

La direction méridienne des Andes méridionales explique leur diversité bio-climatique. La Cordillère s'allonge, sur la façade ouest du continent sud-américain, de la zone tropicale aux marges de la zone froide. Le puissant anticyclone du Pacifique Sud se manifeste jusqu'aux latitudes du Chili central; il rend compte de l'aridité de la partie nord des Andes méridionales où seuls le rebord oriental et le haut plateau sont atteints, pendant l'été austral, par l'air humide venu de la cuvette amazonienne. Au sud du 40° parallèle domine l'influence du front polaire austral et des vents très humides qui viennent de l'ouest. Mais il faut aussi tenir compte de facteurs géographiques : d'une part le courant froid de Humboldt qui fait sentir ses effets réducteurs de températures et inhibiteurs de précipitations à partir de Valparaiso vers le nord; d'autre part la disposition longitudinale de la chaîne qui crée un puissant obstacle orographique pour le flux atmosphérique de l'est au nord, pour celui de l'ouest au sud. D'où l'existence d'une diagonale aride qui s'étend sur le Chili du Nord, puis prend en écharpe la Cordillère entre le 27° et le 30° parallèle pour passer sur le versant argentin et se prolonger jusqu'en Patagonie. Le côté chilien est très arrosé — plusieurs mètres d'eau par an — à partir du 40° parallèle et, la montée en latitude compensant largement l'abaissement en altitude, la montagne se couvre de glaciers qui finissent par prendre la forme de vastes calottes. Cette diversité climatique rend compte des contrastes de végétation qui, au Chili, opposent un désert absolu dans le Nord à une pluviusilve dans le Sud. Cette forêt dense australe est l'héritière directe de la flore chaude et humide cénozoïque qui a couvert une grande partie du continent sud-américain avant le soulèvement des Andes et les dissociations climatiques fini-tertiaires; elle a pu s'adapter à de nouvelles conditions de milieu, en conservant des analogies floristiques et physiologiques avec la forêt tropicale du type *ceja*, grâce à la forte humidité et à la douceur des températures, traits climatiques propres aux latitudes tempérées du Pacifique Sud.

La plus grande partie des Andes méridionales, qui est aussi la mieux connue d'un point de vue structural, correspond donc à ce qui fut le bassin andin, allongé, selon une direction nord-sud, sur la bordure occidentale de l'aire cratonique sud-américaine. Pendant la période liminaire qui couvre le Mésozoïque, des séries sédimentaires surtout continentales, de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, s'y sont déposées, avec des faciès volcaniques généralisés dans les zones internes (culminaires), à peu près absents dans les zones externes (mioliminaires). Ces terrains ont été lourdement plissés par des tectoniques successives (araucane; subhercynienne; laramienne) qui ont superposé leurs effets et ont été à l'origine de puissantes granitisations dans les zones internes. On conçoit dès lors que l'influence des contrastes lithologiques et celle des plissements ne jouent qu'un faible rôle dans le relief, au moins sur le versant occi-

dental de la chaîne. La période tardiliminaire, caractérisée encore par d'abondants épanchements volcaniques, a vu l'érosion continentale développer des aplanissements et accumuler les formations détritiques qui en résultaient — des molasses rouges oligo-miocènes — dans une avant-fosse. Ce matériel a été à son tour tardivement déformé selon un style compressif par suite de la polarité tectonique vers l'est de la Cordillère. Enfin à l'aube du Pliocène, des mouvements verticaux de grande ampleur ont affecté tout le bassin andin et ses bordures, avec des panneaux de l'avant-pays, pour donner à la chaîne, à peu de chose près, sa configuration actuelle (période postliminaire).

Un peu partout dans les Andes méridionales, mais surtout dans leur partie nord, subsistent des restes, parfois très étendus, de surfaces d'érosion plus ou moins parfaites, dont l'*Altiplano* est l'exemple le plus impressionnant. Ce sont là les témoins de la topographie d'aplanissement dont l'élaboration s'est terminée à la fin du Miocène, lorsqu'elle a été fortement dénivelée en horsts et grabens par l'orogénèse en extension créatrice des Andes que nous connaissons. Avec elle a commencé, dès le Pliocène inférieur, une phase exacerbée de dissection torrentielle du relief qui s'est ralentie à partir du Pliocène moyen, sans doute par suite d'un affaiblissement de l'agressivité morphogénétique du climat, et dont les produits caillouteux se sont accumulés, sur de grandes épaisseurs, dans les bassins tectoniques, toutes les fois qu'ils ne pouvaient pas être évacués plus loin. Avec le Quaternaire, même si les déformations se sont poursuivies, comme en témoignent un volcanisme actif et, aujourd'hui encore, des séismes meurtriers, ce sont avant tout des changements climatiques répétés qui ont rythmé l'évolution morphologique des Andes méridionales; ont alterné des époques pluviales et des époques sèches dans le Nord, des périodes glaciaires et interglaciaires dans le Sud où au modèle torrentiel pré-pléistocène a été substitué un modèle glaciaire qui donne aux Andes chilo-argentine leur originalité à partir du parallèle de Santiago.

Dans la présentation des Andes méridionales qui va suivre, quatre secteurs ont été distingués : les Andes du Grand Nord chilien et du Nord-Ouest argentin (18° sud - 27° sud); les Andes du Petit Nord chilien et des provinces argentines de La Rioja et de San Juan (27° sud - 33° sud); les Andes du Chili central et de l'Argentine moyenne (33° sud - 42° sud); enfin les Andes de la Patagonie et de la Terre de Feu (42° sud - 56° sud).

LES ANDES DU GRAND NORD CHILIEN ET DU NORD-OUEST ARGENTIN (13°S — 27°S)

Les Andes atteignent dans ce secteur leur plus grande largeur, plus de 650 km. De puissants accidents verticaux, d'orientation méridienne, les divisent en différents ensembles morphostructuraux.

Les ensembles morphostructuraux.

Précédée par la fosse marine péruvo-chilienne, graben qui atteint presque 8 000 m dans le Richards Deep au large d'Antofagasta (23° 40' sud), la *Cordillère de la côte* est, à petite échelle, un horst. Elle apparaît immédiatement au sud d'Arica (18° 30' sud) et s'élargit ensuite pour atteindre, à partir du 21° parallèle, une largeur moyenne d'une cinquantaine de kilomètres. A la latitude d'Iquique (20° 15' sud), elle dépasse 1 500 m de hauteur et elle culmine à plus de 3 000 m dans la Sierra Vicuña Mackenna (24° 30' sud). Le paysage, caractérisé par une topographie molle de cuvettes et de collines, sans drainage organisé, avec de-ci de-là des dépressions fermées, n'est pas celui d'une montagne. La Cordillère de la côte se termine brutalement au-dessus de l'Océan par un escarpement haut de 500 à 800 m, entaillé par des ravins à forte pente longitudinale. Au nord d'Iquique c'est une falaise accore tandis qu'au sud, des terrasses marines, généralement étroites, sauf entre Mejillones (23° sud) et Antofagasta, s'interposent entre son pied et la côte actuelle. Vers l'est au contraire, la Cordillère de la côte présente une retombée rarement abrupte, presque toujours festonnée, échancrée par de larges *embayments*, souvent précédée par des cônes surbaissés d'accumulations détritiques; c'est là que se localisent les grands gisements de nitrates du Chili.

La structure de la Cordillère de la côte comprend d'abord des éléments du socle qui affleurent principalement entre les parallèles 21° et 22° d'une part, 25° et 27° d'autre part; il s'agit de séries sédimentaires qui vont du Précambrien au Paléozoïque supérieur, plus ou moins fortement affectées par un métamorphisme régional ancien, énergiquement serrées et granitisées; ensuite une couverture mésozoïque de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, surtout d'âge jurassique, avec des faciès marins et volcaniques au nord du 21° parallèle, presque exclusivement volcaniques au sud, affectée par des intrusions granodioritiques. Cette couverture n'a pas été

vraiment plissée, seulement lourdement déformée et avant tout cassée selon un système réticulé de failles est-ouest, probablement les plus anciennes et nord-sud. Des escarpements de faille évolués sont finalement les seules formes structurales qui apparaissent dans la Cordillère de la côte.

Vient ensuite une *dépression méridienne*, connue sous le nom de Pampa del Tamarugal. Elle apparaît comme un graben dissymétrique, l'accident qui la limite à l'est étant, d'un point de vue structural, moins brutal (flexure) que celui véritablement cassant (faille) qui la borde à l'ouest. Cette gouttière dont l'altitude moyenne est supérieure à 1 000 m, a été remblayée sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur par des formations lacustres et des évaporites, mais surtout par des sédiments détritiques pliocènes et quaternaires descendus de la Cordillère des Andes proprement dite, ce qui explique le relèvement régulier de la surface d'accumulation

vers l'est. De la frontière avec le Pérou où elle touche au littoral jusqu'à la latitude 19° 30' sud, la Pampa del Tamarugal est traversée, ainsi que la Cordillère de la côte, par des cours d'eau au débit intermittent, nés sur l'*Altiplano*, qui ont creusé des vallées profondément encaissées. Ensuite, avec la seule exception du Rio Loa (21° 30' sud), à écoulement pérenne, qui a réussi à s'inciser par antécédence dans le massif côtier, elle devient un domaine endoréique, voire aréique et des *salares* à surface brune boursouflée, s'égrènent sur son bord occidental. Elle perd sa continuité à partir du 23° parallèle et tend à se résoudre en un chapelet de bassins isolés les uns des autres par des cordons montagneux.

Le versant ouest de la *Cordillère principale* se présente sous la forme d'un plan incliné, à peine disséqué par un réseau hydrographique incipient, qui s'élève très progressivement de 1 500 m à 4 000 m jusqu'à l'*Altiplano*; il est dû à une épaisse (400 à 1 000 m) accumulation de rhyolites et de rhyodacites fini-tertiaires, d'origine fissurale et de structure ignimbritique, interstratifiées avec des conglomérats, accumulation qui a envoyé toute une topographie préexistante au point de la faire presque entièrement disparaître. Au sud du 21° parallèle un alignement méridien de blocs, faits de roches mésozoïques déformées et granitisées, dont les parties hautes dépassent 4 000 m (Cordillère de Domeyko, 23° sud - 26° sud) précède la Cordillère principale; il en est séparé par des fossés tectoniques (cours supérieur du rio Loa, 21° sud - 22° sud; Salar de Atacama, 23° sud - 24° sud).

L'*Altiplano* chilien qui se prolonge en Bolivie et en Argentine (*Puna*), se présente sous la forme d'un haut plateau situé vers 4 000 m d'altitude moyenne. Il correspond à une surface d'érosion qui nivelle un substratum précambrien (dorsale de Calehaqui) et aussi, vers l'est, sa couverture plissée de terrains paléozoïques (bassin bolivien), crétacés-paléo-

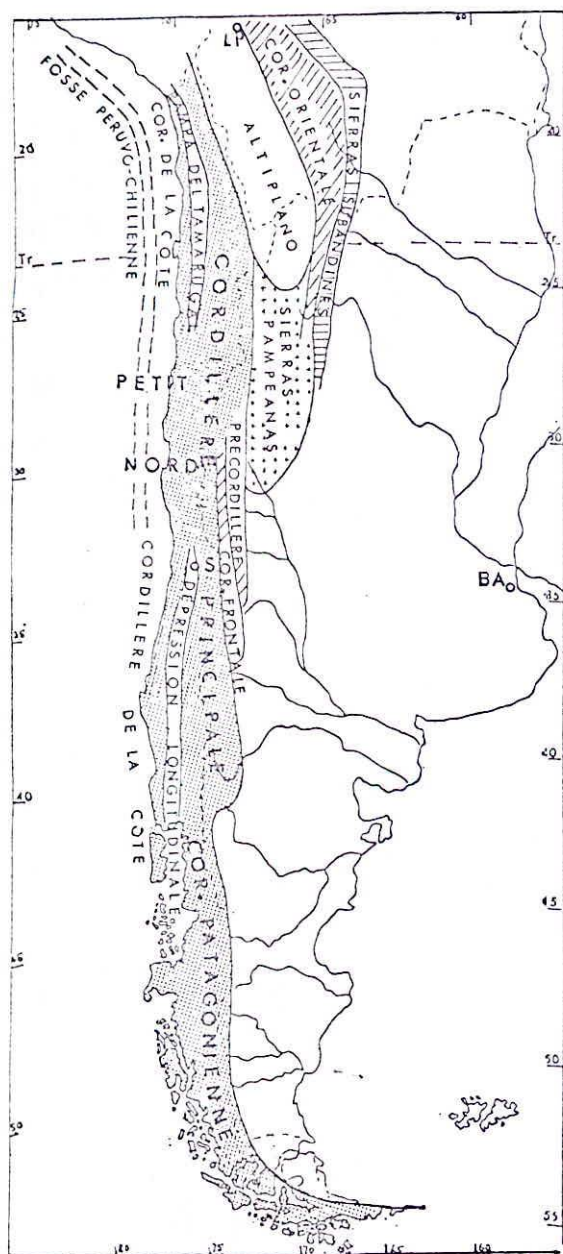


FIG. 1. — Les grands ensembles structuraux des Andes méridionales (d'après Aubouin et al., 1972).
LP : La Paz. S : Santiago. BA : Buenos Aires.

cènes (bassin subandin) et miocènes (avant-fosse molassique). Dans sa partie ouest une couverture rhyolitique pliocène donne encore plus de netteté au paysage tabulaire sur lequel sont posés des strato-volcans quaternaires qui dépassent souvent 6 000 m d'altitude (Ojos del Salado, 6 885 m, 27° sud) et qui s'alignent du nord au sud en une cordillère volcanique. Des *salarés* d'un blanc éclatant, comme celui de Huasco (20° 20' sud) sont localisés dans des fossés tectoniques d'orientation méridienne. Vers l'est, au contraire, les formations effusives sont discontinues et la topographie est moins rigide : des hauteurs surbaissées, aux formes lourdes, séparent des dépressions à fond plat.

