

LES GLACIERS DU DESERT CHILIEN

L. LLIBOUTRY (*), O. GONZALEZ et J. SIMKEN
(Centro de Glaciología de la Universidad de Chile)

RÉSUMÉ

Les alpinistes chiliens ont découvert au cours des dernières années quelques petits glaciers sur les plus hauts sommets du nord du Chili, malgré l'aridité extrême de la région. En particulier au Lullaillaco (24°43' lat. S, 6723 m) existe un champ de glace du côté ouest entre 6500 et 5600 m; à l'Ojos del Salado (27°07' lat. S, 6885 m) deux glaciers se trouvent sur le flanc nord-ouest, l'un entre 6600 et 6100 m, l'autre dans la prolongation du précédent entre 5800 et 5400 m; au Törtolas (29°56' lat. S, 6323 m) un glacier couvre tout le flanc sud-est entre le sommet et 5600 m; etc... La direction des vents dominants et l'exposition de ces glaciers varient d'une montagne à une autre. Les précipitations, orageuses en été, semblent être dues à des vents catabatiques ascendants.

En été, la température de l'air à 6500 m s'abaisse la nuit jusqu'à -28°; à 5300 m elle reste toujours en dessous de 0° C. Pourtant la neige fond franchement au soleil entre les pénitents, formant des filets d'eau courante et des lacs surglaciaires gelés en surface. Ces lacs se substituent à un névé saturé d'eau à sa base, sans qu'à aucun moment apparaisse un plan d'eau libre.

Ces glaciers n'ont ni moraines, ni crevasses, ni autre signe de mouvement. Ils sont dans toute leur étendue, suivant les années, zone d'alimentation ou zone d'ablation. Ils n'ont pas reculé sensiblement pendant les 20 dernières années. Ces derniers caractères les rapprochent de certaines régions de l'Antarctique.

SUMMARY

During last few years Chilean climbers have discovered some small glaciers on the highest summits of northern Chile, in spite of the utmost aridity of this region. In particular at the Lullaillaco (24°43' lat. S, 6723 m) there is a sheet of ice on the western side between 6500 and 5600 m; at the Ojos del Salado (27°07' lat. S, 6885 m) two glaciers lie on the north-western slope, one between 6600 and 6100 m, the other one in the prolongation of the first between 5800 and 5400 m; at the Törtolas (29°56' lat. S, 6323 m) a glacier spreads all over the south-eastern side between the top and 5600 m; etc. The direction of the prevailing wind and the exposure of these glaciers varies from one mountain to another. Precipitations, of a stormy character in summer, seem to be originated by up-slope katabatic winds.

In summer, the air temperature at 6500 m sinks during the night to -28° C; at 5300 m it is never above 0° C. Nevertheless snow melts readily with the sun between the penitents. It forms small streams of water, as well as overglacial lakes with frozen surfaces. These lakes take the place of a water-soaked névé, without formation at any time of a free water-surface.

These glaciers have neither moraines, nor crevasses, nor any sign of movement. They are in their whole area, according to the year, either accumulators or ablaters. They have not receded sensibly during the last 20 years. To this extent they resemble, somewhat, in their behaviour some regions of the Antarctica.

EXPÉDITIONS DANS LES ANDES DU NORD DU CHILI

Nous rapporterons ici les observations faites par des alpinistes chiliens sur les hautes montagnes du Nord du Chili au cours des dernières années, en particulier par deux d'entre nous (O.G. et J.S.). Ceux qui connaissent la torpeur et l'épuisement

(*). Actuellement : Laboratoire de Glaciologie, Faculté des Sciences de Grenoble (France).

qui envahissent l'alpiniste rapidement monté à 6000 m excuseront ce que ces observations ont forcément d'incomplet. Le dépouillement des résultats et leur interprétation ont été effectués par le troisième (L.L.), après son retour en France.

Enumérons d'abord ces différentes expéditions (cf. carte fig. 1):

Volcan Lullullaico, 24°43' lat. S, à la frontière chiléno-argentine, 6723 m. Première ascension par Bion Gonzalez et Juan Harseim, tous deux du Club Andino de Chile, le 1er. Décembre 1952 (*).

Nevado Ojos del Salado, 27°07' lat. S, à la frontière chiléno-argentine. La cote de cette montagne ayant été l'objet de controverses, précisions que les seules triangulations effectuées jusqu'à présent ont donné:

Avant 1906 (Commission chilienne des Limites): 6880 m.

En 1937 (Expédition Polonaise): 6863 m.

En 1956 (Expédition américaine Carter-Weaver): 6885 m.

