

Article scientifique

Article

1927

Published version

Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

---

## Étude de l'avalanche des Pèlerins (Chamonix), 10-11 avril 1924

---

Lagotala, Henri

### How to cite

LAGOTALA, Henri. Étude de l'avalanche des Pèlerins (Chamonix), 10-11 avril 1924. In: *Le Globe*, 1927, vol. 66, n° 1, p. 37–85, pl. 1–18. doi: 10.3406/globe.1927.2441

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:150804>

Publication DOI: [10.3406/globe.1927.2441](https://doi.org/10.3406/globe.1927.2441)

ÉTUDE  
DE  
L'avalanche des pèlerins  
(Chamonix)

*10-11 avril 1924*

PAR

**Henri LAGOTALA**

D<sup>r</sup> ès sciences  
Privat-docent à l'Université de Genève.

INTRODUCTION.

Dans la nuit du 10 au 11 avril 1924, une avalanche de fond se détachant de la région de l'Aiguille du Midi (fig. 1)<sup>1</sup> venait recouvrir toute une partie du territoire compris entre la partie supérieure de la forêt des Pèlerins, le chalet Balmat et la partie E de l'axe du Téléphérique entre les pylônes n<sup>o</sup>s XVI et XVII.

La compagnie des Chemins de Fer de Montagne qui exploitait le tronçon Pèlerins-La Paraz, et construisait à cette époque le tronçon aujourd'hui achevé, la Paraz-Les Glaciers, nous demanda d'étudier le trajet suivi par cette avalanche, et de rechercher les causes qui avaient déterminé son parcours terminal.

<sup>1</sup> Voir fig. 1 avec les planches.

L'étude fut faite de la façon suivante. Une série de photographies fut prise par les soins de M. Monnier, photographe, à Chamonix. Nous avons ensuite levé à la latte des profils en travers et en long, dans toute la zone recouverte par l'avalanche. Les mêmes profils furent relevés lorsque les neiges eurent disparu. De même une nouvelle série de photographies fut prise. Enfin nos levés furent complétés par le relevé, soit au clisimètre soit au tachéomètre, de plusieurs points intéressants environnant la zone d'avalanche. L'ensemble des profils et les indications tachéométriques et clismétriques nous servit à dresser les cartes de l'avalanche et du terrain sans avalanche.

La compagnie des Chemins de Fer de Montagne, par l'entremise de M. de Blonay ingénieur, a bien voulu autoriser la publication des documents recueillis au sujet de cette avalanche. Nous remercions ici bien vivement la Compagnie et M. de Blonay ingénieur de leur grande amabilité.

---

## PREMIÈRE PARTIE

### CHAPITRE I

#### Généralités sur les avalanches.

##### A. *Classification.*

Il est possible de distinguer trois formes typiques d'avalanches, sans cependant que l'on puisse tracer une limite très nette dans tous les cas entre ces trois formes.

1. *L'avalanche poudreuse* qui, comme son nom l'indique, est formée d'une masse pulvérulente de neige en mouvement. Une chute abondante de neige par basse température est une condition essentielle de sa formation. Cette avalanche peut intéresser la masse complète des neiges qui recouvre une région, ou bien seulement une couche superficielle. Dans ce cas, nous sommes en présence de l'avalanche poudreuse de surface. Dans les Pyrénées, l'avalanche poudreuse se nomme avalanche volante.

2. *L'avalanche de fond*, ou avalanche terrière des Pyrénées, résulte de la mise en mouvement de la masse entière des neiges compactes sur leur substratum. Ce substratum peut être ou bien le sol lui-même, ou bien une ancienne couche de neige, à laquelle la nouvelle couche superposée n'adhère pas. Dans certains cas l'avalanche, au début, peut n'intéresser que la partie nouvelle des neiges (avalanche de fond superficielle), mais bientôt par suite du frottement la masse entière des neiges peut prendre part à la formation de l'avalanche. L'avalanche de fond se formera après accumulation de neiges lourdes et molles, c'est-à-dire après une chute de neige s'étant produite durant une phase de température relativement douce. Elle se forme par suite de décollement consécutif à la fusion.

3. *L'avalanche de glacier*, dont l'éboulement du glacier de l'Altels est le type (11 septembre 1895).

B. *Causes déterminantes des avalanches, leurs parcours.*

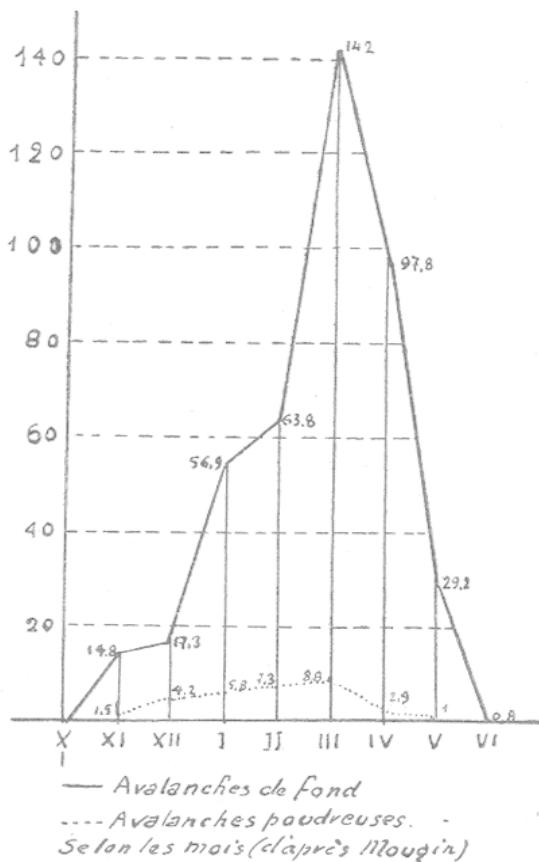
La raison de la mise en mouvement des masses de neige doit être recherchée dans les causes amenant le déséquilibre des accumulations de neige. En tout premier lieu une de ces causes est l'accroissement en hauteur de la couche de neige, sur une pente. Le moment du départ sera une relation entre la hauteur et le poids de la neige d'une part, et l'angle de pente et la nature du soubassement d'autre part. En général, dans le cas des neiges lourdes, la masse étant cohérente le départ de l'avalanche se fera en grande masse. Lorsqu'il s'agit de neiges « sèches », le départ pourra avoir lieu très localement, le coefficient de frottement étant relativement plus faible. L'avalanche poudreuse pourra souvent être provoquée par un faible ébranlement de l'air, ou des chutes de pierres.

En ce qui concerne l'avalanche de fond, l'augmentation du poids des neiges joue un rôle très important. Cette augmentation du poids résulte soit du tassemement des neiges, soit de l'absorption des eaux de pluie par les neiges, soit encore de la fusion, ou encore de toutes ces causes réunies. M. A. Heim a montré (Gletscherkunde) que la neige peut absorber jusqu'à 75 % de son poids d'eau. Il en résulte que la neige pourra augmenter très rapidement de densité. Le phénomène de fusion, d'autre part, déterminera la formation d'une couche glissante au contact du sol. Il se produira une diminution dans le coefficient de frottement.

Si la quantité des neiges, leur épaisseur, la pente du terrain sont à la base du problème, de l'avalanche, la qualité de la neige joue aussi un grand rôle. Cette qualité des neiges est fonction de l'altitude à laquelle tombe la neige, elle est aussi fonction de l'époque de la chute. Les avalanches de fond sont

plus fréquentes au mois de mars, de même que les poudreuses, mais dans le premier cas le maximum est excessivement accusé et représente le 33,8 % des avalanches de fond. Dans le cas des poudreuses, le maximum de mars ne représente que le 28 % (fig. 2). Ces valeurs sont tirées de l'ouvrage de M. Mougin.

FIG. 2.

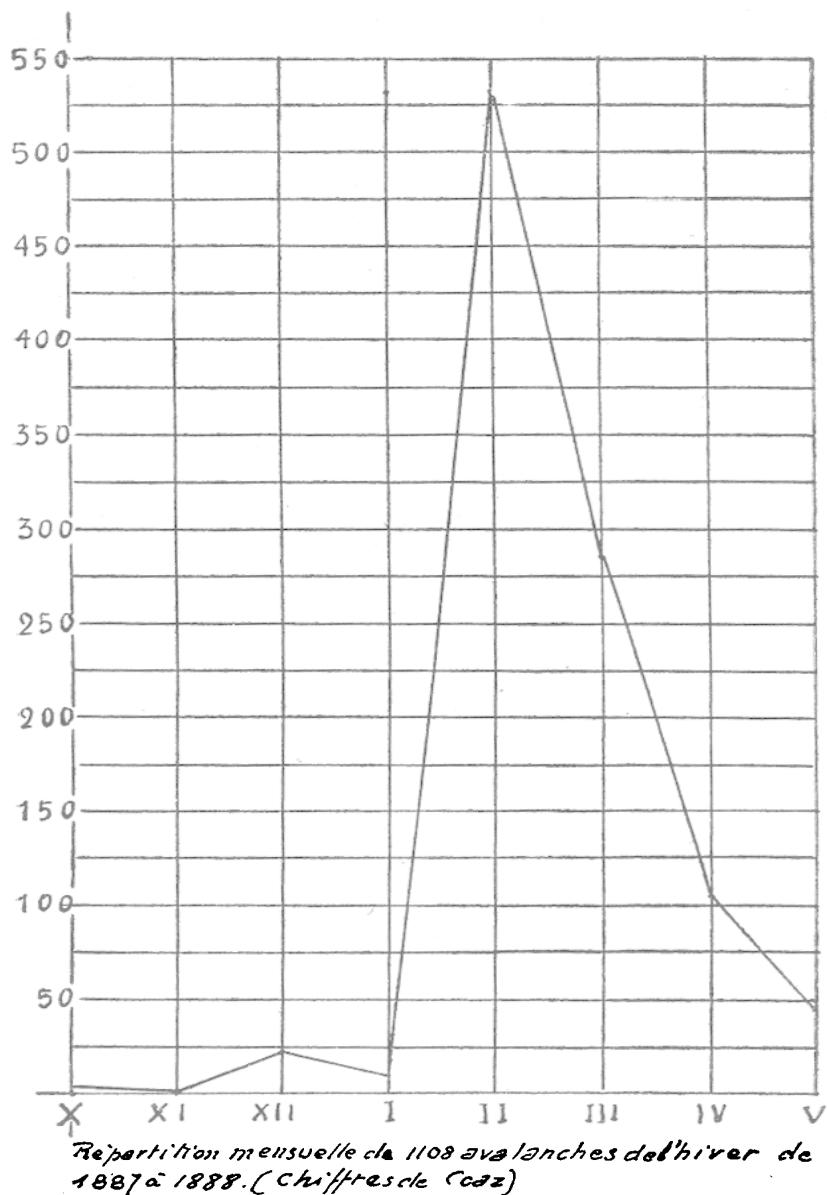


M. Coaz indique de même une plus grande fréquence des avalanches en février et en mars. Ainsi durant l'hiver X. 1887 à V. 1888, il tomba 1195 avalanches ayant occasionné quelques dégâts. 1008 de ces avalanches peuvent être réparties selon les mois, ce qui nous donne le tableau suivant (fig. 3).

La nature du sol joue un rôle important. Les soubassements schisteux, avec inclinaison des schistes dans le sens de la

pente, favorisent le départ de l'avalanche. Un soubassement granitique, toutes autres conditions restant les mêmes, est

FIG. 3.



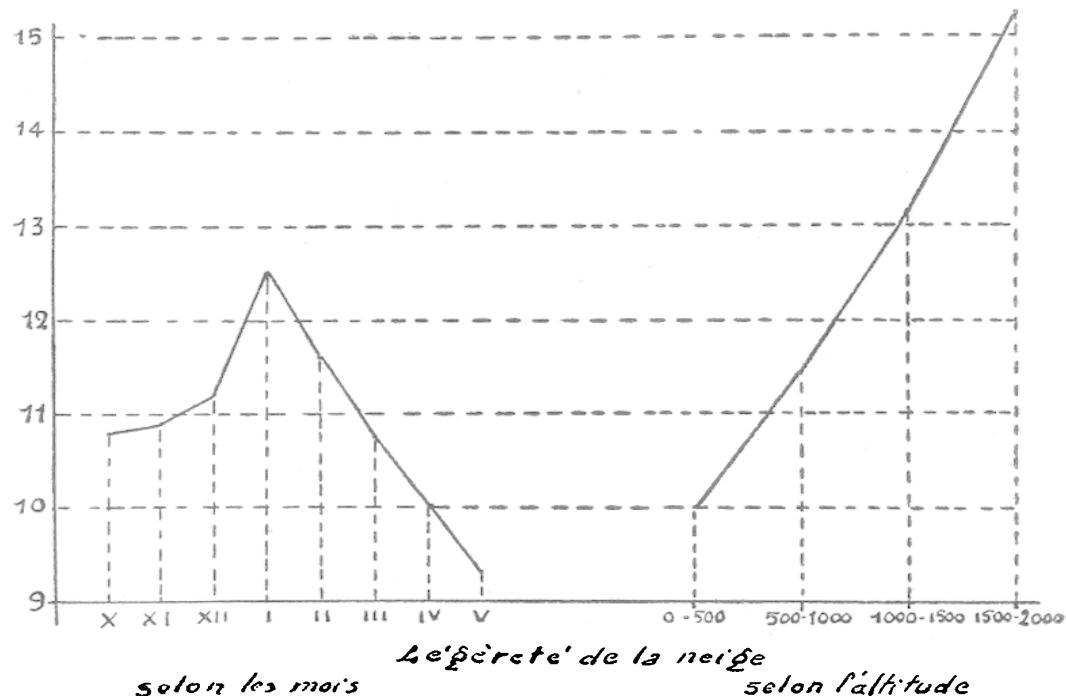
moins favorable. En général la disposition des roches est importante.

Un autre facteur important est le vent. Les vents chauds qui se font sentir à la fin de l'hiver ou au printemps sont de

nature à favoriser le déclanchement des avalanches. Les pluies ont aussi une influence positive.

La densité de la neige peut être exprimée par la hauteur de neige correspondant à 1<sup>mm</sup> d'eau. Nous empruntons au livre de M. Mougin les renseignements contenus dans les deux graphiques (fig. 4) suivants.

FIG. 4.



Les avalanches peuvent être classées selon l'altitude de leur point de départ. Sur 9368 avalanches, indiquées par Coaz,

394 se détachent entre 0 et 1500 mètres.

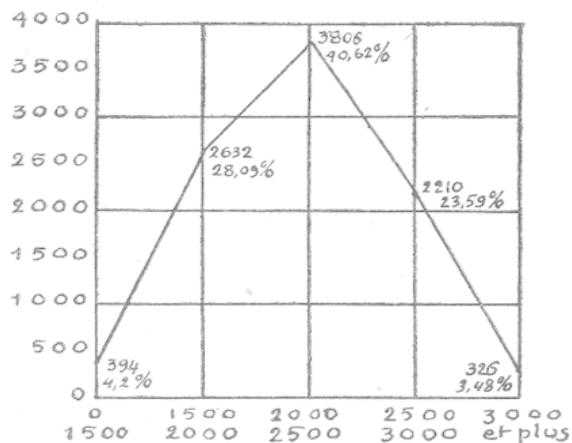
2632	»	»	1500 et 2000	»
3806	»	»	2000 et 2500	»
2210	»	»	2500 et 3000	»
326	»	»	3000 et plus.	

Le graphique (fig. 5), rend compte de cette répartition.

Les avalanches de fond sont les plus fréquentes. Pour la Suisse, Coaz indique sur 9368 avalanches, 5444 poudreuses ou de fond; 2958 sont nettement de fond, 932 poudreuses, et

34 de glacier. Dans le 31,5 % des cas les avalanches sont toujours de fond, dans le 9,94 %, elles sont poudreuses.

FIG. 5.



