

X CONGRESSO INTERNAZIONALE DI GEOGRAFIA

ROMA - 27 MARZO - 3 APRILE 1913

E. DE MARTONNE - PARIS

LE RAJEUNISSEMENT QUATERNAIRE
DES ALPES

ROMA

TIPOGRAFIA DELL'UNIONE EDITRICE

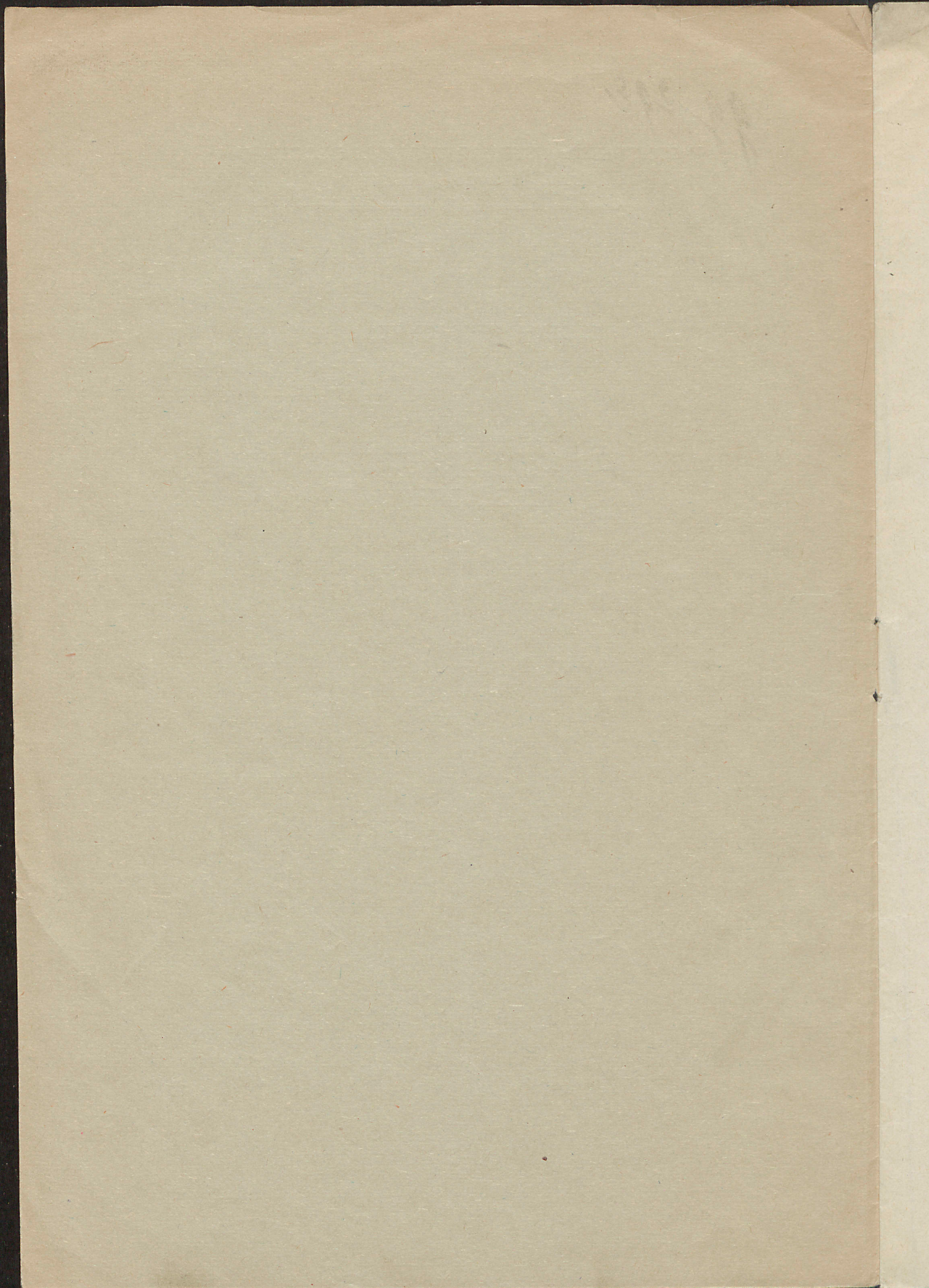
Via Federico Cesi, 45

1915

Europe

X

368





LE RAJEUNISSEMENT QUATERNAIRE DES ALPES

E. DE MARTONNE, Paris

Les Alpes ont longtemps passé pour une chaîne de plissement jeune; il semble qu'on doive plutôt y voir une chaîne de plissement rajeunie. Les formes tectoniques sont loin en effet d'y dominer; il est rare de voir des chaînons anticlinaux et des vallées synclinales; les vallées anticlinales et les synclinaux perchés sont au contraire fréquents. L'orientation des crêtes et des vallées suit encore souvent celle des plis, mais il arrive que le réseau hydrographique en paraisse complètement indépendant; c'est le cas dans les massifs cristallins, qu'on a qualifiés de "massifs centraux". En général toutes les grandes vallées sont tracées sans égard aux directions tectoniques; elles recoupent les plis soit perpendiculairement, soit obliquement, sans qu'on puisse souvent démontrer que la percée ait été amorcée par une ondulation transversale.

La topographie alpine est loins d'ailleurs d'avoir partout le caractère d'extrême jeunesse qu'on lui attribue. L'impression laissée par les torrents, les cascades, les gorges et les éboulements qui frappent le voyageur suivant les vallées, ou par la vue lointaine des sommets déchiquetés, s'efface lorsqu'on gagne un belvédère situé à peu près à égale distance des cimes les plus hautes et du thalweg le plus profond. On est alors surpris de voir de vastes surfaces relativement peu accidentées, dans lesquelles les grandes vallées sont entaillées comme des fossés, et que dominent les crêtes. Ces hautes surfaces ont parfois la forme de véritables plateaux, notamment dans les Alpes calcaires du Tyrol, dans les Dolomites; mais, si elles suivent quelquefois nettement l'allure tabulaire d'une couche résistante (calcaires du Trias ou porphyres de Bozen) on observe souvent aussi qu'elles tranchent obliquement les couches. Le fait a été signalé en Autriche par Krebs (1), et je l'ai constaté

