EUROPEAN AVALANCHE WARNING SERVICES

Détermination du niveau de danger d'avalanche dans la prévision régionale

EAWS - Groupe de Travail Matrice et Échelle, mis à jour en mai 2025 et accepté par l'assemblée générale de l'EAWS en juin 2025.

L'EAWS recommande l'utilisation des définitions, termes et classes associées, pour la description du danger d'avalanche tel que présenté dans ce document. Les paragraphes qui suivent définissent le niveau de danger d'avalanche et les facteurs qui y contribuent : stabilité du manteau neigeux, distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux et taille des avalanches. Un niveau de danger d'avalanche peut seulement être *déterminé pour une zone d'une certaine extension géographique*. Le paragraphe définissant le cadre spatio-temporel fournit les termes et conditions d'utilisation de ce concept. Nous concluons avec la *méthodologie et la Matrice EAWS à utiliser pour déterminer le niveau de danger. Les annexes fournissent des détails et exemples supplémentaires sur les considérations et la méthode du groupe de travail.*

Danger d'avalanche

Définition:

> Le danger d'avalanche représente le potentiel qu'ont une avalanche, ou plusieurs, de causer des dommages à quelque chose de valeur (Staham et al. 2018).

Niveau de danger d'avalanche

Définition:

> Le niveau de danger d'avalanche est une fonction de la stabilité du manteau neigeux, de la distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux et de la taille des avalanches, le tout pour une unité de temps et d'espace donnée. Il existe 5 niveaux de danger : ***5-très fort, 4–fort, 3-marqué, 2–limité, 1–faible***.

Description technique des niveaux de danger d'avalanche

Le tableau suivant fourni la description technique des niveaux de danger d'avalanche. Cette description établit le lien entre l'échelle européenne de danger d'avalanche et la matrice EAWS.

Niveau de danger	**Description technique**
Très fort	Des avalanches spontanées se produisent dans de nombreuses pentes. Elles peuvent être de très grande taille ou d'ampleur exceptionnelle.
Fort	Des avalanches spontanées peuvent se produire dans de nombreuses pentes. Des avalanches peuvent être déclenchées très facilement par des personnes dans de nombreux endroits. Les avalanches peuvent être de grande ou très grande taille.
Marqué	Des avalanches peuvent être déclenchées facilement ou très facilement par des personnes dans quelques ou même dans de nombreux endroits. Des avalanches spontanées peuvent se produire dans quelques pentes, même si elles sont souvent absentes. Les avalanches peuvent être de moyenne ou grande taille.
Limité	Des avalanches peuvent être facilement déclenchées par des personnes dans peu ou quelques endroits. Il n'y a typiquement pas d'avalanches spontanées ; tout au plus elles peuvent se produire dans peu de pentes. Les avalanches peuvent être de taille moyenne.
Faible	Il n'y a que peu d'endroits où des avalanches peuvent être facilement déclenchées par des personnes. Typiquement, il n'y a pas d'avalanches spontanées. Les avalanches sont généralement de petite taille, mais peuvent être de taille moyenne.

Définition du cadre spatio-temporel

Les échelles spatiales suivantes sont à considérer pour la détermination du danger d'avalanche.

Domaine de prévision

Le domaine de prévision est l'aire de responsabilité d'un service de prévision d'avalanche sur laquelle des prévisions de danger d'avalanche sont émises. Il est généralement fixe pour un service de prévision.

Micro-région

Une micro-région est la plus petite entité géographique utilisée pour évaluer le danger d'avalanche. Elles sont fixes, et permettent aux usagers de savoir exactement quelle zone géographique est décrite. Elles peuvent être délimitées par des frontières administratives (e.g., entre pays, départements, communes, etc) ; elles peuvent aussi décrire des zones homogènes d'un point de vue climatologique, hydrologique ou météorologique ; ou être basées sur des divisions orographiques ou une combinaison de ces différentes délimitations possibles.

Unité de référence

Une unité de référence est la plus petite entité spatio-temporelle sur laquelle un niveau de danger d'avalanche peut être émis. Elle peut être délimitée par différent(e)s altitudes et/ou orientations au sein d'une micro-région (Figure 1). Aussi, elle doit être suffisamment étendue pour inclure un éventail suffisant de terrains avalancheux. L'unité de référence doit être définie et être consistante au sein d'un même service de prévision (et idéalement entre services de prévision).

Région d'émission d'un bulletin

Une région d'émission est une agrégation de micro-régions, pour lesquelles les conditions sont estimées être similaires et sont évaluées avec le même niveau de danger pour les mêmes altitudes et orientations concernées, les mêmes situations avalancheuses typiques et la même description du danger. Les régions d'émissions peuvent varier d'un jour à l'autre du fait de l'agrégation de ces paramètres. Une région d'émission est plus petite ou égale au domaine de prévision et plus grande ou égale à une micro-région.

Résolution

La résolution spatio-temporelle utilisée pour définir le danger d'avalanche dépend en premier lieu de la disponibilité de données pertinentes et fiables, à une résolution spatiale et fréquence temporelle suffisante. Donc, la résolution des évaluations du danger d'avalanche pourra varier d'un service de prévision à l'autre. Typiquement, les éléments suivants caractérisent la résolution spatio-temporelle utilisée pour établir le niveau de danger d'avalanche :

- la taille des micro-régions au sein d'un domaine de prévision (Figure 1a),
- la résolution pour les altitudes et/ou orientations (Figure 1b and c), et
- la division temporelle au sein de la période de validité d'une prévision (e.g., dans la matinée/soirée, Figure 1d).

La combinaison de ces éléments définit la plus petite l'unité de temps et d'espace sur laquelle un prévisionniste peut émettre un niveau de danger d'avalanche, appelée par la suite unité de référence.

