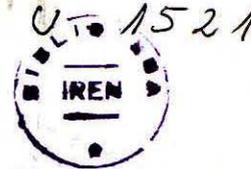


BULLETIN



DE LA

FACULTÉ DES LETTRES

DE STRASBOURG

PARAISANT LE 1^{er} DE CHAQUE MOIS

PUBLICATIONS
DE LA FACULTÉ DES LETTRES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE



AVRIL 1905

U. 1521

TILAS V.

Le Gérant : J. GAULMIER

Travaux de l'Institut d'Études Latino-Américaines

DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

(TILAS, V)

DIRECTION ET ÉDITION

Association des Publications de la Faculté des Lettres
de l'Université de Strasbourg

Adresser toutes les communications relatives à la rédaction à M. le Président de l'Association des Publications, Palais Universitaire, Strasbourg.

Tous les versements de fonds intéressant le **Bulletin**, abonnements, commandes de numéros séparés et autres versements doivent être faits par **Chèque-Postal** adressé au

BULLETIN DE LA FACULTÉ DES LETTRES DE STRASBOURG

Place de l'Université
Strasbourg, Bas-Rhin.

Compte Chèques-Postaux STRASBOURG 832-18

Aucun envoi n'est fait contre remboursement.

EN DÉPOT

CHEZ L'APPARITEUR DE LA FACULTÉ DES LETTRES
PALAIS UNIVERSITAIRE, STRASBOURG

TARIF POUR L'ANNEE 1964-1965

Abonnement : France (pris à la Faculté)	16 F
» France (servi par la poste)	18 F
» Etranger id	19 F
Le N° isolé de l'année en cours France (pris à la Faculté)	4 F
» » (par la poste)	4,50 F
» » Etranger	4,50 F
l'année écoulée France	21 F
» » » Etranger	26 F
Le n° isolé d'une année écoulée France	6 F
» » » Etranger	6,50 F

Extrait du BULLETIN de la FACULTÉ des LETTRES de STRASBOURG
43^e Année, N° 7, Avril 1965, pp. 005-073

I. - GÉOGRAPHIE

GÉOMORPHOLOGIE ET EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN DE SANTIAGO DU CHILI

par J. TRICART, A.-R. HIRSCH et J.-C. GRIESBACH (1)

Le Bassin de Santiago fait partie de ce chapelet de plaines intérieures traditionnellement, mais improprement appelé « Vallée Centrale » du Chili. Il ne s'agit pas, en effet, de vallée, mais de dépressions d'origine tectonique, traversées obliquement ou même perpendiculairement par les cours d'eau. Ces bassins d'effondrement s'alignent le long du contact entre deux unités structurales majeures : le bloc andin, à l'Est, où abondent les formations volcaniques allant du Jurassique à l'Actuel, mais où apparaissent, aussi, des intrusions et des restes de terrains sédimentaires ; la Cordillère Littorale, à l'Ouest, constituée par un bloc de roches granitoïdes.

Le Bassin de Santiago se présente comme une plaine intramontagneuse très uniforme, inclinée de 700 m d'altitude au NE, à 200-300 m au S et au SW, dominée par des montagnes aux flancs raides : Cordillère Littorale moins élevée, culminant à un peu plus de 2 000 m, mais tombant sur la plaine par une muraille très peu échancrée ; Haute Cordillère an-

1. La présente étude expose les résultats obtenus au cours de deux missions de coopération technique dirigées par le Professeur J. TRICART et organisées par le Laboratoire de Géographie Physique du Centre de Géographie Appliquée pour le compte du Ministère des Affaires Étrangères. Ces missions ont été accomplies auprès de l'Institut de Investigaciones Geológicas du Ministère du Fomento chilien. En 1963, une reconnaissance rapide a été effectuée par J. TRICART et M. MICHEL. En 1964, a débuté une étude systématique, appuyée sur une cartographie détaillée au 1/100 000. Le travail sera continué au cours des prochaines années et étendu à l'ensemble du Bassin. Il a été mené en étroite collaboration avec deux hydrogéologues chiliens, Orlando CASTILLO et Hugo HENRIQUEZ. Comme tous leurs collègues de P.L.G., ils ont rendu notre séjour aussi agréable qu'efficace et contribué à nous donner de leur pays un excellent souvenir, celui d'un pays où un travail d'équipe international fécond se réalise dans une atmosphère d'estime mutuelle et d'amitié.

dine, où les volcans dépassent les 6 000 m, barrière de sommets trapus enneigés, mais découpée de profondes vallées débouchant brusquement dans la dépression. Le réseau hydrographique est très dissymétrique. En dehors du Lampa, torrent médiocre encombré de sable, très peu d'eaux viennent de la Cordillère Littorale. Par contre, de très grosses rivières montagnardes, au cours rapide, au lit parsemé de blocs parfois énormes témoignant de crues démesurées, concentrent les eaux des Andes et confluent dans le bassin de Santiago, où elles ont construit des cônes de déjections coalescents. Leur importance croît du Nord au Sud. Le Colina, au Nord, est encore un torrent relativement modeste. Le Mapocho, qui traverse Santiago, est déjà plus vigoureux. Il collecte le Colina et le Lampa avant de venir lécher la bordure occidentale du bassin jusqu'à son confluent dans le Maipo. Celui-ci coupe droit à travers la plaine, en direction de la vallée resserrée qui donne l'exutoire vers le Pacifique. C'est un énorme torrent, aussi gros que le Rhône à l'issue du Valais, vigoureusement incisé dans ses terrasses au sortir du bloc andin, puis divisant ses bras au milieu d'énormes bancs de galets, souvent remaniés lors de crues d'une violence inouïe. Au Sud, quelques rivières locales comparables au Colina sont barrées par le cône du Maipo qu'elles rattrapent tant bien que mal à Paval.

Dans cette région subaride, dont la pluviosité annuelle oscille entre 200 et 400 mm, qui connaît, de surcroît, une forte chaleur estivale associée à une sécheresse intense, une telle plaine, aux eaux courantes abondantes, a fixé les hommes dès les premiers temps de la colonisation espagnole. Ils y trouvaient des conditions somme toute assez parentes de celles de bien des plaines de la Péninsule Ibérique pour y transplanter sans difficulté leurs techniques agraires. Le Bassin de Santiago est ainsi devenu une cellule d'agriculture irriguée, avec un vignoble réputé. Il a aussi fixé la capitale du Chili, une agglomération moderne tentaculaire qui centralise l'administration et le commerce de tout le pays et une très grande partie de ses industries de transformation. Les besoins d'eau sont considérables. L'irrigation permet seule, en effet, d'orienter plus nettement l'agriculture vers les productions de haute valeur auxquelles la grande ville offre un marché, tant pour la consommation que pour l'exportation. Vigne, arbres fruitiers, légumes, fourrages, remplacent de plus en plus la polyculture à base de blé. Or, il leur faut de l'eau, beaucoup d'eau. Sur les terrains non irrigués de la bordure de la plaine, on ne trouve qu'une steppe arbustive clairsemée, vite desséchée au printemps, piquetée d'acacias, un paysage végétal qui ressemble à celui de la Zone Sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, à cette différence près que l'herbe est plus rase. Médiocre pacage que partagent les clôtures de barbelés des immenses haciendas. Mais il faut encore plus d'eau pour alimenter la capitale hypertrophiée, qui, avec ses 2.500.000 habitants, accapare 25 % de la population chilienne. Il faut de l'eau pour les hommes. Il faut de l'eau pour les industries. Beaucoup d'eau.

Jusqu'à présent, l'exploitation de l'eau s'est faite dans l'anarchie du libéralisme incontrôlé. On a eu recours essentiellement aux forages pour alimenter Santiago. Beaucoup d'immeubles, surtout industriels et com-

merciaux, possèdent leur propre puits profond dans la ville. La distribution de ces forages est complètement anarchique. Leur multiplication et l'accroissement des volumes pompés a abouti à une surexploitation consécutive du niveau phréatique, qui a atteint, dans certains cas, un mètre par an. La jeune section d'hydrogéologie de l'I.I.G. a été chargée, dès sa création, de l'étude de ce grave problème et a pu bénéficier du concours d'hydrogéologues de l'U.S. Geological Survey. Un inventaire des puits a été établi. Des piézomètres ont été posés et leur observation menée systématiquement. Des analyses chimiques nombreuses et détaillées ont été effectuées. Les coupes de sondages ont été systématiquement recueillies. Tout un important fichier, portant sur des centaines de puits, a été établi. Deux publications successives permettent de suivre les progrès de cette recherche hydrogéologique. Simultanément, des sondages ont été entrepris pour reconnaître l'extension de la nappe, et, surtout, rechercher des nappes profondes qui pourraient relayer la nappe superficielle. Ils ont été implantés surtout à l'W et au NW de Santiago, comme le sondage de reconnaissance de Puhahuel, profond de 428 m, et arrêté, par suite de l'insuffisance de la machine utilisée, dans un Quaternaire à alternances de couches fluviales, volcaniques et lacustres.

C'est lorsque les recherches en sont arrivées à ce point, en 1963, que les Géologues chiliens ont senti le besoin d'une étude plus systématique, devant aboutir à une vue d'ensemble capable d'orienter le recours aux méthodes coûteuses, comme la prospection géophysique et les sondages profonds. Etant donné la nature détritique du remblaiement du Bassin de Santiago, seule la géomorphologie pouvait remplir ce rôle. En effet, seule une étude géomorphologique précise, fondée sur la combinaison de l'étude des dépôts et de la cartographie détaillée peut permettre de reconstituer l'évolution du bassin, de préciser les phases de remblaiement successives, de détecter les déformations tectoniques qui ont influencé, lors de chacune d'elles, la mise en place des dépôts et d'arriver ainsi à élaborer des hypothèses plus précises sur l'allure en profondeur, des diverses formations, plus ou moins propices à la circulation des eaux souterraines. C'est alors qu'il a été fait appel à la Coopération Technique Française et, par son intermédiaire, au Centre de Géographie Appliquée.

Nos études ont commencé par une reconnaissance générale du bassin, destinée à préparer une cartographie détaillée. Celle-ci a été réalisée déjà pour les environs de Santiago, sur lesquels portent presque toutes les données hydrogéologiques disponibles. Au stade actuel de nos recherches, une confrontation entre ces données et la géomorphologie est donc déjà possible. C'est elle qui fait l'objet du présent article.

I. - DISPOSITION DES UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES

La région étudiée en détail et cartographiée forme une bande transversale prise dans la partie centrale du Bassin, entre le Maipo et le Mapocho. Elle correspond au secteur le mieux connu au point de vue hydrogéologique et pour lequel les coupes de sondages sont les plus nombreuses.

Du point de vue géomorphologique, cette partie du bassin se subdivise en trois bandes orientées N-S.

1. — LE PIED DES ANDES.

Entre le Maipo et le Mapocho, la bordure andine est particulièrement nette et vigoureuse. Elle forme une barrière rectiligne, violemment dis-séquée par des torrents très courts et en pente très forte. Leur longueur n'est que de 3 à 5 km. Leurs têtes griffent, par des bassins de réception abrupts, une ligne de partage des eaux secondaires qui domine la plaine de 2 000 m. Bref, il s'agit d'un talus très disséqué, en grande partie constitué par un massif de grano-diorites mésozoïques. La partie inférieure de ce talus plonge sous des accumulations détritiques quaternaires variées, cônes de déjections principalement, inégalement basculés. Il existe aussi des formations très hétérométriques, à matrice fine, terreuse, plus ou moins consolidée, et gros blocs épars, désignées par les géologues chiliens du nom de *cenuglomerado*. Cônes et *cenuglomerado* sont partiellement découpés en croupes qui montent contre le talus jusqu'à 300-400 m au-dessus de la plaine. Des cônes plus récents, moins inclinés, plus frais, se logent entre les croupes constituées par les accumulations anciennes disséquées. La largeur de la bande formée par ces divers dépôts ne dépasse guère 2 km et est remarquablement constante. Sauf en court secteur, limité à une série de croupes de 1 km seulement de large, la roche en place du bord montagneux n'arrive nulle part directement au contact des accumulations récentes de la plaine. Partout s'interpose cette frange de collines.

Le drainage direct de la bordure montagneuse vers le Bassin est fort peu étendu. A 4 ou 5 km seulement du Bassin, on arrive, en effet, à une ligne de partage des eaux secondaires, d'altitude relativement constante, reliant entre eux des sommets pyramidaux d'allure trapue. A l'E, le drainage est effectuée par des torrents grossièrement parallèles à la bordure du Bassin, qui confluent dans les vallées du Maipo et du Mapocho.

Maipo et Mapocho débouchent au travers de la bordure andine sans l'échancre. Leurs vallées profondément encaissées et en forte pente ont un plafond alluvial, découpé en nombreuses terrasses très nettement étagées au franchissement de l'escarpement. Plus particulièrement sur le Maipo, le nombre de ces terrasses et leur hauteur relative diminue vers l'amont.

Au N du Mapocho, l'allure de la bordure orientale du Bassin se modifie. Le vigoureux talus méridien qui caractérise l'espace compris entre les deux grandes vallées se perd. Au N de Las Condes, une sorte d'amphithéâtre ouvert au Sud se dessine. Il se prolonge vers le Nord par la vallée encaissée et étroite du R. Gualtatas, mais le talus lui-même se fonde dans l'amphithéâtre, toujours ourlé à son pied d'accumulations détritiques. Mais elles montent beaucoup moins haut qu'entre le Mapocho et le Maipo. Une colline de roches volcaniques occupe d'ailleurs le centre de l'amphithéâtre. Une croupe de même nature le ferme, de plus, à demi au SW.

A l'W de Las Condes, un véritable décrochement s'observe dans la

bordure du Bassin, qui est formée, en cet endroit, par un versant montagneux de roches volcaniques grossièrement aligné W-E, à peu près perpendiculairement au grand talus d'entre Mapocho et Maipo. Ici aussi, le drainage est très court, plus court même que celui qui attaque ce dernier, bien que le versant soit sculpté d'échancrements et ne présente pas la même rigidité, mais au contraire, une allure festonnée. Rares sont les torrents de plus de 2 km de long. Autre différence, le pied de ce talus n'est pas ourlé d'accumulations détritiques continues. Celles-ci se cantonnent dans les baies qui l'échancrent et où convergent les torrents rectilignes et courts, dévalant la pente générale. Chacune de ces baies forme ainsi une sorte de petit amphithéâtre au plancher occupé par des cônes coalescents en pente forte, souvent peu distincts les uns des autres, et qui plongent rapidement sous le remblaiement plus horizontal du Bassin. De ce talus plus irrégulier, bien différent d'allure, se détache une longue apophyse aux flancs très raides, qui se termine jusque dans la ville même de Santiago, le Cerro Santa Lucia. Le Mapocho lèche le bord montagneux de la plaine et colle contre le pied oriental du Cerro Santa Lucia qui le bloque comme une digue. Il fait un angle de près de 90° à son extrémité, pour filer vers l'WNW.

2. — LE PIED DE LA CORDILLÈRE LITTORALE.

L'autre bord de la partie centrale du Bassin de Santiago est à la fois plus régulier dans l'ensemble et plus confus dans le détail.

L'allure d'ensemble est celle d'une barrière orientée N-S, que l'on voit fort bien d'avion à haute altitude, ou, quand on monte dans les Andes, de la route de Paríllones. Le bloc granitique, riche en granites porphyroïdes, de la Cordillère Littorale, forme un reste de plateau profondément disséqué montant vers l'Est et se terminant brusquement au-dessus du Bassin par les lambeaux de plateaux perchés à plus de 2 000 m et ou s'accrochent, durant l'hiver, des congères rebelles à la fusion. Il est échancre par des entailles vigoureuses, sortes d'amphithéâtres aux pentes très raides voisines de 40° dans leur partie moyenne, burinées de torrents courts, peu incisés dans leurs parois, qui convergent vers le plancher de ces amphithéâtres. Comme ceux qui sculptent le bord du Bassin au N de Santiago, mais en plus grand, leur plancher est garni de dépôts détritiques en pente forte, qui s'envoient sous les avancées du remblaiement du Bassin, entre les collines. Seule l'alvéole de Lipangue, au Nord, est plus vaste et plus profondément entrée dans le talus sinueux qui limite les roches granitoïdes. Du même coup, les épandages détritiques couvrant son plancher sont plus variés et plus complexes. Ils sont découpés en terrasses qui plongent à l'aval sous les remblaiements plus récents. Ceux-ci forment, aussi, un gros cône surbaissé s'avancant dans la plaine à l'issue de l'alvéole. Le Rio Lampa dessine une ample courbe pour le contourner.

Dans ce secteur, d'ailleurs, disparaît la seconde unité de cette bordure, les massifs de collines volcaniques qui jalonnent le pied du grand escarpement cristallin. Ces collines, très développées au S de Lo Aguirre, forment tantôt des promontoires projetés en avant du grand escarpement,

tantôt des massifs isolés, comme au SE de Lo Aguirre, à la Africana. Des amphithéâtres très nets, de forme semi-circulaire, d'un diamètre de 4 à 5 km, les séparent. Leur plancher est garni de dépôts quaternaires variés, cendres et accumulations alluviales et colluviales diverses. Le Mapocho arrive droit sur le pied de ces collines et vient se bloquer contre la tête des promontoires les plus saillants vers l'Est, ce qui contribue à lui donner un tracé légèrement zigzaguant, bien différent de celui plus rectiligne du Maipo.

Progressivement, vers le S, cette bordure occidentale tourne en direction du SW et se raccorde au versant de la trouée par laquelle le Maipo s'échappe du Bassin de Santiago.

3. — LE BASSIN DE SANTIAGO.

Il constitue la bande centrale de l'ensemble, d'orientation générale méridienne. Cependant, celle-ci compose avec d'autres influences, ce qui donne, finalement, une allure en échelon, bien marquée au droit même de Santiago. En effet, à la latitude du Nord de l'agglomération, il y a simultanément avancée vers l'W de la bordure andine avec les hautes collines de Conchali, et disparition, sur la bordure occidentale, des collines volcaniques, ce qui permet au remblaiement de s'étendre plus loin vers l'W.

Le Bassin est très largement occupé par une plaine monotone, très plane, quoique nettement inclinée, où les courbes de niveaux de la carte au 1/100.000 permettent d'identifier deux cônes de déjections coalescents, l'un, au S, plus vaste et plus bombé, correspondant au Maipo, l'autre, moins étalé et plongeant plus rapidement, issu du Mapocho. La zone de raccordement des deux cônes passe approximativement par la Rinconada, l'aérodrome de Cerrillos et le bord S de l'agglomération. Ces cônes n'apparaissent cependant pas en surface et il faut des carrières pour observer la masse de cailloutis bien émoussés et assez grossiers qui les forme. Ils sont, en effet, masqués par une couche très continue, de quelques mètres d'épaisseur, de matériel cendreuse et terreux qui forme une pellicule continue et fertile sur tout le Bassin.

Au Nord de Pudahuel, l'aspect du fond du Bassin change. Le remblaiement est moins uniforme et moins régulier. Des zones mal drainées apparaissent, par exemple sur la rive gauche du Lampa à son débouché dans la plaine. On a là, la rencontre de 3 cônes différents, entre lesquels les angles morts forment des marécages : celui de l'alvéole de Lipangue, qui a fait dévier le Lampa, celui du Lampa lui-même et celui du R. Colina. Les cônes du Colina et de Lipangue s'affrontent presque. Lorsqu'il a franchi le barrage ainsi constitué le Lampa traverse une courte zone d'épannage à chenaux instables et diffluences.

Le reste du Bassin montre, au milieu des vastes cônes caillouteux recouverts de cendres, deux types de formations différentes qui forment des sortes d'îles plus ou moins isolées :

— Des collines volcaniques, généralement vigoureuses, aux flancs raides burinés de ravins en forte pente et très peu incisés, qui surgissent brus-

quement de la plaine, comme des îles. Elles la dominent de 100 à 200 m. Seuls les Cerros Colorado, Renco et de Chena sont inclus dans la zone des levés. Le contour de ces collines est toujours découpé, avec des séries de rentrants arrondis qui évoquent irrésistiblement l'aspect de cratères d'explosion. Dans ce cas, seulement une partie du cratère serait conservée, le reste étant masqué sous les accumulations détritiques qui enserrant le pied des collines.

— Des nappes de cendres volcaniques, de couleur claire, qui donnent de petits plateaux dominant seulement de quelques mètres le remblaiement généralisé caillouteux à couverture cendreuse. Les deux principaux ensembles se rencontrent à Pudahuel, aux abords immédiats du nouvel aérodrome en construction, et aux Cerrillos, tout près de l'actuel aéroport. Des vallons dissèquent ces plateaux dont l'allure générale est celle de terrasses faiblement disséquées. Des chenaux à remplissage caillouteux serpentent parfois au milieu d'eux et les subdivisent. L'un d'eux est, encore actuellement, parcouru par le Mapocho. D'autres restes de cinérites, moins étendus, se rencontrent le long du Mapocho à la sortie de l'agglomération et collés contre le pied du Cerro de Chena.

Cette brève description fait ressortir la grande extension et l'uniformité des accumulations récentes, faiblement entaillées par le Maipo et le Mapocho, qui constituent les cailloutis recouverts de cinérites. Elles donnent l'impression de constituer le sommet d'une accumulation ennoyant le bassin, sous laquelle plongent les cônes plus anciens des bordures et au travers de laquelle percent des reliefs incomplètement fossilisés, ceux des collines volcaniques. Une telle disposition impliquerait une superposition de couches détritiques sur une grande épaisseur dans le Bassin et donnerait l'espoir de nappes phréatiques profondes. Mais il ne s'agit là que d'une hypothèse, dont la discussion implique des observations plus détaillées.

II. — LE FACIÈS DES MATÉRIAUX DE REMBLAIEMENT ET LEUR ORIGINE

Le remblaiement du Bassin de Santiago est issu principalement des Andes, dont proviennent les trois cours d'eau les plus importants qui y débouchent : Maipo, Mapocho et Colina. Seul le Lampa apporte des eaux venant de la Cordillère Littorale. Les bassins sont d'ailleurs de taille très inégale. Celui du Maipo est environ 4 fois plus étendu que celui du Mapocho et constitué, pour une part, par des montagnes plus élevées, notamment les très hauts sommets de la frontière argentine, portant quelques glaciers et névés. Le Colina a un bassin beaucoup plus petit, moins élevé et, semble-t-il, moins arrosé.

La dissymétrie tectonique du Bassin de Santiago se traduit par une dissymétrie morphogénique, encore plus nette et plus accusée : ce sont les Andes, plus élevées, plus disséquées et dont tout le drainage débouche dans le Bassin, qui ont fourni, de très loin, la plus grande partie du rem-

blaïement qui s'y est accumulé. Les cônes récents du Maipo et du Mapocho viennent butter contre les collines de la bordure occidentale, les apports locaux de la Cordillère Littorale se limitent, sauf au débouché du Lampa, aux épandages qui tapissent le plancher des alvéoles et amphithéâtres qui l'échancrent.

Or, ce matériel andin s'est mis en place dans des conditions particulières : celles de volcans englacés. Il nous faudra donc les préciser. De plus, il s'est également produit des accumulations fluvioglaciales ordinaires, des accumulations volcaniques banales et des apports torrentiels locaux. Nous allons tenter de définir, dans le présent chapitre, les caractéristiques de chacun de ces types de matériaux.

1. - LES APPORTS FLUVIOGLACIAIRES.

Des traces de glaciation importantes apparaissent dans les bassins du Maipo et du Mapocho. Cependant, l'opinion ancienne de J. Brüggén (1950), qui leur attribue les formations de cenuglomerado de la bordure andine du Bassin doit être rejetée. Il s'agit, comme cela a été reconnu récemment, de matériaux volcaniques.

Dans le bassin du Mapocho, des moraines terminales fort nettes ont été repérées en 1963 par J. Tricart en compagnie de R. Börgel, près du Préventorium Marcial Rivera à environ 1 300 m d'altitude. Elles forment un bouchon dans la vallée, qu'entaille le torrent. Celui-ci a incisé d'une trentaine de mètres la roche sous-jacente. D'autres moraines plus récentes et plus fraîches s'observent quelques kilomètres à l'amont et se suivent, plus ou moins discontinues lorsqu'on s'enfonce dans la montagne. Comme nous le verrons par la suite, il y a là les traces de deux glaciations successives. Chacune a été marquée par des pulsations successives, notamment la plus ancienne, dans laquelle des dépôts proglaciaires sont repris en moraine de poussée par une réavancée de la langue. Ces moraines terminales sont à 15 et 20 km seulement du Bassin et, en aval, la vallée, très étroite, n'a pas permis le stockage de volumes importants de matériaux fluvioglaciaux. Les terrasses ne prennent un peu d'ampleur que tout près du débouché dans le Bassin, sur les 3 ou 4 derniers kilomètres en amont de Las Condes. De la sorte, la plus grande part, la presque totalité même, des apports morainiques ont été repris par les eaux de fonte et entraînés jusque dans le Bassin de Santiago au remplaiement duquel ils ont contribué lors des périodes froides du Quaternaire. A Las Condes, des terrasses fluvioglaciales parfaitement nettes s'observent. Leur matériel est grossier, formé de gros galets et de petits blocs, atteignant souvent 50-60 cm, avec peu de matrice, surtout des gravillons et un peu de sable. Le lavage était vigoureux, au moins à certaines époques, lorsque les éruptions volcaniques ne venaient pas perturber le régime glaciaire. Les galets et les blocs sont bien émoussés.

Dans le bassin du Maipo, malgré la largeur plus grande de la vallée, les restes de moraines sont moins aisément observables. Il faut remonter jusqu'à El Volcan pour en trouver d'incontestables, sous la forme d'ailleurs, de moraines latérales gagnant une belle auge, mais largement masquées

sous des éboulis récents, encore vifs. C'est d'ailleurs ce qu'avait noté, peu de temps avant nous, R.F. Flint. Ces moraines sont très fraîches et on ne court guère de risque en les attribuant à la dernière glaciation. Mais celle-ci est probablement descendue un peu plus bas. La vallée, certes est plus large que celle du Mapocho ; la glace, plus étalée, devait y fondre plus aisément. Mais le volume montagneux situé au-dessus de 3 000 m d'altitude : c'est-à-dire au-dessus du niveau probable de la limite des neiges permanentes, est beaucoup plus considérable. L'alimentation en était d'autant plus abondante. Mais nous en sommes réduits aux conjectures, car les seules formations quaternaires visibles en aval de El Volcan sont des terrasses, qui occupent d'ailleurs tout le fond de vallée et descendent au dessous du talweg, qui ne recoupe qu'exceptionnellement la roche en place, là où il se surimpose dans des pointements noyés dans les alluvions. Ces terrasses forment plusieurs niveaux successifs qui montent jusqu'à une cinquantaine de mètres d'altitude relative.

Bien que les traces certaines de glaciation soient à environ 35 km du Bassin, il est certain que le Maipo a apporté beaucoup de matériaux fluvioglaciaux au Quaternaire. Les volumes considérables de débris stockés dans les terrasses de la vallée montagnarde ne l'ont pas empêché d'édifier un cône énorme.

Les Andes sont, en effet, particulièrement favorables à un intense débaillement glaciaire. Région de violente tectonique actuelle, elles présentent des roches très fissurées, souvent broyées, ameuillées sur place par la tectonique. Une fragmentation préalable n'est pas nécessaire. Le matériel est d'avance, prêt à être râclé par le glacier. Dans l'auge en amont d'El Volcan, on rencontre très peu de roches moutonnées, car les noyaux massifs ne sont pas assez étendus. Presque partout, des versants érodants nourrissent d'énormes éboulis que le climat, bien que rendu agressif par les forts contrastes thermiques hivernaux, est bien incapable d'expliquer à lui seul. Les séismes, ébranlant le château de cartes, contribuent d'ailleurs à les accroître. Or, il n'y a aucune raison de croire que les séismes étaient moins fréquents lors des périodes glaciaires que de nos jours. Les glaciers devaient ainsi être très chargés en débris grossiers, râclés sur le fond de leur lit ou précipités à leur surface par les éboulis fonctionnant sur les parois de l'auge dominant la glace. Malgré ce qui a été stocké dans la vallée montagnarde du Maipo, des masses énormes de galets ont été ainsi entraînées dans le Bassin de Santiago par les eaux de fonte et ont permis l'édification de cônes gigantesques, dont les plus récents forment la surface de la plaine. Leur matériel, étudié à Macul et à la Feria par O. Castillo et Divers (1963), montre d'ailleurs la prédominance des roches volcaniques : 50-65 % d'andésite, 15-20 % de brèches volcaniques, 10-25 % de granodiorite, du basalte, des ponces, des diorites suivant les cas. A Las Condes, au débouché du Mapocho, la composition du matériel est un peu différente : 60 % de granodiorite, 30 % d'andésite et de 10 % de basalte.

