Rapport sur la mission d'étude effectuée auprès de l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches de Weissfluhjoch-s/Davos

The Weissfluhjoch-sur-Davos Institute for the study of snow and avalanches (Switzerland)

PAR C. SULZLÉE

INSPECTEUR-ADJOINT DES EAUX ET FORÊTS A PAU

English synopsis p. 637

La mission que j'ai effectuée en Suisse auprès de l'Institut fédéral de la neige de Weissfluhjoch-s/Davos, a comporté tout d'abord une visite détaillée de l'Institut et des appareils utilisés pour l'étude de la neige; en second lieu, j'ai effectué, en compagnie de différents savants travaillant à l'Institut, les séries d'observations qui sont réalisées périodiquement dans les champs d'expériences situés à Weissfluhjoch, à Davos, et aux environs de ces deux localités; enfin, j'ai également visité en détail, dans la deuxième partie de mon séjour, un certain nombre de périmètres de protection contre les avalanches, où sont effectués actuellement des travaux de défense.

I. — Visite des Laboratoires de l'Institut de Weissfluhjoch.

L'Institut fédéral de la neige de Weissfluhjoch où travaillent treize chercheurs de disciplines différentes, comprend l'étude spéciale de la neige, des installations modernes permettant de faire des expériences dans des conditions se rapprochant le plus possible des conditions naturelles. L'installation de l'Institut permet de faire varier en laboratoire les différents facteurs

influant sur la neige de manière à faire des études comparatives sur l'évolution de celle-ci.

a) CRISTALLOGRAPHIE DE LA NEIGE

L'étude de la neige est fondée en premier lieu

PHOTO N° 1. — L'INSTITUT DE LA NEIGE A WEISSFLUHJOCH. Cet Institut comprend trois étages. L'étage inférieur en sous-sol renferme les installations frigorifiques et les laboratoires d'études de la neige à basse température.

sur la métamorphose des cristaux de neige; c'est pourquoi celle-ci est étudiée à Weissfluhjoch avec un soin tout particulier. Les cristaux peuvent être étudiés à différentes températures

grâce à une série de chambres frigorifiques réfrigérées par deux groupes distincts et où l'on travaille actuellement à des températures variant de -5° à -40° . Un autre intérêt de ces chambres est de permettre la conservation de la neige toute l'année et de pouvoir faire des expériences même au cours de l'été. La conservation de la neige se fait dans la chambre qui est à -40° , car à cette température l'évolution des cristaux est extrêmement lente.

Les appareils servant à l'étude des cristaux sont notamment des loupes binoculaires et aussi des microscopes. On utilise même le microscope polarisant.

Les cristaux sont aussi étudiés par la méthode des coupes minces; les cristaux étant enrobés dans une substance chimique spéciale dont le point de congélation est aux environs de -50° et dans laquelle on immerge à l'état liquide les cristaux de neige à étudier; après congélation de la substance chimique qui se présente alors sous forme d'une sorte de paraffine, on peut réaliser à l'aide d'un microtome des coupes de 2 ou $3/10^{\circ}$ de millimètres d'épaisseur qui sont examinées sous le microscope.

Un des points les plus importants sur lequel ont porté les études cristallographiques est la formation des cristaux en gobelets, formation des plus dangereuses pour le départ des avalanches.

Il a été ainsi démontré que la formation de ces cristaux est d'autant plus rapide que le gradient de température à l'intérieur du manteau de neige est plus élevé. Les cristaux en gobelets se forment par suite de la sublimation de la neige au voisinage du sol et de sa recristallisation dans les couches situées un peu plus haut. Cela explique que cette formation soit d'autant plus rapide que les couches de condensation sont plus froides par rapport au sol. La formation des cristaux en gobelets est ainsi d'autant plus importante que la température de l'air est plus froide et que l'épaisseur du manteau de neige est plus faible puisque ces deux faits augmentent le gradient de température à l'intérieur du manteau de neige.

La reconstitution, en laboratoire, des cristaux en gobelets est réalisée dans un cylindre à parois isothermes dont la partie supérieure est maintenue à -10° et la partie inférieure à une température assez voisine de 0° qui est, comme on le sait, la température moyenne du sol en hiver.

La grosseur des cristaux, ou plus exactement celle des agrégats cristallins, est mesurée scientifiquement par la méthode de STOCKES. Le liquide de sédimentation utilisé est le pétrole; les dépôts obtenus sont pesés à mesure par une balance automatique dont les indications sont enregistrées électriquement.

Cette méthode moderne remplace avantageusement les tamis en grillage utilisés autrefois, mais il existe encore une petite cause d'erreur due à l'agglomération des cristaux.

b) PHYSIQUE DE LA NEIGE

Les propriétés physiques de la neige sont également à la base des transformations de celle-ci et de la formation des avalanches.

