Glacier de Sarennes

Études de Glaciologie de 1949

Sarennes Glacier 1949 Glaciology Studies

PAR M. CHERREY

CONSERVATEUR DES EAUX ET FORÊTS A LYON

English synopsis p. 192

FIG. 2. — VUE GÉNÉRALE DU GLACIER DE SARENNES EN 1906.

(Cliché Flusin.)

Dans le cadre des travaux exécutés par la Sous-Section de « Glaciologie » de la Société Hydrotechnique de France, nous avons été autorisés par la Direction générale des Eaux et Forêts à présenter au Congrès International de juillet 1949 les travaux entrepris pour l'étude du glacier de Sarennes.

La « Tournée » a eu lieu sur le terrain le 29 juillet 1949, en présence de M. BARRILLON, président de la Société Hydrotechnique de France, et de M. l'Inspecteur général MESSINES DU SOURBIER, président de la Sous-Section de « Glaciologie », par beau temps.

L'Electricité de France était particulièrement intéressée par la question et était dignement représentée.

Nous avons l'honneur de présenter l'ensemble des problèmes concernant le glacier de Sarennes tels qu'ils nous apparaissent.

Nous n'avons pas manqué de consulter les travaux de : MM. P. TERMIER; FLUSIN, JACOB et OFFNER; André ALLIX; Maurice GIGNOUX et LÉON MORET; G. BERNARD; V. HULIN (*Archives de la Conservation des Eaux et Forêts de Grenoble*).

FIG. 1. — PLAN DU GLACIER DE SARENNES.
(Carte Flusin-Jacob-Offner. — Echelle du 1/20.000 environ)

INTRODUCTION

RAPPEL DE NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE GLACIOLOGIE

Les glaciers se forment en montagne là où existent des reliefs présentant des zones d'accumulation au voisinage et au-dessus de la limite des neiges persistantes.

Ils occupent, dans leur partie supérieure, des cirques appelés également Kahrs ou Vans. Il s'agit là de larges enfoncements, à fond plat ou peu incliné, à parois au contraire très escarpées, qui s'entaillent dans le flanc d'une montagne, généralement peu au-dessous des crêtes. Cet enfoncement est surmonté de couloirs plus ou moins remplis de glace et qui rejoignent les crêtes.

Le brusque changement de pente qui matérialise le sommet de l'enfoncement et le pied des couloirs correspond au sommet des masses glaciaires. C'est là que se produit la rimaye.

Lorsque le glacier a disparu ou s'est considérablement affaïssé, la cote de ce changement de pente permet de distinguer la zone qui pendant très longtemps a été soumise à l'érosion subatmosphérique et celle qui en a été protégée par le glacier et qui a été érodée d'une autre manière.

Les glaciers sont alimentés par les précipitations qui se produisent dans leur bassin d'alimentation et par les apports provenant de précipitations effectuées dans une autre région de la montagne. Les hivernales se présentent la plupart du temps en hiver sous forme de neige pou-dreuse. Les bourrasques qui terminent les périodes de mauvais temps ont pour effet de remanier, de feutrer ou de transporter au loin les couches de neige non encore évoluées.

Immédiatement après la chute, la couche de neige évolue; les cristaux deviennent petit à petit des grains, puis de gros grains. A la fin de l'été, l'ensemble des couches annuelles forme un élément qui continuera à évoluer les années suivantes en restant reconnaissable pendant longtemps, formant ainsi une strate du névé.

Le passage à la glace de glacier a lieu plus ou moins rapidement.

Les masses glaciaires sont en mouvement. Il y a un écoulement dû à la pesanteur. Cet écoulement s'effectue comme pour les cours d'eau, de façon calme ou avec turbulence. En outre, les poussées dues à une alimentation particulièrement abondante au sommet du bassin de réception créent des ondes qui se propagent le long du glacier à une vitesse très différente de celle de l'ensemble de la masse.

Il en résulte que le passage d'une onde de

crue ne correspond pas en général avec l'arrivée des masses qui ont occasionné la crue. En général, dans les cours d'eau, l'onde de crue correspond par contre au passage des masses d'eau qui occasionnent le gonflement de la rivière.

Dans son mouvement de descente, le glacier arrive dans des zones où le réchauffement est tel qu'il en résulte une fusion. Cette fusion peut intéresser aussi bien les masses glaciaires et la couverture de névé et de neige que simplement l'un de ces éléments. Nous entendons par fusion le total fonte + évaporation. C'est ce que certains auteurs appellent ablation.

Les causes de ce réchauffement se rattachent au mouvement propre du glacier, à l'influence des agents météorologiques, à l'action de la roche encaissante.

De ces actions résultent, pour la surface du glacier, deux aspects à la fin de l'été :

La zone inférieure où la neige a complètement disparu et la zone supérieure qui n'est, en principe, jamais découverte. La ligne de démarcation entre ces deux zones matérialise la limite des neiges persistantes ou Firmlinie.

On conçoit aisément que pour qu'un glacier soit en équilibre, il faut que la zone à l'aval de la Firmlinie ou dissipateur n'ait pas une surface trop élevée par rapport à l'ensemble de la masse du glacier.

Dans cette zone, en effet, le réchauffement estival a eu pour effet de faire disparaître la couche de neige de l'année, ensuite d'attaquer la glace elle-même.

La glace qui a disparu est compensée par l'apport de glace venant de la zone située à l'amont de la Firmlinie, apport qui doit correspondre sensiblement à la portion de la chute annuelle qui, dans la zone considérée, n'a pas subi de fusion pendant la belle saison.

L'observation directe, aussi bien que des formules théoriques, permettent d'emplacer la Firmlinie.

Partant de cette ligne vers l'aval, des formules permettent également d'établir la fusion de glace suivant l'altitude. Il s'agit d'une relation linéaire à peu près constante pour chaque glacier.

Dans l'étude des glaciers on s'intéresse à leur forme, à leurs mouvements, aux efforts qu'ils fournissent, etc...

