

ÉLÉMENTS POUR L'ÉTUDE
DES
PROJETS DE TRAVAUX
CONTRE LES AVALANCHES

PAR

L. GARAVEL

Ingénieur des Eaux et Forêts

AVANT-PROPOS

La question de la lutte contre le danger d'avalanches n'est pas nouvelle: elle a commencé à préoccuper les forestiers de montagne dès le milieu du siècle dernier en Suisse, quelques décades plus tard en France.

Des travaux souvent importants furent alors exécutés chez nous afin de remédier aux situations les plus graves.

Pendant, bien qu'ils aient dans la plupart des cas atteint leur but, ces travaux de défense directe passèrent peu à peu à l'arrière plan des préoccupations de nos forestiers de montagne sollicités plus impérativement par la réalisation de vastes travaux de boisement et de restauration des sols.

Toutefois, depuis une dizaine d'années, la question de la protection contre les avalanches connaît un renouveau d'actualité qui va se confirmant.

C'est qu'en effet, d'une saison à l'autre, la montagne tend à sortir davantage de sa traditionnelle torpeur hivernale. Les stations d'altitude se multiplient. De grands chantiers s'efforcent de poursuivre, même au cœur de l'hiver, la réalisation d'aménagements hydroélectriques. Ces nouveaux centres d'activité ne peuvent supporter l'isolement. Les routes, les lignes téléphoniques, les lignes électriques doivent être maintenues en service. Même la population des villages demeurés à l'écart de ces activités nouvelles supporte plus difficilement qu'autrefois d'être isolée.

Le trouble qu'apporte l'avalanche est donc de plus en plus gravement ressenti.

Aussi le forestier de montagne est-il fréquemment sollicité d'apporter son concours pour l'élaboration de projets de travaux de défense contre les avalanches: il importe donc qu'il soit tenu informé des techniques les plus efficaces en ce domaine.

Nos voisins suisses ont travaillé ces questions sans désespérer. Aussi sont-ils passés maîtres en ce genre de travaux. Les spécialistes helvétiques ont bien voulu accueillir à diverses reprises des forestiers français et les faire bénéficier de leur science.

C'est ainsi que j'ai pu étudier au cours de l'automne 1951 de nombreuses réalisations de protection contre les avalanches dans diverses régions de Suisse.

Ce sont les enseignements que j'ai tirés de cette mission d'étude que je me propose de présenter ici.

Avant d'aborder cet exposé, je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à M. de QUERVAIN, Directeur de l'Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches, ainsi qu'à l'ensemble des collaborateurs de cet Institut. Tous se sont efforcés de faciliter ma mission et de la rendre fructueuse.

Je remercie tout spécialement, cependant, MM. FIGLISTER et ZINGG dont le dévouement me fut particulièrement précieux.

Mes remerciements vont aussi à M. le Conservateur des Eaux et Forêts CHERREY: il m'a obligeamment communiqué l'abondante documentation qu'il avait recueillie lors d'une mission analogue en 1946. Il a bien voulu, en outre, me prodiguer ses conseils et me commenter de nombreux documents en langue allemande.

INTRODUCTION

La lutte contre l'avalanche n'est pas une fin en soi. L'opportunité des travaux se juge à l'importance des intérêts en cause. S'il est concevable d'évacuer la zone dangereuse, de reconstruire ailleurs les bâtiments menacés, de dégager la voie de communication coupée par l'avalanche à des conditions acceptables, il faudra toujours mettre en balance le coût de ces palliatifs, et celui des travaux de protection nécessaires (construction et *entretien*).

Cette réserve faite, et l'opportunité des travaux étant dûment justifiée, l'élaboration du projet doit se faire avec le double souci de l'*efficacité* et de l'*économie*.

Prenant argument de cette double préoccupation, deux conceptions fondamentales se dégagent :

- l'une acceptant l'avalanche,
- l'autre s'efforçant de l'empêcher.

Je qualifierai de :

Méthodes de protection passive celles visant à pallier les effets de l'avalanche (travaux de défense),

et de :

Méthodes de protection active, celles s'attaquant aux causes de l'avalanche (travaux d'extinction).

J'examinerai successivement ces deux méthodes en insistant plus particulièrement sur les techniques de stabilisation de la neige sur les versants avalanchueux, techniques que le forestier aura le plus souvent à appliquer.

I. — LES TRAVAUX DE DÉFENSE

Protection Passive

Le Problème:

Il s'agit de construire des ouvrages susceptibles de résister aux coulées de neige et d'en *modifier le mouvement*.

Les Données:

Elles demeurent empiriques. En effet, le plus souvent, le volume et la vitesse de la plus forte coulée possible sont inconnus. On se contente généralement d'apprécier l'épaisseur de la coulée au point d'intervention retenu.

Les Solutions Possibles: — arrêter la coulée,
— dévier la coulée,
— freiner la coulée.

LES TYPES D'OUVRAGES

Le tableau ci-après, n° 1, groupe les principaux types d'ouvrages de défense d'après leur mode d'action et leur lieu d'implantation.

TABLEAU N° 1

PRINCIPAUX TYPES D'OUVRAGES DE PROTECTION PASSIVE

Mode d'action de l'ouvrage	Lieu d'implantation de l'ouvrage	Types d'ouvrages
Arrêt de la coulée.	en bordure de la zone d'accumulation.	<i>Digues en terre.</i> <i>Murs en pierres sèches ou maçonneries, renforcées par un remblai.</i>
Modification de la trajectoire de la coulée	a) du débouché du couloir à la zone d'accumulation.	Déflecteurs { <i>Digues en terre.</i> <i>Murs.</i> <i>Ouvrages en rondins.</i>
	b) à proximité immédiate de l'installation à protéger.	
Freinage de la coulée	a) dans le couloir même.	<i>Barrages-filtrés.</i> <i>Câbles.</i>
	b) du débouché du couloir à la zone d'accumulation.	<i>Coins.</i> <i>Tas.</i>

INDICATIONS COMPLÉMENTAIRES

1) *Ouvrages d'arrêt.*

Murs et Dignes d'arrêt: Ils n'ont pas de caractéristiques définies. Ces ouvrages sont édifiés le plus souvent en bordure de la zone d'accumulation, en vue de parer à une coulée exceptionnellement puissante, parfois sur un plateau traversé par l'avalanche avant de s'écouler plus en aval. Le creusement d'un fossé amont augmente sensiblement leur efficacité d'ailleurs souvent contestée.

2) *Ouvrages de déviation.*

Défecteurs: Le choix du point d'intervention ainsi que la disposition à donner aux ouvrages résultent des données locales. Des décrochements latéraux (redans) permettent d'interrompre la continuité du dispositif, donc son coût, sans en altérer l'efficacité. L'angle de déviation ne doit pas être trop considérable de façon à éviter l'arrêt de l'avalanche au niveau de l'ouvrage. S'il était submergé par la neige, il ne pourrait, en effet, jouer son rôle au cas où surviendrait une seconde coulée.

Tournes (éperons): Ces ouvrages sont destinés à la protection d'objectifs bien déterminés (maisons, pylônes...). L'angle d'attaque est généralement de l'ordre de 60°. La tourne est d'autant moins efficace que la couche de neige est plus épaisse. Elle risque, alors, de jouer le rôle non d'une étrave mais d'un tremplin. Le bâtiment protégé doit donc être conçu pour résister à cette éventualité (toit-tremplin à charpente renforcée ou dalle).

Galeries à neige: Ces ouvrages sont destinés à protéger les routes ou les voies ferrées au droit des couloirs d'avalanches. Le toit de la galerie joue le rôle d'un tremplin. Les galeries sont efficaces mais relativement coûteuses. Elles ont de plus une fâcheuse tendance à stocker la neige soufflée. Elles sont réalisées le plus souvent en béton armé. Le bois (poutres et rondins) est employé pour les ouvrages temporaires.

3) *Ouvrages de freinage.*

Judicieusement conçus et disposés, ces ouvrages limitent le parcours de l'avalanche vers l'aval, tout en demeurant dégagés, donc prêts à agir sur de nouvelles coulées. Le freinage est réalisé par l'augmentation des frottements, ce que l'on obtient en intervenant :

a) soit *dans les couloirs* en les barrant par des ouvrages appropriés (*barrages-filtres* ou *câbles*).

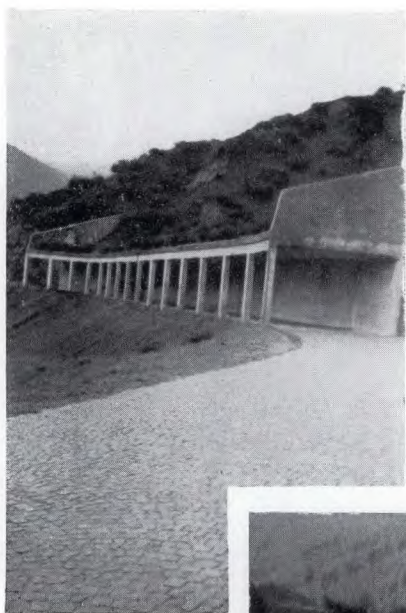
b) soit *au débouché des couloirs* par l'édification d'obstacles judicieusement disposés (cabrettes charpentées appelées « coins » ou môles terrassés plus ou moins protégés vers l'amont appelés « tas » (1). Ces obstacles divisent la neige en mouvement, la forçant à s'étaler et provoquant ainsi son arrêt anticipé.

CHOIX DU DISPOSITIF LE MIEUX APPROPRIÉ

Ce choix est fonction de la nature de l'objectif à protéger, de la disposition des lieux et du degré de sécurité à obtenir.

On ne saurait dégager de principes généraux, les conditions locales étant prépondérantes.

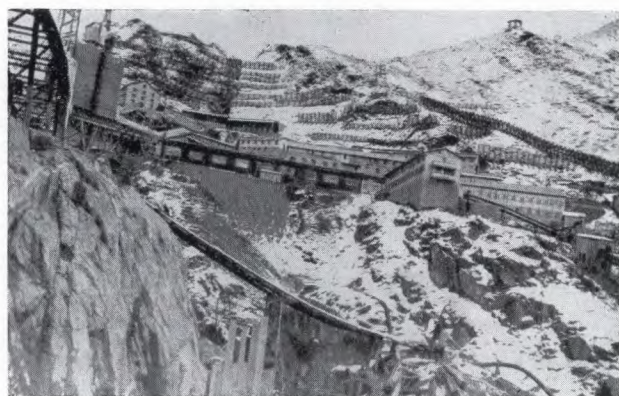
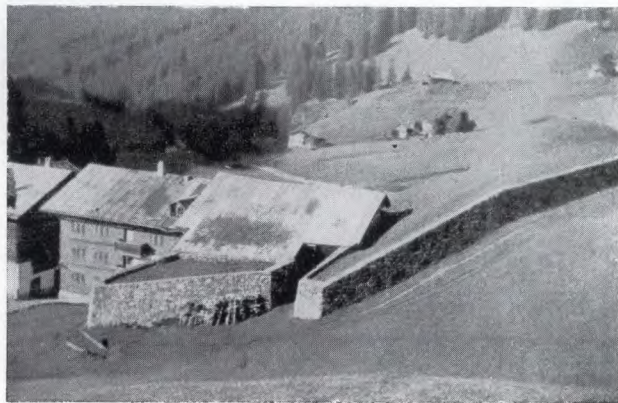
(1) Pour les détails concernant ces types d'ouvrages, consulter l'article de M. l'Ingénieur ROLLEY: « Nouveaux types d'ouvrages de Retenue et de Freinage expérimentés en Suisse contre les Avalanches », *Revue Forestière Française*, n° 1 de janvier 1955.



