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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 105 (1954)

Heft: 7

Artikel: Travaux de défense contre les avalanches en Espagne

Autor: Ayerbe, José Ma de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766662

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: 16.07.2025

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

1. Wind shields of a grill type set up on top of the ridge facilitated snow accumulation and thus contributed to the formation of dangerous cornices. Such structures must be altered or removed.
2. Round wood palisades acting as counter-slopes gave poor results (1952).
3. The only type of structures being successful up to date are round wood frameworks designed to prolong the natural slope beyond the ridge. They proved to be effective means to prevent accumulation of cornices.

These tests will be continued during 1954. Transl. *A. Huber*

Travaux de défense contre les avalanches en Espagne

Par *José Ma de Ayerbe,* Saragosse

(38.8)

Les chutes d'avalanches d'une certaine importance ne se produisent en Espagne que dans la région des Pyrénées. C'est la raison pour laquelle les travaux qui s'y rattachent ont été limités à cette chaîne de montagnes et se sont concentrés sur la défense de la Station internationale de Canfranc, seul point où ils étaient nécessaires.

Toutefois, bien qu'il s'agisse d'un problème aussi localisé et d'un espace relativement faible, l'importance de l'objet à protéger jointe à l'intensité et au volume des avalanches en cet endroit a demandé une étude minutieuse en vue de trouver les solutions les plus efficaces.

Sise au fond de l'étroite vallée creusée par l'Aragon, à très peu de distance de sa source, au lieu dit «los Arañones» — seul endroit où l'on pouvait s'installer — la Station internationale de Canfranc et ses services annexes étaient exposés de part et d'autre aux avalanches qui dévalaient de pentes atteignant 80 % et accusant un dénivellement de plus de 1300 mètres.

La difficulté à résoudre consistait non seulement à protéger la station internationale des désastreux effets des avalanches, mais aussi d'y parvenir dans un laps de temps relativement court, étant donné qu'en raison de son caractère l'œuvre devait être achevée et, tout à la fois, protégée dans un certain délai. Les avalanches descendaient, principalement, sur la rive droite par les fondrières d'«Estiviellas» et de «Secras» et, sur la rive gauche, par les ravins de «Picauve», «Cargates», «Epifanio» et «Borreguil de Saman», menaçant tout le plateau où l'on construisait les édifices de la station et qu'affectaient, en outre, les dépôts d'alluvions provenant du régime torrentiel desdites fondrières.

Les caractéristiques spéciales du problème à résoudre, que nous venons de décrire sommairement, ont exigé, étant donné la violence et l'intensité du phénomène sous ses divers aspects, que l'on essaie de nombreux ouvrages, afin qu'après en avoir constaté les effets et les résultats, l'on possède des renseignements plus concrets donnant une connais-

sance plus exacte des problèmes d'un genre similaire qui peuvent se présenter.

Depuis le début de ces travaux, en 1910, jusqu'à ce jour, la technique de défense contre les avalanches a beaucoup progressé. Les recherches commencées par les ingénieurs suisses, en 1931, nous ont apporté des renseignements du plus haut intérêt à cet égard qui, s'ajoutant à nos expériences propres, nous ont permis de déterminer, dans certains cas, l'efficacité ou, au contraire, les défauts de types d'ouvrages déterminés en nous livrant, tout d'abord, une connaissance plus approfondie de l'élément principal, la neige. Ce facteur nous a permis de choisir, en partant d'une base technique plus étendue, la classe et la distribution des ouvrages dans les endroits menacés et de prévoir, avec une certaine probabilité, l'imminence du danger.

En ce qui concerne l'Espagne, nous avons pu établir qu'en règle générale les chutes d'avalanches se produisent uniquement dans les endroits dépourvus d'arbres. Il apparaît de la sorte que le reboisement est le moyen le meilleur et le plus approprié de combattre ce fléau.

Ceci posé, il arrive cependant que, dans la plupart des cas, cet important facteur ne peut nous aider qu'en partie soit parce que la nature du sol (rocailleuse, d'altitude trop élevée ou aux pentes trop accentuées) ne se prête pas au reboisement, soit, comme cela s'est produit, parce que l'urgence des travaux ne nous permettait pas de disposer du temps indispensable à la croissance des arbres.

