

**Zeitschrift:** Jeunesse forte, peuple libre : revue d'éducation physique de l'École fédérale de gymnastique et de sport Macolin  
**Herausgeber:** École fédérale de gymnastique et de sport Macolin  
**Band:** 19 (1962)  
**Heft:** [2]  
  
**Artikel:** La maturation du risque d'avalanche  
**Autor:** Kopp, Marcel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-996188>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# La maturation du risque d'avalanche

Marcel Kopp, Weissfluhjoch/Davos



Coulées de neige humide.

## Avant-propos

Chaque hiver les accidents provoqués par les avalanches nous émeuvent profondément. Souvent des touristes sont emportés à cause de leur ignorance du danger, parfois même lorsqu'ils s'estimaient « en parfaite sécurité ».

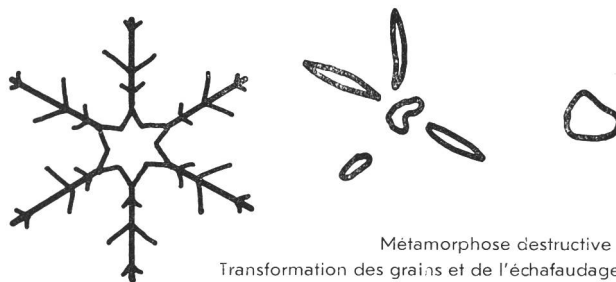
C'est pourquoi il est utile au skieur isolé, il est indispensable au chef de course ou au directeur de camp, d'avoir une connaissance aussi bonne que possible de la genèse des avalanches, c'est-à-dire des conditions qui, en se combinant, prédisposent à un déclenchement.

Les observations du chapitre suivant sont nécessairement réduites à leurs facteurs importants pour l'analyse développée sous C. Parfois une seule cause est déterminante, mais plus souvent c'est la rencontre de plusieurs facteurs qui conduit au danger. L'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches au Weissfluhjoch/Davos dépouille les observations d'une cinquantaine de postes en Suisse, et bon nombre de paramètres météorologiques mesurés sur place pour pouvoir caractériser une situation complexe.

## Observation

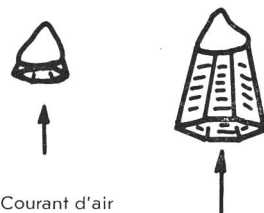
### La métamorphose de la neige

Les cristaux de neige au sol changent continuellement de forme : ils se métamorphosent. Les fines aiguilles, les étoiles, les plaquettes de la neige fraîchement déposée sur le sol se résorbent d'autant plus vite que la température est élevée. En deux ou trois jours, l'échafaudage imbriqué des cristaux de neige fraîche devient une couche pulvérulente de faible cohésion. Cette transformation est appelée métamorphose destructive.



Métamorphose destructive :  
Transformation des grains et de l'échafaudage

Alors que la température de la surface du manteau neigeux s'aligne sensiblement avec celle de l'air (env.  $-10^{\circ}\text{C}$  au gros de l'hiver), la température du lit reposant sur le sol est proche de  $0^{\circ}\text{C}$ . Sous l'effet de ce gradient de température, l'air contenu dans la neige subit un courant de diffusion de bas en haut et vraisemblablement aussi des courants de convection circulaires et locaux. L'humidité apportée des couches profondes se recristallise dans les strates supérieures plus froides, à savoir sur les faces de cristaux convenablement orientées. Les cristaux croissent en formes variées, souvent en gobelets de glace. C'est la métamorphose constructive.



L'échafaudage ainsi créé, quoique résistant à la pression du manteau neigeux, est précaire. Cette neige, dite croulante, se forme d'autant plus rapidement que la température et son gradient sont plus élevés : ce qui, par exemple, est réalisé par un manteau peu épais au début de l'hiver.



