Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 105 (1954)

Heft: 7

Artikel: Protection contre les avalanches

Autor: Quervain, M. de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766660

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

105. Jahrgang | Juli 1954 | Nummer 7

Protection contre les avalanches

384.

Rapport général présenté par le Gouvernement suisse
(Inspection fédérale des forêts, chasse et pêche)

Dr *M. de Quervain,* Weissfluhjoch/Davos

A. Introduction (38.8)

Le présent rapport contient surtout les expériences faites en Suisse en matière de protection contre les avalanches. Il signale toutefois aussi des observations et des recommandations spéciales figurant dans les rapports des divers pays et permet ainsi de faire des comparaisons sur l'ensemble du sujet. Là où les avis d'autres pays correspondent aux expériences faites et déjà publiées en Suisse, il n'est pas indiqué de source. En revanche, lorsque de nouveaux points de vue sont présentés ou que des conceptions contraires sont exprimées, nous avons nommé l'auteur. En ce qui concerne les détails nous renvoyons aux rapports originaux et aux résumés.

En Suisse, les études sur la protection contre les avalanches ont été fortement intensifiées depuis 1932 environ, sans que des événements extérieurs y soient directement pour quelque chose. Des sommes considérables avaient déjà été investies dans des travaux de défense contre les avalanches entrepris sur l'initiative de J. Coaz, inspecteur général des forêts, dans la seconde moitié du siècle dernier. Les résultats obtenus montrèrent qu'en principe, l'on était sur la bonne voie pour ce

Figure 1
Photographie aérienne permettant de localiser les lignes de rupture d'avalanches
Meissenboden, canton de Glaris 1935
(Photo: Service aviation militaire)

Figure 2
Avalanche de fond près de Schmelzboden, Davos
(Photo Meerkämper)

Figure 3
Avalanche de neige sans cohésion, par endroits rupture en plaque de neige.
Région de Parsenn, Davos
(Photo Roch)

qui était des travaux de défense dans la zone de déclenchement, mais que les ouvrages édifiés ne donnaient pas entière satisfaction ni en ce qui concernait leur efficacité, ni au point de vue durabilité et frais d'entretien. Divers agents forestiers cantonaux et fédéraux (E. Eugster, M. Oechslin, E. Hess) s'efforcèrent, de leur propre chef, d'améliorer la technique des ouvrages de défense sur la base d'observations sur la neige et d'essais techniques. Ces efforts conduisirent à la constitution en Suisse de la Commission pour l'étude de la neige et des avalanches et enfin à la création de l'*Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches au Weissfluhjoch (1943).*

Après quelques années qui furent surtout consacrées à l'étude fondamentale de la neige, les avalanches catastrophiques de l'hiver 1950/51 — qui entraînèrent dans les Alpes la mort d'environ 300 personnes et y causèrent des dégâts considérables — exigèrent brusquement que l'on développât rapidement la protection contre les avalanches. Ces événements furent dans d'autres pays aussi le signal pour une attention accrue envers le problème des avalanches. Lorsqu'en janvier de l'année en cours (1954) certaines régions des Alpes furent de nouveau éprouvées par de funestes avalanches, on put croire dans les milieux non initiés qu'il n'existait pas de moyen propre à s'opposer à la violence et à la perfidie des avalanches. Ce n'est naturellement pas le cas. Dans un certain sens toutefois, les espoirs que l'on s'était faits à l'origine sur la manière de vaincre le problème posé par les avalanches ne se sont pas entièrement réalisés. Dans les programmes des divers pays on relève comme but des recherches le développement de mesures de protection plus efficaces et moins coûteuses. Grâce aux progrès accomplis au cours des dernières décennies, les mesures sont bien devenues plus efficaces, mais, à peu d'exceptions près, toujours plus onéreuses. Ceci résulte du fait que la neige ne se laisse pas circonvenir par des moyens de fortune. Ainsi que nous le montrerons plus loin, il existe des types d'ouvrages de défense qui se sont révélés très efficaces lors d'avalanches peu importantes, mais qui n'offrent absolument aucune garantie dans les situations extrêmes. Aujourd'hui, on peut sans autre se rendre maître des avalanches «normales»; toutefois, ce qui présente les plus grandes difficultés et entraîne des dépenses énormes, ce sont les mesures de sécurité en cas de conditions extraordinaires qui ne se produisent peut-être que deux ou trois fois par siècle.

B. Nomenclature des termes techniques relatifs à l'étude de la neige et des avalanches et aux travaux de défense contre les avalanches

Il est toujours avantageux, lors d'échanges de vues à l'échelon international, d'être au clair sur les termes utilisés. Il est moins important que la classification et la nomenclature soient parfaites sous tous les

rapports. Généralement, une même matière peut être subdivisée suivant des points de vue différents. Nous donnons ci-après quelques indications sur la nomenclature introduite en Suisse. Elle est utilisée dans les rapports et exposés des participants suisses au présent voyage d'études et a également été appliquée, lorsque cela était opportun, dans les résumés des rapports des autres pays, établis par nous.

1. Classification de la neige

Au sein de la Commission internationale pour la neige et la glace (branche de l'Association internationale d'hydrologie scientifique qui est elle-même rattachée à l'Union géodésique et géophysique internationale), on étudie depuis quelques années une classification internationale de la neige. Le projet accepté en 1951 à Bruxelles s'appuie sur la classification de la neige adoptée en Suisse depuis 1937 environ et on l'utilise maintenant sous cette forme. La principale caractéristique de cette classification est qu'elle est basée sur les propriétés de la neige que l'on peut mesurer et observer directement et qu'elle s'écarte autant que possible d'une terminologie. Le cadre en est le suivant:

a) La neige dans l'atmosphère (neige tombante)
On distingue dix formes d'hydrométéores solides en se basant sur des points de vue météorologiques et cristallographiques. Ces formes sont représentées par des nombres ou par des signes conventionnels, la taille des particules par l'indication du diamètre.

b) La gelée blanche, le givre (dépôt solide)
La gelée blanche, le givre mou, le givre dur et le verglas sont les quatre variétés de glace qui se forment sur des objets solides par la condensation et le brouillard.

c) La neige accumulée
Chaque genre de neige est défini par les caractéristiques suivantes:

Matière: poids spécifique (= valeur d'eau)
humidité (= teneur en eau liquide de la neige mouillée)
corps étrangers (sels, poussière, impuretés, etc.)

Structure: forme des cristaux ou des grains
grandeur des cristaux
cohésion (dureté, résistance)

Etat: température

Suivent dans la classification des indications sur la répartition de la neige, sa surface, etc. Les différentes caractéristiques sont subdivisées en cinq classes, que l'on distingue les unes des autres par des chiffres, des lettres ou des symboles graphiques, selon les besoins. Il faut, si possible, utiliser des nombres obtenus par mesurages (par exemple

grandeur des cristaux, résistance). La classification des formes de cristaux résulte dans une large mesure de la métamorphose naturelle:

Duveteuse (fraîche) → feutrée (se décomposant) → à cristaux ronds (métamorphose destructive) → à cristaux anguleux (métamorphose constructive) → formes creuses (dernier stade de la métamorphose constructive = neige coulante).

La cohésion entre les cristaux peut être basée sur l'observation directe des contacts entre les cristaux (1) ou être traduite sous forme de dureté mesurée ou évaluée ou par le chiffre de la résistance.

2. *Classification des avalanches*

On distingue les avalanches:
suivant le mécanisme du déclenchement:

les avalanches de neige sans cohésion (sèche ou mouillée)
les avalanches de plaques de neige (sèche ou mouillée);

suivant la manière dont elles se présentent dans la zone de glissement:

les avalanches de fond
les avalanches de neige poudreuse.

Cette classification a l'avantage d'être très simple et logique; en revanche, elle peut être qualifiée de grossière si l'on considère les nombreuses nuances du mécanisme de déclenchement et de la forme des avalanches en mouvement.

3. *Protection contre les avalanches*

Dans le rapport 1952 (Voyage d'études dans les Alpes françaises) (1), on a relevé un certain malentendu en ce qui concerne la distinction entre les *mesures de défense actives* et *passives*. Le rapport autrichien considère le déclenchement artificiel d'avalanches comme une mesure passive, alors que dans le rapport suisse on désigne sous mesures passives celles qui n'ont aucune influence sur la formation des avalanches. S'il faut subdiviser le sujet, il serait peut-être plus rationnel de distinguer les *mesures permanentes* et les *dispositions momentanées*. La première catégorie comprend les ouvrages de défense, les reboisements et les déplacements de bâtiments, et la seconde, en revanche, toutes les dispositions qu'il faut ordonner et appliquer chaque fois qu'il y a un danger d'avalanches, par exemple: les avertissements, l'interdiction de pénétrer dans la zone dangereuse, l'évacuation, les tirs d'avalanches et les sauvetages. Dans le présent rapport, nous avons choisi, à titre d'essai, cette distinction pour subdiviser le sujet.

4. *Genres d'ouvrages de défense*

En 1953, l'Inspection fédérale des forêts a adressé aux Inspections cantonales des forêts des instructions intitulées «Nomenclature des termes techniques pour les travaux de défense contre les avalanches»

(13). Elles ont pour but de remédier à l'abondance de termes (qui ont souvent plusieurs sens) désignant les divers genres d'ouvrages et de donner aux spécialistes suisses un vocabulaire leur permettant de mieux se comprendre entre eux. Nous en donnons ci-dessous quelques extraits:

I. *Travaux de défense contre les avalanches:*
Domaine spécial de la protection contre les avalanches par des constructions ou objet concret.

II. *Genres de travaux de défense contre les avalanches:*

A. Ouvrages de défense dans la zone de déclenchement (pour empêcher la formation d'avalanches):
   1. Ouvrages de retenue (pour étayer la couverture de neige et l'empêcher de glisser)
   2. Paravents (pour empêcher la formation d'avalanches en influençant le dépôt de la neige à l'aide du vent).

B. Travaux de défense dans les zones de glissement et d'accumulation des avalanches:
   1. Ouvrages de déviation
   2. Ouvrages de freinage.

III. *Disposition des ouvrages de défense:*
   1. Ouvrages de défense continus (rangées d'un seul tenant)
   2. Ouvrages de défense fragmentés (tronçons séparés).

IV. *Forme des ouvrages de défense:*
   1. Ouvrages massifs (par exemple murs)
   2. Ouvrages articulés (ouvrages composés d'éléments distincts)
   3. Ouvrages mixtes.