Pour ce motif, il nous a paru nécessaire de faire porter nos études et nos expériences sur les deux cas qui pouvaient se présenter: 1. Chutes d'avalanches en terrains susceptibles d'être reboisés. 2. Chutes d'avalanches en terrain non apte au reboisement.

Dans le premier cas, nous pouvons dire que le problème, s'il n'avait pas été compliqué par la grande urgence des travaux, aurait trouvé une solution relativement aisée, étant donné, plus particulièrement, la configuration de ces terrains en général à pentes douces. Car s'il est vrai que la neige entrave beaucoup le reboisement en déracinant et en entraînant les jeunes plantes, il est exact aussi que sur cette sorte de terrains les obstacles opposés à la formation de l'avalanche sont beaucoup moins compliqués en raison de la nature même de la pente et de l'avalanche qui s'y forme, dont le caractère est temporaire, puisque sa durée est réduite au temps que prend le reboisement à acquérir le développement suffisant et nécessaire à empêcher sa formation. D'autre part, ces obstacles, tout en s'opposant provisoirement aux avalanches, protègent les jeunes pousses.

Parmi ces ouvrages, nous avons pu constater que le plus efficace consistait dans la construction de râteliers en bois qui réunissent au maximum les deux avantages: soit d'éviter la formation de l'ava-

lanche et de protéger la plantation. Nous avons employé ces râteliers sur le torrent «Epifanio», en prenant pour modèles ceux qui ont été construits en Suisse par M. l'ingénieur Bucher et avons obtenu des résultats hautement satisfaisants, que nous nous plaisons à relever puisque nous avons résolu de la sorte le problème du reboisement difficile d'une partie de la vallée.

En ce qui concerne notre pays, on constate donc que, sous cet aspect, le problème n'offre pas de grandes difficultés, celles-ci ayant été vaincues par la construction de râteliers, de petites banquettes et par le reboisement.

Il n'est pas aussi facile, nous semble-t-il, de trouver la solution dans le second des cas, à savoir quand la totalité ou la plus grande partie de la défense doit reposer uniquement sur les ouvrages, le reboisement étant exclu.

Ce cas s'est présenté à nous fréquemment à Arañones, et nous pouvons diviser les travaux effectués en deux types principaux: 1. Ouvrages destinés à empêcher la formation des avalanches. 2. Ouvrages destinés à les contenir.

Sans aucun doute, il pouvait sembler à première vue qu'il suffisait d'édifier le premier type d'ouvrages, les seconds, par voie de conséquence, devenant inutiles. Nous n'avons cependant aujourd'hui qu'une idée approximative des forces sur lesquelles nous devons agir et la lutte contre les avalanches ménage toujours des surprises. Si donc, jusqu'ici, nous avons pu prendre une connaissance exacte et approfondie de la vallée et obtenir des renseignements d'ordre météorologique suffisants — quant à l'épaisseur de la couche de neige, etc. — ceux-ci ne nous permettent pas, néanmoins, d'être certains qu'en des occasions déterminées il ne se produise pas une grande accumulation de neige sur un point précis, ce qui nous oblige à prévoir une marge de sécurité que nous devons confier aux ouvrages d'arrêt.

D'autre part, comme nous le verrons plus loin, cette solution peut être, dans certains cas, plus économique que la première, ou plus rapidement et facilement réalisable, facteur important, dont il faudra tenir compte si l'urgence des travaux l'exige.

Pour ces raisons, nous estimons que les deux genres d'ouvrages doivent être étudiés et expérimentés.

Ouvrages destinés à empêcher la formation des avalanches

Les avalanches que nous avons eu à affronter à Arañones sont, principalement, des avalanches de fond, qui ont généralement pour origine la formation d'une faille dans la masse de neige, produite par un degré de cohésion différent entre les couches que les chutes de neige successives ont accumulées, ou des avalanches d'origine mixte

dites «de surface et de fond», produites par l'action d'un vent violent sur des masses de neige poudreuse amoncelées dans des cuvettes de réception qui, poussées par le vent, acquièrent un mouvement giratoire et sont déportées sur d'autres couches de neige. Ce phénomène provoque une avalanche de fond qui, jointe à l'avalanche de surface, constitue l'avalanche de caractère mixte. Ce genre d'avalanche se produit principalement dans les torrents «Epifanio» et «Estiviellas» du fait de la forme spéciale d'entonnoir de leur bassin de réception.

