

Observation pratique du manteau neigeux

Lire la neige et comprendre par quels mécanismes sa surface évolue apporte assurément au pratiquant des informations utiles pour son confort et avant tout pour sa sécurité.

Dans un premier temps, en complément d'un travail stratégique de préparation de son itinéraire à la maison (*Neige et Avalanches* n° 121), nos tactiques de déplacement sur le terrain vont s'appuyer sur une observation fine des modelés du terrain et du manteau neigeux qui le recouvre. La neige est-elle récente ou ancienne, sèche ou humide ? Y a-t-il eu un transport récent par le vent, si oui, dans quel sens et avec quelle intensité ? Y a-t-il eu récemment des avalanches, de quelles tailles et dans quelles orientations, pentes et altitudes ?... Les réponses à ces questions ne font souvent pas appel à des connaissances pointues en nivologie, mais au simple bon sens. Quelques bases d'une observation pertinente de l'état de surface du manteau neigeux vont être illustrées dans ce dossier.

Dans un deuxième temps, le pratiquant doit chercher à mieux comprendre la structure des différentes couches de neige. Sur le terrain, le montagnard peut mettre en œuvre différentes techniques pour déterminer la structure d'un manteau neigeux et en évaluer la stabilité. Nous allons tenter dans les pages qui suivent d'en dresser un inventaire, en y incluant l'intérêt et les limites de chacune d'elles.

Pour élargir notre éclairage sur ce sujet, nous avons interrogé différents experts quant à leurs techniques ou procédures d'observation du manteau neigeux.





Photo : Sébastien ESCANDE



Photo : Hervé DUPUY

SOMMAIRE

- 4** La neige dans tous ses états...
de surface
Sébastien ESCANDE, Cécile COLÉOU

- 9** Colonne Elargie et Propagation
à la Scie : deux nouveaux tests
du manteau neigeux
Frédéric JARRY

- 14** Avis d'experts
Alain DUCLOS, Richard LAMBERT,
François SIVARDIÈRE,
Robert BOLOGNESI

- 18** Observer la neige au Centre
d'Études de la Neige :
des approches multiples
Cécile COLÉOU

La neige dans tous ses états... de surface

En se déposant au sol, la neige peut présenter des aspects très différents, essentiellement en fonction de la température lors de sa chute et de l'intensité du vent. Sans rentrer dans une description détaillée de ses différents états cristallographiques, nous allons évoquer des cas caractéristiques, qui permettent d'en tirer des enseignements pratiques.

Quelques aspects de surface présents chaque hiver

Exemple 1 : température froide, neige sèche tenant par cohésion de feutrage sur des branches.

➡ nous voyons sur ce cliché l'effet d'une chute de neige très légère sans vent ; les extrémités des branches se déchargent cependant assez vite du fait de la fragilité de ce type de cohésion.

➡ Au point de vue de la sécurité pour une évolution sur le terrain, cette apparence de la neige modifie peu le niveau de danger tant que l'épaisseur de neige fraîche reste faible (moins de 15 cm). Néanmoins, cette neige peut suffire à masquer des états bien différents en dessous (neige ventée, croûtée, humidifiée, etc.) ; d'autre part, un vent seulement modéré suffit pour créer des plaques friables, à la consistance encore de poudreuse lorsque l'on skie dessus.

Exemple 2 : température froide, manteau neigeux travaillé par le vent.

Ces irrégularités de surfaces s'expliquent par le vent qui agit comme un véritable architecte sur les paysages enneigés : la neige est déplacée en quantité et sa qualité change. Dans tous les cas, la neige n'est transportable que lorsqu'elle est sèche.



Photos : Sébastien ESCANDE

Exemple 1 : Clairières chargées de neige récente dans la forêt du Barioz (Belledonne - 38), sur fond de Chartreuse.



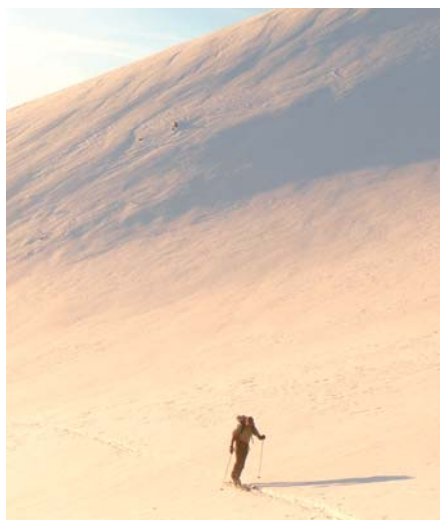
Photo : Météo-France/CEN - Cécile COLÉOU

Exemple 2 : le col des Ayes et prairie de la Dent de Crolles après un épisode de transport de neige par le vent.

Nous trouvons des congères et grosses accumulations sous le col (à gauche), tandis que le versant est balayé par un vent latéral venant de droite. Les empreintes laissées par le vent sont orientées perpendiculairement au flux. Des zones inondurées lisses (formant des « lentilles »)

alternent avec des surfaces ridées où la neige est encore meuble (enfouissement à ski).

➡ Ces aspects de surface évoquent plutôt une zone où l'érosion domine (le vent arrive de la droite).



En bordure de cette épaule, des dunes apparaissent. Elles représentent une situation où les phénomènes d'érosion et d'accumulation s'équilibrent.

➡ L'enfoncement peut y être profond, l'instabilité souvent forte.

Exemple 3 : ciel clair ; des versants qui évoluent différemment selon leur angle d'incidence au soleil.

Par beau temps, les différences sont marquées selon l'orientation. Les pentes au soleil reçoivent une grande quantité d'énergie, la neige s'y humidifie rapidement. En hiver, les pentes sud raides peuvent connaître des conditions de neige de printemps en surface. La saison avançant, de plus en plus de pentes seront concernées. L'heure de la journée devient alors déterminante et les pentes orientées à l'est ne sont fréquentables que tôt le matin. Les pentes où des rochers affleurent s'humidifient également beaucoup plus vite.

Sur ce cliché, deux versants subissant un rayonnement différent se font face :

➡ en sud, (à droite), nous observons un manteau neigeux d'un blanc terne (ou brillant selon notre angle d'observation), les rochers sont à nu (des départs ponctuels de boules se sont produits), peu de marques récentes de transport par le vent sont visibles. La neige de surface est transformée, le versant semble figé et sera plutôt stable.

➡ en nord, la neige présente des marques d'érosion/accumulation liées au vent, sa couleur est « bleutée ». Le risque de déclencher une avalanche de plaque



Exemple 3 : en descendant du col de la Masse, versant est (Aussois - 73)

peut exister si la neige déposée par le vent repose sur une couche de neige de faible cohésion (couche fragile de faces planes/gobelets par exemple).

Quelles sont les situations caractéristiques d'instabilité ?

Les hivers faiblement enneigés



Randonnée en Vanoise (73) en décembre, Petite et Grande Glière au fond à gauche.

Cette situation d'enneigement très faible est classique en début de saison, période de l'hiver où des couches de faible cohésion, enfouies à faible profondeur, existent en de nombreuses orientations. Les zones propices pour le ski correspondent aux accumulations.

Les épisodes de vent en cours



Au-dessus du refuge du Thabor (73), par vent de nord.

Sur ce cliché, plusieurs aspects de la neige en surface se côtoient : des phénomènes de dunes sur l'épaule derrière le skieur, tandis que sur les crêtes au-dessus, des rochers sont mis à nu...

Il est courant, lors des épisodes de vent, que la neige transportée présente sur son épaisseur des cohésions variables. Fréquemment, de la neige meuble pou-dreuse (particules reconnaissables) se retrouve enfouie sous de la neige ayant une meilleure cohésion (neige transportée par le vent, plus ou moins consistante selon la force de celui-ci). Une structure de plaque (couche de neige froide ayant une certaine cohésion reposant sur une couche de moindre cohésion) est ainsi en place.

Le danger est alors très important dans les pentes où la neige s'accumule, au

moment où le phénomène se produit. Par contre, il diminue en général assez rapidement après la fin de l'épisode de transport (parfois en quelques heures, le plus souvent en un à deux jours), par tassement et prise de cohésion de la couche de neige meuble enfouie sous les accumulations.

Les brusques redoux en cours d'épisode perturbé, donnant de la pluie



Redoux hivernal au-dessus de Bergen (Norvège).

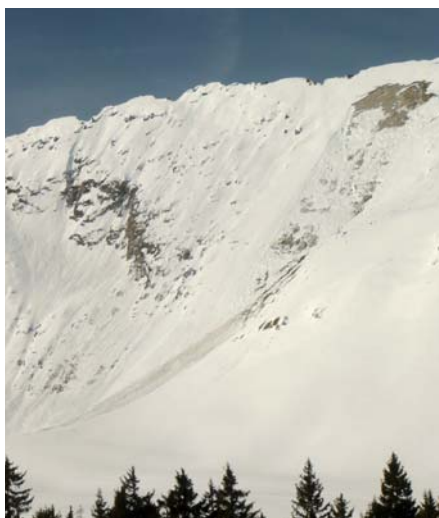
Cet aspect de la neige (coussins, rigoles dans les versants) indique une chute de pluie sur le manteau neigeux en place ; on remarquera que la pluie a cédé la place à la neige un peu avant la fin de l'épisode de mauvais temps (les arbres sont recouverts d'un peu de neige) et la couleur « bleutée » de la surface.