*Repartition de 9368 avalanches selon  
l'altitude. (chiffres de Coaz)*

La limite inférieure atteinte par l'avalanche dépend de la masse des neiges en mouvement et de la vitesse atteinte, autrement dit, dépend de la force vive ( $\frac{1}{2} m v^2$ ). Dans cette formule,  $m$  exprime la masse de l'avalanche,  $v$  la vitesse. La masse dépend de la quantité des neiges, de leur qualité (densité). Masse et densité sont extrêmement variables. Quant à la vitesse, elle dépend en premier lieu de la pente, qui est constante pour une région déterminée. Mais la vitesse dépend aussi du coefficient de frottement, qui varie en fonction de la variation des surfaces en contact. Nous voyons donc que la force vive d'une avalanche pour une région déterminée sera extrêmement variable. Chaque cas d'avalanche est donc un cas particulier du cas général d'une avalanche pour un même couloir ou une même pente donnée.

L'avalanche rouge de Goppenstein (région du Lötschberg), celle de Leysin et des Lavanchy (canton de Vaud), celle du col des Montets, etc. sont autant d'exemples de la variation d'une même avalanche dans son importance et dans

sa direction. En effet, si la direction d'une avalanche reste la même dans ses grandes lignes, chaque fois qu'elle se produit, le degré de recouvrement des pentes par la neige, la nature même de cette neige et la masse même de l'avalanche vont jouer un grand rôle. Les sinuosités du parcours seront d'autant mieux marquées que, pour un poids total égal de neiges s'écoulant dans un ravin, la densité de la neige sera plus forte. Lorsque la force vive de l'avalanche augmente, elle subit moins l'influence des détails du parcours général.

Une avalanche suivant un couloir ou un ravin pourra dans certains cas épouser toutes les sinuosités des rives ou au contraire déborder selon la masse et la qualité des neiges. L'indépendance du parcours de l'avalanche par rapport à la direction du ravin sera d'autant plus grande que le ravin sera moins nettement dessiné et que sa pente sera plus grande.

Il va de soi que la nature du sol et son degré de recouvrement entrent en ligne de compte dans la direction suivie par l'avalanche. De petites avalanches, d'abondantes chutes de neige effacent plus ou moins les détails de la topographie et parviennent à combler les ravins. Dans ce cas, l'avalanche considérée ne subira plus que l'influence de la direction générale des pentes.

\* \* \*

Dans son parcours l'avalanche passe par quatre phases. La première est celle du départ. L'avalanche est alors guidée. Puis bientôt sa force vive augmentant, elle prend plus d'indépendance vis à vis du relief, et se trouve dans sa seconde phase, celle de vitesse maximum. La troisième phase correspond à la phase de déperdition de vitesse par suite de changement de pente, d'obstacle, de frottements plus considérables. L'arrêt alors se produit, c'est la quatrième phase. La grandeur de chacune de ces phases est extrêmement

variable, et il peut y avoir, dans certains cas, répétition de l'une ou de plusieurs des phases.

En avançant, l'avalanche décolle les neiges qui se trouvent devant elle. L'état et la masse de ces neiges, leur relation vis à vis du sol sont autant de causes susceptibles d'influencer la marche de la masse principale de l'avalanche. Au moment de l'arrêt, la disposition des neiges arrêtées interviendra dans la répartition des masses de neige et de débris de l'avalanche. Les masses encore en mouvement viendront s'accumuler en amont de l'obstacle formé par les masses arrêtées, formeront les bourrelets, chevaucheront parfois les parties arrêtées, et pourront refluer latéralement.

En résumé, si nous considérons une zone parcourue par l'avalanche, il y aura beaucoup de probabilités pour que jamais une avalanche ne soit identique à la précédente. Il y aura non seulement variation dans la fréquence des avalanches, mais encore dans les masses en jeu, la direction, et le point d'arrêt<sup>1</sup>.

Il nous sera permis de citer à l'appui de cette manière de voir les avalanches de la région de Chamonix, des Alpes suisses et autrichiennes, etc.

### C. *Etude des lois de l'écoulement de l'avalanche.*

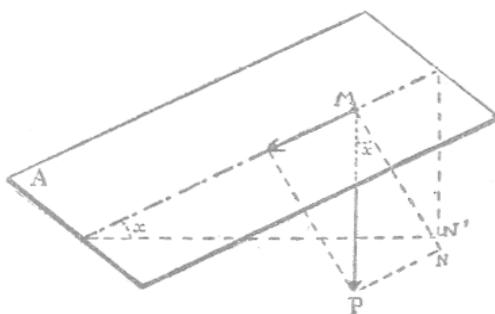
Les auteurs sont d'accord pour appliquer à l'écoulement d'une avalanche de fond les lois qui régissent le glissement des masses. Il va de soi que dans le cas du glissement des neiges ces lois ne devront pas être prises d'une façon trop absolue. En effet la neige, selon son degré de cohérence, se comportera avec une plasticité variable par suite des trans-

<sup>1</sup> Pour les détails concernant les avalanches voir les travaux de Mougin, Coaz, etc.

formations dans la nature des neiges et de la variation des surfaces en contact.

Nous rappelons ci-dessous les lois du glissement des corps : Soit un mobile  $M$ , de poids  $P$ , qui se trouve sur un plan incliné  $A$  faisant avec l'horizontale un angle  $x$  (fig. 6).

FIG. 6.



La force  $P$  peut se décomposer en deux composantes  $M-N$  et  $M-F$ ,  $M-N$  est normale à la surface du plan,  $M-F$  est dirigée selon la direction de plus forte pente du plan.

La valeur relative de ces deux forces dépend de la valeur de l'angle  $x$ .

Remarquons que l'angle  $PMN = \text{angle } FMN'$ .

Nous pouvons établir les relations suivantes :

$$\frac{N}{P} = \text{sinus de } x.$$

$$\frac{M-N}{M-P} = \text{cosinus de } x. \quad NP = MF.$$

Nous désignerons les forces :

$M-F$  par  $F$ ,  $M-P$  par  $P$ , et  $M-N$  par  $N$ .

Nous aurons donc :

$$\frac{F}{P} = \text{sinus } x. \quad \frac{N}{P} = \text{cosinus } x.$$

Donc  $F = P \text{ sinus de } x$ .

$N = P \text{ cosinus de } x$ .

La valeur de  $F$  sera maximum pour  $x = 90^\circ$ , c'est à-dire pour  $\text{sinus de } x = 1$ . C'est le cas de la chute libre.

Dans le cas inverse  $x = 0$ , la force  $N$  se confond avec  $P$  et la force  $F$  est réduite à zéro.

\* \* \*

Par suite des phénomènes de frottement, il faut une certaine valeur limite minimum de l'angle  $x$  pour que le glissement ait lieu. Cette valeur dépend des surfaces en contact (nature des surfaces). La valeur limite maximum que peut prendre l'angle fait par le plan avec le plan horizontal sans amener le glissement se nomme *angle de frottement*. Cet angle peut être déterminé expérimentalement, comme le montrent les expériences de Coulomb. Il est plus grand à l'état de repos qu'à l'état de mouvement. Autrement dit une masse mise en mouvement par suite de sa position sur une surface inclinée d'un angle égal à la valeur de l'angle de frottement, pourra continuer son mouvement, même si la pente devenait plus faible.

L'angle de frottement dépend de la valeur du coefficient de frottement.

La force de frottement peut être considérée comme s'exerçant en sens inverse de celui du glissement du mobile. Elle est proportionnelle à la force de pression  $N$  qui s'exerce sur le plan et qui est compensée par la résistance de ce plan.

Si nous posons :

$F$  = la force tangente à la surface

$F_p$  = la force de frottement

$F'$  = la force de glissement

$f$  = le coefficient de frottement.

Nous pourrons inscrire :

$F' = F - F_p$ .

Or nous pouvons poser  $F_p = fN$ ; c'est-à-dire que la force de frottement est une fonction de la force qui tend à maintenir le corps sur le plan.  $F_p$  dépendra donc du coefficient  $f$  de frottement et de la force pressante  $N$ .

Rappelons que :

$$F = P \sinus x.$$

$$N = P \cosinus x.$$

$$\text{donc } F' = F - fN$$

$$F' = P \sinus x - f P \cosinus x.$$

$$F' = P (\sinus x - f \cosinus x).$$

Si nous désignons par :

$g$  l'accélération terrestre

$j$  l'accélération durant le glissement

$M$  la masse du mobile

Nous aurons :

$$F' = Mj$$

$$P = Mg$$

En introduisant ces valeurs dans la formule :

$$F' = Mg (\sin. x - f \cos. x)$$

nous obtenons :

$$Mj = Mg (\sin. x - f \cos. x)$$

$$J = g (\sin. x - f \cos. x)$$

L'accélération  $j$  du mobile ( $x$  étant aigu) grandira avec la valeur de l'angle  $x$ , et diminuera si le coefficient de frottement  $f$  augmente. Si nous voulons trouver la vitesse du mobile et les espaces parcourus, nous avons à notre disposition les équations générales du mouvement uniformément accéléré :

$$V = jt \text{ et } E = \frac{1}{2} jt^2$$

équations dans lesquelles  $V$  exprime la vitesse,  $E$  les espaces parcourus,  $J$  l'accélération, et  $t$  le temps.

Dans le cas particulier qui nous intéresse (glissement), ces équations deviennent, étant donné que  $J = g (\sin. x - f \cos. x)$  :

$$\text{I. } V = g (\sin. x - f \cos. x) t \quad \text{III. } t = \sqrt{\frac{-2E}{g \sin. x - f \cos. x}}$$

Dans la deuxième de ces relations, on peut introduire la différence  $h$  de niveau entre les deux points extrêmes consi-

dérés du glissement. En effet la distance parcourue est liée à la différence de niveau par l'égalité :

$$\text{IV.} \quad E = \frac{h}{\sin. x}$$

\* \* \*

Toutes ces formules ne s'appliquent qu'à un volume élémentaire. En réalité dans le cas de l'avalanche le problème est extrêmement compliqué. Lorsque les neiges commencent leur mouvement de descente, elles possèdent un certain volume et un certain poids, qui varient au fur et à mesure que chemine l'avalanche. La compression de la neige se fait dès le départ par suite de l'action de retenue effectuée par les neiges d'aval. Cette résistance, en tout point variable, crée constamment de nouvelles conditions de glissée. Les neiges partent avec un certain angle, mais le chevauchement d'une partie des neiges sur les suivantes peut se produire, modifiant ainsi l'angle sous lequel va se poursuivre la glissée. Il peut aussi arriver que le frottement qui au début était neige sur terrain se fasse dès lors neige sur neige, ou inversément. Le frottement neige sur sol peut se produire plus en aval si l'avalanche entraîne toute la masse des neiges dans son mouvement. Le coefficient de frottement sera donc lui aussi un élément variable. Les calculs que l'on pourra donc faire en utilisant les formules ci-dessus ne devront pas être considérés comme l'expression exacte du phénomène, mais comme une simple approximation pouvant donner une idée de l'ordre de grandeur des valeurs recherchées. En ce qui concerne une avalanche poudreuse, la question serait peut-être plus complexe encore ; on serait amené à appliquer les théories relatives aux éboulements de masses poudreuses.

Au point de vue pratique nous voyons que dans le cours de l'avalanche la deuxième phase (celle de la vitesse maxi-

male) possède la force vive la plus considérable. Pratiquement il sera inutile de mettre des travaux de protection dans cette région. Ce n'est que dans le bas de la zone atteinte par l'avalanche que la protection pourra être recherchée ou dans la zone de départ, mais d'une façon relativement restreinte. On peut trouver dans les travaux de Mougin et de Coaz d'utiles indications à cet égard. Remarquons cependant que souvent beaucoup de petits travaux ont été effectués en vain contre l'avalanche, ces travaux ayant été placés dans des zones où leur résistance était pratiquement nulle par rapport à la force vive de l'avalanche qu'il s'agissait de dévier ou de canaliser. Les travaux de Mougin et de Coaz sont très suggestifs à cet égard.

#### *Vitesses observées des avalanches.*

La vitesse des avalanches est très variable.

D'après Mougin l'avalanche de Belle-Etoile en Savoie, le 11 mai 1897 avait une vitesse de 460 m à la minute, soit 37,6 km à l'heure.

Coaz indique pour celle du Glärnisch (Glaris) une vitesse de 350 km à l'heure.

#### *D. Distances parcourues.*

La distance parcourue par les avalanches est aussi extrêmement variable. Mougin cite des chiffres oscillant entre 320 m et 4500 m. En voici quelques exemples empruntés à Mougin :

Avalanche des Praz, Communaz, Chamonix : 4400 m  
Avalanche de l'Aiguille du Midi, Chamonix : 3570 m  
Avalanche du Ravin de la Pendant, Chamonix : 4500 m  
Avalanche du Bourget, les Houches. . . : 3660 m

*Volumes des avalanches.*

D'après le même auteur l'avalanche du Col des Montets (20 janvier 1914), mesurait 300 m de long, 210 m de large et 18 m d'épaisseur, ce qui nous donne très approximativement la valeur de 1 134 000 m<sup>3</sup> pour le volume.

L'avalanche de Blaitière du 3 avril 1914 mesurait respectivement : 222 m  $\times$  200 m  $\times$  28 m, ce qui nous donne environ un volume de 1 243 200 m<sup>3</sup>.

CHAPITRE II

**Les conditions d'enneigement de la région de Chamonix.**

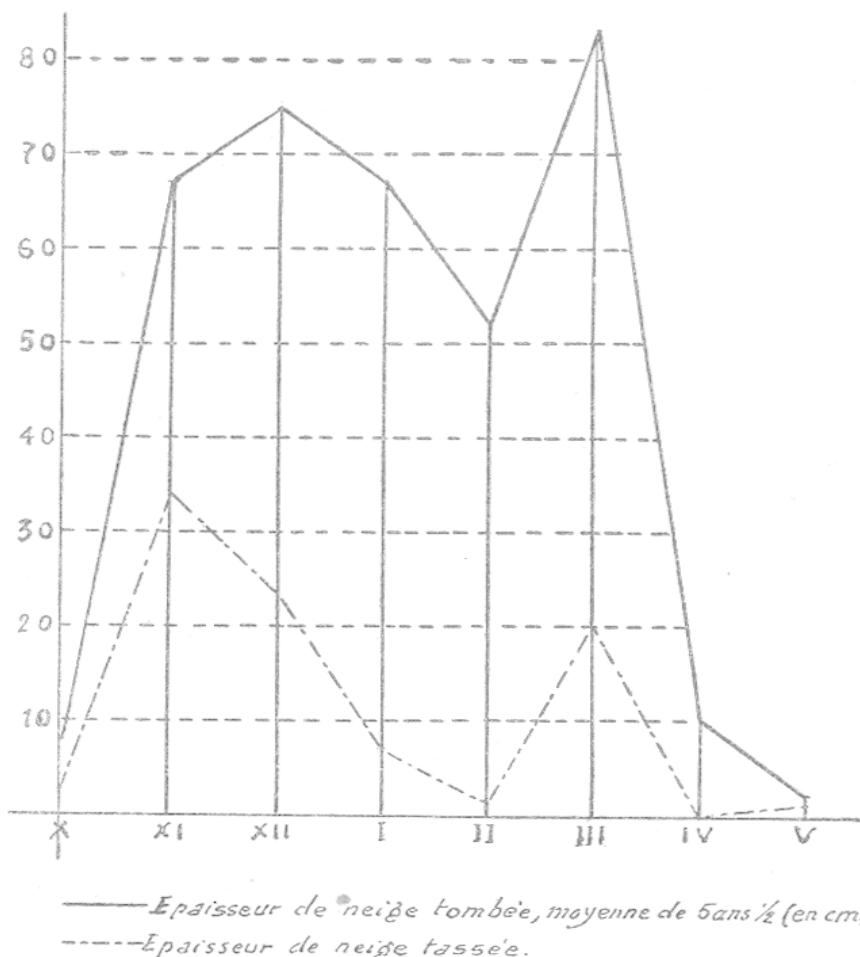
Par sa topographie, la région de Chamonix est sujette aux avalanches qui proviennent soit du massif du Mont-Blanc, soit du massif des Aiguilles Rouges. Les phénomènes d'érosion torrentielle sous-glaciaire, les érosions interglaciaires et postglaciaires ont amené l'approfondissement du synclinal de Chamonix.

