

C. 1844 (20). 4°

1932

C. 1508 (18). 4°
11 col. de 1915

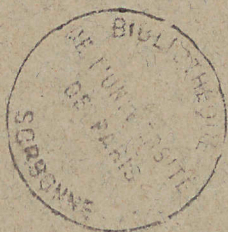
TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

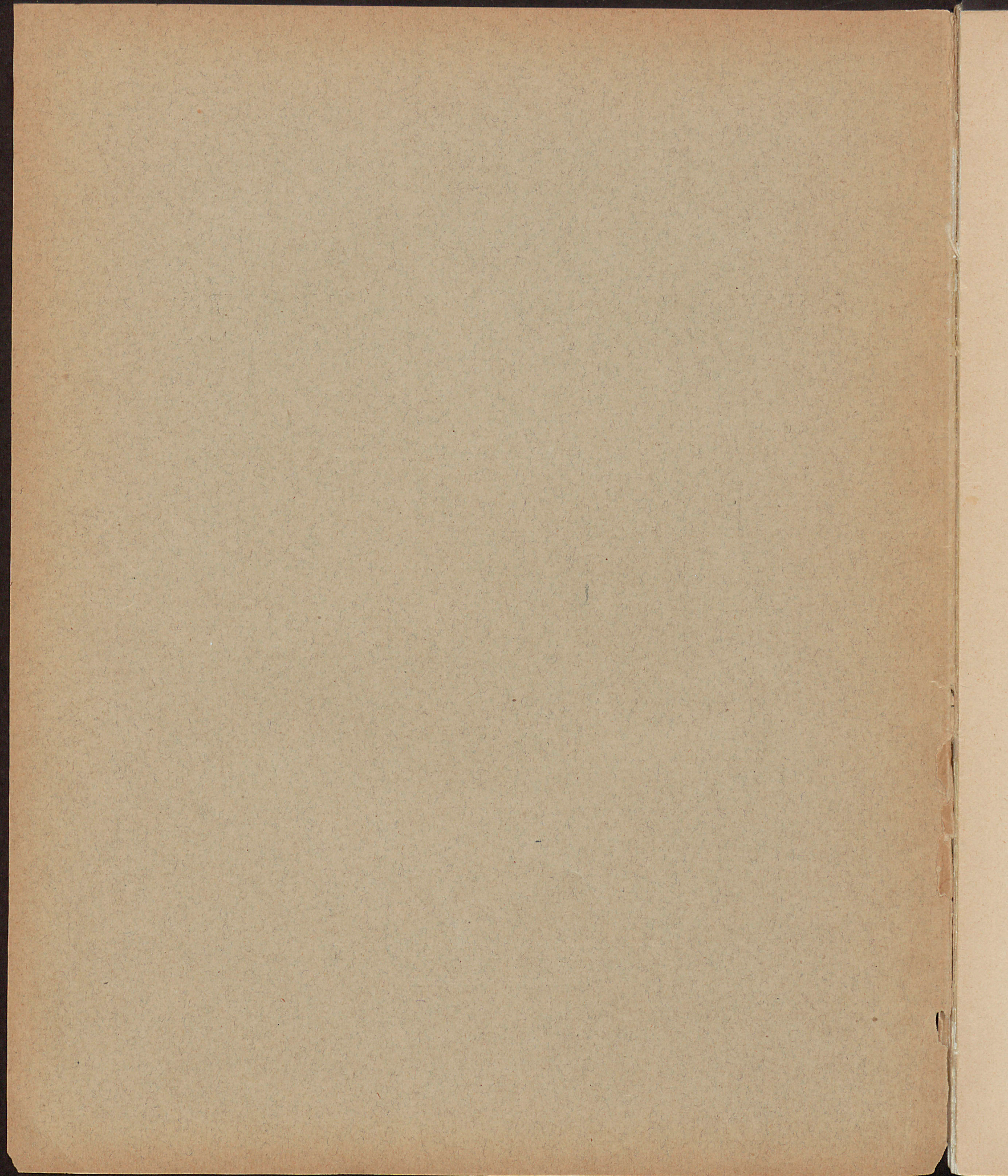
EMMANUEL DE MARTONNE

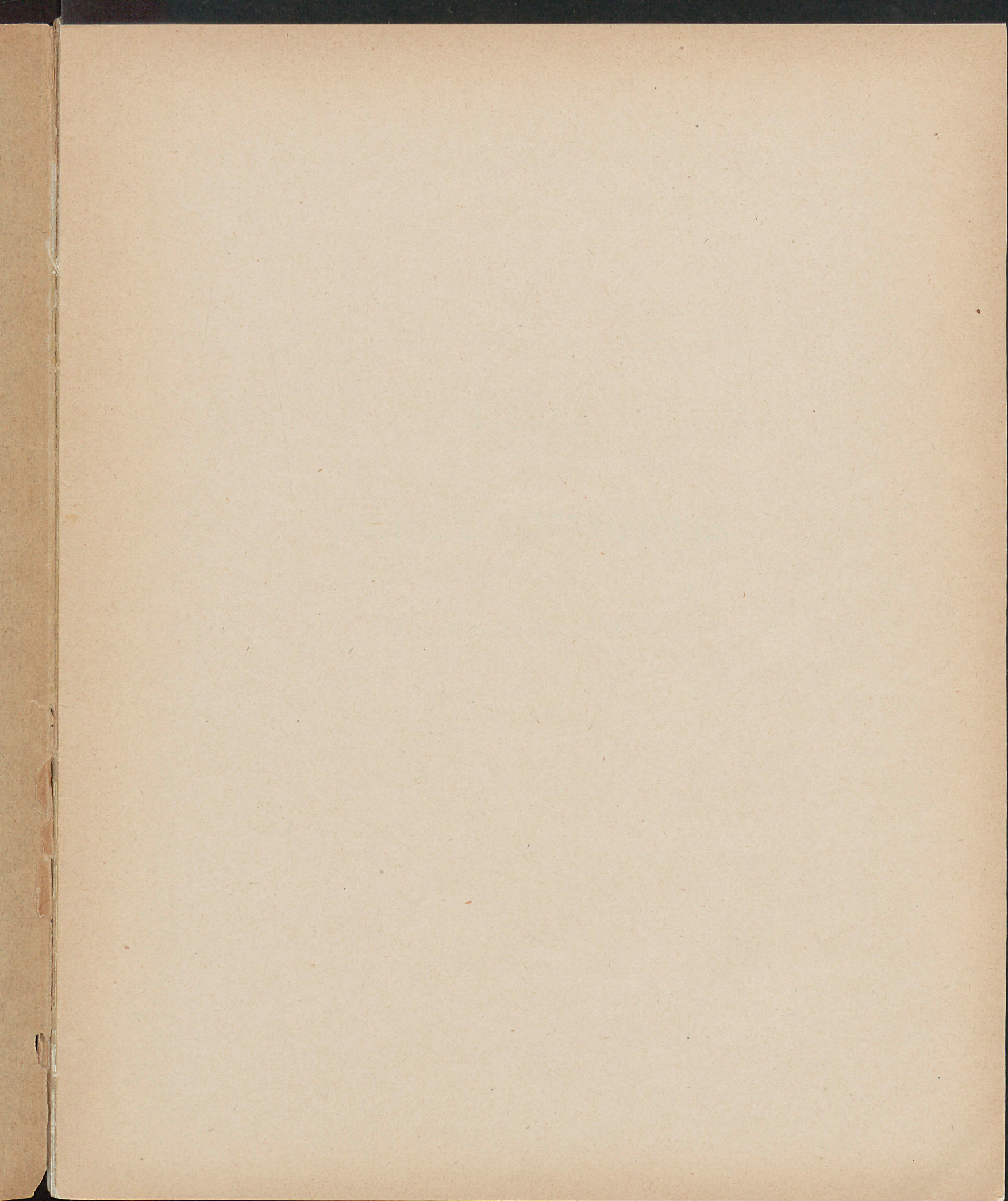


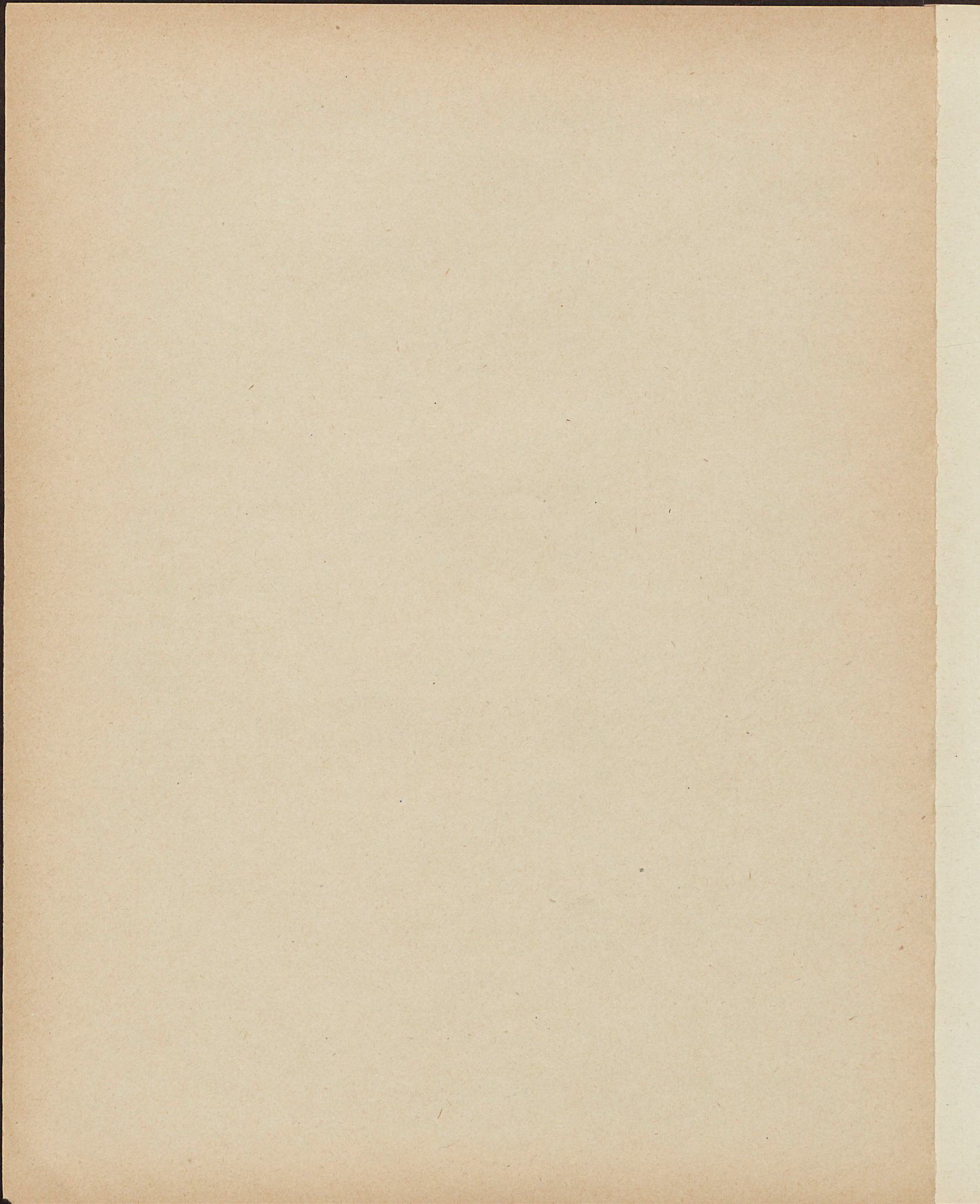
PARIS

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

103, BOULEVARD SAINT-MICHEL.







TITRES
ET
TRAVAUX SCIENTIFIQUES
DE
EMMANUEL DE MARTONNE

TITRES

TITRES / SEVENTH / 1905

EXAMINER OF PAPERS

C. 1844 (20). 4°

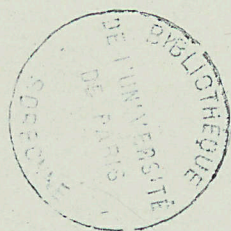
TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

EMMANUEL DE MARTONNE

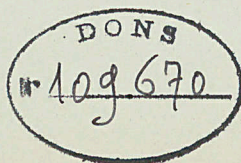


PARIS

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

103, BOULEVARD SAINT-MICHEL

—
1932



TITRES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

EMMANUEL DE MARTONNE

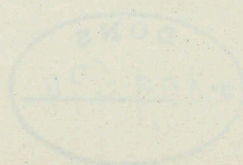


PARIS

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

103, BOULEVARD SAINT-MICHEL

1902



TITRES ET FONCTIONS UNIVERSITAIRES

- 1893. Licencié ès lettres.
- 1895. Agrégé d'histoire et géographie.
- 1897. Licencié ès sciences.
- 1902. Docteur ès lettres.
- 1907. Docteur ès sciences.
- 1898. Chargé de conférences de Météorologie au Laboratoire de Géographie physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.
- 1899. Chargé de cours de Géographie à la Faculté des Lettres de l'Université de Rennes.
- 1904. Professeur adjoint à la même Faculté.
- 1905. Chargé de cours de Géographie à la Faculté des Lettres de l'Université de Lyon.
- 1906. Professeur de Géographie à la même Faculté.
- 1909. Chargé de Cours de Géographie à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris.
- 1919. Professeur de Géographie à la même Faculté.
- 1926. Directeur du Laboratoire de Géographie générale de l'École Pratique des Hautes Études (Section des Sciences).
- 1927. Directeur de l'Institut de Géographie de l'Université de Paris.

DISTINCTIONS HONORIFIQUES ET FONCTIONS ÉLECTIVES

- Prix William Huber à la Société de Géographie de Paris, 1902.
- Médaille Gauthiot à la Société de Géographie commerciale de Paris, 1903.
- Prix Pierre-Félix Fournier à la Société de Géographie de Paris, 1910.
- Prix Binoux à l'Académie des Sciences, 1911.
- Subvention sur le Fonds Bonaparte de l'Académie des Sciences, pour la publication (en collaboration avec MM. J. Brunhes et E. Chaix) de l'*Atlas photographique des Formes du Relief terrestre*, 1912.

