



3

Nivologie élémentaire

3.1 Le manteau neigeux

- 3.1.1 La température dans la neige
- 3.1.2 Les différents types de grains

3.2 Les états de surface du manteau neigeux

- 3.2.1 La neige poudreuse
- 3.2.2 La neige de printemps
- 3.2.3 La neige ventée
- 3.2.4 Pluie sur neige
- 3.2.5 Autres états de surface particuliers

3.3 Les avalanches

- 3.3.1 Les avalanches de plaque
- 3.3.2 Les avalanches de neige récente
- 3.3.3 Les avalanches de fonte
- 3.3.4 Cas particulier des « plaques de fond »
- 3.3.5 Info ou intox ? / Décryptage

3.4 Comment m'informer sur le risque d'avalanche ?

- 3.4.1 Les informations disponibles à l'échelle d'un massif
- 3.4.2 La gestion du risque d'avalanche à l'échelle d'une station de ski
- 3.4.3 Le Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanche (BRA)

Vocabulaire à connaître

Annexe 1. Influence de la température sur la transformation des grains : approfondissement.

Annexe 2. Peut-on détecter une structure de plaque sur le terrain ?

Introduction

La neige est un mélange d'air et d'eau : eau sous forme solide (glace), sous forme gazeuse (vapeur d'eau contenue dans l'air) et parfois aussi sous forme liquide (par exemple quand la neige fond ou quand il pleut).

La neige est constituée d'une multitude de grains de glace, visibles à l'oeil nu lorsqu'elle tombe. Dans la neige tombée plusieurs semaines auparavant, on retrouve également des grains individualisables, plus ou moins bien soudés entre eux par des liaisons (ou "ponts") de glace. D'une couche du manteau neigeux à l'autre, la forme des grains est extrêmement variable, de même que la qualité de la liaison des grains entre eux ; et cette structure évolue au cours du temps parce que, depuis sa chute jusqu'à sa fonte, la neige est en permanence soumise à toutes sortes de contraintes (principalement thermiques et mécaniques). Les transformations subies à l'échelle du grain influent fortement sur les propriétés et le comportement du manteaux neigeux, notamment sur la stabilité de l'empilement de ses différentes couches et sur le niveau du risque d'avalanche qui en découle.

Ce fascicule propose un voyage au coeur de la neige et s'attache tout d'abord à décrire le manteau neigeux et les processus qui pilotent sa température (§3.1.1) et par là même les métamorphoses des grains constituant les couches de neige. Ce qui amène à la description détaillée des différents types de grains (§3.1.2) et leurs principales propriétés. Ces principes de base sont ensuite appliqués dans le chapitre suivant à la neige de surface (§3.2), qui est la plus visible et pratiquée du grand public pour faire le pont entre la vision que peut en avoir un skieur et les notions explicitées au chapitre 3.1. Le chapitre 3.3 traite des phénomènes avalancheux. Enfin, le chapitre 3.4 donne des pistes pour s'informer sur la prévision du risque d'avalanche en France.



Neige fraîche : belle étoile



Cassure de plaque à plusieurs décrochements

3.1 Le manteau neigeux

Les chutes de neige successives s'accumulent tout au long de la saison pour constituer ce que l'on appelle le manteau neigeux.

La composition de ce manteau neigeux n'est pas figée une fois pour toutes. De même que la surface est modifiée par les conditions météorologiques, les couches, qu'elles soient proches de la surface ou plus profondément enfouies, vont subir des transformations importantes au cours de



l'hiver, de la neige fraîche vers différents types de neige évoluée. Elles sont le plus souvent lentes (de plusieurs heures à plusieurs semaines), mais conduisent à des états de la neige très différents par leur couleur, leur dureté ou encore à plus petite échelle, par la forme et la taille des grains qui constituent la couche de neige. Ces transformations sont conditionnées principalement par les températures dans le manteau, elles-mêmes pilotées par les conditions météorologiques, l'exposition au soleil et la profondeur d'enfouissement de la couche.



Le manteau neigeux est donc hétérogène, constitué de couches de neige aux caractéristiques différentes. Cet empilement "raconte" les conditions météorologiques depuis le début de l'hiver et permet de diagnostiquer localement la stabilité du manteau neigeux (voir le paragraphe 3.3).

Illustrations de l'empilement des couches de neige obtenues en réalisant un fin mur dans des manteaux neigeux naturels

Un premier paragraphe s'attarde sur la température du manteau neigeux, puisqu'elle pilote en grande partie la transformation des grains de neige d'un type à l'autre (§ 3.1.1).

Dans un second temps, les différents types de grains vont être décrits (§ 3.1.2). Ils sont au nombre de huit, classés en neige récente (neige fraîche, neige roulée, particules reconnaissables et givre de surface) ou en neige évoluée (grains fins, grains à faces planes, gobelets et grains ronds).

Pour chacun d'eux, on s'attachera à décrire :

- 1/ l'aspect d'une couche de ces grains (caractéristiques visuelles, tactiles et propriétés à ski) ;
- 2/ les clés et les astuces pour les reconnaître et les distinguer à la loupe ;
- 3/ leur localisation, à quels moments on les rencontre et leur durée de vie.



3.1.1 La température dans la neige

La neige est un mélange de glace, d'air et éventuellement d'eau. La présence ou non de l'eau est primordiale pour la température, et on parle de **neige humide** lorsqu'elle en contient et de **neige sèche** sinon. D'autre part, la définition du zéro degré de l'échelle Celsius est la température d'un mélange d'eau et de glace. Aussi, la température de la neige est soit égale à 0°C pour de la **neige humide** soit négative pour de la **neige sèche**.

Dans tous les cas, elle ne peut jamais être supérieure à 0°C.

3.1.1.a Neige sèche et neige humide

On appelle « **neige sèche** » une neige ne contenant pas d'eau à l'état liquide. Sa température est alors strictement négative. La neige sèche évolue au cours de l'hiver vers différents états¹ selon les conditions météorologiques et l'exposition au soleil.

Une couche de « **neige humide** » contient de l'eau liquide. Sa température est donc obligatoirement égale à 0°C. Au printemps, le manteau neigeux en est essentiellement constitué, suite à son humidification générale par le rayonnement solaire, qui est à cette saison important. On en trouve également en plein hiver, mais en général seulement dans une ou plusieurs couches séparées, d'épaisseur variable et plus ou moins enfouies. Elles apparaissent suite à une humidification partielle et temporaire (pluie, soleil, température très douce, temps couvert et doux, brouillard, etc.), puis sont recouvertes par d'autres chutes de neige avant d'avoir eu le temps de regeler en surface.



¹ La *neige fraîche* initiale se transforme plus ou moins rapidement en *particules reconnaissables* puis en *grains fins* ou bien en *faces planes*, voire en *gobelets*. Des *grains ronds regelés* sont par ailleurs également de la "neige sèche" (voir §3.1.2 pour ces types de grains).

3.1.1.b Influence de la température sur la transformation des grains

Pourquoi la température dans le manteau neigeux et à sa surface sont-elles si importantes? Parce qu'elles conditionnent les **métamorphoses** (appelées aussi **métamorphisme**) que vont subir les grains de neige, ainsi que la **vitesse de ces transformations**.

De façon très simplifiée et schématique (voir en annexe 1 pour plus de détails) :

- **si la température de la couche de neige est égale à 0°C**, les grains vont s'humidifier et évoluer vers des grains ronds ;
- **si la température de la couche de neige est négative**, la métamorphose dépendra des écarts verticaux de température au sein de la couche ² :
 - si la température est à peu près homogène au sein de la couche, les grains ont tendance à s'arrondir et à prendre de la cohésion (évoluant vers des grains fins), quand cela est possible ;
 - s'il y a de grands écarts de température, les grains deviennent anguleux et perdent de la cohésion (évolution vers des grains de type grains à faces plates ou gobelets).

D'autre part, quel que soit le type de métamorphose évoqué plus haut, plus la température sera proche de 0°C, plus les métamorphoses seront rapides.

3.1.1.c Propriétés thermiques du manteau neigeux

La neige est un *bon isolant thermique*, comme le prouve la température assez douce à l'intérieur d'un igloo ou le fait que certaines plantes arrivent à rester en vie sous la neige (par exemple plants de mâche). Plus la neige est légère (c'est-à-dire plus elle contient d'air), meilleur est son pouvoir isolant.

La neige en surface réfléchit une grande partie du rayonnement solaire et elle en absorbe une petite partie, qui sert à la réchauffer. Autre propriété de la neige : elle se refroidit par temps clair, notamment la nuit ou dans les pentes à l'ombre.

3.1.1.d Variations temporelles et spatiales de la température

La température du manteau neigeux varie temporellement et spatialement tout au long de l'hiver en fonction des conditions météorologiques et de l'exposition au soleil. Cette variabilité est beaucoup plus forte en surface et dans les couches supérieures qu'en profondeur, car, comme vu au paragraphe précédent, la neige est un isolant thermique et elle amortit avec la profondeur les variations qui se passent en surface. À un endroit et à un moment donnés, la température de la neige est à peu près homogène parallèlement à la pente mais très variable en fonction de la profondeur.

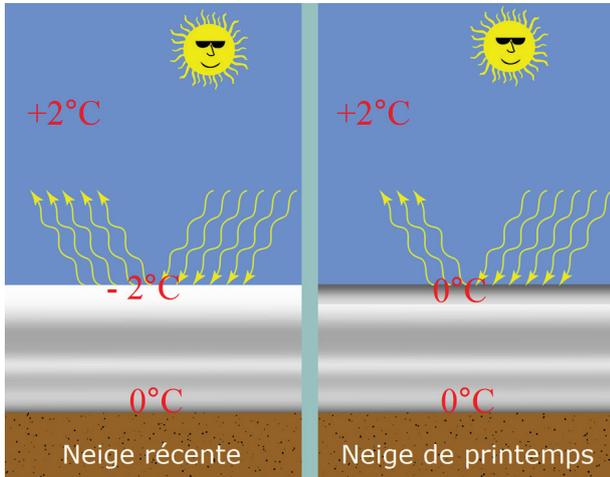
La température de la neige se stabilise en général à 0°C à la base du manteau neigeux³ : en effet, l'apport de chaleur par le flux thermique de sol, bien que faible, suffit à maintenir à 0°C la base du manteau, isolée de l'atmosphère par le manteau neigeux lui-même. Rappelons d'ailleurs à ce sujet que la « chaleur » du sol est insuffisante pour faire fondre la neige de manière significative : la fonte s'effectue bien par les couches superficielles.

²Plus précisément, il s'agit de l'écart de température rapporté sur la hauteur de la couche considérée (voir l'annexe 1 pour plus de détails).

³Exception : en cas de manteau neigeux très peu épais où de basses températures sur une longue période (en haute montagne par exemple), le sol prend alors une température négative.

3.1.1.e La température de surface du manteau neigeux

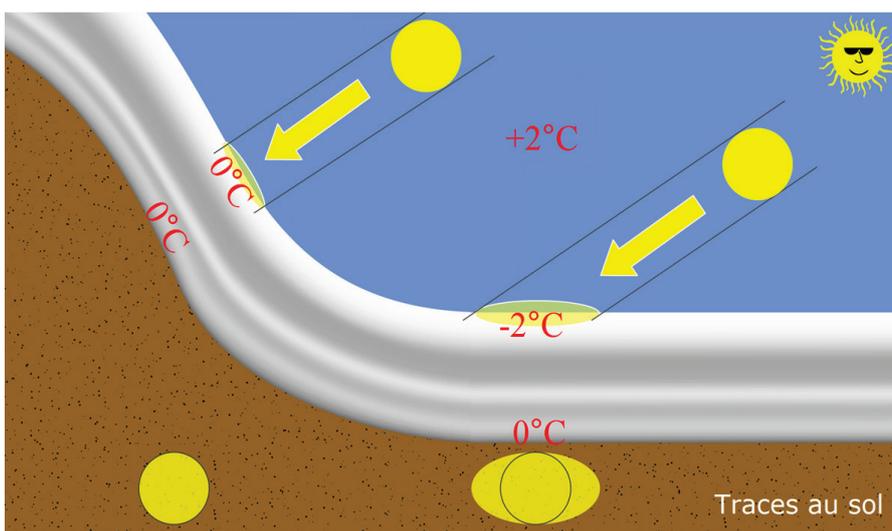
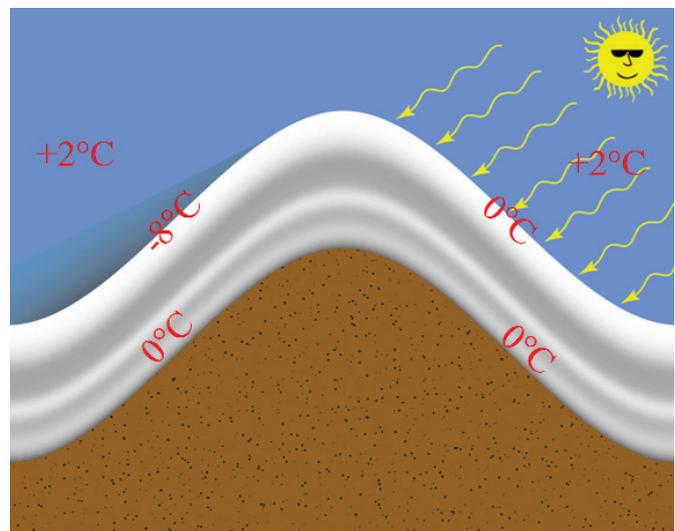
Pour savoir si la surface du manteau neigeux se refroidit ou se réchauffe, il faut faire un **bilan** des causes de réchauffement et de refroidissement de la surface du manteau neigeux (causes thermiques mais aussi dues aux conditions météorologiques et topographiques). Compte tenu du caractère isolant de la neige, l'influence des fluctuations de la température de surface ne pénètre que lentement à l'intérieur du manteau.



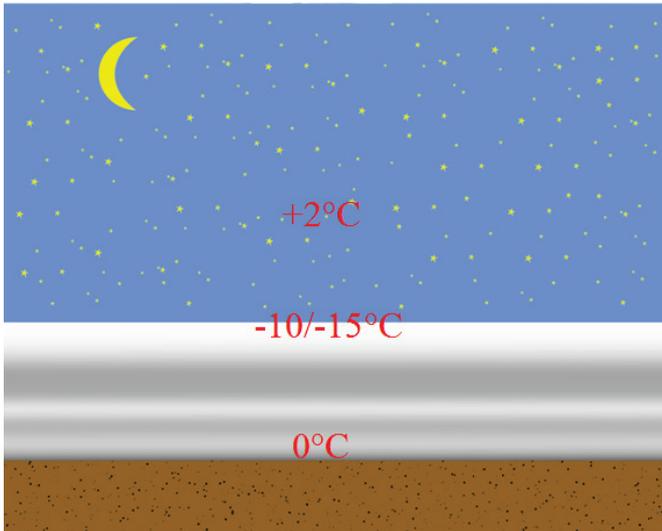
Âge de la neige. La neige réfléchit une grande partie du rayonnement solaire (d'où par exemple la nécessité de se protéger les yeux ou la peau). Le réchauffement dépend essentiellement de l'âge de la neige : une neige fraîche et poudreuse renvoie environ 90 % de la lumière (et se réchauffe donc difficilement au soleil puisqu'elle n'emmagasine que 10 % de l'énergie qu'elle reçoit) alors qu'une vieille neige de printemps en renvoie de l'ordre de 50 % et se réchauffe donc plus facilement (car elle emmagasine 50 % de l'énergie solaire reçue).

Influence de l'orientation. La neige se refroidit par temps clair, ce qui est le cas dans toutes les pentes à l'ombre.

Aussi, de novembre à janvier, seuls les versants plein sud arrivent à se « réchauffer » au soleil. Ensuite, jusqu'à début mars, le réchauffement concerne souvent tous les versants est à ouest en passant par le sud alors qu'un large versant nord reste froid. Plus on évolue vers le printemps, plus les zones « froides » se réduisent.

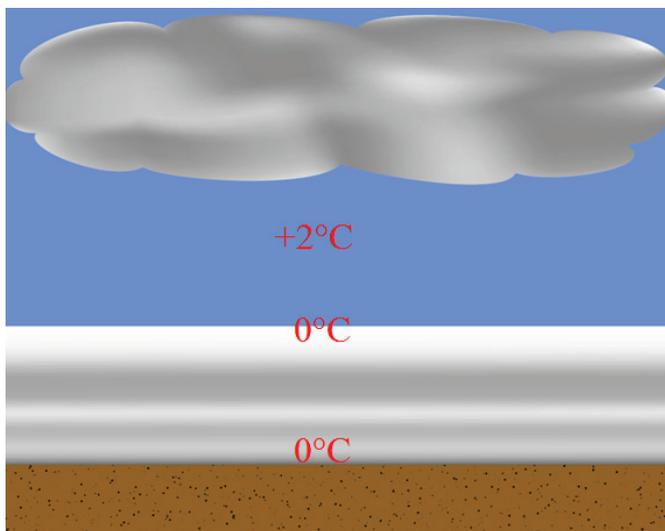
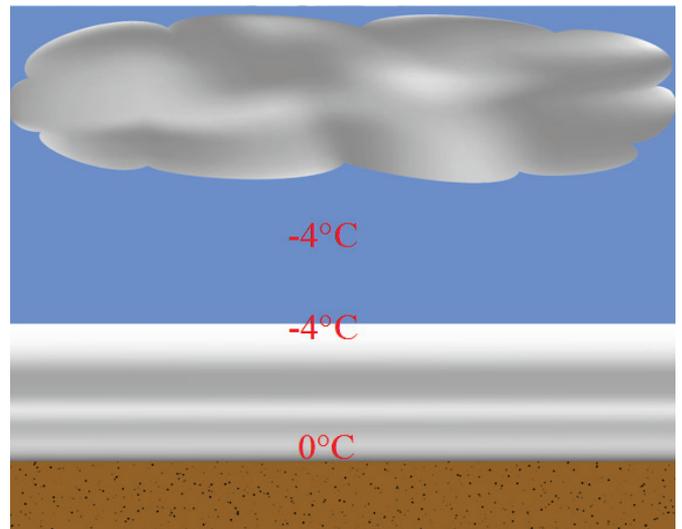


Influence de la raideur de la pente. La quantité d'énergie reçue pour une surface donnée est d'autant plus forte que la pente est raide (voir la trace au sol d'un « rayon du soleil » : plus la pente est raide, plus cette trace est petite, donc plus l'énergie solaire est concentrée).



