







Heft 32, 2015

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses

L'année hydrologique 2013/14

Thomas Stucki

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

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

Heft 32, 2015
WSL Berichte
ISSN 2296-3456

Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses

L'année hydrologique 2013/14

Thomas Stucki

Éditeur
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Responsable de l'édition:
Dr. Jürg Schweizer

Citation:
STUCKI, T., 2014: Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses. L'année hydrologique 2013/14. Davos, WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, 33 p. WSL Ber. 32. 2296-3456 (Online)

Traduction:
TTN Translation Network, Genève, Suisse

Référence:
http://www.slf.ch/lawineninfo/wochenbericht/2013-14/Jahresbericht/index_FR

Bases de données:
Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche: Réseaux de mesures du SLF et de MétéoSuisse, Bulletins d'avalanches du SLF.

Photos de couverture (du haut vers le bas):
Le versant sud des alpes était très bien enneigé. A diverses reprises, de nouveaux records journaliers de hauteurs de neige ont été mesurés comme, par exemple, à San Bernardino, GR, à environ 1600 m (photo: SLF/T. Stucki, 08.02.2014).

Un des nombreux jours avec tempête de foehn au Bunderspitz (2456 m, BE) (photo: P. Allenbach, 28.02.2014).

Lors d'un simple test de compression du manteau neigeux réalisé en janvier, une rupture s'est produite dans la couche fragile proche du sol. Dans la majeur partie du sud du Bas-Valais et dans certaines parties des Grisons, le problème des couches anciennes du manteau neigeux était typique jusqu'à fin février. (photo: SLF/W. Steinkogler, 21.01.2014 dans la région de Davos/GR).

Dans la majeur partie du sud du Bas-Valais et dans certaines parties des Grisons, les avalanches ont été déclenchées, la plus part du temps, dans les couches profondes de la neige ancienne proche du sol (photo: SLF/S. Margreth, 13.12.2013 dans la région de Davos/GR).

Table des matières

1 Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses. L'année hydrologique 2013/14 **4**
Évolution des hauteurs de neige 6
Constitution du manteau neigeux 15
Activité avalancheuse 22
Degrés de danger 29
Bulletins d'avalanches 31
Été (juin à septembre 2014) 32

1 Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses. L'année hydrologique 2013/14

Résumé de l'hiver 2013/14 (octobre 2013 à mai 2014)

– *Mince manteau neigeux jusqu'à Noël*
Dès les mois d'octobre et novembre, il a neigé à diverses reprises jusqu'à moyenne altitude dans toutes les régions. Le manteau neigeux était cependant mince partout jusqu'à la période de Noël. Ce mince manteau neigeux s'est métamorphosé en grands cristaux anguleux et sans cohésion. Ces conditions ont donné lieu à la formation d'une couche de neige fragile défavorable dans la base du manteau neigeux. Dans certaines régions, cette couche a joué un rôle dans la formation d'avalanches tout au long de l'hiver.

– *Quantité exceptionnelle de neige sur le versant sud des Alpes*
La succession de situations de barrage météorologique côté sud a apporté de la neige en abondance sur le versant sud des Alpes, surtout à partir de la période de Noël (avec des cumuls de précipitations atteignant 200 à 250% des quantités normales) (cf. figure 1). Entre fin décembre et début février, plusieurs stations de mesure du Tessin, de Haute-Engadine et des vallées du sud des Grisons ont enregistré à diverses reprises de nouveaux records journaliers de hauteur de neige. Les valeurs se situaient entre 2 et 3 mètres. Les maximas journaliers absolus d'hivers antérieurs n'ont toutefois été dépassés à aucune station.
S'il on considère l'ensemble de l'hiver, les hauteurs de neige dans le Tessin et dans les vallées du sud des Grisons atteignaient pratiquement le double de la valeur normale, tandis que dans le sud du Valais, elles étaient légèrement supérieures à la moyenne. Les hauteurs de neige étaient inférieures dans les autres régions et particulièrement faibles dans les Préalpes.

– *Manteau neigeux stable tout particulièrement sur le versant sud des Alpes où la neige était abondante*
Avec les grandes masses de neige tombées sur le versant sud des Alpes, le manteau neigeux s'est stabilisé dès le mois de janvier. La couche fragile de base du début de l'hiver a été recouverte d'une grande épaisseur de neige et a dès lors perdu de son importance dans ces régions. Les avalanches se décrochaient dans les couches supérieures de neige, surtout en cas de précipitations intensives répétées. L'évolution du manteau neigeux était également favorable dans les régions du nord touchées par le foehn. Des tempêtes de foehn successives ont balayé partiellement la couche fragile de base du début de l'hiver, augmentant ainsi la variabilité du manteau neigeux.



FIGURE *1* – De décembre à février, il a neigé fréquemment et parfois intensivement sur le versant sud des Alpes. A diverses reprises, de nouveaux records journaliers de hauteurs de neige ont été mesurés, comme par exemple à San Bernardino, GR, à environ 1600 m (photo: G. Kappenberger, 08.02.2014).

– *Constitution défavorable marquée du manteau neigeux dans le sud du Valais et dans le nord des Grisons*
Le sud du Valais et le nord des Grisons, qui forment en grande partie des régions intra-alpines, sont connus pour une constitution défavorable du manteau neigeux. Au cours de l'hiver, cette constitution défavorable était très marquée, tout particulièrement dans les régions du Valais (cf. figure 2). La neige tombée à partir de Noël recouvrait la couche de base fragile du début de l'hiver. Le danger d'avalanche s'est ainsi nettement aggravé et est resté au degré marqué (degré 3) pendant une période d'une durée inhabituelle, atteignant dans certaines régions deux mois, une situation délicate pour les adeptes des sports de neige.

– *Fréquence inhabituelle du degré de danger 1 (faible)*
Le bulletin d'avalanches a été diffusé quotidiennement du 28 novembre 2013 au 3 avril 2014. Bien que dans plusieurs régions, le degré de danger 3 (marqué) ait été utilisé de manière ininterrompue relativement longtemps, la fréquence de ce degré de danger dépasse à peine la valeur pluriannuelle. En revanche, le degré de danger 1 (faible) a été utilisé beaucoup plus souvent que la normale, et surtout pendant la période avant Noël ainsi qu'en mars et en avril.



FIGURE *2* – Au moment où le photographe s'engageait sur cette pente, une fissure est apparue dans le manteau neigeux en produisant un bruit sourd. Le fondement fragile du manteau neigeux s'est brisé et la rupture s'est propagée à toute la pente. La plaque de neige ne s'est pas décrochée parce que la pente était relativement plate. Le risque de déclenchement d'avalanche de plaque de neige dans la neige ancienne a prévalu pendant une longue période, surtout dans le sud du Valais, comme ici dans la région de Siviez-Nendaz (photo: X. Fournier, 10.01.2014).

– *Moins de victimes d'avalanche que la moyenne pluriannuelle*
  Le nombre total de victimes se situait à fin mai avec 17 décès légèrement en dessous de la moyenne pluriannuelle. Pour l'ensemble de l'année hydrologique, qui se termine le 30 septembre, la moyenne des 20 dernières années est de 22 tués dans des avalanches.
– *Activité d'avalanches de neige mouillée plutôt faible*
  L'humidification du manteau neigeux a commencé début mars. En dépit du fondement fragile du manteau neigeux dans certaines régions, il n'y a pas eu de période particulièrement intensive d'avalanches de neige mouillée.

Résumé été 2014 (juin à septembre 2014)

– *Températures de l'air*
  Le mois de juin était trop chaud et trop sec, juillet était trop frais, trop couvert et trop humide, août était trop frais et trop couvert et septembre était plus doux, plus ensoleillé et plus sec que la normale.
  Alors qu'en général en Suisse et dans les parties occidentales de l'Europe, les températures de l'air pour les mois de juin, juillet et août étaient inférieures à la norme des années 1981 à 2010, elles étaient au niveau mondial de 0.71 ˚C (± 0.12 ˚C) au-dessus de la norme de la période 1901 à 2000. Depuis le début des mesures vers 1880, ce trimestre était le plus chaud jamais enregistré au niveau mondial (source: MétéoSuisse).
– *Conditions hivernales en haute montagne*
  Il n'y a eu que deux épisodes de quelques journées au cours desquels l'isotherme zéro degré a nettement dépassé les 4000 m. Par conséquent, les conditions étaient hivernales en haute montagne au-dessus d'environ 3500 à 3800 m avec des chutes de neige répétées et parfois abondantes.
– *Seulement peu de neige à haute altitude*
  Au cours de sept périodes, il a neigé à haute altitude, mais les quantités de neige fraîche y sont restées faibles. La neige fraîche fondait à chaque fois rapidement, mais un peu moins vite sur les pentes exposées au nord.
– *Plus de victimes d'avalanche que la moyenne pluriannuelle*
  Un danger accru d'avalanche s'est essentiellement concentré sur la haute montagne, et plus particulièrement aux altitudes supérieures à 3500 à 3800 m. Le 19 juillet, quatre alpinistes ont perdu la vie dans deux accidents d'avalanche et, le 4 août, un autre accident d'avalanche mortel s'est produit. La moyenne pluriannuelle pour les mois de juin à septembre est de deux tués.

Évolution des hauteurs de neige

Hauteurs relatives de neige

Dès le mois d'**octobre**, il a neigé à haute altitude et en haute montagne au cours de quatre périodes et, à la mi-octobre, même à partir des altitudes moyennes. Pendant la période de précipitations la plus intensive du 10 au 13 octobre, par exemple, le cœur des précipitations se situait sur le centre du versant sud des Alpes, dans le Rheinwald et dans l'Avers où l'on enregistrait de 80 à 120 cm de neige fraîche. Les maxima de hauteur de neige ont été atteints vers le milieu du mois et se situaient sur une grande partie du territoire entre 20 à 50 cm, et dans le Tessin ainsi que dans les Grisons généralement entre 50 à 80 cm. De nombreuses stations de mesure dans toutes les régions des Alpes suisses ont relevé de nouveaux maxima de hauteur de neige pour les jours compris entre le 11 et le 15 octobre. La période de récurrence d'un manteau neigeux à cette époque est en moyenne de 17 ans en dessous de 1600 m et en moyenne de 8 ans au-dessus de cette altitude.

En **novembre** également, il a neigé à diverses reprises dans toutes les régions. La période de précipitations la plus intensive a duré du 19 au 23 novembre, et elle a apporté de 80 à 120 cm de neige dans la zone principalement touchée allant de la région du Simplon jusque dans l'ouest du Tessin. En Valais ainsi que sur l'ouest et le centre du versant nord des Alpes, les hauteurs de neige atteignaient des valeurs supérieures aux moyennes saisonnières (cf. figure 3). Sur l'est du versant nord des Alpes et dans les Grisons, elles correspondaient généralement aux valeurs saisonnières, tandis que dans le Tessin, elles étaient plutôt inférieures. Les altitudes moyennes mais également les basses altitudes étaient relativement bien enneigées. Entre 500 et 1000 m d'altitude, il y avait à la fin du mois de 10 à 20 cm environ de neige fraîche sur une grande partie du versant nord des Alpes. A 1500 m, les hauteurs de neige atteignaient de 20 à 50 cm sur une grande partie du territoire, tandis qu'en Engadine et dans les vallées du sud des Grisons, elles étaient plus faibles. A 2000 m, on mesurait sur les plans horizontaux abrités du vent de 50 à 80 cm de neige sur le versant nord des Alpes, dans la région du Simplon et dans le val Bedretto, et de 30 à 50 cm dans une grande partie des autres régions.

Les deux premières décades de **décembre** étaient marquées par peu de précipitations, beaucoup de soleil et des températures souvent douces. Le manteau neigeux était par conséquent mince. Le 20 décembre, la hauteur de neige était nettement inférieure à la moyenne saisonnière dans toutes les régions. Au cours des fêtes de Noël, il a enfin neigé, et même intensivement sur le versant sud des Alpes. Les hauteurs de neige fraîche tombée en un jour, le jeudi 26 décembre, étaient particulièrement exceptionnelles. La station de mesure San Bernardino, Grisons (6SB, 1640 m) a enregistré la valeur la plus élevée en 63 ans de relevés, à savoir 120 cm ! A Bosco Gurin, Tessin (6BG, 1530 m), les 110 cm de neige fraîche étaient la troisième valeur la plus élevée mesurée en 65 ans. En Haute-Engadine également, on atteignait des quasi-records: à la Diavolezza (7DI, 2090 m), les 82 cm de neige fraîche constituaient la deuxième valeur la plus élevée depuis 69 ans, et à Maloja (7MA, 1810 m), les 86 cm de hauteur de neige étaient la troisième valeur la plus élevée. Les périodes de récurrence d'un tel phénomène varient entre 25 à 250 ans. Les sommes de neige fraîche tombée en 2 ou 3 jours au cours de cet épisode ne correspondaient cependant plus qu'à des périodes de récurrence comprises entre 6 et 50 ans.
Alors que les hauteurs de neige sur le versant sud des Alpes à la fin du mois de décembre étaient nettement supérieures aux valeurs moyennes, grâce aux fortes chutes de neige, le bilan pour l'ensemble du mois (cf. figure 3) est cependant resté modeste. Dans la plupart des régions, les hauteurs de neige n'atteignaient que des valeurs inférieures aux données moyennes. Les parties méridionales du Valais, l'Oberland bernois et la Haute-Engadine étaient les mieux enneigés pour la saison.

En **janvier**, les chutes de neige étaient à nouveau les plus abondantes dans les régions du sud où elles ont donné lieu à de grandes hauteurs de neige. La période de précipitations les plus intensives a duré du 2 au 6 janvier. Les régions les plus touchées se situaient dans l'ouest du Bas-Valais, dans le nord et le centre du Tessin, en Haute-Engadine ainsi que dans les vallées du sud des Grisons, où l'on a enregistré de 40 à 60 cm, et parfois jusqu'à 80 cm de neige fraîche. Depuis la vallée de Conches jusqu'en Haute-Engadine et dans les vallées du sud des Grisons en passant par le Tessin et le Rheinwald, les hauteurs de neige atteignaient des valeurs supérieures aux données moyennes (cf. figure 3). Plusieurs stations ont relevé de nouveaux maxima de hauteur de neige pour ces journées. En Valais et dans l'Oberland bernois ainsi que dans le nord des Grisons, les hauteurs de neige atteignaient plus ou moins les valeurs moyennes, tandis que plus au nord, elles étaient nettement inférieures à ces valeurs.