La *Cordillère orientale* flanque l'*Altiplano* auquel elle est plus ou moins étroitement soudée. Elle apparaît dans la province argentine de Salta où elle atteint déjà plus de 5 000 m pour s'épanouir vers le nord, en Bolivie, dans la Cordillère Royale. Elle est constituée par des massifs aux sommets rabotés, orientés du nord au sud et séparés par des fosses profondes d'origine tectonique, parfois larges, tel le *Valle de Calchaquí* (25° sud), parfois étroites, comme celle de la célèbre *Quebrada de Humahuaca* (23° sud). Les grands accidents méridiens dus à la tectonique en extension du début du Pliocène, recoupent des structures un peu plus anciennes, caractérisées par de puissantes écaillés du socle (schistes cristallins précambriens) qui chevauchent vers l'est les séries primaires (quartzites cambriens, schistes siluriens) ainsi que les molasses rouges du Crétacé et même celles du Miocène. Ces chevauchements sont énergiques mais ils sont enracinés axialement et leur portée est relativement faible, quelques kilomètres au plus. Des formes structurales (crêtes, hog-back, chevrons) ont été dégagées dans les assises sédimentaires.

Les *sierras subandines* complètent l'édifice montagneux sur le bord de l'avant pays, à partir de Tucuman, en allant vers le nord; elles se prolongent en Bolivie où elles se développent. Ce sont des chaînons de type jurassien, allongés parallèlement, qui ne dépassent pas 3 000 m d'altitude. Ils sont alignés dans la direction de la bordure des Andes et dominent directement la plaine du Chaco. Les sierras subandines sont formées de terrains comparables à ceux rencontrés dans la Cordillère orientale : en discordance sur le socle-précambrien, mais concordantes entre elles, des séries paléozoïques complètes et différenciées d'une part, des niveaux épais de marnes, grès et conglomérats continentaux du Crétacé supérieur et du Miocène d'autre part. Elles doivent leur individualité à un style tectonique différent : de lourds plis de fond qui ont déformé d'une manière égale le socle et sa couverture. Les anticlinaux sont simples, parfois dissymétriques, mais bien individualisés et régulièrement parallèles entre eux. Les mouvements verticaux du début du Pliocène ont eu ici des effets limités. La sierra de Zapla (24° 20' sud) anticlinal dissymétrique creusé en combe est un bon exemple des formes de relief caractéristiques des sierras subandines.

Les contrastes bio-climatiques.

Un profil ouest-est des Andes dans le Grand Nord chilien et le Nord-Ouest argentin fait apparaître des oppositions climatiques très nettes qui expliquent des contrastes biogéographiques accusés.

L'existence d'un *désert hyperaride* dans le nord du Chili — il n'y pleut à peu près jamais — tient à la conjonction de trois facteurs inhibiteurs de pluies : les hautes pressions de l'anticyclone du Pacifique Sud, le courant marin froid de Humboldt et l'abri andin vis-à-vis du front humide des alizés.

Une *nuance côtière brumeuse* de ce désert absolu se rencontre dans la Cordillère de la côte, essentiellement sur sa retombée occidentale. Les données relatives à Arica (alt. 29 m) permettent de la caractériser : pas de pluie (moyenne annuelle : 1,1 mm; 0,1 mm de 1945 à 1957 !); des températures fraîches (janvier : 22° 2; juillet : 15° 7); des amplitudes thermiques atténuées tant annuelles (extrêmes absolus : 31° 5 et 5° 2) que journalières (6° à 8°); des vents du sud-ouest prédominants; une humidité relative élevée, souvent proche de la saturation et rarement inférieure à 70 %; une forte nébulosité (80 jours par an de ciel couvert); des brouillards fréquents, semblables à la *garra* péruvienne et appelés ici *camanchaca*. C'est cette atmosphère constamment humide qui est à l'origine d'une végétation de *lomas* sur les pentes bien exposées : de petits buissons (genre *Baccharis*), des cactus en forme de cierge (*Cereus coquimbensis*) ou de boule (*Echinocactus humilis*), des touffes de *Tillandsia* dans le Nord vers la frontière avec le Pérou.

En arrière de la côte, le désert se prolonge dans la dépression longitudinale mais il s'agit maintenant d'un *désert ensoleillé*. Les pluies y sont tout aussi dérisoires que sur le littoral mais ici l'humidité relative est basse, exceptionnellement supérieure à 50 %, le ciel presque toujours dégagé d'où une très forte évaporation et une grande sécheresse atmosphérique. Les températures accusent de fortes amplitudes; les maxima dépassent 40° et les gelées nocturnes sont courantes entre mai et octobre. Dans un tel désert, probablement le plus rigoureux de la planète, on s'attendrait à ne rencontrer aucune forme de végétation. Pourtant entre le 20° et le 21° parallèle, sur le bord occidental de la dépression longitudinale, au pied de la Cordillère de la côte, on trouve une forêt claire de *tamarugos* (*Prosopis tamarugo*), arbre miracle dont les feuilles sont comestibles pour les moutons et qui a été décimé pour chauffer les chaudières des entreprises nitratières. Ce phréatophyte qui a donné son nom à la Pampa del Tamarugal, se localise là où la nappe souterraine — alimentée par les pluies de la haute Cordillère — se rapproche de la surface et donne naissance à des *salarés* (Salar de Pintados) par suite de l'ascension capillaire des eaux.

La montée vers l'Altiplano voit le désert céder la place à un étage steppique au fur et à mesure que les précipitations estivales, dernières éclaboussures de l'*invierno boliviano*, augmentent sans jamais cesser d'être médiocres : 50 mm vers 2 000 m, 100 mm vers 3 000 m, 150 mm vers 3 500 m. Parallèlement les températures diminuent, particulièrement celles de la nuit pendant laquelle le thermomètre descend en hiver au-dessous de -5° . Sur les versants dominent les *cardones*, cactus en forme de candélabre (genre *Cereus*) et de raquette (genre *Opuntia*). Quelques espèces arborescentes se logent dans les quebradas : *Prosopis chilensis*, *Schinus molle*.

Le désert d'altitude s'étend au-dessus de 3 500 m sur le haut plateau andin. À l'aridité s'ajoute le froid. La tranche d'eau se situe entre 200 et 400 mm; elle s'accroît vers le nord et vers l'est; elle tombe en été, de décembre à mars, souvent sous forme de neige qui se sublime en partie. La température moyenne annuelle avoisine 10° et la différence thermique entre le mois le plus chaud et celui le plus froid est inférieure à 10° (La Quiaca, Argentine, 3458 m, 22° sud, 308 mm de pluie dont 283 mm de novembre à mars; température annuelle: $9,5^{\circ}$). Conséquence d'une radiation solaire intense pendant le jour (3 265 heures d'insolation par an à La Quiaca) et d'un rayonnement terrestre considérable pendant la nuit, phénomènes liés à la faible épaisseur et à la sécheresse de l'atmosphère, l'amplitude thermique diurne est toujours très élevée. Dans la journée, quelle que soit la saison, le soleil brûle dans l'air frais; au contraire, après le coucher du soleil, le thermomètre peut descendre à -30° en hiver et jusqu'à -5° en été (178 jours de gelée par an à La Quiaca).

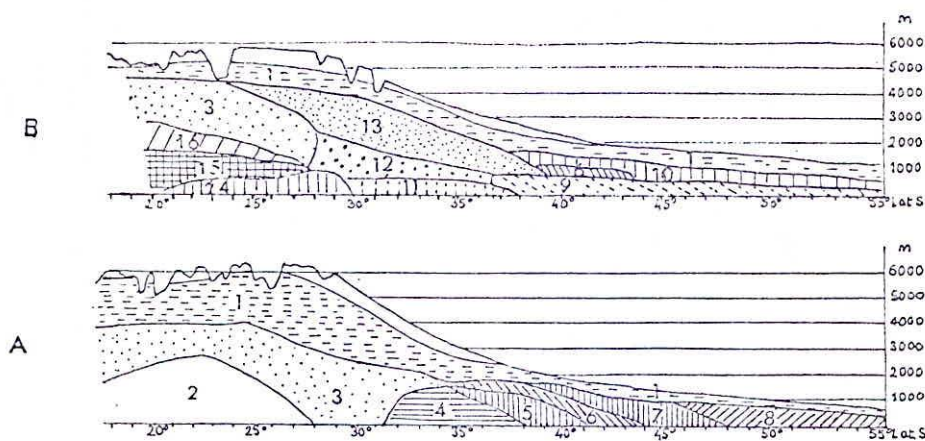


FIG. 2. — Les étages de végétation dans les Andes méridionales (d'après Czajka, 1968, simplifié).

A : versant occidental; B : versant oriental.

1 : formations de la haute montagne andine (*tolar*, *llaretales*...); 2 : désert; 3 : steppe à épineux et succulents (*jaral*); 4 : *matorral*; 5 : forêt mixte; 6 : forêt valdivienne; 7 : forêt nord-patagonienne; 8 : forêt subantarctique sempervirente; 9 : steppe patagonienne; 10 : forêt subantarctique caducifoliée; 11 : steppe buissonnante (*jarillal*); 12 : steppe arbustive (*monte serrano*); 13 : steppe de graminées (*coironal*); 14 : forêt xérophile; 15 : forêt subtropicale; 16 : forêt d'aulnes.

On rencontre sur l'Altiplano des touffes de graminées dures du type *ichu* (genres *Stipa*, *Festuca*) qui constituent, là où les pluies le permettent, des peuplements homogènes et étendus, les *pajonales*. On désigne sous le nom de *tolar* une formation ouverte et basse de buissons résineux, tels *Baccharis tola* et *Fabiana densa*. Le *queñoa* (genre *Polylepis*) est un arbuste au tronc noueux dont la taille ne dépasse pas 2 m. Les *llaretales* représentent une association de plantes en coussinet, parmi lesquelles *Azorella yareta* sert de combustible. Les *bofedales* correspondent à des terrains gorgés d'eau, couverts de pelouses épaisses qui sont des pâturages de qualité pour les lamas. Sur les volcans la végétation disparaît pratiquement au-dessus de 5 000 m; des plaques de névé et de petits glaciers existent au-dessus de 6 000 m.

Les pluies et les températures augmentent en descendant sur le versant argentin, du moins sur les pentes les plus externes de la Cordillère orientale, car les massifs internes et les dépressions qui les séparent restent secs. Les sierras subandines, là où elles existent, ne constituent pas, par suite de leur hauteur modeste, un véritable écran pour l'air humide qui arrive de l'est. Ici le piedmont est plus arrosé que la montagne.

Du bord de l'Altiplano jusqu'à 2 700 m, la sécheresse règne toujours et les températures sont encore basses, d'où la présence d'une formation xérophile, le *cardonal*, steppe de Broméliacées rases et piquantes (*Abromeitiella astrata*, *A. brevifolia*) hérissée de grands cactus-cierges (*Tricocereus pasacana*). Des boisements rabougris de *queñoa* se rencontrent sur les flancs des ravins. À partir de 2 700 m les arbres se généralisent, d'abord sous l'aspect d'un bois clairsemé d'aulnes (*Alnus jorullensis*), puis vers 1 700 m d'un *Nebekwald* composé

de noyers (*Juglans australis*) et de pins (*Podocarpus parlatorei*); à ce niveau il tombe environ 1 500 m de pluie, la température du mois le plus chaud est de 20°, celle du mois le plus froid 10°; il n'y a plus qu'une dizaine de jours de gelée par an. On trouve ensuite, à partir de 1 200 m, une forêt subtropicale de Myrtacées (genre *Eugenia*) puis entre 900 et 600 m, une forêt dense sempervivente de Lauracées (*Phoebe porphyria*), couvertes de lianes et d'épiphytes, avec des bambous et des fougères (1 000 mm de pluie par an; 25° pour le mois le plus chaud; 12° pour le mois le plus froid). Plus bas, avec la dégradation de la pluviométrie, apparaît la forêt xérophile du Chaco, riche en plantes grasses.