➡ Le danger d'avalanche est présent surtout pendant qu'il pleut. Ensuite, il diminue rapidement dès l'arrêt de la pluie, car la neige s'est transformée et tassée. À noter qu'il est possible, en observant les versants, de déterminer l'altitude de la limite pluie/neige durant l'épisode de précipitations.

➡ En termes de qualité de ski ... sûrement pas terrible !

Au printemps, la neige transformée détrempée

Lors de redoux marqués (ici non liés à de la pluie) sur un manteau neigeux froid et peu dense, des coulées se produisent naturellement aux abords des rochers ou dans les grandes pentes très raides (les départs peuvent concerner toute l'épaisseur du manteau, comme ici sur cette photo).



Fin de saison dans la Combe de l'Arclusaz (Bauges - 73).

➡ L'activité avalancheuse naturelle est forte dans les pentes au soleil lors de ces redoux hivernaux. Si le temps est nuageux, doux et humide, c'est un peu dans toutes les orientations que des avalanches se produiront.

Enfin, d'une manière générale, tout signe récent d'activité avalancheuse doit être pris en compte.



Plaque déclenchée en bordure d'une piste de Monetiers les Bains (05).

➡ Un raisonnement par similitude sera utile pour éviter de se trouver dans les mêmes configurations de pente (exposition, altitude, inclinaison, topographie, aspect de surface, etc.)

➡ Cette observation pourra judicieusement être complétée par celle de signes

d'alarme typiques : des « whoums » (isolés ou non), des fissurations devant les skis, des départs spontanés de plaques visibles (isolés ou multiples, taille et épaisseur de la cassure, localisation, etc.)

Les apports de l'observation de la neige en profondeur

En préambule, il convient de rappeler que l'aspect de la neige en surface permet rarement de déduire l'état de stabilité d'une pente. Cette analyse nécessite de prendre en compte la nature et l'organisation des différentes couches (stratigraphie) et leur répartition spatiale dans le versant (selon l'exposition, la raideur, la topographie du terrain, etc.). Nous allons maintenant passer en revue les différents stades, plus ou moins élaborés, de cette analyse :

➡ estimation des conditions nivologiques par croisement des bulletins d'estimation du risque d'avalanche et de nos connaissances des processus d'évolution de la neige. L'apport restera régional, voire local, si l'on connaît bien un secteur (par exemple parce que l'on y habite)

➡ des mesures ou des tests ; ils permettront d'affiner son analyse des conditions dans une pente et d'en apprécier l'instabilité éventuelle. Ces informations n'ayant hélas qu'une validité ponctuelle, leur interprétation ne donnera qu'une information partielle sur l'évaluation générale du risque d'avalanche.

Confronter le BRA et les observations de terrain

Lors de la lecture du BRA, l'information retenue par les randonneurs se limite souvent à l'estimation chiffrée du risque d'avalanche. Mais ce seul chiffre, s'il donne une idée générale du niveau de danger pour la journée, n'apporte pas d'information pratique. C'est dans le texte du bulletin que l'on trouvera des précisions sur le risque d'avalanche et sa localisation. Des départs spontanés d'avalanche peuvent-ils se produire ou bien le risque est-il plutôt de déclencher une avalanche au passage d'un skieur ? Quels sont les orientations, les altitudes, les types

de versants les plus concernés ? Y a-t-il une plage horaire durant laquelle elles peuvent se produire préférentiellement ? Les avalanches à attendre sont-elles de neige humide ou de neige sèche ?

En plus de la description des risques d'avalanche, le BRA contient également des éléments sur l'enneigement, la qualité de la neige de surface et les causes d'instabilité du manteau neigeux.

Le bulletin décrit la situation nivologique sur l'ensemble d'un département. Il convient en premier lieu de repérer les informations qui concernent le massif dans lequel on va évoluer. En voici quelques exemples que l'on trouve classiquement dans le bulletin :

- Les altitudes des limites d'enneigement (c'est la première information utile, au départ de la randonnée).
- Si des chutes de neige sont en cours ou viennent de se produire, la quantité de neige fraîche tombée en 24 heures est indiquée, de même que l'épaisseur de neige récente s'il neige depuis plusieurs jours.
- L'activité avalancheuse signalée récemment.
- La qualité de la neige de surface, souvent différente selon l'altitude et l'orientation.
- La direction et l'ampleur des derniers épisodes de transport de neige par le vent.
- Des précisions sur les causes d'instabilité du manteau neigeux en profondeur (par exemple, nature et profondeur d'enfouissement de la ou des couches fragiles).

La plupart de ces éléments sont assez facilement observables sur le terrain. C'est en les comparant à nos propres observations sur le terrain que le BRA devient un outil d'aide à la décision. Il permet alors de confirmer notre analyse ou de la modifier si les observations divergent de l'image de la situation nivologique que l'on s'est construite à partir du bulletin. Cela peut nous conduire dans certains cas à changer d'objectif, voire à renoncer.

Des mesures « rudimentaires » au profil simplifié

Le simple constat qualitatif d'enfoncement à skis, raquettes ou à pied, nous

informe déjà sur un certain nombre de paramètres :

- la cohésion de la neige de surface (associée à une possible fissuration en surface),
- l'existence d'accumulations.

L'étape suivante consistera à sonder sommairement avec le bâton (tenu à l'envers ou muni d'une rondelle de petite taille). La résistance qu'il opposera lorsqu'on l'enfonce nous informera en plus sur :

- l'accumulation de neige récente (quantité, supposition sur sa qualité)
- et parfois l'existence d'une couche de moindre cohésion en profondeur.



Test du bâton.

Ces mesures ont le mérite de la rapidité et de la simplicité ; elle offrent donc la possibilité de multiplier les constats.

Dès lors, les situations d'instabilité suspectées, un complément d'information, toujours sans matériel spécifique, peut être apporté par la réalisation d'un profil nivologique simplifié. Il s'agit de décrire la constitution interne d'un manteau neigeux (s'il est très épais, on se limite au mètre supérieur), d'une part en qualifiant le type des grains de chaque couche, d'autre part en évaluant leur dureté. Ce paramètre s'obtient par un test manuel de résistance à un enfoncement effectué dans la couche parallèlement à celle-ci. Le score



Photo : Météo-France/CEN - Daniel GOETZ

de dureté, compris entre 1 et 5, est obtenu en fonction de ce que l'on a réussi à enfoncer dans la couche de neige :

- 1 : le poing (ganté)
- 2 : les quatre doigts d'une main gantée
- 3 : un doigt ganté
- 4 : un crayon
- 5 : la lame d'un couteau

Ce profil simplifié offre déjà l'avantage d'identifier des couches fragiles peu épaisses. Cet exercice est le pendant allégé du sondage complet réalisé par les observateurs nivométéorologiques à l'aide d'un matériel spécifique (sonde verticale avec masse mobile, thermomètre, loupe, etc.).

Les différents « tests » de stabilité du manteau neigeux

Les approches ci-dessus apportent seulement des éléments ayant un rapport avec la stabilité d'un manteau neigeux, sans vraiment donner de réponse. Seuls des tests éprouvant la résistance apportent des réponses sur ce plan, réponses toutefois plus ou moins difficiles à interpréter.

Un dossier complet sur le sujet a déjà été publié dans la revue (*Neige et Avalanches* n° 99 - septembre 2002). Test du bloc (coin) glissant (Rutschblock), tests de la pelle en cisaillement (Faarlund), en compression, Stuffblock, tous nécessitent de l'habitude pour en interpréter les résultats. Nous décrirons sommairement celui qui, à nos yeux, offre le plus d'avantages, en ce qui concerne l'influence de l'opérateur ainsi que sa rapidité de mise en œuvre.

En effet, il ne faut pas oublier que lors d'un déplacement, il faudra, pour avoir un aperçu correct de la situation nivologique, multiplier les observations en des points

Photo : Météo-France/CEN - Daniel GOETZ



Dessin : Alexis NOUAILHAT

bien précis, choisis en croisant les informations du bulletin, les observations de surface et les mesures ponctuelles. Ceci permettra ainsi de « mailler » le terrain d'évolution.

Test en compression

Le principe des tests de stabilité est toujours d'isoler une colonne de neige du reste du manteau neigeux. Pour les tests de pelle, la section de cette colonne est de 30 cm X 30 cm sur une hauteur maximale de 1 m 20. On dégage un mur de neige à l'aide d'une pelle, la surface dégagée doit être lisse pour permettre une bonne observation. On creuse ensuite deux tranchées latérales puis enfin délicatement la partie amont, éventuellement à l'aide d'un ski. Si le bloc

ne bouge pas, on va pouvoir le charger progressivement jusqu'à provoquer sa rupture. Le test en compression consiste à donner des coups successifs sur la pelle posée à plat sur le haut de la colonne. On réalise 3 séries de 10 coups, la première série avec uniquement le poids de la main (mouvement du poignet), la suivante avec l'avant-bras et enfin tout le bras.

Lorsque le bloc glisse, que peut-on en conclure ? L'intérêt de cette méthode est d'avoir une quantification de la fragilité de la couche par le nombre de coups nécessaires à sa rupture mais c'est loin d'être

le seul élément à considérer. La façon avec laquelle se produit la rupture, c'est à dire la rapidité avec laquelle se produit le glissement ou l'effondrement du bloc, est tout aussi importante et très informative. Il faut également noter l'état de surface sur la partie restée en place ou sous le bloc, il peut être régulier et lisse ou rugueux et même parfois en marche d'escalier. Enfin la profondeur de la cassure fournit une indication supplémentaire ; trop près de la surface, elle peut se situer au-dessus de la profondeur d'enfouissement des skis, sous un mètre de neige, la contrainte d'un skieur isolé sera le plus souvent amortie.