D'une manière générale, les accumulations fluvioglaciales de ce type sont suffisamment lavées pour être très poreuses et perméables en grand. Elles constituent d'excellents aquifères dans lesquels l'eau circule rapide-

blement qui s'y est accumulé. Les cônes récents du Maipo et du Mapocho viennent butter contre les collines de la bordure occidentale, les apports locaux de la Cordillère Littorale se limitent, sauf au débouché du Lampa, aux épandages qui tapissent le plancher des alvéoles et amphithéâtres qui l'échangent.

Or, ce matériel andin s'est mis en place dans des conditions particulières : celles de volcans englacés. Il nous faudra donc les préciser. De plus, il s'est également produit des accumulations fluvioglaciaires ordinaires, des accumulations volcaniques banales et des apports torrentiels locaux. Nous allons tenter de définir, dans le présent chapitre, les caractéristiques de chacun de ces types de matériaux.

1. — LES APPORTS FLUVIOGLACIAIRES.

Des traces de glaciation importantes apparaissent dans les bassins du Maipo et du Mapocho. Cependant, l'opinion ancienne de J. Brüggén (1950), qui leur attribue les formations de cenuglomerado de la bordure andine du Bassin doit être rejetée. Il s'agit, comme cela a été reconnu récemment, de matériaux volcaniques.

Dans le bassin du Mapocho, des moraines terminales fort nettes ont été repérées en 1963 par J. Tricart en compagnie de R. Börgel, près du Préventorium Marcial Rivera à environ 1 300 m d'altitude. Elles forment un bouchon dans la vallée, qu'entaille le torrent. Celui-ci a incisé d'une trentaine de mètres la roche sous-jacente. D'autres moraines plus récentes et plus fraîches s'observent quelques kilomètres à l'amont et se suivent, plus ou moins discontinues lorsqu'on s'enfonce dans la montagne. Comme nous le verrons par la suite, il y a là les traces de deux glaciations successives. Chacune a été marquée par des pulsations successives, notamment la plus ancienne, dans laquelle des dépôts proglaciaires sont repris en moraine de poussée par une réavancée de la langue. Ces moraines terminales sont à 15 et 20 km seulement du Bassin et, en aval, la vallée, très étroite, n'a pas permis le stockage de volumes importants de matériaux fluvioglaciaires. Les terrasses ne prennent un peu d'ampleur que tout près du débouché dans le Bassin, sur les 3 ou 4 derniers kilomètres en amont de Las Condes. De la sorte, la plus grande part, la presque totalité même, des apports morainiques ont été repris par les eaux de fonte et entraînés jusque dans le Bassin de Santiago au remblaiement duquel ils ont contribué lors des périodes froides du Quaternaire. A las Condes, des terrasses fluvioglaciaires parfaitement nettes s'observent. Leur matériel est grossier, formé de gros galets et de petits blocs, atteignant souvent 50-60 cm, avec peu de matrice, surtout des gravillons et un peu de sable. Le lavage était vigoureux, au moins à certaines époques, lorsque les éruptions volcaniques ne venaient pas perturber le régime glaciaire. Les galets et les blocs sont bien émoussés.

Dans le bassin du Maipo, malgré la largeur plus grande de la vallée, les restes de moraines sont moins aisément observables. Il faut remonter jusqu'à El Volcan pour en trouver d'incontestables, sous la forme d'ailleurs, de moraines latérales gagnant une belle auge, mais largement masquées

sous des éboulis récents, encore vifs. C'est d'ailleurs ce qu'avait noté, peu de temps avant nous, R.F. Flint. Ces moraines sont très fraîches et on ne court guère de risque en les attribuant à la dernière glaciation. Mais celle-ci est probablement descendue un peu plus bas. La vallée, certes est plus large que celle du Mapocho ; la glace, plus étalée, devait y fondre plus aisément. Mais le volume montagneux situé au-dessus de 3 000 m d'altitude : c'est-à-dire au-dessus du niveau probable de la limite des neiges permanentes, est beaucoup plus considérable. L'alimentation en était d'autant plus abondante. Mais nous en sommes réduits aux conjectures, car les seules formations quaternaires visibles en aval de El Volcan sont des terrasses, qui occupent d'ailleurs tout le fond de vallée et descendent au dessous du talweg, qui ne recoupe qu'exceptionnellement la roche en place, là où il se surimpose dans des pointements noyés dans les alluvions. Ces terrasses forment plusieurs niveaux successifs qui montent jusqu'à une cinquantaine de mètres d'altitude relative.

Bien que les traces certaines de glaciation soient à environ 35 km du Bassin, il est certain que le Maipo a apporté beaucoup de matériaux fluvioglaciaires au Quaternaire. Les volumes considérables de débris stockés dans les terrasses de la vallée montagnarde ne l'ont pas empêché d'édifier un cône énorme.

Les Andes sont, en effet, particulièrement favorables à un intense débaillement glaciaire. Région de violente tectonique actuelle, elles présentent des roches très fissurées, souvent broyées, ameublées sur place par la tectonique. Une fragmentation préalable n'est pas nécessaire. Le matériel est d'avance, prêt à être râclé par le glacier. Dans l'auge en amont d'El Volcan, on rencontre très peu de roches moutonnées, car les noyaux massifs ne sont pas assez étendus. Presque partout, des versants érodés nourrissent d'énormes éboulis que le climat, bien que rendu agressif par les forts contrastes thermiques hivernaux, est bien incapable d'expliquer à lui seul. Les séismes, ébranlant le château de cartes, contribuent d'ailleurs à les accroître. Or, il n'y a aucune raison de croire que les séismes étaient moins fréquents lors des périodes glaciaires que de nos jours. Les glaciers devaient ainsi être très chargés en débris grossiers, râclés sur le fond de leur lit ou précipités à leur surface par les éboulis fonctionnant sur les parois de l'auge dominant la glace. Malgré ce qui a été stocké dans la vallée montagnarde du Maipo, des masses énormes de galets ont été ainsi entraînés dans le Bassin de Santiago par les eaux de fonte et ont permis l'édification de cônes gigantesques, dont les plus récents forment la surface de la plaine. Leur matériel, étudié à Macul et à la Feria par O. Castillo et Divers (1963), montre d'ailleurs la prédominance des roches volcaniques : 50-65 % d'andésite, 15-20 % de brèches volcaniques, 10-25 % de granodiorite, du basalte, des ponces, des diorites suivant les cas. A Las Condes, au débouché du Mapocho, la composition du matériel est un peu différente : 60 % de granodiorite, 30 % d'andésite et de 10 % de basalte.

D'une manière générale, les accumulations fluvioglaciaires de ce type sont suffisamment lavées pour être très poreuses et perméables en grand. Elles constituent d'excellents aquifères dans lesquels l'eau circule rapide-

ment, ce qui permet d'obtenir des débits de pompage élevés. Nous les désignerons du nom d'*accumulations fluvioglaciaires climaciques*, pour les différencier des formations dues à des débâcles glacio-volcaniques. Elles se sont mises en place, en effet, dans des conditions de relatif équilibre climatique, lorsque la fusion des glaciers, graduelle, n'était fonction que du bilan glaciaire commandé par le climat. Leur genèse a été lente et progressive, ce qui a justement permis l'entraînement des particules fines, d'où la porosité élevée et leurs qualités hydrogéologiques.

2. — LES ACCUMULATIONS DE DÉBÂCLE GLACIO-VOLCANIQUE.

Mais, dans des montagnes volcaniques, comme le montre, de nos jours l'exemple islandais, l'équilibre glaciaire ne dépend pas seulement du climat. Il est également sous l'influence du volcanisme. Lors des éruptions, les glaces qui couvrent les volcans sont rapidement fondues et libèrent des volumes d'eau qui peuvent brutalement être très importants. Tel est le cas, par exemple, s'il se produit une pluie de cendres brûlantes, qui fait fondre sur une grande surface, une couche de plusieurs centimètres de neige, de névé et de glace lors de sa chute, puis, captant les radiations solaires, permet une fonte plus progressive jusqu'à ce qu'elle soit enfouie sous de nouvelles chutes de neige.

Les éruptions volcaniques lors des périodes froides ont ainsi dû provoquer un certain nombre de débâcles glacio-volcaniques, avec concentration, dans les vallées de masses d'eau énormes balayant tout sur leur chemin et ne s'étalant qu'au débouché dans le Bassin de Santiago. Une telle débâcle survenant à la fin d'une glaciation, lorsque les glaciers, en déséquilibre avec un climat déjà réchauffé n'étaient plus qu'une survivance, a pu mettre brutalement fin à cette glaciation, en supprimant toutes les étapes d'un retrait graduel des glaciers. Le balayage de la vallée par une telle crue catastrophique a pu faire disparaître les moraines terminales antérieures, cédant sous la violence du flot. Il semble bien que ce soit le cas pour la dernière glaciation tant sur le Mapocho que sur le Maipo et, pour ce dernier, aussi de l'avant dernière glaciation. Cela expliquerait d'une part l'absence de moraines terminales et d'autre part la continuité des terrasses dans le fond de la vallée du Maipo.

Il ne s'agit pas là d'une simple hypothèse, des dépôts caractéristiques existent pour appuyer ce point de vue.

— Au débouché dans le Bassin du Maipo, à Las Vizcachas, le sapelement d'une rive concave donne une série de très grandes coupes dans les terrasses (Photo I). Le remblaiement climacique fluvioglaciaire à galets bien émoussés, bien lavés, en lentilles très aplaties, est bien visible sur une trentaine de mètres d'épaisseur et descend en dessous du talweg. A son sommet, il est raviné par une formation différente qui s'est mise en place alors qu'il n'était que très peu entaillé. Celle-ci fossilise une esquisse de méandre et repose sur le cailloutis fluvioglaciaire climacique par un pavage de blocs de plus de 40 cm. Elle atteint 8 m d'épaisseur et se compose d'un matériel fin de graviers et granules de moins de 1 cm mêlé d'hydrocinérites. Sa teinte est café au lait. Quelques traînées de galets ne dépassant pas

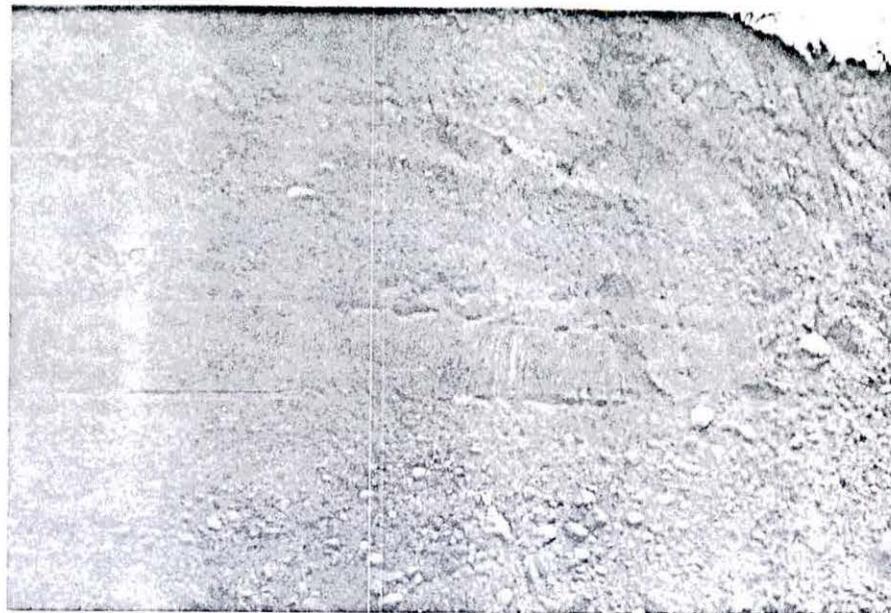


PHOTO I

Coupe dans le méandre de Las Vizcachas — Vallée du Maipo.

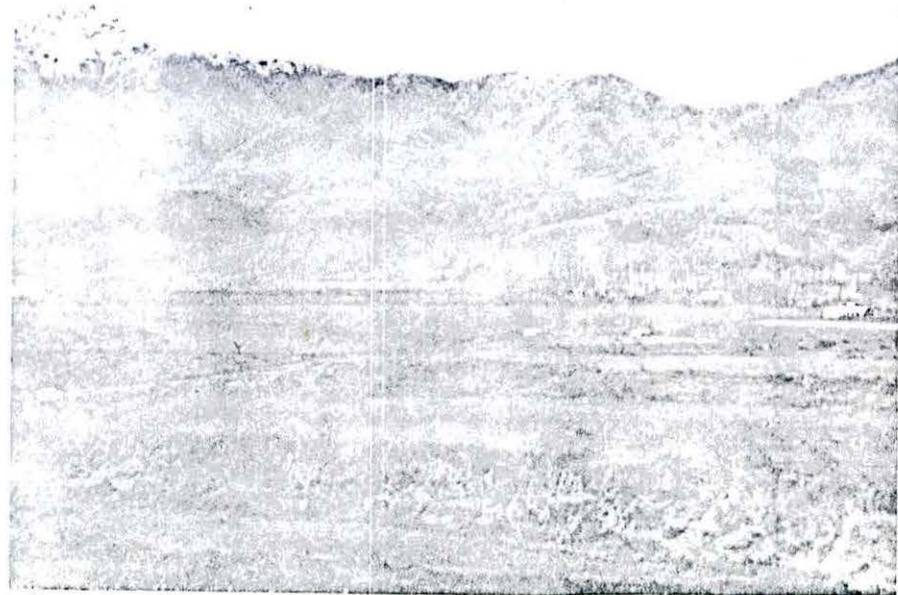


PHOTO II

Terrasses de la rive gauche du Rio Maipo, vues de Las Vizcachas.

10-20 cm, s'observent vers le milieu de son épaisseur. Ils sont remaniés du fluvioglaciaire antérieur. Les graviers et granules sont généralement des débris de cailloux plus gros qui ont été éclatés, comme s'ils avaient été cassés au marteau. L'accumulation s'est mise en place de manière brutale. En dehors des traînées de galets, on n'y observe aucune stratification. Elle a probablement été mise en place lors d'une seule crue catastrophique. L'écoulement qui l'a provoquée n'a pas suivi les méandres esquissés dans le fluvioglaciaire qui venait de se déposer : elle file au contraire tout droit, en les recoupant. Sur la RG, en amont du méandre, son sommet donne une topographie irrégulière d'entaille dans la nappe fluvioglaciaire, comme nous en avons observé lors de ruptures de barrages (catastrophe de Fréjus) ou de digues (environs de Ners, crue du Gard, automne 1958) (Photo II). Cette accumulation de crue violente se suit vers l'aval, où elle continue de couronner les cailloutis fluvioglaciaires et passe à la couverture superficielle de cinérites du Bassin.

-- Les cinérites superficielles du Bassin peuvent s'observer dans les diverses coupes de l'agglomération. De teinte foncée, brunâtre, parfois tirant sur le brun-noir et le brun-gris, elles sont trop compactes pour avoir été mises en place par sédimentation éolienne et entrent dans la catégorie des hydrocinérites. Leurs courbes granulométriques diffèrent de celles des éolocinérites, d'ailleurs. Elles indiquent une accumulation forcée, comme on en trouve sur les cônes de déjections. D'ailleurs, les photographies aériennes permettent de reconnaître, dans ce dépôt, tout un système de chenaux anastomosés finement entrelacés, qui sont entièrement invisibles au sol. Ils indiquent une mise en place brutale, réalisée en une seule fois, par une crue gigantesque qui a entièrement recouvert les cônes fluvioglaciaires climaciques antérieurs. Au contact des collines, on voit le courant se diviser contre l'obstacle qui a été contourné par ses extrémités, puis se réunir de nouveau en aval. Les apports sont venus simultanément du Mapocho et du Maipo et une coalescence s'observe dans la zone de contact des cônes. Mais les apports du Maipo, beaucoup plus abondants, ont recouvert une plus grande surface. On les suit jusqu'au bord S de l'agglomération et ils viennent rencontrer ceux du Mapocho à l'aéroport de Los Cerrillos. Une autre diramation passe entre les lambeaux d'éolocinérites de Los Cerrillos et la colline volcanique du Cerro de Chena. Une autre file au S de celui-ci. A l'W, les diramations ayant filé plus au N se rabattent vers le SW, parallèlement au cours actuel du Mapocho. Les hydrocinérites débouchant par la vallée du Mapocho se sont, elles aussi, étalées d'une seule fois sur tout le cône fluvioglaciaire, filant principalement à travers l'agglomération en direction du SW et passant au N du lambeau d'éolocinérites de Los Cerrillos. L'éventail se complète vers l'W et le NW le long du cours actuel et en direction du C. Renco. Dans l'angle mort abrité par le C. Santa Lucia, une cuvette de décantation, autour de Conchali, présente des faciès plus argileux où les chenaux sont beaucoup moins marqués et même disparaissent. Le R. Lampa dans sa courbe vers le SW, jalonne à peu près l'extrémité de l'accumulation, à la fois plus fine, plus épaisse et à chenaux moins nets. Dans l'extrémité W de l'agglomération, une excellente coupe, à Barrancas, montre une belle sédi-

mentation dégradée, sur environ 2,5 d'épaisseur. La base est plus grossière, surtout formée de sables moyens. Progressivement, le matériau devient plus fin vers le haut et se termine par des limons argileux, utilisés pour faire les briques. La photographie aérienne montre, en filigrane, les chenaux d'épandage habituels dans ce secteur.

Ces observations permettent donc d'affirmer la mise en place brutale des hydrocinérites qui recouvrent le fluvioglaciaire climacique récent. Lors d'une crue catastrophique, toute la surface des cônes a été recouverte par une nappe ruisselante qui s'est largement étalée, se divisant en filets d'eau qui ont contourné les obstacles et abandonné la charge abondante qu'ils entraînaient, en commençant d'abord par les éléments les plus grossiers. A la fin, dans une pellicule d'eau devenue mince et à l'écoulement plus lent, se sont décantés les éléments plus fins. La sédimentation dégradée et le dessin des chenaux exigent les mêmes conditions d'unicité et de brusquerie dans la mise en place. Ces hydrocinérites représentent un seul épisode de dépôt, catastrophique, ayant fonctionné simultanément dans les deux vallées, à peu près au prorata de l'étendue des bassins. A Las Vizcachas, le courant, resserré encore à la sortie de la montagne était trop violent pour que les fractions fines se déposent. Les cendres ne forment que la matrice de granules et de graviers. Dans les régions distales, au contraire, les limons argileux de décantation prédominent, comme à Conchali. Le violent concassage des galets qui ont donné les graviers et granules exige, lui aussi, une explication. Le transport ne saurait la fournir. Quelle que soit sa violence, un transport fluviatile, et, à plus forte raison un transport boueux, est parfaitement incapable de donner un tel résultat. Nous serions enclins à l'attribuer à un thermoclastisme particulièrement violent, dû à la succession d'un échauffement par une pluie de cendres brûlantes et d'un refroidissement par les eaux de fusion glaciaires issues de cette même pluie de cendres.

Cette débâcle glacio-volcanique se place juste après la mise en place des grandes accumulations fluvioglaciaires, alors que le Maipo commençait juste d'y entailler des esquisses de méandres. Depuis lors, le Maipo a vigoureusement entaillé ces cailloutis fluvioglaciaires récents. Il est donc tentant de penser que la pluie de cendres chaudes s'est abattue à la surface de glaciers en plein recul, au Tardiglaciaire et qu'elle a provoqué leur disparition brutale, sous une forme catastrophique. Une fois l'événement terminé, ils n'ont pu se reconstituer que sur des surfaces très diminuées, du genre de celles qu'ils occupent actuellement. La débâcle glacio-volcanique aurait donc mis un terme brutal au recul des glaciers, anéantissant leur survivance, qui caractérise ailleurs le Tardiglaciaire.

3. - LES COULÉES BOUEUSES ET LAVES TORRENTIELLES.

Eruptions volcaniques et séismes ne provoquent pas seulement des débâcles glacio-volcaniques. Ces phénomènes peuvent aussi engendrer d'autres variétés de manifestations catastrophiques. Certaines d'entre elles, contemporaines, ont fait l'objet d'une excellente description de J. Borde (1960). Le 4 septembre 1958, un séisme a provoqué, dans la vallée du

R. Yeso, affluent du Maipo, à 15 km environ en amont du confluent, un éboulement considérable. La cicatrice a 200 m de haut et 500 à 600 m de long. En arrière, un petit lac de barrage, profond de 30 m. long de 500 et large de 200 s'est formé. Surtout au début, une série de débâcles successives s'est produite, faisant baisser son niveau, chaque fois, de quelques décimètres à 1 ou même 2 m. Chacune d'entre elles a déclenché une chasse d'eau qui a remanié le lit en aval et épandu des matériaux ensuite entaillés en une petite terrasse.

Mais il arrive aussi que de semblables barrages soient détremés par les eaux et, se liquéfiant, engendrent des coulées boueuses ou des laves torrentielles. Lors des mêmes séismes de septembre 1958, une coulée de boue issue de la vallée affluente du Yesillo est venue barrer le Maipo qui l'a emportée. La rupture de ce barrage semble avoir engendré une lave torrentielle qui a balayé la vallée et l'a recalibrée sur environ 800 m en aval.

Ces exemples contemporains, pour intéressants qu'ils soient, restent d'une intensité somme toute modeste. Mais ils nous aident à comprendre certaines manifestations quaternaires plus amples.

Dans les coupes des sondages des environs de Santiago, on rencontre souvent des couches hétérométriques composées d'une matrice fine, terreuse, de cailloux et de blocs. Parfois les blocs manquent et l'on n'a que des cailloux dans une matrice fine. De tels faciès sont habituellement désignés sous le terme impropre de conglomérat. Ils apparaissent en affleurement dans les terrasses du Mapocho. Nous les attribuons à l'étalement de laves torrentielles nourries par des glissements de terrain sur les versants très raides des vallées profondément encaissées de la montagne. Des séismes importants, du genre de celui qui a dévasté en 1962 la région de Concepción, sont susceptibles de déclencher des séries de glissements qui transforment les cours d'eau, même importants, en laves torrentielles, voire même en fleuves de boue, plus liquides que les coulées boueuses mais plus chargées encore que les laves torrentielles.

De telles accumulations s'évalent au sortir de la montagne en formant des cônes. Mais, comme, au fur et à mesure qu'elles s'évalent, l'eau s'infiltrant dans le substratum, surtout s'il est constitué par des cônes de cailloutis poreux, la progression du matériel devient de moins en moins facile vers l'aval. L'épandage se fige, en quelque sorte, peu à peu. Le remblaiement diminue donc rapidement d'épaisseur en même temps qu'il s'étale. Chaque crue boueuse catastrophique a pu ainsi accumuler un cône épais au sortir de la montagne, mais dont l'épaisseur diminue d'autant plus vite vers l'aval que le matériel était moins fluide au départ. Au contraire, les crues d'eaux simplement très chargées ont tendance à décanter des matériaux fins sur les extrémités distales des cônes, surtout dans les angles morts. Les couches argilo-limoneuses, qui en résultent, sont moins épaisses, plus homométriques (pas de blocs, peu de galets et de petite taille) et disparaissent vers l'amont des cônes. Elles alternent avec des cailloutis qui sont apportés lorsque le courant est plus violent par exemple à la suite d'un changement de cours. Au contraire, les épandages de laves se logent surtout à la tête des cônes, où ils ont leur maxi-

mum d'épaisseur. La puissance de chacun d'entre eux peut être de plusieurs mètres. Ils s'amincissent vers l'aval et sont habituellement mélangés de matériel grossier, blocs inclus. Souvent, un chenal s'y entaille tant bien que mal lorsque l'écoulement torrentiel ordinaire est rétabli. Les éléments fins sont ainsi lavés et il arrive que, lors d'une crue, ils se décantent à nouveau dans les cuvettes distales et marginales du cône.

Dans un cas comme celui du Mapocho, le Cerro San Cristóbal a joué le rôle de digue et rejeté vers le S et le SW les laves torrentielles. En resserrant l'écoulement il a retardé leur étalement et leur a permis de progresser plus loin. L'axe des épandages de laves du Mapocho se dirige droit vers le SSW et le SW, vers l'aéroport des Cerrillos et San Miguel. Ils n'ont guère pu contourner le Cerro et entrer dans la dépression de Conchali. Par contre les eaux troubles de lavage des laves, au contraire, lorsqu'elles ont pu y pénétrer, y ont trouvé des conditions de décantations idéales.

Parent de ces accumulations, quoique différent d'elles, est le cenuglomerado. Il s'agit d'une formation très hétérométrique, localisée sur la bordure orientale du Bassin, du Maipo au Mapocho. Une matrice fine, mal classée, formée de cendres boueuses consolidées, enveloppe des cailloux et des blocs, dont certains atteignent 3 à 4 m de long. Le matériel est disposé apparemment sans ordre, sans stratifications. Bien que les affleurements soient assez étendus et beaucoup plus vastes qu'on ne le croyait (K. Segerstrom, O. Castillo et E. Falcon, 1964), ils ne donnent jamais un modelé de terrasses, seulement des croupes. Leur épaisseur semble dépasser 200 m au Cerro Apoquindo. Bien que le cenuglomerado soit largement formé de cendres remaniées, il ne doit pas être confondu avec les cinérites, d'aspect et d'âge entièrement différents comme cela a été fait dans l'étude citée ci-dessus. Il semble que le cenuglomerado soit un dépôt de coulées boueuses du type lahar, dont la matrice est en grande partie formée de cendres fraîches qui, lavées par les pluies accompagnant une éruption volcanique importante, ont fourni la pâte des coulées qui ont incorporé les cailloux et les blocs disponibles sur leur passage. Un tel mécanisme exige des pentes raides. De telles pentes existent sur le bord des Andes, où se localise le cenuglomerado. Souvent, les blocs de granodiorite y sont abondants, ce qui indique une origine locale. Le cenuglomerado correspondrait donc à une période pendant laquelle des pluies de cendres importantes se produisaient sur le bord oriental de la Fosse de Santiago, déclenchant des coulées boueuses parfois énormes dans les bassins torrentiels escarpés griffant l'escarpement et sur les versants des vallées du Maipo et du Mapocho, dont les coulées suivaient aussi le cours. Aux Vizcachas et à Apoquindo, des accumulations particulièrement épaisses forment des restes de cônes.

Cenuglomerado, épandages de laves torrentielles et dépôts de décantation de laves ont le même comportement hydrogéologique. Ce sont des formations peu filtrantes, que l'eau traverse très lentement et en petite quantité. Lorsqu'elles s'intercalent dans les cailloutis fluvioglaciaires climaciques, elles cloisonnent les nappes qu'ils contiennent. Dans la partie distale des cônes, du fait de l'inclinaison des couches, elles peuvent former le toit de nappes semi-artésiennes.

4. — LES CINÉRITES.

Il existe, dans le Bassin de Santiago, une série de formations cinériques dues à un volcanisme explosif, sans parler des cendres remaniées qui contribuent à constituer la matrice des coulées boueuses. On peut distinguer, dans les cendres pures, deux faciès, l'un éolien, l'autre aquatique. Les critères sont les suivants :

— Le faciès éolien, les éolocinérites, sont toujours peu compactes, très poreuses. La pointe du canif y pénètre facilement, sauf, bien entendu, dans les encreûtements superficiels qu'on y rencontre parfois. Leur teinte est claire : ocre-jaune pâle, gris-jaunâtre clair. Leurs courbes granulométriques sont du type logarithmique, plus ou moins régulier. Aucun triage ne s'est produit lors de la pluie de cendres qui les a mises en place.