Les problèmes morphologiques.

Une première question importante concerne la datation et les conditions d'élaboration du relief usé, plus ou moins parfaitement aplani qui caractérise le haut plateau andin. Cette « surface de la Puna » tronque des terrains précambriens, paléozoïques, mésozoïques (Crétacé supérieur) et tertiaires. L'âge de ces derniers, des formations continentales rouges, n'est pas établi avec certitude; ils sont probablement éogènes mais la partie supérieure de la série (groupe Corocoro au sens large) pourrait dater du Miocène. Il y a là une première cause d'incertitude pour la détermination de la « fourchette ». Par contre le *terminus ad quem* est connu avec plus de précision. En effet de puissantes émissions fissurales, liées à la tectonique en extension responsable du dernier grand soulèvement des Andes, ont répandu sur la surface de la Puna, au moment où elle commençait à être dénivelée, une épaisse couverture rhyolitique qui, à la latitude d'Arica se suit, faillée et flexurée, depuis l'Altiplano jusqu'au bord de l'océan Pacifique. Or des datations absolues font apparaître que les plus anciens de ces dépôts volcaniques remontent à 12 ou 13 millions d'années. On peut donc dire que l'élaboration de la surface de la Puna s'est terminée à la fin du Miocène. Quant aux conditions de sa genèse, on les a longtemps imaginées dans une perspective davisienne : elle était interprétée comme une pénéplaine sur laquelle subsistaient des massifs résiduels constitués de roches résistantes. On la considère plutôt aujourd'hui comme une pédiplaine qui aurait évolué, au voisinage du niveau de la mer, dans un milieu tropical humide, ainsi qu'en témoignent les flores trouvées dans les couches rouges tertiaires. Mais il reste à faire l'étude systématique des dépôts corrélatifs éventuels, qui seule pourrait faciliter la compréhension du milieu morphoclimatique qui a vu l'élaboration de la surface de la Puna.

Il faut aussi réviser l'explication donnée jusqu'ici de l'impressionnant abrupt qui limite la Cordillère de la côte face à l'océan Pacifique. On y voyait un grandiose escarpement de faille d'âge quaternaire. On pense maintenant que, si cette falaise a bien une origine tectonique, sa position actuelle résulte d'un recul — encore difficile à évaluer — de l'escarpement sous l'effet de l'érosion marine, les études géologiques récentes n'ayant pas fait apparaître l'existence d'une faille à sa base même. La contrepartie de cette érosion se retrouve sur la plate-forme continentale et dans la fosse péruvo-chilienne où des sondages acoustiques ont révélé l'existence de matériaux détritiques. D'autre part l'âge de l'accident doit être vieilli. Au-dessus de Pisagua (19° 35' sud) la falaise tranche un alvéole remblayé par des cailloutis continentaux et un dépôt ignimbritique dont la datation radiométrique a donné un résultat de 21 millions d'années, ce qui correspond au début du Miocène. Par ailleurs, près d'Iquique, des formations marines du Pliocène moyen à supérieur fossilisent son pied. On en conclut que les mouvements verticaux à l'origine de l'escarpement côtier et de la grande fosse sous-marine, se sont produits ici, comme ailleurs dans les Andes, à la fin du Miocène ou au début du Pliocène.

Pendant le Quaternaire l'évolution morphologique des Andes du Grand Nord chilien et du Nord-Ouest argentin a été déterminée, moins par des mouvements verticaux qui se sont poursuivis mais avec le caractère de séquelles, que par des changements de climat dus surtout à une augmentation des précipitations et, peut être aussi, à une baisse des températures. Ainsi, des poussées glaciaires ont été signalées dans les hautes Andes. Les Nevados de Payachata (18° 10' sud), ensemble de strato-volcans pleistocènes situés près de la frontière bolivienne et hauts de plus de 6 000 m, montrent des petits cirques, des ébauches d'auge, des dépôts d'argiles à blocs jusqu'à 4 500 m, alors qu'aujourd'hui existent seulement des plaques de glace au-dessus de 5 500 m. A proximité du Salar de Huasco de petits glaciers coalescents sont descendus à deux reprises jusqu'à 4 200 — 4 300 m, à partir de volcans égueulés qui culminent à 5 000 m; chacune de ces « glaciations » a coïncidé avec la formation d'un lac dans la cuvette occupée par le salar, ainsi qu'en témoignent des restes de terrasses à + 30 et + 15 m. En Argentine, dans le massif de l'Aconquija (27° sud), où la ligne d'équilibre glaciaire se situe aujourd'hui vers 5 000 m, des formations morainiques se rencontrent jusqu'à 4 000 m. Sur l'Altiplano, au-dessus des montagnes englacées, l'action de la cryonivation était alors très importante : elle empâtait les versants de dépôts lités et colmata en partie les dépressions par des débris gélivés et soliflués.

Pendant les périodes du Pléistocène qui ont vu l'extension des phénomènes glaciaires, périglaciaires et lacustres sur le haut plateau andin, les quebradas qui y prennent naissance ont accumulé dans la Pampa del Tamarugal, sur des épaisseurs dépassant la centaine de mètres, du matériel caillouteux; elles ont ainsi édifié des cônes coalescents et des glacis d'accumulation qui s'imbriquent les uns dans les autres et passent à des dépôts d'évaporites. Dans la région d'Arica on a pu distinguer quatre principales nappes détritiques. La Cordillère de la côte n'a pas échappé aux changements climatiques, même si sa tendance à l'aridité semble s'être perpétuée au cours des temps post-tertiaires. Des phases à averses, sinon d'authentiques pluviaux, expliquent l'existence de réseaux de ravines figées et l'édification sur des plages de régression marine de gros cônes de déjection par des quebradas qui échancèrent l'escarpement côtier; ces constructions torrentielles ne sont plus fonctionnelles aujourd'hui et l'érosion marine les attaque.

Du côté argentin, dans les fossés de la Cordillère orientale, les crises climatiques du Quaternaire sont responsables de l'élaboration de glacis d'ablation étagés et disséqués, taillés dans le matériel détritique des couches de Calchaquí qui a ennoyé ces grabens pendant le Pliocène. Elles sont aussi à l'origine de gigantesques cônes emboîtés et plus ou moins démantelés aujourd'hui, qui ont été construits, à leur débouché dans les *valles*, par les quebradas latérales, très actives lors des périodes pluviales. On trouve de beaux exemples des uns et des autres dans la Quebrada de Humahuaca.

L'occurrence de ces époques plus humides, de type glaciaire dans les hautes Andes, pluvial ailleurs, paraît liée à un affaiblissement et un déplacement de l'anticyclone du Pacifique Sud, ce qui permettait une arrivée plus facile de l'air équatorial, donc une plus grande vigueur et une plus grande extension de l'*Invierno boliviano*. D'autre part une atténuation des remontées d'eaux froides le long du littoral du Pacifique pourrait expliquer les périodes à fortes averses reconnues dans la Cordillère de la côte. Enfin, il faut aussi signaler que, sur le versant argentin au moins, existent des indices d'époques plus sèches que l'actuelle : des ravinements sont fixés par la forêt dans le domaine pluvieux du piedmont de la Cordillère orientale.

Aujourd'hui, dans le désert chilien, le modelé semble mort; même le rôle du vent est limité parce que les croûtes salines s'opposent à la déflation. Sur l'*Altiplano*, la gélifraction est intense mais les débris ne peuvent pas être évacués; les actions éoliennes n'y sont pas négligeables : pavages, versants aspergés de sable, champs de petites dunes. Dans la Cordillère orientale, l'érosion torrentielle est spectaculaire : lors des gros orages estivaux, des laves torrentielles, appelées *volcanes*, descendant vers les bassins emportant tout sur leur passage.

LES ANDES DU PETIT NORD CHILIEN ET DES PROVINCES ARGENTINES DE LA RIOJA ET DE SAN JUAN (27°S — 33°S)

D'importantes transformations affectent l'édifice andin dans ce secteur :

- l'*Altiplano*, la Cordillère orientale et les sierras subandines disparaissent définitivement avant le 28° parallèle; une nouvelle entité apparaît sur le versant est, les sierras pampéennes, mais la largeur des Andes est maintenant réduite à quelque 400 km;
- la dépression longitudinale chilienne s'estompe rapidement; aussi la Cordillère de la côte cesse-t-elle d'exister comme unité physiographique;
- le volcanisme plio-quaternaire s'efface complètement à partir de la latitude de Copiapo (27° 22' sud).

Les unités morphotostructurales

Entre le 27° et le 33° parallèle trois unités principales peuvent être identifiées dans la chaîne des Andes.

Tout d'abord une *Cordillère* centrale, large de 150 à 200 km, massive et très élevée; ses sommets dépassent 5 000 m et même souvent 6 000 m, altitudes d'autant plus remarquables qu'elles ne s'identifient pas à des édifices volcaniques récents : la cime du Mercedario, 31° 58' sud, à 6 770 m d'altitude correspond à du Trias. Cette Cordillère centrale est constituée par des séries mésozoïques volcano-sédimentaires fortement granitisées qui, vers la frontière entre le Chili et l'Argentine, s'appuient sur des formations paléozoïques. Les directions structurales les plus claires sont des failles nord-sud ou nord-ouest-sud-est qui contrôlent étroitement le tracé du cours supérieur des grands rios.

À l'ouest, une moyenne montagne s'abaisse, comme par paliers, de 3 500-3 000 m à 1 500-1 000 m, vers l'océan Pacifique. Le contact avec la haute Cordillère est brutal, au moins entre le 29° et le 33° parallèle; il est dû à un accident géologique majeur, d'orientation méridi-

dienne, situé vers 70° 40' de longitude ouest, qui se traduit dans la topographie par une dénivellation de l'ordre de 1 000 m. Ici encore dominent les accumulations éolives et détritiques mésozoïques, traversées par des intrusions granitiques; elles ont été déformées en plis lourds, à axe généralement nord-sud, victimes d'accidents cassants dès l'origine et incapables de donner naissance aux formes classiques de relief dérivées de structures plissées. Les surfaces sommitales planes, encore étendues jusqu'au 30° parallèle, perdent de leur importance au-delà. Des lambeaux étroits et discontinus de roches anciennes affleurent le long de la côte; ils ont été presque entièrement aplanis par l'érosion marine. Finalement l'aération du relief dans la moyenne montagne vient de vallées transversales, couloirs larges et profonds, empruntés par de grands cours d'eau nés dans la haute Cordillère: ce sont, du nord au sud, le rio Copiapo (27° 30' sud), le premier à être pérenne depuis le rio Loa, le rio Huasco (28° 30' sud) le rio Elqui (30° sud), le rio Limari (30° 40' sud), le rio Chonpa (31° 50' sud) et le rio Aconcagua (32° 50' sud).

A l'est, dans le sud des provinces argentines de Catamarca et de La Rioja, apparaissent les sierras pampéennes, vastes plis de fond simples de roches anciennes (séries paléozoïques, de plus en plus épaisses vers le sud, discordantes sur des gneiss, des micaschistes et des granites précambriens), découpés en blocs et en fossés selon une direction méridienne. Les horsts atteignent des hauteurs considérables (6 250 m dans la sierra de Famatina); leurs versants escarpés contrastent avec leur surface sommitale à topographie mûre. Entre ces massifs, les bassins enclavés (*valles*, *bolsones*) sont bourrés de matériel détritico pliocène et quaternaire; leur altitude varie entre 2 000 et 700 m; En direction du sud, les Sierras pampéennes vont les unes après les autres se fondre dans l'avant-pays du massif de Cordoba. Elles sont relayées, dans la province de San Juan, par la précordillère qui est un panneau, constitué aussi de roches anciennes, porté à plus de 4 000 m d'altitude. On en reparlera à propos des Andes du Chili central et de l'Argentine moyenne.

Les données bio-climatiques

Sur le versant chilien des Andes, le climat hyperaride du Grand Nord cède la place, au-delà du 27° parallèle, au climat du désert marginal. Celui-ci est caractérisé par l'occurrence de précipitations cycloniques d'hiver qui peuvent néanmoins totalement manquer certaines années; elles augmentent en allant vers le sud: Copiapo, 24 mm; Vallenar 28° 30' sud, 65 mm; la Serena, 29° 54' sud, 118 mm) et tombent de mai à août (hiver austral). Comme plus au nord, on retrouve le long du littoral une humidité relative élevée (moyenne annuelle 75 %), des brouillards fréquents, des températures fraîches pour la latitude (moyenne du mois le plus chaud 20°), des amplitudes thermiques annuelles et journalières amorties, de l'ordre de 7° dans l'un et dans l'autre cas. Ces influences océaniques remontent par les vallées transversales jusqu'à plus de 50 km vers l'amont. Au-dessus de 3 500 m, la haute Cordillère est spécialement aride dans ces parages parce qu'elle n'est plus touchée par les pluies estivales de l'*invierno boliviano* et que les précipitations cycloniques d'hiver liées au front polaire austral y arrivent affaiblies (moins de 150 mm par an en moyenne); les pluies sont par ailleurs très irrégulières d'une année à l'autre.