Le résultat du test sera alors un élément d'information mais pour servir à évaluer la stabilité de la pente, il faudra comme toujours le comparer à d'autres observations de terrain. En particulier, il faut garder en mémoire que la répartition de la neige n'est pas forcément régulière dans la pente. Ce test est très facile à mettre en œuvre, toutefois un peu de pratique est nécessaire pour le réaliser et l'interpréter rapidement.

Il reste primordial de considérer ces tests à leur juste valeur, c'est-à-dire comme une information à la fois locale et plus ou moins approximative. Là aussi, comme pour les mesures décrites ci-dessus, de nombreux tests, rapides à effectuer, apporteront des informations plus pertinentes qu'un seul test complexe, long à mettre en œuvre.

À noter également qu'il est inutile d'effectuer ces tests dans un manteau neigeux humide, car ils sont alors non pertinents. ■

Sébastien ESCANDE
Cemagref/Unité ETNA
guide de haute-montagne
Cécile COLÉOU

Météo-France/Centre d'Études de la Neige



Photo : Météo-France/CEN - Cécile COLÉOU

Pour isoler un bloc, on peut aussi découper les côtés d'un simple trait de scie.

Colonne Élargie et Propagation à la Scie : deux nouveaux tests du manteau neigeux

Connaître avant une sortie les conditions nivo-météorologiques passées ; analyser le bulletin d'estimation du risque d'avalanche ; observer sur le terrain les différents états de surface du manteau ; reconnaître les signes d'instabilité : autant d'outils, parmi d'autres, à mettre en œuvre afin d'évaluer la stabilité des pentes sur lesquelles on va évoluer.

À côté de ceux-ci, certaines méthodes pratiques ont été développées pour tester, in situ, la stabilité du manteau neigeux, ou au moins percevoir sa structure : test du bâton, test en compression, test de Faarlund, Stuffblock, Rutschblock¹. Pour certains, ils ne présentent qu'une valeur pédagogique, lors d'une formation notamment. Pour d'autres, ils revêtent également le caractère de véritables outils d'aide à la décision pour l'estimation du risque de déclenchement d'une plaque dans une pente donnée.

Ces différents tests, auxquels l'utilisateur peut associer des observations complémentaires (caractéristiques de la fracture², recherche des points faibles³ par exemple), permettent, chacun à leur niveau, de répondre essentiellement à une ou plusieurs de ces questions :

➤ là où je le teste, le manteau neigeux présente-t-il une structure de plaque, combinant couche fragile et plaque ?

Il faut savoir que les avalanches déclenchées accidentellement sont, dans leur grande majorité, des avalanches de plaque de neige sèche. Répondre à cette question apparaît donc primordial pour une estimation localisée du risque

d'avalanche. Le test du bâton pourra à lui seul, dans un certain nombre de cas bien déterminés, apporter des éléments de réponse à cette première question, sans avoir à creuser la neige.

➤ Une rupture dans une éventuelle couche fragile peut-elle être initiée ?

Il est aujourd'hui admis que les mécanismes en jeu dans le déclenchement d'une plaque impliquent, en premier lieu, l'initiation d'une rupture de la couche fragile. Un test en compression peut renseigner l'observateur sur ce point précis. Il nécessite le dégagement d'un mur de neige.

➤ Une fois la rupture initiée, peut-elle se propager sur une grande surface et favoriser la mise en mouvement de la plaque qui repose sur la couche fragile ainsi effondrée ?

La propagation de la rupture de la couche fragile est en effet la seconde étape du mécanisme actuellement reconnu de déclenchement d'une plaque. L'analyse des caractéristiques de la rupture, suite à un test en compression, pourra constituer un élément d'information de plus pour le montagnard sur cette partie du puzzle.

Chacun des tests jusqu'à présent développés possède ses avantages et ses limites. Du test du bâton au Rutschblock, chacun est plus ou moins facile à mettre en œuvre et nécessite plus ou moins d'expérience et de connaissances pour leur analyse. Et chacun possède une valeur de prédiction plus ou moins bonne (souvent évaluée par les créateurs des tests...).

Dans tous les cas, on se souviendra toujours que le lieu où l'on aura décidé de réaliser le ou les tests doit être choisi de manière très avisée (cela conditionne sa représentativité) et qu'un test de stabilité n'est qu'un élément parmi d'autres dans la « boîte à outils nivologique » du montagnard. Il ne devrait pas conduire à lui seul à la prise de décision.

Deux nouveaux tests du manteau neigeux sont apparus ces dernières années : le test de la colonne élargie (ECT : Extended Column Test) et le test de propagation à la scie (PST : Propagation Saw Test).

Il s'agissait pour leurs créateurs nord-américains d'obtenir un test du manteau neigeux qui rende compte de la propagation de la rupture de la couche fragile. Il devait être simple à réaliser sur le terrain (les nord-américains utilisent couramment certains tests de stabilité tant pour le travail de prévision du risque d'avalanche que pour l'estimation de la stabilité

NOTES

1. Pour une description complète des différents tests du manteau neigeux existants, leurs avantages, limites et l'avis de différents experts, se reporter au dossier de la revue *Neige et Avalanches* n° 99, septembre 2002 : « Les tests de stabilité du manteau neigeux ».

2. *Neige et Avalanches* n°108, décembre 2004 : « Caractérisation de la rupture des couches fragiles lors des tests de compression » - François Sivardière.

3. *Neige et Avalanches* n°117, mars 2007 : « Nouveau test du manteau neigeux. À la recherche des points faibles » - Jürg Schweizer.



Photos : Frédéric JARRY

Réalisation d'un test de colonne élargie. Aucune rupture de la couche fragile n'ayant été initiée, le résultat du test à cet endroit était : ECTNR.

d'une pente lors d'une randonnée), facile à interpréter et dont les résultats prédictifs seraient aussi bons voire meilleurs que ceux des tests existants. Cet article présente ces deux nouveaux tests. Il est basé sur la lecture d'un ensemble d'articles les évoquant.

> Le test de la colonne élargie (ECT : extended column test)

Partant du constat qu'aucun test facile à mettre en œuvre sur le terrain ne permettait jusqu'à présent de tester à la fois l'initiation et spécifiquement la propagation de la rupture de la couche fragile, K. Birkeland et R. Simenhois⁴ ont créé le test de la colonne élargie (ECT).

Ce test augmente simplement la largeur de la colonne utilisée lors d'un test en compression classique, qui devient plus grande que la surface de chargement : de 30 cm, qui correspond approximativement à la largeur d'un godet de pelle, elle passe à 90 cm. Ainsi, la couche « plaque » surmontant la couche fragile peut transmettre la contrainte, et l'éventuelle rupture de la couche fragile peut se propager.

Réalisation d'un ECT

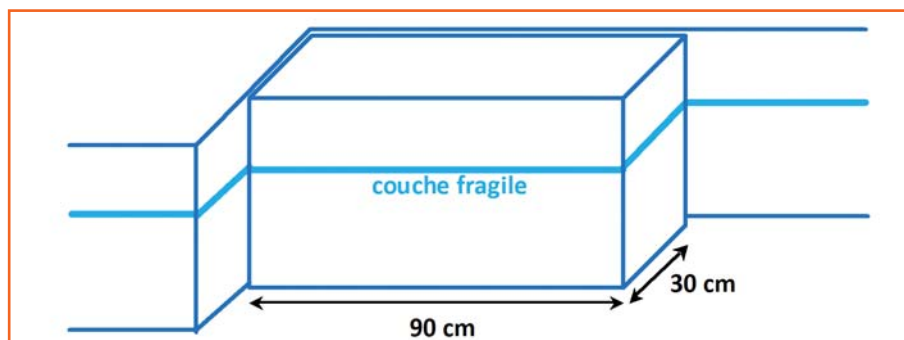
Le test de la colonne élargie s'apparente à celui du test en compression.

➤ Dégager à l'aide d'une pelle un mur de neige en vue de créer la colonne. On peut, à cette occasion, réaliser un profil simplifié et déjà relever la ou les couches intéressantes, notamment les combinaisons plaque-couche fragile.

➤ Isoler à l'aide d'une scie ou d'une cordelette une colonne de 30 cm de large (parallèlement à la ligne de pente) par 90 cm de long (perpendiculairement à la ligne de pente), sur une profondeur maximum de 120 cm environ (au-delà, la contrainte exercée lors du chargement de la colonne n'atteint plus la couche fragile). Cette colonne est donc trois fois plus étendue qu'une colonne classique de test en compression, d'où les termes « colonne élargie ».

➤ Poser le godet d'une pelle sur la surface du manteau à l'une des extrémités de la colonne puis opérer de la même façon que pour le test en compression. On applique ainsi successivement sur la pelle des séries de dix coups, en augmentant à chaque série la force exercée, jusqu'à ce qu'une rupture soit initiée et se propage à travers la totalité de la colonne (ou que trente coups aient été donnés) :

- une première série de dix coups en tapant avec le bout des doigts par un mouvement du poignet ;
 - une deuxième série de dix coups en tapant avec le plat de la main ou le poing en faisant un mouvement de l'avant-bras, à partir du coude ;
 - une troisième et dernière série de dix coups en tapant par un mouvement du bras, à partir de l'épaule.
- Lorsqu'une rupture est initiée puis



se propage, noter le nombre N de coups qu'il a fallu appliquer et la profondeur à laquelle se situe la couche fragile rompue.