Quant aux avalanches de fond, nous avons pu constater que les failles dont il est question plus haut forment en général un angle de 90°, haut de un à trois mètres et long de 50 à 100 mètres, entraînant des avalanches qui ont dépassé 500 000 mètres cubes.

Pour ce genre d'avalanches, nous avons édifié plusieurs types d'ouvrages, adaptés aux différents lieux d'emplacement après étude préalable de leurs conditions: géologique, topographique, hauteur et qualité de la neige accumulée, force et direction des vents, heures d'insolation, oscillations de la température, etc. En suivant cette technique et en partant des parties les plus élevées des vallées, nous avons construit les genres d'ouvrages suivants: filets métalliques à proximité des lignes de rupture dans les terrains rocheux inclinés jusqu'à 35 %. Ces filets ont maintenu la neige, empêchant en grande partie qu'elle soit charriée par le vent et évitant ainsi la chute de grandes masses de neige sur les zones inférieures, ce qui a éliminé totalement la cause de formation des grandes avalanches mixtes. Cette zone franchie, et à proximité inférieure immédiate du départ des grandes pentes, on a construit des banquettes, plates-formes, murs et râteliers, afin de maintenir la neige en transformant une surface de grande déclivité où la neige s'accumule en équilibre instable en une pente réduite où les masses neigeuses, affectées d'autre part dans leur cohésion par l'action de l'ouvrage, peuvent demeurer sans danger qu'aucune force extérieure ne les mette en mouvement. Théoriquement ce problème semble facile à résoudre, mais il n'en va pas de même dans la pratique où il faut non seulement trouver d'abord une solution économique, mais encore choisir dans chaque cas l'ouvrage le plus efficace par rapport à l'épaisseur de la neige.

En partant de ce critère, nous avons étudié l'efficacité de chacun de ces ouvrages et déterminé que les banquettes et plates-formes n'ont guère d'action que sur une couche de neige à peine supérieure à leur propre hauteur, toute la neige tombant au-dessus de cette couche demeurant hors de leur portée. Quant aux murs, si nous pouvons les élever davantage, nous nous heurtons au grand inconvénient que constitue, dans les terrains très inclinés, le coût élevé de leurs fondations qui égalent presque en importance le mur lui-même, lequel, étant donné

