

Problème des régions arides sud-américaines

Emmanuel De Martonne

Citer ce document / Cite this document :

De Martonne Emmanuel. Problème des régions arides sud-américaines. In: Annales de Géographie, t. 44, n°247, 1935. pp. 1-27;

doi : 10.3406/geo.1935.10784

http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1935_num_44_247_10784

Document généré le 15/06/2016

ANNALES

DE

GÉOGRAPHIE

PROBLÈMES DES RÉGIONS ARIDES SUD-AMÉRICAINES

(PL. I-V.)

De grands noms comme ceux de Humboldt, Darwin, d'Orbigny sont attachés à l'histoire de la géographie physique de l'Amérique du Sud. Seule l'immense Asie l'emporte sur ce continent par la violence des contrastes et les dimensions qu'y atteignent tous les phénomènes géographiques.

En suivant du doigt sur la carte le puissant bourrelet des Andes, qui se déroule sur 7 000 km. entre le Pacifique et les plaines démesurées drainées par l'Amazone ou le Parana, on arrive vers le Tropique à un point particulièrement intéressant : 13 km. de dénivellation entre la fosse pacifique et les sommets volcaniques de la frontière argentino-chilienne, 400 km. de hautes terres à 3 500-4 000 m. d'altitude moyenne, tombant brusquement sur les vastes solitudes du Chaco. Si l'Amazonie est plus étendue, les Andes sont moins puissantes vers l'Équateur. Mais le fait capital est ici l'aridité de la montagne, signalée même sur une carte d'atlas par l'absence de rivières.

C'est autour de ce fait que nous voudrions grouper les observations sur le terrain et les études qui les ont suivies touchant le Nord-Ouest argentin et le Nord du Chili. Relief, structure, hydrographie, climat et végétation sont étroitement liés dans ce domaine, et suivant des combinaisons originales dont il ne semble pas qu'il y ait d'autre exemple. On peut en effet montrer qu'il existe ici une zone aride, caractérisée par l'absence d'écoulement ou *arésisme*, qui traverse, sans paraître se soucier du relief, l'énorme bourrelet des Andes, allant d'un versant à l'autre. En cherchant à préciser et à éclaircir les conditions de ce paradoxe hydrologique et climatologique,

on constate que la traversée de la zone aréique se fait en diagonale, à peu près d'Antofagasta, sur le littoral chilien, à Catamarca au pied des Andes du Nord argentin, c'est-à-dire aux latitudes où change l'orientation des fronts humides. Mais la réalisation n'a été possible avec toute l'ampleur constatée que grâce aux changements qui surviennent dans l'orographie andine au Sud du Tropique, et leur examen conduit à celui de la structure géologique elle-même. Si après les causes on se tourne vers les conséquences, l'horizon s'élargit et ce sont tous les aspects originaux du Nord-Ouest argentin et du Nord chilien qui devraient être exposés. Nous nous contenterons d'indications sur les conditions du modelé en bordure de la zone aréique ; les accumulations endoréiques y atteignent une intensité telle qu'on est conduit à poser des questions graves sur le passé des Andes et l'ancienneté du régime climatique actuel¹.

I. — ASPECTS GÉOGRAPHIQUES ET EXTENSION DE L'ARÉISME

Pour donner une idée exacte des conditions géographiques, rien ne vaut la description de trois traversées des Andes et des plaines voisines : la première, vers 25° de latitude (Asuncion, Salta, Antofagasta), nous montrera la plaine du Chaco plus humide que la montagne, et l'aridité croissant vers le Pacifique ; la deuxième, vers 35° (Buenos Aires, Santiago, Valparaiso), nous montrera des conditions inverses, la côte pacifique humide, l'aridité maximum sur le front andin de Mendoza ; une troisième traversée, dans une zone intermédiaire (latitude de Cordoba), nous montrera l'atténuation de la dissymétrie climatique.

Le Chaco argentin, encore peu connu², a l'apparence d'une plaine aride, couverte d'une brousse passant à la forêt xérophile ; c'est le *Monte*, riche en plantes grasses. La rareté des eaux courantes paraît due plutôt à la perméabilité des sols et à la mauvaise répartition des pluies qu'à leur insuffisance, peut-être aussi à la pente trop faible. Les stations pluviométriques (toutes voisines du Parana il est vrai) donnent des totaux de 900 mm. et des indices d'aridité égaux ou

1. Mon attention a été appelée sur les conditions particulières de l'arésisme dans l'Amérique du Sud lors de la préparation, en collaboration avec L. AUFRÈRE, de la *Carte des régions privées d'écoulement vers l'Océan* (*Ann. de Géogr.*, XXXVII, 1928, et UNION GÉOGRAPHIQUE INTERNAT., *Publicat. n° 3*, 194 p., 1928). Les observations sur lesquelles s'appuie la présente étude ont été faites au cours d'un voyage pendant l'été de 1933 (hiver austral). Les conclusions générales en ont été exposées à l'Académie des Sciences (*La diagonale aréique de l'Amérique du Sud*, *C. R.*, 1934, t. 198, p. 592), à l'Association de Géogr. français (*Bull.*, 1934, p. 58-62) et à la *Royal Geogr. Society* de Londres (*Geogr. Journal*, July 1934).

2. La seule représentation que nous en ayons est donnée par les feuilles de la Carte de la République Argentine à 1 : 500 000, publiée par l'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE MILITAIRE DE BUENOS AIRES.



A. — CÔNES DE DÉJECTIONS COUPÉS EN FALAISE,
QUEBRADA DE HUAMACA.



B. — ILOTS ROCHEUX NOYÉS DANS LE REMBLAI ALLUVIAL PRÈS DU CONFLUENT
QUEBRADA DE TORO-CHORILLOS.

supérieurs à 20. La salinité est le principal obstacle aux cultures, et il n'est pas insurmontable.

Les précipitations ont cependant déjà beaucoup baissé par rapport au Paraguay et au littoral brésilien. A la même latitude, la Sierra do Mar de Santos est couverte d'une splendide forêt tropicale à lianes et épiphytes, et on y a enregistré plus de 4 m. de pluies¹. Le minimum pluviométrique doit se trouver à mi-chemin entre le Parana et le bord des Andes. En approchant de la montagne, le Monte devient plus dense ; il a été défriché pour faire place, près de Tucuman, à une zone de riches cultures ; les cheminées des *ingenios* (sucreries) groupent autour d'elles en vrais villages les maisons des *peones* ; de petites villes surgissent sur la *Falda*, où la canne à sucre prospère, à l'abri des gelées, et où les cultures de légumes font se disperser les petites fermes des colons.

Dès qu'on aborde les premières pentes des sierras, on entre dans la forêt dense, où les grands *Laurels*, couverts de lianes et d'épiphytes aux couleurs éclatantes, dominant un fouillis de Myrtacées, de bambous et de fougères. On a l'impression d'un front montagneux humide, arrosé par les pluies de convection forcée suivant le schéma classique. Mais ce n'est qu'une façade étroite. Montez sur la Sierra San Xavier où les planteurs de Tucuman ont leurs villas d'été : la forêt a disparu à moins de 2 000 m. d'altitude. Pas un arbre sur les Cumbres Calchaquies, dont les croupes arrondies atteignent 4 000 m., ni sur les flancs de l'Aconquiya, dont les cimes plus hautes (5 000 m.) sont échan-crées de quelques cirques glaciaires². La forêt se glisse encore le long des vallées au-dessus de Concepcion et de Lules ; mais à Tafi elle a disparu, les versants descendent en longues pentes de débris, coupées de ravins étroits, où l'eau cesse de couler quand les dernières flaques de neige ont disparu. La dépression de Santa Maria, sur laquelle les sierras de Tucuman tombent par un abrupt tectonique impressionnant, est un *bolson* aride, au sol raviné avec l'aspect des « mauvaises terres » du Sud marocain ou de l'Ouest des États-Unis. Tous les ravins qui y descendent sont à sec, sauf après les orages, et le Rio Santa Maria est réduit en hiver à un filet d'eau suvent interrompu. Nous sommes à 100 km. de Tucuman, et une heure de vol en avion suffit à contempler ce changement à vue.

Sa rapidité tient sans doute à l'exceptionnelle hardiesse des sierras qui dominant la plaine de 4 000 m., formant une barrière infranchissable aux vents humides de l'Est. Plus au Nord les sierras

1. Emm. DE MARTONNE, *La Serra do Mar de Santos et l'Espinouse* (*Bull. Assoc. Géogr. Fr.*, 1933, p. 138-145).

2. Décrits avec leurs petits névés (qui paraissent se transformer en glaciers de pierre) par A. TAPIA, *Apuntes sob reel glaciario pleistoceno del nevado de Aconquiya* (*Gaea, An. de la Soc. Arg. de estudios geograficos*, Buenos Aires, 1925, I, 4, p. 313-365).

subandines de Lumbraera, Metan, etc., moins hautes et moins continues, accrochent encore les nuages, mais sans empêcher quelques-uns d'atteindre les bassins de Salta et de Jujuy, où l'irrigation permet encore de riches cultures et où le Monte couvre les versants rocailloux. Mais les derniers arbres disparaissent dès qu'on a poussé à une dizaine de kilomètres au delà, comme les derniers nuages s'évanouissent au ciel éternellement bleu. Dans l'hiver austral (qui est la saison sèche) on cherche les filets d'eau qui glissent rapidement au milieu des vastes grèves de cailloux dans les vallées principales (pl. I) ; les caravanes de mules les passent sans même tenter un détour. Les rivières secondaires sont à sec. Sur les sommets atteignant 6 000 m., dont les croupes lourdes flottent dans une lumière éclatante qui semble les ronger et les rendre presque immatériels, l'œil cherche l'éclat d'une flaque de neige. En été sans doute, les nuages gagnent, de gros orages déversent des cataractes pendant plusieurs jours de suite ; des crues foudroyantes dévalent, emplissant les fonds de vallées, et la fonte des neiges entretient l'écoulement pendant plusieurs mois. On a peine à le concevoir devant l'aridité des lits de cailloux où se glisse le chemin, remplaçant la route carrossable emportée, et devant les efflorescences salines brillant sur les plages de sables.

Le sol nu, sur les versants sauvagement ravinés, colorés des couleurs les plus vives, apparaît encore sur les éboulis et les cônes de déjections, entre les buissons épineux, les touffes jaunes de l'ichu, les pieds de tola aux petites fleurs et aux feuilles résineuses. Les grands cardons (*Cereus*), dressant leurs colonnes souvent ramifiées, donnent une note désertique.

La sécheresse augmente avec l'altitude, et il en est de même de la chaleur au milieu du jour. Cette montée vers l'aridité est une des impressions les plus vives et les plus étranges de tout voyage vers la haute montagne, quel qu'en soit le point de départ. Le terme en est la Puna de Atacama.