V. *Types d'ouvrages:*
(En ce qui concerne leur représentation intégrale, nous renvoyons à la publication.)

Ouvrages de retenue:	terrasse
	terrasse murée
	mur (libre ou remblayé)
	râtelier à traverses verticales, perpendiculaires à la courbe de niveau (figure 7)
	râtelier à traverses parallèles à la courbe de niveau (figure 8)
	barrière
	réseaux de câbles ou treillis
Paravents:	paravent plein
	paravent ajouré
	paravent en croix

Ouvrages de déviation:	mur (digue) de déviation
	tourne en coin
	toit-terrain
	galerie
Ouvrages de freinage:	mur (digue) de freinage
	tas freineurs
	coins freineurs
Ouvrages antirampement:	rangées de pieux.

C. Etude de la neige comme base de la protection contre les avalanches

L'étude de la neige découle pour une bonne part — et il en est de même dans de nombreux autres domaines de recherches — des soucis des gens du métier. L'influence de la couverture de neige sur les types d'ouvrages et la question du mécanisme de la formation des avalanches exigent l'étude des caractéristiques mécaniques de la couverture de neige; ces recherches se révèlent impossibles si l'on ne tient pas compte de la métamorphose de la neige qui demande elle-même des connaissances sur son accumulation et sur les conditions de température dans la couverture. Ainsi, un problème en entraîne un autre.

Nous pouvons aujourd'hui dresser une liste respectable de questions auxquelles nous voudrions que les savants répondent, afin de pouvoir garantir une protection plus efficace. Beaucoup de ces questions peuvent être liquidées une fois pour toutes sur la base des résultats de recherches fondamentales. D'autres exigent des recherches locales spéciales et enfin il est indispensable, pour juger de la situation d'avalanches, de suivre constamment une série d'événements tels que les phénomènes météorologiques, la composition et la décomposition de la couverture de neige dans des régions climatiques uniformes. Il ressort des rapports de divers pays que ces derniers renoncent à faire eux-mêmes des recherches sur la neige, vu que ces problèmes sont déjà étudiés ailleurs. Ceci ne se justifie que pour les questions fondamentales, mais non pour les observations locales qui ont tout autant d'importance.

La liste des bases nécessaires à la protection contre les avalanches qui font l'objet des recherches sur la neige est à peu près la suivante:

1. La répartition (en temps et lieu) des masses de neige sur le terrain sous différentes conditions météorologiques (en tant que problème fondamental, mais aussi comme observation courante, surtout comme étude préparatoire dans les régions où l'on envisage de prendre des mesures de protection).
2. Les conditions locales et de temps pour la formation des avalanches. Cette tâche aussi a un côté fondamental, à savoir: l'explication du mécanisme de la formation des avalanches. En obser-

vant constamment la situation d'avalanches, on peut mettre à temps les gens en garde contre ces dernières.

3. Le comportement des avalanches en mouvement (vitesse, effets de leur violence).
4. Les possibilités d'empêcher les déclenchements d'avalanches ou de prévenir leurs effets dévastateurs (découlant de 2 et 3).
5. Les effets de la couverture de neige sur les ouvrages prévus pour assurer la protection contre les avalanches, entre autres:
   — effets mécaniques (pression de la neige rampante et glissante);
   — effets chimiques (altération due aux intempéries, dégâts de gel);
   — effets biologiques (dégâts aux constructions de bois par des champignons et des insectes).
6. L'influence de la forêt sur la couverture de neige et vice versa, en particulier action freinante de la forêt sur la formation des avalanches, dommages causés à la forêt par la neige rampant au sol et par les avalanches.
7. Le comportement rationnel en cas de danger d'avalanches (touristes, population montagnarde).

Nous donnons ci-après quelques indications sur l'état actuel des connaissances concernant les points ci-dessus, dans la mesure où elles se rapportent à la protection contre les avalanches.

Il n'est en général pas très difficile d'établir la répartition des épaisseurs de la neige sur le terrain tant qu'il s'agit seulement de connaître la hauteur de la couverture de neige en certains points intéressants, afin de donner aux ouvrages de défense des dimensions appropriées. Pour ce faire, on utilise un réseau de jalons à neige et l'on mesure les valeurs intermédiaires par des sondages directs, à condition que l'on puisse parcourir le terrain. Il est souvent opportun de lire les mires de très loin, à l'aide de lunettes d'approche (par exemple de l'autre versant de la vallée). Sur les terrains accidentés, ces mesurages de l'épaisseur de la neige de point en point ne suffisent généralement pas pour déterminer les chutes réelles de neige, ni la couverture moyenne de neige. On a par suite essayé d'obtenir la configuration de la couverture de neige au moyen de relevés photogrammétriques. Le procédé s'est révélé acceptable, à condition que la surface de neige ait suffisamment de relief au moment du relevé; il est toutefois difficile à exécuter et coûteux. Les habituels mesurages directs des précipitations au moyen de totalisateurs donnent lieu à de grosses erreurs suivant l'endroit où ces appareils sont installés, quand les chutes de neige sont accompagnées de vent.

En ce qui concerne le mécanisme de formation des avalanches, nous possédons aujourd'hui des conceptions assez claires, ce qui ne signifie pas que nous puissions faire sans autre des pronostics concrets sur les avalanches.

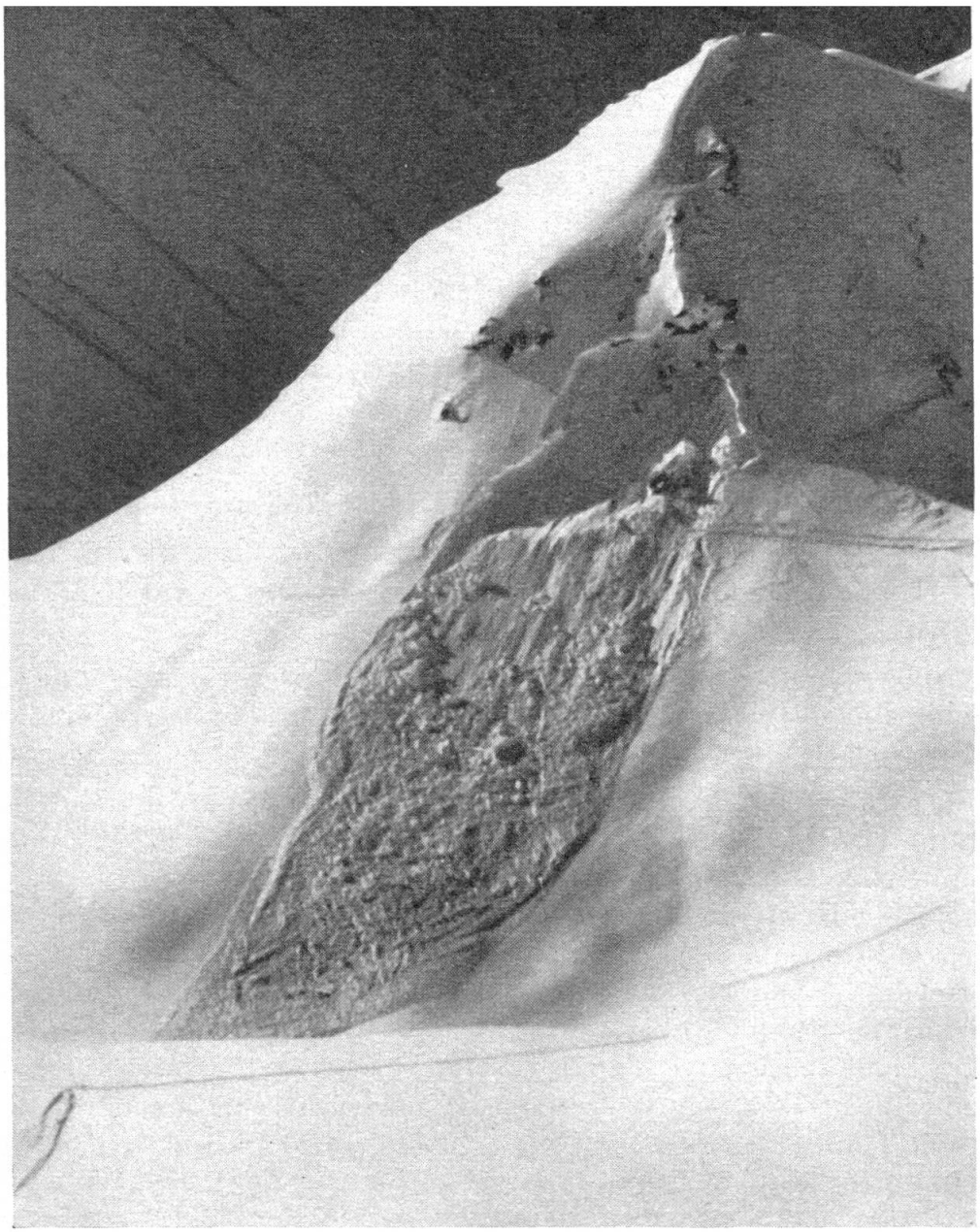

Figure 4

Avalanche de plaque de neige au Haupterkopf. Région de Parsenn, Davos
(Photo Masson)

L'*avalanche de neige sans cohésion* se forme soit dans la neige fraîche, soit, par perte de cohésion, dans de la vieille neige entièrement détrempée. Dans le premier cas, cette perte de cohésion est due à la disparition des dentelures entre les grains dendritiques; dans le second, à la suppression de la liaison entre les grains. En général, l'avalanche de

neige sans cohésion ne se déclenche qu'à la suite d'une perturbation plus ou moins forte.

La dangereuse *avalanche de plaque de neige* suppose l'existence d'une couche de neige plus ou moins fortement comprimée et soumise à des tensions. On peut distinguer deux cas: ou bien la couverture de neige se rompt tout d'abord dans une surface de glissement prédestinée et la rupture marquante (due à la traction) se produit après coup, ou bien cette dernière vient en premier lieu et provoque ensuite dans la surface la rupture due au cisaillement.

La couche dans laquelle cette rupture est à prévoir dépend de la relation qui existe entre la tension due au cisaillement et la résistance à la rupture au cisaillement, relation qui varie d'une couche à l'autre et qui peut être déterminée au moyen de mesures (inclinaison de la pente, poids spécifique, résistance). On a étudié pendant de nombreuses années la transformation de la neige fraîche sans cohésion en vieille neige à grains grossiers, de même que le changement de consistance dû à cette métamorphose. L'un des résultats les plus importants est que, l'âge augmentant, la résistance peut s'accroître ou diminuer suivant les circonstances. Des relevés méthodiques des profils durant près de vingt ans ont montré que les conditions météorologiques de chaque hiver entraînent une composition caractéristique de la couverture de neige. Suivant les cas, il se forme une couverture de neige saine et consistante ou une succession de couches donnant facilement naissance à des avalanches.