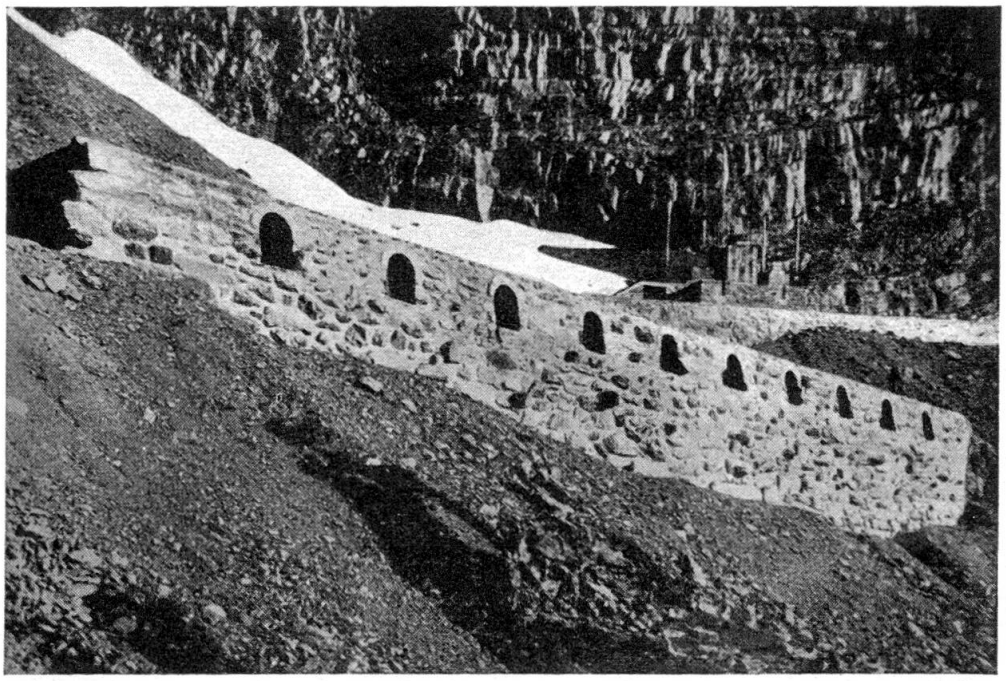

Figure 1
Murs de défense contre les avalanches

l'inclinaison de la pente, adhère trop étroitement à celle-ci et n'a par conséquent qu'une faible action sur la neige.

Pour ce motif nous sommes arrivés à la conclusion que le prix de revient de cet ouvrage est, dans la plupart des cas, sans rapport avec son efficacité et qu'il ne doit, en conséquence, être employé que si toute autre sorte de défense est impossible.

Nous en arrivons ainsi aux râteliers. Je crois que tous ceux d'entre nous qui se sont consacrés à ce genre d'études et ont observé le comportement de la neige, ont conclu à l'efficacité de ces ouvrages que les travaux et les expériences des ingénieurs suisses sont venus confirmer. A notre avis, nous estimons que tout ouvrage édifié en terrain de grande déclivité, et destiné par conséquent à soutenir une plus forte quantité de neige, doit saillir de la pente pour augmenter par là sa surface d'action. Les râteliers remplissent cette condition en présentant l'avantage supplémentaire d'aérer la neige sur une grande surface, ce qui augmente sa cohésion. L'action protectrice de cet ouvrage se trouve pour autant beaucoup plus étendue que toute autre.

C'est ainsi qu'en suivant ce critère, nous avons construit divers types de râteliers dont la différence consiste seulement dans le fait que les uns ont un caractère provisoire et les autres, permanent; les premiers sont en bois et les seconds sont entièrement construits en béton armé ou formés par des piliers de béton armé et des herses de