Toutes les études de cinématique et de dynamique sont rendues difficiles spécialement par le fait que nous nous trouvons en présence d'une masse au voisinage de son point de fusion et

soumise à des efforts dont nous connaissons mal les effets mécaniques.

Par contre, on peut assez bien observer l'alimentation et la fusion, compte tenu des coefficients de crédibilité à accorder aux observations

topographiques ou météorologiques en haute montagne.

Les travaux que nous effectuons depuis le début de 1949 apportent une contribution à ces dernières observations.

PREMIÈRE PARTIE

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET ÉTUDES ANTÉRIEURES

I. — Indications géographiques et topographiques.

Le glacier de Sarennes fait partie du massif des Grandes Rousses, dans le département de l'Isère. Il est situé sur la commune du Freney. On y accède commodément depuis l'Alpe d'Huez en suivant une piste large jusqu'à la Mine de l'Herpie, puis un bon sentier à pente faible jusqu'au glacier.

A pied, de l'Alpe d'Huez à la Mine... 1 h 1/4
De la Mine au glacier..... 2 h

pour marcheur non entraîné au parcours de la montagne.

Une excellente carte au 1/10.000° intitulée « Glaciers des Grandes Rousses » a été dressée en 1905 et 1906 par MM. FLUSIN, JACOB, OFFNER et LAFAY.

La carte au 1/20.000° du Service Géographique de l'Armée est moins bonne du fait vraisemblablement de reconnaissances effectuées en période estivale trop précoce.

Le massif des Grandes Rousses forme un ensemble montagneux allant du col de la Croix de Fer au nord jusqu'à la vallée de la Romanche au sud, limité à l'est par le ruisseau de la Vallette et le Ferrand, à l'ouest par la vallée d'Olle.

L'axe de la surface ainsi délimitée est constitué par une arête étroite : c'est l'arête des Rousses, jalonnée par un certain nombre de sommets dont le point culminant est l'Etendard : 3.470 m.

Au pic du Lac Blanc (3.381 m) s'amorce une arête secondaire dirigée d'abord vers l'est-sud-est jusqu'au sommet des Sarennes (3.109 m). S'infléchissant ensuite vers le sud, elle redevient parallèle à l'arête principale. Cette arête secon-

FIG. 3. — COUPE GÉOLOGIQUE D'APRÈS TERMIER, FLUSIN, JACOB ET OFFNER.

FIG. 4. — STADES DE GLACIATION.

daire se subdivise ensuite sur son versant est en une série de chaînons divergents qui plongent vers la vallée du Ferrand.

Le glacier de Sarennes occupe le bassin délimité par l'arête principale des Rousses au sud du pic du Lac Blanc et l'arête secondaire dont il vient d'être question.

Son exutoire est le torrent de la Sarennes qui sort du glacier à l'altitude de 2.800 m environ. Il se dirige d'abord vers le sud et à la latitude du col de Sarennes, il se coude franchement vers l'ouest au lieu-dit « Le Sella » pour reprendre ensuite la direction du sud, à l'aplomb du village d'Huez jusqu'à la vallée de la Romanche. Il se jette dans la Romanche à l'altitude 720.

II. — Etude géologique.

Les terrains du massif des Grandes Rousses portent la trace de dislocations correspondant aux deux périodes principales où se sont produits des mouvements orogéniques plus accentués dans la chaîne des Alpes.

A la fin des temps primaires, après le dépôt

des couches houillères, ont pris naissance les plis hercyniens. La chaîne hercynienne ainsi formée a été arasée et transformée en pénéplaine, c'est la pénéplaine antetriasique sur laquelle sont venus se déposer plus tard, en transgression, les terrains sédimentaires triasiques et postérieurs.

Les mouvements orogéniques du tertiaire sont venus former la chaîne alpine au démantèlement de laquelle nous assistons.

Dans l'ensemble des plissements alpins, le massif des Rousses constitue un faisceau anticlinal orienté nord-nord-est au sud-sud-ouest. Il est limité à l'est et à l'ouest par un synclinal.

Au sud, région qui nous intéresse, le faisceau anticlinal s'abaisse à mesure que l'on s'approche de la vallée de la Romanche.

Le torrent de la Sarennes, en particulier dans sa branche est-ouest, profite d'un creux de l'ondulation du faisceau anticlinal pour le traverser perpendiculairement.

Les accidents tectoniques sont indiqués sur la coupe des terrains ci-contre faite au niveau du glacier de Sarennes (fig. 3).

III. — Etendue ancienne et récente des glaciers.

Sans vouloir se rattacher directement à l'époque où les glaciers des Rousses ne formaient qu'une faible portion de l'énorme masse glaciaire qui occupait le massif de l'Oisans, il est permis d'essayer de reconstituer divers stades de glaciation lorsque le massif des Grandes Rousses a pu être considéré comme un condensateur individualisé produisant des masses glaciaires importantes.

Les géologues, sans être d'ailleurs complètement d'accord sur les observations et les déductions, ont imaginé trois stades dont les grandes lignes sont assez bien caractérisées dans la partie sud du massif qui nous intéresse; nous en donnons une interprétation :

a) STADE DU PLATEAU DE BRANDES. — Les masses glaciaires descendues des Rousses occupent le plateau de Brandes (Alpe d'Huez) et le plateau situé à l'ouest du col de Sarennes. Des langues s'écoulent par le col de Cluy en direction de la Romanche et entre le signal de l'Homme et Brandes vers le Rosaï et le Chatelard en direction de la vallée de la Romanche. Une langue descend du plateau de l'Alpe d'Huez vers le village d'Huez.

A cette époque, le glacier de Sarennes s'étend certainement jusqu'au col de Sarennes qu'il franchit peut-être vers Clavans. Il franchit sur sa rive gauche l'arête qui le limite actuellement et occupe tous les vans orientaux vers l'est-sud-est qui dominent la vallée de Clavans.