- Secrétaire de la Société Géologique de France (1899-1900).
- Vice-président de la Société de Géographie de Lyon (1908).
- Président de la Section de Géographie physique au Congrès International de Géographie de Cambridge, 1928.
- Co-Directeur des *Annales de Géographie*.
- Président de la Société Météorologique de France pour 1922 et pour 1927.
- Président de l'Association française pour l'avancement des Sciences.
- Secrétaire général du Congrès International de Géographie de Paris, 1931.
- Secrétaire de l'Union Géographique Internationale.

Membre d'honneur de la Société de Géographie roumaine (Bucarest).
Membre d'honneur de la Société de Géographie hongroise (Budapest).
Membre d'honneur de l'American Geographical Society (New York).
Membre d'honneur de la Reale Societa Geografica Italiana (Rome).
Membre d'honneur de la Royal Geographical Society (Londres).
Membre d'honneur de la Gesellschaft für Erdkunde (Berlin).
Membre d'honneur de la Société de Géographie suédoise (Stockholm).
Membre d'honneur de la Société de Géographie danoise (Copenhague).

Docteur *honoris causa* de l'Université de Cambridge (Angleterre).

Docteur *honoris causa* de l'Université de Cluj (Roumanie).

INTRODUCTION

Les dates ci-jointes ont besoin d'un commentaire.

Entré à l'École Normale supérieure dans la section des Lettres, sorti agrégé d'Histoire et Géographie en 1895, j'enseigne depuis 1900 la Géographie dans les Facultés des Lettres; cependant mes recherches ont porté à peu près exclusivement sur les problèmes de la Géographie physique, comme en témoignent de nombreuses notes présentées à l'Académie des Sciences. Docteur ès Sciences, Directeur du Laboratoire de Géographie générale de l'École pratique des Hautes Études (Section des Sciences naturelles), j'ai été élu pour l'année 1932 Président de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

La liste et l'analyse de mes travaux suffiraient peut-être à expliquer cette situation. Il est utile cependant de les situer dans la série des étapes d'une carrière remplie par des activités variées.

L'enseignement de Paul Vidal de La Blache à l'École Normale supérieure a été l'appât qui m'a attiré à la Géographie. J'ai aussitôt senti le besoin, pour y faire œuvre personnelle, d'une culture scientifique solide, et, dès ma sortie de l'École Normale, j'ai recommencé mon éducation, passant la Licence ès Sciences, m'initiant à la Météorologie et à la Topographie.

Une bourse de voyage à l'étranger me permettait de connaître les Professeurs de Géographie les plus réputés alors : F. von Richthofen à Berlin et A. Penck à Vienne, tout en fréquentant les Laboratoires de Sciences physiques et naturelles de Berson, Wahnschaffe et Engler à Berlin, de J. Hann et Beck von Managetta à Vienne.

Ma première idée avait été de me préparer à une exploration scientifique en Afrique, et je songeais à la région des lacs du haut Nil; les circonstances ne m'ayant pas permis de réaliser ce projet, j'ai publié, en français et en

allemand, quelques résultats de l'enquête préliminaire qui m'avait fait dépouiller un grand nombre de mémoires et récits de voyage en quatre langues (1, 2, 4, 5).

Ne voulant pas cependant renoncer aux recherches sur le terrain dans un pays neuf, j'ai décidé d'étudier une région montagneuse encore peu connue au Nord des Balkans, les Carpates méridionales, dont le versant roumain n'avait pas même de carte topographique régulière. Mon premier voyage en 1896 m'y montra un champ d'études passionnant. Depuis, il ne s'est jamais passé plus de trois ans sans que j'y retourne, et j'ai souvent, pendant plusieurs années de suite, consacré tous mes loisirs à explorer ce pays dont j'ai appris la langue (le roumain).

La recherche des traces glaciaires m'a amené dès le début à faire moi-même des levés topographiques, soit d'échelle moyenne (1 : 100 000 dans les Fogarash), soit à grande échelle (1 : 25 000 et même 1 : 10 000 dans le massif du Paringu) (13). Ces levés ont permis l'exécution d'un plan en relief à 1 : 25 000 du Paringu (43 et 44). Pendant mes séjours sous la tente dans la haute montagne, j'ai sondé des lacs jusque-là inconnus (14), et j'ai, en installant sous abris un thermomètre enregistreur, révélé un cas curieux de vague thermique nocturne (17). En même temps, mes recherches sur l'évolution des vallées et les captures de rivières m'amenèrent à des levés géologiques dans les collines subcarpatiques.

Revenu à l'École Normale supérieure comme Maître surveillant (1898), j'étais élu Secrétaire de la Société Géologique de France et chargé par M. Vélain de donner aux élèves de son Laboratoire l'enseignement météorologique nécessité par le programme du Certificat de Licence de Géographie physique à la Faculté des Sciences. C'a été ma première fonction d'Enseignement supérieur.

Cependant la vie m'obligeait à m'assurer une situation plus importante et d'un avenir plus sûr. Je ne pouvais laisser échapper l'occasion qu'offrait la vacance d'une chaire de Géographie à la Faculté des Lettres de l'Université de Rennes; et dès lors ma carrière universitaire devait se poursuivre de ce côté. Nommé Chargé de cours en 1899, je devais, pour être titularisé, passer le Doctorat ès lettres avec une thèse de Géographie descriptive sur *La Valachie* (1902).

Poursuivant mes recherches de Géographie physique sur les Carpates pendant les vacances, je me trouvais, quelques années plus tard, en présence

de résultats si importants que leur rédaction donnait un volume de 288 pages, me permettant de conquérir, après le grade de Licencié ès Sciences, celui de Docteur ès Sciences (Paris, 1907).

Les Carpates n'ont pas été pour cela abandonnées. L'âge des plates-formes d'érosion que j'y avais révélées, et qui ont été depuis retrouvées dans toute la chaîne, n'était fixé que pour les plus récentes. Le Bihor devait me donner la clef pour la plus ancienne, que j'ai appelée plate-forme Boresco. Ce résultat n'a été atteint qu'après une campagne de trois mois, lorsque j'ai été appelé à organiser l'enseignement de la Géographie dans l'Université, devenue roumaine, de Cluj.

En 1905 je quittais l'Université de Rennes pour celle de Lyon. Mon séjour à Rennes avait été l'occasion d'y orienter l'enseignement vers la précision scientifique, en créant un Laboratoire installé dans la Faculté des Sciences, en multipliant les Excursions et amorçant une étude systématique de la Bretagne.

A Lyon, j'ai été captivé par les problèmes morphologiques des hautes Alpes. C'est alors que j'ai entrepris de fixer des règles pour l'analyse morphologique des vallées et de débrouiller les contradictions des idées sur le relief glaciaire, en confrontant les données physiques sur le mouvement des glaciers avec les observations que le recul des glaciers actuels permet de faire sur les traces réelles d'érosion dans leur lit. La théorie de l'érosion glaciaire et de l'évolution des vallées alpines, qui est sortie de ces efforts, d'abord vivement attaquée en Allemagne, a depuis rallié presque tous les suffrages, en Suisse et en Autriche même.

Appelé à l'Université de Paris en 1909 comme remplaçant de Paul Vidal de La Blache, j'ai eu à diriger les travaux d'un nombre d'élèves de plus en plus grand et à organiser l'Institut de Géographie de l'Université. Après avoir visité les principaux Instituts de Géographie des Universités étrangères en Europe et en Amérique, je me suis efforcé de réaliser un établissement digne de la plus grande Université française. Le dispositif des locaux, la richesse de la Bibliothèque, de la collection de cartes, des photographies, des plans en relief et des instruments ont été appréciés par plus d'un visiteur étranger et ont paru impressionner les membres du Congrès International de Géographie qui s'est réuni à Paris en septembre 1931, précisément dans l'Institut de Géographie.

Les élèves ont été entraînés de plus en plus aux études et aux recherches précises de la Morphologie terrestre par une organisation des travaux

pratiques perfectionnée d'année en année et par des excursions à long parcours. J'ai pu emmener un petit groupe en Algérie jusqu'à Colomb Béchar; une autre année, cinq jeunes géographes parisiens ont visité avec moi, pendant trois mois de courses continuelles, toute la Transylvanie, y compris les plus hautes montagnes, où l'on couchait sous la tente; une autre fois encore nous avons parcouru la Yougoslavie, de Zagreb et Belgrade jusqu'à la Macédoine, y compris le Karst dalmate.

A plusieurs reprises, j'ai d'ailleurs été appelé à enseigner dans des Universités étrangères: en 1916 à l'Université Columbia de New York (Faculty of Pure Science) pendant quatre mois, en 1921 à l'Université de Cluj (Roumanie) pendant six mois, en 1923 à l'Université de Prague (Tchécoslovaquie) pendant un mois.

Les voyages déterminés par de pareilles missions ou par des délégations à divers Congrès Internationaux m'ont entraîné plus d'une fois au seuil de régions désertiques (Ouest des États-Unis et Mexique, Sud Algérien et Marocain, Haute-Égypte). Des observations faites alors sont nées des réflexions qui m'ont orienté vers une nouvelle voie de recherches: préciser les conditions du modelé aride et en général l'influence des changements de climat des périodes géologiques récentes sur les formes du relief et l'hydrographie; il en est résulté une vaste enquête cartographique, poursuivie avec la collaboration d'élèves avancés, qui a abouti à la grande Carte des régions privées d'écoulement, publiée, à une échelle réduite, par l'Union Géographique Internationale à l'occasion du Congrès de Cambridge (1928). Le mémoire de 200 pages commentant cette carte étudie des questions assez neuves et fait état de notions que j'ai créées pour rendre compte des faits ou des relations nouvelles révélées: l'*endoréisme* et l'*aréisme*, la *dégradation de l'hydrographie*, et l'*indice d'aridité*. Ces notions sont passées dans un grand nombre de publications d'auteurs étrangers; la formule de l'Indice d'aridité a été discutée et a servi à établir des cartes pour l'Allemagne, la Pologne, la Roumanie, l'Italie, la Tunisie, le Maroc, le Mexique.....

Avant d'arriver à ces conclusions, j'avais été amené à refondre complètement mon *Traité de Géographie physique*, publié pendant mon séjour à Lyon et dont le succès n'avait pas été épuisé par trois éditions, un *Abrégé* et des traductions en plusieurs langues. La quatrième édition, parue en 1925-1927, comporte trois volumes; pour le troisième volume, j'ai pu m'assurer

la collaboration de deux naturalistes éminents, le Botaniste A. Chevalier et le Zoologiste L. Cuénot, grâce auxquels il a été possible de donner un tableau unique de l'ensemble des questions biogéographiques. J'ai travaillé seul à la refonte des deux autres volumes, dont le second, entièrement nouveau, consacré au relief du sol, est un traité aussi complet que possible de Morphologie terrestre.

Un nouveau tirage de cette quatrième édition a déjà dû être fait, en attendant la cinquième édition, dont la préparation s'impose. La large diffusion d'un ouvrage aussi technique et de telles dimensions semble indiquer que l'effort considérable qu'il a coûté n'a pas été vain.

Les années 1925 à 1931 ont été surtout consacrées à l'achèvement d'un grand ouvrage de géographie descriptive sur l'*Europe centrale* (122-123). Cette tâche m'avait été imposée par mon maître Paul Vidal de La Blache, quand il traçait, avant sa mort, en 1918, le plan d'une nouvelle *Géographie Universelle*. Elle était loin d'être légère, car l'ensemble de pays compris sous le nom d'Europe centrale est particulièrement riche en problèmes de tout genre; et ceux de la Géographie économique, ou même politique ne pouvaient être négligés. Si j'ai pu les traiter, quoique spécialisé dans la Géographie physique, c'est en partie par suite de l'activité que les circonstances m'ont imposée à la fin de la Grande guerre. Attaché au Service Géographique de l'Armée, où le Général Bourgeois m'avait confié divers travaux cartographiques en liaison avec la confection des *Notices*, j'ai été mis à la disposition du « Comité d'Études » chargé de préparer la documentation géographique pour les négociateurs des traités qui devaient suivre la fin des hostilités; et, après avoir coordonné tout le travail de ce Comité en qualité de secrétaire pendant deux ans, je me suis trouvé intimement associé au travail de la Conférence de la Paix comme principal expert pour les questions territoriales.

La rédaction de mes deux volumes sur l'Europe centrale n'en a pas moins coûté un gros effort. J'y ai trouvé d'ailleurs l'occasion de traiter les grands problèmes de Géographie physique qui demandent des vues synthétiques. Les spécialistes paraissent avoir apprécié les chapitres consacrés à de pareilles synthèses des Alpes, puis des Carpates, puis des Massifs hercyniens, illustrées de cartes et schémas originaux.

Cet exposé ne serait pas complet sans l'indication de l'activité déployée pour grouper les géographes vraiment spécialisés. En 1920 était fondée

l'Association de Géographes français, dont je n'ai pas cessé d'être le Secrétaire Général. Ce groupement a réussi, malgré le chiffre volontairement limité de ses membres, à sauver l'admirable instrument de travail qu'était la *Bibliographie géographique*, éditée avant la guerre comme supplément aux *Annales de Géographie*, tout en publiant, dans un Bulletin très réduit, la substance de communications et discussions scientifiques mensuelles, et les comptes rendus de nombreuses excursions. J'ai moi-même conduit souvent des excursions d'étude d'un ou plusieurs jours; leurs résultats se trouvent dans ce Bulletin, dont certains numéros, devenus rares, sont très recherchés.

D'autre part, le Comité National de Géographie, créé sur l'initiative de l'Académie des Sciences et sous la présidence du Général Bourgeois, m'a confié son Secrétariat, ce qui m'a amené à accepter la lourde tâche de préparer le Congrès International de Géographie réuni à Paris en septembre 1931. Tout a été mis en œuvre pour donner à cette réunion l'organisation la plus méthodique, suivant une conception que m'avait inspirée la critique des précédents Congrès (101, 117), en limitant le terrain des discussions à un certain nombre de questions et en préparant huit grandes excursions d'étude.

Le succès a démontré qu'il est possible de faire d'un Congrès International de Géographie une réunion féconde comme résultats scientifiques. Les Travaux du Congrès, en cours d'impression, formeront trois volumes et offriront sur certains problèmes (terrasses, plates-formes d'érosion, etc.) des ensembles de rapports et communications représentant une documentation précieuse. A l'occasion du Congrès, il a été possible en outre d'amorcer la réalisation d'un projet longuement mûri depuis plusieurs années par le Comité National de Géographie, celui d'un *Atlas de France*, comparable au moins et si possible supérieur aux Atlas nationaux déjà publiés dans divers pays. Les trois cartes offertes aux Congressistes ont été appréciées, et l'avenir de l'œuvre paraît assuré.