— Le faciès aquatique, les hydrocinérites, sont toujours plus compactes, avec moins de vides. La pénétration de la pointe du canif exige un effort un peu plus grand. L'aspect est plus terreux, la teinte plus foncée, brunâtre, parfois tirant sur le noir, parfois sur le roux. Dans certains cas, des stratifications apparaissent, rarement à la vérité. Les dispositions pelliculaires caractérisent surtout les faciès lacustres, de décantation dans une nappe d'eau calme. Il en a été rencontré, en profondeur, dans le sondage du Pudahuel. Les courbes granulométriques, cependant, montrent toujours un certain triage, même lorsqu'aucune stratification n'est visible. Il est de type fluvialile, soit sigmoïde, soit parabolique.

Ces critères suffisent habituellement pour l'identification des cinérites sur le terrain. Sinon, le contrôle par la granulométrie, au laboratoire, est simple et rapide. Il est d'ailleurs le seul applicable aux échantillons de sondages.

Nous laisserons de côté les hydrocinérites abandonnées par les débâcles glacio-volcaniques, dont il a déjà été question, et consacrerons le reste de ce paragraphe aux seules éolocinérites. Elles forment des affleurements étendus, surtout dans la moitié W du Bassin. Cependant, des lambeaux exigus existent sur des restes de terrasses au débouché du Maipo, rive gauche. Les éolocinérites forment des affleurements dépassant la dizaine de mètres d'épaisseur aux Cerrillos et vers Pudahuel, où la carrière Sihl-Pumex en donne de bonnes coupes.

Dans la carrière Sihl-Pumex, la masse ne présente aucune trace de stratification. Le matériel est très peu compact, avec de nombreux vides irréguliers atteignant souvent jusqu'à 2 ou même 3 mm. Les particules adhèrent légèrement les unes aux autres, ce qui permet de creuser aisément des galeries ou des abris. Mais ces cendres ne sont pas pures. On y rencontre, çà et là, des cailloux épars dans la masse. Ils sont presque toujours fichés verticalement, leur grand axe étant proche de la verticale. Certains atteignent une quinzaine de centimètres. Ils sont rarement isolés et les gros cailloux sont accompagnés, le plus souvent, d'individus plus petits, graviers principalement, qui forment des traînées verticales, en général au-dessus d'eux, en gerbe. Presque tous sont des galets, souvent cassés, arrachés à une nappe alluviale. Dans les autres coupes, ils sont

beaucoup plus abondants que dans cette carrière où ils constituent une gêne, et que l'on a implantée dans un secteur, où, justement, ils sont rares. Dans certaines coupes au pied de collines volcaniques, comme entre Lo Aguirre et Pudahuel, ils peuvent former à peu près la moitié du dépôt en volume.

La disposition de ces galets montre qu'ils sont tombés du ciel, à la manière des étoiles d'un feu d'artifice. La fréquence des éclatements indique qu'ils ont été malmenés. Cependant, à la différence des dépôts de nuées ardentes de Taena, il est exceptionnel qu'on y observe des traces de réchauffement intense. Ils ne sont pas « recuits », les oxydes de fer des minéraux qu'ils contiennent ne sont pas rougis par de hautes températures. Ils ont donc subi, du fait des éruptions, des effets essentiellement mécaniques.

Nous considérons donc que ces éolocinérites ne sont pas des dépôts de nuées ardentes, comme on l'a parfois pensé. Elles ont été mises en place par des pluies de cendres dues à des éruptions de type explosif. Une partie de ces éruptions, dans le Bassin de Santiago, s'est produite dans des régions couvertes de cailloutis alluviaux et des galets ont volé en l'air avec les cendres et se sont déposés avec elles, à la manière de bombes qui tombent. Mais, bien entendu, ces éléments grossiers n'ont pas pu être projetés bien loin. Leur plus ou moins grande abondance serait donc fonction de la distance des centres d'éruption. C'est d'ailleurs ce qui apparaît dans les environs de Pudahuel. Le centre principal d'éruption semble constitué par le massif de hautes collines de la Africana, aux abords du confluent du Lampa et du Mapocho. La coupe de la route de Lo Aguirre montre, en effet, un pied de volcan avec cinérites colluviales et lentilles de galets remaniés interstratifiées. On trouve aussi des lits très riches en ponces et des filons de roches volcaniques.

Les autres centres d'émission ne sont pas directement observables, probablement à cause de l'ennoyage alluvial du Bassin. Tel est le cas, par exemple, des importants affleurements d'éolocinérites des Cerrillos. Il est vrai qu'ils peuvent avoir été fournis par les éruptions du volcan de La Africana. Mais, comme nous l'avons déjà indiqué, les collines volcaniques du Bassin présentent souvent des échancrures en arc de cercle qui évoquent, topographiquement, des segments de cratères d'explosion. Le fond en serait noyé sous les alluvions dont une bonne partie, nous le verrons bientôt, sont postérieures aux éolocinérites. Il est tentant de les interpréter comme tels. Si ces amphithéâtres à versants raides, comme taillés à l'emporte-pièce sont bien des cratères d'effondrement, tous n'ont pas nécessairement émis des cinérites. Il semble cependant que ce soit le cas d'au moins une partie d'entre eux, notamment du C. de Chena, ourlé de cinérites. On rencontre d'ailleurs souvent des cinérites en profondeur. Le sondage de Pudahuel en traverse de nombreuses couches, dont une partie, il est vrai, sont probablement des hydrocinérites.

Les cinérites ne constituent pas de bons aquifères. Elles sont trop fines et se cimentent aisément en un tuf volcanique peu perméable lorsqu'elles sont en profondeur. L'eau peut y circuler, mais lentement. Elles ne peuvent fournir de débits élevés et sont beaucoup moins favorables

que les cailloutis lavés. Au-dessus de ceux-ci, elles peuvent donner un toit relativement peu perméable permettant un semi-artésianisme.

Les très grandes différences de faciès rencontrées dans le Quaternaire du Bassin de Santiago ont donc une grande importance hydrogéologique. Les cailloutis fluvio-glaciaires climaciques sont un matériel de très grande qualité. Ils peuvent contenir des nappes abondantes, autorisent une circulation rapide et sont ainsi aptes à fournir des débits élevés. Ce sont eux que l'on exploite par sondage de profondeur modérée dans l'Agglomération. Par contre, les autres formations sont médiocres ou franchement mauvaises. Les éolocinérites et les hydrocinérites les mieux lavées peuvent donner de petits débits, mais qui ne justifient pas, sauf exception, le recours à des puits profonds qui ne seraient pas rentables. Les laves torrentielles, les dépôts fins de décantation de produits de lavage, les coulées boueuses, y compris le cenuglomerado, sont franchement mauvais. L'eau y circule très lentement et s'y trouve en petites quantités. Pratiquement, aucune exploitation des eaux souterraines n'y est possible.

Etant donné ces différences très accusées, toute étude hydrogéologique du Bassin, et, à plus forte raison toute tentative d'exploitation rationnelle des nappes, doit être précédée d'un effort systématique pour essayer de comprendre la disposition de ces divers faciès. La première étape consistera nécessairement à tenter de reconstituer une succession stratigraphique des diverses formations quaternaires. Elle ne peut être fondée que sur la géomorphologie.

III. — LES ÉTAPES DU REMBLAIEMENT. TENTATIVE DE STRATIGRAPHIE

Le Bassin de Santiago étant un fossé d'effondrement, les formations récentes occupent une très grande surface et recouvrent généralement les dépôts plus anciens dont l'étude est ainsi rendue plus difficilement. Nous partirons donc des formations récentes pour remonter progressivement dans le temps.

Nous commencerons par étudier un certain nombre de secteurs favorables, qui nous permettront d'établir des éléments de succession, puis nous tenterons une synthèse.

1. — SUCCESSION DES ÉTAPES MORPHOGÉNÉTIQUES DANS DES SECTEURS-CLIFS.

Ce sont, bien entendu, les bordures du bassin qui nous offrent quelques secteurs particulièrement intéressants, charnières où les formations anciennes sortent de sous les accumulations récentes et où l'on peut étudier leurs rapports mutuels.

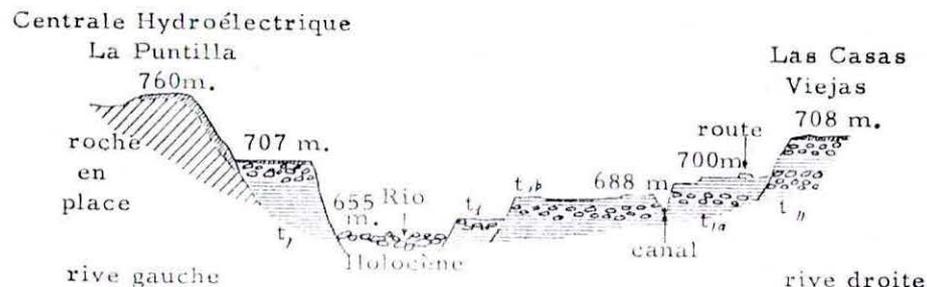
a) *Le débouché du Maipo dans le Bassin.*

Près des Vizcachas, le débouché du Maipo dans le Bassin de Santiago offre une série de terrasses particulièrement instructive. Nous en avons

fait le levé détaillé et y avons établi une série de profils. C'est aux environs même du Fundo las Vizcachas que les terrasses sont les plus nombreuses. Elles se raréfient tant vers l'amont que vers l'aval.

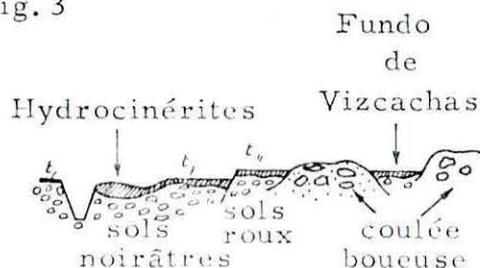
Sur un profil transversal passant par le Fundo las Vizcachas (fig. 2 et 3), la disposition est la suivante :

Fig. 2



— Le Maipo est fortement encaissé et suit un tracé sinueux, passant, à l'amont, à un train de deux vrais méandres. Il possède un lit majeur encombré de gros blocs, qui est façonné lors de débâcles catastrophiques. Il a dû être occupé entièrement par les eaux lors des crues de 1958, lorsque des coulées boueuses ont été emportées. La tendance actuelle est au creusement et les matériaux abandonnés lors de la décrue après les crues catastrophiques sont partiellement repris ensuite. Seuls les gros blocs for-

Fig. 3



ment pavage en attendant une nouvelle chasse d'eau particulièrement violente. Nous désignerons ces formations actuelles par le symbole t_b .

— Les versants, rebords de terrasses, qui dominent le lit majeur sont abrupts partout où s'exerce un sapement, en pente très raide (60-70°) ailleurs. A une trentaine de mètres au-dessus du talweg, apparaît une terrasse, qui présente deux niveaux différents. Nous la désignerons par le symbole t , en distinguant t_a pour le niveau supérieur et t_b pour le niveau inférieur. Les meilleures coupes se trouvent un peu à l'amont,

dans les rives abruptes de méandres. Nous en avons d'ailleurs déjà parlé plus haut. La masse de t , est constituée par des cailloutis bien lavés et émoussés, fluvio-glaciaires climaciques, dont la puissance dépasse 35 m. On peut d'ailleurs y distinguer deux niveaux différents, séparés par un horizon d'altération très net, environ 15 m en dessous du sommet du remblaiement. Il s'agit d'un horizon d'altération phréatique intense, avec enduit d'hydroxyde de fer de teinte rouille sur les galets, une couleur générale jaunâtre de loin. Sur 0,5-0,6 m d'épaisseur, rares sont les galets intacts. Les roches grenues, notamment la granodiorite, sont pourries, les autres débitées en plaquettes. Cet horizon a été tronqué ensuite et recouvert par une nouvelle accumulation de cailloutis semblable à la précédente. Bien qu'il soit discontinu, on peut le suivre sur une centaine de mètres. Il est pratiquement horizontal. Il semble qu'il s'agisse d'une altération dans la zone de battement de la nappe phréatique sous une plaine alluviale. Il correspond, en tous cas, à un chimisme plus intense que celui qui s'est exercé au Postglaciaire et n'a pu se former que pendant une période assez longue de stabilité, pendant laquelle le Maipo s'est maintenu au même niveau, sans s'entailler, car cette altération est très localisée sur le plan vertical. Il est difficile de décider s'il s'agit d'un interstade ou d'un interglaciaire. En tous cas, il correspond à une interruption assez longue dans la mise en place des cailloutis fluvio-glaciaires climaciques. S'il s'agissait d'une altération interglaciaire, comme nous serions enclins à le penser, il jalonnait le fond de vallée entaillée dans les cailloutis du Riss lors de l'interglaciaire Riss-Wurm et serait fossilisé par les cailloutis du Wurm qui forment le sommet de la terrasse. Le Wurm serait alors entièrement emboîté dans le Riss, ce qui ne serait pas étonnant si la puissance respective des deux glaciations a été la même dans cette région que dans l'Hémisphère Nord. Nous verrons d'ailleurs plus loin qu'il semble bien en être ainsi (vallée du Mapocho). Le creusement interglaciaire Riss-Wurm serait alors descendu moins profond, dans ce secteur, que le creusement interglaciaire Mindel-Riss.

Quoiqu'il en soit, les cailloutis reposant sur cet horizon d'altération représentent le Wurm. Il s'agit de la dernière accumulation fluvio-glaciaire climacique. Ils se prolongent vers l'aval et vers l'amont. Vers l'amont, ils donnent une très belle terrasse qui occupe tout le fond de vallée, dans laquelle sont entaillées, entre des talus abrupts, les sinuosités du Maipo. Vers l'aval, t_a domine le grand cône étalé dans le Bassin par un rebord net, d'une dizaine de mètres de haut.

Encastré dans les cailloutis fluvio-glaciaires climaciques de t , on a trouvé les formations de débâcle glacio-volcaniques que nous avons déjà décrites et que nous désignons du symbole t_b . Elles passent latéralement à un niveau de creusement plus irrégulier, façonné dans la masse de t_a . Vers l'amont, t_b se suit, mais en devenant discontinu et en formant des lambeaux de plus en plus exigus, accrochés à des recoins abrités, dans des rives concaves de sinuosités que le Maipo a abandonnés. En effet, le Maipo tend de plus en plus à filer en ligne droite au cours de la période de creusement qui a suivi la mise en place des hydrocinérites t_b . Vers l'aval, par contre, cette formation prend une ampleur croissante et s'épanouit à

la surface du cône fluvio-glaciaire t₁, a. Le creusement intermédiaire entre t₁, a et t₁, b disparaît, en effet, dès que l'on franchit l'escarpement par lequel les Andes tombent sur le Bassin.

— Au-dessus de t₁, a on trouve une nouvelle terrasse, fort nette également, que nous désignerons par le symbole t₂. Elle domine la précédente d'une dizaine de mètres. La ferme du Fundo las Vizcachas est construite à sa surface. Le chemin de fer militaire suit le pied de son rebord. Comme t₁, il s'agit d'une formation complexe. Sur le profil des Vizcachas, sa surface est très irrégulière, avec des blocs de plusieurs m³ pointant au-dessus du sol et des traînées de matériel en relief. Le micro-modélé est exactement celui des épandages brutaux de débâcle dus à des ruptures de digues. Une carrière abandonnée le long du chemin de fer, un peu en amont montre un matériel très hétérométrique, allant des blocs aux limons, avec des galets bien émoussés voisinant avec des fragments subanguleux, qui sont, au moins en partie, de provenance assez lointaine (plus de 10 km). Malheureusement, les stratifications ne peuvent être observées du fait de l'état de la coupe. Il semble que ces dépôts de débâcle couronnent une formation fluvio-glaciaire climacique lavée et plus homométrique, mieux émoussée. C'est elle que nous retrouverions sous l'horizon d'altération fossilisé par t₁, a de la coupe du méandre voisin.

Quoiqu'il en soit t₂, se termine par une accumulation catastrophique de débâcle, probablement glacio-volcanique. Une légère différence cependant. A la fin du Wurm, un léger creusement s'était déjà produit après le dépôt du fluvio-glaciaire climacique lorsque la débâcle de t₁, b s'est produite. Dans le cas de t₂, aucun creusement intermédiaire. Les glaciers commençaient probablement tout juste leur recul lorsque leur liquidation a été brusquement réalisée du fait d'éruptions volcaniques. Le volume de glace fondu par celles-ci aurait donc été plus grand, ce qui rendrait compte de la violence beaucoup plus grande de l'écoulement. Des blocs de 3 et 4 m de long, en effet, ont été charriés dans une vallée qui, localement, mesure 2 km de large, et, en amont, 1 km. Les matériaux de débâcle de la fin de t₂, ennoient quelques buttes, l'une isolée au SW de la ferme, les autres simples croupes s'avancant dans la vallée. Dès que celle-ci se rétrécit à l'amont, à la Puntilla, la terrasse t₂, disparaît. Les écoulements ultérieurs ont été assez puissants pour balayer entièrement son matériel. A l'aval, au delà de la butte de l'autodrome en construction, le sommet de t₂, n'est plus conservé et, dans un couloir entre deux buttes, on rencontre un niveau de creusement recoupant un t₂, qui semble, ici, fluvio-glaciaire climacique. Ce creusement indique, au moins au début de l'interglaciaire Riss-Wurm, un tracé du Maipo dirigé vers le NW, se prolongeant, en ligne droite, en direction de Cerrillos. Mais, très vite, le matériel de t₂, plonge sous le cône t₁.

— Un reste d'une formation plus ancienne, que nous désignerons par le symbole t₃, apparaît sur le même profil. Mais il est bien développé surtout sur la RG où il domine le Maipo de plus de 100 m. Un chemin rural, au-dessus d'une chapelle neuve permet d'observer une assez bonne coupe. Plaqué contre le substratum de granodiorite qui forme un poin-

tement dans le lit du Maipo juste à l'aval du dernier méandre, un épais remblaiement de cailloutis fluvio-glaciaires climaciques bien lavés se suit sur une cinquantaine de mètres de dénivelée. Le matériel est typique, modérément grossier (galets de 10 à 20 cm prédominants), bien usé, disposé en lentilles aplaties. Nous n'y avons noté aucune intercalation de coulées boueuses ou de laves torrentielles, pas plus que de matériel de débâcle. Il constituerait donc, en profondeur, un excellent aquifère, à condition, toutefois, que des coulées boueuses localisées ne se soient pas mises en place dans l'axe de la vallée, dont le matériel a disparu par érosion. Mais la régularité du dépôt observé rend peu probable cette hypothèse.

Ce cailloutis présente des marques importantes d'altération phréatique à des niveaux très variés. On peut donc affirmer que cette altération s'est produite lors d'une longue période pendant laquelle le niveau de la nappe phréatique baissait graduellement sous l'effet d'un creusement progressif. Il s'agirait de l'interglaciaire Mindel-Riss. Ces altérations sont d'ailleurs différentes de celles que nous avons observées sur l'autre rive et attribuées à l'interglaciaire Riss-Wurm. Le manganèse y est beaucoup plus abondant, ce qui donne des enduits noir-brillant violacé sur de nombreux galets, surtout ceux d'andésite. Les galets pourris sont moins fréquents, peut-être parce que le creusement n'a pas permis à l'altération de jouer suffisamment longtemps au même niveau.

A leur sommet, ces cailloutis sont couronnés par des éolocinérites dont la puissance semble être d'une dizaine de mètres. Elles sont reprises sur le rebord de la terrasse par un ruissellement diffus qui s'est exercé lors du creusement t₃,-t₂. Des croûtes calcaro-siliceuses, blanchâtres, feuilletées, résistant à la main, mais se rompant au marteau, plombent les cinérites ruissellées et dateraient, ainsi, de l'entaille t₃,-t₂, , probablement de son début.

Ces lambeaux de t₃, forment un placage étroit mais continu sur la RG là où la vallée s'élargit à l'approche du Bassin. Ils disparaissent à l'amont. Le remblaiement s'élargit à l'aval, mais se termine là où s'arrête le bloc andin. Il semble qu'il s'agisse de la tête, engagée dans la montagne, d'un vaste cône de déjections, comparable à celui de t₁. Les cailloutis, en effet, ennoient le débouché d'une petite vallée affluente, dont les apports devaient être insuffisants pour lui permettre de remblayer à la même vitesse que le Maipo.

Sur la RD, on rencontre quelques lambeaux peu nets de dépôts qui semblent pouvoir se rattacher, surtout du fait de leurs rapports avec les autres formations, à t₃. Mais l'absence de coupes rend cette attribution incertaine. Par contre, des cinérites avec la même croûte sont aisément reconnaissables.

— Enfin, on rencontre encore, aux Vizcachas, une autre formation, plus ancienne. Il s'agit de cenoglomérado, que nous désignerons par le symbole t_{iv}. Il forme, près de la ferme, un modelé de croupes et de buttes partiellement ennoyé par t₃. A l'autodrome en construction, une butte de cenoglomérado typique pointe au milieu des dépôts de débâcle du sommet de t₁. On y rencontre des blocs atteignant 5 m de diamètre.

Les environs des Vizcachas offrent donc une succession particulièrement complète de dépôts quaternaires, dans des conditions où l'étude géomorphologique permet de préciser leurs âges relatifs. Une série de profils transversaux levés en amont et en aval donne quelques éléments complémentaires, surtout pour le creusement postérieur à t_1 .

Dans la vallée étroite aux versants abrupts que le Maipo incise dans t_1 , apparaît un niveau intermédiaire assez constant pour retenir l'attention. On le trouve, avec une largeur de 100 à 300 m, à 1 km environ en amont de Puente Alto et dans les méandres à l'intérieur du bloc andin. La route le traverse de part et d'autre du pont de Puente Alto. Il est constitué par une formation de lave torrentielle ou de lavage de coulée boueuse, qui s'emboîte dans les cailloutis fluvio-glaciaires climaciques. Il rayonne de manière brutale ces cailloutis et résulte d'une crue catastrophique liée à une éruption volcanique. Le matériel qui peut atteindre près de 10 m d'épaisseur, est de couleur café au lait un peu rosâtre. Des cailloux y sont emballés dans une matrice terreuse abondante de cinérites remaniées. Le faciès est celui du « conglomérat ». Au Pont de Puente Alto, ces dépôts de laves torrentielles forment deux niveaux étagés, séparés par une dizaine de mètres. Mais il n'est pas possible de les distinguer avec certitude dans les autres coupes, de sorte que nous les avons groupés sous le même symbole, t_1^1 .

Ces dépôts de laves torrentielles ont interrompu le creusement post-glaciaire et sont donc holocènes.

b) Débouché du Mapocho.

Nous retrouvons dans ce secteur les diverses formations déjà décrites au débouché du Maipo.

Le cenuglomerado forme une énorme accumulation au Cerro Calan, où il a été décrit pour la première fois. Il est ceinturé par des lambeaux nets de $t_{1,2}$, avec des restes de cinérites dans lesquelles on observe, par endroits, des croûtes semblables à celles du Maipo. Les cinérites sont presque partout remaniées, mélangées à des dépôts de pente, ce qui confirme que l'encroûtement a eu lieu surtout lors de ce remaniement. Il est vrai que le remaniement succède très vite au dépôt, ces formations meubles, pulvérulentes, étant très fragiles.

Les altérations s'observent bien mieux qu'au débouché du Maipo. Le chemin de l'Observatoire montre dans le cenuglomerado, un matériel brun-rouge, argileux. Les galets cristallins de moins de 15-30 cm ont entièrement disparu. Ceux qui dépassent cette taille sont entièrement pourris. Seules les andésites ont résisté : elles sont recouvertes d'une patine très foncée. Dans $t_{1,2}$, on ne retrouve pas cette patine, qui existe cependant aux Vizcachas. Mais, dans cette localité, on a une altération phréatique dans une nappe directement alimentée par un grand cours d'eau et où l'eau circulait rapidement, ce qui favorisait le renouvellement d'apports allogènes, qui manquent ici. La teinte de l'altération de $t_{1,2}$, est ocre-rose. De nombreux galets sont altérés, mais quelques cristallins d'une dizaine de centimètres persistent.

On retrouve de beaux lambeaux, fort nets, de $t_{1,2}$, dans la basse vallée

du Mapocho, en face de la confluence de Los Arrayanes, sur la rive droite. Des apports latéraux se mêlent aux apports longitudinaux. La teinte est ocre-rose. Presque tous les galets de roches grenues sont pourris. Cette altération se suit jusque vers 5-6 cm de profondeur. D'autres lambeaux de $t_{1,2}$, s'observent dans l'amphithéâtre de la Dehesa et au débouché de la Q. Gualtatas. Les coupes du canal montrent des galets éclatés, fendus et altérés noyés dans une matrice brun-rouge très argileuse. Vers la tête des cônes locaux, bien entendu, le matériel devient très grossier. Il y a donc eu, lors des périodes de mise en place du matériel fluvio-glaciaire climacique, un accroissement de l'activité des torrents qui ont, simultanément, édifié des cônes grossiers. Cela confirme l'origine climatique de ces accumulations.

Dans la vallée même du Mapocho, aux abords du Sanatorium Marcial Rivera, il est possible de dater deux systèmes morainiques et de les corrélater avec t_1 , et t_2 . Seule l'accumulation glaciaire la plus ancienne forme des moraines terminales. L'autre n'offre que des placages contre les versants, restes de moraines latérales et de moraine de fond. La moraine terminale la plus récente a été entièrement balayée, probablement sous l'effet de débâcles glacio-volcaniques, notamment de celle qui a donné $t_{2,b}$. La terrasse t_1 , remonte d'ailleurs, à l'amont, au delà des moraines terminales de la glaciation plus ancienne, ce qui permet de corréler t_1 et les moraines récentes.

De plus, des formations de pentes périglaciaires, du type éboulis ordonné, au-dessus de 1 300 m d'altitude, viennent s'interstratifier dans les restes de t_1 . La preuve est donc bien faite que t_1 correspond à la dernière période froide et a été nourri, conjointement, par des rapports périglaciaires et des apports fluvio-glaciaires, ceux-ci prédominants. Cette nappe alluviale résulte d'une accumulation lente, commandée par une oscillation climatique. On peut donc l'attribuer, avec beaucoup de vraisemblance, au Wurm.

Ces formations de pente périglaciaires jalonnent un versant qui recoupe la moraine terminale plus ancienne et se continuent plus bas qu'elle. Elles se sont donc mises en place après une période de creusement ayant encaissé le Mapocho dans ces moraines. Cela incite à faire de ces moraines une accumulation rissienne. Un autre argument joue dans le même sens. Tandis que les moraines récentes sont parfaitement fraîches, celles-ci sont faiblement, mais nettement, altérées. Des hydroxydes de fer y ont été mis en marche et donnent des veinules qui soulignent les stratifications dans la moraine de poussée ou les contacts de paquets plus ou moins bien lavés. Une grande proportion des galets cristallins ont subi un commencement d'altération qui les fait se casser facilement au marteau. Certains sont franchement friables. Les galets pourris sont, toutefois, tout à fait exceptionnels. Ce degré d'altération est équivalent à celui que nous avons relevé dans $t_{1,2}$. Cette nappe alluviale n'apparaît d'ailleurs qu'à l'aval des moraines terminales du Sanatorium Marcial Rivera et prend de l'importance dès que la vallée s'élargit, en amont de Las Condes.

Il est donc parfaitement raisonnable d'assimiler t_1 au Wurm et $t_{1,2}$ au Riss. L'identité de faciès de $t_{1,2}$, avec les accumulations fluvio-glaciaires climaciques de ces deux nappes incite à en faire un équivalent du Mindel.

Le cenuglomerado serait alors un épisode du Quaternaire ancien ou du Villafranchien supérieur.

c) *Bordure occidentale du Bassin.*

Le principal problème posé par cette région est celui des cinérites. Or, au débouché du Mapocho comme à celui du Maipo, nous avons trouvé, sur celles-ci, des croûtes blanchâtres feuilletées caractéristiques. Il a été possible d'établir que cet encroûtement se plaçait pendant la période de creusement qui a séparé l'accumulation de t_{III} , de celle de t_{II} , donc, vraisemblablement au Mindel-Riss. C'est là un précieux repère, directement utilisable dans la région occidentale de la Fosse.

