

Titre : Variabilité spatiale de l'indice de risque d'avalanche prévu dans l'arc alpin

Auteur : Pascal Hagenmuller, Centre d'Études de la Neige, CNRM, Météo-France – CNRS, à partir des travaux de Franck Techel, WSL-SLF et co-auteurs.

Texte :

Tout au long de l'hiver, différents services nationaux ou régionaux de prévision produisent des bulletins d'estimation du risque d'avalanche, qui, réunis, couvrent l'ensemble de l'arc alpin européen. L'indice de risque d'avalanche, qui reste le premier point d'entrée du bulletin vers des informations plus précises comme la description des situations avalancheuses, fait référence à une échelle européenne unique (Figure 1). Dans le but d'améliorer la cohérence de son estimation au-delà des frontières, cette échelle est utilisée depuis 1994 par l'ensemble des services européens regroupés au sein de l'EAWS (European Avalanche Warning Services, www.avalanches.org). C'est une échelle ordinale à 5 niveaux allant de 1 pour un risque faible à 5 pour un risque très fort. Depuis sa création, elle a connu des évolutions mineures validées collégialement par les membres de l'EAWS, comme par exemple récemment, une nouvelle description de la taille des avalanches (voir n°162 de la revue). Les méthodes de production de l'indice de risque et l'interprétation de l'échelle elle-même peuvent néanmoins toujours différer entre les services et entraîner des biais. On peut donc se poser la question de la cohérence spatiale de l'indice prévu par les différents services de prévision. Techel et al. (2018) ont essayé d'y répondre, en collectant les données produites par ces différents services, dont Météo-France, sur la période décembre 2011 – avril 2015. Un résumé de ces travaux et des limites de l'étude est proposé ici par P. Hagenmuller.

L'objectif de l'article de Techel et al. (2018) n'est pas d'évaluer si le bulletin est juste en général, ce qui constitue un exercice très difficile de part le manque de données objectives et exhaustives caractérisant la stabilité du manteau neigeux, mais de se concentrer sur la cohérence entre la compréhension par le prévisionniste de la situation nivo-météorologique et la manière de la communiquer au travers de l'indice de risque d'avalanche. En particulier, les questions suivantes seront abordées :

- Y-a-t-il effectivement des biais dans l'estimation de cet indice entre les services ?
- Est-ce que ces biais s'expliquent par des différences d'organisation ou uniquement des différences de topographie et/ou de climatologie ?

Échelle de risque d'avalanche (à partir de la saison 2018/2019) - Version France				
	Indice de risque	Pictogramme	Stabilité du manteau neigeux	Probabilité de déclenchement
	5 Très fort		L'instabilité du manteau neigeux est généralisée.	De nombreux départs spontanés de très grandes avalanches, parfois d'ampleur exceptionnelle, sont à attendre, y compris en terrain peu raide*.
	4 Fort		Le manteau neigeux est faiblement stabilisé dans la plupart* des pentes suffisamment raides.	Déclenchements d'avalanches probables même par faible surcharge** dans de nombreuses pentes suffisamment raides*. Dans certaines situations, de nombreux départs spontanés de grandes, et parfois très grandes avalanches, sont à attendre.
	3 Marqué		Dans de nombreuses* pentes suffisamment raides, le manteau neigeux n'est que modérément à faiblement stabilisé.	Déclenchements d'avalanches possibles parfois même par faible surcharge** et dans de nombreuses pentes suffisamment raides*, surtout dans celles généralement décrites dans le bulletin. Dans certaines situations, quelques départs spontanés de grandes, et parfois très grandes avalanches, sont possibles.
	2 Limité		Dans quelques* pentes suffisamment raides, le manteau neigeux n'est que modérément stabilisé. Ailleurs, il est bien stabilisé.	Déclenchements d'avalanches possibles surtout par forte surcharge** et dans quelques pentes suffisamment raides*, généralement décrites dans le bulletin. Des départs spontanés de très grandes avalanches ne sont pas à attendre.
	1 Faible		Le manteau neigeux est bien stabilisé dans la plupart des pentes.	Les déclenchements d'avalanches ne sont en général possibles que par forte surcharge** dans de très rares pentes raides*. Seules des coulées ou des avalanches de taille moyenne peuvent se produire spontanément.