Les avalanches catastrophiques ne furent pas tellement dues à l'état de la couche de vieille neige qu'à l'abondance et à l'intensité des chutes de neige des jours qui précédèrent les funestes événements. Il ressort du rapport américain qu'on accorde la plus grande attention à l'*intensité des chutes de neige* pour juger du danger d'avalanches. Malheureusement, cette idée juste est de nouveau quelque peu faussée du fait que l'on introduit comme influence critique le produit de l'intensité des chutes de neige et de la durée de ces chutes (produit désigné par «facteur d'intensité»). Ce produit n'est autre chose que le volume des précipitations de la période considérée (exprimé en épaisseur de neige fraîche) et ne renseigne en rien sur l'intensité d'accroissement si importante. En résumé, on peut définir en principe quatre situations susceptibles d'entraîner un danger d'avalanches. Ces situations peuvent se présenter isolément ou bien dans toutes les combinaisons possibles.

a) Composition défavorable de la couverture de vieille neige, due aux conditions météorologiques de toute la période d'hiver précédente. Conséquence: Danger latent constant. Avalanches facilement déclenchées par des touristes. Danger devenant rapidement imminent sous les conditions suivantes (*b, c* et *d*).

b) Forte accumulation de neige fraîche en peu de temps

Conséquence: Il se produit des situations d'avalanches très dangereuses dans l'espace de 2 à 3 jours, même si le fondement de la vieille neige est solide. On peut grosso modo établir la règle suivante, lors de chutes de neige ininterrompues:

Accroissement de

20 à 30 cm:	danger d'avalanches modéré dans les champs de ski
30 à 50 cm:	danger général dans les champs de ski. Quelques avalanches isolées, assez importantes, peuvent descendre jusqu'au fond de la vallée (routes, chemin de fer)
50 à 100 cm:	danger général pour les voies de communication et les bâtiments exposés
plus de 100 cm:	gros danger général d'avalanches. Avalanches inhabituelles également possibles.

Cette récapitulation se rapporte à un terrain «normal», dans le genre de celui de la région de Davos par exemple.

c) Vents violents

Conséquence: Déplacement de la neige qui tombe ou est déjà déposée du côté au vent au côté sous le vent (côté abrité). En cet endroit, augmentation du danger local d'avalanches à cause de l'accroissement des masses de neige et de leur tassement favorisant la formation de plaques de neige.

d) Echauffement

Conséquence: Diminution momentanée de la résistance de la neige, surtout lorsque cette dernière se détrempe par suite d'échauffement. Formation d'avalanches de neige sans cohésion. Plus grande prédisposition à la formation d'avalanches de plaques de neige. D'autre part, l'augmentation de la température accélère le tassement et le durcissement; il provoque donc une crise passagère. Un rafraîchissement consécutif à un échauffement entraîne une stabilisation favorable.

Ce ne sont pas les théories qui manquent en ce qui concerne le *mécanisme du mouvement* des grosses avalanches, mais bien plutôt les observations et les mesurages exacts, vu que les décrochements se produisent souvent par mauvais temps et qu'en général il n'y a pas d'observateurs, ayant joui d'une formation scientifique, qui en soient témoins. Les phénomènes des avalanches en mouvement dépendent non pas du mécanisme de la rupture, mais de la structure du terrain et du genre de neige (sèche ou mouillée). Dans un couloir raide, la neige sèche donne naissance à une «*avalanche de neige poudreuse*». La neige mouillée épouse plutôt le sol et forme l'«*avalanche de fond*» qui glisse beaucoup

Figure 5

Avalanche de neige poudreuse près d'Adelboden

(Photo Pressbild, Berne)

plus lentement. On a déjà souvent mesuré la vitesse des avalanches de neige poudreuse. Les ouvrages techniques citent des chiffres allant jusqu'à 300 km/h. En ce qui concerne les avalanches de fond, on a généralement affaire à des vitesses inférieures à 100 km/h. Une avalanche peut, le cas échéant, se présenter simultanément sous forme d'avalanche de neige poudreuse et d'avalanche de fond lorsque les masses de neige sèche de la zone de déclenchement mettent plus bas en mouvement de la neige mouillée. L'avalanche de neige poudreuse passe alors par-dessus l'avalanche de fond (exemple: avalanche de Vallascia, près d'Airolo, du 12 février 1951).

Pour évaluer la violence des avalanches, on dispose malheureusement en suffisance de ruines de maisons des types les plus divers. Toutefois, lorsqu'on connaît la vitesse du courant, on peut aussi la calculer à l'aide de la science des courants. On a déjà procédé à des mesurages directs de ces forces, et il existe de nombreuses installations qui permettent d'espérer que l'on obtiendra sous peu de nouveaux résultats.

Outre les destructions par les avalanches, la couverture de neige provoque encore d'autres dégâts moins apparents; en effet, sous certaines conditions, elle glisse lentement en épousant le sol et, par conséquent, elle écrase les petits arbres, écorche le tapis d'herbe et exerce une forte pression sur tout obstacle. Des bâtiments assez légers peuvent, le cas échéant, aussi être comptés parmi les obstacles menacés et en tous cas les ouvrages de défense de quelque genre qu'ils soient.

La pression de la neige résultant de la reptation (mouvement coulant interne) et du glissement de la neige peut aussi être calculée (11), (12). Tant qu'il ne s'agit que de la pression due à la reptation, la théorie a été confirmée d'une manière satisfaisante par les mesurages (14). Ces derniers manquent toutefois encore en ce qui concerne le glissement; cependant, différents ouvrages de défense détruits montrent que la pression due au glissement peut anéantir des constructions de grandes dimensions.

Jusqu'ici, il a surtout été question des résultats obtenus par les recherches fondamentales effectuées méthodiquement en Suisse depuis vingt ans. Ces travaux se basent naturellement en partie sur les publications d'auteurs les plus divers. Nous rappellerons simplement les principes émis par W. Paulcke. Après 1945, les recherches d'autres pays ont été vulgarisées; des instituts de recherches furent créés, qui fournissent aujourd'hui constamment de nouvelles contributions en ce qui concerne le problème de la neige. Les travaux du «Snow, Ice and Permafrost Research Establishment», en Amérique, n'ont toutefois pas pour objectif la protection contre les avalanches, mais les questions sur la mécanique de la neige d'une portée générale. Nous devons à l'Institut autrichien de recherches sur la neige une méthode permettant d'étudier la fine stra-

tification de la couverture de neige et un procédé faisant dépendre la résistance de la neige directement de la liaison entre les cristaux, liaison qu'il est possible de mesurer.

D'autres questions encore se posent naturellement dans le domaine des recherches sur la neige, questions que nous ne pouvons analyser ici, comme par exemple l'ensemble du bilan hydrologique (précipitations, évaporation, accumulation, écoulement).

D. Observation des avalanches comme base pour l'établissement des projets ayant pour objet des mesures de protection permanente

1. Enregistrement des avalanches et leur report sur des cartes

Presque tous les pays qui ont affaire à des problèmes d'avalanches attirent l'attention sur l'importance de l'enregistrement des avalanches et de leur report sur des cartes (3), (4), (6), (7), (8), (10). L'enregistrement devrait comprendre non seulement la date et le lieu d'une avalanche, mais aussi des détails sur la forme de rupture, les effets dévastateurs, etc. Après que J. Coaz eut créé la première carte d'avalanches, on s'est bientôt demandé comment il fallait poursuivre cette œuvre. Sur presque tous les versants des vallées on avait inscrit des avalanches; ces inscriptions ne renseignaient toutefois nullement sur les conditions dans lesquelles ces avalanches s'étaient produites. De cette façon, on avait une idée pas tout à fait exacte du danger effectif.

On se rend parfaitement compte en Suisse que sans enregistrement ni commentaires, les cartes d'avalanches n'ont aucune valeur. Malheureusement il n'a pas encore été possible d'introduire un enregistrement uniforme. Il existe toutefois des cadastres des avalanches et des indications sur les conditions extrêmes de l'hiver 1950/51. De nouveaux relevés sont prévus pour la situation de janvier 1954. La recommandation, formulée par l'Autriche et la Norvège (2), (8) — de relever outre les avalanches dévastatrices proprement dites, également les avalanches menaçantes, c'est-à-dire celles d'assez grande envergure, qui se détachent dans des régions pouvant encore être ouvertes au trafic et à l'exploitation — mérite de retenir l'attention.

2. Photographies aériennes

Avant d'établir des projets de travaux de défense, il est indispensable de connaître exactement l'emplacement des zones de déclenchement. Toutefois, les terrains voisins ne permettent pas toujours d'observer, comme on le désirerait, la zone de rupture. L'avion s'est révélé être une aide précieuse, pour autant qu'il est possible de survoler la zone en question peu de jours après qu'une avalanche s'est décrochée et d'en faire des relevés photographiques. Lorsque l'éclairage est bon, la rupture se dessine relativement bien et l'on peut plus tard la localiser sans peine.

E. Protection permanente contre les avalanches

1. Rôle protecteur de la forêt

Les rapports de presque tous les pays mettent en lumière la fonction de protection de la forêt (3), (4), (5), (7). Sur les pentes menacées par les avalanches, il faut faire monter la forêt aussi haut que le permet sa limite climatique. Ce n'est pas pour porter atteinte à cette conception générale que nous signalons ici quelques-uns de ses points faibles. On sait tout d'abord que la forêt peut très bien éviter la formation d'avalanches sur toute sa surface. Mais on constate également qu'elle n'est pas appelée à retenir celles qui se sont décrochées très haut au-dessus d'elle. En Suisse, dans le domaine du subventionnement des travaux de défense contre les avalanches, la forêt est considérée non seulement comme facteur de protection, mais aussi comme objet à protéger.

On reproche à une certaine forme de peuplement de favoriser directement la formation d'avalanches (3), (7), (8). Il s'agit des aunes, des bouleaux, des saules et des pins rampants, essences qui ploient sous le poids de la neige. Elles empêchent la formation d'une fondation favorable de la couverture de neige en faisant obstacle au tassement et en ne permettant pas au vent d'atteindre les couches de neige les plus profondes. De ce fait, toutes les conditions sont remplies pour la formation intensive de neige coulante. Lorsque la charge augmente durant des chutes de neige assez abondantes, les branches de ces arbres se déplacent certainement de temps en temps et ces mouvements provoquent sans autre dans la neige des ruptures dues à la traction ou au cisaillement.

Nous croyons que cette forêt pionnière n'exerce ces effets que lorsque les couronnes sont entièrement enneigées. Plusieurs des essences susmentionnées sont appréciées parce qu'elles produisent de l'humus, et la question de savoir s'il faut les condamner à cause de leurs inconvénients devra être mûrement pesée.