La végétation caractéristique de la frange côtière et de la moyenne montagne du désert marginal est le *jaral*, formation très ouverte constituée par des buissons xérophiles bas (*Adesmia atacamensis*) et, surtout près de l'Océan, par des cactées (genres *Cereus*, *Opuntia*). Au printemps, lorsque l'hiver a été bien arrosé, le sol est couvert par un tapis de plantes très diverses; la floraison de ces géophytes et thérophytes donne au désert un aspect inhabituel: c'est l'époque du *desierto florido*.

A partir du 30° parallèle commence le Chili semi-aride où les pluies hivernales tombent chaque année même si l'irrégularité interannuelle reste grande. La transition avec le climat méditerranéen du Chili central qui commence au 33° parallèle, est rapide puisque le total pluviométrique augmente d'environ 100 mm par degré de latitude (La Serena, 118 mm, 29° 54' sud; Valparaíso, 444 mm, 33° sud). Dans la haute Cordillère l'accroissement des précipitations est plus rapide: 250 mm vers 30° sud; 1 000 mm vers 33° sud); Le long de la côte, l'influence du courant de Humboldt se fait encore sentir à travers des brouillards et la fraîcheur des températures moyennes (20° pour le mois le plus chaud) qui ne varient guère avec la latitude. La direction dominante des vents est le sud-ouest.

Sur la bande littorale la steppe buissonnante du *jaral* est relayée entre le 31° et le 32° parallèle par une association d'arbustes sclérophylles bas, aux feuilles persistantes, qui annonce le *matorral* du Chili central. Dans la moyenne montagne où l'humidité est moins grande, la formation végétale caractéristique est une steppe à épineux (*Acacia cavenia*) et à succulents. Enfin dans toute la haute Cordillère du Petit Nord on retrouve le *tolar* et les *llarcales*, formations d'altitude déjà décrites à propos du Grand Nord.

Du côté oriental, dans les sierras pampéennes, règne un climat subtropical (La Rioja, 29° 24' sud, 517 m, température moyenne annuelle 19° 6, maximum absolu 45°, minimum absolu — 5°) qui se différencie de celui décrit dans le Nord-Ouest argentin par sa plus grande sécheresse. Les pluies tombent toujours en été, de novembre à mars, sous la forme d'averses (*chaparrones*), plus ou moins importantes suivant les années. Elles ne dépassent pas en moyenne 300 à 350 mm dans les montagnes, du moins sur leurs versants orientaux exposés aux vents humides; dans les *valles* et *bolsones*, elles s'abaissent au-dessous de 150 mm. L'aridité s'accroît encore dans la province de San Juan.

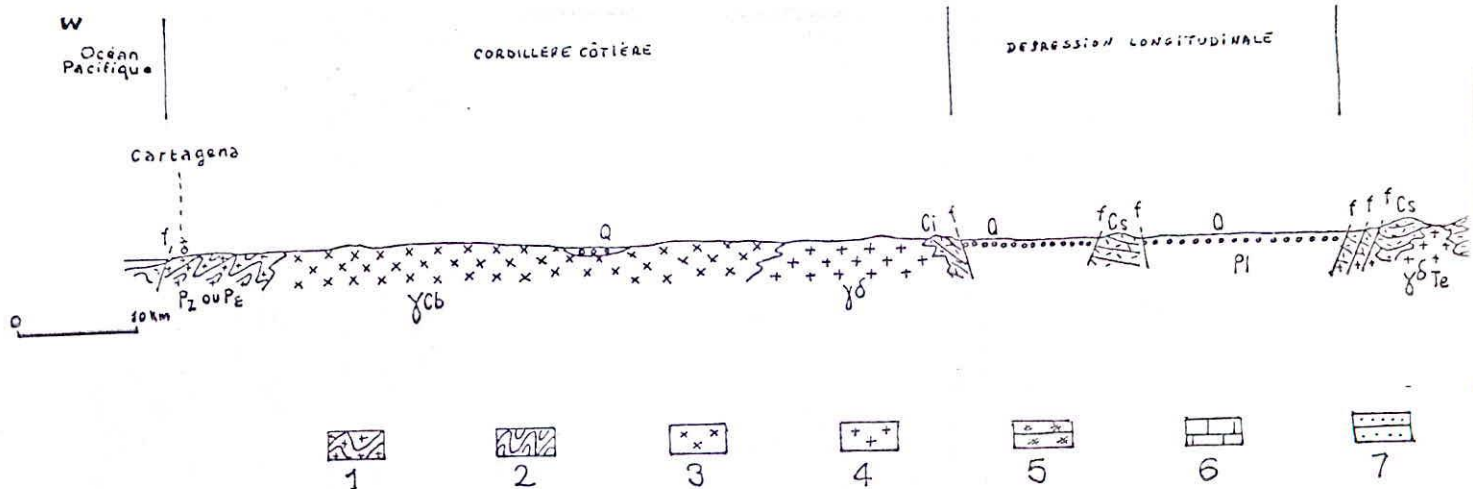


FIG. 3. — Coupe générale schématisée des Andes méridionales

1 : roches métamorphiques; 2 : roches épimétamorphiques; 3 : granites pré-andins; 4 : granodiorites andines; 5 : rhyolites; 6 : calcaires; 7 : grès; 8 : cailloutis; 9 : gypse; 10 : andésites; 11 : chevauchement; 12 : faille inverse; 13 : faille normale; 14 : discordance.

P : Précambrien.

P : Paléozoïque; Pγ : Permo-trias; γP : granites paléozoïques; TaCb : granites carbonifères.

De telles conditions climatiques permettent seulement l'existence d'un *monte*. Dans les bassins la végétation appauvrie est un *jarillar* (genre *Larrea* dominant) aux buissons espacés. Les *algarrobales*, bois de *Prosopis*, se rencontrent là où la nappe d'eau est proche. Les pentes des sierras sont couvertes de buissons épineux et de cactées, en association plus denses lorsque le versant est orienté vers l'est.

L'évolution du relief

Il existe dans les Andes du Petit Nord chilien des familles de formes associées à des dépôts qui ont fait l'objet de recherches détaillées au cours des dernières années et qui permettent de reconstituer les étapes fondamentales de l'évolution de la chaîne depuis le milieu du Tertiaire.

Dans la moyenne montagne du désert marginal, en particulier à l'est de Copiapo, subsistent sur les interfluvies, perchés au-dessus des vallées actuelles, des témoins étendus d'une morphologie ancienne, élaborée antérieurement au dernier grand soulèvement des Andes. Il s'agit d'une topographie mûre plus que d'une véritable surface d'aplanissement. Les roches y sont profondément altérées. Par endroits, l'évolution vers l'aplanissement semble avoir été plus poussée. Des épandages de cailloux roulés (*upland gravels*) représentent les dépôts corrélatifs des actions morphogénétiques qui s'exerçaient alors, probablement dans un milieu climatique de type tropical. On peut dater avec vraisemblance de l'Oligo-Miocène la période pendant laquelle cette topographie ancienne, qui est probablement équivalente de la surface de la *Puna*, a été façonnée.

À la fin du Miocène ou tout au début du Pliocène, se sont produits des mouvements verticaux de grande ampleur, responsables de la mise en place de volumes montagneux qui ont donné, à peu de chose près, au Petit Nord ses traits orographiques actuels. Au Pliocène inférieur, en fonction du nouveau système de pentes ainsi créé, d'un niveau marin plus bas que celui d'aujourd'hui et probablement d'un climat agressif, s'est élaboré un modèle de dissection torrentielle vigoureuse. Cette phase active d'érosion s'est achevée au Pliocène moyen avant que tous les témoins de la topographie mûre aient pu disparaître. Elle a été relayée jusqu'à l'extrême fin du Tertiaire par une période de remblaiement généralisé. De grandes quantités de matériaux détritiques se sont accumulés alors dans les vallées profondément creusées au cours de l'épisode précédent. Cette nouvelle tendance de l'évolution du relief s'explique sans doute par un affaiblissement des processus morphoclimatiques mais aussi par une transgression de l'Océan, attestée par une épaisse série de grès tendres fossilifères (formation de Coquimbo) qui affleure largement dans plusieurs secteurs de la frange côtière (embouchure du rio Copiapo 27° 20' sud; embouchure du Rio Elqui, 30° sud).

Les variations quaternaires du niveau de l'océan Pacifique ont laissé des marques très claires le long du littoral du Petit Nord, sous la forme de terrasses étagées dont la largeur dépasse plusieurs kilomètres, voire la dizaine de kilomètres et qui représentent un élément non négligeable de la morphologie régionale. Il apparaît que le rôle des oscillations glacio-eustatiques a été très important dans la genèse de ces niveaux, même si des mouvements tectoniques se sont, avec plus ou moins de vigueur suivant les endroits, superposés aux allées et venues propres de l'Océan. Les plates-formes marines sont particulièrement bien développées entre Caldera (27° sud) et l'embouchure du rio Copiapo, près de l'embouchure de la Quebrada Carrizallilo (29° sud), autour de la baie de Tongoy (30° 30' sud) mais c'est surtout autour de la baie de Coquimbo, dans les environs de La Serena, qu'elles sont le plus remarquables par leur régularité. Taillées dans les grès tendres du Pliocène marin, jonchées de dépôts de plage fossilifères, elles sont au nombre de cinq, séparées les unes des autres par des falaises mortes et étagées jusqu'à une centaine de mètres d'altitude; elles passent latéralement aux terrasses fluviales du rio Elqui.

Quant à la néotectonique dont les effets peuvent être considérés comme les séquelles de la tectonique en extension de la fin du Tertiaire, elle n'a pas joué partout avec la même intensité. Active dans certains secteurs, elle a été beaucoup plus discrète dans d'autres. Ainsi, alors que les alentours de la baie de Coquimbo ont été peu affectés par des déformations récentes, un peu plus au sud, de part et d'autre de l'embouchure du rio Limari (30° 15' sud) des plates-formes d'abrasion marine du Pliocène supérieur et du Pléistocène inférieur ont été dénivellées par des failles de plusieurs centaines de mètres de rejet.

L'évolution morphologique actuelle des Andes entre le 27° et le 33° parallèle, n'apporte que des retouches à un modèle hérité pour l'essentiel des événements dont on vient de parler. Cependant, sur la côte du désert marginal, des processus physico-chimiques, liés aux conditions climatiques originales du littoral aride, sont à l'origine de tallois, probablement parmi les plus spectaculaires du monde. Le vent modèle de grands champs de dunes près de l'embouchure du rio Copiapo ainsi qu'entre les parallèles 32° et 33°. Dans la moyenne montagne, les paysages granitiques montrent une dissection en bad-lands d'origine anthropique. En haute Cordillère, gélifraction et solifluxion oblitérent des formes qui datent de la dernière époque glaciaire. Enfin, du côté argentin, des nappes de cailloux et de boue descendent des Sierras vers les bassins lors des grands orages estivaux.

LES ANDES DU CHILI CENTRAL ET DE L'ARGENTINE MOYENNE (33°S — 42°S)

Au sud du rio Aconcagua l'édifice andin se divise en de nouvelles unités morphostructurales. Sur le versant chilien la pluviométrie augmente rapidement et, avec elle, la densité des formations végétales; par contre le versant argentin reste marqué par la sécheresse. Le volcanisme plio-quaternaire se retrouve et le modèle glaciaire prend de l'extension.

Les ensembles morphostructuraux

Une *chaîne côtière*, bien individualisée grâce à la résurrection de la dépression longitudinale, réapparaît mais elle ne mérite que par endroits le nom de Cordillère. De part et d'autre du rio Maipo, entre le 33° et le 34° parallèle, elle a en effet l'aspect d'une vraie montagne, au moins à l'est, où des cimes de plus de 2 000 m dominent directement la plaine de Santiago; au-delà de cette ligne de faite, en direction de l'Océan, les altitudes diminuent et la Cordillère se débite en chaînons au sommet aplani et en petits bassins remblayés. Vers le sud, cet agencement en blocs et fossés se poursuit mais la chaîne côtière s'abaisse au-dessous de 1 000 m et, dans la région de Concepción, (37° sud) elle se résout en un ensemble de collines qui plafonnent entre 500 et 800 m. Au-delà du rio Bio-Bio (37° 35' sud), des aspects montagneux se retrouvent dans la Cordillère de Nahuelbuta qui dépasse 1 000 m mais ils s'estompent de nouveau une fois passé le rio Imperial (38° 41' sud). Au sud de Valdivia (39° 50' sud) des hauteurs atteignent encore 1 000 m; la chaîne n'est plus alors qu'un étroit massif plaqué contre l'Océan.