Beau temps la nuit. La neige se refroidit par temps clair et notamment la nuit, car dans ce cas, l'apport solaire est égal à zéro.

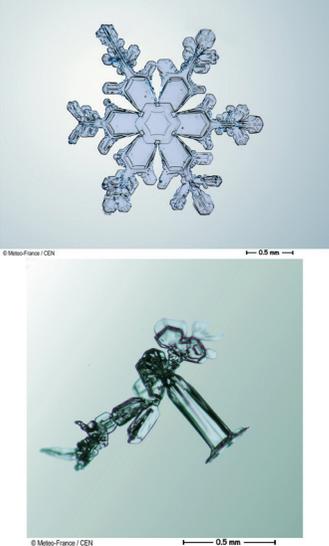
Ciel couvert $T_{air} < 0^{\circ}\text{C}$. La neige ne peut pas se refroidir par temps couvert et sa température de surface s'équilibre alors avec celle de l'air. Un exemple bien connu de ce phénomène : la nuit, sur un manteau printanier, le regel est bien meilleur par ciel clair que par ciel couvert.



Ciel couvert $T_{air} > 0^{\circ}\text{C}$. La température de la neige ne pouvant être positive, elle plafonne à zéro degré. L'énergie supplémentaire éventuellement disponible engendre la fonte (plus ou moins importante) de la neige de surface.

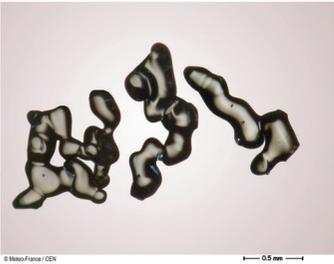
3.1.2 Les différents types de grains

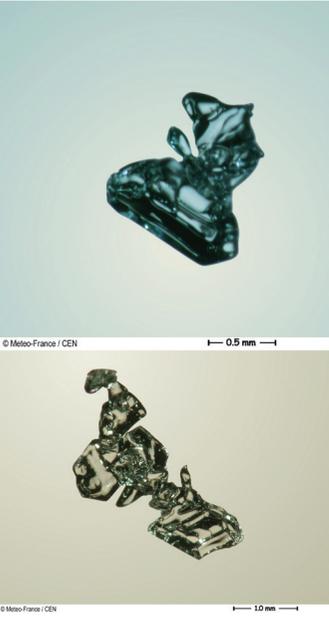
3.1.2.a Neige récente

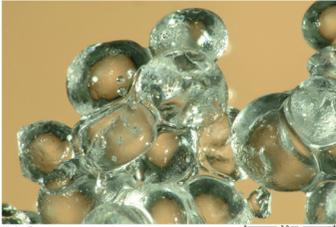
| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps ? |
|--|--|---|---|
| <p>Neige fraîche +</p>  | <p>Blanc éclatant, aspect poudreux.</p> <p>La densité de la neige fraîche est liée aux conditions de vent et de température durant la chute de neige. Plus il fait froid et moins il y a de vent, plus la neige est légère.</p> <p>À ski, la neige fraîche sera plus ou moins agréable à skier selon à la fois sa densité et l'épaisseur de la couche.</p> | <p>On reconnaît facilement les cristaux de neige fraîche, même éventuellement à l'oeil nu.</p> <p>L'enchevêtrement des grains conduit à une cohésion faible, dite de feutrage, très temporaire, mais qui explique par exemple que la neige fraîche puisse tenir sur des parois quasi verticales.</p> | <p><u>En surface</u> ou <u>proche de la surface</u>, pendant ou juste après une chute de neige.</p> <p>État de courte durée (pas plus de quelques jours).</p> |
| <p>Neige roulée ✘</p>  | <p>Souvent mélangée à d'autres types de grains au sein d'une couche de neige.</p> <p>Elle a tendance à s'accumuler par places sous l'action du vent ou à rouler au bas des pentes. Il est peu fréquent que la neige roulée constitue une couche épaisse et régulière.</p> | <p>Gros grains (1 à 2 mm), ressemblant à de petites boules de mimosa blanches ou de polystyrène.</p> <p>La cohésion de ces gros grains est très faible.</p> | <p><u>En surface</u> : après une chute de neige sous forme d'averse (souvent au printemps).</p> <p><u>En profondeur</u> : contrairement aux autres cristaux de neige fraîche, ce type de grain évolue très peu avec le temps et la couche garde sa fragilité. On peut donc en retrouver enfoui sous d'autres couches de neige, parfois plusieurs semaines après leur chute.</p> |

| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps ? |
|---|---|---|--|
| <p>Particules reconnaissables /</p>  <p>© Météo-France / CEN</p> | <p>Neige récente, d'aspect poudreux.</p> <p>Couche de neige tendre, blanche, qui se tasse facilement.</p> <p>Parfois un peu lourde à skier, surtout dans les pentes peu raides. Les rochers ne sont plus plâtrés.</p> | <p>On peut encore reconnaître la forme des cristaux de neige fraîche d'origine, mais les cristaux sont brisés et leurs contours émoussés ; par exemple : dendrites aux contours arrondis.</p> <p>Comme les contours et les branches s'émoussent, la cohésion de feutrage n'est plus présente et la cohésion, globalement peu élevée des particules reconnaissables dépend du type de grain vers lequel elles évoluent.</p> | <p><u>Souvent en surface</u>, plus fréquemment <u>sous une couche de neige fraîche</u>, ou bien encore <u>sous une couche de neige plus dense</u> (par exemple rapportée par le vent). Dans tous les cas, dans les strates assez récentes du manteau neigeux.</p> <p>Seules, elles ne persistent que quelques jours après la chute de neige ; on peut par contre les retrouver mélangées à d'autres types de grains pendant quelques semaines.</p> |
| <p>Givre de surface V</p>   <p>© Météo-France / CEN</p> | <p>La surface de la neige scintille au soleil. Le givre de surface ne tombe pas des nuages mais croît depuis la surface de la neige en captant la vapeur d'eau invisible contenue dans l'air.</p> <p>Couche fine (au plus quelques centimètres), qui forme ensuite une ligne horizontale sombre une fois enfouie.</p> | <p>Aiguilles ou feuilles très fragiles pouvant atteindre quelques cm, observables à l'oeil nu.</p> <p>À la loupe, on distingue de nombreuses stries sur les feuilles.</p> <p>Au vu de la taille des structures et du peu de points de contact, la cohésion est très faible.</p> | <p><u>En surface</u>, où il est très facilement repérable.</p> <p><u>En profondeur</u> : il évolue très peu et constitue une couche fragile persistante, difficile à détecter car de faible épaisseur.</p> <p>Il se forme plutôt en fond de vallon, dans les clairières et près de ruisseaux, plus rarement dans les pentes (en Europe).</p> |

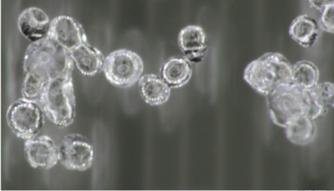
3.1.2.b Neige évoluée

| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps ? |
|--|---|--|---|
| <p>Grains fins ●</p>  | <p>Une couche de grain fin reste très blanche et présente une bonne cohésion. Si sa densité est importante, c'est une neige très compacte (neige à igloo).</p> <p>Lorsque les grains fins cohabitent avec des particules reconnaissables, la neige peut être encore d'aspect poudreux, mais se détache toutefois en blocs quand on creuse.</p> <p>Neige dure, portante. Bonne accroche à ski, cassante si peu épaisse ("carton").</p> | <p>Grains petits (0,2 à 0,5 mm) aux contours plutôt arrondis, lissés.</p> <p>Posés sur une plaquette, ces grains sont difficiles à séparer. Ils sont soudés entre eux par de petits ponts de glace, c'est ce qui leur donne une bonne cohésion dite cohésion de frittage.</p> | <p><u>En surface</u> : dans la neige soufflée ou cartonnée, ainsi que sur les pistes damées.</p> <p><u>En profondeur</u> : principal constituant des manteaux neigeux épais hivernaux (zones d'accumulation, hiver à fort enneigement).</p> |
| <p>Grains à faces planes □</p>  | <p>Neige de faible dureté, de couleur blanche quand ils sont petits, plus terne quand ils sont plus gros.</p> <p>Si on en prend une poignée, il est impossible d'en faire une boule : la neige « coule » du gant, elle ressemble à du sucre en poudre.</p> <p>Dans une couche de surface, cette neige est agréable à skier. En surface, le skieur y laisse une trace bien visible.</p> | <p>Grains de taille petite à moyenne (0,3 à 0,8 mm).</p> <p>Quand ils sont suffisamment gros, on distingue des angles nets sur leurs contours, souvent de 120°.</p> <p>Posés sur une plaquette, les grains à faces planes se détachent facilement les uns des autres, surtout si ils sont grands. Leur cohésion est faible.</p> | <p><u>En surface</u> : après une période de beau temps calme, dans les zones habituellement peu exposées au soleil.</p> <p><u>En profondeur</u> : ces grains peuvent être enfouis sous d'autres couches de neige, mais rarement à plus d'un mètre de la surface.</p> <p>Les couches de grains à face planes peuvent être épaisses. On peut aussi en trouver de peu épaisses (de l'ordre du cm) ; dans ce cas, cette <i>couche fragile</i> sera plus difficile à détecter.</p> |

| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps ? |
|--|---|---|---|
| <p>Gobelets ^</p>  <p>© Météo-France / CEN</p> <p>© Météo-France / CEN</p> | <p>La principale caractéristique des gobelets est leur grande fragilité, plus grande encore que celle des grains à faces planes.</p> <p>Neige de très faible dureté, de couleur légèrement grisâtre, terne.</p> <p>Elle est difficile à pelleter car les gobelets sont très peu liés entre eux et coulent littéralement de la pelle.</p> <p>En surface, neige agréable à skier à la descente. Par contre, à la montée, si la couche est trop épaisse, le manque d'appui empêche de faire une trace raide.</p> | <p>Les gobelets sont des grains de grande taille (en moyenne 1 à 2 mm), mais ils peuvent atteindre jusqu'à 5 mm. Ils sont généralement identifiables à l'oeil nu, souvent en forme de pyramide creuse.</p> <p>De nombreuses stries rayent la surface des grains. C'est une caractéristique qui les rend facilement identifiables.</p> <p>Ils se détachent très facilement les uns des autres. Leur cohésion est très faible.</p> | <p>Comme pour les faces planes, ils se forment le plus souvent dans les versants à l'ombre. <u>On peut donc en trouver en surface presque partout</u> si les conditions météorologiques sont favorables : en effet, en plein hiver, à part les pentes sud raides, de nombreuses pentes sont peu ensoleillées.</p> <p>Les gobelets se forment pendant les longues périodes de beau temps d'hiver.</p> <p>Une fois formés, les gobelets ne disparaissent que par l'apparition d'eau liquide dans la couche. On peut donc en trouver <u>à toute profondeur dans le manteau neigeux</u>, souvent même à sa base car ils se forment facilement en début de saison peu enneigé.</p> |

| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps ? |
|--|--|---|---|
| <p>Grains ronds Humides ○</p>   | <p>La couleur va de un peu grisâtre à franchement grise lorsque la neige est gorgée d'eau.</p> <p>La température de la neige est exactement égale à 0°C.</p> <p>La dureté d'une telle neige peut varier entre assez dure s'il n'y a que très peu d'eau liquide à sans cohésion quand elle est très mouillée (neige "pourrie"). Toutefois, les couches de grains ronds très denses restent portantes même lorsqu'elles sont mouillées.</p> <p>À ski, on parle de "neige de printemps" plus ou moins ramollie. Elle est de très agréable ("transformée", "moquette", "décaillée", "revenue") à très pénible ("soupe"). S'il s'agit d'une neige récente, elle est difficile à skier (neige collante).</p> | <p>Grains assez gros : de 0,5 à plus de 2 mm, aux contours très arrondis, formant des sphères presque parfaites imbriquées les unes dans les autres.</p> <p>Ils se séparent plutôt facilement mais restent souvent agglomérés en amas de quelques grains.</p> <p>La cohésion (dite cohésion capillaire) varie de bonne à très faible selon que la neige contient respectivement peu ou beaucoup d'eau.</p> | <p>Partout en fin de saison, à la fonte de la neige.</p> <p><u>En surface</u> : lorsqu'il a plu ou en journée dans les versants ensoleillés (en plein hiver dans les pentes sud raides, puis dans des orientations de plus en plus nombreuses au fil de la saison et selon l'altitude).</p> <p><u>En profondeur</u> : une couche de grains ronds humides bien enfouie peut rester humide longtemps et mettre plus d'une semaine à regeler même si les conditions météo sont favorables.</p> |
| <p>Grains ronds regelés ○ ■</p>  | <p>Couche très dure, portante dès que son épaisseur atteint quelques centimètres. Dite "croûtée" lorsqu'elle est non portante.</p> <p>Ski en neige dure si la couche est suffisamment épaisse ; très pénible si elle est croûtée ou bien si sa surface est très irrégulière ("tôle ondulée"). Par ailleurs, si la neige était gorgée d'eau avant de regeler, elle devient avec le regel une couche glacée, extrêmement difficile à skier et dangereuse (risque de glissade et de chute).</p> | <p>Pour le cas d'une croûte fine, les grains semblent pris dans une gangue de glace.</p> <p>La cohésion est bonne à excellente (selon la quantité d'eau qui a regelé), appelée cohésion de regel.</p> | <p><u>En surface ou en profondeur</u>, comme les grains ronds humides, mais après refroidissement du manteau neigeux humide permettant le regel de l'eau liquide.</p> |

3.1.2.c Cas particulier de la neige de culture

| Nom | Aspect d'une couche | Les grains à la loupe | Où en trouve-t-on ? Combien de temps? |
|--|--|---|--|
| <p>Neige de culture ☉</p>  | <p>Les grains de neige de culture proviennent de la congélation de gouttelettes d'eau. Ce sont donc des grains ronds de petite taille. Leurs propriétés sont par conséquent celles des grains ronds.</p> <p>Il est rare de skier uniquement sur de la neige de culture, qui est souvent mélangée à d'autres types de neige. Lorsque c'est le cas, la sensation est similaire à celle sur neige évoluée (selon regel). Seule différence, lorsque la neige vient d'être produite et dans des conditions bien sèches : elle forme alors de grands tas avec peu de cohésion et est agréable à skier.</p> | <p>Grains ronds assez petits (0.2 à 0.4mm en général) et très réguliers (forme sphérique quasi parfaite).</p> <p>La neige de culture évolue tout comme la neige naturelle. Il est donc très difficile de distinguer la neige produite artificiellement d'une couche naturelle de grains ronds lorsque la production date de longtemps (couches enfouies).</p> | <p>La production nécessite une température de l'air froide (<-4°C) et un faible taux d'humidité, afin de favoriser le gel des gouttelettes d'eau. Les nuits claires et froides sont idéales.</p> <p>La période de production s'étale généralement de novembre à décembre (75 % de la quantité totale produite), un peu en janvier (25 %), et pratiquement pas en fin de saison.</p> <p>La neige de culture est beaucoup utilisée en pré-saison pour la formation d'une sous-couche résistante sur laquelle la neige naturelle va se déposer. On la trouve donc principalement en profondeur.</p> <p>Dans les couches supérieures, elle est souvent mélangée à la neige naturelle sous l'action du damage.</p> |

Les fondamentaux

Le **manteau neigeux** est un empilement de couches de neige aux caractéristiques bien distinctes, visuellement mais également mécaniquement, qui découlent du type de grains et de leurs liaisons. On distingue la neige récente (*neige fraîche* + ; *neige roulée* ✕ ; *particules reconnaissables* / ; *givre de surface* ∇) de la neige évoluée (*grains fins* ● ; *grains à faces planes* □ ; *gobelets* ▲ ; *grains ronds* ○).

La température de la neige est soit **négative** soit **égale à zéro degré Celsius** :

- **négative** : la neige ne contient pas d'eau liquide, on parle de **neige sèche** ;
- **égale à zéro degré** : la neige contient de l'eau liquide, on parle de **neige humide**.

En un même lieu, la température dans le manteau neigeux ne cesse de varier tout au long de la saison (selon les conditions météorologiques et la course du soleil) et selon la profondeur (grande variabilité en surface et une stabilisation à zéro degré en général au niveau du sol).

La température dans le manteau neigeux est primordiale car elle pilote les transformations des grains et par conséquent les caractéristiques des différentes couches de neige. Ces différentes caractéristiques de la neige conditionnent elles-mêmes le degré de stabilité du manteau neigeux, et, en conséquence, le risque d'avalanche associé.