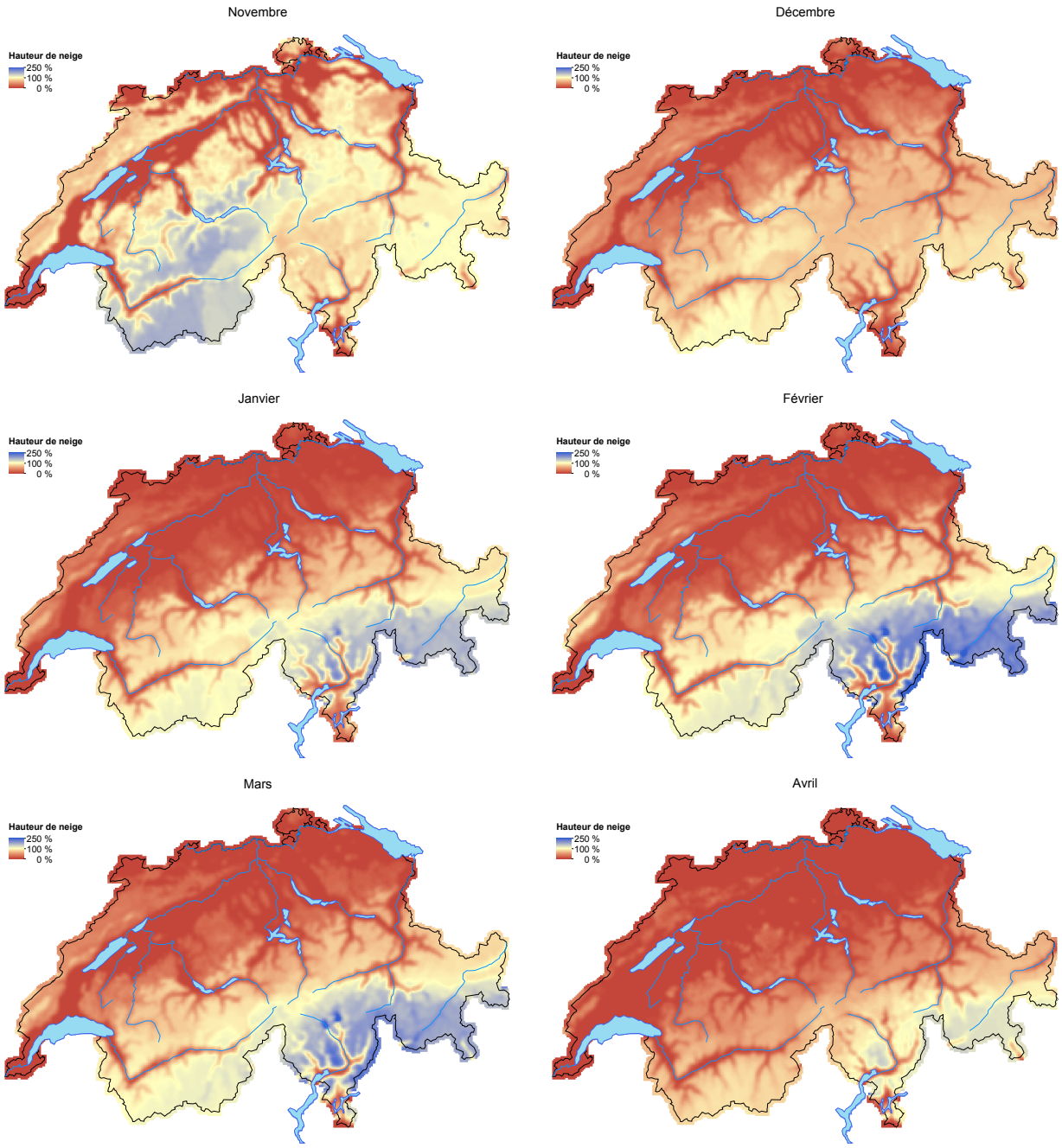


FIGURE *3* – Hauteurs de neige comparées aux moyennes pluriannuelles (1971-2000). Les graphiques montrent les pourcentages d'écart des hauteurs mensuelles moyennes de neige de l'hiver 2014, à l'altitude de la station, par rapport à la moyenne pluriannuelle de la période de 1971 à 2000. Les hauteurs de neige inférieures aux valeurs moyennes sont indiquées en rouge et les hauteurs supérieures aux valeurs moyennes en bleu. Les données proviennent des stations avec observateur du SLF, des stations de MétéoSuisse ainsi que des stations automatiques du réseau IMIS (Système intercantonal de mesure et d'information). Lors de l'interprétation, il y a lieu de tenir compte du fait que seuls les modèles à grande échelle sont intéressants. Il convient de ne pas donner une importance excessive aux échantillons de données à petite échelle ou aux grands écarts entre les valeurs. Dans la section *Sélection de stations avec observateur* (cf. page 9), l'évolution de la hauteur de neige dans le temps est indiquée pour différentes stations.

En **février** également, plusieurs périodes de précipitations se sont succédé avec de courts intervalles sur le versant sud des Alpes et y ont apporté de grandes quantités de neige. La période de précipitations les plus intensives a duré du 2 au 6 février, et a apporté dans la zone la plus touchée, à savoir la région du Simplon ainsi que le nord et le centre du Tessin, de 140 à 180 cm de neige. Globalement, en février, plusieurs stations du nord et du centre du Tessin ont enregistré de 3 à 3,5 mètres de neige

fraîche. Le mois de février dans son ensemble et ces régions plus particulièrement ont bénéficié des quantités de neige fraîche les plus importantes au cours de l'hiver 2013/14. En comparaison avec les valeurs moyennes, les hauteurs de neige étaient similaires à celles du mois de janvier, à la différence qu'elles étaient encore plus fortement supérieures aux données moyennes dans les régions allant de la vallée de Conches jusqu'en Haute-Engadine et dans les vallées du sud des Grisons en passant par le Tessin et le Rheinwald. Sur le versant sud des Alpes, on a relevé pour de nombreux jours de nouvelles hauteurs maximales de neige. En revanche, tout particulièrement dans les Préalpes, les hauteurs de neige sont restées nettement inférieures aux valeurs moyennes (cf. figure 3).
Les sommes de neige fraîche de novembre 2013 à février 2014 affichaient des valeurs record à de nombreuses stations influencées par des courants de secteur sud. Les quelques stations qui effectuent des relevés depuis 1951 affichaient toutefois les valeurs les plus élevées au cours de ce fameux hiver avalancheux. Le décompte des jours avec de la neige fraîche jusqu'à fin février montre par ailleurs que dans les régions relativement élevées du versant sud des Alpes, il a neigé un jour sur deux depuis le début des précipitations aux alentours de la période de Noël.

En **mars**, il a neigé au début et à la fin du mois et principalement depuis la région du Simplon jusque dans l'ouest du Tessin ainsi que sur l'est du versant nord des Alpes, dans le nord du Tessin et en Haute-Engadine avec à chaque fois de 60 à 80 cm de neige fraîche. Pour le reste, le mois de mars était caractérisé par un temps ensoleillé et doux. Les hauteurs de neige pour l'ensemble du mois par rapport aux données saisonnières étaient similaires en mars tout comme en janvier (cf. figure 3). Début mars également, certaines stations du sud ont enregistré de nouveaux maxima de hauteur de neige, mais ces hauteurs ont ensuite diminué nettement à cause de la fonte surtout aux altitudes moyennes. Sur le versant nord des Alpes, les hauteurs de neige atteignaient vers la fin du mois des valeurs nettement inférieures aux données moyennes. Quelques rares stations avec de longues séries d'années de relevés enregistraient de nouveaux minima de hauteur de neige.

Des quantités relativement grandes d'environ un mètre de neige sont tombées en trois jours en **avril** pendant une seule période de précipitations qui a eu lieu à la fin du mois. Cela concernait surtout la crête principale des Alpes depuis la vallée de Zermatt jusque dans la vallée de Conches. Dans les régions du sud où la neige était jusqu'alors la plus abondante, les hauteurs de neige se rapprochaient rapidement des moyennes pluriannuelles, tandis que dans les autres régions, elles restaient nettement inférieures à ces valeurs (cf. figure 3).

En **mai**, de grandes quantités de neige sont tombées surtout à haute altitude en Valais, sur le versant nord des Alpes et dans les Grisons. Parallèlement, la diminution de la hauteur de neige se poursuivait même si c'était à un rythme ralenti au début et au milieu du mois à cause de la descente de l'isotherme zéro degré en dessous de 2500 m.

Les hauteurs moyennes de neige pour **l'ensemble de l'hiver** sont comparables à la configuration de janvier à avril: Sur le versant sud des Alpes et en Haute-Engadine ainsi que dans les régions directement avoisinantes en direction du centre des Grisons, les hauteurs de neige étaient nettement supérieures aux données moyennes (près du double de la normale), tandis que dans le sud du Valais, elles étaient légèrement supérieures. Dans les autres régions, les hauteurs de neige étaient inférieures aux moyennes pluriannuelles, et tout particulièrement dans les Préalpes et dans les grandes vallées alpines (cf. figure 4), où l'on a parfois atteint seulement près de 50% des moyennes pluriannuelles. Le grand gradient observé dans le centre des Grisons et dans la région du Gothard est remarquable.
Dans les données pluriannuelles, on ne retrouve que peu d'hivers au cours desquels on enregistrait des quantités de neige fraîche plus importantes qu'en 2013/2014 entre novembre et avril, sur le versant sud des Alpes. Pour la plupart des stations, l'hiver 1950/1951 arrive en première position. Pour les stations de Haute-Engadine, les hivers 2000/2001 et 2008/2009 étaient caractérisés par des quantités de neige fraîche encore plus importantes. Le nombre de jours avec de la neige fraîche n'était néanmoins pas particulièrement élevé sur le versant sud des Alpes au cours de l'hiver 2013/2014. C'est ainsi, par exemple, que l'on dénombre tant à Davos (1560 m) qu'à San Bernardino (1640 m) approximativement 60 jours de neige fraîche entre novembre et avril. Cela ne s'est cependant traduit à Davos que par une somme de neige fraîche de seulement 318 cm, alors qu'à San Bernardino le cumul atteignait 994 cm. La raison réside dans le grand nombre de précipitations intensives sur le versant sud des Alpes. On a enregistré ainsi au cours de cet hiver à San Bernardino 11 épisodes de chutes de neige de plus de 30 cm, alors qu'à Davos les plus importantes chutes de neige n'avaient apporté que 18 cm de neige fraîche. Dans le Tessin, en revanche, ce n'est que le matin du 26 décembre que quelques stations ont mesuré plus de 100 cm de neige fraîche.
Selon les données de MétéoSuisse, la période de

novembre 2013 à avril 2014 était trop chaude d'environ 1 à 2 ˚C. C'est surtout l'excédant de chaleur de janvier et février de 2,5 à 4 ˚C sur le Plateau qui explique pourquoi, à certains endroits, il n'y a pas eu le moindre jour de neige (jour avec une hauteur de neige d'au moins 5 cm). Seul l'hiver 1989/90 était à cet égard encore moins enneigé sur le Plateau. Bien que les basses altitudes du versant sud des Alpes aient totalisé un nombre de jours de neige inférieur à la moyenne, le nombre absolu à Locarno (7 jours de neige) atteignait pour une fois plus du double de celui de Zurich (3 jours de neige).
Selon une étude de MétéoSuisse (Bulletin climatologique hiver 2013/14, allemand), il y a eu au cours de l'hiver 2013/14 quarante jours caractérisés par une situation météorologique avec des vents de secteur sud-ouest ou sud sur les Alpes suisses. Cette fréquence est la plus élevée depuis le début des relevés des données au cours de l'hiver 1957/58. Ces fréquentes situations avec des vents de secteur sud qui se sont traduites sur le versant sud des Alpes par de grandes quantités de neige ont donné lieu dans le nord à des conditions de faible enneigement avec des situations de foehn, des températures douces et peu de précipitations.

Sélection de stations d'observation

Les graphiques suivants reprennent à chaque fois l'évolution des hauteurs de neige relevées quotidiennement et comparées à la hauteur de neige la plus élevée mesurée chaque jour à cette station, au minimum absolu et à la moyenne pluriannuelle. Le nombre d'hivers depuis le début des relevés jusqu'en 2014 est mentionné dans la légende. Les observateurs effectuent en général des mesures entre le 1er novembre et le 30 avril. Les régions avec une évolution comparable des hauteurs de neige au cours de l'hiver 2014 sont regroupées et décrites sur la base de stations représentatives.

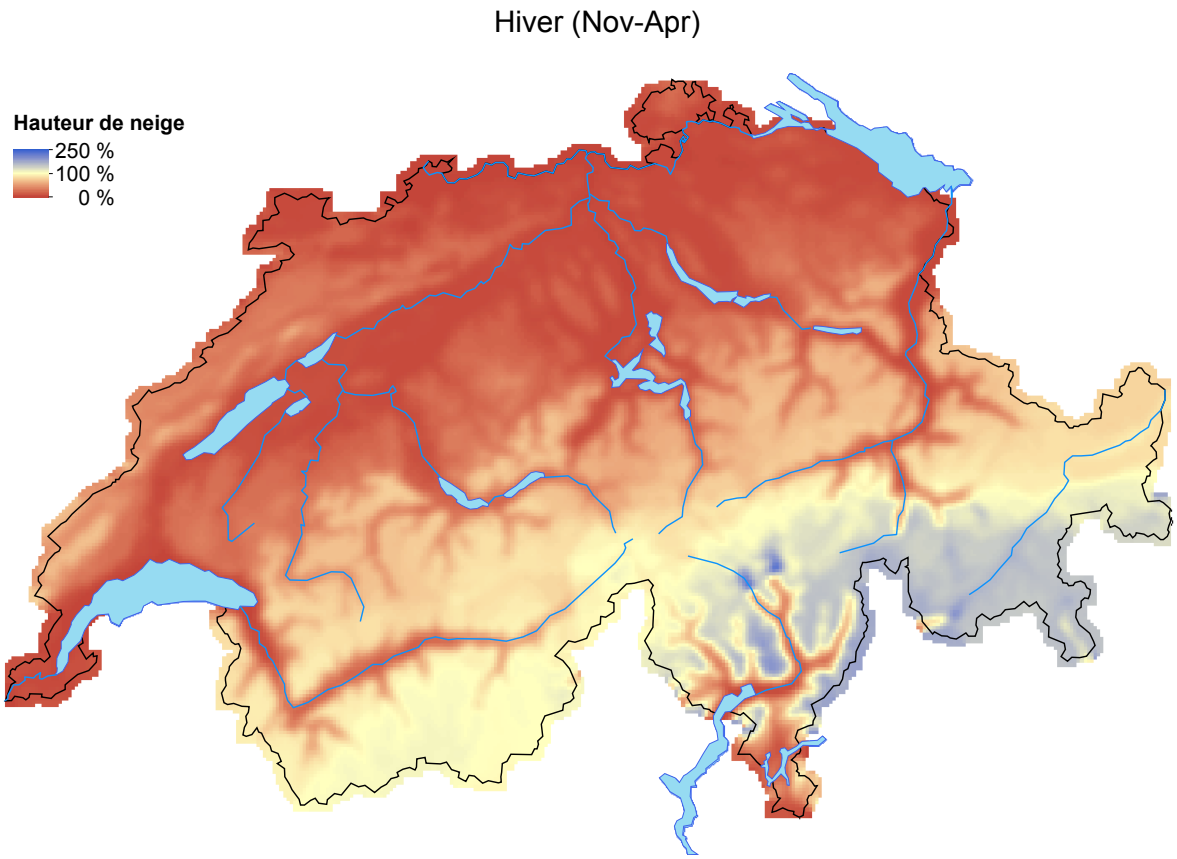


FIGURE *4* – Hauteurs de neige sur toute la période hivernale (novembre à avril) comparées aux moyennes pluriannuelles (1971-2000).

Versant nord des Alpes:

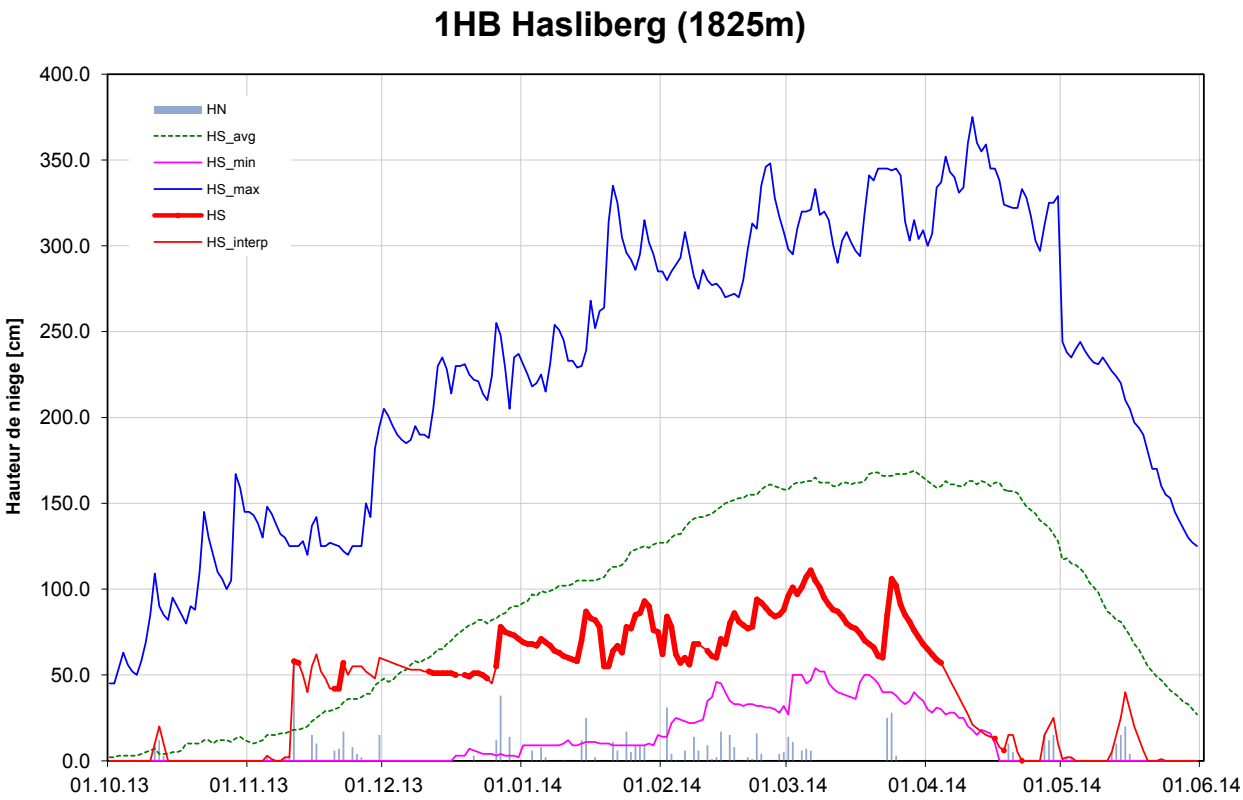


FIGURE *5* – Evolution des hauteurs de neige à la station 1HB, Hasliberg, BE, 1825 m (55 hivers). La figure reprend la hauteur de neige (courbe rouge, gras: mesure, HS; non gras: valeur interpolée, HS_interp), la neige fraîche (barres grises, HN), les hauteurs de neige maximales pluriannuelles (courbe bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales pluriannuelles (courbe violette, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes pluriannuelles (courbe verte, HS_avg).