La température peut être mesurée par des thermomètres ordinaires, électriques ou enregistreurs, suivant le cas.

La densité est également très importante, notamment pour le calcul des ouvrages de protection, et est mesurée par prélèvement de carottes horizontales numérotées dans chaque couche.

Le « stock en eau » est mesuré par un enfoncement de carottes verticales dans la couche.

Dans les mesures faites au laboratoire, les échantillons prélevés sur les champs d'expériences sont pesés sur une balance automatique, ce qui a l'avantage de faire gagner du temps au personnel.

La conductibilité calorifique est mesurée dans un appareil spécial constitué par une sphère remplie de neige homogène dont l'ensemble est conservé d'abord à -10° ; le centre de la sphère est ensuite chauffé à des températures données et l'on note les changements de températures se produisant à la périphérie de la sphère au bout d'intervalles de temps donnés.

La perméabilité de la neige à l'air est mesurée en observant la vitesse de pénétration de l'air à travers un cylindre de neige donné.

c) MÉCANIQUE DE LA NEIGE

Les propriétés mécaniques de la neige sont étudiées grâce à une série d'appareils de grande précision.

Le mouvement de reptation ainsi que les déformations de la neige sont étudiés sur des plans inclinés. Un bloc de neige préalablement tamisé, afin d'avoir de la neige homogène, est placé sur un plan incliné sous un angle déterminé; des repères sont enfoncés dans le bloc et reliés par un fil à un tambour gradué permettant la mesure précise des déplacements des repères.

La déformation de la neige est mesurée aussi en insérant un bloc de neige entre deux semelles métalliques parallèles, dont l'une est fixe, et l'autre tirée par un poids; on enregistre en fonction du temps et de la valeur du poids, le mouvement de la semelle mobile. Les déformations de pénétration sont également mesurées en enfonçant dans une lame de neige, un objet de forme déterminée. La lame de neige homogène a été constituée en y intercalant un quadrillage de sable fin, l'ensemble de la lame de neige est placé entre deux plaques de verre et les défor-

mations s'observent facilement en notant les nouvelles courbes que prennent les intercalations de sable dans la neige.

La compression est mesurée sur des éprouvettes dont on mesure le raccourcissement en fonction du temps et de poids placés sur un plateau appuyé sur l'éprouvette; cette méthode est très précise, mais très lente.

Les résistances à la traction sont mesurées par une méthode analogue, mais l'effort de compression appliqué sur l'éprouvette verticale est remplacé ici par un effort de traction appliqué à l'éprouvette au moyen de fils et de contre-poids; les extrémités de l'éprouvette sont préalablement glacées sur le plateau pour permettre l'application de l'effort de traction.

La cohésion de la neige peut être mesurée très rapidement dans une centrifugeuse où l'on fait tourner une carotte de neige; on augmente progressivement le nombre de tours jusqu'à éclatement de l'échantillon. La cohésion est calculée en fonction du nombre de tours et, par intégration, de la force centrifuge depuis l'axe de rotation jusqu'au cylindre, intégration qui donne l'effort total de rupture. Le cylindre échantillon est très légèrement sectionné au milieu, où se fera exactement l'éclatement de la carotte.

La résistance à la torsion est également mesurée à l'aide d'un cylindre plein de neige, vissé entre deux semelles perpendiculaires à son axe. L'une des semelles est fixe, l'autre tourne au moyen d'un fil auquel est attaché un poids.

— Il est à noter que dans les calculs relatifs à la mécanique de la neige, tous les chiffres trouvés sont ramenés à la densité de la neige.

PHOTO N° 2. — LE CHAMP D'ÉTUDE DE LA NEIGE A WEISSFLUHJOCH

Ce champ d'expérience est installé sur un replat de 100 m environ au-dessus de l'Institut de la neige. On le distingue au centre un peu à gauche de la photographie. Au premier plan, on aperçoit la voie ferrée de Parseenbahn et les palissades de protection de celle-ci contre les accumulations de neige.

II. — Les observations dans les champs d'expériences.

Chacun des champs d'expériences dépendant de l'Institut de Weissfluhjoch, est visité au minimum une fois par quinzaine; cependant, toutes les observations météorologiques sont faites quotidiennement, quelques stations étant, de plus, dotées d'appareils enregistreurs.

Les profils de neige sont faits avec beaucoup de précision, tous les quinze jours : des fils de couleurs différentes sont placés à la surface de la neige pour permettre de retrouver facilement les couches différentes provenant des diverses chutes de neige de chaque quinzaine.