Vers 3 500 m., le relief s'adoucit, les vallées s'effacent, les *Cereus* disparaissent, et les touffes de tola, de plus en plus clairsemées, sont, avec les boules épineuses rappelant les *Anabasis* du Sud-Algérien, les dernières traces de végétation. Ces hauteurs sont à la fois plus accidentées et plus arides que les Hauts Plateaux algériens ; des massifs de 6 000 m. dominant des croupes et des dépressions dont le niveau oscille autour de 500 m. en général ; tout cela, suspendu à plusieurs milliers de mètres au-dessus des Quebradas où les torrents continuent à sculpter et charrier vigoureusement, semble un monde nouveau, la topographie morte et figée d'une planète sans eau. Tous les creux sont des cuvettes fermées, au fond plat de vases salines, toutes les hauteurs sont des bosses arrondies, d'où descendent des



A. — NEVADO DE ACAY (5 950 m.), BORD SUD-EST DE LA PUNA.
Massif à cirques glaciaires; front de coulées de débris.



B. — FOND DE CUVETTE A SOL SALIN PRÈS DE SAN ANTONIO
DE LOS COBRES (PUNA DE ATACAMA).



C. — « SALAR », PRÈS DE SAN ANTONIO DE LOS COBRES.

coulées de débris anguleux de plus en plus fins vers le bas (pl. II). Un ciel d'un bleu idéal, une lumière vivante, qui fouille les moindres détails des lointains, des nuits éclatantes et d'un froid piquant, des midis cuisants où l'atmosphère vibre et les mirages sont communs : c'est le désert d'altitude.

L'aridité ne fait que gagner vers le Chili. Sur le bord oriental de la Puna, les sommets de 6 000 m. méritent encore le nom de *Nevado* (pl II, A) ; leurs formes lourdes sont légèrement accidentées par des cirques glaciaires où persistent des flaques de neige vers le Sud, des moraines ourlent leur versant méridional, barrant de petits lacs ou des prairies humides ; des nuages s'y accrochent encore en été, des orages occasionnels font dévaler pendant quelques jours les eaux sauvages ; les grands *salars* ont dans les angles de leurs contours capricieux des coins où brillent des miroirs d'eau. Vers l'Ouest, les hauts sommets sont tous volcaniques ; laves, agglomérats et tufs apparaissent partout à nu ; plus de petits lacs, et les salars eux-mêmes sont de dimensions réduites. On a l'impression que les constructions éruptives contribuent par leur perméabilité à l'aridité de la surface. Mais le ciel éternellement bleu laisse tomber de moins en moins les averses d'été occasionnelles, et la neige vient de plus en plus rarement saupoudrer les cimes dépassant 5 000 m. Le Llullailaco est cité comme une des montagnes les plus arides ; ses 6 600 m. ne lui permettent même pas un petit névé.

De sa cime, on voit la table de la Puna tomber par une dénivellation aussi forte que celle du bord oriental. Mais, à son pied, rien qui ressemble aux Quebradas argentines. Quelques oasis, entretenues par des rios que soutiennent des sources ; puis c'est le Désert chilien jusqu'à l'Océan, plate-forme bosselée comme la Puna, mais à 2 500 m. plus bas, avec quelques tranchées d'érosion anciennes où des rios cherchent à atteindre la mer. Les mines de cuivre et les nitrates y ont attiré les hommes. Un service d'avion bihebdomadaire survole ce pays affreux, en touchant les escales de la côte. Antofagasta, la plus importante, étale ses maisons de bois au pied de l'abrupt de faille, rigide et nu, par lequel le plateau tombe dans la mer. Iquique est dominé par une muraille encore plus impressionnante, dont une belle carte topographique donne une idée exacte¹. La navigation le long de cette côte donne l'impression d'une terre fermée, hostile, aux formes massives et frustes, rendue plus triste par le voile de nuages qui s'accroche parfois aux hauteurs, sans réussir à y donner de vraies pluies². En parcourant rapidement l'intérieur, soit en automobile, soit en avion, on découvre un désert étrange, avec des cuvettes

1. Feuilles *Molle* et *Iquique* à 1 : 25 000, levées par l'OFFICINA DE MENSURA DE TIERRAS, publiées par la DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS, Santiago, 1918.

2. Moyenne annuelle des pluies à Antofagasta, 4 mm. ; à Iquique, 1 mm.

généralement salines, semblables à celles de la Puna, tantôt d'un blanc éclatant, tantôt à la surface brune, boursouflée ; mais aussi des hauteurs finement ciselées par des réseaux de vallées sèches. Vues de l'avion, ces collines absolument nues, sous le soleil qui les rend éblouissantes, font l'effet d'un plan en relief exécuté pour donner l'idée du modelé par les eaux courantes ; et on dirait que l'artiste y a accentué le thalweg par un coup de burin ; mais le coup de burin et la trace même des vallées se perdent dans les dépressions fermées. Le ciel a certainement déversé sur ces surfaces des pluies plus régulières et plus fréquentes, au moment où les nevados de la Puna avaient de petits glaciers. Une croûte blanche paraît avoir fossilisé les formes, et le vent semble ne pas avoir prise sur ce relief mort¹. L'homme marque çà et là sa trace par les cubes et les cheminées des usines, autour desquels rayonnent les rubans des Decauville, et par les trous criblant la surface pour chercher le nitrate sous la croûte.

Nous avons décrit avec quelque détail la traversée du Chaco au Pacifique pour établir fortement ces faits en apparence paradoxaux : la montagne plus sèche que la plaine, l'aridité croissant vers l'Océan.

Notre seconde traversée, à la latitude de Buenos Aires et de Valparaiso, montre des conditions plus rapprochées de celles qui sont familières à l'Européen et peut être faite plus vite. De l'estuaire du Rio de La Plata au pied des Andes tout indique une progression vers la sécheresse. Cependant la Province de Buenos Aires est un pays d'hydrographie inorganisée. Malgré des précipitations dépassant en moyenne 800 mm. et des indices d'aridité de plus de 30, les eaux courantes sont rares, les efflorescences salines fréquentes. L'épaisseur des formations pampéennes, où le loess domine, et l'absence de pente sont les deux facteurs essentiels de l'*arésisme humide* dont nous avons ici un exemple typique. Après les pluies d'été, qui tombent en averses, parfois pendant une semaine entière, on voit souvent tout le Sud de la Province de Buenos Aires, jusque près de la Sierra de Tandil, couvert d'étangs, dont les eaux s'infiltrent et s'évaporent sur place. Des *lagunas* permanentes ont été aménagées avec un drainage artificiel.

Les précipitations diminuent vers l'Ouest, et la plaine devient de plus en plus sèche. Pour le citadin de Buenos Aires, le voyage à Mendoza laisse le souvenir de moments pénibles, quand la poussière pénètre partout le wagon le mieux clos. La Laguna Bebedero est une cuvette fermée au fond de vases salines. Mendoza même est une oasis de piedmont, qui doit tout au rio puissant débouchant des Andes à Cacheuta. A côté du superbe parc qui monte vers le Cerro Gloria, le

1. Voir H. MORTENSEN, *Der Formenschatz der Nord-chilenischen Wüste, ein Beitrag zum Gesetz der Wüstenbildung* (Abhandl. Ges. der Wissensch. Göttingen, Math. Phys. Kl., N. F., XII, 17, Berlin, 1927).



A. — ASPECT SUBDÉSERTIQUE DE LA VALLÉE DU RIO MENDOZA
EN AMONT D'USPALLATA.

Terrasses découpées dans le remblaiement, haute surface non enneigée des Paramillos.



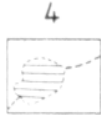
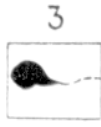
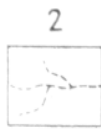
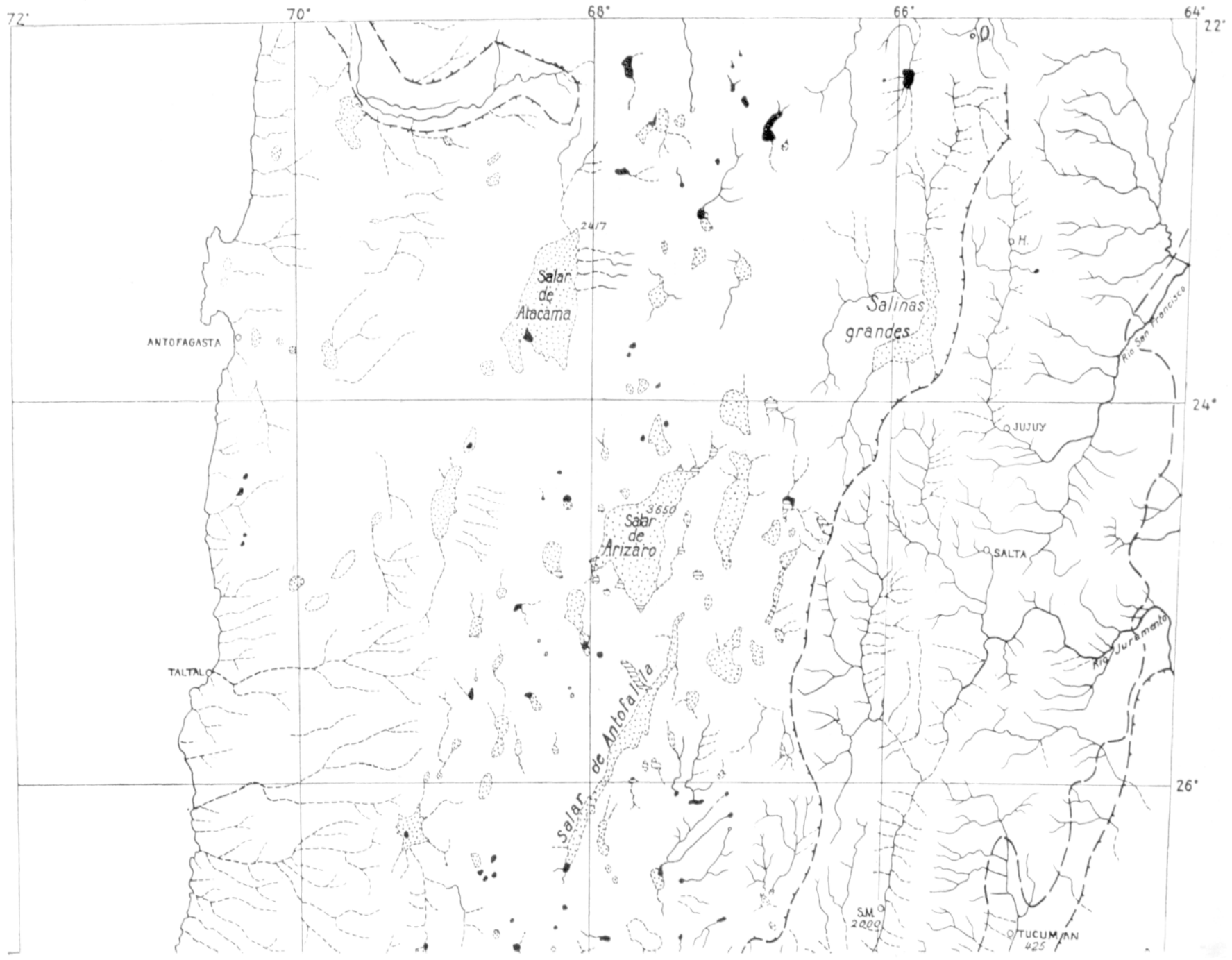
B. — ENNEIGEMENT DE FIN D'HIVER ET TOPOGRAPHIE GLACIAIRE DU VERSANT CHILIEN,
VUE PRISE DES LACETS DU CHEMIN DE FER TRANSANDIN.

glacis de cailloutis qui descend de la montagne étale sa surface chaotique, coupée de ravins à sec, piquetée de buissons épineux, de *Cactus* et de *Cereus* en petits bouquets. On n'entre dans la montagne que par des quebradas aux versants abrupts et nus, et la route du Chili arrivant sur les Paramillos d'Uspallata, à près de 3 000 m., donnerait l'impression qu'on débouche dans une plaine désertique si la vue n'était aussitôt attirée par les cimes neigeuses de la Cordillera Tigre dominant de 2 000 m. le plateau aussi nu que la Puna.