Approfondissement d'autant plus marqué, qu'il s'effectuait dans des zones sédimentaires. Ainsi se créa ce large sillon aux flancs rapides. A l'altitude de 2200 m environ se marque un plateau incliné dans les schistes cristallins des Aiguilles Rouges de même que dans ceux du massif du Mont-Blanc. Puis les pentes s'élèvent rapidement, dans les granites pour le Mont-Blanc, dans les schistes pour les Aiguilles Rouges. Sur ce plateau, trace d'une érosion des temps glaciaires (Würm), aboutissent plusieurs glaciers suspendus (Pélerins, Blaitière, Nantillons). Le raccord des sommets à ce plateau se fait par des pentes extrêmement raides ou des parois, le raccord du plateau à la vallée de Chamonix se fait par de nombreux couloirs, ravins aux cours précipités. Il y a donc

au point de vue pente les éléments suffisants pour les avalanches.

Examinons maintenant le climat de la région de Chamonix. Nous empruntons au Dr L. de Chabanolle quelques chiffres tirés de sa brochure : Chamonix, son climat, ses particularités. Il tombe annuellement 817 mm d'eau à Chamonix sous forme de pluie. Quant à la neige, sa hauteur moyenne s'élève à 3 m 64. Ce sont les mois de décembre et de mars qui accusent le maximum de chute de neige. Nous avons figuré dans le diagramme suivant (fig. 7) les valeurs mensuelles indiquées par M. le Dr de Chabanolle.

FIG. 7.

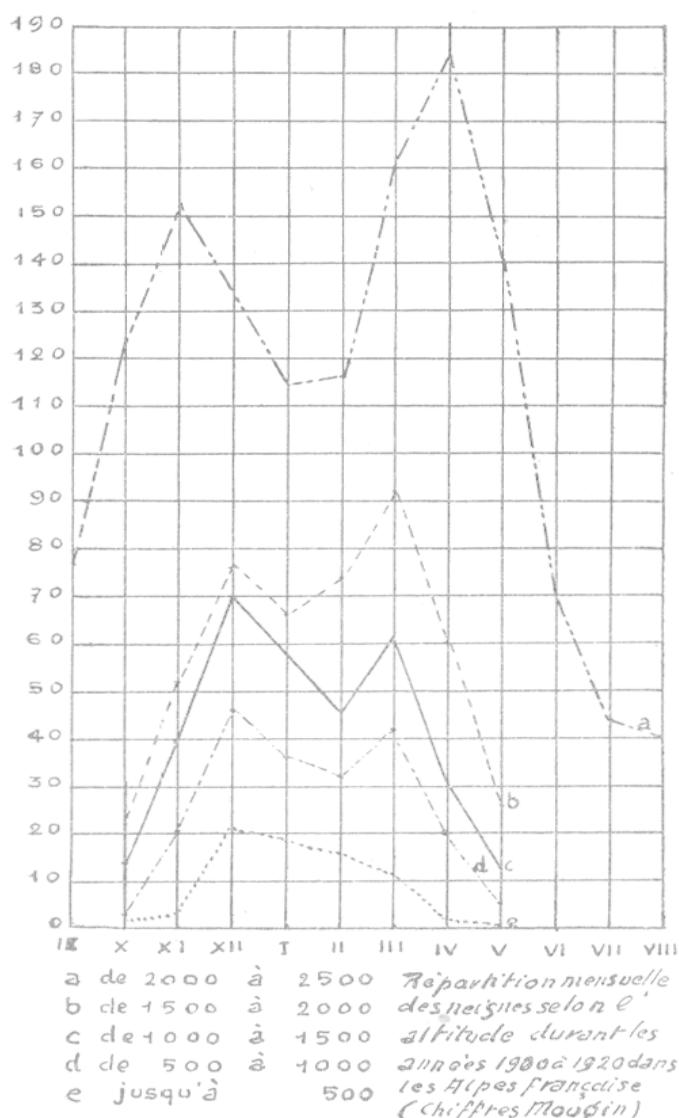


Le diagramme (fig. 7) correspond à celui de Mougin (fig. 8), de la répartition mensuelle des chutes de neige de 0 à 2000 m. A partir de 2000 m la fig. 8 montre un premier maximum en novembre, il est suivi d'un minimum de janvier à février, puis un nouveau maximum se trouve en avril.

Ceci est très important car ces maximums de novembre et avril correspondent à la formation d'avalanches.

Les chutes de neige les plus importantes qui, en dessous de 1500 m ont lieu en décembre, se trouvent reportées en

FIG. 8.



mars de 1500 m à 2000 m et en avril à partir de 2000 m. Il s'agit à cette époque de neiges lourdes capables d'engendrer des avalanches.

Etant donné, qu'il tombe à Chamonix, comme nous l'avons vu, 83 cm de neige fraîche en mars, nous pourrons calculer la hauteur probable de neige à l'altitude de 2500 m. En effet, des expériences, citées par Mougin, montrent qu'à une chute de neige de 1 m 30 à Chamonix correspond une chute de 5 m à l'altitude de 2500 m. Nous devons donc multiplier  $0,83 \times 3,8$  ce qui nous donne 3 m 15 de neige fraîche.

Cette neige, qui vient s'ajouter aux neiges déjà accumulées, pourra souvent par le seul effet de son poids déclencher des avalanches.

Chamonix a connu un grand nombre d'avalanches dont les plus anciennes citées remontent au XVII<sup>e</sup> siècle (1646 Trélée-Champs-d'en-Haut). Au fur et à mesure que l'on se rapproche des temps modernes les statistiques sont plus détaillées. Le tableau dressé par M. Mougin est très éloquent. L'on se rend compte de l'allure capricieuse de l'avalanche, quant à sa force et à sa direction.

### CHAPITRE III

#### L'hiver 1923-1924 à Chamonix et dans les Alpes en général.

Les Alpes françaises, suisses et autrichiennes furent caractérisées durant l'hiver 1923-1924 par d'abondantes chutes de neige. Au printemps 1924 de nombreuses avalanches se déclenchèrent. Ces avalanches furent exceptionnelles tant par leur volume que par leur direction. M. F. Gex, a publié des chiffres particulièrement intéressants sur les avalanches de fin décembre 1923 en Savoie. Nous empruntons quelques

chiffres à cet auteur, renvoyant le lecteur à la publication pour les détails.

A Chamonix il y eut durant le mois de décembre une chute totale de 227 mm de neige exprimée en eau de fusion.

Le 3 et le 4 décembre il est tombé 40 cm de neige fraîche à Chamonix. A partir du 23<sup>e</sup> décembre il neige presque sans interruption jusqu'à la fin du mois. Le 23 il tombe 80 cm de neige, le 25, 48 cm et 1 m 65 entre le 25 et le 31. Au total 3 m 33 de neige, durant décembre à l'altitude de 1500 m environ. On peut se figurer aisément la quantité tombée à 2500 m d'altitude. De très nombreuses avalanches partirent à cette époque déjà. Mais dans d'autres régions, à ces neiges nouvelles vinrent se superposer les neiges tombées en janvier, février et mars 1924.

Pour certaines régions ce ne fut qu'en mars et en avril que se déclanchèrent les avalanches.

La Suisse comme la France et les autres pays alpins connurent un nombre tout à fait exceptionnel d'avalanches. Gex cite parmi les plus intéressantes celles de Pierre-à-Voir dans le Valais, Leysin, Lavanchy et Châtillon dans le canton de Vaud. Le Vercors et les Bauges, le Faucigny, le Genevois et la Tarentaise connurent aussi des chutes énormes de neige. Les avalanches furent nombreuses dans le Genevois, le Chablais, le Haut Arly, et prirent des dimensions et des directions exceptionnelles.

Dans la Vallée de Chamonix l'avalanche des Contamines se détachant, forma un cône de 200 m  $\times$  50 m sur une épaisseur de 20 m. La ligne du chemin de fer du Fayet à Chamonix et Argentière fut coupée en deux points: au Pont Ste-Marie et en amont d'Argentière, par deux avalanches. Le 29 décembre, une avalanche se détachait des Aiguilles Rouges et barrait la route et la voie ferrée entre Chamonix et Argentière.

Tout nous montre donc les conditions exceptionnelles de cet hiver 1923-1924. Il fallait s'attendre donc à voir de nombreuses avalanches se déclancher au printemps 1924. Ce fut en effet le cas.

*Description générale de la région atteinte par l'avalanche.<sup>1</sup>*

La région des Pèlerins atteinte par l'avalanche de l'Aiguille du Midi est dominée par l'Aiguille du Midi (fig. 1) qui dresse sa masse granitique à 3843 m d'altitude. Au pied des parois le glacier des Pèlerins occupe un plateau incliné dont le côté N descend à 2150 m. A l'W le glacier des Bossons délimite la région par ses glaces qui atteignent l'altitude extrême de 1120 m. Toute la zone comprise entre ces deux glaciers est striée de ravins rapides témoins d'une érosion jeune. Tous ces ravins aboutissent à deux ravins principaux, celui du torrent de la Creusaz et celui du torrent des Faverands.

Le torrent des Faverands est lui-même constitué par la jonction à l'altitude de 1205 m des torrents du Dard au N et du Faverand proprement dit au S, aussi nommé torrent des Pèlerins. Le torrent du Dard prend sa source à l'W S W du lac du Plan de l'Aiguille, entre le glacier de Blaitière et celui des Pèlerins, vers l'altitude de 2250 m. Quant au torrent des Faverands, sa source se trouve sur la partie W de l'arc morainique du glacier des Pèlerins à l'altitude de 2000 m.

Dans leurs parties supérieures ces deux torrents courent parallèlement de l'E à l'W.<sup>2</sup> Le torrent des Faverands, qui nous intéresse spécialement, ne tarde pas à changer de direction. A la cote 1650 m environ, son lit forme un angle de 150°. Mais après 570 m de course, nouveau changement. Vers 1250 m d'altitude, son cours se dirige au N, formant avec le tronçon précédent un nouvel angle de 135°, il arrive

<sup>1</sup> Voir carte Vallot : Environs de Chamonix au 1 : 20.000<sup>e</sup>.

<sup>2</sup> Pour le torrent des Faverands W 15° NW.

avec cette direction jusqu'à la cote 1205 où il se joint au torrent du Dard. Nous n'avons indiqué ici que les principaux changements de direction, laissant pour plus tard certains détails. Remarquons simplement l'importance de ces changements de direction sur la ligne d'écoulement des avalanches, et souvenons-nous que l'avalanche n'est déviée de sa route, avec le maximum d'effets, que si l'obstacle forme par ses parois un angle d'au moins  $120^\circ$  avec la direction des masses de neige.

La végétation forestière monte jusqu'à 1300 m d'altitude environ à la station de la Paraz du Téléphérique de l'Aiguille du Midi; mais le long du ravin toute une zone est sans arbres. C'est la zone parcourue par les avalanches. Et si, sur la rive droite, quelques essences ont poussé, nous remarquerons immédiatement qu'il s'agit de plantes très jeunes. Puis la végétation reprend à l'altitude de 1240 m entre les pylônes XVI et XVII du Téléphérique. Les arbres sont grands et âgés. Cette altitude de 1240 m marque donc, approximativement il est vrai, la zone terminale moderne des cônes d'avalanche sur l'axe du Téléphérique. Le torrent des Faverands sort, comme nous l'avons dit, des matériaux morainiques du glacier des Pèlerins. Son lit est d'abord entaillé dans une zone d'amphiboles, il ne tarde cependant pas à éroder les schistes cristallins pour rencontrer à nouveau vers 1280 m une zone d'amphiboles. Il parcourt encore quelques centaines de mètres dans les micaschistes granulitiques pour parvenir enfin dans les matériaux accumulés par les anciens glaciers, moraines frontales anciennes du glacier des Pèlerins, et par les cônes successifs de débris transportés par les avalanches. Alors commence, plus bas, la grande zone du cône de déjections torrentielles des Pèlerins qui a repoussé le cours de l'Arve.

Si nous traçons un profil de l'altitude de 3000 m en amont du glacier des Pèlerins, dans les couloirs de l'Aiguille du Midi jusqu'à la courbe d'altitude 1200 nous obtenons les pentes suivantes :

	Longueur en projection horizontale	Dénivellation	degré de pente
de 3000 à 2500	500 m	500 m	45°
de 2500 à 1700	1200 m	800 m	33° 30°
de 1700 à 1300	700 m	400 m	30°
de 1300 à 1200	300 m	100 m	18°

Nous n'avons donné ici que les principaux traits de la variation des pentes. Dans le détail, d'autres variations interviennent. Les plus fortes pentes sont dans le granit (45°), puis viennent les schistes cristallins. La présence d'amphiboles, de dépôts morainiques, ou d'éboulis font varier la pente.

Cette influence des roches est encore plus marquée si nous suivons le cours du torrent. Ce dernier présente une gorge étroite qui est coupée de cascades alternant avec des paliers.

L'exposition générale de la région est au N W. Les vents du S W et de l'W l'atteignent facilement dans les hautes régions.

Les fortes altitudes de cette région, les bonnes conditions d'enneigement, l'exposition aux vents chauds, les pentes accentuées, permettent la formation facile d'avalanches qui, si elles sont suffisamment alimentées, ne s'arrêtent que sur la pente inférieure, détruisant peu à peu les forêts. Le point extrême de ces avalanches modernes se trouve au niveau des dépôts glaciaires anciens entre 1200 et 1240 m d'altitude.

Les grandes avalanches se formeront soit par décollement des masses de neige dans les couloirs de l'Aiguille du Midi, soit par mise en mouvement directe ou indirecte des neiges du glacier des Pèlerins.

C'est vers les altitudes de 2500 à 3000 m que se déclineront donc ces avalanches de fond.

Nous pouvons estimer à 8 ou 10 m et même davantage, l'épaisseur des précipitations neigeuses à l'altitude de 3000 m durant l'hiver 1923-1924.

## DEUXIÈME PARTIE

### CHAPITRE IV

#### L'avalanche et le terrain.

##### D. *Les documents photographiques.*

L'avalanche qui fait le sujet de cette étude est tombée dans la nuit du 10 au 11 avril 1924. Quelques personnes de Chamonix nous ont déclaré en avoir entendu le bruit. Le lendemain 11 avril quelques photographies furent prises.

Ces photographies montrent que la partie W de l'axe du Téléphérique est encombrée de blocs de neige. A l'E un ravin est complètement comblé, la maison Balmat (fig. 9) est atteinte, l'écurie et la cuisine sont détruites et le toit de la maison annexe enlevé partiellement<sup>1</sup>.

La fig. 9, montre le bourrelet des neiges qui s'est formé en amont de la maison.

Sur la photographie n° 2 on voit toute la zone parcourue par l'avalanche, depuis le pied de l'Aiguille du Midi jusqu'au pylône XVI. A partir du haut du ravin, où se marque un étroit défilé dans le rocher, l'avalanche s'est écoulée en suivant le ravin, mais aussi en débordant sur l'W. Mais comme le montreront les profils, la masse principale de l'avalanche se trouve à l'E.

Sur l'axe de la ligne le pylône n° XVII a souffert. A l'angle amont, côté torrent, les neiges atteignent un peu au-dessus de la seconde travée horizontale, environ 6 m au-dessus des maçonneries, mais la partie arrière du pylône voit les neiges diminuer, et à l'angle aval W, la neige recouvre à peine la maçonnerie (photographie n° 3).

<sup>1</sup> Photographie N° 1 remplacée par dessin fig. N° 9, placé avec les planches.

La neige n'a donc pas rempli le pylône, elle s'est simplement entassée devant. Ce phénomène est encore mieux marqué si nous étudions la photographie n° 4. Une énorme accumulation de neige se trouve *à quelques mètres à l'est du pylône XVII et non contre* le pylône. Nous en verrons la raison plus loin lorsque nous étudierons le terrain tel qu'il s'est présenté après la fusion des neiges.

Nous nous sommes rendu sur le terrain le 15 mai 1924 en compagnie de M. de Blonay, ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de Montagne et de M. Bernardet, représentant M<sup>me</sup> Balmat, propriétaire du chalet détruit.

Dans le cours de la journée, M. Bernardet et moi, avons fait prendre une série de photographies. Les jours suivants, des profils en travers et en long furent levés afin d'établir la surface, le volume et la forme du cône d'avalanche.

Le 15 mai, la surface du cône d'avalanche avait déjà diminué et, vue de l'amont vers l'aval se présentait comme un fleuve figé formant un angle assez brusque un peu en amont du pylône XVII.