Les événements de 1951 déjà ont prouvé qu'une haute futaie que l'on peut, vue du dehors, qualifier de dense, non seulement laisse passer les avalanches — le cas échéant sans être elle-même endommagée — mais encore qu'elle n'empêche pas leur rupture avec toute la garantie voulue. Ce fait a été largement confirmé en 1954 (avalanches de Bellegarde [Jaun] et des environs). On possède des photos aériennes qui montrent clairement des déclenchements d'avalanches à l'intérieur de forêts feuillues. L'étayage de la neige d'arbre en arbre ne suffit pas lorsqu'on a affaire à de grosses quantités de neige sèche sans cohésion que le vent n'a guère pu durcir au cœur de la forêt. En outre, la neige qui tombe des cimes provoque toujours le départ de nouvelles petites coulées de neige. A l'intérieur de la forêt, le courant de neige ainsi produit est plus ou moins retenu par les arbres. A la limite inférieure de la forêt, qui se trouve généralement à une certaine altitude au-dessus du

fond de la vallée, le freinage cesse et maintes avalanches peuvent atteindre une vitesse dangereuse avant de toucher les objets susceptibles d'être détruits. Ces expériences nous apprennent que seule une forêt dense avec sous-bois est capable d'empêcher avec certitude la formation d'avalanches, surtout lorsque le sol n'est pas accidenté.

L'Institut fédéral de recherches forestières et l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches examinent, dans un programme de travail commun et de longue haleine, la manière dont cette forêt peut être exhaussée et maintenue. Les plus grosses difficultés à vaincre dans le domaine des reboisements en montagne sont la médiocrité des terrains mis à disposition par l'agriculture et les dégâts causés par la neige aux plants durant leur jeunesse.

En relation avec les travaux de correction des torrents et de défense contre les avalanches, environ 26 600 ha ont été reboisés en Suisse depuis l'entrée en vigueur de la première loi forestière fédérale, en 1876. Les résultats de ces nouveaux boisements n'ont pas toujours répondu aux espoirs que l'on avait mis en eux. En maints endroits, on utilisa des essences ne correspondant pas à la station, et dans de nombreux cas, on n'accorda pas l'attention voulue à la provenance des semences. Ainsi, des échecs étaient inévitables. D'autres reboisements, bien réussis, ont eu davantage de succès, et d'une manière générale, le travail effectué jusqu'à présent est méritoire. Les expériences recueillies durant cette période nous permettront de procéder à l'avenir en tenant mieux compte des lois de la nature. En appliquant les enseignements de la phytosociologie, qui a été fortement développée depuis 20 ans, on pourra éviter de nouvelles erreurs grossières.

2. *Ouvrages de retenue*

En Suisse, les ouvrages de retenue devant prévenir la formation d'avalanches occupent, depuis Coaz, le premier rang des méthodes permanentes de défense contre les avalanches. Ceci découle certainement du fait qu'on exigea dès le début non seulement la protection locale d'objets isolés, mais aussi d'exécuter des ouvrages de retenue dans la zone de glissement des avalanches afin de protéger la forêt où cela est possible. Dans les pays où la protection de la forêt n'a pas la même importance (par exemple aux Etats-Unis et au Canada), les ouvrages de retenue sont pratiquement inconnus.

Les premiers ouvrages de retenue consistaient en *bermes, terrasses,* petits *murs* remblayés ou non; on pensait que l'on pouvait se borner, pour l'empêcher de glisser, à donner à la neige au sol un appui suffisant. Ces systèmes, qui sont appliqués encore en beaucoup d'endroits (3), (4), (7), peuvent rendre de bons services, lorsque l'épaisseur de la neige est faible. En tous cas, grâce à eux, la neige ne glisse pas directement sur le sol. Toutefois, dès que les épaisseurs de neige sont supé-

rieures aux dimensions des ouvrages (largeur des terrasses, hauteur des murs), ils ne suffisent plus. Après les premières chutes de neige assez importantes déjà, les terrasses peuvent être comblées et les murs remblayés; il se produit ainsi de nouvelles surfaces de glissement à l'intérieur de la couverture de neige. En conséquence, on en est venu très vite à la construction de murs plus élevés.

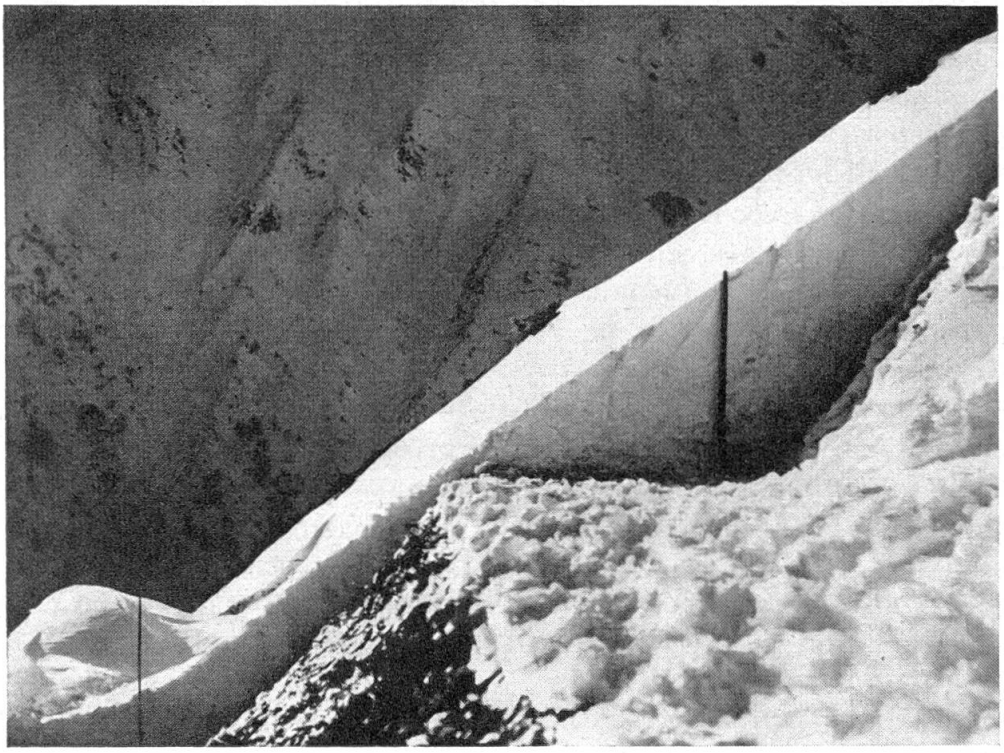

Figure 6
Terrasses recouvertes par la neige soufflée. La surface de la neige forme une base de glissement pour des couches ultérieures
(Photo E. Eugster)

La majeure partie des ouvrages de défense que l'on trouve dans les Alpes sont en maçonnerie sèche. Sur les versants escarpés, les murs doivent souvent avoir 4 à 5 m de hauteur en aval, afin d'atteindre une hauteur utile efficace de 2 m (perpendiculairement à la pente). Le propre poids des murs, lequel par rapport à la pression de la neige ne doit plus guère être pris en considération, exige de solides fondations. De ce fait, les ouvrages de défense reviennent souvent à des prix excessifs. En outre, les murs ne peuvent de prime abord être construits que là où l'on trouve de la pierre de bonne qualité à proximité immédiate. Au début, on n'a pas voué l'attention voulue, lors de la construction de murs, à certains problèmes, comme par exemple à l'*écoulement de l'eau* et à la question de savoir si le *sous-sol est à l'abri du gel.* De gros dégâts

et un entretien coûteux en furent les conséquences. En partant de simples rangées de pieux, on a, le siècle dernier déjà, établi des ouvrages de retenue en bois, généralement sous forme de barrières. Faute de données sur la pression de la neige, ces constructions, et surtout leurs fondations, ne furent pas toujours de nature à résister à la sollicitation à laquelle ils étaient soumis et leur durée fut très courte. En général, on n'a effectué des ouvrages en bois qu'à l'intérieur de la forêt et pour un temps limité, afin de permettre au reboisement de prospérer. Dans ce sens ils ont rendu d'utiles services.

Aujourd'hui, en Suisse, la technique des ouvrages de retenue s'est détournée des types massifs et travaille presque exclusivement avec des ouvrages articulés. A cause des couches de glissement internes, il s'est révélé indispensable de retenir toute la couverture de neige, du sol à la surface. Afin d'y parvenir avec le minimum de matériaux, on dispose perpendiculairement à la pente (ou aussi un peu plus incliné) une construction à traverses (râtelier) que l'on étaye en aval ou que l'on ancre en amont. L'ancrage est à recommander là où le rocher affleure, faute de quoi il faut donner la préférence aux arcs-boutants placés en aval. En Suisse, on utilise les barrières verticales (comme il s'en trouve beaucoup en Autriche) surtout lorsqu'il s'agit de rendre plus efficaces de vieux murs et terrasses jugés insuffisants (par exemple travaux de défense du Kirchberg, Andermatt).

Différentes questions de détail, encore à l'étude, se posent en ce qui concerne les ouvrages de retenue modernes, dont les dimensions sont calculées sur la base de la formule de la pression de la neige (11), (12).