L'évolution des hauteurs de neige sur le versant nord des Alpes peut être suivie à l'appui de la station comparative Hasliberg, 1825 m (cf. figure 5).
La plus grande hauteur de neige fraîche de l'hiver a été mesurée le 11 novembre et s'élevait à 58 cm. Dès le 9 novembre, cette station comparative était enneigée, tout comme la plupart des stations du versant nord des Alpes. La neige fraîche des 11 et 12 octobre, qui recouvrait une grande partie du versant nord des Alpes, est indiquée sur la figure 5. La neige avait entièrement disparu sur le champ de mesure le 22 avril. Alors qu'en novembre les hauteurs de neige étaient encore supérieures aux données moyennes, elles sont passées en dessous des moyennes pluriannuelles en décembre. La hauteur de neige fraîche le plus importante a été mesurée le 11 novembre avec 58 cm. Deux tiers des jours de l'hiver, on n'a relevé aucune neige fraîche (cf. table 1). Le maximum de hauteur de neige a été mesuré le 6 mars avec 111 cm. Les 14 et 15 avril, de nouveaux minima de hauteur de neige ont été relevés pour ces jours.
La teneur en eau maximale de l'ensemble du manteau neigeux n'a atteint que précisément la moitié de la moyenne pluriannuelle et est avec 447 mm la 4e valeur la plus basse enregistrée à cette station en 44 ans.

TABLE *1* – Statistiques relatives à la station Hasliberg 1HB, Hasliberg, BE, 1825 m (55 hivers) avec la durée d'enneigement permanent [jours] et le nombre de mesures de neige fraîche [cm] par catégorie [cm].

Enneigement	09.11.2013	**Neige fraîche (cm)**	**0**	**0.1-10**	**11-20**	**21-30**	**31-50**	**≥51**
Fonte totale	22.04.2014	**Nombre de jours**	106	39	14	3	2	1
Durée	165	**Fréquence %**	64.2	23.6	8.5	1.8	1.2	0.6

Valais:

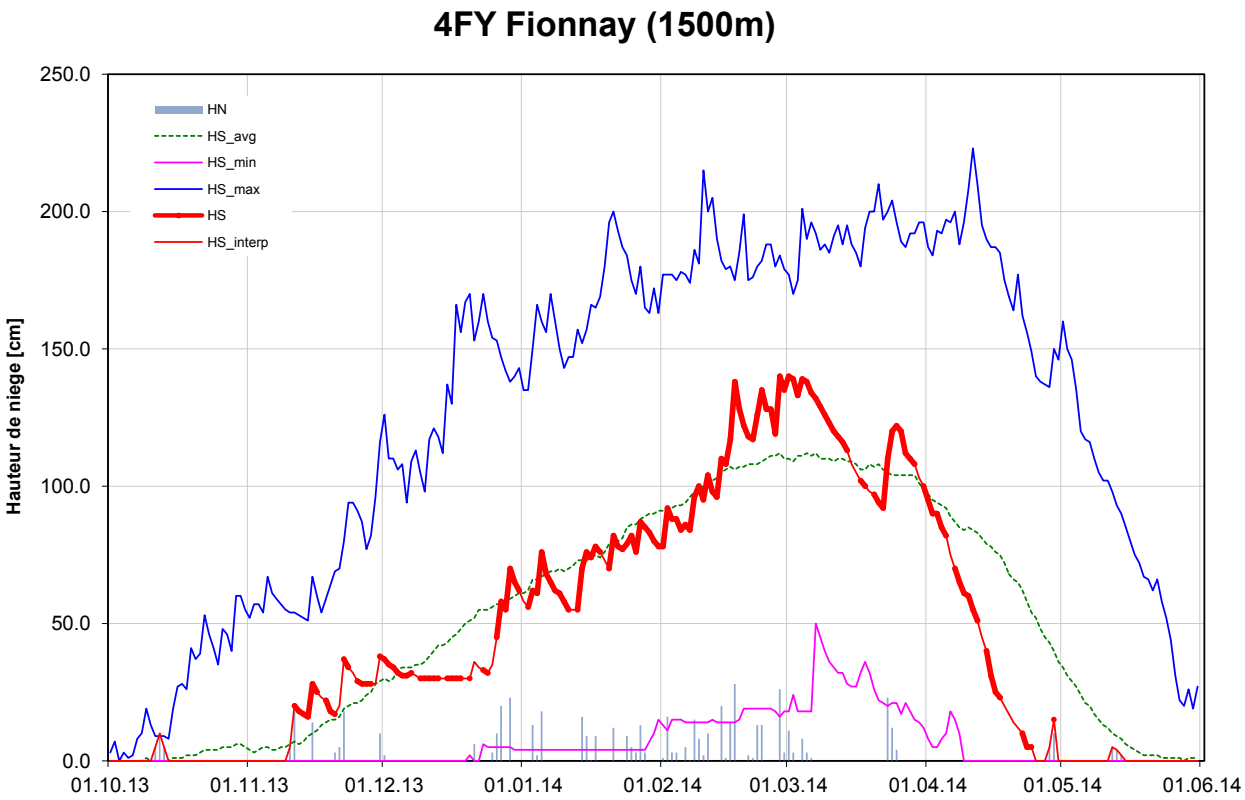


FIGURE *6* – Evolution des hauteurs de neige à la station 4FY, Fionnay, VS, 1500 m (54 hivers). La figure reprend la hauteur de neige (courbe rouge, gras: mesure, HS; non gras: valeur interpolée, HS_interp), la neige fraîche (barres grises, HN), les hauteurs de neige maximales pluriannuelles (courbe bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales pluriannuelles (courbe violette, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes pluriannuelles (courbe verte, HS_avg).

L'évolution des hauteurs de neige en Valais peut être suivie à l'appui de la station comparative Fionnay, 1500 m (cf. figure 6).
Les hauteurs de neige dans le nord du Valais étaient généralement inférieures aux valeurs moyennes: Comme à d'autres stations, l'enneigement a eu lieu le 10 novembre. Après des hauteurs de neige supérieures aux valeurs moyennes en novembre, les valeurs sont restées nettement en dessous des moyennes pluriannuelles jusqu'à la période de Noël en raison des conditions météorologiques sèches. Les chutes de neige de fin décembre ont amélioré l'enneigement et les hauteurs de neige sont restées voisines des moyennes pluriannuelles jusqu'à la mi-février. Jusqu'à mi-mars, les valeurs étaient ensuite supérieures aux données moyennes. Le maximum de hauteur de neige a été atteint les 27 février et 1er mars, avec 140 cm. La fonte du manteau neigeux est intervenue relativement rapidement à un rythme moyen de 4 cm par jour entre le 25 mars et le 25 avril. Le champ de mesure était sans neige le 25 avril (cf. table 2).
Il a neigé environ un tiers des jours avec des hauteurs de neige de 21 à 30 cm dans 4 cas, de 11 à 20 cm dans 17 cas et de 10 cm ou moins dans 37 cas (cf. table 2).

TABLE *2* – Statistiques relatives à la station Fionnay 4FY, Fionnay, VS, 1500 m (54 hivers) avec la durée d'enneigement permanent [jours] et le nombre de mesures de neige fraîche [cm] par catégorie [cm].

Enneigement	10.11.2013	**Neige fraîche (cm)**	**0**	**0.1-10**	**11-20**	**21-30**	**31-50**	**≥51**
Fonte totale	25.04.2014	**Nombre de jours**	109	37	17	4	0	0
Durée	167	**Fréquence %**	65.3	22.2	10.2	2.4	0	0

Nord des Grisons, parties septentrionales du centre des Grisons, Basse-Engadine:

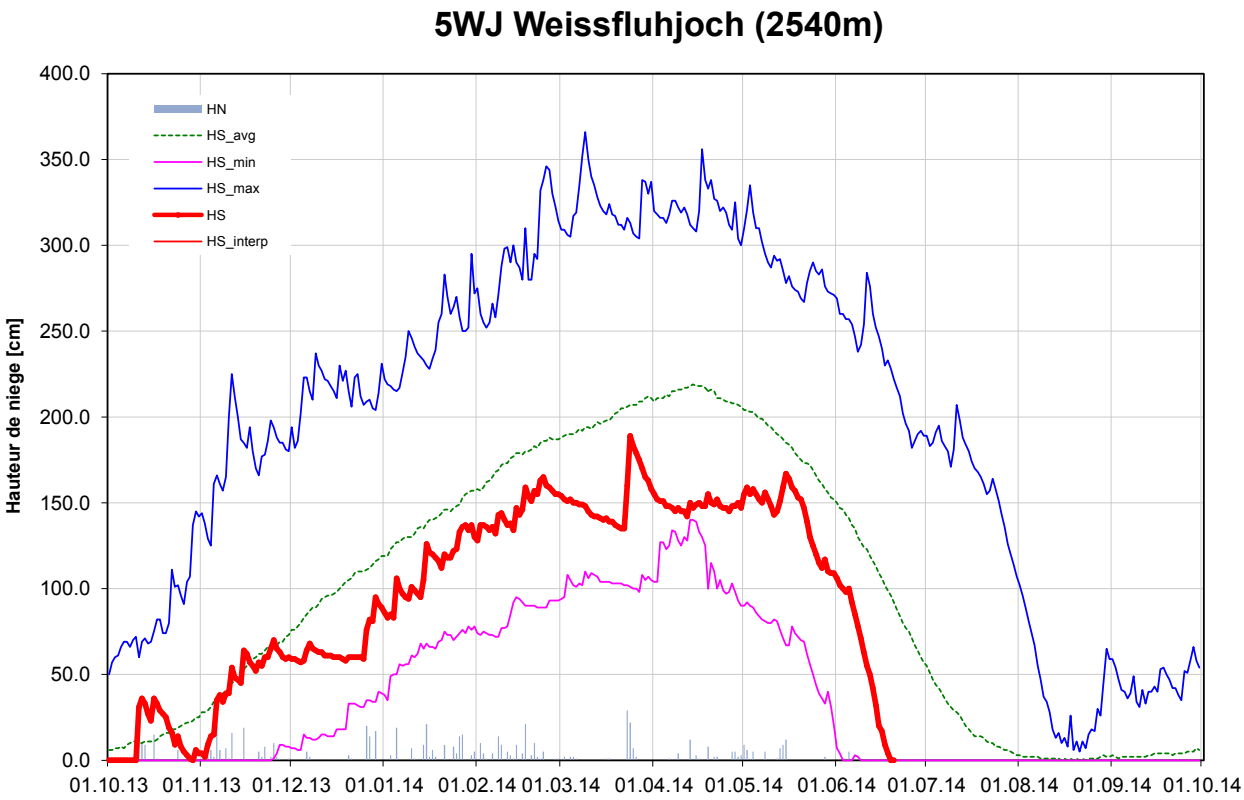


FIGURE *7* – Evolution des hauteurs de neige à la station 5WJ, Weissfluhjoch, GR, 2540 m (81 hivers). La figure reprend la hauteur de neige (courbe rouge, gras: mesure, HS; non gras: valeur interpolée, HS_interp), la neige fraîche (barres grises, HN), les hauteurs de neige maximales pluriannuelles (courbe bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales pluriannuelles (courbe violette, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes pluriannuelles (courbe verte, HS_avg).

L'évolution des hauteurs de neige dans le nord des Grisons ainsi qu'en Basse-Engadine peut être suivie à l'appui de la station comparative Weissfluhjoch, 2540 m (cf. figure 7).
Le champ de mesure a été enneigé dès le 11 octobre avec les premières chutes de neige de l'année hydrologique. La hauteur de neige atteignait 36 cm. Pour un jour, à savoir le 29 octobre, la neige avait à nouveau entièrement disparu, mais elle s'est immédiatement remise à tomber. En novembre, les hauteurs de neige correspondaient généralement aux moyennes pluriannuelles, et par la suite elles sont restées inférieures à ces valeurs jusqu'à la fin de l'hiver. La hauteur de neige maximale a été atteinte le 24 mars avec 189 cm. Le maximum moyen est atteint le 14 avril, soit trois semaines plus tard. C'était également le moment de la plus grande hauteur minimale de neige. Celle-ci n'a été manquée que de 7 cm. La fonte de la neige au cours de la seconde moitié du mois de mai est intervenue à un rythme accéléré. Le dernier mètre a fondu en l'espace de 14 jours (soit environ 7 cm par jour). Le 19 juin, il n'y avait plus de neige sur le champ de mesure. La date moyenne de fonte totale est le 9 juillet, soit trois semaines plus tard.
En moyenne, il a neigé un jour sur deux (cf. table 3). La plus grande quantité de neige fraîche a été relevée le 11 octobre, avant l'enneigement, mais elle ne s'élevait qu'à 32 cm.

TABLE *3* – Statistiques relatives à la station Weissfluhjoch 5WJ, Davos, GR, 2540 m (81 hivers) avec la durée d'enneigement permanent [jours] et le nombre de mesures de neige fraîche [cm] par catégorie [cm].

Enneigement	30.10.2013	**Neige fraîche (cm)**	**0**	**0.1-10**	**11-20**	**21-30**	**31-50**	**≥51**
Fonte totale	19.06.2014	**Nombre de jours**	124	93	12	4	0	0
Durée	233	**Fréquence %**	53.2	39.9	5.2	1.7	0	0

Versant sud des Alpes, Haute-Engadine, parties méridionales du centre des Grisons:

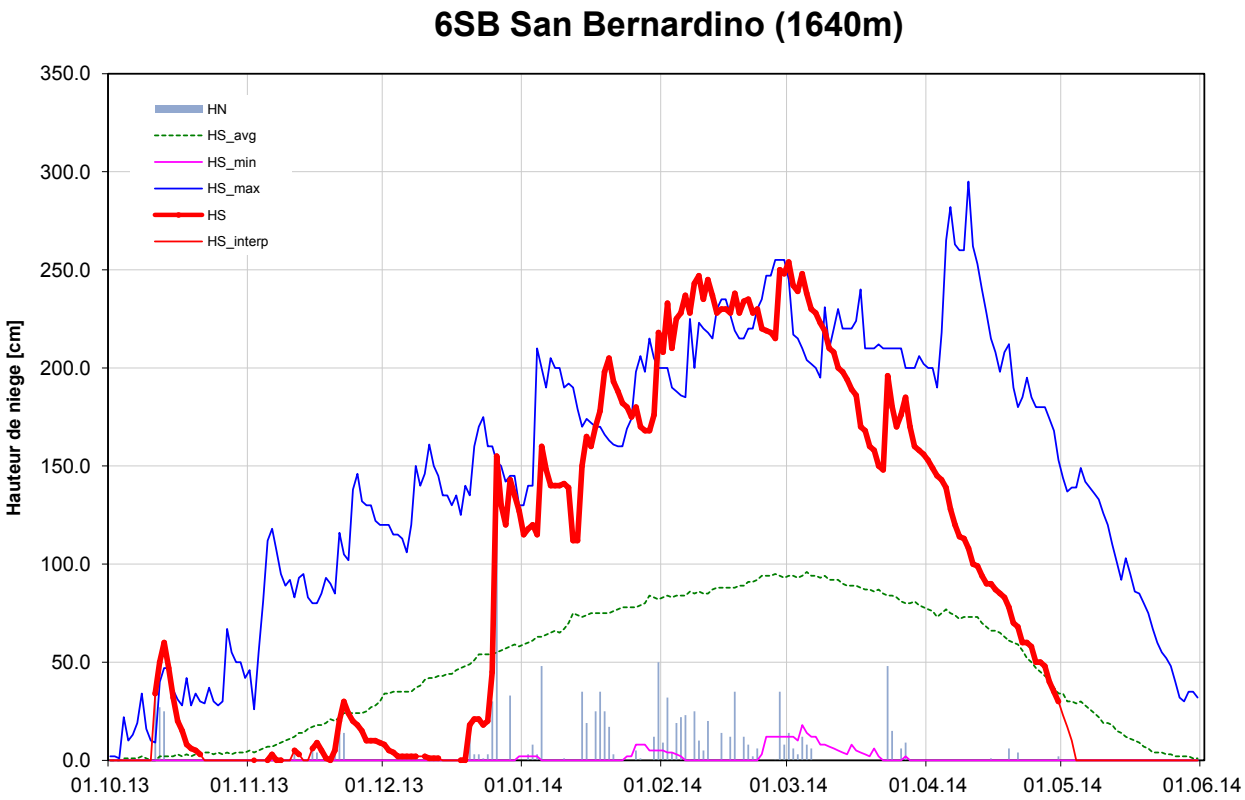


FIGURE *8* – Evolution des hauteurs de neige à la station 6SB, San Bernardino, GR, 1640 m (63 hivers). La figure reprend la hauteur de neige (courbe rouge, gras: mesure, HS; non gras: valeur interpolée, HS_interp), la neige fraîche (barres grises, HN), les hauteurs de neige maximales pluriannuelles (courbe bleu foncé, HS_max), les hauteurs de neige minimales pluriannuelles (courbe violette, HS_min) et les hauteurs de neige moyennes pluriannuelles (courbe verte, HS_avg).