La photographie n° 5 est saisissante à cet égard. On voit nettement l'amorce du changement se faire peu à peu en des lignes courbes.

Entre le pylône XVI et le pylône XVII *les neiges s'accumulent et forment une large crête crevassée ne touchant pas les pylônes, un sillon les en sépare, un petit bourrelet venant s'appuyer contre un gros bloc* (profil 1 vers l'est et photographies 20 et 21). On remarquera aussi sur la photographie n° 5 que le maximum des neiges est à l'est de l'axe du Téléférique.

Notons aussi que la forêt sur la rive E de l'avalanche est formée d'arbres jeunes, tandis qu'au N et à l'W les arbres sont forts et par conséquent anciens. La partie à l'W de l'axe du Téléférique ne présente que sporadiquement de la neige, sauf dans la région basse (vers 1230 m).

Une seconde vue générale nous est donnée par la photographie n° 6.

La vue a été prise à la hauteur d'une ligne unissant la maison Balmat au pylone XVI (station intermédiaire) et vers l'aval.

La masse est étalée en éventail, et au premier plan se trouve le bord de la grande crête de neige dont nous parlons plus haut.

Par plusieurs lobes l'avalanche a pénétré dans la forêt. L'un de ces lobes entre plus profondément dans la forêt et nous verrons qu'il arrive à la courbe d'altitude 1200 m.

La photographie n° 7 nous montre le début du cône d'avalanche en bas et à gauche de l'Aiguille du Midi, le ravin du torrent des Faverands est marqué, on en suit la trace sinuuse jusqu'à la petite cascade en arrière et à droite des deux personnages de la photographie. Au pied de la cascade les neiges commencent et les filets de direction sont bien marqués dans une sorte de cuvette limitée au premier plan par une levée de neige. Ces filets marquent une courbe nette vers la rive droite, courbe déterminée comme on le voit par la rive gauche du torrent. Cette vue montre aussi les roches (schistes cristallins) sur lesquelles l'avalanche a passé. Les bois couchés visibles en indiquent aussi la direction dominante.

La photographie n° 8 prise un peu plus en aval donne bien l'allure des filets de direction de la neige, et leurs déviations vers la rive droite comme en témoignent les crevasses. Quelques-unes de ces crevasses sont dues à un effet secondaire du mouvement des neiges que nous étudierons plus loin, lors des comparaisons et conclusions.

La photographie n° 9 nous donne la même région, vue d'un peu plus à l'est. Et là encore le changement de direction est bien visible à partir de la cascade vers la rive droite.

Au premier plan, des crevasses de pression formées par accumulation de masse.

La photographie n° 10 nous montre l'ensemble du phénomène. Le personnage de gauche est près d'une grande crevasse indiquant le changement de direction, celui de droite est un peu à gauche d'une autre crevasse à forme concave. Plus à droite encore un paquet de neige *décollé* est séparé par un sillon de la masse principale de l'avalanche sur une faible longueur.

Photographie n° 11. On voit en haut de la maçonnerie qui supporte le pylone XVIII. Au premier plan le bourrelet de neige qui est bien marqué sur la carte au 1 : 1000 de l'avalanche et que nous verrons sur les profils F et I (partie est).

Photographie n° 12. Nous sommes à l'est du pylone XVII, un peu en amont une pierre, prisme à base triangulaire, représente l'éperon *légèrement soulevé* de la tourne (pare-avalanche) du pylône. *Le bloc a été décollé mais pas transporté.* Il semble que les neiges forment deux masses distinctes. Une première, marquée sur la photographie près du pylône. Une seconde masse en est nettement séparée et avec M. Bernadet, nous avons constaté entre les deux une crevasse baillante avec traces de gorges de friction. Il y a là une indication nette de différence de vitesse entre les deux parties, *celle de l'avant plan ayant cheminé plus vite que celle proche du pylône XVII et en changeant de direction à une certaine distance vers l'est du pylône.*

Photographie n° 13. Du pylône XVII nous ne voyons pas la base, elle est cachée par l'accumulation des neiges en forme de crête que le profil 1 nous montrera. Cette vue indique les grandes crevasses N E — S W à inclinaison vers la rive gauche.

La photographie n° 14, est un détail de l'accumulation des neiges.

En plus des crevasses décrites ci-dessus, il en existe encore une série de transversales (voir carte, 1 : 1000 avalanche, emplacement du profil 1).

*B. Les photographies du terrain après la fusion de l'avalanche.*

Nous sommes retourné à Chamonix après la fusion des neiges accumulées par l'avalanche et avons fait prendre à fin juillet une série de photographies que nous avons complétée par la suite, lors d'une excursion.

Photographie n° 15. Au premier plan le pylône XVIII avec sa forte base de maçonnerie. Cette dernière est intacte et n'a pas subi de dommages de la part de l'avalanche qui ne l'a touchée que par sa partie terminale (photographies n°s 2, 8 et 11).

Dans la partie gauche de la photographie la région atteinte par la nappe de neige est semée de blocs, mais la végétation a peu souffert. A droite de l'axe du Téléphérique le ravin se présente avec sa rive gauche abrupte et sa rive droite d'une pente plus douce. A remarquer le changement très net de direction du torrent depuis l'avant-plan jusqu'à la hauteur du pylône XVII. Ce pylône est à quelques mètres du bord du ravin. Le bois de droite cache la maison Balmat. Ce bois formé de jeunes essences cache également la zone atteinte en arrière par l'avalanche. Elle dénote aussi la destruction des anciennes forêts par des avalanches antérieures. Nous voyons aussi que le torrent continue sa course dans le bois. Si nous comparons cette vue avec celles données par les photographies n°s 5 et 6 nous constatons :

*Le changement de direction de la masse de l'avalanche correspond au changement de direction du ravin.*

Les neiges ont suivi les plus grandes pentes et les directions les plus faciles.

La photographie n° 5 nous montrait une accumulation de

neiges à la hauteur du pylone XVII. La vue photographique n° 15 nous en montre déjà la raison. La paroi du ravin a arrêté les neiges qui se sont entassées, et nous comprenons la formation de la crevasse visible sur la photographie n° 6, au droit du pylône XVII. Sur la vue n° 6 nous avions fait remarquer qu'un lobe du cône d'avalanche pénétrait plus avant que les autres dans la forêt. La photographie n° 16 nous montre que ce lobe a suivi le lit du torrent.

Photographie n° 16. Elle correspond à la photographie n° 8 à peu de chose près. Le couloir du torrent des Faverands est nettement indiqué avec ses brusques changements de direction.

L'avalanche a débordé et s'est dirigée d'une part dans le torrent, d'autre part par-dessus le léger dos d'âne visible sur la photographie, de là une partie a dû rejoindre le lit du torrent, l'autre partie s'est écoulée dans la direction des pylônes XVI, XVII, XVIII. Si nous suivons le ravin des Faverands, nous remarquons nettement, sur la photographie, le coude brusque en dessous du pylône XVIII. Les rives sont escarpées sur la gauche du torrent, plus douces sur la droite. Les arbres montrent le passage des neiges. Au premier plan, à droite, la paroi du ravin est bien marquée. Près du pont de bois quelques gros blocs de protogine à filons alpitiques amenés par l'avalanche. Nous comprenons alors, en voyant ce ravin, la raison des lignes de direction des neiges marquées sur les photographies n°s 8, 9, 10 et 11. De même certaines crevasses dues au changement de direction.

Photographie n° 17. Elle a été prise de la station tachéométrique 1 (voir carte 1 : 1000 du terrain). Le changement de direction du ravin est très net, de même que l'inclinaison des berges. Un dernier lambeau de l'avalanche reste sur la rive droite. Les arbres couchés indiquent la limite atteinte par l'avalanche.

Photographie n° 18. Prise un petit peu en amont de la sta-

tion 1 et sur la rive droite. Le reste de l'avalanche se distingue à peine des cailloutis. La forme du ravin et de son flanc gauche est nettement indiqué, de même la position du pylône XVII par rapport au ravin. Comparons cette vue avec celle donnée par la photographie n° 14. Les bosses neigeuses, les larges soulèvements coïncident avec l'emplacement du ravin et de sa paroi de rive gauche.

Les photographies n°s 19 et 20 indiquent bien les relations du pylône et de sa tourne (pare avalanche) avec la position du ravin. En aval du pylône et sur le bord du ravin le gros bloc qui se trouve sur le tracé du profil 1 (E) et dont nous avons parlé lors de l'étude de la photographie n° 5.

La photographie n° 21 doit être comparée aux photographies n°s 4 et 12. On saisit nettement le pourquoi du bourrelet touchant la tourne et le pylône XVII. La paroi du ravin est là qui explique la séparation des neiges qui étaient divisées en deux masses, l'une sur le terrain, rive gauche, l'autre dans le lit du torrent et sur la rive droite. Cette photographie n° 21 a été prise sur la rive droite et le fond du torrent n'est pas visible, caché qu'il est par le premier plan herbeux.

Photographies n°s 22 et 23 représentant la rive droite du torrent.

La photographie n° 22 est prise de la rive gauche du torrent et un peu en amont du pylône XVII. Elle nous montre le passage de l'avalanche marqué par les arbres couchés.

Les bois couchés et arrachés de la photographie n° 23 correspondent au terrain compris entre le torrent et la maison Balmat. Cette dernière est réparée.

*De l'ensemble des 23 photographies et des comparaisons, résulte déjà l'idée d'une influence directrice du lit du torrent sur l'écoulement de l'avalanche. Comme il fallait s'y attendre, le ravin, grâce à sa profondeur, a pu orienter les neiges. Suivant l'audition des témoins ce ravin était libre de neige avant l'avalanche.*

## TROISIÈME PARTIE

### CHAPITRE V Documents topographiques.

#### A. *Les profils.*<sup>1</sup>

Nous avons levé à travers le terrain occupé par l'avalanche une série de profils en travers à la latte. Nous les avons raccordés à l'axe du Téléphérique par quelques profils en long. Ce travail a été refait ensuite, en partant des mêmes points lorsque les neiges furent parties.

Nous allons successivement étudier les profils faisant simultanément l'étude de chacun d'eux avec la neige et sans la neige.

*Profils D et D'.* Lorsque le terrain fut débarrassé des neiges, il ne nous a pas été possible de faire les levés complets à la latte dans la partie E du profil. Nous avons complété les points par des mesures trachéométriques, figurées au plan de situation n° 2. Ces profils superposés montrent que l'avalanche occupe le ravin des Faverands et que les dépôts de neige à l'W sont insignifiants. Remarquons que le profil coupe le fond du ravin et les parois qui limitent le lit du torrent obliquement.

*Profils E et E'.* La masse des neiges est répartie en deux zones. L'une occupe le ravin et a son point maximum d'élévation à 6 m du bord gauche, une crevasse est parallèle à la rive. L'autre zone est vers l'W, mais bien moins importante. En supposant le ravin inexistant, en menant une horizontale par le sommet de la berge rive gauche on constate que même

<sup>1</sup> Les profils ont été levés les 17 et 18 mai; une partie de la neige avait déjà fondu; mais comme elle avait fondu partout, dans une mesure à peu près semblable, les relations entre les quantités de neige restent justes.

L'indice ' indique le levé sans neige.

dans ce cas la masse de l'avalanche est plus importante à l'E qu'à l'W du Téléférique. L'inclinaison des bords du ravin est bien marquée.

*Profils F et F'.* Il nous faut immédiatement remarquer que le profil F' a son point de départ 16' à 1254 m 40 d'altitude alors que le point 16 du profil avec neige était à 1256 m 21. Le point 16 était sur la neige et 16' en est la projection verticale. Ce profil est un peu en amont du pare-avalanche du pylône XVII. Une remarque s'impose : il n'y a pas accumulation de neige sur l'axe de la ligne, le ravin avait déjà détourné l'avalanche. Par contre sur ce profil à partir de 12 m et jusqu'à 27 m à l'E de l'axe du Téléférique les neiges se sont accumulées en bourrelet que divise une crevasse double à 16 m de la ligne. C'est cette portion du bourrelet que nous trouvons appliquée contre le pylône XVII (photographies n°s 13 et 14).

La superposition des profils montre immédiatement que *l'entaille dans le terrain située de 12 à 18 m de l'axe a permis la formation du bourrelet le plus proche de la ligne et a permis aux neiges de venir contre le pylône XVII.* Cette entaille dans le ravin a été effectuée par l'entreprise des travaux du Téléférique. Grâce à elle, une petite partie de la neige de la portion E a pu s'écouler vers le pylône XVII, et y a occasionné quelques dégâts aux fers. Le point maximum de hauteur de l'avalanche sur la région E par rapport au fond du torrent est de 14 m 30. Vers l'W cette épaisseur se réduit au maximum à 3 m 90. Supposons le ravin comblé, nous voyons l'épaisseur des neiges atteindre 6 m. Encore là nous sommes en présence d'un fort maximum des neiges sur la région E du Téléférique comme ce fut le cas pour les profils E et E'. Les crevasses sont infléchies vers le N E, quelques crevasses transversales sont dues à des affaissements sous l'influence du torrent sousjacent.

La cause de l'inflexion des crevasses vers le N E est facile à trouver en examinant la carte n° 2 au 1: 1000. A peu près à la hauteur du profil I (et I') le bord du ravin forme un angle saillant bien visible sur les photographies 20, 21, à la hauteur du gros bloc déjà signalé plus haut.

*Profils I et I'.* L'avalanche a son maximum d'étalement sur près de 180 m de largeur. Sur l'axe du Téléférique il y a peu de neige, un peu à l'E et sur 16 m environ, à l'W pas du tout. Notons que ce profil est à 11 m 63 seulement en aval des maçonneries du pylône XVII.

C'est sur la portion E que se trouve le maximum des neiges et à partir d'un gros bloc qui sur ce profil se trouve de 12 à 15 m E du piquet XIX. Ce bloc est placé sur le bord du ravin dont il domine le fond par 17 m environ (16 m. 91). Depuis ce fond du ravin jusqu'au niveau supérieur de l'avalanche il y a 27 m 72 de neige accumulée. En menant une horizontale par le niveau du terrain 19 (abstraction faite du bloc) nous notons une hauteur de neige de 9 m 76, au-dessus de la rive gauche. A l'E la hauteur maximum des neiges est de 3 m 50. Il y a manifestement comme pour tous les autres profils, accumulation de la neige vers l'E. C'est du reste sur ce profil I vers l'E qu'elle a persisté le plus longuement puisqu'à fin juillet elle représentait encore une épaisseur de près de 8 mètres. Les crevasses transverses sont dues au sous-sol formé de bois couchés par l'avalanche. Quant à la grande crevasse (à 45 m E du piquet 19) elle trouve son origine dans une différence de vitesse des masses par suite des changements de direction et de l'arrêt sur les flancs du ravin.

*Profils L et L'.* Comme le montre le plan de situation (planche 1) ces profils sont tracés à partir d'un point en amont du pylône XVI. L'avalanche vers l'W était pour ainsi dire inexistante. Il n'en était pas de même vers l'E où elle a présenté une masse imposante et où elle s'élargit jusqu'à

compter 117 m de largeur. A cet élargissement correspond une diminution d'épaisseur puisque le maximum marqué est de près de 15 m.

Le profil de la neige est très irrégulier. Il semble que l'on ait affaire avec quatre masses qui ont cheminé et dont l'extrême a détruit partiellement la maison Balmat. Il est fort probable que l'avalanche freinée vers l'W par le bord gauche du ravin et trouvant un écoulement plus facile vers l'E a été déversée premièrement par l'influence du bord du ravin puis sous celle des masses de neige successivement ralenties. Il y a aussi manifestement l'influence du barrage opposé à la progression par la masse de la forêt. L'avalanche, arrêtée sur le front inférieur, s'est d'abord tassée puis les masses encore en mouvement ont cherché l'écoulement le plus facile, elles l'ont trouvé vers l'E.

Les crevasses sont nombreuses, elles trouvent leur explication par le fait que l'écoulement vers l'aval se faisait à travers la forêt restée en place et par conséquent par une série de filets de neige à vitesses diverses.