Les prélèvements d'échantillons destinés aux mesures de laboratoires sont faits au moyen de séries de carottes horizontales, numérotées à chaque niveau; il est placé deux carottes à la même hauteur, de manière à contrôler les résultats obtenus. Chaque champ d'expériences fait l'objet, tous les quinze jours, d'un profil de battage, d'un profil stratigraphique, d'un profil de densité, d'un profil de température ainsi que d'observations précises concernant la nature des cristaux.

En plus des mesures précédentes effectuées dans tous les champs d'expériences, le champ d'expérience de Weissfluhjoch est doté d'appareils bien plus complets dont voici les plus importants :

Cuve de fusion : Une surface de 5 m² environ est isolée à l'intérieur du champ de neige par une cuve imperméable dont le fond est enfoncé dans le sol à 50 cm de profondeur et recouverte ensuite de sol naturel identique à celui du reste du champ. L'eau s'écoulant sur le fond est recueillie dans un vase spécial par un tube dont l'extrémité est réchauffée électriquement pour éviter qu'il ne se bouche par formation de glace. Les résultats de la fusion sont enregistrés automatiquement par un système ingénieux de déversement alternatif dans deux cuves; lorsqu'une cuve est pleine, un siphon s'amorce automatiquement qui la vide et qui dirige l'eau de la fusion dans la deuxième cuve; des contacts électriques enregistrent la fin du remplissage de chaque cuve dont la contenance est de un demi-litre.

Thermomètre électrique à couple : Cet appareil permet la mesure de température de la neige à différentes profondeurs sans être obligé de creuser des tranchées. Un couple électrique est fixé dans la sonde qui est creuse et traversée par des fils, ainsi que ses rallonges éventuelles; la température est lue directement sur un galvanomètre, le circuit étant relié à un deuxième couple de référence dans une enceinte maintenue à 0°.

L'Institut de Weissfluhjoch n'a pas encore utilisé de thermomètres électriques à résistances pour la mesure de la température de la neige en profondeur.

Mesure électrique du tassement de la neige : Celle-ci est réalisée par un pont de Wheatstone; une résistance rectiligne verticale est placée avant l'hiver à l'emplacement où tombera la neige; des petits tasseaux conducteurs reliés par des fils au poste intérieur peuvent glisser librement le long de cette résistance; le pont est complété par une autre résistance verticale, située dans le poste, et sur laquelle glisse un index mobile dont la position est repérée sur une règle graduée verticale; les tasseaux sont placés sur le terrain au fur et à mesure des chutes de neige; il est facile ensuite de connaître la position exacte d'un tasseau dans la neige en intercalant dans le pont une pile électrique et en faisant coulisser les contacts mobiles jusqu'à ce que le galvanomètre situé sur le pont marque 0. Il suffit alors de lire sur la règle la position exacte de chaque tasseau dans la neige, en branchant successivement chacun des fils reliés aux tasseaux de la couche, dans le pont; on arrivera à connaître ainsi successivement la position de chacun des tasseaux.

Dynamomètre à neige : Cet appareil servait pour mesurer la pression exercée par la neige sur une surface; le dynamomètre le plus perfectionné situé actuellement au-dessus de l'Institut permet de mesurer à la fois les deux composantes de la pression de la neige : 1° suivant la pente, 2° suivant la perpendiculaire au sol; cette mesure se fait simplement à l'aide de ressorts dont on mesure la déformation, et placés suivant les deux directions ci-dessus indiquées.

PHOTO N° 3. — VUE DE DÉTAIL DE L'APPAREIL DE MESURE DE PRESSION DE LA NEIGE INSTALLÉ A WEISSFLUHJOCH.

Cet appareil est muni de dynamomètre permettant de mesurer l'effort de compression, parallèlement et perpendiculairement à la pente du terrain.

PHOTO N° 4. — CHAMP D'EXPÉRIENCE A PROXIMITÉ DE DAVOS-PLATZ.

On aperçoit le périmètre de protection contre les avalanches du Schiahorn, au milieu en haut de la photographie. Ce périmètre est situé au-dessus de la zone reboisible.

III. — Les travaux de protection contre les avalanches.

La Suisse étant un pays avalancheux par excellence, il existe dans ce pays un grand nombre de périmètres ou des travaux de protection contre les avalanches ont été effectués. C'est en 1850 environ que les ingénieurs forestiers suisses ont commencé à construire des ouvrages pour empêcher le départ d'avalanches. Après de nombreux essais de terrasses, de bermes, de murs atterris ou non, il semble que la préférence des ingénieurs forestiers suisses soit allée au cours des dernières années aux murs verticaux en maçonnerie sèche et atterris sur une faible épaisseur au côté amont. Cependant, avant la formation de l'Institut de la neige, les ingénieurs suisses avaient essayé aussi des palissades et même des ponts à neige. On a aussi l'impression qu'avant la formation de l'Institut, les ingénieurs suisses avaient eu l'intuition des nouveaux ouvrages modernes dont l'efficacité allait être démontrée par les travaux effectués à Weissfluhjoch.