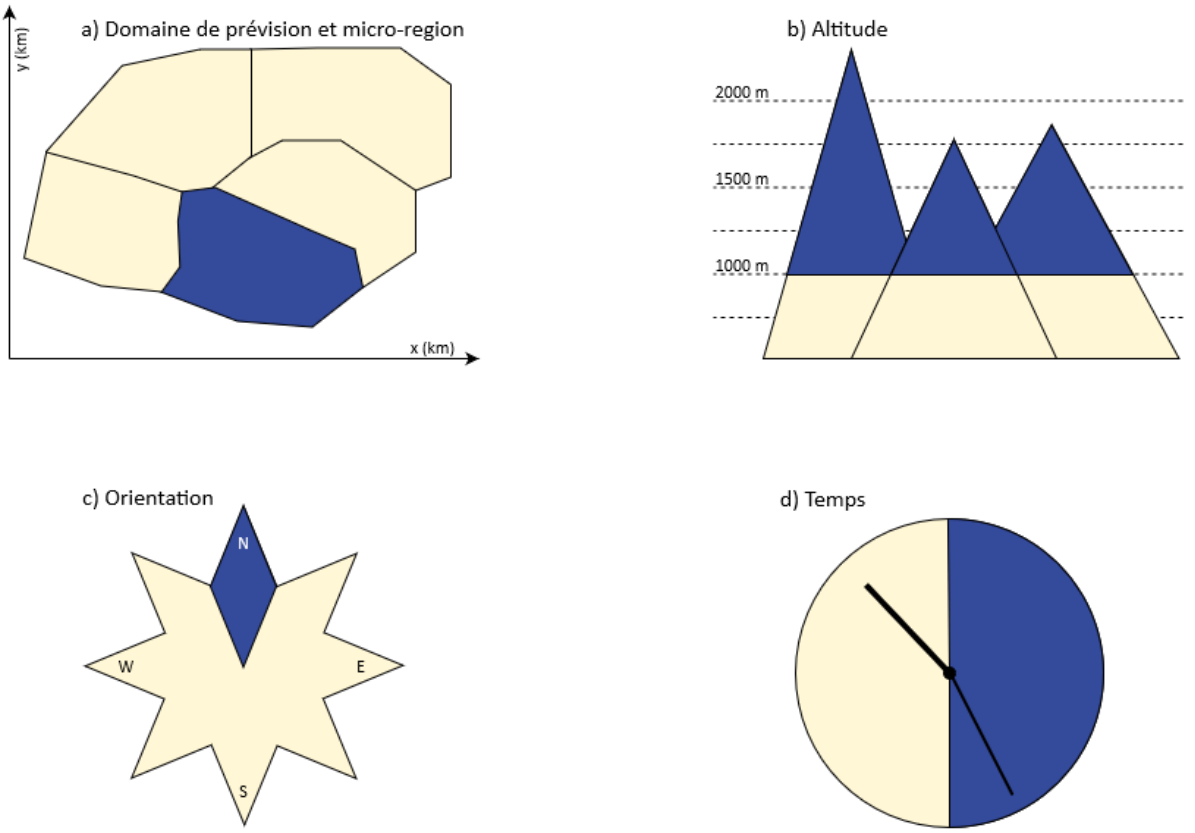


Figure 1 : Une unité de référence est caractérisée par la combinaison des plus petites subdivisions pour les éléments suivants : (a) la plus petite entité géographique (micro-région) au sein d'un domaine de prévision, (b) la résolution sur les altitudes et (c) les orientations, et (d) la subdivision temporelle. Dans la figure, les exemples de divisions sont mis en évidence en bleu. Ici, la taille d'une micro-région définit l'extension spatiale, l'altitude est résolue par pas de 250m et est rendue dans le bulletin comme deux indices au-dessus et au-dessous d'une certaine altitude, les orientations sont définies par huit secteurs tandis que temporellement ne seront distingués que le matin et l'après-midi. La combinaison de ces éléments, surlignés en bleu, est l'unité de référence, la plus petite entité spatio-temporelle sur laquelle un niveau de danger d'avalanche peut être émis.

Stabilité du manteau neigeux

Définition:

La stabilité du manteau neigeux est une propriété locale du manteau neigeux, décrivant la propension d'une pente enneigée à partir en avalanche (Reuter and Schweizer, 2018). Elle peut être décrite suivant 4 classes : *très mauvaise, mauvaise, moyenne et bonne.*

Remarques

1. Selon le type d'avalanche, la stabilité du manteau neigeux est décrite par :
    a. L'initiation d'une rupture, la propagation de la rupture et forces en traction (avalanches de plaque) (Reuter and Schweizer, 2018)
    b. La perte de cohésion (avalanches de neige sans cohésion, départs ponctuels) (e.g., McClung and Schaerer, 2006)
    c. La perte de friction basale et de support de la plaque en traction et/ou compression (avalanches de glissement) (e.g., Bartelt et al., 2012).
2. La stabilité du manteau neigeux est une propriété locale. Elle est inversement liée à la probabilité d'un départ d'avalanche. La stabilité du manteau neigeux décrit la capacité du manteau neigeux à supporter un élément déclencheur (Statham et al., 2018a), par exemple une personne skiant dans une pente. Le Tableau A-2 de l'annexe A donne une synthèse des termes utilisés pour cela dans la littérature. Elle diffère de la probabilité d'occurrence d'avalanche, qui dépend de l'échelle et résulte de la stabilité et de sa distribution de fréquence des points de moindre stabilité pour une zone donnée (Schweizer et al., 2020)
3. Le terme *local* désigne un endroit dont la taille est comprise entre une zone potentielle de déclenchement ou zone de test de stabilité, et une zone de départ d'avalanche.
4. Les évaluations de la stabilité du manteau neigeux peuvent référer soit au futur (prévision) ou au présent (analyse ou prévision immédiate) et être basées sur des observations ou des modèles. E.g., si la stabilité du manteau neigeux dans une zone départ est considéré comme « moyenne » aujourd'hui, et que d'ici le demain une nouvelle couche de neige est attendue, la stabilité du manteau neigeux du lendemain, incluant la nouvelle couche de neige, doit être réévaluée. Il est probable qu'elle soit devenue « mauvaise », voire « très mauvaise » à ce moment-là.