Figure 1: l'échelle européenne de risque d'avalanche. Elle se base sur trois critères principaux : le nombre de pentes dangereuses, la probabilité de déclenchement et la taille des avalanches.

Différences organisationnelles : domaines spatio-temporels de validité du bulletin

En France, par exemple, Météo-France produit un bulletin d'estimation du risque d'avalanche tous les jours vers 16 h durant la saison hivernale (de mi-décembre à mi-avril). Ce bulletin est valable pour le jour suivant sur un massif montagneux supposé climatologiquement homogène. Les prévisionnistes des différents centres régionaux (Alpes du Nord / Alpes du Sud), localisés à Grenoble, Briançon, Chamonix et Bourg-Saint-Maurice, rédigent des bulletins sur les massifs situés à proximité (GRE, BRI, CHX, BSM sur Figure 3). Ces centres sont coordonnés à l'échelle nationale au sein de Météo-France. Pour un massif et un jour donnés, plusieurs indices peuvent être proposés pour rendre compte de l'évolution du risque en fonction de l'altitude (dans 30 % des cas) ou de l'heure de la journée (par exemple, matin / après-midi, 25 % des cas) et plus rarement sur des sous-zones du massif (par exemple Est/Ouest Queyras, 0,4 % des cas) (Figure 2). Si, après diffusion du bulletin, les conditions météorologiques évoluent de façon nettement différente des prévisions, le bulletin peut, de façon occasionnelle, être mis à jour le matin (émission d'un amendement). Dans les autres services européens, l'organisation de la production peut différer sur différents aspects, dont:

- *La durée de validité et la fréquence d'actualisation du bulletin.* En Suisse, le bulletin est produit à 17 h pour une validité de 24 h et il est actualisé quasi-systématiquement à 8 h le lendemain matin. À l'opposé, les services italiens (AINEVA) produisent généralement un bulletin de façon moins fréquente mais pour une durée de validité plus longue.
- *Résolution spatiale du bulletin.* La taille médiane des zones sur laquelle est produite un bulletin spécifique sur l'arc alpin est de 350 km². Deux approches sont utilisées pour définir ces zones : une approche statique, où les zones sont fixes dans le temps et déterminées sur des critères géographiques et climatologiques (c'est le cas en France, Autriche, Allemagne et souvent en Italie) ; une approche dynamique, où de

plus petits secteurs sont agrégés en grandes zones considérées comme nivologiquement homogènes sur le moment (c'est le cas en Suisse, et en Val d'Aoste, notés respectivement SWI et VDA en Figure 3).

- *Extension maximale de la zone couverte par un service.* Le plus souvent, chaque service national ou régional produit un bulletin sur plusieurs zones. Le service suisse (WSL-SLF), basé à Davos, couvre la totalité des Alpes suisses (SWI sur Figure 3), alors que le service de Livigno couvre une seule zone en Italie (LIV sur Figure 3).
- *Prise en compte de la variabilité infra-massif et infra-journalière.* La plupart des bulletins communiquent sur l'évolution dans la journée du risque d'avalanche, liée, par exemple, au rayonnement solaire l'après-midi, mais cela ne se traduit pas systématiquement par des indices de risque différents dans le temps. De même, la forme des bulletins permet généralement de communiquer graphiquement sur le gradient altitudinal du risque, mais seuls certains services explicitent cette évolution par des valeurs d'indices différentes (par exemple en France, Allemagne, parfois Autriche). Certains services (e.g. en Suisse, en Autriche) publient parfois 2 cartes de risque différentes pour le matin et l'après-midi, ou désormais, selon la situation avalancheuse typique (Suisse).



Figure 2 : Exemple de bulletin Météo-France montrant une variabilité infra-massif marquée.

Données utilisées et prétraitement:

Les données collectées par Techel et al. (2018) comprennent les indices de risque estimés pour chaque zone de prévision des Alpes européennes durant les hivers 2011-2012 à 2014-2015, soit 477 jours et 281 zones. Ces données sont accessibles ici : <https://www.envidat.ch/dataset/forecast-avalanche-danger-level-europeana-alps-2011-2015>. Le nombre d'hivers pris en compte est réduit ; de plus, les hivers 2011-2012 et 2013-2014 ont été marqués par un enneigement supérieur à la moyenne. Néanmoins, retirer certains hivers du jeu de données ne semble pas affecter significativement les résultats agrégés à l'échelle de l'arc alpin et présentés ci-dessous.