L'Assemblée générale de l'Union Géographique Internationale, tenue à la fin du Congrès de Paris, a paru vouloir reconnaître le succès de cette réunion en me nommant son Secrétaire Général, pour une période de trois ans, jusqu'au prochain Congrès.

LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

DE EMMANUEL DE MARTONNE

1. — 1896. **Dongola** (*Ann. de Géographie*, t. V, p. 436-438).
2. — 1896-1897. **La vie des peuples du Haut Nil, explication de trois cartes anthropogéographiques** (*Ann. de Géographie*, t. V, p. 506-521, avec 2 cartes; et t. VI, p. 61-70, avec 1 carte).
3. — 1897. **Le XII^e Congrès des Géographes allemands** (*Ann. de Géographie*, t. VI, p. 276-280).
4. — 1897. **Die Hydrographie des oberen Nilbeckens** (*Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, t. XXXII, p. 303-342, avec 4 planches, cartes et coupes).
5. — 1898. **Contribution à l'étude des pluies dans la Région du Haut Nil** (*Ann. du Bureau central météorologique*, Mémoires de 1896, B, p. 197-212, avec 3 figures).
6. — 1898. **Notes sur l'enseignement de la Géographie dans les Universités allemandes** (*Revue internationale de l'Enseignement*, p. 251-262).
7. — 1898. **Problèmes de l'histoire des vallées, Enns-Salzach** (*Ann. de Géographie*, t. VII, p. 385-403, 4 figures).
8. — 1899. **Sur un nouveau mode de représentation du régime des pluies dans les contrées intertropicales** (*Ann. de Géographie*, t. VIII, p. 84-87).
9. — 1899. **Une excursion de Géographie physique dans le Morvan et l'Auxois** (*Ann. de Géographie*, t. VIII, p. 405-426, 5 pl. fotogr. et cartes).
10. — 1899. **Lapiez dans des grès crétacés (Massif de Bucegi, Roumanie)** (*Bull. de la Société Géologique de France*, 3^e série, t. XXVII, p. 28-32, 1 figure).
11. — 1899. **Sur la période glaciaire dans les Karpates méridionales** (*C. R. Académie des Sciences*, 27 novembre, t. CXXIX, p. 894-897).
12. — 1899. **Sur l'histoire de la vallée du Jiu (Karpates méridionales)** (*C. R. Académie des Sciences*, 4 décembre, *Ibidem*, p. 978-980).
13. — 1900. **Le levé topographique des cirques de Gauri et Gâlcescu (Massif du Paringu)** (*Buletinul Societatii Inginerilor, Bucarest*, t. IV, fascicule 1-2, 42 p., 3 planches, cartes).
14. — 1900. (En collaboration avec Munteanu Murgoci.) **Sondage et analyse des boues du lac Gâlcescu** (*C. R. Académie des Sciences*, 2 avril, t. CXXX, p. 932-935).
15. — 1900. **Recherches sur la période glaciaire dans les Karpates méridionales** (*Bull. de la Société des Sciences de Bucarest*, t. IX, n^o 4, 60 p., 5 pl. cartes et profils, 4 planches fotogr.).
16. — 1900. **Contribution à l'étude de la période glaciaire dans les Karpates méridionales** (*Bull. de la Société Géologique de France*, 3^e série, t. XXVIII, p. 275-319, 3 figures).
17. — 1900. **Un cas particulier de la marche diurne de la température en haute montagne** (*Bull. de la Société scientifique et médicale de l'Ouest*, t. IX, p. 10, 2 figures).
18. — 1901. **Nouvelles observations sur la période glaciaire dans les Karpates méridionales** (*C. R. Académie des Sciences*, 11 février, t. CXXXII, p. 360-363).

19. — 1901. Sur les mouvements du sol et la formation des vallées en Valachie (*C. R. Académie des Sciences*, 6 mai, *Ibidem*, p. 1141-1143).
20. — 1901. Sur la formation des cirques (*Ann. de Géographie*, t. X, p. 10-16).
21. — 1901. Sur la toponymie naturelle des régions de haute montagne, en particulier dans les Karpates méridionales (*Bull. de Géographie historique et descriptive*, p. 83-91).
22. — 1901. Fjords, cirques, vallées alpines et lacs subalpins (*Ann. de Géographie*, t. X, p. 289-294).
23. — 1902. Remarques sur le climat de la période glaciaire dans les Karpates méridionales (*Bull. de la Société Géologique de France*, 4^e série, t. II, p. 330-332).
24. — 1902. La Valachie, essai de Monographie géographique (*Thèse de doctorat ès lettres*, Paris). 1 vol. in-8^o de xv + 387 p., 48 figures, 5 cartes hors texte et 12 planches photographiques.
25. — 1903. Recherches sur la répartition géographique de la population en Valachie, avec une étude critique sur les procédés de représentation de la répartition de la population. 1 vol. in-8^o, 161 p., 2 cartes, Paris et Bucarest.
26. — 1903. Étude sur la crue du Jiu au mois d'août 1900 (*Ann. de l'Institut Météorologique de Roumanie*, t. XVI, p. B 77-96, 21 figures).
27. — 1903. Le développement des côtes bretonnes et leur étude morphologique (*Bull. de la Société scientifique et médicale de l'Ouest et Travaux du Laboratoire de Géographie de l'Université de Rennes*, n^o 1, 17 p.).
28. — 1903. Rumänien (*Geographisches Jahrbuch*, t. XXVI, p. 35-53).
29. — 1904. Les tremblements de terre de la Roumanie et leur rapport avec les lignes directrices de la Géographie physique (*Ann. de l'Institut Météorologique de Roumanie*, t. XVIII, p. B 87-95, 1 carte).
30. — 1904. La période glaciaire dans les Karpates méridionales (*Comptes rendus du Congrès Géologique international de Vienne*, 1903, p. 691-702, carte).
31. — 1904. Sur l'évolution du relief du plateau de Mehedintzi (Roumanie) (*C. R. Académie des Sciences*, 25 avril, t. CXXXVIII, p. 1058-1060).
32. — 1904. Sur la plate-forme des hauts sommets des Alpes de Transylvanie (*C. R. Académie des Sciences*, 6 juin, t. CXXXVIII, p. 1440-1442).
33. — 1904. Sur les terrasses des rivières subkarpathiques en Roumanie (*C. R. Académie des Sciences*, 18 juillet, t. CXXXIX, p. 226-227).
34. — 1904. Sur l'évolution de la zone des dépressions subkarpathiques en Roumanie (*C. R. Académie des Sciences*, 25 juillet, t. CXXXIX, p. 316-318).
35. — 1904. Excursion géographique en Basse-Bretagne (Monts d'Arrée et Trégorrois) (*Bull. Société scientifique de l'Ouest et Travaux du Laboratoire de Géographie de l'Université de Rennes*, n^o 3, 42 p., 6 figures, 2 planches fotogr.).
36. — 1904. Les enseignements de la Topographie (*Ann. de Géographie*, t. XIII, p. 385-400).
37. — 1904. La vie pastorale et la transhumance dans les Karpates méridionales, leur importance géographique et historique (*Zu Friedrich Ratzels Gedächtnis*, p. 227-245).
38. — 1905. Sur le caractère des hauts sommets des Karpates méridionales (*C. R. du Congrès pour l'avancement des Sciences*, Bucarest, 1903, p. 6, 1 pl.).
39. — 1905. Sur les anciens glaciers des Karpates méridionales (*C. R. du Congrès pour l'avancement des Sciences*, Bucarest, 1903).
40. — 1905. L'évolution morphologique des Karpates méridionales (*C. R. du Congrès international de Géographie de Washington*, 1904, p. 138-145).
41. — 1905. Le VIII^e Congrès international de Géographie et son excursion dans l'Ouest et au Mexique (*Ann. de Géographie*, t. XIV, p. 1-22, 10 fig., 4 pl. fotogr. et dessins panoramiques).

42. — 1905. **Le Laboratoire de Géographie de l'Université de Rennes, 1902-1905** (Extrait des *Annales de Bretagne*, 27 p.).
43. — 1906. **Sur deux plans en relief du Paringu et de Soarbele (Karpates méridionales) exécutés d'après des levés topographiques inédits** (*C. R. Académie des Sciences*, 25 juin, t. CXLII, p. 1583-1585).
44. — 1906. **Notice sur les reliefs du Paringu et de Soarbele** (*Bull. de la Société de Géographie de Bucarest*, 27 p., 2 pl.).
45. — 1906. **La première excursion géographique interuniversitaire (Bretagne, 1905)** (*Ann. de Géographie*, t. XV, p. 70-71).
46. — 1906. **La pénéplaine et les côtes bretonnes** (*Ann. de Géographie*, t. XV, p. 213-236 et 299-328, 7 pl. fotogr.).
47. — 1907. **La Géographie économique de la Basse-Bretagne, d'après M. Camille Vallaux** (*Ann. de Géographie*, t. XVI, p. 361-364).
48. — 1907. **Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie (Karpates méridionales). Thèse pour le doctorat ès sciences naturelles**, xxi + 286 p., 2 cartes, 11 planches fotogr.
49. — 1907. **Note préliminaire sur le vent d'autan** (*Bull. de la Société languedocienne de Géographie*, 17 p., 5 fig.).
50. — 1908. **Le développement et l'avenir de la Géographie** (*Bull. de la Société de Géographie de Lyon*, 2^e série, t. I, p. 1-11).
51. — 1908. **Recherches concernant la Géographie physique des Karpates méridionales** (*Caisse des Recherches scientifiques, Rapports sur les travaux entrepris en 1907*, p. 294-315).
52. — 1909. **Traité de Géographie physique**. 1 vol. in-8°, 910 p., 392 fig., 48 pl. fotogr., 2 cartes.
53. — 1909. **Contribution à l'étude du vent d'autan (deuxième note)** (*Bull. de la Société languedocienne de Géographie*, t. XLII, 29 p., 8 fig.).
54. — 1909. **Contribution à l'étude du vent d'autan (période octobre-décembre 1908)** (*Ann. de la Société Météorologique de France*, t. LVII, p. 205-217).
55. — 1909. **Sur l'inégale répartition de l'érosion glaciaire dans le lit des glaciers alpins** (*C. R. Académie des Sciences*, 27 décembre, t. CXLIX, p. 1413-1415).
56. — 1910. **L'hydrologie souterraine des calcaires en Belgique d'après MM. Van den Broeck, Martel et Rahir** (*Ann. de Géographie*, t. XIX, p. 173-177).
57. — 1910. **Sur la théorie mécanique de l'érosion glaciaire** (*C. R. Académie des Sciences*, 10 janvier, t. CL, p. 135-138).
58. — 1910. **Sur la genèse des formes glaciaires** (*C. R. Académie des Sciences*, 24 janvier, *Ibidem*, p. 243-246).
59. — 1910. **Sur la position systématique de la chaîne des Karpates** (*C. R. IX^e Congrès international de Géographie*, Genève, 1908, t. II, p. 134-145).
60. — 1910. **Sur le rôle des excursions à long parcours dans l'enseignement de la Géographie** (*C. R. IX^e Congrès international de Géographie*, Genève, t. II, p. 321-326).
61. — 1910. **Le vent d'autan et ses rapports avec le Marin** (*Association française pour l'avancement des Sciences, C. R. du Congrès de Toulouse*, p. 287-293).
62. — 1910-1911. **L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines** (*Ann. de Géographie*, t. XIX, p. 289-317, et t. XX, p. 1-29, 6 pl. fotogr.).
63. — 1911. **Principes de l'analyse morphologique des niveaux d'érosion appliquée aux vallées alpines** (*C. R. Académie des Sciences*, 24 juillet, t. CLIII, p. 309-312).
64. — 1911. **Résultats de l'analyse morphologique des niveaux d'érosion des vallées de l'Arc et de l'Isère** (*C. R. Académie des Sciences*, 7 août, *Ibidem*, p. 404-407).
65. — 1911. **Sur la chronologie des thalwegs pliocènes et quaternaires de l'Arc et de l'Isère** (*C. R. Académie des Sciences*, 28 août, *Ibidem*, p. 509-512).

