

EMMANUEL DE MARTONNE

LE CLIMAT FACTEUR DU RELIEF

EXTRAIT DE "SCIENTIA",

VOL. XIII, 7.ème ANNÉE (1913), N. XXIX-3

BOLOGNA

NICOLA ZANICHELLI

LONDON

MS AND NORGATE

PARIS

FÉLIX ALCAN

LEIPZIG

WILHELM ENGELMANN

Bz
géo-phys.

114

"SCIENTIA,,

(RIVISTA DI SCIENZA)

Organo internazionale di sintesi scientifica - Revue internationale de synthèse scientifique
International Review of Scientific Synthesis - Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese

Paraissant tous les deux mois

(6 numéros par an de 240 à 250 pages chacun)

DIRECTION:

G. BRUNI - A. DIONISI - F. ENRIQUES - A. GIARDINA - E. RIGNANO

"**SCIENTIA,,** a été fondée en vue de contrebalancer les fâcheux effets de la spécialisation scientifique à outrance. Elle ne traite que des sujets d'ordre tout à fait général et vise surtout aux rapports qui unissent les différentes sciences entre elles: elle tend par là à la synthétisation et unification de la science. Par ses *Articles* se rapportant aux branches les plus diverses de la recherche théorique, depuis les mathématiques jusqu'à la sociologie, par ses *Notes Critiques* sur les questions fondamentales le plus à l'ordre du jour, par ses *Comptes Rendus* de tous les ouvrages scientifiques d'intérêt général, par ses *Revue Générale* des derniers progrès dans chaque branche de la science, par ses *Analyses* des articles les plus importants parus sur les autres principaux périodiques de tout le monde, par sa *Chronique* des Congrès et de tous les autres événements de haute importance scientifique, — elle cherche en outre à donner l'idée la plus complète de l'ensemble du mouvement scientifique contemporain.

"**SCIENTIA,,** fait appel, pour le développement de son programme, à la coopération des autorités scientifiques les plus éminentes de tous les pays. L'accueil favorable qu'elle a rencontré auprès de celles-ci, la collaboration tout-à-fait internationale et de premier ordre qu'elle a réussi à s'assurer, et la diffusion si large qu'elle a gagnée en peu de temps dans tout le monde ont démontré combien son programme correspondait à un vrai besoin du monde savant actuel.

"**SCIENTIA,,** publie ses articles dans la langue de leurs auteurs. Mais au texte principal est joint **un supplément avec la traduction française de tous les articles originaux allemands, anglais et italiens.** Toutes les autres rubriques sont en français ou, elles aussi, traduites en français.

(Pour les renseignements aux auteurs

et les abonnements voir la page 3 de la couverture)

Bz geo phys
114

EMMANUEL DE MARTONNE

LE CLIMAT FACTEUR DU RELIEF

L'idée que le relief du sol s'explique par la géologie est devenue banale; elle a pénétré dans le grand public et, pour la plupart des esprits éclairés dont la sphère d'action ne touche pas directement à la géographie, il y a à peu près identité entre la morphologie terrestre et la géologie, l'une dérivant en quelque sorte de l'autre.

Les spécialistes savent cependant, ou devraient toujours savoir, que le relief dépend du climat au moins autant que du sous-sol. Rappeler quelques faits significatifs à cet égard, essayer de préciser la nature de l'influence en question, tel sera l'objet de ces pages, dédiées surtout aux esprits curieux des relations complexes qui relient les phénomènes physiques à la surface du globe.

I.

Il n'est pas besoin d'une longue expérience pour reconnaître le lien intime qui unit la science du relief du sol à celle du sous-sol. Les progrès de la morphologie terrestre ont été liés à ceux de la géologie; les premiers morphologistes ont été des géologues, tels les Richthofen, les Heim, les Gilbert, les Lapparent. Il suffit d'ouvrir les yeux pour voir à chaque pas des faits montrant le rôle primordial que la géologie doit jouer dans l'explication du relief. Il est difficile dans l'enseignement de garder les élèves contre l'excès qui les pousse naturellement à demander tout à la géologie. Comment y échapperaient-ils lorsque tout ce qu'on peut leur montrer dans

des excursions limitées les oriente dans cette direction ? Il en serait autrement si l'on pouvait leur faire parcourir de grands espaces et les transporter rapidement sous des climats différents.

De même toute étude détaillée sur le terrain, dans une région peu étendue, donne l'impression que la géologie fournit les éléments d'explication de presque toutes les particularités du relief. Les yeux s'ouvrent cependant forcément sur le rôle du climat lorsqu'on voyage, et, plus les pérégrinations du géographe le font changer de milieu, plus se fortifie l'impression que le climat est un facteur décisif du relief du sol. Il serait facile à l'auteur de ces lignes d'invoquer son expérience personnelle; mais il lui semble plus démonstratif de montrer comment les plus grands géographes, presque tous géologues par leur première éducation, ont été nécessairement conduits dans la voie des explications climatiques, dès que leur expérience s'est étendue.

Rien de plus significatif que l'exemple de Richthofen. Ses études dans les Alpes et la Transylvanie auraient suffi pour lui assurer le renom d'un bon géologue; ce sont ses voyages en Chine qui ont fait sa réputation et l'ont consacré grand géographe. L'impression produite sur lui par les aspects dus à des climats différents a été si profonde qu'elle apparaît à chaque page de son grand ouvrage *China*. Nul n'a plus que lui insisté sur l'importance des contrastes géographiques entre les régions intérieures de l'Asie privées d'écoulement vers la mer, et les régions périphériques au climat plus humide, au relief plus évolué. Il y a trouvé l'explication de ces énormes accumulations de terres jaunes si caractéristiques de la Chine septentrionale, pour lesquelles il a rendu classique le nom de « loess » appliqué dans la plaine du Rhin à un limon analogue.