2. Galerie
sur la route
du Susten pass.



1. La neige possède
une certaine résistance à la rupture..
(Cliché Huin.)



4. Protection temporaire - Chantier de haute montagne.
Barrage de l'Oberaar (2200 m)
Coexistence d'ouvrages de défense active et passive.
(Déflecteur en rondin à droite du cliché).

3. « Tourne »
à St Antonien.

5. Banquette (Oisans)
(Cliché Huin.)



6. Renforcement
d'une terrasse
par un balcon
à neige.



8. Mur treillagé.



7. Mur remblayé.

II. — LES TRAVAUX D'EXTINCTION

Protection Active

Le Problème:

Stabiliser la neige sur le versant avalancheux.

Les Données:

L'instabilité de la couche de neige est due à l'effet de la pesanteur et peut se manifester:

- a) soit par le départ d'une « coulée de neige sans cohésion »,
- b) soit par la rupture d'une plaque de neige, lorsque l'effort de traction subi par le manteau neigeux, par suite de sa reptation, est supérieur à sa résistance à la rupture.

Un dispositif de stabilisation doit donc être à même d'empêcher le départ d'avalanches de l'un ou l'autre type. Il doit, en conséquence, satisfaire aux deux impératifs ci-après:

- 1) maintenir l'effort sollicitant tout agrégat neigeux et en particulier la neige superficielle, constamment en dessous d'une valeur limite fonction de l'état de cette neige.
- 2) empêcher que les efforts de traction prenant naissance dans la couverture neigeuse ne viennent à dépasser sa limite de résistance à la rupture.

Les éléments de la solution:

La première exigence peut théoriquement être réalisée de deux façons:

- 1) en diminuant l'effort sollicitant la neige de surface vers l'aval ce que l'on obtient en réduisant sa pente,
- 2) en augmentant la cohésion de cette neige de surface.

Pratiquement, il n'est pas possible de retenir cette seconde possibilité, la cohésion dépendant du temps et des conditions météorologiques. Des dispositifs mettant à profit la force du vent pour modifier la répartition, ou provoquer le tassement de la neige poudreuse, peuvent être localement et passagèrement efficaces, mais sont tributaires de l'état de l'atmosphère. La protection par de tels dispo-

PLANCHE I

Dynamique de la neige.

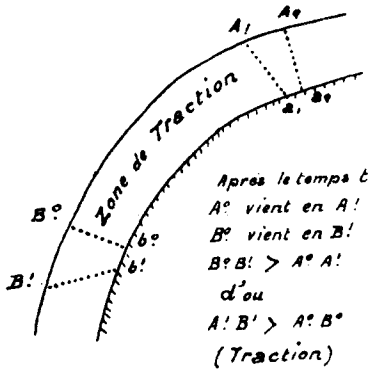


FIG. 1.
 Action du relief
 sur la vitesse de reptation.

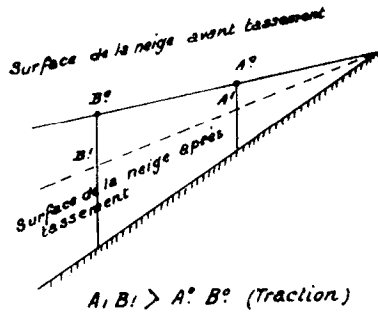


FIG. 2.
 Action du tassement
 sur une couche dont l'épaisseur
 augmente vers l'aval.

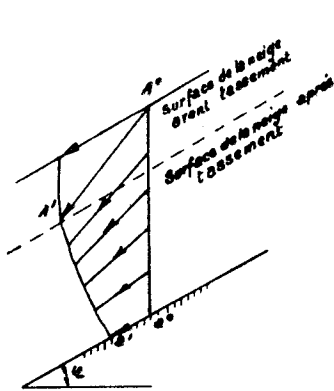


FIG. 3.
 Surface lisse.
 La couverture de neige glisse
 toute entière.

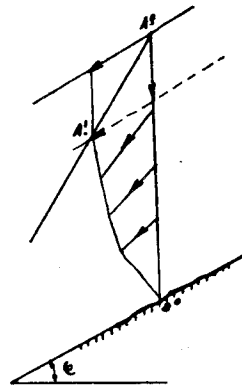


FIG. 4.
 Surface raboteuse.
 La neige ne glisse pas
 sur le sol.

Action de l'état superficiel du sol.

sitifs paraît donc aléatoire. Nous laisserons donc hors de cette étude tous les dispositifs de ce genre (paravents, parois anticorniches, etc.). Leur conception est encore empirique. Ils ne sont d'ailleurs, en l'état actuel de la question, que des adjuvants des ouvrages tendant à neutraliser la poussée de la neige.

Deux voies s'offrent également, en théorie, pour satisfaire à la deuxième condition:

1) neutraliser les efforts de traction prenant naissance dans la masse.

2) augmenter la résistance à la rupture du manteau neigeux.

Or, la résistance à la rupture étudiée avec minutie par les chercheurs de l'Institut du Weissfluhjoch, est étroitement dépendante des conditions météorologiques, principalement de la température agissant sur le tassement et la métamorphose de la neige (1).

Le seul recours est donc dans la neutralisation des efforts de traction prenant naissance au sein du manteau neigeux. Ces efforts sont dus au fait que la vitesse de déplacement d'un grain de neige augmente avec sa hauteur au-dessus du sol et, pour une même hauteur, avec la pente. L'état superficiel du terrain intervient également (fig. 1).

LES DEUX PHASES ESSENTIELLES DE L'ÉTUDE D'UN DISPOSITIF DE STABILISATION

1° *La localisation des zones dangereuses.*

Comme sur un versant accidenté, la nature et la pente du sol, ainsi que l'épaisseur de la couche de neige, varient d'un endroit à un autre (irrégularité du relief et de la couverture végétale, apport ou enlèvement de la neige par le vent, différence de tassement...); il en résulte des variations des vitesses de reptation des divers points d'une même strate. *C'est le cas lorsque:*

— *l'épaisseur* de la couche de neige augmente vers l'aval (fig. 2).

— *la pente s'exagère* (fig. 1).

— *le sol* devient moins rugueux (fig. 3 et 4).

La localisation des zones de traction exige donc la connaissance détaillée de la topographie des lieux, ainsi que celle des épaisseurs de la couche de neige en divers points.

1° REMARQUE:

Des conditions dangereuses peuvent également résulter d'un abaissement local de la résistance à la rupture du manteau neigeux. Notons, à cet égard, le rôle des sources: la remontée de l'eau par ca-

(1) Signalons toutefois, dans ce domaine, l'augmentation de la résistance à la rupture réalisée par l'action du passage répété des skieurs.

PLANCHE II
Zones dangereuses.

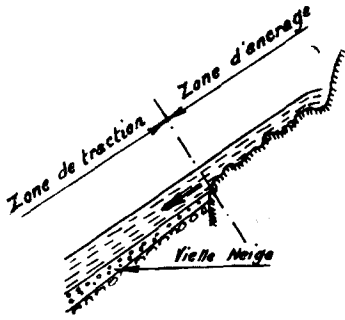


FIG. 5.

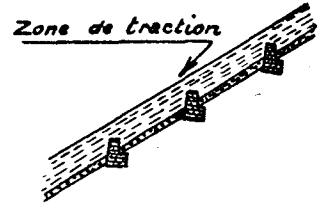


FIG. 8.

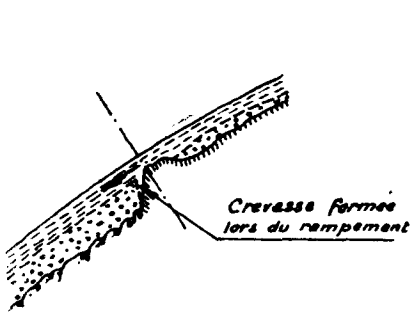


FIG. 6.

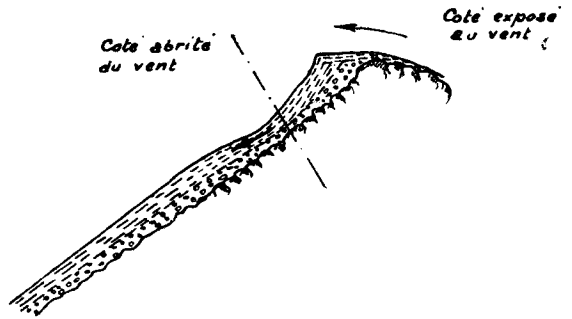


FIG. 9.

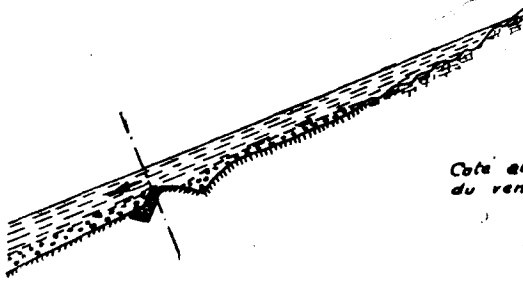


FIG. 7.

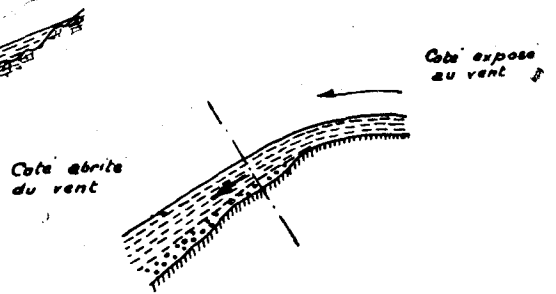


FIG. 10.

pillarité altère la neige. Sa résistance à la rupture est grandement diminuée. La nature géologique des terrains affleurant peut donc avoir une grande importance.

2^e REMARQUE :

S'il est banal de rappeler que la compression augmente la cohésion de la neige, donc sa résistance à la rupture (exemple : la boule de neige), on peut, par contre, se demander si ce phénomène est réversible. Certains l'admettent.