J'ai eu l'occasion de visiter en plus des travaux du Schiahorn, et des travaux de protection directe de la ville de Davos, les ouvrages de protection de Miet près de Prêda, ceux du Gonzen près de Trübbach et les ouvrages de protection de la route nationale n° 16 entre les localités de Stein et de Starkenbach.

Il serait fastidieux ici d'entrer dans le détail des travaux effectués dans chacun de ces périmètres; je me bornerai donc à indiquer ci-dessous les quelques idées générales qui ont été appliquées dans l'exécution de ces travaux.

a) Nature des ouvrages

Les murs sont considérés par les Suisses comme des ouvrages très coûteux. Ils ne les emploient que pour des protections permanentes dans des endroits où les reboisements ne sont pas possibles. La plupart des murs sont exécutés en maçonnerie sèche; dans certains cas, la durée des murs a pu être augmentée et les frais d'entretien diminués par l'intercalation de grillages entre les couches de maçonnerie en pierres

PHOTO N° 5. — CHAMP D'EXPÉRIENCE AUX ENVIRONS DE KLOSTER EN TERRAIN BOISÉ.

Les mesures sont faites à titre comparatif en terrain boisé et non boisé. On aperçoit, montée sur trépied la balance qui sert pour les mesures de la densité de la neige.

sèches. Les grillages qui arment ainsi les murs sont en acier galvanisé et ont des mailles de 60 mm environ. La hauteur des barrages anciens ne dépasse guère 4 à 5 m, hauteur mesurée sur

le parement aval. Les modèles plus modernes de murs ne comportent qu'un atterrissement de très faible épaisseur, sur la paroi amont, pour conserver, en amont du mur, le plus de place possible pour l'accumulation et le tassement de la neige.

Les palissades en bois verticales sont peu utilisées; l'expérience a démontré qu'elles étaient fragiles et qu'elles résistaient mal aux effets mécaniques de la neige. Cependant, elles ont un effet utile quand elles peuvent faciliter l'évacuation de la neige par le vent.

Les ponts à neige sont les ouvrages les plus modernes utilisés actuellement; les théories modernes leur attribuent de gros avantages sur les murs, en plus de l'économie très grande réalisée sur ces derniers ouvrages. Les ponts à neige fabriqués uniquement en bois sont utilisés partout où le reboisement est possible. Sous le climat suisse un pont à neige peut résister trente ans s'il est fait de bois convenablement préparé (mélèze flambé ou, mieux, injecté).

Souvent, l'armature du pont à neige est en métal; mais l'acier est peu utilisé par les Suisses, car dans ce pays, l'acier est rare et coûteux, et le bois, abondant et bon marché.

Enfin, certains ponts à neige ont leur tablier garni de grillages métalliques.

Les éléments triangulaires isolés sont utilisés dans des cas assez rares par les Suisses; ils ne les emploient en effet que pour la correction des avalanches de plaque dans les versants où la cohésion naturelle de la neige est assez importante.

Les palissades continues en bois tendent à être de plus en plus utilisées par les Ingénieurs suisses pour modifier la répartition de la neige en altitude sous l'effet du vent. J'en ai vu une qui était située au milieu d'un couloir d'avalanches à la partie supérieure de celui-ci; cet ouvrage avait pour but de permettre au vent l'évacuation rapide de la neige et d'éviter ainsi l'accumulation de la neige à cet endroit.

b) CALCUL DES OUVRAGES

Les théories les plus récentes sur le calcul des ouvrages résultent d'une publication récemment parue sous la signature du Dr Edwin BUCKER, Directeur de l'Institut Fédéral de la neige de Weissfluhjoch, et relatif à la théorie des ouvrages de protection contre les avalanches.

Des formules précises existent maintenant pour le calcul des ouvrages. Elles résultent de considérations théoriques d'une part, mais aussi de recherches expérimentales et de vérifications faites à Weissfluhjoch et dans les champs d'expériences.

PHOTO N° 6. — VUE DE LA MONTAGNE DE HOHENBERG.
Le sommet est constitué en périmètre de protection
contre les avalanches pour l'agglomération de
Davos-Dorf.

c) ETUDES TECHNIQUES DANS LES PÉRIMÈTRES DE TRAVAUX

Il est intéressant de noter les procédés de travail des ingénieurs suisses chargés de la construction des ouvrages de protection. Dès qu'un périmètre est constitué et bien avant le commencement des travaux, il est procédé à

PHOTO N° 7. — VUE PLUS RAPPROCHÉE DU PÉRIMÈTRE
DE PROTECTION DU HOHENBERG MONTRANT LA RÉPARTITION
DES OUVRAGES

une série d'études et de mesures dans le périmètre.