Nous retrouvons ici la montagne aride, mais sans le front humide si remarquable à Tucuman (pl. III, A). Les conditions sont plus naturelles et la sécheresse du piedmont à Mendoza ne saurait étonner si, au versant aride sous le vent, s'oppose un versant humide au vent. Or c'est ce qui se révèle dès qu'on pénètre assez loin dans la montagne. A la fin de l'hiver austral, l'enneigement offre un tableau démonstratif, car la saison humide n'est plus ici la saison chaude. Fin septembre, pas un pouce de neige sur les Paramillos d'Uspallata à 3 000 m., mais la route est bloquée au pied des versants exposés au Sud avant d'atteindre Uspallata dans le fond de la vallée du Rio Mendoza. La station de Puente del Inca (2 720 m.) est encore dans la neige ; au col (3 832 m.) et à l'entrée du tunnel (3 200 m.) le manteau blanc couvre tout. Il ne s'agit pourtant que des éclaboussures des grandes chutes tombées sur le versant chilien. Malgré la descente vertigineuse vers le Pacifique, où la voie ferrée en crémaillère semble plonger dans le vide, franchissant à chaque boucle un gradin glaciaire, la neige persiste sur les crêtes jusqu'à 1 500 m. (pl. III, B). De Santiago, on la voit marquer le front andin avec une netteté qui évoque les images familières des Pyrénées ou des Alpes. En circulant dans la plaine, les torrents aux eaux abondantes, les cultures, les villages pressés, tout indique que nous avons dit adieu définitivement au domaine aride. Le front des Andes et la côte de l'Océan voisin sont normalement baignés d'air humide pendant la moitié de l'année. Les cortèges de nuages apparaissent à l'Ouest, montent de la mer, obscurcissent les sommets qui séparent du littoral la vallée de Santiago, s'accrochent obstinément aux sierras andines.

Entre la zone méridionale où le front humide est à l'Ouest et la zone septentrionale où il est à l'Est, une zone intermédiaire doit exister. On peut apprendre à la connaître par une traversée de Santa Fé à Cordoba et La Serena.

C'est à Santa Fé que les premiers fondateurs de Buenos Aires, découragés par l'hostilité du climat autant que par celle des Indiens, étaient venus se réfugier. La plaine qui s'étend à l'Ouest de la haute berge du Parana n'est ni la Pampa, ni tout à fait le Chaco. Les cultures y ont facilement gagné sur un Monte peu dense. Quelques rivières permanentes réussissent à atteindre le Parana, mais la con-



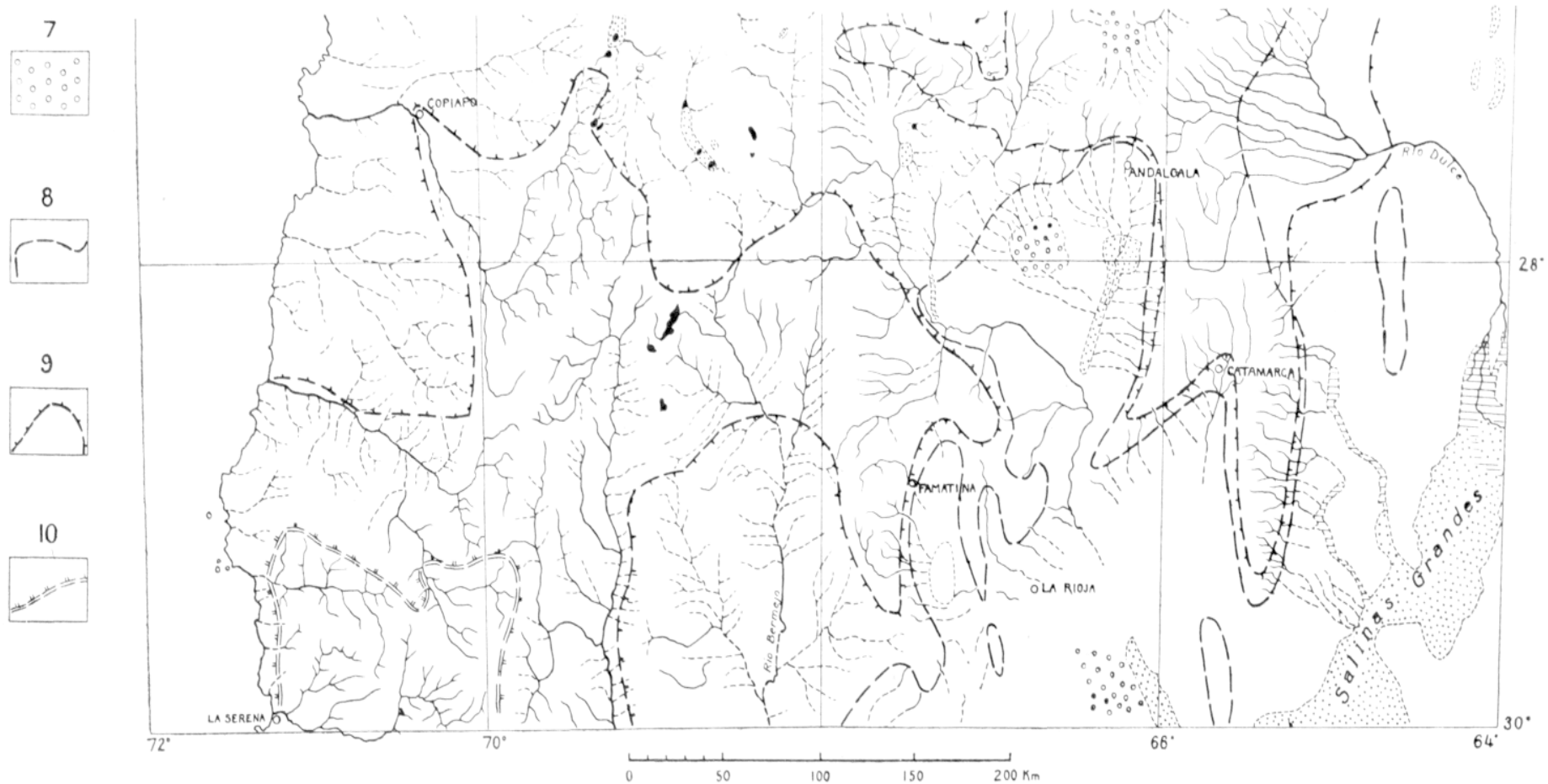


FIG. 1. — DÉGRADATION DE L'HYDROGRAPHIE ET DIAGONALE ARÉIQUE ENTRE LES LATITUDES 22° ET 30° DANS L'AMÉRIQUE DU SUD.

Carte dressée d'après les cartes à 1 : 500 000 de la République Argentine (Institut Géographique Militaire de Buenos Aires) et du Chili (*Officina de mensura de tierras*, Santiago), et d'après des reconnaissances sur le terrain. — Échelle, 1 : 4 350 000.

1, Talweg ayant toujours de l'eau, sauf année exceptionnellement sèche. — 2, Talweg sans eau pendant la plus grande partie de l'année, sauf exception. — 3, Lac d'eau douce ou faiblement saline. — 4, Plaine marécageuse, généralement inondée en partie à la saison des pluies. — 5, Plaine d'argile saline (*Salar, Salina*). — 6, Plaine de limon fin généralement non salin (Pampa). — 7, Sables mouvants, plus ou moins organisés en dunes. — 8, Limite des régions montagneuses et des plaines. — 9, Limite entre les régions aréiques et les régions endoréiques. — 10, Limite entre les régions endoréiques et les régions exoréiques.

tinuité de l'écoulement depuis les Andes est plus apparente que réelle : ce sont des eaux de nappe phréatique récoltées en route qui arrivent, justifiant le nom de Rio Salado par leur teneur en sels, que manifestent assez les efflorescences brillant sur les rives. Nulle part la montagne n'est si près du grand collecteur qu'est le Parana, mais la plupart des rios descendus de la Sierra de Cordoba se perdent complètement ou alimentent des lagunes sans écoulement comme le Mar Chiquita.

Pour le citadin de Buenos Aires, enfermé dans une cité fiévreuse autour de laquelle s'étend la plaine la plus monotone, balayée par le souffle glacé du Pampero, la Sierra de Cordoba peut paraître un paradis ; on peut désirer y avoir sa *quinta* ou y retenir sa chambre dans un hôtel confortable ; au printemps, les vergers en fleurs, les fourrés d'arbres feuillus dans les fonds de vallées offrent autour de Cordoba des paysages riants. Mais il s'agit d'une zone étroite, limitée aux premières hauteurs de la Sierra Chica. On pourrait y voir l'image atténuée du front humide que nous avons rencontré à Tucuman. L'irrigation, facilitée par le barrage San Roque, fait illusion sur la végétation naturelle qui n'est pas la forêt tropicale à épiphytes, mais le Monte, avec ses arbustes épineux et ses plantes grasses. En réalité la pluie n'est pas plus forte qu'en plaine, et l'abaissement de la température en altitude ne suffit pas à modifier l'indice d'aridité¹. Le relief favorable à l'écoulement superficiel paraît la seule raison qui explique les ruisseaux coulant au fond des vallons à pente rapide. Dès qu'on s'élève au-dessus de la grande vallée tectonique du Rio Cosquin, on voit les arbres disparaître et toutes les hauteurs sont des *pampas*, steppes pierreuses à touffes de graminées et composées à petites fleurs. Le granite de la Pampa d'Achala offre un paysage désertique de rochers arrondis, évidés en tafoni par le vent (pl. IV). Les sources entretiennent difficilement quelques rios et marquent exactement l'emplacement des *estancias* autour desquelles s'égayent les troupeaux de moutons.