Il en résulterait que tout effort centrifuge s'exerçant sur un agrégat neigeux diminuerait sa cohésion. Il en serait ainsi, sous certaines réserves, des efforts de traction dont l'action serait susceptible, à la longue, d'altérer la résistance à la rupture de la neige. Les zones de traction seraient ainsi doublement dangereuses (analogie avec le feutre).

Il n'y a pas lieu, semble-t-il, en conditions normales, d'exagérer ce risque de « lente désagrégation » du manteau neigeux.

2^o *La neutralisation des efforts dangereux.*

Les zones critiques étant localisées, le problème demeure de neutraliser les efforts dangereux que supporte le manteau neigeux.

On y parvient par l'implantation d'*obstacles* opposant à l'écoulement de la neige une *surface d'appui* pleine (ouvrages massifs), ou à claire-voie (ouvrages charpentés), ou même de simples *points d'appui* (ouvrages isolés).

Le groupement de ces obstacles artificiels sur le terrain constitue un *dispositif de protection*. Il est dit *continu* quand les ouvrages barrent toute la largeur d'une zone avalancheuse, sans discontinuité notable, et *discontinu*, lorsque les ouvrages constituent des tronçons de quelques éléments et laissent entre eux des intervalles plus ou moins considérables. Cette discontinuité aboutit, à sa limite, à l'implantation d'ouvrages *élémentaires isolés* (*dispositif dispersé*).

La conception d'ouvrages à claire-voie, ainsi que celle de dispositifs discontinus ou dispersés est possible par suite de la *viscosité* et de la résistance à la traction de la neige. La figure 12, extraite d'une publication de M. HÆFELI, matérialise l'effet exercé par un obstacle isolé.

On appelle zone d'efficacité d'un ouvrage la portion de la couverture à l'intérieur de laquelle le mouvement normal est entravé.

Elle est d'autant plus étendue que le mouvement de reptation est plus marqué et la compacité de la neige plus grande.

On admet que la perturbation créée par l'obstacle devient négligeable au delà d'une distance de plus de cinq fois l'épaisseur de la couche.

PLANCHE III

Action des ouvrages.

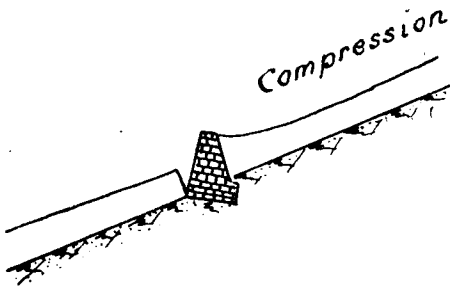


FIG. 11.

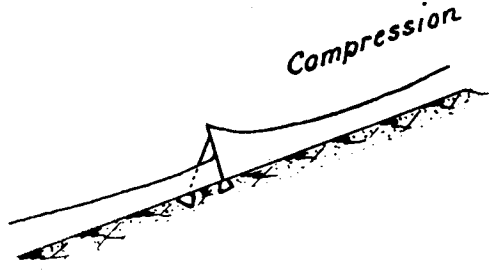


FIG. 13.

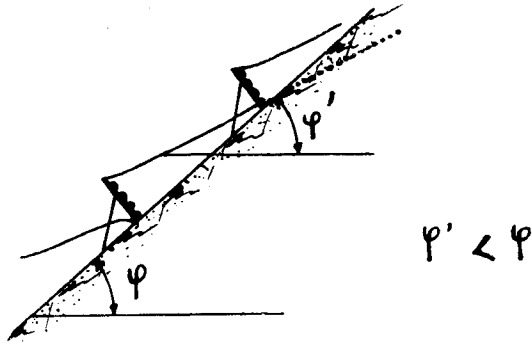


FIG. 14.

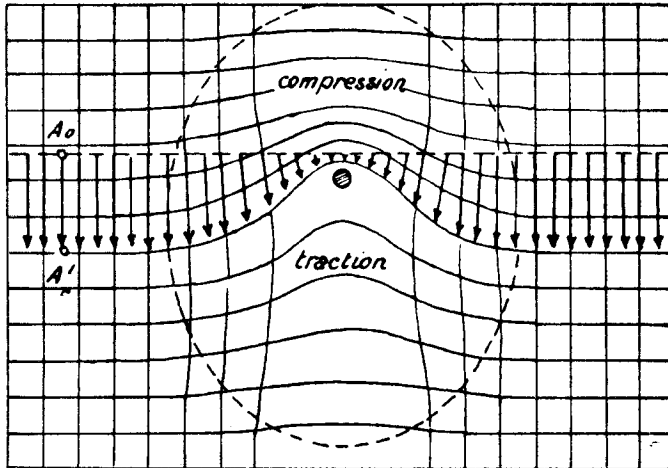


FIG. 12

REMARQUE :

La forêt claire de haute montagne constitue naturellement un dispositif mettant à profit cette particularité de comportement de la neige. Chaque tronc « épingle » en quelque sorte la couverture de neige sur le sol.

Les ouvrages à claire-voie offrent également à la couverture neigeuse une surface d'appui et une ligne d'accrochage, dans la mesure où la continuité du manteau neigeux est maintenue.

Par contre, les ouvrages massifs ne permettent pas à la couverture neigeuse située à l'aval de possibilités d'ancrage. Ils agissent donc uniquement sur la neige d'amont.

**CONDITIONS QUE DOIVENT REMPLIR
LES OUVRAGES DE STABILISATION**

Tous les ouvrages de stabilisation, qu'ils soient massifs ou charpentés, inclus dans un dispositif continu, discontinu ou dispersé, doivent nécessairement satisfaire à *deux conditions*:

1) *Demeurer fixes* (rôle d'obstacles).

Cette condition de stabilité suppose la connaissance aussi exacte que possible du genre et de la grandeur des forces agissant dans une pente avalancheuse sur une construction stable.

Le problème est complexe, la couverture neigeuse étant extrêmement variable, qualitativement et quantitativement dans le temps et selon le lieu.

La théorie et l'expérimentation ont cependant permis aux chercheurs de l'Institut Fédéral de Davos de préciser ces données d'où se déduisent les caractéristiques assurant à l'ouvrage sa stabilité.

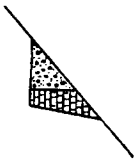
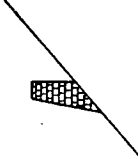
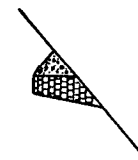
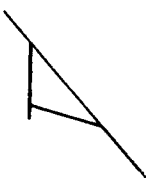
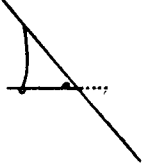
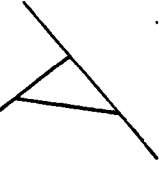
2) *Dépasser le niveau des plus hautes neiges*, tout au moins celui de la surface de la neige après début de tassement, celle-ci acquérant ainsi une certaine cohésion sans laquelle les efforts de traction ne peuvent exister. S'ils sont enfouis dans la couverture neigeuse compacte (fig. 8), ils risquent d'aller à l'encontre du but poursuivi.

Ainsi donc, pour être pleinement efficace, un dispositif de stabilisation devra s'opposer au développement d'efforts de traction dangereux au sein de la masse neigeuse, tout en réduisant jusqu'à une valeur acceptable l'inclinaison de sa surface (35 à 40° selon l'altitude et le climat).

PRINCIPAUX TYPES D'OUVRAGES

Le tableau ci-après groupe les principaux types d'ouvrages de stabilisation d'après leur constitution et la disposition de leur surface d'appui.

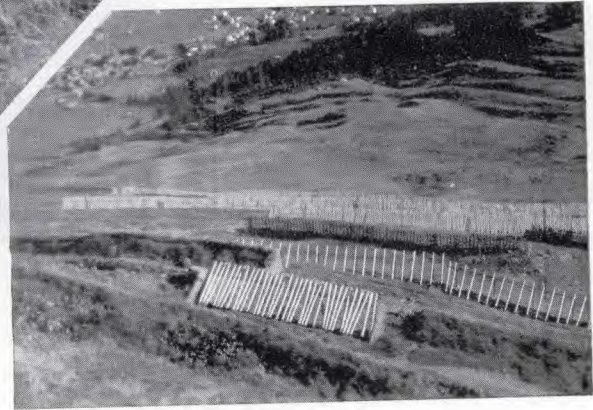
TABEAU N° 2
PRINCIPAUX TYPES D'OUVRAGES DE PROTECTION ACTIVE

Type de Construction	Nature de la Surface d'appui	Inclinaison de la surface d'appui par rapport au terrain			Caractéristiques Particulières
		Horizontal	Vertical	Normal	
Massive	Pleine	 Terrasse (1)	 Mur simple	 Mur remblayé	Nécessité d'un drainage soigné
		 Balcon	 Barrière Treillis	 Ravier Pont Cabrette	

(1) La banquette est du même type mais réalisée en terre seulement



10. Dispositif dispersé :
Éléments isolés
types cabrettes.



9. Dispositif continu : Murs et râteliers.



11. Ouvrage temporaire.



12. Type d'ouvrage permanent.



13. Balcon à neige.



14. Râtelier. L'ouvrage charpenté est plus économique. Les brèches des murs sont réparées à l'aide de râteliers.



15. Pont à neige :
Les éléments du platelage sont parallèles
à la ligne de niveau.



16. Au second plan :
Parois anticorniches.
(Schiahorn - Davos).

INDICATIONS COMPLÉMENTAIRES

1) *Ouvrages massifs* (voir planche photographique).

Les constructions massives sont, le plus souvent, nettement plus onéreuses que celles d'ouvrages charpentés. Elles ont en outre l'inconvénient de permettre une remontée dans leur massif de l'isotherme 0°, ce qui peut n'être pas sans inconvénients sur leur résistance. Il faut également s'attacher à assurer un excellent drainage de ces ouvrages sous peine d'avoir des dislocations en période de fonte des neiges, au moins sur certains sols.

Dans le cas où on aura, néanmoins, encore recours à ce type de construction, par exemple s'il y a abondance locale de pierres, on s'efforcera de réaliser des ouvrages exigeant le *minimum d'entretien*.

Dans ce but, les Suisses protègent le parement aval des murs par un grillage, afin d'éviter, autant que possible, au printemps, lors de la fonte des neiges, l'effet du gel et du dégel très préjudiciable à la maçonnerie dite de « pierres sèches ».

Ce grillage a également pour effet de mieux répartir les poussées.

On pourrait, chez nous, recourir aux gabions métalliques déjà très largement utilisés dans les travaux de montagne. Le couronnement de ces ouvrages sera utilement protégé par un matelas de gazon, tant pour éviter les détériorations par chutes de pierres qu'afin d'offrir à la poussée de la neige, en cas d'enneigement dépassant la hauteur des ouvrages, une prise non solidaire de la masse.