3.2 Les états de surface du manteau neigeux

La facilité du ski, l'aisance du skieur, sa vitesse, le plaisir même de la glisse sont étroitement liés à la qualité de la neige de surface. Chacun a pu constater que l'état de la neige de surface change souvent rapidement dans le temps comme dans l'espace : par exemple, quelques heures de vent suffisent à transformer une poudreuse légère en neige cartonnée, un déplacement de quelques dizaines de mètres dans une même combe peut faire passer d'une neige lisse et portante à une neige lourde et **recouverte** de boules. Pour faire les bons choix en matière de qualité de la neige de surface sur un itinéraire donné, il faut bien évidemment observer la neige, mais on a tout intérêt à essayer de mieux la comprendre. En effet, la neige de surface peut être constituée de n'importe lequel des types de grains décrits au chapitre précédent et les transformations d'un type à un autre ne sont pas le fruit du hasard : elles se produisent dès le début de la chute de neige et par la suite en permanence sous l'influence des différents paramètres météorologiques tels que le soleil, le vent, les nuages, la température et l'humidité de l'air. À partir d'exemples d'états de surface que l'on rencontre fréquemment, nous allons illustrer comment les conditions météorologiques et topographiques locales pilotent ces évolutions si différentes de la neige.

3.2.1 La neige poudreuse

Ce terme recouvre plusieurs qualités de neige.

Le plus souvent, il est associé à de la *neige fraîche* (+), peu ventée, froide et sous-entendu légère ; **la dernière chute date de quelques heures ou d'au plus quelques jours**. Légèreté toute relative, qui dépend d'abord de la température de l'air pendant la chute : plus il fait froid, plus elle sera légère.

Mais ces moments sont assez courts et, bien souvent, la poudreuse est ou devient plus lourde. Plusieurs raisons sont possibles : soit la neige est tombée par une température moins froide, soit la chute a été ventée, soit encore le temps a entamé son action modificatrice. Les grains que l'on rencontre dans ce type de neige moins légère sont alors majoritairement des *particules reconnaissables* (✓). Le skieur marque encore une trace bien visible dans la neige, mais le ski est moins facile.

Un autre critère influe sur la qualité du ski dans la poudreuse : l'épaisseur de la couche. En effet, quelques centimètres seront insuffisants pour amortir le poids du skieur et masquer une sous-couche dure et irrégulière.



Traces de descente en neige poudreuse

Remarque :

Parfois, la neige reste d'aspect encore poudreux, mais **la dernière chute commence à dater**. On ne peut donc plus parler de neige récente ; cet état de surface est parfois appelé "vieille poudreuse". Cette neige présente peu de cohésion, elle est agréable et facile à skier, presque comme la neige récente. La trace du skieur est visible, mais cette neige se tasse peu, elle chasse sur les côtés et vole moins que la neige récente. Cela correspond aux types de grains appelés *faces planes* (▣) et *gobelets* (▲). Les conditions les plus favorables à la transformation en ces types de grains dans les zones à l'ombre ou peu exposées au soleil sont une période de beau temps calme après une chute de neige car, comme explicité aux paragraphes 3.1.1.b et e, cela va favoriser de grands écarts de température entre le haut et le bas de la couche. Ce sont donc bien sûr dans les versants nord que la neige peut rester "poudreuse" le plus longtemps. Mais attention, au coeur de l'hiver, beaucoup plus de pentes, notamment celles orientées à l'est et à l'ouest, n'ont pas d'ensoleillement efficace.

3.2.2 La neige de printemps

La neige de printemps est une neige dans laquelle l'eau est déjà apparue (au moins une fois). Elle est donc constituée de *grains ronds* (○), regelés ou non. Deux cas sont ainsi possibles : soit cette eau a déjà entièrement regelée, soit elle est encore sous sa forme liquide. Elle est donc respectivement soit très dure (on parle alors de **croûte de regel**) soit plus ou moins molle selon la quantité d'eau contenue dans la neige (là, les termes sont légion : neige "décaillée", "revenue", "transformée", "moquette", etc. et, lorsque la quantité d'eau est plus importante, neige "pourrie", "soupe", etc.).



Croûte de regel superficielle

Comment s'expliquent ces différents états de la neige de printemps ?

L'action du soleil, qui apporte de l'énergie au manteau neigeux, est la cause la plus fréquente pour humidifier la neige. Lorsqu'elle est suffisante, elle permet à une partie des grains de neige proches

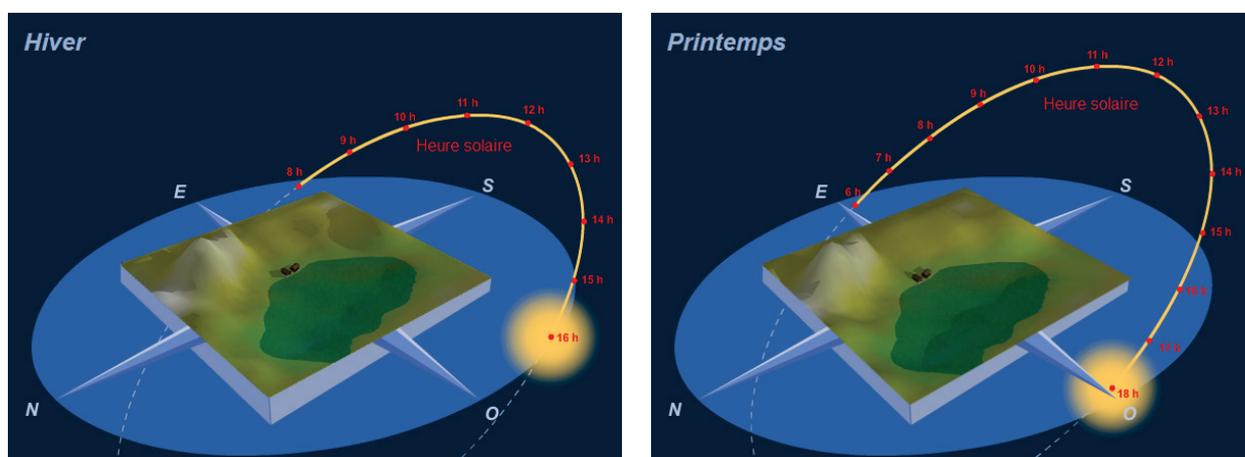


Randonnée à ski en neige de printemps

de la surface de la neige de fondre. Au cours de la nuit suivante, surtout si elle est claire, l'eau liquide présente entre les grains va regeler et les souder par de larges ponts de glace. Ainsi naissent les croûtes de regel, de proche en proche à partir de la surface. S'il s'agit de la première humidification d'une neige sèche, il faudra patienter quelques jours afin que plusieurs cycles dégel-regel se produisent et que ces croûtes de regel deviennent plus épaisses et portantes.

Puisque le soleil en est le principal moteur, cette transformation est très sélective en fonction **de la saison, du versant** et **de l'heure de la journée**. En plein hiver, cette neige transformée se rencontre en général seulement dans des versants sud raides. Puis, lorsque les jours rallongent et que le soleil est plus haut sur l'horizon, de plus en plus de versants et de zones moins raides sont concernés, et ce à différents moments de la journée : les versants est, voire nord-est, seront les premiers à subir les assauts du soleil, tandis que les versants ouest se transformeront plus tardivement.

D'où l'appellation "neige de printemps", puisque cet état de surface devient majoritaire à cette saison de l'année.



Courses du soleil en hiver et au printemps

Parmi les facteurs météorologiques jouant sur l'humidification et le regel de la neige, si le soleil est le plus évident, il n'est pas le seul (voir §3.1.1.e) : peuvent jouer également la température et l'humidité de l'air, les nuages (regel moins bon), sans oublier la pluie, très efficace pour la phase d'humidification.

3.2.3 La neige ventée

Le vent est un phénomène météorologique très fréquent en montagne. À part en forêt dense, le manteau neigeux est régulièrement soumis à ses effets, et ce, dès la chute de neige.



Son premier effet est de **redistribuer la neige**, et ce déjà pendant la chute, d'où une **répartition parfois très irrégulière** de la neige fraîche.

Répartition irrégulière de la neige due au vent : un des côtés de la crête est presque totalement dégarni

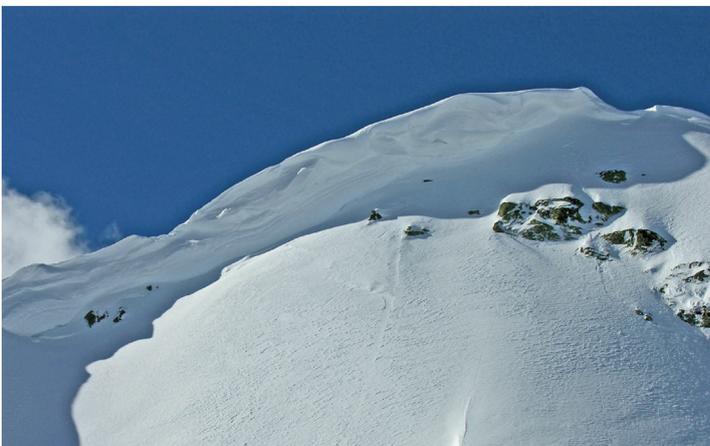
On sous-estime souvent cet effet car il n'est pas toujours visible, en particulier lorsque la fin de la chute est peu ventée. La surface de la neige est alors lisse et il faut avoir une grande expérience de son secteur pour repérer les légères modifications du profil de pente qui témoignent que tel endroit a subi les effets du vent.

Par ailleurs, même plusieurs jours après la chute de neige, le vent peut être capable d'arracher les cristaux de neige de la surface pour un nouveau voyage aérien. Cela dépendra de la qualité de la neige de surface du moment et de la force du vent : sur une surface de neige croûtée, un vent même fort n'aura que peu d'effet ; au contraire, sur une neige récente, un vent modéré suffira à provoquer un transport important.



Transport de neige par le vent : modéré et fort (chasse-neige)

Le second effet du vent est de **modifier rapidement les caractéristiques de la neige de surface**. Une fois encore, c'est le couple force du vent/qualité de la neige de surface qui est déterminant, c'est-à-dire l'intensité du transport de neige par le vent.

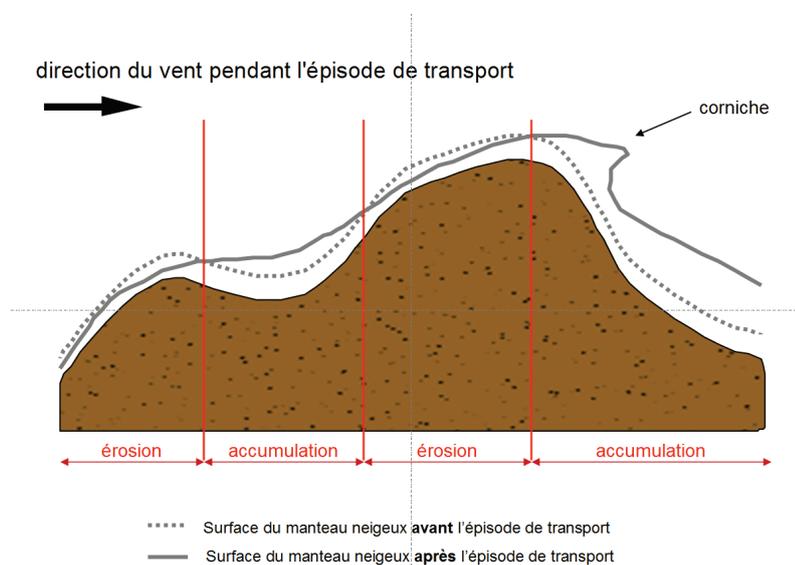


Modification des caractéristiques de la neige de surface par le vent : rides, accumulation derrière les obstacles, corniche.

Prenons l'exemple d'une couche de *neige récente* légère (✦). Tant que les cristaux de neige récente ne font que se déplacer à la surface, les fines rides qui apparaissent alors ne gênent pas réellement le skieur. Néanmoins, si ce petit vent dure assez longtemps, une grande partie des cristaux finissent par se briser lors des chocs répétés, conduisant à des *grains fins* (●). Ceux-ci sont plus proches les uns des autres : la neige est donc plus dense ; ils ont aussi la capacité de se souder rapidement entre eux : la neige est plus dure. Cela correspond à l'apparition des fameuses "croûtes de vent", qui cassent sous les skis de façon irrégulière tant qu'elles ne sont pas suffisamment épaisses pour être portantes. Dès que le vent devient plus fort, les cristaux de neige récente sont soulevés et transportés sur de plus grandes distances. La formation de ces croûtes est par endroits beaucoup plus rapide, notamment près des crêtes ou sur les croupes. La neige se hérissé alors de vaguelettes hautes parfois de plusieurs dizaines de centimètres et de reliefs durs, des corniches apparaissent sur les crêtes. Enfin, pour des vents plus tempétueux, certaines zones se dégarnissent complètement de leur neige récente, seule la neige dure reste en place. Les grains arrachés, en suspension dans l'air, forment alors de la chasse-neige, phénomène au cours duquel une partie des grains disparaît par sublimation (transformation directe de la glace en vapeur d'eau invisible), le reste se redéposant souvent très loin du lieu d'origine.

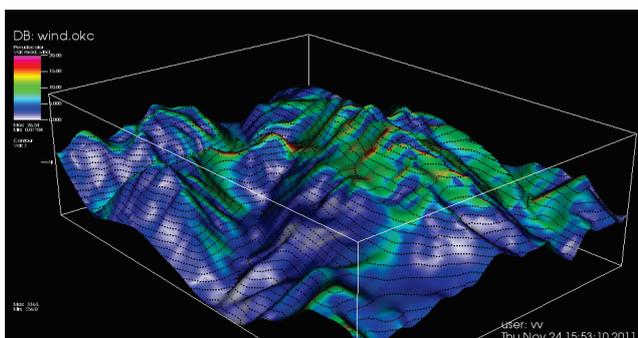
Savoir reconnaître les zones d'accumulation de neige, c'est-à-dire repérer les endroits où la neige s'est redéposée après un épisode de transport est important, car ces couches de neige plus denses peuvent être à l'origine d'avalanches de plaque (cf. § 3.3.1). Ce n'est malheureusement pas simple car ces zones de dépôt sont souvent peu caractéristiques et une fois recouvertes, elles deviennent très difficilement détectables.

Une autre approche consiste à localiser les zones qui ont pu être abritées du vent, mais, là non plus, ce n'est pas simple. Ce sont essentiellement des **facteurs topographiques** qui sont alors à prendre en compte. En premier lieu, **l'orientation de la pente par rapport à la direction du vent**.

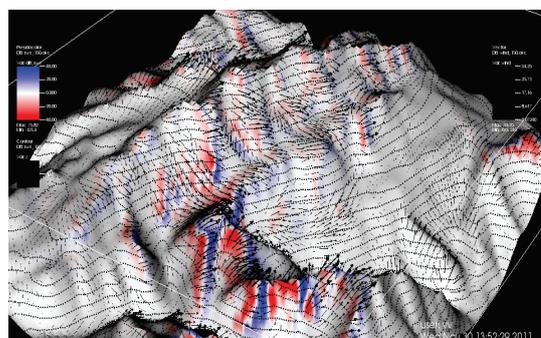


Après un épisode de transport de neige par vent d'ouest (c'est-à-dire que le vent venait de l'ouest), ce sont les versants orientés à l'est qui seront en moyenne les plus chargés.

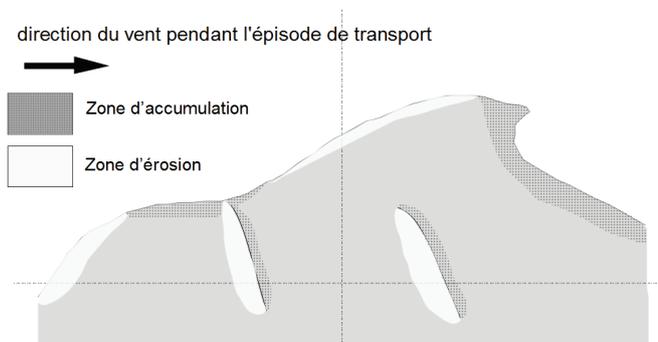
Mais attention, en montagne, l'écoulement de l'air est perturbé par le relief ; la direction et la force du vent qui souffle localement sont souvent bien différentes de celles du vent général (annoncées dans le bulletin météo par exemple). De plus, direction et force du vent fluctuent dans le temps, provoquant parfois la reprise de la neige déposée quelques heures auparavant. Elles varient aussi avec l'altitude : le vent observé en bas d'une station est rarement le même que sur les crêtes.