En effet, les cinérites de la région de Pudahuel portent habituellement des croûtes semblables. Elles sont associées à une altération superficielle de teinte beige-rosé ou ocre-clair rosé, de 0,15- m d'épaisseur. Cependant, ces altérations et ces croûtes n'apparaissent pas partout. Elles se localisent surtout sur les surfaces peu accidentées, sur les petits plateaux dominant de quelques mètres les remblaiements plus récents, par exemple dans le secteur du nouvel aérodrome. Elles disparaissent sur les flancs des vallons qui les dissèquent, notamment sur les flancs de l'entaille du Mapocho. Cette disposition est très cohérente. Elle montre que ces encroûtements et altérations sont anciens qu'ils jalonnent une ancienne topographie, partiellement disséquée depuis et que, postérieurement à cette dissection, les altérations se sont modifiées et les croûtes ne se sont plus formées. Cela rejoint nos observations précédentes.

Les cinérites des environs de Pudahuel peuvent donc être mises en parallèle avec celles de la couverture de t_{III} , du débouché du Maipo. Elles se seraient donc, comme elles, mises en place au début de l'interglaciaire Mindel-Riss. Les cailloutis fluvio-glaciaires climaciques du Mindel se trouveraient donc en profondeur, en dessous d'elles. Les explosions auraient partiellement affecté cette nappe de cailloutis juste après sa mise en place. Les galets plus ou moins cassés, mais sur lesquels on reconnaît un émoussé poussé, seraient donc des galets fluvio-glaciaires mindéliens. Un certain nombre de sondages, dans l'W et le SW de l'agglomération, près des lambeaux cinéritiques des Cerrillos et du Mapocho, ont d'ailleurs rencontré des cailloutis sous les cinérites.

Les cinérites à croûtes et altérations beige-rosé occupent également des surfaces importantes sur le fond des alvéoles aux abords des collines volcaniques de la Africana., notamment vers Lo Aguirre. Cela confirme l'unité de cet ensemble.

2. - ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION MORPHOGÉNÉTIQUE.

Il est maintenant possible de tenter une synthèse et d'essayer de dégager les grandes lignes de la mise en place de toutes ces formations.

a) *L'Eoquaternaire.*

Il est encore mal connu et nous ne disposons, pour cette période, que de bribes. Deux types de formations antémindéliennes ont été reconnus :

— Le cenuglomerado, qui se limite à la bordure orientale de la Fosse, où il est d'ailleurs très bien représenté, par toute une suite d'affleurements plaqués contre l'escarpement andin, du Maipo au Mapocho.

— Des accumulations alluviales, essentiellement des cônes, qui, au contraire, dominent sur la bordure occidentale. On en rencontre, cependant, un affleurement au N de Lo Cana, près de Macul. L'altération brun-rouge, la matrice argileuse abondante, les galets à patine foncée, dont beaucoup sont éclatés et complètement pourris en surface, sont typiques. Le matériel, à la différence du cenuglomerado, est lité et pas trop grossier. Les plus gros éléments dépassent peu la trentaine de centimètres. Il s'agit d'un cône typique. D'autres cônes, semblables, se rencontrent sur la bordure occidentale de la Fosse, notamment à Lo Aguirre, au S d'El Noviciado, où un matériel très altéré, relativement fin, est surmonté par du t_{III} , qui le recoupe.

Le cenuglomerado n'est donc qu'un faciès de l'Eoquaternaire, strictement limité à la bordure andine. A Lo Cana, près de Macul, il est possible d'établir l'âge relatif du cenuglomerado et des cônes antérieurs à t_{III} . Ce sont les restes du cône qui sont les plus anciens et le cenuglomerado forme une coulée boueuse qui plonge sous t_{III} , mais entaille le cône t_{IV} et en remanie le matériel. Cependant, la similitude des altérations ne permet pas d'attribuer une grande différence d'âge aux deux formations.

Il semble donc qu'au cours de l'Eoquaternaire, on ait eu d'abord une oscillation climatique permettant une activation des torrents et la mise en place de cônes importants. Ensuite, une entaille de ces cônes s'est produite, surtout sur la bordure andine, ce qui a permis leur déblaiement et n'en a laissé subsister que des volumes assez faibles. Au contraire, dans l'alvéole de Lo Aguirre, le cône t_{IV} n'a pas été déblayé. Altéré, il a été recouvert par un cône t_{III} . Au cours de cette entaille, un épisode d'activité volcanique, limité à la bordure andine, s'est traduit par des pluies de cendres qui ont déclenché, sur des reliefs très raides et probablement instables du fait de mouvements tectoniques importants, d'énormes coulées boueuses, qui ont empilé, en certains endroits favorables, comme le Cerro Calan, une épaisseur de 200 m de matériel terreux à blocs parfois énormes. Ces coulées ont puissamment contribué à démanteler les restes de cônes de t_{IV} accrochés au flanc de la montagne, d'où leur rareté.

Il est vraisemblable que ces deux épisodes successifs, celui d'un remblaiement probablement, en partie au moins, climatique, et celui des coulées boueuses du type lahar, ont également affecté le fond de la Fosse. Schématiquement et dans le cas le plus simple, on devrait avoir des cailloutis recouverts de dépôts fins, ces derniers provenant du lavage des coulées. Mais, pour le moment, rien n'est connu avec certitude.

b) *Le Quaternaire ancien (Mindel, t_{III}).*

Les formations immédiatement postérieures au cenuglomerado sont beaucoup plus fréquentes. Elles n'ont pas été démantelées par des coulées boueuses.

Elles se sont mises en place lors de deux épisodes successifs :

— Un premier épisode est d'origine climatique et comporte, lui-même, deux faciès de dépôts : des cônes torrentiels et des terrasses fluvio-glaciaires. Il semble que cela corresponde à deux effets différents d'une même période froide. Dans les grandes vallées andines, des glaciers se sont formés, qui ont apporté jusqu'à faible distance du Bassin, de grandes masses de débris, que leurs eaux de fonte ont ensuite roulés et bien émoussés grâce à leurs débits soutenus et aux variations relativement régulières. Sur le Maipo, ces accumulations fluvio-glaciaires sont très épaisses (probablement 60 m au total). Elles le sont un peu moins sur le Mapocho (40 à 50 m en amont de Lac Condes), quoique encore fort respectables. Cela indique une glaciation d'assez longue durée, sans perturbations graves provoquées par des éruptions volcaniques. Les cônes torrentiels donnent la même impression. Ils sont, eux aussi, fort bien développés et généralement réguliers. Ils indiquent une activité soutenue des torrents locaux qui incisent les deux bordures du Bassin, sans phénomènes vraiment catastrophiques. Comme les remblaiements fluvio-glaciaires, il faut donc chercher leur origine dans une oscillation climatique, et non dans des éruptions volcaniques, des coulées boueuses, des lahars ou des laves torrentielles, dont ils n'ont pas le faciès. L'existence de phénomènes périglaciaires wurmiens à 1 300 m d'altitude au Sanatorium Marcial Rivera permet de penser que les actions périglaciaires ont pu contribuer à l'activation des torrents qui ont édifié les cônes $t_{1,2}$. Crues de fonte des neiges et gélifraction ont été d'autant plus actifs que les roches sont préalablement broyées par la tectonique. D'ailleurs, une surface importante des bassins torrentiels dépasse l'altitude de 1.300 m, souvent les 3/4 pour ceux qui mordent dans l'escarpement andin.

— Le second épisode du remblaiement $t_{1,2}$ est, lui, d'origine volcanique. Il est constitué par les éolocinériles assez largement répandues dans le Bassin et sur sa bordure occidentale.

Comme nous l'avons vu, cet épisode se place alors que la dissection des remblaiements climatiques $t_{1,2}$ était déjà légèrement commencée. On peut donc le dater du début de l'interglaciaire Mindel-Riss. Mais, les accumulations climatiques caillouteuses du Mindel étaient encore presque intactes lorsque les pluies de cendres se sont produites. Le Maipo, dans une vallée encore relativement étroite, n'avait entaillé son remblaiement fluvio-glaciaire que de quelques mètres, une dizaine au grand maximum. Plus loin des talwegs, les cendres se sont déposées à la surface des cailloutis. Il semble que ce soit le cas aux environs de Pudahuel, où elles ont été remaniées par les eaux aussi après leur dépôt. De petits chenaux se sont entaillés de quelques décimètres à leur surface, des reprises par ruissellement diffus se sont produites sur les flancs des micro-reliefs d'accumulation. Sur le flanc des volcans, massif de La Africana et Cerro de Chena, ces remaniements sont plus développés, grâce à des pentes plus fortes. Mais tous sont antérieurs à l'encroûtement, qui, généralement, plombe les remaniements et affecte les matériaux remaniés. Comme dans la formation des croûtes calcaires nord-africaines, il semble que le lessivage oblique

ait joué un rôle ici. La parenté des conditions climatiques aide à comprendre cette analogie. La principale différence est lithologique. Ici, le calcaire est peu abondant, fourni seulement par certains minéraux des roches volcaniques, d'ailleurs relativement acides. C'est pourquoi les encroûtements restent fort modestes et limités aux cendres, matériel meuble et perméable, fin, où la mobilisation des éléments solubles est particulièrement facile et où leur abandon par précipitation sous l'effet de l'évaporation est très aisé. Les croûtes des cinériles fini- $t_{1,2}$ sont ainsi un repère stratigraphique des plus utiles, comme les croûtes nord-africaines.

Ce qu'on observe dans la région de Pudahuel permet de conclure que le Bassin de Santiago était largement recouvert de cailloutis fluvio-glaciaires couronnés par les cinériles qui, après leur dépôt, ont été aplanies par des remaniements mineurs qui ont comblé certaines dépressions et arasé certaines protubérances, bref, régularisé le modelé de dépôt éolien, forcément un peu ondulé.

c) *Le Quaternaire moyen ($t_{1,2}$).*

Le reste de l'interglaciaire Mindel-Riss ne nous a laissé aucun dépôt sur les bordures de la Fosse. Il a été caractérisé essentiellement par une reprise de l'entaille des cours d'eau. Le Maipo a atteint la roche en place sous le puissant remblaiement $t_{1,2}$, et il n'est pas sûr que le talweg se soit enfoncé plus profondément lors de l'interglaciaire Riss-Wurm.

La glaciation Riss est caractérisée par une reprise des accumulations climatiques, fluvio-glaciaires sur le Mapocho et le Maipo, périglaciaires sur les torrents. Des moraines terminales peuvent être datées de l'avant-dernière glaciation dans la vallée du Mapocho, au Sanatorium Marcial Rivera. Lors de cette période, des cônes très volumineux ont été mis en place par le Maipo, au pied de l'escarpement andin, au N de son débouché, par le Mapocho, au contraire, au S de son débouché dans le Bassin, et par tous les torrents locaux. La Q. Gualtatas a accumulé une grande masse de $t_{1,2}$ dans la dépression de la Dehesa. Il en est de même de la Q. San Ramon et des environs de la Hermida, dans la vaste alvéole de Lipangue, à El Noviciado. Partout ces dépôts sont caractéristiques, développés et bien conservés.

La glaciation Riss s'est terminée par un nouveau paroxysme volcanique, qui a engendré, sur le Maipo, une très violente débâcle glacio-volcanique, qui couronne le matériel fluvio-glaciaire.

Après cette débâcle, une nouvelle période d'entaille commence, nette surtout sur la bordure andine. Il semble qu'elle n'ait pas permis au Maipo de s'enfoncer jusqu'à la base de $t_{1,2}$. Ce serait du moins le cas si l'altération observée sous les cailloutis de $t_{1,2}$ de Las Vizcachas date bien de l'interglaciaire Riss-Wurm et non d'un simple interstade de Wurm.

d) *Le Quaternaire supérieur (Wurm et Holocène, t_1 et t_2).*

La parenté avec les périodes précédentes est nette : on a également, au Quaternaire supérieur, la succession d'une accumulation climatique et d'une accumulation volcanique avec les cailloutis t_1 et les cinériles qui les recouvrent. A Las Vizcachas, une légère entaille, esquissant des mé-

andres, avait déjà eu lieu dans le fluvio-glaciaire lorsque l'épandage d'hydrocinérites s'est produit. Mais cette entaille semble avoir été limitée aux seuls abords du talweg, et, peut-être, au seul bloc andin. En effet, dans le Bassin de Santiago, partout les hydrocinérites t, b couronnent les cailloutis fluvio-glaciaires t, a. Si Maipo et Mapocho avaient été fortement encaissés dans les cônes fluvio-glaciaires, les cinérites n'auraient pas pu déborder aussi largement et s'étaler sur toute la plaine.

Enfin, à l'Holocène, Maipo et Mapocho, au débouché de la montagne, ont tendance à recommencer de s'entailler et s'encaissent graduellement. Sur le Maipo, cette incision est interrompue à plusieurs reprises par l'arrivée des coulées boueuses qui occasionnent des remblaiements momentanés. Mais l'encaissement des talwegs reprend ensuite.

Les différentes activités des cours d'eau répondent au schéma classique des terrasses climatiques des moyennes latitudes. Comme dans les autres régions affectées par le froid quaternaire, on a, en gros, remblaiement pendant les périodes froides, par des apports périglaciaires et fluvio-glaciaires, et entaille des cours d'eau pendant les périodes interglaciaires. Simultanément, un chimisme plus intense engendre des altérations plus poussées, d'autant plus vigoureuses qu'elles sont plus anciennes, sans que la différence de durée suffise à tout expliquer. L'importante mise en marche de manganèse au Quaternaire ancien a probablement des raisons paléoclimatiques. De même, la formation des croûtes sur les cinérites du t_{1,1}, implique probablement un climat particulier au début de l'interglaciaire Mindel-Riss, tout comme les rubéfactiones de type feretto de la France méditerranéenne et de l'Italie du Nord. Nous ne pouvons que poser les problèmes : ils méritent d'être étudiés, bien qu'ils aient été complètement négligés jusqu'à présent.

Un point pourra sembler curieux : la régularité des alternances de remblaiements climatiques et d'accumulations volcaniques. Chacune de nos périodes d'accumulation climatique est suivie, plus ou moins immédiatement, par un paroxysme volcanique donnant des dépôts particuliers : formations de lahars du cenuglomerado après le t_{1,1}, éolocinérites surmontant le t_{1,1}, puis débâcle du Maipo juste à la fin du Riss et, enfin, hydrocinérites t, b après le Wurm. Nous pensons que cela n'est pas l'effet du hasard. Dans le cas du Riss et du Wurm, les éruptions survenant au moment où les glaciers avaient amorcé leur recul et n'étaient plus en équilibre avec le climat, ont provoqué leur brutale liquidation. L'ampleur des manifestations glaciovolcaniques en a été accrue, ce qui a facilité la conservation de leurs traces. D'autres manifestations volcaniques se sont produites à l'Holocène. Elles ont engendré les coulées boueuses du Maipo, dont l'importance est loin d'être négligeable. Mais ces coulées se produisant lors d'une période d'entaille des talwegs ont été canalisées dans une gorge étroite, condition peu favorable à leur conservation durable. En effet, il suffira d'un recul, somme toute faible, des parois de la gorge pour que leurs dépôts disparaissent. Des banquettes de 100 ou 200 m de large sont fragiles le long de rivières aussi actives que le Maipo ! Nous ne les observons que parce qu'elles sont toutes récentes. Au contraire, des formations plus largement étalées, comme la débâcle fini-t_{1,1}, ont beau-

coup de chances de laisser des traces durables. Il y a donc une sorte d'illusion d'optique : ce sont les manifestations volcaniques qui se produisent juste avant une phase d'incision des talwegs qui ont le plus de chance d'être repérées après un laps de temps assez long. Mais ces manifestations sont parfois, de plus, amplifiées par un déséquilibre climatique, comme les débâcles glaciovolcaniques de la fin du Riss et du Wurm. Les autres ont davantage de chance de voir leurs traces effacées, surtout dans les régions marginales où l'encaissement des talwegs est intense et où les débris sont facilement évacués.

Mais, si ce sont les oscillations climatiques et les manifestations volcaniques qui ont commandé le rythme de la fourniture des matériaux et leur faciès, ce sont, cependant, les déformations tectoniques qui influent sur leur disposition. Etudions donc maintenant ce point.

IV. — LA TECTONIQUE ET LA DISPOSITION DES FORMATIONS DÉTRITIQUES

C'est surtout sur les bordures que des affleurements variés de formations détritiques d'âges divers permettent d'analyser les déformations tectoniques quaternaires. Ce qui s'est passé simultanément dans le centre de la Fosse est beaucoup plus conjectural et ne peut être reconstitué qu'en pratiquant des interpolations et, même, l'extrapolation. Or, la disposition des diverses formations dans la partie centrale du Bassin présente un intérêt pratique primordial, pour guider l'exploration hydrogéologique.

Nous analyserons donc d'abord la disposition des diverses formations sur chacune des bordures, puis nous examinerons les données relatives au centre du Bassin.

1. — LA BORDURE ANDINE.

C'est, accrochés au flanc du bloc andin entre Maipo et Mapocho que l'on rencontre les formations quaternaires les plus élevées et qui sont aussi les plus anciennes. Une telle disposition, coïncidant à une absence complète de formations anciennes dans la plaine située au pied, est un indice de soulèvement quaternaire. Pour examiner de plus près ce problème, nous grouperons nos observations par secteurs.

a) *Débouché du Maipo.*

Le secteur des Vizcachas, qui nous a servi à établir l'essentiel de la succession morphogénétique quaternaire, fournit également des indices tectoniques intéressants. Le principal est un brutal contraste entre le secteur où la vallée est entaillée dans le Bloc Andin et celui où les accumulations s'épanouissent dans la Plaine.

Dans le Bassin, aux environs de Puente Alto, règne une accumulation alluviale ininterrompue dans l'espace. Tout est occupé par l'immense

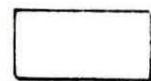
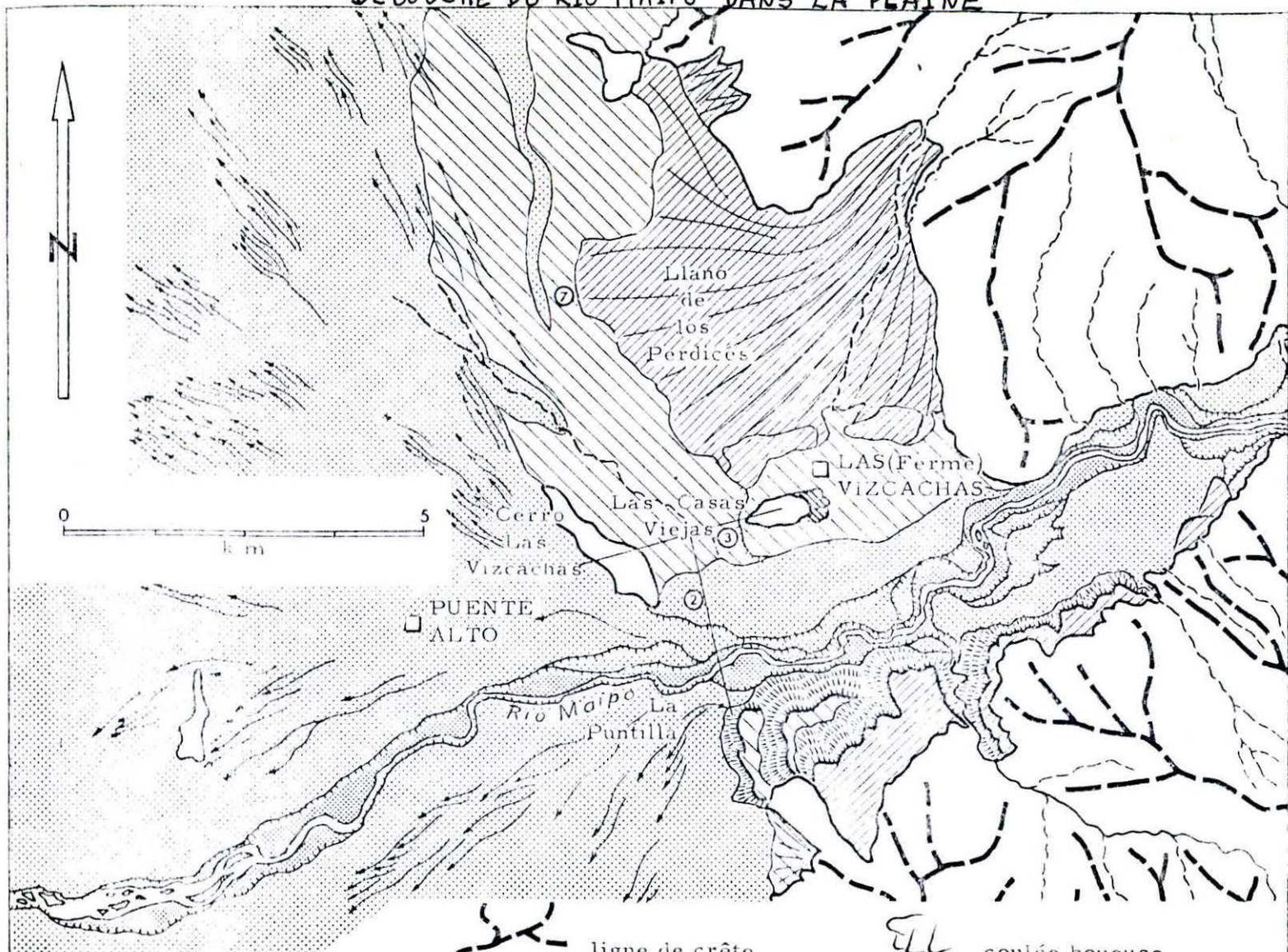
cône wurmien avec couverture d'hydrocinérites finiglaciaires. De ces étendues monotones surgissent seulement des collines volcaniques isolées, incomplètement ennoyées. Aux environs de Puente Alto la situation se modifie déjà quelque peu. A 3-4 km en aval de la ville, le Maipo commence de s'encaisser dans le cône et de petites terrasses intermédiaires apparaissent, comme nous l'avons vu, dans l'étroite entaille où il se loge. Le contraste est grand avec le secteur situé plus à l'aval, en dehors des limites de notre levé, à l'W de la voie ferrée Santiago-Concepcion, où le Maipo édifie un cône actuel à la surface des accumulations wurmiennes. Par contre, vers l'amont, l'entaille de t, se poursuit fort loin.

Le pied de l'escarpement andin apparaît ainsi comme un secteur critique de creusement violent, dont l'entaille libère des matériaux qui s'accumulent dans le Bassin à une quinzaine de kilomètres en aval. Il ne semble pas que ce changement de dynamique soit à mettre au compte des influences morphoclimatiques. Il n'y a aucune raison, en effet, pour que le creusement se termine vers l'aval et fasse place à un remblaiement alors qu'il est vigoureux tout le long d'un secteur étendu de la vallée montagnarde. Les creusements purement climatiques postglaciaires sont habituellement beaucoup moins vigoureux et n'affectent guère des cours d'eau aussi chargés en alluvions que le Maipo : l'importance du cône holocène dans le Bassin témoigne de cette charge ! L'interprétation que suggèrent de tels faits est un gauchissement du cône wurmien, soulevé légèrement en direction du bloc andin. Cela expliquerait à la fois l'importance de l'entaille aux Vizcachas et sa rapide croissance vers l'amont depuis les environs de Puente Alto, ainsi que la multiplication des niveaux intermédiaires dus aux laves torrentielles.

La façon dont se termine le secteur montagnard de la vallée est, elle aussi, significative. Comme le montre la fig. 1, la vallée s'ouvre graduellement vers l'aval entre les montagnes de granodiorite, formant un triangle presque parfait. Des nappes alluviales emboîtées s'y sont mises en place puis conservées en fonction de déplacements latéraux. Les restes de t,,, sont essentiellement sur la RG, ceux de t,, sur la RD. D'importants creusements ont eu lieu lors des interglaciaires. Puis tout cet ensemble se termine brusquement lorsqu'on franchit une ligne droite joignant les derniers affleurements de roche en place de part et d'autre de la vallée. Seul, un petit reste de t,, se rencontre encore protégé derrière la butte qui domine la station de filtrage des Vizcachas. Mais cette butte est volcanique, à la différence du rebord andin, formé de granodiorites. Dans le même secteur, d'ailleurs, t, se déboucle. Le sommet de t, a domine d'une dizaine de mètres celui de t,b dans le débouché de la vallée montagnarde alors qu'à l'W de cette butte, t,b repose sur t,a sans creusement intermédiaire. Le changement de disposition est brutal et coïncide avec le contact montagneux.

On sait depuis longtemps que le contact entre le bloc andin et le Bassin de Santiago est assuré par faille. Les observations que nous venons d'exposer indiquent que cette faille a rejoué pendant le Quaternaire et probablement, jusque dans l'Holocène. L'absence d'affleurements des formations préwurmienne à l'W de la faille ne peut s'expliquer que par affais-

DEBOUCHE DU RIO MAIPO DANS LA PLAINE



roche en place



chenaux



ligne de crête



cône de déjection



cours d'eau permanent



coulée boueuse



rebords de terrasse

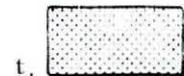


cours d'eau temporaire

Formations alluviales :



t₁



t₂



t₃



t₄



t₅



⑦

tracé de coupe

sement. En effet, le brutal élargissement de la vallée au sortir de la montagne est favorable à une conservation de restes de cônes encadrant le cône récent sur ses flancs. Une telle disposition est d'ailleurs esquissée juste à l'E de la faille bordière, aux Vizcachas, avec le lambeau de $t_{,,}$, de l'usine de traitement des eaux. Tout le Quaternaire pré-wurmien, à l'W de la faille bordière, affaissé, est ennoyé sous le Wurm. Au contraire, à l'E de cette faille, la combinaison des alternances climatiques de remblaiement et de creusement et d'un soulèvement plus ou moins continu, ont engendré la formation de terrasses emboîtées.

Cependant, on peut, en examinant de plus près la disposition de ces terrasses, analyser plus à fond cette tectonique, à la fois dans le temps et dans l'espace.

— Dans le temps, d'abord. Les restes de t_v sont trop exigus pour que l'on puisse en déduire quelque chose. Par contre, $t_{,,}$, qui est bien développé sur la RG, se termine très brusquement au-dessus de la plaine. Il semble particulièrement affecté par la faille. La dénivellation qu'il aurait subie serait de plusieurs centaines de mètres, sans qu'on puisse préciser davantage en l'absence de sondages au pied de l'escarpement. Le rejet de la faille postérieur à $t_{,,}$, dépasserait encore largement la centaine de mètres. En effet, à la Puntilla, la surface de $t_{,,}$, domine le talweg de 50 m environ alors qu'à l'E de la faille, le talweg n'a pas encore atteint $t_{,,}$, malgré la vigoureuse entaille de $t_{,,}$. Quant au rejet tardiglaciaire, il serait d'une dizaine de mètres, dénivellation qui sépare t_{a} et t_{b} sur le bloc soulevé. A l'Holocène, il y aurait eu essentiellement gauchissement avec basculement du cône, au pied du bloc andin, vers l'aval.