D'un point de vue structural la Cordillère côtière est constituée fondamentalement de terrains anciens, d'une part des roches métamorphiques (phyllades, micaschistes, gneiss) infracambriennes voire paléozoïques, d'autre part des granodiorites primaires profondément altérées, probablement par suite d'un intense broyage tectonique. Au nord du 36° parallèle et à l'est de ces morceaux de socle, d'épaisses accumulations volcaniques crétacées ont été affectées par des intrusions granitiques à la fin du Secondaire. A l'ouest, le long de l'Océan, des séries surtout marines de grès, déposées à l'Eocène, au Miocène et au Pliocène, peu tectonisées, affleurent près de Navidad (34° sud) et d'Arauco (37° 15' sud).

Ainsi la Cordillère de la côte, montagne modeste par ses altitudes, se présente avant tout comme un panneau de matériel ancien, découpé en blocs et en fossés par des mouvements verticaux intervenus à la charnière du Miocène et du Pliocène. Les grandes rivières descendues des Andes la traversent par des gorges antécédentes. La morphologie du granite y tient une place importante : alvéoles comme dans le massif de Caleu à l'ouest de Santiago, collines en forme de demi-orange, séparées par des vallées élémentaires à fond ample et plat, dans la région de Concepción, un peu partout des boules baignant dans de l'arène. Parfois la Cordillère de la côte se termine abruptement au-dessus de l'Océan mais, le plus souvent, elle en est séparée par des ensembles, larges dans certains cas de plusieurs dizaines de kilomètres (entre le 34^e et le 35^e parallèle; dans la péninsule d'Arauco), de plates-formes étagées d'origine marine. Le littoral est peu articulé; au-delà du 35^e parallèle, le plateau continental, jusque-là très étroit, a tendance à s'élargir. L'embouchure du rio Bio-Bio est un estuaire tandis que celui du rio Valdivia est une ria. Des champs de dunes importants se rencontrent jusque vers le sud, en dépit d'un climat devenu très humide.

La dépression longitudinale (*valle central*) s'interpose entre la Cordillère de la côte et la Cordillère des Andes proprement dite. Elle s'allonge sur près de 1 000 km du nord au sud. C'est d'abord une plaine étroite (30 à 35 km de large à la hauteur de Santiago) dont l'altitude s'abaisse d'est en ouest, de 700 à 400 m environ. Elle est accidentée par des affleurements de roche en place qui s'élèvent au-dessus du niveau de remblaiement, soit sous la forme de seuils rocheux, sortes de ponts entre les deux cordillères, soit sous l'aspect de pointements isolés (*cerros-islas*). La topographie est déterminée par des cônes de déjection à forte pente, édifiés au pied de la grande chaîne par les cours d'eau importants qui en descendent (rio Maipo, rio Cochapual). Au sud du 35^e parallèle la gouttière s'amplifie, au point d'atteindre une largeur de l'ordre de 80-100 km, avec une seule interruption due à un relèvement du socle au sud de Temuco, entre le 39^e et le 40^e parallèle. Son altitude moyenne baisse aussi et, au-delà de Puerto Montt, elle passe sous le niveau de la mer. Enfin l'aspect du terrain change : à partir du rio Maule (35^e 30' sud), apparaissent au pied de la Cordillère principale des collines, faites d'argile à blocs et de matériaux volcaniques, qui occupent bientôt la majeure partie de la dépression. Des lacs sont localisés au débouché des vallées andines à partir du 39^e parallèle et tendent à s'avancer davantage vers le centre de la gouttière à mesure que la latitude augmente.

La dépression longitudinale est un fossé tectonique à tendance subsidente, comblé essentiellement par des apports détritiques — torrentiels, fluvio-glaciaires, morainiques et volcaniques — venus de la Cordillère principale. Le remblaiement s'épaissit du nord au sud : 500 m près de Santiago; 1 000 m à Chillan (36^e 36' sud); 4 000 m à Puerto Montt (41^e 28' sud). Les escarpements qui limitent le graben à l'est comme à l'ouest offrent, sauf exceptions, un tracé festonné qui témoigne d'une longue évolution.

La Cordillère principale est une haute montagne, remarquable par ses restes d'aplanissement sommitaux, souvent scellés par des vulcanites ardésitiques de la fin du Miocène, et par ses profondes vallées, bien calibrées, d'origine glaciaire. Mais ses aspects morphologiques ne sont pas les mêmes au nord et au sud du 37^e parallèle.

Au nord du 37^e parallèle, les sommets les plus hauts atteignent des altitudes très élevées, entre 5 000 et 7 000 m; il s'agit souvent d'édifices volcaniques récents (Tupungato, 6 550 m; San José 5 880 m, Maipo 5 290 m) mais ce n'est pas toujours le cas; le point culminant des Andes, et du continent américain, l'Aconcagua (7 000 m), correspond à un synclinal perché de roches volcaniques paléogènes. Les cols ne s'abaissent qu'exceptionnellement au-dessous de 3 000 m. Le versant chilien qui correspond aux zones internes du bassin andin est caractérisé par d'épaisses séries (plus de 20 000 m) d'âge jurassique et crétacé, dans lesquelles les faciès volcaniques (andésites) dominent; elles sont peu métamorphosées mais elles ont été affectées par de puissantes intrusions de granodiorite, mises en place lors des épisodes tectoniques successifs. Parmi ceux-ci la phase subhercynienne (Crétacé moyen) a joué un rôle important : elle est responsable des plissements à grand rayon de courbure de ces séries volcaniques internes, peu différenciées et compétentes, peu aptes finalement à donner naissance à de belles formes structurales; elle est aussi à l'origine d'un chevauchement, facilité par l'existence d'un niveau de gypse oxfordien, du bord oriental des zones internes sur le flanc ouest des zones externes; cet accident majeur se suit jusqu'au 35^e parallèle et correspond à peu près à la ligne de crête frontalière. Les séries du domaine externe qui affleurent sur le versant argentin sont, au contraire de celles du versant chilien, de faciès non volcanique (prédominance du type péliito-calcaire), relativement peu épaisses (1 500 m) et peu affectées par des intrusions granitiques. Elles ont été énergiquement serrées, d'où des plis étroits, des écailles, des montées diapiriques. Les phases tectoniques laramienne (Crétacé supérieur) et incaïque (Éocène supérieur) ont été aussi de type compressif et ont superposé leurs effets à ceux de la phase subhercynienne, sans véritablement les dénaturer.

Au sud du 37° parallèle, la Cordillère principale s'abaisse puisque la ligne de faite qui sépare le Chili de l'Argentine ne dépasse pas 2 500 m et que les cols se situent à moins de 2 000 m. Les sommets les plus hauts qui atteignent et dépassent 3 000 m, sont des volcans encore actifs ou récemment assoupiés. Certains se localisent sur la ligne de partage des eaux entre les deux versants (Copahue 2 969 m; Lanin 3 807 m; Tronador 3 460 m); mais les plus nombreux, aux cônes réguliers et neigeux, s'alignent sur le bord ouest de la Cordillère, au contact de la dépression longitudinale, depuis le Tolhuaca (2 780 m, 38° 20' sud) jusqu'au Calbuco (2 015 m, 41° 20' sud). D'étroits fossés tectoniques méridiens, empruntés par des cours d'eau (rio Bio-Bio supérieur au Chili, rio Alumine en Argentine) aèrent la montagne. D'un point de vue structural un changement important intervient. L'obliquité des zones isopiques, d'orientation nord-sud, par rapport à la disposition géographique de la chaîne, environ sud 10° ouest - nord 10° est, fait que les séries internes à faciès volcanique du versant chilien passent sur le versant argentin tandis que sur le premier affleurent les roches du socle de la dorsale Concepción-Bariloche. Quant aux séries externes, elles se retrouvent au pied de la Cordillère principale, dans la région du Neuquen, plissées selon un style souple qui s'amortit rapidement vers l'est; d'où de belles formes jurassiennes, alignées du nord au sud — monts dérivés, crêtes, synclinaux à fond plat — entourées de mesas basaltiques pliocènes et quaternaires, avant-postes de la Patagonie tabulaire.

La Cordillère frontale succède vers l'est à la Cordillère principale dont elle n'est séparée que par d'étroites vallées (rio de Los Patos, rio Tupungato) contrôlées par des failles méridiennes importantes. Elle porte encore des sommets qui culminent entre 5 000 et 6 000 m (Cordón del Plata) mais elle s'abaisse rapidement vers le sud, pour disparaître à la latitude de San Rafael. Elle conserve de beaux restes d'aplanissement sur ses sommets où affleurent des couches volcano-sédimentaires d'âge permo-triasique.

Le fossé d'effondrement d'Uspallata, allongé du nord au sud, bourré de sédiments détritiques plio-quaternaires, s'interpose entre la Cordillère frontale et la *Précordillère*. Celle-ci s'élève jusqu'à plus de 3 000 m et domine par un escarpement d'origine tectonique le piedmont subandin de Mendoza. Elle cesse d'exister un peu au sud de cette ville par ennoyage sous les formations récentes de l'avant-pays, mais le rio Mendoza la traverse en gorge épigénique avant qu'elle ne disparaisse. La précordillère est constituée par des roches paléozoïques dans lesquelles l'érosion différentielle a mis en valeur les niveaux résistants (crêtes de calcaires siluriens).

D'un point de vue structural, la Précordillère et la Cordillère frontale sont donc des panneaux de socle de l'avant-pays portés en altitude et annexés à l'édifice andin au sens strict (Cordillère principale) par la tectonique de failles en extension de la fin du Miocène ou du début du Pliocène.

Les milieux bio-climatiques

Entre le 33° et le 38° parallèle, sur le versant chilien des Andes, au-dessous de 1 500 m, règne un climat de type méditerranéen : hivers doux et pluvieux, étés chauds et secs. A Santiago (altitude : 520 m) la moyenne thermique annuelle est de 14° 2, celle du mois le plus froid (juillet) de 7° 9 (minimum absolu — 4° 6) celle du mois le plus chaud (janvier) de 20° 7 (maximum absolu 36° 3). Cette relative fraîcheur de l'été, en rapport avec l'existence du courant froid côtier, explique un fait aberrant à cette latitude : l'amplitude thermique annuelle est plus faible que l'amplitude thermique diurne (moyenne 15°); intervient aussi dans ce phénomène, la brise de montagne qui descend des Andes à la fin de la journée et refroidit l'air pendant la nuit. Le total moyen des pluies (366 mm) n'a guère de signification tant l'irrégularité interannuelle est grande, environ de 1 à 12 (820 mm en 1900; 66 mm en 1924). Il s'agit de précipitations cycloniques d'hiver (4 mois pluvieux de mai à août) qui généralement abordent le continent un peu plus au sud et remontent vers le nord par suite de l'obstacle de la chaîne. Ces pluies peuvent durer plusieurs jours et elles sont abondantes (maximum enregistré en 24 heures : 100 mm) mais elles sont peu fréquentes (50 jours par an). Le plus souvent en hiver et toujours en été, le temps est beau parce que le front polaire est rejeté vers le sud et que règnent sans partage les hautes pressions subtropicales du Pacifique. Les vents dominants sont du sud-ouest.

Le climat méditerranéen se dégrade avec l'altitude : abaissement des températures (Cristo Redentor, 32° 50' sud, altitude : 3 832 m; janvier + 4°; juillet — 6° 8), augmentation des précipitations, plus de 800 mm au-dessus de 3 000 m. Rafraîchissement des températures, surtout recrudescence des pluies avec la montée en altitude, mais par 38° 14' sud, Traiguén (altitude : 177 m), dans la dépression centrale, qui reçoit 1 208 mm par an, a encore deux mois secs.

Au-delà du 39° parallèle le climat tempéré océanique, très arrosé, prend le relais du climat méditerranéen. A Valdivia, sur la côte, les pluies atteignent presque 2 500 mm (180 jours de pluie par an) et, même s'il pleut moins en été, aucun mois n'est sec. Les hivers restent doux (7° 6 en juillet) mais les étés sont nettement frais (17° 2 en janvier).

Trois principales formations végétales occupent les terres basses du versant occidental des Andes, aux latitudes du Chili central. Du 33° au 38° parallèle la formation climacique est un *matorral* à feuilles petites et persistantes, assez épais, sorte d'équivalent du maquis méditerranéen. Il comprend quelques arbres sclérophylles clairsemés (*Quillaja saponaria*, *Peumus boldus*), surtout des arbustes hauts de 4 à 5 m (*Lithrea caustica*,

Boldea boldus), des épineux (*Acacia caven*) et des plantes grasses du type cactus-cierge (*Cereus chilensis*). Lorsqu'il est dégradé — et c'est le plus souvent le cas — le matorral cède la place à l'espinal, constitué fondamentalement par *Acacia caven* dont l'ombre légère favorise, au printemps, le développement d'un beau tapis herbacé qui se dessèche avec l'été. A la hauteur de Santiago, le versant des Andes n'a pas de forêt mais par 34° 30' sud, au-dessus de 1 000 m, se rencontrent les premiers groupes de cédres (*Libocedrus chilensis*).