L'étendue considérable du territoire des États-Unis, la variété des climats qui s'y observent de l'Atlantique au Pacifique, des confins glacés du Canada aux terres chaudes du Mexique, ont permis aux géographes américains, tous géologues d'origine, d'acquérir très vite une expérience aussi féconde que celle gagnée par Richthofen sur les routes d'Asie. L'attention donnée aux conditions différentes de l'érosion dans les régions humides et sèches, boisées et découvertes, océaniques et continentales, voilà ce qui fait surtout l'originalité des écrits théoriques et des descriptions classiques dues à Powell, Gilbert ou Davis. C'est dans l'exploration des Montagnes Rocheuses et

des territoires de l'Ouest, que ces maîtres de la morphologie terrestre ont formé leur méthode et élargi leurs conceptions. On comprend encore mieux la valeur des contrastes qui ont ouvert leurs yeux lorsqu'on se voit brusquement transporté par les puissants exprès transcontinentaux des collines verdoyantes de la Nouvelle Angleterre et de la Pensylvanie aux « bad lands » de l'Ouest, ravinés à l'infini par le ruissellement sur le sol nu; ou des vallées profondes, mais aux versants boisés et régulièrement inclinés qui traversent les Monts Alleghanys, aux prodigieux canyons du Colorado et de l'Arizona avec leurs parois verticales de rochers aux teintes éclatantes et leurs gigantesques talus d'éboulis. Il est impossible d'échapper à l'impression que la sculpture du relief, le *modelé*, suivant l'expression devenue classique, est sinon dû à des outils différents, du moins exécuté dans un tout autre style dans la zone humide Atlantique et dans les régions sèches de l'Ouest. Cette impression Gilbert l'a traduite très nettement sous la forme d'une loi morphologique d'après laquelle les versants ont, dans des conditions géologiques identiques, une pente plus forte sous un climat sec que sous un climat humide.

N'est-il pas curieux de retrouver exactement la même loi sous la plume du Général de la Noé, ancien directeur du Service géographique de l'Armée française, conduit par la topographie à la géographie physique, dans son ouvrage écrit en collaboration avec un géologue érudit, Emmanuel de Margerie: *Les Formes du terrain?* L'expérience du Général de la Noé n'allait pas au delà du territoire français; la vue de la région méditerranéenne provençale et surtout de l'Algérie avec ses hauts plateaux secs, suffit pour le conduire, tout à fait indépendamment de Gilbert, à la même loi exprimée presque dans les mêmes termes.¹

Depuis Richthofen, Gilbert et de la Noé la morphologie terrestre a fait, et fait chaque jour, de grands progrès. Il semble que le moment soit venu où l'on ne peut plus guère espérer

¹ Il conviendrait d'ajouter à ces exemples celui du savant successeur de Richthofen à la chaire de géographie physique de l'Université de Berlin, A. Penck, conduit à la géographie par l'étude des dépôts glaciaires quaternaires, et que des voyages rapides mais très étendus (Etats-Unis, Canada, Afrique du Sud, Spitzberg) ont amené récemment à proposer une classification nouvelle des climats, conçue en vue de l'interprétation du modelé. (*Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage*), Académie des Sciences de Berlin, 1910).

trouver de nouvelles interprétations du modelé d'érosion normal, tel qu'on l'observe dans les pays de la zone tempérée que nous habitons. Mais de nouveaux horizons s'ouvrent devant ceux qui abordent l'étude des régions plus ou moins exotiques, où entrent en jeu des forces mal connues, dans des conditions extrêmes de température et d'humidité.

Le développement de la connaissance des régions désertiques et polaires pose de nouveaux problèmes et fait entrevoir de nouvelles solutions, même pour l'interprétation des formes du relief de la zone tempérée, pourvu qu'on suppose des changements de climat.

Il y a cinquante ans, nous ne savions à peu près rien des déserts. Le Sahara était la « mer de sable », ancien lit de l'océan comparable en plus grand aux sables mouvants des bords de la mer. Les voyages et les explorations scientifiques des Barth, des Rohlfs, des Foureau ont fait justice de cette conception erronée, en révélant toute la richesse des formes désertiques. L'exploration du Kalahari dans l'Afrique du Sud par le géologue Passarge, des déserts de l'Asie centrale par ce pionnier infatigable qu'est Sven Hedin, des déserts australiens par Horn, les études comparées de Joh. Walther, nous montrent tout un ensemble de formes spéciales aux déserts dont l'élaboration paraît due réellement au jeu de forces inconnues ailleurs: vent, pluies torrentielles et très rares, décomposition des roches surchauffées. A côté du désert de sable, avec ses types variés de dunes, nous connaissons le désert de pierres, la *hammada* saharienne, plateau couvert de cailloux striés et guillochés par le vent; les *gour*, témoins d'érosion rongés par le vent jusqu'à prendre la forme de champignons; les vallées aveugles, les couloirs pierreux anastomosés aux quels on donne le nom de *chebka* dans le Sahara; les déserts d'argile sculptés par le vent en crêtes parallèles appelées *yadang* dans l'Asie centrale.

Lancés sur cette piste, d'où se découvriraient des horizons nouveaux, il était naturel que les chercheurs se laissassent entraîner parfois un peu trop loin. Il semble bien que l'on ait fait rentrer dans la catégorie des formes désertiques des formes pouvant prendre naissance dans des climats encore assez humides et s'expliquant plutôt par la nature des roches; le rôle du vent comme agent d'érosion a été certainement exagéré par J. Walther. On trouve en Europe des formes ana-

logues à certaines formes des déserts africains ou américains: les parois gréseuses creusées d'alvéoles de la Suisse Saxonne ont donné lieu à bien des discussions dans les revues spéciales allemandes, les uns voulant y voir la preuve de l'existence d'un climat désertique à l'époque quaternaire, les autres les expliquant par la simple décomposition des grès dans un climat humide. Le géologue Passarge a été conduit par ses études dans le Sud Africain à une théorie séduisante, suivant laquelle le vent et le ruissellement désertiques pourraient niveler de vastes régions et auraient effectivement accompli ce travail sur presque toute l'étendue du continent africain. L'étude des régions de modelé normal nous avait appris à connaître des surfaces nivelant d'anciennes régions de montagnes, dont l'élaboration s'expliquait aisément par le jeu de l'érosion fluviale poursuivant son œuvre jusqu'à son extrême limite, c'est ce que Davis a appelé une *pénéplaine*. Les interprétations fondées sur cette conception devraient être révisées si l'on admet la théorie de Passarge, en examinant toujours si le climat de la région étudiée n'a pas pu autrefois être désertique.