— Dans l'espace : la disposition des terrasses n'est pas exactement la même sur les deux rives du Maipo. Au S, leur terminaison au-dessus du Bassin est particulièrement brutale. Les cônes locaux wurmiens plongent brusquement sous celui du Maipo. Il semble que l'on ait une faille unique. Au N du Maipo, les choses sont plus complexes. Le Cerro Vizcachas, volcanique, au pied du front montagneux, en est d'ailleurs un indice. Entre lui et les granodiorites, apparaît un petit compartiment intermédiaire, orienté obliquement, SE-NW, et qui porte une couverture quaternaire abondante et variée. Ces dépôts ne semblent pas avoir fossilisé une dépression due seulement à l'érosion : dans ce cas, on la retrouverait sur la RG, où le matériel est le même. La présence de restes assez importants de cenuglomerado montre qu'elle existait déjà à l'aube du Quaternaire. C'est elle qui a permis l'étalement du grand cône $t_{,,}$, du Llano de las Perdices, avec sa couverture de cendres encroûtées, puis l'étalement de $t_{,,}$, au Fundo las Vizcachas. Les différences de niveau entre les 4 nappes détritiques du Quaternaire, de t_{iv} à $t_{,,}$, sont faibles. Ce bloc constitue donc une sorte de gradin intermédiaire entre le bloc andin et le Bassin. Il est affaissé par rapport au bloc andin, ce qui lui a permis de recevoir une accumulation de piémont abondante. Il est soulevé par rapport au Bassin, ce qui lui a évité l'ennoyage sous les apports récents. Les terrasses y sont modérément emboîtées. Situation exceptionnelle qui a facilité l'établissement de leur succession. Ce bloc oblique par rapport à la faille bordière

semble se terminer au S par une faille W-E suivant à peu près la vallée du Maipo. En effet, la disposition très différente des formations quaternaires au S et au N du fleuve implique un jeu de blocs différents. Mais cette faille, qui a probablement facilité l'installation de la vallée, n'a pas rejoué récemment. Elle semble avoir fonctionné avant le dépôt du conglomérado qui a profité de l'existence du gradin intermédiaire des Vizecachas. Ce gradin intermédiaire, issu d'une tectonique ancienne (Pliocène ou Eoquaternaire) a ensuite été repris par la tectonique quaternaire à failles méridiennes qui modèle la bordure. Il plonge, vers le NW, en direction de la Fosse, probablement dénivélé par la faille bordière. En effet, vers Macul, les formations antérieures à t_1 , disparaissent complètement sous celui-ci.

b) *Entre Macul et Las Condes.*

La disposition de la bordure est plus uniforme. Le front montagneux est très régulier, rectiligne, à peine échancré par de courts torrents en pente très forte, garni à son pied d'accumulations formant une bande étroite, de 2 km de large environ.

La disposition de ces accumulations varie peu. Seuls quelques torrents plus actifs projettent plus loin en avant de la montagne des cônes plus volumineux, comme la Q. San Ramon. D'une manière générale, l'ensemble du Quaternaire est représenté, montant rapidement contre le pied du grand escarpement. Les dépôts les plus anciens atteignent les altitudes les plus élevées et plongent, en direction du Bassin, sous les formations plus récentes.

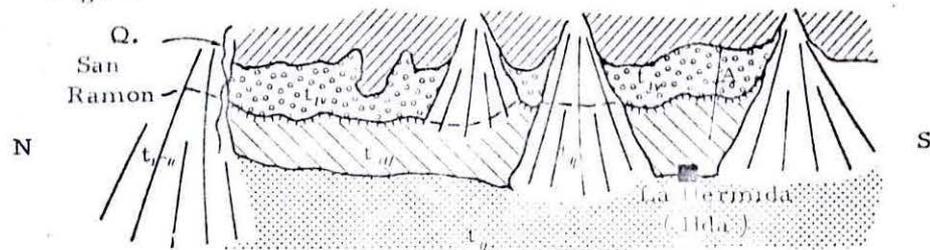
Cette disposition schématique est particulièrement bien réalisée entre l'Hac. la Hermida et la Q. San Ramon (fig. 4). Entre les cônes jalonnant le débouché des divers torrents, les processus de façonnement des versants, très actifs sur le grand escarpement, ont abandonné à son pied une frange continue de colluvions. Les dépôts, à altération caractéristique, de t_{iv} , montent jusqu'à 1 005 m d'altitude. Ils forment une banquette en forte pente, recoupée à son extrémité inférieure par un talus d'érosion, équivalent à un rebord de terrasse. Au pied de ce talus, t_{iii} , se place vers 850 m, partiellement couvert de matériel t_{iv} remanié, étalé au sortir de petits ravins attaquant le talus. Par contre, le contact entre t_{iii} et t_{ii} , est, lui, progressif. Près de l'aérodrome de Tohalaba, il se fait, vers 700 m, par une pente doucement concave, tapissée de cinérites colluviales reprises à la couverture de t_{iii} . A son tour, plus bas encore, t_{ii} , plonge sous t_1 aux abords de l'aérodrome, encore plus graduellement.

Par contre, au débouché des torrents plus importants, des cônes apparaissent. En pente plus forte que les franges colluviales, ils les recoupent et débouchent directement sur le piémont, se raccordant les uns à t_1 , les autres à t_{ii} . Ils interrompent ainsi les bandes successives de dépôts que nous venons de décrire. Au débouché de la montagne, la tête des cônes t_1 , se trouve localement au contact de t_{iv} , au même niveau. Il arrive que le matériel t_1 recouvre même t_{iv} .

Une telle disposition est significative. Elle nous indique que tout le pied de l'escarpement forme, dans ce secteur, une zone de flexure ayant

fonctionné en permanence pendant tout le Quaternaire. Les formations anciennes sont, bien entendu, les plus affectées, davantage soulevées au contact de la montagne, davantage affaissées au bord du Bassin, au total, plus fortement basculées. Graduellement, les divers dépôts successifs montrent une atténuation de ces mouvements car la durée pendant laquelle ils les ont subi est décroissante. Cette allure générale en flexure n'exclut d'ailleurs pas de petites failles subordonnées, entrant dans la déformation générale et l'accentuant localement. Le contact entre t_{iv} et t_{iii} , semble calqué sur une telle petite cassure au bord de la Q. San Ramon (fig. 4).

Fig. 4



- Zone de LA HERMIDA, vue en plan -

c) *Le secteur au N de Santiago (Conchali-Las Condes).*

La direction et l'aspect de la bordure changent. Le matériel aussi. Les formations volcaniques remplacent les granodiorites. Simultanément, les formations quaternaires se raréfient et les vastes accumulations de t_1 , arrivent au contact de la montagne sur de grandes distances. Mais ces changements sont graduels.

Le débouché du Mapocho assure une transition entre le secteur flexuré de la Reina et le contact par ennoyage de Conchali. Au N du Cerro Calan, le Quaternaire ancien disparaît brusquement, probablement en grande partie par érosion. Sur la RG du Mapocho, la terrasse t_{iii} , qui est bien nette en amont de Las Condes se réduit elle-même considérablement. Un peu en aval du confluent de Los Arraynes, elle ne forme plus que des lambeaux discontinus accrochés au pied du versant. La nappe t_{ii} , vient souvent au contact de la roche en place et reprend une partie du matériel de t_{iii} , qui reste reconnaissable par suite de son altération. Ceci nous montre l'importance du démantèlement des formations anciennes par l'érosion, sapement et processus de versants, dans ce secteur de vallée étroite, où les crues catastrophiques s'étalent brusquement au débouché d'une gorge. Par contre, t_{ii} , est largement représenté. Il se raccorde par une pente concave devenant assez forte au pied du versant, à des colluvions et à de petits cônes. Vers le Mapocho, il devient très uni et peu incliné. L'entaille postérieure à t_{ii} , est étroite, ce qui ne permet pas à t_1 de s'individualiser nettement. Il se confond à peu près avec l'Holocène.

Sur la RD, un certain nombre de formations quaternaires sont conservées dans l'amphithéâtre de la Dehesa, dans lequel débouche la Q. Gualtatas. Tandis qu'au débouché du Mapocho les formations t_{III} , à t , ne présentent, entre elles, que des différences d'altitude modérée, ici, elles sont beaucoup plus fortement étagées. Il ne semble pas que cette disposition proviennent d'une pente initiale beaucoup plus forte : les alluvions apportées par la Q. Gualtatas sont bien calibrées et bien roulées, indiquent une accumulation dans les eaux courantes d'un gros torrent et non un cône en pente raide. La plus grande partie de l'amphithéâtre de la Dehesa est tapissé de cônes locaux t , coalescents, qui passent à des entailles dans t_{III} , qui apparaît au-dessus de 850 m. Au t , correspondent essentiellement des chenaux incisés dans la masse de t , et plus ou moins confondus, comme à Los Arraynes, avec l'Holocène. On retrouve un t , très développé le long de la Q. Gualtatas, qui se présente, au Cerro Medio, comme une formation caillouteuse assez grossière, bien calibrée et bien roulée, avec des lits argilo-sableux. Il ennoie les deux collines du barrage du Monastère jusqu'à 850 m, dominé par des restes de t_{III} , accrochés vers 890 m sur leurs flancs. La terrasse t_{III} , bien conservée, à laquelle se raccordent des cônes locaux, se rencontrent à 900 m. Le long du Mapocho, elle n'est qu'à 840 m au droit du confluent de Los Arraynes.

Des déformations modérées semblent avoir affecté cette région. Le fait le plus frappant est la différence d'étagement qui apparaît entre les terrasses du Mapocho et celles de la Q. Gualtatas. Les écarts d'altitude entre les niveaux sont beaucoup plus marquées sur la Q. Gualtatas alors que l'amphithéâtre de la Dehesa laisse une large place à l'étalement des matériaux et que ce torrent est beaucoup moins apte à apporter de grandes masses de débris que le Mapocho, bien alimenté par les glaciers et soumis à des débâcles glacio-volcaniques. La raison d'une telle anomalie semble d'origine tectonique. L'altitude très basse à laquelle on rencontre t_{IV} au Cerro Calan incite à admettre que la RG du Mapocho est affaissée. Cela expliquerait la faible dénivellation entre les sommets de terrasses de Los Arraynes et l'altitude modeste du sommet de t_{III} . La flexure de la Reina se terminerait donc au N par une sorte d'ennoyage progressif aux abords du Mapocho. Par contre, la dépression de la Dehesa, avec ses terrasses plus élevées, aurait suivi un certain soulèvement. Le raccord entre les deux blocs s'effectuerait, le long du Mapocho, par une faille. Le bloc situé au S serait basculé vers le N, ce qui expliquerait pourquoi le Mapocho colle au pied de son versant droit.

Au N du Mapocho, la flexure bordière se prolongerait par un accident méridien assurant le contact du bloc granodioritique andin et des formations volcaniques. Il suivrait à peu près le bord oriental de l'amphithéâtre de la Dehesa, où quelques indices incitent à admettre un gauchissement de cônes t_{III} . La Q. Gualtatas, méridienne et très rectiligne semble profiter d'une zone de broyage, peut-être d'une autre faille. Les collines volcaniques au N de Santiago correspondraient à un compartiment intermédiaire, soulevé par rapport à la Fosse, mais affaissé par rapport au bloc andin. L'affaissement par rapport au bloc andin aurait peut-être surtout joué à l'Eoquaternaire et expliquerait alors l'absence de t_{IV} , ennoyé

sous les accumulations plus récentes. Le soulèvement par rapport à la Fosse et à la RG du Mapocho est postérieur à t_{III} , qui est fortement dénivellé de part et d'autre du Mapocho. Il pourrait s'être poursuivi tardivement, ce qui expliquerait l'anormale étroitesse de l'entaille de t_{III} . La nappe t , du Mapocho ne s'épanouit qu'à l'W du méridien de la Dehesa. C'est là que se trouve la bordure orientale de la Fosse, déterminée par les mouvements tectoniques les plus récents, postérieurs à t_{III} .

A l'W de la Dehesa, les montagnes volcaniques du N de Santiago semblent tomber par flexure sur le Bassin. Elles ont été, de ce fait, fortement ennoyées dans les accumulations récentes. Malgré l'allure sinueuse du contact, peu de formations antérieures à t , sont conservées. Ce sont surtout des cônes locaux t , que l'on observe, par exemple à Lo Curro et à Manquehue (E de l'apophyse du Cerro Santa Lucia) et à Conchali et à Huechuraba (W de ce Cerro). Les cônes t , plongent sous le t , du Mapocho et sont faiblement incisés. Ils se terminent rapidement contre les formations de pentes du pied de la montagne. Ce n'est que près de l'Hac. Conchali que l'on a trouvé un reste de cône t_{III} , vers 900 m d'altitude. Bien qu'il ait probablement eu une pente originelle assez forte, une telle altitude implique un gauchissement. On aurait donc bien un contact par flexure, avec ennoyage par les formations du Bassin, ce qui expliquerait à la fois les sinuosités de détail du pied de la montagne et la brutalité générale de ce contact.

Le caractère général de cette bordure orientale du Bassin est donc sa brusquerie. Elle juxtapose un bloc montagneux au soulèvement particulièrement vigoureux et un fossé fortement affaissé. La transition, qu'elle soit réalisée par flexure ou par une série de failles, est extrêmement rapide. De telles conditions ont été favorables à un abandon extrêmement brutal des matériaux abondamment fournis par les Andes.

2. - LA BORDURE OCCIDENTALE DU BASSIN.

Son allure topographique, nous l'avons vu, est toute autre. Comparativement à la bordure orientale, elle est très festonnée. Cependant, ses caractères ne sont pas uniformes et, ici aussi, nous distinguerons des secteurs.

a) Au N du Noviciado.

Dans ce secteur, le front montagneux est rectiligne et net dans son allure générale. Il est cependant échancré de larges alvéoles, dont la plus vaste est celle de Lipangue. Mais elles forment seulement des rentrants qui n'altèrent pas l'allure rectiligne du front montagneux dans les espaces intermédiaires. A partir de la vallée du Lampa, à la limite de nos levés, la direction de la bordure montagneuse se modifie. Notre étude couvre donc la totalité de cette unité.

Une seconde caractéristique de ce secteur est la brutalité du contact entre la montagne et le Bassin. Les formations détritiques de ce dernier, au relief très peu marqué, viennent butter contre le versant de roche en place qui se dégage rapidement de leur remblaiement. La même dispo-

sition s'observe dans la basse vallée du Lampa. Elle est occupée par une nappe de t_1 , qui vient jusqu'au pied des versants, sans aucun reste de formations plus anciennes, et dans laquelle s'emboîte, en contre-bas de quelques mètres seulement, le lit majeur actuel, encombré de sables grossiers fournis par la désagrégation granulaire des granites et porphyres de la Cordillère Littorale. Cette faible entaille disparaît d'ailleurs rapidement vers l'aval et fait place à des épandages actuels remaniant le sommet de t_1 , et se mélangeant avec lui.

C'est dans l'alvéole de Lipangue qu'il faut aller pour rencontrer des formations plus anciennes. La nappe limono-sableuse de t_1 , remonte en

- ALVEOLE DE LIPANGUE -

Fig. 5 : coupe longitudinale

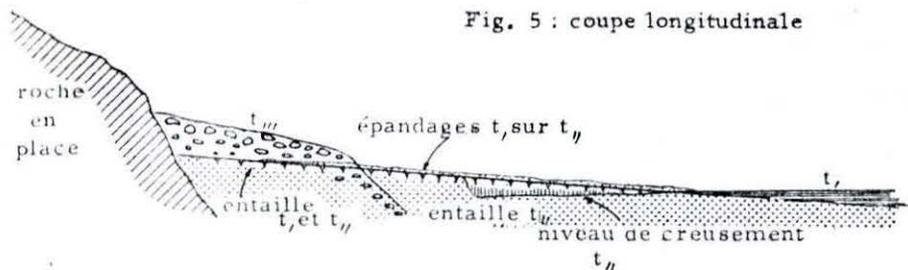


Fig. 5a : coupe transversale



pente douce, depuis le Bassin, où elle se fond dans les alluvions du Lampa, jusqu'aux abords de la route Lampa-Cerrillos. Ensuite, la disposition des nappes détritiques se fait plus complexe. La pente longitudinale du remblaiement devient un peu plus forte, quoique le profil reste rectiligne (fig. 5 et 5a). Cela correspond à l'apparition de t_2 , qui sort de dessous t_1 . Mais on observe, dans ce t_2 , des entailles fossilisées par du t_1 . Ce dernier forme, d'ailleurs, sur de grandes étendues, une pellicule à la surface de t_2 . Près du fond de l'alvéole, surtout côté NW, une série de petits torrents affluents dissèquent un reste de t_2 , en pente plus forte, qui plonge, à son tour, sous t_2 . Le contact de t_2 , et du t_2 , retouché au t_1 , est d'ailleurs plus brutal et marqué par un petit talus de quelques mètres de haut. Le matériel de t_2 , comporte des galets de 4 à 6 cm, fragmentés et altérés

comme d'habitude. L'entaille des lits actuels dans l'accumulation t_2 , n'est que de 1,5-2 m et prend la forme de méandres. Vers l'amont, dans les Q. Manzano et Carrizo, l'ampleur de la dénivellation entre t_2 , et les cônes t_1 , qui, ici, ne sont plus retouchés par t_2 , devient plus importante. Elle atteint une vingtaine de mètres vers la cote 660.

Une telle disposition indique que le pied de l'escarpement est une zone d'envoyage, dont l'affaissement va jusqu'au pied de la montagne et s'est continué pendant tout le Quaternaire, jusqu'à l'époque actuelle incluse. Les formations plus anciennes plongent sous les dépôts récents. L'apparition, dans la partie amont de l'alvéole de Lipangue, de terrasses étagées, et de plus en plus, vers l'amont, permet de déceler un basculement, probablement par flexure. On aurait donc un contact par faille au pied de l'escarpement et, sur le compartiment soulevé, un bloc basculé en flexure, mais beaucoup moins gauchi que la flexure de la Reina sur la bordure orientale de la Fosse.

Cette flexure s'accroît vers le S, relayant probablement la faille, qui disparaît aux abords du Noviciado. En effet, dans l'alvéole du Noviciado, plus petite que celle de Lipangue, le recoupement des terrasses est beaucoup plus marqué, ce qui implique un fort gauchissement. Les conditions diffèrent peu de celles de la flexure de La Reina.

Au bord du Bassin, nous retrouvons la nappe très unie et faiblement inclinée des matériaux fins de t_1 , apportés par le Lampa. Une nappe t_2 , se dégage rapidement de dessous d'elle, formée par des cônes coalescents en forte pente, aux environs de 490 m d'altitude. A son tour, t_2 , apparaît vers 585 m, plus incliné que t_2 , et plongeant sous lui.

Notons d'ailleurs que ce changement d'allure de la bordure occidentale coïncide avec l'apparition de l'accident W-E qui limite au S le massif volcanique dominant Santiago et avec celle des nappes cinéritiques de Pudahuel. Ces coïncidences indiquent un quadrillage d'accidents.

b) Au S du parallèle de Pudahuel.

La bordure est ici topographiquement confuse avec de grands amphithéâtres largement ouverts alternant avec des massifs de collines ou des promontoires et l'intercalation de masses de roches volcaniques entre les granites de la Cordillère et le Bassin.

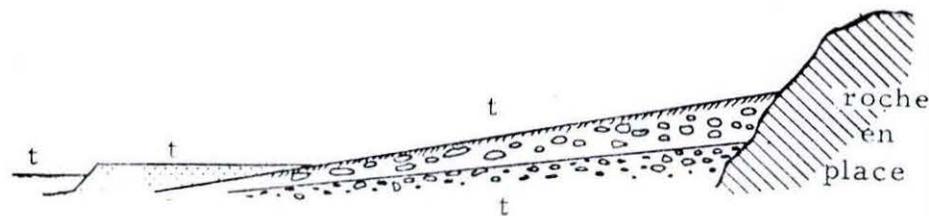
La plus septentrionale de ces larges alvéoles, celle de Lo Aguirre, présente un fond très plan, fermé à l'E par un alignement de croupes cinéritiques. Il est occupé par un remblaiement constitué essentiellement par les cendres de t_2 , remaniées et étalées par ruissellement, mais plombées par la croûte typique. Elles recouvrent une formation plus ancienne, préablement altérée, avec argiles rouge-brun très foncé, comportant moins de galets, d'ailleurs en très mauvais état. Nous l'avons attribuée à t_2 , dont elle a les altérations caractéristiques. Le contact entre les deux se fait vers la cote 500. La couverture de t_2 , s'épaissit graduellement vers le pied des versants et s'amincit vers la sortie de l'alvéole. Dans cette direction, elle plonge, de plus, sous une nappe peu étendue de t_1 , à 470 m d'altitude (fig. 6). Ce t_1 , est formé de cendres remaniées mêlées de quelques galets relativement frais, le tout de teinte rosâtre. Des chenaux très larges,

en pente faible, très peu entaillés dans t_{iv} , correspondent à $t_{i,}$. Le contraste est donc très marqué avec l'alvéole du Noviciado. Il revêt deux aspects :

— La large conservation des formations anciennes, avec empilement de $t_{i,}$ sur t_{iv} qui dénote une faiblesse de la dissection qui ne peut pas s'expliquer par le fragile barrage de cinérites fermant l'alvéole.

— La très faible pente des diverses formations, qui a permis leur conservation et qui se traduit par un recoupement très graduel. Là où il disparaît sous $t_{i,}$, l'épandage de $t_{i,}$ n'a que 1-2 m d'épaisseur ! Le niveau du sommet de $t_{i,}$ diffère peu de celui de t_{iv} .

Fig. 6



-. LO AGUIRRE, coupe longitudinale .-

Nous sommes donc ici encore sur un compartiment intermédiaire, qui n'a pas été solidaire du soulèvement de la Cordillère. La flexure d'El Noviciado se termine plus au N et n'affecte pas l'alvéole de Lo Aguirre. Celle-ci est restée, pendant tout le Quaternaire, à un niveau peu différent de celui de la surface de la plaine. De la sorte, jamais elle n'a joué le rôle de trappe à sédiments et l'accumulation y a toujours été faible. Mais jamais, non plus, elle n'a été suffisamment élevée au-dessus du niveau de base local constitué par le sommet du remblaiement dans la plaine pour être vraiment disséquée. Elle coïncide avec une sorte de niveau neutre.

C'est ce qui a permis à l'alvéole de Lo Aguirre de communiquer avec celle de la Rinconada de Cerda, qui est plus au S, par un col à la cote 460. Étroit, il est entièrement tapissé de $t_{i,}$, et a été emprunté par un ancien cours du Lampa. Un sondage y a traversé un remblaiement détrito-volcanique sur 59,5 m composé de sables, de graviers, de petits blocs, de ponces noyées dans les argiles. Au-dessous de 30 m de profondeur, on relève 3 intercalations de sables volcaniques, de ponces et de cendres correspondant probablement à des éruptions. Ce remblaiement appartient à $t_{i,}$ et t_{iv} et, peut-être, dans sa partie inférieure, aux formations volcaniques du bord du massif de la Africana.

Dans la Q. de la Plata règnent des conditions parentes de celles de l'alvéole de Lo Aguirre. Une nappe de $t_{i,}$ en pente faible est largement étalée et recouvre une formation de $t_{i,}$ avec cinérites remaniées encroûtées, qui apparaît, dans le canal, à une profondeur de seulement 1-1,5 m. La nappe de $t_{i,}$ formée de matériel fin s'épaissit faiblement vers la tête des cônes

coalescents mais n'atteint encore là que 3 à 4 m d'épaisseur. Dessous, $t_{i,}$, montre des galets cristallins entièrement pourris dans une matrice argileuse rougeâtre. Postérieurement, on n'a eu qu'une très légère entaille de chenaux $t_{i,}$. L'alvéole de la Rinconada appartient donc au même compartiment tectonique que celle de Lo Aguirre.

Par contre, plus au Sud encore, l'alvéole de la Esperanza a été un peu plus affectée par les alternances de creusement et de remblaiement quaternaires. Le fond en est occupé par un vaste remblaiement fin, formé de cinérites remaniées $t_{i,b}$ argileuses, portant des sols hydromorphes. Sur le bord, contre le versant Nord, dans les coupes de la route allant du pont d'El Trebal à Patahuilla, on trouve les restes d'une terrasse fluviale $t_{i,}$, due au Maipo probablement. Elle est recoupée par des cônes locaux $t_{i,}$, qui plongent sous $t_{i,}$. Il semblerait donc que cette alvéole ait été légèrement affaissée jusqu'au $t_{i,}$, puis se soit faiblement soulevée depuis.

Toute cette bordure occidentale montre donc une descente plus graduelle que la bordure orientale. Ce n'est qu'aux abords du débouché du Lampa que la fosse arrive au contact des roches cristallines de la Cordillère et butte contre elles par faille. Ailleurs, des flexures et des failles ménagent des gradins intermédiaires qui donnent l'ensemble de collines et alvéoles allant de El Noviciado à la Esperanza. Les mouvements ont été tels que ce compartiment a été maintenu, pendant tout le Quaternaire, à un niveau peu différent de celui de la surface de la plaine dont l'affaissement était compensé par une forte accumulation. Mais cette constance d'altitude relative ne doit pas tromper et inciter à penser qu'il s'agit d'un compartiment stable. Il s'agit d'une simple coïncidence d'altitude relative.

3. - LE CENTRE DU FOSSÉ.

Les linéaments tectoniques repérés sur les bords du Bassin nous montrent que la Fosse de Santiago est complexe. L'uniformité relative de grands cônes alluviaux, qui apparaissent seuls en surface sur de vastes étendues, masque probablement des différences locales considérables en profondeur, commandées par des jeux de blocs qui prolongent les accidents des bordures. Ce sont eux qu'il s'agit maintenant de reconnaître.

a) Affleurements préwurmien.

Trois groupes importants d'affleurements préwurmien apparaissent dans la moitié occidentale de la partie du Bassin cartographiée :

— Les lambeaux de terrasses cinéritiques de Pudahuel et de Cerrillos, qui dominent le sommet de $t_{i,}$ d'une dizaine de mètres. Les éolocinérites ont été aplanées superficiellement par des effets de balayage par des crues antérieurement à la formation de la croûte. Elles ont été ensuite disséquées par un système de vallons. Enfin, au Wurm, l'extrémité distale des cônes est venue se loger dans ces entailles et les a largement fossilisées. La dénivellation entre l'aplanissement tronquant les cinérites et la surface du Wurm voisin est d'une dizaine de mètres à Pudahuel, 4 à 5 seulement au bord oriental des Cerrillos. Dans ce dernier secteur, à El Alto, au point culminant de la route, s'observe, sur les cendres encroûtées, fer-

ruginisées et brunies, un lambeau de cailloutis avec quelques cinérites remaniées, peu grossier, légèrement altéré et portant un sol gris. Matériel, position géomorphologique et stratigraphie en font un reste de $t_{,,}$. Non loin, le bord de la terrasse cinéritique est entaillé par une ancienne rive concave de méandre. A Lo Espejo, au S de l'aérodrome, comme dans divers secteurs de Pudahuel, le talus de la terrasse cinéritique a été adouci par le ruissellement et les cinérites colluvionnées donnent un raccorde-ment concave avec le sommet du cône voisin. Localement, à El Aparato, la couverture d'hydrocinérites finiglaciaires manque et le cône wurmien apparaît directement en surface, constitué par un cailloutis à éléments de 15-30 cm. Il s'agit seulement d'un phénomène local d'abri : le brutal épandage d'hydrocinérites n'a pu pénétrer dans ce recoin. Nouvelle preuve, d'ailleurs, de la violence catastrophique de la mise en place de ce matériel.

— Le pied de la butte du Cerro de Chena, à la différence des autres pitons volcaniques surgissant de la plaine, est jalonné par des affleurements de cinérites presque continus. Ils ne s'interrompent que localement, au N, sur une pente plus raide. Il s'agit partout de matériel colluvial, avec stratifications parallèles à la surface du substratum, plombé par une croûte épaisse, dure et continue, qui a permis leur conservation. Un tel matériel indique que le pied des versants fossilisé sous les cailloutis t , n'est pas loin. En effet, nous avons souvent eu l'occasion d'observer le remaniement des éolocinérites sous les climats arides ou subarides du Sud du Pérou. Les cendres sont rapidement nettoyés par le ruissellement et concentrées dans les talwegs, puis les talwegs, à leur tour, sont exhumés et les cendres ne persistent alors plus que sur les pieds de versants et les cônes de déjections en pente plus douce. Il faut donc admettre que l'épaisseur des alluvions t , et $t_{,,}$, au pied du C. de Chena n'est pas très grande, quelques dizaines de mètres tout au plus.