(1) *Die Nordlichen Kalkalpen zwischen Enns Traun und Mur*, in *Pencks Geographische Abhandl.*, VII, 2, 1903.



récemment en France au Revard dans les Bauges. Götzingen l'a mis en lumière dans la région de Lunz (1). Les cailloux roulés cristallins trouvés au Dachstein, Todtes Gebirg et Steinernes Meer apparaissent comme des alluvions anciennes d'origine haut-alpine qui ont recouvert les plateaux des Alpes calcaires alors presque complètement nivelées (2). Dans les massifs cristallins les plus élevés, on trouve encore des traces d'un relief de maturité avancée suivant les grandes vallées. Depuis longtemps Heim avait signalé et essayé de classer les terrasses multiples des grandes vallées suisses (3). La reconstruction des thalwegs anciens a pu être tentée depuis par divers auteurs, et si les conclusions positives sont loin d'être concordantes, du moins aucun doute n'est possible sur l'existence de niveaux d'érosion marquant des pauses répétées dans l'approfondissement des thalwegs pendant le quaternaire.

Le jour n'est pas loin où tous les géographes considéreront les Alpes comme une montagne rajeunie. Leur incontestable originalité, leur différence profonde avec les massifs hercyniens qui ont été eux aussi partiellement rajeunis, est due à deux circonstances: le rajeunissement, provoqué par un déplacement relatif de la surface topographique et du niveau de base, a suivi de bien plus près le plissement et a affecté la presque totalité de l'aire montagneuse; il a eu, comme agents d'une importance à peu près égale, à la fois les eaux courantes et les glaciers, qui ont couvert presque toute la chaîne.