L'évolution des hauteurs de neige le versant sud des Alpes et dans le Haute-Engadine peut être suivie à l'appui de la station comparative San Bernardino, 1640 m (figure 8).
Après les chutes de neige d'octobre et de novembre, la neige avait à chaque fois entièrement disparu sur le champ de mesure. Ce n'est que le 20 décembre qu'il a été définitivement enneigé. L'augmentation de la hauteur de neige au cours de la nuit du 25 au 26 décembre était importante avec une hauteur de neige fraîche de 120 cm. Cette hauteur de neige correspondait plus ou moins au double de la moyenne pluriannuelle et elle est restée telle quelle jusqu'en mars atteignant constamment de nouveaux maxima journaliers de hauteur de neige.
La hauteur de neige maximale de l'hiver 2013/14 a été atteinte le 1er mars avec 254 cm. Le maximum absolu du 10 avril 1975 (295 cm) était donc loin d'être atteint. La fonte du manteau neigeux a commencé début mars à un rythme accéléré mais avec de brèves interruptions. Le taux de diminution de hauteur de neige était élevé et atteignait en mars et avril 5 à 6 cm par jour. Le champ de mesure était sans neige le 4 mai.
Pour un peu plus de la moitié des jours, on a mesuré de la neige fraîche. Outre la valeur exceptionnellement élevée de 120 cm, on a mesuré dans 9 cas des hauteurs de neige fraîche de 31 à 50 cm (cf. table 4).

TABLE *4* – Statistiques relatives à la station San Bernardino 6SB, San Bernardino, GR, 1640 m, (63 hivers) avec la durée d'enneigement permanent [jours] et le nombre de mesures de neige fraîche [cm] par catégorie [cm].

Enneigement	20.12.2013	**Neige fraîche (cm)**	**0**	**0.1-10**	**11-20**	**21-30**	**31-50**	**≥51**
Fonte totale	04.05.2014	**Nombre de jours**	77	31	12	6	9	1
Durée	136	**Fréquence %**	56.6	22.8	8.8	4.4	6.6	0.7

La teneur en eau maximale de l'ensemble du manteau neigeux a atteint dans ces régions à quelques stations près du double de la moyenne pluriannuelle. C'est ainsi, par exemple, que San Bernardino (1640 m) a enregistré la troisième valeur la plus élevée en 42 ans avec 686 mm (valeur la plus élevée: 765 mm, hiver 1974/75). A Splügen (1457 m), on a mesuré avec 471 mm la deuxième valeur la plus élevée en 50 ans (valeur maximale: 626 mm, hiver 1974/75). De nouvelles valeurs maximales ont été atteintes par les stations Corvatsch (2690 m, 20 années) avec 1100 mm et Sta. Maria (1415 m, 46 années) avec 281 mm. Dans le sud et tout particulièrement dans le sud-est des Alpes suisses, c'est-à-dire dans les régions du sud des Grisons, les hauteurs de neige et les teneurs en eau du manteau neigeux au cours de cet hiver étaient extrêmement élevées ou proches des valeurs extrêmes. C'est vraisemblablement en février que les charges de neige (=teneurs en eau) dépassaient le plus nettement les valeurs moyennes dans les principales vallées du nord du Tessin dans une zone d'altitude comprise entre 600 et 1000 m. Dans cette zone d'altitude, il fallait à certains endroits évacuer la neige des toits parce que la charge maximale autorisée de la neige était dépassée. Ceci ne devrait en principe se produire que tous les 50 ans. La limite des chutes de neige dans ces vallées ouvertes aux courants principaux était vraisemblablement parfois plus basse à cause du refroidissement lié aux précipitations, de sorte qu'en dépit de l'altitude plutôt faible, beaucoup de neige a pu s'accumuler. Il est possible que les précipitations ultérieures aient humidifié ce manteau neigeux de sorte que, par exemple, à Prato-Sornico dans le val Verzasca, on a pu mesurer le 7 février à 750 m d'altitude 1 mètre de neige mouillée avec une teneur en eau de 370 mm. Il est difficile de faire une analyse plus précise, parce qu'il n'y a pratiquement pas de longues séries de mesures pour cette zone d'altitude. Nos analyses indiquent cependant que les maxima de hauteur de neige mesurés à cette zone d'altitude pouvaient effectivement avoir une durée de récurrence de quelque 50 ans.

Constitution du manteau neigeux

Plus particulièrement au début de l'hiver, la constitution du manteau neigeux était défavorable (cf. figure 9). Dès la fin du mois de décembre et à la mi-janvier, elle a atteint une qualité normale pour la saison et, par la suite, elle s'est encore améliorée. Cette appréciation générale reprise dans la figure 9 doit être différenciée par les variations régionales: l'amélioration de la constitution du manteau neigeux était principalement la conséquence des grandes quantités de neige fraîche enregistrées dans les régions du sud, où elles ont rapidement donné lieu à un manteau neigeux favorable. Mais les situations de foehn très fréquentes sur le versant nord des Alpes ont également contribué à l'amélioration de la constitution du manteau neigeux, tout particulièrement dans les régions typiques de foehn. La constitution du manteau neigeux est restée défavorable pendant la période la plus longue dans les régions avec plutôt peu de neige fraîche et peu d'influence du foehn, notamment dans le sud du Valais et dans les régions du nord des Grisons. Les aspects régionaux les plus importants sont décrits par la suite.

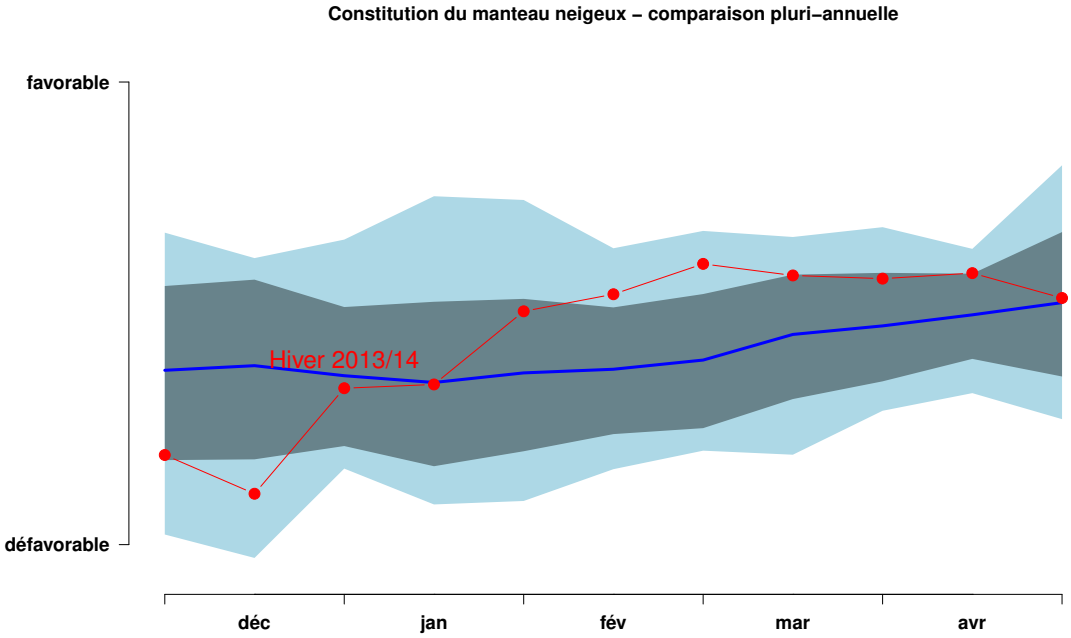


FIGURE *9* – Constitution du manteau neigeux au cours de l'hiver 2013/14 (ligne avec points rouges) comparée aux 17 derniers hivers (courbe bleue continue: valeur moyenne; zones bleu clair: valeur minimale et maximale; zone grisée: zone d'écart standard par rapport à la valeur moyenne). L'indice prend en compte le nombre maximal de points faibles (domaines critiques) dans le manteau neigeux ainsi que la part des couches très molles, à gros grains et ayant subi une métamorphose constructive. Pour former la base de l'indice, on a utilisé tous les profils des plans horizontaux ainsi que les profils relevés manuellement sur les pentes exposées au nord dans les Alpes suisses (NO-N-NE).

Automne 2013: Evolution similaire dans toutes les régions des Alpes suisses

Jusqu'à Noël 2013, l'évolution de la situation neigeuse et avalancheuse était comparable dans toutes les régions des Alpes suisses. La neige tombée en octobre et en novembre se métamorphosait en grands cristaux anguleux, surtout par temps clair et tout particulièrement sur les pentes exposées au nord. Ce processus était favorisé par la minceur du manteau neigeux. Dès la fin du mois d'octobre ainsi qu'en novembre, la neige relativement ancienne avait subi une métamorphose constructive, de sorte que la neige fraîche et la neige soufflée glissaient à chaque fois sur cette neige plus ancienne. Après les deux premières décades ensoleillées et douces du mois de décembre,

- les hauteurs de neige étaient nettement inférieures aux moyennes pluriannuelles (et atteignaient le plus souvent 30 à 60% de ces valeurs ou même moins);
- il y avait à 2500 m dans la plupart des régions de 40 à 60 cm de neige, et dans le nord du Valais, dans le nord du Tessin et en Haute-Engadine de 60 à 90 cm;
- le mince manteau neigeux avait subi une forte métamorphose constructive et était mou. La pré-

sence de grands cristaux anguleux dominait. Cette situation était particulièrement marquée dans les zones qui n'étaient pas fortement influencées par l'action du vent (cf. figure 10);
– la répartition de la neige était généralement très irrégulière et souvent marquée par l'action du vent. Sur les crêtes, les arêtes, les sommets et les fractures du terrain, il n'y avait parfois pratiquement plus de neige, alors que dans les couloirs et les cuvettes ou aux pieds des parois rocheuses, il y avait d'anciennes accumulations de neige soufflée. Sur les pentes exposées au sud, la neige avait entièrement fondu souvent jusqu'au-delà de la limite de la forêt à cause du soleil et de la chaleur (cf. figure 11).

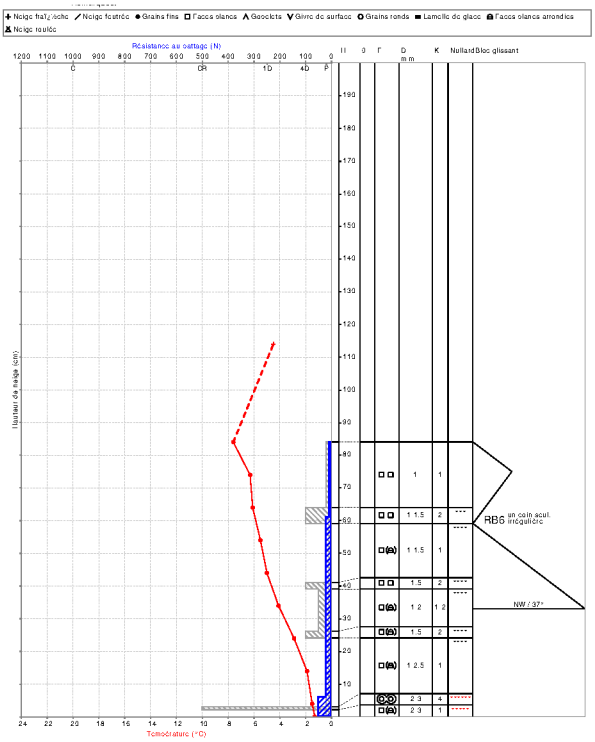


FIGURE *10* – Profil de neige relevé le 16 décembre au Jochpass (Titlis/NW) à 2380 m sur une pente d'une déclivité de 37 degrés exposée au nord-ouest. Dans cette région, la hauteur de neige était plutôt supérieure à la valeur moyenne. La figure reprend la dureté manuelle (en gris), la résistance au battage (en bleu), l'évolution de la température (en rouge), les formes et les tailles des grains de neige. Dans ce profil, toutes les couches avaient une dureté de 1 ou 2 (*poing* ou *4 doigts*), à l'exception de la couche au niveau du sol. Les cristaux de neige étaient anguleux et grands. Le déclenchement d'une avalanche était peu probable au moment du relevé du profil parce qu'il n'y avait pas de plaque de neige. Pour la neige fraîche, ce manteau neigeux constituait cependant un mauvais substrat et formait le fondement fragile du manteau neigeux pour l'évolution ultérieure de l'hiver.



FIGURE *11* – Situation neigeuse à la mi-décembre sur le versant nord des Alpes. La chaîne du Niesen (BE) était sans neige sur les pentes exposées au sud jusqu'à une altitude élevée (2400 m). Sur les pentes exposées au nord, le manteau neigeux descendait jusque dans la vallée (environ 800 m), avait subi une métamorphose constructive à grains anguleux et était meuble à toutes les altitudes (photo: H. U. Naegeli, 17.12.2013).

Une situation initiale défavorable similaire prévalait dans toutes les régions des Alpes suisses. Par la suite, la situation a évolué différemment selon les régions.

Evolution favorable avec des chutes de neige abondantes et répétées sur le versant sud des Alpes

L'évolution du manteau neigeux sur le versant sud des Alpes peut être suivie en se basant sur la station San Bernardino (cf. figure 12). Il faut toutefois tenir compte du fait qu'à cet endroit la neige tombée en octobre et novembre avait fondu à la mi-décembre. A d'autres endroits ou aux altitudes plus élevées, on retrouvait également cette couche de neige ancienne molle et métamorphosée à grains anguleux.
Bien que les 25, 26 et 27 décembre, on n'ait observé et signalé que peu d'avalanches dans cette région, on peut supposer qu'au cours de cette période de précipitations exceptionnellement intensives, de nombreuses avalanches petites et moyennes de plaque de neige se sont déclenchées spontanément. Dans la plupart des cas, les hauteurs de rupture n'étaient toutefois pas grandes, mais les avalanches devaient souvent être très étendues. De nombreuses pentes ont sans doute aussi été purgées à diverses reprises. Le fondement fragile du manteau neigeux avait ainsi été évacué à de nombreux endroits. Les grandes quantités de neige fraîche se tassaient et se consolidaient nettement. Les couches étaient suffisamment épaisses pour que le manteau fragile de neige ancienne, là où il n'avait pas été évacué par des avalanches, se retrouve profondément en-

fui et que le risque de déclenchement d'avalanche diminue rapidement après la fin des précipitations. Le tassement et la consolidation sensibles étaient également bien visibles dans les profils de neige de San Bernardino (cf. figure 12): La résistance au battage avait déjà nettement augmenté à la mi-janvier dans les couches plus profondes de neige, et elle a continué d'augmenter jusqu'en mars.
Dans le sud, les plus grandes quantités de neige sont tombées en février. En raison de l'évolution favorable du manteau neigeux dès la fin décembre et en janvier (cf. figure 13), la constitution du manteau neigeux était bonne avant les nouvelles précipitations de février, il n'y avait pratiquement pas de couches fragiles. Là où elle était encore présente, la couche de neige tombée en automne, proche du sol et qui avait subi une métamorphose constructive à grains anguleux, s'était amincie, consolidée et recouverte d'une grande épaisseur de neige. Pour l'évaluation de la situation ex-ante, cette couche avait toutefois encore son importance, non pas pour ce qui concerne les déclenchements provoqués par des personnes, mais en relation avec la question de savoir si en cas de surcharge supplémentaire par des nouvelles chutes de neige, elle pouvait se briser par endroits et donner lieu à de très grandes avalanches. Par ailleurs, on pouvait considérer favorablement que des intensités de précipitations de plus de 3 cm par heure n'avaient eu lieu que pendant une brève période et que les chutes de neige étaient constamment interrompues par des pauses. Les chutes de neige avec des intensités moyennes de 5 cm par heure ou davantage pendant une période prolongée (p. ex. un ou plusieurs jours) peuvent donner lieu à de grandes ou très grandes avalanches ou à des situations de catastrophe. De plus, les conditions de températures relativement douces pour une période de plein hiver influençaient positivement le tassement du manteau neigeux.
Avec l'arrivée de nouvelles couches de neige, la résistance a continué d'augmenter en février et en mars. Sous le poids des couches consolidées, le fondement est également devenu progressivement plus résistant.
La figure 12 montre clairement comment les cristaux de neige se transforment de neige fraîche en grains ronds en passant par de la neige feutrée. Les couches indiquées en bleu clair comme anguleuses en mars combinent des formes anguleuses et rondes. Fin mars et en avril, le manteau neigeux était isotherme 0 ˚C jusqu'au sol et les grains de fonte dominaient. La fonte du manteau neigeux a eu lieu rapidement en l'espace d'environ 2 mois, en mars et avril, avec une brève interruption fin mars.