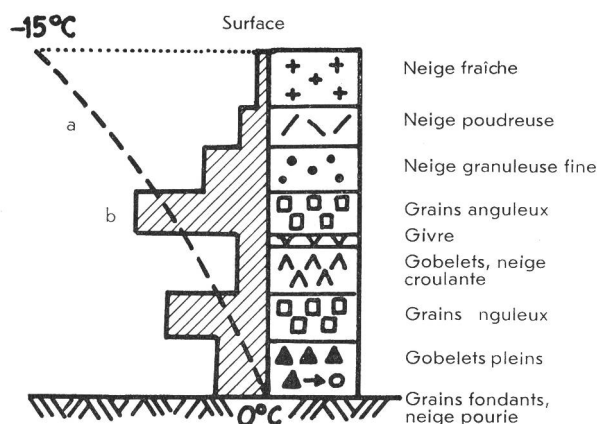
\* La formation et l'orientation des gobelets de glace ne sont pas aussi régulières que dans les schémas.

Par cette transformation, la neige perd de sa plasticité. L'échafaudage des cristaux devient rigide, mais aussi fragile, surtout dans la couche superficielle, qui ne supporte aucune charge.

### Stratigraphie du manteau neigeux

Les chutes de neige successives de l'hiver se retrouvent dans le manteau neigeux sous forme de strates, plus ou moins compactes, plus ou moins avancées dans la métamorphose. Les strates compactes sont cohérentes, elles ont une grande résistance aux contraintes méca-

le développement de la cohésion et de la résistance. Une couche de neige surimposée abaisse le gradient dans le manteau, mais élève la température des strates inférieures.



Profil stratigraphique. a = Température. b = Solidité

niques. La métamorphose constructive, tout en diminuant la compressibilité et la plasticité, retient aussi. Certaines strates, parfois très minces et très localisées, se composent de gros grains fortement transformés, de très faible cohésion. Elles sont aptes à jouer le rôle de « roulement à billes », de lubrifiant, si les couches supérieures viennent à glisser.

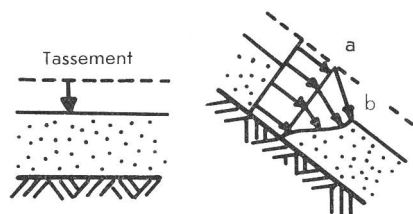
Une strate mince et solide (croûte), enfouie sous une épaisse couche de neige, se désagrègera lentement sous l'effet de la métamorphose. Même si la circulation de l'air est pratiquement confinée par une strate compacte (croûte avant sa désagrégation, strates inférieures d'une couche épaisse de neige nouvelle), la métamorphose constructive agit cependant sous la strate solide : La neige croulante continue à se former.

Au printemps, toutes les formes de grains s'arrondissent par la fonte pour former la neige pourrie.

L'évolution de la résistance des strates, de leur structure, de la température doit être portée en compte lors de l'appréciation de la stabilité du manteau neigeux.

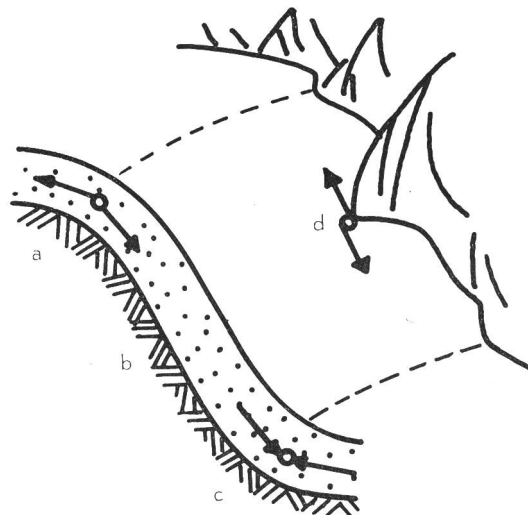
### La mécanique du manteau neigeux

Un manteau de neige horizontal se tasse sous son propre poids et parce que la métamorphose destructive réduit le volume occupé par les cristaux de neige fraîche. Sur une pente, le manteau est soumis à un rampeement interne et, suivant les conditions d'adhérence, à un glissement sur le sol. Dans les parties convexes de la pente, il subit des contraintes de traction accumulatives et dans les parties concaves des contraintes de compression. S'il adhère ou s'il est freiné sur les bords et sur le fond, le cisaillement y domine.