66. — 1911. **L'évolution du relief de l'Asie centrale d'après des publications récentes** (*La Géographie*, t. XXIII, p. 39-58).
67. — 1911. **Étude morphologique des Alpes orientales (Tauern) et des Karpates septentrionales (Tatra)** (*Bull. de Géographie historique et descriptive*, p. 387-406).
68. — 1912. **Conditions de l'érosion glaciaire alpine** (*C. R. du Congrès national des Sociétés françaises de Géographie*, Roubaix, 1911, 9 p.).
69. — 1912. **L'évolution des vallées glaciaires alpines, en particulier dans les Alpes du Dauphiné** (*Bull. de la Société Géologique de France*, 4^e série, t. XII, p. 516-549, 7 figures).
70. — 1912. (En collaboration avec J. Brunhes et E. Chaix.) **Atlas photographique des formes du relief terrestre, publié conformément à un vœu du IX^e Congrès international de Géographie**. Fascicule spécimen, grand in-4^e, 8 pl., 32 p.
71. — 1912. **L'Atlas photographique des Formes du relief terrestre** (*Ann. de Géographie*, t. XXI, p. 70-73).
72. — 1912. **Un nouvel album géographique** (*Revue alpine*, t. XVIII, p. 30-33).
73. — 1912. **Le parc national du Yellowstone, étude morphologique** (*Ann. de Géographie*, t. XXII, p. 134-148, 2 pl.).
74. — 1913. **Traité de Géographie physique**, 2^e édition. 1 vol. in-8^e, 922 p.
75. — 1913. **Le climat facteur du relief** (*Scientia*, t. XIII, p. 339-355).
76. — 1914. **Tendances et avenir de la Géographie moderne, conférence faite à l'Université libre de Bruxelles** (*Revue de l'Université de Bruxelles*, 1914, p. 453-479).
77. — 1914. (En collaboration avec MM. J. Brunhes et E. Chaix.) **Atlas photographique des formes du relief terrestre, publié conformément à un vœu du IX^e Congrès international de Géographie, 1^{er} fascicule** (les fascicules 2 et 3 devaient paraître ensemble dans les premiers jours d'août 1914).
78. — 1915. **Le rajeunissement quaternaire des Alpes** (Extrait des *Comptes rendus du X^e Congrès international de Géographie*, Rome, 1913, 9 p.).
79. — 1915. **La Science géographique** (Extrait de *La Science française*, t. I^{er}, 26 p.).
80. — 1917. **The Carpathians : Physiographic features controlling human geography** (*Geographical Review*, June 1917, p. 417-437; carte à 1 : 2 500 000, Physiographic map of the Carpathians).
81. — 1917. **The limestone plateaus of the Causses** (*An. New York Academy of Sciences*, XXXVII, p. 296-297).
82. — 1920. **Le traité de Saint-Germain et le démembrement de l'Autriche** (*Ann. de Géographie*, t. XXIX, p. 1-11).
83. — 1920. **Essai de carte ethnographique des pays roumains** (*Ibidem*, p. 181-198; carte en couleurs).
84. — 1920. **L'État tchécoslovaque** (*Ibidem*, p. 161-181).
85. — 1921. **Traité de Géographie physique**, 3^e édition. 1 vol. in-8^e, 930 p.
86. — 1921. **Les régions géographiques de la France** (*Bibliothèque de culture générale*). 1 vol. in-12, 192 p.
87. — 1921. **La Nouvelle Roumanie** (*Ann. de Géographie*, t. XXX, p. 1-31).
88. — 1921. **Notes de géographie physique algérienne** (*Ibidem*, p. 223-231).
89. — 1921. **Sur les plates-formes d'érosion des Monts du Bihar (Roumanie)** (*C. R. Académie des Sciences*, t. CLXXIII, p. 1188-1191).
90. — 1922. **Le massif du Bihar (Roumanie)** (*Ann. de Géographie*, t. XXXI, p. 313-340).
91. — 1922. **Abrégé de Géographie physique**. 1 vol. in-8^e, 356 p.
92. — 1923. **Sur l'ancien delta pliocène du Var et les niveaux d'érosion des vallées y débouchant** (*C. R. Académie des Sciences*, t. CLXXVI, p. 41-44).

93. — 1923. L'ancien delta du Var et les vallées des Alpes maritimes, étude de morphologie alpine et méditerranéenne (*Ann. de Géographie*, t. XXXII, p. 313-338).
94. — 1924. Quelques données nouvelles sur la jeunesse du relief préglaciaire dans les Alpes (*Recueil de travaux offert à Johan Cvijic*, Extr., 20 p.).
95. — 1924. Excursion dans le Morvan et la Côte-d'Or (*Bull. de l'Association de Géographes français*, n° 2, p. 5-16).
96. — 1924. Les formes glaciaires sur le versant Nord du Haut Atlas de Marakech (*Ann. de Géographie*, t. XXXIII, p. 296-302).
97. — 1924. (En collaboration avec J. Célerier et A. Charton.) Le massif Rehamna, esquisse morphologique (*Ibidem*, p. 244-256).
98. — 1924. Excursions de l'Institut de Géographie de l'Université de Cluj, Résultats scientifiques. Bucarest, gr. in-8°, 212 p., 47 fig., 30 pl.
99. — 1924. Les divisions naturelles des Alpes (*Ann. de Géogr.*, t. XXXIV, p. 113-132).
100. — 1925. (En collaboration avec L. Aufrère.) Extension du drainage océanique (*C. R. Académie des Sciences*, t. 180, p. 939-942).
101. — 1925. Le Congrès du Caire et l'avenir des Congrès géographiques internationaux (*Ann. de Géographie*, t. XXXIV, p. 289-300).
102. — 1925. *Traité de Géographie physique*, 4^e édition entièrement refondue. Tome I, Notions générales, Climat, Hydrographie, 496 p. — Tome II, Le relief du sol, 562 p.
103. — 1925. Excursion à Esbly, capture par recoupement de méandres (*Bull. de l'Association de Géographes français*, n° 6, p. 4-8).
104. — 1925. Excursion à Qosséir (*Congrès International de Géographie, Le Caire, 1925*, t. II, p. 185-195).
105. — 1925. Extension des régions privées d'écoulement vers l'Océan (*Ibidem*, t. III, p. 25-50).
106. — 1926. Aréisme et indice d'aridité (*C. R. Académie des Sciences*, t. CLXXXII, p. 1395).
107. — 1926. Deux massifs hercyniens. Le Boehmerwald et la Lysa Gora (*Ann. de Géographie*, t. XXXV, p. 27-50).
108. — 1926. Excursion à Fontainebleau-Arbonne (*Bull. de l'Association de Géographes français*, n° 11, p. 13-16).
109. — 1926. Les Alpes, Géographie générale (*Collection Armand Colin*). In-12, 218 p.
110. — 1926. Une nouvelle fonction climatologique, l'Indice d'aridité (*La Météorologie*, t. LXVIII, 1926, p. 348-349).
111. — 1927. Regions of interior drainage (*The Geographical Review*, New York, 18 p.).
112. — 1927. *Traité de Géographie physique*, 4^e édition entièrement refondue. T. III, Biogéographie, en collaboration avec Aug. Chevalier et L. Cuénot, in-8°, 398 p.
113. — 1928. Valleuses de méandre (*Bull. de l'Association de Géographes français*, n° 26, p. 65-67).
114. — 1928. (En collaboration avec L. Aufrère.) L'extension des régions privées d'écoulement vers l'Océan (*Ann. de Géographie*, t. XXXVII, p. 1-24).
115. — 1928. (En collaboration avec L. Aufrère.) L'extension des régions privées d'écoulement vers l'Océan (*Union Géographique internationale*, publication n° 3, in-8°, 194 p., Planisphère à 1 : 50 000 000).
116. — 1929. L'Institut de Géographie de l'Université de Paris (*Ann. de l'Université*, 20 p.).
117. — 1929. Le Congrès International de Géographie de Cambridge (*Ann. de Géographie*, t. XXXVIII, p. 1-9).

118. — 1929. **La morphologie du Plateau Central de la France et l'hypothèse eustatique** (*Ibidem*, p. 113-132).
119. — 1930. **La dégradation de l'hydrographie** (*Scientia*, 19 p.).
120. — 1930. **Impressions et observations sur l'Oued Rhir, les dunes et l'irrigation** (*Bull. de l'Association de Géographes français*, 1930, p. 58-62).
121. — 1930. **Excursion interuniversitaire en Yougoslavie** (*Ann. de Géographie*, t. XXXIX, p. 246-269).
122. — 1931. **Europe centrale, Tome I, Généralités, Allemagne**. 1 vol. in-4°, 380 p., 90 fig., 64 pl.
123. — 1932. **Europe centrale. Tome II, Suisse, Autriche, Hongrie, Tchécoslovaquie, Pologne, Roumanie**. 1 vol. in-4°, 460 p., 97 fig., 72 pl.
124. — 1932. **Essai de synthèse morphologique des Carpates** (*C. R. Académie des Sciences*, 4 avril, t. CXCIV, p. 1177-1180).
-

ANALYSE DES PRINCIPAUX TRAVAUX

I

LE RELIEF DES CARPATES

Les résultats de mes recherches sur les Carpates méridionales ont été présentés successivement à l'Académie des Sciences (11, 12, 14, 18, 19, 31, 32, 33, 34, 43), à la Société Géologique de France (10, 16, 23) et à divers Congrès internationaux de Géologie et Géographie (39, 40, 59). Ma thèse de Doctorat ès sciences, intitulée : *Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie (Carpates méridionales)*, les a résumés, en y ajoutant encore des observations et conclusions inédites.

Nous nous contenterons donc d'analyser ce dernier ouvrage.

Toutefois des recherches ultérieures sont venues le compléter. Leurs résultats, présentés à l'Académie des Sciences (89), exposés, en ce qui concerne le Bihor, aux *Annales de Géographie* (90), ont fait l'objet d'un exposé d'ensemble dans un Mémoire sur les Excursions de l'Institut de Géographie de l'Université de Cluj (98). C'est ce mémoire que nous analyserons.

Enfin nous montrerons comment, nos conclusions sur l'histoire des Carpates méridionales ayant été confirmées par des travaux indépendants sur les Carpates du Nord-Ouest, nous avons, à la suite de reconnaissances faites de ce côté, esquissé une synthèse de la morphologie de toute la chaîne (80, 122 et 124).

On peut résumer à peu près ainsi les idées essentielles mises en lumière. Les Carpates méridionales, malgré leurs altitudes élevées et la continuité de leurs plis avec ceux des Alpes, doivent leur relief surtout à des mouvements d'ensemble, qui ont plusieurs fois repris, séparés par des phases d'aplanissement d'où résultent des plates-formes parfois portées jusqu'à 2 000 mètres. L'âge des plus hautes de ces plates-formes n'a pu être fixé que par l'étude du Bihor (fin du Crétacé ou début de l'Éocène). Les plus récentes ont été

datées, en Olténie comme en Transylvanie, du Miocène et du Pliocène. Les mouvements qui les ont déformées et disloquées ont été décélés par l'analyse morphologique et par l'étude des couches de couverture; ils se sont poursuivis, du côté de la courbure des Carpates dans la Valachie Orientale, jusqu'au Quaternaire. L'ensemble de la chaîne des Carpates représente une montagne assez différente des Alpes, plus vieille à certains égards, plus jeune à d'autres, moins cohérente en tout cas, à cause de vicissitudes que les Alpes n'ont pas connues. La phase principale des plissements y remonte à la fin des temps secondaires; partout des aplanissements étendus se sont produits ensuite, et des affaissements ont morcelé l'édifice en créant, soit de petits bassins, soit de vastes dépressions, tandis que des soulèvements ranimaient l'érosion dans les blocs intacts. C'est ce qui explique la discontinuité des zones tectoniques et même du relief, allant jusqu'à une brisure presque totale de l'arc entre la Galicie et l'extrémité Nord-Est de la plaine danubienne moyenne. C'est ce qui explique aussi le remarquable développement du volcanisme néogène, enfin les anomalies du réseau hydrographique si peu adapté à la structure et fourmillant de cluses épigéniques.

RECHERCHES SUR L'ÉVOLUTION DES ALPES DE TRANSYLVANIE.

La partie des Carpates connue sous le nom d'Alpes de Transylvanie est la plus massive de la chaîne, avec un grand nombre de sommets dépassant 2 000 mètres.

Cette région d'un accès difficile, sans habitations permanentes au-dessus de 700 mètres, n'était, lorsque je l'ai abordée, représentée par des cartes topographiques que sur le versant Nord (carte autrichienne à 1 : 75 000, insuffisante pour la haute montagne) et dans la partie orientale du versant Sud roumain. La fixation de la topographie dans ses détails les plus caractéristiques a dû, par suite, faire partie des travaux sur le terrain. Outre les levés à 1 : 10 000 et à 1 : 25 000, j'ai multiplié les mesures d'altitude au baromètre, les dessins panoramiques exécutés à la chambre claire et les photographies. Laissant le levé géologique aux spécialistes qui commençaient à s'occuper activement de la région, j'ai pourtant été obligé de m'attacher à résoudre certaines questions d'où dépendait directement l'interprétation des formes. C'est ainsi notamment qu'il m'a fallu reprendre, d'accord avec Murgoci, l'étude des petits bassins tertiaires du plateau de Mehedinți, classer les terrasses subcarpatiques et enregistrer leurs déformations.

J'ai donc été amené à me servir parallèlement de méthodes topographiques et géologiques. Mes déductions s'appuyent à la fois sur l'analyse des formes, comme le fait un peu trop exclusivement l'école américaine, et sur l'analyse

géologique, comme on l'a fait trop exclusivement aussi en Allemagne et souvent même en France.

Le premier chapitre est consacré à un aperçu topographique général. Les divisions géographiques établies d'après les cartes d'ensemble devaient être révisées. Les Carpates méridionales s'arrêtent à la Prahova. Le Jiu y sépare un *Massif banatique* et un *Massif transylvain*. Le bord méridional est marqué par une série de *dépressions subcarpatiques*, qui ont dû jouer un grand rôle dans l'évolution des vallées. Le bord septentrional est à demi noyé dans les collines tertiaires de Transylvanie, avec quelques bassins à fond plat isolés (Haromzeg, Fogarash, Hatzeg). Un des traits morphologiques les plus curieux est l'existence d'une série de percées fluviales traversant les plus hauts reliefs et faisant déboucher dans la plaine valaque des rivières nées en Transylvanie, d'où elles auraient pu s'écouler beaucoup plus facilement vers la plaine hongroise. En parcourant les montagnes, on est aussi frappé par l'allure massive et lourde des sommets. A plus de 2 000 mètres, on trouve des plates-formes nivelées tranchant les couches les plus violemment plissées. C'est en cherchant à expliquer cette énigmatique « plate-forme des hauts sommets » que j'ai été amené aux conclusions les plus nouvelles et les plus importantes. Les points culminants dominant généralement de plusieurs centaines de mètres ces hauteurs, et contrastent avec elles par leur relief déchiqueté rappelant les Alpes. Une étude détaillée y révèle l'action d'anciens glaciers.

Après avoir posé ainsi les principaux problèmes, il est nécessaire de fixer les grands traits de la structure géologique, comme ceux de la structure topographique. Un long chapitre y est consacré, résumant aussi fidèlement que possible les résultats des nombreux travaux des géologues roumains et hongrois. A propos de chaque roche sont marquées les particularités de relief liées à son affleurement. On ne constate que des adaptations de détail. L'étude de la tectonique, avec ses charriages, n'éclaircit pas davantage les problèmes morphologiques posés.

Ni les grandes vallées transversales, ni les crêtes principales ne sont en rapport avec les différences de dureté du sous-sol. La tectonique elle-même n'en rend pas compte. Un désaccord trop manifeste existe entre les dislocations les plus importantes et les grandes lignes du relief. Ces apparences paradoxales s'expliqueront si nous démontrons que les Alpes de Transylvanie doivent leur configuration actuelle aux effets combinés d'un grand charriage et d'une dénudation guidée par des mouvements épeirogéniques prolongés jusqu'au Tertiaire récent. Ainsi l'histoire des Karpates méridionales serait en somme celle des Alpes, reproduite en un rythme en quelque sorte ralenti et dans des proportions moindres.