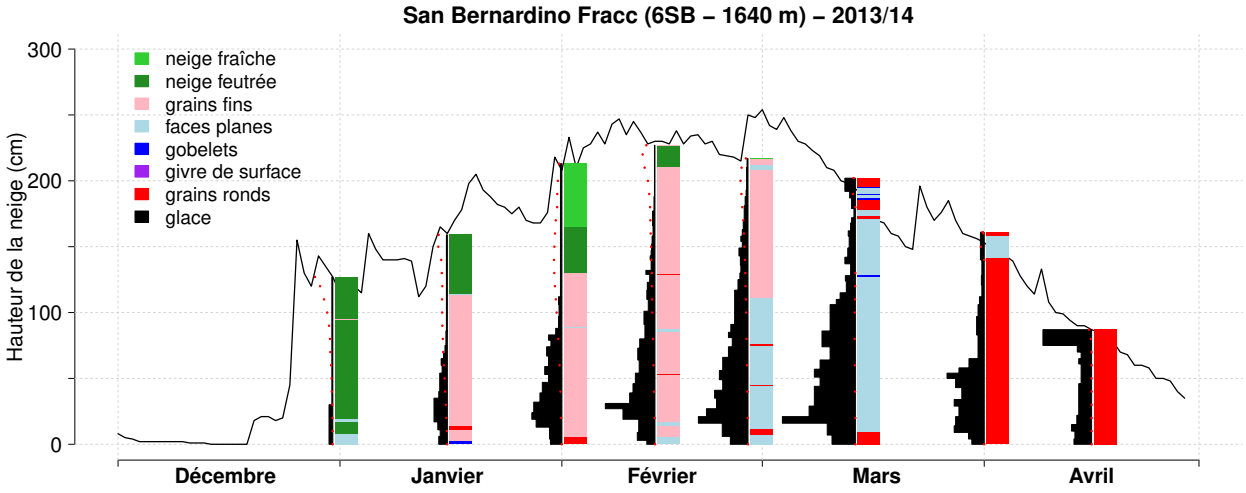


FIGURE *12* – Évolution du manteau neigeux au cours de l'hiver 2013/14 à la station 6SB, San Bernardino, GR, 1640 m. La figure reprend la hauteur de neige (courbe noire, une mesure par jour), la résistance au battage (barres noires), les formes des grains (cf. légende de la figure) et les températures de la neige (points rouges). La résistance au battage, les formes des grains et les températures de la neige proviennent de relevés de profils de neige (effectués deux fois par mois).



FIGURE *13* – Relevé de profil de neige à San Bernardino le 31 janvier. Beaucoup de neige fin janvier... Mais ce n'est qu'en février que la neige fraîche était la plus abondante (photo: P. Vivalda).

Nombre inhabituellement élevé de situations météorologiques avec des courants de secteur sud et sud-ouest et avec du foehn dans le nord

Sur le versant nord des Alpes, et tout particulièrement dans les régions typiques de foehn, la constitution du manteau neigeux a été influencée par un nombre exceptionnel de situations de foehn (cf. figure 14). Selon une étude de MétéoSuisse (Bulletin climatologique hiver 2013/14, allemand), il y a eu au cours des mois d'hiver de décembre, janvier et février dans les Alpes suisses 40 jours caractérisés par une situation météorologique avec des courants de secteur sud-ouest ou sud, un nombre encore jamais atteint depuis le début des relevés statistiques au cours de l'hiver 1957/58. De plus, les températures étaient d'environ 2 degrés plus élevées que la moyenne pluriannuelle (norme 1961-1990).
L'influence positive du foehn sur le manteau neigeux peut être évaluée comme suit:
– Le foehn perturbe les couches superficielles de neige et entrave la formation de couches fragiles étendues. Cela vaut également pour les pentes exposées au nord, sur lesquelles il souffle vers le bas.
– La surface neigeuse devient irrégulière et rugueuse.
– Il augmente la variabilité du manteau neigeux. Il y a moins de couches homogènes. La répartition de la neige est très irrégulière.
– Il entraîne des températures plus douces, ce qui a un effet de consolidation.
– La neige soufflée fraîche devient dure et se stabilise rapidement.



FIGURE *14* – Foehn, foehn, foehn. Tourbillons de neige au Bunderspitz (2456 m, BE) (photo: P. Allenbach, 28.02.2014).

L'évolution du manteau neigeux sur le versant nord des Alpes peut être suivie sur la base de la station Hasliberg (cf. figure 15 haut).
L'analyse du manteau neigeux à la mi-décembre indique qu'ici aussi le mince manteau neigeux est entièrement métamorphosé et se compose de formes anguleuses. A partir de début janvier, cette couche était constituée de grains de fonte et une croûte s'était formée au niveau de l'ancienne surface (résistance au battage élevée). La neige fraîche de décembre se métamorphosait en grains ronds. Au cours de l'évolution ultérieure, environ le demi-mètre inférieur de cette couche a persisté. Les températures de la neige étaient en permanence proches de zéro degré. Globalement, il n'y a eu que peu de neige fraîche qui a été métamorphosée en grains ronds ou anguleux. Le manteau neigeux renfermait parfois de minces couches (croûtes, lamelles de glace). Avec l'humidification intervenue fin mars et en avril, la résistance au battage a nettement diminué.

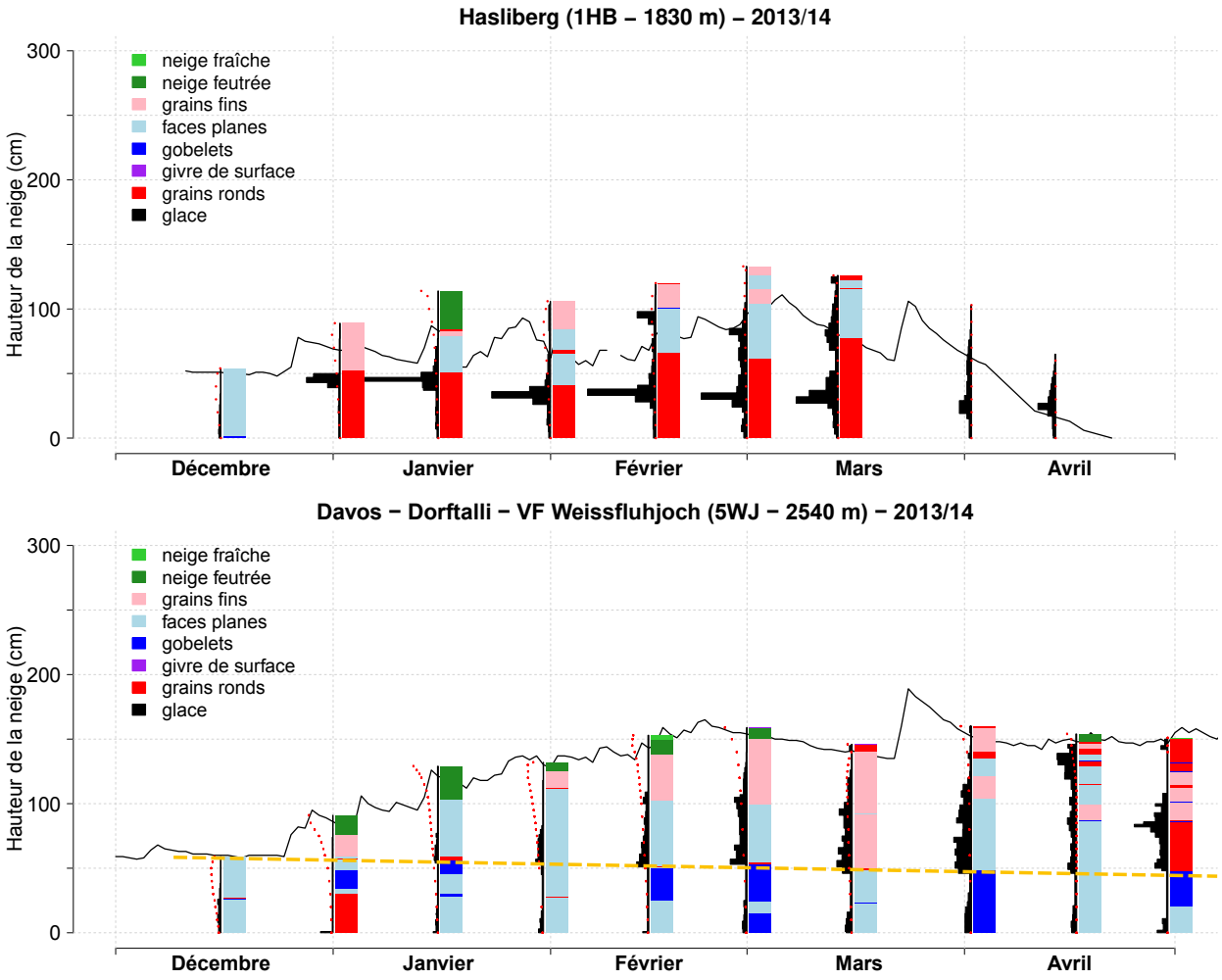


FIGURE *15* – En haut: Evolution du manteau neigeux au cours de l'hiver 2013/14 à la station 1HB, Hasliberg, BE, 1830 m et en bas la station 5WJ, Weissfluhjoch, GR, 2540 m. La figure reprend la hauteur de neige (courbe noire, une mesure par jour), la résistance au battage (barres noires), les formes des grains (cf. légende de la figure) et les températures de la neige (points rouges). La résistance au battage, les formes des grains et les températures de la neige proviennent de relevés de profils de neige (effectués deux fois par mois). Ligne orange: limite entre le fondement de neige ancienne et la neige tombée à partir de Noël 2013.

Constitution défavorable du manteau neigeux pendant plusieurs semaines dans le sud du Valais et dans les régions du nord des Grisons

Le manteau neigeux a évolué de la manière la plus défavorable dans les régions qui n'étaient pas exposées aux précipitations et aux vents les plus forts: dans le sud du Valais et dans les parties septentrionales des Grisons (nord des Grisons, parties septentrionales du centre des Grisons, parties septentrionales de la Basse-Engadine). L'évolution peut, par exemple, être suivie à l'aide du profil relevé au Weissfluhjoch (cf. figure 15 bas).
Le profil de neige de mi-décembre montre le mince manteau neigeux d'environ 50 cm qui a subi une métamorphose constructive à grains anguleux du début de l'hiver (comparable à la figure 10). La ligne orange marque la limite supérieure de cette couche tout au long de l'hiver. Comme on peut le voir clairement, la résistance au battage reste petite et quasi inchangée en dessous de cette ligne jusqu'à fin février, et elle est encore relativement faible jusqu'à fin avril. Les grains de neige se composent de formes anguleuses ou de neige coulante et, début janvier, ils avaient même subi un début de fonte. La résistance au battage au-dessus de la ligne de la neige ancienne augmente progressivement au fil du temps, ce qui signifie que les couches qui se trouvent au-dessus se sont tassées et consolidées. L'augmentation de la résistance est cependant nettement plus faible qu'à San Bernardino (cf. figure 12). A partir de la mi-mars, les grains de fonte montrent un début d'humidification superficielle du manteau neigeux. Fin avril, le manteau neigeux était entièrement humidifié. Alors que sur le versant sud des Alpes à la mi-janvier, le fondement fragile du manteau neigeux était déjà recouvert de 1,5 mètre de neige (cf. figure 12), l'épais-

seur qui le recouvrait dans les régions décrites ici n'atteignait qu'environ un mètre et cela seulement à la mi-février. L'épaisseur et la résistance de la neige couvrant le fondement du manteau neigeux n'ont dès lors augmenté que lentement, contrairement à ce que l'on pouvait observer dans les régions du versant sud des Alpes. Pendant une période prolongée, elle atteignait de 50 à 80 cm. Avec la résistance donnée, cela se traduisait par des conditions critiques pouvant donner lieu à des déclenchements d'avalanches par des personnes (cf. figure 16). Avec la modification des propriétés de la «plaque de neige» le risque de déclenchement diminuait ou augmentait à chaque fois légèrement (p. ex. à cause de la neige fraîche). Le fondement du manteau neigeux n'a guère changé au cours de cette période et contribuait en tant que couche fragile au risque élevé de déclenchement d'avalanches (cf. figure 17).

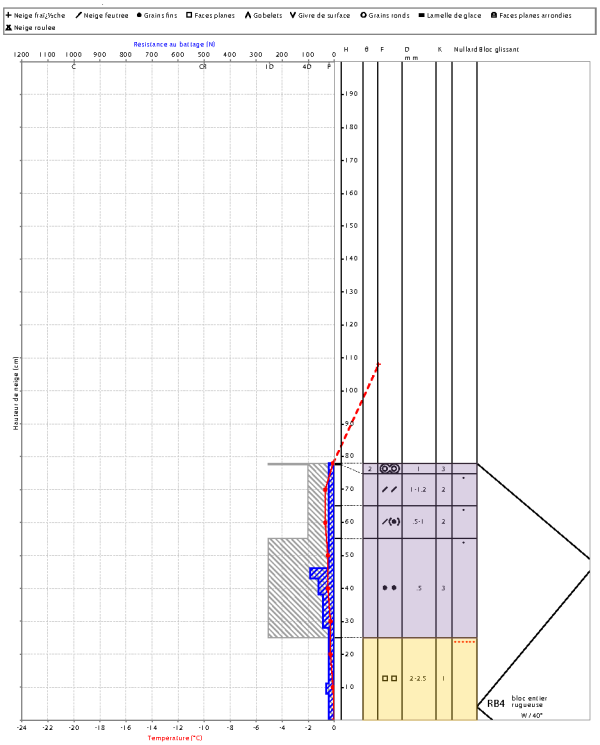


FIGURE *16* – Profil de neige relevé le 8 janvier sur une pente d'une déclivité de 40 degrés exposée à l'ouest à 2380 m au Six Blanc (Orsières/VS). La figure reprend la dureté manuelle (gris), la résistance au battage (bleu), l'évolution de la température (rouge) ainsi que les formes et les tailles des grains. Près de 50 cm de neige (fond violet) recouvraient la couche fragile marquée (fond jaune). Lors d'un test du bloc glissant, tout le bloc s'est décroché dans la couche fragile. Dans ce profil, la «plaque» est également bien reconnaissable: elle est plus dure que la couche fragile et se compose de neige fraîche et de neige soufflée des premiers jours de janvier ainsi que de neige un peu plus ancienne de la période de Noël (fond violet).

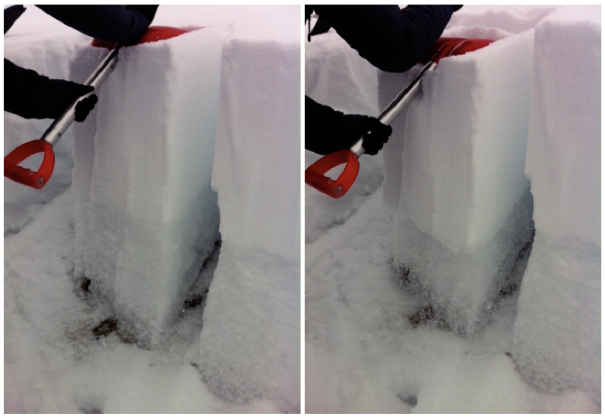


FIGURE *17* – Exemple illustrant la situation typique de neige ancienne encore marquée dans de grandes parties du sud du Bas-Valais et dans certaines parties des Grisons et qui prévalait également fin février: lors d'un simple test de compression du manteau neigeux, une rupture se produisait dans la couche fragile proche du sol (photo: SLF/W. Steinkogler, 21.01.2014 dans la région de Davos/GR).