La répartition et l'accumulation de la neige en hiver sont mesurées pendant de longues années au moyen de perches à neige visibles de très loin. La répartition est mesurée en de nombreux points du périmètre par des sabots métalliques dont les déplacements sont repérés et contrôlés en fin de saison; enfin des stations de battage de neige et d'établissement de profils sont constitués dans le périmètre.

Tout cela est complété par une observation attentive de tous les éléments météorologiques aux lieux mêmes où seront effectués les travaux.

La documentation photographique joue un très grand rôle dans les études précédentes; des séries de photographies sont prises périodiquement et, par comparaisons, donnent des indications précises sur l'état de l'enneigement.

Si les ingénieurs forestiers locaux sont char-

PHOTO N° 8. — VUE D'UN GROUPE D'OUVRAGES
DU HOHENBERG.

On aperçoit les nombreuses perches à neige utilisées pour l'étude de la répartition de la neige.

gés, chacun dans son secteur, de l'exécution des travaux, c'est actuellement M. l'ingénieur forestier fédéral INDERGRAND, détaché auprès de l'Institut de la neige, qui supervise l'ensemble des projets de travaux contre les avalanches, qui donne dans chaque périmètre les directives nécessaires et qui assure lui-même, avec l'aide du personnel de l'Institut, les études techniques sur le terrain, nécessaires pour la préparation des projets.

Si les théories générales ont été mises au point pour le calcul des ouvrages, il n'en reste pas moins cependant que chaque périmètre constitue un cas particulier qui nécessite une étude spéciale.

Lorsque les calculs relatifs aux éléments « neige » sont terminés, les ingénieurs forestiers suisses font exécuter les calculs de génie civil relatifs aux ouvrages de protection par des ingénieurs ou architectes qui établissent les di-

mensions exactes à donner aux diverses parties des ouvrages.

De cette manière, le projet définitif établi pour la construction des ouvrages, présente le maximum de garanties, d'efficacité et d'économie. Les travaux sont ensuite exécutés en principe à l'entreprise, sous la direction des ingénieurs forestiers.

IV. — Service de prévision des avalanches.

La théorie de la prévision des avalanches est déjà bien au point en Suisse.

a) PRINCIPE SUR LEQUEL REPOSE LA PRÉVISION

La prévision des avalanches repose sur la connaissance exacte de la neige au moment considéré. Les principes généraux de métamorphose de la neige ainsi que l'évolution probable des facteurs météorologiques permettent d'établir s'il y a ou non danger d'avalanches.

Les mesures nécessaires sont, en gros, les mêmes que celles qui font déjà l'objet des études réalisées dans les champs d'expériences de l'Institut de Weissfluhjoch.

C'est ainsi que dans chaque station, on mesure le profil de battage, le profil stratigraphique, le profil de température, de densité, les éléments cristallographiques, etc...

Il est intéressant aussi de noter que c'est l'état des couches supérieures du manteau de neige qui dans 80 % des cas est le plus essentiel dans la détermination du danger d'avalanches; c'est pour cette raison que cet état est indiqué dans le profil de battage par la notation de l'enfoncement initial de la sonde.

La force du vent est notée journellement ainsi que les températures maxima et minima de l'atmosphère, le degré hygrométrique, l'ensoleillement, les chutes de neige, etc... C'est l'examen comparé de l'ensemble de ces observations qui détermine le danger d'avalanches.

b) FONCTIONNEMENT DU SERVICE

Les observations nécessitées par la prévision du danger d'avalanches étant les mêmes que celles nécessitées par l'étude de la neige, il était logique que les prévisions des avalanches soient confiées à l'Institut Fédéral de Weissfluhjoch.

Il existe un réseau de vingt stations d'observations réparties dans toute la Suisse sous des altitudes et des climats différents.

Immédiatement avant la rédaction du bulletin d'avalanches, chaque observateur téléphone directement à Weissfluhjoch les résultats des dernières observations qu'il a faites. Le prévisionniste établit alors le bulletin en étudiant les éléments reçus.

PHOTO N° 9. — VUE DE DÉTAIL D'UN OUVRAGE DE PROTECTION DU HOHENBERG.

Il s'agit ici d'un pont à neige de type permanent avec fondation en béton, piliers et poutres maîtresses en acier, et tablier en rondins de mélèze.

La documentation ainsi recueillie par l'Institut de la neige de Weissfluhjoch est d'une extrême importance pour renseigner cet institut sur l'évolution de la neige dans l'ensemble du pays; l'Institut retire ainsi de ce service des avantages d'ordre scientifique très importants.