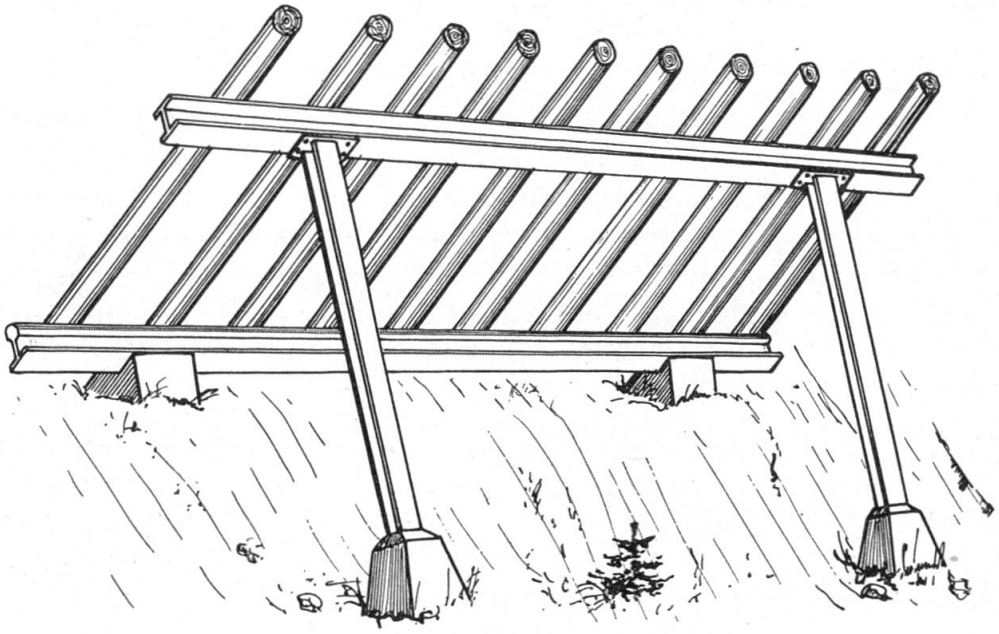

Figure 7

Râtelier à traverses perpendiculaires à la courbe de niveau

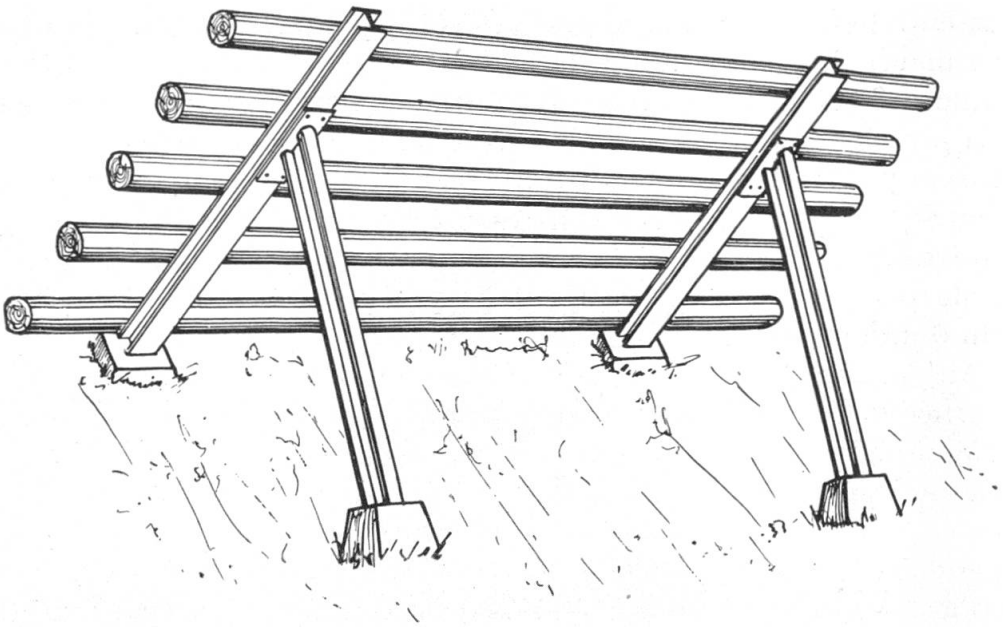

Figure 8

Râtelier à traverses parallèles à la courbe de niveau

L'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches en examine un certain nombre dans le champ d'expérimentation du Dorfberg (Davos).

Nous indiquons brièvement ci-dessous quelques problèmes et l'état actuel des réponses à ces problèmes.

a) Les matériaux utilisés pour les ouvrages de retenue

Les *ouvrages entièrement en bois* se prêtent pour des travaux de défense de durée restreinte, effectués en dessous de la limite de la végétation forestière. Aux endroits humides et ombragés, la durabilité du bois d'épicéa non imprégné n'atteint pas le temps nécessaire à la forêt pour devenir suffisamment résistante. Les bois doivent par conséquent être traités pour les protéger contre l'attaque des champignons. On étudie actuellement, dans le champ d'essai mentionné plus haut, les produits qui sont le mieux appropriés.

Pour les ouvrages de défense permanents, les arcs-boutants (et les ancrages) doivent être établis en matériaux durables. On utilise le fer, le métal léger, le béton armé (5), (6). Les traverses de bois sont rationnelles, même si l'on doit de temps en temps les remplacer. Ici également il est recommandé d'imprégner le bois.

Outre ces ouvrages de retenue formés de divers matériaux, on en a aussi créé en une seule matière, à savoir:

— Les *ouvrages en métal léger* profilé et laminé ou manufacturé sous presse. Leurs avantages sont les suivants: Faible poids des éléments (transport), montage facile et longue durabilité, à condition que l'on utilise du matériel résistant à la corrosion.

— Les *ouvrages en béton,* consistant en râteliers en béton précontraint que l'on peut assembler. Une fois installés, ils ne doivent plus être entretenus. Le poids des éléments est élevé, mais le montage sur le terrain s'est révélé relativement simple.

— A la place des râteliers, on utilise aussi, à titre d'essai, des *réseaux de câbles.* Avec une largeur de mailles d'environ 20 cm, la neige est suffisamment bien retenue dans le réseau. Comme les forces qui s'exercent sont en grande partie transmises sous forme de forces de traction, la construction est légère et peu coûteuse; elle se prête surtout à être employée sur les terrains rocheux.

b) Détails constructifs des ouvrages

En ce qui concerne les râteliers rigides, on peut se demander s'il vaut mieux disposer les traverses parallèlement ou bien perpendiculairement aux courbes de niveau et quels sont les écartements admissibles. Jusqu'à présent, la première question semble dépendre plus du genre d'ouvrage de retenue que de la façon dont il agira, bien que les râteliers à traverses parallèles aient plutôt tendance à se remblayer que les râteliers à traverses verticales. Afin de mieux retenir une couche de vieille neige durcie, on peut admettre pour ces derniers râteliers un écartement des traverses allant jusqu'à 100 cm. Toutefois, les expériences les plus récentes ont montré qu'un ouvrage de retenue devrait être à même d'arrêter les légères coulées de neige sans cohésion qui peuvent se produire lors d'abondantes chutes de neige. Dans ce cas, l'espacement devrait se limiter à environ 30 cm. D'autre part, si les traverses sont trop rapprochées, on risque de provoquer un remblayage indésirable des ouvrages. Il en va de même pour les râteliers à traverses parallèles à la courbe de niveau. En Espagne (4), on supprime le glissement de la neige sans cohésion au moyen de plaques de béton assemblées.

On a essayé d'établir la liaison entre arcs-boutants et supports de toutes les façons possibles. Lorsqu'on doit s'attendre à des mouvements dans le sous-sol, il est recommandé de choisir un assemblage articulé. D'une manière générale, lors du montage, on n'apprécie pas les vis à cause des difficultés d'ajustement. Pour les arcs-boutants sollicités à la rupture, on utilise les profils les plus divers (fers en T, en I, rails de chemin de fer, tuyaux remplis ou non de béton, blocs de béton) (5), (6). Ce sont souvent les matériaux disponibles qui déterminent le choix d'une solution.

c) Problèmes de fondations [1]

Les forces de pression qui s'exercent sur les traverses, forces dont on connaît plus ou moins la grandeur, la direction et le lieu où elles agissent, doivent être captées par le sol. Pour les deux types de râteliers étayés, on obtient par calcul une force de pression dans la direction des arcs-boutants et en outre une force de traction sur la partie supérieure de l'ouvrage. Avec l'écartement habituel des arcs-boutants (3—4 m), ces derniers doivent supporter des charges de l'ordre de 10 t. Lorsque le terrain est mauvais, les fondations doivent donc avoir une grande surface. Comme leur contact avec le sol devrait se faire en dessous de la profondeur maximum où le gel peut faire sentir ses effets, ces fondations doivent souvent être très profondes. Il convient d'accorder la plus grande attention à la structure des fondations. Leur qualité détermine finalement celle d'un ouvrage. Les fondations supérieures, sollicitées à la traction, sont plus difficiles à traiter que celles situées plus bas; mais on a constaté que la neige exerce un certain effet stabilisateur sur un ouvrage risquant d'être emporté. En tous cas, les râteliers établis à titre d'essai, qui reposent librement sur le dessus et ne sont fixés qu'à la fondation inférieure de manière à permettre une libre rotation, n'ont jusqu'à présent pas été renversés, à moins d'avoir été soumis à des forces dynamiques (coulées de neige).

En ce qui concerne la technique des fondations des ouvrages de défense contre les avalanches également, des essais approfondis sont en cours en Suisse, sur lesquels nous ne pouvons encore rien dire de précis.

d) Disposition des ouvrages de retenue

La question de l'espacement des ouvrages de retenue se repose constamment et a aussi été soulevée dans les rapports des divers pays (5), (6). De même, la question de savoir si les ouvrages de retenue doivent être continus (c'est-à-dire en rangées ininterrompues) ou bien s'il faut donner la préférence à des ouvrages échelonnés, plus courts. On a essayé de faire dépendre les écartements des ouvrages sur la ligne de plus grande pente des versants de l'inclinaison de la surface de la neige, inclinaison qui est donnée par la couche de neige s'étendant de l'arête supérieure d'un ouvrage au pied de l'ouvrage situé au-dessus. Cette inclinaison devrait rester inférieure à l'inclinaison de la couverture de neige nécessaire pour qu'il se produise des avalanches. Les écartements des ouvrages calculés de cette manière ont souvent fait leurs preuves pour des inclinaisons moyennes des versants (30 à 35°); sur les terrains plus

[1] L'exposé fondamental que M. le prof. Dr R. Hæfeli a tenu sur «La fondation des ouvrages de protection contre les avalanches et ses problèmes» lors du cours technique pour chefs de chantier le 19 mai 1954 à l'Institut d'hydraulique et de mécanique des sols de l'EPF, paraîtra dans le numéro de juillet de la revue «Strasse und Verkehr», Verlag VSS, Seefeldstrasse 9, Zurich (la rédaction).

escarpés, ils deviennent exagérément petits. En outre, la couverture de neige ne se comporte généralement pas comme on s'y attend. Suivant les conditions de vent, il se forme derrière les ouvrages de grosses accumulations locales de neige, à l'occasion aussi des entonnoirs, surtout lorsque les ouvrages sont fragmentés. A une certaine distance au-dessus de l'ouvrage, on retrouve habituellement dans la couverture de neige l'inclinaison naturelle de la pente.

Il ne nous semble pas tout à fait rationnel de faire dépendre l'écartement des ouvrages de leur hauteur ou de la hauteur de neige. Admettons que l'on construise dans une région des ouvrages basés sur une hauteur maximum de neige de 3 m et que dans une autre région à neige très abondante, de mêmes inclinaison et exposition, la hauteur maximum de neige soit de 5 m. Est-il logique de choisir dans le premier cas un espacement de 15 m et dans la région plus dangereuse et à neige plus abondante un écartement de 25 m? Il est bien juste que la zone d'accumulation d'un ouvrage augmente avec la hauteur de neige (et non avec la hauteur de l'ouvrage). Il peut toutefois se produire des ruptures d'avalanches avec les hauteurs de neige les plus diverses.