Il se réunit vraisemblablement au glacier occupant le versant occidental de l'axe des Rousses

ses au nord du col de Cluy, entre Brandes et le Gua. Il franchit vraisemblablement le col de Cluy en direction d'Auris.

Enfin, il s'écoule entre Brandes et l'Homme Nord en direction du Rosaï et Chatelard.

A ce moment, le cañon de la Sarennes situé à l'amont d'Huez n'existe pas encore à sa profondeur actuelle. La langue terminale du glacier de Sarennes rejoint peut-être celle du glacier des Rousses descendue de l'Alpe d'Huez en direction d'Huez.

b) STADE DU PLATEAU DES PETITES ROUSSES. — Les glaciers se sont retirés à une altitude voisine de 2.500 et n'envoient plus que des langues terminales plus ou moins volumineuses à l'altitude du plateau de Brandes qu'ils occupaient précédemment.

Le glacier de Sarennes occupe à ce moment toutes les roches moutonnées sillonnées de nombreux éléments de *thalwelgs* et qui forment actuellement le socle sur lequel il repose. Sa langue terminale atteint peut-être le Cella mais plus certainement le grand replat situé au pied des roches moutonnées sus-nommées et que l'on trouve à 200 mètres de dénivellation environ au-dessous du sentier actuel lorsque ce dernier vient d'aborder le versant est de l'arête des Rousses.

c) STADE RÉCENT. — Si l'on s'en tient simplement au maxima des crues du siècle dernier qui se situent vers 1810 et 1860, on voit que les glaciers des Rousses réfugiés dans des vans au voisinage de l'arête ont eu des développements que l'on suit facilement grâce à de belles moraines.

FIG. 5. — LANGUE TERMINALE EN 1932.

(Cliché Eaux et Forêts.)

Pour le glacier de Sarennes on ne trouve malheureusement aucune moraine bien nette. Il est néanmoins assez facile de situer sa langue terminale à 150 mètres de dénivellation environ au-dessous de la langue terminale actuelle, le glacier occupant la totalité du terrain où l'exutoire serpente actuellement en se divisant.

Si l'on s'en tient aux formules qui indiquent approximativement l'altitude de la limite des neiges, on trouve :

- 2.100 m pour le stade du plateau de Brandes;
- 2.600 m pour le stade des Petites Rousses;
- 2.950 m à l'époque actuelle.

IV. — Etudes actuelles du glacier de Sarennes.

Le prince Roland BONAPARTE indique en 1891, d'après le guide Rodaron, que ce glacier recule ou est stationnaire. Le guide Rodaron place, le 25 septembre 1891, des repères sur le front de ce glacier, les repères ne sont pas retrouvés par la suite.

En 1905 et 1906, FLUSIN, JACOB et OFFNER effectuent un levé complet du glacier et procèdent à une étude très complète.

En 1921, l'Administration des Eaux et Forêts reprend les études de glaciologie dans le massif des Grandes Rousses.

En 1927, des repères (croix) matérialisent l'emplacement du front après que les signaux

de FLUSIN, JACOB et OFFNER ont été retrouvés. Un point photographique est fixé.

En 1932, 1935 et 1946, des levés et photographies sont exécutés.

En 1949, un levé complet du glacier est effectué par les Eaux et Forêts en corrélation avec les nouvelles directives conçues dans le pro-

FIG. 6. — LANGUE TERMINALE EN 1949
(prise du même point qu'en 1932).
(Cliché Eaux et Forêts.)

gramme élaboré à la Sous-Section de « Glaciologie » de la Société Hydrotechnique de France.

On a complété les levés par des observations sur l'enneigement et l'évolution des masses glaciaires pendant la belle saison.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE L'ALIMENTATION ET DE LA FUSION EN 1949

a) Alimentation.

Les conditions locales ont été observées depuis bien longtemps et avec grande attention depuis l'installation des mines de l'Herpie et surtout de la station de sports d'hiver de l'Alpe d'Huez.

Le glacier de Sarennes constitue une zone calme où la neige est rarement travaillée par le vent. Par contre, le versant ouest de la chaîne des Rousses est parcouru par de violentes bourrasques nord-sud qui se propagent, venant de la Savoie, jusqu'à l'extrémité de la chaîne. Il est peu probable que des apports ayant leur origine dans cette zone soient à considérer pour le glacier de Sarennes, les bourrasques se propageant bien à l'aval tout en restant sur le versant ouest de la chaîne.

D'autre part, les crêtes qui dominent le cirque glaciaire sont de faible importance, si bien

que les petites avalanches qui peuvent se produire forment des cônes qui restent en totalité sur le glacier.

On peut donc admettre qu'en planimétrant une surface bien déterminée on connaît avec une grande précision la zone d'alimentation du glacier de Sarennes.

Pendant l'été (mai inclus à octobre exclu), les précipitations ont lieu soit sous forme pluviale, soit sous forme neigeuse. Dans notre station, la neige fraîche fond très rapidement (une semaine ou deux pour une précipitation importante). Tout se passe en définitive comme s'il s'agissait d'une chute de pluie, l'eau venant s'incorporer à la neige dans la zone non encore déneigée, s'écoulant avec un léger retard dans la zone déjà évacuée par la neige.

MESURE DE L'ALIMENTATION. — Les deux moyens habituellement employés — perches et

pluvionivomètres — sont assez facilement applicables ici.

Au cours de la campagne 1949, nous avons bénéficié de moyens réduits, mais par contre de circonstances atmosphériques exceptionnellement favorables.

Nous avons pu, lors de nos observations du

(Cliché Eaux et Forêts.)

FIG. 7. — SONDAGE N° 1 AU 1^{er} JUIN 1949.

1^{er} juin, effectuer avec précision l'évaluation du stock total résultant des précipitations hivernales et printanières. La date choisie pour nos ob-

servations correspondait très exactement à l'époque du commencement de la fusion estivale et également à un jour de beau temps. Ce sont des circonstances favorables où, évidemment, le hasard a joué son rôle.