Interprétation du test de la colonne élargie

Quatre résultats sont possibles :

➤ La rupture se propage à travers toute la colonne au cours de l'isolement de la colonne de neige. Par convention, ce cas est noté ECTPV.

➤ La rupture se propage à travers toute la colonne au cours du coup N ou d'un coup supplémentaire (N+1), n étant le nombre de coups nécessaires pour l'initiation de la rupture. Ce cas est noté ECTPN ou ECTPN+1 (selon le cas), avec $1 < N \leq 30$. Là encore, la rupture est jugée probable.

➤ La rupture est initiée mais ne se propage pas du tout à travers toute la colonne (ou deux tapes supplémentaires ou plus sont nécessaires pour qu'elle se propage). Ce cas est noté ECTN et laisse penser que la rupture est improbable.

➤ Aucune rupture n'a été initiée après les trente coups. Ce dernier cas est noté ECTNR. La rupture est improbable.

L'interprétation du test est assez simple à réaliser : on juge que la propagation de la rupture dans la couche fragile est probable uniquement lorsqu'elle a été initiée et s'est propagée jusqu'au bout de la colonne au cours du coup qui l'a initiée ou du coup suivant.

Les deux premiers résultats possibles (ECTPV et ECTPN) suggèrent donc plutôt des conditions d'instabilité tandis que les deux derniers résultats possibles (ECTN et ECTNR) évoquent plutôt la stabilité du manteau neigeux, à l'endroit où l'on a réalisé le test.

Par exemple, si au cours du 12^{ème} coup on réussit à initier la rupture et qu'elle se propage au cours du 13^{ème} coup, on notera le score ECTP12+1. On jugera que l'initiation ET la propagation de la rupture sont probables.

Nota : la colonne peut également être chargée de la même manière que le Stuffblock (avec une charge fixe). L'interprétation du test se fera de la même manière.

Efficacité prédictive de l'ECT :

Afin d'évaluer sa capacité prédictive, les créateurs de l'ECT l'ont testé au cours

des trois dernières saisons⁵. Pour des pentes jugées instables (pentes présentant des signes évidents d'instabilité tels que fissures, effondrement ou activité avalancheuse récente) et pour des pentes jugées stables (pentes d'inclinaison supérieure à 30° mais qui n'ont pas bougé après avoir été parcourues ou déclenchées à l'explosif), ils ont analysé les scores d'ECT réalisés à proximité de ces pentes.

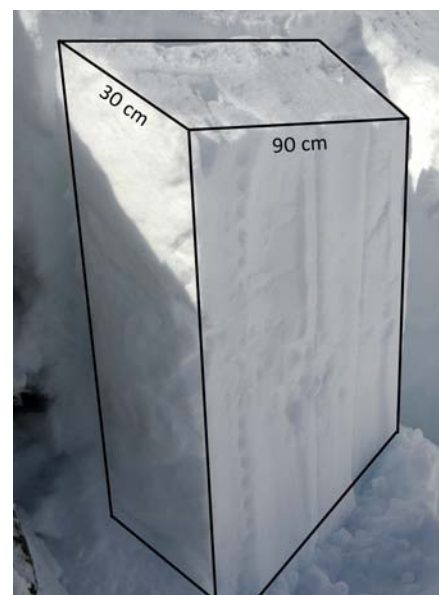
À l'issue de l'hiver 2007-2008, ils ont pu analyser 311 tests : 125 réalisés dans des pentes jugées instables et 186 dans des pentes jugées stables.

En ce qui concerne les tests ECT réalisés dans des pentes instables, 94 % ont été positifs : la rupture a été initiée et s'est propagée à travers toute la colonne (ECTP). Dans 6 % des cas, le score était négatif : la rupture de la couche fragile ne s'est pas propagée (ECTN). Ce dernier taux de « fausse stabilité » (le test indique comme stable une pente que l'on a jugée par ailleurs instable) est deux fois moins important que celui indiqué par le test en compression ainsi que par celui du Rutschblock (différentes études indiquent des taux de « fausse stabilité » de 10 % à 15 % selon le type de test : Rutschblock, Stuffblock ou test en compression)⁶.

Pour ce qui est des tests dans des pentes jugées stables, la rupture de la couche fragile ne s'est effectivement pas propagée (ECTN) dans 82 % des cas. Elle s'est propagée cependant dans 18 % des cas, ce qui donne un taux de « fausse instabilité » (le test indique de l'instabilité là où a priori la pente est stable) assez important, mais inférieur à ceux constatés pour le test de compression et le Rutschblock.

Conclusion

Le test ECT semble donc un bon outil complémentaire pour indiquer l'instabilité probable d'une pente. Il semble en tout cas plus efficace, dans sa capacité à la prédire, que le test en compression et le Rutschblock, dont les taux de



Isolement d'une colonne élargie.

fausse stabilité sont de l'ordre de 10 % à 15 %.

Il s'agit donc d'un outil intéressant, qui peut remplacer valablement le test en compression, à la fois pour ceux qui l'utilisent dans leur estimation du risque et pour ceux qui s'en servent comme outil pédagogique. Mais comme tout test de stabilité, il ne peut venir qu'en complément des différentes méthodes classiques d'observation du manteau neigeux, du fait d'une part de taux d'erreurs non négligeables, d'autre part de sa représentativité très locale.

Les auteurs de l'ECT lui apportent déjà des limites, que l'on retrouve en partie pour les autres tests mettant en œuvre une colonne. D'une part, l'ECT semble surestimer l'instabilité du manteau neigeux lorsque la couche fragile est surmontée d'une plaque dure épaisse. D'autre part, lorsque la couche « plaque » est à l'inverse très tendre (friable), l'ECT n'est pas le meilleur outil, la pelle tendant à couper et traverser cette couche tendre. Enfin, il ne permet pas de tester valablement des couches fragiles enfouies sous plus d'un mètre.

NOTES

4. « The extended column test : a field test for fracture initiation and propagation » - Ron Simenhois and Karl Birkeland – ISSW 2006, Telluride (CO), USA

5. « Le test de la colonne élargie : efficacité du test, variabilité spatiale et comparaison avec le test de propagation à la scie » - K. Birkeland, R. Simenhois – ISSW 2008 – Whistler (BC), Canada.

6. « Minimizing « False-Stable » stability test results : why digging more snowpits is a good idea » - K. Birkeland, D. Chabot – ISSW 2006 – Telluride (CO), USA..



Réalisation d'un test de propagation à la scie. Inciser une couche extrêmement fine de grains à faces planes est un exercice difficile. Ici, la propagation de la rupture n'a eu lieu qu'après avoir incisé plus de la moitié de la colonne (PST 65 X 100 (end) sous 46 cm le 23/03/2009).

> Le test de propagation à la scie (PST : Propagation Saw Test)

Les créateurs du test de propagation à la scie (Propagation Saw Test), D. Gauthier et B. Jamieson⁷, souhaitent développer et vérifier un test pratique, facile à réaliser et à interpréter, capable de fournir des informations sur la propension à la propagation d'une rupture dans une couche fragile. Ce test ne fait pas appel à un chargement de la plaque pour initier la rupture, tel qu'opéré dans les tests traditionnels : la rupture est directement initiée par une découpe à la scie dans la couche fragile repérée. Le test de propagation à la scie n'a pas été créé pour remplacer les autres tests, mais comme un outil complémentaire visant spécifiquement à répondre aux questions concernant cette éventuelle propagation d'une rupture initiale.

Réalisation d'un PST :

Comme pour tous les autres tests de stabilité du manteau neigeux, le choix de l'endroit où l'on effectuera le test est important. Cependant, les auteurs ont noté que l'inclinaison de la pente avait peu d'effets sur le résultat du test et les conclusions que l'on pouvait en déduire. Le test de propagation à la scie utilise une colonne d'au moins un mètre de long

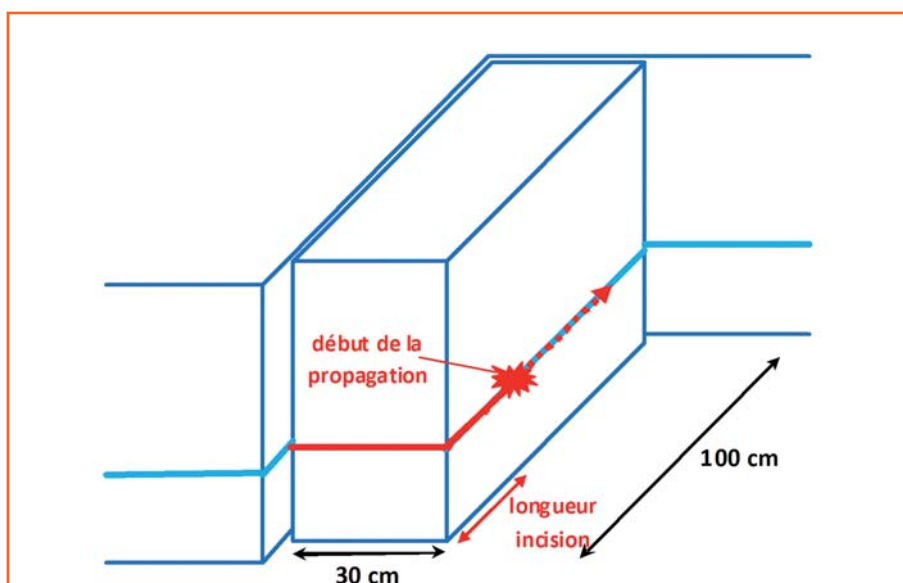
orientée dans l'axe de la ligne de pente (amont-aval).