Pour démontrer ces conclusions, je commence par l'étude de la zone subcarpatique en Olténie (Valachie occidentale) et en Munténie (Valachie orientale). La présence de couches tertiaires et de terrasses pliocènes et quaternaires permettra d'y découvrir des preuves de mouvements du sol récents.

C'est en Olténie que ces dépressions subcarpatiques sont les plus nettes et les plus continues. Mais, à l'Ouest du Gilortu, elles forment de véritables plaines souvent marécageuses, tandis que, à l'Est, elles sont découpées en terrasses. Ce

contraste répond à une évolution différente. La dépression de Târgu Jiu a été déblayée dans une énorme masse de cailloutis pliocènes, que j'ai suivis jusqu'à 700-800 mètres sur le bord de la montagne, en rapport avec un niveau d'érosion que des panoramas montrent clairement et que j'ai appelé *plate-forme de Gornovitzza*. Ces cailloutis se sont accumulés dans un synclinal dont j'ai le premier démontré l'existence à Tismana et Celeiu. Leur déblaiement est le résultat des érosions quaternaires, provoquées par un mouvement qui a dû cesser depuis assez longtemps pour que toute la zone ait évolué jusqu'à la maturité avancée.

A l'Est du Gilortu, l'origine tectonique des dépressions subcarpatiques est encore plus évidente (anticlinaux de Sacel et de Magura Slatiorului). L'histoire du sol apparaît encore plus compliquée. Le réseau hydrographique trahit toute une série de captures, disloquant un ancien réseau longitudinal, dont il est possible de suivre les phases successives. La plus indiscutable est la capture de l'Oltetzu-Terea, démontrée par deux profils géologiques. Les remaniements se sont poursuivis jusqu'au Quaternaire le plus récent. Le découpage en terrasses des plaines, leur altitude plus élevée de 100 à 150 mètres indiquent que les mouvements du sol ont continué ici plus longtemps qu'à l'Ouest.

En continuant l'étude des dépressions subcarpatiques en Munténie, j'ai pu trouver des preuves décisives de ces mouvements. Je disposais ici de cartes topographiques à 1 : 50 000 avec courbes de niveau, qui m'ont permis une étude précise des terrasses. Leur relevé sur des cartes à 1 : 200 000, leur étude par coupes transversales et longitudinales montrent la succession de phases de remblaiement et d'érosion. Dans les dépressions subcarpatiques des Fogarash, le plissement des couches de Căndesti à Cămpullung prouve la continuation de mouvements du sol jusqu'au début du Quaternaire. A partir de la Dâmbovitza, les dépressions correspondent à l'extension du Salifère fortement disloqué. Le long du Teleajen, je suis plusieurs terrasses étagées, dont l'altitude relative augmente vers l'amont, atteignant presque 200 mètres, et j'y note deux ruptures de pente incontestables. Mêmes constatations le long de la Prahova (fig. 1) et de la Doftana : la terrasse inférieure apparaît ici en continuité avec la plaine et les graviers quaternaires de Bucarest, datés par des fossiles. Les lignes de rupture de pente encadrent exactement la dépression subcarpatique. Dans la dépression de Vrancea, la déformation des terrasses de la Putna est particulièrement évidente; la haute terrasse, dont l'altitude relative atteint 200 mètres au Dealu Burdacu, se raccorde manifestement avec la plaine. En définitive, nous voyons que partout les terrasses quaternaires *divergent vers l'amont et sont brisées par des ruptures de pente*. Ces ruptures de pente s'alignent le long de deux axes parallèles aux plissements du flysch, nouvelle preuve de leur origine tectonique.

Le contraste entre la jeunesse des dépressions subkarpatiques de Munténie et l'ancienneté des dépressions d'Olténie reflète celui de la zone du flysch récemment plissée et du massif ancien des Alpes de Transylvanie. Des deux côtés il y a eu formation d'un réseau hydrographique longitudinal et évolution vers la maturité. En Olténie on trouve des traces de cette évolution dès le Plaisancien. Les cailloutis rubéfiés couvrent encore des surfaces considérables.

Depuis cette époque, la zone subkarpatique n'a presque pas bougé à l'ouest du Jiu, peut-être même s'est-elle récemment affaissée. A l'est du Jiu, elle a subi au contraire un exhaussement qui a déterminé une dislocation du réseau longitudinal et des captures. En Munténie les épisodes anciens sont moins bien conservés. Le Levantin a été affecté par les derniers mouvements orogéniques, qui ont soulevé la zone du flysch. Il est déjà plissé synclinalement à Câmpulung. Au nord de Râmnicu-Sarat, il forme un talus incliné de 25° et sa surface structurale a disparu, sauf sur une bande large de 2 à 5 kilomètres, de Râmnicu à Panciu. Par contre, nous trouvons la trace d'épisodes récents très instructifs. A deux reprises, des terrasses se sont formées, mais les derniers contre-coups des plissements ont soulevé la bordure karpatique, déformé les terrasses et ranimé l'érosion qui est encore occupée à raviner la zone salifère.

Ces conclusions permettent d'aborder la montagne. Mais, avant d'étudier les hauts sommets, il vaut mieux examiner avec quelque détail la région que j'appelle, avec Mrazec, le *Plateau de Mehedinzi*, fragment des collines subcar-

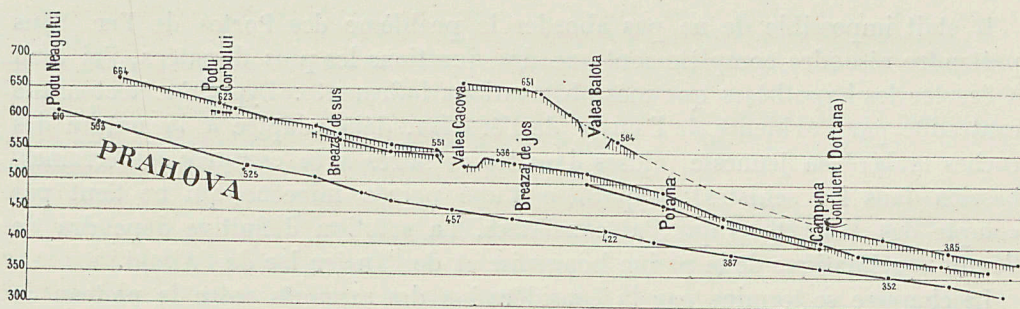


Fig. 1. — Profil du thalweg et des terrasses de la Prahova, montrant la convergence des terrasses vers l'aval et leurs ruptures de pentes.

patiques d'après son altitude (en moyenne 500 mètres), fragment des Carpates par sa structure géologique. C'est une table surprenante par son horizontalité, rappelant la Bretagne, découpée par des vallées profondes et étroites. Le sous-sol, très varié, y révèle des plissements énergiques. L'horizontalité du plateau n'a pas d'autre explication possible qu'un aplanissement par l'érosion. C'est une pénéplaine dont la surface a été de nouveau attaquée par creusement des thalwegs à la suite d'un déplacement relatif du niveau de base. Ce caractère de pénéplaine est confirmé par l'épaisseur des arènes avec sol noir sur les schistes cristallins et par la présence de cailloutis sur les plus hauts sommets, en liaison avec les terrasses supérieures de la zone des collines (cailloutis de Dealu Oiescului). J'en ai suivi la continuation en Serbie dans le Miroci planina.

Le rajeunissement de la topographie présente des caractères différents suivant la nature des roches. C'est sur les schistes noirs que la pénéplaine est le mieux conservée quand on s'éloigne des vallées principales. Dans les calcaires, on observe tous les phénomènes classiques du karst : lapiés, dolines, avens, poljés, lacs temporaires ; un curieux exemple de capture par érosion souterraine est noté entre la Bahna et la Topolnitza.

Pour fixer l'âge de la pénéplaine, il était nécessaire de reprendre l'étude des petits bassins tertiaires, dont on avait tiré argument pour imaginer un réseau de vallées creusées avant le Néogène. En compagnie de G. M. Murgoci, j'ai levé

plusieurs coupes des bassins de Ponoare, Bahna, Doubova et Milanovac. Partout, le Néogène s'est montré fortement disloqué. A Bahna, on constate une terrasse correspondant à un ancien cours de la rivière. Voilà la conclusion générale :

Les couches miocènes ont, dans le plateau de Mehedintzi et les montagnes serbes qui lui font suite, un caractère littoral ou continental prédominant. Elles ne représentent que les restes infimes de dépôts jadis beaucoup plus étendus et soumis à des dislocations intenses. Il semble donc tout à fait illusoire d'essayer de reconstruire les anciens golfes ou vallées miocènes et encore plus d'en tirer des conclusions sur un ancien Danube.

En particulier, il est évident que l'on ne peut conclure de l'altitude où on trouve ces dépôts à un creusement correspondant des vallées à l'époque miocène. La pénéplaine du plateau de Mehedintzi et du Miroci planina doit être évidemment plus récente que le Miocène, qu'elle a dû niveler au même niveau que les schistes cristallins. Sa dissection ne peut être plus ancienne que le Pliocène récent.

Il était impossible de ne pas aborder le problème des Portes de Fer. Sans prétendre résoudre complètement une des questions les plus discutées, j'ai tenu à écarter les hypothèses que mes observations infirment : hypothèse tectonique contredite par l'évidence de l'œuvre de l'érosion, déjà adaptée à la nature des roches malgré sa jeunesse (cluses dans les calcaires avec captures souterraines, bassins dans les schistes); hypothèse d'une percée miocène, qui ne tient pas compte des dislocations que j'ai constatées. La solution définitive dépendra de l'étude systématique de la plaine hongroise et de l'ancien lac de l'Alföld.

Le chapitre se termine par la considération des rapports entre le plateau de Mehedintzi, la plate-forme de Gornovitza et les collines tertiaires. Il en résulte une conclusion très importante pour la suite : la partie orientale du plateau est une pénéplaine fossile d'âge miocène, qu'on voit plonger sous les dépôts tertiaires des collines. Partout ailleurs cette pénéplaine, disloquée avec les petits bassins tertiaires, a disparu, et le plateau représente l'équivalent de la plate-forme de Gornovitza, dont il est séparé au Nord par un abrupt dû, en partie à la formation du synclinal subcarpatique, en partie à l'érosion quaternaire.

Toutes les conclusions établies jusqu'à présent reposent à la fois sur des arguments topographiques et géologiques. Dans la haute montagne, l'absence de formations géologiques récentes obligera souvent à se contenter de l'analyse topographique.

L'aspect du plateau de Mehedintzi est, toutes proportions gardées, celui de tous les hauts massifs des Alpes de Transylvanie. Au-dessus de vallées profondes de plus de 1 000 mètres, encaissées, torrentielles, où l'érosion est en pleine jeunesse, on débouche partout sur des croupes arrondies, montant très régulièrement et parallèlement les unes aux autres, ou même sur de véritables plateaux faiblement ondulés, où l'érosion est endormie et où les rivières naissent dans des dépressions tourbeuses. L'explication est la même : la *plate-forme des hauts sommets* doit être la trace d'une ancienne pénéplaine, disloquée et portée à 2 000 mètres. Je lui ai donné le nom de *plate-forme Boresco*, d'après le massif où elle est le mieux développée et où elle tranche de la façon la plus évidente des couches variées, toutes redressées et fortement plissées. On ne peut évidem-

ment y rattacher toutes les surfaces du même genre que l'on rencontré à des altitudes différentes. J'ai reconnu l'existence d'une plate-forme évidemment plus récente, appelée, pour une raison analogue, *plate-forme Riu Ses*. La *plate-forme de Gornovitza*, déjà reconnue, doit être mise à part. Deux longs chapitres sont consacrés à suivre ces surfaces pas à pas à travers tous les massifs des Alpes de Transylvanie, en s'appuyant sur un très grand nombre de dessins panoramiques exécutés à la chambre claire et sur des croquis, des mesures barométriques, des photographies.

Dans le Massif banatique, la plate-forme Boresco est remarquablement développée (fig. 3, C).

Le Boresco... est une table isolée de trois côtés, qui n'est guère accessible que du sud, par les crêtes du Paltin et du Galben. On peut errer indéfiniment dans le brouillard sur ce plateau herbeux dépourvu de tout relief, jusqu'au moment où l'on se trouve au bord d'un précipice insondable et où un coup de vent balayant les nuages vous montre l'abîme béant d'un cirque entaillé sur les flancs abrupts de la montagne. Entre le point le plus bas et le plus haut du plateau, la différence n'est que de 100 mètres. Des vallonnements indécis à sol tourbeux sont le seul accident topographique. Si on les suit vers l'aval, on les voit finir brusquement, ou passer à une gorge, par où les eaux se précipitent en cascade. Ce sont les traits de l'ancienne topographie non encore accommodés au nouveau cycle d'érosion.

On retrouve la plate-forme Boresco dans le Godeanu et le Retiezat occidental, où elle est dominée par des témoins d'érosion, de même que dans le Gugu. C'est dans le Tzarco que se montre la plate-forme Riu Ses, définie par la topographie de la haute vallée ainsi nommée.

Le fond de cette cuvette, suspendue de tous côtés au-dessus des abîmes creusés par le cycle d'érosion récent, paraît encore occupé par des alluvions anciennes. La roche en place s'y dissimule en effet sous une épaisseur notable de produits de décomposition plus ou moins charriés.... La disposition du réseau hydrographique est aussi paradoxale que celle du relief. Le Riu Ses est fortement menacé de capture des deux côtés. Déjà il a été vraisemblablement victime de la Cerna par Valea mare. La capture est en train de s'accomplir du côté du Hideg par Ogasul Branului. Un étang qui s'écoule tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, en marque la place au col coté 1702.

Réduite à un couloir, où sa topographie s'est remarquablement conservée, vu l'éloignement du niveau de base, la plate-forme Riu Ses s'étale sur le bord Nord du Retiezat, où le voisinage du bassin de Hatzeg a amené sa dissection par des vallées parallèles. L'abrupt qui tranche toutes les crêtes présente les facettes caractéristiques des escarpements de faille disséqués. Une coupe levée dans la vallée du Sibisel montre que les couches tertiaires sont réellement disloquées sur le bord de la montagne, y compris les graviers pliocènes de Plostina.