Perturbation de l'écoulement de l'air par le relief. A gauche, le code couleur représente la force du vent ; à droite, les flèches symbolisent la force (taille de la flèche) et la direction du vent (orientation de la flèche)



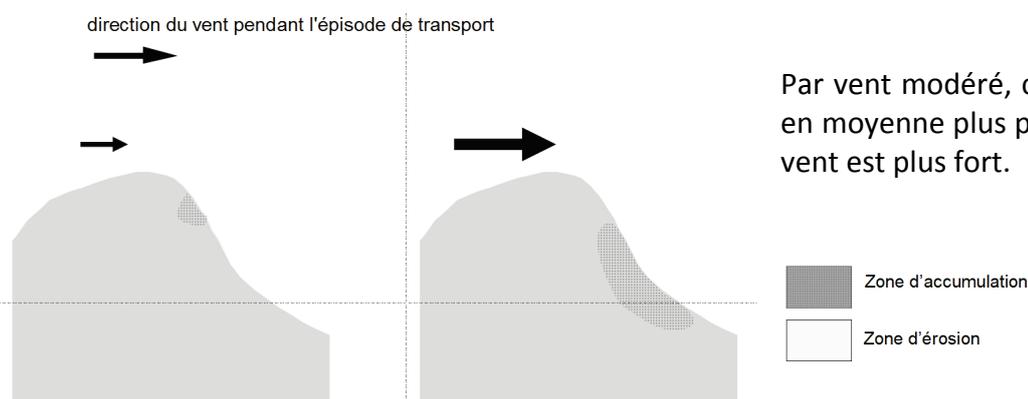
Transport de neige par le vent : zones d'accumulation (en bleu) et d'érosion (en rouge) en relation avec un épisode venté (les flèches symbolisent le vent)



Impact de la forme de la pente : crêtes, ressauts et croupes formant des zones d'accumulation/érosion

La **forme de la pente** joue également un rôle très important : un versant n'est pas toujours régulier, par exemple des croupes dans un versant nord seront des obstacles à un vent d'ouest derrière lesquels la neige pourra se déposer.

Selon la direction et la force du vent, certaines zones seront tantôt des zones d'accumulation, tantôt des zones d'érosion. C'est le cas par exemple des crêtes, qui peuvent soit être dégarnies par le vent soit au contraire accueillir des corniches plus ou moins spectaculaires. D'une manière générale, la neige est plus fréquemment arrachée des crêtes ou des croupes et redéposée dans les combes.



Impact de la force du vent sur la position et l'extension des zones de dépôt

Par vent modéré, ces dépôts se situeront en moyenne plus près des crêtes que si le vent est plus fort.

La forme de la combe, plus ou moins large, plus ou moins prononcée ainsi que son orientation par rapport à la direction du vent ont aussi leur importance. Quelques exemples :

- dans une combe, l'accumulation de neige est souvent moins épaisse sur les bords qu'au milieu, parfois seule une partie de la combe est chargée, en particulier si le vent n'était pas perpendiculaire à la crête principale ;
- même loin des crêtes, certaines zones comme un ressaut, un verrou glaciaire, une pente courte mais plus raide dans un vallon, sont plus propices à l'accumulation ; il faut alors tenir compte aussi de la taille de la zone de reprise potentielle (surface de laquelle le vent arrache les grains de neige) ;
- la forêt, à la condition expresse qu'elle soit suffisamment dense, freine ou annihile complètement le transport de la neige par le vent.

Il n'y a donc pas de règle absolue et dans un secteur que l'on fréquente régulièrement, une meilleure connaissance sur le terrain s'acquiert par l'observation répétée des épisodes de transport de neige, de la modification du vent en fonction du relief ou encore des résultats des déclenchements artificiels d'avalanche. L'expérience ainsi acquise sera un atout majeur pour localiser les zones probables d'accumulation de neige. Mais attention, **les structures de plaque ne sont pas uniquement formées par l'action du vent** (cf. § 3.3.1).

3.2.4 Pluie sur neige

En plein hiver, il n'est pas rare de voir tomber de la pluie jusqu'à 2000 ou 2500 mètres d'altitude, voire parfois plus haut. La plupart des domaines skiables peuvent donc être confrontés à ce phénomène. Au-delà du manque d'attrait de skier sous la pluie, quel est son impact sur la neige ?

Tout d'abord, la pluie, quelle que soit la neige sur laquelle elle tombe, entraîne immédiatement une **perte de cohésion** de cette dernière, d'où les avalanches induites par la première pluie de la saison sur un manteau neigeux n'ayant jamais subi d'humidification jusque-là. En effet, des *grains ronds humides* (*O*) apparaissent, quelque soit le type de neige sèche présent en surface. Or, leur cohésion (dite capillaire) est moins bonne que celle de n'importe quel type de neige sèche (frittage ou même feutrage) ; et, si l'on est déjà en neige humide, la cohésion est inversement proportionnelle à la quantité d'eau liquide contenue dans la neige.

Ensuite, l'effet le plus visuel de la pluie est la **diminution de la hauteur du manteau neigeux**. Il est utile de rappeler que cela est dû majoritairement à un **tassement important** et non pas à la fonte : la quantité de glace avant et après la pluie reste quasiment la même, mais par contre, le manteau contient alors beaucoup moins d'air : il s'est nettement densifié.

À très court terme, sur de la neige récente, la neige s'humidifie d'abord régulièrement en surface ; puis, s'il continue à pleuvoir, son aspect devient matelassé dans les endroits plats, tandis que des sillons apparaissent dans les pentes. Cette neige est alors peu agréable à skier vu les irrégularités et la lourdeur du mélange obtenu. Sur de la neige dure et compacte (par exemple sur pistes damées), la surface devient très mouillée, ce qui ralentit beaucoup la glisse ; mais, sauf en cas de fortes pluies, la neige reste plutôt portante.



Impact de la pluie sur le manteau neigeux : apparition de sillons dans les pentes

À plus long terme, si une période de froid suit, l'eau contenue dans le manteau neigeux pourra regeler progressivement. D'abord par la surface, où les microreliefs formés par la pluie offriront un assez bon ancrage pour la chute de neige suivante. Puis, si l'humidification avait atteint des couches plus profondes, la neige deviendra dure sur une grande épaisseur. Ainsi, une bonne chute de pluie sur le manteau neigeux sur les pistes en début de saison suivie d'un regel fournit une bonne sous-couche de neige qui résistera mieux à l'abrasion des skieurs ; en hors-piste, elle évite au skieur de toucher le fond, même si l'enneigement est faible.

Si la pluie est faible et tombe sur une neige molle (*neige fraîche* +, *grains à face planes* □, *gobelets* ▲), la neige deviendra *croûtée* (■) une fois regelée. Une neige croûtée est dite non portante lorsqu'elle ne supporte pas le poids d'une personne. Cette notion est donc fonction du mode de déplacement (à pied, à raquettes ou à skis).

3.2.5 Autres états de surface particuliers

Neige damée

Cet état de surface particulier aux domaines skiables est traité dans une partie spécifique.

Givre de surface

La surface de la neige se couvre parfois d'un tapis de givre qui scintille au soleil. Ces cristaux de givre grandissent vers le haut depuis la surface de la neige, sous forme d'aiguilles ou de feuilles dont la taille peut atteindre plusieurs centimètres. Leur structure est très fragile. Ils se forment surtout par nuit claire, sans vent et lorsque l'air est humide. Une fois recouvert par de nouvelles chutes de neige, ce givre évolue peu, cette couche fragile peut alors persister dans le manteau neigeux pendant plusieurs semaines.

C'est souvent le cas au Canada, dans les montagnes Rocheuses, où des couches de givre de surface enfouies sont chaque hiver à l'origine de nombreux accidents d'avalanche. Dans les massifs français, elles sont à la fois plus rares et plus localisées : en fond de vallon ou dans des clairières, plus rarement sur les pentes.



Givre de surface

Neige colorée

Parfois, en fin de printemps ou en début d'été, on peut observer sur certains replats de grandes tâches rouges sur la neige. Autrefois considérées comme un présage de malheur, elles sont en fait un signe de la vie dans la neige. Cette coloration est due aux spores produites par une algue verte microscopique, appelée *Chlamydomonas nivalis*. Cette algue, à la base d'une chaîne alimentaire, permet à de nombreux autres organismes vivants de se développer dans l'environnement très hostile qu'est un manteau neigeux. Ce phénomène de neige rouge, assez fréquent dans les Alpes orientales, est observable plus ponctuellement dans nos massifs.

En cours de saison, après une assez longue période de forts vents de secteur sud, il arrive que la chute de neige soit colorée, ou que la pluie colore la surface de la neige. Cette coloration, ocre jaune à rouge, est due aux fines particules de sable ou d'argile prélevées par le Sirocco sur les étendues désertiques d'Afrique du Nord et suffisamment légères pour rester plusieurs jours en suspension et traverser la Méditerranée. Il est à noter que ces impuretés à la surface de la neige augmentent sa capacité à absorber le rayonnement solaire ; la fonte s'en trouve donc accélérée.



Neige colorée par le sable en surface



Neige colorée par le sable (couche enfouie)

Les fondamentaux

La surface du manteau neigeux est extrêmement variable à la fois en termes d'aspect visuel (couleur, texture, pouvoir réfléchissant) et en termes de caractéristiques physiques (dureté, cohésion, portance). Cela est relié au(x) type(s) de grains qui constituent la couche de neige de surface.

Il est important d'avoir retenu que cette variabilité découle :

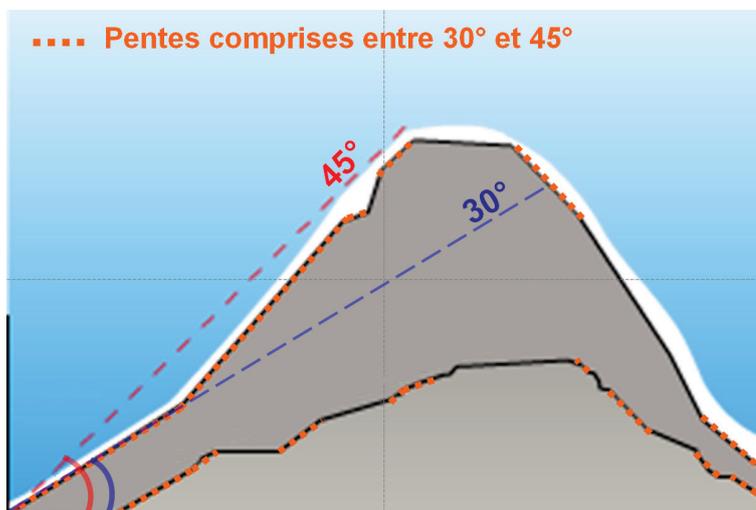
- des conditions météorologiques pendant et après la chute (surtout vent, température, pluie, couverture nuageuse) ;
- du lieu géographique considéré : à la fois altitude, orientation, inclinaison de la pente et topographie environnante (crête, croupe, combe, ressaut, etc.) ;
- de la date et de l'heure.

3.3 Les avalanches

Une avalanche est le mouvement rapide d'une masse de neige atteignant un volume au moins égal à 100 m³ et une longueur d'au moins 50 mètres.

La structure du manteau neigeux, les conditions météorologiques (quantité et qualité des chutes de neige par exemple) ainsi que la topographie des lieux (raideur, longueur et profil de pente, nature du terrain sous-jacent) jouent un rôle primordial dans le déclenchement et la taille des avalanches.

Il faut une pente suffisamment raide (supérieure à 25°/30° environ) pour que tout ou partie du manteau neigeux puisse partir en avalanche, mais la probabilité augmente avec l'inclinaison, sauf dans les pentes extrêmement raides où la neige a du mal à s'accumuler. La plupart des avalanches se déclenchent donc dans des pentes comprises entre 30° et 45°, qui correspondent malheureusement aussi à la gamme des pentes communément skiées.



Représentation des pentes où se déclenchent la majorité des avalanches (surlignées en pointillés orange)

On distingue deux grands types de départ des avalanches :

- les **départs spontanés**, dont les causes sont les conditions météorologiques ou les transformations intrinsèques au manteau neigeux (par exemple chute de neige, accumulation par le vent, pluie ou réchauffement important, reptation) ;
- les **déclenchements provoqués**, dont la cause est une surcharge locale du manteau neigeux :
 - provoquées accidentellement par le passage d'un skieur, surfeur, randonneur, etc. ;
 - provoquées artificiellement à l'aide d'explosifs ;
 - provoquées naturellement (chute d'une corniche, d'un sérac, etc.).

La description exhaustive d'une avalanche se fait en renseignant :

- les caractéristiques de la neige au départ de l'avalanche et les caractéristiques de la cassure : forme (linéaire ou ponctuelle) et taille si cassure linéaire (longueur et hauteur) ;
- le mécanisme qui a provoqué le déclenchement (départ spontané ou déclenchement provoqué) ;
- les caractéristiques du dépôt : type (en blocs ou peu visible), volume, étendue, type de neige (c'est-à-dire neige au départ et neiges emportées par la suite sur l'ensemble du trajet de l'avalanche) ;
- la morphologie de l'écoulement (vitesse, présence ou non d'un aérosol) ;
- le trajet emprunté par l'avalanche (couloir, pente, versant) ;
- les dégâts causés par l'avalanche.

La réalité est souvent complexe et, à la lumière de l'énumération ci-dessus, il est clair qu'il est difficile de donner une classification très générique du phénomène avalancheux. Dans la suite, nous détaillons plus précisément ce que recouvrent les termes *avalanche de plaque*, *avalanche de neige récente* et *avalanche de fonte*.

Sur le terrain, les avalanches sont souvent une combinaison de ces trois grands types.

Des différents types d'avalanches, l'avalanche de plaque est la plus dangereuse pour les personnes évoluant en montagne. En effet, les autres avalanches ont généralement un départ spontané, sans rapport avec le passage d'une personne. Elles ne produisent donc pas de victime si personne ne se trouve sur leur trajet durant le court moment de leur écoulement. Par contre, l'avalanche de plaque se déclenche essentiellement par surcharge, donc exactement au moment où la ou les personnes se trouvent dessus. Elle constitue donc un piège pour le skieur hors-piste ou le randonneur (environ 90 % des victimes par avalanche⁴).

3.3.1 Les avalanches de plaque

Leur signe distinctif est la présence, dans la zone de départ, d'une cassure nette formant une ligne plus ou moins brisée.

Ces avalanches sont dues à une surcharge locale sur un manteau neigeux présentant un empilement de couches instable et conduisant au décrochement de tout un pan d'une pente (d'où leur nom).



Cassure linéaire typique au départ d'une avalanche de plaque

On parle de **structure de plaque** pour désigner cet empilement à l'équilibre précaire qui comporte deux couches :

- une *couche fragile sous-jacente*. Celle-ci est composée de neige ayant une cohésion faible ou très faible. Il s'agit en général soit d'une couche de grains à faces planes ou gobelets, soit de neige fraîche légère, parfois de neige roulée ou de givre de surface ;
- une *couche supérieure présentant une "cohésion de frittage"* (cf. encadré Cohésion de frittage) qui est la plaque proprement dite. Elle est constituée de neige de type grains fins ou de neige récente évoluant vers du grain fin (particules reconnaissables).

⁴ Source Anena et Météo-France sur la base de recensements faits entre 1991-92 et 2012-13.

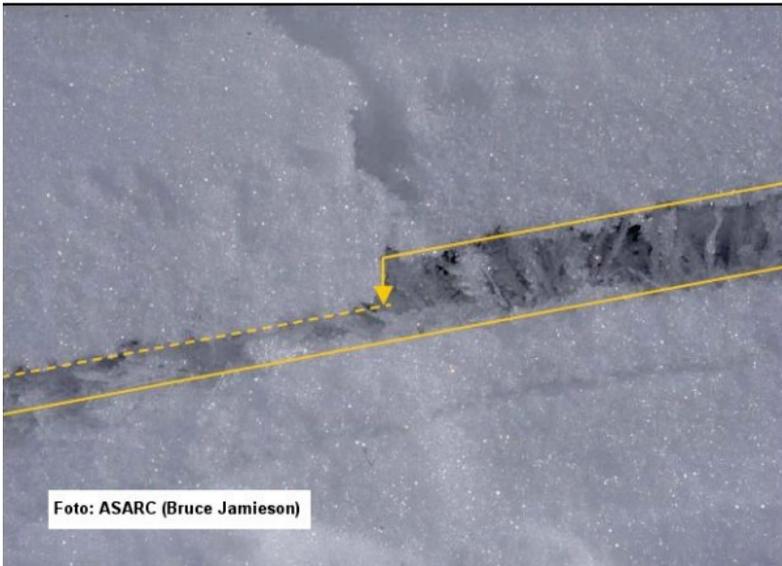


Foto: ASARC (Bruce Jamieson)

Structure de plaque : coupe de l'effondrement d'une couche fragile constituée de givre de surface (entre les deux traits jaunes) surmontée par une couche frittée

Cohésion de frittage:

Si l'on découpe un morceau d'une couche frittée, la neige reste en bloc. Ceci est dû à la nature même des liaisons entre les grains : ceux-ci sont soudés les uns aux autres par de petits ponts de glace, phénomène appelé frittage. C'est ce qui leur donne une **bonne cohésion**.

Si la cohésion de la couche frittée est importante, il s'agit d'une **plaque dure** (les blocs, une fois détachés, ne s'effritent pas et restent compacts et entiers, même pris dans le trajet d'une avalanche).

Si la cohésion est présente mais faible, il s'agit d'une **plaque friable** (les blocs s'effritent très facilement, notamment dans le trajet de l'avalanche) ; à ski, l'impression est celle d'un ski en neige poudreuse.

Il est très important de comprendre qu'une couche frittée seule n'est pas dangereuse, une couche fragile non plus ; le danger vient de l'empilement instable d'une couche supérieure présentant une certaine cohésion (de type frittage) reposant sur une couche fragile.

Mais attention, la plaque peut être enfouie sous de la neige poudreuse voire y ressembler fortement dans le cas d'une plaque friable (les différences de dureté entre les deux couches sont souvent difficiles à discerner sans effectuer des mesures de densité).