- Dégager un mur de neige parallèle à la ligne de pente, en vue de créer la colonne. Il est nécessaire de repérer, soit visuellement soit au moyen d'un test en compression préalable, la (ou les) couche fragile d'intérêt et sa profondeur.

- Isoler une colonne de 30 cm de large (perpendiculairement à la ligne de pente) et d'au moins 100 cm de long (dans le sens de la pente). Ce travail peut être effectué avec la pelle, une scie ou deux

sondes et une cordelette à nœuds. Si l'on désire tester une couche fragile enfouie sous une plaque de plus d'un mètre, la longueur de la colonne devra égaler au moins cette profondeur d'enfouissement. Dans tous les cas, la colonne devra être isolée jusqu'à une profondeur supérieure à la profondeur d'enfouissement de la couche fragile.

- Insérer entièrement la scie à neige dans la couche fragile à l'extrémité aval de la colonne puis la tirer rapidement (10-20 cm/s) vers l'extrémité amont jusqu'à



ce que la rupture de la couche fragile se propage automatiquement à l'avant de la scie.

➤ Lorsque la rupture commence à se propager automatiquement devant la scie, arrêter l'incision et noter le point à partir duquel la propagation a débuté.

Interprétation des résultats du test de propagation à la scie

Une fois la propagation initiée, trois résultats sont possibles :

➤ La propagation s'arrête avant d'atteindre l'extrémité amont de la colonne. Ce cas est noté (Arr).

➤ La plaque surmontant la couche fragile s'est fracturée et la propagation de la rupture de la couche fragile s'est arrêtée au point de fracture de la plaque. Ce cas est noté (SF : Slab Fracture).

➤ La propagation continue sans interruption jusqu'à l'extrémité amont de la colonne. Cas noté (End).

Les résultats sont notés ainsi : «PST x/y (Arr, SF ou End) sous z cm le [date]», où x est la longueur de l'incision jusqu'au moment où la rupture se propage automatiquement, y la longueur de la colonne (en général 100 cm), et z la profondeur d'enfouissement de la couche fragile. Par exemple : «PST 25/100 (End) sous 64 cm le 24/01/2009» indique que la rupture de la couche fragile s'est propagée après 25 cm d'incision et a traversé toute la colonne sans discontinuité, colonne de 100 cm de long et dans une couche fragile enfouie à 64 cm, test réalisé le 24 janvier 2009.

L'interprétation du test est simple à faire : si l'on a incisé moins de la moitié de la longueur de la couche fragile et que la rupture s'est propagée sans discontinuer jusqu'à l'extrémité amont, la propagation d'une rupture dans cette couche fragile est jugée probable dans les pentes environnantes. Tous les autres résultats indiquent que la propagation est peu probable. L'exemple ci-dessus témoigne donc d'une forte propension à la propagation.

Efficacité prédictive du PST

À l'issue de deux saisons visant à définir l'efficacité du test de propagation à la scie pour prédire la stabilité ou l'instabilité du

manteau neigeux, les auteurs ont montré que le test a tendance à surestimer la stabilité : sur des pentes préalablement jugées instables, il accuse un taux de « fausse stabilité » de 28%. Ces prévisions de « fausse stabilité », dangereuses pour l'estimation du risque d'avalanche, semblent survenir essentiellement pour des plaques fines et friables et des couches fragiles composées de larges cristaux. Sur ce point, ce test semble donc moins performant que le test de la colonne élargie.

Cependant, le test de propagation à la scie présente un taux de « fausse instabilité » (résultat « instable » alors que la pente a été jugée par ailleurs stable) moins important que les autres méthodes de test du manteau neigeux.

Il est d'une manière générale plus performant que les autres tests pour prédire qu'une propagation n'aura pas lieu.

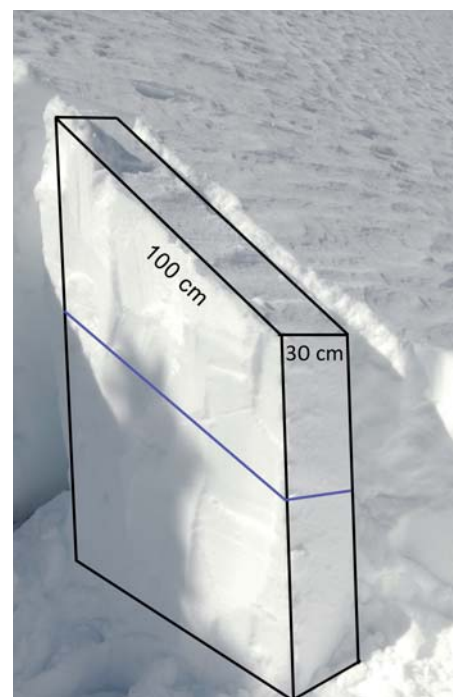
Conclusion PST

Le fort taux de « fausse stabilité » du test de propagation à la scie ne permet pas d'en faire un remplaçant d'autres tests du manteau neigeux. Mais il peut être un bon complément en vue d'apporter des réponses en ce qui concerne la phase de propagation de la rupture de la couche fragile dans le processus de déclenchement des avalanches de plaque de neige sèche.

L'un de ses points forts réside dans le fait qu'il permet de tester valablement des structures de plaque épaisse (jusqu'à 250 cm), alors que les autres tests (qui mettent en œuvre la mise en charge de la plaque) n'ont de valeur que pour des plaques ne dépassant guère 100 cm d'épaisseur. Cet avantage sera de peu d'utilité pour les pratiquants, essentiellement parce que l'on peut considérer que la rupture d'une couche fragile ne sera que très difficilement initiée par un skieur si celle-ci est profondément enfouie.

Les auteurs du test soulignent les limites du test :

- fort taux de « fausse stabilité » ;
- nécessité de mettre au préalable en évidence la couche fragile. Ceci requiert des connaissances et de l'expérience. On ajoutera que sa mise en œuvre (notamment si l'on cherche à tester une cou-



che fragile profondément enfouie) n'est pas forcément pratique ni rapide.

En conséquence, ce test de propagation à la scie apparaît peu adapté à une utilisation en randonnée hivernale.

En revanche, parce qu'il peut fournir des informations sur le comportement d'une couche fragile (indépendamment d'une initiation de la rupture), il pourra intéresser les personnes chargées de la prévision locale du risque d'avalanche (notamment lorsqu'une couche fragile profondément enfouie pose problème). Il sert également déjà à certains scientifiques qui étudient la mécanique du déclenchement des avalanches de plaque. ■

Frédéric JARRY
ANENA

frederic.jarry@anena.org

NOTE

7. « Evaluating a prototype field test for weak layer fracture and fracture propagation » - D. Gauthier, B. Jamieson – ISSW 2006 – Telluride (CO), USA.

Quelle estimation utile pour le montagnard ?



L'objectif affiché par Claude Rey il y a une quinzaine d'année était de faire en sorte que, dans le pire des cas, il n'y ait qu'un mort. Le challenge reste d'actualité. C'est pourquoi la taille des avalanches redoutées me semble le principal paramètre à estimer. C'est elle qui déterminera si l'itinéraire est « jouable » ou non, puis les précautions à prendre : détail de l'itinéraire, distances entre les participants, îlots de sécurité. L'origine des avalanches (spontanée ou provoquée) et la possibilité de déclenchements « à distance » sont également importantes.

Sur la base de la méthode 3x3, de Werner Munter, les observations du manteau neigeux apportent une aide seulement lors de la dernière étape des prises de décisions. À ce stade (sur le terrain), les choix les plus importants sont déjà faits : le massif, la course, le nombre et le niveau des participants, etc. Si la préparation a été correcte (étude du bulletin d'estimation de risque d'avalanche (BERA), de la carte, etc.), il est rare que l'observation du manteau neigeux conduise à une remise en cause complète du projet. Bien entendu, l'approche est différente s'il s'agit d'établir une estimation de risque d'avalanche de manière totalement autonome (pas de BERA).

En quoi l'observation du manteau neigeux peut-elle constituer une aide ?

L'observation ponctuelle du manteau neigeux ne peut *malheureusement pas* constituer un fondement pour estimer le risque d'avalanche. Ceci pour au moins deux raisons :

- La variabilité spatiale des épaisseurs de neige et des stratigraphies empêche l'extrapolation des conditions observées aux pentes que l'on envisage de parcourir. En effet, l'action du vent et l'activité avalancheuse passée induisent de grandes variations d'épaisseurs en quelques mètres, lesquelles déterminent à leur tour les gradients de température et, par conséquent, les stratigraphies.
- Les observations ponctuelles ne fournissent que peu d'informations sur la stabilité proprement dite. La signification des tests et l'interprétation d'un profil stratigraphique sont encore discutables.

Par conséquent, les observations fiables et utiles sont celles pouvant être facilement répétées, et celles illustrant autant que possible une instabilité potentielle.

Le sondage au bâton et une « écoute » des effondrements (« woumf ») en font partie.

Le sondage permet d'apprécier l'épaisseur de neige la plus récente et ses *variations*, ainsi que la présence d'une éventuelle couche fragile. Les situations les plus dangereuses sont ainsi repérables, bien que les couches millimétriques ou trop profondes ne puissent pas être détectées. Quelques coups de pelle et une vérification à la main complètent l'« analyse » (type et taille des grains des couches molles enfouies, etc.).