C'est le plus haut volcan du monde, et le deuxième sommet d'Amérique après l'Aconcagua (6959 m d'après la dernière triangulation argentine. J'avais indiqué 6957 m \pm 4 m. Cf. (*).)

La première ascension de ce volcan avait été faite par le sud, le 27 Février 1937, par deux membres de l'expédition polonaise. La deuxième ascension, et première de l'aiguille rocheuse la plus haute parmi les quatre qui entourent le cratère, eut lieu par le nord et le nord-ouest le 5 Février 1956 (**). Elle fut accomplie sous la direction du Capitaine René Gajardo par une expédition de l'Ecole Militaire Chilienne de Haute Montagne, récemment créée à Los Andes. A cette expédition étaient invités plusieurs civils, entre autres l'un de nous membre du Club Andeski de Valparaiso, (Juan Simken), chargé des observations glaciologiques. Il gravit les deux aiguilles sud (6740 m) et fit le tour de la montagne à mi-pente.

Nous donnons ici une carte de la montagne (fig. 2), fragment de la carte aérienne trimétrogon au 1/250.000, agrandi, complété et corrigé.

Nevado El Muerto, 6478 m, à l'est de l'Ojos del Salado, toujours sur la frontière. Première ascension (par erreur d'ailleurs, le sommet visé étant le précédent) par Luis Alvarado, Carlos et Oscar Alvarez, et Jorge Belastino, le 23 Février 1950.

Cerro Doña Ana, 29°45' lat. S, 20 km à l'ouest de la frontière, 5690 m. Gravi le 27 Janvier 1956 par Oscar Gonzalez et Emilio Vicens.

Cerro de las Tórtolas, 29°56' lat. S, sur la frontière, 6323 m.

Gravi le 19 Janvier 1956 par Bion Gonzalez et Oscar Gonzalez. Comme le précédent, ce fut au cours d'une expédition du Club Andino de Chile, en collaboration avec le Musée Ethnologique de La Serena, à la recherche d'autels incaïques sur les sommets. L'un de nous (Oscar Gonzalez) y était chargé des observations glaciologiques.

Au cours de ces ascensions, au milieu de régions absolument arides, de petits névés et glaciers ont été découverts. S'ils n'ont d'autre intérêt pratique que de ravitailler en eau les alpinistes, leur intérêt scientifique par contre est très grand, car ils n'ont presque aucun point commun avec l'idée que nous avons d'un glacier de montagne. Pour simplifier le langage nous appellerons *glacier* tout champ de glace permanent (du moins à l'échelle d'une vie humaine), quelles que soient ses caractéristiques, sa forme et son mouvement; nous justifierons plus loin cette dénomination. Nous appellerons *névé* toute neige compacte, à grains arrondis, et de densité supérieure à 0,54 (porosité inférieure à 40 %), même si elle n'a que quelques mois d'âge, comme c'est vraisemblablement le cas ici.

ORIGINE DES PRÉCIPITATIONS.

Si les côtes du Pérou et du Chili septentrional sont des déserts absolus, ce n'est pas seulement parce qu'elles sont bordées par le courant froid de Humboldt, mais parce qu'elles sont à l'abri des grandes perturbations cycloniques.