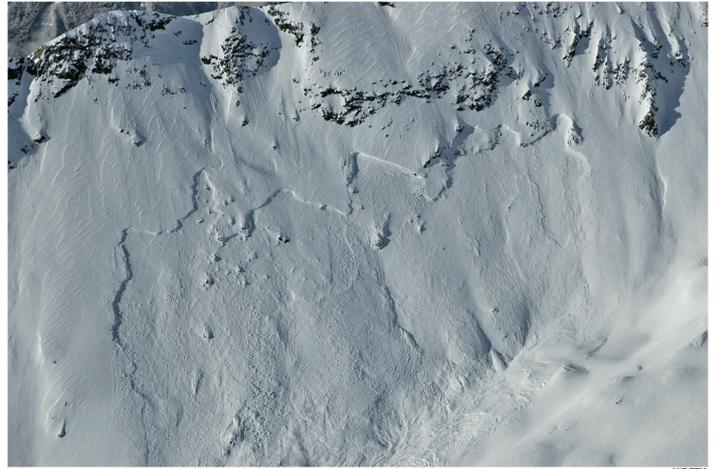
Description

Zone de départ. La cassure associée à une structure de plaque est toujours linéaire, très nette, souvent en forme de ligne brisée. La longueur de la cassure peut être comprise entre quelques mètres dans le cas d'une mini-avalanche, à plusieurs kilomètres dans des cas extrêmes. Son épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre, voire plusieurs mètres dans des cas extrêmes.



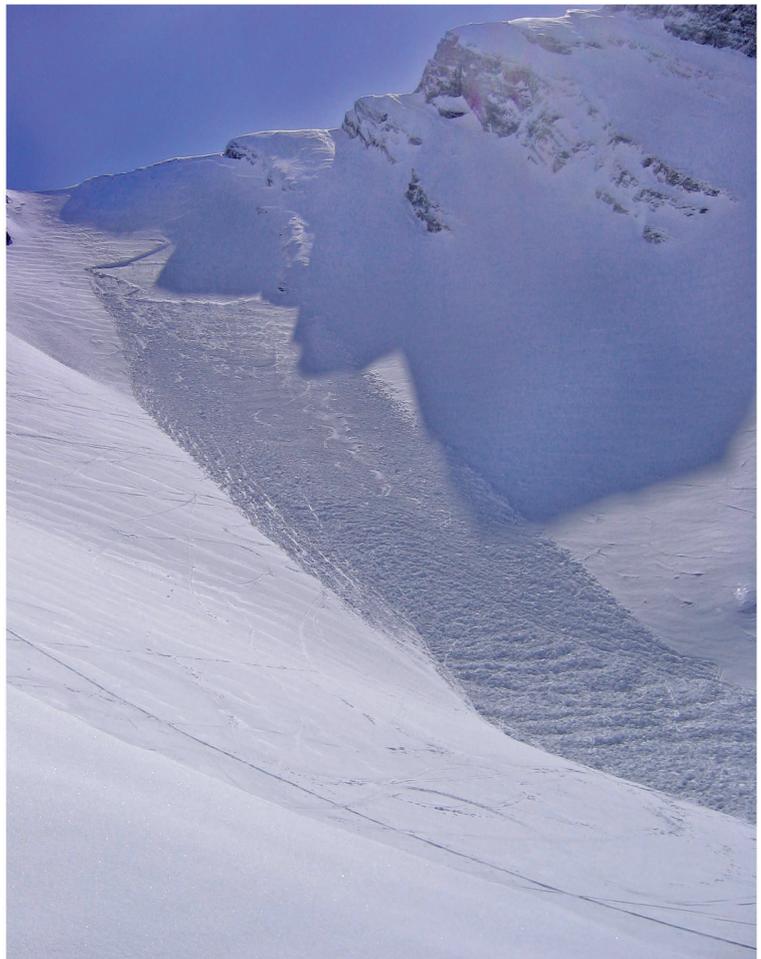
Cassure linéaire

La couche fragile, visible à la cassure, peut être très mince et très difficile à détecter.



Cassures linéaires

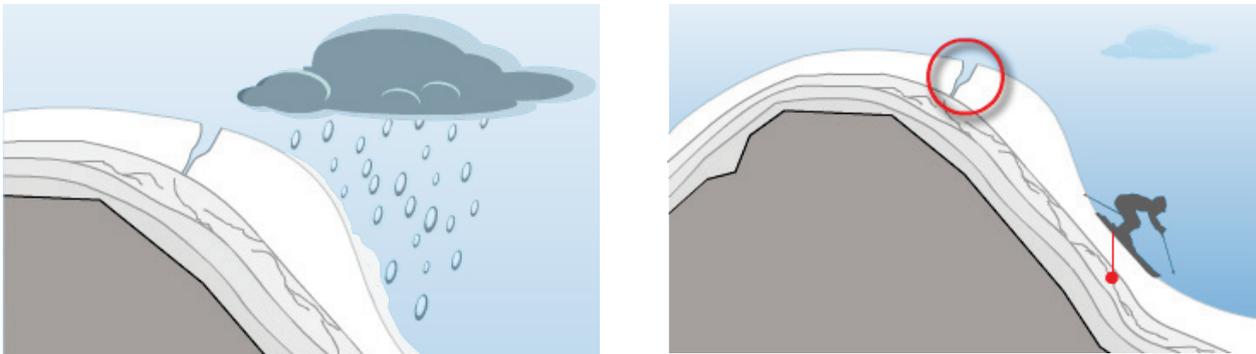
Zone de dépôt. Si la plaque était dure, l'avalanche laisse un dépôt constitué de blocs ; si la plaque était friable, la masse de neige se fragmente rapidement et se transforme en écoulement pulvérulent, laissant un dépôt peu visible.



Dépôt d'une avalanche de plaque dure

Déclenchement

Le déclenchement d'une avalanche de plaque est dû généralement à une surcharge. Il peut s'agir d'une surcharge *naturelle* causée par des précipitations (pluie ou neige), par une chute de corniche ou de sérac, etc. ou d'une surcharge *accidentelle* (passage d'un skieur, surfeur, randonneur à pied ou avec des raquettes) ou encore d'une surcharge artificielle dans le cas de déclenchements préventifs à l'aide d'explosifs.



Surcharge naturelle (à gauche) et accidentelle (à droite) d'une structure de plaque

La couche fragile s'effondre localement à l'endroit de la surcharge, puis cet effondrement se propage dans la couche fragile. Lorsque la contrainte due à ces effondrements devient critique pour la couche frittée, il y a rupture de celle-ci. Elle peut donc se décrocher à un endroit qui peut être éloigné de l'endroit où l'effondrement a été initié.

La rigidité, même faible, de la couche frittée lui permet de propager un début de fracture sur de grandes distances. Ainsi, lors du déclenchement d'une avalanche de plaque, la fracture se propage extrêmement rapidement le long d'une ligne qui peut être droite, brisée ou en arc de cercle.

Conséquences pour les pratiquants de la montagne

Quand un pratiquant déclenche une avalanche de plaque à son passage, celle-ci peut se décrocher juste sous lui, souvent au-dessus de lui (le pratiquant est alors emporté par l'avalanche), parfois bien en aval ou à côté de lui. En effet, la fracture se produit souvent à distance dans les zones raides à profil favorable, parfois jusqu'à plusieurs centaines de mètres du pratiquant ; on parle alors de « déclenchement à distance ». Plus l'avalanche se déclenche loin en amont du pratiquant, plus il risquera d'être enfoui profondément sous la neige. La longueur de la cassure étant généralement comprise entre quelques dizaines et plusieurs centaines de mètres, il est nécessaire de s'espacer fortement dans les zones à risque lors des déplacements en groupe.

La question de la détection de ces structures de plaque sur le terrain n'est pas simple car elle ne peut **pas se faire visuellement** (voir annexe 2). Elle nécessite la mise en oeuvre de tests de stabilité plus ou moins sophistiqués qui permettent d'accéder à une information sur l'intérieur du manteau neigeux. Cependant, certains signes sont caractéristiques d'un manteau neigeux à structure de plaque, mais pas systématiques, notamment l'apparition de bruits sourds (« woumf ») ou la sensation d'un effondrement lors de la progression.

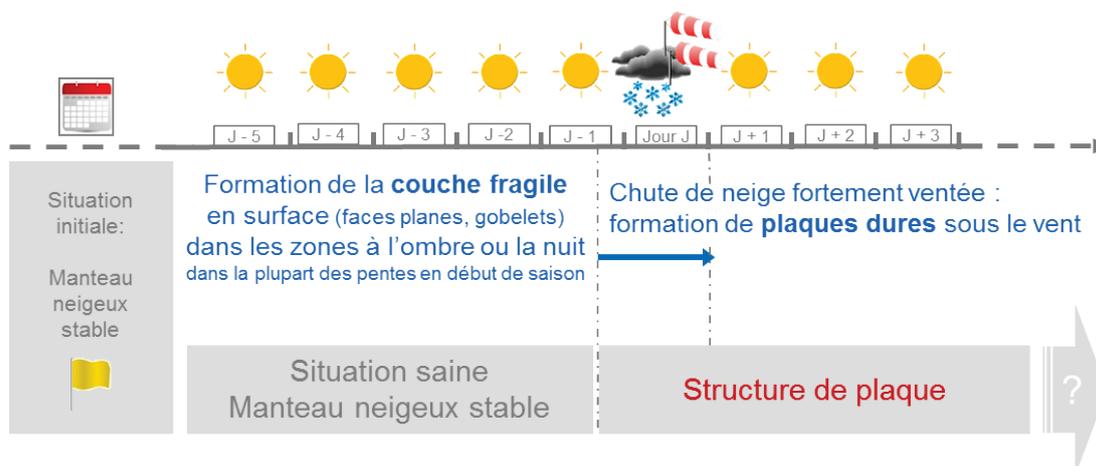
Quelques scénarios météorologiques types conduisant à des structures de plaques⁵

Ces quelques exemples illustrent l'apparition de structures de plaque dans le manteau neigeux, ce qui revient à identifier des « situations météorologiques types » fournissant une couche de neige de faible cohésion (couche fragile) surmontée d'une couche de neige frittée (plaque).

Les processus de formation/apparition et de la couche fragile et de la plaque vont renseigner sur la localisation, l'extension géographique et la longévité dans le temps de ces structures de plaque. Ces exemples sont schématiques, non exhaustifs et les indications temporelles ne sont que des ordres de grandeur.

Exemple n°1. Beau temps froid et sec, puis chute de neige fortement ventée.

Origine de la structure de plaque : Couche fragile : métamorphoses / Plaques : vent.

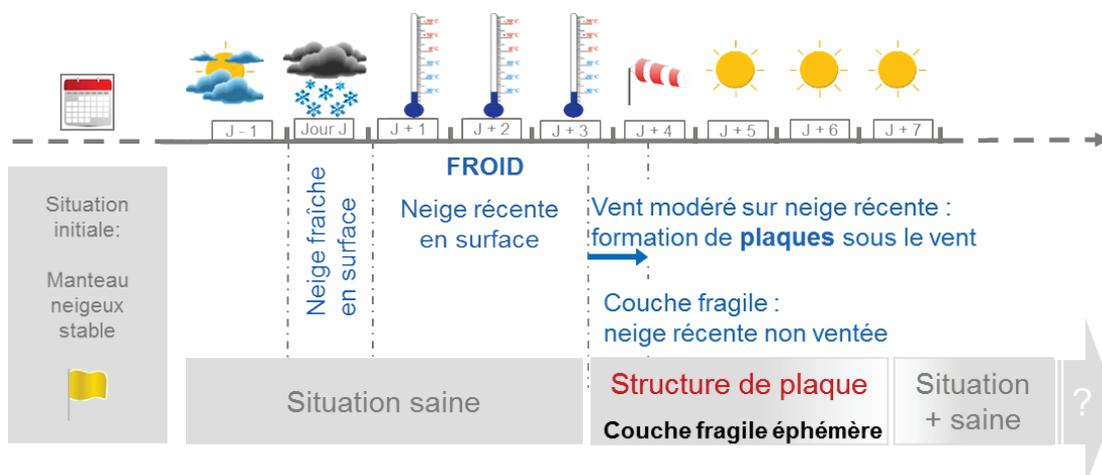


Danger d'avalanche :

- **localisé** (effet du vent)
- **durable** (plusieurs jours)

Exemple n°2. Chute de neige, puis temps froid et sec, puis vent modéré

Origine de la structure de plaque : Couche fragile : précipitations / Plaques : vent.

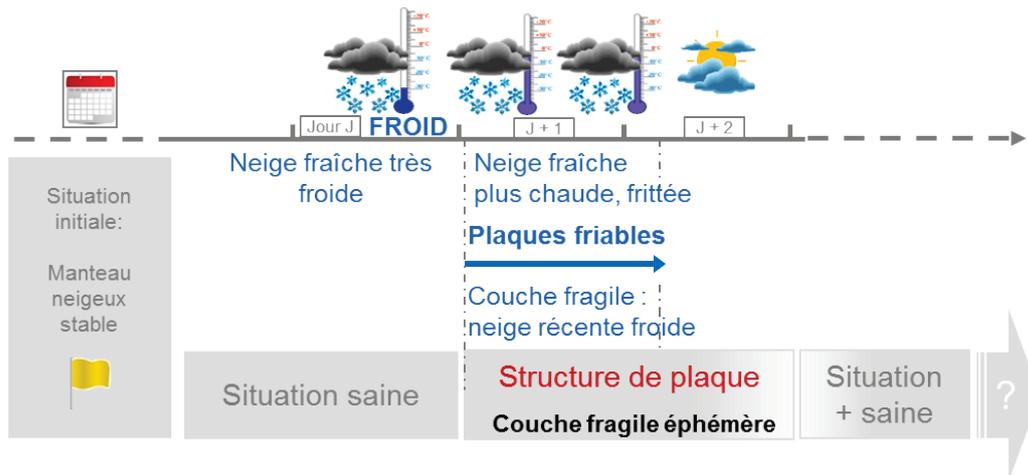


Danger d'avalanche :

- **localisé** (effet du vent)
- **temporaire** (quelques heures à 1 journée)

⁵ Se référer au §3.1.1 La température dans la neige pour les explications et le détail des liens entre conditions météorologiques et métamorphoses des couches de neige.

Exemple n°3. Chute de neige très peu ventée, froide au départ puis se réchauffant.
Origine de la structure de plaque : Couche fragile : précipitations / Plaques : précipitations et métamorphoses.



Danger d'avalanche :

- **généralisé** (tranche d'altitude)
- **temporaire** (quelques heures à 1 journée)

3.3.2 Les avalanches de neige récente

Ces avalanches se déclenchent pendant ou peu après d'importantes chutes de neige. Elles peuvent donc se produire à n'importe quel moment de la journée.

Description

Zone de départ. Dans une pente raide, si une petite portion de neige s'effondre, amorçant un début de glissement vers l'aval, elle entraîne alors la neige présente sur son parcours. C'est un départ ponctuel, « en poire ». Mais l'amorce de l'avalanche de neige récente provient aussi fréquemment de la rupture naturelle d'une plaque sous le poids des précipitations. Dans ce cas, la structure de plaque peut être préexistante à la chute ou alors se former pendant la chute (différence de température, vent). Présentant alors une cassure linéaire, elle a initialement une plus grande largeur et donc un volume plus important.

Zone de dépôt. La neige s'accumule le plus souvent en un cône. Son volume peut être très important et les dégâts occasionnés considérables. L'aspect du dépôt sera différent selon la qualité de la neige (sèche ou humide).

L'avalanche de neige récente sèche laisse souvent un dépôt peu visible voire invisible, d'autant plus qu'il est très souvent recouvert par les chutes de neige en cours. Par contre, s'il s'agit de neige récente humide, le dépôt sera formé de boules plus ou moins visibles selon la quantité de neige mobilisée et la topographie du lieu.

Déclenchement

Ces avalanches se déclenchent spontanément lors de *précipitations neigeuses*.

Les avalanches de neige récente sèche : en cas de forte intensité de précipitations, l'édifice instable de fragiles cristaux de neige grandit trop rapidement, jusqu'à la rupture.

Les avalanches de neige récente humide : en cas de présence de neige fraîche ou très récente (neige poudreuse vieille de quelques jours au maximum), les avalanches se déclenchent rapidement après le début de l'humidification. En général, elles n'emportent que cette couche de neige meuble. La grosseur des avalanches est donc liée à l'épaisseur de neige récente. Si l'humidification est due à la pluie, il se produit alors une crue avalancheuse peu après le début des précipitations : de très nombreuses avalanches se déclenchent en peu de temps (environ une heure) aux altitudes où il pleut, puis l'activité avalancheuse diminue rapidement.

Cas particulier des avalanches de poudreuse avec aérosol

Une des particularités de l'avalanche de neige poudreuse est l'apparition possible d'un aérosol lorsque certaines conditions sont réunies : fortes précipitations de neige légère et froide, angle et longueur de pente suffisants.

Dès que la coulée de neige a une vitesse suffisante, elle provoque à l'avant des turbulences dans l'air, qui soulèvent des particules de neige très légères. Ce mélange d'air et de fines particules de glace est un « gaz » plus lourd que l'air, qui s'écoule très rapidement vers l'aval, appelé aérosol.

Les avalanches sont alors très spectaculaires.

L'avalanche de neige poudreuse avec aérosol est donc constituée d'une coulée de neige, comme toute avalanche, précédée d'un écoulement aérien : l'aérosol.

Cet aérosol peut atteindre des vitesses de 100 à 200 km/h, voire plus. Par l'effet de surpression/dépression qu'il exerce à son passage, il est très destructeur. Il provoque également la noyade par inhalation des cristaux de glace en suspension dans l'air. À cause de sa très grande vitesse et de sa faible densité, l'avalanche de neige poudreuse, surtout l'aérosol, a tendance à se déplacer en ligne droite sans se soucier du relief. L'aérosol parcourt en outre une distance souvent bien plus importante que la coulée.