Dans le bassin de Petroseni, on reconnaît à la fois la plate-forme Riu Ses et une plate-forme plus récente, nivelant à la fois le Tertiaire plissé à 1000-1100 mètres, et quelques points du bord cristallin; c'est l'équivalent de la plate-forme pliocène de Gornovitza.

Les monts du Vulcan offrent le plus grand développement de la plate-forme Riu Ses, dominée par quelques témoins de la plate-forme Boresco. Elle-même disparaît sur le bord Sud de la montagne, par suite de l'extension de la plate-

forme de Gornovitza, au niveau de laquelle on voit s'ouvrir les vallées anciennes.

Le classement des formes topographiques suivant leur âge relatif répond au but le plus important de l'enquête morphologique. Mais on peut et on doit désirer voir préciser l'âge relatif de chaque cycle d'érosion.

Nous avons déjà vu par l'étude des dépressions subcarpatiques et du plateau de Mehedintzi que la plate-forme de Gornovitza est pliocène. La plate-forme Riu Ses est miocène, probablement d'âge pontien. Elle est disloquée dans le plateau de Mehedintzi et sur le bord du Retiezat, ainsi que dans le bassin de Petro-seni, où le Miocène est plissé, simplement gauchie dans les monts du Vulcan. Pour l'âge de la plate-forme Boreasco, j'ai suggéré le Danien.

L'étude du Massif transylvain est rendue plus délicate par l'absence de cartes topographiques sur presque toute l'étendue du territoire roumain, qui en occupe la plus grande partie. Dans le Paringu, mes levés m'ont mis à même de reconnaître la plate-forme Boreasco formant les hauts sommets, la plate-forme Riu Ses étalée sur le bord méridional et des traces de la plate-forme de Gornovitza. Dans le massif du Căndrelu, les cartes autrichiennes permettent de suivre la grande extension de la plate-forme Riu Ses, plongeant doucement vers le Nord-Ouest sans dislocation; le Riu Sebes est manifestement surimposé. L'étude topographique et géologique du bassin de Brezoiu-Titesti conduit à des conclusions importantes : les trois plates-formes y sont représentées; la plate-forme Riu Ses est brisée par une dislocation affectant le flanc Nord de l'anticlinal du Cozia. Dans les monts de Fogarash, ce que j'avais appelé « la dépression centrale » est une zone de crêtes arrondies représentant la plate-forme Riu Ses. La chaîne du Ghitzu doit probablement son relief à une dislocation. Le massif du Jeseru rappelle le Paringu par l'extension de la plate-forme Boreasco. Dans le Bucegi, les sommets paraissent correspondre à la plate-forme Riu Ses nivelant les conglomérats sénoniens et portée à des altitudes qu'elle n'atteint nulle part ailleurs; nous touchons aux Carpates de Flysch, dont la tectonique n'était pas encore débrouillée quand j'achevais mon travail, mais où je devinais déjà une grande extension de la plate-forme de Gornovitza.

Les résultats de cette analyse sont synthétisés par deux cartes que j'ai réussi à combiner en étendant la représentation à tout le Banat, d'après mes recherches ultérieures, dans mon ouvrage sur l'*Europe centrale* (c'est cette dernière carte qui est reproduite ici, fig. 2). La première fixait l'extension des trois niveaux d'érosion. La seconde essayait de représenter la plate-forme la plus continue, la plate-forme Riu Ses, c'est-à-dire son altitude actuelle, résultant en grande partie des mouvements du sol postérieurs à sa formation.

A la lumière de ces conclusions, il est possible d'apporter une solution au problème des vallées transversales. Avant d'y être arrivé, j'avais marché un peu à tâtons, et tous mes efforts, comme ceux de mes prédécesseurs, n'avaient abouti qu'à éclairer quelques détails.

Le cas du Jiu est le plus simple. Sa gorge présente plusieurs terrasses, dont

l'étude ne conduit qu'à un résultat : la percée existait dès le Quaternaire ancien, car ces terrasses se rattachent à celles de Petroseni d'un côté, à celles de Bumbesti de l'autre. En montant sur les crêtes dominantes, on reconnaît que la gorge est entaillée dans la plate-forme Riu Ses, qui remonte du bassin de Petroseni, sans toutefois traverser entièrement la montagne, indiquant que le fleuve s'écoulait vers le Nord au moment de sa formation. On peut donc fixer l'âge de la capture au Pliocène. L'agent en a été le Sadu, actuellement encaissé dans une

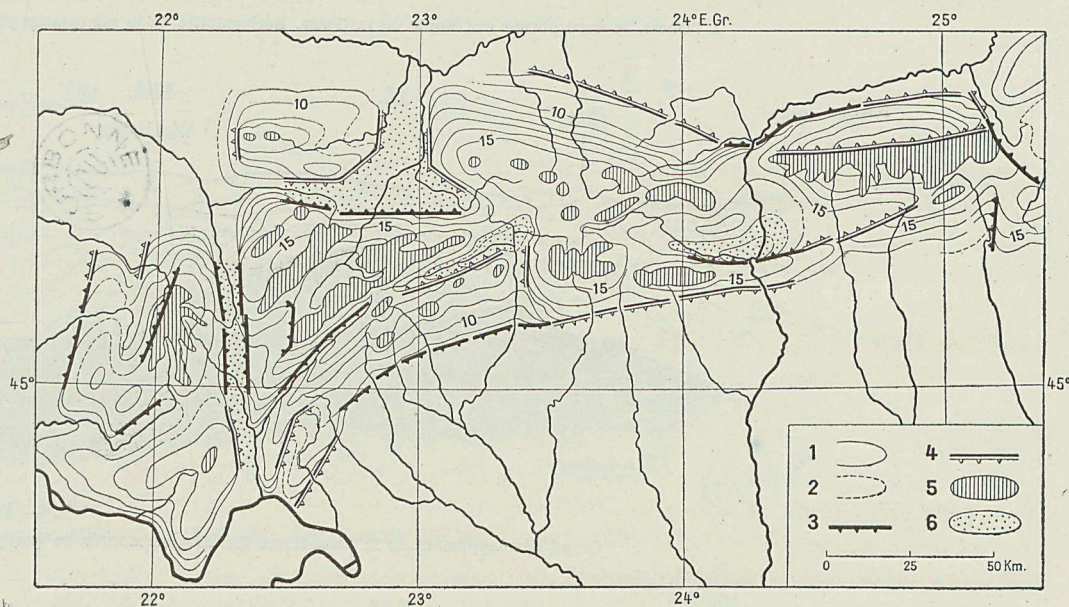
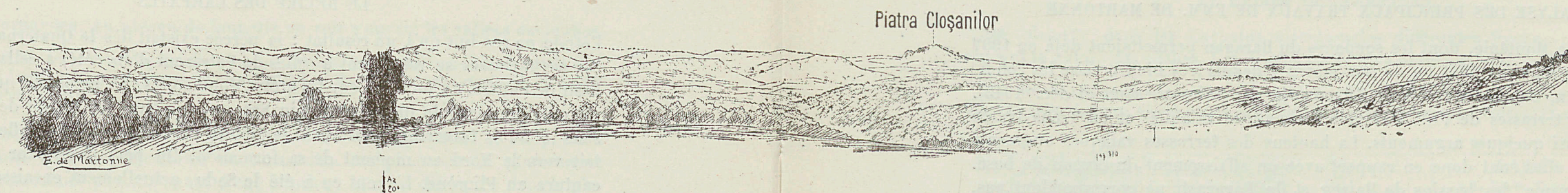


Fig. 2. — Déformation et dislocations du Massif Transylvain-Banatique.

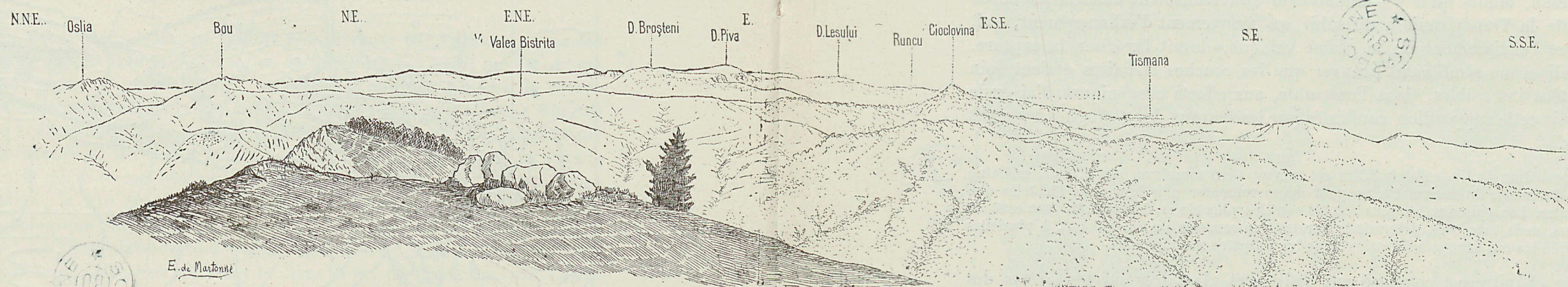
1, Courbes de 100 en 100 mètres, exprimant la hauteur moyenne actuelle des témoins de la plate-forme d'érosion miocène (plate-forme Riu Ses). — 2, Mêmes courbes, restituées là où cette plate-forme n'a pas laissé de traces. — 3, Faille affectant la plate-forme Riu Ses. — 4, Flexure affectant la plate-forme Riu Ses. — 5, Témoins de la plate-forme éocène (Boreasco). — 6, Dépressions de la plate-forme (fossés ou cuvettes). — Échelle, 1 : 2 250 000.

vallée pliocène très mûre. La cause en est, ainsi que je l'ai indiqué dès 1899, le développement de la dépression subcarpatique, qui semble s'être encore affaissée à la fin du Pliocène vers Târgu Jiu, comme l'indique un sondage. Mais il faut y ajouter le gauchissement de la plate-forme Riu Ses, plus élevée dans le bassin de Petroseni que dans le Surduc. Le bassin de Hatzeg, niveau de base de l'ancien Jiu décapité, ne pouvait lutter contre le niveau de base de Târgu Jiu; il résulte de l'étude de ses terrasses que son fond était, au Pliocène, plus élevé qu'actuellement. Il n'a été déblayé que depuis l'assèchement du lac de l'Alföld.

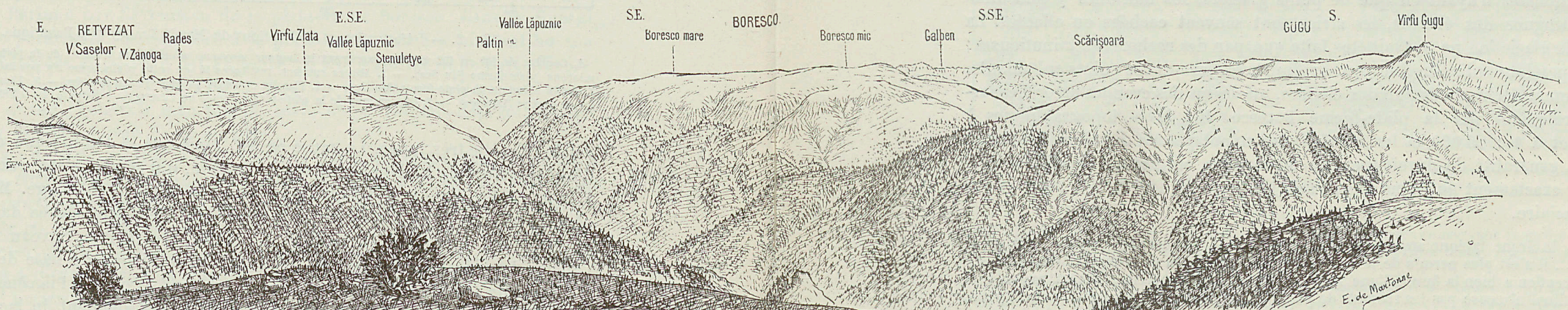
L'étude de l'Olt s'inspire des mêmes idées, mais oblige à élargir encore le champ des investigations. Les terrasses du bassin de Brezoiu montrent l'ancienneté relative de la percée. D'après l'extension et l'allure des niveaux d'érosion, l'écoulement vers le Nord avait subsisté jusqu'au Pliocène (plate-forme de Gornovitz). L'appel d'érosion qui a amené la capture s'explique par l'affais-



A. — Panorama du Plateau de Mehedinți vu de Dealu Nievutzu.
A l'Ouest, le bord abrupt des Monts de la Cerna. Horizontalité de la pénéplaine pliocène surmontée par quelques témoins d'érosion calcaires. — A l'Est, les hauteurs de Dealu Oiescului (rebord de la pénéplaine miocène).



B. — Panorama des Monts du Vulcan, vus de Piatra Cloșanilor.
Grand développement de la plate-forme Riu Ses, surmontée de quelques témoins d'érosion (Cioclovina, Dealu Broșteni). Descente régulière et continue des crêtes, qui en sont la trace, du N. au S.



C. — Panorama des hauts sommets du Massif banatique, vu de Virfu Blojului dans le Tzarco.
Continuité de la plate-forme des hauts sommets, ou plate-forme Boreșco, dans le Gugu, le Boreșco et le Retezat oriental. Jeunesse des vallées (Lapuznic). Cirques glaciaires découpant les crêtes du Galben et du Retezat, qui dominent la plate-forme des hauts sommets.

Fig. 3. — Panoramas des Carpates méridionales, dessinés à la chambre claire par Emm. de Martonne.

sement de la Munténie, dont les sondages du Baragan permettaient déjà en 1907 de faire la preuve et dont un de mes élèves a depuis très bien précisé les conditions (Valsan, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, nov. et déc. 1913). L'étude des terrasses de l'Olt à travers les collines valaques et en Transylvanie apporte aussi quelques arguments. La hauteur des terrasses valaques augmente vers l'aval, elles sont donc en rapport avec un affaissement du niveau de base. En Transylvanie, les bassins de Hatzeg et de Fogarash ne correspondent pas, comme on l'a cru, aux anciens lacs levantins, mais ils sont dus, comme le bassin de Hatzeg, au déblaiement par l'érosion. Cette érosion continue dans le bassin de Fogarash, tandis qu'il y a maintenant alluvionnement dans la plaine de Brasov. Toute la Transylvanie a dû subir un mouvement d'exhaussement, qui, combiné avec l'affaissement de la plaine valaque, devait favoriser la capture. Quelques indices me semblaient prouver que les couches tertiaires étaient loin d'y être restées insensibles, dans l'ensemble, aux efforts orogéniques. J'ai eu le plaisir de voir cette supposition confirmée par les travaux des géologues hongrois et roumains.