Sur le premier point, l'accord n'est pas loin d'être fait entre tous les géographes. Il n'en est pas de même sur le second. Les uns attribuent aux glaciers la totalité du creusement des vallées et considèrent le relief préglaciaire comme peu différent d'un pé-néplaine (Hess). Les autres refusent de reconnaître aux glaciers la moindre part dans le rajeunissement de la topographie (Heim). La vérité est probablement dans une thèse moyenne qui rendrait le glacier responsable surtout des anomalies du modelé, plus fréquentes dans les Alpes que dans les autres montagnes rajeunies. Il est

(1) *Geomorphologie der Lunzer Seen und ihres Gebietes, Sonderabdr. Int. Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 1912.

(2) N. KREBS, *Länderkunde der Oesterreichischen Alpen*, Stuttgart, 1913, pag. 39-42. Cfr. GÖTZINGER, loc. cit.

(3) A. HEIM, *Ueber die Erosion im Gebiete der Reuss*, in *Jahrbuch des Schw. Alpenklubs*, 1899, pag. 371-405. Cfr. A. BODMER, *Terrassen und Talstufen der Schweiz* Diss., Zürich, 1880.

permis de croire qu'une théorie de ce genre finira par rallier tous les suffrages. Mais on discutera encore longtemps sur la part attribuable aux glaciers dans l'œuvre qu'ils ont accomplie en commun avec les cours d'eaux. Je voudrais exposer brièvement les résultats auxquels m'ont conduit des recherches poursuivies depuis environ dix ans sur ce sujet délicat (1).

Pour comprendre le travail des glaciers quaternaires, rien ne peut remplacer l'observation des glaciers alpins actuels. Leur recul permet de constater des traces d'une érosion qui modifie incontestablement la forme du lit; on reconnaît que ces traces sont réparties très inégalement, plus nombreuses sur les bords du lit, au dessus et au dessous des ruptures de pente et des étranglements (2). Ces constatations s'éclairent si l'on étudie les conditions du mouvement des glaciers. Leur vitesse est faible, mais leur masse considérable; ils remplissent souvent presque entièrement la vallée où ils coulent. Les sondages de Hess ont montré que l'Hintereisferner a 300 m. d'épaisseur. Le glacier du Rhône en avait 1500 dans le Valais à l'époque quaternaire.

Le glacier est un fluide visqueux coulant sous l'influence de la pesanteur, mais incapable de résister à des tensions trop fortes et se brisant sur les pentes ou dans les étranglements où la vitesse augmente. En tant que fluide, il tend à modifier la forme de son lit par érosion des bords; d'où les indices de sapement si remarquables au bord de tous les glaciers et l'élargissement des vallées glaciaires tendant à la forme d'auge. Les dislocations diminuant l'adhérence jouent un grand rôle dans les variations de la pression, qui est le facteur principal de l'érosion sur le fond du lit. La considération de l'épaisseur qui diminue sur les ruptures de pente et augmente au dessous est aussi capitale. On ne peut accorder la même importance à la vitesse, dont les variations sont relativement faibles et dont les maxima correspondent justement aux points où l'épaisseur diminue en même temps que l'adhérence. J'ai essayé

(1) Voir (outre diverses notes publiées dans les *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences* en 1909-1910 et 1911): *L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines*, in *Ann. de Géogr.*, 1910 et 1911; *Conditions de l'érosion glaciaire*, in *Congr. nat. des Soc. de Géogr.*, Roubaix, 1911; *L'évolution des vallées glaciaires alpines en particulier dans les Alpes du Dauphiné*, in *Bull. Soc. géol. de France*, 1912.

(2) EM. DE MARTONNE, *Sur l'inégale répartition des traces d'érosion glaciaire dans le lit des glaciers alpins*, in *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 27 déc. 1909.

de préciser, autant qu'on le peut, ces considérations, en posant la formule du frottement, et en donnant une représentation graphique de ses variations le long d'un thalweg à profil irrégulier, tel que celui de la plupart des glaciers alpins (1).