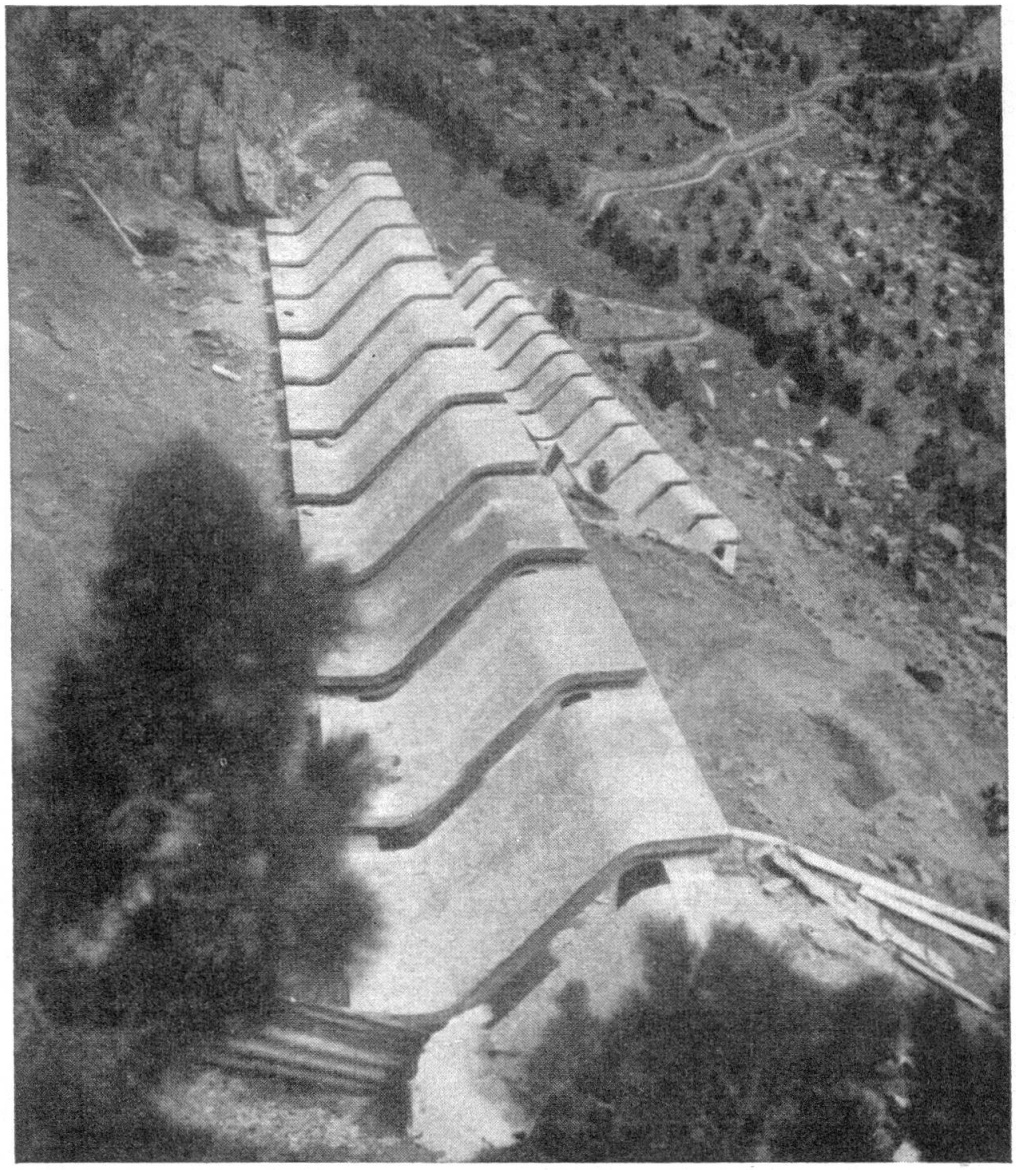

Figure 2

Râteliers en béton armé

bois. Tous ces modèles ont parfaitement satisfait aux besoins pour lesquels ils avaient été conçus.

Ce type d'ouvrages, toutefois, n'est pas approprié à tous les terrains, ce qui nous a forcés, parfois, à y apporter quelques modifications. Ce fait est dû principalement à l'existence de zones sises en aval de falaises ou de parties rocheuses où, au moment des dégels de printemps, se produisent des chutes de blocs de pierre. Dans ce cas, outre le reboisement auquel nous avons eu recours quand faire se pouvait, nous avons construit ce que nous appelons des râteliers munis de murs consistant dans