Comme il est indiqué par tous les auteurs, il a été procédé au creusement, dans la couverture neigeuse du glacier, de tranchées allant jusqu'au glacier lui-même. On a ainsi obtenu trois profils qui sont analysées dans les tableaux ci-contre (figures 9, 10 et 11).

Seul, le profil supérieur a permis de déceler des séquelles des exercices antérieurs à 1949 constituant un bénéfice local d'enneigement.

Dans tous les profils, une couche de glace d'une importance variant de 2 cm à 4,5 cm a été trouvée à une profondeur s'échelonnant entre 47 et 57 cm.

En comparant avec des données en provenance des expériences de l'Electricité de France, nous avons pu conclure qu'il s'agissait là du résultat de la fusion superficielle qui a eu lieu au cours des journées exceptionnellement chaudes et ensoleillées du début d'avril. Cette eau de fusion précoce est restée dans la masse.

En affectant à chacun des sondages une surface déterminée, on arrive à évaluer le stock d'eau en puissance qui recouvrait la surface du glacier au 1^{er} juin.

N° du profil	Surface affectée		Stock de précipitation résultant				Observations
	Glacier	Bassin	de l'hiver 1949		des exercices antérieurs		
			Unitaire	Total	Unitaire	Total	
	(ha)	(ha)	(t)	(m³)	(t)	(m³)	
I	40	40	0,586	234.400	0,335	67.000	Séquelles des exercices antérieurs existant uniquement sur le glacier.
II	40	40	0,548	219.200			
III	20	40	0,642	256.800			
Totaux . .	100	120		710.400		67.000	

Au glacier de Sarennes, la fusion s'effectue au cours de la journée dans des conditions assez comparables d'un point à un autre. Les crêtes qui surmontent le glacier atteignent une cote peu supérieure à l'altitude maxima de la glace. Les versants sont en pente peu accentuée. Les angles morts sont inexistantes sauf sur une petite zone sur la rive droite aux altitudes voisines de 3.000 m.

Des observations ont eu lieu à la suite de l'établissement des profils.

Le 15 juin, elles n'ont porté que sur le profil

inférieur n° 1 et ont donné les résultats suivants :

On a retrouvé la couche de glace signalée au 1^{er} juin et qui indiquait la séparation entre les chutes de neige hivernales et les chutes de printemps. Cette couche semblait rongée à sa partie inférieure seulement.

Elle était surmontée d'une couche de neige dont l'équivalence en eau était de 38,5 + 8 + 147 = 193,5 mm au lieu de 200 mm trouvés au 1^{er} juin.

Cette couche de neige était cloisonnée à 11 cm

(Cliché Eaux et Forêts.)

FIG. 8. — SONDAGE N° 3 AU 1^{er} JUIN 1949.

de la surface par une couche de glace de 1 cm montrant le mécanisme de la fusion superficielle et du regel des gouttelettes liquides qui s'enfoncent dans la masse.

Au-dessous de la couche de glace du printemps, le volume de neige avait considérablement diminué. L'équivalence en eau était de :

$$8 + 95 + 60 = 163 \text{ mm}$$

au lieu de :

$$33 + 353 = 386 \text{ mm au 1^{er} juin.}$$

Au contact du glacier, la neige était pourrie, complètement imbibée d'eau sur une hauteur de 10 cm.

Il était évident que la fusion superficielle n'avait pas alimenté cette zone en fusion intense et que le réchauffement complet de la masse neigeuse avait provoqué la fusion de la couche profonde seulement.

Il est à remarquer que lors des observations du 1^{er} juin, le glacier était déjà humide et qu'à son contact la couche de neige, sur un ou deux centimètres, était complètement imbibée d'eau.

Il est hors de doute que ces expériences doi-

vent être complétées par des mesures thermométriques qui mettraient en évidence plus clairement le réchauffement de la masse neigeuse recouvrant le glacier.

— Nos observations du 1^{er} juillet ont porté sur les profils I et II.

Sur le profil n° I, nous n'avons plus trouvé qu'une couche de neige, inégalement répartie, complètement imbibée d'eau et dont la hauteur moyenne a été évaluée à 8 cm. Equivalence en eau : 48 mm.

Sur le profil n° II, la couche de neige était continue et d'épaisseur assez régulière. Elle était complètement imbibée d'eau et la hauteur moyenne a été fixée à 12 cm. Equivalence en eau : 72 mm.

— Nos observations du 17 juillet ont porté sur les profils I, II, III.

Sur le profil n° 1, une couche de glace de 93 cm d'épaisseur avait disparu.

Sur le profil n° II, il n'y avait plus de neige et une couche de glace de 78 cm avait disparu.

Sur le profil n° III, le glacier était à peu près dégagé, la glace étant déjà sérieusement attaquée par places.

— Les observations du 29 juillet ont été effectuées par la Société Hydrotechnique de France, en présence de son président, M. BARRILLON, et

1 ^{er} JUIN		15 JUIN		1 ^{er} JUILLET	
h (cm)	57,2	h (cm)	11		
eau (mm)	200	eau (mm)	38,5		
densité	0,35	densité	0,35		
		h (cm)	1		
		eau (mm)	8		
		densité	0,8		
		h (cm)	42		
		eau (mm)	147		
		densité	0,35		
h (cm)	4,5	h (cm)	1		
eau (mm)	33	eau (mm)	8		
densité	0,74	densité	0,8		
h (cm)	79,3	h (cm)	21,3		
eau (mm)	353	eau (mm)	95		
densité	0,44	densité	0,45		
		h (cm)	10	h (cm)	8
		eau (mm)	60	eau (mm)	48
		densité	0,6	densité	0,6
TOTALS :					
h (cm)	141	86,5		8	
eau (mm)	586	356		48	
densité	0,41	0,41		0,6	
Fusion (mm)		230		308	
Fusion cumulée (mm)		230		538	

FIG. 9. — EVALUATION DU STOCK NIVAL ET CALCUL DE LA FUSION. SONDAGE N° 1 (alt. 2.950 m).

de M. l'Inspecteur général des Eaux et Forêts
MESSINES, président de la Sous-Section de « Glaciologie ».