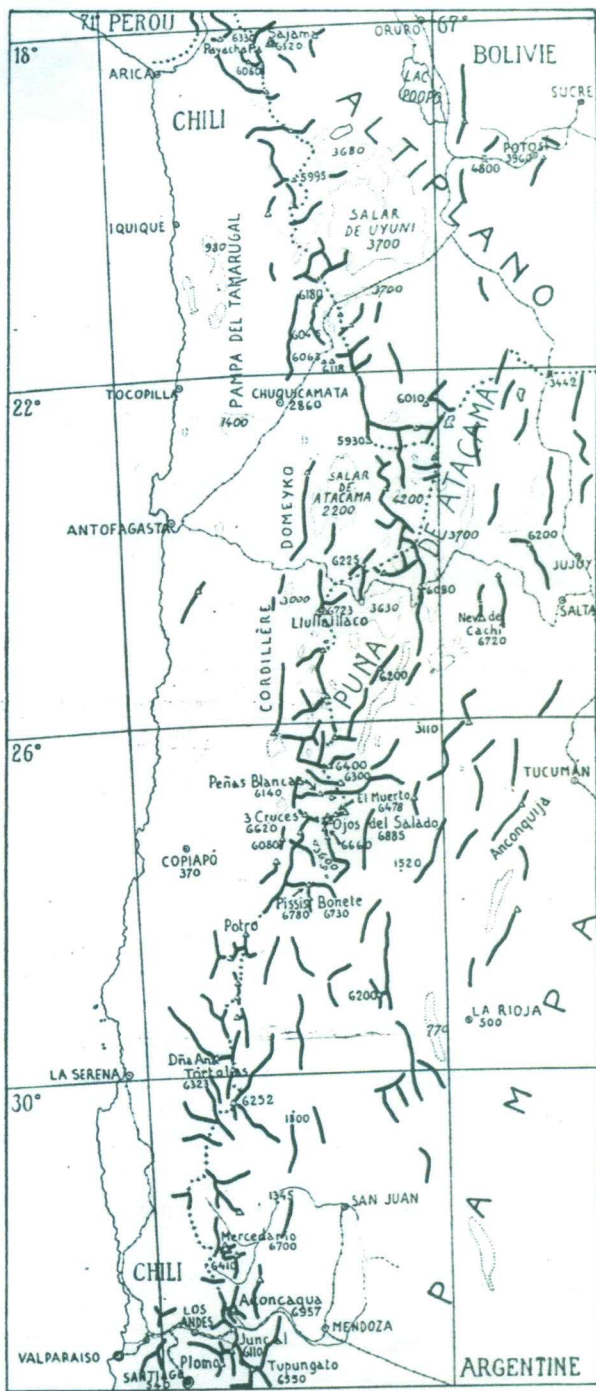


Fig. 1 — Carte des Andes du nord du Chili. De Santiago à la frontière péruvienne : environ 1700 km.

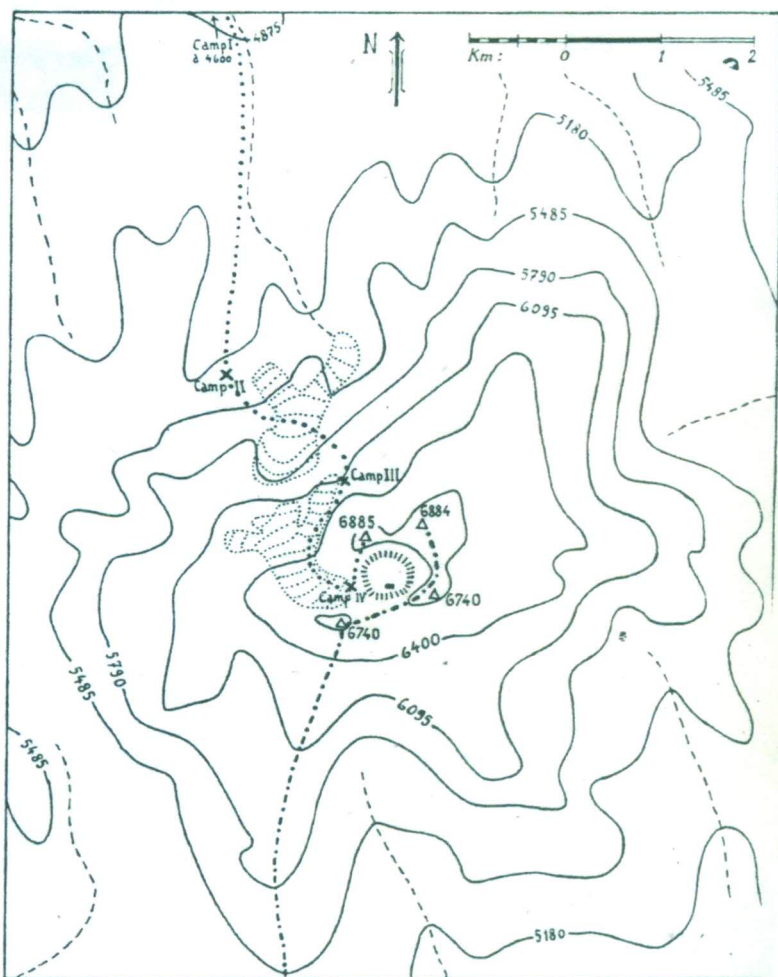


Fig. 2 — Le Nevado Ojos del Salado, avec ses deux glaciers, ses quatre aiguill entourant le cratère (le rectangle noir indique une fumerole), et les routes d'ascension des expéditions polonaise (1937) et chilienne (1956).