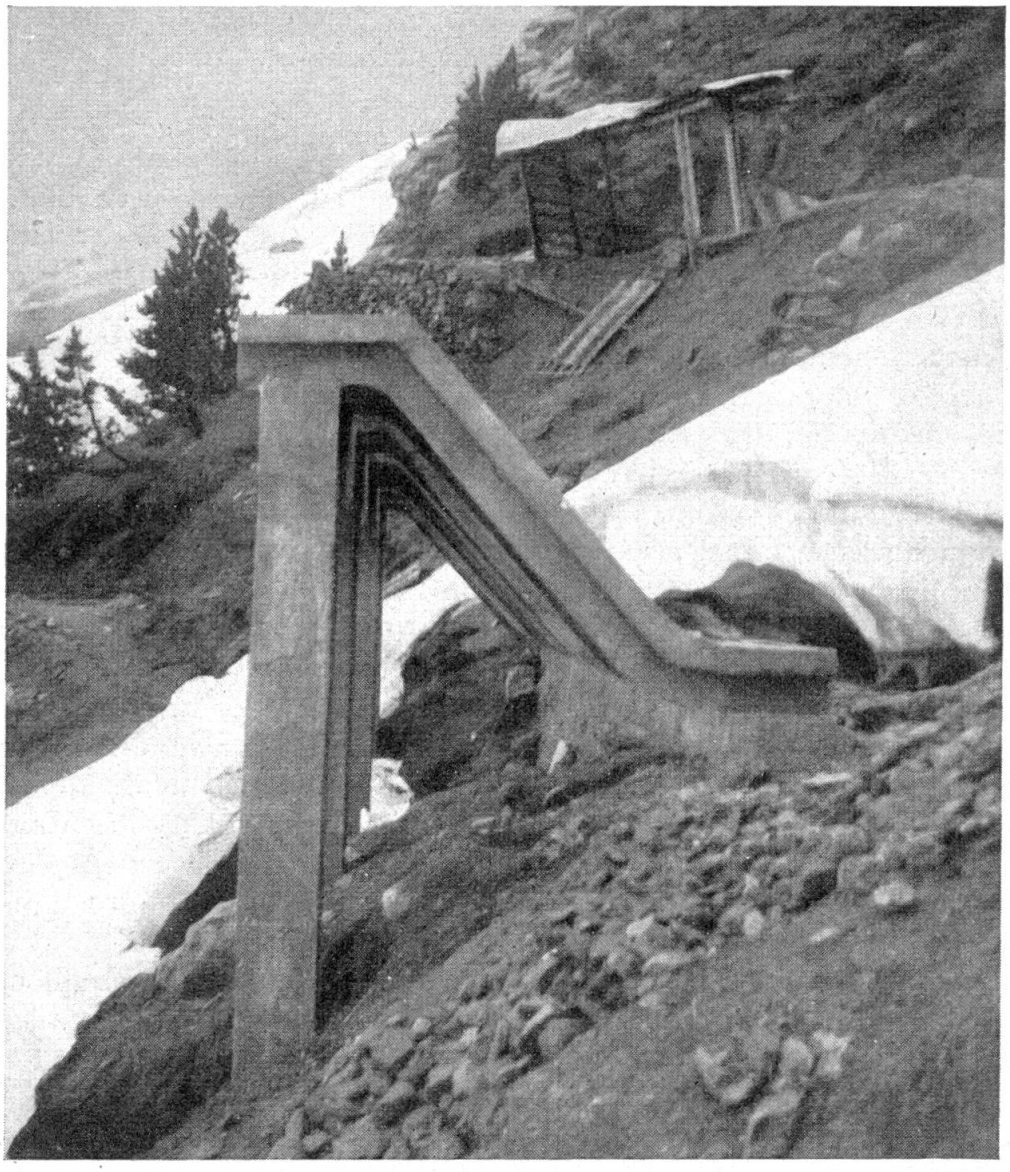

Figure 3

Râteliers en béton armé

la construction, en amont du râtelier, d'un petit mur qui est pourvu, en son parement postérieur, d'une sorte d'éperon de pierre destiné à amortir les chocs et à recevoir les blocs.

Nous voyons donc que le reboisement, d'une part, et, de l'autre, les différents types d'ouvrages que l'on peut construire, nous apportent les solutions nécessaires pour pouvoir agir et organiser une défense efficace contre les avalanches, en en évitant la formation. Cependant, pour arriver à une solution véritablement technique du problème, nous croyons qu'une connaissance encore plus exacte de la zone d'influence

de chaque ouvrage est nécessaire afin de déterminer la densité que celui-ci doit avoir pour retenir efficacement la neige.

Ouvrages destinés à contenir les avalanches

Ces ouvrages ne peuvent être utilisés que dans le cas où l'avalanche est canalisée par le lit d'un torrent. Prétendre contenir une avalanche dévalant une pente supposerait un ouvrage d'une telle résistance qu'il serait économiquement inacceptable. Il existe cependant des cas où les avalanches envahissent le lit d'un torrent et le suivent. Elles peuvent être arrêtées alors par la construction de digues dites «creuses». Remarquons encore que, dans cette alternative, le problème des avalanches est généralement compliqué par le régime torrentiel qui devra être au préalable étudié et résolu. Dans les cas mentionnés, nous avons utilisé les digues creuses ainsi appelées parce que leur bassin ne peut jamais se remplir de débris et parce qu'elles sont pourvues d'un égout de quatre mètres de large sur six mètres de haut où peuvent passer tous les alluvions que charrie le torrent et par où s'écoule l'eau provenant de la fonte de la neige de l'avalanche arrêtée.

La construction de ces digues a été faite en maçonnerie hydraulique et ses dimensions ont été déterminées empiriquement. Même en réunissant les conditions nécessaires décrites plus haut, l'édification de ces digues dépend des conditions du terrain, leur emplacement devant être choisi de telle manière que l'avalanche se heurte d'abord dans sa chute à la pente et perde ainsi la plus grande partie de sa force vive, pour que la digue puisse ensuite l'arrêter dans sa course considérablement ralentie. Nous chercherons, pour ce faire, un coude du torrent, seul obstacle capable de s'opposer au développement de l'avalanche.