Sur le profil n° I, une couche de glace de 125 cm avait disparu depuis le 1^{er} juillet.

De même sur le profil n° II, la couche disparue était de 108,5 cm.

Enfin, sur le profil n° III, les conditions décri-

1 ^o JUIN		15 JUIN	1 ^o JUILLET	
h (cm)	47	Pas d'observations		
eau (mm)	186			
densité	0,398			
h (cm)	3			
eau (mm)	26			
densité	0,87			
h (cm)	81		h (cm)	12
eau (mm)	356		eau (mm)	72
densité	0,41		densité	6
<u>TOTAUX</u>				
h (m)	1,31		h (cm)	12
eau (mm)	568		eau (mm)	72
densité	0,41		densité	6
Fusion (mm)			496	
Fusion cumulée (mm)			498	

FIG. 10. — SONDAGE N° 2 (alt. 3.030 m).

1 ^o JUIN				
h (cm)	53	glace	Exercice en cours h cumulé = 642 mm	Glacier à peu près dégagé
eau (mm)	192			
densité	0,359			
h (cm)	2	glace	Exercices antérieurs à 1949 h cumulé = 335 mm	Glace déjà attaquée sérieusement par places
eau (mm)	19			
densité	0,87			
h (cm)	100	neige durcie		
eau (mm)	431			
densité	0,431			
h (cm)	9	neige durcie		
eau (mm)	58			
densité	0,64			
h (cm)	9	glace		
eau (mm)	70			
densité	0,78			
h (cm)	22	neige durcie		
eau (mm)	129			
densité	0,58			
h (cm)	12	glace en formation		
eau (mm)	78			
densité	0,65			
glacier humide				
TOTAUX				
h (cm)	212			
eau (mm)	977			
densité	0,45			
Fusion		sensiblement 1000 mm		
Fusion cumulée		1000 mm		

FIG. 11. — SONDAGE N° 3 (alt. 3.100 m).

FIG. 12. — FUSIONS CUMULÉES ET JOURNALIÈRES (neige + glace).

FIG. 13. — FUSIONS CUMULÉES ET JOURNALIÈRES (glace seule).

tes le 17 juillet s'étaient caractérisées davantage.

Seules quelques bandes marginales du glacier étaient encore revêtues d'une mince couverture de neige d'hiver sur une largeur variant de quelques mètres à une vingtaine de mètres.

L'émissaire du glacier roulait un flot uniquement formé par l'eau de fusion de la glace du glacier.

Les observations suivantes ont eu lieu les 2 août, 19 août, 1, 8, 17 septembre, 1^{er} octobre, 4 octobre.

A partir de ce moment, toutes les précipitations à une altitude supérieure à 2.800 m ont été neigeuses en général ou ont été absorbées par la couche de neige.

Les résultats sont consignés dans les figures 9, 10, 11, 12, 13 (tableaux et graphiques).

b) Conclusions relatives à la fusion et à l'alimentation, en 1949, sur le glacier de Sarences.

Pendant le mois de mai, la fusion n'a pas commencé en haute altitude et les précipitations de ce mois sont venues nourrir le stock solide recouvrant le glacier.

Au mois de juin, la fusion a commencé à une cadence normale jusqu'aux environs de la fin du mois.

A cette époque, jusqu'à une altitude comprise entre 3.000 et 3.100 aux expositions sud longuement ensoleillées, la glace a été à nu. Les journées chaudes et longuement ensoleillées de la première quinzaine de juillet doivent être considérées en 1949 comme une date exceptionnelle dans l'histoire contemporaine du glacier. Certaines journées au voisinage du 15 juillet doivent

être regardées comme tout à fait remarquables si l'on évalue la fusion de glace proprement dite qu'elles ont provoquée, les 4/5 du glacier étant alors complètement débarrassés de neige.

Sur le glacier de Sarennes, où les angles morts sont inexistantes et où l'ensoleillement commence presque au lever du jour pour se terminer à la tombée de la nuit à cette époque, on peut admettre que le 15 juillet par exemple une épaisseur de glace de 10 cm a pu disparaître à l'altitude de 3.000 mètres.

Au début d'octobre :

Le stock disponible neigeux a disparu sur la totalité du bassin, soit 777.400 m³ (équivalence en eau).

Le glacier a été amené à fournir de sa propre substance :

$$3 \text{ m} \times 1.000.000 = 3.000.000 \text{ m}^3 \\ (\text{équivalence en eau}).$$

Nous n'avons aucune donnée nous permettant de dire, même approximativement, quelle part de cette masse revient à l'évaporation et à la fonte.

Si ces chiffres doivent être interprétés, il y a néanmoins lieu de préciser que nous sommes ici dans un climat à état hygrométrique exceptionnellement bas (climat très proche du climat de Briançon et du Lautaret).

c) Conclusions générales.

Il s'agit de savoir si une perte aussi considérable de substance correspond à quelque chose d'intéressant dans la vie de ce glacier.

Pour ce faire, nous allons être amenés à comparer les observations qui se sont succédé sur le glacier de Sarennes depuis les levés précis et les études remarquables de 1905-1906 (FLUSIN, JACOB, OFFNER).

Nous possédons en effet sur le glacier de Sarennes deux excellents plans qui interprètent le terrain en 1905 et en 1949. Le plan de 1949 sera d'ailleurs complété en 1950. Ces deux plans sont suffisamment comparables.

Enfin, nous possédons également des levés de 1928 à 1930 et des observations personnelles sur des points précis du glacier et qui datent de 1928 à 1935.