Le vieux système des *banquettes terrassées* n'est pas à laisser systématiquement de côté : à moyenne altitude, surtout à *exposition chaude*, dans les régions où l'enneigement n'est pas trop considérable, le réseau de banquettes est efficace. De plus, il offre l'avantage, non négligeable, de permettre l'installation de plants forestiers avec toutes les chances de succès.

2) *Ouvrages charpentés*:

— *les balcons* sont de moins en moins employés. On y recourt encore parfois pour augmenter l'efficacité d'anciens dispositifs constitués par des banquettes ou des murs. Leur rôle consiste surtout à accumuler de la neige. Celle-ci, largement en contact avec l'atmosphère se prend en masse, et sert de butoir à la neige d'amont, laquelle, en contact avec le sol, évolue différemment.

— *les barrières et palissades* sont de réalisation économique. Pour les détails, se reporter à la planche VI. Les câbles d'ancrage doivent être supportés par un pieu vers le milieu de leur portée de façon à limiter la pression de la neige qui peut devenir considérable du fait de la cohésion.

— *les treillis de câble* permettent de réaliser des ouvrages légers quoique efficaces et résistant bien aux chutes de pierres (1).

— *ponts et râteliers*: ils s'opposent par la disposition des éléments constitutifs du platelage: si ces éléments sont disposés parallèlement à la ligne de niveau, on a un ouvrage du type PONT. S'ils sont disposés normalement à la ligne de niveau, on a un ouvrage du type RATELIER.

La valeur pratique de cette distinction réside dans le fait que la disposition des éléments du platelage conditionne la nature du système destiné à supporter ce platelage et, par conséquent, à transmettre aux fondations de l'ouvrage les efforts subis.

— *cabrettes*: ces éléments isolés constituent de simples points d'ancre. Les efforts qu'ils ont à supporter sont, de ce fait, difficiles à prévoir. De plus, les dispositifs ainsi constitués par des éléments dispersés ont l'inconvénient d'être à peu près sans action sur les avalanches de neige de surface sans cohésion, lesquelles déclenchent souvent des avalanches de plaque. L'efficacité de tels dispositifs est donc sujette à réserves. Aussi la tendance actuelle est-elle plutôt à la réalisation de dispositifs plus ou moins continus.

CHOIX DU DISPOSITIF LE MIEUX APPROPRIÉ

Dès que l'épaisseur de la couche de neige est susceptible d'atteindre ou de dépasser 2 m, l'ouvrage charpenté s'impose par suite de son moindre coût.

L'ouvrage charpenté offre en outre l'avantage de permettre aux agents météorologiques de pénétrer plus profondément la masse neigeuse, ce qui influe favorablement, le plus souvent, le comportement de la neige au voisinage des ouvrages. Le substratum terreux est également favorablement affecté (consolidation des fondations des piliers). On peut donc valablement considérer les ouvrages charpentés comme d'efficacité au moins égale à celle des ouvrages massifs.

Ainsi, du double point de vue de l'efficacité et du prix de revient, la comparaison est en faveur des ouvrages charpentés.

Aussi, a-t-on de plus en plus largement recours en Suisse à ce type d'ouvrage et en particulier aux Ponts et Râteliers.

NOTA: Les ouvrages figurant aux planches V, VI, VII et VIII sont des prototypes d'ouvrages permanents, conçus par les techniciens suisses et ayant à maintes reprises démontré leur efficacité. Depuis 1951, plusieurs maisons suisses ont lancé sur le marché des ouvrages charpentés du type Pont réalisés soit en béton précon-

(1) Pour la description de ces ouvrages, se reporter à l'article de M. l'Ingénieur ROLLEY, dans la *Revue Forestière Française* de janvier 1955.

traint, soit en métal léger (1). Ces modèles préfabriqués permettent, lors du montage, un gain de temps appréciable, ce qui n'est pas à négliger en haute montagne.

Bases pour le calcul des ouvrages

Tout corps retenu par une paroi exerce sur celle-ci une pression.

Il en est ainsi de la neige retenue sur une pente par un ouvrage.

La pression exercée par la neige sur la surface d'appui d'un ouvrage résulte :

- d'une part, du poids de la neige (pression statique),
- d'autre part, de l'effort de poussée dû au mouvement reptatoire de la neige (pression dynamique).

1° Poids de la neige (fig. 15).

Soit AD la trace sur le plan de figure d'un élément d'ouvrage de 1 m de longueur, admettant le plan de figure pour plan de symétrie.

Le prisme de neige supporté par la surface d'appui aura pour section droite le triangle ADH (neige supposée sans cohésion).

L'effort dû à la pesanteur sera appliqué en G et dirigé *verticalement* vers le bas. Le point d'application sur la paroi sera g tel que

$Ag = \frac{d}{3}$. Cet effort se décompose en σ_x porté par la ligne de la plus

grande pente et σ_z normal au terrain. Si la surface d'appui est à

claire-voie, Ag sera compris entre $\frac{d}{2}$ et $\frac{d}{3}$, le poids de la neige

étant alors plus ou moins supporté par le sol par suite de la non discontinuité du manteau neigeux.

2° Pression reptatoire.

Elle est fonction de la *vitesse de reptation de la neige*.

Or, il a été précédemment indiqué que la vitesse de reptation d'un grain de neige, au sein de la couverture neigeuse, dépend de sa hauteur au-dessus du sol, ainsi que de la pente et de la nature superficielle du terrain.

En un lieu donné, cette vitesse s'accélère au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sol et devient assez rapidement sensiblement constante, les caractéristiques de la neige étant supposées ne pas changer.

Si la couverture neigeuse ne glisse pas sur le sol, la courbe repré-

(1) Pour la description de ces divers types d'ouvrages, consulter l'article de M. l'Ingénieur ROLLEY déjà cité.

PLANCHE IV

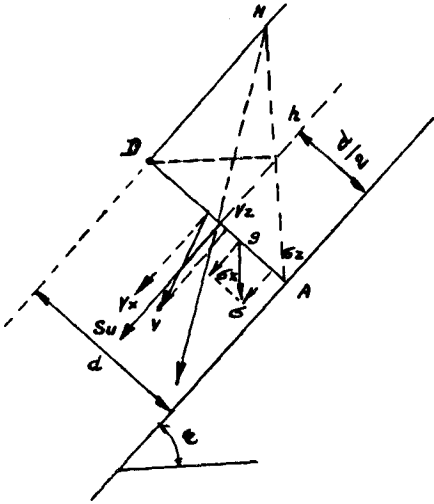


FIG. 15.

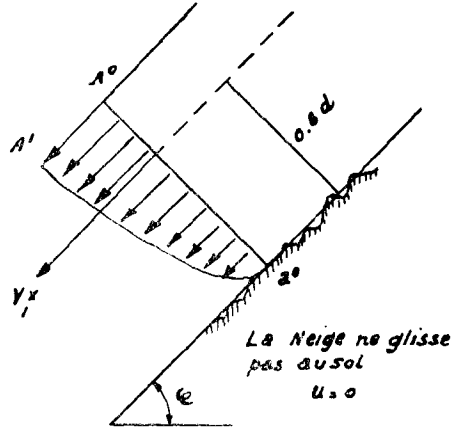


FIG. 16.

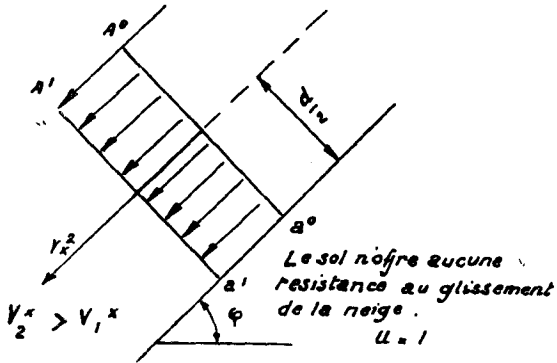


FIG. 17.

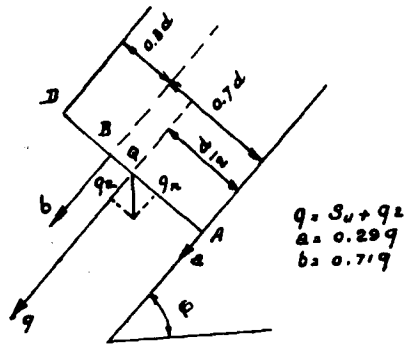


FIG. 18.

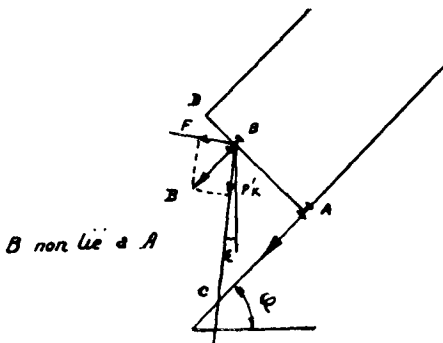


FIG. 19.

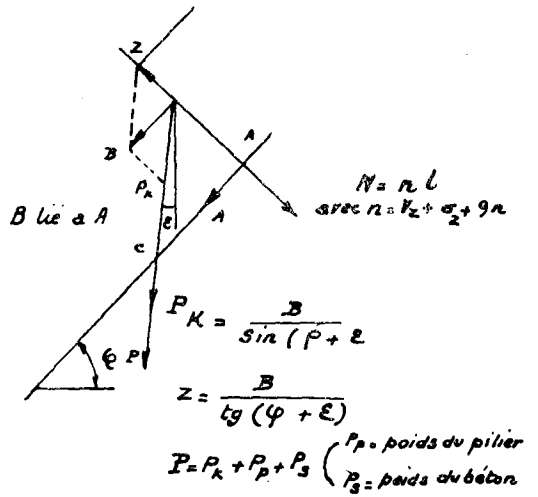


FIG. 20.

sentative des vitesses, le long d'une normale au terrain, a l'allure schématisée par la figure 16.

Par contre, si la surface du sol n'offre aucune résistance au glissement de la neige, les vitesses tendront à s'uniformiser dans toute l'épaisseur de la couche (fig. 17).

Le rapport entre les vitesses de reptation d'un grain de neige au contact du sol et d'un grain de neige à la surface de la couverture est appelé :

coefficient ou indice de glissement relatif et désigné par U .

U sera évidemment fonction de :

la pente et la rugosité du sol,

l'épaisseur de la couverture neigeuse,

des caractéristiques de la neige (poids spécifique et viscosité), lesquelles sont fortement influencées par le climat local, donc par l'exposition et, dans une moindre mesure pratique, par l'altitude.