On pourrait peut-être formuler une règle simple dans ce sens que l'on détermine l'espacement des ouvrages d'après une différence de niveau fixe h du pied des ouvrages qui se suivent [2]. Pour une pente d'une inclinaison α il résultera, indépendamment de la hauteur de la neige et des ouvrages, un écartement de $s = h/\sin \alpha$ [par exemple pour $h = 13$, $s\ (30^\circ) = 36$ m, $s\ (40^\circ) = 26$ m, $s\ (50^\circ) = 17$ m]. Ces nombres correspondent à peu près aux expériences faites dans la pratique. Les écartements des ouvrages, économiquement admissibles, sont en général le multiple de la zone de retenue d'un ouvrage. A une certaine distance au-dessus du râtelier, on trouvera donc les mêmes conditions de tension que dans la zone neutre d'une pente non pourvue d'ouvrages de défense. Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les écartements devraient être calculés de manière que les avalanches se détachant à l'intérieur du périmètre des travaux ne puissent pas détruire les ouvrages. Lorsque les différences de niveau entre les ouvrages sont constantes, on obtient aussi des conditions constantes en ce qui concerne l'énergie déployée par d'éventuelles coulées.

Pour des raisons d'économie, on utilise souvent en lieu et place d'ouvrages continus des éléments de longueur limitée (par exemple 3 à 4 compartiments), écartés les uns des autres. Cette disposition fragmentée est rationnelle, si l'on a soin que les espaces libres de rangées

[2] L'exposé sur les ouvrages de défense en Savoie (L. Anchierri) (6), reçu après que le présent rapport avait été rédigé, contient des observations presque identiques sur la question de l'écartement des ouvrages. Il mentionne également que dans la pratique actuelle, il se produit des différences de niveau presque constantes entre les ouvrages.

d'ouvrages se succédant ne soient pas sur la même ligne de pente. Des intervalles jusqu'à 2 m semblent sans autre admissibles, vu que les effets latéraux exercés sur les bords des éléments de retenue correspondent, comme le montre l'expérience, à la moitié de la hauteur de neige. Les interruptions assez grandes devraient être étayées par le relief, par exemple par des côtes, des rochers, etc. Les ouvrages de défense fragmentés se prêtent particulièrement bien à l'emploi des types modernes préfabriqués.

3. Paravents

Il faut distinguer deux formes de paravents. L'une a pour but de lutter contre les effets défavorables du vent, comme les transports de neige soufflée sur les versants sous le vent et la formation de corniches; l'autre se sert du vent pour gêner le dépôt de la neige et partant pour empêcher le décrochement d'avalanches de plaques de neige.

En Suisse, les paravents disposés sur le côté exposé au vent sont moins répandus qu'en Norvège (7). Le rapport allemand (3) les mentionne dans un sens favorable, alors que le rapport français (celui concernant les Pyrénées) (5) cite plutôt des résultats non satisfaisants. Il existe d'assez nombreux ouvrages sur la manière dont agissent les paravents de différents types de construction, du fait que ce problème n'intéresse pas seulement le domaine des avalanches. La forêt y est indiquée, et avec raison, comme le paravant «au vent» le plus efficace (3). D'après les quelques expériences faites en Suisse à ce sujet (St-Antönien, Alp Grüm), ces parois n'agissent que localement et ne sont pas à même d'influencer profondément la quantité totale de neige tombant sur une pente sous le vent. Sous d'autres conditions topographiques, par exemple en Scandinavie où il revient à la neige soufflée, par rapport aux chutes de neige, une bien plus grande importance que dans les Alpes, les paravents peuvent certainement être efficaces. Le rapport français (Pyrénées) (5) contient une observation intéressante en ce qui concerne la manière dont on peut éviter la formation de corniches. Le mieux est de disposer, parallèlement au versant exposé au vent, une paroi dépassant la crête. Cette constatation correspond au comportement d'une même paroi au Schiahorn (Davos).

Les ruptures de corniches donnent certainement, à l'occasion, naissance à des avalanches. Peut-être exagère-t-on toutefois l'importance de ce genre de déclenchement. On ne peut en tous cas pas considérer un versant comme sûr lorsqu'on est parvenu à empêcher sur la crête la formation de corniches.

En Autriche (2), on a développé et examiné en détail le principe des paravents utilisés pour empêcher directement la formation de plaques de neige. Les entonnoirs qui se produisent dans la zone des constructions de bois appropriées (panneaux isolés ou parois en croix), de

même que les arêtes de neige s'étendant dans la direction des vents dominants doivent gêner la formation de couches glissantes et durcir la neige.

En Suisse, on a entrepris en divers endroits, avec succès jusqu'à présent, des essais avec des *parois contre la neige soufflée* (paravents favorisant la formation d'entonnoirs) disposées parallèlement à la ligne de plus grande pente. Cette disposition suppose que les vents dominants soufflent obliquement ou transversalement à la pente. Compte tenu des dégâts possibles dus à la pression de la neige, on a renoncé jusqu'ici à utiliser des *paravents en croix* (selon le modèle autrichien), efficaces pour n'importe quelle direction de vent. A côté des bons résultats obtenus, nous ne devons toutefois pas cacher que dans un cas (Grindelwald, janvier 1954), une assez grosse avalanche de plaque de neige s'est détachée à proximité immédiate d'un paravent. On n'attend pas, de prime abord, que les paravents empêchent la formation d'avalanches de neige sans cohésion. Comme leur construction est très peu coûteuse par rapport à celle des ouvrages de retenue, ils rendront certainement de bons services pour compléter ces derniers (4) et seront aussi utiles partout où il ne faut pas à tout prix prévenir la formation d'avalanches.

4. Ouvrages de défense dans la zone de glissement

Les *ouvrages de freinage* dans la zone de glissement servent à arrêter une avalanche avant qu'elle n'atteigne les objets menacés. Le rapport autrichien (2) renseigne aussi sur les expériences les plus récentes dans ce domaine. Nous ne connaissons pas d'autres exemples de coins et de tas freineurs, mais nous supposons que, vu les bons résultats obtenus avec ces ouvrages bon marché — surtout avec les coins freineurs — on continuera à les utiliser. Une maison suisse a créé, en relation avec l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, des *chevalets de freinage* articulés en béton précontraint. Il s'agit d'un système échelonné de coins aux flancs ajourés. La neige qui déferle est en partie détournée sur le côté et le reste se force un passage entre les traverses, de sorte que l'avalanche est freinée.

Une installation d'essai qui promet beaucoup se trouve près de Platta (Medel). Jusqu'à présent, elle n'a dû arrêter que de lentes avalanches de neige mouillée, de sorte que l'on ne peut pas encore se prononcer d'une manière définitive à son sujet.

On a entrepris d'autres essais de freinage avec des *câbles* (câble freineur du Salezertobel, Davos). On tend au travers du couloir qu'empruntent les avalanches que l'on veut freiner un câble solide, ancré des deux côtés dans le rocher; de ce câble, il s'en détache d'autres, disposés sous forme d'arcs, qui touchent le fond du couloir; ces divers câbles

constituent ainsi une sorte de filet. Actuellement on étudie tout d'abord quelles sont les forces qui s'exercent sur les câbles lorsque l'avalanche déferle et si l'on peut observer un effet de freinage.

Les *murs de freinage* frontaux disposés dans la zone de glissement sont jugés très différemment suivant les cas. Lorsqu'ils sont très élevés (comme indiqué dans le rapport espagnol [4]), leur succès est assuré d'emblée, surtout quand on peut tirer parti d'un coude du parcours de l'avalanche qui la freine naturellement. En revanche, si une avalanche,

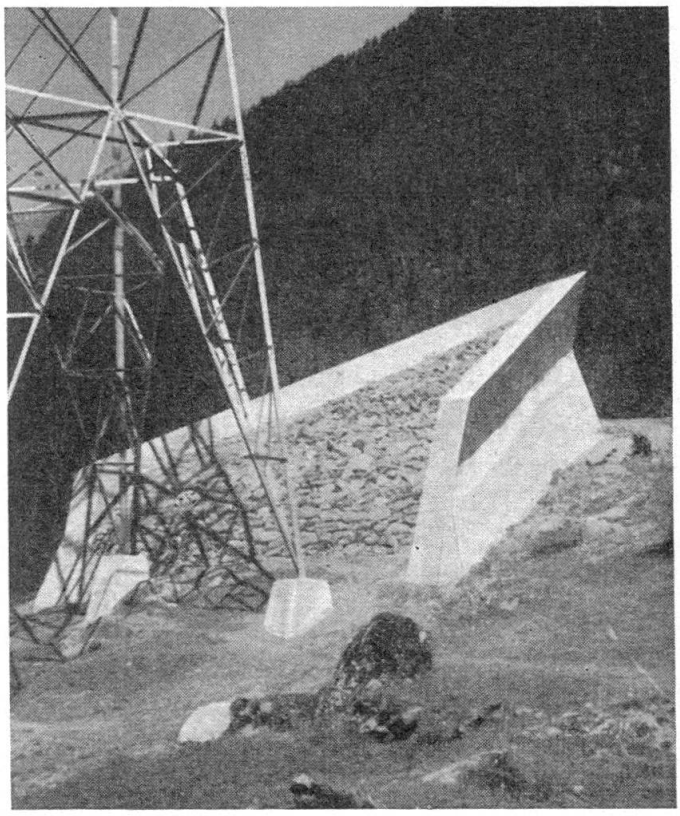

Figure 9
Tourne en coin pour protéger un pyplône. Mauvoisin
(Photo Roch)

que rien ne gêne dans sa course, touche un mur de déviation, dont la capacité de retenue devrait en soi suffire pour la neige qui afflue, le mur peut quand même être dépassé, vu que la neige qui déferle plus tard glisse par-dessus le premier dépôt (2). Le mur de 5 à 6 m de haut établi au début du siècle au-dessus d'Airolo surtout contre les chutes de pierres a, en 1951, bien pu atténuer la catastrophe, mais non pas l'empêcher. D'une manière générale, les murs de déviation — de même que les ouvrages de freinage — n'entrent en ligne de compte que pour les avalanches dont on connaît la zone de glissement, cette dernière devant avoir une largeur limitée. En Suisse, il existe relativement peu d'avalanches de ce genre qui menacent des objets méritant encore d'être protégés.

Les gros *ouvrages de déviation* et les *galeries* appartiennent aux constructions de protection qui ont fait leurs preuves. Malheureusement leur coût est souvent prohibitif. Nous renonçons à entrer ici dans le détail. Les services que rendent les installations de déviation construites près de maisons isolées ou pour protéger des pylônes, etc., sont moins convaincants; il s'agit en particulier des *tournes en coin* et des *toits-terrain*. Ils font partie des mesures de protection les plus anciennes et sont très répandus (7), (8). Si la hauteur d'un coin est suffisante et qu'il perce au travers du courant de l'avalanche, son efficacité est hors de doute. Il arrive cependant que les maisons ainsi protégées soient quand même recouvertes et enfoncées. Lorsqu'on construit des maisons, il faut donc tenir compte de ce fait. En ce qui concerne les toits-terrain, qui agissent à la manière d'une galerie, on admet d'emblée que les objets seront franchis. Un angle de 90° s'est vérifié être le plus favorable dans les tournes en coin. Des coins plus aigus peuvent facilement être détériorés lorsque la direction de l'avalanche s'écarte de la bissectrice.