Cependant la Sierra de Cordoba ne fait pas corps avec les Andes. Il s'agit de la plus grande des « sierras pampéennes » plutôt que d'une sierra subandine. A l'Ouest de ce relief impuissant à assurer un écoulement régulier, on trouve les *salinas* les plus étendues et les bolsos les plus arides de l'Argentine. Le nom de *Salinas grandes* désigne en effet une immense plaine saline (250 km. de long), effleurée par le Rio Dulce, rarement atteinte par les rios descendant du revers

1. Cordoba reçoit 710 mm., contre 955 à Santa Fé, et a un indice d'aridité de 26 (Santa Fé, 33). A la Digue San Roque on enregistre 50 mm. de pluie de moins qu'à Cordoba ; l'indice est sensiblement identique. Les cartes indiquant une humidité plus grande sur la Sierra de Cordoba sont inexactes (par exemple E. SORGE, *Die Trockengrenze Sudamerikas*, *Zeitschr. Ges. f. Erdkunde Berlin*, 1930).



A. — MONTÉE A LA PAMPA DE ACHALA (SIERRAS DE CORDOBA).



B. — DÉSERT GRANITIQUE DE LA PAMPA DE ACHALA.



C. — DÔMES GRANITIQUES ET TAFONI (PAMPA DE ACHALA).

occidental de la Sierra de Cordoba. Nous sommes dans le domaine de l'aréisme complet, à une distance du Parana où, vers Tucuman, s'offre le front humide des Andes. Plus à l'Ouest, nous trouvons les bolsos de Catamarca, de La Rioja, entourés de sierras qui laissent ouverte une sortie vers la plaine, sans qu'aucun écoulement y passe. Pour trouver des eaux courantes, il faut pousser jusqu'à la Cordillère principale dont les sommets volcaniques, dépassant 5 000 m., sont couverts de neige en hiver et ont eu des glaciers. Cependant le front humide du Chili central ne se retrouve pas ici. La limite des neiges reste toujours très haute, et les lits des torrents commencent à s'assécher bien avant d'atteindre l'Océan. A La Serena, nous retrouvons le triste paysage du littoral aride que nous avons décrit vers Antofagasta.

En résumé, nous avons sur le parallèle de Cordoba une zone où la dissymétrie climatique paraît moins marquée ; le front humide au vent et le bord sec sous le vent ne sont plus nettement opposés : l'aridité est générale, particulièrement dans les bolsos au pied de la Puna.

II. — LES CAUSES CLIMATIQUES

Nos trois traversées ont donné une idée exacte du sens de la différenciation climatique et de la latitude à laquelle a lieu le renversement des influences. L'opposition entre le Nord et le Sud apparaîtrait plus forte encore, en s'écartant de cette latitude. L'humidité extrême du Chili méridional et les forêts aux lianes inextricables de Chiloe sont des faits bien connus ; l'aridité des territoires du Sud argentin, Rio Negro, Chubut, est proverbiale à Buenos Aires. D'autre part, on sait l'importance de la *Montaña* dans les Andes du Nord de la Bolivie et de l'Équateur, dominant la plaine amazonienne ; mais la largeur du front humide arrosé par les pluies équatoriales n'empêche pas que la côte pacifique reste aride jusqu'à Lima, et la bande de déserts littoraux, de plus en plus étroite, s'arrête à peine à la baie de Guayaquil.

Il nous a paru possible d'arriver à une expression cartographique de l'extension du domaine sans écoulement (fig. 1) et d'en illustrer le rapport avec le climat par une carte assez détaillée de l'indice d'aridité (fig. 2).

La première carte, indiquant les formes de dégradation de l'hydrographie, la limite de l'aréisme complet et de l'endoréisme, a été rédigée en se servant des cartes à 1 : 500 000 de l'Argentine et du Chili¹,

1. La Carte à 1 : 500 000 de la République Argentine, publiée par l'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE MILITAIRE, repose pour la plus grande partie de notre région sur une compilation de cartes locales de valeur inégale. La Carte à 1 : 500 000 du Chili, publiée par

ainsi que de quelques feuilles à plus grande échelle parues¹, en utilisant les observations faites sur le terrain au cours de rapides voyages en automobile ou en avion, enfin en tenant compte des descriptions publiées par des géographes, géologues ou botanistes².

La deuxième exprime les variations de la fonction que j'ai définie suivant la formule $I = P (T+10)$, en utilisant le réseau relativement dense de stations météorologiques qui fonctionnent depuis plus de dix ans en Argentine et au Chili, ainsi que celles du Pérou et de la Bolivie³. Il n'est peut-être pas au monde de région aride pour laquelle nous disposions d'une documentation pareille.

Nous pouvons ainsi corriger, pour l'ensemble de l'Amérique du Sud (fig. 3), l'image donnée en 1928 dans un article des *Annales* et dans un mémoire plus étendu⁴.

Il apparaît que la dégradation de l'hydrographie aboutissant à l'aréisme règne réellement sur une zone méridienne allant de 3° à 45° de latitude ; et que cette zone aride traverse diagonalement le continent, avec la puissante chaîne de montagnes qui borde le Pacifique, en atteignant sa plus grande largeur entre 20° et 30°. C'est exactement à ces latitudes que l'aréisme envahit des montagnes dépassant 4 000 et 5 000 m. sur de grandes surfaces. L'emplacement du pont aride qui rejoint le désert littoral du Pacifique au désert continental du Sud argentin se situe du Tropique à 29° environ, suivant une diagonale allant d'Antofagasta à Catamarca ; il comprend la haute Puna de Atacama et le bolson presque fermé d'Andalgala. Le front relativement humide des chaînes subandines vers Salta et Tucuman ne sert qu'à entretenir sur une bande large de 150 km. au plus le régime endoréique. La plaine du Chaco presque entière revient à l'aréisme.

L'indice d'aridité rend assez bien compte de ces faits. Ses valeurs les plus basses se localisent assez exactement dans les aires aréiques et traversent la montagne suivant la diagonale Antofagasta-Cata-

L'OFFICINA DE MENSURA DE TIERRAS, dérive en partie, pour les Andes, des travaux de la COMMISSION DE LIMITATION ARGENTINO-CHILIENNE. Nous avons aussi utilisé la carte au millionième de l'Amérique du Sud, publiée suivant les coupures et les principes de la Carte internationale du monde au millionième par l'AMERICAN GEOGRAPHICAL SOCIETY de New York.

1. Parmi les feuilles à 1 : 200 000, levées et publiées par la DIRECTION DES MINES de Buenos Aires, une dizaine se rapportant au Nord-Ouest argentin nous ont été d'un précieux secours.

2. Une énumération complète serait trop longue ; mais nous tenons à noter spécialement : I. BOWMAN, *Desert trails of Atacama*, New York, 1924, et P. DENIS, *Amérique du Sud (Géographie Universelle, t. XV, Paris, 1927)*.

3. Les températures ont été une fois sur trois interpolées d'après les cartes d'isothermes publiées par K. KNOCH (*Klimakunde von Sudamerika, Handbuch der Klimatologie, II, G, 1930*), et en utilisant les gradients thermiques d'altitude calculés d'après les stations voisines.

4. Emm. DE MARTONNE et L. AUFRÈRE, ouvr. cité.

marca. Au Nord de cette région, le rôle des Andes dans la production des pluies orographiques se borne à créer, de 10° à 28°, un front

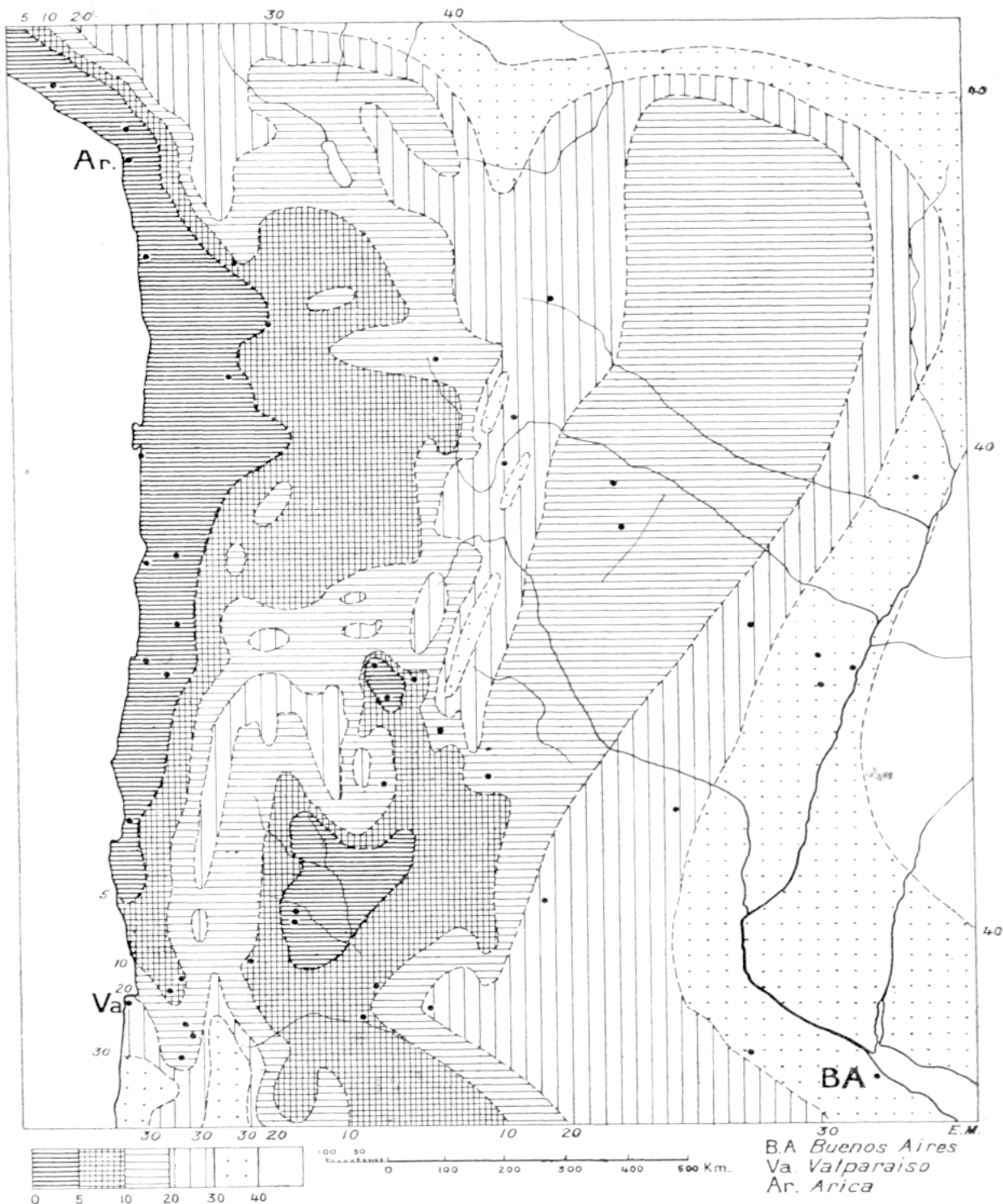


FIG. 2. — INDICES D'ARIDITÉ. — Échelle, 1 : 15 000 000.

humide oriental, sur lequel l'air ascendant condense la vapeur d'eau recueillie au-dessus des plaines. En arrière, la masse de la montagne est toujours relativement sèche. La bande humide se rétrécit de plus

en plus jusqu'à disparaître vers 30°. On s'en rend compte plus clairement si l'on dresse (fig. 4) des coupes Est-Ouest indiquant l'altitude des surfaces d'égale indice.