A défaut de mesures directes (dont le principe est simple, mais la réalisation relativement délicate) permettant la détermination de U , le tableau suivant fournit un cadre pour l'appréciation de ce coefficient. Il est tiré de l'étude faite par MM. H. INDERGAND et FIGLISTER pour la correction des avalanches menaçant St Antoniën (zone de départ à 2 000 m environ, exposition générale Sud-Est).

TABLEAU N° 3

Ordre de grandeur du coefficient de glissement relatif (U) en fonction de l'épaisseur de la neige (mesurée normalement au sol), de la pente et de l'exposition, pour un sol très peu rugueux (altitude 2 000 m).

Exposition	Epaisseur de la neige mesurée en cm normalement au sol	Indice de glissement en fonction de la pente $U =$				
		50°	45°	40°	35°	30°
Exposition Sud-Ouest	400	1,0	1,0	0,7	0,5	0,3
	300	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3
	250	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
Exposition Nord-Est	400	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
	300	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
	250	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1

La plasticité de la neige, qui conditionne la reptation de l'ensemble du manteau neigeux, varie avec le poids spécifique de la neige, le degré de métamorphose des grains de neige et la température au sein de la masse de neige.

Elle diminue :
 quand le poids spécifique augmente,
 quand la métamorphose amène le grossissement des grains,
 quand la température diminue.

Tous ces facteurs sont influencés par le climat local. Il y aura donc lieu de nuancer en conséquence les évaluations ci-dessus, ce qui est délicat, ou bien d'effectuer des mesures directes des vitesses de reptation, tant au sol qu'à la surface de la neige.

La reptation de la neige s'accompagne, nous le savons, d'un tassement plus ou moins important de l'ensemble de la couverture neigeuse (voir fig. 2, 3, 4, pl. I).

Le tassement de la neige amène une diminution de sa porosité.

Or, la vitesse de reptation, toutes autres conditions semblables, augmente quand la porosité de la neige diminue.

La résultante des forces de pression reptatoire sera donc, en un lieu donné, maximum lorsque le tassement aura atteint sa limite (glace).

Dans cette hypothèse, la reptation de chaque grain de neige sera une translation parallèle à la ligne de plus grande pente.

Dans l'hypothèse où le glissement au sol est nul $U = 0$, cette résultante sera appliquée sensiblement à $\frac{2d}{3}$.

Lorsque le sol n'offre, par contre, qu'une très faible résistance au glissement du manteau neigeux ($U = 1$), la résultante sera appliquée approximativement à $\frac{d}{2}$ du sol et sera alors *maximum*.

Cette résultante est, dans le cas général, plus ou moins inclinée vers le sol à l'aval.

Elle peut être décomposée selon la normale et la ligne de plus grande pente. Soient V_z et V_x ces composantes (fig. 15)

V_x sera maxima quand V_z sera sensiblement nulle, ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus.

3° *La pression totale* sur la surface d'appui résultera donc de :

σ_x appliquée en un point situé entre $\frac{d}{3}$ et $\frac{d}{2}$ du sol (composante du poids).

V_x appliquée en un point situé entre $\frac{d}{2}$ et $\frac{2d}{3}$ (composante du glissement).

Pour le calcul des ouvrages charpentés, on admet que cette résultante est appliquée à $\frac{d}{2}$ du sol.

Quel est l'ordre de grandeur de cette pression?

Le calcul théorique est complexe. Il suppose réalisées certaines hypothèses relatives aux caractéristiques de la neige et, en particulier, son homogénéité.

Des expériences ont permis de mesurer directement les efforts supportés par une surface d'appui et de confirmer les résultats théoriques.

La pression exercée par la couverture neigeuse est pratiquement fonction :

- de l'épaisseur de la couche (d),
- de la pente du sol (φ),
- du coefficient de glissement relatif (U).

Le tableau suivant donne les valeurs maxima de cette pression S_u en fonction de ces 3 variables (même référence que précédemment).

TABLEAU.

TABLEAU N° 4

Poussée de la neige en tonnes par m linéaire d'ouvrage, en fonction de la pente ϕ du sol, de l'épaisseur de la couche de neige, mesurée normalement au terrain, et du coefficient de glissement relatif de la couche de neige U.

ϕ	d cm	Poussée en tonnes par m linéaire d'ouvrage pour U =									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
30°	250	1,76	1,91	2,05	2,17	2,29	2,40	2,51	2,60	2,70	2,80
	300	2,53	2,73	2,94	3,11	3,28	3,44	3,59	3,73	3,87	4,01
	400	4,50	4,87	5,24	5,54	5,85	6,12	6,40	6,65	6,89	7,14
35°	250	2,03	2,20	2,37	2,52	2,66	2,79	2,93	3,04	3,16	3,27
	300	2,92	3,17	3,42	3,63	3,84	4,02	4,21	4,38	4,55	4,72
	400	5,18	5,63	6,07	6,44	6,81	7,15	7,49	7,78	8,08	8,38
40°	250	2,40	2,62	2,83	3,01	3,20	3,36	3,52	3,66	3,81	3,95
	300	3,47	3,78	4,10	4,36	4,62	4,85	5,09	5,29	5,50	5,71
	400	6,15	6,70	7,26	7,72	8,18	8,59	9,01	9,38	9,75	10,12
45°	250	2,69	2,94	3,19	3,40	3,61	3,80	3,98	4,15	4,32	4,48
	300	3,86	4,22	4,58	4,88	5,18	5,45	5,71	5,95	6,19	6,43
	400	6,88	7,52	8,16	8,69	9,22	9,70	10,18	10,60	11,03	11,46
50°	250	3,22	3,52	3,83	4,09	4,34	4,57	4,81	5,01	5,22	5,42
	300	4,64	5,08	5,52	5,89	6,26	6,59	6,93	7,22	7,52	7,81
	400	8,22	9,00	9,79	10,45	11,10	11,69	12,28	12,80	13,33	13,86

A partir de ces données et en négligeant V_z , on calcule :

- les ouvrages massifs comme des murs de soutènement,
- les ouvrages charpentés en s'inspirant du calcul des toitures (voir en annexe un exemple de calcul),
- les ouvrages isolés (cabrettes) ont à subir des efforts encore mal connus, mais qui sont certainement au moins quatre fois plus considérables que ceux s'exerçant sur la même surface d'appui d'un ouvrage continu.

En résumé :

Un dispositif rationnel de stabilisation ne s'improvise pas : il doit faire l'objet d'études préliminaires ayant pour but :

- la localisation, aussi exacte que possible, des zones de départ,
- la connaissance détaillée de l'état superficiel du sol (pente, exposition, rugosité) dans ces zones,
- la détermination de l'importance maxima de l'épaisseur de la couche de neige et sa répartition locale, ce qui nécessite des séries d'observations exigeant l'implantation et le relevé périodique de jalons verticaux, aussi nombreux que possible, et ceci pendant plusieurs saisons.

Par référence à des observations connues dans la région, on devra essayer de déterminer l'importance des chutes de neige exceptionnelles dans la zone intéressée.

- la mesure de la vitesse de reptation de la neige, au sol et en surface (on note le déplacement de repères déposés tant au sol qu'à la surface de la neige).

On peut alors :

- localiser les zones de traction et fixer, dans chaque cas, la valeur maxima à retenir pour $d = h \cos \varphi$ et U d'où l'on déduit S_u .

Ceci permet d'implanter et de « dimensionner » les ouvrages nécessaires. Ils seront conçus en fonction de ces données au mieux des conditions imposées par la durée prévue du dispositif (permanent ou temporaire).

Directives pour le calcul d'ouvrages charpentés

Considérons la portion d'ouvrage charpenté de 1 m de développement, admettant le plan de figure pour plan de symétrie. (Fig. 18, planche IV).

AD, trace de la surface d'appui (platelage) sur la plan de figure, est supposée normale au terrain. La surface de platelage, donc le coût de celui-ci, est en effet minima pour cette portion.

B est placé à 0,7 d de A, de façon à être au delà du point d'application de S_u , dans le cas le plus défavorable.

Protection passive

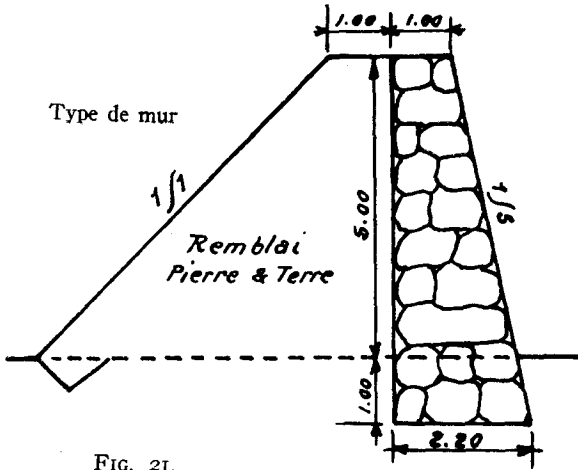


FIG. 21.

h	h'	k	f	Section
m'	m'	m'	m'	m ²
2.0	2.0	0.80	1.50	2.40
2.5	2.5	0.80	1.65	3.19
3.0	3.0	0.80	1.80	4.05
3.5	3.0	1.00	1.90	4.94
4.0	3.0	1.00	1.90	5.89
4.5	3.0	1.00	1.90	7.02
5.0	3.0	1.10	2.00	8.25
5.5	3.0	1.10	2.00	9.25
6.0	3.0	1.10	2.00	10.25

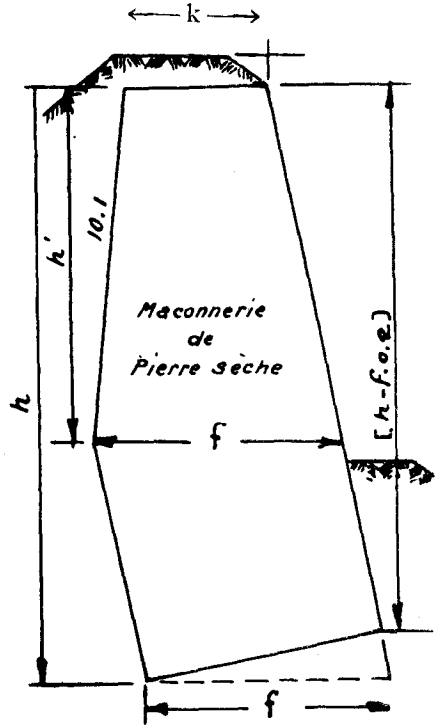
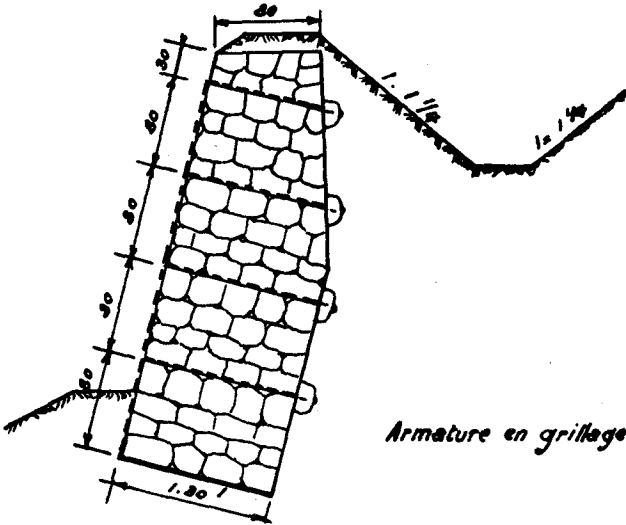


FIG. 22.