Ces digues ont été construites avec un plein succès et retiennent chaque année de grandes quantités de neige, assurant la protection de la Station internationale de Canfranc.

Ce genre d'ouvrage peut paraître à première vue d'un coût élevé, mais en général il n'en est rien si l'on agit rationnellement. Outre la résistance qu'il doit avoir, qui dépend essentiellement de l'endroit de son emplacement, il est nécessaire qu'existe la relation voulue entre le volume du bassin de la digue et l'étendue de la zone de formation des avalanches qu'elle devra contenir. Ce, d'abord, pour pouvoir vérifier si ledit bassin a la capacité suffisante pour contenir l'avalanche probable et, ensuite, pour déterminer si la densité des ouvrages à édifier dans la zone de formation des avalanches est telle que, tenant compte de son étendue, elle implique une dépense inférieure, égale ou supérieure à celle de la digue. Dans ce dernier cas, la construction de celle-ci sera rationnelle. Il peut arriver, toutefois, comme cela s'est produit, que les ouvrages exécutés sur l'aire de formation des avalanches perdent de

leur efficacité si de nouvelles couches de neige viennent se superposer à celles qui ont déjà recouvert totalement les ouvrages et les débordent. Dans cette alternative, la digue creuse, comme nous l'avons dit plus haut, accroît le coefficient de sécurité en arrêtant toute cette masse de neige qui risque de glisser. Citons encore à l'appui de ce type d'ouvrages qu'ils ont un caractère permanent, car ils sont pratiquement indestructibles, et que leurs frais d'entretien sont pratiquement nuls.

Après cette vue d'ensemble, nous nous apercevons que, dans la plupart des cas — comme l'expérience l'a effectivement démontré — la formation des avalanches peut être évitée et qu'une défense efficace peut être organisée en utilisant le reboisement et en édifiant différents ouvrages de protection.

L'enseignement que nous a apporté la construction de ces ouvrages nous a permis de tirer des conclusions de caractère général quant à leur emploi et leur espacement. A savoir: pour les filets métalliques: pentes jusqu'à 30 %, avec un espacement comprenant dix fois leur hauteur. Banquettes de gazon: pentes jusqu'à 40 %, avec un espacement de douze à quinze fois leur hauteur. Murs: pentes jusqu'à 50 %, avec un espacement de quinze fois leur hauteur. Râteliers: pentes de 70 % et supérieures, avec un espacement de vingt fois leur hauteur. Digues creuses uniquement si les conditions topographiques et géologiques le permettent, l'espacement étant déterminé par le volume du bassin de réception et cette capacité étant en elle-même un élément important pour décider de la convenance de ce genre d'ouvrage qui doit être en rapport avec l'étendue où peut s'accumuler l'avalanche que l'on se propose d'arrêter.

Bien que ces travaux de défense aient donné des résultats satisfaisants, nous estimons, cependant, qu'une connaissance plus exacte de la neige est nécessaire sous ses différentes formes et ses multiples réactions, celles-là, comme il est naturel, dépendant de celles-ci et subissant l'influence de facteurs extérieurs tels que: topographie du terrain, géologie, orientation, vents, oscillations diurnes de température, etc. De telle sorte qu'une même qualité de neige peut réagir de plusieurs manières selon la modification de tel ou tel de ces éléments. Cette étude de la neige qu'ont entreprise avec tant de succès les ingénieurs suisses était indispensable et constituera une véritable science de la neige, où nous étudierons ce que nous pourrions appeler la «nivostatique» et la «nivodynamique». On doit y apporter la plus grande attention, puisqu'elle nous permettra d'aborder cet important problème avec le plus de chances de succès en partant de principes de base qui nous donneront les connaissances techniques suffisantes pour agir et résoudre les problèmes multiples et variés que posent, dans chaque cas particulier, les chutes d'avalanches.

Summary

Avalanche Control in Spain

Within Spain important avalanche hazard is known only in the Pyrenees, and protection works have been carried out above the international station of Canfranc only. There snow slides occur on slopes with a gradient of some 80 percent (38 degrees), with a vertical sliding distance of 1300 meters.