Comme indiqué précédemment, la prise en compte de la variabilité infra-zone et infra-journalière de production, ainsi que la fréquence d'actualisation des bulletins, diffère selon les services. Afin d'avoir une base de données de l'indice de risque uniforme, pour chaque jour, c'est le maximum des indices de la journée, des altitudes et des sous-zones de production qui a été pris en compte, ce qui peut induire des biais et réduit encore plus l'information contenue dans le bulletin déjà limitée au seul indice de risque.

Résultats :

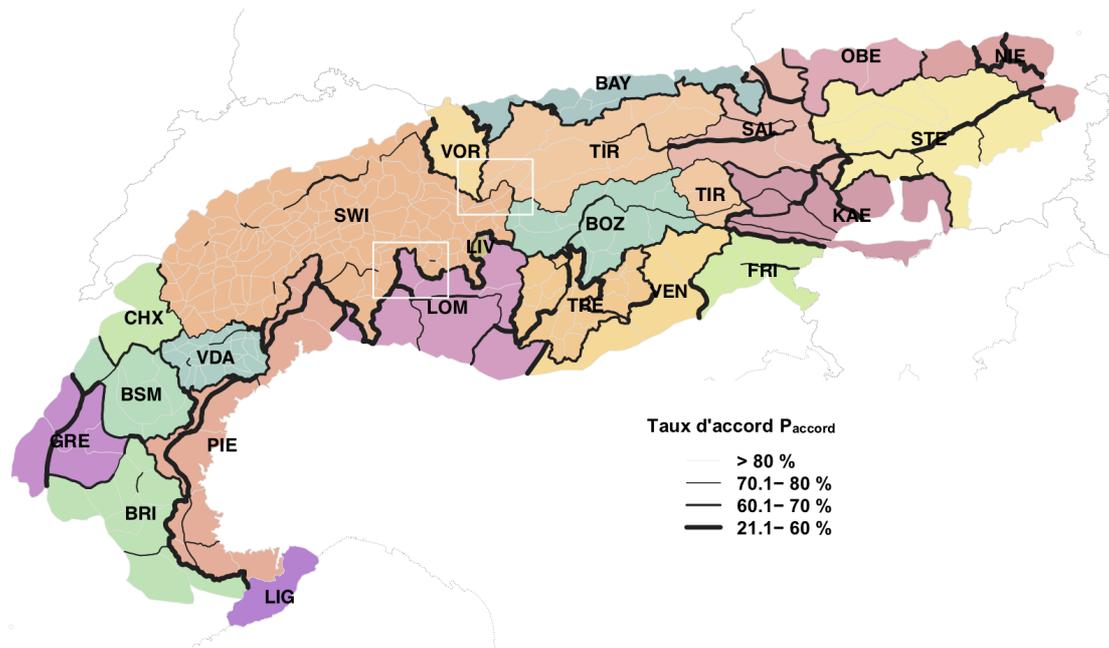


Figure 3: Carte montrant l'arc alpin et les différentes zones de prévision du risque d'avalanche (polygones) et les centres de prévision (par exemple, GRE : Grenoble). L'épaisseur de la frontière entre les différentes zones représente le degré d'accord des indices prévus (pouvant varier entre 0 % : aucun accord et 100 % : accord parfait). Adaptée de Techel et al. (2018).