A partir du 38° parallèle, apparaît une forêt d'arbres à feuilles caduques comme *Nothofagus obliqua*, une fagacée dont le port rappelle le chêne, mais aussi à feuilles persistantes comme *Nothofagus dombergii*. Il s'y mêle des conifères à partir de 1 200 m, *Podocarpus andinus* et surtout les majestueux *Araucaria araucana*.

Enfin au-delà du 41° parallèle commence la pluviusilve valdivienne, riche en espèces. Aux hêtres déjà cités, *Nothofagus obliqua* et *Nothofagus dombergii*, s'ajoutent des magnolias (*Drimys winteri*), des Lauracées (*Persea lingue*) et de magnifiques cyprès, *Fitzroya cupressoides*, qui peuvent atteindre 55 m de haut, un diamètre de 5 m et plus de 2 000 ans d'âge; ils sont comparables aux séquoias de Californie. La forêt valdivienne est dense, avec ses fougères arborescentes, ses épiphytes, ses lianes abondantes, ses bambous touffus; on a pu la qualifier à juste titre de forêt tropicale en dehors des Tropiques. A l'origine, elle s'étendait de la Cordillère de la côte jusqu'à la Cordillère principale, au-dessous de 1 000 m, sauf là où des surfaces mal drainées, marécageuses, les *ñadis*, constituaient des clairières naturelles; mais depuis le XIX^e siècle, elle a été la victime d'incendies et de défrichements inconsidérés.

En altitude, la forêt valdivienne se prolonge au-dessus de la forêt mixte du Chili central. A ces latitudes et sur le versant ouest des Andes, la limite supérieure des arbres correspond à peu près à la ligne inférieure des neiges éternelles, au moins à partir du 38° parallèle: elle s'abaisse d'environ 2 000 m à 1 000 m au 42° parallèle. Avant le 38° parallèle c'est la sécheresse qui explique l'inexistence de la forêt en altitude.

Sur le versant est des Andes, aux latitudes de l'Argentine moyenne, l'aridité impose sa marque des sommets au piedmont; elle est accentuée par le vent dit de *zonda*, vent d'ouest qui, une fois franchie la ligne de faite, acquiert les caractères d'un foehn. Mendoza (32° 50' sud; altitude 800 m) reçoit moins de 150 mm, sous la forme d'orages en été. Ce sont là les dernières éclaircissements de type tropical car, au-delà du 34° parallèle, les pluies cycloniques venues de l'ouest, tombent en hiver; elles restent faibles par suite de l'écran andin. A Neuquen (38° 45' sud; altitude: 400 m), elles ne dépassent pas non plus, en moyenne, 150 mm. Partout les amplitudes thermiques annuelles sont plus marquées que sur le côté chilien; elles sont supérieures à une quinzaine de degrés.

Le piedmont andin, dans la province de Mendoza, est couvert d'une steppe buissonnante parsemée de cactus: c'est le *jarillal*, fait d'arbustes hauts de 1 à 2 m, à petites feuilles persistantes et vernissées, parmi lesquels le genre *Larrea* domine; il s'y ajoute des arbres chétifs (*Prosopis flexuosa*), des buissons épineux, des touffes d'arnoise; l'herbe est rare. Au-dessus de 1 000 m on passe au *monte serrano* formation arbustive basse dans laquelle le genre le plus apparent est *Adesmia*; ensuite, de 2 000 à 3 500 m, vient le *coronil*, prairie de graminées (*Stipa*) couverte de neige en hiver.

Vers le sud de la province de Mendoza, au pied de la chaîne, le *jarillal* est remplacé par le *sulupal*, association appauvrie où s'impose *Ephedra ochreatea*. La steppe basse de la province de Neuquen, riche en graminées, est déjà du type patagonien. Partout les arbres et même les arbustes restent l'exception. Il faut arriver jusqu'aux abords de la ligne de faite frontalière pour rencontrer des arbres véritables, des araucarias dégradés et des *Nothofagus antarctica* couchés par le vent. C'est seulement au-delà du 40° parallèle que la forêt couvre le versant argentin des Andes, là où, malgré le phénomène d'abri, il reçoit assez de précipitations (environ 1 000 mm) pour permettre la croissance de *Nothofagus pumilio*, décidu, et plus bas d'arbres de type valdivien qu'une stricte politique de mise en réserve maintient dans de bonnes conditions.

Le modelé quaternaire

On peut dire que l'essentiel du modelé des Andes du Chili central et de l'Argentine moyenne, à l'exception de la Cordillère de la côte, a été directement déterminé par les glaciations du Pléistocène. Il faut d'ailleurs noter l'apparition de glaciers actuels importants à partir du 33° parallèle, apparition à mettre en rapport avec un accroissement appréciable des précipitations hivernales. Entre les parallèles 33° et 35° ces glaciers couvrent plus de 700 km² en territoire chilien et environ 600 km² en territoire argentin. Il s'agit de petites calottes, installées sur des plateaux peu inclinés, qui envoient des langues divergentes vers les vallées. Au-delà du 35° parallèle, par suite de l'abaissement de la chaîne, seuls les volcans les plus hauts portent des glaciers de faible étendue; les grands appareils ne réapparaissent qu'au sud du 41° parallèle. Sur le versant chilien la ligne d'équilibre glaciaire se rencontre vers 4 100 — 4 200 m à la latitude de Santiago; elle s'abaisse rapidement à 3 300 m entre le 34° et le 35° parallèle, pour descendre ensuite régulièrement: 2 000 m vers le 38°, 1 000 m vers le 42°; sur le versant argentin, elle se situe en moyenne à 400 ou 500 m plus haut.

Il paraît maintenant établi que les glaciers quaternaires n'ont pas atteint la dépression longitudinale chilienne avant le 36° parallèle et le piedmont argentin avant le 40° parallèle. On peut aussi tenir comme assurée l'existence de plusieurs glaciations, au moins deux, probablement trois, voire quatre, que l'on a tendance, non sans raisons, à mettre en phase avec celles reconnues dans l'hémisphère Nord. Elles sont responsables du modelé glaciaire généralisé qui caractérise la Cordillère principale: cirques, aues, accumulations morainiques. La dernière glaciation est évidemment la mieux connue. Dans la vallée du rio Aconcagua où les fronts des

glaciers actuels se situent vers 3 400 m d'altitude, une langue est arrivée jusqu'à 2 100 m. Dans le cours supérieur du rio Cachapoal (34° 10' sud) la glace est descendue jusqu'à 1 200 m soit 40 km plus bas qu'aujourd'hui. Elle a atteint le bord de la dépression longitudinale à partir du 39° parallèle et s'est avancée ensuite davantage vers l'ouest. Les langues pouvaient alors s'étaler en lobes qui ont édifié de gros bourrelets frontaux, responsables, conjointement avec le surcreusement terminal, de l'existence des lacs subandins, depuis le lac Colico jusqu'au lac Llanquihue. Sur le versant argentin, dans la vallée du rio Mendoza, à 2 400 m d'altitude, une accumulation morainique donne la limite de la dernière grande extension des glaciers. Par 36° sud de latitude, du Cerro Campanario (4 000 m), aujourd'hui englacé jusque vers 3 000 m, descendait par le Cajon grande, jusqu'à 1 650 m, un appareil long de 24 km. Plus au sud, vers le 40° parallèle, on entre dans la région des lacs glaciaires argentins qui, à la différence de ceux du versant chilien, restent cantonnés dans le domaine de la Cordillère, d'où leur morphologie de *finger lakes* aux versants escarpés. Par 41° 10' sud, le lac Nahuel Huapi se trouve à 750 m d'altitude alors qu'à la même latitude, du côté chilien, le lac Llanquihue se situe seulement à 50 m.

Pendant le Quaternaire d'énormes cônes de déjection fluvio-glaciaires ont été édifiés dans la dépression longitudinale, entre le 33° et le 36° parallèle, par les grands cours d'eau issus de la haute Cordillère. Dans le bassin de Santiago on a cru pouvoir identifier quatre générations de tels apports détritiques, mais la distinction n'est pas toujours facile car ils ne se sont pas emboîtés mais empilés les uns sur les autres par suite de la tendance subsidente de la fosse. À partir du 36° parallèle apparaît, d'abord accolé au pied de la chaîne, puis prenant davantage d'ampleur au point de s'étendre jusqu'au rebord oriental de la Cordillère de la côte, un paysage de collines engendré par des dépôts morainiques abandonnés lors des glaciations antérieures à la dernière.

La Cordillère principale a été aussi le siège d'une activité volcanique importante dont témoignent des strato-volcans, des dômes de lave, des coulées de basaltes andésitiques, plus ou moins affectés par l'érosion glaciaire. Les cendres, lorsqu'elles retombaient sur des glaciers étendus ou des pentes montagneuses couvertes de neige, provoquaient des lahars froids, véritables coulées boueuses de débâcle glacio-volcanique; celles-ci s'écoulaient par les vallées jusque dans la dépression centrale dont, aux côtés des formations fluvio-glaciaires, elles ont contribué au remblaiement, tout particulièrement dans les bassins de Santiago et de Rancagua (34° 10' sud). Ces lahars froids doivent être distingués des lahars chauds qui, en suivant aussi les vallées, ont pu atteindre le *valle central*; ils ont laissé des dépôts hérissés de *cerrillos*, monticules de quelques mètres de haut, aux allures de mamelles (région de Curico, 35° sud).

La Cordillère de la côte du Chili central n'a pas connu de glaciations. Mais les changements climatiques du Pléistocène ont provoqué, à plusieurs reprises, une accentuation de l'activité morphogénétique. L'abaissement des températures et l'augmentation de la pluviosité expliquent l'intervention de processus périglaciaires au-dessus de 1 200 m à la latitude de Santiago, et au niveau de l'Océan dans les environs de Valdivia; dans l'ensemble de la chaîne les phénomènes torrentiels ont été accrus. Des draperies colluviales sur les versants et des cônes de déjection emboîtés à leur pied portent témoignage de cette morphogénèse. Enfin le long de la côte, des terrasses étagées, d'origine marine, parfois très développées comme dans la province de Santiago ou celle d'Arauco (37°-38° sud) résultent très probablement de l'interférence de mouvements tectoniques et des oscillations glacio-eustatiques du niveau de l'Océan.

Du côté argentin, la morphologie du piedmont andin est différente de celle qui a été décrite au contact de la Cordillère principale et de la dépression longitudinale chilienne. Certes on retrouve des cônes de déjection fluvio-glaciaires emboîtés, là où débouchent dans la plaine des cours d'eau importants, comme par exemple le rio Mendoza. Mais, ailleurs, le piedmont est caractérisé par des surfaces d'érosion inclinées vers l'est, qui arasent des formations molassiques, grossières ou fines, du Miocène et du Pliocène, et plongent sous les épandages limoneux de la plaine. Ce sont des glaciaires d'ablation peu couverts qui témoignent de la persistance, au cours du Quaternaire, de conditions climatiques à tendance aride, sur le versant argentin de la chaîne. On a pu distinguer un glaciaire supérieur, réduit à l'état de lambeaux et, en contrebas, un glaciaire principal beaucoup mieux préservé, quoique disséqué et parfois faillé. Dans le sud de la province de Mendoza et dans celle de Neuquen, la surface de ces glaciaires porte souvent des nappes de basaltes quaternaires.

La morphogénèse actuelle n'est pas négligeable dans cette partie des Andes. Des ravissements et des éboulements du type bad-lands et lavakas déchirent les versants de la Cordillère de la côte, là où les défrichements ont fait disparaître la forêt; ils sont favorisés par le régime des précipitations et l'extension des affleurements d'arènes granitiques (*maicillo*). Les processus périglaciaires sont partout actifs dans la haute Cordillère au-dessus de 2 000 m. Les champs de dunes que l'on rencontre de-ci de-là sur le piedmont argentin témoignent de l'intervention

du vent. Il faudrait enfin mentionner aussi les conséquences morphologiques des séismes qui sont puissants et fréquents; conséquences directes, comme ce fut le cas lors du terrifiant tremblement de terre de mai 1960 qui détermina un affaissement de la Cordillère de la côte de 1 à 2 m, entre le 37° et le 48° parallèle; conséquences indirectes, surtout en haute Cordillère où les pentes raides favorisent les incidences cataclysmiques, tels les glissements de pans entiers de versant qui peuvent barrer durablement les vallées.

LES ANDES DE LA PATAGONIE ET DE LA TERRE DE FEU (42°S — 56°S)

Entre l'île de Chiloé et le cap Horn, les Andes s'abaissent (aucun sommet n'atteint 4 000 m à l'exception du Cerro San Valentín, 46° 36' sud), s'émiettent en une multitude d'îles et se couvrent de calottes de glace. À partir du 52° parallèle, elles se recourbent vers le sud-est, puis, en Terre de Feu, vers l'est pour rejoindre l'arc des Antilles australes et se raccorder par lui, autour de la mer d'Écosse, à la péninsule antarctique (Terre de Graham).

