

LA LAVE TORRENTIELLE DU 10 JANVIER 1962 DANS LA CORDILLÈRE BLANCHE (PÉROU)

par O. DOLLFUS⁽¹⁾ et C. PENAHERRERA⁽²⁾



La calástrofe que destruyó Ranrahirca en los Andes peruanos el 10 de enero fué producida por la caída de una corniza de hielo del Huascarán (6655 m.) ; los bloques de hielo y rocas arrancados a la pared oeste de este pico hacen caer un glaciar cuya parte inferior, cargada de agua de fusión, se desprende. La avalancha arrollando el cono de deyección se transforma en una lava torrencial enormemente poderosa que arrasa un valle, modelado anteriormente por fenómenos análogos. La lava que depositó bloques de granito de varios millares de toneladas en el cono de deyección de Ranrahirca, antes de volcarse en el Santa a 2450 m., movilizó probablemente de 10 a 12 millones de metros cúbicos de material cuyas dos tercias partes provendrían de elementos finos, sobre todo de arenas morénicas.

Estudios de los glaciales de la Cordillera Blanca y de los tipos de valles permitirían no impedir catástrofe iguales perosi determinar cuales son las zonas más peligrosas.

Le 10 janvier 1962, un peu après 6 h. du soir une partie de la corniche Ouest du sommet Sud du Huascarán qui culmine à 6 655 m se détachait ; quelques minutes plus tard un flot de boue, de sables, charriant des blocs de rochers et de glace arrivait au Santa à 2 450 m après avoir détruit et emporté une série de hameaux, le village de Ranrahirca et recouvert le bocage verdoyant qui l'entourait. Une visite sur le terrain du désastre quelques jours après permet d'en analyser une partie des causes et d'en mesurer les effets.

Le cadre géographique

Le « Callejón de Huaylas » ou vallée supérieure du Santa est au Pérou l'une des régions où les dénivellations sont les plus fortes. A l'Est il est limité par la Cordillère Blanca dont les sommets qui culminent de 5 500 à 6 700 m s'alignent du SSE à NNW sur 180 km.

Il s'agit d'un batholite granitique complexe pénétrant dans des séries sédimentaires plissées et plus ou moins métamorphisées du Secondaire et dans des couches volcaniques du même âge ou postérieures ; des mouvements tectoniques l'ont exhaussée en « horst ». Sa bordure occidentale, rectiligne, tout au moins au niveau de Yungay est constituée par un splendide escarpement de faille, presque originel, qui peut paraître correspondre pour une large part à la surface des diaclases du toit mais où une observation plus précise, facilitée notamment par le nettoyage de la base par la lave torrentielle permet de relever des miroirs de faille encore frais. La Cordillère Blanca domine un compartiment abaissé où des séries secondaires sont tranchées par une surface d'aplanissement qui serait probablement un fragment affaissé de la surface d'érosion « de la puna ». Ce plateau ondulé, creusé par les vallées qui descendent de la Cordillère est à une altitude assez constante, de 3 400 à 3 600 m. Le Santa dont le cours est parallèle aux grands axes du relief coule en contrebas et longe le pied du grand versant oriental de la Cordillère Noire, avant de s'encaisser dans les gorges étroites du « Cañon del Pato ». A l'Ouest du Santa, la Cordillère Noire dont les crêtes lourdes et arrondies culminent de 4 800 à 5 000 m est constituée par de puissantes séries secondaires, plissées, fossilisées sous une épaisse couverture volcanique tertiaire et peut-être localement quaternaire.

Les actions glaciaires, périglaciaires et torrentielles sont partout présentes dans le paysage. Hautes calottes englacées, glaciers suspendus à plus de 5 000 m reposant sur des surfaces rocheuses bien polies, petites langues entre des moraines trop larges mais encore fraîches qui témoignent du recul glaciaire actuel. De magnifiques auges qui entaillent les granites du versant occidental de la Cordillère Blanca et dont le fond est souvent encore occupé par les lacs fermés par de précaires barrages morainiques ou des cônes d'éboulis descendus des parois, indiquent la force de l'érosion glaciaire quaternaire même si cette dernière était facilitée par des lignes de broyage tectonique ; l'épais manteau des

(1) Institut français d'Etudes Andines, Lima.