Table 1: Classes de stabilité et type de déclenchements généralement associé à ces classes. Voir figure A1 à A3 de l'annexe A.

Classe de stabilité	**Que faut-il pour déclencher une avalanche ?**
Très mauvaise	Spontanée / très facile à déclencher
Mauvaise	Facile à déclencher
Moyenne	Difficile à déclencher
Bonne	Conditions stables

Distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux

Définition :

La distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux décrit le pourcentage de points, pour chaque classe de stabilité, par rapport à l'ensemble des points qui constituent un terrain avalancheux. Ainsi, la fréquence *f* pour tous les points de la classe *i* (n_i) rapportée à tous les points (*n*) est *f*(i) = n_i/n. La distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux est décrite selon quatre classes : *nombreuses*, *quelques*, *peu et aucune/très rare* (Table 2).

Remarques

1. La distribution de fréquence de stabilité se réfère à des nombreux points (i.e., tests de stabilité, modèles du manteau neigeux ou zones potentielles de déclenchements provoqués) ou bien à des zones de départ d'avalanche.
2. La fréquence doit être évaluée pour une entité géographique plus grande ou égale à l'unité de référence.
3. La définition demande en théorie un pourcentage. Cependant, cela est souvent impossible à faire dans la mesure où la distribution de fréquence doit être déduite de données éparses dans la pratique. Les pourcentages ou seuils des classes *nombreuses*, *quelques*, *peu et aucune/très rare* diffèrent en fonction des observations/évidences utilisées ou disponibles (voir Annexe B). Par exemple, le pourcentage de pentes produisant des avalanches spontanées peut être inférieur au pourcentage de points où les tests de stabilité indiquent une « *très mauvaise »* stabilité, bien que ces deux proportions puissent être classées dans la catégorie « *nombreuses* ».
4. Voir l'Annexe B pour un bref aperçu des recherches sur la répartition des niveaux de stabilité du manteau neigeux.

Tableau 2 : Classes de distribution de fréquence de stabilité du manteau neigeux.

Classe de fréquence	Description	Évidence (e.g., observations)
Nombreuses	Les points avec cette classe de stabilité sont abondants.	Signes d'instabilité faciles à trouver sur le terrain.
Quelques	Les points de cette classe d'instabilité ne sont ni nombreux ni rares, mais ils existent généralement dans des terrains avec des caractéristiques communes (i.e., près des crêtes, dans les couloirs, etc).	
Peu	Les points avec cette classe de stabilité sont limités en nombre. Malgré cela, ils sont considérés comme pertinents pour l'évaluation de la stabilité.	Signe d'instabilité difficile à trouver sur le terrain.
Aucune/très rare	Les points avec cette classe de stabilité n'existent pas ou sont tellement rares qu'ils ne sont pas considérés comme pertinents pour l'évaluation de la stabilité.	

La figure B-1 illustre le concept de distribution de fréquence dans un cas idéalisé.

Taille des avalanches

Définition :

La taille des avalanches décrit le potentiel destructeur des avalanches.

La question clé : "Quelle taille peuvent atteindre les avalanches ?" doit être adressée sur la base du tableau 3.

Tableau 3 : Description des classes de taille des avalanches. Pour une description plus détaillée, voir EAWS (2022).

Taille	Nom	Potentiel destructeur
1	**Petite**	Il est peu probable qu'une personne soit enfouie, sauf dans les zones d'écoulement aux caractéristiques défavorables (e.g., des pièges de terrain).
2	**Moyenne**	Peut enfouir, blesser ou tuer une personne.
3	**Grande**	Peut enfouir et détruire des voitures, endommager des camions, détruire de petits bâtiments et briser quelques arbres.
4	**Très grande**	Peut enterrer et détruire des camions et des trains. Peut détruire des bâtiments assez grands et de petites zones de forêt.
5	**D'ampleur exceptionnelle**	Peut dévaster le paysage et a un potentiel destructeur catastrophique.

Les prévisionnistes doivent estimer la plus grande taille d'avalanche à laquelle il est raisonnable de s'attendre dans les conditions observées ou prévues et qui doit donc être prise en compte dans l'évaluation du danger et la prise de décision, c'est-à-dire la plus grande classe de taille susceptible de se produire si une avalanche est déclenchée ou se décroche. Par exemple, pour une situation qui pourrait être décrite par : « Si des avalanches se déclenchent spontanément, elles peuvent atteindre une taille maximale de 3. ». Il faut s'attendre à des avalanches de taille 1, 2 et 3, tandis que des avalanches de taille 4 et 5 ne sont pas prévues. Nous attribuons donc la taille 3 comme taille d'avalanche à utiliser dans la matrice (voir tableau ci-dessous).

Taille des avalanches	Si une avalanche se produit, sa classe de taille est...
5	Non prévues
4	Non prévues
3	Attendues
2	Attendues
1	Attendues

Méthodologie pour la détermination du danger d'avalanche

La méthodologie décrit le cheminement depuis l'évaluation des situations avalancheuses typiques jusqu'à la détermination du niveau de danger d'avalanche pour une région de prévision. Tous les problèmes avalancheux pertinents doivent être pris en compte et évalués, quant à la classe stabilité associée, sa fréquence et la taille potentielle des avalanches. Le niveau de danger le plus élevé qui en résulte sera communiqué pour le domaine de prévision donné.

Table 4 : Méthodologie pour la détermination du danger d'avalanche.