La région à l'W de Santiago, depuis les affleurements cinéritiques de Pudahuel jusqu'au Cerro de Chena doit donc être considérée comme un bloc médiocrement affaissé, un autre bloc intermédiaire, analogue à celui de Lo Aguirre-La Rinconada, mais, cependant, plus affaissé. En effet, l'ennoyage par les formations postérieures à $t_{,,}$, y est modéré. C'est pourquoi on peut observer une frange de cinérites colluviales au pied du C. de Chena et des remplissages de chenaux entre les lambeaux de la terrasse cinéritique Pudahuel-Los Cerrillos. Cet état de choses se continue jusque dans la partie occidentale de l'Agglomération, avec le petit lambeau cinéritique qui persiste le long du Mapocho au N de Quinta Normal. Les cônes fluvio-glaciaires de $t_{,,}$ et de t , se limitent, dans ce secteur, à des digitations morcelant les restes de la terrasse cinéritique finimindélienne. Au moins à El Alto, le Riss se trouve légèrement en contre-haut par rapport au Wurm, ce qui indique l'absence d'affaissement pendant la période postrissienne. Ailleurs, toutefois, cette disposition n'a pas été observée. De toutes manières, nous sommes ici dans le secteur distal des cônes issus des Andes où les alluvions n'ont pénétré que dans la mesure où elles ne s'étaient pas déposées plus près de la montagne. L'accumulation a

été forcément moins abondante. Cependant, la grossièreté des cailloutis de El Aparato nous indique que les fleuves n'étaient pas à bout de souffle et charriaient, jusque dans ce secteur, des galets de belle taille. La position distale n'explique donc que très partiellement la médiocrité de l'ennoyage. Elle rend surtout compte de différences de détail. Ainsi, au pied du C. de Chena, l'ennoyage est un peu plus accentué qu'aux Cerrillos et à Pudahuel. La surface de la terrasse cinéritique a complètement disparu et seules apparaissent encore les cinérites colluviales du pied des versants. C'est que le Cerro est presque dans l'axe du débouché du Maipo, dans un secteur où les apports fluvio-glaciaires étaient particulièrement abondants. De plus, la distance entre le Cerro et le débouché du Maipo est plus faible que celle qui sépare le débouché du Mapocho des lambeaux de terrasses des Cerrillos ou de Pudahuel. Ajoutons à cela que les apports alluviaux du Maipo sont bien supérieurs à ceux du Mapocho et on comprendra aisément que l'ennoyage soit plus marqué au C. de Chena.

Dans tout ce secteur, des renseignements utiles sont fournis par les coupes de sondages.

— Entre les terrasses cinéritiques de Pudahuel et des Cerrillos, un large couloir (5 à 6 km) orienté ENE-WSW, file du Cerro Santa Lucia vers la montagne volcanique de La Africana. On y rencontre (sondages de la série D4), des formations de faciès très changeant. Des couches fines, sableuses, alternent avec des dépôts hétérométriques de laves contenant quelques blocs. Des lentilles caillouteuses apparaissent aussi. Nous sommes typiquement ici dans une zone distale du cône du Mapocho, à sédimentation modérée. Lors des crues moyennes, il arrivait surtout des éléments fins. Cependant, lors de crues catastrophiques, par exemple, de débâcles engendrant des laves, des apports plus massifs se produisaient, constitués par des matériaux hétérométriques riches en boue. Le sondage D4/8 (1) donne une coupe typique (voir annexe). Descendant à 60 m de profondeur, il n'a pas rencontré les cinérites. Il en est de même des sondages voisins. Il apparaît donc que les cinérites ont été entièrement déblayées avant la mise en place de $t_{,,}$ et que $t_{,,}$ repose directement sur $t_{,,}$, plus ou moins profondément érodé.

— Aux environs de l'aérodrome des Cerrillos, on se trouve dans une zone complexe où s'interstratifient des apports du Maipo et du Mapocho. En effet, le cône du Maipo est venu jusqu'ici et rencontrait, perpendiculairement, celui du Mapocho, dans un secteur qui est à peu près à égale distance du débouché dans la plaine des deux cours d'eau. Les sondages du N de E4 et du S de E5 traversent beaucoup de matériaux fins, sables et « argilles », qui se sont accumulés dans les cuvettes de décantation à la rencontre des deux cônes (sondages E4/14, E4/7). Le sondage E4/14 traverse, dans sa partie supérieure, des apports fins du Maipo bloqués par la masse cinéritique des Cerrillos. E4/7 appartient essentiellement au cône du Mapocho. Les intercalations caillouteuses y sont plus fréquentes

1. Ces références correspondent à celles qui ont été utilisées sur la carte du Bulletin n° 15 de l'I.I.G.

et plus épaisses. E4/21 est particulièrement intéressant. Il se place à l'étroit où la diffluence du Mapocho s'engage nettement dans le large chenal bordé par les terrasses cinéritiques. La partie inférieure est assez fine, avec beaucoup de graviers, des sables, de l'« argile », en dessous de —32 m. Au-dessus, par contre, le matériel devient plus grossier. Les cailloutis sont abondants, des dépôts de laves apparaissent, avec un mélange de blocs et de matrice fine, des produits fins épisodiques proviennent du lavage des laves torrentielles. Une telle coupe est significative : elle montre la progression du matériel grossier au fur et à mesure que le cône s'édifie et devient plus bombé.

— Dans la région des lambeaux de terrasses cinéritiques des Cerrillos (secteurs D5 et E5), on rencontre, non loin de ceux-ci, des restes de cinérites intercalés dans les alluvions. Les cinérites, à l'écart des axes des chenaux principaux, n'ont pas été entièrement balayées puis ont été fossilisées sous t_1 ou $t_{1,1}$. Tel est le cas dans D5/15 où l'on rencontre 8,5 m de cailloutis à matrice argileuse en surface qui représentent très probablement un faciès distal du cône du Mapocho, mal lavé, puis des cinérites de —8,5 à —26 m et, en dessous, à nouveau des alluvions appartenant à $t_{1,1}$. On les suit jusqu'à —58 m, plus grossières dans leur partie supérieure qui contient des blocs et de l'argile, formations de laves torrentielles ; plus fines en dessous, avec des sables et graviers bien lavés de 40 à 58 m de profondeur, aquifères. Par contre, dans D5/14, les cendres sont absentes. Un peu plus loin de la terrasse cinéritique, elles ont été entièrement déblayées et le chenal t_1 - $t_{1,1}$ s'entaille directement dans la masse de $t_{1,1}$. On relève des alternances de matériel alluvial, sans blocs, plus lavé, de produits argileux riches en matériel de décantation, et de formations hétérométriques de laves. Dans E5/5 et E5/6, implantés sur la terrasse cinéritique elle-même, on relève respectivement 29 et 38 m de cendres en surface, puis des formations alluviales. Dans E5/6 le matériel est fin et mêlé de cendres remaniées au sommet. Dans E5/5, il est plus grossier et contient des blocs et du « conglomérat ». Il s'agit de $t_{1,1}$, probablement apporté par le Maipo, en position distale en tous cas, et caractérisé par des langues de formations hétérométriques dues à des laves s'interstratifiant dans des apports torrentiels plus fins et mieux lavés.

— Dans le secteur des terrasses cinéritiques de Pudahuel, à Barrancas et à l'W de Quinta Normal, on rencontre, comme aux Cerrillos, des alluvions sous les cendres (D3/14, 15 et 12). Dans le sondage D3/14, les formations volcaniques descendent jusqu'à 45 m, mais il s'agit non pas des cendres, mais de produits de remaniement hydrovolcaniques contenant des galets et des cailloux, voire des blocs. Le sondage est implanté, en effet, dans une cuvette entre deux lambeaux de cinérites pures. Jusqu'à —67 m, le matériel contient encore des blocs et des couches mal lavées et correspond probablement au début des éruptions volcaniques engendrant les laves torrentielles. En dessous, il est fin et lavé (graviers et sables) et formé par une accumulation distale de cône $t_{1,1}$, semblant fluvio-glaciaire climacique. Plus à l'W, C3/6 présente une coupe du même type : les cinérites descendent jusqu'à —57,2 m et reposent, entre —57,2 et —60 m sur une formation de transition riche en argile et mêlée de cailloux qui

semble marquer le début des éruptions de la fin de $t_{1,1}$. En dessous, les alluvions sont fines, riches en argile, avec beaucoup de sable et peu de cailloux, de petite dimension. Elles correspondent à une cuvette où se rencontrent les apports du Mapocho et du Lampa. Dans ce secteur, la base des cinérites est plus profonde qu'aux Cerrillos, ce qui indique que les apports volcaniques ont commencé plus tôt. Pendant une première période, ils ont été fortement remaniés par les eaux (D3/14), puis les cinérites ont fini par former des dépôts homogènes, tels que ceux qu'on voit en affleurement. Il est tentant de penser que les pluies de cendres ont commencé alors que régnait encore l'accumulation fluvio-glaciaire. Les crues plus violentes les remaniaient alors aisément. Puis, avec la fin de la période froide, le régime des cours d'eau est devenu plus régulier et le remaniement a graduellement décru. L'accumulation éolienne a pu alors l'emporter. Cette hypothèse rejoint les observations faites sur la RG du Maipo au débouché de la montagne.

L'étude des sondages confirme donc nos observations de surface. Un vaste panneau allant du C. de Chena aux Cerrillos et à l'aérodrome de Pudahuel forme un compartiment qui n'a été affecté que faiblement par la subsidence depuis la mise en place de $t_{1,1}$. C'est pourquoi les cinérites y forment encore de vastes affleurements entre lesquels des chenaux les ont déblayées et ont atteint $t_{1,1}$. L'accumulation des deux dernières périodes froides n'est pas très épaisse : 30 à 40 m en général, semble-t-il. Elle est constituée par des diffluences suivant les chenaux entaillés dans $t_{1,1}$, et dans les cinérites et qui ont été fossilisés sous des formations distales, tantôt laves hétérométriques, tantôt matériel fin de lavage, tantôt sables et cailloux fins bien lavés. Les apports du Mapocho passent surtout entre les terrasses cinéritiques des Cerrillos et de Pudahuel-aérodrome. Ceux du Maipo semblent avoir emprunté massivement la dépression entre la terrasse cinéritique des Cerrillos et le C. de Chena, peut-être un peu plus affaissée que la région des terrasses cinéritiques située au N. On peut ainsi délimiter un vaste compartiment qui est caractérisé, en profondeur, par une grande épaisseur de $t_{1,1}$ alluvial à la base, puis formé de cinérites remaniées et, enfin, de cinérites, et, en surface, par des dépôts $t_{1,1}$ et t_1 , limités à des chenaux et d'épaisseur médiocre. Ce compartiment aurait donc subi un affaissement important au Quaternaire ancien, jusqu'à la fin de $t_{1,1}$, puis aurait eu une évolution peu différente de celle du compartiment intermédiaire qui le borde à l'W (Lo Aguirre-La Rinconada) et se serait seulement affaissé un peu par rapport à lui.

b) La fosse du Bas-Lampa.

Les conditions sont toutes différentes au N de Pudahuel-Aérodrome. En surface, seulement des accumulations récentes, qui donnent une plaine très uniforme. Le remblaiement t_1 occupe la plus grande superficie, formé de matériaux fins, sableux et limoneux. Il est même recouvert par de l'Holocène, fin également, dans la zone de divagation du Lampa, et palustre à la confluence du Lampa et du Colina. Les terrasses $t_{1,1}$ de la bordure, nous l'avons vu, plongent sous le t_1 . Il s'agit donc d'une région de fort affaissement, se poursuivant encore, d'une vraie trappe à sédiments.

Les sondages de Lampa (Lo Vargas), qui descendent à 35,35 et 65 m, montrent de fortes variations de faciès à faible distance. Dans l'ensemble, ils traversent des alternances de matériaux mal lavés avec blocs, formés par des laves torrentielles provenant probablement du Rio Colina, et de matériaux plus fins, sables et cailloutis, qui doivent surtout être apportés par le Rio Lampa. Les mêmes faciès se retrouvent à Renca, à l'issue de l'amphithéâtre de Lipangue. Deux forages descendent, ici, à 103 et 116 m de profondeur. En surface, les dépôts fins, argilo-sableux, se continuent jusqu'à —8 m à l'amont et —27 m à l'aval. Ils s'épaississent donc rapidement, sous l'effet de la subsidence. En dessous, on rencontre, comme à Lampa, des alternances de cailloutis fins et de sable, de cailloutis à blocs et de formations mal lavées à blocs dues à des laves torrentielles. Une argile rosâtre apparaît dans l'un des forages entre —56 et —57,5 m et pourrait être attribuée aux cinérites de t_{11} , altérées et peut-être remaniées.

Mais, dans ce secteur, un sondage est particulièrement intéressant : celui de Pudahuel, effectué par l'I.I.G. et dont la coupe a été soigneusement relevée. Il est resté dans le Quaternaire jusqu'à 428 m sans atteindre la base du Quaternaire. Les dépôts fins prédominent nettement. Les argiles sont très abondantes et proviennent du lavage de cinérites, ainsi que les dépôts de décantation alluviaux. Certaines couches ont un faciès lacustre avec des stratifications pelliculaires. On relève aussi quelques intercalations de cendres qui ne paraissent pas remaniées et quelques faciès plus grossiers, sables parsemés de petits galets qui représentent une accumulation distale de cône de déjection. Le sondage se place donc dans une cuvette tectonique qui a été affectée continuellement par un affaissement important pendant le Quaternaire. La rareté des faciès véritablement lacustres indique une véritable subsidence, c'est-à-dire un affaissement dont la vitesse différerait peu de celle de la sédimentation. Les couches lacustres les plus nettes se rencontrent entre 150 et 156, sous la forme de strates pelliculaires d'argile et de limon de teinte gris-vert indiquant un milieu réducteur, puis entre 260 et 265 m. Les autres couches fines, prédominantes dans la série, sont palustres plus que lacustres. Leurs couleurs café au lait, la plus répandue, rosâtre, gris-olive, rouge-grisâtre indiquent un milieu trop aéré pour être réducteur. Les teintes rosâtres, qui correspondent probablement à des paléosols datant au moins de la fin de t_{11} , se rencontrent vers —150 et en dessous de —333 m. Des cimentations par la calcite, que l'on peut rapprocher des croûtes développées dans les cinérites de la fin de t_{11} , s'observent à partir de —174 m et sont particulièrement fréquentes entre —174 et —222 m. Comme la période de formation des croûtes postérieures à t_{11} , devait permettre une assez bonne mobilisation du calcaire, une zone palustre où les eaux étaient soumises à une forte évaporation était favorable à l'incorporation de calcaire de précipitation aux sédiments. Ces matériaux sont d'ailleurs associés aux restes de paléosols rougeâtres. Ils comportent des couches de sable grossier et de gravier sableux qui indiquent une atténuation du régime palustre et son remplacement par des épandages. Ces changements semblent indiquer un ralentissement momentané de la subsidence.

Sans anticiper sur les résultats que fournira l'étude détaillée, actuelle-

ment en cours, des échantillons du sondage de Pudahuel, il semble cependant que l'on puisse formuler les conclusions suivantes :

1. Le sondage se localise dans une fosse de subsidence ayant fonctionné tout le Quaternaire.

2. Les faciès palustres y sont très développés, ce qui implique, à la fois, une position distale par rapport aux apports du Colina et du Lampa, et un barrage à l'aval. Le Colina étant capable de fournir des matériaux grossiers, notamment lors de laves torrentielles, il faut que ces matériaux aient été abandonnés à l'amont, ce qui implique une certaine extension de la fosse de subsidence dans cette direction, hors du périmètre levé en 1964. Par ailleurs, le barrage à l'aval ayant été permanent au cours du Quaternaire, est vraisemblablement en grande partie d'origine tectonique. Il serait formé par le bord du compartiment Cerrillos-Pudahuel (aérodrome) que nous venons d'étudier. Le barrage tectonique a été renforcé, lors du dépôt de t_{11} , par les accumulations fluvio-glaciaires du Mapocho, puis par les cinérites.

3. L'apparition des paléosols rougeâtres et des croûtes calcaires entre —150 et —222 m semblent indiquer que l'on se trouve, à cette profondeur, en présence des matériaux mis en place lors de l'interglaciaire Mindel-Riss. L'affaissement relatif du compartiment du Bas-Lampa par rapport à celui de Cerrillos-Pudahuel (aérodrome) depuis t_{11} , serait donc d'environ 230 m.

La même fosse de subsidence se continue en direction de l'Est, englobant les abords des Cerros Renca et Colorado et la dépression de Conchali. La bordure montagneuse au N de Santiago offre, en effet, beaucoup de points communs avec celle des abords du débouché du Lampa quant à la disposition des formations quaternaires superficielles. On ne dispose pas, dans ce secteur, de forages aussi profonds que celui de Pudahuel, mais les diverses coupes existantes montrent des formations parentes. Toutefois, on est ici plus près du Mapocho qui a envoyé des diffusions dans cette partie de la Fosse. De temps à autre, du fait de l'affaissement, certaines crues se déversaient vers le NW à partir de l'axe du cône jalonné par le chenal Cerro de Santa Lucia-la Africana et passant entre les lambeaux de cinérites des Cerrillos et de Pudahuel. Ces déversements se sont effectués plus facilement en direction de l'alvéole de Lipangue, au N de la terrasse de cinérites de Pudahuel-aérodrome, car l'angle, par rapport à l'axe du cône, était plus faible. Mais, la subsidence de la cuvette de Conchali se poursuivant, elle a fini par provoquer un véritable appel au vide et les crues ont fini par nourrir des diffusions filant vers le NNW en contournant la pointe du C. Sta. Lucia, faisant un angle de plus de 90° avec le chenal filant vers la Africana et de 90° encore avec le cours actuel, cependant déporté déjà vers la droite. Cependant, la cuvette de Conchali reste d'accès difficile et la quantité de matériaux du Mapocho qu'elle a reçue est limitée. Il s'agit aussi, surtout, de matériaux fins, plus mobiles, produits de lavage des laves plus que laves torrentielles. Elle s'est donc remblayée lentement, ce qui a attiré

d'ailleurs les diffluences. A la racine du promontoire du C. S. Cristóbal, un col s'ouvre presque au niveau du sommet de t , côté E, mais se perche à 100 m au-dessus de la dépression de Conchali, côté W. Il semble avoir été emprunté sporadiquement, à la fin du Wurm, par quelques petites diffluences mais n'a pas eu le temps de fonctionner avant le changement de climat. Sinon, si le remblaiement s'était poursuivi seulement encore pendant quelques siècles, il est probable que le Mapocho se serait déversé par là dans la dépression de Conchali au lieu de suivre le promontoire du C. S. Cristóbal.

Les sondages de la dépression Lampa-Conchali permettent de suivre les effets combinés de la subsidence, qui engendre une sédimentation fine, et des diffluences du Mapocho, qui intercalent, dans les argiles et les sables, des lentilles de cailloux, voire des blocs. A Renca, le sondage C1/3 est encore uniquement formé de matériel fin de cuvette à prédominance argileuse et rares intercalations de sables et graviers. A Quilicura, le sondage E1/5, à l'extrémité NE du C. Renca, traverse, au-dessus de —55,5 m, des formations fines, argileuses et sableuses, avec une intercalation de cendres entre —37 et —45 m. En dessous, entre —55,5 et —59,5, apparaissent des matériaux plus grossiers, mal lavés, avec des blocs, apportés probablement par une lave torrentielle du Mapocho. Le faciès fin, argilo-sableux, reprend en dessous jusqu'à la fin, à —103m, avec un bloc isolé qui a été indiqué comme « roche ». Entre —68 et —76 m, les matériaux sont altérés et il pourrait s'agir du sommet de $t_{,,}$, ou de formations plus anciennes. Dans le sondage E1/1, quelques intercalations de formations grossières semblent des dépôts de pente au pied du C. Renca. Les diffluences du Mapocho dans la cuvette de Conchali se multiplient dans le carré F1, situé plus à l'E. Les deux forages F1/17 et F2/6 permettent de repérer ce phénomène. Les blocs mêlés d'argile, matériel de lave torrentielle, sont fréquents dans les sondages de la Población La Palmilla. Malgré l'angle relativement fort, les diffluences ont assez bien pénétré sur le bord de la cuvette, mais ne se sont pas avancées très loin. Au delà, règnent les matériaux fins de décantation distale. Une telle disposition indique une subsidence vigoureuse. Il s'agit donc bien de la continuation de la fosse du Bas-Lampa.

Le long du Mapocho actuel, la sédimentation est différente. Dans Quinta Normal, les sondages permettent de reconnaître des cailloutis profonds, ancien cône du Mapocho, puis les restes de cinérites incomplètement démantelés, enfin, des matériaux alluviaux récents, correspondant au cône dont sont parties les diffluences vers Conchali d'une part et le long du cours actuel d'autre part. Il apparaît ainsi que les cinérites de Barrancas et de Pudahuel-Aérodrome ont joué un rôle d'obstacle efficace jusqu'à une date récente, ce qui a contribué à concentrer une partie importante des écoulements, au $t_{,,}$ et au $t_{,}$, dans le chenal compris entre les lambeaux cinéritiques de Cerrillos et de Barrancas. Les sondages E3/2,5 et 23 traversent un matériel plus grossier, correspondant un à faciès axial, dans leur partie supérieure, puis des faciès plus fins. Les formations superficielles à blocs descendent jusqu'à 28,4 m dans E3/2 jusque vers 44 m

dans E3/5 et jusque vers 86 m dans E3/23. Ce dernier jalonne l'axe du chenal filant entre les terrasses de cinérites.

Il apparaît donc que le C. Sta. Lucia a bien joué le rôle de déflecteur et obligé les crues brutales du Mapocho à filer vers le SW, gênant l'arrivée de la sédimentation dans la cuvette de Conchali, qui occupe un angle mort. Par ailleurs, le cours actuel du Lampa, qui vient traverser, en une vallée étroite, les lambeaux de cinérites de Pudahuel-Aérodrome, est récent. Il n'est pas jalonné par les dépôts grossiers des laves torrentielles de la fin du Wurm.

c) La gouttière de Maipo.

A l'W du C. de Chena, contre le pied du compartiment intermédiaire de la Africana, existe une dépression qui file en direction du Sud et qui correspond soit à une fosse, soit à une gouttière. On dispose de peu de renseignements à son sujet, les sondages étant relativement rares dans ce secteur.

Dans la Rinconada de Cerda, au S du massif volcanique de la Africana, les forages de l'Ecole d'Agronomie montrent de grandes différences à faible distance. On y rencontre des cendres compactes de —65 à —69 dans B4/8, qui appartiennent très probablement à $t_{,,}$. Au-dessus, jusque vers —10 à —14 m, règnent des faciès très fins, argiles plastiques grises et organiques, qualifiées de lacustres, puis, en surface, un matériel grossier plus ou moins lavé, avec formations hétérométriques de laves torrentielles, ponces, cailloutis, sables. Les sondages se placent dans un recoin abrité par le massif volcanique, ce qui explique une accumulation de caractère lacustre ou palustre sur une épaisseur de 50 m environ, qui correspondrait à $t_{,}$ et à l'essentiel de $t_{,}$. Seules, les dernières crues fluvioglaciales de t , auraient pénétré dans la dépression, préparant la fixation du cours actuel plaqué contre les cerros. Il est difficile de faire la part d'un effet de barrage par le cône du Maipo, situé plus au S, et de la tectonique, dans le faciès lacustro-palustre de $t_{,}$ et de la majeure partie de $t_{,}$. Néanmoins, la profondeur à laquelle on rencontre les cendres de la fin de $t_{,,}$ implique un certain affaissement : elles sont une centaine de mètres plus bas qu'aux Cerrillos et cette dénivellation est trop forte pour être attribuée à la pente originelle du cône $t_{,,}$ sur lequel elles se sont déposées. La pente du sommet de t , est moindre bien que les cinérites aient gêné sa mise en place, ce qui n'était pas le cas pour $t_{,,}$. Il y a donc là une gouttière qui semble s'accroître vers le S et vers laquelle se fond des alvéoles de la Rinconada et de la Esperanza est basculé.

Immédiatement à l'E du Mapocho, on suit, par Maipo, le principal chenal du Mapocho, prolongeant celui qui passe au milieu des terrasses de cinérites, et qui a fonctionné au $t_{,}$ et au $t_{,}$. Dans les secteurs C4 et C5, on rencontre des formations très changeantes, plus fines à l'E, abrité par la terrasse cinéritique des Cerrillos, plus riches en laves torrentielles vers l'W, le long de l'axe du chenal. Mais celles-ci, avec l'accroissement de la distance depuis les Andes, se font plus rares et ce sont les lentilles de sables et de cailloutis, plus ou moins bien lavés, qui prédominent.

Dans la partie SE de Maipo, au S de l'extrémité de la terrasse cinéri-

tique des Cerrillos, apparaissent à nouveau des faciès mieux lavés qui appartiennent à une digitation du cône du Maipo, celle qui contourrait par le N le C. de Chena. Elle a partiellement barré le chenal du Mapocho arrivant entre les terrasses cinéritiques et cela explique que les alluvions de ce dernier soient médiocrement lavées. Souvent des argiles se sont décantées entre les cailloux. Le profil de D5/14 montre ainsi, en surface, jusqu'à —16 m, des cailloux, des blocs et du sable, correspondant au matériel superficiel du cône t, du Maipo. En dessous, de —16 à —32, le matériel contient davantage d'argile et est moins bien lavé et formé par des produits de lavage de laves et de laves torrentielles dans la partie inférieure. Enfin, de —32 à —50 m, on a, de nouveau, des alluvions grossières bien lavées.

Les mêmes alluvions du Maipo, très riches en blocs malgré la distance des Andes, se continuent entre le C. de Chena et l'alvéole de la Esperanza. Comme dans la Rinconada de Cerda, les apports locaux ont été probablement bloqués par l'extrémité du cône et un remblaiement fin existe probablement en profondeur dans cette alvéole. Le long du cours ancien du Maipo, on ne trouve pas trace, en profondeur, des cinérites. Ont-elles été complètement balayées ou sont-elles affaissées trop bas pour être atteintes ?

d) La Fosse Subandine.

Entre l'alignement C. de Chena-C. Sta. Lucia et le bord des Andes s'étend une nouvelle fosse, probablement aussi profonde que celle du Bas-Lampa. Des buttes volcaniques ennoyées n'y apparaissent que tout au S, près du Maipo. Peut-être la prolongation de la faille du Maipo vient-elle interrompre ici la continuité de la fosse et en relever légèrement le fond ? En tous cas, cette région est caractérisée par un puissant ennoyage alluvial, formé par les cônes coalescents du Maipo et du Mapocho, auxquels se joignent quelques cônes secondaires de la bordure andine, disparaissant vite en profondeur, gauchis vigoureusement, comme nous l'avons vu plus haut.

L'ennoyage est surtout l'œuvre du Maipo, aux apports particulièrement abondants. La vigueur de l'alluvionnement du Maipo se reconnaît à l'effet de barrage produit par l'obstacle, pourtant fort modeste, des deux petits cerros de los Ratonés et Negro. Le cours actuel du Maipo file entre les deux. Mais, lors de l'accumulation fluvio-glaciaire wurmienne, ils ont provoqué une sorte d'embâcle alluviale. Le sommet de t, est dénivélé de plusieurs mètres entre leur pied amont et leur pied aval, bien qu'ils aient pu être aisément contournés. Sur la rive droite, un niveau de creusement, entaillant le sommet de t, mais fossilisé ensuite, s'observe à l'amont du Cerro Negro. Un tel détail met en lumière la puissance d'alluvionnement du Maipo et la violence de ses épandages, aptes à balayer de grandes surfaces. Il n'est donc pas étonnant que le cône wurmien de cet énorme torrent vienne butter contre la terrasse de cinérites des Cerrillos et atteigne le bord S de l'Agglomération. Il s'interstratifie là avec les apports du Mapocho et donne une dépression de jonction de cônes dans laquelle, suivant la violence des crues réciproques, se sont

accumulés des apports de laves du Mapocho, des alluvions grossières du Maipo et des formations fines de cuvette distale. Toute une série de forages jalonnent ce contact.