On reconnaît que les lieux d'érosion maximum sont au dessus et au dessous des points où la vallée, devenue lit glaciaire, présente une irrégularité soit de pente, soit de profil, telle qu'en offrent toutes les vallées rajeunies. Ainsi s'expliquent les anomalies des vallées alpines qui ont toutes été des lits glaciaires, en supposant qu'elles ont été auparavant des vallées fluviales jeunes et rajeunies. Le creusement des bassins à contrepente, occupés pas des lacs ou remblayés par des alluvions, l'existence des barres ou verrous, que l'érosion glaciaire semble avoir été impuissante à faire disparaître, sont la conséquence des variations de l'intensité du frottement. Les vallées suspendues sont dues évidemment au retard du creusement des vallées secondaires, moins profondément et moins largement creusées par l'érosion préglaciaire, parfois même imparfaitement raccordées, comme on le constate dans les régions rajeunies par l'érosion normale, surtout dans les massifs calcaires ou granitiques. L'existence de verrous sur les gradins de confluence s'explique aisément dans cette hypothèse, comme les verrous des vallées principales. Les cirques glaciaires eux-mêmes apparaissent comme des bassins de réception torrentiels transformés par l'érosion glaciaire. Enfin les amphithéâtres, par lesquels se terminent brusquement les hautes vallées, marquent l'extrémité des gorges creusées par l'érosion préglaciaire et transformées par les glaciers.

L'observation des glaciers actuels permet donc d'expliquer les formes dues à l'œuvre des anciens glaciers, à condition d'admettre un relief préglaciaire assez jeune. Penck et Davis supposent au contraire que les glaciers ont travaillé sur des formes de maturité, et leur imputent toutes les irrégularités du modelé, même celles qu'on rencontre communément dans les montagnes rajeunies par l'érosion normale: gradins du thalweg et étranglements. Les bassins et les verrous sont dus, selon eux, à l'augmentation ou à la diminution de la masse du glacier, par suite de confluence ou de diffuence, à moins qu'on ne puisse invoquer une différence de dureté des roches. Mais Penck a dû lui-même reconnaître qu'il y

(1) EM. DE MARTONNE, *Sur la théorie mécanique de l'érosion glaciaire*, in *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 10 janv. 1910.

a des cas, où ni l'une ni l'autre des explications n'est valable; les verrous de confluence notamment restent sans explication.

Notre théorie a été attaquée à la fois par les adversaires de l'érosion glaciaire, notamment par Romer, qui en avait été jadis l'apôtre enthousiaste (1) et par les élèves de Penck (2). Ni les uns, ni les autres n'ont compris l'importance des variations de l'épaisseur et de l'adhérence, qui sont inverses de celles de la vitesse. Cependant j'ai eu la joie de convaincre le savant géologue de Grenoble, resté jusque là un adversaire irréductible de l'érosion glaciaire (3). L'étude de la vallée de la Visp a révélé à Nussbaum des faits d'accord avec ma théorie (4) à laquelle s'est rallié également H. Staff (5). J'attache encore plus de prix à l'accord, non concerté, avec Drygalski et Distel. Ce dernier, sans citer, ni apparemment connaître même mes premières notes sur ce sujet, conclut, d'une étude morphologique très serrée des hautes vallées des Tauern, à la jeunesse des formes préglaciaires, et explique conformément à ma théorie, non seulement les vallées aveugles (Trogsschluss), mais les gradins de confluence (Mündungsstufe) (6). Lautensach lui-même, tout en combattant ma théorie de l'érosion glaciaire, arrive à la même explication du Trogsschluss (7). L'importance de l'érosion préglaciaire a d'ailleurs été reconnue par Macháček dans la vallée de l'Eisack. Avant moi, Nussbaum avait déjà émis des doutes sur la maturité du relief préglaciaire (8).