Illustration du mépris des avalanches de poudreuse pour le relief : ici, cette avalanche remonte sur le versant opposé.

Conséquences pour les pratiquants de la montagne :

Les victimes de ces avalanches sont peu nombreuses. En effet, le très mauvais temps qui règne pendant la crue avalancheuse de neige récente est défavorable à la pratique de la montagne hivernale. De plus, les habitations en zone de montagne sont très rarement implantées dans les couloirs d'avalanche naturels connus ni sur leurs trajectoires (ceci pour des raisons historiques et même réglementaires depuis 1995 par le biais des PPR - Plans de Prévention des Risques). Enfin, les conditions nivo-météorologiques à l'origine de ces avalanches sont le plus généralement prévisibles, d'où des mises en alerte possibles. Toutefois, ces avalanches provoquent parfois des dégâts dans les villages lors de certaines situations hivernales atypiques, comme en février 1999 (Haute-Savoie : Montroc, Valais : Evolène, Autriche : Galtür).



Trajectoire d'un aérosol dans une forêt

En période de mauvais temps, il peut être tentant d'aller en forêt. Attention en cas de risque de grosses avalanches de neige récente : une avalanche se déclenchant au-dessus de la limite supérieure de la forêt ne sera pas arrêtée par cette dernière et pourra même l'emporter en partie, voire totalement.

3.3.3 Les avalanches de fonte

Ce type d'avalanche concerne les manteaux neigeux composés, en totalité ou grande partie, de grains ronds. Le risque de déclenchement est directement lié à la présence d'eau sous forme liquide.

Des différents types d'avalanches, l'avalanche de neige humide est la plus lente, mais la neige est très dense et peut par conséquent provoquer des dégâts importants.



Un télésiège touché par une avalanche de fonte

Remarque : on ne retrace pas dans cette partie les avalanches récentes de neige humide qui ont été décrites dans la section précédente.

Description

Zone de départ. Le départ est souvent **punctuel**.



Cependant, il présente une cassure linéaire dans le cas où l'humidification n'est que partielle et concerne un manteau présentant une structure de plaque : localement, de la cohésion de frittage de la neige encore sèche peut subsister ; il s'agit alors d'une avalanche mixte de neige sèche et de neige humide.

Départ punctuel d'une avalanche de fonte



Zone de dépôt. Une avalanche de ce type laisse un dépôt très caractéristique composé de boules plus ou moins grosses de neige très dense.

Zone de dépôt d'une avalanche de fonte

Déclenchement

C'est l'augmentation de la teneur en eau liquide qui est à l'origine des départs : plus une couche de neige contient d'eau liquide, moins elle a de cohésion.

En cas de pluie ou de fonte sans soleil (par exemple par ciel couvert avec une température nettement positive), l'humidification concerne tous les versants simultanément jusqu'à une certaine altitude.

En cas de fonte due au soleil, les versants concernés sont ceux suffisamment réchauffés par le soleil. Ils suivent donc sa course selon l'heure de la journée et la saison. En début d'hiver (novembre à janvier), la fonte due au soleil ne concerne que les pentes plein sud et raides. Puis, au printemps, elle concernera au cours de la journée les versants est puis sud puis ouest. En fin de saison, toutes les orientations, toutes les inclinaisons, voire toutes les altitudes seront concernées.

Conséquences pour les pratiquants de la montagne

Les avalanches de neige humide ne provoquent pas un grand nombre d'accidents : elles se déclenchent alors que la neige est lourde et peu agréable à skier, la fréquentation hors piste est donc réduite. De plus, les conditions favorables à leur départ sont plus simples et appréhendables qu'en neige sèche. D'autre part, en général, l'avalanche de neige humide qu'un skieur déclenche ne se décroche pas au-dessus de lui, mais sous ses skis : soit il n'est pas emporté, soit il reste en surface avec en conséquence un risque de décès beaucoup plus faible. Enfin, la vitesse des avalanches de fonte est plus faible, ce qui laisse, dans certains cas, le temps au skieur de s'échapper de la zone d'écoulement. Quant aux grosses avalanches qui atteignent le fond des vallées, à moins d'avoir un volume exceptionnel, elles suivent le plus souvent des trajectoires bien connues et répertoriées où il n'y a pas d'habitation.

3.3.4 Cas particulier des « plaques de fond »

Comme leur nom l'indique, ces avalanches emportent le manteau neigeux sur toute son épaisseur, jusqu'au sol (jusqu'au *fond* du manteau neigeux) et présentent un départ linéaire. Il peut s'agir de neige sèche ou humide. Bien qu'elles soient appelées "plaques de fond" (ou "avalanches de glissement" notamment en Suisse), il ne faut pas les confondre avec des avalanches dues à une structure de plaque parties jusqu'au terrain car les mécanismes de déclenchement des plaques de fond sont radicalement différents de ceux vus jusqu'ici.

Déclenchement

Les plaques de fond partent spontanément lorsque le manteau neigeux est peu résistant sur toute son épaisseur, humide à sa base et ce, dans les pentes à l'inclinaison suffisante et au sol défavorable à une bonne accroche du manteau neigeux (pentes herbeuses, dalles rocheuses lisses, etc.). Par un phénomène de reptation, le manteau neigeux glisse très lentement vers l'aval de quelques centimètres à un mètre par jour, entraînant l'apparition de fissures (ou "gueules de baleine"). La fissure s'élargit jusqu'à rupture de l'équilibre. Il faut toutefois savoir qu'il n'y a pas forcément un départ d'avalanche chaque fois que des fissures apparaissent dans un manteau neigeux.





Une situation à plaques de fond est une situation durable. Il n'y a pas de crue avalancheuse ni de moment de la journée privilégié ; l'activité peut durer de quelques jours à plusieurs semaines.

Fissure, reptation (ayant ici emportée un pylone de téléski)

Conséquences pour les pratiquants de la montagne

Ces avalanches font très peu de victimes. En effet, d'une part, les plaques de fond ne sont a priori pas déclenchées par le passage de skieurs ou randonneurs et d'autre part, le danger est facile à repérer visuellement du fait de la présence de nombreuses fissures dans le manteau neigeux.

Enfin, notamment sur les domaines skiables, les pentes soumises à ce type de risque d'avalanche sont généralement connues.



Fissure précédant une avalanche de fond dans une pente

3.3.5 Info ou intox ? / Décryptage

Vent faible ou modéré, pas de danger. [FAUX / VRAI]

La réponse (qui sous-entend le risque de déclenchement provoqué de structures de plaque formées par le vent mais également de risque de départ spontané par surcharge dans les zones d'accumulation) dépend de la qualité de la neige de surface. En effet, ce n'est pas tant la vitesse du vent en elle-même qui est cruciale, mais bien si cette vitesse permet de transporter la neige de surface. Un vent tempétueux sur une croûte de regel n'aura aucun effet sur la stabilité du manteau neigeux ; en revanche, un vent faible sur une neige fraîche et froide pourra avoir un effet très important (formation de plaque friable).

Finalement, cette assertion n'est pas assez précise, et il vaut mieux lui préférer, concernant le vent, l'adage : **transport de neige par le vent égale danger.**

Hiver peu enneigé, hiver peu dangereux. [FAUX]

Contrairement à une croyance répandue, ce sont les hivers les moins enneigés qui provoquent souvent le plus grand nombre de victimes par avalanche chez les randonneurs et skieurs hors-piste. En effet, au cours d'un hiver peu enneigé, il y a de fréquentes périodes de beau temps permettant la formation de grains à faces planes ou de gobelets en surface, d'autant plus que cette métamorphose est favorisée par une faible épaisseur de neige. Ainsi, à chaque chute de neige, la probabilité d'avoir une sous-couche fragile, nécessaire à la structure de plaque, est importante. Le faible enneigement est aussi synonyme d'épaisseur généralement faible des plaques, donc d'une plus grande facilité de déclenchement par le pratiquant.

Une pente déjà skiée est gage de sécurité. [FAUX]

Si le doute peut nous assaillir à l'entrée dans une pente vierge, la présence d'une ou plusieurs traces aurait tendance à nous rassurer. Pourtant, prudence ! En effet, on connaît de nombreux exemples de skieurs emportés par une avalanche alors que d'autres étaient passés auparavant sans déclencher l'avalanche.

L'explication est la suivante : la solidité d'une structure de plaque peut être *très faible*, auquel cas le déclenchement de l'avalanche par un skieur est inévitable; *importante*, auquel cas le déclenchement par un skieur est peu probable ; ou *moyenne*. Dans ce cas, le déclenchement ne sera pas systématique : il y aura rupture de la structure de plaque uniquement en cas de passage dans une zone plus sensible de celle-ci (que les anglos-saxons appellent « hot point »), par exemple, un endroit où la plaque est moins épaisse. Des traces existantes peuvent donc être présentes sur la plaque si aucune zone sensible n'a été skiée, ce qui ne sera peut-être pas le cas au passage suivant.

Ski en forêt, ski sans danger. [FAUX]

Le risque de déclencher une avalanche de plaque est-il faible en forêt? Oui si les arbres sont très rapprochés, non si la forêt est clairsemée ou dans une clairière.

En effet, la forêt, si elle est suffisamment dense, joue un double rôle stabilisateur : d'une part, sous le couvert des forêts, la formation de grains à faces planes et de gobelets est plus difficile qu'en zone découverte à cause des branchages⁶ ; d'autre part, les troncs des arbres offrent des ancrages au manteau neigeux.

Attention, la forêt dense n'est cependant pas un gage de sécurité totale : en cas de situation propice à de grosses avalanches. L'une d'elles, partie d'une altitude supérieure à celle de la forêt, peut emporter tout ou partie de celle-ci (voir la section sur les avalanches de neige poudreuse §3.3.2). D'autre part, il est tentant dans un passage très boisé d'aller chercher les clairières pour y tracer plus facilement des virages : le manteau neigeux y est très différent et peut être instable.

De plus, être pris dans une avalanche en forêt est beaucoup plus grave qu'en terrain dégagé, à cause des chocs contre les arbres, qui peuvent être mortels.

⁶ Les branchages d'une part modifient les échanges radiatifs entre la neige et l'atmosphère (de la même façon d'ailleurs qu'une couverture nuageuse basse, cf §3.1.1.e) et d'autre part favorisent la transformation de la neige qui s'y est déposée avant de tomber au sol.

Le froid stabilise le manteau neigeux. [VRAI / FAUX]

La réponse à cette assertion n'est pas immédiate : elle dépendra non seulement du type de neige (sèche ou humide) mais aussi de la structure du manteau neigeux.

VRAI, le froid peut stabiliser le manteau neigeux dans certains cas

Lorsque le froid s'applique sur un manteau neigeux humide (par exemple, après un épisode pluvieux), il contribue à une nette stabilisation du manteau neigeux par formation d'une croûte de regel : l'eau liquide contenue dans les couches regèle de proche en proche par la surface et leur confère une très forte cohésion.

Autre exemple, moins évident : si le froid s'applique sur un manteau instable à structure de plaque friable, il va engendrer une baisse de l'instabilité du manteau. En effet, le froid favorise la déstructuration de la couche frittée (car les grains évoluent vers des faces planes ou gobelets qui ont une mauvaise cohésion). Aussi, même si la couche fragile est encore présente, le risque de déclenchement provoqué diminuera puis disparaîtra.

FAUX, le froid ne stabilise pas forcément la neige dans tous les cas

Par exemple, si le froid s'installe aussitôt après une chute de neige sèche, il maintient au contraire l'instabilité naturelle du manteau en ralentissant les métamorphoses de la neige (essentiellement le frittage) qui consolident progressivement l'empilement très instable des cristaux de neige fraîche.

Autre cas : un froid persistant peut être à l'origine de la formation de gobelets en surface. À la chute de neige suivante, cette couche de gobelets pourra jouer le rôle de couche fragile enfouie pour une éventuelle structure de plaque.

Enfin, le froid, en maintenant plus longtemps l'aspect poudreux de la neige, permettra à un vent qui se lève de la transporter et former ainsi de nouvelles structures de plaque.

Les fondamentaux

Une **avalanche** est une masse de neige qui dévale une pente à plus ou moins grande vitesse.

On distingue deux grands types de déclenchement d'avalanche, selon le facteur déclenchant :

- **les départs spontanés** dont les causes sont le plus souvent liées à des facteurs météorologiques (chutes de neige, accumulation par le vent, pluie ou réchauffement important) ;
- **les déclenchements provoqués** pour lesquels le facteur déclenchant est une surcharge localisée (passage de skieurs ou de piétons, chute de corniche ou de séracs ou encore un tir d'explosif utilisé pour déclencher préventivement les avalanches). Les conditions météorologiques influent peu ici, c'est la qualité de la neige, à savoir l'existence d'un empilement instable de certaines couches du manteau neigeux qui permet son déclenchement.

En dehors des situations exceptionnelles au cours desquelles les avalanches atteignent les voies de communication et les habitations, les avalanches les plus dangereuses pour le pratiquant de la montagne hivernale sont les **avalanches de plaque**, car elles sont déclenchées par le pratiquant lui-même. La structure de plaque est l'empilement d'une couche fragile surmontée par une couche de neige ayant une bonne cohésion, dite de frittage.

3.4 Comment m'informer sur le risque d'avalanche ?

L'avalanche est un évènement local qui résulte d'un processus complexe faisant intervenir et interagir à la fois l'état et les transformations du manteau neigeux, les conditions météorologiques, la topographie locale et éventuellement une surcharge extérieure au manteau neigeux (comme le passage d'un skieur, la chute d'une corniche ou un tir d'explosif). Cette complexité, ainsi que la grande variabilité spatiale du manteau neigeux, font qu'il est, à l'heure actuelle, **impossible de prévoir une avalanche** à un endroit donné et à un moment précis. En revanche, il est possible d'**estimer et de prévoir le risque d'avalanche**⁷ ou, plus précisément, d'estimer et prévoir la probabilité qu'une avalanche se produise.

Ce risque peut être estimé à différentes échelles spatiales. En France, on distingue l'échelle du massif (plusieurs centaines de km²), l'échelle locale (quelques dizaines de km², comme un domaine skiable) et l'échelle même du phénomène avalanche (moins d'un km², correspondant à une pente ou un couloir).

3.4.1 Les informations disponibles à l'échelle d'un massif

En France et en principauté d'Andorre, Météo-France est l'établissement mandaté par leur gouvernement pour la surveillance du manteau neigeux, et la protection des personnes et des biens vis-à-vis du risque d'avalanche.

Dans le cadre de cette mission, un ensemble de produits spécifiques et gratuits sont mis à disposition des différents publics visés : les responsables de sécurité (Sécurité civile, préfectures, mairies), les pratiquants de la montagne hivernale (amateurs et professionnels) et les services des pistes des stations de sports d'hiver. Ces derniers sont partie prenante du dispositif, puisqu'à travers le réseau nivo-météorologique, ils assurent une grande partie de l'observation en montagne.

3.4.1.a La procédure de vigilance météorologique

La vigilance météorologique en France métropolitaine est agencée autour d'une carte qui indique par département le niveau de vigilance requis face aux dangers météorologiques (dont les avalanches) et hydrologiques, pour les prochaines 24 heures, au moyen de quatre couleurs : vert, jaune, orange et rouge. Des conseils de comportement définis par les pouvoirs publics sont associés à chaque phénomène par couleur. Cette carte de vigilance, bien connue du public du fait de son relais dans les médias, est aussi envoyée à de nombreux services de l'État jusqu'à des collectivités locales. Ils sont disponibles à tout moment sur le site Internet de Météo-France <http://vigilance.meteofrance.com/>

En cas de vigilance orange ou rouge, des pictogrammes précisent sur la carte le ou les phénomènes dangereux prédominants. Pour les avalanches, cela correspond à des situations où de nombreux départs spontanés d'avalanches sont attendus, le plus généralement à l'occasion de chutes de neige très abondantes. Dans ces situations, certaines avalanches de grande ampleur peuvent occasionner des dégâts à des infrastructures en montagne ou atteindre des routes, voire des habitations. Un bulletin de suivi est alors associé à la carte de vigilance, il précise l'évolution de la situation et la localisation des massifs concernés. Les responsables locaux dans les communes

⁷ Le risque d'avalanche est *stricto sensu* la probabilité qu'une avalanche fasse des victimes et/ou engendre des dégâts matériels ; l'aléa avalancheux, lui, est la probabilité qu'une avalanche se produise dans une région donnée pendant une période donnée. Dans le cas des vigilances météorologiques, il s'agit bien de risque d'avalanche ; dans le cas du BRA, il s'agit plutôt d'aléa avalancheux (pour reprendre un terme utilisé pour d'autres phénomènes naturels).

de montagne mettent alors en place des mesures préventives pour sécuriser les accès routiers et les zones menacées. Les conditions météorologiques sont en général défavorables à la pratique de la randonnée et les domaines skiables sont souvent fermés, au moins partiellement. Les mesures de protection et la faible fréquentation en montagne font que les accidents mortels d'avalanche sont devenus très rares dans ces situations.

Vigilance météorologique

La carte est actualisée au moins 2 fois par jour, à 6h et 16h.

Une vigilance absolue s'impose des phénomènes dangereux d'intensité exceptionnelle sont prévus...

Soyez très vigilant, des phénomènes dangereux sont prévus...