(2) Société de géographie de Lima.

moraines successives qui couvrent les plateaux et qui se seraient, selon A. HEIM, abaissées jusqu'à 2 500 m marque l'ampleur des glaciations de piémont. Au débouché des principales vallées affluentes de la rive droite du Santa de grands cônes de déjection parsemés de blocs de plusieurs mètres de hauteur signalent le rôle des débâcles liées soit à la rupture de barrages des lacs de la Cordillère comme à Huaras en 1941, soit à la chute de parties de glaciers en dérive comme

généralement par temps couvert de « redoux » qui caractérise la saison humide. Malheureusement les indispensables données climatiques font défaut comme manquent aussi les études sur la physique des glaciers des régions tropicales. Un fait est certain : au début de janvier 1962, la partie basse du glacier Ouest du Huascaran, très crevassée et fissurée était gorgée d'eau, provenant de la fusion et des précipitations, ce qui augmentait sa densité tandis qu'une abondante circulation d'eaux

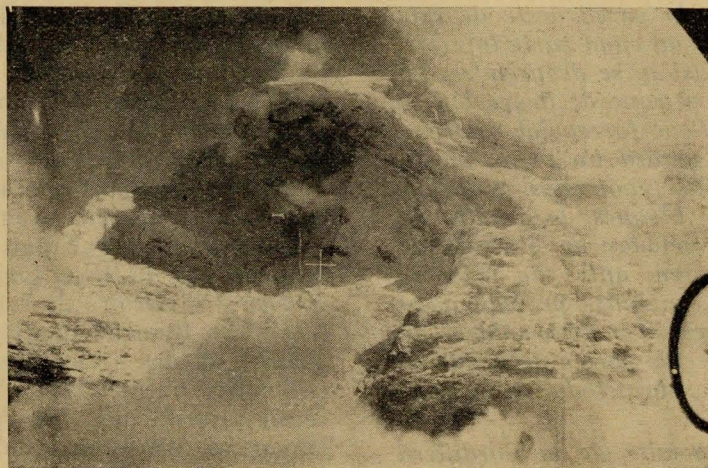


Photo 1. — Vue de la face Ouest du pic Sud du Huascaran, avec la corniche, la paroi rocheuse et le glacier labouré par l'avalanche.

celle qui a entraîné la catastrophe du 10 janvier.

La région est située dans les Andes tropicales, sous le 9° de latitude Sud. Si à Yungay, à 2 500 m les températures annuelles, où le gel est absent, permettent la croissance de palmiers en pleine terre et aux agrumes de mûrir, à 9 km de là, à partir de 4 800 m il gèle pratiquement toutes les nuits. Les précipitations se répartissent entre les mois de novembre et d'avril, mais si la Cordillère est pratiquement dégagée le matin de mai à août, à partir de ce mois, et même avant, les hauts sommets se couvrent dans l'après-midi, et des orages éclatent souvent accompagnés de chute de neige. La saison la plus chaude correspond à l'époque des pluies. Le dégel dans la journée peut remonter à 5 600-5 800 m, les parties inférieures de glacier, surtout lorsqu'elles ne sont pas couvertes de neige dont l'albédo est supérieur à celui de la glace, peuvent fondre abondamment soit sous l'effet de l'insolation particulièrement forte sous ces latitudes soit plus

sous glaciaires, entre la roche en place, polie, et la glace limitait encore l'adhérence de cette dernière.

Seize kilomètres, en suivant la ligne de plus grande pente empruntée par l'avalanche puis la lave torrentielle, séparent la corniche Ouest du sommet Nord du Huascaran, du cours du Santa. En haut la corniche de glace, qui peut avoir plus de cent mètres d'épaisseur, domine une paroi rocheuse longue de 800 m dont la pente est de 60 à 62° en moyenne. C'est un plan très incliné, taillé dans des roches métamorphosées et des granodiorites, couvert de plaques de glace et de neige, d'où des blocs dévalent sur un vaste glacier, long de plus de 2 km avec une pente d'une trentaine de degrés. Ce glacier est accidenté de ressauts marqués par des chutes de séracs et se terminait vers le bas en entonnoir par une petite langue glaciaire, couverte de débris, encadrée au Sud par un escarpement rocheux, au Nord par une ride granitique sur laquelle s'est moulée une moraine. Une moraine fraîche, au lobe convexe très

allongé, marquait, à deux cents ou trois cents mètres en contrebas de la dernière langue de glace, les traces de la dernière petite poussée glaciaire et de la décrue récente.