Protection active.
Murs remblayés.

FIG. 23.

A. — TYPE RATELIER

Calcul du platelage:

Connaissant d , ϕ , U , le tableau 4 donne S_u .

Nous savons que S_u est appliquée en Q , tel que $AQ = \frac{d}{2}$ et

dirigée selon la ligne de plus grande pente (fig. 18).

A S_u il y a lieu d'ajouter q_n , composante du poids du platelage selon la ligne de plus grande pente. On admet que $q_n = 0,3 t$.

On a donc: $q = S_u + q_n$.

L'ouvrage comporte n_1 éléments (rondins) au ml.

Chaque élément devra donc supporter: $\frac{q}{n_1}$.

La charge uniformément répartie aura pour valeur, par mètre de rondin:

$$\frac{q}{dn_1}$$

Le moment maximum dû à l'effort de flexion sera calculé pour la portion d'élément située au delà de B, soit $BD = 0,3 d$.

Il aura pour valeur (poutre en encorbellement):

$$\frac{q}{dn_1} \times \frac{(0,3d)^2}{2}$$

donc Moment maximum par rapport à B = $0,045 \frac{qd}{n_1}$.

En divisant le Moment max. par la fatigue maxima admissible, soit 100 kg/cm^2 pour le bois soumis à la flexion, on obtient le module de résistance à la flexion de la pièce considérée, soit W_m (valeur minima que doit avoir ce module). On recherche alors la dimension à donner à la section de l'élément pour assurer un module de flexion \geq à W_m .

Calcul de la poutre:

Le platelage supporte une pression q par mètre linéaire d'ouvrage.

Cette pression q est transmise aux points d'ancrage A et B par des longrines situées en A et B, perpendiculairement au plan de figure.

q étant à $\frac{d}{2}$ et B à $0,7 d$ de A

PLANCHE VI
Renforcement d'une terrasse par une barrière.

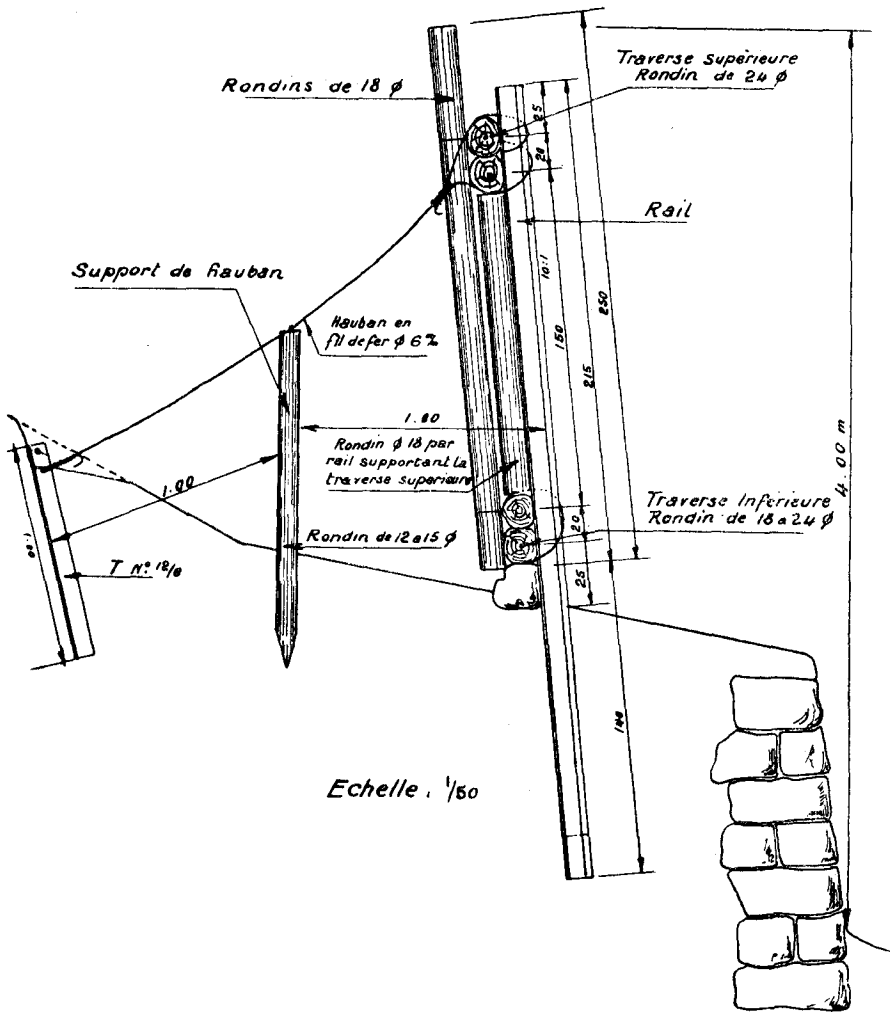
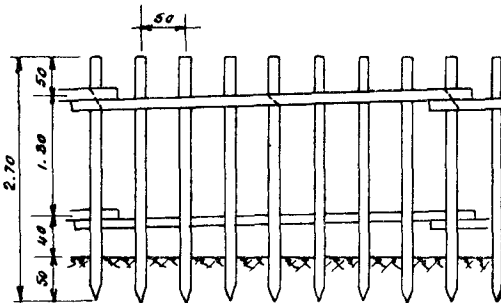


FIG. 24.

Type de barrière entièrement en bois.
(vue d'aval)



Piquet rondin de 11 ϕ
Traverse supérieure de 12 ϕ
Traverse inférieure de 8 ϕ
Tous les 2^{es} hauban en fil de fer galvanisé

FIG. 26.

Vue d'aval

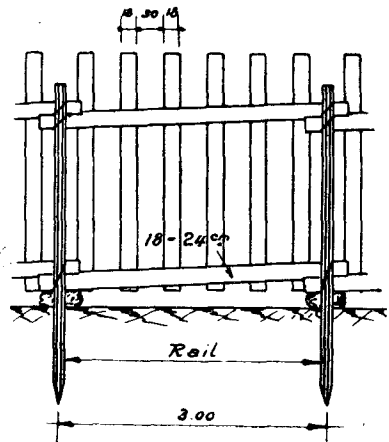


FIG. 25.

la longrine supérieure (celle en B appelée poutre) a à supporter

$$\begin{array}{c} \rightarrow \quad \rightarrow \\ b = 0,71 q \end{array}$$

la longrine inférieure (celle en A appelée sablière) a à supporter

$$\begin{array}{c} \rightarrow \quad \rightarrow \\ a = 0,29 q \end{array}$$

La poutre B est soumise à une charge uniformément répartie. Sa longueur est l (celle de l'élément, l'élément étant la portion d'ouvrage comprise entre deux appuis successifs).

Le Moment max. auquel sera soumis cette poutre sera :

$$\text{Moment max.} = 0,71 q \times \frac{l^2}{8}$$

la poutre étant considérée comme reposant librement sur ses appuis B et B₁. Les liaisons réalisées ne peuvent que diminuer ce Moment max.

On en déduira, comme ci-dessus, la section minima à donner à cette poutre, compte tenu de son profil.

Le même calcul pourrait être fait pour la sablière.

Calcul du pilier :

La poutre B transmet sa charge au pilier BC.

Cette charge est égale à $B = b \times l$ avec $b = 0,71 q$

donc $B = 0,71 ql$.

Si B n'était pas lié à A, B se décomposerait en P_k selon BC et F normale à BC (fig 19).

L'effort F serait particulièrement gênant, BC ayant une longueur toujours relativement considérable. C'est pourquoi on s'efforce de lier B et A en utilisant, soit les éléments du platelage (voir photos n° 6, 13 et 16), soit une barre de traction.

Dans ces cas, B se décompose en P_k et Z (fig. 20) qui ont respectivement pour valeur :

$$P_k = \frac{B}{\sin(\varphi + \epsilon)} \quad (\text{compression})$$

$$Z = \frac{B}{\text{tg}(\varphi + \epsilon)} \quad (\text{traction})$$

La résistance de sécurité du matériau employé étant connue, on en déduit la surface de *la section nécessaire*.

Le pilier BC étant une pièce longue, il y a lieu d'utiliser des sections à fort moment d'inertie, et vérifier qu'il n'y a pas de risque de flambage. On ne peut, en effet, contreventer les piliers par suite de la traction de la neige à l'aval de l'ouvrage.

Calcul des fondations:

L'effort reçu par BC doit être neutralisé par la réaction du sol. De même en A.

Si BC est un pieu simplement enfoncé dans le terrain, il faut que la résistance à l'enfoncement soit égale à l'effort supporté, c'est-à-dire P_k plus le poids propre du pilier.

Si BC est scellé dans un socle en ciment, il faut que cette fondation ait une surface d'appui suffisante pour que la résistance du sol à la compression contrebalance la pression exercée.

Il y a lieu d'ajouter à P_k le poids du pilier et de la poutre, ainsi que le poids propre du socle (à apprécier).

L'effort total P étant ainsi précisé, on obtient la valeur minima de la surface d'appui en divisant P par la valeur minima admissible pour la résistance du terrain. De la surface d'appui, on déduit la section de base du socle.

Le socle en A doit résister à l'effort de traction Z , plus ou moins neutralisé par N .

→ →

Ce socle doit, en outre, résister à $A = a_1 = 0,29$ ql dirigée vers l'aval, selon une ligne de plus grande pente.

Ce socle A ne fait généralement pas l'objet d'un calcul spécial.

Calcul de la barre de tension (s'il y a lieu):

B

Connaissant Z $\frac{\quad}{B}$ et la résistance maxima admissible $\text{tg}(\varphi + \epsilon)$

sible à la traction pour le matériau employé, on vérifie que la section de la barre employée est suffisante.

B. — TYPE PONT

Calcul du platelage:

Il comporte n_2 éléments au mètre linéaire. Chaque élément du platelage a pour longueur la longueur de l'élément d'ouvrage, soit l .

La charge supportée par mètre linéaire d'élément de platelage sera $\frac{q}{n_2}$. Le moment fléchissant maximum (appui libre aux 2 extrémités) sera :

$$\text{Moment max.} = \frac{q}{n_2} \times \frac{l^2}{8}$$

d'où le W minimum et la section minima de l'élément.