De Décembre à Mars, l'air tropical humide venant de l'est amène de fortes précipitations sur la Cordillère Orientale de Bolivie, mais elles n'atteignent guère la Cordillère Occidentale. Seuls, à notre connaissance, le Volcan Sajama, sommité culminante de Bolivie (6520 m) est coiffé d'une grande calotte glaciaire⁽²⁾, et n'est pas loin de là, à la frontière chiléno-bolivienne, dans les Nevados de Payachata, le Volcan Pomerape (6240 m, 18°08' lat. S) possède deux glaciers, l'un vers l'ouest et l'autre plus petit vers le sud⁽¹⁾.

Plus au sud, le haut plateau bolivien se prolonge dans la Puna de Atacama avec la même altitude moyenne de 3700 m. Les nombreuses chaînes de montagne

qui la bordent à l'est reçoivent encore une certaine influence atlantique : non loin de Tucumán la Sierra de Anconquija qui culmine à 5160 m, effleure la ligne d'équilibre des glaciers actuelle, et présente plusieurs cirques glaciaires récents (12). Mais les nombreux sommets qui s'élèvent de plus de 2000 m au dessus de la Puna ne reçoivent en général pas assez de précipitations pour qu'un glacier quelconque puisse s'établir : il faut qu'ils la dominent de près de 3000 m. La Puna de Atacama semble former un système isolé où les vents, bien que très violents (les Poionais ont enregistré 110 km/h à leur camp de base de Tres Quebradas), sont provoqués par la topographie locale : ce sont des catabatiques.

En Février, à midi, au sommet du Muerto (6178 m), la température de l'air était -10° C. A Tres Quebradas (3800 m), le même mois, les Polonais ont enregistré des températures de l'air de jusqu'à 21.4° C. La différence d'altitude entre les deux points est de 2620 mètres dynamiques. On voit que le gradient de température peut devenir supérieur au gradient adiabatique de l'air sec (1° C/100 m. dyn.) sur d'énormes dénivelés. L'appel d'air chaud vers les sommets explique les orages locaux et les précipitations liées à la topographie.

Sur ces volcans coniques les influences structurales sur l'emplacement des glaciers sont faibles : les radiations solaires sont proches de la verticale à midi ; enfin la dissymétrie est-ouest dans l'ablation qui se produit lorsque celle-ci est due à la fois à la radiation solaire et à la chaleur de l'air (*) ne joue pas, l'air ne s'élevant jamais au dessus de 0° . L'on peut admettre alors que les glaciers se forment sous le vent des sommets, et déduire de l'emplacement des glaciers la direction des vents dominants.

Au camp de base de Barrancas Blancas (4600 m), au nord du Nevado Ojos del Salado, les vents dominants étaient du nord-ouest. Au nord de ce lieu s'étend une crête est-ouest, d'altitude moyenne 5500 m, dont l'un des sommets culminants (Volcan Peñas Blancas, 6020 m) a été gravi. Cette crête a huit « champs de glace » du côté sous le vent, c'est-à-dire sur le versant sud, dans de légères dépressions qu'on ne peut encore appeler cirques. Mais au sommet de l'Ojos del Salado, le vent soufflait du sud et les glaciers se trouvent sur le versant nord-ouest. Plus à l'est, au Nevado El Muerto, comme plus à l'ouest, au Nevado Tres Cruces, les glaciers sont de nouveau sur le versant sud. La région de l'Ojos del Salado semble donc bien être un point de convergence de vents opposés.

Plus au sud, dans le « Norte Chico », les vents dominants du sud-ouest qui règnent dans le Chili Central, d'origine cyclonique, font leur apparition. Mais à la différence du Chili Central et de la Patagonie où les orages électriques sont presque inconnus, en été, dans les montagnes, il y a presque tous les après-midi, entre 15 h 30 et 18 h, des chutes de neige accompagnées d'éclairs. Au Doña Ana il y a de minuscules glaciers (des « planchones de hielo », c'est-à-dire des « champs de glace ») au dessus de 4800 m, et non de 4150 m comme l'affirme Von Klebelsberg pour les sommets dominant la vallée de l'Elqui. Ils se trouvent de tous les côtés de la montagne sauf au nord. Au Tórtolas il existe un glacier sur le flanc sud-est, qui descend jusqu'à 5600 m.

Vers 32° lat. S, entre le Mercedario (6700 m) et le Cordon de la Ramada (6310 m) se trouvent les premiers grands glaciers, atteignant 12 km de long et descendant jusqu'à 4000 m (10). Nous quittons la zone aride tropicale pour entrer dans une zone subtropicale de climat à peu près méditerranéen (plus exactement californien), avec abondantes précipitations d'hiver, d'origine cyclonique. L'influence de la latitude et l'effet est-ouest signalé plus haut font que l'enclavement y soit plus fort sur les flancs sud-est des montagnes (11).