On peut conclure que, de 1905 à 1928, les mouvements de la langue terminale, aussi bien que l'épaisseur de la glace dans le tiers supérieur, n'avaient subi que des variations très faibles. Le plan de 1928 aurait peu différé de celui de 1905.

Par contre, en 1949, tout est changé.

La surface du glacier passe de 105 ha à 84 ha.

L'épaisseur de glace disparue se maintient bien souvent entre 30 et 35 mètres. Une épais-

seur moyenne de 30 mètres est certainement un minimum.

Que peut-on penser de l'épaisseur restante de glace?

En 1949, des sondages précis (une vingtaine), localisés malheureusement dans la zone moyenne, donnent des chiffres échelonnés entre 12 et 21 mètres. D'autre part, un îlot rocheux est apparu en août dans le quart supérieur dans une zone où les crevasses ou seracs étaient absents, ce qui laisse supposer qu'au-dessus de 3.100 mètres, l'épaisseur de glace est bien faible.

Donc, pour l'ensemble du glacier, compte tenu de l'inclinaison des parois encaissantes et de ces observations, une épaisseur moyenne de 15 à 20 mètres nous semble un maximum.

On se trouve en présence d'un glacier qui, en vingt ans, a perdu 20 % de sa surface et les deux tiers de son épaisseur.

En une seule année (1949), la perte de surface est de 5 % et la perte d'épaisseur de 20 %.

Il ne s'agit ici que de chiffres arrondis mais qui peuvent être très près de la réalité.

Il est permis de se demander si la perte ainsi enregistrée est récupérable et comment.

Examinons ce qui se passait lorsque le bilan du glacier était en équilibre, pendant la période de 1905 à 1930.

On doit admettre sensiblement que le volume de glace disparu dans le dissipateur correspond au bénéfice d'enneigement en fin d'exercice.

Comme l'indique la figure 14, en année normale, la fusion de glace correspond à une équivalence en eau de 120.000 m³.

Cette année, avec une fusion de 2.700.000 m³ (équivalence en eau), la disparition de glace correspond à vingt fois celle d'une année normale.

Le nombre d'années bénéficiaires à espérer pour récupérer cette perte nous laisse perplexe.

On voit de suite devant quel problème on se trouve pour une seule année.

Pour la double décade 1929-1949 dans laquelle sont spécialement intervenues les années de la décade 1940-1949, la situation est encore plus claire.

Nous concluons sans hésitation que le glacier de Sarennes ne sera plus revu, par aucun de nous, sous l'aspect qu'il présentait il y a seulement vingt ans.

Au voisinage de l'état d'équilibre qu'atteignent les glaciers dans les conditions atmosphériques actuelles, il ne saurait être question d'envisager le renflouement d'un glacier avec une facilité analogue à sa destruction. Le mouvement de bascule n'est pas symétrique et nous sommes sur la mauvaise pente actuellement.

Il est permis d'essayer de généraliser les résultats obtenus au glacier de Sarennes.

FIG. 14. — BILAN GLACIAIRE.

Fusion = accumulation (année normale).

(lire 2820, 2840, 2860, 2880)
 (au lieu de 2920, 2940, 2960, 2980)

des, la limite altitudinale de la neige devait se trouver aux environs de 2.100., qu'au stade des Petites Rousses, elle se trouvait aux environs de 2.600 pour atteindre 2.950 à l'époque actuelle.

Les différences d'altitude entre les Firnlinie s'établissent ainsi :

1949. — Stade récent	300 mètres
Stade récent. — Stade Petites	
Rousses	350 —
Stade Petites Rousses. — Stade	
Brandes	500 —

Ces chiffres sont bien près les uns des autres.

Si l'on met en regard les masses glaciaires correspondantes, on matérialise encore plus clairement la véritable relique glaciaire que constitue le glacier de Sarnennes dans le climat de la décade 1940-1949.

Toutes ces raisons nous permettent d'affirmer que le glacier de Sarnennes n'est pas en mesure de supporter une décade analogue à celle 1940-1949. Il en est bien entendu de même pour l'ensemble des glaciers des Rousses, sauf peut-être pour le glacier de Saint-Sorlin.

Des conclusions d'ordre général sont possibles en dehors de toute extrapolation de ces résultats.

L'observation du sommet des vans, là où la limite supérieure des glaciers correspond à un changement de pente du rocher, est très suggestif. A l'automne 1949, la partie abrupte du rocher se trouvait débarrassée de glace sur une hauteur variable quelle que soit l'orientation du bassin. La hauteur ainsi dégagée correspond assez exactement au tassement du glacier dans le fond du van pendant la dernière décade.

En conséquence de l'augmentation linéaire de la fusion en fonction de l'altitude descendante et en admettant ici 1 m pour 100 m de dénivellation, on constate que les 3 m de fusion trouvés à l'emplacement théorique de la Firnlinie amènent à reporter celle-ci à 300 mètres à l'amont.

Peut-on admettre que ce chiffre de 300 mètres de dénivellation peut être transporté sur d'autres glaciers?

Ce serait fort intéressant; malheureusement ce n'est là qu'un ordre de grandeur qui peut fixer les idées, sans plus. Ce chiffre résulte d'une fusion locale et d'une loi locale de décroissance. Le rapport entre ces deux termes ne semble pas être une constante que l'on puisse appliquer de façon générale.

Il n'en reste pas moins qu'elle donne une idée de l'importance du phénomène, idée que l'on peut encore développer avec chances de certitude.

Nous avons, en effet, présenté plus haut une étude de phénomènes glaciaires dans les temps reculés pour les glaciers des Rousses. Nous avons dit notamment qu'au stade du plateau de Bran-

A la fin de l'été, le phénomène était clairement mis en évidence par la différence de coloration des roches, la paroi verticale étant plus claire. A l'automne, les premières chutes de neige qui recouvraient aussi bien le glacier que les couloirs rejoignant les sommets laissaient immaculées ces parois verticales qui cernaient le sommet des glaciers d'une bande noire bien caractéristique.