*Profils M et M'.* Leur point de départ est le même que pour les profils précédents, mais ils coupent l'avalanche en diagonale et se trouvent à 22° à l'aval des profils L et L'. Ce n'est qu'à 42 m (point 24) de l'axe du Téléphérique que commence sur ce profil la grosse masse de l'avalanche, nous la voyons dans le ravin, puis ce profil passe sur la rive droite et aboutit au torrent du Dard, un affluent du torrent des Faverands. Quelques crevasses de même origine que celles des profils précédents. La neige atteint une épaisseur, au-dessus du torrent des Faverands, de 12 m environ.

*Profils N et N'.* A 25 m du piquet 22 et sur les lignes de profil M nous sommes partis en un nouveau profil orienté à 45° vers l'aval sur le précédent. Ceci nous a conduit, comme nous l'avons vu après la fonte, à marcher dans la direction du

torrent sur un assez long parcours. Nous avons abouti alors, sans le savoir, au confluent des torrents du Dard et des Faverrands. Il y a entre N et N' une petite différence d'orientation qui provient du fait suivant : lorsque nous sommes revenus sur le terrain à fin août, les neiges ayant fondu, et que nous avons recherché la projection du piquet 25 (départ de N) sur le terrain nous nous sommes trouvé au beau milieu du torrent. Malgré les eaux assez fortes nous y avons placé notre appareil pour l'orientation des profils. Bien qu'ayant pris toutes nos précautions, nous n'avons pu éviter une petite erreur (de l'ordre des 30') dans l'orientation (voir plan situation n° 2). Cette différence nous a amené, à un moment donné, à passer sur un petit monticule (à 48-54 m du piquet 25) évité lors de notre premier levé.

Mais malgré cela, nous constatons la diminution graduelle de l'épaisseur de la neige vers l'aval où cependant une petite accumulation marque le ravin du Dard.

*Profil M' 2.* Ce profil levé uniquement sur la terre débarrassée de neige part du piquet n° 22 à 45° à l'E de la ligne du Téléférique. Il fait un angle de 45° avec les profils L et L' et un angle de 23° avec M et M'. Il nous a servi à établir la direction du ravin dans la partie terminale de l'avalanche.

### *B. Rapport des masses de l'avalanche de chaque côté de l'axe téléférique.*

Pour établir ce rapport nous avons calculé les surfaces des sections déterminées par les profils en travers du terrain et de l'avalanche. Nous avons noté la surface de la section à l'E de l'axe et la surface de la section à l'W. de l'axe. Puis nous avons supposé une ligne de base formée par l'horizontale partant de la berge, rive gauche du torrent. Nous obtenons ainsi une surface arbitraire donnant la section des neiges en

supposant le ravin inexistant. Ce qu'indique le tableau suivant :

Profils	Est	Ouest	Est sans le torrent
D	400 m <sup>2</sup>	15 m <sup>2</sup>	
E	294	70	77 m <sup>2</sup>
F	400	106	200
I	710	120	360
A. Totaux D E F I	1804	311	—
B. Totaux E F I	1404	296	637

Les profils D E F sont en amont du pylône XVII.

Nous voyons nettement que dans tous les cas la proportion de neige est plus forte à l'E de l'axe qu'à l'W. Il résulte de ceci, de façon évidente, que *la masse principale des neiges est arrivée par la région E en suivant le lit du torrent.*

La masse dans le torrent étant plus grande, il va de soi que la force  $\frac{1}{2} m V^2$  était aussi plus considérable à l'E de l'axe du Téléphérique qu'à l'W. Ceci explique donc déjà suffisamment le fait du déjettement des neiges vers la maison Balmat.

Nous voyons que ce qui précède reste vrai même si l'on considère uniquement pour la partie E les neiges au-dessus de la berge rive gauche du torrent. Nous obtenons un total (B) de 637 contre 296 m sur le côté W.

*Il apparaît donc d'une façon certaine par l'étude des profils que le lit du torrent a été un conducteur pour l'avalanche, la guidant vers le bas et la déjetant vers l'E.*

En calculant le volume des neiges (approximativement) nous arrivons, pour la masse comprise entre D et 20 m en aval de I, à un volume de 61 600 m<sup>3</sup> pour la région E et 10 900 m<sup>3</sup> pour la région W.

Les masses de neige en aval des profils I peuvent être évaluées à environ 25 000 m<sup>3</sup>. Ce qui donne au total :

61 600 partie E.

10 900 partie W.

25 000 aval de I

97 500 soit approximativement 100 000 m<sup>3</sup> de neige en mai. A cela il convient d'ajouter la masse fondue entre le moment de la chute de l'avalanche et l'époque à laquelle nous avons fait le relevé. Cette épaisseur peut être estimée à 2 m environ. La surface totale de l'avalanche étant en mai de 25 000 m<sup>2</sup>, on peut l'évaluer à 30 000 au minimum pour le moment de la chute. Soit :  $30\ 000 \times 2\ m = 60\ 000\ m^3$  de neige qui viennent s'ajouter aux 100 000 précédents donnant une masse totale d'environ 160 000 m<sup>3</sup>, ce qui, étant donné l'état de compression des neiges, équivaut au moins à 100 000 000 kg.

Un autre fait ressort de l'étude des profils. Au fur et à mesure que l'on passe d'un profil à l'autre, d'amont en aval, l'on voit que la ligne qui joint le maximum d'accumulation des neiges sur les profils est en étroite relation avec la ligne marquant la rive gauche du torrent et qu'elle en suit les inflexions. Dans le tableau suivant, ce fait ressort nettement :

Profils	Berge gauche dist. à l'axe	Maximum d'épaisseur des neiges. Dist. à l'axe.
E	15	21
F	6	19
I	15	45
L	35	78

#### B. *Cartes de la région de l'avalanche au 1 : 10 000.*

Nous avons dressé au moyen des profils en travers une carte à courbes de niveau de l'avalanche. Puis nous avons effectué le même travail pour le terrain quand il fut libéré

des neiges. Mais pour cette carte du terrain nous avons complété les indications des profils par des relevés tachéométriques et clisymétriques. Les deux cartes qui résultent de ce travail donnent une image assez exacte du terrain avec et sans neige.

La carte de l'avalanche montre l'importance des surfaces atteintes par la neige sur la région E de l'axe téléférique. Si nous suivons la ligne maximum d'altitude de la neige nous constatons que cette ligne est une courbe. Superposons maintenant les deux cartes, nous verrons que cette courbe est à peu de chose près parallèle à la ligne du torrent. C'est ce que l'étude détaillée des profils nous avait déjà démontré. Cette ligne d'accumulation maximum des neiges passe près du chalet Balmat et les crevasses qui la séparent du chalet montrent les efforts latéraux de la neige.

Nous avons marqué sur la carte les crevasses principales. Celles comprises entre les profils L et M sont dues à l'obstacle apporté par la forêt à l'écoulement de la neige. Celles du point 25 (départ du profil N à partir de M) sont dues aux différences de vitesse. En effet nous nous trouvons là dans le lit du torrent. Il en est de même des crevasses des profils I, F et E qui se trouvent parallèles aux berges du torrent.

Quant aux crevasses transversales du profil W, près du point 21, elles trouvent leur origine dans l'arrêt provoqué par les arbres en amont de la maison Balmat. La carte du terrain montre d'une façon fort nette la direction du ravin et ses coudes, que nous avions déjà remarqués par l'étude des photographies. Il convient d'insister sur l'angle brusque de la rive gauche à l'aval du profil I.

## QUATRIÈME PARTIE

### CHAPITRE VI

#### Calcul de la vitesse de l'avalanche.

Nous avons précédemment indiqué les divers secteurs parcourus par l'avalanche. Nous nous sommes proposé de calculer la vitesse de l'avalanche dans la zone particulièrement intéressante pour nous, c'est-à-dire entre 1300 et 1200 m.

Zones d'altitude	Longueur de la zone en projection	Longueur de la zone sur le terrain	Angle de pente
I 3000-2500 m	500 m env.	700 m env.	45°
II 2500-1700 m	1200 »	1449 »	33° 30'
III 1700-1300 m	700 »	800 »	30°
IV 1300-1200 m	300 »	310 »	18°

#### Valeur de l'accélération

$$I \quad j_1 = 3,43$$

$$II \quad j_2 = 1,32$$

$$III \quad j_3 = 0,66$$

#### Calcul des vitesses

$$V = \sqrt{2 L j}$$

Dans la première région :  $V = \sqrt{1400 \cdot 3,43}$

région :  $V = 69 \text{ m à la seconde (248 km heure)}$

$t = 20''$  Vitesse moyenne = 35 m sec.

$$V = j t \quad L = \frac{1}{2} j t^2$$

$$t = \frac{V}{j} \quad V = \sqrt{2 L j}$$

Dans la seconde région :  $l_2 = 1449 \text{ m}$

$$j_2 = 1,32.$$

$$t_2 = \frac{-V_1 + \sqrt{V_1^2 + 2 l_2 j_2}}{j_2^2}$$

$t_2 = 18''$  environ.

$V_2 = V_1 + j_2 t_2 = 92 \text{ m} \ 6 \text{ à la seconde en arrivant à la courbe 1700.}$

La vitesse moyenne =  $1449 \text{ m} : 18'' = 80 \text{ m seconde.}$

Dans la troisième région :  $l_3 = 800 \text{ m}$

$$j_3 = 0,66.$$

$$t_3 = \frac{-V_2 + \sqrt{V_2^2 + 2l_3 j_3}}{j_3}$$

$$t_3 = 8'' \ 2.$$

$V_3 = V_2 + j_3 t_3 = 92,6 + 5,4 = 98 \text{ m à la seconde (355 km à l'heure).}$

Vitesse moyenne =  $97 \text{ m} \ 5 \text{ à la seconde, ce qui donne 351 km à l'heure.}$

Dans la quatrième et dernière région l'avalanche s'arrête à la cote 1200 ( $V_4 = 0$ ). L'avalanche entre dans cette région à l'allure de  $98 \text{ m à la seconde.}$

$$\frac{V_3 + V_4}{2} = \text{vitesse moyenne} = \frac{98 + 0}{2} = 49 \text{ m}$$

$$l_4 = 310 \text{ m} \quad t_4 = 310 \text{ m} : 49 \text{ m} = 6 \text{ secondes } \frac{1}{3}.$$

L'avalanche a donc mis environ  $6 \text{ secondes } \frac{1}{3}$  pour franchir cette distance et s'arrêter.

En résumé nous obtenons les résultats suivants :

Zone de :	Distance parcourue	Temps	Vitesse moyenne
3000 m à 2500 m	700	20'	35 m par seconde
2500 m à 1700 m	1449	18'	80 m »
1700 m à 1300 m	800	8' 2	97 m 5 »
1300 m à 1200 m	310	6' 3	49 m 5 »

Nous ne voulons accepter ces chiffres que comme une indication générale des vitesses que peut acquérir l'avalanche. Nous avons ainsi une valeur très approximative qui donne une *idée de l'ordre de grandeur des chiffres*, ce qui nous permettra certains raisonnements par la suite.

## CHAPITRE VII

**Influence des obstacles sur la marche de l'avalanche.**

Pour que des 'obstacles influencent *nettement* le trajet d'une avalanche, il faut qu'ils obéissent à certaines conditions.

1. Etre sur le trajet direct de l'avalanche.
2. Etre par leurs masses et leurs résistances en rapport avec la masse de l'avalanche et sa force vive.

**A. Pylône XVIII.**

L'examen des photographies n°s 2, 10, 12, 13 montre que le lendemain de l'avalanche (photographie n° 2) les masses de neige à l'W du pylône étaient insignifiantes par rapport à celles de l'E. Lorsque nous avons visité la région en compagnie de M. Bernadet le 15 mai, nous n'avons constaté aucune atteinte au soubassement du pylône. De plus, comme le montrent les photographies n°s 10, 12, 13, il n'y avait pas de neige vers le pylône ni en amont, ni en aval. Or si la base du pylône avait joué le rôle de pare-avalanche, nous aurions dû trouver une accumulation de neige contre le pylône en rapport avec l'importance de ce dernier. Si la face amont E avait dévié l'avalanche, les stries marquées sur le terrain par le passage de l'avalanche à l'E et au N-N-E du pylône XVII n'auraient pas une direction N-W de 20° à 30° environ par rapport à l'axe, mais une direction N-E, et les bois très jeunes de la rive droite du torrent auraient été couchés dans cette direction. Or ces bois sont peu entamés et ceux qui ont été touchés par l'avalanche sont inclinés parallèlement à la rive (photographie n° 23).

Quant à la face aval E, elle est inclinée de 30° et plus sur l'axe de la ligne téléférique.

D'autre part, lors de notre visite du 15 mai, nous avons

constaté que les neiges proches du pylône étaient plus légères que celles situées à l'E ou remplissant le ravin.

Nous pouvons donc conclure que *le pylône XVII et son socle de maçonnerie n'ont en aucune façon influencé la marche de l'avalanche. De plus nous concluons de ce qui précède que ce pylône était en dehors de la zone principale de l'avalanche.*

*B. Gravière établie dans le flanc gauche du ravin, en amont du pylône XVII.*

Cette entaille est visible sur la carte au 1 : 1000 du terrain et sur les photographies n°s 19, 20 et 22. Comme le montrent les photographies et la simple réflexion, cette ouverture a eu comme résultat d'élargir le ravin, de diminuer l'influence de la paroi gauche du ravin dans la direction de l'avalanche. En effet, l'avalanche a trouvé là, localement, une pente plus faible et une possibilité d'écoulement vers le N-N-W. La photographie n° 16 montre fort bien la direction de l'entaille par rapport au ravin. La photographie n° 22 prouve la diminution de pente. Grâce à cette ouverture, une petite partie des neiges de la masse principale de l'avalanche a pu facilement déborder du torrent, prendre la direction du pylône XVII et passer en amont du pylône vers l'W.

*La gravière a donc eu un effet sur la direction de l'avalanche, elle a permis à une petite masse de neige de venir déborder sur la rive gauche.*

*C. Pylône XVII et pare-avalanche du pylône XVII.*

Au cours de notre étude du 15 mai, le pare-avalanche n'était visible que par une face supérieure (photographie n° 6). Le bloc supérieur de son éperon était décollé (photographie n° 13). Ce bloc, prisme droit à base triangulaire, mesure 90 cm de base sur 85 cm de hauteur, son épaisseur est de 40 cm. Ceci nous donne un volume de 0 153 dm<sup>3</sup> et pour

une densité du granit cimenté égale à 2.5 un poids de 382 kg.

Or ce bloc décollé n'a pas été entraîné par l'avalanche. Nous sommes en droit de penser que si la masse principale de l'avalanche était venue buter contre le pare-avalanche, étant donné son poids et sa vitesse, elle aurait enlevé ce bloc.

Si les photographies n°s 2 et 5 prises le lendemain de l'avalanche montrent d'une façon indiscutable que le maximum des neiges se trouve à l'E et en amont du pare-avalanche, la photographie n° 5 nous indique encore que les neiges se sont accumulées à quelques mètres à l'E du pylône XVII et non contre le pylône. Le profil I qui passe à quelques centimètres en amont du bec du pare-avalanche montre le maximum d'accumulation des neiges à 21 m à l'E de l'axe, soit à 18 m du bec du pare-avalanche.

Poids du pare-avalanche : nous pouvons l'estimer à 117 tonnes 3/4. Or, attaqué en plein par l'avalanche, nous pouvons nous demander s'il aurait résisté.

Admettons un instant que le pare-avalanche se fût trouvé sur la ligne principale de l'avalanche. Dans ce cas, nous verrions une formidable accumulation de neige en avant du pare-avalanche, sur le pare-avalanche et des deux côtés du pare-avalanche, *auquel cas il aurait pu dévier l'avalanche et la rejeter à l'E et à l'W. Nous trouverions alors à l'E et à l'W du pylône XVII des masses de neige sensiblement égales.* *Or, tel n'est pas le cas.* De plus le pare-avalanche aurait été emporté.