La cohérence entre les zones de prévision est d'abord quantifiée par le pourcentage P_{accord} de fois où les indices de deux zones voisines sont égaux (Figure 3). En moyenne sur l'arc alpin, P_{accord} vaut 83 % pour deux zones voisines quelconques. Ce pourcentage s'élève à 91 % si on considère les zones traitées par un unique centre de prévision (frontière intra-service). Il diminue à 63 % si uniquement les zones entre centres de prévision (frontière inter-service) sont considérées. Les valeurs obtenues de P_{accord} ne varient que très peu quand les frontières des massifs dont l'altitude moyenne diffère de plus de 250 m ne sont plus prises en compte. Le biais entre deux zones voisines, c'est-à-dire le fait que l'indice d'une des deux zones soit systématiquement supérieur à celui de sa voisine, est assez fréquent. Un biais significatif existe pour 76 % des frontières, et pour 51 % des frontières intra-services. Celui-ci augmente avec l'altitude et la taille de la zone de prévision. Sur l'Isère (GRE sur la Figure 3), une frontière très nette se fait entre les massifs peu élevés des pré-alpes (Vercors et Chartreuse) des massifs intérieurs plus hauts (Belledonne, Grandes Rousses et Oisans), ce qui est cohérent avec les conditions nivologiques typiques de ces massifs. Un accord de 100 % entre zones voisines n'est pas une valeur à atteindre car elle signifierait que la frontière entre zones est superflue. Néanmoins, il est intéressant de remarquer que les différences les plus marquées se trouvent entre les services et non pas au sein d'un même service, et que le biais dépend à la fois de paramètres topographiques (altitude), organisationnels (taille de la zone de prévision) et, sans doute, nivologiques (les pays et/ou les centres rédacteurs ont parfois des frontières climatologiques naturelles). Ce dernier facteur important de variation de l'indice de risque ne peut pas être évalué par les données présentées ici.

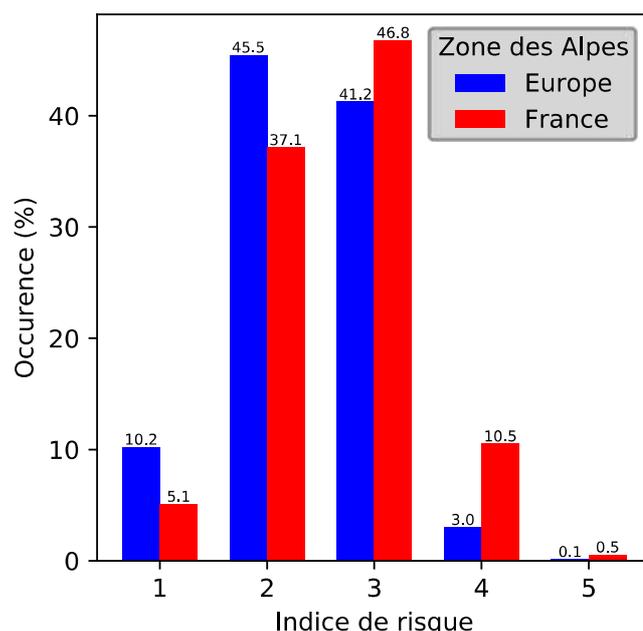


Figure 4: Distribution de l'occurrence des différents niveaux de risque maximum (voir ci-dessus) pour les Alpes européennes ou françaises.

La cohérence entre les différentes zones peut également s'évaluer sur la distribution des niveaux de risque par zone. Cette distribution agrégée à l'échelle de l'arc alpin est visible en Figure 4. Plus de 80 % des risques prévus le sont entre les niveaux limité (2) et marqué (3). La proportion par zone de jours en situation avalancheuse critique caractérisée par un risque fort (4) ou très fort (5) est globalement faible (médiane de 2,5 % pour l'arc alpin), mais en fait très variable au sein de l'arc alpin (Figure 5). Celle-ci est notamment plus élevée pour les services français et l'est de l'Italie (sauf Val d'Aoste VDA) que pour le reste des Alpes. Elle est plus faible en Suisse par rapport à la moyenne, ce qui entraîne une forte différence aux frontières franco-suisse et suisse-italienne (sauf VDA). Il apparaît que le risque fort (4) est plus fréquemment utilisé dans les Alpes françaises, comparées aux Alpes suisses (Figures 4 et 5).