D'après de Dinat

La radiation solaire intense et le refroidissement nocturne tout aussi intense par suite d'un air très sec transforment rapidement la neige en névé cohérent et y sculptent des pénitents, suivant un mécanisme que l'un de nous a décrit par ailleurs^(1,2). Les pénitents sont omniprésents sur les champs de glace ou de névé.

Une seule exception signalée : au Lullaillaco, entre 5600 et 6500 m du côté ouest, existait en Décembre 1952 un champ de glace lisse, sans névé ni pénitents. Nous l'attribuons au fait qu'il s'agissait d'une croupe de pente forte, bien exposée aux vents ascendants. La pente forte et l'exposition à l'ouest diminuent l'ensoleillement (n'oublions pas que le ciel se couvre en général les après-midi), le vent ascendant est humide, aussi l'évaporation est-elle faible, et le mécanisme de formation des pénitents ne se déclenche pas. Les mêmes faits s'observent dans les Andes de Santiago.

Au Doña Ana, en Janvier 1956, on trouvait sur les glaciers des pénitents de névé de 40 à 60 cm de haut, partiellement recouverts de neige fraîche. Au Tórtolas, mis à part un peu de neige fraîche, le glacier était à nu à cette époque. avec des pénitents de glace très étroits de 20 cm de haut. Au Nevado El Muerto, vers 6000 m, l'expédition Belastino trouva dans une légère dépression à peu près horizontale, sur plusieurs hectares, des pénitents de névé gigantesques, de 5 à 8 m de haut. Toute cette neige avait du s'accumuler l'hiver précédent, car on n'observait qu'une strate de poussières à mi-hauteur, qui était parfaitement régulière et s'était donc formée sur un champ de neige lisse. Sur du névé de plusieurs années (jamais observé d'ailleurs dans les Andes à pénitents), plusieurs strates de poussières, perturbées par les pénitents, auraient été visibles. Cette hauteur de neige accumulée en un hiver et atteignant localement 8 mètres laisse rêveur, quand on pense qu'à Copiapó il ne tombe que 2 cm d'eau par an !

En Février 1956, à l'Ojos del Salado, des pénitents de névé de jusqu'à 2 m de haut abondaient aux camps II (5300 m) et III (6100 m). Ils fournissaient des filets d'eau courante entre 10 h et 16 h. Au camp IV (6565 m) les pénitents étaient recouverts de neige fraîche en franche fusion et imbibée d'eau. « pourrie ». Pourtant les températures de l'air à ces altitudes sont toujours négatives. Par recouplement et interpolation des données très incomplètes des divers alpinistes (toujours plus soucieux de noter les températures minima que les températures maxima !), on aboutit à une température de l'air en plein été oscillant entre 0° et -17° à 5300 m, entre -10° et -28° à 6500 m. Mais dans les couloirs entre les pénitents, où la radiation solaire se concentre et où l'air se sature d'humidité, règne un microclimat tout-à-fait différent.

LES LACS GELÉS.

Cette eau de fonte qui se forme dans les couloirs des pénitents et qui sature la neige forme parfois de petits lacs surglaciaires perpétuellement gelés.

L'expédition polonaise à l'Ojos del Salado avait établi son camp d'altitude, dit-elle, au bord d'un tel lac gelé, vers 6400 m (probablement près du sommet inconnu 6660 m au sud de l'Ojos del Salado). L'expédition Gajardo a trouvé un autre lac gelé en haut du glacier inférieur, vers 5800 m. Au Tórtolas, à la selle sud-est entre le sommet et une antécime, vers 5900 m, existe aussi un lac gelé. Au Doña Ana un lac circulaire de 10 m de diamètre occupe le sommet; il est probablement logé dans un ancien cratère volcanique.

Au Cerro Plomo (5430 m, 33°15' lat. S, 40 km au nord-est de Santiago), l'un de nous (O. Gonzalez) a observé la formation d'un petit lac gelé près du sommet, au cours de la semaine passée là-haut avec Luis Krahl en fouilles archéologiques

C'est sur ce sommet qu'on a découvert le corps parfaitement conservé par le froid d'un petit enfant inca). Ce lac gelé s'était substitué à un champ de pénitents sans qu'à aucun moment se forme une surface d'eau libre.