En effet, supposons que la masse principale le frappe sous un angle de 30° par rapport à l'axe de la ligne. La surface E du pare-avalanche étant de 16° sur l'axe, l'avalanche la frapperait sous un angle de 46°. La surface W à 48° sera attaquée sous un angle de 18°. Chacune de ces surfaces mesure 21 m<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned}
 \text{Surface E} \quad 21 \text{ m}^2 \times \sin 46^\circ &= 15 \text{ m}^2 6 \\
 \text{Surface W} \quad 21 \text{ m}^2 \times \sin 18^\circ &= 6 \text{ m}^2 5 \\
 \text{Surface totale :} &= 22 \text{ m}^2 1
 \end{aligned}$$

Supposons une tranche d'avalanche de 22 m<sup>2</sup> de section et 100 m de longueur, nous aurons ainsi un volume de 2200 m<sup>3</sup> de neige équivalent pour une densité de 0.7, à 1 540 000 kg. Or cette masse se meut à une vitesse de 75 m à la seconde :

$$\frac{1}{2} \text{ mV}^2 = \frac{1}{2} \frac{1540\,000 \cdot 75^2}{10} = 433\,125\,000 \text{ kilogrammètres.}$$

On pourrait donc objecter que les chiffres sont exagérés. Or, l'erreur ne peut provenir que du calcul des vitesses. Admettons cependant que nos vitesses soient trop grandes et ramenons l'avalanche à une vitesse de 50 % plus faible. Le résultat obtenu plus haut sera quatre fois plus petit et s'élèvera en chiffres ronds à 100 000 000 kilogrammètres.

Or le poids total du pare-avalanche est de 117 tonnes. On peut se demander comment il aurait résisté ? Il faut, il est vrai, tenir compte du travail absorbé par les neiges qui se compriment. Mais malgré tout il n'en reste pas moins qu'il y a toute la masse des neiges en amont. En tout cas il existe entre l'effort qu'aurait subi le pare-avalanche et sa résistance une énorme différence dans l'ordre de grandeur des chiffres. *Cette différence exclut la possibilité de notre hypothèse.*

Le raisonnement que nous venons de faire pour le pare-avalanche s'applique de même pour le pylône XVII.

Tous les fers du pylône n'ont pas été endommagés comme le montrent les photographies n°s 2, 4, 5, 13. Nous insistons encore une fois sur le fait que l'intérieur du pylône n'a pas été rempli par les neiges (photographie n° 4 prise le lendemain de l'avalanche). Le pylône est ancré dans la maçonnerie par 4 groupes de deux fers en U de 100 50 6. Ces fers résistent au cisaillement à un effet total de 81 tonnes 4.

Sous un choc aussi formidable que celui de l'avalanche le pylône se serait cisaillé. Mais il est inutile de discuter plus longuement sur ces chiffres. En effet, les documents photographiques et topographiques ne nous ont montré aucune accumulation exagérée contre le pylône. Par contre, les neiges étaient en grande masse à l'E et en amont du pylône. Ces neiges forment une large crête crevassée ne touchant pas les pylônes XVII et XVI et séparée de la ligne des pylônes par une crevasse.

Cette crevasse présentait à la hauteur du pylône XVII des traces de gorges de friction visibles par suite du bâillement de la crevasse. Or, repérée, cette crevasse coïncide avec le bord du ravin. (Le bord du ravin forme crête comme nous le voyons par les profils E, F et I).

Les photographies et les profils, l'étude de la gravière ouverte dans le flanc gauche du torrent en amont du pylône XVII, tout cela nous montre que seule cette entaille a permis au pylône et au pare-avalanche d'être attaqués par l'avalanche. La ligne du Téléphérique, du pylône XVII au pylône XVI, ne présente en aucun point une masse importante de neige relativement à celle qui se trouve sur l'emplacement du torrent.

*D'autre part nous avons vu précédemment, par la photographie par les profils et les cartes, combien la direction de l'avalanche et celle du ravin étaient correspondantes.*

On peut donc se convaincre de l'influence directrice du ravin en calculant la surface de sa berge de la rive gauche.

Hauteur de la berge	Entre les profils	Hauteur moyenne	Longueur	Surface
Profil D 19	D et E	14 m	50 m	700 m <sup>2</sup>
» E 9.53	E et F	8 m 8	40 m	352 »
» F 8.13	F et I	12 m	30 m	360 »
» I 15.69	I et L	12 m	60 m	720 »
» L 10.29				
			Total . .	2132 m <sup>2</sup>

Nous constatons immédiatement l'importance de la berge en D et en I. Or en I nous sommes à 11 m en aval des maçonneries du pylône XVII.

Si nous prenons seulement les surfaces du ravin à partir du profil F et jusqu'au profil L en supposant toujours un angle de 30° pour la direction de l'avalanche nous obtenons :

	Angle de frappe	Surface réelle	Surf. frappée
Segment E-F	18°	352 m <sup>2</sup>	108 m <sup>2</sup>
» F-I	52°	360 »	283 »
» I - point 19 a	52°	96 »	75 »
b	78°	120 »	117 »
point 19 à L	43°	420 »	286 »
			Total . 869 m <sup>2</sup>

Cette surface de 869 m<sup>2</sup> présente une résistance pratiquement illimitée. Or le pare-avalanche, comme nous l'avons vu, a, dans les mêmes conditions, une surface de 22 m<sup>2</sup>. Quant au pylône la surface des fers frappés est de 10 m<sup>2</sup> au maximum de surface réelle, ce qui, sous un angle de 20°, devient pour la face amont  $5 \text{ m}^2 \sin 30^\circ = 2 \text{ m}^2 \frac{1}{2}$ , et pour la face torrent  $5 \text{ m}^2 \cos 30^\circ = 4 \text{ m}^2 \frac{3}{4}$ . Au total à peine 7 m<sup>2</sup>. Encore là nous voyons le peu d'importance de ces ouvrages par rapport à l'obstacle naturel qu'apportait le ravin. Mais il y a plus, les faits d'observation montrent que la masse de l'avalanche s'est écoulée dans le lit du torrent et a été guidée par ses rives. Les calculs que nous venons de faire sont du reste appuyés par les photographies n<sup>o</sup>s 19, 20, 21 et 22, où les relations du ravin et du pylône XVII sont nettement indiquées.

A notre avis le pylône XVII et son pare-avalanche n'ont joué aucun rôle sur l'orientation de l'écoulement des neiges à l'E de l'axe du Téléférique.

## CONCLUSIONS.

Nous pouvons résumer l'ensemble des faits exposés ci-dessus et en dégager les conséquences.

A la suite d'un hiver exceptionnel par ses chutes de neige une avalanche de fond s'est préparée au pied de l'Aiguille du Midi. Alors que dans le reste de la vallée de Chamonix les avalanches se décrochaient déjà durant l'hiver, l'avalanche des Pèlerins ne partait que dans la nuit du 10 au 11 avril. Cette chute au printemps est due au fait de précipitations abondantes et répétées de neiges. Comme nous l'avons vu dans le chapitre I, elle rentre dans la règle générale.

Avant l'arrivée de cette avalanche, le torrent des Pèlerins était libre de neige ainsi que l'ont affirmé des témoins. Ce fait est du plus haut intérêt car l'avalanche suit les lois générales des corps visqueux et on peut lui appliquer les règles qui régissent l'écoulement des boues, par exemple, des laves, etc. L'avalanche dévalant dans le couloir des Faverands, encaissée entre de hautes berges était canalisée. Sur certains points, elle déborda chassant alors devant elle les neiges en place. Mais la masse entière, à part ces quelques exceptions, fut maîtrisée par le ravin. A la hauteur du pylône XVII (le plus rapproché de la berge du ravin) le ravin présente son coude le plus occidental et change de direction assez brusquement ( $145^\circ$ ). Par contre, la rive droite est plus accessible, l'avalanche aura une tendance à s'échapper vers l'E. Et cela d'autant mieux qu'elle rencontrera sur son parcours un nouveau coude (point 19) très brusque dans la berge de rive gauche ( $125^\circ$ ). Bientôt cependant elle entre dans la forêt, elle s'arrête. Mais cet arrêt même fait ressentir ses effets immédiats d'aval en amont. La neige se presse et cherche à s'écouler. En aval elle ne peut le faire. Vers l'ouest les berges du ravin ne le lui permettent

pas, d'autant plus que la direction de marche de l'avalanche a changé. C'est donc vers l'E que, en remontant pour ainsi dire, elle accentue son débordement commencé après ce passage à la hauteur du profil I. L'entassement s'accentue, des bourrelets, semblables à ceux de la lave arrêtée, se forment de même que des crevasses. L'avalanche se déverse et ses crevasses montrent un pendage vers l'W, le bord extérieur de l'avalanche atteint le chalet et l'endommage.

Telle est l'évolution de cette avalanche. Si, durant plusieurs années, l'avalanche n'a pas attaqué le chalet, cela n'a rien qui doive nous surprendre. Nous avons, au début de ce travail, indiqué quelques exemples caractéristiques de cas d'avalanches irrégulières. Nous aurions pu en trouver bien d'autres dans l'histoire des Alpes françaises, suisses, italiennes et austro-hongroises.

Nous voudrions encore insister sur un fait, c'est que *la rive droite du torrent présente des traces manifestes du passage ancien d'avalanches* (soit par la nature même de son sol, soit par la présence de très jeunes arbres). Au reste, un ouvrier de l'entreprise des travaux, M. Lachat, nous a déclaré que son père prétendait que ce chalet, ou son prédécesseur, avait déjà été détruit par une avalanche vers 1874. Nous n'avons pas vérifié ce renseignement.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- COAZ, Johann. *Statistique des avalanches dans les Alpes suisses et des travaux de défense y relatifs*. Ouvrage élaboré et publié sur l'ordre du Département fédéral de l'Intérieur. Stämpfli et Cie. Berne 1910.
- MOUGIN, Paul. *Etudes glaciologiques en Savoie*. Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. Service des Grandes Forces hydrauliques. T. IV, Paris, 1922.
- HEIM, A. *Gletscherkunde*.
- CHABANOLLE, L. de. *Chamonix, son climat, ses particularités*. Dauresse, éd. rue de Maubeuge, Paris, IX<sup>e</sup>, 1924.
- GEX, F. *Les avalanches de fin décembre 1923 en Savoie*. Revue de géographie alpine, publiée par l'Institut de géographie alpine de Grenoble. T. XII, 1924, fasc. I. Allier père et fils, Grenoble.
- VALLOT. *Carte topographique des environs de Chamonix au 1 : 20.000*.
- DUPARC et MRAZEC. *Carte géologique du massif du Mont-Blanc au 1 : 50.000*. 1896.



Fig. 1. — Aiguille du Midi.

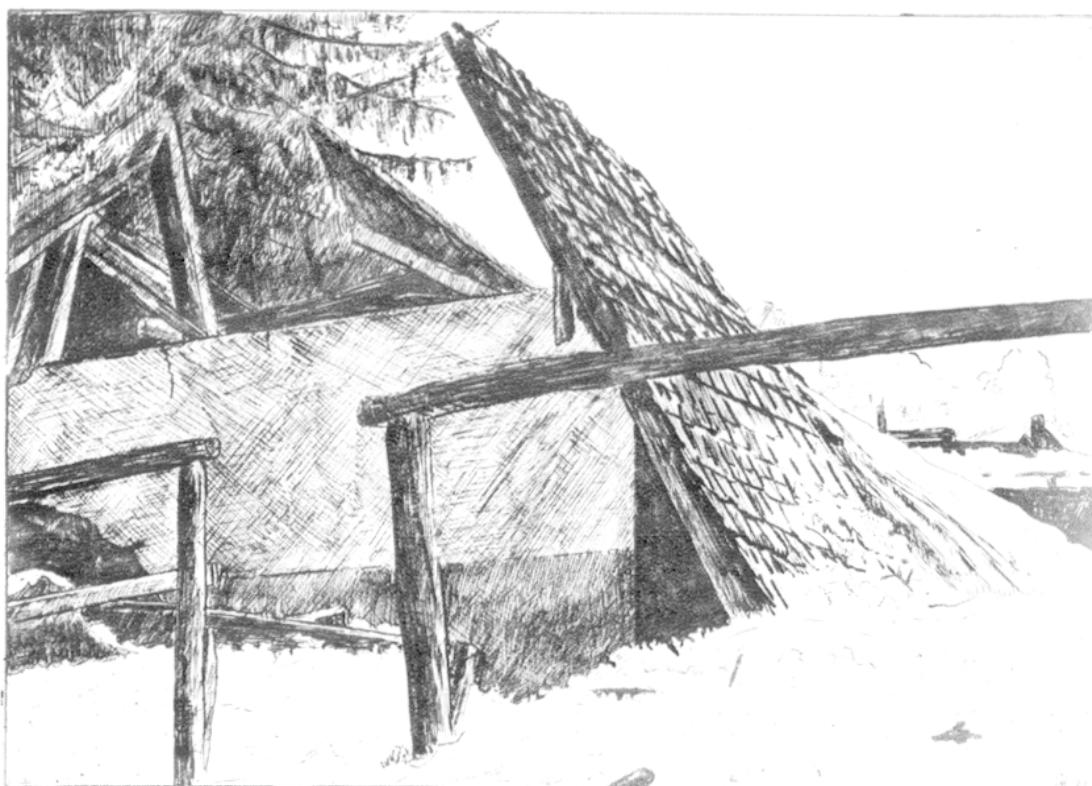
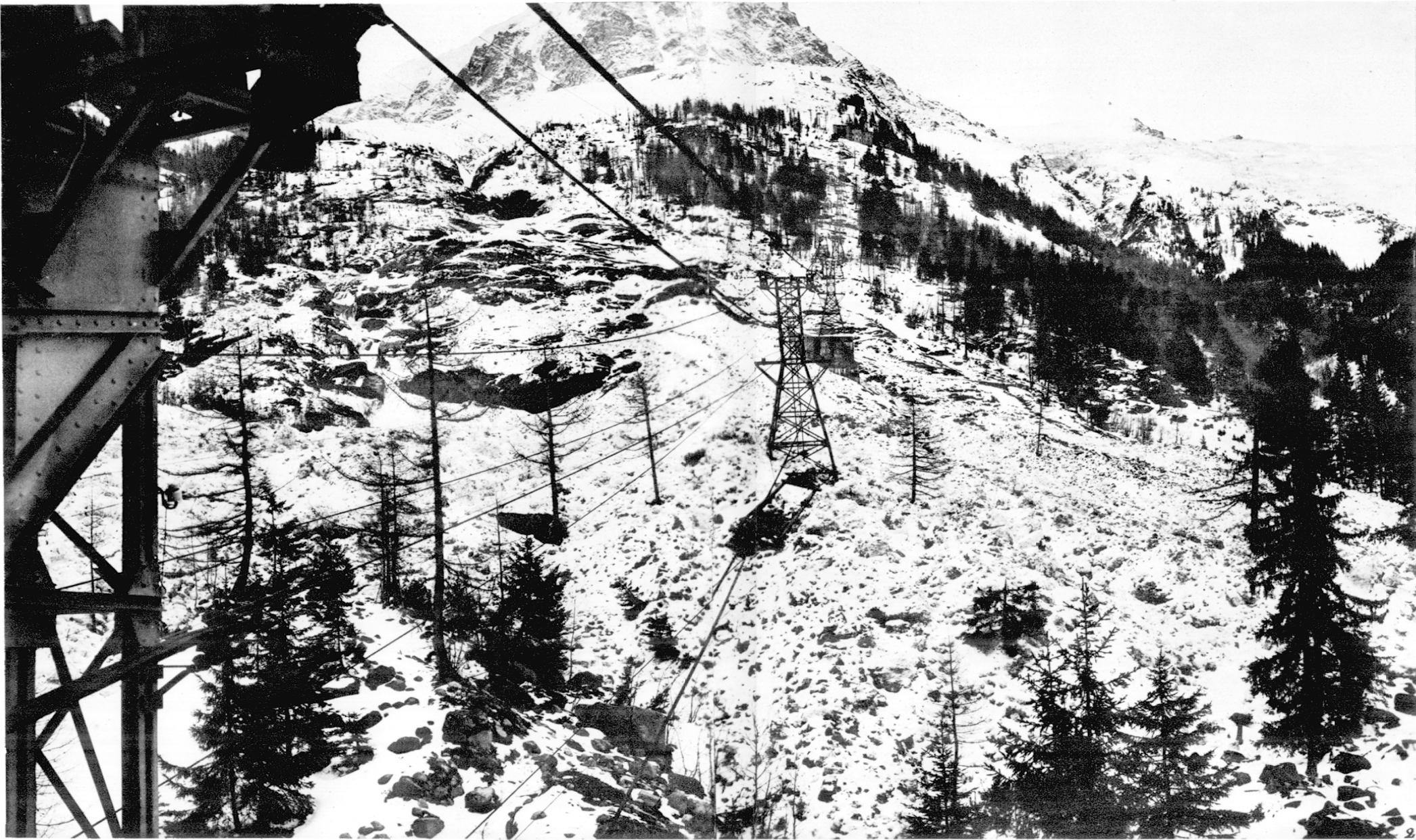


Fig. 9. — Chalet Balmat atteint par l'avalanche.