Construction work has been started in 1910. Since 1931 the results of research in Switzerland combined with local experience have proved to be very successful.

Generally speaking, avalanches in Spain occur on completely denuded slopes only. Therefore afforestation would be the best remedy. This, however, has not always been feasible, some of the snow accumulation areas being located too high or the slopes being too steep or rocky, and partly because the work was urgent and could not wait for the trees to grow.

Two different cases are distinguished:

1. protection from avalanches in terrain susceptible to afforestation,
2. protection from avalanches in terrain non susceptible to afforestation.

In the first case construction works are of temporary nature and must last only until the new forest has been established. Barricades prevent snow from breaking off and thus protect the young trees. The most effective structures are wooden rakes (model Bucher). They proved to be very successful and enabled afforestation of a part of the valley. Also terraces have been built.

In the second case, the sites not being susceptible to afforestation, retaining and supporting structures were applied, to prevent snow masses from breaking off as well as to retain them.

Structures to prevent snow accumulations from breaking loose

The avalanches to be dealt with are of the ground level type, and ground level and surface type combined (mixed type). As a rule, large cracks occur first, after which the ground level avalanche starts moving. The following types of protection structures have been applied:

1. A system of metal wire work has been installed above the fracture areas, on slopes with less than 20 degrees gradient, to prevent drift snow from accumulating. Through this procedure the major areas of high mixed-type avalanche hazard could successfully be stabilized.
2. Below this mentioned zone terraces, masonry walls and snow rakes were erected.
   Terraces are effective as long as the snow depth does not surpass the outer height of the terrace structures.
   Retaining walls must be made sufficiently high. Particularly on steep slopes, however, construction costs are very high and no more justified by the effect of these structures. Therefore walls should only be built where no other protection system appears to be feasible.
   Snow rakes or grates are very effective. Temporary rakes have been constructed of wood, whereas permanent structures were made of armed concrete, or combined of armed concrete supporting pillars with a wooden grate work.
   At certain places these snow rakes are exposed to being damaged by falling stones, which may have been released due to melting snow. In such cases, besides afforestation, protection walls have been erected above the snow rakes. Their uphill side is provided with masonry pillars acting as shock absorbers.

Structures to dam, tame, or retain avalanches

Such structures will be useful only where the tumbling avalanches are embanked in gulleys. Dams of a special design have been used. In their centre part they are provided with an opening of 4 meters wide and 6 meters high, through which the alluvial materials can pass. Such dams should be erected in places where the force of the moving avalanches is somewhat reduced by a break in the terrain configuration, so that the dam may be able to stop the movement. Such dams have proved to be very effective. Every year they stop large masses of snow, thus protecting the international station of Canfranc.

The cost of such dam structures appears to be very high, but it is, as a rule, still more economical than to barricade the avalanche break-off areas. The number of dams to be erected should be in relation to the size of the catchment basin of the respective avalanches. These structures are permanent, very resistant to destruction and do not require maintenance costs.

From experience the following standard data can be stated:

Type of structure	Slope gradient		Distance between the structures
	percent	degrees	
Metal wire work	30	17	10 times their height
Grass-covered terraces . .	40	22	12 to 15 times their height
Masonry walls	50	27	15 times their height
Snow rakes	70	35	20 times their height
Dams with throughpass .	according to terrain conditions		according to the size of the catchment area

Transl. *A. Huber*

Stand der Schnee- und Lawinenforschung in Österreich Ende 1953

Dipl.-Ing. *W. Hassenteufel,* Innsbruck

0. 384. [436

(38.8)

Auf Aufforderung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft fand im Jahre 1947 eine Besprechung aller an der Lawinenbekämpfung interessierten Stellen Österreichs in Innsbruck statt, bei der beschlossen wurde, einen Lawinendienst zu errichten, um dem bedrohlichen Ansteigen der Lawinenschäden entgegenzuwirken.

Im einzelnen wurden dieser Dienststelle folgende Aufgaben gestellt:

1. Verfassung eines Lawinenkatasters.
2. Verfassung eines Katasters der ausgeführten Lawinenverbauungen.
3. Einrichtung eines Lawinenbeobachtungsdienstes.
4. Schnee- und Lawinenforschung.
5. Auskünfte und Beratungen.