risques demande par ailleurs que les mesures prises soient largement acceptées par la population, notamment que les fermetures soient respectées sans réserve.

Recherche

- La cartographie des avalanches grâce aux images satellitaires dans le cadre de cette analyse des événements a démontré le grand potentiel de la télédétection. La pertinence de différentes méthodes de télédétection pour la détermination de l'activité avalancheuse doit continuer d'être évaluée. Il faudra en déduire des recommandations pour l'acquisition de données lors des épisodes avalancheux futurs.
- La gestion des avalanches de glissement (et de manière isolée des nouveaux phénomènes comme les écoulements de neige détrempée) constitue des défis importants pour les services des avalanches. L'étude des causes et du développement temporel de la neige glissante doit être intensifiée. Le SLF devrait initier un ou plusieurs projets de recherche sur ce thème, et les réaliser en collaboration avec des acteurs du terrain (SILS).

- L'influence des changements climatiques sur l'activité avalancheuse future devrait être étudiée de manière détaillée. Aujourd'hui, nous ne savons pas encore quel rôle joueront le réchauffement annoncé et la légère évolution des régimes de précipitations pour l'activité avalancheuse, notamment lors d'épisodes de fortes chutes de neige.

Bases légales

- Les bases légales doivent être améliorées pour sécuriser le financement à long terme de la prévision d'avalanches par le SLF.
- Le concept de gestion intégrale des risques doit être ancré dans la législation sur les dangers naturels.

7 Littérature

- BAILLIFARD, M.; KERN, M.; MARGRETH, S., 2007: Dimensionnement de digues d'arrêt pour avalanches WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos.
- BOZZINI, C.; CONEDERA, M.; KREBS, P., 2012: A new monoplottting tool to extract georeferenced vector data and orthorectified raster data from oblique non-metric photographs. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1, 3: 500-518. doi: 10.1260/2047-4970.1.3.499.
- BRÜNDL, M. (Ed.) 2009: Concept de risque appliqué aux dangers naturels – Guide. Plate-forme nationale «Dangers naturels» PLANAT, Berne. 420 p.
- COAZ, J.W.F., 1889: Der Lawinenschaden im schweizerischen Hochgebirge im Winter und Frühjahr 1887-88. Stämpflische Buchdruckerei Berne, 67 p.
- COAZ, J.W.F., 1910: Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen. Stämpfli, Bern.
- DERAGISCH, A.; CATHOMAS, F.; FLEPP, M.; CATHOMEN, S.; GIGER, B.; CADOSCH, W.; CAVEGN, P.; FLEPP, O., 2018: Regionaler Lawinendienst Tujetsch Zusammenfassung der Jahresberichte 2017/18 Gemeinde Tujetsch, Gemeinde Sumvitg, Gemeinde Medel, Gemeinde Disentis/Mustér, Andermatt-Sedrun Sport AG, Rhätische Bahn, Matterhorn Gotthard Bahn, Tiefbauamt Graubünden Bezirk 6, Pro Lucmagn.
- EAWS, 2017: Avalanche Danger Scale. EAWS – European Avalanche Warning Services, www.avalanches.org/education/avalanche-danger-scale (Dernier accès le 11.8.2018).
- FREHNER, M.; WASSER, B.; SCHWITTER, R., 2005: Gestion durable des forêts de protection Soins sylvicoles et contrôle des résultats: instructions pratiques, l'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 564 p.
- GERSTENGARBE, F.-W.; WERNER, P.-C.; RÜGE, U., 1999: Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 - 1998). D'après Paul Hess et Helmuth Brezowsky. 5^e Auflage. Potsdam/Offenbach a. M.
- La Plate-forme nationale «Dangers naturels» (PLANAT), 2004. Stratégie «Sécurité contre les dangers naturels» – Vision et stratégie
- LATERNSE, M.; AMMANN, W., 2001: Der Lawinenwinter 1951. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152: 25–35.
- MARGRETH, S., 2007: Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement. Aide à l'exécution: directive technique. L'environnement pratique n° 0704. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos. 101 p.
- MARGRETH, S., 2016: Ausscheiden von Schneegleiten und Schneedruck in Gefahrenkarten WSL Ber. 47:
- MARGRETH, S.; STOFFEL, L.; SCHAER, M., 2015: Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles. Une méthodologie pour la pratique. WSL Ber. 28: 43 p.
- MAYER, S.; VAN HERWIJNEN, A.; ULIVIERI, G.; SCHWEIZER, J., 2018: Evaluating the performance of operational infrasound avalanche detection systems at three locations in the Swiss Alps during two winter seasons, *Proceedings ISSW 2018. International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 7–12 October 2018*, 611–615.
- OFEFP, 1999: Apprivoiser le risque d'avalanches. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 27 p.
- OFEFP/WSL, 1990. Directive pour la Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement. OFEFP, Direction fédérale des forêts, Berne, WSL Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, Davos
- OFEV, 2019a: Cadastre des événements naturels StorMe. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne.
- OFEV, 2019b: EconoMe 4. Rentabilité des mesures de protection contre les dangers naturels. www.econome.admin.ch. Dernier accès le 3.5.2019.
- PLANAT 2013: Niveau de sécurité face aux dangers naturels. Plate-forme nationale „Dangers naturels” PLANAT, Berne. 15 p.
- PROTOOLS, 2016: <https://www.slf.ch/fr/services-et-produits/prottools.html>
- ROMANG, H. (Ed.) 2008: Efficacité des mesures de protection techniques (PROTECT). Plate-forme nationale «Dangers naturels». PLANAT, Berne. 289 p.
- SÄTTELE, M.; BRÜNDL, M., 2015: Guide pratique pour l'utilisation de systèmes de préalerte dans le domaine des dangers naturels gravitationnels. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Office fédéral de la protection de la population (OFPP), Berne: 64 p.

- SCHWARZ, W., 1968: Grenzen des modernen Lawinenverbaus im Anrissgebiet. Schweizerische Bauzeitung, 86, 31.
- SIA, 2014: Actions sur les structures porteuses Norme suisse 505261. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.
- SLF (Hrsg.) 2000: Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 588 S. ISBN 3-905620-80-4.
- STOFFEL, L., 2004: Déclenchement artificiel d'avalanches: questions juridiques et d'assurances. Guide pratique. Connaissance de l'environnement. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 31 p.
- STOFFEL, L., 2013: Vergleich der Sprengmethoden: Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyssen Sprengmast, Avalancheur. Davos: WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF.
- STOFFEL, L.; SCHWEIZER, J., 2007: Guide pratique Le travail au sein du service des avalanches: Organisation, évaluation du risque local d'avalanche, et documentation. Münster, Schweizerische Interessengemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS); Davos, WSL Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches SLF Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV. 8 p.
- STOFFEL, L.; MARGRETH, S., 2012: Beurteilung von Sekundärlawinen bei künstlicher Lawinenauslösung. Guide pratique Umwelt-Wissen: Vol. 1222. Berne: Office fédéral de l'environnement (OFEV).
- WOHLGEMUTH, T.; SCHWITTER, R.; BEBI, P.; SUTTER, F.; BRANG, P., 2017: Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. Eur. J. Forest. Res. 136: 1029–1040
- WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF (éditeur), 2017 Aide à l'interprétation du bulletin d'avalanches. Edition décembre 2017. WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. 52 p.
- WSL, OFEFP, 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Analyse de l'événement/ Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL. 365 p.