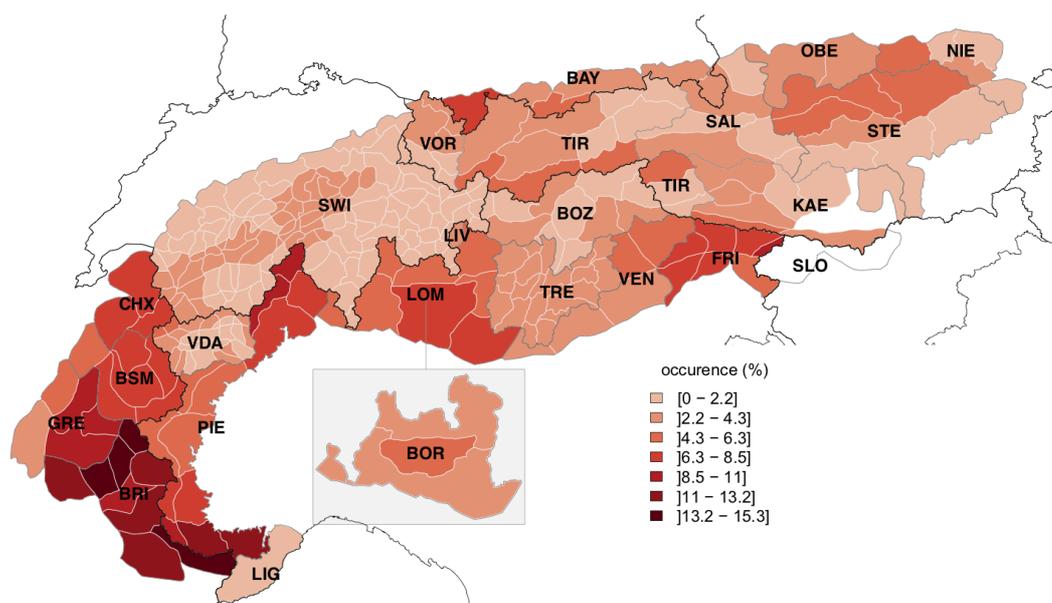


Figure 5: Carte d'occurrence des risques fort et très fort (≥ 4) dans l'arc alpin pour chaque zone de prévision. Adaptée de Techel et al. (2018).

Dans cet article, une hypothèse avancée pour expliquer le biais positif par certains services sur l'indice de risque est la taille des zones de prévision. Pour analyser en détail cet effet, Techel et al. (2018) ont défini artificiellement de grandes zones statiques et homogènes sur les secteurs (Suisse : SWI, Val d'Aoste : VDA, Figures 3 et 5) où le bulletin est habituellement estimé sur des zones dynamiques issues de l'agrégation de petites zones de prévision. Il s'agit d'estimer si le fait d'avoir des zones de prévision statiques permet de reproduire de manière satisfaisante le bulletin généré de manière dynamique à partir des petites zones agrégées. Il apparaît que dans 85 % des cas, l'indice « statique » aurait été identique à l'indice « dynamique ». Dans les 15 % restants, plusieurs indices auraient été nécessaires. Dans ce cas d'une variabilité infra-zone, faut-il donner le risque maximal sur la zone ou le plus représentatif ? Or, à ce jour, il n'y a pas de recommandation explicite de l'EAWS sur ce point. Une des entrées de l'échelle est bien le nombre de pentes dangereuses mais l'échelle spatiale à laquelle ce nombre est estimé peut être sujet à interprétation. À noter, que, par construction, les bulletins statiques permettant de différencier des risques intra-massifs (par exemple bulletin Météo-France) ont vu leur indice de risque réduit à l'indice de risque maximal sur la zone (cf. plus haut). De plus, la surface gérée par un seul prévisionniste est très généralement plus grande sur les zones dynamiques (par exemple, la Suisse) que sur les zones statiques.

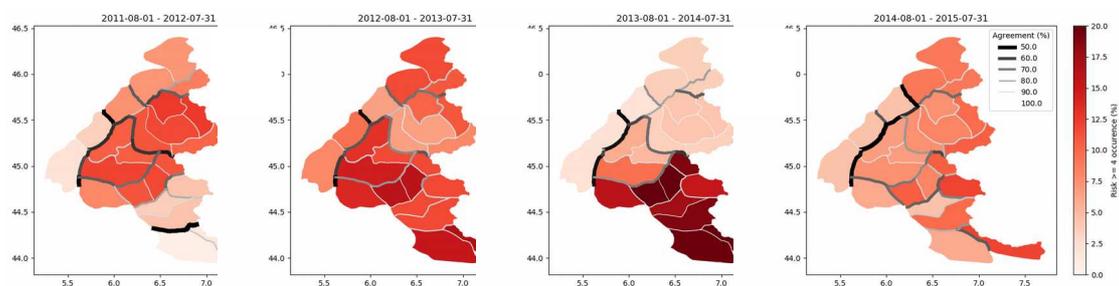


Figure 6 : Pourcentage d'accord entre zones de prévision et pourcentage d'occurrence des risques fort et très fort (≥ 4) pour les Alpes françaises et les 4 hivers considérés par l'étude de Techel et al. (2018).