5. Rangées de pieux antirampement

Les essais pour empêcher le glissement de la neige au moyen de rangées de pieux ne datent pas d'aujourd'hui. On croyait à l'origine pouvoir éviter ainsi la formation d'avalanches, dans l'ignorance du fait que la plupart des avalanches qui descendent au cœur de l'hiver ne glissent pas sur la surface de contact entre le sol et la neige, mais dans les couches internes et sans cohésion de la couverture de neige. Ensuite, on installa des rangées de pieux pour protéger les jeunes reboisements. On fit toujours de nouveau l'expérience que ces mesures n'étaient que de courte durée, les pieux étant arrachés.

Des essais méthodiques sur le glissement de la neige, actuellement en cours au Weissfluhjoch, renseignent sur les facteurs qui favorisent le glissement (pentes exposées au soleil, recouvertes d'herbe non fauchée, température du sol supérieure à 0° C), sur les vitesses de glissement entrant en ligne de compte et sur la stabilité des rangées de pieux. Ce dernier problème semble dépendre de la relation existant entre la partie du pieux enfoncée dans le sol et sa hauteur utile, mais naturellement aussi d'autres conditions (qualité du sol, densité du réseau de pieux, forme des pieux, etc.).

6. Indications statistiques concernant les travaux de défense et de reboisement effectués en vertu des lois forestières fédérales de 1876, puis de 1902

Nombre de projets exécutés	2692
Dépenses totales faites pour ces projets . . .	62,7 millions de francs
Subventions fédérales allouées pour ces travaux	36,1 millions de francs

Ces données se rapportent à tous les projets exécutés sur l'ensemble du territoire suisse avec la participation financière de la Confédération. Il s'agit de travaux de reboisement, d'ouvrages de protection contre les avalanches et les chutes de pierres, d'assainissements, ainsi que de corrections de torrents entreprises dans le haut bassin de réception de ceux-ci.

Depuis le tragique hiver 1950/51, la Confédération a dû prendre de nouvelles dispositions légales pour encourager le reboisement et la construction d'ouvrages de défense dans les régions menacées par les avalanches. Elle a, dans ce but, augmenté considérablement ses prestations financières, ce qui ressort des indications suivantes concernant uniquement les projets de reboisement et de travaux de défense contre les avalanches approuvés en vertu de ces nouvelles dispositions, soit du milieu de l'année 1952 et jusqu'à la fin d'avril 1954.

Selon les 56 projets approuvés et mis immédiatement en chantier, le reboisement de 517 ha et la construction d'ouvrages de défense contre les avalanches coûteront ensemble 23,9 millions de francs, dont 17,5 millions seront supportés par la Confédération.

F. Protection momentanée contre les avalanches

Il faut entendre par là les mesures que l'on doit prendre chaque fois que la situation devient dangereuse.

1. Service d'avertissement

Vu les bonnes expériences faites de 1940 à 1945 au sein de l'armée avec le service d'observation des avalanches et d'avertissement, l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches a établi après la guerre, sur une base civile, un service correspondant. En s'appuyant sur les communiqués hebdomadaires sur la neige, fournis par environ 25 stations d'observation réparties sur toute la région des Alpes suisses, l'Institut a publié, une fois par semaine durant les mois d'hiver, par radio et dans la presse, des bulletins d'avalanches. Ils étaient à l'origine surtout destinés aux touristes. Durant le funeste hiver 1951, on parvint bien à donner des avertissements exacts, toutefois le service se révéla trop lent pour pouvoir reconnaître immédiatement la situation qui changeait souvent très vite. On élargit en conséquence fortement l'organisation. Aujourd'hui, 50 stations d'observation sont en fonction, qui font parvenir journellement à l'office central du Weissfluhjoch, par téléphone, télégraphe et téléscripteur, au total mille rapports sur le temps et sur la couverture de neige. Elles adressent en outre chaque mois à l'office central deux relevés du profil de la neige. Comme au début, les bulletins sont publiés le vendredi à midi, mais on a maintenant toujours la possibilité de faire connaître dans des bulletins intermédiaires les

changements de situation. Depuis quelque temps, on peut entendre par téléphone (numéro spécial) le bulletin des avalanches, de même que les prévisions du temps.

Durant l'hiver 1953/54, trois bulletins en moyenne furent communiqués par semaine. Juste avant les funestes avalanches de janvier, on recommanda de barrer les voies de communication menacées et d'évacuer les maisons exposées. Nous ne savons pas encore jusqu'à quel point les mesures de prévention prises en maint endroit à temps l'ont été à la suite de ces avertissements. On constata toutefois que la population réagit plus rapidement et plus résolument en face du danger qu'en 1951, de sorte, qu'en regard des dégâts matériels, on eut à déplorer beaucoup moins de pertes humaines. Le service d'avertissement a été introduit aussi dans d'autres pays. Le Vorarlberg travaille, sous ce rapport, en étroite collaboration avec la Suisse.

2. *Déclenchement artificiel des avalanches*

Dans beaucoup de cas il ne vaut pas la peine d'établir des ouvrages de défense permanents pour résoudre un problème d'avalanches. Il suffit souvent que la sécurité soit garantie pendant un certain temps, par exemple lorsque des personnes ou des moyens de transport doivent s'arrêter passagèrement dans une région menacée où il ne se trouve pas d'autres objets susceptibles d'être détruits.

Dans de telles situations, le déclenchement artificiel des avalanches rend d'utiles services. Il est également employé pour faire descendre la neige par paquets et à plusieurs reprises dans de vastes périmètres, afin qu'il ne se détache pas de grosses avalanches dévastatrices. Cette méthode est certainement admissible, mais elle peut, le cas échéant, entraîner certains risques. En 1951, de gros dégâts se sont produits dans deux cas à la suite de tirs d'avalanches (Andermatt et Zuoz) ; dans l'un de ces cas on a même eu à déplorer des vies humaines. Par la suite on a bien pu rendre plausible que, même sans cette intervention, l'avalanche se serait décrochée plus tard et qu'elle aurait probablement eu des effets encore plus destructeurs. Cette catastrophe n'a néanmoins plus pu être séparée de la mesure prise par l'homme.

Le mode le plus simple et aussi le plus dangereux de décrocher l'avalanche consiste à *sauter, les skis aux pieds,* dans une pente où l'avalanche est prête à partir. S'il faut déjà parcourir la zone de déclenchement et si on peut le faire, il vaut mieux se servir d'une charge explosive (explosif placé dans une boîte en fer-blanc fixée à une corde et allumé au moyen d'une mèche). Pour les tirs effectués d'un endroit sûr, on emploie en Suisse presque exclusivement des lance-mines de 8,1 cm. Aux Etats-Unis, où l'on applique de plus en plus la méthode des tirs d'avalanches pour garantir la sécurité des voies de passage et des régions à excursions, on utilise des obusiers de poids moyen (9). L'Au-

triche propose des tirs de fusées (2). L'on ne dispose pas toujours de bonnes bases de tir; dans une région à ski étendue, par exemple celle du Parsenn (Davos, Klosters), il faut au contraire ouvrir les pistes; pour ce faire, on passe progressivement d'une pente à l'autre et l'on tire par étapes sur les avalanches. Afin de permettre cette opération, on étudie actuellement en Suisse la construction d'un appareil de tir léger et transportable, d'une portée d'environ 500 m.

3. Interdiction d'accès dans les zones dangereuses et évacuations

Il y a peu de chose à dire sur ces mesures qui sont également mentionnées par d'autres pays (6). Pour être efficaces, il est important qu'elles soient préparées longtemps à l'avance. Voici quels sont les travaux préliminaires:

— Désigner l'office d'avertissement responsable.
— Indiquer quelles sont les personnes compétentes pour les barrages de routes, la suspension de l'exploitation des entreprises de transport, l'organisation de l'évacuation des bâtiments et des parties de localités menacés.
— Déterminer les bâtiments, routes, etc. qui pourraient être menacés et qui entrent en ligne de compte pour des barrages ou des évacuations.
— Désigner les fonctionnaires responsables de l'application des mesures de sécurité.
— Déterminer les lieux où les personnes évacuées trouveront à se loger.

Des situations d'avalanches critiques peuvent se produire si rapidement et de manière si inattendue qu'il ne reste pas de temps pour de longues délibérations.

L'évacuation est toujours une mesure grave. L'expérience montre qu'il est difficile de décider les gens à quitter leur foyer. Une seconde évacuation se révèle encore plus difficile lorsque la première s'est passée sans dégâts (Airolo 1951!). En divers endroits qui ne se sentent pas absolument à l'abri, en Suisse et certainement aussi dans d'autres pays, on a déjà préparé les mesures pour les barrages et les évacuations. En général, on fait aussi le nécessaire pour organiser le service de sauvetage et de déblaiement.

4. Service de sauvetage

Comme la protection contre les avalanches ne s'arrête que lorsqu'il n'est plus possible d'aider les personnes ayant subi des dommages, le service de sauvetage appartient aussi au sujet traité. Habituellement, le service de sauvetage en cas d'avalanches est rattaché au service général de sauvetage alpin et ne fait qu'un avec ce dernier dans les pays des Alpes (par exemple en Allemagne la garde des montagnes). Dans les

centres de sports d'hiver plus importants, le service de sauvetage ainsi que la protection des pistes à skis et le transport des personnes victimes d'accidents de ski sont assumés par des patrouilles spéciales. Le *service du Parsenn* (Davos/Klosters) est réputé sous ce rapport. Dans le service de sauvetage, deux nouvelles méthodes ont été couronnées de succès ces dernières années, méthodes envers lesquelles on s'était montré plutôt sceptique jusqu'ici. Les *chiens d'avalanches* sont parvenus à plusieurs reprises à extraire des personnes vivantes du tombeau blanc où elles étaient ensevelies, alors que jusqu'à présent ils avaient dû se contenter de retrouver des morts. Le chien d'avalanches dressé et constamment entraîné est de plus en plus recherché pour assurer des sauvetages en cas d'avalanches. La principale difficulté consiste à l'emmener à temps sur les lieux de l'accident.