Tâche		Explications et remarques
1	**Évaluer les problèmes avalancheux présents.**	Choisir parmi les situations avalancheuses typiques définies par l'EAWS (EAWS 2022)
	Si aucune situation avalancheuse typique n'existe, le niveau de danger est de 1-faible.	
2	**Pour chacune de ces problèmes, évaluez les zones (altitude, orientation) et le moment de la journée où le problème est présent.**	
3	**Pour ces zones/périodes, évaluez les classes de stabilité du manteau neigeux.**	La stabilité du manteau neigeux est liée à la question suivante : "Que faut-il pour déclencher une avalanche ?". Souvent, les endroits où la stabilité du manteau neigeux est la plus faible sont décisifs.
4	**Pour ces classes de stabilité, évaluez la fréquence.**	La fréquence est liée à la question suivante : "Quelle est la fréquence des zones où des avalanches peuvent être déclenchées par l'élément déclencheur spécifié à l'étape 3 ?"
5	**Évaluer la taille des avalanches.**	La taille des avalanches est liée à la question suivante : "Quelle taille peuvent atteindre les avalanches ?" Souvent, la plus grande taille d'avalanche attendue est décisive.
	Si la stabilité du manteau neigeux, la fréquence et/ou la taille des avalanches varient considérablement d'une orientation et/ou d'une altitude à l'autre, et/ou au cours de la période de prévision, répétez les étapes 3 à 5 pour identifier les zones/périodes présentant la plus défavorable des combinaisons de ces trois facteurs.	
6	**Se référer à la matrice EAWS pour obtenir le niveau de danger pour la combinaison stabilité du manteau neigeux/fréquence/taille des avalanches sélectionnée lors des étapes 3 à 5.**	
	Répéter les étapes 2 à 6 pour les autres situations avalancheuses typiques présentes.	
7	**Choisir le niveau de danger le plus élevé obtenu à l'état l'étape 6.**	

Matrice EAWS

La matrice est utilisée pour déterminer le niveau de danger d'avalanche à partir de la classe de stabilité du manteau neigeux, de la fréquence des endroits présentant cette stabilité et de la plus grande taille des avalanches attendue. Elle est particulièrement adaptée à l'évaluation des situations en neige sèche (neige fraîche, neige ventée et couche faible persistante). Les expériences acquises au cours des trois premières saisons suivant son introduction ont montré que, pour les situations de neige humide et de glissement, associés à une *très mauvaise* stabilité (annexe A), les prévisionnistes avaient tendance à attribuer un niveau de danger plus bas que pour les situations en neige sèche présentant la même combinaison de stabilité, de fréquence et de taille.

La conception de la matrice repose sur le constat que la fréquence des endroits présentant la stabilité la plus faible est souvent déterminante pour l'attribution du niveau de danger (Techel et al., 2020a). Ce principe se reflète dans la représentation de trois panneaux distincts correspondant aux classes de stabilité *très mauvaise, mauvaise et moyenne*, reliés par des flèches de gauche à droite (figure 2). Pour chaque classe de stabilité, les combinaisons de fréquence (axe vertical) et de taille d'avalanche (axe horizontal) sont regroupées dans un panneau distinct. La structure de la matrice reflète la logique d'utilisation : le prévisionniste commence dans le coin supérieur gauche, correspondant aux conditions les plus défavorables, puis élimine systématiquement les combinaisons qui ne sont pas plausibles. En progressant dans la matrice, il parvient à la cellule qui représente le mieux les conditions attendues.

Pour attribuer un niveau de danger à l'aide de la matrice, le prévisionniste commence par la classe de stabilité la plus faible, c'est-à-dire *très mauvaise*, et en évalue la fréquence. Si de tels endroits n'existent pas ou sont si rares qu'ils ne sont pas considérés comme pertinents pour l'évaluation du danger (classe *aucun/très rare*, tableau 3), l'analyse se poursuit avec la classe de stabilité suivante, conformément aux flèches de la figure 2. Cette démarche est répétée pour les endroits présentant une stabilité *mauvaise* puis, si nécessaire, *moyenne*. Si la stabilité du manteau neigeux est évaluée comme *bonne*, le niveau de danger est automatiquement fixé à *1 – Faible*, indépendamment des deux autres facteurs. Dans certaines situations, il peut être nécessaire de prendre en compte à la fois la classe de stabilité la plus faible et la classe suivante, notamment lorsque cette dernière est nettement plus fréquente que la première. Dans ce cas, deux combinaisons stabilité–fréquence peuvent être retenues. Lors de la dernière étape, le prévisionniste détermine la plus grande taille d'avalanche à laquelle il est raisonnable de s'attendre compte tenu des conditions prévues, autrement dit la plus grande taille attendue. Alors que la stabilité et la fréquence sont liées, l'évaluation de la taille des avalanches est indépendante.

La combinaison des classes de stabilité, de fréquence et de taille d'avalanche retenues conduit à une, ou occasionnellement deux, cellules de la matrice indiquant le niveau de danger qui représente le mieux la situation dans une région d'émission du bulletin. Toutefois, les résultats de l'enquête ayant servi à élaborer la matrice n'ont pas toujours montré un consensus clair sur le niveau de danger associé à une combinaison donnée de facteurs (figure 2). C'est pourquoi certaines cellules affichent un seul niveau de danger alors que d'autres en affichent deux. La valeur indiquée sans parenthèses correspond au niveau de danger reflétant la réponse la plus fréquente ainsi que la réponse moyenne des prévisionnistes ; elle détermine la couleur de la cellule, en conséquence. Lorsque l'intervalle interquartile des réponses comprend un second niveau de danger distinct, celui-ci est indiqué entre parenthèses. L'affichage d'un second niveau de danger vise à conserver explicitement la variabilité des avis d'experts. Par exemple, pour la combinaison très mauvaise – quelques-uns – taille 3 (figure 2), la matrice indique un niveau de danger *3-Marqué* ainsi qu'un *4-Fort* entre parenthèses. Comme le montrent Müller et al. (2024), 34 % des prévisionnistes ont privilégié un niveau de danger autre que *3-Marqué*

pour cette combinaison. Les cellules restent non colorées lorsque moins de 70 % des répondants ont fourni une estimation du niveau de danger (Müller et al., 2024).