En principe, un service de prévision tel que celui qui fonctionne en Suisse est extrêmement coûteux; pendant la dernière guerre, le service a pu se développer dans de très bonnes conditions grâce aux militaires qui, dans le cadre du Service des avalanches de l'Armée, ont travaillé gratuitement. Depuis la démobilisation, l'Institut de la neige a dû faire appel à des observateurs civils qui assument un travail mi-

PHOTO N° 10. — PÉRIMÈTRE DE GONZEN POUR LA PROTECTION DE LA VILLE DE SARGANS CONTRE LES AVALANCHES.

Photographie prise dans l'axe du trajet de la dernière avalanche. La ville de Sargans est située dans la plaine que l'on aperçoit en arrière-plan sur la photographie. Au fond on aperçoit le Rhin qui fait frontière entre la Suisse à gauche et la principauté de Liechtenstein.

nutieux et une grosse responsabilité pour une rémunération assez faible; mais il est dans le caractère du peuple suisse de s'intéresser aux questions scientifiques et aux phénomènes de la nature. Le système de prévision des avalanches peut ainsi fonctionner grâce au dévouement de tous ceux qui y participent.

Avant la création du service de prévision des avalanches, le nombre des accidents dus aux avalanches était très élevé en Suisse; depuis que les prévisions sont faites scientifiquement, le nombre des accidents est très faible. On n'a eu à déplorer qu'une seule perte de vie humaine cette année, résultat tout à fait remarquable, étant donné le grand nombre de stations de ski existant en Suisse et l'immense affluence de touristes suisses et étrangers qui les fréquentent durant la longue saison d'hiver. En France, nous avons à déplorer malheureusement, chaque année, des accidents mortels dus aux avalanches, bien plus nombreux pour une circulation en montagne plus faible qu'en Suisse.

Les résultats remarquables obtenus en Suisse, sont dus au niveau scientifique élevé de l'Institut de Weissfluhjoch, à la mise au point parfaite de la méthode de prévision, à la conscience professionnelle des observateurs et à la discipline naturelle qui règne dans ce pays.

V. — Conclusion.

Les faits exposés ci-dessus démontrent la parfaite organisation scientifique, technique et

pratique des études de neige en Suisse; ces études sont encore récentes dans ce pays puisqu'elles ont débuté en 1931 seulement par la création d'une Commission de la neige et des avalanches et qu'il y a quelques années encore, l'Institut de la neige de Suisse n'était qu'un modeste laboratoire en planches situé au milieu de la montagne. Les résultats obtenus dépassent maintenant ce que l'on pouvait normalement espérer; mais l'Institut de la neige continue ses recherches et se pose chaque jour de nouveaux problèmes.

Les travaux de Weissfluhjoch dépassent d'ailleurs largement le cadre de la Suisse. Si les applications techniques faites en Suisse ont été réalisées en fonction du climat du pays, les principes de base établis par les Suisses peuvent avoir une portée générale et servir de fondement pour les études à réaliser dans les autres pays.

En France, le Centre d'études de la neige et des avalanches constitué pendant l'hiver 1946-47 avec les moyens conjugués de l'Administration des Eaux et Forêts et du Comité de Tourisme des Hautes-Pyrénées, a déjà obtenu un certain nombre de résultats dans le cadre des Pyrénées.

Les Pyrénées se prêtent d'ailleurs très bien à d'importantes études de la neige car elles comportent trois régions distinctes : Pyrénées occidentales, centrales et orientales, où des climats différents provoquent des métamorphoses différentes de la neige. Il était d'ailleurs naturel que les Pyrénées soient les premières à s'intéresser à ces études puisque le cas le plus grave de danger d'avalanches menace actuellement l'importante localité de Barèges qui, construite au bas de deux couloirs d'avalanches très dangereux, est depuis peu habitée en hiver par une population nombreuse.

L'intérêt pratique que présentent les études de neige pour l'ensemble de la France est d'ailleurs démontré par le fait que M. Urbain CAZAUX, Président de la Fédération française de ski, est également venu en Suisse pour étudier les problèmes de neige. J'ai eu l'occasion de me retrouver avec lui lors de la dernière partie de ma mission.

Si l'on veut éviter des accidents d'avalanches mortels comme ceux qui viennent d'endeuiller tout récemment en France les Pyrénées et les Alpes, il sera nécessaire d'organiser avec une méthode rationnelle une protection efficace des skieurs et des différents usagers de la montagne en hiver.

M. L. Edwin BUCKER, directeur de l'Institut fédéral de Weissfluhjoch, a bien voulu, lors de mon séjour à Davos, me donner quelques suggestions et directives sur l'orientation à donner à nos études de neige en France, et notamment dans les Pyrénées. Je résume ci-dessous ces directives, qui correspondent d'ailleurs au pro-

PHOTO N° 11. — VUE DE DÉTAIL
D'UN OUVRAGE DE PROTECTION SEMI-PERMANENT DU GONZEN.
Les rondins de mélèze utilisés ont été brûlés superficiellement dans la partie en contact avec le sol. Les poutres maîtresses sont assemblées par étriers, les contre-fiches étant assemblées par boulons.