Le torrent qui évacuait les eaux de fonte du glacier dévalait sur trois kilomètres un cône très pentu d'éboulis et de moraines (20°) parfaitement rectiligne avant de s'orienter vers le NW en suivant le pied du grand relief de faille de la Cordillère Blanche. Sa vallée, large de 200 m s'encaisse entre le ver-

probablement de moraines de fond, remaniées par les anciennes poussées glaciaires, reprises aussi localement par des laves torrentielles. En tout cas c'est un matériel hétérométrique, non trié et pratiquement pas lavé. Les blocs, sans qu'ils aient été analysés en détail, ne semblent pas avoir d'orientation majeure.

Après la confluence avec la rivière de Llanganuco, la vallée s'élargit. Après la traversée de bancs de quartzites redressés et souvent broyés, elle débouche sur le cône étalé de

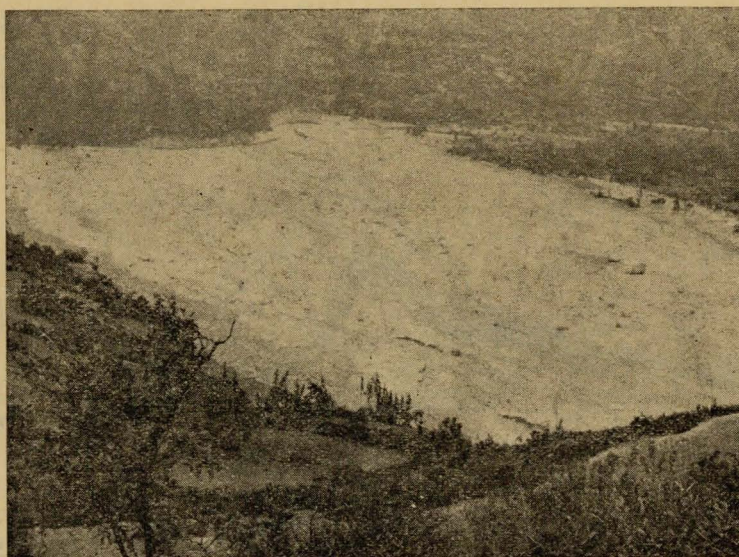


Photo 2. — Vue du cône parsemé de gros blocs.

sant granitique incliné de 40 à 45° et un versant, haut d'environ deux cents à trois cents mètres, habillé de moraines anciennes et du dépôt de laves antérieures. Le tracé de la vallée présente ensuite un angle droit en rencontrant la moraine latérale héritée de l'ancienne langue glaciaire qui descendait de l'auge de Llanganuco. Deux kilomètres après ce coude elle rejoint le torrent de Llanganuco selon un angle de confluence relativement faible (une trentaine de degrés) et après avoir dessiné une légère sinuosité. La pente moyenne du talweg dans ce tronçon est d'environ 8° ; la vallée dont le fond, bien calibré à 150 m de large, est encaissée entre des versants raides d'une cinquantaine de degrés, creusés de petits ravins en coup de cuiller, qui sont entaillés dans d'anciennes moraines, plus ou moins consolidées, à la matrice argilosableuse jaunie par les altérations et dont les blocs, surtout granitiques, ont la surface oxydée en orange ; certains d'entre eux se sont décomposés sur place en arène. Il s'agit