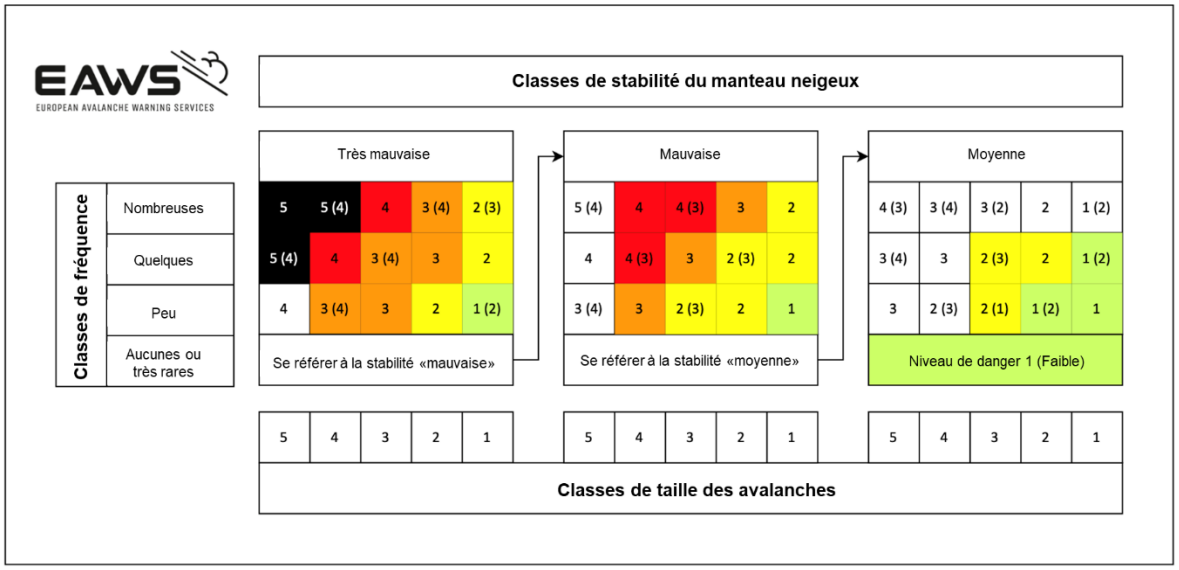


Figure 2 : Matrice EAWS, mise-à-jour en 2025.

Annexe A: Stabilité du manteau neigeux

Les figures A-1 à A-3 présentent un aperçu des relations entre les classes de stabilité du manteau neigeux et les phénomènes ou observations typiquement associés à celles-ci.

Indicateurs de la stabilité en situations de neige sèche :

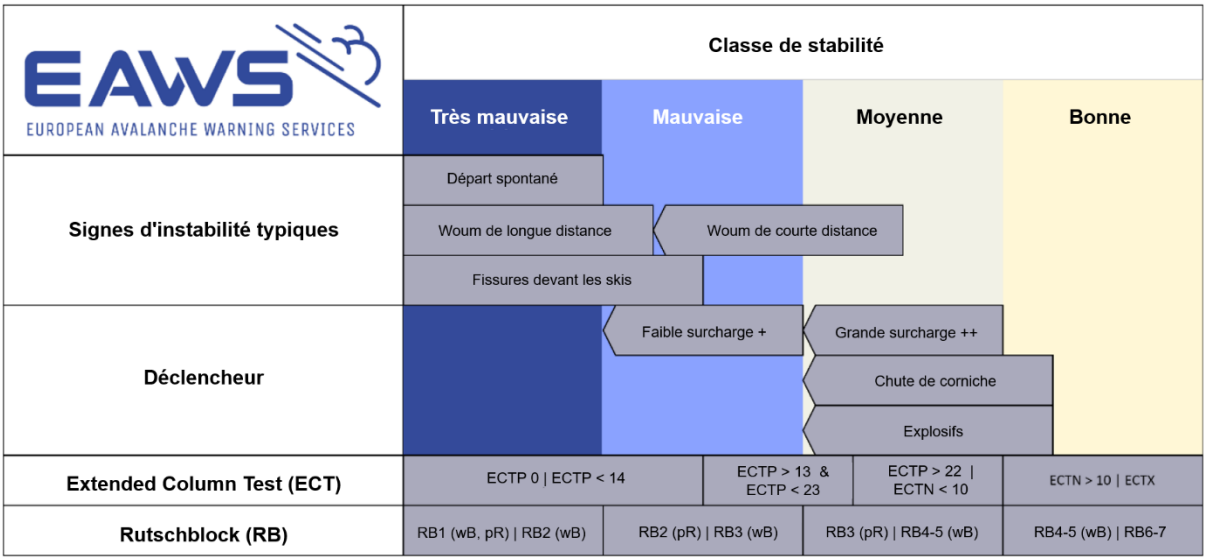


Figure A-1: Indices ou observations couramment associés aux différentes classes de stabilité du manteau neigeux pour les avalanches de plaque en neige sèche. Les flèches soulignent une continuité entre les classes de stabilité. Les avalanches spontanées constituent un indice clair d'une stabilité très mauvaise, tandis qu'une faible surcharge additionnelle et une forte surcharge additionnelle correspondent approximativement à une stabilité mauvaise et moyenne, respectivement. Les observations et les résultats des tests de stabilité doivent être considérés comme des indications et non comme des critères absolus. Abréviations : Extended Column Test (ECT), Rutschblock (RB), rupture du bloc entier (wB), rupture partielle (pR). Schweizer et al. (2021), Techel et al. (2020a), + skieur seul sans chute, ski-cut ; ++ skieur seul avec chute, groupe de skieurs, personne à pied.