Quant aux « woumf », ils présentent l'intérêt d'être perceptibles au fur et à mesure de la progression du randonneur, contrairement aux tests, qui ne sont réalisés qu'à des endroits choisis *a priori*. Le PST (Propagation Saw Test¹), par exemple, a permis de mieux comprendre la propagation de rupture impliquée dans le déclenchement des plaques du type « anticrack »², mais le test ne me semble pas approprié pour le randonneur, sauf dans le cadre particulier de formations.

Quelles sont les alternatives pour se déplacer avec davantage de sécurité ?

La connaissance des conditions météorologiques passées et prévues reste sans doute l'élément essentiel pour la prévision du risque d'avalanche. C'est elle qui permettra d'imaginer ce qui doit être surveillé en priorité : les épaisseurs de neige nouvelle (précipitations et/ou accumulations dues au vent), les couches fragiles enfouies et/ou l'effet d'un réchauffement.

Toutefois, l'information la plus directe est livrée par la connaissance de l'activité avalancheuse réelle. C'est elle qui permet de se faire une idée de la taille des avalanches à redouter et des secteurs concernés. C'est pour cela que nous avons créé www.data-avalanche.org. C'est aussi pourquoi les BERA, qui s'appuient sur les observations d'un vaste réseau de professionnels de la neige, doivent constituer la base de la réflexion. ■

Alain DUCLOS
Spécialiste avalanches
Guide de haute montagne

NOTES

1. Voir article par ailleurs.
2. Heierli J., A. van Herwijnen, P. Gumbsch, M. Zaiser, 2008, *Proceedings of the 2008 International Snow Science Workshop*, Whistler, Canada, Anticracks: A new theory of fracture propagation and fracture initiation in snow.

Acquérir une « sensibilité neige »



Comme c'est le cas pour beaucoup d'entre nous, ma pratique de la montagne hivernale est, dans la mesure du possible, constante et régulière dès les premières neiges. Je suis sur le terrain comme amateur pour mes loisirs, et comme professionnel des avalanches. Deux activités différentes, mais une vigilance et une approche sécuritaire identiques.

Il me semble qu'il est très important d'acquérir une « sensibilité neige » : cette expérience vient des centaines d'heures passées au contact de la neige, à skis, en raquettes.... Et suivre l'historique de l'hiver depuis ses débuts, observer et enregistrer les différentes situations et évolutions (intensités des précipitations, redoux et/ou froid, présence éventuelle de sous-couches fragiles, vents...) est essentiel pour l'estimation d'un risque potentiel.

On gagne beaucoup à l'observation du contexte général du relief qui nous environne en notant particulièrement les profils de pentes, convexités, replats, ressauts..., également en repérant et en analysant en détail les véritables zones de départ qui nous dominent.

Connaître le terrain sans neige est aussi un avantage certain, tant pour les pentes qu'au voisinage des crêtes ! Systématiquement, il faut examiner tous les indices du travail du vent : autant les zones d'abrasion que les dépôts ; de même, il est utile d'être réceptif à tous les signes d'instabilité du manteau nival, visuels... ou sonores.

En terrain « étranger », ne pas négliger l'avis de professionnels du secteur (pisteurs, guides...) ou de pratiquants avertis : leur expérience est souvent appréciable.

Comme tests de stabilité, j'utilise à titre personnel le test de Faarlund, rapide à mettre en œuvre, souvent complété par un profil de neige « simplifié ». Ce type d'observation, pour être efficace (ce qui ne veut pas dire infaillible !), doit être répété en des lieux variés et bien choisis. Le sondage avec le bâton donne assez vite une notion de la stratigraphie des couches supérieures.

Dans un contexte professionnel, j'apprécie le Rutschbloch, considéré comme complet et fiable.

Enfin, restons vigilants grâce à ce message simple et fort, donné par André Roch :

« Expert sois attentif ! l'avalanche, elle, ne sait pas que tu es un expert ».

Richard LAMBERT

Expert en avalanches et conseil consultant (bureau d'étude SIERRA NEIGE)
Expert en nivologie - Cour d'Appel de Chambéry, et expert agréé par la Cour de Cassation
Depuis juin 2008, président du CST de l'ANENA

Prévoir, lire (ou écouter) et ausculter le manteau neigeux...



Les avalanches ne se produisent pas par hasard. Au contraire, elles surviennent dans des conditions bien particulières, dont certaines sont connues et identifiables quand d'autres restent encore mystérieuses ou difficiles à détecter. La prise en compte des paramètres météorologiques, nivologiques, topographiques et humains permet généralement de déterminer si les quatre ingrédients de l'avalanche de plaque (objet du présent propos) sont rassemblés ou non : la plaque au sens strict, une couche fragile sous-jacente, une pente et une surcharge. Cependant, en ce qui concerne le manteau neigeux, l'objectif n'est pas seulement de rechercher une plaque reposant sur une couche fragile. Il faut aussi caractériser cette dernière pour tenter de savoir si la surcharge sera suffisante pour déclencher l'avalanche sur la pente considérée.

La connaissance préalable des conditions météo et de leur influence sur les transformations de la neige permet souvent de suspecter l'existence d'une plaque reposant sur une couche fragile.

Mais il faudra ensuite confronter cette prévision à la réalité du terrain. Certaines observations sont d'un intérêt particulier. La plus intéressante est celle d'avalanches datant de moins de 48 h environ, sur des pentes semblables à celles que l'on s'apprête à parcourir. Quelle meilleure preuve de l'instabilité du manteau neigeux qu'une avalanche partie récemment ?

Une plaque est une couche de neige présentant une certaine cohésion. Le vent étant le principal facteur de prise de cohésion de la neige, les traces de transport de neige par le vent à la surface du manteau neigeux constituent des indices de présence de plaques dans les zones abritées du vent. D'autre part, une fissure qui s'ouvre devant soi dans la couche de surface n'est rien d'autre qu'une potentielle cassure linéaire d'avalanche de plaque, qui prouve donc que cette couche a une cohésion suffisante pour être une plaque. Toutefois, la gamme des qualités de neige des plaques, depuis la plaque friable (qui, malgré son caractère poudreux, a une cohésion suffisante) jusqu'à la plaque dure, est tellement étendue que la quasi-totalité des neiges que l'on rencontre en surface peut constituer une plaque, à l'exception de celles sans cohésion¹ et de la croûte de regel.

Les couches fragiles (couches de neige sans ou à très faible cohésion²) potentiellement dangereuses étant enfouies sous une plaque, les indices révélant leur présence et perceptibles depuis l'extérieur, sont rares. Seul, le « whoumf » (bruit sourd associé parfois à la sensation d'un léger tassement du manteau neigeux) renseigne à la fois sur l'existence et sur la rupture (au moins partielle) d'une couche fragile.

Mais, dans la plupart des cas, il faut aller « voir » à l'intérieur du manteau neigeux. Un bâton de ski peut permettre une première approche. S'il s'enfonce facilement dans la neige après avoir traversé une couche plus résistante, c'est qu'il rencontre une couche de neige à faible cohésion, potentielle couche fragile, sous une plaque. Ce test détecte bien ces situations typiques. En revanche, les plaques friables et les couches fragiles très minces, notamment, passeront inaperçues. Mais la rapidité et la simplicité de sa mise en œuvre en font un intéressant outil de première analyse, qui suffit parfois.

Si ces différentes observations (à part la première : activité avalancheuse récente) permettent de détecter une plaque et/ou une couche fragile, elles n'en sont pas moins insuffisantes pour conclure sur la stabilité du manteau neigeux. De plus, ces signaux d'alarme ne sont pas souvent observés.

Restent donc, pour les situations où l'on veut aller plus loin, les tests de stabilité (à titre personnel : le test de compression³, assez rapide à réaliser). L'interprétation des résultats n'est pas toujours facile et dépend notamment du choix de leurs emplacements (est-il représentatif de la pente à parcourir ?). Mais c'est le seul moyen de mieux connaître (même imparfaitement) les qualités de la couche fragile : sensibilité à la surcharge et capacité à se rompre aisément sur une plus ou moins grande surface.

Toutes ces observations seront confrontées les unes aux autres ainsi qu'à celles relatives à la pente. Le diagnostic qui en sortira permettra d'adapter le comportement du groupe à la situation rencontrée. ■

François SIVARDIÈRE

Formateur et consultant en matière de prévention des accidents d'avalanches à destination des pratiquants

Directeur de l'ANENA de 1994 à 2007

Auteur de « Dans le secret des avalanches, guide pratique pour l'estimation du risque », paru en 2004 aux éditions Glénat.

NOTES

1. Composées de façon caractéristique de grains à faces planes, gobelets, givre de surface ou grésil, mais aussi de neige fraîche non ventée.
2. Composées de particules reconnaissables.
3. Cf. Neige et Avalanches n° 108, décembre 2004.

Observations de terrain pour l'estimation de l'instabilité du manteau neigeux lors d'une randonnée



Que faut-il observer pour évaluer l'instabilité d'un manteau neigeux ? La question a été posée et débattue mille fois... mais aucune réponse claire, pratique, définitive et universellement admise n'y a jamais été apportée. Les diverses méthodes proposées au cours des dernières années se sont plus souvent heurtées qu'accordées : la question reste donc d'actualité. Voici quelques pistes pour esquisser une réponse...