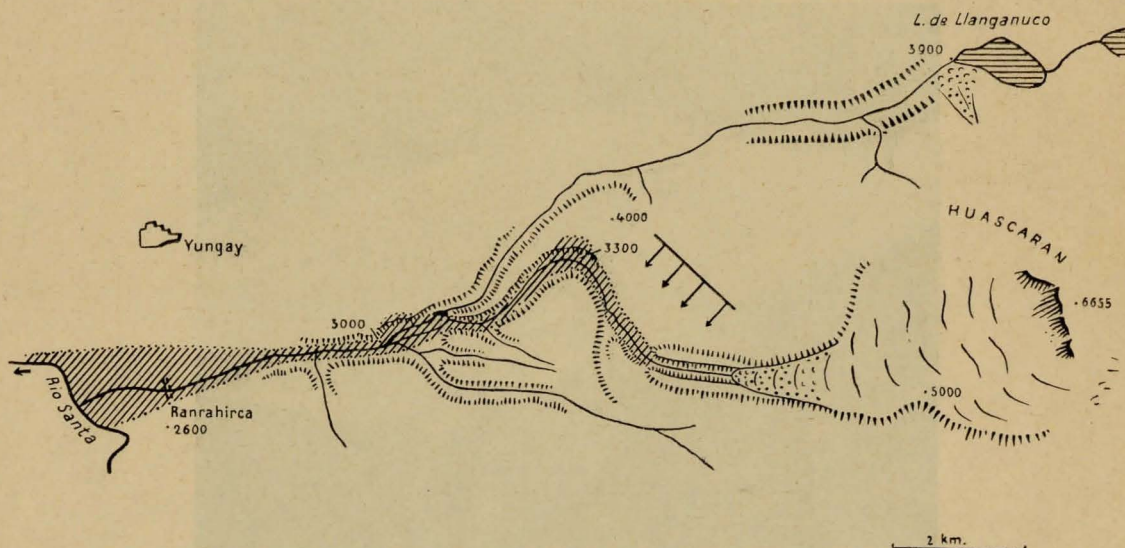
Ranrahirca dont la génératrice jusqu'au Santa a 3 km de longueur avec une pente moyenne, légèrement concave, de 3° qui était parsemée de blocs de laves précédentes.

Avalanche et lave torrentielle

Le 10 janvier à six heures du soir une partie de la corniche de glace du Huascaran se détache, dévale la paroi rocheuse, arrachant des pans entiers de granites et de schistes métamorphiques avant de débouler sur le glacier en une puissante avalanche de glace et de rochers qui le laboure, enlevant des séracs entiers. Sous l'effet de choc, une partie inférieure du glacier et la langue dont la superficie peut être évaluée à une vingtaine d'hectares, décollent. On peut estimer qu'à ce moment cinq à six millions de mètres cubes de glace, de pierres et d'eaux roulent et bondissent à plus de cent km à l'heure sur la pente du cône, l'évidant en son milieu en enlevant des blocs encore frais et de la farine glaciaire.

Au bas du cône l'avalanche remonte d'environ deux cents mètres sur le versant d'en face, quelques rochers sautant sa crête. S'avancant ensuite comme une vague déferlante de 50 à 100 m de hauteur avec une longueur d'onde d'environ 500 m que l'on peut mesurer grâce aux dépôts laissés sur les versants, l'avalanche se transforme en lave, plus liquide, qui nettoie par endroits l'escarpement de faille et qui érode le versant morainique qui lui fait face. Elle attaque les petits épe-

rale de Llanganuco, l'«Aluvion» ait érodé profondément le pied du versant comme par un coup de butoir et ait débordé sur le replat situé à 150 m au-dessus du talweg en projetant des blocs dont l'un des plus gros mesure $12 \times 8 \times 6$ m. Le matériel déposé par la lave sur ce replat est formé d'arène morainique fraîche, de blocs non altérés et d'éléments de plantes et de sols bruns arrachés dans la pente. Les rides externes déposées sur l'ancienne moraine ont l'aspect de



Croquis de la lave torrentielle de Ranrahirca (en hachures, la zone recouverte par la lave torrentielle).