Phot. 3. → Pylône XVII atteint par l'avalanche.

Phot. Monnier.

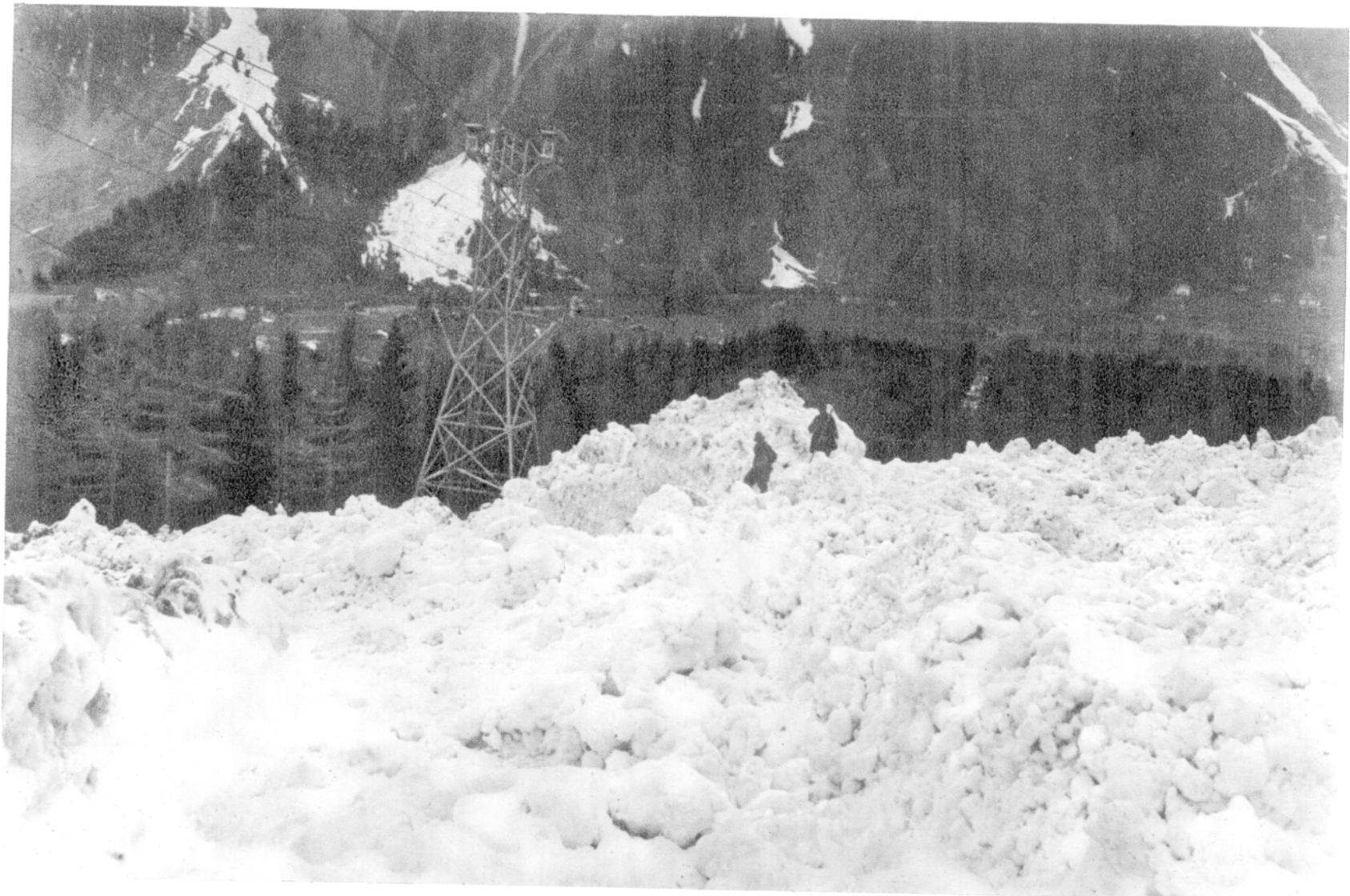


Pylône XVI

Pylône XVII

Phot. Monnier.

Phot. N° 2. — Vue générale de la région atteinte par l'avalanche. (Le lendemain de la chute).



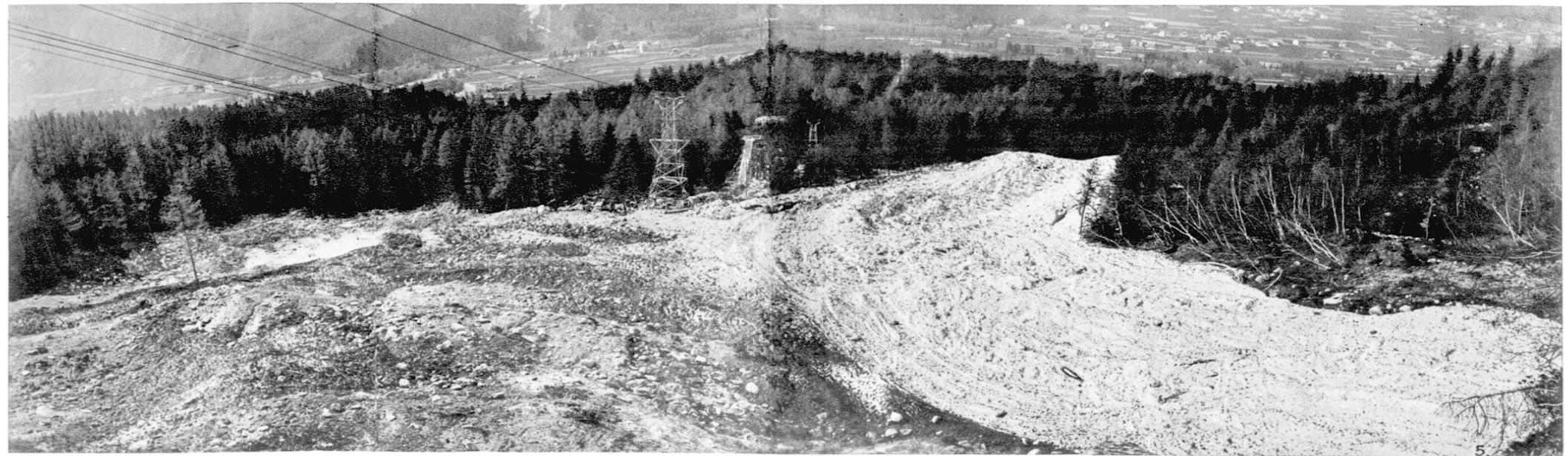
*Phot. N° 4. — Accumulation de neige à l'Est du Pylône XVII.*

*Phot. Monnier.*



Phot. Monnier.

Phot. N<sup>o</sup> 6. — L'avalanche à l'Est du Pylône XVI. (Au premier plan, à gauche, une crevasse transversale).



5.  
Phot. Monnier

Phot. N° 5. — Vue générale de l'avalanche de l'amt vers l'aval.



Phot. Monnier.

*Phot. N° 7. — Le couloir suivi par l'avalanche.*  
Les personnages se trouvent sur une crête de neige limitant un bas fond plus en amont.



Phot. Monnier.

Phot. No 8. — Virgation des masses de neige.  
Au fond, le socle du Pylône XVIII.



Phot. Monnier.

Phot. No 10. — Virgation des masses de neige  
et grande crevasse vers le personnage de gauche.



Phot. No 9. — La Cascade du Dard. — Virgation des masses de neige vers l'Est.

Phot. Monnier.



Phot. Monnier.

Phot. No 11. — Filets de direction dans la neige, derrière les deux personnages. Aspect chaotique des neiges au premier plan.  
En arrière, base du Pylône XVIII.



*Phot. N° 12. — Grande crevasse due au changement de direction.  
A droite, partie du Pylône XVII. Tout en haut, le glacier des Bossons.*

Phot. Monnier.



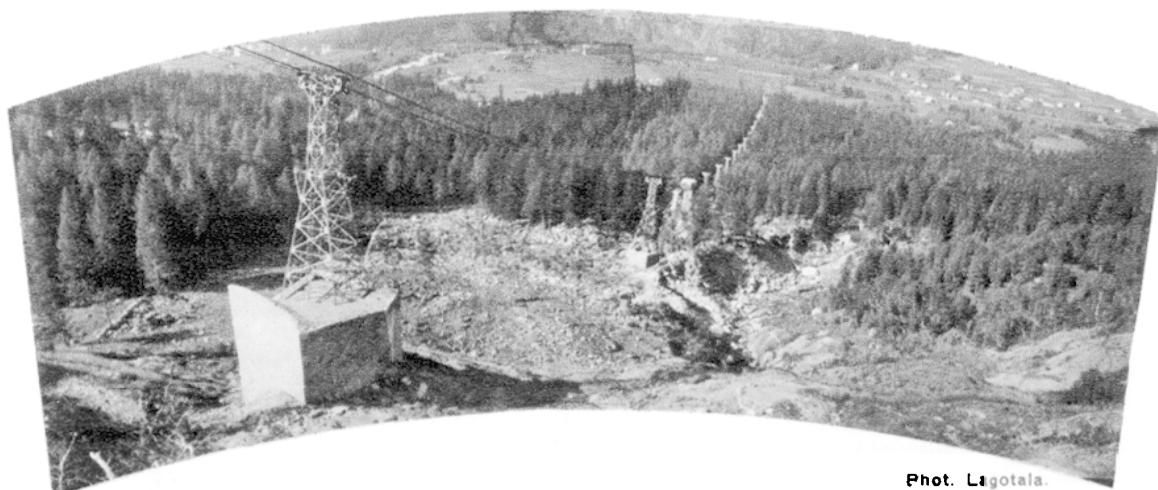
Phot. Monnier.

Phot. N<sup>o</sup> 13. — Les grandes crevasses inclinées à PW.  
A droite, le Pylône XVII, en haut le glacier des Bossons, à gauche, le Pylône XVIII.



*Phot. No 14. — Aspect des neiges sur la rive droite.*

*Phot. Monnier.*



Phot. Lagotala.

*Phot. No 15. — Le terrain après la fonte des neiges.  
A remarquer le sillon du ravin à gauche Pylône XVIII, et en bas le Pylône XVII.*



Phot. Monnier

*Phot. No 21. — Le Pylône XVII, sa tourne, la gravière ouverte  
sur le flanc gauche du ravin.*



Phot. 22.

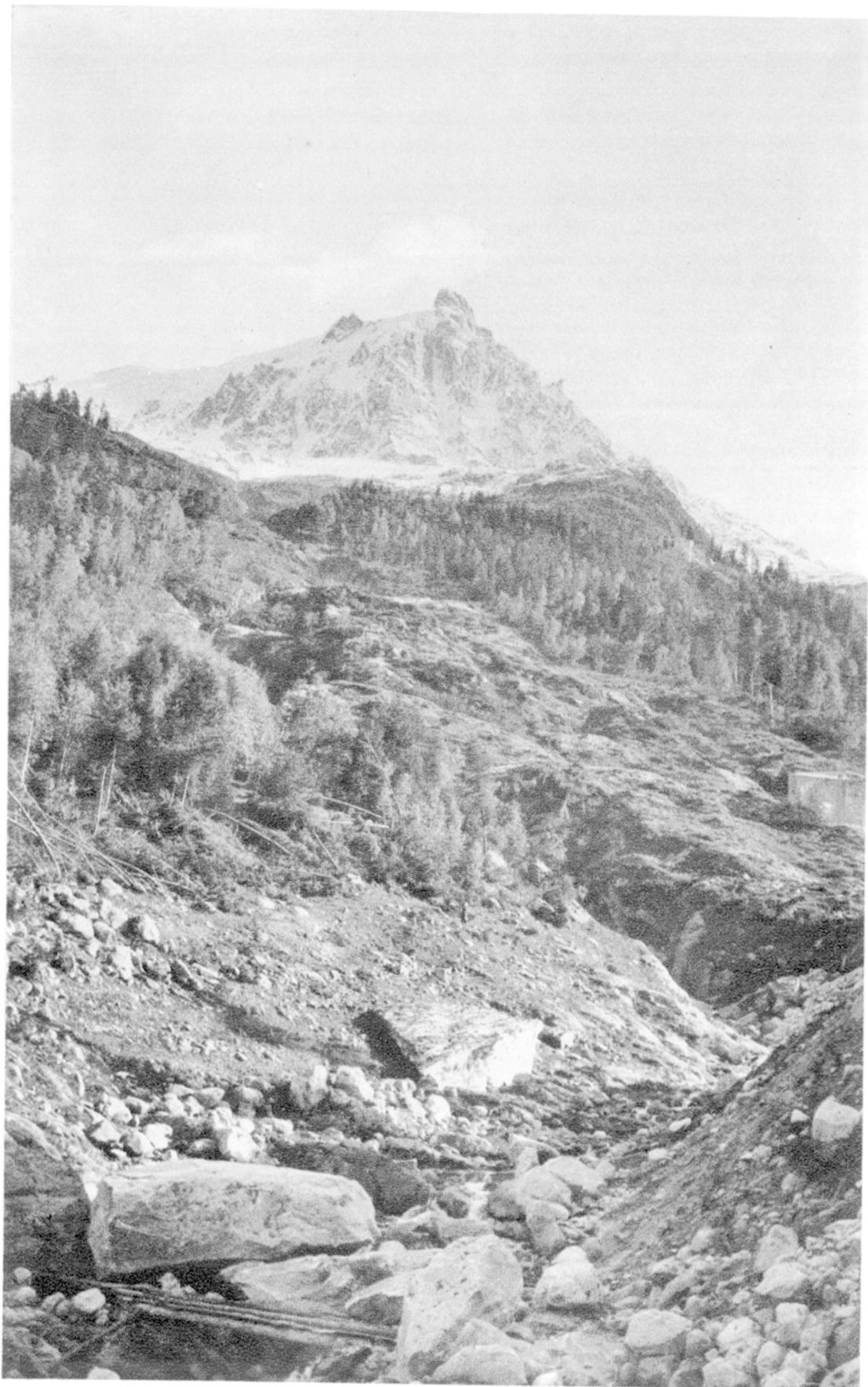


Phot. Lagotala.

Phot. 23.

*Bois atteints par l'avalanche en amont du chalet Balmat.*

Phot. Lagotala.



Phot. Lagotala.

Phot. No 16. — Vue générale du ravin.  
A remarquer les sinuosités du ravin et la forte pente de la rive gauche.