On suit cette zone de contact dans les secteurs F4, G4 et même H4. Comme plus au S, le matériel du Maipo est caractérisé par l'abondance des blocs, qui témoignent de la violence de ses crues, mais aussi par un matériel assez bien lavé car les chasses d'eau emportaient les fines au loin. Au contraire, le Mapocho a donné souvent des laves torrentielles. Dans le carré F5, au S de San Miguel, un cône du Maipo, riche en gros blocs, mais lavé, recouvre, vers —50 m, des dépôts plus fins, de faciès distal, formés de sables et argiles, dont une argile désignée comme « lacustre », qui vont de —50 à —126 m. Dessous, on rencontre des cailloutis. Il apparaît donc que, pendant, une longue période, le cône du Maipo s'est construit plus au S et qu'on avait là une cuvette d'angle mort, où n'arrivaient que des matériaux fins, du Maipo et du Mapocho. Lors du Wurm, le Maipo a fait progresser son cône jusqu'ici, probablement du fait de l'engorgement alluvial du secteur situé plus au S. Un jeu de blocs a pu intervenir, soit affaissement plus accentué de la Fosse Subandine, soit léger soulèvement du compartiment Pudahuel (Aérodrome)-C. de Chena.

Le forage F4/26 est caractéristique de cette zone de coalescence des cônes à sédimentation relativement fine. On y rencontre des cailloutis et des sables de 0 à —10 m, puis un banc d'argile pure de —10 à —15 m, probablement constituée par des formations de lavage de laves torrentielles issues du Mapocho, alors que les cailloutis superficiels proviennent du Maipo. Sous ces argiles recommencent des sables et des cailloutis mêlés d'un peu d'argile entre —71 et —77. Ils descendent jusqu'à 81 m, base du forage. A 3 km à l'WNW, F4/16 montre une coupe analogue, avec, comme seule différence, un épaississement des cailloutis superficiels, qui descendent jusqu'à —20 m, et un épaississement des argiles sous-jacentes, qui deviennent sableuses à la base (de —20 à —35 m). Le cailloutis inférieur est plus grossier. Ces différences proviennent du fait que la génératrice du cône du Maipo sur laquelle se trouve ce sondage fait un angle plus faible avec l'axe du cône que dans le cas du sondage F4/26. Les apports récents du Maipo ont été plus abondants. Mais l'épaississement des argiles nous montre aussi que, pendant un épisode précédent, probablement assez long, le matériel grossier du Maipo ne venait pas jusqu'ici et se dirigeait davantage vers l'W, voire vers le SW.

Par contre, F4/23, situé à côté du Club Hippique, plus loin vers le NW, montre seulement des apports du Mapocho : beaucoup de sables et d'argiles formant des lits individualisés dans les cailloutis, jusqu'à —53 m. Il s'agit d'une accumulation de flanc de cône, relativement fine et très changeante. A l'opposé, F4/27, à S. Miguel, est entièrement formé par le cône du Maipo. Il a traversé 81 m de cailloutis souvent très grossiers, renfermant des blocs, avec une matrice sableuse, parfois un peu d'argile. A l'WSW, F5/6 a traversé, de 0 à —80 m, des cailloutis avec des blocs interrompus par quelques lentilles de sables et quelques bancs à matrice sablo-argileuse, puis, de —80 à —103 m, des sables mal lavés, de —103 à —111, des sables grossiers, puis, de —111 à —126 une argile, plastique

à la base. De —126 à —138, des cailloutis et du sable réapparaissent, et, enfin, jusqu'à —140, des argiles et du sable.

Ces divers sondages montrent donc d'importants changements dans les apports du Maipo. A la fin du Wurm, un épisode a été caractérisé par une importante avancée vers le NW du cône du Maipo, avec ses cailloutis grossiers et ses blocs généralement bien lavés. Ce sont ces formations qui constituent la surface de la plaine. On les voit s'épaissir graduellement de F4/26 à F5/6, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'axe du cône. Il semble que cette disposition soit due à un engorgement progressif des pertuis entre les buttes volcaniques situés plus au S, plus près de l'axe du cône. Nous avons montré que le matériel de la fin de t, s'était amoncelé en arrière de l'obstacle formé par les C. de los Ratones et Negro. L'envoyage du pied du C. de Chena est à placer dans la même série de faits. Lors de la phase initiale du recul des glaciers wurmiens, de grandes quantités de matériel ont été apportées jusque dans le bassin par des eaux de fonte devenues plus abondantes. C'est ce qui a provoqué l'engorgement. Il a pu, aussi, être facilité, par la résistance à la subsidence du bloc occupé par le C. de Chena. Le cône a alors migré vers le Nord, atteignant le Stade National et recouvrant des dépôts fins distaux antérieurs. Une tendance à l'affaissement de cette région, qui est au centre de la Fosse Subandine a peut-être favorisé cette évolution, sans qu'on puisse l'affirmer nettement car les mécanismes dont nous venons de rendre compte suffiraient à l'expliquer.

Nous retrouvons des interstratifications de cônes à la même latitude, mais plus près des Andes, avec le forage H4/3, situé au droit de la Q.S. Ramón. En surface, sur 9 m, il traverse les cailloutis mêlés de sable et, à la base, d'argile, d'un cône aplati construit au Wurm par cette quebrada. Ensuite, de —9 à —16, des argiles, dépôt de décantation distal, puis, de —16 à —17, une couche de cendres, puis, à nouveau des argiles avec un lit d'argile sableuse et, sur la moitié inférieure de l'épaisseur, des blocs, entre —17 et —55,3 m. De —55,3 à —70, des argiles avec des cailloutis grossiers contenant quelques lentilles de matériaux lavés. De —70 à —102 m, des couches argileuses alternent avec des couches de cailloutis et de sables à matrice argileuse abondante. Enfin, de —102 à —108, des cailloutis grossiers et du sable bien lavé apparaissent. Ce forage se trouve dans une position particulièrement intéressante, à une distance suffisante des cônes du Mapocho et du Maipo pour que les apports de ces cours d'eau arrivent difficilement et suffisamment loin de la Q.S. Ramón pour que ses alluvions, moins abondantes, soient dans le même cas. C'est pourquoi les faciès fins sont prédominants. Ils comprennent des dépôts de décantation palustres et des apports de laves torrentielles. Ces dernières sont issues essentiellement de la Q.S. Ramón. Mais, tout cet ensemble recouvre, à 102 m de profondeur, des matériaux grossiers et bien lavés qui ont une toute autre origine et peuvent provenir que du Maipo. Seul un affaissement vigoureux a pu le faire venir jusqu'ici, en longeant le pied des Andes. Cet épisode se place avant la mise en place des formations fines rencontrées à quelques dizaines de mètres de profondeur dans F5/6, F4/16 etc... Il y a donc eu des déplace-

ments importants de l'axe du cône du Maipo, qui a illé d'abord vers le NW (cailloutis profonds de H4/3), puis vers l'W (formations palustres profondes de F5/6) et qui est revenu, enfin, à la fin du Wurm, vers l'WNW lors d'une période d'engorgement rapide. Il est vraisemblable que le passage de l'orientation NW à l'orientation W a coïncidé avec un envoyage des massifs de collines qui forment obstacle dans l'axe du débouché montagnard. Cela supposerait que la Fosse subandine, dans le secteur que nous étudions, s'est affaissée surtout au Quaternaire ancien, attirant le cône du Maipo vers le NW, puis, ensuite, est devenue plus stable, ce qui a permis au Maipo de filer davantage en ligne droite, à travers les cerros. Peut-être ce changement de cours a-t-il été également facilité par un léger affaissement du bloc du C. de Chena postérieur à t₁, ?

Il est fort malaisé de dater ces déformations. Nous ne pouvons pas tirer grand'chose de la couche de cendres signalée entre —16 et —17 m. Mince, elle a peu attiré l'attention du foreur qui ne la décrit pas. Au surplus, il n'est pas sûr qu'il s'agisse réellement de cendres. Cependant, la forte épaisseur des formations fines à accumulation relativement lente oblige à considérer que les cailloutis du Maipo, à la base du forage, sont anciens. Nous inclinons à les attribuer à t₁. En effet, sur la bordure voisine, t_{1v} et t₁, sont fortement déformés et plongent rapidement sous un t₁, beaucoup moins incliné et riche en matériaux fins. Ce t₁, et le t, qui le surmontent donnent la série de couches argileuses sus-jacentes. Ce serait donc lors du dépôt de t₁, que l'affaissement de la Fosse subandine aurait été le plus rapide et le plus intense, attirant le Maipo vers le NW et lui permettant de construire un cône bien lavé.

Cette datation s'accorde avec ce que nous a montré le bloc Pudahuel (Aérodrome)-Cerrillos. Nous y trouvons, sous les cinérites fini-t₁, des cailloutis bien lavés, triés et grossiers, de faciès fluvio-glaciaire, qui ressemblent plus aux apports du Maipo qu'à ceux du Mapocho, toujours très sales. Ce serait donc le cône du Maipo, orienté vers le NW dans une région tout entière soumise à l'affaissement, de Pudahuel au Maipo, qui les constituerait. Les produits fins de lavage auraient contribué au remblaiement de la cuvette palustre de Pudahuel et les rares couches de graviers rencontrées vers 200 m de profondeur, sous les paléosols et les encroûtements, seraient venues du Maipo lors de crues particulièrement efficaces, une fois que le cône s'était suffisamment avancé vers le NW. Rappelons que ces paléosols et encroûtements ont été datés de la fin du t₁. Le bloc intermédiaire Pudahuel (aérodrome)-Cerrillos ne se serait individualisé qu'à partir de la fin du t₁, avec les éruptions volcaniques ayant fourni les cinérites. Ces mouvements tectoniques auraient provoqué quelques remaniements, activant la sédimentation à Pudahuel pendant la période immédiatement postérieure, celle des croûtes et des sols rubéfiés; les intercalations de cailloutis rencontrés entre elles leur seraient dues.

Dans la partie septentrionale de la Fosse Subandine, on rencontre uniquement des apports du Mapocho. Ils sont très mal lavés, dus en grande partie à des laves. Les blocs disparaissent assez vite vers l'aval, tandis qu'apparaissent des intercalations d'argile sableuse. Tout cela est très nettement différent des apports du Maipo, caractérisés par des cailloutis

très grossiers, contenant des blocs, mais généralement bien lavés. C'est ce qui permet de reconnaître les deux cônes dans les sondages.

Une série de forages permet de suivre le cône du Mapocho d'amont en aval. La tête du cône nous est révélée par les sondages de Las Condes. Bien que nous soyons encore dans la vallée montagnarde, au droit de l'amphithéâtre de la Dehesa, il n'y a guère de triage. Dans I 1/14, les lentilles lavées, formées uniquement de cailloux et de blocs, sont rares et minces (—24 à —27, puis —41,5 à —45, —51 à —53 m et, moins nettement lavé, —65,5 à —69). Au total, seulement 12 m sur 130, et, encore, en englobant une couche indiquée comme contenant « peu d'argile ». Tout le reste est formé de dépôts de laves. Certains, les plus nombreux, sont riches en blocs et indiquent une lave ayant pu progresser nettement plus loin, certains sont plus fins, surtout argileux avec quelques cailloux, et correspondent à des laves à bout de souffle. A une distance de 10 km en aval, mais à peu près dans l'axe du même cône, nous avons pris comme exemple H3/6, qui atteint 100 m de profondeur. Dans cette position plus distale, le lavage a été plus efficace entre les arrivées de laves, moins fréquentes. Les couches lavées forment, au total 51,15 m, un peu plus de la moitié des couches traversées. Mais une forte proportion de ces faciès lavés l'est incomplètement, avec un peu d'argile encore. Les couches sans argiles forment, cependant 15,6 % de l'épaisseur totale contre 6 % dans I 1/14. Le sondage H2/13, situé à mi-chemin des deux précédents, montre des proportions intermédiaires : 32 % de couches à peu près lavées, 9 % de couches bien lavées.

Le sondage G2/1 se trouve au droit de H3/6 mais contre le bord droit du cône. Malgré cette position, on y rencontre des couches lavées relativement épaisses : un peu moins de 15 % au total, mais une seule couche de 15,6 m bien lavée. Le Mapocho avait donc tendance déjà à venir se loger contre le promontoire du C.S. Cristóbal bien avant le Postglaciaire. Cette couche se trouvant vers —100 m, il semblerait qu'elle appartienne à l'interglaciaire Riss-Wurm. En tous cas, cette tendance du Mapocho à revenir contre le promontoire indique une continuité dans le mouvement de basculement vers le N de la Fosse Subandine.

Nous donnons encore en annexe la coupe du sondage E2/58, implanté à Quinta Normal sur la partie du cône qui vient recouvrir le lambeau cinéritique de Barracas. Les cendres sont rencontrées à —38,20. Au-dessus, le cône édifié au t, et, probablement déjà, au t., est mince. Il n'est pas formé par des apports axiaux, le principal écoulement filant plus au S, au N des Cerrillos, et certaines laves étant attirées par la subsidence de la cuvette de Conchali. Aussi y rencontre-t-on essentiellement des dépôts relativement fins, sans blocs. Les cailloutis sont toujours associés à du sable, les argiles sont généralement sableuses. Il n'y a pas de véritable décantation. L'ennoyage des cinérites par le cône est donc tardif, comme le tracé du Mapocho actuel, qu'il amorce. Le sondage E3/26, situé au SE, donc plus près de l'axe de l'écoulement ancien, montre le même type de dépôts, mais avec apparition de blocs associés aux argiles surtout au-dessus de —64 m. En profondeur, en dessous de —132 m, il traverse presque uniquement des sédiments fins, argileux, avec seulement 3 niveaux minces

où apparaissent des blocs ou du « conglomérat ». Entre —203 et —205, on a rencontré des argiles rouges qui appartiendraient au Quaternaire ancien. Il semble donc que le bloc intermédiaire Pudahuel (Aérodrome)-Cerrillos, sur l'extrémité duquel nous nous trouvons ici, soit basculé vers le NE. De plus, on ne rencontre ici aucun dépôt de cône, seulement des formations de cuvette marginale, avec rares irrptions grossières mal lavées. Le Mapocho n'a pas poussé son cône jusqu'ici au Quaternaire ancien et le Maipo a construit le sien davantage au SW, sous les cinérites.

La combinaison des observations de surface et de l'étude des coupes de sondages, interprétées grâce à ces mêmes observations de surface nous a donc permis de nous faire une idée de l'évolution quaternaire du Bassin aux environs de Santiago. Examinons quelles sont les conclusions à en tirer en ce qui concerne les eaux souterraines.

V. — IMPLICATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

L'étude que nous venons de faire permet d'abord d'interpréter les données hydrogéologiques rassemblées par nos collègues chiliens. Elle autorise, ensuite, quelques hypothèses destinées à guider la recherche de nouvelles ressources en eaux souterraines.

1. — INTERPRÉTATION DES DONNÉES EXISTANTES.

Ces données sont publiées dans le *Boletín* n° 15 de l'I.I.G. auquel on se reportera. Nous n'avons reporté sur la carte hors-texte, que la plus significative d'entre elles : l'allure du toit de la nappe superficielle. Nous commenterons ici successivement les diverses cartes contenues dans le *Boletín* n° 15.

a) *Allure du toit de la nappe superficielle.*

Cette nappe est une nappe libre, contenue dans les cônes du Maipo et du Mapocho qui forment la surface de la plaine alluviale. Ces cônes étant en forte pente, le toit de la nappe est incliné. Son inclinaison correspond à l'écoulement des eaux souterraines. Là où cet écoulement est rapide, la pente du toit de la nappe est plus forte. Là où il est plus lent, elle est plus douce. Or, cet écoulement dépend de la perméabilité, donc du faciès des alluvions. Nous rejoignons là la géomorphologie.

L'allure d'ensemble est caractérisée par la coalescence de deux cônes :

— Au S, l'allure du toit de la nappe dessine un cône très vaste et très régulier, orienté SE-NW. Sa limite se suit de Maipo au Stade National et à l'Aérodrome de Tobalaba. Les courbes sont régulières et à peu près équidistantes, ce qui indique de bonnes conditions de transmissibilité. Leur remontée vers le SE implique une alimentation à partir du Maipo. La profondeur de la nappe en dessous de la surface du sol croît rapidement dans cette même direction. La pente du toit de la nappe est moins forte que celle de la surface topographique, qui est celle du cône du Maipo.

C'est une conséquence, à la fois, de la pente très forte de l'accumulation fluvio-glaciaire, type d'accumulation forcée, et de la bonne perméabilité du matériel. Les eaux qui s'infiltrèrent au débouché du Maipo s'enfouissent rapidement et s'écoulent ensuite avec une pente faible, du fait de la bonne transmissibilité. Elles réapparaissent ensuite à l'extrémité du cône, dans le Mapocho, là où il suit le pied des hauteurs de la bordure occidentale du Bassin, repoussé contre elles par le cône wurmien du Maipo. A partir de Maipo, le Mapocho bénéficie d'une importante alimentation phréatique, dans son lit, qui arrive du Maipo, puisqu'il draine une nappe affleurante dont les eaux proviennent de ce cours d'eau.

La nappe du Maipo a une allure très régulière malgré l'hétérogénéité tectonique des unités qu'elle traverse. Les courbes de son toit ne sont pas affectées par le franchissement de la Fosse Subandine, du Bloc Intermédiaire Pudahuel (Aérodrome)-Cerrillos, de la gouttière de Maipo. Cela s'explique. En effet, ces différents blocs se trouvent constitués, à une certaine profondeur, au-dessous de laquelle se trouve d'ailleurs le toit de la nappe, par des cailloutis analogues, aussi bien lavés et aussi grossiers les uns que les autres, bien que d'âge différent. Tous sont des apports fluvio-glaciaires du Maipo. Même lorsque ces formations buttent l'une contre l'autre, les conditions de circulation des eaux souterraines ne sont pas modifiées. Une nappe unique, à disposition régulière, peut ainsi exister. Elle est tantôt dans $t_{,,}$ (par exemple, sous les cinérites de Cerrillos), tantôt dans $t_{,}$ (à S. Miguel et au Sud), tantôt dans t (en arrivant près du Mapocho). L'affaissement de la Fosse Subandine, qui a provoqué l'empilement d'une très grande épaisseur de formations fluvio-glaciaires bien lavées dès le pied des Andes, permet un enfouissement rapide des eaux en profondeur dans la tête du cône et même dans la partie inférieure de la vallée montagnarde. Des mesures comparatives de débit aux environs de las Vizcachas, où les pertes sont encore probablement très modestes du fait de la surimposition du Maipo dans des pointements rocheux, et plus loin à l'aval, avant la réapparition en surface de la nappe, permettraient, en tenant compte des infiltrations pluviales directes à la surface du cône lui-même, d'arriver à un bilan précis de cette importante nappe. On pourrait contrôler l'évaluation par la comparaison des débits du Mapocho entre le confluent du Lampa et celui dans le Maipo. Dans tout ce secteur, en effet, les affluents locaux descendant de la Cordillère Littorale fournissent assez peu d'eau. Leurs apports peuvent d'ailleurs être évalués-

— Au N, un second cône apparaît, axé sur le Mapocho. Il est beau, coup moins étendu, ce qui s'explique par la moindre abondance du cours d'eau qui l'alimente. Il est, aussi, moins régulier, ce qui est la conséquence de l'évolution géomorphologique. Les apports du Mapocho, sont constitués, en effet, en grande partie, par des laves, qui ne permettent pas des vitesses de transmissibilité élevées. Ces dernières ne sont réalisées que dans les lentilles caillouteuses lavées, débarrassées de leur matrice fine, qui jalonnent d'anciens chenaux.

En amont du C.S. Cristóbal, cette nappe est bloquée sur son bord droit par les roches volcaniques peu perméables. Elle s'épanouit vers le S et

le SE, en direction de la Fosse Subandine et les eaux descendent rapidement vers la Reina, à la rencontre de celles du Maipo, qui s'avancent loin vers le Nord, en suivant les cailloutis $t_{,,}$, bien lavés, repérés vers —100 m dans le sondage H4/3. Les apports locaux des torrents de la bordure andine étant très faibles, la nappe est profonde et alimentée d'une part, à partir du Nord, par le Mapocho, d'autre part à partir du Sud, par le Maipo. Le contact des eaux des deux origines est marqué par un « talweg » du toit de la nappe que l'on suit de la Reina au Stade National. Il déborde légèrement, vers le S, la limite des alluvions du Maipo. Dans le cône du Mapocho, l'hétérogénéité des matériaux donne des irrégularités de détail dans l'allure du toit de la nappe.

En aval du C.S. Cristóbal, le cône s'épanouit brusquement et prend une ouverture d'environ 220°. Il se calque sur les diverses directions suivies par les diffluences des crues de $t_{,,}$ et de $t_{,}$. C'est une conséquence du double blocage du Mapocho par les cinérites de Barrancas et de Cerrillos d'une part et par le Maipo au S. Le principal écoulement, en direction de la Rinconada de Cerda, entre les lambeaux cinéritiques de Barrancas et des Cerrillos, coïncide avec un « talweg » accentué du toit de la nappe, au contact des eaux arrivant par le Maipo. Cette disposition a une double explication. D'une part, pour les eaux du Mapocho, l'existence d'un ancien chenal, même dans des matériaux médiocrement lavés, offre une direction de transmissibilité différentielle le long des chenaux caillouteux incisés dans les laves torrentielles. D'autre part, ces chenaux assurent un drainage, en bout, de la nappe alimentée par le Maipo, dont le toit, à leurs abords, est localement en pente un peu plus forte. Ce petit gonflement de la nappe résulte de la diminution de perméabilité au passage du cône du Maipo aux apports du Mapocho.

Une autre diffluence se dirige vers la cuvette de Conchali. Le toit de la nappe est en pente très forte, car les matériaux du Mapocho dans lesquels elle s'écoule, formés surtout par des laves, sont peu poreux. De plus l'appel au vide de cette cuvette très affaissée ne joue guère car son remplissage, trop argileux, ne permet pas à l'eau de circuler facilement. Les courbes du toit de la nappe dessinent donc une sorte de cône très net, s'engageant dans la cuvette de Conchali, mais au profil longitudinal très concave.

Entre le « cône » de Conchali et le « talweg » flant vers la Rinconada de Vial, la nappe phréatique forme une bosse dont l'axe s'aligne de Quinta Normal à Barrancas. Son toit est à faible profondeur (moins de 30 m). Elle affleure dans la partie occidentale de Barrancas, ce qui lui permet d'alimenter, dans les cinérites, un certain nombre de ruisseaux, de mares, de marais, qui envoient leurs eaux au Mapocho. Ces eaux, provenant du Mapocho lui-même et infiltrées à l'amont dans le cône, lui sont donc restituées. Cette disposition s'explique par l'existence des cinérites de Barrancas qui constituent, en profondeur, un obstacle à l'enfouissement des eaux. La circulation se fait surtout dans les couches lavées des cônes t , et $t_{,}$, qui les recouvrent. La présence des faciès fins de $t_{,,}$ en profondeur, à Quinta Normal (sondage E3/26) bloque leur infiltration profonde et les oblige à rester dans les formations superficielles. La finesse générale

des faciès de ces dernières ralentit leur mouvement vers l'W et explique l'allure en croupe des courbes du toit de la nappe. Une migration latérale, depuis cette croupe, se produit d'une part vers le Mapocho, qui est ainsi partiellement réalimenté, d'autre part vers l'ancien chenal filant en direction de la Rinconada de Vial. Plus en aval, très peu d'eau souterraine doit se diriger vers la cuvette de Puadhuel, du fait de la trop grande finesse des dépôts.

b) Débits spécifiques des puits.

Le débit spécifique des puits, établi à partir de la dépression au pompage, est fonction de la perméabilité des terrains aquifères. Plus celle-ci est grande, plus l'eau arrive en abondance sous l'effet du pompage. Le cône de dépression de la nappe entourant le forage a un grand diamètre et une hauteur faible. On rejoint donc directement les résultats de l'étude géomorphologique, qui rend compte de la mise en place des divers faciès, plus ou moins perméables.

La carte n° 5 du *Boletín* n° 15 montre, comme on pouvait s'y attendre, de grandes différences d'une partie à l'autre des environs de Santiago.

— Une vaste zone de faibles débits (moins de 2 litres/sec. par mètre de dépression) est constituée par le cône du Mapocho en amont de Ñuñoa. Elle se prolonge vers l'aval en se digitant, d'une part au pied du C.S. Cristóbal, d'autre part en direction du S, à l'W de l'aérodrome de Tobaraba. C'est la conséquence du régime à laves du Mapocho. La zone axiale des accumulations de laves et les cuvettes distales, où se sont accumulés les produits fins de lavage, ne sont pas susceptibles de donner des vitesses de transmissibilité élevées. Cependant, à l'intérieur de cet ensemble, des anomalies apparaissent. Certains sondages, qui ont eu la chance de tomber sur des chenaux entaillés dans les laves et jalonnés par des matériaux mieux lavés, donnent des débits un peu plus élevés (2 à 5 l/sec/m). Tel est le cas de H2/5 et des sondages implantés au N du Cerro Calan. La carte a figuré ces secteurs sous la forme d'îles, ce qui ne correspond pas à la réalité. En fait, ce sont des traînées, mais il est impossible de prévoir leur emplacement exact, car ces chenaux sont irréguliers.

— Une autre zone de débits très faibles occupe la cuvette de Conchali, au pied du cône qu'y a édifié la diffluence du Mapocho. Ce cône est caractérisé par des débits moins faibles et, surtout, très changeants à faible distance. Le rôle de déflecteur joué par le C.S. Cristóbal a entravé quelque peu la pénétration des laves dans la cuvette de Conchali. Le matériel est donc moins argileux que sur le cône de Las Condes. Des diffluences d'eau relativement claires se sont produites de temps à autre. Elles prenaient plus aisément le tournant au pied du C.S. Cristóbal que les laves ! C'est pourquoi le cône entrant dans la dépression de Conchali montre une esquisse de zonalité remarquable. Dans sa partie supérieure, des digitations arrivent à donner de 10 à 20 l/sec/m. Elles alternent avec des baves moins bien lavées, où on n'obtient que de 5 à 10. Mais certaines traînées montent jusqu'à 20-50 l/s/m. Au pied du Cerro et au bord même du Mapocho, là où les laves arrivaient facilement, par contre, on tombe

à moins de 2 litres, comme à Ñuñoa. Cette tête de cône très irrégulière, caractérisée par des arrivées de laves n'allant pas très loin, et des chenaux de débordement bien lavés, se termine contre une auréole de transition, avec des débits de 2 à 5 litres, passant aux débits très faibles des matériaux argileux de la cuvette.

— Des zones de débits médiocres (5 à 10 litres) jalonnent les secteurs où une accumulation relativement calme a donné des formations sableuses (dépôts distaux et marginaux) ou ceux où la nappe est contenue par des cinérites. Elles se localisent de la manière suivante :

L'une d'elle coïncide, à Quinta Normal et Barrancas, avec les matériaux fins, sableux surtout, du Mapocho, qui recouvrent les cinérites, puis avec ces cinérites elles-mêmes.

Une autre, de Maipo au Club Hippique, souligne l'extrémité du cône caillouteux t₁, recouvert par les cinérites de Cerrillos, entaillé par le chenal du Mapocho filant vers la Rinconada de Vial. Le cône t₁ est recoupé perpendiculairement par cette entaille et, sur ses bords, le matériel du Mapocho est encore moins lavé que dans son axe. Cette zone de débits médiocres correspond à une pente plus forte du sommet de la nappe, comme nous l'avons vu plus haut.

La dernière, enfin, à S. Miguel, coïncide avec des matériaux fins, sableux, distaux, du Maipo, sous le cône wurmien superficiel. Elle a d'ailleurs été fort mal dessinée sur la carte du *Boletín* n° 15. On l'a étendue indûment vers le S au lieu de la circonscrire. Dans cette extension, on manque de données. Mais comme l'écoulement de la nappe se fait du SE vers le NW et que les courbes de son toit sont régulières, il ne peut y avoir que des débits aussi élevés qu'en amont (carré G5) et en aval (carré E5 aux abords de l'aérodrome des Cerrillos).

— Enfin, quelques zones de débits élevés jalonnent les formations caillouteuses bien lavées. L'une d'elles, où les débits ne dépassent pas 20 litres, coïncide avec l'axe du chenal qu'empruntait le Mapocho au Wurm en direction de la Rinconada de Vial.