Vers 10°-12°, la brusque montée des surfaces indique l'aridité relative des hautes vallées péruviennes, aridité qui augmente en descendant vers Lima. Par 18°, la zone des hauts plateaux en Bolivie a déjà des indices voisins de 20. Par 25°, la descente des surfaces au pied de la montagne indique une humidité plus grande que dans la plaine du Chaco, puis leur montée quasi verticale symbolise le brutal contraste avec les quebradas et le désert de la Puna. Vers 30°, on voit que la Sierra de Cordoba ne change rien à la progression vers l'Ouest de l'aridité, qui atteint son maximum au pied des Andes ; l'allure bombée des surfaces redescendant à l'Ouest indique que le front humide occidental tend à se constituer, sans être encore assez marqué pour donner des indices supérieurs à 20. Par 40°, il est pleinement réalisé, les surfaces montent uniformément vers l'Est, et l'aridité règne dans les plaines argentines, s'accroissant même vers l'Est.

La dissymétrie climatique des deux bords d'un continent, de part et d'autre d'une zone d'aridité tropicale, avec front humide tourné vers l'Est près de l'équateur et vers l'Ouest dans les hautes latitudes, n'est pas à vrai dire un phénomène spécial à l'Amérique du Sud. L'aridité du littoral occidental se retrouve dans les autres continents. En Eurasie, le Sahara bordant l'Atlantique s'oppose aux Indes, comme le Chili du Nord au Paraguay et au Brésil. Dans l'Amérique du Nord, les déserts et steppes de la Californie méridionale et du Mexique correspondent en latitude aux plaines humides du Golfe et des États Sud-atlantiques. L'Afrique australe et l'Australie elle-même offrent des déserts littoraux à l'Ouest et des côtes orientales humides. Il n'est pas jusqu'à la grande île de Madagascar qui ne vérifie la loi, surtout à son extrémité méridionale.

L'inversion du contraste au delà des Tropiques n'est pas davantage spéciale à l'Amérique du Sud. En Eurasie, qu'on songe à la Bretagne et au Turkestan, à l'Irlande et à la Mongolie ; dans l'Amérique du Nord, l'extrême humidité de la Colombie Britannique s'oppose à l'aridité du Dakota. Si les précipitations reprennent dans le Canada oriental, comme aux abords de la mer du Japon, la loi générale reste bien l'aridité croissant de l'Ouest à l'Est.

On peut dire que chaque continent a, dans les basses latitudes, une face humide tournée à l'Est et une face sèche vers l'Ouest, et que, là où l'extension vers les hautes latitudes est suffisante, la dissymétrie climatique est renversée. Il s'agit d'un des plus grands contrastes de la géographie physique, d'une importance presque égale à ceux qui sont communément reconnus entre terres et mers, plaines et montagnes, zones équatoriale, tempérée et polaire. L'ex-

plication la plus simple est celle qu'offrent les conditions de la circulation atmosphérique. Inutile d'insister sur le déplacement géné-



FIG. 3. — EXTENSION DE L'ARÉISME ET DE L'ENDORÉISME DANS L'AMÉRIQUE DU SUD. Échelle, 1 : 40 000 000.

ral de l'air vers l'Est dans les hautes latitudes et sur les dépressions barométriques suivant la même voie. Dans les basses latitudes, le front humide à l'Est est en rapport avec des phénomènes de mous-

son et l'afflux général vers l'Ouest d'un air ayant passé par-dessus des mers chaudes ; le front sec à l'Ouest, avec la stabilité des hautes pressions au voisinage des terres sur l'Océan voisin et avec la stabilité de la vapeur d'eau dans les courants aériens qui peuvent abor-

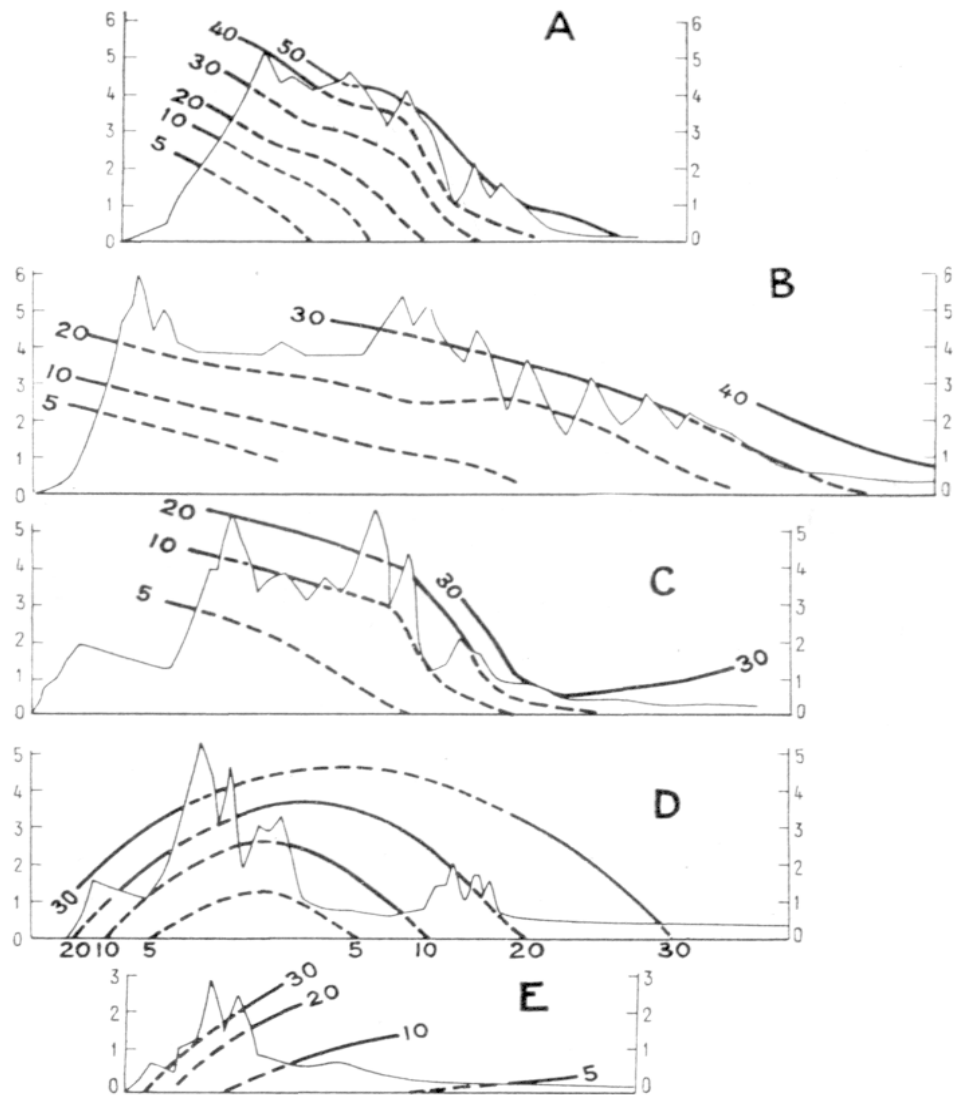


FIG. 4. — COUPES DES ANDES ET DES SURFACES D'ÉGAL INDICE D'ARIDITÉ : A, par 10°-12° de latitude ; — B, par 16°-18° ; — C, par 23°-25° ; — D, par 30° ; — E, par 40°.

Échelles des altitudes en kilomètres. Coupes des surfaces d'égal indice en trait fort, numérotées suivant l'indice.

der la terre après avoir passé sur des eaux relativement froides. La dissymétrie thermique des Océans est sans doute pour beaucoup dans la dissymétrie climatique des continents.

Ce qu'il y a de particulier dans l'Amérique du Sud, c'est l'extension presque jusqu'à l'équateur du front sec à l'Ouest et la continuité de la zone aride d'un bord à l'autre du continent. Pour l'expliquer, on peut d'abord noter que la disposition méridienne du faite

orographique principal doit avoir pour conséquence de renforcer la dissymétrie climatique inverse dans les hautes et basses latitudes, en déterminant des pluies de convection forcée sur le versant au vent, tandis que le versant sous le vent est desséché. L'Amérique du Nord a elle aussi un faite principal de direction méridienne qui produit à peu près les mêmes effets ; cependant l'aridité du Dakota n'est pas comparable à celle de la Patagonie ; nulle part l'arésisme ne passe en une bande continue d'un versant à l'autre des Montagnes Rocheuses.

Il semble nécessaire d'insister sur ce qui revient dans la dégradation de l'hydrographie, et même du climat, à l'existence de hauts plateaux voisins de 4 000 m. A cette altitude, la pression moyenne de la vapeur d'eau dans l'air a diminué des trois quarts ; dans tous les climats, on est au-dessus de la zone de nébulosité maximum et des précipitations les plus abondantes. Un relief très accidenté, obligeant les courants aériens à prendre des mouvements ascendants, serait nécessaire pour provoquer quelques précipitations ; or une grande partie de la masse des Andes est formée, vers le Tropique, par le bloc de la Puna. En réalité la pluviosité varie, en tous pays, plutôt en fonction de la pente que de l'altitude ; si l'on peut tacitement remplacer l'un des facteurs par l'autre quand la tension de la vapeur d'eau est assez forte, il n'en est pas de même quand elle est faible.

Ce n'est pas tout, et il faut se demander ce qui advient des eaux tombées accidentellement. Elles sont menacées par une évaporation d'autant plus rapide que la tension de la vapeur d'eau atmosphérique est plus faible. Ce qui reste a à choisir entre le ruissellement et l'infiltration. Or les pentes ne sont pas généralement, sur la Puna, des pentes de haute montagne, et elles sont dirigées vers des dépressions fermées.