rons entre les « coups de cuillers » rectilignes, comble les petits rentrants de lave tout en régularisant le versant dans le sens de la longueur, le déséquilibre à la base, provoquant le glissement de pans d'anciennes moraines qui alimenteront la lave en arrière de l'onde et remblaieront le fond du lit. Comme la lave aurait mis, d'après les témoins, environ un quart d'heure pour parcourir les seize kilomètres séparant le Huascarán du Santa, il est permis de penser que la vitesse de la lave était jusqu'à la confluence avec la rivière de Llanganuco toujours supérieure à 60 km/h. Cette vitesse, élevée, de déferlement, compréhensible si l'on tient compte de la pente et de l'élan donné par l'avalanche sur le Huascarán, si l'on tient compte aussi de la nature de la lave où la glace jouait un grand rôle est caractéristique de ces « aluvions », selon la terminologie péruvienne, déclenchées par des avalanches de glace. C'est cette grande vitesse qui explique qu'en venant butter perpendiculairement contre la moraine laté-

vagues solidifiées de 3 à 4 m de hauteur avec des pentes instables de 25°. C'est la vitesse qui explique également qu'en prenant le tournant à angle droit la lave ait eu une pente transversale de 20° (analogue à celle des vélodromes dans les coudes) et qu'elle ne mordait qu'à peine la rive concave tandis qu'elle érodait et déposait son matériel à 150 m de hauteur sur la rive convexe.

Avant de parvenir à la confluence avec le torrent de Llanganuco l'«aluvion» a emprunté un chenal bien calibré dont la pente moyenne est de 8° en y décrivant une série d'ondes moins régulières et plus rapprochées que dans le tronçon précédent de la vallée. Elle y dépose ses sables, ses boues et ses blocs en équilibre instable jusqu'à parfois 50 m au-dessus du talweg. En abordant sur la gauche la légère sinuosité qui précède la confluence avec la rivière de Llanganuco un dixième environ de la masse de la lave remonte un vallon secondaire situé dans l'axe



Photo 3. — Vue du tronçon de vallée en amont de la confluence de Llanganuco. On voit nettement l'action de sapement de la lave qui est remontée dans le petit vallon au centre de la photo d'environ une centaine de mètres. Lit de l'« Aluvion » avec le torrent actuel.

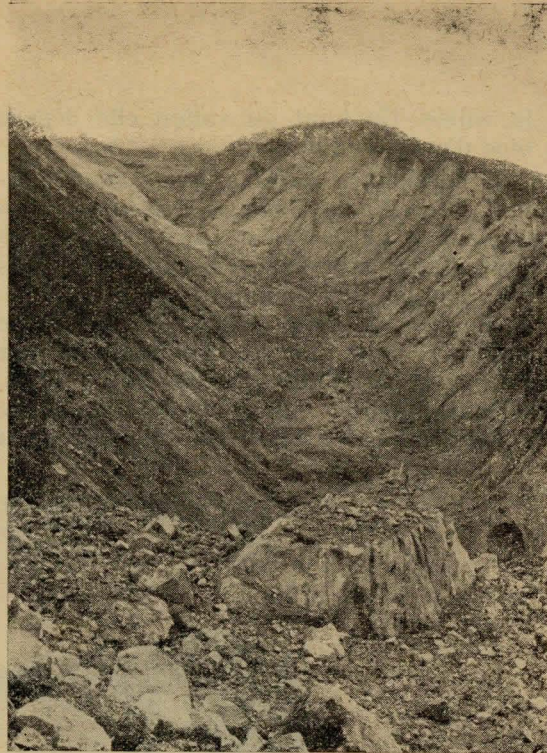


Photo 4. — Vue de la vallée dans sa partie supérieure. A gauche, l'escarpement de faille qui borde le versant occidental de la Cordillère Blanca et qui a été, à sa base nettoyé par la lave. Sur la droite, versant entaillé dans du matériel morainique, avec la marque des ravinelements en coups de cuillères. Au premier plan, on note un gros bloc de plus de 12 m qui a été déposé à plus de 150 m au-dessus de la vallée.