Une autre est formée par le cône caillouteux wurmien du Maipo, et, parfois, en profondeur, par des dépôts plus récents. Elle a malheureusement été arbitrairement démantelée sur la carte du *Boletín* n° 15, sans tenir compte de la régularité des courbes du toit de la nappe. En fait, elle forme des digitations orientées en éventail de part et d'autre des matériaux distaux de S. Miguel. On la suit vers les Cerrillos et Maipo où certains puits arrivent à donner de 20 à 50 litres, et en direction du Stade National (mêmes débits).

c) Qualité des eaux.

La teneur et la nature des produits dissous dans les eaux phréatiques dépendent pour une part des caractéristiques de l'eau de surface au moment de son infiltration, pour une autre des ions qui ont été dissous lors de son parcours souterrain. Plus celui-ci est long et lent, plus ce facteur prend de l'importance.

Les cartes 15 et 16 du *Boletín* n° 15 donnent respectivement la teneur

totale en matières dissoutes et la dureté totale, ce qui revient pratiquement au même. Elles montrent très nettement :

— Une alimentation à partir du Mapocho, avec des teneurs totales qui croissent graduellement depuis le débouché de la montagne, où elles sont de 300 mmg/l, à Santiago où elles atteignent 1 000 mmg à l'aérodrome des Cerrillos. La courbe de 500 mmg passe par Providencia. Les courbes se resserrent à l'entrée de la cuvette de Conchali, par suite du freinage de la progression des eaux souterraines, qui facilite la dissolution.

— Au S, vers S. Miguel et Maipo, règnent des teneurs uniformes de plus de 1 000 mmg, parmi lesquelles il est impossible de distinguer ce qui provient du Maipo et du Mapocho.

— Le tracé du Lampa et du Mapocho en aval de son confluent est bordé par des puits aux faibles teneurs : moins de 500 et même, souvent, moins de 300 mmg. Ceci est dû aux eaux issues de la cuvette du Bas-Lampa, faiblement minéralisées car provenant en grande partie des roches cristallines de la Cordillère Littorale.

2. — INDICATIONS POUR LA PROSPECTION.

La partie étudiée du Bassin de Santiago se subdivise en 3 unités hydrogéologiques. Chacune a ses caractéristiques.

a) Au N, la profonde fosse du Bas-Lampa se termine vers le S en butant contre la faille du Mapocho moyen qui, sous le Quaternaire ancien, remonte probablement le cenuglomerado et le socle au niveau de la partie inférieure des couches quaternaires traversées par le sondage de Pudahuel. C'est cette faille qui explique l'artésianisme de certains aquifères de ce sondage.

En effet, il semble que les matériaux de la Fosse du Bas-Lampa se soient mis en place du N et du NE vers le SSW, conformément à l'écoulement des cours d'eau qui les ont apportés. Ils plongent donc originellement dans cette direction. Leur pendage a peut-être été accentué ou compliqué par des mouvements tectoniques qui seront étudiés lorsque nous ferons la cartographie du Nord du Bassin. Les couches sableuses de ce remblaiement sont des aquifères acceptables. L'écoulement souterrain des eaux qu'elles contiennent est bloqué par la faille. Dans ce cas, on peut conjecturer la profondeur du substratum imperméable, cenuglomerado ou socle, en se fondant sur la position du premier niveau artésien rencontré dans le sondage. Au-dessus, en effet, la faille ne doit pas interrompre l'écoulement souterrain, les eaux circulant plus facilement dans les cailloutis t₁, recouverts par les cinérites de Pudahuel que dans les dépôts plus fins de la Fosse du Bas-Lampa.

Cette fosse du Bas-Lampa reste à étudier, puisque notre carte couvre seulement son extrémité. Elle est alimentée par des eaux provenant en partie de la Cordillère Littorale, faiblement minéralisées par conséquent. Ses propriétés artésiennes méritent l'attention. Mais il ne semble pas que l'on puisse en extraire de gros débits, l'alimentation semblant, à première vue, assez médiocre du fait de la faible superficie et de l'attitude modérée des bassins qui s'y déversent.

b) La nappe du Mapocho.

La nappe du Mapocho est celle qui alimente Santiago et les communes limitrophes. Par un concours de circonstances malheureux, c'est celle qui est le plus exploitée et qui est, en même temps, la plus médiocre. De là vient la crise actuelle, due à une surexploitation.

D'une part, le Mapocho n'apporte pas autant d'eau que le Maipo et n'assure à sa nappe qu'une alimentation médiocre. D'autre part, cette nappe circule lentement dans des matériaux peu poreux, où les laves torrentielles tiennent une grande place. Les débits spécifiques faibles indiquent une mauvaise perméabilité. La quantité d'eau qui s'infiltré dans les alluvions à partir du lit du Mapocho en est d'autant plus médiocre. Enfin, cette nappe est, en quelque sorte, perchée au-dessus de dépressions qui attirent l'eau qu'elle contient : cuvette de Conchali et Fosse Subandine. Un soutirage dans ces directions et dans celle du chenal filant vers la Rinconada de Vial, contribuent à diminuer les ressources disponibles à Santiago. Dans le cas de la cuvette de Conchali, le flux est limité par la faible porosité des dépôts fins qu'on y rencontre. Mais il n'en est pas de même dans les deux autres directions.

Les conditions particulières dans lesquelles se trouve la nappe du Mapocho lui donnent une capacité médiocre et la rendent particulièrement sensible à la sur-exploitation, ce qui explique la baisse très rapide du niveau phréatique des puits au cours des dernières années. La seule solution est de demander moins d'eau à ces puits en exploitant d'autres ressources.

c) La nappe du Maipo.

C'est la nappe du Maipo qui peut les fournir. Elle présente les avantages considérables suivants :

— Une excellente alimentation à partir d'un bassin vaste et occupé par de hautes montagnes où le ruissellement est rapide. L'abondance des éboulis, des cônes de déjections, des terrasses poreuses, permet à une partie de l'eau d'être soustraite à l'évaporation et de réapparaître ensuite dans les talwegs. Un effet tampon considérable est joué par ces formations.

— Des infiltrations probablement très considérables se produisent massivement au débouché du Maipo dans le Bassin de Santiago. Elles s'expliquent par la grande épaisseur des alluvions très poreuses dans lesquelles le lit est entaillé et par la vitesse de transmissibilité élevée de ce matériel. Il serait facile de les évaluer de la manière indiquée plus haut.

— De grandes masses de cailloutis grossiers bien lavés, appartenant à des formations diverses, dénivelées par failles, mais suffisamment homogènes pour que ces accidents tectoniques ne modifient pas la circulation des eaux souterraines. Celles-ci s'enfouissent rapidement à partir du Maipo et se rencontrent à plus de 100 m de profondeur vers la Cisterna. Mais la faible pente de leur toit leur fait rejoindre peu à peu la surface du sol aux abords du Mapocho, qui, dans son cours inférieur, est alimenté par cette nappe.

La régularité du toit de la nappe, sa faible pente, indiquent des vitesses de transmissibilité élevées, qui prémunissent contre un rapide abaissement du niveau de l'eau dans les puits, même en cas de forte exploitation. L'ensemble de ces facteurs fait que la teneur en matières dissoutes reste voisine de 1 000 mmg, même lorsque le parcours s'accroît. Le matériel, bien lavé, contient peu d'éléments solubles et la minéralisation provient en grande partie de celle des eaux du Maipo lui-même, qui draine un secteur gypseux (El Volcan).

Ces qualités incitent à recommander une exploration systématique de cette nappe et à envisager son utilisation plus intensive pour l'alimentation de Santiago et pour la création d'un parc industriel groupant les usines grosses consommatrices d'eau de qualité (1).

1. L'alimentation en eau de l'agglomération de Santiago se fait à raison de 6,5 m³/sec. environ à partir de diverses sources d'eau superficielles, notamment le Maipo, et de 3,2 m³/sec. à partir des eaux souterraines. En gros, un tiers des ressources totales est donc fourni par ces dernières qui, malheureusement, en l'absence à peu près totale de contrôle, sont largement utilisées par l'industrie, qui, souvent, pourrait se contenter d'eaux de moindre qualité bactériologique.

ANNEXE

PROFILS GÉOLOGIQUES DE QUELQUES SONDAGES

ALVÉOLE DE LA RINCONADA DE CERDA - MAIPU B4/5		
De	à	
0	0,80	terre cultivable
0,80	4,50	« tuf » avec gravier fin
4,50	12,00	conglomérat de gravier anguleux et émoussé, pierre ponce, sable et argile
12,00	13,50	gravier avec sable
13,50	19,00	conglomérat de gravier anguleux et émoussé ponce, sable et argile
19,00	20,20	gravier grossier et sable, nappe
20,20	30,50	bloc avec gravier, ponce, sable et argile
30,50	32,10	bloc, gravier et argile sableuse
32,10	34,50	argile avec gravillon et sable
34,50	39,80	argile sableuse
39,80	52,80	conglomérat de gravillon, sable, argile et ponce
52,80	55,00	sable fin, argile dure
55,00	55,40	argile
55,40	55,90	sable fin et bloc, nappe
55,90	63,00	argile
63,00	70,00	argile
70,00	70,40	sable fin et gravier fin
70,40	87,00	argile glaciaire (sic)

ALVÉOLE DE LA RINCONADA DE CERDA - MAIPU B5/1		
De	à	
0	3,50	gravier argileux, taille maximum 0,07 m
3,50	9,00	gravier bien classé, taille maximum 0,07 m
9,00	10,00	gravier bien classé, taille maximum 0,07 m
10,00	13,00	argile maigre (sic)
13,00	17,00	argile maigre jaune
17,00	21,00	argile à gravier jaune, sans matériel grossier
21,00	34,00	argile maigre, gravier de forme mi-ronde
34,00	39,00	argile organique, couleur plomb foncé, avec petite quantité de sable fin
39,00	44,00	argile maigre de couleur café foncé
44,00	47,00	sable mal trié, nappe

TERRASSE CINÉRITIQUE DES CERRILLOS, SW DE L'AÉRODROME MAIPU D5/6		
De	à	
0	8,50	gravier, argile
8,50	26,00	cendre volcanique, sable
26,00	31,50	argile, gravier et bloc
31,50	40,00	argile et gravier
40,00	58,00	gravillon, sable fin et grossier

CÔNE DU MAPOCHO, QUINTA NORMAL - MAIPU E4/21

De	à	
0	1,00	terre végétale
1,00	6,80	cailloux, sable et petits blocs
6,80	13,20	cailloux, sable, bloc
13,20	14,00	cailloux assez gros, sable
14,00	18,00	cailloux, sable
18,00	20,80	argile fine
20,80	26,95	argile, cailloux, sable, quelques blocs
26,95	27,90	argile, sable et cailloux
27,90	32,30	cailloux, gravier, sable, un peu d'argile
32,30	35,14	gravier grossier
35,14	39,50	gravier, argile, sable
39,50	40,30	gravier, argile, sable

ZONE D'ANGLE MORT A LA JONCTION DES CÔNES DU MAIPU ET DU MAPOCHO, E DE L'AÉRODROME DES CERRILLOS - MAIPU E4/14

De	à	
0	1,00	terre végétale
1,00	3,00	cailloux, sable grossier et fin
3,00	8,00	cailloux et sable grossier
8,00	21,00	sable grossier et argile, un peu de cailloux
21,00	26,00	argile et un peu de sable
26,00	42,00	cailloux et sable grossier
42,00	43,00	cailloux assez gros
43,00	45,00	argile et sable
45,00	51,00	sable grossier
51,00	58,00	argile et sable grossier
58,00	61,00	sable fin
61,00	68,00	argile et sable
68,00	69,00	sable et cailloux
69,00	72,00	argile et sable
72,00	73,00	sable grossier
73,00	73,50	argile et sable

CÔNE DU MAPOCHO, N DE L'AÉRODROME DES CERRILLOS - MAIPU E4/7

De	à	
0	1,00	poussière
1,00	2,00	matériel détritique
2,00	3,00	cailloux et sable fin
3,00	3,50	sable argileux
3,50	19,00	cailloux assez gros et sable
19,00	21,00	argile limoneuse
21,00	28,60	sable avec cailloux, nappe
28,60	29,20	argile
29,20	37,00	cailloux assez gros avec sable, nappe
37,00	38,50	sable fin
38,50	44,30	argile limoneuse
44,30	48,00	cailloux assez gros et sable, nappe

INTERSTRATIFICATION DES CÔNES DU MAIPO ET DU MAPOCHO - ÑUÑO A G4/8

De	à	
0	7,50	argile et sable fin
7,50	9,20	argile, bloc, cailloux
9,20	24,00	argile presque pure
24,00	30,50	argile et cailloux
30,50	38,50	cailloux, sable et argile
38,50	50,00	argile presque pure
50,00	56,60	argile et cailloux
56,60	60,00	cailloux, sable et argile
60,00	78,00	argile et cailloux assez gros
78,00	82,60	cailloux et sable (nappe de 78 à 82 m)
82,60	87,00	argile et cailloux

DÉPÔTS FINS SUR CÔNE DE LA QUEBRADA DE SAN RAMON - ÑUÑO A H4/3

De	à	
0	5,00	terre végétale
5,00	7,00	cailloux, sable fin
7,00	9,00	cailloux, argile
9,00	16,00	argile
16,00	17,00	cencre volcanique
17,00	18,00	argile
18,00	23,00	argile très humide
23,00	24,00	argile à petite compression
24,00	25,00	argile sableuse
25,00	33,50	argile
33,50	55,35	argile, quelques blocs
55,35	56,55	gros cailloux, sable, très peu d'argile
56,55	57,40	gros cailloux, sable
57,40	70,00	argile, gros cailloux
70,00	74,65	argile, un peu plus de cailloux
74,65	76,10	argile, cailloux fins
76,10	77,65	argile, gros cailloux, sable
77,65	84,70	argile, gros cailloux, un peu de sable
84,70	87,00	argile, gros cailloux sable
87,00	92,00	argile, un peu de cailloux, sable
92,00	96,00	argile, assez de gros cailloux, sable
96,00	97,50	argile, petits cailloux, sables fins
97,50	100,00	argile, un peu de cailloux
100,00	102,00	argile, un peu de cailloux, assez de sable
102,00	108,10	gros cailloux, gravier et sable, nappe
108,10	108,50	gros cailloux, sable, un peu d'argile

CÔNE DU MAPOCHO RECOUVRANT L'EXTRÉMITÉ E DE LA TERRASSE DE CINÉRITES DE BARRANCAS - QUINTA NORMAL E2 /58

De	à	
0	2,00	cailloux, sable
2,00	7,00	argile, un peu de sable
7,00	8,00	argile
8,00	10,50	cailloux, sable
10,50	12,00	sable, cailloux
12,00	18,85	sable, cailloux, 1 ^{re} nappe
18,85	19,30	sable avec argile
19,30	23,10	argile avec un peu de sable fin
23,10	28,50	sable avec argile
28,50	30,00	sable et argile 2 ^e nappe
30,00	31,55	sable, cailloux et un peu d'argile
31,55	34,80	sable, gros cailloux, nappe
34,80	38,20	sable, cailloux, nappe
38,20	38,30	cendres volcaniques imperméables

DÉBOUCHÉ DU CHENAL ANCIEN DU MAPOCHO DANS LES TERRASSES DE CINÉRITES, FLANC SE MAIPU C5 /1

De	à	
0	36,00	sable, pierre et matériel volcanique
36,00	38,00	conglomérat argileux
38,00	39,00	cailloux
39,00	45,00	conglomérat
45,00	50,00	sable grossier et pierre
50,00	54,00	sable grossier avec argile
54,00	59,00	?
59,00	61,00	sable grossier et un peu de pierre
61,00	67,00	cailloux anguleux avec argile
67,00	78,00	conglomérat argileux avec sable

TERRASSE DE CINÉRITES DE BARRANCAS, EXTRÉMITÉ E BARRANCAS D3 /14

De	à	
0	1,20	terre végétale
1,20	3,00	• tuf •
3,00	18,00	conglomérat volcanique
18,00	19,00	bloc
19,00	22,00	conglomérat volcanique et bloc
22,00	24,00	cendre volcanique et ponce
24,00	26,00	bloc
26,00	28,00	cendre volcanique et ponce
28,00	30,00	bloc
30,00	45,00	conglomérat volcanique
45,00	48,00	limon argileux
48,00	54,00	gravier avec sable fin et bloc
54,00	67,00	conglomérat argileux
67,00	72,00	gravier avec sable lavé
72,00	77,50	gravier avec sable
77,50	78,50	sable un peu argileux avec gravier

DÉBOUCHÉ AVAL DU CHENAL ANCIEN DU MAPOCHO, ENTRE LES TERRASSES DE CINÉRITES, DANS L'AXE - MAIPU C4 /2

De	à	
0	0,50	argile
0,5	2,00	cailloux et argile
2,00	3,00	bloc avec argile
3,50	6,00	sable avec un peu d'argile
6,00	16,00	sable avec gros cailloux, nappe
16,00	18,00	argile
18,00	21,00	conglomérat, argile sable et cailloux
21,00	27,00	argile
27,00	29,00	conglomérat, argile, sable et cailloux
29,00	30,00	sable et gros cailloux
30,00	35,00	conglomérat, sable, argile et cailloux
35,00	46,00	sable et gros cailloux, nappe
46,00	50,00	petits cailloux, sable et argile
50,00	52,00	cailloux gros et petits
52,00	55,00	conglomérats, argile avec petits cailloux

TERRASSE DE CINÉRITES DE BARRANCAS (S DU MAPOCHO) C3 /6

De	à	
8	57,20	sable et cendre volcanique
57,20	60,00	cailloux sable et argile
60,00	75,00	argile pure
75,00	79,00	argile avec sable
79,00	81,00	sable grossier avec argile
81,00	86,00	argile avec sable
86,00	91,00	" " "
91,00	92,00	sable et argile
92,00	96,00	argile, un peu de sable
96,00	99,00	" " "
99,00	102,00	argile avec sable
102,00	103,00	argile avec sable fin
103,00	104,00	sable grossier et cailloux
104,00	112,00	cailloux, sable et argile
112,00	117,00	cailloux, sable et argile
117,00	121,00	argile, cailloux et sable
121,00	126,00	sable et argile
126,00	144,00	sable avec argile
144,00	168,00	argile avec sable
168,00	170,00	" " "
170,00	177,00	" " "
177,00	178,00	" " "

CÔNE DU MAPOCHO, BLOQUÉ CONTRE LA TERRASSE DE CINÉRITES DE BARRANCAS, QUINTA NORMAL (E3/26)

De	à	
0,	3,00	terre caillouteuse, bloc et sable
3,00	5,00	sable caillouteux et argile
5,00	11,00	sable caillouteux et petits blocs
11,00	12,00	sable avec argile
12,00	13,00	cailloux avec argile
13,00	15,00	cailloux, sable avec argile
15,00	17,00	cailloux avec argile
17,00	20,00	cailloux, argile et sable
20,00	27,00	argile, sable et cailloux
27,00	29,00	argile et cailloux
29,00	30,00	sable et argile
30,00	32,00	cailloux, sable et argile
32,00	39,00	sable et argile
39,00	42,00	cailloux, sable et argile
42,00	45,00	cailloux et argile
45,00	47,00	cailloux, bloc et argile
47,00	49,00	sable et argile
49,00	52,00	bloc et argile
52,00	56,00	argile, cailloux et sable
56,00	58,00	bloc et argile
58,00	59,00	conglomérat argileux, sable, petits cailloux
59,00	60,00	zone de bloc

CÔNE DU MAPOCHO DANS LA CUVETTE DE CONCHALI CONCHALI F1/16

De	à	
0	2,00	terre végétale
2,00	21,00	argile sableuse
21,00	41,00	conglomérat argileux, cailloux et gravillon
41,00	53,00	conglomérat à bloc, cailloux, gravillon, un peu d'argile, nappe
53,00	67,00	conglomérat argileux, avec un peu de gravillon et de cailloux
67,00	76,00	sable et gravillon, nappe
76,00	77,50	conglomérat de cailloux, de gravillon et d'argile

CUVETTE LAMPA-CONCHALI, QUILICURA E1/5

De	à	
0	2,50	argile
2,50	6,00	argile avec sable
6,00	10,00	argile avec sable fin
6,00	10,00	argile avec sable fin
10,00	17,80	sable avec argile
17,80	19,00	argile pure
19,00	32,50	sable grossier avec argile
32,50	35,50	sable fin avec argile
35,05	36,00	sable fin, un peu d'argile
36,00	37,00	argile
37,00	45,00	sable et cendre volcanique

LAMPA (Hijuela « Culenes ») prof. 103 m

De	à	
0	0,50	terre végétale
0,50	3,50	argile, limon
3,50	5,00	limon et sable fin
5,00	6,90	sable fin avec argile
6,90	10,00	argile avec un peu de sable moyen
10,00	13,20	sable moyen avec un peu d'argile
13,20	22,00	argile et sable
22,00	24,30	sable moyen et grossier avec un peu d'argile
24,30	27,00	argile café
27,00	29,00	conglomérat, nappe
29,00	34,90	argile jaune
34,90	35,30	conglomérat
35,30	36,70	argile café avec du limon
36,70	40,00	conglomérat
40,00	44,00	limon argileux avec un peu de sable
44,00	49,50	conglomérat
49,50	52,00	sable et un peu de cailloux avec argile
52,00	56,00	argile grise
56,00	57,50	argile rose
57,50	59,30	sable grossier avec argile, nappe
59,30	62,00	argile grise
62,00	65,00	argile café
65,00	68,50	conglomérat
68,50	72,80	argile avec un peu de sable et de limon
72,80	74,50	argile avec sable, nappe
74,50	82,00	argile jaune
82,00	84,50	argile avec sable fin
84,50	98,00	conglomérat
98,00	100,30	sable grossier et moyen avec argile
100,30	103,00	argile café

LAMPA (LO VARGAS) Prof. 65,00 m

De	à	
0	5,20	argile café
5,20	11,75	argile et sable
11,75	12,30	cailloux, un peu de sable
12,30	14,00	limon et argile
14,00	16,40	cailloux, sable grossier et argile
16,40	25,20	argile et sable
25,20	31,30	sable grossier et argile
31,30	36,80	conglomérat
36,80	40,20	sable grossier, un peu d'argile
40,20	62,80	« tuf », sable et argile
62,80	65,80	argile et sable moyen
65,60	67,00	« tuf »

ACCUMULATION FINE DE LA FOSSE DU LAMPA - BARRANCAS A1/1

De	à	
0	2,00	terre
2,00	7,00	sable fin
7,00	14,60	argile
14,60	24,00	sable
24,00	31,60	cailloux et sable fin
31,60	40,00	argile
40,00	43,00	« tuf »
43,00	47,00	sable
47,00	48,80	conglomérat
48,80	53,00	petits cailloux et sable
53,00	62,00	argile

COL ENTRE LES ALVÉOLES DE LO AGUIRRE ET RINCONADA DE CERDA

De	à	
0	0,40	argile sableuse dure
0,40	2,00	argile
2,00	7,50	gravillon, sable et argile
7,50	9,50	gravillon avec sable et petit bloc
9,50	13,00	sable grossier avec gravillon
13,00	26,00	sable, gravier fin avec bloc et pierre ponce
26,00	30,00	argile avec gravier fin et sable
30,00	31,00	sable fin volcanique
31,00	34,00	argile avec gravier fin anguleux
34,00	37,50	matériel volcanique de pierre ponce et de cendre
37,50	39,00	argile avec gravier fin
39,00	43,50	couches alternées d'argile
43,50	45,00	matériel volcanique de ponce et cendre
45,00	50,00	gravier grossier anguleux avec argile
50,00	55,60	argile sableuse avec bloc
55,60	57,30	gravier anguleux, argile et bloc
57,30	59,50	argile
59,50	61,50	roche en place ou bloc
61,50	61,70	roche en place dure ou bloc
61,70	76,50	roche en place dure

BIBLIOGRAPHIE

- BORDE, Jean, 1955. — Las depresiones tectónicas del Maipo inferior. Glaciaciones y cenizas volcánicas. *Informaciones Geográficas* (Número único), p. 6-16, Editorial Universitario, Santiago.
- BORDE, Jean. — Les dépressions tectoniques du Maipo inférieur. Glaciation et cendre volcanique. *B.A.G.F.*, 1957, n° 267, 8 p. 28 à 38.
- BORDE, Jean, 1960. — Las incidencias cataclísmicas en la morfología de los Andes de Santiago. *Informaciones Geográficas* Santiago, n° 1.
- BRÜGGEN, Juan, 1942. — Informe geológico sobre el agua subterránea en el fundo Rinconada de Cerda. Santiago, inédito.
- 1950. — Fundamentos de la geología de Chile. Santiago, Instituto Geográfico Militar, 374 p.

- CARTER, W.D. y AGUIRRE, Luis, 1962. — The structural geology of Aconcagua Province and its relation to the Central Vallez Graben. *Inst. Invest. Geol.*, inédito, Santiago.
- CASTILLO, Octavio, 1960. — El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. *Inst. Invest. Geol.*, Bol 5, p. 74-88, Santiago.
- CASTILLO, Octavio y FALCON, Eduardo, 1961. — Informe preliminar sobre las condiciones geohidrológicas de las zonas de Colina, Batuco y Lampa. *Invest. Geol.*, inédito, Santiago.
- DINGMAN, Robert y BARRAZA, Lorenzo, 1958. — El agua subterránea de Santiago. Informe preliminar. *Inst. Invest. Geol.*, Bol. 1, 43 p., Santiago.
- DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS, 1957. — Abastecimiento de agua potable de Santiago. Inédito.
- DOYEL, W., DINGMAN, R., CASTILLO, 1964. — Hydrogeology of the Santiago area, Chile. *U.S. Geol. Surv., Prof. Papers* 475 D, p. 209-212.
- DOYEL, W., CASTILLO, O., MORENO, E., MUNOZ, M., 1963. — Instituto de Investigaciones Geológicas de Santiago de Chile Bol. 15 : El Agua Subterránea de Santiago.
- Instituto de Investigaciones Geológicas, Bol. 1, 1958. El Agua Subterránea informe preliminar.
- FELSCH, J., 1938. — Agua subterránea en el Valle Longitudinal de Santiago y su aprovechamiento. *Bol. Minas y Petroleo*, t. 8, n° 78, p. 19-24, Santiago.
- FLINT, R.F., SANDERS, J.E. y RODGERS, J., 1960. — Symmictite : A name for non-sorted terrigenous sedimentary rocks that contain a wide range of particle sizes. *Geol. Soc. American Bull.* v. 71, p. 507-510.
- 1960a. — Diamictite, a substitute term for symmictite. *Geol. Soc. America. Bull.*, v. 71, p. 1809-1810.
- KARZULOVIC, Juan, 1958. — Sedimentos cuaternarios y aguas subterráneas en la cuenca de Santiago. Instituto de Geología, U de Chile, 120 p., Santiago.
- KAUSEL, Edgard, 1960. — Estudio gravimétrico de la cuenca de Santiago. Instituto de Geofísica y sismología, U. de Chile, e *Inst. Invest. Geol.*, inédito, Santiago.
- MUNOZ CRISTI, Jorge, 1944. — Informe geológico sobre el sondaje del Hospital del Salvador. Inédito.
- NACIONES UNIDAS, 1960. — Los recursos hidráulicos de América Latina, I Chile. Mexico, Comisión Económica para América Latina, 190 p.
- THEIS, C.V., 1935. — The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage *Trans. Am. Geophysical Union*, v. 16 p. 519-524.
- TRICART, Jean y MICHEL, M., 1963. — Informe sobre la geomorfología de la cuenca de Santiago y su relación con las aguas subterráneas. *Inst. Invest. Geol.*, inédito, Santiago.
- TRICART, J., MICHEL, Monique. — Bulletin de la Faculté des Lettres de Strasbourg mai-juin 1964. La Geomorfología de la cuenca de Santiago y sus relaciones con las aguas subterráneas.



CARTE GÉOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN DE SANTIAGO

CENTRE DE GÉOGRAPHIE APPLIQUÉE DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS SANTIAGO DE CHILE