Le mécanisme semble être le suivant. Dans une dépression l'eau de percolation ne peut s'écouler, forme une nappe phréatique. L'ablation ne peut aller au-delà de cette nappe, constamment alimentée par les nappes supérieures. Lorsque les sommets atteignent cette zone, ils diminuent et disparaissent. Simultanément le dégel aux heures chaudes de la journée ne peut plus se produire, et la surface de la nappe phréatique reste gelée. La fonte cependant se produit sous une couche de glace superficielle, sous l'effet des radiations solaires qui la traversent. Un effet de serre (fonte au sein d'une atmosphère froide sous une couche transparente) se substitue à l'effet de pénitent (fonte au sein d'une atmosphère froide dans des creux). De petits micropénitents, de quelques centimètres de haut, peuvent apparaître dans la pellicule de glace du lac gelé, mais ils ne peuvent traverser la pellicule de part en part, l'eau gelant dès qu'elle sourd à l'air libre.

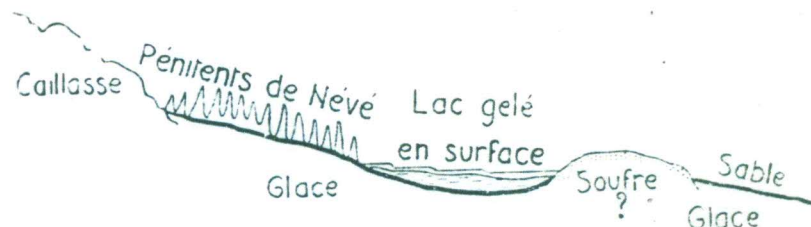


Fig. 3. Profil schématique du lac surglaciaire gelé à 5800 m, à l'Ojos del Salado.

Le lac gelé étudié par l'un d'entre nous vers 5800 m à l'Ojos del Salado, lac dont nous donnons un profil schématique fig. 3, avait environ 20 m de long, 15 m de large et 1,2 m de profondeur. Il était couvert d'une couche de glace de 5 à 10 cm d'épaisseur, avec des micropénitents sur les bords. Cette surface n'était pas toute de niveau, mais formée d'une série de terrasses horizontales en escalier, avec une dénivellation d'un décimètre entre deux terrasses successives. L'existence de ces terrasses est évidemment incompatible avec un plan d'eau libre à un moment donné.

L'eau alimentant le lac provenait des pénitents de neige des pentes supérieures (dessinés de profil sur le schéma, ce qui est inexact). Le lac devait son existence à un barrage de 1 m de hauteur, 8 m d'épaisseur et 15 m de longueur constitué par du soufre natif. L'apparition de cette butte de soufre au milieu du glacier inférieur reste un mystère. Peut-être le lac occupait-il l'emplacement d'un ancien cratère adventice du volcan, peut-être n'y a-t-il eu là autrefois qu'une solfatare?

Ces lacs gelés des hauts sommets andins font penser aux lacs gelés observés dans une chaîne de montagnes de l'Antarctique, dans une région où la température de l'air est toujours négative, par l'expédition allemande Schwabenland (5).

LES GLACIERS.

Le seul glacier mentionné par von Klebelsberg entre le Sajama et le Mercedario se trouverait au Cerro Potro (5830 m, 28°24' lat. S, à la frontière). Rappelons tous les nouveaux glaciers découverts :

Lullaillaco, 6723 m, 24°23' lat. S; 1 champ de glace à l'ouest, entre 6500 et 5600.

Peñas Blancas, 6020 m, 26°49' lat. S, 8 champs de glace vers 5500 m.

Région de l'Ojos del Salado. 27°07' lat. S environ. D'est en ouest on trouve successivement les sommets suivants, appelés tous *Nevados*, c'est-à-dire sommets enneigés (ou englacés) :

Incahuasi, 6610 m : aucune donnée.

El Fraile, 6044 m : une tache de neige perdue au nord-ouest sous le sommet.

El Muerto, 6478 m : 2 petits glaciers presque entièrement couverts vers le sud.

Ojos del Salado, 6885 m (cf. carte fig. 2). Un glacier part à 6600 m à l'ouest du cratère, se divise en deux lobes, l'un vers le nord, l'autre vers le nord-ouest, et disparaît sous les sables vers 6100 m. Dans le prolongement, entre 5800 et 5400 m se trouve un deuxième glacier de pente plus forte, qui se divise aussi en deux langues.

Sommet innommé 6660 m, en retrait des autres vers le sud : probablement non englacé.

Cerro Solo, 6190 m : une tache de neige ou de glace visible sous le sommet en 1937 avait disparu en 1956.

Tres Cruces (nombreux sommets), 6330, 6620, 6030 m, etc. : Glaciers étendus sur les versants sud et quelques glaciers de cirque sur les versants est. En comparant des photographies de ces sommets prises depuis l'Ojos del Salado en 1937 et 1956, on ne remarque aucune différence appréciable d'englacement entre ces deux dates. Nous verrons toutefois qu'il faut a priori davantage s'attendre à des variations d'épaisseur qu'à des variations d'aire.