a = Glissement. b = Rampement

Ces contraintes sont contenues par les strates du manteau, respectivement par la strate la moins plastique. Une surcharge du manteau (chute de neige, skieur) se traduit par une augmentation des contraintes.



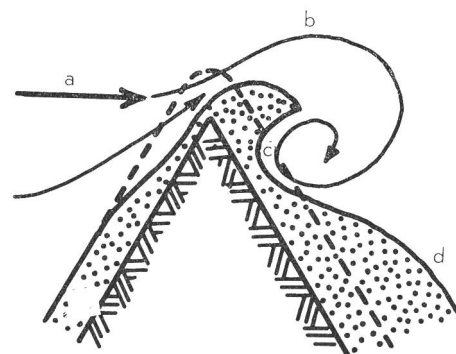
a = Traction. b = Zone neutre. c = Compression. d = Cisaillement.

### L'histoire du manteau neigeux

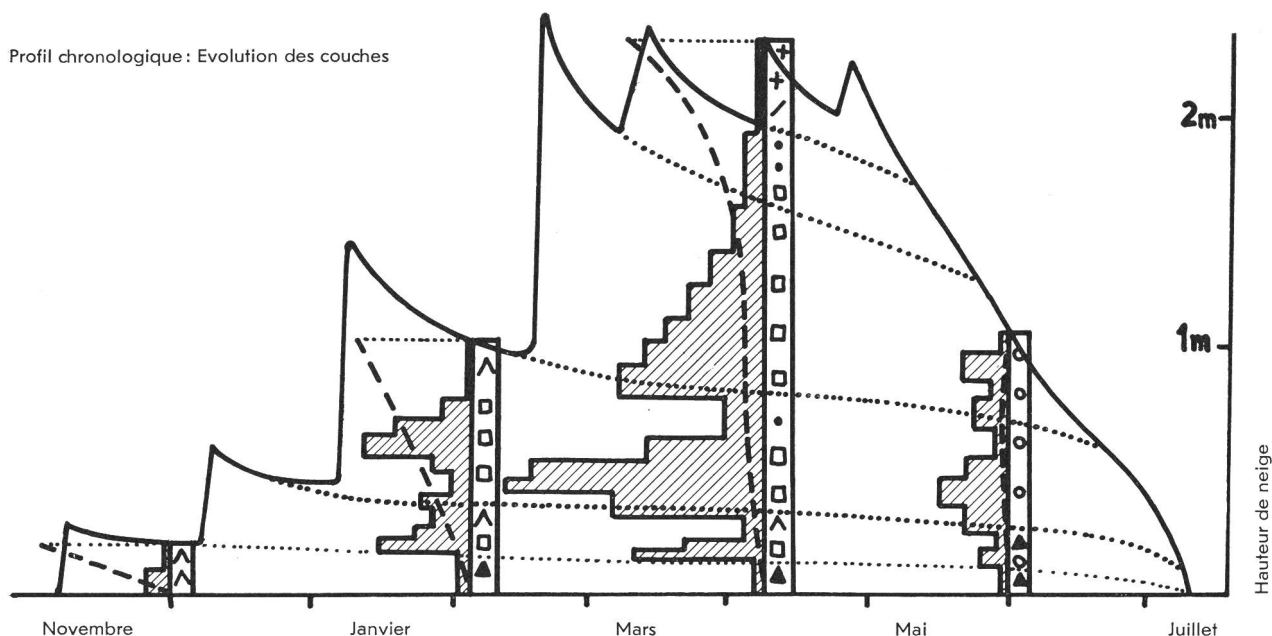
C'est souvent les strates provenant des chutes de neige du début de l'hiver qui sont les plus pernicieuses : on les a oubliées, mais elles n'ont cessé de se transformer. Le fond d'une grande épaisseur de neige fraîche se tasse beaucoup, devient cohérent ; mais une couche restée longtemps en surface sera considérablement transformée, aura perdu sa plasticité et sa cohésion. Couverte par d'autres couches, cette strate restera fragile, et dangereuse, l'hiver durant. Ceux qui ont suivi les variations météorologiques (vent, insolation, pluie, etc.) pendant des hivers entiers sont en mesure de prévoir l'évolution des couches sous les influences atmosphériques dont dépend en partie le danger d'avalanche. C'est pourquoi, pour estimer ce danger, il est recommandable de s'en référer à ceux qui connaissent l'histoire du manteau neigeux.