Ces écrasements des masses glaciaires nous ont semblé du même ordre que celle qui ont été mesurées.

Les observations de 1949 au glacier de Sarennes nous amènent aux conclusions suivantes :

1° Une seule année très sèche et bien ensoleil-

lée dans les conditions météorologiques actuelles peut avoir une influence sur la vie d'un glacier qui n'est pratiquement pas susceptible d'être compensée;

2° La décade 1940-1949 nous fait assister à un phénomène de régression de masses glaciaires d'une ampleur surprenante et qui mérite d'être suivie avec la plus grande attention;

3° A l'exclusion des glaciers du Mont-Blanc, nous pensons qu'actuellement les glaciers français constituent des masses éminemment fragiles qu'une décade analogue à celle que nous venons de traverser détruirait à peu près complètement.

TROISIÈME PARTIE

CONDITIONS TECHNIQUES DES OBSERVATIONS ET PROGRAMME DES TRAVAUX

Le programme et les méthodes applicables à l'étude d'un grand glacier ont été établies dans un mémoire bien connu publié par C.-J.-M. BERNARD dans les *Etudes glaciologiques*, tome II. En la matière, tout a été prévu et il ne convient pas d'innover mais de conserver ce qui peut être mis pratiquement à la portée d'un observateur n'étant pas obligatoirement un savant.

Il s'agit également de se limiter dans différentes parties de l'étude d'un glacier.

Au glacier de Sarennes on étudie les mouvements du front. C'est intéressant et facile d'autant plus que le repérage est maintenant bien établi. Ces études continueront à rentrer dans le cadre des études nouvelles entreprises.

Ces nouvelles études se rapportent spécialement à l'alimentation et à la fusion en haute altitude dans la zone dénommée bien souvent : « bassin d'alimentation » d'un glacier.

Si, en effet, l'on a multiplié les observations sur les langues terminales et obtenu des résultats très précis sur la vitesse de propagation d'un glacier, sur ses oscillations d'avance et de recul, sur les variations de son épaisseur, il est malheureusement certain que les observations ont été très partielles dans la zone d'alimentation du glacier. Cette zone est en général peu accessible, peu homogène.

Ici ce n'est pas le cas et en quelques années l'on pourra obtenir une connaissance très précise de l'alimentation, comportant notamment :

1° L'étude de l'évolution de la couche de neige annuelle et des couches successives qui s'accumulent dans la zone des névés. Cette étude doit être

entreprise par les méthodes qui ont fait le succès de l'Institut Fédéral Suisse de Weissfluhjoch à Davos, et qui, jusqu'à ce jour, se sont arrêtées à l'étude de la couche annuelle;

2° La répartition saisonnière des couches de neige au moyen d'observations pluviométriques classiques;

3° Observation précise du stock disponible solide recouvrant le glacier au moment où commence la période de fusion.

L'étude de la fusion se fera au moyen des méthodes décrites par M. BERNARD et qui sont à la portée d'un observateur simplement consciencieux et bien formé.

Il sera particulièrement intéressant d'essayer d'établir la part qui revient à chacun des facteurs météorologiques (température, insolation, nébulosité, vent, etc...).

On essaiera néanmoins de fixer les relations entre les facteurs locaux, jusqu'ici inconnus, et les données d'autres stations où les observations sont fort bien connues depuis longtemps, pour essayer de suivre dans le temps les variations climatiques qui, même de très faible importance numérique, ont pu produire de très grands mouvements.

On établira la loi de répartition de la fusion et de la glace en fonction de l'altitude.

Une station de jaugeages, d'installation facile, permettra une vérification continue ou intermittente des résultats obtenus sur le glacier lui-même. L'évaporation spécialement, ainsi que le mode d'évolution des précipitations estivales, pourront ainsi être précisées.

DISCUSSION

M. le Président remercie M. CHERREY de l'intéressant exposé qu'il vient de faire, et ouvre la discussion.

M. GENISSIEU rappelle, d'après KOECHLIN, la théorie de Mikarlovitch, d'après laquelle certains pays comme la Suisse pourraient revivre une période glaciaire intense analogue à la glaciation actuelle du Groënland, si leur température s'abaissait de 3 ou 4° seulement.

Si donc, les glaciers sont actuellement en voie de régression, sinon de disparition à l'échelle centenaire, il est probable qu'ils peuvent se reconstituer à une époque plus ou moins lointaine à l'échelle millénaire, par exemple.

M. CHERREY ne nie pas une reconstitution à l'échelle millénaire; il précise que dans les conditions climatiques actuelles, un hiver très sec suivi d'un été chaud ont eu pour effet de faire disparaître une quantité de glace égale à vingt fois celle qui fond en année normale.

Si l'on prend le phénomène symétrique (hiver très humide suivi d'un été frais) on arrive à accumuler des masses neigeuses et à économiser des masses glaciaires dans une proportion considérablement moindre.

M. CHERREY fait remarquer en outre qu'une baisse de température de 3 ou 4° est quelque chose de très considérable en climatologie.

Sur la demande de M. le Président, M. CHERREY précise que les différents stades indiqués sur le croquis du glacier de Sarennes, fait au tableau et reproduit dans le mémoire sont les stades morainiques (moraines terminales, et moraines latérales) et non la limite des neiges. Ces stades morainiques ont été établis par FLUSIN, JACOB et OFFNER, d'après la formule de BRUCKNER.

M. le Président remarque que le travail de JACOB, FLUSIN et OFFNER était remarquable pour l'époque, et que si on veut faire progresser la glaciologie, c'est lorsqu'on se livre à un travail d'équipe comme c'était le cas : JACOB était un géologue; OFFNER était un botaniste, et FLUSIN plutôt topographe. C'est la collaboration de ces trois savants qui a eu pour résultat la production d'un mémoire tout à fait remarquable avec une carte d'une précision parfaite.