PHOTO N° 12. — VUE D'UNE SÉRIE DE PONTS A NEIGE POUR LA PROTECTION D'UNE ROUTE AUX ENVIRONS DE STEIN.

jet que j'avais élaboré après mes premiers travaux dans les Pyrénées.

Il serait nécessaire tout d'abord de vérifier si tous les principes généraux d'étude de la neige utilisés en Suisse sont valables dans les Pyrénées. Il faudrait ensuite, dans le cadre de la construction des ouvrages, vérifier si les principes de calculs résultant des recherches suisses sont applicables dans les Pyrénées; il serait bon enfin de faire, dans des stations convenablement choisies, des suites de profils de neige dans le but de noter exactement toutes les conditions de formation d'avalanches.

Cette documentation, indispensable pour la connaissance scientifique de la neige dans les

Pyrénées, permettrait, en la complétant par l'observation scientifique des avalanches, de mettre au point une méthode de prévision de danger d'avalanches adaptée aux Pyrénées.

Je dois indiquer ici que j'ai trouvé auprès de M. le docteur BUCKER le plus bienveillant appui; afin de permettre à nos centres des Pyrénées de gagner du temps et de profiter des résultats acquis à Weissfluhjoch, M. le docteur BUCKER a bien voulu m'autoriser à me servir dans les Pyrénées des appareils déjà en service à Weissfluhjoch. Il m'a également promis une liaison entre l'Institut suisse et notre Centre. Cette liaison est d'ailleurs une condition essentielle de succès pour le développement des études de neige dans les Pyrénées.

Elle permettra, sans qu'il soit nécessaire d'engager de grandes dépenses, de faire, dans les Pyrénées, une adaptation fructueuse des résultats obtenus en Suisse.

En conclusion :

La France doit être reconnaissante à la Suisse d'avoir la première créé la Science de la neige.

Les Pyrénées, par leurs conditions de climat spéciales et différentes de celles de la Suisse, se prêtent à des études de neige particulièrement profitables. Notre Centre d'Etude doit donc continuer ses recherches en liaison avec les savants suisses afin de bénéficier au maximum de leurs résultats scientifiques obtenus à Weissfluhjoch, et de mettre au point une technique de la protection contre les avalanches adaptée aux Pyrénées.

DISCUSSION

M. le Président rappelle que M. SULZLÉE a fait lui-même dans les Pyrénées des travaux très intéressants sur la neige, et dont il a entretenu le Comité technique aux « Journées de l'Hydraulique ».

M. le Président remarque que les photographies présentées par M. SULZLÉE suggèrent un très grand nombre de questions, dont les plus importantes sont :

1° La formation du cristal de neige :

Si l'on considère les différentes branches d'un cristal de neige on remarquera que celles-ci se dirigent avec une symétrie hexagonale, explicable par la nature du système cristallin, mais, de plus, à une même distance du centre, les branchements ont tous même position et grandeur par rapport au centre, ce qui suggère une formation simultanée des différentes branches; cette simultanéité n'a pas d'explication. Cette question serait à poser aux chercheurs suisses de l'Institut de la neige.

M. SULZLÉE observe qu'il s'agit d'un phénomène de cristallographie dont il ne s'est pas occupé au cours de ses études.

2° « Congère » et « corniche » : simple question de terminologie.

Ces deux termes ont été employés pour représenter une accumulation de neige. Quelle est leur différence de sens?

Un échange de vue s'établit entre MM. les Présidents MILON et BARILLON, MM. LARRIEU et SULZLÉE; il en résulte que les deux termes sont employés indifféremment pour désigner une accumulation de neige faite par le vent derrière une levée de terrain ou derrière une accumulation précédente de neige; le mot « corniche » s'appliquerait plutôt au cas où l'accumulation forme surplomb, et le mot « congère » aux amas qui se forment sur les routes; mais il apparaît que « congère » est employé de préférence et sans discernement dans les Pyrénées. Une définition précise et scientifique des deux termes serait à faire.

3° M. le Président demande si les Suisses n'ont pas fait d'essais en soufflerie pour étudier l'influence de la modification du régime des vents sur la répartition de la neige.

M. SULZLÉE n'en a pas entendu parler, mais avait envisagé lui-même de faire quelques essais de ce genre à la soufflerie de Chalais-Meudon.