### Influences météorologiques sur la formation des avalanches

Parallèlement à l'activation de la métamorphose, une température élevée favorise le tassement du manteau neigeux, qui alors se consolide. Le vent est aussi un facteur météorologique très important. Par exemple, s'il souffle pendant ou après une chute de neige il roule les cristaux dans ses tourbillons, les démembre et les plaques sur les versants abrités. Il forme ainsi des plaques de neige compactes mais peu plastiques. La connaissance de la violence et de la direction du vent renseigne de manière générale sur les versants où la neige a pu s'accumuler. Des informations plus précises peuvent être obtenues du régime local des



Formation de corniches et de plaques de neige  
a = vent. b = Corniche. c = rupture ordinaire. d = Accumulation :  
Coussin de neige, plaque de neige.



vents. Ainsi sur les arêtes neigeuses grossissent d'importantes corniches qui, en s'écroulant sur les masses de neige inférieures, peuvent aussi être la cause d'un déclenchement d'avalanche. Une masse excessive en porte-à-faux peut s'écrouler simplement sous son propre poids ou à la suite d'un réchauffement qui en diminue la cohésion, ou encore par effet d'un accident extérieur (touriste !).

Le rôle du regel est assez peu connu. Il délite les rochers et les séracs dont la chute peut être cause de déclenchement. Certaines « avalanches du soir » peuvent résulter de ces effets. D'autres proviendraient du réchauffement des parois ouest par le soleil couchant. Pendant les nuits claires et froides, avec rayonnement de chaleur provenant du manteau neigeux, il peut se déposer à la surface de la neige une couche de givre dont l'architecture rigide mais fragile peut pourtant supporter le poids d'une couche surimposée, mais qui est extrêmement sensible à un ébranlement.

La pluie alourdit le manteau neigeux, augmente la grosseur des grains et en diminue la cohésion. Elle pourrait la neige. Si un regel succède à la pluie, il consolide le manteau.

Le réchauffement apparaît comme une cause essentielle d'une diminution lente de la cohésion des strates précédemment solides et des corniches ou rochers menaçants. S'il agit lorsque des états de contrainte ont pu se développer, il peut devenir cause d'avalanches.

la cohésion brisée, par un accident externe, dès que les grains sont en mouvement, ils subissent une friction dynamique, plus faible que la friction statique et la cohésion : la pente sur laquelle ils peuvent encore glisser est plus faible que celle dont ils ont juste pu s'écrouler. Cette marge leur permet d'ébranler les grains inférieurs.

|                  | Angle de friction statique * | Angle de friction dynamique |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|
| neige fraîche    | 50 ° à 90 °                  | —                           |
| neige poudreuse  | 50 ° à 60 °                  | 30 à 17 °                   |
| neige granuleuse | 35 ° à 50 °                  | env. 23 °                   |
| neige croulante  | env. 45 °                    | env. 35 °                   |

\* Il est pratiquement impossible de faire la part exacte de la friction statique et de la cohésion, car les grains de glace en contact regèlent immédiatement. En tenant compte de la cohésion, on aurait toujours un « angle d'accumulation » vertical. En effet, une coupe verticale dans un manteau neigeux ne s'écroule pas comme dans un tas de sable sec. C'est un peu comme par du sable humide où la capillarité lui donne sa cohésion.