Nous sommes ramené à la considération du relief, et nous voudrions essayer de montrer comment la structure même des Andes, entre 10° et 30° de latitude, contribue au développement de l'arésisme.

III. — CAUSES OROGRAPHIQUES ET OROGÉNIQUES

C'est en Bolivie et Chili du Nord que les Andes ont leur plus grande puissance : 750 km. de largeur, soit plus du double des Alpes, autant que les Montagnes Rocheuses. Mais le volume du soulèvement est peut-être plus remarquable encore que ses dimensions horizontales ; son altitude moyenne est voisine de 3 500 m. En dehors de l'Asie, il n'y a rien de comparable à la surface du globe. Cet énorme bourrelet paraît avoir été constitué grâce à un concours d'efforts orogéniques, d'âge et de nature différents, qui a été réalisé vers le

vingtième parallèle. Si l'on s'écarte de cette latitude, on voit la puissance du soulèvement diminuer et sa structure se simplifier. La chose est particulièrement frappante vers le Sud. Les cartes topographiques existantes, les travaux géologiques publiés et les observations personnelles faites sur le terrain nous permettent de suivre cette dissociation de l'édifice andin, qui apparaît comme un facteur de l'extension de l'arésisme.

Assemblons les feuilles de la carte à 1 : 500 000 de l'Argentine, ou à défaut examinons les deux feuilles 76 et 77 de l'*Atlas Vivien de Saint-Martin*, le seul qui puisse servir en l'occasion. Nous voyons la largeur du bourrelet andin diminuer vers le Sud. Elle est déjà réduite à 500 km. à la frontière argentine. Des sierras qualifiées de « sub-andines » se détachent de la masse, avec des altitudes inférieures de 1 500 ou 2 000 m. à son altitude moyenne. Au Sud de Tucuman, la dissociation paraît s'accroître ; des sierras bien dégagées laissent entre elles de grands vides : bolsos de Catamarca, d'Andalgala, de la Rioja, de Celecito et Famatima ; encore assez hautes au début, elles s'effilent et s'ennoyent dans la plaine. On devine leur prolongation dans les petites « sierras pampéennes », dont la plus importante est la Sierra de Cordoba, la plus éloignée la Sierra de Tandil (au Sud de Buenos Aires). On dirait que les axes de soulèvement s'écartent en éventail, tout en perdant leur valeur orogénique. Le corps du relief andin est réduit à 200 km. de largeur sur la ligne du Transandin Mendoza-Valparaiso ; à moins de 150 dans la Patagonie et le Chili méridional, où l'on remarque la rareté des altitudes supérieures à 3 000 m. et la multiplication des cols inférieurs à 1 000 m.

Ce sont là des faits. Leur signification augmente encore si on essaie de voir plus loin que la surface et de pénétrer la structure géologique.

Suess avait déjà, il y a près d'un demi-siècle, conçu une rencontre de deux arcs de plissement soudés à la latitude où les Andes ont leur plus grande puissance¹ et avait plus tard précisé que les plis s'écartent soit au Nord, dans la Colombie et le Vénézuéla, en direction des Antilles, soit au Sud avec les sierras pampéennes, en direction de l'arc Falkland-Antarctide². Si nous nous en tenons à ce qui est bien établi par les travaux les plus récents sur la structure du Nord-Ouest argentin et du Sud bolivien, il est clair que l'édifice andin offre à cette latitude sa plus grande complexité, et que vers le Sud on voit s'effacer une à une presque toutes les zones dont la soudure donnait à la montagne sa masse imposante³.

1. « Les plus hautes montagnes de l'Amérique du Sud se composent de deux parties qui se rejoignent suivant un angle obtus dans le Sud du Pérou et en Bolivie à l'Est du Golfe d'Arica. » (*La Face de la Terre*, t. I, p. 682 de la trad. Emm. DE MARGERIE.)

2. *La Face de la Terre*, t. III, dernier chapitre.

3. D'après J. A. DOUGLAS, *Geological sections through the Andes of Peru and Bolivia* (*Quart. J. Geol. Soc.*, LXX, 1914) ; — J. KEIDEL, *Sobre las relaciones entre la Puna*

La première de ces zones en venant de l'Est est celle des sierras subandines, formées principalement de Crétacé détritique (formation pétrolifère) affecté de plis superficiels. Ses chaînons, qui dépassent rarement 2 000 m., s'effacent vers Tucuman, pour découvrir le front formidable de la Cordillère dominant de 4 000 m. la plaine, et s'évanouissent définitivement vers Catamarca. Au Nord, ils ont encore parfois des noyaux primaires.

C'est le Primaire qui forme presque seul, avec des masses cristallines, toute la Cordillère orientale (Cordillera Real de la Bolivie). Il s'agit d'un plissement ancien, repris par des mouvements relativement récents qui y ont incorporé du Crétacé, encore conservé dans des synclinaux faillés dont la direction (NNE-SSO) est celle des vallées principales. De cette zone accidentée, la plus fouillée par l'érosion, que reste-t-il au moment où disparaissent les sierras subandines ? Presque rien, car les sierras pampéennes, y compris la sierra de Cordoba, appartiennent au vieux socle brésilien, gardant çà et là quelques restes de la couverture Gondwanienne, et disloqué par des plis de fond avec jeu de blocs basculés¹.

Au même moment disparaît le massif de la Puna, avec lequel la Sierra de Chañi fait corps encore au Nord de Salta. C'était le prolongement de l'Altiplanicie bolivienne, dont le bâti cristallin n'a été que légèrement bousculé par les mouvements générateurs du relief de la Cordillère orientale, et qui sert de soubassement aux volcans récents nés sur les fractures de son bord occidental. Les chaînons arrondis qui dominant de 1 500 à 2 000 m. le niveau moyen se continuent au delà de l'abrupt tectonique Est-Ouest qui escamote soudain toute la masse ; leur relief relatif, doublé ou triplé, avec le rejet des failles qui les bordent², diminue progressivement jusqu'à ce qu'elles disparaissent.

Dans la Province de San Juan il ne reste de l'édifice andin qu'une « Précordillère » accolée à la Cordillère principale qui forme la frontière, avec, au Chili, un massif ancien littoral. La Précordillère de

y la Cordillera principal (Bol. Acad. Cordoba, XXX, 1927, p. 295-307) et Observaciones geológicas en la alta cordillera de San Juan y Mendoza (An. Min. Agric., Sect. Geológica, Direccion de Minas, Buenos Aires, 1921, 102 p.) ; — R. STAPPENBECK, La alta cordillera de San Juan y Mendoza (An. Min. Agric. Direccion de Minas, IV, 3, Buenos Aires, 1910) ; — W. SCHILLER, La alta cordillera de San Juan y Mendoza y parte de la Provincia de San Juan (An. Min. Agric., Direccion de Minas, VII, 5, Buenos Aires, 1912).

1. BODENBENDER, *La Sierra de Cordoba (An. Min. Agric., Sect. Geolog., Buenos Aires, 1905) ; — RASSMUS, Geología general de las Sierras Pampeanas (Bol. Min. Agric., Direccion de Minas, 1916) ; — O. SCHMIEDER, Apuntes geomorfológicos de la Sierra Grande de Cordoba (Bol. Acad. Cordoba, XXV, 1921) ; — F. PASTORE, Hoja 20 i del Mapa Geol. de la Argentina (Min. Agric., Direccion de Minas, Bol. n° 36, Buenos Aires, 1932).*

2. Phénomène démontré par W. PENCK, *Der Sudrand der Puna de Atacama (Abhandl. d. Sächsischen Akad. d. Wissensch., Leipzig, Math. Naturwiss. Kl. XXXVII, 1920).*

San Juan est géologiquement bien connue, grâce à Stappenbeck et Keidel¹. Sa structure rappelle celle de la Cordillère orientale par la prédominance des sédiments primaires d'origine marine ; il s'agit d'un plissement à peu près contemporain de notre plissement hercynien, recouvert en discordance par la série de Gondwana. Les Paramillos d'Uspallata ont encore l'aspect d'un vaste plateau vers 3 000 m. avec les grès rhétiens bariolés où Darwin avait déjà découvert des troncs fossiles.

Cet élément important de la structure andine s'évanouit définitivement au Sud du Rio Mendoza², et le front oriental de la montagne est désormais formé par la Cordillère principale, seul élément proprement alpin de la chaîne andine. Ce sont des couches marines d'âge mésozoïque, qu'on suit depuis le Pérou, affectées de plissements violents ; ici, calcaires et dolomies jurassiques, grès et schistes crétacés à lentilles de gypses, avec intercalations de puissantes masses éruptives qui forment les plus hauts sommets (Aconcagua). Des conglomérats tertiaires portés à 5 000 m. indiquent que les mouvements orogéniques, sans doute inaugurés au Crétacé, ont continué au moins jusqu'à l'époque de la phase alpine en Europe. L'activité éruptive elle-même n'a pas cessé jusqu'à nos jours dans cette zone sensible, dont les volcans envoient leurs cendres jusqu'à Buenos Aires³.

A l'Ouest de la Cordillère principale s'étend depuis le Nord du Chili ce qu'on appelle la Cordillère côtière ; ce n'est en réalité que le reste d'un socle ancien, souvent aplani vers 1 500 m., où dominent les roches cristallines, avec une pellicule de Tertiaire continental, disloqué par la grande faille que battent les flots du Pacifique, séparé même de la Cordillère principale par le fossé de la « Vallée de Santiago ».

Voilà donc tout ce qui reste de l'édifice andin au Sud de Mendoza. Si l'on pousse plus loin encore, ces derniers éléments structuraux perdent eux-mêmes leur valeur orographique. A partir de 42°, la « Cordillère côtière » s'abaisse et devient un archipel d'îles ou une série de presqu'îles, tandis que la « Vallée de Santiago », envahie par la mer, devient une série de chenaux. La Cordillère principale elle-même tend à s'effacer, et on se demande ce qui resterait du relief des Andes sans l'activité éruptive qui a édifié tous les sommets supérieurs à 2 000 m.

Ainsi c'est un fait que l'édifice andin s'effrite de plus en plus au Sud. Il ne s'agit pas d'une apparence superficielle, mais d'une réalité

1. STAPPENBECK, OUV. cité. — KEIDEL, *Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza*, loc. cit.

2. Bien noté par KEIDEL, *Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan*, loc. cit.

3. En avril 1932 une couche de 1 à 3 mm. d'épaisseur a recouvert la Pampa jusqu'aux portes de Buenos Aires (E. KITTL, *Estudio sobre los fenomenos volcanicos...*, *An. Museo Hist. Nat.*, Buenos Aires, 1933).

profonde, non pas d'un caractère accidentel, mais d'une modification décisive de la structure.