On voit que de perspectives nouvelles a ouvert l'exploration scientifique des déserts; celle des pays polaires n'a pas été moins féconde. L'étude du Groenland et de l'Islande nous aide à comprendre les conditions géographiques de la période quaternaire, quand de vastes calottes glaciaires couvraient l'Europe et l'Amérique du Nord. Ces glaciers géants ont profondément modifié les formes de la surface du sol suivant les mêmes lois qui président au travail des glaciers polaires actuels.

En dehors des régions couvertes de glaces, les pays froids nous offrent des formes dues aux conditions particulières du climat, qui commencent à être étudiées depuis quelques années. Dans le Spitzberg, le Labrador, l'Alaska, on retrouve ces déserts de pierre dus au même phénomène qui donne les chaos de certains sommets alpins: l'éclatement des roches sous l'influence de la dilatation de l'eau qui gèle dans les fentes où elle a pénétré. Mais le plus curieux est de voir les pierres les plus grosses se grouper en formant des bourrelets qui dessinent des cercles ou des sortes de cellules polygonales accolées. C'est encore aux alternatives de gel et de dégel qu'est dû cet aspect du sol, fréquent au Spitzberg, où on l'a décrit sous le nom de: *sol polygonal*. Sur les pentes assez inclinées les effets du gel et du dégel se manifestent sous une autre forme: le

sol superficiel, qu'il soit formé d'argile, de sable ou de fragments de roches argileuses, est constamment en voie de glissement, comme une matière plastique. Des rides parallèles, généralement en arc de cercle, trahissent ce mouvement, rappelant l'aspect des moraines de glaciers en voie de recul.

Dans l'Alaska et certaines parties des Montagnes Rocheuses, on a observé de véritables coulées de pierres qui descendent des flancs de montagnes escarpées. Le géologue américain R. Capps les a décrites sous le nom expressif et très juste de *Rock-glaciers*. Ce sont en effet des sortes de glaciers de pierres, dont on trouve l'origine dans de véritables cirques et qui s'épanchent à travers la forêt en suivant les pentes des versants abrupts. La vitesse du mouvement est comparable à celle des glaciers alpins, il est facilité par l'eau provenant de la fonte de la neige, qui s'infiltre dans la masse et est soumise à des alternatives de gel et dégel.

On commence à entrevoir le moment où l'expérience acquise dans l'étude des formes spéciales aux régions arctiques actuelles nous aidera à comprendre certaines particularités des régions tempérées, qui ont dû connaître, au moment de la grande période glaciaire quaternaire, un climat semblable à celui du Labrador ou du Spitzberg. Les vastes chaos de blocs granitiques ou gréseux connus sous les noms de Mers de rochers ou Felsenmeere, qu'on rencontre dans les montagnes de l'Europe centrale, ne peuvent guère s'être formés dans les conditions actuelles du climat. Lozinski remarque qu'on ne les trouve que dans les montagnes au voisinage desquelles venait finir la calotte glaciaire qui descendait de la Norvège et couvrait tout le Nord de l'Europe centrale; ce serait, suivant son expression, un « *faciès périglacial* » de la décomposition des roches massives.

On a bien des fois discuté la nature morainique des dépôts qui encombrant les hautes vallées des montagnes de l'Europe centrale et des Karpates. Il n'est plus permis de douter que l'on ait affaire dans certains cas à des « mers de rochers » à peine remaniées. Dans d'autre cas il est probable qu'il s'agit d'anciens rock-glaciers comparables à ceux de l'Alaska, dérivés de petits glaciers de cirques. Cette hypothèse qui m'a été suggérée par la lecture des travaux de Capps me paraît répondre tout à fait à la réalité, depuis que j'ai vu dans les Tauern la vallée de Doessen avec son petit glacier

en voie de disparition réduit à un névé qui se prolonge vers l'aval par un véritable rock-glacier descendant jusqu'au lac Doessen. Combien d'hésitations m'auraient été épargnées dans mes recherches sur les Karpates méridionales si les rock-glaciers de l'Alaska m'avaient été connus....

Ces exemples suffiront pour montrer l'importance que prend et prendra de plus en plus la considération des climats dans l'explication du relief du sol. Ne laissent-ils pas même deviner quel est le principe de cette empreinte imprimée aux formes du terrain par les forces climatiques? Si l'observation nous révèle de plus en plus des formes différentes sous des climats différents, c'est que ces formes sont le résultat d'un travail de sculpture et de modelé exercé par les agents atmosphériques. Essayons de préciser comment les divers éléments du climat peuvent influencer sur l'orientation, et pour ainsi dire, le style de ce travail.

II.

La forme la plus connue de l'érosion est celle des cours d'eau. Ses actions violentes dans les crues des grands fleuves ou les débâcles des torrents de montagne frappent l'imagination. On songe moins au lent et continu travail de décomposition des roches qui en est pourtant la condition et dont l'activité est réglée par les deux éléments principaux du climat: la chaleur et l'humidité. L'érosion proprement dite agit par à coups; la décomposition se poursuit partout sans interruption.