Indicateurs de la stabilité en situations de neige humide :

Pour la stabilité en situation de neige humide et des avalanches de glissement, la distinction entre les classes de stabilité moyenne et mauvaise est souvent difficile à établir. Les avalanches de neige humide se déclenchent le plus souvent spontanément et sont donc généralement associées à la classe de stabilité très mauvaise. Les observations ne permettent souvent de conclure qu'à une tendance vers une stabilité soit bonne, soit très mauvaise (figures A-2 et A-3). Les tests de stabilité ne sont généralement pas adaptés à la neige humide. S'ils indiquent une stabilité très mauvaise, leurs résultats doivent néanmoins être pris en compte ; dans les autres cas, ils ne devraient pas être utilisés pour l'évaluation.

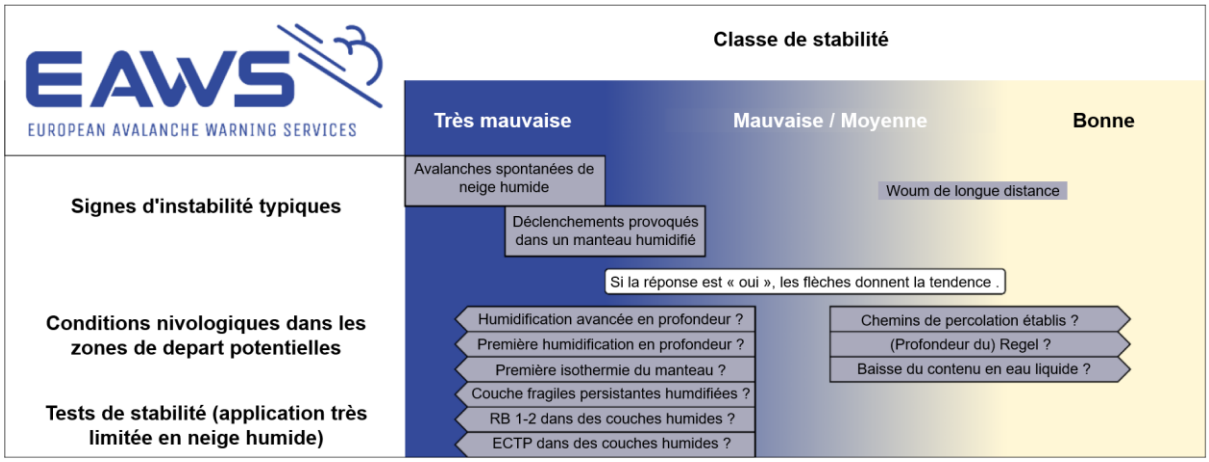


Figure A-2: Indices ou observations couramment associés à la stabilité de la neige humide. Les avalanches de neige humide ne peuvent se produire qu'en présence d'eau liquide au sein du manteau neigeux.

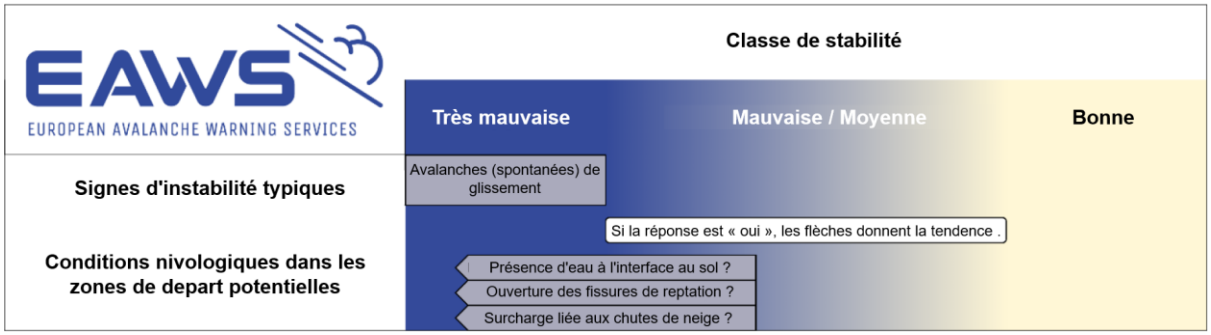


Figure A-3: Common evidence or indications related to glide-snow stability. Glide-snow avalanches are not possible if there is no liquid water present at the snow-spoil interface.

We compare the classes for snowpack stability as defined in this document to other stability classifications in the literature. See Table A-1.

Table A-1: Overview of class labels describing snowpack stability and a comparison to terms describing sensitivity to trigger from the Conceptual Model of Avalanche Hazard (CMAH). We neglected columns from the CMAH that included a spatial component, because we think stability and its corresponding frequency should be decoupled.

Stabilité du manteau neigeux (EAWS)	**Stabilité du manteau neigeux (CAA, 2014; Greene et al., 2014)**	**Sensibilité au déclenchement (Statham et al., 2018, Table 5)**			
		Sensibilité	**Déclenchement par une personne**	**Déclenchement par explosif**	**Déclenchement par cornice**
Très mauvaise	Very poor	Sensible	Déclenchement « presque certain »	Toute taille	Toute taille
Mauvaise	Poor	Réactive	Facile à déclencher à ski	Charge standard (à la main)	Moyenne
Moyenne	Fair	Peu réactive	Difficile à déclencher	Charges de forte puissance	Grande
Bonne	Good – very good	Non réactive	Aucun déclenchement		Pas de déclenchement d'avalanche de plaque

Annexe B: Considérations pour l'attribution des classes de fréquence de la stabilité du manteau neigeux

La figure B-1 illustre le concept de distribution de fréquence. Il s'agit d'un cas idéalisé.