Calcul de la traverse:

Les éléments du platelage reposent sur AD appelée *traverse*.

La portion la plus fatiguée sera BD.

Le Moment max. de cette portion sera :

$$\frac{ql}{d} \times \frac{(0,3d)^2}{2} = 0,045 ql d$$

d'où la section à donner à cette traverse.

On peut s'assurer que cette section est suffisante pour résister à Z.

Calcul du pilier

Calcul du socle

identiques aux calculs dans le cas du Râtelier.

NOTA:

1° Quand ε augmente P_k diminue, mais l_k augmente.

Or, il n'est pas possible de contreventer le pilier BC; l'augmentation de l_k exagère le risque de flambage.

On doit donc s'attacher, outre le choix d'un profil à fort module de résistance à la flexion, à diminuer l_k , ce que l'on obtient en réduisant ε .

En pratique, on adopte pour les piliers en aciers profilés et rails:

$$\varepsilon = 5^\circ$$

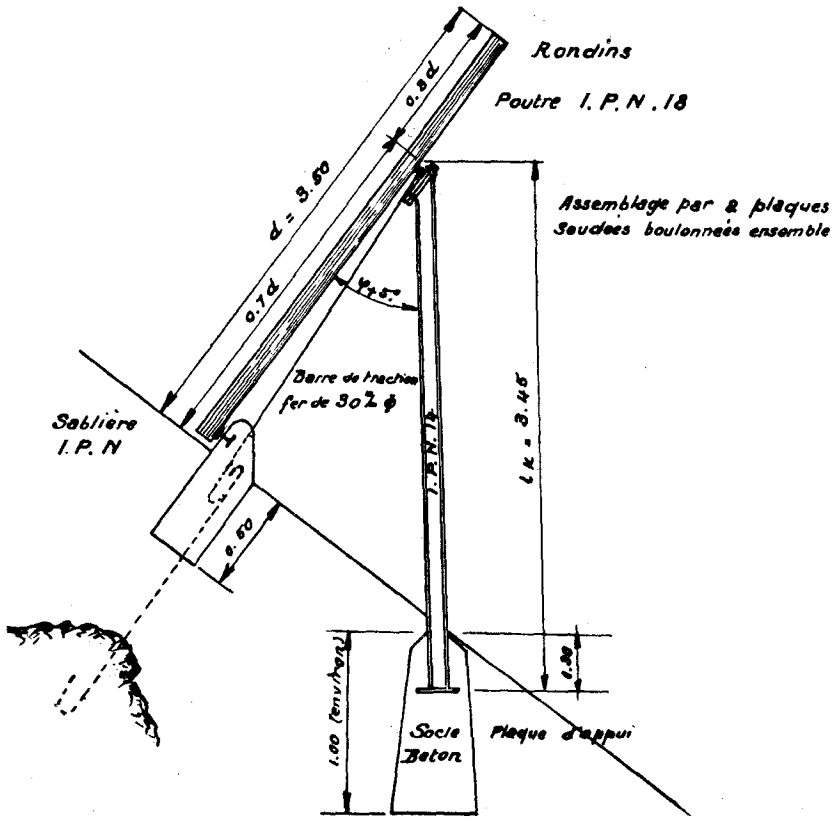
2° *L'assemblage B est délicat à réaliser. Il y a lieu d'y veiller tout particulièrement.* On peut exécuter les piliers en ciment armé, ce qui a l'inconvénient d'être onéreux.

3° Les efforts ont été supposés s'exercer dans le plan de figure. En pratique, il n'en est pas toujours ainsi. Il y aura donc lieu d'assurer la stabilité latérale de l'ouvrage par des contrefiches à chaque extrémité.

4° Dans le cas où le platelage serait vertical (barrière), l'effort de traction en B égal à $0,71 ql$ serait neutralisé par la résistance à la traction d'un hauban ancré à l'amont. Ce hauban supporte d'ailleurs des efforts secondaires importants, du fait de la cohésion de la neige, ce qui justifie quelque précaution.

PLANCHE VII

Râtelier



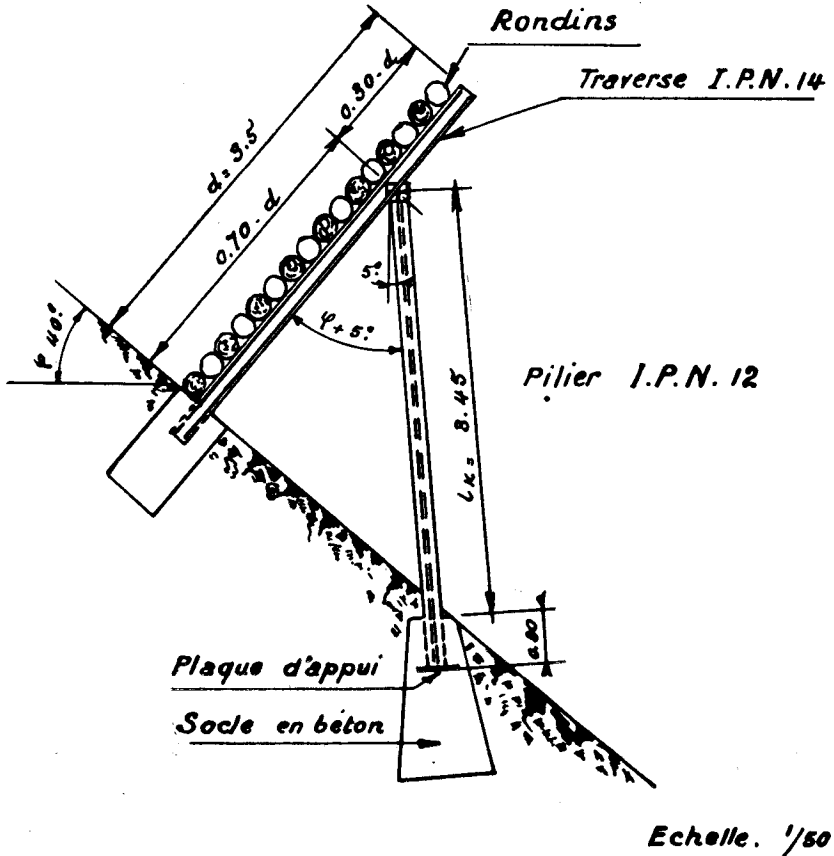
Type A.

Echelle: 1/50

Type A

FIG. 27.

PLANCHE VIII



Type B — Pont.

FIG. 28.

Exemple de calcul d'ouvrages charpentés (Types permanents).

Ratelier						Platelage						Poutre				
Type	d	φ	U	Su	L	q	M_{max}	W_m	n_1	Φ	W_M	b	M_{max}	W_m	Dimension	W_M
A	3.5	40	0.2	5.0	3	5.8	0.875	875	3	15	995	3.71	4.175	300	I.P.N.18	303
Pilier						Barre de tension			Socle							
B	Sin(φ)	P_A	L_k	Dimension	P_k	g(φ)	Z	Force supportée	P	S	Dimension					
11.36	0.70	16.1	3.45	I.P.N.14	2.2	1	11.15	1500	172	4300	65/65					
Pont						Platelage						Traverse				
Type	d	φ	U	Su	L	q	M_{max}	W_m	n_2	Φ	W_M	$g \frac{L}{Z}$	M_{max}	W_m	Dimension	W_M
B	3.5	40	0.2	5	2.5	5.5	4.14	4140	9	17	4340	3.78	2.08	148	I.P.N.14	153
Pilier						Traverse			Socle							
B	Sin(φ)	P_A	L_k	Dimension	P_k	g(φ)	Z	Force supportée	P	S	Dimension					
9.40	0.70	13.4	3.45	I.P.N.12	1.6	1	9.4	250	14.2	3600	60/60					

Signification des symboles utilisés

- d = hauteur utile de l'ouvrage (en mètre).
 φ = pente du sol (en degré).
 U = indice de glissement.
 Su = poussée de la neige (en tonne par mètre d'ouvrage).
 l = longueur de l'élément d'ouvrage (en mètre).
 q = poussée totale (en tonne par mètre d'ouvrage) - (poussée de la neige + poids du platelage).
 M_{max} = moment maximum correspondant.
 W_m = module de flexion correspondant.
 W_M = module de flexion réalisé.
 b = poussée par mètre de poutre (en tonne).
 B = poussée transmise par la poutre (en tonne).
 P_k = poussée reçue par le pilier (en tonne).
 l_k = longueur du pilier.
 Z = effort subi par la barre de tension (en tonne).
 P = pression reçue par le socle (en tonne).
 n_1, n_2 = nombre d'éléments par mètre de longueur de l'ouvrage.
 S = surface d'appui du socle (en cm^2).

Notes complémentaires au calcul d'ouvrage

1° Les fatigues de sécurité adoptées sont les suivantes :

bois à la flexion : 100 kg/cm².

fer à la compression et à la flexion : 1 400 kg/cm².

terre à la compression : 4 kg/cm².

2° Il y aurait lieu de vérifier que l'effort de compression perpendiculaire aux fibres des rondins, reposant sur les traverses ou la poutre, est acceptable (inférieur à 25 kg/cm²).

Dans le cas de l'ouvrage A, chaque rondin supporte $q/3$.

$$\text{L'appui B supporte } 0,71 \frac{q}{3} = \frac{0,71 \times 5,3}{3} = 1,250 \text{ t.}$$

La poutre ayant des ailes de 18 cm (IPN de 18), le rondin s'écrasera jusqu'à présenter une surface d'appui de $\frac{1\ 250}{25} = 50 \text{ cm}^2$.

Le méplat aura donc $\frac{50}{18} = 2,75 \text{ cm}$ de largeur environ, ce qui ne présente aucun caractère de gravité.

3° Le nombre n_1 d'éléments du platelage d'un ratelier, par mètre linéaire de longueur d'ouvrage, ne doit pas descendre au-dessous de deux, sous peine d'offrir une surface d'appui trop discontinue. Il faut au minimum $1/5$ de plein. Si l'écartement acceptable entre éléments fait tomber la proportion de surface pleine au-dessous de cette valeur, on complète la surface d'appui par du grillage.

4° Il est facile de constater que pour une même hauteur efficace un pont exige 3 fois plus de bois qu'un ratelier, sensiblement plus de maçonnerie, un peu moins de fer.

5° Le prix de revient d'ouvrages de ce genre est approximativement de 20 à 30 000 F le mètre linéaire en conditions moyennes.

III. — CONCLUSIONS

Tout problème de protection contre les avalanches constitue un cas particulier et doit être résolu comme tel.

Le choix de la méthode, du dispositif et des types d'ouvrages à réaliser doit donc se faire essentiellement en fonction des conditions locales, avec le double souci de l'*efficacité* et de l'*économie*.