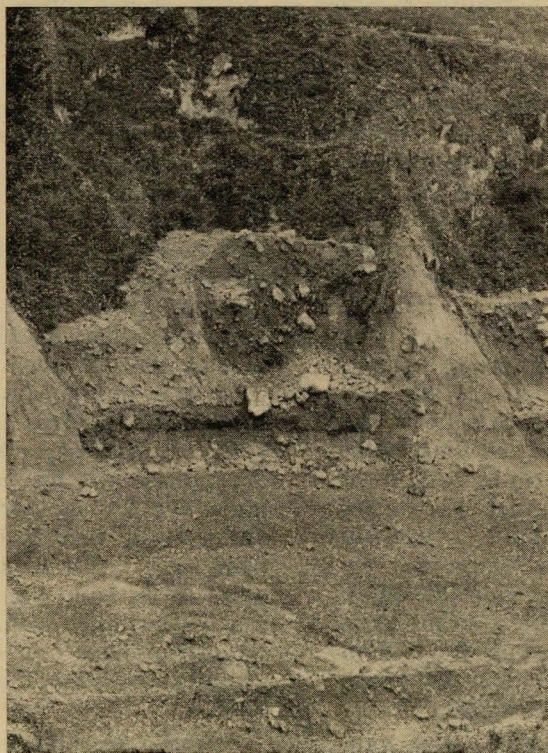


Photo 5. — Lit de la lave dans la partie moyenne de la vallée.

de la vallée. En haut du vallon elle dépose un bloc d'environ 3 000 m².

A la confluence la lave barre momentanément la vallée et donnera naissance ultérieurement à un petit lac sans grande profondeur, d'une superficie d'un hectare ; mais comme l'angle de la confluence est faible, l'effet de blocage reste réduit. Sur sa lancée l'« aluvion » dans une courbe remonte sur la rive convexe d'une centaine de mètres, détruisant ainsi le village de Yanamachico. Elle aborde la tête du cône de déjection

de mètres, mais elle ne semble pas avoir fait de barrage. La lave était alors en fin de course et son matériel plus sableux qu'argileux a été emporté par le courant. En aval le Santa gonflé d'une dizaine de mètres après l'arrivée de la lave, charrie des galets et surtout des sables glaciaires qu'il dépose partiellement sur les basses terrasses temporairement inondées. Cette crue du Santa n'aura qu'un effet dévastateur limité.

A trois heures du matin, d'après les témoignages recueillis, une venue d'eau provenant

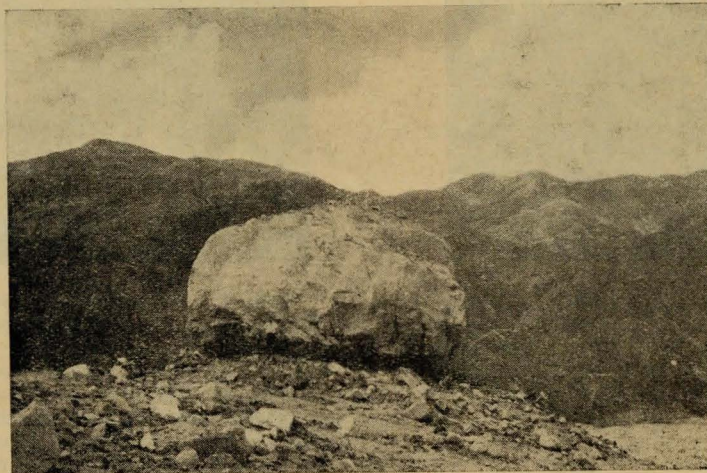


Photo 6. — Gros bloc de granite transporté par la lave torrentielle et déposé sur le cône de Ranrahirca.

comme une vague de dix à quinze mètres de hauteur de déferlement, à une vitesse passant probablement d'une cinquantaine de kilomètres à l'heure à une trentaine de kilomètres à l'heure en dérapant progressivement vers la partie Sud du cône. Elle a en arrivant au Santa une largeur de 1,2 km qu'elle balaie selon un angle d'une trentaine de degrés. Elle avait une compétence suffisante pour rouler des blocs dont le plus imposant mesure 20 × 15 × 12 m. Ils se sont déposés sur leur plus grande dimension alignés en général sur la génératrice du cône formant la bissectrice de l'angle du cône. Par contre, la lave n'est parvenue qu'à écrêter le sommet des buttes de cailloutis qui domine le plan incliné du cône de deux à trois mètres. Enfin sur les bords, la lave, plus boueuse et humide qu'au milieu où prédominent les sables, se présente sous forme de lobes convexes de 1,5 à 2 m de hauteur ; les eucalyptus y ont eu leur base enterrée mais n'ont pas été renversés.