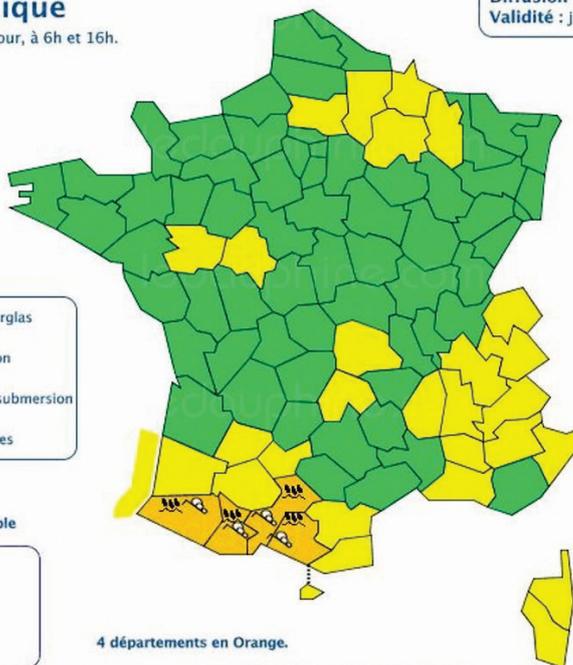
Soyez attentif si vous pratiquez des activités sensibles au risque météorologique...

Pas de vigilance particulière.

| | |
|--|---|
|  Vent violent |  Neige-verglas |
|  Pluie-inondation |  Inondation |
|  Orages |  Vagues-submersion |
|  Grand Froid |  Avalanches |

Les vigilances pluie-inondation et inondation sont élaborées avec le réseau de prévision des crues du Ministère du Développement durable

VIGICRUES



4 départements en Orange.

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Diffusion : le mercredi 25 février 2015 à 06h00
Validité : jusqu'au jeudi 26 février 2015 à 06h00

Consultez le **bulletin national**

Fortes pluies attendues sur les départements pyrénéens ; précipitations sous forme de neige en haute montagne avec pour conséquence un risque d'avalanches accru sur le massif.

Cliquez sur la carte pour lire les **bulletins régionaux**

Conseils des pouvoirs publics :

Précipitations/Orange – Renseignez vous avant d'entreprendre un déplacement ou toute autre activité extérieure. – Evitez les abords des cours d'eau. – Soyez prudents face au risque d'inondations et prenez les précautions adaptées. – Ne vous engagez en aucun cas, à pied ou en voiture, sur une voie immergée ou à proximité d'un cours d'eau. Avalanches/Orange – Conformez vous aux instructions et consignes de sécurité en vigueur dans les stations de ski et communes de montagne. – Consultez les bulletins spécialisés de Météo France, les informations locales et les professionnels de la montagne.

Copyright Météo-France

La vigilance jaune correspond, pour les avalanches, à des situations où le risque lié aux départs spontanés est faible ou limité (cad pas d'avalanche suffisamment grosses pour entrainer des dégâts sur les infrastructures de montagnes ou pour atteindre routes et habitations) tandis que le risque accidentel est marqué ou fort (graves conséquences possibles pour les pratiquants d'activités en montagne enneigée : randonneurs à ski, raquettes, skieurs hors-piste, etc..)

3.4.1.b Communiqué Spécial Avalanches.

Un Communiqué Spécial Avalanches est émis dans certains cas de vigilance jaune (voir ci-dessus : le risque d'avalanches provoquées est fort alors que le risque d'avalanches spontanées est faible et il n'y a donc pas de vigilance météorologique particulière pour le grand public).

Ce texte apparaît automatiquement lors de la consultation des pages montagne du site www.meteofrance.com et est en général relayé par les médias.

Ces situations à risque nécessitent que les pratiquants se renseignent localement sur les conditions (consultation du BRA, compréhension et respect des conditions affichées en station).

3.4.1.c Le Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanche (BRA)

Ce bulletin est une **prévision**, émise à 16 heures, pour la nuit suivante et le lendemain.

Couvrant les massifs des Alpes, des Pyrénées et de la Corse, les BRA s'attachent à donner des informations qualitatives sur le risque d'avalanche. Ils sont valables en dehors des pistes balisées et ouvertes. Un paragraphe particulier leur est consacré (cf §3.4.3).

Ils sont diffusés quotidiennement de mi-décembre à fin avril et rédigés par les Centres Montagnes de Météo-France. Une version réduite est disponible plus tôt et plus tard en saison sous forme d'Information Neige et Avalanche (INA) bi-hebdomadaire, pour couvrir la période de fin octobre à mi-décembre ainsi que celle de début mai à mi-juin.

3.4.2 La gestion du risque d'avalanche à l'échelle d'une station de ski

Avec des moyens différents selon la taille de la station, la gestion locale du risque d'avalanche pour la sécurité des pistes s'appuie sur une méthode proche de celle de la prévision du risque d'avalanche à l'échelle du massif où l'on distingue trois aspects : l'observation, l'analyse-prévision et la diffusion de l'information.

3.4.2.a L'observation

Elle s'appuie très souvent sur la présence d'un observateur nivo-météorologique (spécialisation du cursus de pisteur). Dans le cadre d'un partenariat, il effectue et transmet à son centre météorologique de rattachement deux observations quotidiennes météorologiques (température, humidité, vent, nébulosité et nuages, précipitations) et nivologiques (état et température de la neige de surface, épaisseur et densité de la neige fraîche, hauteur totale de neige, description des avalanches : départs spontanés/déclenchements provoqués : accidentels par les skieurs et résultats des déclenchements préventifs). Une fois par semaine, l'observateur nivo-météorologique effectue un profil détaillé du manteau neigeux couche par couche (sondage par battage et profil stratigraphique).

Certaines stations disposent de plusieurs postes d'observation sur leur domaine ou réalisent des mesures complémentaires lorsque la situation l'exige.

3.4.2.b L'analyse et la prévision locales

Pour analyser la situation locale, le responsable (souvent l'observateur lui-même) dispose, en plus des observations nivo-météorologiques, de différents outils d'aide à la décision, tels que le BRA, le bulletin de prévision météorologique fourni par Météo-France, des éléments issus du PIDA, parfois des logiciels comme ASTRAL ou NXLOG qui s'appuient sur des données du passé.

Ces éléments lui permettent d'appréhender la stabilité du manteau neigeux de façon globale et de les adapter aux particularités de son domaine.

3.4.2.c La diffusion de l'information

Cette prévision locale du risque d'avalanche est principalement utilisée en interne au sein du service des pistes pour aider à la gestion des déclenchements préventifs et à l'ouverture des secteurs. Elle n'est que très rarement formalisée par un bulletin à destination des autres professionnels de la station voire des pratiquants hors-piste et c'est souvent l'information du BRA du massif qui est diffusé aux usagers.

Le Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanche (BRA)

Le bulletin concernant le massif dans lequel est située la station est fourni à chaque service des pistes par Météo-France dans le cadre du partenariat du réseau nivo-météorologique. Il est intéressant de connaître les différents points d'affichage, le contenu du BRA du jour, ainsi que sa déclinaison et son adaptation à la station, notamment en terme d'altitude, d'exposition et de particularités des conditions météorologiques locales (se référer au §4.3.3).

Les panneaux fixes ou lumineux

L'information sur le risque d'avalanche peut être diffusée via des panneaux fixes ou lumineux implantés au départ ou à l'arrivée des remontées mécaniques.

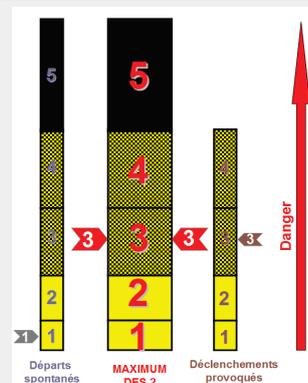
Le drapeau avalanche

Il informe du risque d'avalanche **hors des pistes balisées et ouvertes** selon l'indice de l'échelle européenne (indices 1 et 2 : drapeau jaune ; indices 3 et 4 : drapeau à damier jaune et noir ; indice 5 : drapeau noir). Cet indice est issu soit du BRA du massif soit d'une prévision locale (sur arrêté du maire).

L'échelle européenne de risque d'avalanche.

Cette échelle est utilisée par l'ensemble des pays européens ; elle est croissante avec le risque pour le pratiquant sur 5 niveaux, de 1 à 5. L'échelle possède une double entrée : l'une pour les départs spontanés, l'autre pour les déclenchements provoqués. L'indice final correspond au plus élevé des deux indices entre celui pour les départs spontanés et celui pour les déclenchements provoqués.

Pour l'estimation du niveau de risque de départs spontanés, on considère le nombre et la taille des avalanches ; pour le niveau de risque de déclenchements provoqués, il croise le nombre de pentes où un déclenchement est possible avec la facilité de déclenchement. Chaque indice couvre des situations qui peuvent être très différentes.



| Pictogramme, indice et sa caractérisation | | Description générale du risque | Fréq. d'util. | Fréq. accid. |
|---|--------------------|---|---------------|--------------|
| | 5 Très fort | Peu fréquent, situations de mauvais temps avec fortes chutes de neige, les stations sont souvent fermées (au moins partiellement) | 0,5 | 2 |
| | 4 Fort | Le manteau neigeux est faiblement stabilisé dans la plupart des pentes. | 8 | 42 |
| | 3 Marqué | Ne pas sous-estimer cet indice du milieu de l'échelle. Le manteau neigeux n'est que modérément à faiblement stabilisé dans de nombreuses pentes. | 35,5 | 46 |
| | 2 Limité | Le risque est le plus souvent localisé à quelques secteurs raides ou soumis aux effets du vent. | 42 | 10 |
| | 1 Faible | Les accidents d'avalanche en secteur hors-piste sont rares. | 14 | 01 |

3.4.3 Le Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanche (BRA)

Le BRA est **valable en dehors des pistes balisées et ouvertes**. Cela pose le problème de la difficulté de définition du domaine de validité dans certains cas (notamment celui d'un manteau neigeux nettement modifié par les nombreux passages de skieurs dans les zones hors-piste très fréquentées des stations).

Son échelle spatiale est le massif (300 à 1500 km²). Il est donc nécessaire d'adapter l'information contenue dans le bulletin aux spécificités du domaine de la station (caractéristiques géographiques et topographiques, notamment orientations et altitudes, particularités climatiques locales, etc.).

Il s'agit d'une **prévision**, émise à 16 heures pour la nuit suivante et la journée du lendemain jusqu'au soir. Le lendemain, il faut confronter la validité de cette prévision faite la veille aux observations de terrain du moment, à la fois météorologiques et nivologiques. En cas de divergences, il faut être capable de comprendre leur impact sur le manteau neigeux, sa stabilité et en conséquence sur l'estimation du risque d'avalanche. Par exemple, le vent a-t-il effectivement soufflé avec la force et dans la direction prévues ? Les quantités de neige fraîche attendues se révèlent-elles exactes ? La couverture nuageuse est-elle bien celle prévue (en cas de regel nocturne par exemple) ?

À noter qu'en cas de grosse divergence entre la prévision et la réalité (ce qui est rare, deux à trois cas dans l'hiver en moyenne), le bulletin est amendé le matin et renvoyé aux différents destinataires.

3.4.3.a Contenu du bulletin par massif

Pictogramme du risque maximal :
Pictogramme européen pour le risque maximal sur le massif.

Cartouche synthétique :
Résumé sous forme graphique (voir § 3.4.3.b).

Stabilité du manteau neigeux
La pièce maîtresse, texte détaillant le risque d'avalanche : description détaillée de l'activité avalancheuse attendue : type(s) d'avalanches, localisation dans l'espace et le temps, éléments observables, etc.

Aperçu météo
Indication générale jusqu'au lendemain, focalisée sur les paramètres influant sur le manteau neigeux.

Conditions d'enneigement
Neige fraîche tombée en 24 heures au cours des 4 jours précédents et prévue durant les 2 prochains jours ;
Neige totale hors-piste dans les versants nord et sud à différentes altitudes ;
Qualification de l'enneigement actuel par rapport à la moyenne et qualité de la neige en surface.

Tendance de l'indice à J+2 et J+3
Information très brève sous forme graphique.

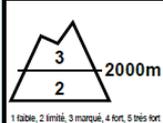


BULLETIN D'ESTIMATION DU RISQUE D'AVALANCHE MASSIF DE BELLEDONE

(Valable en dehors des pistes balisées et ouvertes)



ESTIMATION DU RISQUE JUSQU'AU VENDREDI 04 JANVIER 2013 AU SOIR
Au-dessus de 2000 m : Risque marqué. En-dessous : Risque limité.




à l'abri du nord-est

Départs spontanés : quelques coulées superficielles

Déclenchements skieurs : plaques fragiles en pentes chargées abritées.

STABILITE DU MANTEAU NEIGEUX
Les sous-couches du manteau neigeux sont assez denses, mais depuis Mardi il s'est développé des instabilités dans la couche de fraîche, le vent du nord à nord-est ayant provoqué un transport régulier et chargé pas mal de pentes abritées. Attention donc au dessus de 2000m environ, quelques accumulations sensibles au passage d'un skieur sont susceptibles de provoquer un accident, d'autant qu'elles sont facilement skiabiles car d'apparence poudreuse. Ces dangers vont s'atténuer très progressivement dans les pentes plein sud sous l'effet du redoux et du soleil.

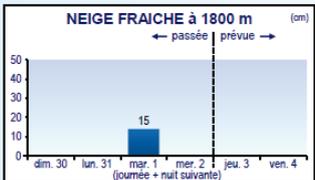
Quant au risque de départ naturel : il est limité à de petites coulées dans les pentes raides ensoleillées de basse et moyenne altitude.

APERÇU METEO

| | nuit | vendredi 4 janv. matin | après-midi |
|--|------|---------------------------|------------|
| grisailles dans les vallées (plafond 1000/1500m) | | | |

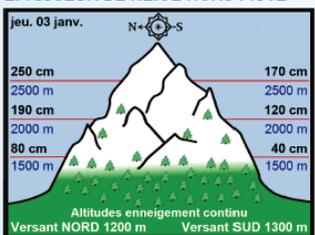
| pluie-neige | 2800 m | 2800 m | 2800 m |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| iso 0°C | ↙ | ↘ | ↘ |
| vent 2000 m | ↙ 40 km/h | ↘ 50 km/h | ↘ 50 km/h |
| vent 3000 m | ↙ 50 km/h | ↘ 60 km/h | ↘ 50 km/h |

NEIGE FRAICHE à 1800 m (cm)



15 cm le 03/01/2013

EPAISSEUR DE NEIGE HORS-PISTE



Altitudes enneigement continu
Versant NORD 1200 m / Versant SUD 1300 m

TENDANCE ULTERIEURE DU RISQUE

samedi 05

dimanche 06

Elaboré le 03-01-2013 à 16h leg.

BULLETIN NEIGE ET AVALANCHES

0 892 68 10 20 Service 0,35€/appel + prix appel

N.B. : la vente est strictement interdite sans l'accord de METEO FRANCE.

Elaboré en collaboration avec les observateurs du réseau nivo-météorologique (partenariat ANMSM-DSF-ADSP)

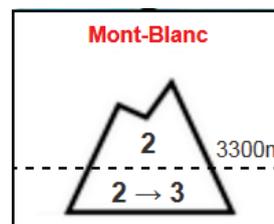
CENTRE METEOROLOGIQUE DE GRENOBLE
1144 Rue de la piscine - 38 400 ST MARTIN D'HERES
Courriel : odm38@meteo.fr / Tel : 04 76 63 34 20 / Fax : 04 76 54 49 81

3.4.3.b Contenu du cartouche synthétique

C'est un résumé surtout graphique de la partie "Stabilité du manteau neigeux" du BRA. Il est constitué de trois informations :

- une figurine indice de risque (en référence à l'échelle européenne à 5 niveaux).

C'est une synthèse à la fois temporelle (pour la journée) et spatiale (pour l'ensemble des pentes du massif). Elle donne, pour le massif, un indice, parfois deux dans certains cas : évolution temporelle, distinction d'altitude ou géographique dans le massif ;



- un pictogramme des orientations des pentes les plus dangereuses.

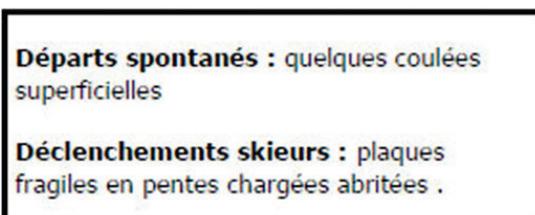


- il donne des éléments de localisation, parfois aussi à l'aide d'un texte très court situé sous le pictogramme,
- les orientations des pentes les plus dangereuses sont noircies (attention : le danger n'est pas nul dans les autres orientations), cette indication est liée à l'indice ou aux indices du jour ;

- un texte qui précise la nature du risque.

Deux lignes de texte résument :

- ✓ les départs spontanés : activité avalancheuse attendue
- ✓ les déclenchements provoqués (skieurs) : la localisation des plaques et leur facilité de déclenchement.



Remarque : les cartouches synthétiques de tous les massifs d'un même département sont également disponibles sur Internet et smartphone dans une carte départementale, sous la même forme que dans le BRA massif.

3.4.3.c Utilisation des informations du cartouche

Toutes les informations figurant dans le cartouche synthétique sont des compléments indispensables à la seule estimation chiffrée du risque d'avalanche, trop réductrice. Elles apportent un grand nombre de précisions concrètes sur les caractéristiques de la situation prévue jusqu'au lendemain soir. On y trouve en effet des informations sur :

- ✓ la nature des risques attendus : le risque est-il plutôt lié à des départs spontanés ou à des déclenchements par les skieurs, à de la neige humide ou sèche ?
- ✓ des éléments de localisation : où se situent les secteurs les plus dangereux, quelles orientations de pente, quelles altitudes ?
- ✓ quelques éléments observables que l'on peut comparer à la situation locale, notamment les retours de déclenchements préventifs.