Il est difficile de préjuger du *degré d'efficacité* de tel ou tel dispositif. Tout au plus peut-on essayer de dégager des particularités de comportement d'une portée assez générale.

Tout dispositif de protection contre l'avalanche est prévu pour un enneigement maximum déterminé. Comment se comportent les ouvrages en cas d'enneigement plus considérable ?

Dans cette hypothèse, les *ouvrages de protection passive* subissent généralement de par leur conception même, une perte d'efficacité d'autant plus marquée que la couche de neige est importante, donc le danger d'avalanche plus grave.

Par contre, les *ouvrages de stabilisation* supportent le plus souvent sans dommage, des surcharges considérables, le coefficient de sécurité adopté lors de leur calcul tenant largement compte de cette éventualité. Sans doute lorsqu'ils sont entièrement enfouis, sont-ils parfois impuissants à empêcher la neige de surface fraîchement accumulée et sans cohésion de glisser vers l'aval. Ces avalanches n'intéressent cependant que tout ou partie de la couche dépassant la hauteur utile des ouvrages, ce qui limite leur pouvoir dévastateur.

Signalons aussi que les dispositifs de protection passive, sont, en outre, à peu près sans effet sur les avalanches de neige poudreuse — les « tournes » exceptées — alors que les dispositifs modernes de protection active sont capables d'enrayer le déclenchement de telles avalanches. Notons à ce sujet que les « ponts », par la disposition des éléments de leur platelage (éléments disposés parallèlement au sol) s'opposent dans une certaine mesure au tassement de la neige au contact de l'ouvrage. Cela les rend particulièrement efficaces pour la prévention d'avalanches de neige de surface sans cohésion.

Donc, en matière d'efficacité, les dispositifs de protection active paraissent l'emporter assez nettement sur les dispositifs de protection passive. Il y a lieu de noter cependant que le facteur psychologique joue, souvent encore, en faveur de ces derniers.

En ce qui concerne le *prix de revient*, les conditions sont trop variables pour permettre de dégager un avantage marqué en faveur de l'une ou l'autre de ces méthodes de protection.

Le coût des travaux est en effet conditionné par la nature et la localisation des ouvrages à construire ainsi que par les ressources locales en matériaux utilisables (pierres, bois...) et en moyen de transport (route, téléphérique...).

Les ouvrages de défense, localisés dans le bas des couloirs ou dans les vallées marquent à cet égard un net avantage. Cependant, du fait de leur implantation sur la trajectoire de l'avalanche, ils doivent nécessairement résister à des efforts incomparablement supérieurs à ceux qu'ont à supporter les ouvrages de stabilisation établis dans les zones de départ. Cette suggestion neutralise le plus souvent l'avantage que représente leur localisation à faible altitude. A l'actif des ouvrages de défense, il faut mentionner leur *entretien* plus facile et d'ailleurs très réduit et la facile surveillance des ouvrages de ce genre (construction massive).

En matière d'*ouvrages de protection active*, la tendance est de plus en plus nettement orientée vers la réalisation de dispositifs plus ou moins continus comportant des ouvrages charpentés, principalement des « ponts » et des râteliers, dont le « rendement » (prix de revient au mètre carré de surface utile) est particulièrement intéressant. Les techniciens suisses poursuivent leurs recherches pour améliorer encore ces types d'ouvrages.

Lorsque la zone de départ de l'avalanche à corriger est susceptible d'être boisée, on a généralement recours à des ouvrages rustiques, souvent entièrement en bois, plus économiques que les ouvrages prévus pour les dispositifs permanents.

En effet, le départ en masse et la reptation de la neige étant pratiquement supprimés dans le périmètre traité, on pourra y installer des plants forestiers. Ils prendront, au fur et à mesure de leur développement, la relève des ouvrages de stabilisation devenus vétustes. La forêt constitue en effet un dispositif de stabilisation efficace. S'il n'est pas absolument exclu de voir des avalanches prendre naissance en forêt, ce fait est imputable à des conditions d'enneigement telles que tout dispositif artificiel de stabilisation serait également et sans doute plus gravement en défaut. Des recherches sont en cours en Suisse pour préciser les conditions les plus favorables à la pleine efficacité de la forêt dans ce domaine.

D'ores et déjà, cependant, on peut valablement admettre que dans la zone forestière il appartient à la forêt d'assurer, dans la généralité des cas, la relève des ouvrages de stabilisation de la neige. Il y a lieu d'agir en conséquence.

La protection que procure la forêt contre les avalanches venues des zones supérieures est plus aléatoire, mais sa présence consti-

tuera toujours, cependant, un *facteur supplémentaire* de sécurité qu'il importe de ne point négliger.

Le boisement devra donc intervenir en complément des travaux de stabilisation de la neige chaque fois qu'il apparaîtra possible.

La stabilisation de la neige sur les versants avalancheux doit ainsi permettre la récupération, au profit de la forêt, des pentes jusqu'ici régulièrement balayées par les avalanches : c'est dans la mesure où la forêt effacera ses cicatrices qu'il fera meilleur vivre ou séjourner en montagne !

Puisse ce modeste travail contribuer à cette œuvre !

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES CONSULTÉS

1. Edwin BUCHER: *Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbau's*. Kommissionsverlag Kummerli et Frey, Bern, 1948. Druck von Buchdruckerei. Davos AG. (113 pages).
2. *Rapport interne n° 137 pour l'étude de la neige et des avalanches du Weissfluhjoch*, par H. In der GAND et B. FIGLISTER (non publié): *Technischer mitbericht zum Lawinenverbauprojekt*. St Antonien - Kühnihorn.
3. Publication de l'Armée Suisse: « *Météorologie et Avalanches* ».
4. R. HAEFELI: *Les travaux de la Station du Weissfluhjoch de la Commission suisse pour l'étude de la neige et des avalanches 1934-1940 in Intersylva* (tome I, 1941, pages 161 à 181).

PUBLICATIONS RÉCENTES

TRAITANT DE LA PROTECTION CONTRE LES AVALANCHES

5. *Lawinenverbau* - Mitteilung Nr 9 des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung. Supplément aux organes de la Société Forestière Suisse - N° 26 - 1951. MM. SCHLATTER, E. BUCHER R. HAEFELI, In der GAND et R. FIGLISTER) - (94 pages; résumés en français).
6. *Voyage d'études dans les Alpes françaises*. Compte rendu général du Groupe de travail de Correction des Torrents et de Lutte contre les Avalanches (pages 312 à 348). École Nationale des Eaux et Forêts - Nancy, 1953).
7. *Nomenclature des termes techniques pour les travaux de défense contre les avalanches*. Commission Suisse pour l'Étude de la Neige et des Avalanches in « *La Forêt* ». Organe de la Société Forestière Suisse et de l'Association Suisse d'Économie Forestière. N° 3, décembre 1953 (pages 44 à 48).
8. « *Protection contre les avalanches* ». Journal Forestier Suisse. N° 7, juillet 1954. (MM. de QUERVAIN, CHIMITS, J. Ma de AYERBE, W. HASENTEUFEL, J. KUSTER) - (pages 327 à 402).
9. *Nouveaux types d'ouvrage de retenue et de freinage expérimentés en Suisse contre les avalanches*, par J. ROLLEY. Revue Forestière Française. N° 1, janvier 1955 (pages 1 à 8).

SUMMARY

ELEMENTS FOR THE STUDY OF PROTECTION WORKS AGAINST AVALANCHE DEVASTATIONS

Protection against avalanche devastations is justifiable of two methods.

The older admits avalanche as unavoidable and strains to palliate its effects.

Works of this inspiration are qualified: passive protection works or *defence works*.

The second method is based upon recent knowledges on snow purchased by helvetic specialists. This method acts with success on causes of avalanches. Their formation is prevented by stabilisation works in the departure area.

Works of this inspiration are qualified: active protection works or *extinction works*.

These two methods are successively examined. About defence work, the greater part of the development is reserved for types of constructions. Three categories are distinguished: stopping constructions, deviation constructions and slowing constructions. The conception of this works is still empiric. Advantages and inconveniences of this types of constructions are briefly indicated.

Extinction works are studied more completely. Indications are given about formation and location of dangerous areas. Various factors intervening on snow evolution are indicated. Normes of construction are deducted. Principal types of stabilisation works are described but the greater part of the development is point on articulated constructions. Indications are furnished on efforts than constructions are undergoing. A method for calculation of articulated construction is given. This type of construction is advised for its efficiency and cheapness .

Forest action on avalanches is reminded in conclusion.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Lawinenverbauung kann nach zwei ganz verschiedenen Methoden betrachtet werden.

Die ältere Methode sieht die als unvermeidlich an und bemüht sich demnach ihren Wirkungen zuvorzukommen. Die dieser Technik zugehörigen Werke werden als passive Schutzwerke oder auch als *Schutzverbauung* bezeichnet.

Die andere Methode beruht auf die neu erworbene Wissenschaft den Schnee betreffend, die wir den Forschungen der Schweizer Fachleute danken. Eine gründlichere Kenntnis des Verhaltens des Schnees auf den Abhängen, ermöglicht einen erfolgreichen Kampf gegen die Ursachen der Lawinen. Letztere Technik bemüht sich also die Bildung selbst der Lawinen zu verhindern. Die Werke, die es bezwecken, den Schnee in den Ursprungszonen festzuhalten, werden als aktive Schutzwerke oder auch als *Stützverbauung* bezeichnet.

Beide Methoden werden nacheinander auseinandergelegt.

Was die *Schutzverbauung* anlangt, ist die Ausführung hauptsächlich den Bauwerken gewidmet. Nach ihrer Wirkungsart auf die gleitenden Schneemassen, werden sie in Sperr — Ableitungs —, und Hemmwerke gegliedert. Die Auffassung solcher Werke bleibt noch erfahrungsgemäss; deren Vor und Nachteile werden flüchtig angedeutet.

Die *Stützverbauung* wird ausführlicher behandelt. Hinweise auf die Bildung und die Lokalisierung der Gefahrzonen werden angegeben. Die verschiedenen Momente, die in das Verhalten des Schneemantels eingreifen, werden dann angeführt. Daraus werden die Bedingungen geschlossen, welche die Befestigungswerke ausfüllen sollen. Dann werden die wesentlichen Bauwerktypen beschrieben; die Hauptentwicklung gilt den Holzbauten. Hinweise auf die Kräfte, denen die Werke widerstehen müssen werden angegeben, wie auch Richtlinien für die Berechnung der Holzbauten, die besonders, wegen ihrer Worksamkeit und ihrer verhältnismässigen Billigkeit, zu raten sind.

Als Schluss wird die Rolle des Waldes in Betreff der Lawinen hervorgehoben.

(Traduction M. DÉCOURT.).