L'importante activité avalancheuse impliquant des personnes au cours des fêtes de Noël et au début du mois de février n'était pas seulement imputable à la constitution défavorable du manteau neigeux mais aussi à la forte présence humaine en montagne par temps ensoleillé pendant les vacances de Noël. De plus, dans de nombreuses régions, il y avait pour la première fois suffisamment de neige cet hiver pour la pratique des randonnées et du hors-piste. De nombreuses personnes se trouvaient dès lors en dehors des pistes et beaucoup d'activités de randonnées et de hors-piste étaient entreprises pour la première fois cet hiver. Tout particulièrement les 5 et 6 janvier, des perturbations parfois extrêmement petites du manteau neigeux suffisaient pour déclencher de grandes avalanches dangereuses. Bruits sourds, formations de fissures et déclenchements à distance indiquaient en de nombreux endroits une situation très instable.

A partir de mars, à nouveau une évolution similaire dans toutes les régions: humidification croissante du manteau neigeux

Avec un temps ensoleillé et très doux, l'humidification du manteau neigeux a commencé le 7 mars. Elle a progressé très rapidement tout particulièrement sur les pentes exposées au sud et elle s'est établie à partir de mi-mars en dessous de 3000 m environ. Les pentes orientées à l'est et à l'ouest étaient isothermes 0 °C en dessous de 2700 m environ. Avec le rayonnement nocturne, une croûte portante se formait à chaque fois. Les pentes raides exposées au nord étaient encore sèches à haute altitude et en haute montagne.
Cette situation de printemps a été brièvement inter-

rompue au cours de la troisième décade de mars par d'abondantes chutes de neige avec une situation de plein hiver. Sur certaines parties du versant sud des Alpes, la neige fraîche meuble et le vent du nord ont donné lieu à une activité d'avalanches spontanées.
Le mois d'avril était également surtout marqué par des conditions printanières. D'abondantes précipitations dans l'ouest et le sud ont brièvement donné lieu à la fin du mois à une situation avalancheuse délicate. En haute montagne, des avalanches se déclenchaient dans les couches de neige fraîche et de neige soufflée tout particulièrement dans les principales régions de précipitations du sud du Valais et de l'ouest du Tessin. A haute altitude, la neige fraîche humide se décrochait le plus souvent sur la surface dure de neige ancienne.
Pendant la première moitié du mois de mai, ce sont surtout la neige fraîche et la neige soufflée qui jouaient un rôle important en haute montagne. Une nouvelle humidification durable du manteau neigeux n'a eu lieu qu'au cours de la seconde moitié du mois de mai. De la pluie jusqu'à 3000 m, des nuits couvertes et des températures douces ont humidifié le manteau neigeux jusqu'en haute montagne, y compris sur les pentes exposées au nord.

Poussière du Sahara

Avec des courants forts de secteur sud en altitude, de la poussière du Sahara a été acheminée et déposée dans les Alpes suisses à diverses reprises. Les journées les plus marquées à cet égard étaient les 18 février et 22 mai.

Activité avalancheuse

Au cours de l'hiver 2013/14, l'indice d'activité avalancheuse (cf. figure 18) a atteint les valeurs les plus élevées les 26/27 décembre, 5 janvier et 14 février. Cet indice n'est pas représentatif pour le versant sud des Alpes et donne dès lors un résultat trop bas en comparaison avec d'autres années. Ceci s'explique surtout par le fait que, d'une part, les régions du versant sud des Alpes et la densité des observations dans ces régions sont relativement petites et que, d'autre part, le nombre d'avalanches observées est par conséquent lui-aussi relativement bas. L'indice d'activité avalancheuse donne dès lors cette année une vue d'ensemble erronée et plutôt une mauvaise impression.
La période d'avalanches aux alentours de Noël était la première de l'hiver, et elle concernait toutes les régions des Alpes suisses. A partir de ce moment-là, la situation est restée très délicate pour les adeptes des sports de neige jusqu'à la mi-février. A cause de chutes de neige intensives, les périodes d'activité avalancheuse élevées ont eu lieu au même moment sur le versant sud des Alpes. Le passage à une activité d'avalanches de neige mouillée est intervenu début mars. Une dernière période dans les limites normales d'observation avec des avalanches de neige mouillée a eu lieu fin avril. Autour du 23 mai et pendant le week-end de la Pentecôte, on a à nouveau pu observer des avalanches de neige mouillée relativement grandes sur les pentes exposées au nord.

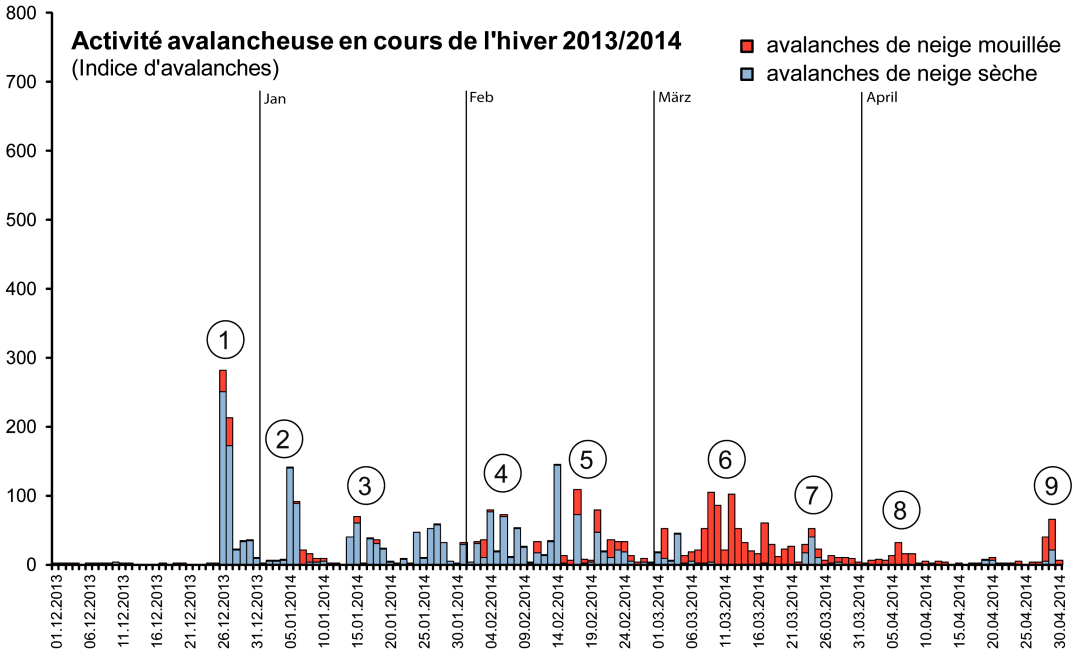


FIGURE *18* – Activité avalancheuse au cours de l'hiver 2013/14 dans l'ensemble des Alpes suisses, exprimée par un indice sans dimension. Le nombre d'avalanches mentionné est multiplié par une valeur correspondant à la taille des avalanches (très grandes avalanches: facteur 100; grandes avalanches: facteur 10; avalanches moyennes: facteur 1; petites avalanches: facteur 0,1; très petites avalanches: facteur 0,01). Les résultats obtenus sont additionnés pour chaque jour. Les avalanches de neige mouillée et les avalanches mixtes sont représentées par des barres rouges, et les avalanches de neige sèche par des barres bleues. Les chiffres encerclés renvoient aux cycles d'avalanches décrits ci-dessous. L'indice d'activité avalancheuse doit être interprété avec les réserves suivantes: On ne fait pas de distinction entre les avalanches spontanées et les avalanches déclenchées artificiellement. De plus, l'indice d'activité avalancheuse dépend des conditions de visibilité au moment de l'observation, de la précision des relevés et de l'évaluation individuelle des observateurs. Par ailleurs, il n'y a pas de différenciation régionale. Sur l'ensemble des Alpes suisses, il est néanmoins possible de distinguer clairement les phases d'activité avalancheuse accrue des phases d'activité avalancheuse faible ou nulle, de sorte que cet indice d'activité avalancheuse convient très bien pour donner une vue d'ensemble. Les premier et dernier mois de l'hiver (novembre et mai) ne sont pas repris dans l'indice d'activité avalancheuse, parce que la densité des observations varie fortement au cours de ces mois, ce qui se traduit par une plus grande imprécision. La valeur la plus élevée depuis le début de l'exploitation des données fournies sur les avalanches, soit environ 2200, a été enregistrée le 9 mars 2006 et atteignait approximativement sept fois la valeur maximale de l'hiver 2013/14. Les conditions ayant donné lieu à une valeur aussi élevée sont de nombreux déclenchements de grandes avalanches sur une grande partie du territoire des Alpes suisses (la catégorie très grandes avalanches n'existait pas encore à l'époque).

Cycles d'avalanches remarquables

Les départs d'avalanches dépendent de différents facteurs: la stabilité du manteau neigeux qui varie au fil du temps, la neige fraîche, le vent, les fluctuations des températures, les surcharges sur le manteau neigeux provoquées par des personnes ou par des opérations de minage, etc. Cela explique pourquoi l'activité avalancheuse varie d'un jour à l'autre comme le montre clairement la figure 18. Les périodes les plus remarquables de l'hiver sont numérotées dans la figure 18 et décrites ci-après.

Octobre
La saison des avalanches a commencé en octobre en relation avec les chutes de neige répétées. Etant donné que le sol n'était pas gelé, de premières coulées de glissement se sont déjà produites après la première période de chutes de neige du 9 au 12 octobre. Les premières avalanches de plaque de neige ont été observées en haute montagne.
En octobre, quatre bulletins d'avalanches liés à la situation ont été diffusés (cf. table 5, page 31).

Novembre
En novembre également, la succession de phénomènes de précipitations et de vent a donné lieu à des avalanches. Le danger principal résidait le plus souvent dans la neige soufflée, lorsque celle-ci recouvrait déjà un manteau de neige ancienne continu. Au début du mois, celui-ci était déjà présent sur une grande partie du territoire au-dessus de 2500 m sur les pentes exposées au nord et en haute montagne et il avait généralement déjà subi une métamorphose constructive à grains anguleux. Compte tenu du cumul des précipitations, les avalanches qui se sont déclenchées dans ce fondement à grains anguleux atteignaient vers la fin du mois localement une taille considérable dans les hautes montagnes couvertes de glaciers.
Dix bulletins d'avalanches textuels ont d'abord été diffusés en novembre (cf. table 5, page 31). A partir du jeudi 28 novembre, le bulletin d'avalanches a été diffusé quotidiennement avec une carte.

Décembre
Jusqu'aux chutes de neige pendant les jours de Noël, la situation avalancheuse était la plus souvent favorable en décembre (cf. figure 26, page 29). En raison du faible enneigement, les possibilités de randonnées à ski étaient encore très limitées et seulement peu d'adeptes des sports de neige étaient de sortie. Le peu d'avalanches signalées au service des avalanches avaient soit été déclenchées dans la neige soufflée ou étaient des avalanches de glissement. La situation avalancheuse s'est ensuite modifiée fondamentalement.
(1) Du 24 décembre au 27 décembre: Les grandes quantités de neige fraîche des fêtes de Noël étaient tombées sur un manteau de neige ancienne ayant subi une forte métamorphose constructive. Le risque de déclenchement et l'activité avalancheuse étaient par conséquent élevés dans toutes les régions des Alpes suisses. Les avalanches se déclenchaient spontanément ou sous l'effet de la moindre perturbation du manteau neigeux. Elles s'étendaient souvent en surface et provoquaient des déclenchements secondaires. L'apogée de l'activité avalancheuse spontanée a été atteinte dans le sud pendant les chutes de neige intensives des 25/26 décembre. Il y avait parfois de grandes avalanches qui descendaient jusque dans les vallées et provoquaient des dégâts matériels. On peut supposer que de nombreuses avalanches spontanées n'ont pas été observées dans les régions non habitées et ont été recouvertes de neige (cf. figure 19).



FIGURE *19* – . . . ... mais il y en avait tout de même ! Pendant les périodes de précipitations, on ne signale pratiquement pas d'avalanches dans les régions non habitées. Des semaines plus tard, d'anciennes fissures et des cônes d'avalanche témoignaient cependant que pendant les importantes chutes de neige des fêtes de Noël dans le sud, il y a eu davantage d'avalanches spontanées de taille moyenne. Alpe di Grav, Cresciano, TI (photo: SLF/K. Winkler, 12.01.2014).

Le 27 décembre, de nombreuses avalanches ont été déclenchées artificiellement au moyen d'explosifs lors d'opérations de sécurisation. Pour ce qui concerne, d'une part, la crête principale des Alpes depuis la vallée de Zermatt jusque dans la vallée de Poschiavo et, d'autre part, le nord et le centre du Tessin ainsi que le Moesano, le degré de danger 4 (fort) avait été annoncé pour les 25 et 26 décembre. Sur la base de leur taille, les avalanches signalées ont été classées dans 80% des cas comme glissements ou petites avalanches, dans 19% des cas comme avalanches moyennes et dans 1% des cas comme grandes ou très grandes avalanches.
Le risque de déclenchement d'avalanches de neige

sèche est resté élevé bien au-delà du Nouvel an, surtout dans les régions avec peu de neige fraîche et tout particulièrement dans le sud du Valais et dans les Grisons. Souvent, le simple contact de la pointe des skis suffisait pour provoquer un déclenchement.
Afin d'attirer l'attention sur la situation avalancheuse très délicate pour les adeptes des sports d'hiver aux alentours du Nouvel an, le service des avalanches a diffusé davantage d'informations entre Noël et le Nouvel an à la radio et la télévision, et le 31 décembre, une information spéciale pour la presse écrite.

Janvier
Outre la situation avalancheuse délicate et persistante pour les adeptes des sports de neige dans certaines régions, les deux périodes avalancheuses suivantes étaient importantes en janvier:
(2) Du 4 au 6 janvier: Après une brève accalmie, la deuxième période avalancheuse a eu lieu du 4 au 6 janvier, combinée avec des chutes de neige surtout dans l'ouest et le sud. La situation avalancheuse était très critique avec un degré de danger 4 (fort) en Haute-Engadine, dans le Valle Bregaglia et dans la vallée de Poschiavo pendant la nuit du 4 au 5 janvier et au cours de la journée du 5 janvier. L'intensité des précipitations était élevée et la limite des chutes de neige est montée temporairement jusqu'à 2100 m. De nombreuses avalanches se sont déclenchées spontanément, localement elles étaient parfois de grand ampleur. Tout particulièrement dans le Bas-Valais, la neige fraîche se déposait sur un manteau de neige ancienne très fragile. Cela s'est traduit par des avalanches spontanées surtout le 4 janvier. Le 5 janvier, de nombreuses avalanches ont ensuite été déclenchées par des personnes, parfois aussi à des distances de plusieurs centaines de mètres. Dans certaines régions, la situation avalancheuse demeurait très dangereuse.
(3) Du 13 janvier au 20 janvier: En l'espace d'une semaine (figure 4), il est parfois tombé de 100 à 150 cm de neige répartis sur trois phases de précipitations dans certaines parties du Tessin et des vallées du sud des Grisons. Entre ces différentes phases, il y a eu à chaque fois une pause d'un ou deux jours. En dépit de ces grands cumuls de neige fraîche, on n'a pratiquement pas signalé d'avalanches de grande ampleur. On peut cependant estimer que de nombreuses avalanches petites et moyennes se sont déclenchées mais n'ont pas pu être observées. Seule une grande avalanche s'est déclenchée le lundi 20 janvier. Elle a touché la route entre Peccia et Piano di Peccia (avalanche de Bavorca, Val Lavizzara/TI) et elle a traversé et dépassé la galerie de protection. La raison pour laquelle il n'y a pas eu d'activité relativement importante était la constitution favorable du manteau neigeux dans ces régions. Dans les profils de neige et les tests de stabilité, on ne pouvait pas déceler de couches fragiles marquées. Il y a toutefois eu davantage d'avalanches de glissement, surtout sur le versant sud des Alpes.
Le 6 janvier, une information spéciale a été diffusée sur le site Internet du SLF pour attirer davantage l'attention sur la persistance d'une situation délicate pour les adeptes des sports d'hiver.