Pour cerner au mieux une situation, il semble utile de collecter autant d'informations que possible, sans aucun a priori : ce sera peut-être une observation, un relevé, un bulletin ou un simple souvenir qui conduira au diagnostic exact. Il est d'ailleurs fort probable que ce sont d'infimes mais multiples bribes d'information disparates qui fondent les bonnes « intuitions ». Cette collecte de renseignements, non sélective et plus ou moins sensorielle, paraît donc incontournable. Elle peut toutefois ne pas être suffisante. En effet, on sait que les estimations intuitives du risque dépendent pour beaucoup de l'état psychologique de celui qui les établit, et que cet état est sujet à de grandes variations. Pour cette raison, il est utile de disposer de quelques points de repère objectifs et éprouvés.

Parmi ces points de repère, il faut considérer :

- Les précipitations (type, quantité, intensité, ancienneté de la chute) ;
- Le transport de neige par le vent (direction, durée, intensité) ;
- Le vent (durée, vitesse) ;
- La couverture nuageuse (nature, altitude, étendue) ;
- La température de l'air (valeurs, variations) ;
- La structure du manteau neigeux (stratigraphie, cristallographie) ;

En complément de ces données de base, certains indicateurs et signaux d'alarme sont très précieux, notamment l'activité avalancheuse récente (nombre, type, taille, localisation des avalanches).

La plupart de ces données peut être plus ou moins facilement estimée à partir de l'observation du paysage. D'autres demanderont un examen sommaire du manteau neigeux, voire parfois un test de stabilité (préférer les tests sans choc). Certaines enfin seront obtenues auprès des gardiens de refuge, offices du tourisme, services des pistes... Elles offriront une base assez pertinente, en principe, pour estimer l'instabilité du manteau neigeux. **En tout cas, un ensemble d'informations diversifiées vaudra toujours mieux qu'un unique relevé, que celui-ci soit un sondage ou un test de stabilité.**

Sur le terrain, on peut recommander que des précautions particulières (renoncer aux pentes raides, allonger les distances de sécurité, changer d'itinéraire...) soient prises dès lors que, pour l'un ou plusieurs des critères principaux, sont dépassées des valeurs-seuils à « caler » selon le secteur ; ce calage est la clé d'une évaluation fine du risque car il n'existe malheureusement pas de « seuil universel » : tel secteur pourra, par exemple, être dangereux après un épisode de transport de neige par vent de nord, alors que tel autre ne le sera pas, bien qu'ayant connu les mêmes conditions... « L'apprentissage des lieux » généralement composé de plusieurs secteurs est donc souvent nécessaire pour que les observations effectuées soient pleinement exploitables.

En « terre inconnue », on doit généralement être en alerte si :

- l'épaisseur de neige fraîche en 24 heures dépasse 20 cm
- l'épaisseur de neige fraîche en 3 jours dépasse 40 cm sans tassement significatif
- l'intensité des chutes de neige au cours des 6 dernières heures dépasse 3 cm/h
- une remontée rapide de la limite pluie-neige a eu lieu durant les précipitations
- la quantité de pluie durant les 2 derniers jours dépasse 20 mm (pluie fine continue ou forte averse)
- des signes indiquent un récent transport de neige par le vent, même faible
- le redoux est marqué (températures élevées, fort ensoleillement, pas de regel nocturne)
- le manteau neigeux présente une structure fragile avec de faibles résistances, (éventuellement révélée par un test de stabilité)
- un seul des signaux d'alarme « ponctuels » (avalanche(s) récente(s), déclenchement(s) à distance, effondrement(s) du manteau neigeux avec ou sans « whouf », propagation de fissures devant les skis, etc.) est observé.

On pourra également utiliser un NivoTest, qui a été calé et validé sur environ 7000 événements (ces événements étant soit des avalanches, soit des échecs de tentatives de déclenchement), afin de disposer d'un diagnostic à discuter ou à méditer.

Si les conclusions de cette analyse sommaire confirment la première intuition, l'appréciation de la situation sera sans doute assez correcte. Si ce n'est pas le cas, on pourra se fier à l'estimation la plus pessimiste... Car on se souviendra qu'il n'existe pas de méthode infallible ni de formule magique délivrant une estimation parfaitement fiable de la stabilité d'un manteau neigeux, et que les plus expérimentés et les plus prudents ne sont pas à l'abri d'une mauvaise surprise dès lors qu'ils ne se limitent pas à skier les pentes douces. ■

Robert BOLOGNESI

Directeur d'un bureau d'études METEORISK

Ex-chercheur à l'Institut Fédéral pour l'Étude de la Neige et des Avalanches de Davos
Président de l'Association des Pisteurs Secouristes de Suisse romande de 2001 à 2007

De la vision la plus large possible, l'observation satellitaire, jusqu'à la plongée à l'intérieur d'une couche de neige.

Observer la neige au Centre d'Études de la Neige : des approches multiples

La première question à se poser est : que veut-on voir ou savoir sur la neige ? Une préoccupation, commune à toute personne se déplaçant sur des pentes enneigées, est d'abord celle de sa propre sécurité : éviter d'être emporté dans une avalanche. Dans ce cas, la méthode utilisée par les chercheurs du Centre d'Études de la Neige rejoint tout à fait celle d'un randonneur ; elle s'appuie sur l'utilisation d'informations globales de la situation, de ses propres connaissances et d'observations sur le terrain. L'observation visuelle des conditions de surface (enneigement, avalanches récentes, signes de transport de neige par le vent, qualité de la neige de surface, ...) est associée à une analyse fine de la topographie locale et est ponctuellement complétée par des tests de stabilité du manteau neigeux. Mais l'observation ne suffit pas : il faut ensuite analyser cette information et en tirer les bonnes conclusions en termes de choix d'itinéraire et de mesures dans la progression du groupe. Ces méthodes sont détaillées dans l'ensemble de ce dossier, mais bien d'autres moyens d'investigation sont utilisés pour ausculter la neige, qui varient selon le but recherché. Pour répondre à un besoin spécifique, de nouvelles techniques d'observation sont parfois développées, mais bien souvent des

méthodes existantes dans un domaine complètement différent sont utilisées en les adaptant à l'observation de la neige. Quelques exemples vont être maintenant décrits, depuis la vision la plus large possible, l'observation satellitaire, jusqu'à plonger à l'intérieur d'une couche de neige pour regarder entre les grains de neige.

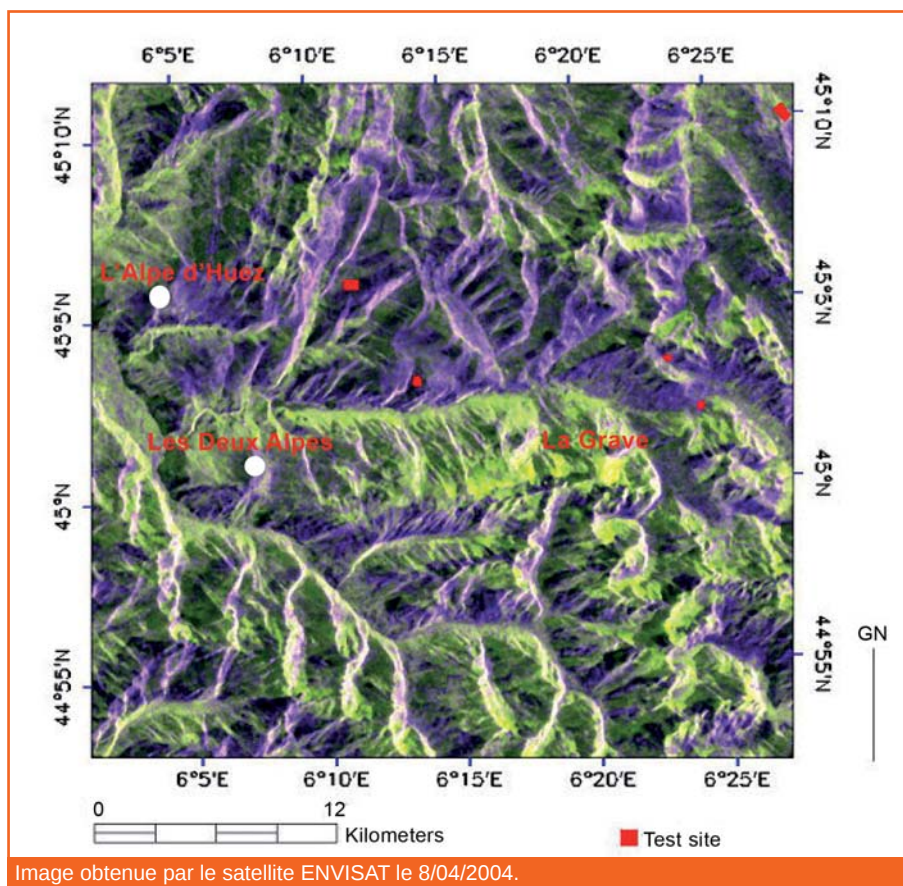
Une vision globale : la télédétection spatiale, recherche pour demain

Depuis une bonne quinzaine d'années, différents laboratoires collaborent sur cette thématique, généralement dans le cadre de projets nationaux, car les différents besoins et domaines de recherche sont complémentaires. Météo-France cherche ainsi à compléter et développer le réseau humain d'observation nivo-météorologique dans l'optique d'améliorer l'estimation du risque d'avalanche et d'utiliser ces données pour initialiser son modèle de neige Crocus. Les premières études ont porté sur l'observation dans le spectre solaire. Elles ont permis d'améliorer et de valider différentes modélisations concernant la réflexion et l'absorption du rayonne-