Un échafaudage de grains de neige meuble peut être instable par insuffisance de cohésion, ou parce que la métamorphose destructive l'a diminuée : l'échafaudage s'écroule, ébranlant ou brisant dans sa chute la cohésion des grains inférieurs. Souvent il faut une masse suffisante pour que le mouvement initial se transmette. Suivant que la propagation réussisse ou non, le démarrage entraîne ou non le déclenchement d'une avalanche de neige meuble, ou coulée. Une coulée se dé-

## La genèse des avalanches

Puisque nous nous intéressons à la convergence des conditions propices au déclenchement, nous discutons ici les avalanches selon le mode de leur déclenchement, et non selon la forme du mouvement des avalanches « qui nous tombent dessus » : avalanche de fond, avalanche de versant, avalanche poudreuse sont des formes classées selon d'autres critères.

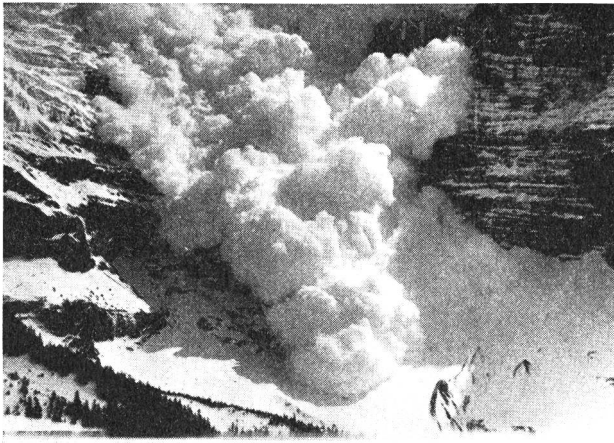
### Les coulées, ou avalanches de neige meuble

La stabilité de la neige meuble (fraîche ou pourrie, sèche ou humide) dépend de la friction statique des grains entre eux, et surtout de leur cohésion : les grains sont gelés les uns aux autres. Cette cohésion, différente selon le genre de neige et sensible aux variations de température, permet cependant à la neige de s'accumuler sur des pentes très rapides. Mais une fois

Coulée caractéristique de neige meuble.



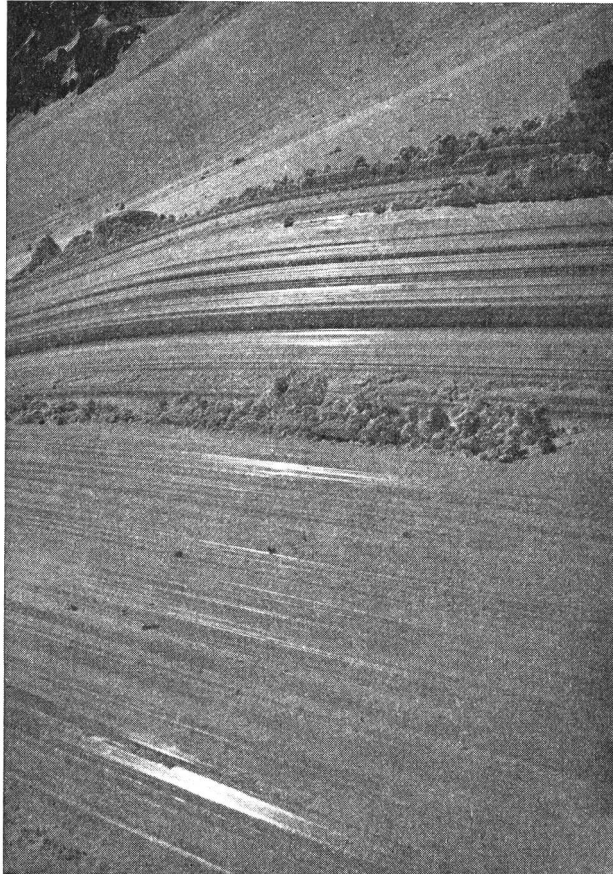




Avalanche de neige poudreuse.