Une grande humidité de l'air, généralement en rapport avec des pluies abondantes, favorise la décomposition chimique par l'eau qui s'infiltré à la surface. Dans les climats humides, les sols sont généralement profonds, les arêtes de roche vive sont rares, même sur les pentes assez fortes, même dans les régions de roches dures; les produits de décomposition forment un manteau à peu près continu qui voile les irrégularités du sous-sol et adoucit toutes les formes. Dans les climats secs, la décomposition chimique est moins active, la décomposition mécanique, due surtout aux variations de température, se fait d'autant plus sentir. Les débris sont plus gros et ne peuvent rester en place sur les pentes; ils s'écroulent, laissant à nu les escarpements rocheux et formant à leurs pieds des talus d'éboulis.

*Relief
Colcaire*

Nous touchons ici à la raison du contraste entre la topographie plus heurtée des régions sèches et celle plus adoucie des régions humides. Ce contraste est déjà sensible pour qui connaît les plateaux calcaires du bassin parisien et ceux de la Provence. L'œil habitué aux paysages méridionaux cherche vainement sur le flanc des vallées riantes de la Bourgogne ou de la Lorraine des escarpements continus et s'étonne de ne pas voir plus souvent la roche à nu. L'impression contraire attend le géographe venu du Nord, qui est porté naturellement à attribuer, dans le Sud, une dureté beaucoup plus grande aux couches qu'il voit partout percer le sol.

Le contraste est encore bien plus frappant dans les États-Unis entre la région humide atlantique et les pays de l'Ouest. Un voyage de quelques semaines dans le monde étrange et merveilleux de déserts et steppes montagneuses qui s'étend entre les Montagnes Rocheuses et le Pacifique suffit pour accoutumer l'œil aux formes heurtées et tranchantes; on s'habitue à lire la structure dans les formes topographiques, la moindre couche dure se traduisant par un escarpement qu'on suit facilement. C'est une déception pour le géologue que de voir les formes adoucies des Appalaches. Les plus hauts sommets de la Caroline sont des dômes arrondis; des roches aussi dures que le conglomérat quartzeux Cambrien, ou la dolomie de Knox ne donnent que des escarpements discontinus semblables à ceux de nos calcaires jurassiques de Lorraine ou aux « rochers » qu'on voit affleurer par places en Bretagne sur les versants de quelques vallées encaissées. On en comprend la raison en voyant dans les tranchées de chemins de fer ou de routes récentes l'énorme épaisseur du sol rouge profondément altéré, et les arènes granitiques entaillées parfois sur plus de 30 mètres sans atteindre la roche.

Le Brésil, avec le climat humide de sa côte orientale et ses plateaux intérieurs relativement secs, offre des contrastes du même genre. D'après Branner, l'épaisseur des arènes granitiques atteint sur la côte jusqu'à près de 100 mètres. Dans l'intérieur, le sol est beaucoup moins épais et les « mesa » couronnées d'escarpement rocheux sont un des traits caractéristiques du paysage.

L'humidité n'est pas seule à considérer pour comprendre les conditions de la décomposition des roches et les aspects qui en résultent. La valeur moyenne et surtout les variations

de la chaleur sont très importantes. Les climats chauds des régions équatoriales, avec leur humidité constante, sont ceux où la décomposition chimique est la plus active, les sols les plus profonds, les escarpements rocheux les plus rares. Tous les explorateurs géologues se plaignent de faire des journées de route sans trouver un affleurement. Dans les régions tempérées, il y a une différence assez sensible entre les climats océaniques et continentaux. Les premiers sont à la fois plus humides et plus doux; les sols y sont généralement plus profonds. Les seconds sont plus secs et plus extrêmes, les variations thermiques sont assez fortes pour que la décomposition mécanique joue un rôle presque égal à la décomposition chimique.

Dans les climats froids, la décomposition mécanique prédomine aussi bien que dans les régions désertiques; c'est surtout l'action du gel, faisant éclater la roche dans les fissures de laquelle l'eau a pénétré, qui crée les amoncellements de débris grossiers si caractéristiques des régions polaires et des sommets des hautes montagnes. Les formes aiguës des cimes alpines sont dues surtout au travail des intempéries mordant la roche à nu.

On a donné le nom de « désquamation » à une forme de décomposition mécanique qui donne naissance, surtout dans les roches granitiques, aux aspects les plus étranges. Le mot exprime bien la chose; ce sont comme des écailles qui se détachent de la surface de la roche. Il en résulte la formation de pitons arrondis comme des coupoles, ou de pains de sucre. Tels le fameux Corcovado et le Pano da sacar, dont les silhouettes fantastiques annoncent de loin au navigateur l'approche de Rio de Janeiro; tel le Half Dome du Yosemite en Californie. Sur les flancs des vallées encaissées, des écailles se détachent parallèlement aux escarpements qui forment de vastes surfaces polies convexes.

La répartition géographique de ces formes est assez déconcertante: on trouve des dômes et pitons arrondis dans le Soudan, le Brésil, la Californie, dans certaines parties des Montagnes Rocheuses; la désquamation des parois granitiques s'observe dans certaines vallées des Alpes, notamment dans la vallée de l'Aar, aussi bien que sur les flancs du canyon du Yosemite en Californie, et sur les hauts plateaux de Madagascar. Qu'y a-t-il de commun entre des régions de climat si différent? l'intensité des radiations solaires et l'alternance des

périodes sèches et humides. L'air léger des hautes montagnes laisse filtrer en été la chaleur solaire autant que l'air sec et pur de la Californie, du Soudan ou du Brésil pendant la période sèche. C'est l'échauffement de la surface qui détermine l'éclatement des écailles surtout lorsqu'il y a refroidissement brusque par des averses. Une observation récemment faite à Madagascar par le capitaine Carrier est très démonstrative à cet égard: sur les hauts plateaux de l'Emyrne, les indigènes qui se servent des dalles granitiques pour faire des pierres sépulcrales, aident le travail de la nature en allumant de grands feux sur les surfaces rocheuses à nu et en les arrosant ensuite d'eau froide.