Comme le problème du Jiu, celui de l'Oltu est une question complexe, dont l'étude entraîne bien au delà du bassin du fleuve. On ne peut guère remonter plus loin dans l'histoire que jusqu'au Miocène. Les épisodes les plus récents sont les plus clairs, les plus anciens sont les plus incertains, mais tous sont déterminés par les mouvements du sol qui ont, à plusieurs reprises, modifié les conditions de l'érosion dans les Karpates méridionales.

Le dernier chapitre est consacré aux influences glaciaires sur les formes des hauts sommets. Il condense, sous une forme extrêmement succincte, de nombreuses publications et les résultats inédits d'une nouvelle campagne. Les Karpates méridionales n'ayant eu que de petits glaciers, les moraines y sont difficiles à distinguer des éboulis, les stries sont souvent cachées ou effacées. La preuve de la glaciation ne pouvait être faite que par des recherches minutieuses; elle était cependant indispensable pour expliquer les formes des points culminants, si curieusement déchiquetés par des cirques, au-dessus des croupes arrondies formées généralement par la plate-forme Boreasco. Mes levés topographiques à 1 : 10 000 et à 1 : 25 000 et les reliefs qu'ils m'ont permis d'établir ont rendu évidente la généralité du développement des cirques, ont permis de définir cette forme plus exactement qu'on ne l'avait fait jusque-là et ont servi à prouver son origine glaciaire.

Vu de loin, le cirque typique apparaît comme une niche ou une carrière creusée au flanc de la montagne... il n'est plus permis de le confondre avec un bassin de réception torrentiel. Le bassin de réception a bien la forme d'une niche, mais le profil transversal n'y est pas en U, le profil longitudinal n'accuse pas les ressauts de pente du cirque, surtout les contre-pentes y sont connues. Sa forme générale est celle d'un entonnoir, le cirque est une cuvette à fond bossué. Autrement dit, les lignes de plus grande pente convergent dans le bassin de réception vers un point unique, qui est l'origine du canal d'écoulement; dans le cirque elles viennent buter contre une ligne de rupture de pente circulaire marquant le pied des escarpements.

... Ces escarpements sont dus à la décomposition mécanique et aux éboulements qui en résultaient quand les hautes vallées étaient occupées par les névés. Ils n'auraient pu se former dans un bassin de réception torrentiel et leurs éboulis, au lieu d'être emportés sous forme de moraines, seraient restés à leur pied, comme la chose a lieu depuis le retrait des glaciers.

éternelles (en moyenne 1 900 mètres), ses variations suivant l'exposition et l'altitude moyenne, ainsi que la longueur des langues glaciaires n'excédant pas 6 à 8 kilomètres. J'ai pu même, pour le Parângu, dresser la carte des anciens glaciers.

Il est impossible de résumer tous les détails donnés sur chaque massif. Je reproduis seulement la conclusion morphologique du chapitre.

L'aspect des Karpates a été plus ou moins modifié suivant l'intensité de la glaciation. Le type qui prévaut est celui que nous avons appelé le type Boresco : la plate-forme des hauts sommets s'est conservée, frangée de cirques (Boresco, partie du Retiezat, Tzarco, Godeanu, Parângu, Surian et Cindrelu, Bucegi et partie orientale des Fogarash). Lorsque la plate-forme des sommets est très élevée avec des témoins d'érosion anciens, et que des vallées bien développées ont préparé la place nécessaire aux névés, les cirques se multiplient, réduisant la crête principale et souvent même ses contreforts à des arêtes vives déchiquetées, tandis que les vallées surcreusées avec cirques suspendus sur leurs flancs découpent la montagne sur une largeur de 5 à 10 kilomètres. C'est le type Fogarash, qui domine dans la chaîne du Négoiu, le Retiezat central et une partie du Parângu.

La conclusion générale de l'ouvrage revient sur le résultat d'ensemble le plus neuf et le plus important, en le rapprochant des faits du même ordre mis en lumière ailleurs, et soulève la question du mécanisme des mouvements épirogéniques. Les cycles d'érosion successifs qui ont modelé les Carpates méridionales supposent un mouvement d'exhaussement en masse, plusieurs fois repris, accompagné d'ailleurs de cassures ou flexures marginales des blocs, de plissements des assises tertiaires récentes et d'affaissement des plaines voisines.

On me permettra d'indiquer que ces conclusions ont été généralement admises et signalées dans maints comptes rendus comme un progrès sensible dans la connaissance morphologique des Carpates. L'existence de surfaces d'aplanissement a été constatée, soit en même temps, soit postérieurement à mes premières publications, dans les Carpates de la Galicie maintenant polonaise et dans la Transylvanie par Rudnickij et L. Sawicki¹. La coïncidence est significative, qu'elle soit due ou non à l'influence de mes idées. Tous les travaux sur la morphologie des Carpates méridionales ont, en tout cas, suivi dans les vingt dernières années la voie que j'avais indiquée. Mes observations sur les terrasses disloquées ont été récemment confirmées par une étude de la Prahova et du Teleajen beaucoup plus minutieuse que celle que j'avais pu faire jadis (Weymuller, dans *Ann. de Géographie*, 1934).

De nouveaux voyages dans la Roumanie agrandie depuis 1918 m'ont permis de compléter les conclusions de ma Thèse, en m'offrant l'occasion d'étudier en détail le massif du Bihor et les montagnes du Banat jadis hongrois. J'en résume les résultats d'après le Mémoire de l'Institut de Géographie de Cluj.

1. RUDNICKIJ, Beiträge zur Morphologie des galizischen Dniestrgebietes (*Jahresber. aus Oesterreich*, 1908). — L. SAWICKI, Die jüngeren Krustenbewegungen in den Karpaten (*Mitteil. Geolog. Gesellschaft Wien*, 1909) et Beiträge zur Morphologie Siebenbürgens (*Bull. Acad. des Sc. Cracovie*, 1912).

RÉSULTATS SCIENTIFIQUES DES EXCURSIONS
DE L'INSTITUT DE GÉOGRAPHIE DE L'UNIVERSITÉ DE CLUJ

Il s'agit de recherches faites au cours de nombreuses excursions autour de Cluj, en 1921, pendant un semestre d'enseignement à cette Université, où j'avais accepté d'organiser un Institut de Géographie, et d'une campagne de trois mois, faite en compagnie d'élèves avancés, à travers toute la Transylvanie.

Le massif du Bihor avec les hautes collines qui le bordent du côté du Bassin de Transylvanie offre un champ d'études d'un intérêt exceptionnel. La carte topographique à 1 : 75 000 de l'ancienne Autriche-Hongrie, doublée par un certain nombre de feuilles géologiques à la même échelle, donne des bases solides, qui m'avaient fait défaut en Valachie.

La structure géologique du Bihor est d'une complication extrême, offrant des échantillons de toutes les formations connues dans les Carpates : granites, gneiss et schistes cristallins, Permien à faciès de Verrucano, série calcaire d'âge secondaire, flysch crétacé, sédiments paléogènes et néogènes, roches éruptives anciennes et récentes. Les formes dominantes sont pourtant, malgré l'altitude qui approche de 2 000 mètres, celles de hautes plates-formes généralement découpées en crêtes.

Suivant la même méthode que pour les Alpes de Transylvanie, j'envisage d'abord le contact de la montagne avec les collines tertiaires. Du côté de Cluj, les hauteurs sarmatiques atteignent 700 à 800 mètres d'altitude, et les vallées sont creusées de 300 à 400 mètres. On distingue des « côtes » typiques, un petit « Bray » même, dû à un bombement; mais les versants des grandes vallées montrent aussi des niveaux d'aplanissement non structuraux, dont un (postérieur au Sarmatique et vraisemblablement pliocène) atteint au Nord le bord de la montagne.

Les couches tertiaires buttent parfois par faille contre le massif ancien, mais généralement on peut les suivre montant sur les croupes granitiques jusqu'à 1 000 mètres et plus. On atteint ainsi le niveau d'une plate-forme d'érosion typique, qui se raccorde avec les formes de maturité du Haut-Bihor, sinon le long du Somes, au moins en quelques points privilégiés. La « plate-forme de Farcaș », dénommée d'après la localité où j'ai précisé ces relations, est l'équivalent de ma « plate-forme Boreasco » des Alpes de Transylvanie, dont l'âge est ici enfin fixé par la couverture éocène. Cette couverture commence en effet par un dépôt éluvial latéritisé (argiles rouges ou bariolées et arènes très rubéfiées) que surmontent des couches à *Nummulites perforata*. Il s'agit d'une « pénéplaine fossile », comme celle que j'ai décrite sur le bord du Morvan (95).

Mais une analyse minutieuse montre qu'elle n'est pas identique à la majorité des surfaces d'aplanissement du Bihor; la « plate-forme Mărișel », ainsi nommée du village qui y allonge ses maisons pendant plusieurs kilomètres non loin de Farcaș, recoupe visiblement la pénéplaine fossile éocène, sous un angle parfois si faible qu'on ne peut distinguer les deux surfaces, mais souvent de façon très nette. Il est possible en effet, comme je l'ai montré, de suivre les déformations et

massifs plus étendus dont l'édification a duré pendant la plus grande partie du Néogène, car on rencontre les tufs andésitiques bien au-dessous des crêtes (jusqu'à 700 mètres au moins). C'est au cours des cycles d'érosion les plus récents que les masses de laves actuellement en saillie ont été dégagées des formations moins résistantes.

La bordure méridionale du Bihor est caractérisée par l'extension de dépressions assez vastes, qui ont été remblayées jusqu'à 500 mètres par le Néogène, et par de nombreux cas de gorges épigéniques dues au recreusement. Les formes d'aplanissement remarquables le long de la vallée du Mures y sont rapportées au Pliocène.

L'étude de la bordure orientale du Bihor au Sud de Cluj révèle des compli-

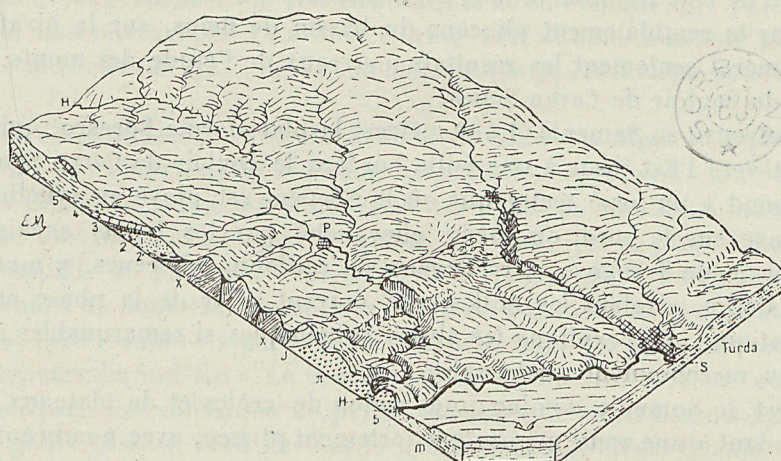


Fig. 6. — Diagramme des cluses épigéniques du Hesdat et du Tur, et du synclinal éocène d'Agriș.

M, Le Mures. — H, Le Hesdat. — T, Village de Tur. — P, Village de Petridu. — X, Schistes cristallins. — J, Calcaire secondaire. — π , Porphyres de Turda. — 1 à 5, Éocène : 1, argiles bariolées inférieures; 2, couches à *Nummulites perforata*; 3, argiles à huîtres; 4, calcaire grossier inférieur; 5, argiles rouges supérieures. — m, Miocène.

cations fort intéressantes. On est d'abord frappé par les barres calcaires percées de cluses étroites qui introduisent dans le paysage une note pittoresque. Une partie de ces cluses sont sèches et restent à 200 mètres ou plus au-dessus des vallées actuelles. Leur altitude permet de les considérer comme des témoins de la surface développée au Miocène (plate-forme des Motzi). A Turda, une dernière crête (Kövesbereg) apparaît sciée par un véritable canyon, mais elle s'efface rapidement au Nord, noyée dans les croupes néogènes. L'analyse détaillée fait voir dans la gorge du Hesdat un des exemples les plus typiques d'épigénie; à côté, son affluent le Tur, creusant encore sa vallée dans le Néogène, indique comment le Hesdat a commencé. On démontre aussi que la crête du Kövesbereg n'est pas une forme structurale, mais le témoin d'une surface d'érosion tranchant le contact du calcaire avec le cristallin, et qui est datée du deuxième âge méditerranéen, par des conglomérats calcaires identiques au calcaire de la Leitha. Mais le remblaiement sarmatien a noyé entièrement la croupe, et les épigénies datent du

recreusement pliocène. La dernière vague d'érosion partant du Mures s'est brisée sur la barre calcaire, laissant les vallées en amont au stade pliocène, suspendues à 200 mètres au-dessus des thalwegs des vallées maitresses (fig. 6).

Toute l'histoire du Bihor est résumée dans trois diagrammes, représentant, sous la même perspective, le relief, la carte géologique et une carte de l'extension des surfaces d'érosion, avec leur altitude et leurs dislocations.

Il a paru bon d'insister sur une démonstration qui a pu être poussée plus loin que les essais d'interprétation antérieurs des Alpes de Transylvanie, mais qui n'aurait sans doute pu être faite sans la préparation que ces essais ont fournie.

Je laisse de côté les observations sur les formes karstiques du Haut-Bihor occidental, sur le remblaiement pliocène du bassin de Beius, sur la nivation, etc., et je résumerai seulement les résultats nouveaux de l'étude des monts du Banat à l'Ouest du couloir de Caran Sebes.

J'y ai retrouvé au Semenik (1 400 mètres) la plate-forme Boresco, qui s'abaisse lentement vers l'Est jusqu'à une faille bordant le couloir de Caran Sebeş. Celui-ci correspond à un fossé tectonique où le Néogène est ployé en synclinal, fortement relevé sur le bord ou même chevauché par les horsts encaissants. La « plate-forme de Teregova », recouverte de cailloutis pliocènes, y mord parfois sur le cristallin, nivelant les failles, qui doivent dater de la phase orogénique pré-sarmatique; on s'explique les cluses épigéniques si remarquables du Temes, œuvre du recreusement quaternaire.