L'analyse minutieuse des formes des vallées de l'Arc et de l'Isère et l'étude de leurs rapports avec les cailloutis du Bas Dauphiné m'ont permis de démontrer à la fois l'intensité du creuse-

(1) E. ROMER, *Mouvements épéirogéniques dans le haut bassin du Rhône et évolution du paysage glaciaire*, in *Bull. Soc. Vaudoise des Sc. natur.*, 1911.

(2) LAUTENSACH, *Die Ubertiefung des Tessingebiets*. *Geogr. Abh.*, 1912.

(3) W. KILIAN, *Sur les seuils de débordement glaciaires*, in *Bull. Soc. géol. de France*, 1911.

(4) NUSSBAUM, *Die Tal- und Bergformen des Vispgebietes*, *Jb. Schw. Alpenklubs*, 1911.

(5) H. STAFF, *Die Alpengeologie auf dem XVIII. D. Geographentag*, in *Zeitschr. d. D. Geolog. Ges.*, LXIV, 1912, pag. 310 sq.

(6) L. DISTEL, *Die Formen alpiner Hochthäler insbesondere im Gebiet der Hohen Tauern und ihre Beziehung zur Eiszeit*, in *Landeskund. Forsch. hgg. v. d. Geogr. Ges.*, München, Heft 13, 1912.

(7) LAUTENSACH, *op. cit.*, pag. 132-133.

(8) NUSSBAUM, *Die Täler des Schweizeralpen*, in *Wis. Mitt. d. Schw. Alpen Mus. in Bern.*, n. 3, 1910.

ment avant l'apparition des glaciers dans les Alpes et la complexité des transformations qui ont suivi (1).

Le creusement total, depuis les plus hauts niveaux conservés atteint 1500 m. Les niveaux supérieurs sont relativement réguliers et deux d'entre eux se raccordent avec les cailloutis du Chambaran, unanimement considérés comme appartenant au Pliocène supérieur (*Calabrien* de Gignoux). Le creusement préglaciaire a atteint 700 à 800 m. et s'est fait par saccades au fur et à mesure du soulèvement. Seul en effet un soulèvement peut expliquer un pareil approfondissement des thalwegs. J'ai pu démontrer en étudiant l'épaisseur et la pente des cailloutis pliocènes du Chambaran, qu'ils ont subi sur le bord des Alpes un soulèvement de 200 m. concordant avec une flexure de la molasse qu'ils recourent en discordance (2). Ce n'est là qu'une valeur minimum, car nous sommes sur le bord du bombement, dont l'intensité devait augmenter dans l'intérieur des Alpes, comme le montre la déformation des niveaux les plus élevés. En outre, le soulèvement avait dû commencer avant le dépôt des cailloutis. Ceux-ci succèdent en effet à des dépôts détritiques fins: argiles ou sables astiens, indiquant une période d'érosion ralentie; le brusque changement de nature des dépôts ne peut s'expliquer que par un changement dans les conditions de l'érosion. Un nouveau cycle d'érosion commence pour les Alpes dès le pliocène supérieur; les masses de cailloutis déversés sur leur pourtour avant l'arrivée des glaciers ne peuvent être dues qu'à un rajeunissement torrentiel très vigoureux.

Le soulèvement des Alpes a continué encore pendant le quaternaire. Mais, à partir du moment où les glaciers ont envahi toutes les vallées, le style du modelé a changé. Si l'on admet la pluralité des périodes glaciaires, il n'est pas possible de douter que l'érosion fluviale ne doive entrer en ligne de compte en même temps que l'érosion glaciaire elle-même. Pendant les périodes interglaciaires, l'érosion fluviale travaillait au raccordement des bassins et des vallées suspendues en creusant des gorges, mais sans pouvoir faire disparaître entièrement la barre ou le gradin, sur lesquels une nouvelle oscillation du climat ramenait le glacier. L'élargissement de la gorge, le moutonnement des verrous, le creusement plus pro-

(1) *Comptes rendus des séances Ac. d. Sc.*, Paris, 7 et 28 août 1911.