S'il est utile d'insister sur la variété des aspects dus aux conditions différentes de la décomposition suivant le climat, il est à peine besoin de souligner le fait que le climat règle la distribution des agents d'érosion proprement dite: glaciers et érosion glaciaire, rivières et érosion fluviale, déserts et érosion éolienne.

Les régions où les précipitations neigeuses dominent et où la température est trop basse pour permettre au sol de s'en débarrasser ont un relief très particulier: l'accumulation de la neige, transformée en glace, tend à noyer tous les reliefs en empatant les formes; mais, là où la glace s'écoule en fondant progressivement, le relief est sculpté irrégulièrement par l'érosion du glacier, combinée avec la décomposition mécanique très active des rochers le dominant. C'est ainsi que le Groenland, haut de plus de 3000 mètres, a l'aspect d'un immense plateau remarquablement uniforme, dont les bords seuls sont accidentés grâce à l'alternance des éperons rocheux et des langues de glaciers. Dans les Alpes mêmes, les sommets les plus élevés tels que le Mont Blanc, le Mont Rose ont l'aspect de dômes coiffés d'une calotte de glace: les pics aigus, les arêtes tranchantes se trouvent plus bas, dans la région où les glaciers fondent en descendant bien au delà de la limite des neiges éternelles.

Au delà de la région où la glace fond dans un climat plus doux, la topographie porte encore l'empreinte de l'action glaciaire, car les débris transportés par la glace forment des accumulations énormes connues sous le nom de moraines, et les torrents provenant de la fonte même du glacier remanient et étalent au loin ces débris. Ainsi l'action morphologique des

glaciers se fait sentir bien au delà de l'aire du climat glaciaire. — Les actions éoliennes ne sont pas davantage limitées aux déserts. Elles se font sentir partout où la végétation ne recouvre pas le sol. Si elles dominent dans les pays les plus secs comme le Sahara et les déserts asiatiques ou australiens, c'est que la végétation en est à peu près entièrement absente, et que le sol, formé de débris fins, est dépourvu de toute cohésion, l'eau manquant à la surface. Le sable soulevé en tourbillons par le vent, parfois même les cailloux qui viennent frapper au visage le piéton, sont les instruments dont se sert l'érosion pour attaquer même la roche en place. Mais les caractères topographiques particuliers des déserts sont dus, peut-être plus encore qu'au travail du vent, à la décomposition mécanique et à l'accumulation des débris qu'elle produit, aucun cours d'eau n'étant capable d'entraîner ces débris vers la mer.

Le domaine de l'érosion fluviale couvre la plus grande partie des continents, mais les aspects y sont si variés qu'on devrait en réalité y distinguer plusieurs provinces, presque aussi différentes par leur relief que par leur végétation et leur climat. L'érosion torrentielle que l'on considère généralement comme spéciale aux montagnes est en réalité une sorte de faciès spécial de l'érosion fluviale, propre aux pays où le climat est tel que l'écoulement des eaux soit aussi irrégulier et aussi violent que dans les régions montagneuses. A la lisière de presque tous les déserts, on observe souvent ces dédales de ravins sauvages ramifiés à l'infini et séparés par des crêtes éroulantes, auxquels les trappeurs français donnèrent, lorsqu'ils les rencontrèrent dans les grandes plaines au pied des Montagnes Rocheuses, le nom de « mauvaises terres », traduit depuis par les Américains et étendu sous la forme de « bad lands » à maintes régions du même genre. Il y a de semblables « mauvaises terres » ou « bad lands » dans presque toutes les régions de steppes, dans les Pampas argentines, où l'on nomme « barrancos » les lits de torrents aux berges escarpées; dans la Russie méridionale, où le déboisement fait progresser le ravinement des versants des vallées; dans le Turkestan; dans la zone des terres jaunes chinoises, et même, si l'on en juge d'après les photographies de l'expédition Bailey Willis, dans les montagnes granitiques du Petchili. La condition essentielle du développement des « bad lands » paraît être: des pluies violentes et rares, mais suffisantes cependant pour que l'écoulement

reste continu dans les vallées maîtresses et que l'eau tombée dans les vallées secondaires y parvienne presque toujours.

La pluie ne fait pas entièrement défaut dans les déserts; l'érosion fluviale y est donc associée à l'érosion éolienne, mais l'écoulement est encore plus irrégulier que dans les «bad lands». Dans les régions montueuses, où les lits sont fixés par l'encaissement, on ne distingue plus les vallées maîtresses, mais on a souvent affaire à un dédale de couloirs anastomosés; c'est l'aspect de «chebka» du Sahara.

Dans les plaines les lits se déplacent constamment, presque à chaque pluie; les alluvions sont étalées ainsi sur des vastes surfaces, formant comme un glacis incliné avec la pente d'un lit torrentiel. Ces plaines alluviales en pente très forte bordent presque partout les montagnes désertiques, aussi bien dans le Sahara algérien que dans les bassins de l'Ouest du Mexique, dans l'Iran ou dans l'Asie centrale. Leur aspect surprend toujours le géographe habitué aux pentes douces des plaines alluviales des régions humides, et lorsqu'elles sont découpées en terrasses, comme il arrive fréquemment, on est tenté d'invoquer comme explication un soulèvement du sol, alors qu'il peut s'agir seulement d'un changement de climat.

Dans les recherches sur l'évolution des formes topographiques on devra sans doute accorder de plus en plus d'importance aux hypothèses supposant des conditions d'érosion différentes des conditions actuelles, par suite d'un climat différent.