Répondant à M. le Président MILON, M. SULZLÉE confirme que l'influence des vents sur la répartition de la neige est surtout sensible dans les cols, sur les crêtes et sur tous les reliefs de haute altitude en général; les études poursuivies dans les Pyrénées par M. SULZLÉE, dans le cadre de l'Administration des Eaux et Forêts, tendent à déterminer si les profils de neige créés par le vent sont stables ou instables; dans les endroits plats où souffle un vent dit « laminaire » comme à la Quillane, près de Mont-Louis, on observe des accumulations de neige très régulières; dans les zones à versants plus abrupts, comme le col de Puymorens, où sont installés des ouvrages construits par les Ponts et Chaussées, les résultats peuvent être différents.

M. TOURASSE s'intéresse au problème de la prévision des débits des cours d'eau — le haut Rhône notamment — en fonction des hauteurs de neige. Il demande à M. SULZLÉE si les Suisses ont étudié cette question comme l'ont fait les Américains.

M. SULZLÉE répond que les Suisses étudient la fusion de la neige dans une station de leur champ d'expérience, et que le Service de la Production Hydraulique d'Electricité de France, sous l'impulsion de M. FERRY, qui est allé en Suisse, organise un réseau de stations nivométriques avec cuves à neige pour l'étude de la fusion en vue de la prévision ultérieure des débits (1).

M. TENOR signale l'influence capricieuse du vent sur la répartition de la neige : un chalet construit par lui à 1.400 m d'altitude sur un terrain à très forte pente, n'a jamais été submergé par une couche importante de neige, alors qu'il se produit des amoncellements de 2 à 3 mètres de profondeur à quelques mètres au-dessus. M. TENOR pense que l'absence complète de neige, sur 1 m de largeur

environ, le long de la façade côté montagne pourrait provenir de l'existence de tourbillons verticaux; M. SULZLÉE pense que l'on peut aussi l'attribuer à la variation de vitesse du vent qui arrive en biais sur la toiture et, balayant la neige au fur et à mesure qu'elle tombe, évite le tassement de celle-ci.

M. SULZLÉE parle de l'influence des pare-neiges, de la hauteur qu'ils doivent avoir et de la répartition de la neige aux abords de ces ouvrages.

M. TENOR et M. SULZLÉE signalent les effets de souffle dus au front d'onde de pression qui précède généralement les avalanches; M. SULZLÉE indique un article paru dans un journal forestier suisse relatant que des forêts de mélèzes ont été jetées par terre à plus d'un kilomètre du trajet de l'avalanche; les baromètres enregistrent dans ces conditions des variations de pressions atmosphériques très importantes dont on peut se faire une idée en calculant *grosso-modo* le volume d'air déplacé par une avalanche et la vitesse de chute de celle-ci.

M. le Président souligne l'activité de la sous-section de Glaciologie qui apporte des communications très intéressantes et remercie M. SULZLÉE.

Après la séance, nous avons reçu de M. TOURASSE le commentaire suivant :

« Je pense que les cristaux de neige se forment à partir de leur centre très rapidement mais non instantanément, et que cette formation dépend de l'état du milieu et en particulier de la situation des charges électriques et de la configuration du champ électromagnétique. Si, au bout de quelques dixièmes de secondes ou de quelques secondes, l'état du milieu se modifie, il en résulte qu'à ce moment, simultanément et par conséquent à une même distance du centre du cristal (les branches principales s'étant formées avec la même vitesse), de petites branches naissent dans des directions privilégiées des cristaux de glace.

« Au cas où des recherches statistiques montreraient que la distance entre les petites branches et le centre reste constante ou ne varie que d'une façon discontinue suivant les cristaux de neige, on pourrait peut-être en déduire que cette modification du milieu n'est pas soumise au hasard mais résulte elle-même du début de formation du cristal de neige.

« L'état du milieu à la naissance du cristal, puis ensuite au cours de la formation de ce cristal (dont la présence peut elle-même réagir sur le milieu) serait donc, d'après cette explication, à l'origine de la diversité des formes qu'affectent les cristaux de neige. »

(1) Toutefois, les données nivométriques, encore trop récentes pour permettre une étude statistique, ne servent pour le moment que de recoupement aux prévisions que l'on peut faire par ailleurs. Voir à ce sujet :

1° Procès-verbal de la réunion de la sous-Section de Glaciologie du 21 décembre 1948 (programme de la Direction de l'Exploitation d'E.D.F.);

2° Procès-verbal de la séance plénière du Comité technique du 8 mars 1949 (communication de M. FERRY : « Les méthodes d'estimation de l'enneigement » dans le n° 1-1949 de *Mémoires et Travaux*, pages 30 et 31);

3° Mémoire de M. FERRY : Essais de prévision des apports de printemps et d'été 1949 dans certains réservoirs par le Service de la Production Hydraulique d'E.D.F., dans le n° 1-1950 de *Mémoires et Travaux*.