clenche en un point sans bruit, elle grossit et prend la forme caractéristique de poire. Si la neige est humide, elle s'écoule au sol. Une neige fraîche ou poudreuse s'écroule aussi comme une coulée, mais sur les pentes très rapides, elle s'enfle, quitte en partie le sol, et, s'il s'agit de grandes masses de neige, le tourbillon dévale la pente avec une impétuosité énorme, précédé d'une onde de choc redoutable : c'est l'avalanche poudreuse. Une plaque de neige, un sérac de glace même, se détachant au-dessus d'une barre de rocher, devient aussi une avalanche poudreuse. Une neige fraîche en mouvement se brise immédiatement et devient poudreuse. La différence entre le grand angle d'accumulation de la neige fraîche et les 17 degrés de son angle de friction dynamique explique en un sens l'accélération impétueuse des avalanches poudreuses et le développement énorme des avalanches catastrophiques.

Piste d'une avalanche de neige mouillée.



### Glissement, ou avalanche de plaque de neige

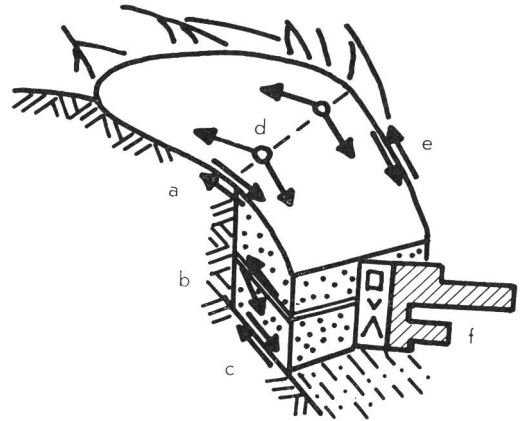
Ces déclenchements sont les plus perfides car, en général, le danger ne se reconnaît pas en surface. Il varie d'une pente à l'autre, d'un point à l'autre, il dépend de l'histoire du manteau neigeux. Il s'étend à des pentes entières qui peuvent dévaler d'une seule fois.

Alors que les coulées et les glissements sont la règle pendant les fortes chutes de neige et les quelques jours suivants, ainsi que pendant les réchauffements du printemps, l'avalanche de plaque « attardée », celle qui survient inopinément, est l'exception funeste. Lorsqu'une plaque est mûre, lorsque les conditions propices convergent, il suffit d'un agent infime, interne ou externe, pour que la rupture d'équilibre provoque le démarrage. C'est souvent « la goutte qui fait déborder le vase ».

Une plaque de neige est en général une accumulation plaquée par les tourbillons du vent. Mais une définition indirecte porte mieux : « Il suffit qu'une strate soit fragile pour que la couche supérieure se comporte comme une plaque. »

Une plaque de neige forme un tout rigide qui peut, cas extrême, se soustraire au tassement et au rampement, tout en supportant les contraintes accrues. En effet, dans ces cas spéciaux, les strates inférieures peuvent continuer de se tasser et de ramper (et même de glisser sur le sol), de se métamorphoser en neige croulante. Une telle plaque, de dimensions limitées, n'est alors plus que faiblement soutenue par le fond (elle en est même parfois séparée) et forme alors un bouclier pouvant s'affaisser sous une surcharge ou un ébranlement.