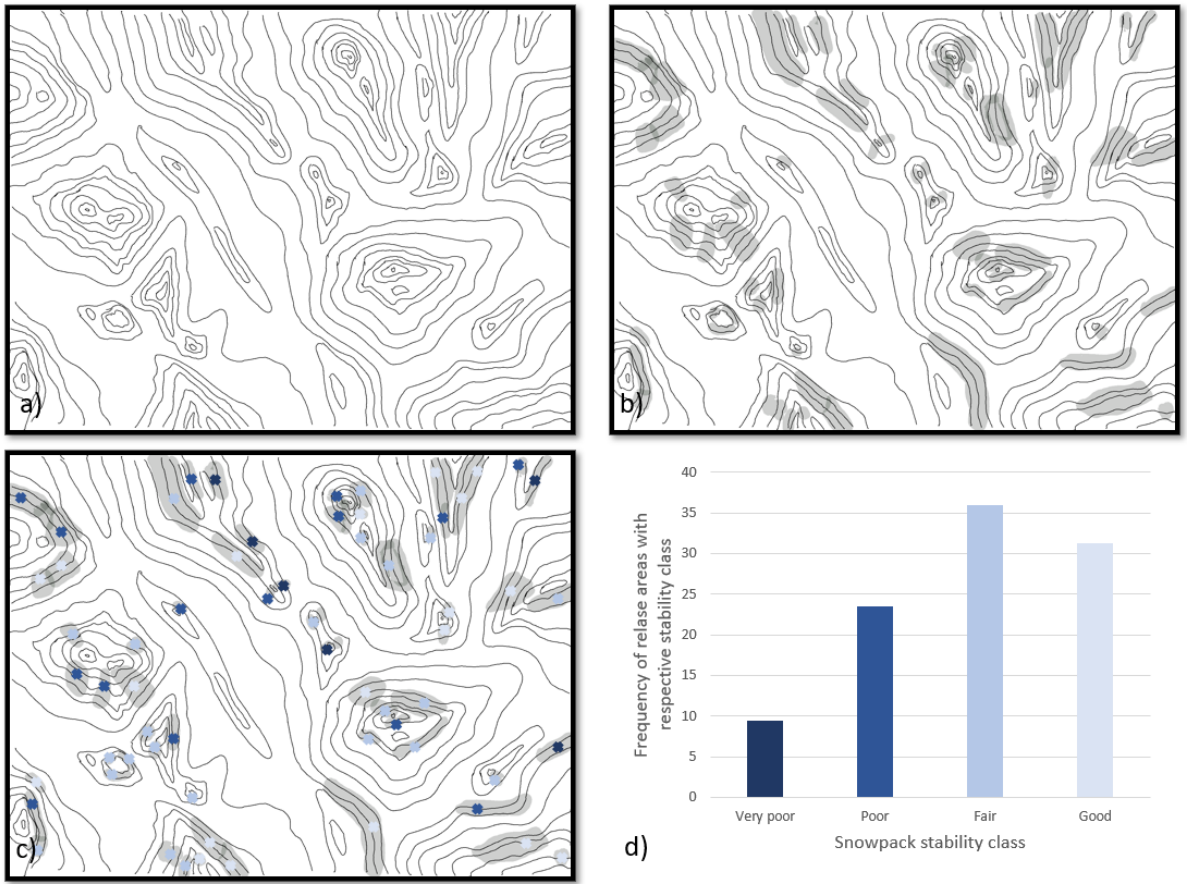


Figure B-1: Illustration du concept de distribution de fréquence. Nous considérons un scénario hypothétique et idéalisé dans lequel une évaluation de la stabilité est disponible pour chaque point situé dans les zones de départ. Dans cet exemple, la micro-région est définie par les limites représentées sur la carte de courbes de niveau du panneau a). Par souci de simplicité, l'unité de référence est considérée comme identique à la micro-région. Ainsi, tous les points situés dans les zones de départ de la région sont pris en compte, indépendamment de l'altitude, de l'exposition ou de toute autre subdivision éventuelle (panneau b). Le panneau c) présente la classe de stabilité attribuée à chaque point. Le panneau d) montre la distribution de fréquence résultante des différentes classes de stabilité. De manière générale, c'est la fréquence de la classe de stabilité la plus faible — ici, très mauvaise — qui doit être prise en compte pour déterminer le niveau de danger.

L'attribution de pourcentages ou la définition de seuils entre les différentes classes a suscité de nombreux débats, sans qu'une réponse claire n'ait encore émergé.

Peu de prévisionnistes disposent d'un volume de données suffisant, à la fois concluant et uniformément réparti sur les zones de départ pertinentes de la région évaluée. Par conséquent, l'attribution d'une classe de fréquence repose encore largement sur l'expertise et l'expérience des prévisionnistes. Nous estimons qu'un volume de données beaucoup plus important, nécessitant des campagnes de validation, devra être analysé avant qu'il soit possible de fournir des réponses robustes à cette question. Dans les paragraphes suivants, nous présentons plusieurs études qui ont tenté, d'une manière ou d'une autre, de quantifier la fréquence des classes de stabilité du manteau neigeux. Les valeurs présentées constituent actuellement les meilleures estimations disponibles pour décrire cette distribution de fréquence. Ces estimations reposent sur des approches différentes et ne peuvent donc ni

être comparées directement ni être combinées pour définir uniformément les différentes classes. Davantage d'études de ce type devront être réalisées à l'avenir afin de fournir des pourcentages fiables pour la fréquence des différentes classes de stabilité du manteau neigeux.

Tests de stabilité (Rutschblock):

Classes de fréquence proposées par Techel et al. (2020b) pour la fréquence de la classe de stabilité *très mauvaise* selon le test du Rutschblock :

- ***Aucune/très rare : 0 %***
- ***Peu : > 0 % à < 4 %***
- ***Quelques : 4 % à 20 %***
- ***Nombreuses : > 20 %***

Activité avalancheuse (1):

Activité avalancheuse observée à partir d'images satellitaires en Suisse lors de deux épisodes avalancheux exceptionnels, en janvier 2018 et janvier 2019 (Hafner, 2019) : la proportion de zones de départ potentielles actives variait, pour un sous-ensemble de 13 micro-régions, entre 4 % et 23 %, avec une moyenne de 13 %. Ces micro-régions couvrent une superficie comprise entre 56 et 506 km², tandis que les zones de départ potentielles qu'elles contiennent représentent entre 21 et 159 km² de leur superficie totale. En ne considérant que les deux secteurs d'exposition adjacents de 45° les plus actifs au sein de ces régions (par exemple NW–N–NE), la valeur maximale observée atteint 41 % de la surface totale des zones de départ actives. Ces valeurs peuvent être considérées comme représentatives de valeurs élevées de la classe de fréquence nombreux.