Doña Ana, 5690 m, 29°45' lat. S : nombreux champs de glace au-dessus de 4800 m de tous les côtés, sauf au nord.

Tórtolas, 6323 m, 29°56' Lat. S : un glacier au sud-est entre 6320 et 5600 m.

Les glaciers signalés sont des champs de glace compacte, plus ou moins ondulés, recouverts par endroits de moraine d'ablation. Dans le glacier inférieur de l'Ojos del Salado, l'un de nous a pu observer la stratification : il existe des lits de sable tous les 30 à 50 cm, qui se cumulent vers le bas pour former une moraine d'ablation de sable. Ce sable a sûrement été amené par les tourbillons de vent. 30 à 50 cm, c'est l'ordre de grandeur de la glace de regel formée chaque printemps dans les Andes de Santiago vers 4300 m, et qui peut se conserver enterrée sous les éboulis (?).

L'on n'observe ni crevasse, ni autre trace de mouvement. Les glaciers sont souvent logés dans des cirques peu prononcés, entaillant légèrement la pente, de grandes niches de nivation si l'on préfère, d'autres fois ils gisent sur la pente sans cirque du tout.

Sur les cotés l'on n'observe pas de moraine, à leur sommet pas de rimaye ; ils disparaissent sous les éboulis avec lesquels ils sont de niveau. Parfois l'amincissement est visible, les cailloux du fond apparaissant entre les pénitents de glace. Exceptionnellement au *Tórtolas* le glacier se termine à 3 m du sommet par un fossé (*Randkluft*) de 1 m de profondeur. Ce fossé est dû à la chaleur irradiée par les rochers voisins, non au mouvement.

En résumé il s'agit de champs de neige transformés sur place en glace, par regel. Quelques glaciers de ce type existent plus au sud, dans les Andes de Santiago, par exemple sur les flancs du Cerro Plomo ou du Volcan San José. Mais là ils voisinent avec des glaciers de cirque et de vallée, munis de rimaye, crevasses et moraines médianes.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Certaines lectures s'étonneront que nous appelions glaciers des champs de glace et de névé sans mouvement appréciable. Pour eux un glacier est un fleuve de glace par lequel les précipitations solides en excès dans les hautes régions s'écoulent vers des régions où l'ablation est plus forte. Comment appeler alors les champs

de glace observés? Car le mot « champ de glace » (*icefield*) a déjà été employé pour désigner de grandes extensions de glace, de vrais petits Inlandsis, se déroulant par toute une série de glaciers périphériques. Et si un glacier de nos Alpes devient stagnant à la suite d'une longue série d'années déficitaires, vaut-il changer de nom en attendant des années meilleures? Il est gênant de ne pas avoir un mot pour désigner toute grande masse de glace persistante dans la nature: Inlandsis, shelf, icefield, icecap, glaciers de cirque, de vallée, de piémont, etc... quelles que soient ses caractéristiques. Nous ne voyons pas d'autre terme acceptable que « glacier ».

Le schéma classique du glacier *stricto sensu*, de ce que nous appellerons un glacier évacuateur ⁽¹⁾, est lié à la notion d'une *limite des neiges persistantes*, altitude à laquelle l'accumulation neigeuse devient égale à l'ablation; au dessus toutes les régions de pente faible sont englacées. Comme l'un de nous l'a montré par ailleurs ⁽²⁾ la présence des pénitents et l'intense regel de l'eau de fonte modifient déjà beaucoup ce schéma. L'on ne peut plus parler que d'une *ligne d'équilibre du glacier*, où l'ablation nette sur le glacier (compte tenu du regel) égale la précipitation. Un glacier sans névé peut alors être en équilibre au milieu de pentes douces de terre nue.

Mais ce schéma modifié néglige encore les variations de la précipitation d'une année à l'autre. Dans les Andes de Santiago nous avons déjà parlé de deux types d'années ⁽³⁾ :

1°) Années normales: précipitations annuelles à Santiago groupées autour de 300 mm, ligne d'équilibre sur les Glaciers Olivares s'établissant vers 4600 m.

2°) Années exceptionnellement humides: précipitations annuelles à Santiago groupées autour de 660 mm, la ligne d'équilibre sur les Glaciers Olivares s'établissant vers 3800 m.

Plus au nord la dispersion des précipitations devient incomparablement plus grande. A San Juan (Argentine), la précipitation annuelle a varié, au cours des derniers 100 ans, entre 8 et 196 mm.