L'équilibre d'une plaque de neige est plus complexe que celui d'un échafaudage de neige meuble. L'équilibre est le plus souvent rompu par une surcharge de la plaque (neige fraîche, skieur). Mais des facteurs plus ténus peuvent jouer un rôle important : le poids de la plaque, énorme, est non seulement soutenu par le frottement ou le cisaillement dans la strate fragile, sous-jacente, mais encore par la somme des contraintes de traction en haut de la plaque, éventuellement de compression au bas et de cisaillement sur ses bords, s'ils sont ancrés. Comme ces contraintes sont principalement contenues par la strate la plus cohérente, il suffit pour que la plaque « démarre » (c'est-à-dire « rompe ses amarres »), il suffit que la strate rigide soit cassée ou ébranlée juste au point où les contraintes sont les plus fortes, ou même que sa cohésion y soit simplement diminuée. La cassure se fait avec un craquement sourd, et s'étend en ligne brisée sur la largeur entière de la plaque. Si la rupture est déclenchée par un skieur, elle se fera au point où la résistance est la plus sollicitée : le plus souvent tout en haut de la pente, mais elle peut aussi apparaître à la morsure des skis si le touriste se trouve justement au point critique.



Les contraintes d'une plaque de neige

a et e = Ancrage-cisaillement. b = Rampement-cisaillement. c = Glissement, frottement-cisaillement. d = Traction. f = Faille de givre



Avalanche de plaque de neige.

Photo A. Roch

Les points critiques se trouvent immédiatement au-dessous des endroits où s'amarre le manteau neigeux : sous les rochers, les parties convexes des pentes et là où l'épaisseur du manteau est diminuée comme aux ressauts de rocher et aux banquettes ne saillant pas du manteau, aux lieux dégarnis par les tourbillons du vent. Une cassure de la strate rigide intervient par un écroulement, juste au point critique, d'une corniche ou d'un rocher, par la chute d'un skieur, par la morsure des skis. L'ébranlement peut aussi provenir d'un écroulement, ou de l'affaissement d'un bouclier sous une surcharge (neige fraîche, skieur). La diminution de cohésion peut être due à un réchauffement général, ou à un réchauffement de la strate rigide lorsqu'elle est enfouie sous une couche de neige nouvelle.

Il ne suffit pas qu'une plaque « démarre » pour que l'avalanche se déclenche. Il faut que le mouvement se propage, que la friction dynamique sur la surface de glissement soit suffisamment faible pour que la plaque gagne l'énergie nécessaire soit à déclencher la plaque inférieure, soit à la surmonter. C'est ainsi que l'on peut observer des plaques qui se cassent, « démarrent », mais dont l'avalanche ne se déclenche pas.

La plaque qui démarre (qui n'est plus amarrée par la strate solide) n'est plus soutenue que par la résistance au cisaillement de la strate sous-jacente plus fragile, à savoir par sa cohésion. Mais l'ébranlement initial du démarrage, propagé par l'élasticité de la plaque de neige, peut suffire à briser la cohésion de la strate fragile sur l'étendue de la plaque : elle se déclenche.

Ainsi on a observé des situations (justement celles de plaques « attardées ») où les contraintes de cisaillement, imposées à une strate fragile par le poids entier de la plaque, étaient pourtant inférieures (2 à 4 fois) à la résistance au cisaillement de la strate fragile. Si le démarrage s'était fait « en douceur », la plaque ne se serait pas déclenchée : les forces libérées lors de la cassure de la strate solide suffisent souvent à détruire la part de sécurité, relative, de la strate fragile.

L'existence d'une couche fragile, et sa qualité, sont d'importance primordiale pour évaluer le risque d'avalanche de plaque. On ne peut s'en rendre compte que par l'étude du profil stratigraphique et de l'histoire du manteau neigeux.