Le cartouche est un **résumé** des risques les plus importants. Seule une lecture complète du BRA, notamment sa partie « stabilité », apporte plus d'informations, notamment sur la chronologie des épisodes et plus d'observables de terrain.

Les fondamentaux

À l'heure actuelle, il est **impossible de prévoir une avalanche** à un endroit donné et à un moment précis ; par contre, il est possible d'**estimer et de prévoir le risque d'avalanche**, au sens de la probabilité qu'une avalanche se produise.

L'estimation du risque d'avalanches s'effectue à **différentes échelles spatiales** (par exemple chaîne montagneuse, massif, pente, couloir), d'où, par exemple la nécessaire adaptation du Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanche (BRA), élaboré à l'échelle du massif, lors de l'estimation du risque pour un secteur de la station ou une pente précise.

Il vous est demandé de savoir **où trouver les différentes informations sur le risque d'avalanche** en France et quel est leur domaine de validité, à la fois spatial et temporel.

En tant que professionnel, il vous est demandé de **maîtriser le contenu du cartouche du BRA** et **savoir le restituer aux usagers** :

- savoir que le risque se décline à la fois pour les départs spontanés et pour les déclenchements provoqués ;
- identifier et localiser le risque majeur pour le jour considéré ;
- connaître l'échelle de risque européenne, ses avantages et ses limites ;
- maîtriser le vocabulaire qui s'y rapporte (*les différents types d'avalanche, la structure de plaque, surcharge faible et forte*)

Vocabulaire à connaître

Accumulation de neige

Couche de neige transportée par le vent et se déposant dans une zone soit à l'abri du vent soit là où le vent souffle moins fort. Cette couche de neige, qui peut être friable ou dure, présente une cohésion de frittage. Les principales zones d'accumulation se situent, selon la force et la direction du vent, dans les pentes plus ou moins proches des crêtes ou des cols, dans les couloirs, les cuvettes ou au voisinage des ruptures de pente, voire derrière de simples croupes.

Avalanche

Mouvement rapide d'une masse de neige sur une pente et atteignant un volume d'au moins 100 m³ et une longueur d'au moins 50 mètres. Dans le cas contraire, on parle de coulée.

BRA

Bulletin d'estimation du **Risque d'Avalanche**

Cassure linéaire

Zone de départ d'une avalanche se présentant sous la forme, très nette, d'une ligne plus ou moins brisée.

Cohésion

Force qui permet l'adhérence de deux particules solides ; exemple : cohésion des grains de sable, cohésion des grains de neige.

Cohésion de frittage

Cohésion des grains de neige obtenue par frittage, processus par lequel les grains de neige sont liés entre eux par des ponts de glace. Plus ces ponts sont épais, meilleure est la cohésion.

Couche de neige

Strate du manteau neigeux parallèle à la pente, ayant des propriétés relativement homogènes, comme par exemple le type de grain, la dureté, la densité ou l'humidité.

Couche fragile

Couche de neige sèche au sein du manteau neigeux, dont la cohésion est faible (les grains de neige sont peu liés entre eux). La neige fraîche, les particules reconnaissables peu denses, la neige roulée, le givre de surface, les grains à faces planes et les gobelets sont les types de grains constitutifs des couches fragiles. Voir "*Structure de plaque*".

Couche frittée

Couche de neige présentant une cohésion particulière (cohésion de frittage) donnant une particularité à la couche si elle est découpée : la neige reste en bloc. Voir « *Cohésion de frittage* »

Coulée

Voir "*Avalanche*".

Déclenchement provoqué

S'utilise lorsque le facteur déclenchant l'avalanche est une surcharge localisée et rapide, d'origine soit accidentelle (passage d'un skieur par exemple), soit naturelle (comme la chute d'une corniche ou d'un sérac) soit encore artificielle (tir d'explosif).

Densité de la neige.

Rapport entre la masse de la neige et celle de l'eau pour un volume équivalent. Les valeurs les plus courantes pour la neige saisonnière vont de moins de 0,1 pour une neige fraîche légère à 0,7 pour une vieille neige de névé, 0,917 étant la densité de la glace pure. Voir "Masse volumique".

Départ spontané

S'utilise lorsque les causes du déclenchement de l'avalanche sont des facteurs météorologiques (chutes de neige, transport par le vent, pluie ou réchauffement important).

Échelle européenne de risque d'avalanche

Échelle croissante à 5 niveaux à l'intention du public pratiquant la montagne hivernale hors des pistes balisées et ouvertes. Elle est destinée à caractériser l'état d'instabilité du manteau neigeux et la probabilité de déclenchement d'avalanche(s). L'échelle est croissante : 1 est un indice de risque faible ; 2, limité ; 3, marqué ; 4, fort et 5, très fort.

Givre de surface (√)

N'est pas de la neige à proprement parler. Se forme à la surface du manteau neigeux et non au sein des nuages. Se présente sous la forme de feuilles ou de pyramides inversées, striées, à symétrie hexagonale. Leur taille peut aller de quelques millimètres à quelques centimètres. Enfoui, il constitue une couche fragile.

Gobelets ou Givre de profondeur (∧)

Gros grains creux sans aucune cohésion présentant des facettes striées organisées en gradins. Enfouis, ils constituent une couche fragile. Neige sèche (température < 0°C).

Grains à faces planes (□)

Grains ayant peu de cohésion et caractérisés par la présence de facettes et d'angles nets à 120°. Enfouis, ils constituent une couche fragile. Neige sèche (température < 0°C).

Grains fins (●)

Petits grains aux contours plutôt arrondis reliés par des ponts de glace solides qui leur donnent une bonne cohésion, dite de frittage. Neige sèche (température < 0°C). Ils constituent les plaques (dures ou friables selon le stade de frittage et le fait qu'ils soient majoritaires ou non).

Grains ronds (○)

Neige contenant de l'eau liquide (**grains ronds humides**, température = 0°C) ou ayant contenu de l'eau liquide qui a regelée (**grains ronds regelés**, température < 0°C).

Manteau neigeux

Ensemble de la neige reposant sur le sol et constituée de la superposition successive de couches de neige différentes.

Masse volumique

Grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.

Les masses volumiques de la neige saisonnière vont de 30 kg/m³ pour de la neige fraîche très froide et peu ventée à plus de 700 kg/m³ pour de la vieille neige de névé (la limite étant de 917 kg/m³, qui est la masse volumique de la glace pure).

Neige fraîche (+)

Se forme dans les nuages. Grande variété de formes. État de courte durée. Neige sèche (température < 0°C).

Neige roulée (✂)

Type particulier de neige fraîche : chaque grain ressemble à une boule de mimosa. Forme qui peut perdurer plusieurs semaines. Enfouie, elle constitue une couche fragile. Neige sèche (température < 0°C).

Neige humide

Neige contenant de l'eau liquide ; sa température est forcément égale à 0 °C.

Neige sèche

Neige ne contenant pas d'eau liquide, i.e. neige constituée uniquement d'air et de glace. Cette dénomination s'oppose à celle de neige humide. Sa température est strictement inférieure à 0 °C.

Neige transformée

Neige constituée de grains ronds en phase de dégel.

Particules reconnaissables (/)

Stade intermédiaire entre la neige fraîche et la neige plus évoluée. Les cristaux initiaux, formés dans le nuage, sont encore visibles mais la neige a commencé à se transformer, mécaniquement (sous l'action du vent ou de son propre poids) et/ou thermodynamiquement (par l'action essentiellement de la température dans le manteau neigeux).

Strate

Synonyme de couche.

Structure de plaque

Empilement instable du manteau neigeux constitué d'une couche fragile surmontée par une (ou plusieurs) couche(s) de neige présentant une cohésion de frittage. Voir "*Structure de plaque friable*" et "*Structure de plaque dure*".

Structure de plaque dure

Structure de plaque du manteau neigeux dans laquelle la plaque proprement dite est constituée de neige dure présentant une cohésion de frittage élevée (majoritairement grains fins). Si l'avalanche se déclenche, le dépôt est constitué de blocs.

Structure de plaque friable

Structure de plaque du manteau neigeux dans laquelle la plaque proprement dite présente un aspect encore poudreux, du fait d'une cohésion de frittage encore peu élevée de la neige qui la constitue. Si l'avalanche se déclenche, le dépôt est quasi invisible.

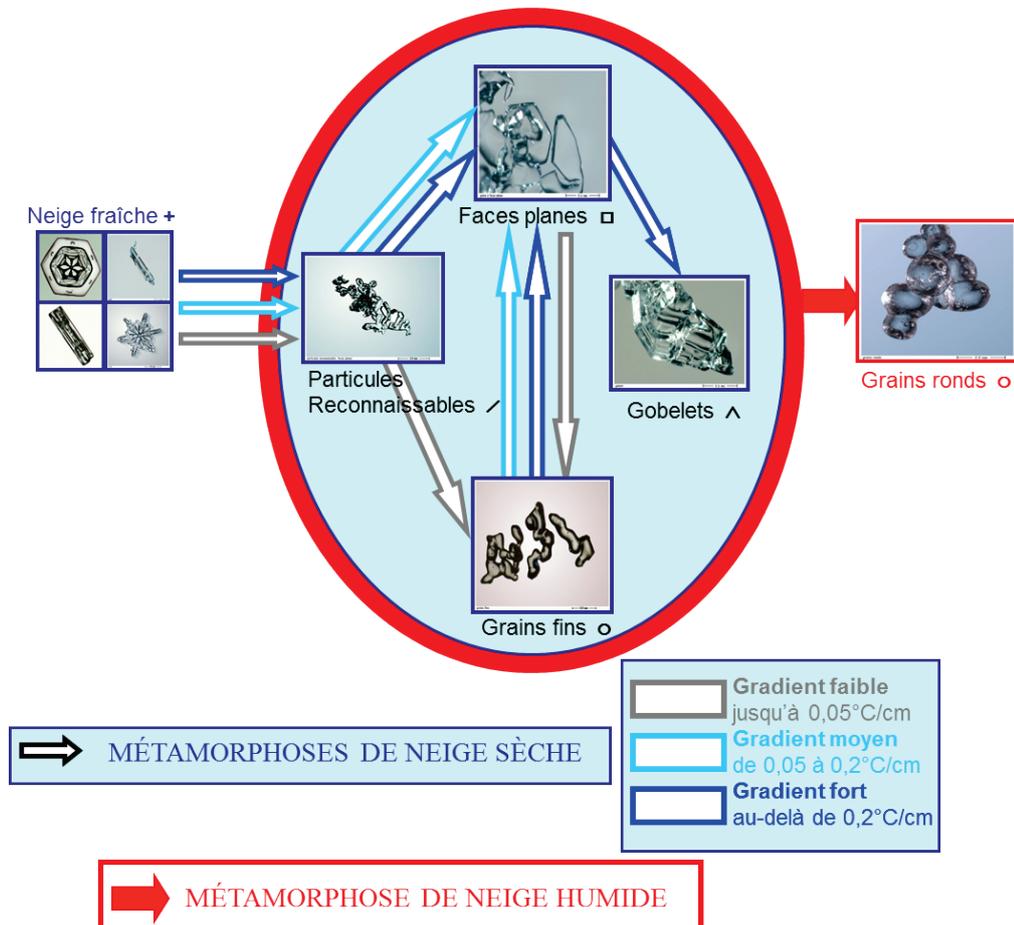
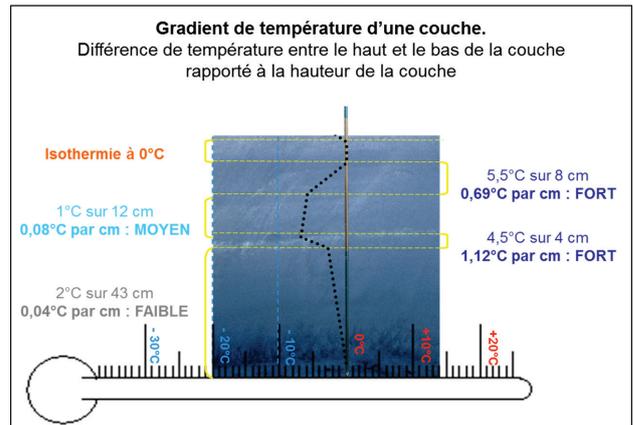
Surcharge

Force additionnelle ajoutée à la surface du manteau neigeux. Celle-ci peut être d'origine humaine (poids d'un skieur, d'un raquetiste, etc.), animale ou naturelle (chute d'une corniche, d'un sérac, etc.). Dans le cas d'une surcharge due à l'homme, on parle de **faible surcharge** dans le cas d'un seul pratiquant ou d'un groupe respectant des distances de sécurité et de **forte surcharge** dans le cas de pratiquants groupés ou d'une dameuse.

Annexe 1. Influence de la température sur la transformation des grains : approfondissement.

Plusieurs cas de figure se présentent concernant l'évolution des différents types de grains de neige, toutes les transformations n'étant pas réversibles (voir le schéma ci dessous) :

- si la température de la couche de neige est égale à 0°C, les grains vont s'humidifier et évoluer vers des grains ronds, on parle de **métamorphose de neige humide**.
- si la température de la couche de neige est négative, les **métamorphoses**, dites **de neige sèche**, dépendent du gradient de température de la couche :
 - si le gradient est faible (moins de 0,05°C/cm), les grains ont tendance à s'arrondir et à prendre de la cohésion quand cela est possible (c'est-à-dire évolution vers des grains fins) ;
 - si le gradient est moyen (de 0,05°C/cm à 0,2°C/cm), les grains deviennent anguleux et perdent de la cohésion (évolution vers des grains de type grains à faces planes) ;
 - si le gradient est fort (plus de 0,2°C/cm), les grains deviennent anguleux et perdent de la cohésion (évolution dans un premier temps vers des grains de type grains à faces planes si la neige n'est pas encore facettée⁸, puis vers des gobelets).



⁸ La neige facettée désigne soit des grains à faces planes, soit des gobelets.

Annexe 2. Peut-on détecter une structure de plaque sur le terrain ?

Une structure de plaque n'est pas visuellement détectable. Même s'il est parfois possible de repérer des champs de neige ventée (ayant donc la cohésion nécessaire pour jouer le rôle de plaque), l'observation visuelle ne concerne que la surface du manteau neigeux. On ne sait donc pas s'il y a dessous une couche fragile enfouie aboutissant à l'existence d'une structure de plaque. Il faut en effet garder en mémoire que si le vent peut former des plaques (= des couches dures), elles ne seront dangereuses que par la présence d'une sous-couche fragile (constitution d'une structure de plaque). D'autre part, une plaque créée par le vent peut être cachée par de la neige poudreuse tombée ultérieurement sans vent. La présence d'une corniche sur une crête indique la présence d'une zone d'accumulation de neige sous celle-ci, donc éventuellement d'une plaque. Mais il faut savoir que la plupart des plaques ne sont pas surmontées par une corniche et que sous une corniche, une présence de plaque à vent n'est pas systématique puisque la durée de vie d'une plaque est généralement plus courte que celle d'une corniche. Enfin, rien ne dit que la plaque repose sur une couche fragile.

L'observation de la surface du manteau neigeux offre, par contre, une information très intéressante juste avant une nouvelle chute de neige : là où l'on skie dans de la neige pulvérulente (neige récente très légère) ou des gobelets (neige sans cohésion à l'aspect de sucre en poudre), il y aura certainement une structure de plaque une fois cette couche fragile enfouie sous la nouvelle chute de neige et donc un risque élevé.

Pour détecter une structure de plaque, **il est nécessaire d'accéder à une information sur l'intérieur du manteau neigeux** afin de détecter la présence éventuelle d'une couche fragile enfouie sous une couche de neige ayant une cohésion suffisante.

Pour cela, il existe deux moyens, souvent complémentaires. Le premier est l'examen détaillé d'une coupe verticale du manteau neigeux, observation nécessitant une bonne expérience. La deuxième source d'information sur la structure interne du manteau provient des tests de stabilité. Il en existe un panel très large : en compression, en traction, sur des colonnes de neige de la taille d'une pelle jusqu'à 2 m x 1,5 m (test de Faarlund, en compression, Rutschblock, de la colonne étendue, etc.). Leur mise en oeuvre est plus ou moins facile et rapide, mais effectuer quelques tests très simples, notamment les tests de pelle, permet de mettre en évidence les fragilités du manteau neigeux (voir le fascicule *Les tests de stabilité*). Le plus rudimentaire d'entre eux est le "test du bâton" : il permet de détecter la présence d'une couche bien molle sous une couche plus résistante, en enfonçant un bâton de ski à l'envers, par sa poignée. Il est à noter que ce test n'est informatif que pour les cas évidents de structures de plaques dures, donc très restrictif ; on lui préférera donc les tests de pelle.

Il faut par ailleurs savoir reconnaître d'autres signes d'un manteau neigeux à structure de plaque, comme un bruit sourd (« woumf »), un effondrement et/ou l'apparition de fissures lors de la progression.

En outre, il faut garder à l'esprit que le manteau neigeux est d'une grande variabilité spatiale : le sonder à un seul endroit ne permet pas de généraliser le résultat à une pente, encore moins à un itinéraire. Dans tous les cas, on ne peut jamais être sûr à 100 % de la stabilité ou de l'instabilité d'une pente ; on ne peut qu'estimer une probabilité d'avalanche.