Février
Grâce à la constitution favorable du manteau neigeux sur le versant sud des Alpes où la neige était abondante, de grandes avalanches descendant jusque dans les vallées n'ont été observées que très rarement. Les deux périodes suivantes caractérisaient plus particulièrement ce mois:
(4) Du 31 janvier au 14 février: La première moitié du mois de février était avalancheuse à diverses reprises. C'est ainsi que dans les principales régions touchées par les précipitations depuis les vallées de la Maggia jusque dans le Val Bedretto, un danger 4 (fort) prévalait sur une grande partie du territoire au cours de la première semaine de février. Comme c'était déjà le cas précédemment pour la période du 13 janvier au 20 janvier, ce sont surtout des avalanches spontanées petites et moyennes qui se sont décrochées dans les couches superficielles de neige, qui avaient parfois été recouvertes de neige fraîche avant que l'on ait pu observer les zones de rupture. Des avalanches descendant jusque dans les vallées ont été observées rarement. Le 11 février, il y a eu, par exemple, un nouveau déclenchement de l'avalanche de la Bavorca (cf. ci-avant) qui a atteint une grande ampleur. Cette avalanche de même que celle du 20 janvier étaient les plus importantes parmi une vingtaine de déclenchements de cette avalanche au cours de cet hiver. La route menant au Valle di Peccia a été fermée pendant plusieurs jours.
Dans les régions touchées par une situation typique de neige ancienne (sud du Bas-Valais, nord et centre des Grisons, Basse-Engadine), des déclenchements dans la neige ancienne étaient temporairement plus rares.
Le 14 février, les opérations de déclenchement d'avalanches au moyen d'explosifs ont connu une grande réussite, surtout dans le Bas-Valais. Des avalanches de taille moyenne et grande ont pu être déclenchées dans le fondement fragile de neige ancienne sur les pentes aux expositions ouest, nord et est. Les hauteurs de rupture atteignaient environ 2 mètres. Les avalanches se sont en partie aussi déclenchées d'elles-mêmes ou ont été provoquées de manière secondaire (déclenchements à distance). Avec la neige fraîche et le vent, les propriétés de la plaque de neige s'étaient à ce point

modifiées que les ruptures pouvaient à nouveau se propager sur des distances relativement grandes dans la couche de neige ancienne fortement métamorphosée.
(5) Du 17 au 20 février: Des réchauffements successifs ont donné lieu à des avalanches de glissement et des avalanches de neige mouillée (cf. figure 20).



FIGURE *20* – Bras d'une grande avalanche qui s'est déclenchée spontanément à la Croix des Prélayes (2365 m) dans la région de Trient (VS), le 17 février. Elle s'est décrochée dans la neige sèche et a rencontré, dans le voisinage de la limite de la forêt, de la neige mouillée qu'elle a entraînée. La coloration jaune-brun de la neige est de la poussière en provenance du Sahara (photo: J.-L. Lugon).

La journée avalancheuse la plus active de cette période était le 17 février. Une fois de plus, les plus grandes avalanches ont été signalées dans le Bas-Valais, mais contrairement au 14 février, l'activité avalancheuse concernait cette fois pratiquement toutes les régions des Alpes suisses. Près d'un tiers des avalanches ont été classées comme avalanches de neige mouillée et deux tiers comme avalanches de neige sèche. Ce sont surtout la neige fraîche et la neige soufflée qui se sont décrochées. Des déclenchements dans le fondement fragile de neige ancienne n'ont été signalés que localement. Sur le versant sud des Alpes où la neige était abondante, de plus en plus de fissures sont apparues dans la neige glissante.

Mars
Le début du mois de mars a marqué le passage à une situation du printemps avec une augmentation du danger d'avalanche de neige mouillée en cours de journée. Des bulletins d'avalanches avec une double carte ont été diffusés du 9 au 21 mars et du 29 mars au 14 avril ainsi que le 25 avril. En raison d'une base parfois fragile du manteau neigeux, on s'attendait pour les mois de mars et d'avril à nouveau à une activité soutenue d'avalanches de neige mouillée. Celle-ci est cependant restée inférieure aux attentes.
(6) Du 7 mars au 21 mars: A mesure que l'humidification augmentait, l'activité d'avalanches de neige mouillée et plus particulièrement encore l'activité d'avalanche de glissement se sont nettement accrues. Aux altitudes basses et moyennes, toutes les expositions étaient concernées à l'exception des pentes raides orientées au nord. A haute altitude, on a observé des avalanches de neige humide ou mouillée à partir des pentes raides exposées au sud jusqu'en dessous de 3000 m environ, et à partir de pentes raides exposées à l'ouest et à l'est en dessous d'environ 2500 m à 2700 m. Le 8 mars, une avalanche de glissement a détruit une remontée mécanique à la Cimetta, TI (cf. figure 28).
Entre le 14 et le 20 mars, des personnes ont déclenché plusieurs avalanches alors que le manteau neigeux présentait une surface gelée portante, principalement dans les régions avec une constitution défavorable du manteau neigeux (cf. figure 21).



FIGURE *21* – Avalanche de plaque de neige sur une pente exposée à l'ouest à environ 2500 m d'altitude et déclenchée à distance par des personnes au Dreispitz (Reichenbach dans le Kandertal, BE). Le déclenchement de l'avalanche s'est produit au cours de la matinée. La surface neigeuse était encore gelée et portante (photo: M. Haussner, 14.03.2014). Comme le montre cet exemple, il y avait encore des endroits avec un fondement fragile du manteau neigeux également sur l'ouest du versant nord des Alpes.

Un manteau neigeux gelé et portant en surface est généralement considéré comme 'sûr' par les randonneurs. Lorsque la constitution du manteau neigeux est très défavorable, la surface gelée est dure et peut, comme d'habitude, donner une impression de stabilité et de sécurité. Mais si cette couche dure s'effondre dans la couche molle sous-jacente, une avalanche de plaque de neige peut se déclencher. Ces situations sont cependant heureusement assez rares.
(7) Du 23 mars au 25 mars: Pendant la nuit du 23 au 24 mars, des avalanches parfois de grande taille se sont déclenchées spontanément à toutes les expositions, tout au moins en Haute-Engadine. Le moment du déclenchement ne peut être qu'es-

timé: à la fin des chutes de neige, vraisemblablement avec l'arrivée du vent fort de secteur nord. La neige était très meuble et les avalanches ont parfois parcouru de longues distances, mais elles ne formaient généralement que des dépôts mous. Le degré de danger 4 (fort) qui avait été annoncé s'était confirmé dans ces régions.
Dans le nord également, depuis la Reuss jusqu'aux Alpes glaronnaises, il est tombé comme dans le sud 1 m de neige à certains endroits. Comme le vent du nord ne soufflait que faiblement et modérément en haute montagne, la situation n'était pas aussi délicate. De grandes avalanches n'ont été signalées que très localement.

Avril
En avril, on n'a pu observer qu'une faible activité avalancheuse. Les deux périodes suivantes méritent d'être mentionnées:
(8) Du 5 au 8 avril: Pour la première fois au cours de l'hiver, les pentes exposées au nord étaient isothermes 0˚C en dessous de 2200 m. Un mauvais rayonnement nocturne, parfois un peu de pluie jusqu'à des altitudes de l'ordre de 2200 m et un temps ensoleillé se sont traduits par un apport important d'énergie dans le manteau neigeux. C'est ainsi que des avalanches se sont surtout déclenchées sur les pentes exposées au nord. Sauf lorsqu'il y avait une croûte durcie de regel à la surface, les pentes exposées au sud étaient humidifiées et souvent purgées en dessous de 3000 m environ et les pentes exposées à l'ouest et à l'est en dessous de 2700 m.
(9) Du 28 au 29 avril: Le 28 avril et dans la nuit du 28 au 29 avril, les précipitations se sont intensifiées et étaient abondantes dans le sud du Valais et dans l'ouest du Tessin. La neige est tombée en abondance sur la partie de la crête principale des Alpes située dans le Haut-Valais, où l'on enregistrait de 90 à 120 cm de neige fraîche. L'activité avalancheuse était accrue surtout au cours de ces deux journées. Les opérations de déclenchement d'avalanches au moyen d'explosifs étaient très souvent couronnées de succès. Les avalanches étaient généralement de taille petite à moyenne et le plus souvent humides ou mouillées.

Mai
Comme il y a nettement moins d'observateurs sur le terrain au mois de mai, les signalements d'avalanches sont beaucoup moins nombreux. Début mai, des personnes ont déclenché une série d'avalanches en haute montagne. A cet égard, il y a lieu de mentionner tout particulièrement une journée pour ce qui concerne le réchauffement:
23 mai: Plusieurs avalanches qui, comme on pouvait s'y attendre, se sont déclenchées dans les couches proches de la surface ont été observées, tout particulièrement sur les pentes exposées au nord en dessous de 2800 m environ (cf. figure 22). Ces avalanches atteignaient une ampleur considérable. Les jours précédents, l'isotherme 0˚C se situait à 3000 m, et deux jours avant, elle se situait même à l'altitude exceptionnelle de 3600 m. La veille, il avait plu jusqu'à 3000 m d'altitude. Le rayonnement nocturne était réduit. L'humidification du manteau neigeux atteignait pratiquement 3000 m pour la première fois sur les pentes exposées au nord.



FIGURE *22* – Avec les réchauffements sensibles en mars, mai et juin, les pentes exposées au nord se sont humidifiées à des altitudes de plus en plus élevées. Une fois de plus, ces conditions ont donné lieu à des avalanches parfois considérables qui se sont déclenchées dans la couche fragile proche du sol, sur les pentes exposées au nord dans les régions avec un fondement fragile du manteau neigeux. L'activité avalancheuse était cependant inférieure aux attentes. Ces avalanches au Lenzer Horn, Lenzerheide, GR (2906 m) se sont déclenchées le soir du 23 mai (photo: SLF/T. Stucki).

Le dernier bulletin d'avalanches avec carte du danger d'avalanche a été diffusé le 3 mai. Par la suite, un bulletin sporadique sous forme de texte a été diffusé pour 2 jours. Le dernier bulletin a été diffusé le 24 mai.

Accidents d'avalanche (octobre 2013 à mai 2014)

Accidents d'avalanche impliquant des personnes (situation au 31 mai 2014)
Un total de 111 avalanches touchant 176 personnes avaient été signalés au SLF pour l'hiver 2013/14 (cf. figure 23). 19 personnes ont été blessées dans les avalanches et 17 personnes ont perdu la vie dans 13 accidents d'avalanche. Pour l'ensemble de l'année hydrologique qui se termine le 30 septembre 2014, la moyenne des 20 dernières années est de 22 tués dans des avalanches.



FIGURE *23* – Un petit crochet spontané en dehors des pistes s'est terminé pour un randonneur à ski par un déclenchement d'avalanche et un ensevelissement le 27 décembre. Dans la partie inférieure de la pente, deux autres avalanches secondaires de plaque de neige ont été déclenchées. Le randonneur a eu beaucoup de chance: Après 80 minutes d'ensevelissement, il a pu être dégagé vivant sous 120 cm de neige. Il ne portait pas d'équipement d'urgence (photo: Rega/M. Adank, 27.12.2013).

Deux personnes sont mortes par degré de danger 1 (faible) lors de la rupture d'une corniche suivie d'un déclenchement d'avalanche, 14 personnes ont perdu la vie par degré 3 (marqué) et une personne par degré 4 (fort). 15 accidents ont causé la mort d'une personne, un accident celle de deux personnes et un accident a tué quatre personnes.

La plupart des accidents mortels (9) ont eu lieu entre le 26 décembre et le 5 janvier. La combinaison d'une constitution fragile du manteau neigeux avec un risque élevé d'avalanche et un temps ensoleillé avec la présence en montagne de nombreux randonneurs et freeriders pendant les vacances de Noël s'est traduite pratiquement quotidiennement par des accidents impliquant des personnes. Trois accidents mortels ont été déplorés en février et un en mars.
13 personnes ont perdu la vie en zone de randonnées et quatre personnes en zone de hors-piste. 9 accidents avec au total 13 tués ont eu lieu en Valais, 2 accidents avec au total 2 tués dans les Grisons, 1 accident avec 1 tué dans le canton d'Uri et 1 accident avec 1 tué dans le canton de Vaud (cf. figure 24).

Avalanches ayant provoqué des dégâts matériels (situation au 31 mai 2014)
28 avalanches ont occasionné des dégâts matériels (aux bâtiments, aux infrastructures ou la forêt) ou ont donné lieu à des opérations de recherche et de dégagement (cf. figure 25 gauche).
A cause de la charge de la neige, d'importants dégâts forestiers ont été constatés dans certaines régions du versant sud des Alpes, où des arbres ont été pliés, déracinés ou ébranchés (cf. figure 25 droite).

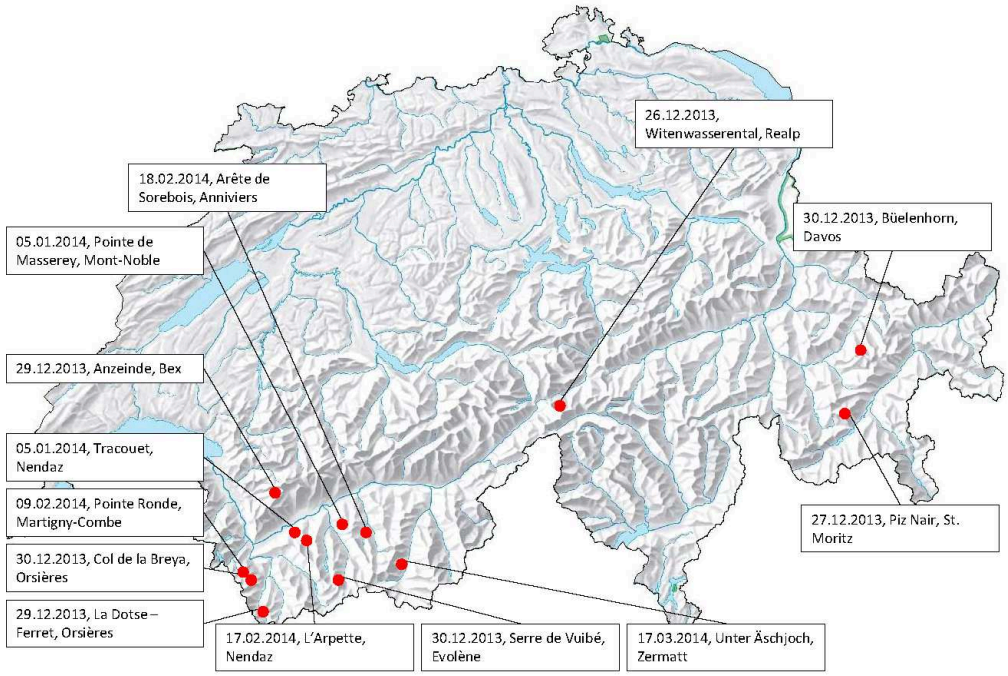


FIGURE *24* – Aperçu des accidents d'avalanche survenu au cours de l'hiver 2013/14 (situation au 31 mai 2014). Des informations provisoires complémentaires concernant ces accidents peuvent être consultées ici.

Le rapport détaillé relatif aux avalanches ayant provoqué des dommages corporels et des dégâts matériels est généralement publié l'année suivante (2015) après la saisie et l'exploitation de toutes les données dans la publication *Neige et avalanches dans les Alpes suisses. Année hydrologique 2013/14* (seulement allemand).



FIGURE *25* – Gauche: Une avalanche de glissement sur une pente orientée au sud-ouest proche de la crête de la Cima della Trosa (1869 m), TI, a détruit le 7 mars la remontée mécanique menant de l'Alpe Vegnasca (1422 m) à la Cimetta (1671 m) (photo: P. Paglia). Droite: Témoignage d'un hiver avec beaucoup de neige dans le sud: les mélèzes ont été enneigés jusqu'à grande hauteur. Lorsque le manteau neigeux s'est tassé, les branches ont été tirées vers le bas et arrachées du tronc. Alpe Campala à 1600 m, Lavizzara, TI (photo: SLF/K. Winkler, 11.04.2014).

Degrés de danger

Comme le montre la figure 26 (en haut) le degré de danger 4 (fort) a été annoncé pour dix jours dans l'évaluation de la soirée et dans l'évaluation matinale encore les 31 janvier, 2 février et 1er mars (non repris sur la figure 26).
Les 25 et 26 décembre, le danger d'avalanche atteignait pour la première fois de l'hiver le degré 4 (fort). Cela concernait essentiellement la crête principale des Alpes depuis la vallée de Zermatt jusque dans la vallée de Poschiavo, le nord et le centre du Tessin ainsi que le Moesano. Le 5 janvier, le danger d'avalanche atteignait le degré 4 (fort) dans les régions de la crête principale des Alpes situées en Engadine, dans le Valle Bregaglia, dans la vallée de Poschiavo et dans le val Müstair.