## Le moniteur déduit

Nous n'avons pas voulu « peindre le diable sur la muraille », ni même insuffler la crainte dans l'esprit du moniteur qui prévoit une course ou une excursion dans un camp de ski. Qu'il ne fasse pas comme certains qui, dès qu'ils entendent à la radio un bulletin d'avalanche, renoncent à toute sortie ou se cantonnent aux pistes ! Non, il étudiera la carte topographique et le bulletin en même temps : on n'annonce souvent le danger prédominant que sur certains versants ou dans

certaines régions. Au besoin il changera l'itinéraire, ou même le but de la course. Lorsque le danger annoncé est généralisé, après de fortes chutes de neige, il n'aura que plus de plaisir à emmener ses jeunes sur les pistes couvertes alors d'une « poudreuse » délectable. Il ne s'en éloignera pas en pensant qu'il jouit d'une sécurité totale dans une station. Même s'il y a un service de piste ou de secours, il ne comptera pas que toutes les avalanches possibles ont pu être déclenchées par les patrouilleurs. (Avalanche de Leysin-Isenau.)

Lorsqu'il a décidé sa course, il fixera son horaire et son itinéraire d'après les conditions locales, en se rappelant que :

- Toutes les pentes raides (plus de 25° de déclivité) et les endroits dominés par des pentes raides doivent être considérés comme d'éventuelles pentes à avalanches. Les alternances de petits seuils rocheux et de vires herbues, les convexités de la pente sont les endroits de rupture possible. « Que l'itinéraire définitif en tienne compte ! » On écouterait aussi les conseils des montagnards de la région.
- Une chute importante de neige ne se stabilise qu'en deux ou trois jours, davantage même si le temps reste froid. « Pourvu que le premier beau temps après une nouvelle neige ne tombe pas en fin de semaine ! » Plus une chute de neige est forte, plus la température est élevée, plus tôt le danger s'écartera.
- Un réchauffement, s'il provoque un tassement et une stabilisation de la neige fraîche, diminue la cohésion des plaques de neige déjà mûres. « Attention aux coups de föhn ! Que lors des courses de printemps on soit hors de danger avant la chaleur de l'après-midi ! »
- Les couches internes instables sont difficiles à repérer. Elles peuvent rester dangereuses un hiver durant. Le moniteur se renseignera par le Bulletin d'avalanches. Au besoin il fera lui-même un sondage sur place, on creusera jusqu'au sol pour se rendre compte de la structure des couches internes. « Pelle et sonde à neige sont aussi des moyens de prévention. »
- S'il doit cependant traverser une zone dangereuse, le moniteur ordonnera les mesures de protection personnelles : « Que chacun déroule sa cordelette rouge, ferme ses habits, dégagent les sangles des skis et des bâtons ; qu'il se tienne prêt à fuir en biais vers un lieu sûr repéré d'avance, ou à détacher ses skis avant qu'il ne se sente pris dans l'étau de la neige ». Une orientation sur le danger, et les moyens de se dégager, sera donnée par le moniteur, afin d'éviter en cas d'accident le choc moral plus souvent fatal que la neige elle-même. « L'esprit de lutte l'emportera sur le désespoir. » La traversée de la zone dangereuse se fera, autant que possible, en légère descente, un à un... même si c'est en montant !

On ne saurait assez conseiller au moniteur de s'entraîner et d'entraîner ses protégés par des exercices pratiques. Il pourra élargir ses connaissances (en particulier sur la prévention des accidents et l'organisation des secours) en participant au Cours sur les avalanches pour chefs de courses, organisé par l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA) au Weissfluhjoch/Davos. Les associations enseignent aussi cette discipline dans leurs cours (l'EFGS le fait dans le Cours fédéral de moniteurs « ski : II »). La lecture aussi se révèle fort instructive et surtout l'étude des nombreux cas précis et pratiques relatés dans les Rapports hivernaux de l'Institut ENA, Lawinen, die Gefahr für den Skifahrer (réédition prévue), Secours et hygiène pour skieurs et alpinistes du Dr Paul Gut (en réédition).

L'auteur tient à remercier ici les spécialistes de l'Institut ENA pour les fructueux échanges d'idées.