Photos : Météo-France/CEN - Cécile COLEAU

ment solaire par la neige, mais l'information recueillie ne concerne que la surface du manteau neigeux, et la présence de nuages est une forte limitation. Les hyperfréquences (ou micro-ondes) en émission active à partir d'un radar embarqué dans un satellite sont plus prometteuses. Les longueurs d'ondes utilisées, de l'ordre du centimètre ou, mieux, du millimètre, pénètrent dans la neige. Les mesures sont peu affectées par les phénomènes météorologiques (nuages, précipitations) et permettent à la fois des travaux de cartographie de surface et d'estimation de certains paramètres internes du manteau neigeux. Plusieurs projets coopératifs utilisant les capteurs des satellites Envisat et maintenant Radarsat2



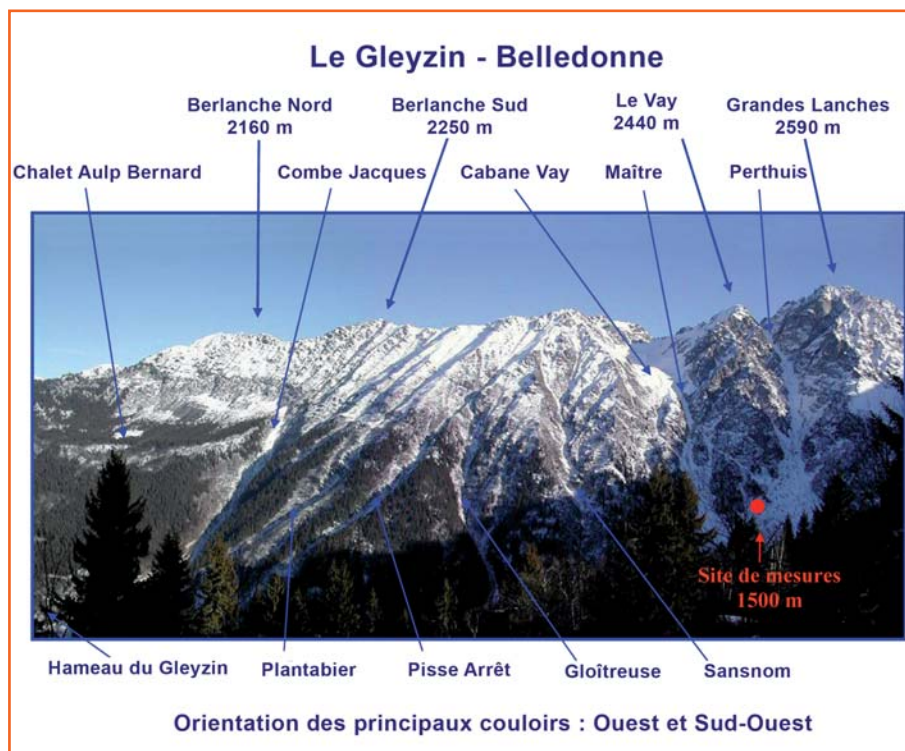
ont permis des avancées substantielles sur ce sujet qui en est encore à ses balbutiements. Ainsi, il est possible d'obtenir à échelle spatiale fine des paramètres « moyens » de manteaux neigeux humides, comme l'équivalent en eau, la teneur en eau liquide, la densité ou la hauteur de neige. Ces résultats sont obtenus en combinant l'information satellitaire avec une information a priori obtenue par des observations classiques et par modélisation numérique du couvert neigeux. L'observation interne de manteaux neigeux secs multicouches ne sera réellement initiée que dans quelques années avec une nouvelle génération de satellites, mais elle nécessitera encore beaucoup de campagnes et de mesures sur le terrain pour la validation et la calibration des résultats.

À l'échelle de quelques versants : la détection sismique des avalanches

L'évaluation de l'activité avalancheuse naturelle repose actuellement sur l'ob-

servation visuelle humaine. Cette observation est tributaire d'une présence humaine et de bonnes conditions de visi-

bilité ; elle est ainsi parfois parcellaire, et pratiquement impossible la nuit ou quand les conditions météorologiques sont mauvaises (tempête de neige, nuages, etc.). Pour répondre à ce problème, le Centre d'Études de la Neige (CNRM/CEN) a depuis plusieurs années développé un système de Détection Sismique des Avalanches (DSA) qui s'appuie sur l'enregistrement et l'analyse des mouvements sismiques du sol générés par les avalanches au cours de leur mouvement. Chaque station de DSA est composée principalement d'une alimentation autonome, d'un capteur sismique, d'une balise sismique d'enregistrement des signaux incorporant un logiciel d'analyse et de reconnaissance préalables des signaux et d'un système de transmission des informations par satellite. Le logiciel d'analyse et reconnaissance a été développé par le CEN pour identifier automatiquement les signaux d'avalanches parmi les nombreux signaux enregistrés. Car les avalanches ne sont évidemment pas les seuls phénomènes à produire des signaux sismiques dans un massif montagneux en hiver : de nombreux autres signaux sismiques peuvent être générés par des phénomènes épisodiques comme des séismes, des passages d'hélicoptère, des tirs d'explosif, des chutes





de cailloux, des passages d'animaux, etc. Actuellement, trois stations de DSA sont installées en Isère, dans trois massifs différents. Chaque station fournit en temps quasi réel des informations sur l'activité avalancheuse naturelle dans un secteur donné d'un massif (dans un rayon d'environ deux kilomètres autour de la station), et cela indépendamment des conditions météorologiques. Mais précisons bien que ce système ne détecte pas les signes précurseurs d'avalanche.

La stabilité d'un manteau neigeux sur une pente : validation du modèle Mepra

Mepra est un modèle utilisé dans le cadre de la prévision opérationnelle du risque d'avalanche. Il fournit, à partir du profil d'un manteau neigeux, un diagnostic sur le risque de départ spontané d'une avalanche et sur le risque de déclenchement provoqué. La validation des résultats d'un modèle est une étape indispensable dans la démarche scientifique. L'objectif de cette étude était de réaliser des validations ponctuelles de l'analyse du modèle pour le risque de déclenchement provoqué. La démarche de l'étude a été d'utiliser des tests de stabilité pour caractériser la stabilité ponctuelle du manteau neigeux afin de les comparer aux résultats du modèle. Des cas d'instabilité avérée lorsqu'une avalanche s'est produite ont également été étudiés.

Des mesures ont été réalisées pendant trois hivers sur le site de La Botte, dans le sud du massif de Belledonne, dans des pentes d'orientations différentes inclinées entre 40 et 45 degrés. Des profils du manteau neigeux détaillés classiques ont été réalisés, complétés par des tests de stabilité - Rutschblock et test de la pelle en compression, permettant de détecter les différentes couches fragiles présentes, de préciser leur profondeur d'enfouissement et leur résistance au cisaillement. Chaque manteau neigeux a été également analysé par Mepra. Celui-ci détecte des niveaux d'instabilité éventuels à partir d'une analyse de l'équilibre mécanique de chaque couche de neige en fonction de sa résistance, de la charge que représente le poids des couches supérieures et de la charge additionnelle exercée par un skieur. Il en déduit ainsi des possibles niveaux d'instabilités dans le profil du manteau neigeux, puis recherche s'il existe au-dessus de ces niveaux des couches de neige présentant une cohésion de frittage, susceptibles de jouer le rôle de plaque. La comparaison des données d'observation sur le terrain avec les résultats fournis par le modèle a permis une validation qualitative de l'analyse Mepra du risque de déclenchement provoqué : niveaux d'instabilités, structures de plaque, niveaux de risque, etc. Elle a permis également de préciser les limites ainsi que les améliorations possibles du système actuel.

À l'intérieur d'une couche : les grains de neige à la loupe

La méthode classique de caractérisation des grains de neige est de prélever quelques grains d'une couche de neige et de les observer à l'aide d'une loupe pour en déterminer visuellement le type de grain et leur taille. Cette méthode est utilisée par les observateurs en France comme dans d'autres pays, le type de grain étant défini selon une classification internationale. Très pratique, elle présente toutefois l'inconvénient de dépendre assez sensiblement de l'observateur. Pour disposer d'un outil de mesure objectif des paramètres morphologiques des grains de neige, une méthode de détermination automatique des caractéristiques des



grains de neige à partir d'images a été développée au Centre d'Études de la Neige. Le principe consiste à disposer des grains de neige, isolés les uns des autres, sur une plaque de verre éclairée par une source lumineuse située en dessous. Une image de leur silhouette en 2D, grossie par une loupe binoculaire, est alors enregistrée. Pour chaque particule, des paramètres géométriques sont calculés. 65 échantillons de différents types de neige ont été utilisés pour déterminer quels paramètres sont les plus utiles à la reconnaissance automatique des types de grains. Les échantillons de neige fraîche sont les plus difficiles à caractériser, à cause de la grande diversité de formes possibles. Pour les neiges évoluées, le rayon convexe moyen fournit des éléments relatifs à la taille des grains, avec des résultats précis et reproductibles. Les écart-types des courbures ainsi que la distribution des rayons convexes sur l'ensemble des contours des grains jouent également un rôle essentiel dans le procédé de reconnaissance automatique. Cette étude a également permis de proposer une correspondance entre les paramètres calculés et la caractérisation de la morphologie de la neige utilisée dans le modèle Crocus. La principale limite de cette méthode d'observation des grains de neige est qu'elle ne permet pas d'étudier l'agencement des grains entre eux, ni les caractéristiques des ponts de glace les reliant. Dans le but d'analyser la neige sans briser les liaisons entre les grains, une technique de visualisation en trois dimensions, la microtomographie X par absorption, est utilisée depuis quelques années (voir article dans le prochain numéro). ■

Météo-France/Centre d'Études de la Neige