Le pourcentage d'accord entre zones de prévision et la distribution des indices de risques fort et très fort est très variable selon l'année considérée. La Figure 6 montre un exemple de cette variabilité inter-annuelle sur les Alpes françaises. Une différence marquée entre les Alpes du Nord et du Sud est notamment visible pour l'hiver 2013-2014. La forte proportion de prévision en risque ≥ 4 observée sur les Alpes du Sud sur les hivers considérés par Techel et al. (2018) (Figure 5) est donc fortement liée à la présence de cet hiver 2013-2014 particulier dans le jeu de données considéré.

Conclusion :

L'étude de Techel et al. (2018) constitue la première étude explorant la cohérence spatiale des indices de risque sur l'arc alpin, où l'échelle européenne des risques est appliquée. Basée sur 4 hivers de bulletins rédigés par 23 centres de prévision différents, elle montre que :

- le pourcentage d'accord des indices sur des zones frontalières et produits par des services différents est de 30 %, un pourcentage plus faible que celui entre des zones traitées par un même service ;
- il y a un biais entre les services de prévision. Notamment pour les indices 4 et 5 (fort et très fort), qui sont plus rarement utilisés en Suisse qu'en France ;
- en cas de forte variabilité intra-zone de prévision, aucune recommandation ne permet de déterminer si c'est le risque maximal ou moyen qui doit être affiché comme risque principal, ce qui peut expliquer, en partie, la dépendance des biais à la taille des zones de prévision.

Cette étude permet d'identifier une des causes possibles des différences dans les indices de risque prévus : la taille des zones de prévision, qui est fortement liée à la nature de celles-ci : statique ou dynamique. Néanmoins, elle ne permet pas d'estimer les biais « naturels » liés

aux conditions d'enneigement et aux pratiques internes de construction du bulletin. Par exemple, Techel et al. (2015) ont montré un ratio accident/fréquentation 1,6 fois plus élevé, en moyenne, dans les Alpes suisses intérieures comparées aux autres régions suisses, ce qui illustre une différence marquée de climatologie entre régions. Par ailleurs, en pratique, le risque 4 est couramment utilisé en France pour décrire une situation avalancheuse avec un fort risque de déclenchement par les pratiquants de la montagne mais avec un risque plus limité de départ spontané d'avalanche donc avec peu d'enjeu pour les infrastructures (route, habitations, etc.). En suisse, l'utilisation d'un danger fort (indice 4) d'avalanche pour les skieurs implique au moins une activité avalancheuse spontanée de très nombreuses avalanches de taille moyenne à grande

Un pratiquant de la montagne hivernale s'habitue généralement au bulletin d'estimation du risque d'avalanche produit dans les zones qu'il fréquente le plus. Il ne faut pas qu'il considère que l'indice de risque prévu dans une autre région est une copie conforme de la représentation qu'il s'en ferait dans sa région habituelle. Par exemple, un risque 3 en Suisse peut ne pas être strictement équivalent à un risque 3 en France ; dans certains cas, il correspondra à un risque 4 français. Il est donc très important de ne pas résumer le bulletin au seul indice de risque. L'utilisation correcte de cet indice requiert la lecture des informations associées, telles que le type de situation avalancheuse, la localisation des pentes les plus dangereuses mais aussi les éléments observables à confronter aux observations faites sur le terrain.

Références :

- Techel, F., Mitterer, C., Ceaglio, E., Coléou, C., Morin, S., Rastelli, F., & Purves, R. S. (2018). Spatial consistency and bias in avalanche forecasts – a case study in the European Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(10), 2697–2716. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2697-2018>
- Techel, F., Zweifel, B., & Winkler, K. (2015). Analysis of avalanche risk factors in backcountry terrain based on usage frequency and accident data in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(9), 1985–1997. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1985-2015>