D'un point de vue géologique, les Andes de la Patagonie appartiennent à un système orogénique différent de celui qui a donné naissance au reste de la Cordillère chilo-argentine. Le géosynclinal de Magellan, complètement isolé du bassin andin proprement dit par la dorsale de Concepción-Bariloche, est apparu tardivement, après l'Oxfordien seulement. Il présente des affinités avec le système alpin : une sédimentation essentiellement marine, du flysch d'abord, des molasses ensuite, des pillows-lavas aussi dans les zones internes; un métamorphisme général. Mais les grandes étapes de l'évolution tectonique sont celles qui ont été identifiées ailleurs et, ici encore, ce sont les grandes failles en extension de la fin du Miocène ou du début du Pliocène qui sont responsables de la mise en place des volumes montagneux; mais les mouvements verticaux ont été moins vigoureux que plus au nord.

Les divisions morphostructurales

Différentes unités morphostructurales apparaissent en allant de l'océan Pacifique vers le plateau patagonien.

La *Cordillère de la Côte* se prolonge dans l'île de Chiloé, l'archipel des Chonos et la presqu'île de Taitao au-delà de laquelle (47° sud), elle disparaît à l'ouest dans l'Océan. Ses sommets lourds ne dépassent que rarement 1 000 m d'altitude. Elle est toujours constituée par des roches anciennes, précambriennes, mais sans doute aussi paléozoïques (quartzites, phyllades, micaschistes, gneiss) qui supportent des grès marins miocènes peu dérangés, surtout visibles sur le côté ouest de l'île de Chiloé, et qui sont affectées par des intrusions granitiques crétacées, particulièrement dans la presqu'île du Taitao.

La *dépression longitudinale* se poursuit sous les eaux, à partir du Puerto Montt, par le golfe d'Ancud et celui de Corcovado, avant de s'achever par le canal de Moraleda, obturé au sud par l'isthme Ofqui qui unit la presqu'île du Taitao à la Cordillère principale.

La Cordillère de la côte et la dépression longitudinale sont relayées vers le sud par un *ensemble d'archipels* qui s'égrènent sur près de 10° de latitude. Il s'agit d'un essaim d'îles et d'îlots escarpés — les points culminants, aux formes arrondies, se situent entre 1 000 et 2 000 m — séparés par un impressionnant dédale de fjords. Tout à l'ouest affleurent des séries sédimentaires permo-carbonifères dans lesquelles dominent les calcaires marmoréens; ailleurs les granites crétacés sont omniprésents.

La *Cordillère principale*, aux latitudes de la Patagonie, présente l'originalité d'être traversée d'est en ouest par des vallées qu'empruntent des cours d'eau nés dans l'avant-pays andin : en effet, sauf entre le lac Viedma (49° 35' sud) et le lac Argentino (50° 14' sud), la ligne de partage des eaux entre l'océan Atlantique et l'océan Pacifique, se situe à l'est de la chaîne, au contact du plateau patagonien. Ces vallées ont un calibrage qui traduit, de toute évidence, une origine glaciaire : à l'amont elles abritent des lacs; plus bas des rivières divaguent sur leur fond remblayé; à l'aval elles se prolongent par des fjords dans la région des archipels.

Jusqu'aux approches du 46° parallèle, les sommets de la Cordillère atteignent 2 000 m seulement mais vers l'ouest, des volcans en partie encore actifs aujourd'hui, culminent entre 2 000 et 3 000 m. Au-delà, alors que les volcans se raréfient — le plus méridional des volcans chiliens semble être le Cerro Burney par 52° 20' sud — des cimes frontalières aux formes hardies se dressent au-dessus des reliefs subandins, tels le Fitz-Roy (49° 15' sud, 3 440 m) ou le Paine (51° sud, 2 730 m) dont les aiguilles monolithiques sont déterminées par des diaclases subverticales dans des roches granodioritiques. À partir du 51° parallèle et jusqu'au détroit de Magellan, les Andes s'abaissent au-dessous de 1 500 m, ou peu s'en faut, et dans le département chilien d'Ultima Esperanza (51° 30' sud - 53° sud) des fjords s'insinuent au cœur de la chaîne en la

démembrant; par eux, les lacs du piedmont oriental (Seno Skyring, Seno Otway) sont de fait des annexes de l'océan Pacifique. En Terre de Feu enfin, un relèvement topographique est à l'origine de la Cordillère de Darwin dont les sommets englacés se situent autour de 2 500 m.

D'un point de vue structural, la partie occidentale de la Cordillère qui correspond aux zones internes, est encore très mal connue; du moins peut-on souligner l'importance de la granitisation qui a affecté les séries secondaires ainsi que l'affleurement du socle précambrien à partir du 46° parallèle. Un système de failles inverses à forte inclinaison qui, en Terre de Feu, passe à de vrais chevauchements a été reconnu; il est probablement d'âge laramien. Par contre la constitution géologique de la partie orientale — les zones externes — a été beaucoup mieux dénichée grâce aux recherches pétrolières; elle est aussi relativement simple. Il s'agit d'un système de plis, assez peu compliqués, qui affecte les séries mésozoïques et qui s'amortit vers l'avant-pays patagonien. De belles formes structurales en résultent. Ce serrage a été accompagné de la mise en place de plutons supracrustaux circonscrits qui ont été datés par des méthodes radiométriques du Miocène supérieur; le Fitz-Roy et le Paine correspondent précisément à de telles intrusions. Au sud du détroit de Magellan cette simplicité tectonique disparaît puisqu'en Terre de Feu l'ensemble des zones externes chevauche horizontalement l'avant-fosse molassique, mais les reliefs structuraux gardent leur netteté. Au nord au contraire, dans la province chilienne d'Aysen, vers le 45° parallèle, les séries secondaires ne sont pas plissées; appuyées sur le socle, elles montrent seulement une disposition monoclinale à plongement peu accusé.

Les reliefs subandins changent de nature et d'aspect du nord au sud. Jusqu'au lac Buenos-Aires (46° 30' sud), il s'agit d'une succession de fossés et de vallées, d'orientation grossièrement méridienne, plus ou moins bien connectés entre eux, situés en contrebas de la plate-forme tabulaire qui s'incline vers l'océan Atlantique. Ensuite, et jusqu'au lac Argentino, les plateaux de la Patagonie, constitués ici par des basaltes cénozoïques découpés en mesas, viennent s'appuyer au pied même de la Cordillère, vers 1 000 - 1 500 m d'altitude et il n'est pas permis de parler de dépression, si ce n'est par endroits, là où des surcreusements, dus aux lobes des glaciers quaternaires, sont aujourd'hui occupés par des lacs (Puyrredon, San Martin, Viedma). C'est seulement au sud du lac Argentino que se suit, jusqu'aux environs de Puerto Natales (51° 44' sud), soit sur plus de 150 km, un véritable sillon subandin, nettement marqué dans la topographie. Il est limité à l'est par le front d'une longue cuesta méridienne, peu festonnée, due à un niveau résistant de la série sédimentaire éogène qui s'incline du côté de l'Atlantique. Deux percées conséquentes, l'une en face du lac Sarmiento (51° 03' sud), l'autre en face du lac Toro (51° 13' sud), témoignent d'un ancien écoulement important vers l'est car elles ne sont plus fonctionnelles aujourd'hui. Dans la dépression elle-même, on retrouve les couches mésozoïques des zones externes mais plus doucement plissées que dans la Cordillère; ici encore les contrastes lithologiques sont à l'origine de formes structurales dont les synclinaux perchés offrent de remarquables exemples. Le modelé glaciaire y est d'une singulière netteté; cordons morainiques, lacs, drainage anarchique. En Terre de Feu enfin, la zone subandine correspond aux froncements de couverture de l'avant-fosse molassique, froncements qui donnent des reliefs monoclinaux avant qu'ils ne s'amortissent rapidement sur la plate-forme rigide.

Les milieux bio-climatiques

Les Andes de la Patagonie connaissent un climat de type tempéré océanique. Leur allongement en latitude n'introduit que des nuances mais leur disposition méridienne est à l'origine d'un contraste, très marqué, d'ordre pluviométrique entre le versant ouest au vent et le versant est sous le vent. Cependant, à partir du 53° parallèle, les marges du domaine subpolaire sont atteintes tandis que le détroit de Magellan permet la propagation des influences humides du Pacifique vers la côte atlantique et que l'infléchissement de la chaîne vers l'est atténue progressivement la dissymétrie climatique entre les versants.

Le régime des températures est caractérisé par des hivers très doux et des étés très frais. Du côté de l'océan Pacifique, la moyenne du mois le plus froid, généralement août, passe d'environ 8° du nord (île Guafo, 43° 31' sud, 7° 3) à 4° au sud (îlot des Évangélistes, 52° 24' sud, 4° 4) et celle du mois le plus chaud, souvent février, de 13° au nord (île Guafo, 42° 7) à 9° au sud (îlot des Évangélistes, 8° 9). L'amplitude thermique annuelle est donc faible, tout comme l'amplitude thermique diurne qui se situe en moyenne autour de 5°. À latitude égale, il fait et plus froid en hiver, et plus chaud en été, sur le versant oriental des Andes : à Cohaique (45° 28' sud) et à Punta Arenas (53° 10' sud) juillet accuse respectivement 1° 9 et 2°, janvier 14° 7 et 11° 2. Sauf en altitude, l'intensité du gel est faible (minima absolus, île Guafo 0° 1; îlot des Évangélistes — 7° 2; Punta Arenas — 9° 3) et l'enneigement de courte durée; l'eau de mer n'est jamais prise par les glaces.

Partout, sur le versant ouest de la Cordillère, les pluies sont très abondantes même au niveau de l'océan, mais elles diminuent rapidement sur le versant est. Elles sont apportées par les dépressions du front populaire qui, à ces latitudes, abordent la chaîne en toutes saisons et, par temps non perturbé, les vents océaniques condensent leur forte humidité sur le côté Pacifique, avant de redescendre vers la Patagonie avec un effet de foehn. Ces pluies qui tombent sur les reliefs sous forme de neige, sont fortes et durables. Sur le versant

ouest, le nombre de jours de pluie est élevé : 3 jours sur 4. L'établissement d'un régime anticyclonique d'air antarctique est exceptionnel.

Jusqu'à la péninsule du Taitao, la hauteur d'eau annuelle passe de plus de 1 m sur les bords de l'océan Pacifique (île Gnafo, altitude 140 m, 1 279 mm) à près de 3 m vers l'intérieur, sans que joue encore l'effet de l'altitude (Puerto Aysen, 45° 24' sud, altitude 10 m, 2 940 mm), pour tomber à moins de 300 mm, au-delà de la Cordillère, dans les dépressions subandines. Tous les mois de l'année sont copieusement arrosés mais l'hiver connaît une recrudescence des pluies. Au sud de la péninsule du Taitao, la pluviométrie augmente considérablement puisque la tranche d'eau annuelle dépasse probablement 7 m dans l'île Wellington (49° 22' sud) et l'île Madre de Dios (50° 16' sud); aucun rythme saisonnier n'est discernable. A partir du 52° parallèle, les pluies diminuent d'intensité mais restent élevées et le contraste entre les deux versants ne s'atténue pas. Aux latitudes 52-53° sud, de l'ouest à l'est, les moyennes annuelles, au niveau de la mer, sont les suivantes : îlot des Évangélistes, 75° longitude ouest, 2 678 mm; baie Félix, 74° longitude ouest, 4 866 mm; Punta Arenas, 71° longitude ouest, 416 mm; Punta Dungeness, 68° 30' longitude ouest, 247 mm. Toutes ces stations font apparaître un léger maximum d'automne.

Parce que situées dans la ceinture des *roaring forties*, les Andes de la Patagonie sont balayées, tout au long de l'année, par des vents forts, fréquents et durables (70 jours de vent d'une force égale ou supérieure à la valeur 8 de l'échelle Beaufort dans l'îlot des Évangélistes). Il s'agit des grands vents d'ouest qui, lorsqu'ils sont canalisés par les fjords, peuvent atteindre des vitesses vertigineuses. Sur le versant pacifique l'insolation est faible (îlot des Évangélistes : 3 jours de ciel dégagé et 291 jours de ciel couvert par an) et l'humidité atmosphérique élevée (moyenne annuelle supérieure à 70 %).

Les Andes de la Patagonie sont avant tout le domaine de la forêt. La pérégrination des températures liée à l'augmentation de la latitude d'une part, l'opposition entre un versant ouest humide et un versant est plus sec d'autre part, permettent de distinguer trois types de forêts : ce sont, du côté Pacifique, en allant vers le sud, d'abord la forêt nord-patagonienne toujours verte, puis la forêt subantarctique, sempervirente elle aussi, et, du côté Atlantique, la forêt subantarctique caducifoliée. Les températures d'été médiocres et les vents très violents s'opposent à l'extension des arbres en altitude. Sur le versant ouest, la limite supérieure de la forêt passe d'environ 1 000 m dans le nord de la province d'Aysen à moins de 200 m en Terre de Feu.