La géographie physique a été engagée dans cette voie déjà depuis près d'un demi siècle par les études des géologues glaciologues. Nous savons que les premiers hommes ont été les témoins d'une extension du climat glaciaire incomparablement plus grande qu'à l'heure actuelle. Les deux tiers de l'Amérique du Nord et près de la moitié de l'Europe ont été couverts pendant l'époque quaternaire de calottes de glace comparables à celles du Groenland ou du continent antarctique. Sans pouvoir donner une date précise, on sait que le nombre d'années qui s'est écoulé depuis la disparition de ces glaciers se chiffre seulement par milliers. Aussi l'érosion fluviale répondant au climat plus chaud qui règne actuellement n'a-t-elle pu effacer que très imparfaitement l'empreinte glaciaire. On peut dire que plus de la moitié des régions occupées par la glaciation quaternaire a un modelé en désaccord avec

les conditions actuelles de l'érosion. Dans presque toutes les grandes chaînes de montagnes, Alpes, Pyrénées, Caucase, Himalaya, les vallées ont des formes inexplicables par le travail des rivières et des torrents que nous y voyons actuellement à l'œuvre. On n'a commencé à comprendre ces formes que du jour où l'on a fait appel à l'action des glaciers qui se sont étendus jusqu'aux portes de Lyon, de München et de Milan.

L'étude des déserts doit aussi de grands progrès à la considération des changements de climat. L'extension des formes d'érosion fluviale dans le Sahara, par exemple, apparaît de jour en jour plus grande et semble inexplicable dans les conditions actuelles du climat. Le refroidissement qui a amené l'extension des glaciers de la zone tempérée a dû se faire sentir aussi dans les régions tropicales, diminuant l'évaporation, augmentant l'humidité, rendant les pluies plus abondantes et plus régulières, permettant aux cours d'eau de circuler dans des vallées actuellement toujours sèches. Gautier et Chudeau retrouvent dans le réseau des grands ouadi du Sahara la trace de vrais fleuves. Passarge trouve aussi dans le désert sud-africain du Kalahari les indices d'une période pluviale quaternaire. Nul ne va jusqu'à croire que ces déserts aient eût un climat vraiment humide, mais ils devaient se rapprocher des conditions des steppes.

L'étude des bassins intérieurs de l'Ouest des États-Unis a révélé des faits morphologiques encore plus curieux en rapport avec les changements récents du climat. Gilbert et Russel ont montré que le Grand Lac Salé et plusieurs autres lacs voisins sont les derniers restes d'immenses nappes lacustres, qui couvraient, à la période humide quaternaire, des territoires aussi grands que la France. L'érosion des vagues et des courants a formé, sur les bords de ces lacs, des berges parfaitement reconnaissables encore. Tous les détails des formes littorales, telles qu'on les observe sur le bord de la mer, se retrouvent là: terrasses, barres fermant des lagunes, deltas, etc. Ainsi des formes dont l'extension semble due uniquement aux grandes déformations de la croûte terrestre déterminant la répartition des terres et des mers nous apparaissent, dans les bassins intérieurs, comme le produit du climat, et peuvent survivre même aux conditions climatiques qui les ont produites.

Au delà de tous ces faits relatifs aux conséquences morphologiques des changements de climats, l'esprit mis en éveil

entrevoit des perspectives nouvelles. Supposons un changement radical des conditions climatiques par suite d'une modification de la composition de l'atmosphère, par exemple une variation notable de la teneur en acide carbonique; les conditions de la décomposition des roches seront changées. La décomposition chimique pourra être plus rapide dans les climats humides, l'adoucissement des formes sera plus marqué. N'est-il pas possible d'imaginer plus facilement dans de pareilles conditions un aplanissement complet, produisant ces surfaces uniformes qu'on rencontre partout et qui sont connues sous le nom de pénéplaines? Peut-être est-ce dans ce sens qu'on devra chercher l'explication de ces plateformes absolument planes qui tranchent à plusieurs niveaux les couches calcaires plissées dans presque tous les pays de Karst, aussi bien en Istrie et Dalmatie, que dans le Languedoc ou même dans le Jura....

III.

On voit quelle part la considération des changements de climat est appelée à jouer dans l'étude de formes de relief.

Peut-être est-il prématuré d'essayer de systématiser les idées sur un sujet aussi neuf, surtout dans un article dont le but était de donner un aperçu sur les horizons qui s'ouvrent aux recherches futures. Pourtant comment échapper à la tentation de tirer quelques conclusions lorsqu'elles semblent se dégager d'elles mêmes du peu que nous savons actuellement?

Si l'on demande quel est l'élément du climat dont les variations paraissent exercer l'influence la plus grande sur l'évolution du relief, il semble qu'on peut répondre sans hésiter: l'humidité. L'abondance et le régime des précipitations atmosphériques déterminent les modalités de l'érosion, de même que les caractères de la décomposition des roches. La chaleur est un facteur qui n'est pas à négliger, mais son action est en grande partie indirecte: les basses températures amènent la prédominance des précipitations neigeuses et le régime glaciaire; les hautes températures activent l'évaporation, tendant à diminuer le débit des cours d'eau et à dessécher même le sol en le livrant aux actions torrentielles, ou même, si la végétation n'est pas suffisamment serrée, aux actions éoliennes.

Il est peut-être possible de répondre encore à une autre question plus embarrassante: comment estimer l'importance

relative des considérations climatiques et géologiques dans l'explication du relief?

Il est bien évident que les grands traits du relief terrestre sont déterminés par les événements géologiques, plissements, soulèvements, affaissements, érosions anciennes. La localisation des terres et des mers, des plaines et des montagnes n'est pas un fait climatique, mais conditionne, au contraire, les climats. Ce qui est dû directement au climat c'est le détail des formes, c'est la sculpture, le modelé topographique proprement dit. Aux conditions variées des climats le paysage doit non seulement la couleur du ciel et des eaux, le tapis végétal plus ou moins riche, plus ou moins continu, mais les formes mêmes des vallées, des collines, des montagnes, qui sont le cadre de toute vie et de toute activité. Il semble qu'on pourrait parler de *faciès topographiques*, comme on parle de faciès géologiques, botaniques, zoologiques; et l'on conviendra que les faciès topographiques sont la marque que le climat imprime aux reliefs, dont l'évolution géologique a fixé les grandes lignes.