Ce qui donne au phénomène toute sa valeur géographique, c'est que le lieu où s'opèrent les changements les plus graves est précisément celui où les circonstances climatiques sont le plus hostiles à l'écoulement régulier des eaux. C'est en effet sur le 27^e parallèle que le bloc de la Puna disparaît brusquement, tandis que la Cordillère orientale s'abaisse. De là jusqu'à 32° règne, sur une largeur de 300 km., le régime orographique le plus défavorable à l'organisation du réseau hydrographique. Dans les bols encadrés de sierras, dans la plaine des Salinas grandes, il faudrait un afflux constant d'eaux vives pour former le lac qui déborderait et auquel succéderait une plaine colmatée. L'indigence et l'irrégularité des précipitations ne permettent que des rios temporaires, dont les eaux s'infiltrent dans le glacis d'alluvions bordant chaque sierra. Les nuages qu'une avancée des vents d'Est pourraient apporter en été sont arrêtés par la Sierra de Cordoba ; ceux qui pourraient venir de l'Ouest en hiver, grâce à une extension anormale des perturbations auxquelles le Chili méridional doit son humidité, ont la route barrée par la Cordillère principale.

C'est à un concours de circonstances climatiques et orographiques unique au monde qu'est dû le fait sans exemple qui nous a arrêté : la diagonale aréique d'Antofagasta-Catamarca. Le rôle de l'orographie apparaît plus grand encore quand on l'envisage comme le résultat de forces dont l'action se développe encore actuellement.

Les mouvements du sol qui ont déterminé le relief entre les latitudes 25° et 35°-40° sont considérés par l'unanimité des géologues ayant travaillé en Argentine¹ moins comme des plissements que comme un jeu de compartiments basculés, soulevés ou affaissés qui n'arrivent pas à trouver une position d'équilibre. Peut-être faut-il voir la conséquence de plis de fond, suivant la définition d'Argand. En tout cas un pareil jeu n'est pas favorable à l'organisation du drainage, sa persistance entraîne le renversement des pentes d'écoulement, que l'érosion ou l'alluvionnement tendent à établir. Il paraît avoir continué au moins jusqu'au Quaternaire sinon même jusqu'à la période actuelle.

Le manteau des sédiments « pampéens », dont la formation par dépôts éoliens et alluvionnaires continue, voile des inégalités dues à la persistance de mouvements du sol, sans réussir à les faire entièrement disparaître ; ainsi s'expliquerait l'absence de pente de la Pampa au Sud de Buenos Aires, qui y détermine l'arésisme humide².

1. Pas une seule note contraire, quelle que soit l'origine du savant.

2. Les inondations répétées ont donné lieu à maints projets d'ingénieurs et à des essais inopérants pour organiser le drainage. Voir C. POSADAS, *La solución del problema*

Dans le Chaco lui-même, la pente du bord des Andes au Parana ne répond pas à ce qu'on attendrait de cours d'eau montagnards dans un climat tropical à pluies d'été, comme ceux qui réussissent à atteindre le grand collecteur. Malgré leurs crues violentes, malgré les galets qu'ils roulent dans les bassins encadrés par les sierras subandines, à peine réussissent-ils à édifier au pied même de la montagne des cônes très aplatis en pente de 2 p. 1 000. A 100 km. des Andes la pente n'est plus que de 0,3¹. Les lits n'arrivent pas à se fixer, et d'anciens tracés forment des traînées marécageuses. La formation du Mar Chiquita, à l'Est de Cordoba, paraît bien liée au jeu d'une faille dont la trace superficielle est l'abrupt rectiligne Nord-Sud contre lequel viennent s'accumuler les eaux amenées par le Rio Dulce².

Le mouvement des blocs voilés sous les sédiments pampéens paraît encore plus évident à l'Ouest de San Luis. Une série d'ombilics attirent les rios montagnards qui suivent les routes les plus imprévues, et sont menacés de perte. Le piège tendu au Rio Mendoza par la dépression de Rosario (fig. 5) n'empêche pourtant pas qu'un écoulement sorte des marécages de Huanacache : c'est le Desaguadero, dont le chemin de fer traverse le lit souvent à sec entre San Luis et La Paz ; cependant sans le renfort du Rio Tunyan l'écoulement serait sans doute interrompu par le déversement dans la Laguna Bebedero, profond ombilic qui a eu des eaux douces au Quaternaire, comme l'indique la faune trouvée dans les plus hautes des terrasses entourant la plaine saline³. Le détournement du Rio Mendoza à sa sortie de la montagne paraît en rapport avec le tassement du piémont andin ; les tremblements de terre qui ont détruit encore au XIX^e siècle la ville de Mendoza indiquent assez l'instabilité réelle de cette zone.

Nous nous trouvons rejoindre la pensée de Suess qui, après avoir signalé dans le Nord argentin un mouvement orogénique débordant le continent brésilien, avec effondrements selon des lignes méridiennes, ajoutait : « ce phénomène n'a peut-être pas encore pris fin aujourd'hui »⁴.

de las desagues e inundaciones en la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 1933, in-8°, 555 p., nombreuses planches dont une carte en courbes de niveau de 5 en 5 m. qui permet de calculer des pentes minima de 0,1 à 0,4 p. 1 000. L'auteur cite les plaintes des paysans, accusant l'impéritie des ingénieurs : « Nous avons les ruisseaux à sec et les champs inondés ».

1. Mesures sur la Carte de la République Argentine à 1 : 500 000, sans suivre, bien entendu, les sinuosités des rivières.

2. K. KANTER, *Das Mar Chiquita in Argentinien* (Abhandl. Hamburg. Unicers., XIX, 1925) et *Das Problem der wandernden Seen* (Zeitschr. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1933).

3. DOERING, cité par FRENGUELLI, *Discrepancias entre el clima y formas de la superficie en Argentina* (B. Acad. Cordoba, XXVIII, 2, 1925).

4. *La Face de la Terre*, trad. EMM. DE MARGERIE, III, p. 1039.

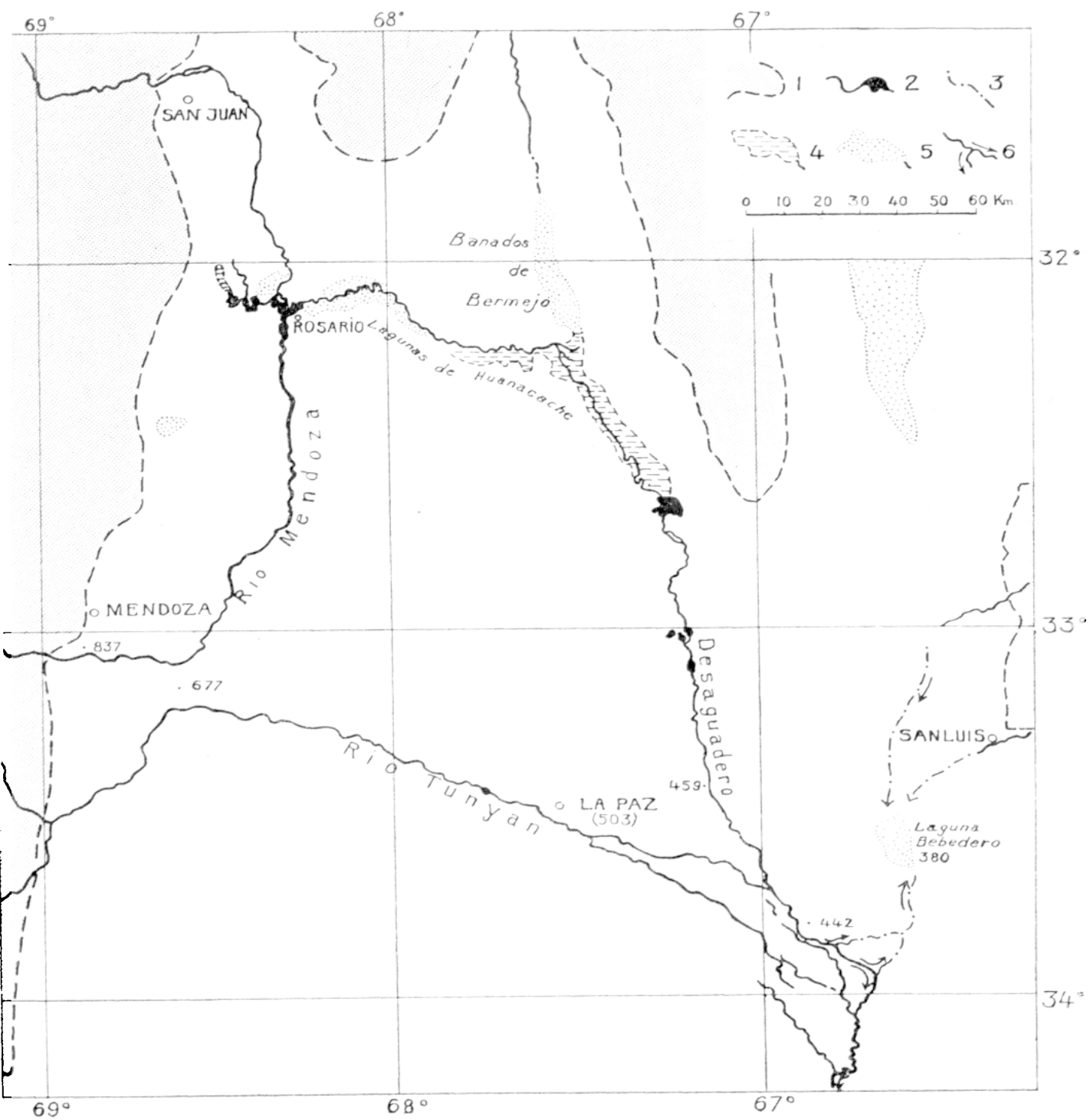


FIG. 5. — HYDROGRAPHIE ANORMALE INFLUENCÉE PAR LES MOUVEMENTS DU SOL (d'après la feuille Mendoza de la Carte de la République Argentine à 1 : 500 000).

1, Montagnes. — 2, Cours d'eau permanent et lac d'eau douce. — 3, Cours d'eau temporaire. — 4, Plaine marécageuse inondable temporairement. — 5, Plaine argileuse saline. — 6, Bifurcation (flèches indiquant le sens de l'écoulement). — Échelle 1 : 2 250 000.

IV. — LE MODELÉ D'ÉROSION ET L'ANCIENNETÉ
DU RÉGIME ENDORÉIQUE

Après avoir analysé les causes d'un grand phénomène de géographie physique, on est tenté d'envisager ses conséquences. Laissant de côté celles qui ont trait à la biogéographie et même aux destinées humaines, qui mériteraient une discussion spéciale¹, contentons-nous d'envisager les conditions spéciales du modelé d'érosion. C'en est assez pour poser le problème de l'ancienneté du régime endoréique, auquel les Andes doivent leur cachet.