La forêt nord-patagonienne est une pluvieuse dense, toujours verte, stratifiée et riche en espèces. Elle prend le relais de la forêt valdivienne à partir du sud de l'île de Chiloe et se distingue d'elle par la disparition de *Nothofagus obliqua*, disparition à mettre probablement en rapport avec le fléchissement des températures. C'est un autre hêtre qui devient l'espèce dominante, *Nothofagus dombergii*, très bel arbre dont le tronc peut atteindre 40 m de haut et dont les feuilles, de petite taille, sont persistantes; à ses côtés se rencontrent aussi des conifères (*Podocarpus nubigenus*), des magnolias (*Drimys winteri*) et, à l'étage le plus bas, des bambous (*Chusquea quila*) qui forment des fourrés; les épiphytes et les lianes abondent.

Au-delà de la péninsule du Taitao, commence la forêt subantarctique sempervirente, moins exubérante que la précédente parce que les conditions thermiques en été comme en hiver, deviennent plus sévères. La fagacée dominante est maintenant *Nothofagus betuloides*, toujours à feuilles persistantes; elle se mêle à des cyprès (*Peucephyllum wickströmii*). Vers le sud cette forêt devient véritablement chétive et se limite à un étroit liséré qui frange les rivages des fjords. Au-dessus, des arbres rabougris, couchés sur le sol, ne se rencontrent que des roches râclées par les glaces, couvertes de lichens, et, dans les dépressions, des tourbières.

Sur le versant oriental de la Cordillère, au-dessous de 1 500 m dans le Nord, de 400 - 500 m à l'extrémité du continent, la forêt subantarctique est composée de hêtres qui se dépouillent de leurs feuilles en hiver, *Nothofagus pumilio*, et, à une altitude moindre, au contact de la steppe patagonienne, *Nothofagus antarctica*. Quand la pluviométrie annuelle descend au-dessous de 350 mm, la forêt fait place progressivement à un tapis de graminées vivaces, caractéristique des parties les plus arrosées du plateau de la Patagonie.

L'étagement en altitude reproduit grossièrement cette disposition latitudinale des formations végétales. Vers le 46° parallèle, on rencontre en partant de l'océan Pacifique, d'abord la forêt nord-patagonienne jusque vers 500-600 m, puis la forêt subantarctique sempervirente qui ne dépasse guère 800 m. Au-dessus, hors des champs de glace, s'accrochent des plantes en coussinet et des buissons d'altitude. En descendant sur le versant opposé, les arbres décidus de la forêt subantarctique apparaissent vers 1 000 m, pour céder la place, 500 à 600 m plus bas, à une prairie, puis rapidement à la steppe.

Le modelé glaciaire

L'empreinte glaciaire est la caractéristique fondamentale du modelé des Andes de la Patagonie et de la Terre de Feu.

La glaciation actuelle est encore imposante puisque les glaces couvrent une superficie évaluée à plus de 24 000 km². Jusqu'au Cerro San Valentin, il s'agit encore avant tout de glaciers de vallée, mais, plus au sud, s'étendent deux vastes calottes de glace, séparées entre elles par la vallée du rio Baker (47° 30' sud). Le *Hielo Patagonico Norte*, entièrement localisé au Chili, a une centaine de kilomètres de longueur; sa largeur moyenne est de l'ordre de 45 km; il couvre environ 4 400 km² à une altitude qui varie entre 1 150 et 1 400 m. Dix-sept langues glaciaires s'en échappent, dont certaines ont plus de 50 km de long; le glacier San Rafael est, par 46° 41' sud, le premier à veler dans l'océan Pacifique. Le *Hielo Patagonico Sur* a 330 km de long du nord au sud et s'étend sur quelque 13 500 km², surtout en territoire chilien. Au nord du volcan Lantaro (49° sud, 3 360 m), il se présente sous la forme d'une calotte convexe qui occupe probablement

l'emplacement d'une cuvette topographique. Sa surface se situe vers 1 000 - 1 700 m d'altitude; les nunataks y sont peu nombreux. Plus au sud, l'altitude s'accroît (1 900 - 2 000 m) et des pics, parfois même des chaînons montagneux, comme le Cerro Mariano Moreno (49° 20' sud, 3 836 m) pointent au-dessus de la glace. Des glaciers effluent et aboutissent dans les fjords à l'ouest; d'autres, vers l'est, atteignent les lacs subandins à partir du lac San Martín (49° 04' sud). Au-delà du *Hielo Patagónico Sur*, d'autres calottes glaciaires s'étendent sur la Cordillère Sarmiento, dans la péninsule Muñoz Gamero dans l'île Santa Inés et jusqu'en Terre de Feu où la Cordillère de Darwin est largement recouverte sous les glaces.

Sauf exceptions, liés à des émissions de volcans volcaniques, à partir des appareils éruptifs encore actifs de la Cordillère, les glaciers de la Patagonie sont peu chargés en moraines, surtout vers l'amont, par suite de la faible extension des reliefs supraglaciaires. Ces glaciers sont du type tempéré humide; l'alimentation est abondante, l'ablation réduite. Depuis un siècle environ et jusqu'en 1968, la tendance générale était au recul des fronts glaciaires mais, pendant cette période, des crues asynchrones ont pu affecter certains glaciers.

Le nombre et l'extension des glaciations quaternaires continuent à susciter des controverses. On a tendance aujourd'hui à mettre en doute l'existence, au Quaternaire ancien, d'un inlandsis qui aurait occupé l'emplacement de la Patagonie argentine. La vaste nappe des *Tehuelche pebbles* ou *rodados patagónicos* qui affleure à l'est du plateau, était traditionnellement interprétée comme un vieux dépôt d'origine glaciaire; plusieurs auteurs y voient maintenant un épandage, mis en place à partir de la fin du Pliocène, dans un milieu morphoclimatique semi-aride. Par contre des dépôts et des formes typiquement morainiques, appartenant à quatre groupes chronologiques, ont été identifiés. Ils montrent que, lors de leur édification, les glaciers des Andes étaient de type alaskien; ils étalaient leurs lobes terminaux au pied de la chaîne mais ne s'étendaient guère au-delà des dépressions subandines, sauf là où des percées leur permettaient d'aller un peu plus loin vers l'est. Ce n'est qu'à partir du 52° parallèle que les glaces ont pu atteindre, lors de leur expansion maximale, l'Océan Atlantique. Même sur une carte à petite échelle, on reconnaît aisément les marques de trois de ces épisodes glaciaires dans les rétrécissements qui affectent le détroit de Magellan à l'est de Punta Arenas. Le plus récent de ces épisodes, responsable de l'édification des cordons remarquablement conservés qui barrent les lacs subandins, date d'environ 25 000 ans. Les autres appartiendraient à des stades antérieurs d'une même glaciation qui devrait correspondre à la glaciation Wisconsin-Würm de l'hémisphère Nord, sauf le plus ancien qui, parce que ses dépôts sont plus altérés, pourrait raisonnablement se rattacher à une glaciation plus vieille (Illinois-Riss ?). Des études récentes, appuyées sur de nombreuses datations absolues, obtenues par la méthode du ^{14}C , montrent que le Tardiglaciaire, probablement entre 14 000 et 12 500 BP, a vu une réavancée des langues qui atteignirent sans les réoccuper entièrement, certains des lacs subandins. Au contraire, pendant l'Hypsithermal (11 000 - 5 000 BP), les appareils se retirèrent en-deçà de leur front actuel. Enfin, le Néo-glaciaire a connu une succession de pulsations: une crise, la plus importante, au cours du cinquième millénaire, une autre au troisième millénaire, une troisième au XVIII^e siècle.

Tout le versant pacifique des Andes de la Patagonie a été occupé par les glaces, à l'exception cependant de l'île de Chiloe où seules des formations fluvioglaciaires ont été reconnues. Mais, partout ailleurs, les glaces au-dessus desquelles n'émergeaient que les plus hauts sommets, ont racle les interfluvies et profondément buriné les vallées jusqu'au niveau de l'Océan et même au-dessous. Un *shelf* s'est probablement avancé sur la plate-forme continentale à partir de la région des archipels.

On comprend ainsi l'omniprésence du modèle glaciaire dans les Andes de la Patagonie et de la Terre de Feu. Le versant ouest où dominent les formes d'érosion doit son originalité aux fjords, appelés ici *canales* qui, au sud de l'île de Chiloe, constituent un labyrinthe unique au monde. Des parois verticales, parfois hautes de plusieurs centaines de mètres, des gradins de confluence soulignés par des cascades, confèrent à ces anciennes vallées glaciaires, ennoyées par les eaux marines, une singulière beauté. D'énormes ombilics immergés ont été reconnus dans ces fjords: le canal Mesier (48° 33' sud), par exemple, présente quatre surcreusements qui atteignent entre 800 et 1 300 m de profondeur. Les *canales* dessinent un quadrillage aux lignes rigides car ils sont étroitement contrôlés par des failles qui obéissent à trois orientations principales, nord-sud, nord-est - sud-ouest, et nord-ouest - sud-est; la première qui est la plus importante, est parallèle à l'axe de la cordillère et s'infléchit avec lui, à partir du 52° parallèle, d'abord vers le sud-est (partie occidentale du détroit de Magellan), puis vers l'est (canal de Beagle). Il est logique de penser que les accidents cassants ont guidé l'établissement d'un réseau hydrographique, lors du soulèvement des Andes à la fin du Tertiaire; des vallées fluviales ont alors été creusées, qui à leur tour ont canalisé l'érosion glaciaire au Quaternaire.

Si les fjords représentent l'élément morphologique majeur du versant ouest de la Cordillère de la Patagonie, se sont les lacs qui donnent leur originalité au versant est. Ces lacs de surcreusement, de forme allongée, limités par de hautes parois rocheuses quand ils naissent dans la montagne, s'étalent librement, bordés par des rives basses, dès lors qu'ils atteignent la région subandine. Tout à l'est, ils sont barrés par des cordons morainiques, généralement doubles, édifiés lors du plus récent épisode de la dernière glaciation. Ces lacs — à l'exception du lac Viedma et du lac Argentino — ont des émissaires qui coulent vers l'océan Pacifique. Pourtant, en face d'eux, existent des vallées, souvent larges, qui se dirigent vers l'océan Atlantique et dans lesquelles, au milieu de marécages, se traînent aujourd'hui des rivières sous-adaptées. Ces vallées ont fonctionné comme exutoires des lacs pendant les glaciations quaternaires, lorsque la route de l'ouest était barrée par les glaces, exactement comme elle l'est encore aujourd'hui entre le lac Viedma et le lac Argentino, à cause de l'existence du *Hielo Patagonico Sur*. Mais parce que, lors des périodes froides du Pleistocène, la division interocéanique des glaces, compte tenu de leur épaisseur, était rejetée vers l'est, les courants de glace s'écoulaient depuis le plateau patagonien, vers l'océan Pacifique, par-dessus la Cordillère, et préparaient des couloirs d'érosion profonds que les eaux courantes allaient emprunter pendant les périodes de déglaciation. Il convient d'ajouter que des phénomènes de capture ont pu se produire au profit des rivières à forte pente du versant ouest, rivières dont le débit est aussi largement favorisé par la dissymétrie pluviométrique de la chaîne. Au nord du 46^e parallèle, les lacs occupent des superficies plus réduites, sans doute parce que les lobes glaciaires étaient moins étendus sur le piedmont mais aussi parce que l'action plus profonde de l'érosion fluviale postglaciaire les a vidangés en partie; dans les anciens domaines lacustres asséchés, les rivières ont taillé des terrasses étagées, comme celles qui ont été signalées dans la région de Cohaique au Chili.

Il est logique de penser que des phénomènes de décharge isostatique d'origine glaciaire sont intervenus pendant les temps holocènes dans les Andes de la Patagonie et de la Terre de Feu. Et de fait, des terrasses marines soulevées, récentes, ont été signalées sur les rives de la partie orientale du détroit de Magellan; elles paraissent beaucoup moins fréquentes dans la région des archipels, ce qui pourrait s'expliquer par un mouvement tectonique de bascule vers l'ouest, résultat d'un soulèvement du bord atlantique et d'un affaissement du côté pacifique. On comprendrait peut-être alors mieux les extraordinaires profondeurs atteintes par les ombilics de certains fjords chiliens, profondeurs qu'il est, semble-t-il, difficile d'attribuer au seul surcreusement des glaciers; même très épais.

Les retouches apportées par l'érosion postglaciaire sont apparemment discrètes. Aux possibles phénomènes de capture déjà signalés, il faudrait ajouter des actions de remblaiement dans le fond des auges de la Cordillère. Quant aux processus périglaciaires, leur rôle semble être limité, du moins à l'heure actuelle car les conditions climatiques ne favorisent pas le gel en profondeur. La gélifraction affecte les hautes parois rocheuses. Les manifestations de solifluction constatées dans les dépressions subandines semblent avoir une origine anthropique.

Roland PASKOFF.