Ce serait un travail géographique du plus grand intérêt que de distinguer les faciès topographiques et d'en déterminer l'extension sur toute la surface des continents.¹ Quelques types se peuvent déjà définir:

Le *faciès humide et chaud* est caractérisé par l'activité de la décomposition, surtout chimique, des roches; la grande épaisseur des sols résiduels, même dans les montagnes; la rareté des escarpements et affleurements rocheux; l'adoucissement de toutes les pentes; la très faible inclinaison des plaines et des grands cones alluviaux. Les régions équatoriales de l'Afrique et de l'Amérique offrent la plus grande extension de ce faciès.

Le *faciès humide tempéré* présente à peu près les mêmes caractères, mais moins accentués. L'épaisseur des sols résiduels est moins grande; les pentes des versants sont plus fortes. Il règne dans les régions tempérées, partout où le climat n'a pas une teinte trop continentale, particulièrement dans l'Europe occidentale et centrale, l'Est des États-Unis.

Le *faciès à saisons sèches* se distingue par l'activité de la décomposition mécanique; le manteau de débris est d'une

¹ J'ai tenté un travail analogue en établissant une « Esquisse de la répartition des formes dominantes de l'érosion continentale » dans mon *Traité de Géographie Physique*, p. 406.

épaisseur moindre et plus inégale, formé de fragments plus gros. Les escarpements rocheux sont plus fréquents, les pentes des versants, celles du lit des rivières, des plaines ou des cones alluviaux, beaucoup plus fortes. L'écoulement des eaux est irrégulier, l'érosion plus violente et plus spasmodique a souvent le caractère d'une érosion torrentielle et forme des «bad lands» plus ou moins étendus suivant la pente générale et la nature du terrain. Ce faciès se trouve dans presque tous les pays de steppes entourant des déserts, dans les régions de savanes tropicales et dans les pays subtropicaux ayant une saison sèche, comme les pays méditerranéens et les régions analogues (Californie, Cap, etc.).

Le *faciès désertique* est un des plus tranchés et n'a pas besoin d'être longuement défini. La décomposition mécanique est presque seule à préparer les débris très grossiers et très inégalement répartis. Ces débris s'accumulent sur place, ne pouvant être transportés par les eaux courantes. Le sol nu est attaqué par le vent: les hammada pierreuses, les couloirs de chebka, les cuvettes salines, les grands lits d'ouadi sableux et les dunes sont les formes les plus communes du modelé désertique.

Le *faciès sec et froid* est encore peu connu. C'est une sorte de faciès désertique, qui règne dans les régions polaires et les parties de hautes montagnes non couvertes de glaciers. L'air est très sec, la couverture de neige peu épaisse disparaît pendant une partie de l'année; le sol gelé jusqu'à une grande profondeur dégèle à la surface pendant la belle saison, en donnant lieu à ces formes curieuses dont nous avons parlé sous le nom de *sols polygonaux*. Tout affleurement rocheux est attaqué par la décomposition mécanique opérant par le gel surtout, et de vastes chaos de débris grossiers se forment.

Le *faciès froid et humide* ou *faciès glaciaire* est aussi net que le faciès désertique. L'empâtement des formes dans la région des neiges éternelles, leur ciselure délicate dans la région de fusion des glaciers, les énormes accumulations de débris dans une zone externe de climat encore plus doux, en sont les principales caractéristiques.

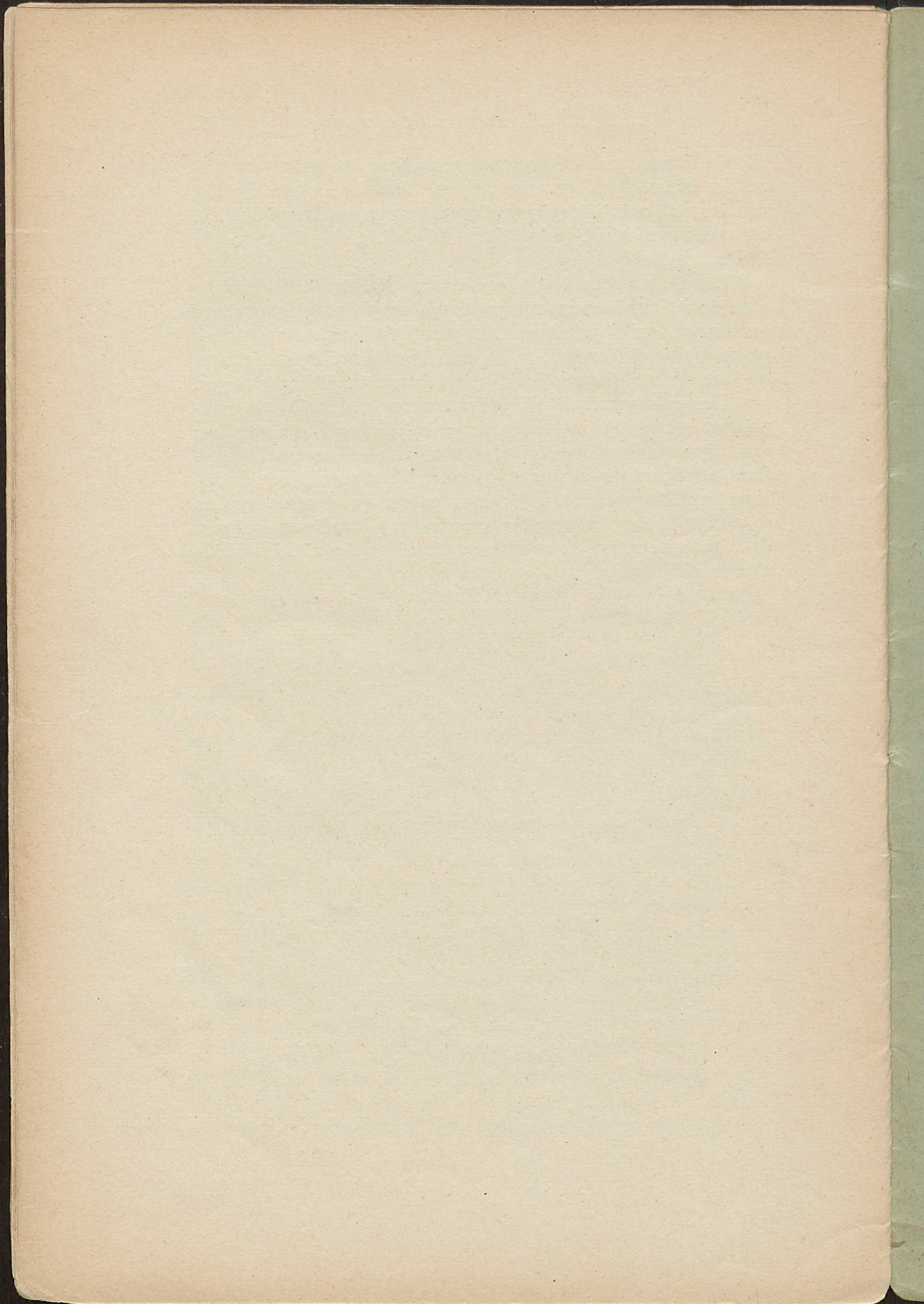
Il est évident qu'il y a des transitions nombreuses entre les différents faciès. Mais la complication est augmentée par le fait que le modelé garde parfois l'empreinte de climats différents des climats actuels. Ainsi le faciès glaciaire ayant