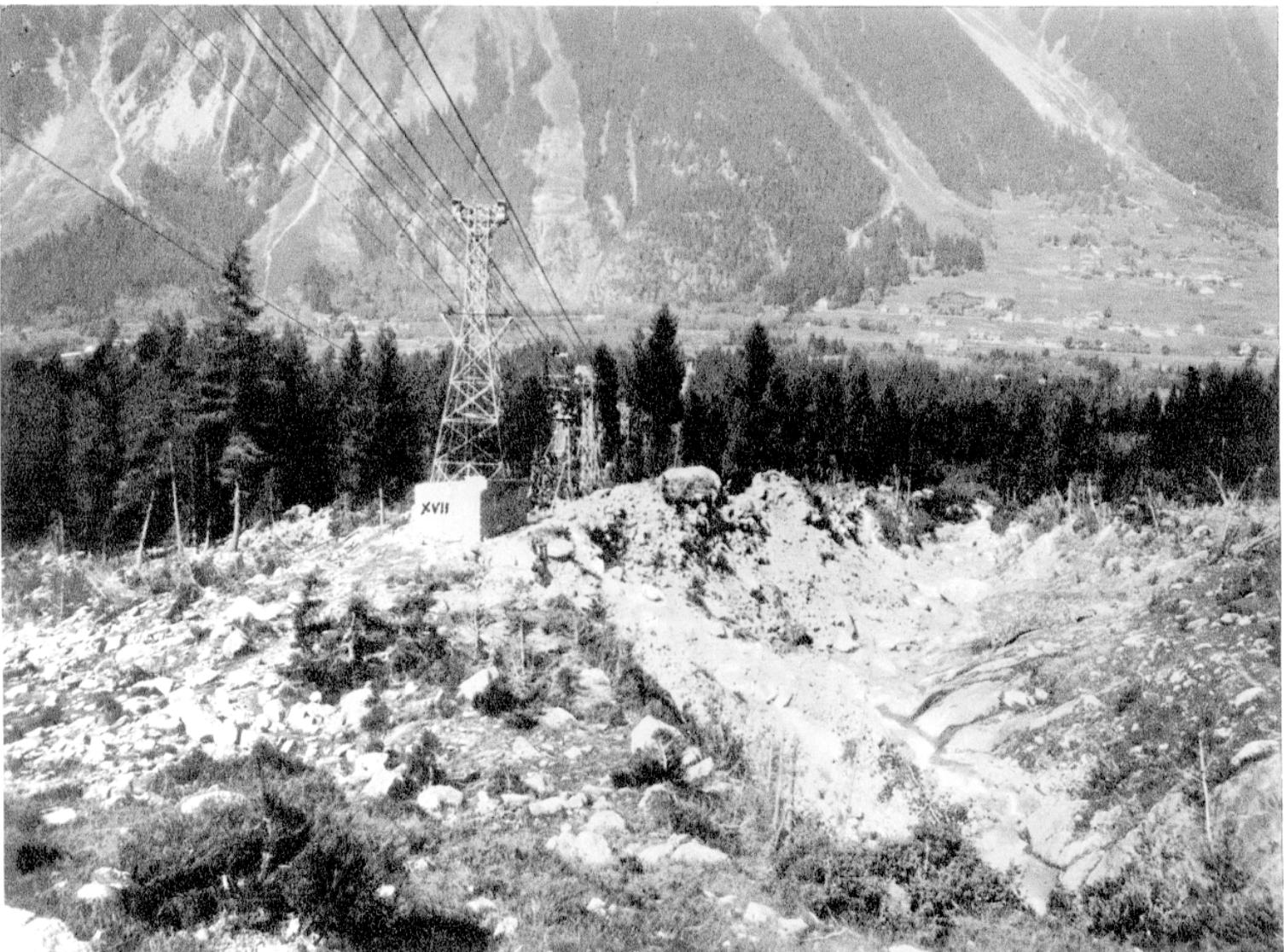
Phot. Monnier.

Phot. No 17. — Fond du ravin, reste de l'avalanche.  
A remarquer le coude brusque du ravin en amont.



Phot. Monnier.

Phot. No 18.



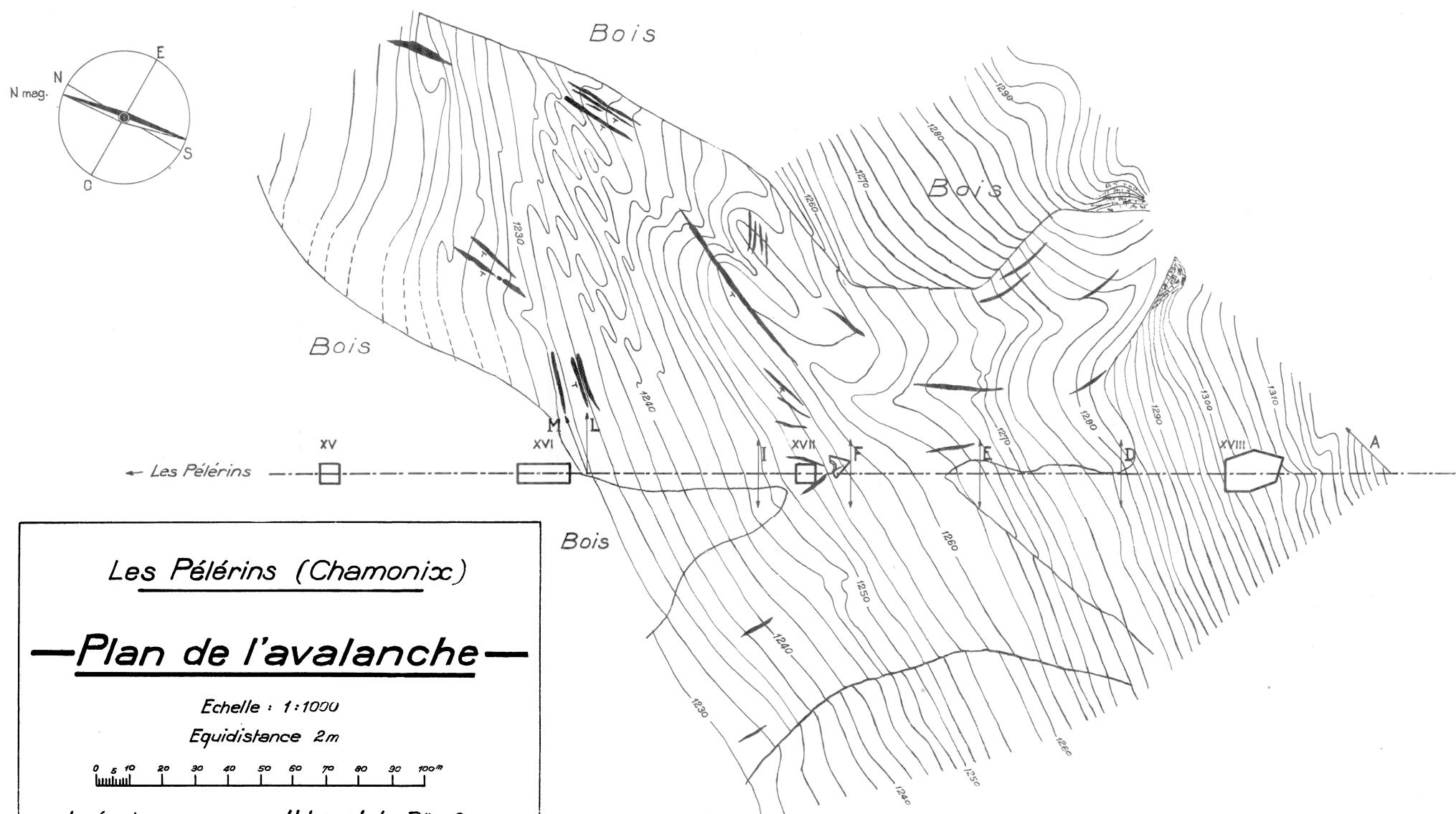
Phot. No 19. -- Le ravin débarrassé des neiges.

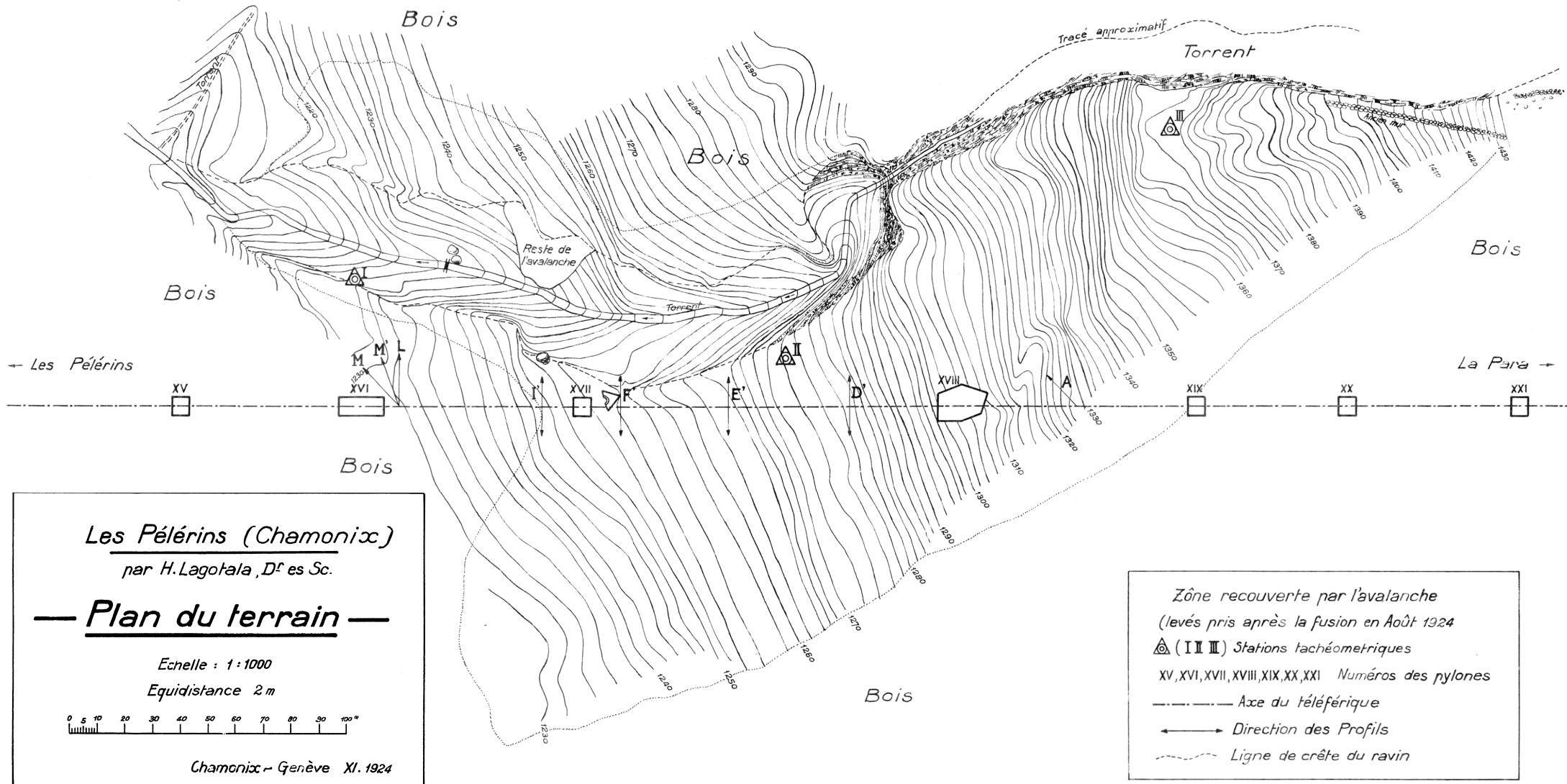
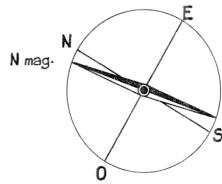
Phot. Monnier.

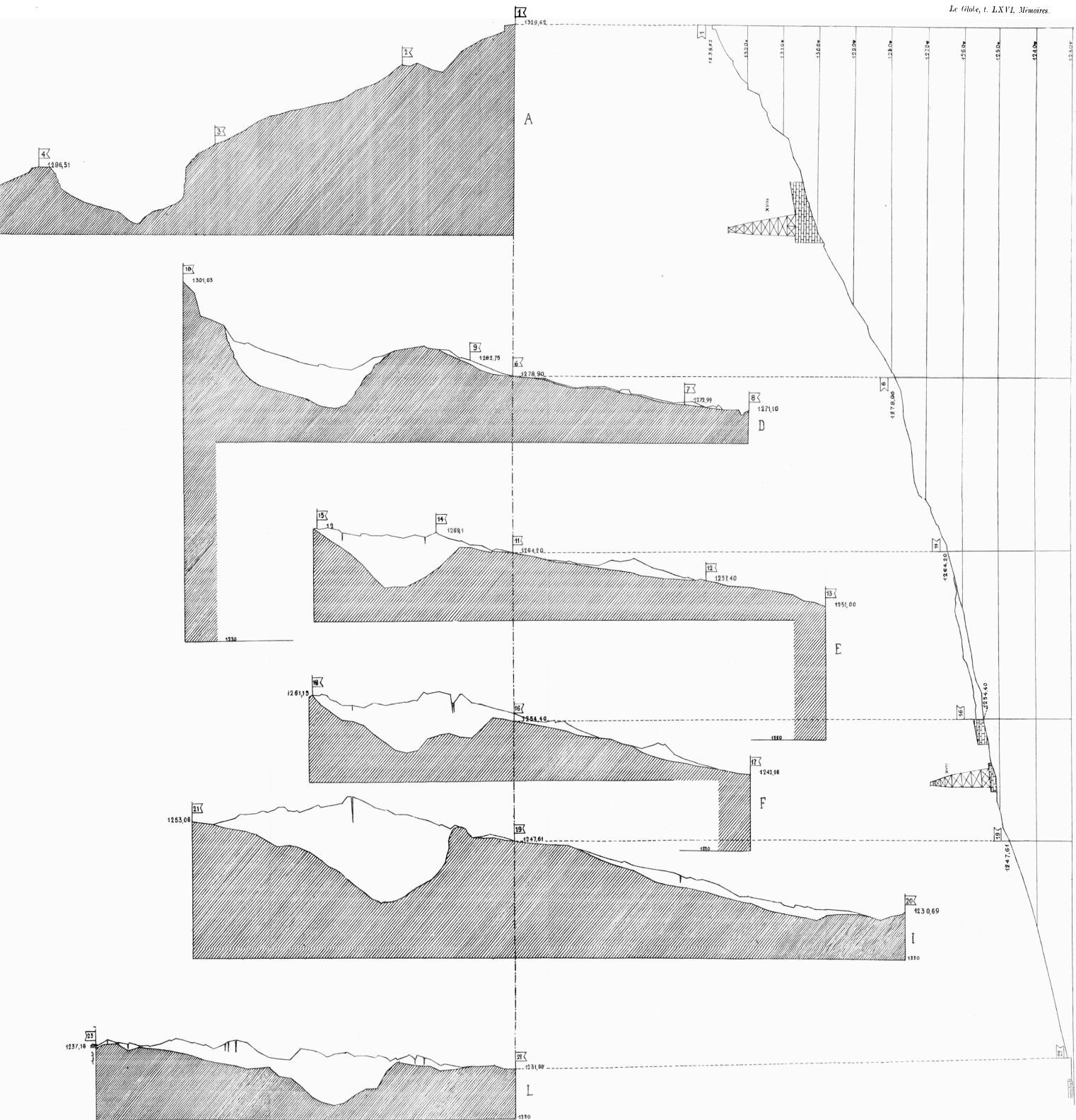


Phot. Monnier

Phot. N° 20. — Vue générale du ravin à la hauteur du Pylône XVIII.

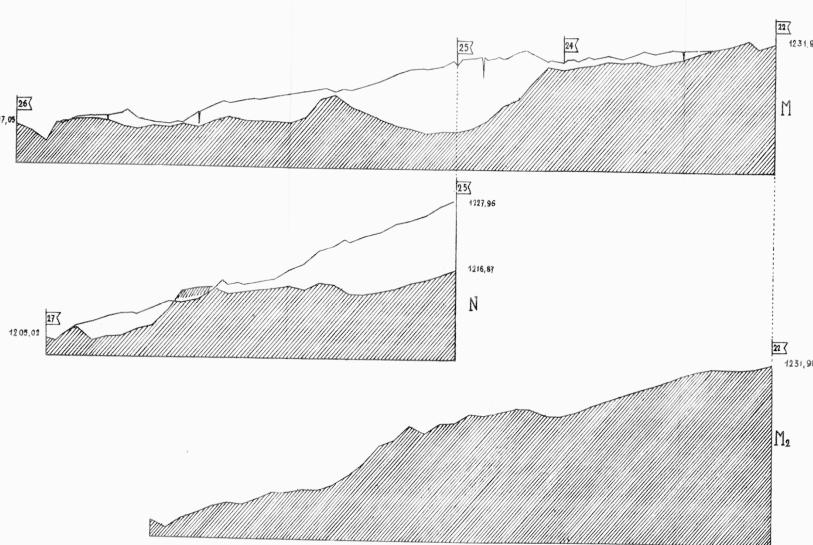






## AVALANCHE DES PELERINS

CHAMONIX 10-11 AVRIL 1924

PROFILS A TRAVERS LA ZONE D'AVALANCHE  
1:750  
H. LAGOTALA.

POSITION DES PROFILS.