En butant sur un éperon de la rive gauche du Santa elle remonte d'une quinzaine

peut-être de la vidange d'autres poches sous-glaciaires du Huascaran et d'eaux emmagasinées dans la boue et issues pour une part de la fonte des blocs de glace, déclenchait une deuxième lave plus liquide et d'un volume bien moindre que le premier mais qui balayait néanmoins la vallée et étalait dans le lit le matériel glissé des versants sapés. On relève ses traces par le dépôt d'une matrice plus fine et surtout avec moins de gros blocs en contrebas des dépôts de la lave principale, à huit et dix mètres au-dessus du fond de la vallée. Sur le cône, boueuse et sableuse, elle a repoussé sur les bords les blocs, modelant ainsi des levées, particulièrement nettes sur l'aile Nord, vers Yungay, qui se sont dessinées sous l'effet de la pression et du gonflement de la boue dans le chenal. N'ayant pas une compétence suffisante pour déplacer les plus gros blocs mis en place par la lave précédente elle s'est limitée à les nettoyer à la base.

Après le passage des laves, le torrent entaille de plusieurs mètres son lit dans la vallée,

au milieu des alluvions et il divague ensuite sur le cône ; il a été alimenté en partie pendant plusieurs jours par la fonte progressive de la glace emballée dans la boue. Cette fonte provoque de multiples petits tassements locaux, tandis que les blocs des levées ou ceux que la lave avait laissé accrochés sur le flanc des versants en équilibre instable, roulent sur leur pente et se stabilisent, étalés dans le sens de leur plus grande dimension.

L'analyse faite ci-dessus ne porte que sur quelques unes des conditions supposées du déferlement de la lave. Une différence notable avec les catastrophes liées à la rupture

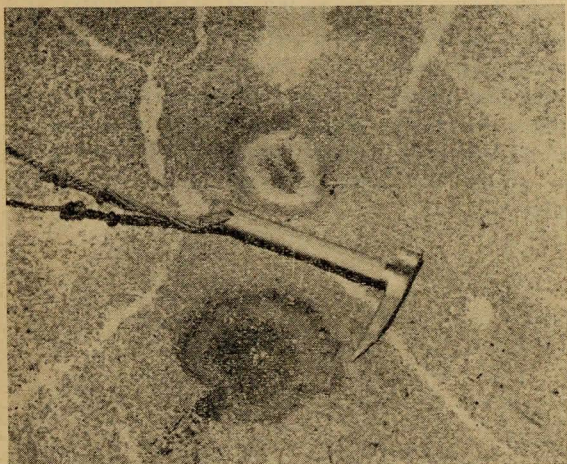


Photo 7. — Matrice arénacée de la lave, avec petites cuvettes produites après la fusion de blocs de glace et quelques fentes de dessiccation.

Brusque d'un barrage lacustre consiste dans la présence de masses considérables de glace qui sont arrivées jusqu'au Santa. La glace en fondant progressivement par suite des frictions continues dégage de l'eau qui favorise le maintien d'une certaine liquidité.

Est-il possible de tenter une mesure approximative du nombre de mètres cubes déplacés par la lave du 10 janvier ? La surface couverte par l'« aluvion » dans la vallée est d'environ 220 à 240 hectares. Si l'on estime que l'épaisseur moyenne des dépôts est de 3 m cela ferait pour la vallée 6 600 000 à 7 200 000 m³. L'épaisseur des dépôts sur le cône n'est pas très considérable ; en moyenne 2 m et souvent moins. Les torrents qui y ont creusé postérieurement leur lit montrent des berges entaillées dans le matériel altéré, oxydé couleur de rouille des laves torrentielles plus anciennes. Comme la surface balayée par la lave serait d'environ 200 hectares, il est possible d'évaluer le volume déposé sur le cône à