eû récemment une très grande extension, les traces en sont restées dans les régions récemment abandonnées par la glace, tandis qu'ailleurs la topographie présente un mélange original de traits caractéristiques du faciès glaciaire et de traits du faciès humide tempéré.

Les déserts actuels ont gardé en grande partie l'empreinte d'un climat humide; certains traits topographiques y rappellent encore ceux qui sont caractéristiques du faciès à saisons sèches ou même du faciès humide chaud. Il est possible par contre que certaines régions humides aient connu un climat plus sec.

Une étude complète de l'extension des faciès topographiques révélerait, on le voit, des complications assez grandes; mais que de problèmes intéressants ne soulèverait-elle pas? Sans négliger, bien entendu, le côté géologique de la morphologie terrestre, on est en droit d'espérer que les géographes se porteront de plus en plus vers les aspects climatologiques de l'étude du relief du sol et vers l'analyse féconde des faciès topographiques.

Paris, Sorbonne.



“ SCIENTIA „, Rivista di Scienza

Toute correspondance ou envoi concernant la direction ou la rédaction, doit être adressé impersonnellement à la Direction, Milan, Rue Aurelio Saffi, 11, ou bien au Secrétaire de la Rédaction, M. le Docteur PAOLO BONETTI, même adresse.

On est prié d'adresser les *demandes d'abonnements*: pour l'Italie, à Nicola Zanichelli, éditeur à Bologne; pour la France, les Colonies françaises, la Suisse Romande et la Belgique, à Félix Alcan, éditeur à Paris; pour l'Allemagne, l'Autriche, la Hollande, la Danemark, la Suisse Allemande, la Suède et la Norvège, à Wilhelm Engelmann, éditeur à Leipzig; pour l'Angleterre et les Colonies Anglaises, à Williams and Norgate, éditeurs à Londres. Pour les autres pays à l'un ou à l'autre de ces quatre éditeurs.

Pour les annonces il faut s'adresser au secrétariat général à Milan, Rue Aurelio Saffi, 11, ou bien à l'éditeur Nicola Zanichelli à Bologne.

PRIX ANNUEL D'ABONNEMENT

Italie: lire 25

Union Postale: 30 frs. — Mk. 24 — 24 sh.

Extrait de l'Avertissement à MM. les Auteurs.

« Le Comité de Direction se réserve la faculté d'établir par
« avance le programme des questions à étudier et de répartir le
« travail entre ses éminents collaborateurs afin d'assurer à la revue
« l'unité organique qui ne serait pas réalisable si l'on acceptait des
« articles sur des sujets disparates, sans aucun lien entre eux,
« fussent-ils dus à la plume de savants d'une valeur incontestable.

« Tous les articles demandés, à quelque genre qu'ils appar-
« tiennent, — articles proprement dits, notes critiques, comptes
« rendus, revues générales etc. — seront rétribués au même tarif
« de 80 frs. par feuille in-8° (16 pages). L'auteur aura en outre
« droit, quel que soit le genre de son écrit, à 100 extraits gratuits;
« pour les articles paraissant en deux langues il recevra gratuite-
« ment 50 extraits du texte original et 50 extraits de la traduction
« française.

« Les manuscrits ne sont pas rendus, pas même ceux qui, envoyés
« sans avoir été demandés, ne pourraient pas être publiés ».

NICOLA ZANICHELLI, EDITORE - BOLOGNA

CARLO LAPWORTH & H. ZIMMERN

TRIPOLI E LA NUOVA ITALIA

Un vol. in-16 con illustraz. Copertina a colori di A. MAJANI.

Lire QUATTRO.

G. A. CESAREO

LA POESIA DI GIOVANNI PASCOLI DISCORSO.

Un volume in-16 — Lire UNA.

GIOVANNI PASCOLI

POEMI ITALICI

PAVLO UCELLO - ROSSINI - TOLSTOI

Fregi e illustrazioni di ALFREDO BARUFFI

Un volume in-16 su carta tipo antico, tirato in rosso e nero.

Lire DUE.