Si nous reprenons la traversée de la montagne dans sa plus grande largeur, à la latitude de Tucuman, nous distinguons facilement une série de zones morphologiques correspondant aux zones climatiques.

Il faut noter que le front humide n'est pas le lieu des érosions les plus énergiques. Le manteau forestier dissimule sans doute les déchirures des petits ravins, mais il n'est pas douteux qu'il arrête les glissements du sol. C'est dans la « zone des quebradas » que l'activité est évidemment la plus grande. Creusement, ravinements et accumulations rivalisent pour donner l'impression d'un relief changeant à vue d'œil. L'observateur peut être préparé à ces spectacles par ce que montrent les bassins encadrés entre les sierras subandines, avec leurs terrasses à deux ou trois niveaux et les vastes cônes de déjections des vallées affluentes ; il peut connaître les torrents de l'Ubaye et des hautes Alpes Maritimes, les Mauvaises terres du Sud-Algérien ou des États-Unis, l'impression produite n'en sera pas moins forte. La violence des ravinements, créant les formes les plus pittoresques, parées de couleurs variées qu'avive encore une lumière vibrante, frappe peut-être moins que l'énormité et l'instabilité des formes d'accumulation. Les dimensions des cônes de déjections qui débouchent de chaque ravine paraissent hors de proportion avec celles des bassins de réception. Pas un qui ne soit raviné par de nouvelles laves, et il n'est pas rare de voir trois cônes emboîtés (pl. V, A) ; parfois le dernier se développe jusqu'à noyer les cônes précédents ; mais souvent les restes de cônes anciens apparaissent, formant des murailles ravinées en pyramides, à plus de 100 m. au-dessus de la vallée.

Les cônes les plus puissants sont recoupés en falaises de 60 à 80 m. de haut par l'élargissement du plafond de la vallée principale, et la morsure est si brutale que la falaise est à peine entaillée par des sortes de valleuses (pl. I, A). Il en est qui ont réussi à barrer complètement l'écoulement. Le cône de Volcan, toujours en mouvement, force à refaire chaque année la voie ferrée de Jujuy à La Quiaca ;

1. Voir quelques indications à ce sujet dans Emm. DE MARTONNE, *The Andes of North West Argentina* (*Geogr. Journal*, 1934).

il a rejeté le Rio Grande contre le versant gauche où sa gorge étroite entaille la roche en place ; il a créé en arrière un lac, des prairies et des cultures¹. Les rivières principales, en lutte avec les cônes affluents, ont déjà fort à faire avec leurs propres alluvions, étalées sur plus d'un kilomètre de largeur avec des pentes de cône de déjection² ; les têtes de roches noyées aux confluent de vallées (pl. I, B) indiquent un remblaiement en progression. Ces conditions, caractéristiques de l'endoréisme, sont réalisées avec des indices d'aridité entre 10 et 20. Peut-être y a-t-il là une indication de portée générale. En tout cas les mêmes indices se retrouvent avec les mêmes phénomènes sur le Rio Mendoza dans le bassin d'Uspallata.

Tout autres sont les conditions d'érosion dans la Puna d'Atacama. Les transformations de la surface y sont évidemment beaucoup plus lentes. On remarque rarement l'action du vent, qui doit consister surtout à balayer les débris assez amenuisés pour être transportables, si toutefois il y en a sur les hauteurs. Celles-ci sont attaquées par la désagrégation mécanique, activée par les gels nocturnes et les midis brûlants. Les débris descendent lentement en coulées continues, dont les matériaux deviennent de moins en moins gros. Les pluies d'orage servent surtout, de même que les chutes de neige, à donner de l'élasticité au mouvement de glissement. Certaines coulées arrivent au bord de cuvettes fermées avec un front abrupt rappelant un bourrelet de moraines (par exemple sur le flanc Est du Nevado Acay). Sauf sur le bord oriental de la Puna, où quelques vallées existent encore, il n'y a souvent pas même de vallées mortes ; on se demande si elles ont jamais existé....

Il en est autrement dans le désert chilien, où les hauteurs sont périphériquement ravinées par un réseau de vallées sèches admirablement hiérarchisées, comme nous l'avons déjà indiqué. Le refroidissement quaternaire, qui a donné, jusque vers 2 000 m., des pluies permettant ce ravinement, n'a sans doute donné sur la haute Puna que des neiges permettant la formation de petits glaciers et celle de lacs, où se sont concentrés les sels descendant des versants avec les eaux de fonte.

Au même moment, dans la zone des Quebradas, l'érosion torrentielle a dû être exaltée, mais il n'est pas sûr que l'augmentation du débit liquide ait pu compenser celle du débit solide. On est tenté d'attribuer au Quaternaire les fronts de coulées des vallées affluents dominant le talweg actuel de plus de 50 m., de même que les hautes terrasses, ravinées jusqu'à former des plateaux inclinés avec une

1. PASTORE et GROEBER, *Reconocimiento del torrente de barro llamado Volcan* (*An. Mus. Hist. Nat. Buenos Aires*, XXXVII, 1931).

2. La pente de la Quebrada de Toro continue pendant 50 km. celle du grand cône de déjection étalé dans la plaine de Rosario de Lerma (2 p. 100).

pente de cône de déjection, qui apparaissent au débouché dans les bassins subandins près de Salta ou de Jujuy, sinon même les terrasses dont on suit très loin les témoins aux flancs de gorges comme la Quebrada de Toro. L'endoréisme n'aurait donc pas cessé au Quaternaire. Mais n'est-il pas plus ancien encore ?...

Quand on s'élève sur les flancs des profondes vallées de la zone des Quebradas, on est étonné de voir les ravinements furieux s'arrêter à des surfaces presque planes, des *mesetas*, et d'y retrouver les mêmes cailloutis que dans le lit torrentiel à plusieurs centaines de mètres plus bas. Ces hautes terrasses peuvent s'observer particulièrement bien dans les lacets de la voie ferrée montant à San Antonio de los Cobres, avec leurs couches stratifiées différant à peine de celles du fond de la vallée par quelques lits sableux ou même marneux colorés en rouge ou en vert, sur une hauteur de 1 000 m. ¹. La puissance des accumulations de débris n'est guère moindre dans le bassin d'Uspallata, dont l'escalier de terrasses a été plus d'une fois signalé. On a peine à attribuer au seul Quaternaire un remblaiement aussi épais et les érosions qui y ont entaillé les vallées à la suite de mouvements du sol d'une ampleur singulière.

Ces mouvements sont évidents en maints endroits où les couches détritiques se montrent fortement redressées, donnant des terrasses inclinées vers l'amont, comme des *cuestas* ou, quand le pendage dépasse 50°, des crêtes en dents de scie. La cimentation est plus ou moins marquée, mais sans qu'on puisse la dire plus avancée en général dans les couches redressées. Sur le piémont de Mendoza, une série de Cerros surgissent à demi noyés dans le glacis de cailloutis grossiers en forte pente qui descend de la montagne ; ils sont formés d'un matériel analogue à celui du glacis, parfois à éléments encore plus gros (blocs cubiques) en bancs redressés jusqu'à la verticale.

Ces faits sont si évidents qu'ils ont été signalés en maints endroits dans les mémoires géologiques. On admet l'existence d'une série continentale détritique, englobant tout le Néogène et probablement tout le Tertiaire, affectée par des mouvements du sol répétés. Ce sont les « Couches de Calchaqui », dans lesquelles il semble bien difficile d'établir une chronologie ². La présence de marnes à *Corbicula* offre-t-elle la possibilité d'une coupure entre le Tertiaire inférieur et le Néogène ³ ? En tout cas elle indique l'existence de lacs aux eaux saumâtres comme aujourd'hui le Mar Chiquita de Cordoba. Le « Tertiaire subandin » de la Province de Salta, souvent plissé avec le Cré-

1. Voir le panorama (dessin) publié dans Emm. DE MARTONNE, *The Andes of North West Argentina*, loc. cit., représentant le bolson plissé entre le bord de la Puna et la Sierra de Chani.

2. Voir WINDHAUSEN, *Geologia Argentina*, t. II, Buenos Aires, 1930.

3. D'après BODENBENDER, *El Calchaqueno y los stratos de la Puna* (*Bol. Acad. Cordoba*, XXII, 1924).

tacé dans les sierras subandines, est-il l'équivalent des couches de Famatina de Bodenbender et de ce que Walter Penck appelle Couches de Calchaqui proprement dites¹. En tout cas leurs marnes gypsifères indiquent un régime de bassins intérieurs dans un climat aride. Les discordances sont plus nombreuses que ne le laisserait croire un essai de systématisation comme celui de Walter Penck. Il reste certain que l'endoréisme a régné pendant la plus grande partie du Tertiaire dans ces Andes travaillées par des efforts orogéniques répétés, montagnes s'ensevelissant sous leurs ruines et se régénérant sans cesse.

Tel est le terme d'une analyse visant à expliquer un phénomène de géographie physique : l'extension de l'aridité conduisant à l'aréisme sur une zone méridienne étirée de 3° à 45° lat., traversant en diagonale un continent de sa rive occidentale à sa rive orientale et s'étalant, près du Tropique, sur toute la masse d'une des puissantes chaînes du globe.

Le phénomène a pu être vérifié et cartographié. La recherche des causes a montré que ce cas unique résulte d'un concours de circonstances singulier. On y voit une application particulière de lois générales qui n'avaient peut-être pas été encore suffisamment mises en lumière, notamment la dissymétrie climatique inverse des deux bords des masses continentales, de part et d'autre du tropique. Le tracé méridien du faite orographique accentue cette dissymétrie. L'effilement en pointe du continent met l'Atlantique en contact avec la zone sous le vent de Patagonie. Mais les particularités locales les plus importantes sont celles qui apparaissent par l'analyse du relief et de la structure des Andes. Le puissant édifice qui se dresse à la frontière argentino-bolivienne s'effrite vers le Sud par ennoyage de presque toutes ses zones structurales ; et il se trouve que le morcellement commence brusquement à la latitude où se renverse le sens de la dissymétrie climatique. C'est par les dépressions abritées entre les restes de l'édifice andin que se soude le ruban de terres arides venant du littoral pacifique pour arriver au littoral atlantique.

L'étude des conséquences pourrait être aussi féconde que celle des causes. Il suffit de considérer seulement les modalités de l'érosion pour être mis en présence du problème de l'ancienneté du régime actuel. La puissance des formations détritiques, parfois fortement redressées, indique que l'endoréisme règne depuis le début du Tertiaire et nous fait voir dans les Andes une montagne aride constamment régénérée par des poussées orogéniques qui n'ont pas dit leur dernier mot.

EMM. DE MARTONNE.

1. W. PENCK, *Der Sudrand der Puna de Atacama*, loc. cit.