Activité avalancheuse (2):

À partir d'un jeu de données couvrant 15 ans de cartographie manuelle des avalanches spontanées dans la région de Davos, en Suisse (Völk, 2020), les classes de fréquence suivantes ont été obtenues, en appliquant l'approche décrite par Techel et al. (2020b), pour la proportion de zones de départ potentielles actives (i.e. avalanches observées) :

- ***Peu* : <0.02%**
- ***Quelques* : 0.02-2.2%**
- **Nombreuses : >2.2%**

Remarque : cette méthode de cartographie présente un taux de détection relativement faible (Hafner et al., 2021). Selon les estimations disponibles, les seuils de ces classes pourraient être sous-estimés d'un facteur d'environ 2.

References

Ashton, R.H., 2000. A review and analysis of research on the test–retest reliability of professional judgment. Journal of Behavioral Decision Making 13, 277–294. doi:10.1002/1099-0771(200007/09)13:3<277::AID-BDM350>3.0.CO;2-B.

Bartelt, P., Feistl, T., Bühler, Y., Buser, O., 2012. Overcoming the stauchwall: Viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. Geophysical Research Letters 39. doi:https://doi.org/10.1029/2012GL052479.

Bühler, Y., Hafner, E.D., Zweifel, B., Zesiger, M., Heisig, H., 2019. Where are the avalanches? Rapid SPOT6 satellite data acquisition to map an extreme avalanche period over the Swiss Alps. The Cryosphere 13, 3225–3238. URL: doi:10.5194/tc-13-3225-2019.

Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., Christen, M., 2018. Automated snow avalanche release area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. Natural Hazards and Earth System Sciences 18, 3235–3251. doi:10.5194/nhess-18-3235-2018.

CAA, 2014. Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Canadian Avalanche Association. NRCC Technical Memorandum No. 132.

Dietrich, F., Spiekermann, K., 2022. Jury Theorems, in: Zalta, E.N. (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Summer 2022 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University. Last access: 3 May 2022.

EAWS, 2005. Bavarian matrix.

EAWS, 2017. EAWS Matrix. Technical Report. URL: https://www.avalanches.org/standards/eaws-matrix/. last access: 13 May 2022.

EAWS, 2019. Standards: avalanche size. URL: https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/. last access: 13 May 2022.

EAWS, 2021. Standards: Avalanche problems. URL: https://www.avalanches.org/standards/avalanche-problems/. last access: 13 May 2022.

Hafner, E.D., Techel, F., Leinss, S., Bühler, Y., 2021. Mapping avalanches with satellites – evaluation of performance and completeness. The Cryosphere 15, 983–1004. URL: https://tc.copernicus.org/articles/15/983/2021/, doi:10.5194/tc-15-983-2021.

Hutter, V., Techel, F., Purves, R.S., 2021. How is avalanche danger described in textual descriptions in avalanche forecasts in Switzerland? Consistency between forecasters and avalanche danger. Natural Hazards and Earth System Sciences 21, 3879–3897. doi:10.5194/nhess-2021-160.

Reuter, B., Schweizer, J., 2018. Describing snow instability by failure initiation, crack propagation, and slab tensile support. Geophysical Research Letters 45, 7019 – 7029. doi:10.1029/2018GL078069.

Rowe, G., Wright, G., 2001. Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi technique. Springer US, Boston, MA. pp. 125–144. doi:10.1007/978-0-306-47630-3_7.

Schweizer, J., Camponovo, C., 2001. The skier's zone of influence in triggering slab avalanches. Annals of Glaciology 32, 314–320. doi:10.3189/172756401781819300.

Schweizer, J., Mitterer, C., Reuter, B., Techel, F., 2021. Avalanche danger level characteristics from field observations of snow instability. The Cryosphere 15, 3293–3315. doi:10.5194/tc-15-3293-2021.

Statham, G., Haegeli, P., Greene, E., Birkeland, K., Israelson, C., Tremper, B., Stethem, C., McMahon, B., White, B., Kelly, J., 2018. A conceptual model of avalanche hazard. Natural Hazards 90, 663 – 691. doi:10.1007/s11069-017-3070-5.

Stewart, T.R., 2001. Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners. Springer Science + Business Media, LLC. chapter Improving reliability in judgemental forecasting. pp. 81–106.

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. Nat Hazards Earth Syst Sci 18, 2697–2716. doi:10.5194/nhess-18-2697-2018.

Techel, F., Müller, K., Schweizer, J., 2020a. On the importance of snowpack stability, the frequency distribution of snowpack stability and avalanche size in assessing the avalanche danger level. The Cryosphere 14, 3503 – 3521. doi:10.5194/tc-2020-42.

Techel, F., Winkler, K., Walcher, M., van Herwijnen, A., Schweizer, J., 2020b. On snow stability interpretation of extended column test results. Natural Hazards Earth System Sciences 20, 1941–1953. doi:10.5194/nhess-2020-50.

Data sets referred to in Appendix

Schweizer, J., Mitterer, C., Techel, F., Stoffel, A., Reuter, B., 2020b. Snow avalanche data Davos, Switzerland, 1999-2019. doi:10.16904/envidat.134.

Hafner, E., 2019. Avalanche activity data of warning regions with forecast danger level 5-very high (data set).

Völk, M.S., 2020. Analyse der Beziehung zwischen Lawinenauslösung und prognostizierter Lawinengefahr - Quantitative Darstellung einer regionalen Lawinenaktivität am Beispiel Davos (Schweiz). Master's thesis. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Austria. Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Institut für Geographie. 110 p. Supervisor: R. Sailer, F. Techel.