L'autre récente section du service de sauvetage, également couronnée de succès, est le *service suisse de surveillance et de sauvetage aériens*. Bien que les hélicoptères, dont on dispose, n'aient pas une hauteur de vol suffisante (1500 m au maximum) pour leur permettre de survoler les zones d'avalanches assez élevées, il n'en reste pas moins qu'on est parvenu, en épuisant toutes les possibilités existantes, à porter secours en Suisse et en Autriche. Les descentes en parachutes effectuées à titre d'essai dans des régions des hautes Alpes par des médecins et du personnel sanitaire, de même que les atterrissages sur des glaciers (H. Geiger), montrent qu'il est possible de secourir rapidement même les régions les plus écartées. Divers transports par avion de touristes blessés, effectués par mauvais temps directement du glacier à l'hôpital, l'ont nettement confirmé il n'y a pas longtemps (avril et mai 1954). Nous ne voulons en aucune manière diminuer par là les mérites qui reviennent au sauvetage classique à l'aide de patrouilles. L'intervention dévouée de guides et d'équipes de sauvetage connaissant les lieux et habitués à la montagne restera toujours indispensable.

(Trad. I. Müller)

Liste des rapports et ouvrages consultés

Rapports des pays

1. Rapports présentés à l'occasion du Voyage d'études dans les Alpes françaises. (Groupe de travail de la correction des torrents et de la lutte contre les avalanches) Ecole Nationale des Eaux et Forêts 1952.
2. Autriche: Stand der Schnee- und Lawinenforschung in Oesterreich. Dipl.-Ing. W. Hassenteufel.
3. Allemagne: Lawinenschutz und Lawinenverbauung. Prof. Dr.-Ing. Eduard Kirwald.
4. Espagne: Travaux de défense contre les avalanches en Espagne (par J. de Ayerbe Valles).
5. France: Les travaux de protection contre les avalanches dans les Hautes-Pyrénées (par P. Chimits).

6. France: Les travaux paravalanches dans le Département de la Savoie (par L. Anchierri).
7. Italie: Ricerche sulla neve, la formazione delle valanghe ed i lavori di difesa contro le valanghe in Italia (G. Cappuccini).
8. Norvège: Lawinen und Lawinenschutz in Norwegen (G. Ramsli).
9. Etats-Unis d'Amérique: Forest Service US Department of Agriculture: Avalanche Handbook (1952).
10. Yougoslavie: Rapport sur les avalanches dans la RP de Slovénie (par F. Rainer).

Quelques ouvrages suisses sur la protection contre les avalanches

11. Bucher E.: Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaues (1948) Kümmerly & Frey, Bern.
12. Haefeli R.: Schnee, Lawinen, Firn und Gletscher in L. Bendel: Ingenieur-Geologie, II. Band, Verlag Springer, Wien 1948.
13. Commission suisse pour l'étude de la neige et des avalanches: Nomenclature des termes techniques pour les travaux de défense contre les avalanches. La Forêt nos 3 et 4, décembre 1953 et janvier 1954 (deutsch: Verzeichnis der Fachausdrücke für Lawinenverbau, Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 10 1953).
14. Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Winter 1951/52. M. de Quervain und R. Figilister: Zum Schneedruckproblem. Winterbericht Nr. 16 des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung.
15. Schlatter A. J., Bucher E., Haefeli R., in der Gand H. R., Figilister R.: Lawinenverbau. Beiheft Nr. 26 zu den Zeitschriften des Schweiz. Forstvereins (1951).

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht enthält die schweizerischen Erfahrungen auf dem Gebiet des Lawinenschutzes mit Hinweisen auf die Berichte anderer Länder. Nach einer knappen Übersicht über die Schnee- und Lawinenklassifikation und die im Verbauungswesen in der Schweiz verwendete Terminologie werden die für den Lawinenschutz wesentlichen Beiträge der Schneeforschung erläutert, bestehend in Studien über

1. die örtliche und zeitliche Verteilung des Schnees im Gelände,
2. die zeitlichen und örtlichen Bedingungen für die Lawinenbildung,
3. den Mechanismus abstürzender Lawinen,
4. Möglichkeiten zur Verhinderung von Lawinen oder zur Verhütung von Schadenwirkungen,
5. Einwirkungen der Schneedecke auf Lawinenschutzvorrichtungen (Schneedruck),
6. Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Schneedecke,
7. Verhalten des Menschen bei Lawinengefahr.

Vorgängig aller Schutzmaßnahmen ist es wichtig, Beobachtungen über niedergegangene Lawinen zusammenzutragen. In verschiedenen Ländern werden hierzu *Lawinenkataster* geführt.

Unter dem *permanenten Lawinenschutz* wird zunächst die allgemein anerkannte Schutzwirkung des Waldes behandelt, wobei auch auf einige Schäden hingewiesen wird. Im Vordergrund der permanenten Schutzmaßnahmen steht die *Stützverbauung* im Anrißgebiet, die eine völlige Verhinderung der Lawinenbildung zum Ziel hat. Bis vor etwa zehn Jahren wurden hauptsächlich Terrassen und Mauern gebaut. Heute werden gegliederte Werke (Schneerechen und Schneebrücken) bevorzugt, da sie sich als wirksamer und billiger erwiesen haben. Es werden unterschieden Werke von befristeter Lebensdauer (aus Holz), die in aufforstbaren Gebieten errichtet werden, und permanente Werke, die oberhalb der natürlichen Waldgrenze zur Anwendung kommen. Für die letzteren werden neben Holz und Eisen neuerdings auch Materialien verwendet, die

keinen Unterhalt benötigen, nämlich Leichtmetall, vorgespannter Beton, Kabelnetze. Die neueren Anschauungen über die konstruktive Gestaltung von Stützwerken, über ihre Fundierung und Anordnung im Gelände werden dargelegt.

Als Ergänzung von Stützverbauungen kann die *Verwehungsverbauung* beigezogen werden. Sie dient einerseits der Verhinderung einer Treibschneeverfrachtung in die Lawinenanrißgebiete, anderseits der Störung der Schneeablagerung in den Anrißgebieten selbst.

Verbauungen in der Sturzbahn dienen der Verhinderung einer Schadenwirkung abgeglittener Lawinen durch *Bremselemente* (Mauerkeile, Erdhöcker, gegliederte Bockkonstruktionen, Kabelnetze), durch frontale *Fangmauern* und durch *Ablenkwerke* (Galerien, Spaltkeile). Alle diese Maßnahmen geben die Sturzbahn den Lawinen preis. Sie können dort nützlich sein, wo über den Weg, den die Lawinen einschlagen, kein Zweifel besteht. Nicht geeignet zum Lawinenschutz sind *Verpfählungen* (Pfahlreihen). Sie kommen dagegen in Betracht, um das der Vegetation schädliche langsame Gleiten der nassen Schneedecke zu verhindern. Der Abschnitt über die permanenten Schutzmaßnahmen wird abgeschlossen durch eine Übersicht über die in der Schweiz erstellten und projektierten Verbauungen.

Momentane Schutzmaßnahmen sind nicht baulicher Art und werden von Fall zu Fall getroffen; sie verlangen aber gleichwohl organisatorische Vorbereitungen. Dazu zählen: die *Lawinenwarnung* (in der Schweiz und in Teilen von Österreich stark ausgebaut), die *künstliche Auslösung von Lawinen* als Präventivmaßnahme, die Anordnung von *Sperrungen* und *Evakuationen* und der *Lawinenrettungsdienst*. Im Rettungsdienst hatten neben den klassischen Rettungspatrouillen Lawinenhunde und Flieger (Rettungsflugwacht) in jüngerer Zeit schöne Erfolge zu verzeichnen.

Summary

Avalanche Control

This report describes the experiences in avalanche control gained in Switzerland and briefly refers to the reports from other countries. A synopsis of the snow and avalanche classification and of the terminology applied in avalanche protection work in Switzerland is given. Then the report deals with those chapters of snow research having an important bearing on avalanche control, such as:

1. distribution of snow on the ground, both according to locality and time,
2. local and chronological conditions causing avalanche hazard,
3. mechanism of moving avalanches,
4. means of preventing avalanches and damages,
5. effects of the snow cover upon avalanche barricades (snow pressure),
6. correlations of vegetation and snow cover,
7. behaviour of men in case of avalanche hazard.

Before any active avalanche protection measures are to be carried out, all available data on previous avalanche occurrences should be collected. For this purpose several countries have established special *avalanche registers*.

Under the heading of *permanent avalanche protection* the report first mentions the forests generally known for their protective capacities. The most important means of permanent avalanche control are then the *snow supporting or holding barricades* erected in the break-off areas, intended to prevent any snow from sliding at all. Until some ten years ago mainly terraces and masonry walls were built. Today preference is being given to articulated structures such as "snow rakes" or "snow fences" and "snow retaining bridges", es being more effective and economical. It is being distinguished between temporary structures (mostly wooden), to be erected in areas suitable for afforestation, and permanent structures, to be erected above the

line of natural forest cover. The latter are increasingly being built of such materials as light alloys, pre-stressed concrete, steel cable networks etc., which all do not require heavy maintenance costs. Besides, the traditional materials, wood and iron, are still being used. The modern knowledge and aspects regarding the lay-out of foundation and construction of snow supporting structures are then being dealt with.

Snow supporting structures may be supplemented by *constructions controlling snow drift*. Their main purpose is to prevent snow from being carried away and drifted leeward, or to hinder or disturb deposit of such snow in potential avalanche break-off areas.

Constructions within the tumbling path of an avalanche may be erected to prevent sliding snow from causing damage, such structures consisting of *"slow-down elements"* (wedge-shaped masonry, earth humps, articulated A-frames, steel cable network), of *direct catchment walls* and of *diverting structures* (galleries, masonry wedges). All such constructions do not, however, hinder the avalanches from sliding. They may be useful in cases where the tumbling path is clearly defined. *Palisades* and similar pile-work do not lend themselves to avalanche control. They may be useful, however, to stop wet snow from creeping, slow movement which is very destructive to vegetation.

A record of all avalanche protection projects completed or under construction in Switzerland is attached to the chapter dealing with permanent protection measures.

Measures of *immediate protection* may be applied according to the necessities of each individual case, and require careful preparation. Such means are: *Avalanche hazard forecast and warning service* (efficiently developed in Switzerland and parts of Austria); *releasing of avalanches by means of explosives* as a measure of prevention; *closing or evacuating* of certain danger areas, and the *avalanche rescue service*. The traditional equipment of rescue patrols has recently been supplemented very successfully with avalanche dogs and air crafts. Transl. *A. Huber*

Travaux de protection contre les avalanches dans les Hautes-Pyrénées et notamment à Barèges

Par *P. Chimits,* ingénieur des Eaux et Forêts à Pau

(38.8)

Vue d'ensemble des problèmes de protection contre les avalanches dans les Pyrénées

Les divers problèmes de protection contre les avalanches dans les Hautes-Pyrénées peuvent être classés en:

1° Protection provisoire des chantiers de montagne.
2° Protection des routes.
3° Protection des agglomérations.

Figure 1

Avalanche du 3 mars 1951, cubant 60 000 m³, partie de la série domaniale de Gavarnie, division de Hount-Grane, et obstruant le Gave de Pau et la route nationale n° 21 de Luz à Gavarnie