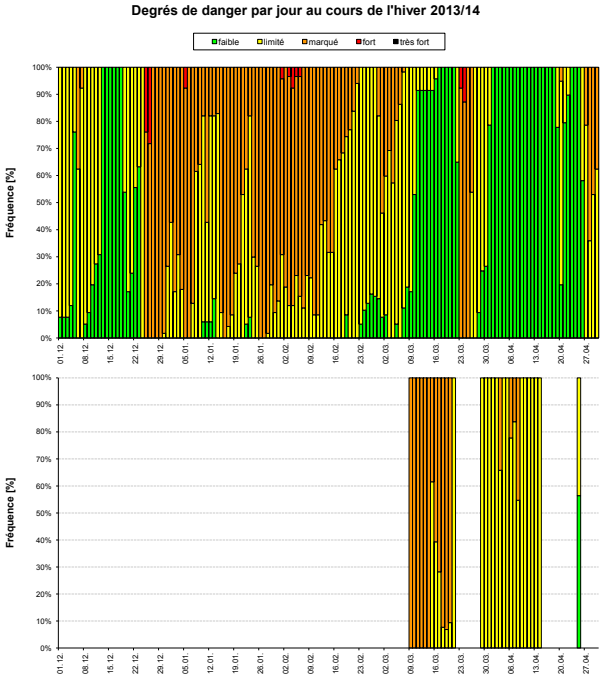


FIGURE *26* – Répartition des degrés de danger par jour au cours de l'hiver 2013/14. Le graphique du haut montre l'évaluation principale. Le graphique du bas présente le danger d'avalanche de neige mouillée en cours de journée (situation de l'après-midi en cas de danger d'avalanche de neige mouillée) lors de la diffusion de deux cartes de danger. Les pourcentages indiqués signifient exactement les pourcentages de sous-régions, ce qui correspond plus ou moins aux pourcentages de la superficie des Alpes suisses. Le graphique couvre la période du 1er décembre 2013 au 30 avril2014 pendant laquelle un bulletin d'avalanches avec carte de danger a été diffusé quotidiennement. La figure reprend les prévisions mentionnées dans le bulletin d'avalanches (diffusé à 17h00). Ces dates sont également utilisées pour les statistiques des figures 27 et 28.

Le matin du 31 janvier, les régions allant du Valle Bregaglia jusque dans la vallée de Poschiavo ont été caractérisées par un degré d'avalanche 4 (fort) et cette évaluation était également maintenue pour le 1 février. Dans l'évaluation matinale du 1er février, le danger a toutefois été ramené au degré 3 (marqué). Dans l'évaluation matinale du 2 février, il fallait s'attendre à un degré 4 (fort) dans les régions allant des vallées de la Maggia jusque dans la Surselva. Jusqu'au 6 février, cette situation tendue a persisté dans les vallées de la Maggia et dans le val Bedretto, et le 4 février, elle s'est étendue également à la crête principale des Alpes depuis la région du Simplon jusque dans la vallée de Conches.
Le matin du 1er janvier également, le danger a été évalué au degré 4 (fort) dans la région du Simplon ainsi que dans les vallées supérieures de la Maggia et dans le val Bedretto.
Une dernière période avec le degré 4 (fort) a duré du 23 au 24 mars. Ce degré de danger a commencé dans le nord et le centre du Tessin ainsi que dans le Moesano et s'est étendu en direction de la Haute-Engadine.

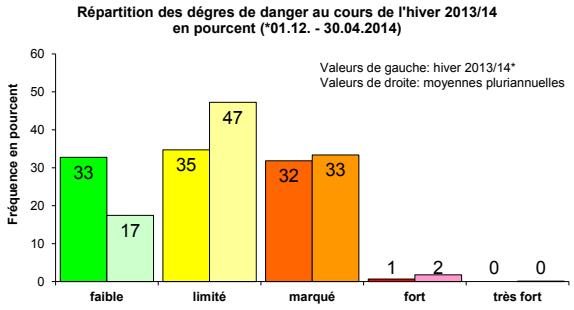


FIGURE *27* – Répartition sous forme de pourcentages des degrés de danger au cours de l'hiver 2013/14, et par rapport à la moyenne pluriannuelle, depuis que le bulletin d'avalanches est diffusé comme prévision d'avalanche (1997/98). Les fréquences ont été calculées comme suit: La comparaison se fonde sur les bulletins d'avalanches diffusés à 17h00. Les Alpes suisses sont divisées en environ 120 sous-régions. Pour déterminer la fréquence, on calcule pour chaque jour à combien de sous-régions on a attribué un degré de danger déterminé. Ces valeurs sont additionnées pour toutes les journées couvertes et ensuite divisées par le nombre total d'évaluations. La comparaison couvre à chaque fois la période du 1er décembre au 30 avril. Les évaluations de danger émises en dehors de cette période ne sont pas prises en considération.

La comparaison pluriannuelle indique que le degré 4 (fort) a été utilisé moins souvent (1%) que lors d'un hiver moyen (cf. figure 27). Le danger marqué d'avalanche (degré 3) a été annoncé dans 32% des cas, ce qui correspond plus ou moins à la moyenne

pluriannuelle. Le danger limité d'avalanche (degré 2) a été annoncé moins souvent avec 35% des cas et le faible danger d'avalanche (degré 1) a été annoncé plus fréquemment que la normale avec 33% des cas. Le degré de danger 5 (très fort) n'a jamais été utilisé. En mars et avril, le danger d'avalanche de neige sèche a évolué favorablement, surtout à la faveur du temps souvent ensoleillé et doux. Les degrés 1 (faible) et 2 (limité) dominaient à nouveau. Les périodes du 23 au 26 mars ont fait exception avec un épisode de précipitations allant du centre du versant sud des Alpes et de la Haute-Engadine jusqu'à l'est du versant nord des Alpes en passant par le centre des Grisons de même que celles du 27 au 30 avril avec de la neige fraîche en provenance du sud, surtout sur la partie valaisanne de la crête principale des Alpes.

Une première période d'avalanches de neige mouillée (cf. figure 26, en bas) a commencé le 9 mars et a pris fin le 21 mars; une seconde période moins intensive a duré du 29 mars au 14 avril.

Comme le montre la répartition des degrés de danger (cf. figures 27 et 28), l'hiver 2013/14 était moins dangereux qu'un hiver correspondant à la moyenne pluriannuelle. Depuis l'hiver 1997/98 (17 hivers), le degré 1 (faible) n'a encore jamais été utilisé aussi fréquemment (27% au cours de l'hiver 2006/07), et le degré 2 (limité) n'a été utilisé qu'une fois aussi rarement (hiver 2008/09). Cette répartition avec en particulier la fréquence du degré 1 (faible) est imputable à la persistance d'une longue situation favorable au cours de la première moitié de décembre ainsi qu'en mars et en avril.

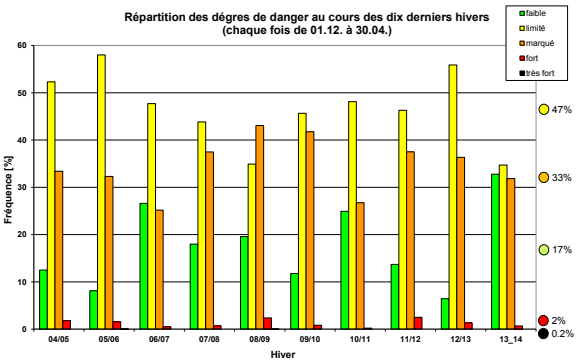


FIGURE *28* – Répartition des degrés de danger pendant les dix derniers hivers (2004/05 à 2013/14). La fréquence des degrés de danger varie fortement d'un hiver à l'autre en fonction de l'évolution du danger. La moyenne pluriannuelle de la répartition des degrés de danger depuis l'hiver 1997/98 (cf. figure 27) est indiquée tout à fait à droite. On ne constate aucune tendance à long terme dans l'utilisation des degrés de danger.

Bulletins d'avalanches

Au cours de l'hiver 2013/14, 187 bulletins d'avalanches ont été diffusés (table 5). Parmi ceux-ci 159 étaient des bulletins d'avalanches quotidiens diffusés entre le 28 novembre 2013 et le 3 mai 2014. Les 25 autres bulletins d'avalanches ont été diffusés en fonction de la situation pendant les mois d'octobre 2013 et de mai 2014.
Entre le 20 décembre 2013 et le 6 avril 2014, des bulletins d'avalanches ont été diffusés pour 108 jours, y compris le matin.

TABLE *5* – Dates de diffusion des bulletins d'avalanches au cours de l'hiver 2013/14.

Type de bulletins d'avalanches	**Date de diffusion**
Bulletins d'avalanches en fonction de la situation à l'automne 2013 (14)	octobre: 10, 12, 15, 22 novembre: 2 à 14 (chaque les 3 jours), 20 à 26 (chaque les 2 jours)
Premier bulletin d'avalanches quotidien	28 novembre
Premières évaluations matinales	20 décembre
Dernières évaluations matinales	6 avril
Dernier bulletin d'avalanches quotidien	3 mai
Bulletins d'avalanches en fonction de la situation en fin de l'hiver ainsi qu'en été (18)	mai: 4 à 24 (chaque les 2 jours), juin: 6, 28 juillet: 7, 9, 11, 21, 28

Été (juin à septembre 2014)

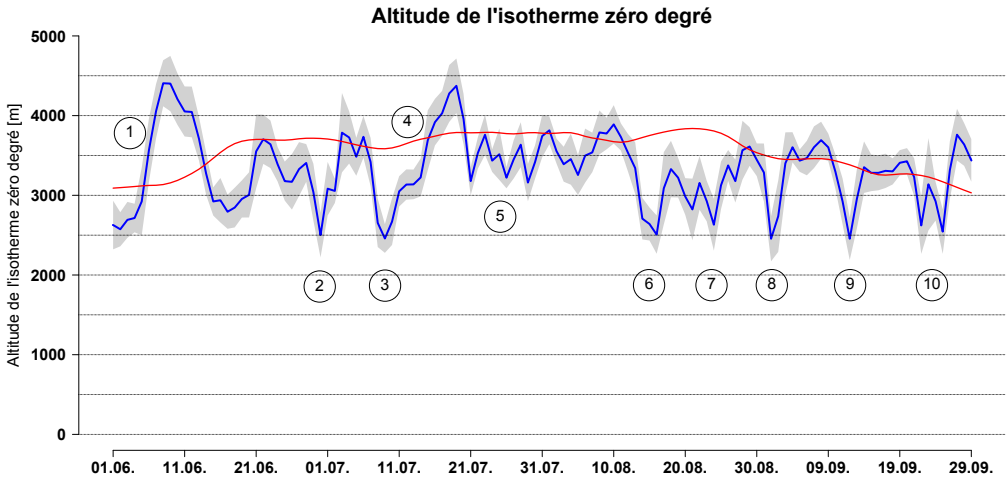


FIGURE *29* – Aperçu de l'évolution de l'isotherme zéro degré du 1 juin au 30 septembre 2014 (ligne bleue et zone grisée). A titre de comparaison, la ligne rouge indique la position moyenne de l'isotherme zéro degré au cours des 15 années précédentes. La situation de l'isotherme zéro degré a été calculée à partir des températures à la mi-journée de 11 stations automatiques du SLF et de MétéoSuisse dans l'hypothèse d'un gradient de température de 0.6 ˚C / 100 m.

Les périodes nivologiques et avalancheuses importantes de juin à septembre, qui sont numérotées dans la figure29, sont décrites brièvement ci-après:

1: Réchauffement sensible avec une isotherme zéro degré nettement au-dessus de 4000 m
Quelque 10 à 20 cm de neige sont tombés entre le 1er et le 5 juin en haute montagne sur la crête principale des Alpes, sur le versant sud des Alpes, dans les Préalpes et dans le nord des Grisons. Un réchauffement sensible est ensuite intervenu du 5 au 7 juin. L'isotherme zéro degré est montée pour la première fois de ce printemps nettement au-dessus de 4000 m. Aux altitudes supérieures à 2800 m, le manteau neigeux a été fortement humidifié, y compris sur toutes les pentes exposées au nord. En raison de températures nocturnes élevées, la surface neigeuse gelait à peine suffisamment pour être portante en dessous de 3500 m environ. Des avalanches et des coulées de neige mouillée se produisaient surtout sur les pentes exposées au nord au-dessus de 2800 m environ. Dans les régions intra-alpines, tout le manteau neigeux était parfois emporté. En raison de cette évolution, un bulletin d'avalanches a été diffusé pour le week-end de la Pentecôte.

2: Parfois beaucoup de neige fraîche, surtout en haute montagne
Le 28 juin, il y a eu des précipitations parfois intensives avec des orages, d'abord dans le sud, puis plus tard également dans le nord. La limite des chutes de neige est descendue à environ 2500m dans le sud, et à 2000 m et localement à 1600 m dans le nord. Les précipitations étaient les plus abondantes dans le sud où elles dépassaient parfois les 100 mm. Au-dessus de 3200 m environ, on enregistrait de 25 à 50 cm de neige fraîche dans la partie la plus occidentale du Bas-Valais, sur le centre de la crête principale des Alpes et dans certaines parties des Grisons; ailleurs, l'apport de neige était plus faible. A 2500 m, il y avait environ 20 cm de neige sur l'est du versant nord des Alpes et dans les Grisons. Un bulletin d'avalanches a été diffusé.

3: Beaucoup de neige en haute montagne
Après les faibles chutes de neige répétées du 1er au 7 juillet au-dessus de 3500 m, la période du 8 au 14 juillet était à nouveau caractérisée par d'abondantes précipitations. La limite des chutes de neige est descendue jusqu'aux alentours de 2000 m le 9 juillet, tandis que les autres jours, elle se situait généralement à environ 3000 m. Au-dessus de 3200 environ, de 100 à 150 cm de neige sont tombés sur la crête nord des Alpes et quelque 50 cm dans les autres régions. Trois bulletins d'avalanches ont été diffusés.

4: Réchauffement sensible
Le 19 juillet, l'isotherme zéro degré est montée pour la seconde et la dernière fois de cet été 2014 à environ 4500 m. Sous l'effet du réchauffement, la neige fraîche s'est décrochée en de nombreux endroits sous la forme d'avalanches de neige meuble. Les 18 et 19 juillet, des avalanches de plaque de neige ont provoqué au total quatre accidents d'avalanche dans le sud du Valais emportant dix personnes. Quatre alpinistes ont perdu la vie le 19 juillet. Cette accumulation d'accidents est très in-

habituelle pour un mois d'été.

5: A nouveau beaucoup de neige en haute montagne
La dernière semaine du mois de juillet était à nouveau marquée par des chutes de neige en haute montagne. Les précipitations étaient parfois intensives. La limite des chutes de neige se situait généralement entre 3000 m et 3500 m. À la fin du mois, l'apport de neige atteignait de 80 à 120 cm dans les hautes montagnes de l'Oberland bernois ainsi que de l'ouest et du nord du Valais, et de 60 à 80 cm dans les montagnes du sud du Haut-Valais. Un bulletin d'avalanches a été diffusé les 21 et 28 juillet.

6: Refroidissement sensible mais seulement peu de neige à haute altitude
Le 16 août, l'isotherme zéro degré a atteint son niveau le plus bas du mois d'août. Il n'a toutefois neigé que faiblement à partir de 2000 m. Auparavant, des courants de secteur sud-ouest avaient donné lieu à de fortes précipitations les 13 et 14 août dans le Tessin et les Grisons, mais ce n'est que dans le voisinage des sommets de la région de la Bernina que l'on enregistrait un apport de neige d'environ 50 cm.

7: Parfois à nouveau beaucoup de neige en haute montagne
Au cours de la nuit du 23 au 24 août, un front froid a apporté des flocons de neige sur le versant nord des Alpes à partir de 2000 m environ. La hauteur de neige fraîche était la plus importante sur le Säntis où elle atteignait 7 cm.
Les 26 et 27 août, les chutes de neige étaient plus importantes dans les hautes montagnes du versant nord des Alpes avec un apport de neige de 30 à 50 cm sur une grande partie du territoire et jusqu'à 70 cm dans certaines régions de l'ouest.

8: Début hivernal du mois de septembre surtout dans l'est
La première incursion d'air froid de septembre est intervenue le 1er septembre. De 10 à 20 cm de neige sont alors tombés au-dessus de 2500 m sur le centre et l'est du versant nord des Alpes.

9: La limite des chutes de neige temporairement à 2000 m
Le 12 septembre, la limite des chutes de neige est descendue dans l'est brièvement jusqu'à 1900 à 2100 m. A 2500 m, de 10 à 20 cm de neige sont tombés dans les régions touchées par les précipitations les plus abondantes du centre et de l'est du versant nord des Alpes ainsi que dans le nord des Grisons.

10: A nouveau de la neige à haute altitude surtout sur le centre et l'est du versant nord des Alpes
Deux autres incursions d'air froid se succédant rapidement ont à nouveau apporté chacune de 10 à 20 cm de neige au-dessus de 2500 m environ, surtout sur le centre et l'est du versant nord des Alpes.