Le schéma classique néglige aussi les facteurs topographiques locaux. Or, comme nous l'avons dit, ce sont ces facteurs qui provoquent et déterminent les précipitations. En première approximation il faudrait parler de la précipitation pour un sommet donné, et non pour une altitude donnée.

Finalement, suivant les années et suivant le glacier considéré, le glacier sera entièrement zone d'accumulation ou entièrement zone d'ablation. S'il se maintient, ce n'est pas parce que les bilans de sa partie haute et de sa partie basse se compensent, mais parce que les bilans des années successives se compensent.

Pour étudier de tels glaciers stagnants on ne peut donc pas étudier les fluctuations de la ligne d'équilibre. Leurs variations d'aire sont en général inappréciables devant leurs variations d'épaisseur. Il faudrait choisir un point particulièrement représentatif de l'état général du glacier et y mesurer l'accumulation l'ablation et le regel au cours du temps, c'est-à-dire faire des études stratigraphiques en un point donné. Nous doutons qu'on aille de sitôt creuser la glace à 6000 m dans la Puna de Atacama, mais ces considérations restent en grande partie valables pour l'Antarctique ou les petits glaciers des Alpes du Sud.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BRUGGEN, Juan, 1950: *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago du Chili, 374 p. — 1 carte hors-texte.
(2) ERIL, Hans, 1953: Nos ascensions en Bolivie. *Montagnes du Monde* (Jehel, Genève), p. 150-172.
(3) VON GRÜBER, O., 1942: Das Wohlthat-Massiv im Kartenbild. Dans: A. RÜSCHE, *Die Deutsche Antarktische Expedition 1938-39* (Köhler und Amelang, Leipzig) Vol. I, p. 157-230.

- Cf. aussi : VON KLEBELSBERG, R., 1949 : *Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie*, (Springer-Verlag, Wien) Tome 2, p. 564-565.
- (1) LLIBOUTRY, Louis, 1954 : The origin of penitents. *Journal of Glaciology*, 2, n° 15, p. 331-338.
Résumé en français : *Compte-rendus Ac. Sc.*, 236, p. 952-954 et 1191-1193 (1953).
- (2) LLIBOUTRY, Louis, 1954 : Le Massif du Nevado Juncal, ses pénitents et ses glaciers. *Revue de Géographie Alpine*, 42, n° 3, p. 465-495.
- (3) LLIBOUTRY, L. et FINO, J.-F., 1954 : Chronique : Andes chiliennes. *Journal* (Schweiz. Stiftung für Alp. Forsch.), 1, n° 3, p. 183-184.
- (4) LLIBOUTRY, Louis, 1955 : L'incorporation des éboulis dans la glace. *Compte-rendus Ac. Sc.*, 240, p. 1623-1624.
- (5) LLIBOUTRY, Louis, 1956 : *Nieves y Glaciares de Chile, fundamentos de glaciología* (Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago). 472 p. — 12 cartes hors-texte.
Effet est-ouest dans l'ablation : p. 73.
Pénitents : p. 74-95.
Altitude de l'Aconcagua : p. 257.
Glaciers du nord du Chili : p. 305-306.
Lacs gelés à très haute altitude : p. 438.
- (6) LLIBOUTRY, Louis, 1956 : La mécanique des glaciers, en particulier au voisinage de leur front. *Annales de Géophysique*, 12, n° 4, p. 245-276.
- (10) LLIBOUTRY, Louis, 1957 : Chronique : Andes chiliennes. *Journal* (Schweiz. Stiftung für Alp. Forsch.), 1, n° 7 (sous presse).
- (11) OSTROWSKI, Victor, 1954 : *Mas alto que los cóndores* (Albatros, Buenos Aires), 339 p. + planches hors-texte.
- (12) RÖHMEDER, G., 1942 : *La glaciación diluvial de los Nevados del Anconquija* (Univ. Nacional de Tucumán). 61 p. + 21 planches + 2 cartes.

CARTOGRAPHIE

(meilleures cartes à ce jour)

Pour le relief : *World Aeronautical Chart* de l'A. A. F. au 1/250.000. Récemment traduite et rééditée par l'Institut Géographique Militaire chilien sous le nom de *Carta Preliminar* (une deuxième édition avec ombres est sous presse).

Pour les cotes d'altitude et la toponymie : Dans le nord du Chili c'est sans conteste, la *Carta Nacional* au 1/500.000 de l'I. G. M. chilien (dernière édition, épuisée : 1945).