M. CHERREY observe qu'en comparant exactement la carte de FLUSIN, JACOB et OFFNER avec la carte établie cette année par le Service forestier, on trouverait que le glacier de Sarennes a diminué de 45 à 50 mètres d'épaisseur. Mais M. CHERREY admet seulement une régression minimum de 30 à 35 mètres, compte tenu des différences d'interprétation du terrain par les géomètres des deux cartes.

M. CHERREY signale qu'en 1949, les quelques balises qui ont pu être placées, l'ont été assez heureusement pour l'observation; le hasard a été très favorable. L'année prochaine leur nombre sera augmenté, ce qui permettra d'établir d'une façon précise la courbe de décroissance de la fusion en fonction de l'altitude.

M. André CAULLEUX fait une intéressante intervention que, sur la demande de M. le Président BARRILLON, il a bien voulu rédiger.

« La très grande rapidité de la récession et le retard de la variation glaciaire par rapport à la variation climatique, si bien établies par les remarquables observations et mesures de M. CHERREY sur le glacier de Sarennes, nous montrent, à une échelle évidemment très réduite dans le temps et dans l'espace, une image de ce que fut la récession, si bien connue, de l'inlandsis scandinave, depuis la fin du Gotiglacial : l'ablation était énorme, et le climat était déjà redevenu tempéré, alors

que le glacier n'avait pas encore eu le temps de fondre.

« Il sera extrêmement intéressant de savoir si l'analogie est encore valable pour la phase de progression, malheureusement si mal connue dans le cas des Inlandsis.

« M. CHERREY nous apporte par ailleurs une donnée nouvelle, de la plus grande importance, lorsqu'il fait remarquer que les effets d'une éventuelle péjoration climatique serait, compte tenu des précipitations et de la radiation probables, beaucoup moins amples et donc beaucoup plus lents que ceux de la présente amélioration. L'étude des courbes de fréquence annuelle des grandeurs en cause (précipitation, radiation, etc...), possible pour les plus anciens observatoires météorologiques, est malheureusement à peine ébauchée; dès maintenant elle montre qu'on est loin d'obtenir toujours des courbes en cloche; certaines courbes sont à deux maximums bien distincts. Des dépouillements très aisés permettraient d'évaluer la probabilité qu'il y a pour que se réalise tel déficit ou tel excédent, et de préciser statistiquement les impératifs météorologiques, parfois implicitement méconnus, auxquels obéissent les phénomènes glaciaires et les écoulements liquides aussi.

« Bien entendu, la base de toutes ces recherches restera l'observation glaciologique et météorologique sur le terrain, à Sarennes. Il est hautement souhaitable qu'elle soit poursuivie, pendant une série d'années assez longue pour autoriser des comparaisons valables. »

M. CHERREY insiste sur l'importance essentielle de faire les observations météorologiques sur le glacier lui-même, ou tout au moins à son altitude et dans son voisinage immédiat : par suite des oscillations brusques de la température sur les glaciers, et de l'atmosphère particulièrement sèche du climat du Briançonnais, il n'accorderait aucun crédit à des données météorologiques qui auraient été déduites par extrapolation d'observations faites à des postes plus ou moins éloignés.

Par ailleurs, M. CHERREY signale que la propriété actuelle du glacier de Sarennes débarrassé de tous névés anciens au cours de l'été dernier est particulièrement favorable à l'étude de toute variation dans un sens ou dans l'autre.

M. PÉGUY ajoute que, dans le cas des glaciers confluents, les régressions se trouvent soulignées par les disjonctions, tout comme les avances éventuelles seraient mises en évidence par la submersion des moraines des confluent. D'autre part, l'étude des variations devrait être basée sur les superficies plutôt que sur le repérage ou l'altitude du front du glacier.

M. CHERREY souligne l'extrême sensibilité des glaciers, aux variations de température, puisqu'il suffit de 1 ou 2 degrés, dans un sens ou dans l'autre, comme on l'a dit tout à l'heure, pour provoquer, soit des renfoulements, soit des débâcles, celles-ci étant d'ailleurs, à son avis, beaucoup plus fréquentes et rapides que les renfoulements (dans les conditions climatiques actuelles).

Enfin, M. CHERREY pense que la régression des glaciers à laquelle nous assistons, apportera des précisions sur la topographie du substratum glaciaire, question tant discutée entre les géographes et les géologues.

M. COLLET voudrait au point de vue de l'histoire de la glaciation, que la Commission de Glaciologie se rapproche des astronomes qui s'occupent du soleil et qui mesurent les radiations solaires d'année en année.

A ce même point de vue M. CHERREY rappelle, d'accord avec M. le Président, que les glaciers présentent depuis 1650 un mouvement d'ensemble rétrograde.

Les glaciers de la vallée de Chamonix ont été particulièrement bien observés et si l'on fait la part d'erreurs qui peut arriver à tous ceux qui collationnent des observations d'origines très variées, on peut considérer la documentation fournie par les *Etudes glaciologiques* comme excellente pour cette région.

Il souligne ensuite la difficulté de généraliser les observations glaciologiques, en dépit de toute la constance d'observateurs tels que BERNARD qui y a laissé sa vie mais ne semble pas avoir pu trouver la résultante de ses observations. Cela tient à la diversité et à la particularité des conditions intéressant un même glacier. Une période de renflouement rapide permettrait des

déductions intéressantes, notamment sur le temps réel de transformation du névé en glace.

Puis M. CHERREY fait projeter les clichés pris au glacier de Sarennes au cours de la « Tournée Glaciologique » de 1949. On trouvera quelques-uns de ces clichés dans le mémoire de M. CHERREY.

M. le Président salue la présence de M. le Professeur MANFREDO VANNI, Secrétaire général du Comité Glaciologique italien, et de Madame, qui viennent d'entrer dans la salle, et remercie M. VANNI d'avoir bien voulu venir assister à la séance.