(2) *L'évolution des vallées glaciaires alpines*, in *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 1912, p. 544 sq.

fond des bassins voisins devaient forcément résulter d'une reprise de l'érosion glaciaire. Ainsi s'explique la superposition des verrous et des gradins de confluence, si frappante dans la plupart des grandes vallées alpines.

Mais l'érosion fluviale interglaciaire ne se bornait pas à des tentatives de régularisation des profils brisés des thalwegs; elle devait travailler à les rapprocher du profil d'équilibre en approfondissant toutes les sections. Le retour du glacier sapant la base des versants créait une nouvelle auge emboîtée dans l'auge précédente. Ainsi s'explique la multiplicité des replats sur les flancs des grandes vallées alpines et l'emboîtement des auges, signalé très justement par Hess et vainement nié par l'école de Penck. En réalité la forme classique de l'auge simple n'existe que dans les vallées secondaires, spécialement dans les hauts massifs granitiques où le travail de l'érosion interglaciaire a été peu sensible.

L'étude des niveaux d'érosion de l'Arc et de l'Isère montre nettement le rapport des replats avec les verrous et les vallées suspendues. L'irrégularité des thalwegs plus récents que le pliocène est due au creusement glaciaire. Les thalwegs interglaciaires ne peuvent être retrouvés qu'hypothétiquement, en supposant qu'ils étaient tangents aux verrous glaciaires. On reconnaît ainsi que le profil actuel, qui est un profil d'équilibre jusqu'à Pontamafrey, était déjà atteint lors de la dernière grande période glaciaire. Le fleuve ne peut creuser au dessous du profil d'équilibre: le glacier au contraire, n'est nullement lié au niveau de base, c'est même dans la partie inférieure de la vallée que son érosion devait être la plus forte à cause de sa grande épaisseur. Aussi les derniers profils glaciaires présentent des creux au dessous du profil d'équilibre. C'est dans ce cas seulement qu'on devrait employer le mot très expressif de *surcreusement*; au moins peut-on parler de *surcreusement vrai*.

Nous expliquons ainsi un grand nombre de formes difficilement intelligibles jusqu'à présent, souvent même présentées comme des objections à la théorie du surcreusement glaciaire. Si le profil d'équilibre a été atteint d'assez bonne heure, les périodes interglaciaires ne peuvent plus être que des phases de remblaiement, noyant les bassins glaciaires ou même les verrous. Les îlots rocheux isolés dans les plaines alluviales du Rhin, du Rhône valaisan, de l'Inn ou de l'Adige sont des têtes de verrous noyés.

En somme le travail fourni par le glacier dans le creusement des grandes vallées alpines est relativement minime suivant notre

théorie. Il est encore énorme suivant la théorie de Penck. C'est ce qui a fait hésiter pendant si longtemps les meilleurs esprits à admettre le rôle assigné aux glaciers dans le modelé des Alpes. Ce rôle est incontestable, mais doit être réduit à l'accentuation d'anomalies qui se retrouvent dans toutes les montagnes rajeunies et à la continuation du creusement au dessous du profil d'équilibre quand l'érosion fluviale était arrivé à l'atteindre.