4 millions de m³. Sans compter le matériel emporté par le Santa et qui n'est pas négligeable, l'évaluation du cubage de la lave serait compris entre 10 à 12 millions de m³ dont les deux tiers proviendraient d'éléments fins, surtout sableux et l'autre tiers de cailloux et de blocs. Ce calcul ne signifie pas, naturellement, que toute la masse ait transité sur un long parcours. Beaucoup de blocs d'anciennes moraines n'ont effectué que des déplacements limités à quelques centaines de mètres ou au maximum deux à trois kilomètres. C'est surtout vrai pour les pans des vieilles moraines, dégringolés ou glissés dans le fond de la vallée après le passage de la lave. Ainsi le pourcentage de blocs jaunis par les altérations et venant d'anciennes moraines représente 40 % à proximité de la confluence avec la rivière de Llanganuco.

Il faut noter également que l'usure des blocs a été quasi inexistante pendant la durée du transport. Des granites, parfaitement frais, aux angles coupants, venant de la paroi du Huascarán ont été relevés à proximité du Santa, d'autres plus arrondis, issus des anciennes moraines, avaient conservé la patine jaune des oxydations superficielles après un transport de plusieurs kilomètres.

Cette lave dévastatrice n'est sûrement pas la première qui soit descendue par le même chemin depuis les glaciers du Huascarán. On relève en effet que la vallée qu'elle a empruntée a été modelée par des processus analogues. Ces laves modelent un type de vallée en forme d'auge, aux flancs raides mais au fond remblayé, pouvant même parfois présenter des contrepentes dues à des bourrelets de blocs et de boue. Sa dynamique serait ainsi intermédiaire entre celle d'une rivière dans son lit mineur et celle d'un glacier occupant une vallée, mais son action est malgré tout bien différente de celle de l'eau courante et de celle de la glace ; elle agit en de courts instants séparés par de grandes périodes de silence morphologique où seul le torrent dans le talweg et les ravissements et glissements en coups de cuillers viennent retoucher un modelé dû essentiellement à un fluide cependant suffisamment visqueux pour avoir une compétence pratiquement illimitée, animé d'une grande vitesse et qui occupe une section non négligeable du profil transversal de la vallée.

Les bords de la vallée sont ourlés de dépôts similaires à ceux analysés à la suite de la catastrophe du 10 janvier. Quant au cône de Ranrahirca, il n'a guère été formé par les divagations d'un torrent. Ce dernier n'a apporté que des modifications de détail à

un dépôt de laves caractérisé par un matériel peu lavé avec de grands blocs déposés en surface dans le sens de leur plus grande longueur. Sur ce cône l'influence de la charge venue de la vallée de Llanganuco est minime. Cette vallée, modelée par des langues glaciaires est parcourue par un torrent, issu des lacs qui ornent le fond de l'auge et qui, bloqués par d'anciens cônes d'éboulis, arrêtent la plus grande partie de la charge solide descendue des glaciers.

On doit cependant relever que la catastrophe du 10 janvier est l'une des plus considérables subies par la vallée de Ranrahirca, non seulement par l'étalement de la lave mais aussi par sa compétence qui a permis le transport de blocs de vingt mètres de long.

Ces catastrophes, heureusement rares, sont cependant des phénomènes normaux corrélatifs des époques de déglaciations, lorsque les glaciers, crevassés, chargés d'eau n'adhèrent

que médiocrement sur leur lit rocheux. L'ampleur de l'avalanche puis de la lave torrentielle rend toute défense humaine illusoire. Cependant il est possible de prévoir où se situent les zones dangereuses. Une étude systématique des glaciers les plus exposés à dérocher faite à l'aide de photos aériennes prises annuellement à date fixe, des recherches sur la physique des glaces tropicales, l'établissement d'un réseau de stations météorologiques en haute altitude pour connaître le climat au-dessus de 5 000 m, une cartographie minutieuse de la morphologie des vallées empruntées par ces « aluvions », l'analyse des sédiments fins permettant de mesurer les coefficients de plasticité et de liquidité des argiles devraient permettre la localisation des endroits dangereux. Mais d'autre part peut-on dans une vallée surpeuplée empêcher l'installation humaine dans des zones précises où le rythme des catastrophes serait à l'échelle du siècle ou plus probablement du millénaire