En résumé, le rajeunissement des Alpes est dû à un mouvement d'ensemble qui a dès la fin du pliocène ranimé partout l'érosion, en déversant sur le pourtour de la montagne de vastes nappes de cailloutis. Ce mouvement a continué au moins jusqu'au début du quaternaire, mais a dû cesser assez tôt pour que les grands fleuves atteignent dans leur cours inférieur le profil d'équilibre. Il a légèrement soulevé le bord même de la montagne et déformé les terrasses de cailloutis les plus anciennes, mais n'a pas touché aux terrasses fluvioglaciaires proprement dites. La glaciation a surpris les Alpes en plein travail de rajeunissement. De là vient le modelé heurté qui fait le caractère grandiose et la variété de formes des paysages alpins. Gênés dans leur écoulement, les glaciers ont élargi les vallées, accentué l'inégalité de creusement des vallées principales et des vallées secondaires, évidé des bassins et laissé entre eux des verrous imparfaitement rabotés. Enfin, continuant leur travail, même au dessous du profil d'équilibre que l'érosion fluviale ne pouvait dépasser, ils ont créé les vallées surcreusées au fond plat, remblayé d'alluvions, qui pénètrent si loin dans la montagne, et les lacs subalpins.

C'est donc bien à la glaciation quaternaire que les Alpes doivent les traits les plus caractéristiques de leur physionomie; mais ces traits n'ont été si vigoureusement gravés que grâce à la morsure profonde des érosions fluviales préglaciaires et interglaciaires et au soulèvement qui a inauguré dans toute la montagne un nouveau cycle d'érosion.

Il n'est pas inopportun de se demander quelle est, à la lumière de ces faits nouveaux, la place qu'on doit assigner aux Alpes dans une classification méthodique des montagnes. C'est la question que j'ai posée pour les Karpathes à la suite de mes études sur la partie méridionale de cette chaîne, en montrant quel en est l'intérêt général (1). Conformément aux idées admises sur les Alpes, je les

(1) *Sur la position systématique de la chaîne des Karpathes*, in *Congr. intern. de Géogr.*, Genève, 1908.

opposais alors aux Karpathes, non seulement à cause de leur sculpture glaciaire plus accentuée, mais à cause de leur jeunesse plus évidente. En réalité la chaîne alpine est, comme celle des Karpathes, une chaîne rajeunie, mais les traits de maturité y sont moins bien conservés. Il en est probablement de même de presque toutes les chaînes dites "alpines". La chose a été soupçonnée ou démontrée pour une grande partie des Montagnes Rocheuses (1) et des chaînes de l'Asie centrale (2). Au fur et à mesure que s'étendront les recherches morphologiques détaillées, on reconnaîtra que ce qui différencie les grandes chaînes de montagne, c'est, outre la part plus ou moins grande que les glaciers ont pris à la sculpture du sol, la conservation plus ou moins grande des formes anciennes, qui dépend surtout de l'intensité et de la rapidité plus ou moins grande des derniers soulèvements. A ce double point de vue on peut maintenir la distinction entre le *type alpin* et le *type karpatique*, le premier d'apparence plus jeune, avec une sculpture glaciaire plus poussée, le second conservant mieux l'empreinte des phases de maturité ancienne et moins touché par les glaciers. Il est évident que des types de transition existent. Dans l'Asie centrale et certaines parties des Montagnes Rocheuses ou des Andes se trouvent certainement des chaînes aussi violemment rajeunies que les Alpes, mais guère plus affectées par la glaciation que les Karpathes. Au contraire le massif scandinave a eu jusqu'au quaternaire une histoire plutôt karpatique, mais a été ensuite soumis à une glaciation dépassant celle même des Alpes.

Ainsi la position des Alpes n'est nullement isolé. La prédominance des formes jeunes, associées cependant à des formes de maturité avancée, et les anomalies du modelé dues aux actions glaciaires y sont dues, comme dans toutes les vraies "chaînes alpines", à un violent rajeunissement quaternaire.

(1) DARTON, *Geology of the Bighorn Mountains*, in *U. S. Geol. Survey Prof. papers*, No. 51, 1906; BAILEY WILLIS, *Physiography of the Wenatche Chelan quadrangle*, ibidem, No. 19, 1903; LAWSON, *Geomorphogeny of the Upper Kern Basin Univ. of Calif., Dep. of Geology*, 1904.

(2) Voir EM. DE MARTONNE, *L'évolution du relief de l'Asie centrale d'après des publications récentes*, in *La Géographie*, XXIII, 1911.