A l'Ouest, le Semenik domine une région de crêtes et de plateaux calcaires, correspondant à une zone mésozoïque fortement plissée, avec nombreux contacts anormaux. Les crêtes, alignées suivant les orientations tectoniques, sont cependant toutes à des altitudes concordantes et paraissent la trace d'une surface d'érosion d'âge tertiaire. Elles surmontent un plateau rappelant par son uniformité le plateau de Mehedintzi en Valachie, éventré de gorges parfois sèches, ou criblé de dolines, mais s'inclinant régulièrement à l'Ouest, pour se prolonger par une surface mamelonnée sur les schistes cristallins, qui plongent sous le Pliocène. Cette « plate-forme du Caras » paraît donc l'équivalent de la plate-forme de Gornovitza de l'Olténie.

Ainsi se trouvent précisées et complétées, par l'extension des observations à des régions que mes premières campagnes n'avaient pu toucher, les traits généraux de la géographie physique des Carpates méridionales.

SYNTHÈSE MORPHOLOGIQUE DES CARPATES.

Encouragé par les conclusions concordantes de collègues étrangers ayant étudié le Nord de la chaîne carpatique, j'ai fait à plusieurs reprises des reconnaissances de ce côté, en vue d'un essai de synthèse morphologique. J'en ai publié seulement quelques résultats, notamment sur la Haute-Tatra, où j'ai prouvé de façon indiscutable l'existence de deux glaciations distinctes (67). Une première vue d'ensemble a été donnée, comme résumé de conférences faites en Amérique, au Bulletin de la Société de Géographie de New York (80). Mais c'est seulement après de nouveaux voyages en Tchécoslovaquie et en Pologne que j'ai, dans un chapitre de mon ouvrage sur l'*Europe centrale* (122) et dans une note présentée à l'Académie des Sciences (124), dressé un tableau que je crois assez près de l'exactitude.

La chaîne carpatique diffère profondément de celle des Alpes et représente un type original de « chaîne alpine ». Pas de zones géologiques continues, des masses cristallines isolées, des lambeaux mésozoïques étirés, de nombreux massifs éruptifs. Mais surtout un morcellement singulier du relief, qui va jusqu'à une brisure presque complète de l'arc par l'extension de la plaine de la haute Tisza, réduisant la chaîne à un bourrelet de collines, large de 100 kilomètres et haut de 500 à 600 mètres. Cette coupure sépare ce que j'appelle les « Carpates du Nord-Ouest » et les « Carpates du Sud-Est ». La première montagne offre, derrière un front de chaînes de flysch, une mosaïque de petits massifs et de petits bassins. La seconde a aussi de petits bassins, mais surtout le grand Bassin de Transylvanie, isolé par un arc continu à l'Est et au Sud et par le massif du Bihor à l'Ouest. On peut cependant établir l'unité de l'édifice carpatique.

A noter, d'abord, la continuité de la zone externe du flysch, formant un arc très accusé. En arrière règne le régime des nappes de charriage mises en place à la fin du Secondaire, partout rabotées par une surface d'érosion qu'ont fossilisée les dépôts éocènes normalement transgressifs (aussi bien dans la Tatra elle-même que dans le Bihor et la Rodna, etc.). Partout, un morcellement précoce dû à des tassements le long de failles ou flexures et accompagné de volcanisme au Néogène; partout, des plates-formes d'érosion, en partie littorales, en partie fluviales, partiellement recouvertes de sédiments, puis dégagés, avec, comme conséquence, des percées épigéniques nombreuses.

Le morcellement et le bossellement de la zone interne s'accompagnent d'un accroissement de la zone externe, dont les plis progressent vers l'extérieur en augmentant le volume, l'extension et le rayon de courbure de l'arc. La zone externe est la zone vivante (terrasses quaternaires disloquées, comme je l'ai montré en Munténie). La zone interne est celle qui donne la variété des aspects régionaux. Au Nord-Ouest, petits bassins et petits blocs, captures fluviales et gorges épigéniques à chaque pas, altitude moyenne inférieure, quoique la Tatra offre le point culminant de toute la chaîne. Au Sud-Est, le vaste Bassin de Tran-

sylvanie, dont les assises néogènes sont gondolées avec des plis diapirs, pays de collines burinées depuis le Quaternaire par des vallées profondes, l'érosion partant des lacs levantins qui baissaient de niveau du côté pannonique et du côté valaque.

La plaine de la haute Tisza est l'image de ce que ce Bassin Transylvain a dû être avant ces érosions. Son affaissement a continué jusqu'au Quaternaire le plus récent, et on y voit les rivières se rassembler comme dans un ombilic entre Munkacevo et Tokaj à l'altitude étonnamment basse de 100 mètres. Nous touchons au point le plus faible de l'édifice carpatique.

En tous cas, le rapprochement des faits révélés par les études géologiques et géographiques dans les différents segments des Carpates paraît justifier l'idée d'une chaîne unique, malgré la diversité des aspects et le morcellement. Cette chaîne est bien différente des Alpes, surtout parce qu'elle est entrée depuis le début du Néogène dans une phase de décadence, que n'ont arrêtée ni les mouvements locaux de la zone interne, ni la progression du front des plis de flysch de la zone externe.

Il faut noter que les Alpes orientales ressemblent, en Styrie et Carinthie, aux Carpates, comme je l'ai noté dès 1911 (67) : même régime de blocs (Koralpe, Saualpe, etc.) et de bassins (Klagenfurt, Lavanttal, etc.); mêmes remblaiements tertiaires et mêmes dislocations; mêmes plates-formes d'érosion étagées, même anomalies hydrographiques explicables par épigénies, antécédence ou captures.

II

LES VALLÉES GLACIAIRES ALPINES

Les résultats de mes recherches sur les vallées glaciaires alpines, principalement dans le Dauphiné, la Suisse centrale et les Tauern, ont été exposés dans une série de notes présentées à l'Académie des Sciences (55, 57, 58, 63, 64, 65), à la Société Géologique de France (69), à divers Congrès (68, 78), et dans deux articles des *Annales de Géographie* (62) et du *Bulletin de Géographie* (67). Je les grouperai dans un exposé d'ensemble.

Quelques mots doivent être dits sur le retentissement de la théorie nouvelle de l'érosion glaciaire, sur les critiques qu'elle a essuyées et l'assentiment qu'elle a rencontré dans la suite, pendant que la Grande guerre m'empêchait de suivre les choses. J'analyserai la seule réponse que j'aie faite aux critiques allemands (93, 94), dix ans après la publication de ma théorie, à l'occasion de nouvelles observations sur les vallées des Alpes maritimes.

On peut résumer ainsi l'essentiel de mes idées. Les vallées des Alpes doivent leurs formes anormales, non pas exclusivement à l'érosion glaciaire, comme l'ont proclamé Davis, Penck et ceux qui les ont suivis, et comme l'ont nié formellement de bons esprits, mais au rajeunissement brutal opéré par l'érosion fluviale à la suite d'un soulèvement de caractère plutôt épeirogénique à la fin du Pliocène, rajeunissement compromis ou modifié notablement dans ses résultats par l'intervention de la glaciation. Ce sont, non pas des formes glaciaires, mais des formes « fluvio-glaciaires ». L'érosion glaciaire a ses lois, qui doivent être tirées des lois physiques du mouvement de la glace et de l'observation des lits de glaciers récemment découverts; sa valeur a été exagérée, mais ne peut être niée; elle est très variable suivant les sections de vallée (ou de lit glaciaire) que l'on considère. En étudiant ses variations dans le sens trans-

versal et longitudinal, on arrive à rendre compte des anomalies du modelé des vallées alpines. Mais il est indispensable d'admettre, pour expliquer ces variations, une certaine jeunesse du relief préglaciaire. Sur ce dernier point, qui est la clef du problème morphologique alpin, on peut dire que maintenant l'unanimité est faite, car toutes les études précises poursuivies en Suisse et en Autriche ont montré l'exactitude de mes suppositions.

Les anomalies morphologiques des vallées alpines qu'il s'agit d'expliquer sont : la descente des thalwegs en gradins avec ruptures de pente et même des contre-pentes masquées par l'accumulation des alluvions ou des eaux lacustres; raideur des versants dans leur partie inférieure, même quand la vallée est large et à fond plat; affluents débouchant de gorges étroites ou tombant en cascades de vallées suspendues au-dessus de la vallée principale; étranglements et élargissements successifs des vallées, même les plus importantes, qui offrent une succession de bassins à fond plat et de *verrous* ou barres rocheuses. Penck, Brückner et Davis ont attribué ces anomalies exclusivement à l'érosion des anciens glaciers. Heim, Kilian, Brunhes et d'autres ont nié plus ou moins complètement que les glaciers aient le pouvoir d'accomplir un pareil travail.

Il m'a paru qu'il était nécessaire de reprendre la question par la base et d'étudier les conditions mécaniques de l'érosion glaciaire. Pour cela, j'ai eu recours à la fois à l'observation et à la théorie.

L'observation détaillée des fronts de glaciers en recul révèle une répartition très inégale des traces d'érosion : stries, cannelures et arrachements, expliquant les conclusions contradictoires des auteurs. Si l'on en cherche les lois, on reconnaît que la densité des traces d'érosion est plus forte sur les bords, comme si le glacier travaillait à élargir son lit. En considérant le profil longitudinal, on voit qu'elle augmente à tous les changements brusques de pente, plutôt qu'aux endroits où la pente est la plus forte. Ces faits deviennent intelligibles à la lumière des lois physiques du mouvement de la glace.

Ce mouvement est extrêmement lent (50 à 100 mètres par an), et sa vitesse varie très peu. La glace est, suivant Maxwell, un fluide visqueux. Le frottement interne y est considérable, l'adhérence au lit imparfaite. La plasticité a des limites, souvent dépassées, comme en témoignent les crevasses, qui, même lorsqu'elles ne sont pas apparentes à la surface, existent toujours, ainsi que l'ont prouvé des tentatives de sondages. L'érosion glaciaire ne peut donc, malgré l'énorme volume des glaciers, être aussi considérable que l'ont supposé certains auteurs. Elle est réelle, mais son intensité est très variable.

Comme tous les fluides en mouvement, le glacier travaille à donner à son lit la forme la plus favorable à l'écoulement, c'est-à-dire celle qui assure le moindre frottement. On démontre que cette forme est celle du canal dont la profondeur hydraulique moyenne est la plus grande, c'est-à-dire dont la section transversale est celle d'une demi-circonférence. Les glaciers occupent d'anciennes vallées

fluviales, dont le profil est en V. Pour donner à la partie qui est leur lit et qui comprend souvent presque toute la vallée une section en U, ils doivent saper latéralement. Ainsi s'expliquent, à la fois, la densité plus grande des traces d'érosion sur le bord des lits glaciaires récemment abandonnés et le profil transversal des vallées alpines, en forme d'U dans la partie inférieure, qui était jadis occupée par la glace, en forme de V très large au-dessus, avec un épaulement.

Mais les anomalies les plus significatives des vallées glaciaires sont dues aux variations de l'érosion le long du thalweg. Supposant l'érosion due au frottement externe de la glace, on peut en grouper les facteurs dans la formule :

$$F = g v^2 h D A \cos \alpha$$

où v représente la vitesse, h la profondeur moyenne de la section, D la densité, α la pente superficielle, enfin A l'adhérence plus ou moins complète de la glace au lit. Une discussion, dans laquelle il est fait état de l'observation des glaciers actuels et des indications qu'on en peut tirer sur le sens des variations de chaque facteur, conduit aux conclusions suivantes :

Les lieux d'érosion maximum se trouvent en aval et en amont des ruptures de pente, en supposant la largeur constante.

Si, comme c'est le cas le plus général, la largeur varie, *l'érosion maximum finit toujours par se produire au-dessous et au-dessus de l'étranglement.*

Ainsi s'expliquent la densité plus grande des stries, dans les lits de glaciers récemment abandonnés, au pied des gradins de front glaciaire et l'existence des contre-pentes, masquées par un remblaiement alluvial ou par des eaux lacustres, dans les vallées alpines, jadis occupées par des glaciers.

On peut résumer les lois de l'érosion glaciaire alpine en disant qu'elle semble fonction de la gêne apportée à l'écoulement de la glace par les inégalités du relief préglaciaire. D'une part, le glacier cherche à élargir sa vallée, toujours trop étroite; d'autre part, il se brise aux étranglements et ruptures de pente et talonne au-dessous, érodant fortement au moment où sa vitesse diminue, mais où son épaisseur augmente, tandis que les crevasses se referment. C'est là où l'adhérence au lit est toujours la plus forte et où, par suite, l'énorme pression exercée par la glace est capable d'atteindre son maximum de puissance.

Il est possible de déduire de là une théorie nouvelle de la genèse des formes élémentaires du relief glaciaire alpin, théorie qui écarte bien des difficultés auxquelles se heurtent les essais antérieurs dus à des géologues et des géographes très distingués, mais qui ne s'étaient pas suffisamment préoccupés des conditions mécaniques de l'érosion glaciaire.

Les bassins alternant avec des verrous résultent du creusement inégal des vallées fluviales présentant, soit des ruptures de pente, soit des variations de largeur notables, fait normal dans une région montagneuse. Les vallées suspendues peuvent dériver de vallées affluentes insuffisamment raccordées avec la vallée principale, comme on en a des exemples dans les régions de relief rajeuni récemment.

L'étranglement avec rupture de pente au-dessus du confluent devait produire dans le lit glaciaire une moindre érosion. Ainsi s'expliquent des détails importants, qui restaient énigmatiques pour Penck et ses élèves : les verrous accompagnant souvent les gradins de confluence, la forte proportion des vallées suspendues débouchant sur des étranglements de la vallée principale, etc. Les cirques glaciaires eux-mêmes trouvent une explication plus complète que celle que j'avais précédemment donnée, d'accord avec Richter; même les cirques en gradin, qui dérivent de vallées torrentielles très courtes. Les fonds de vallée aveugles, *blinde Taler* des Allemands, marquent la limite jusqu'où a pénétré le rajeunissement préglaciaire.

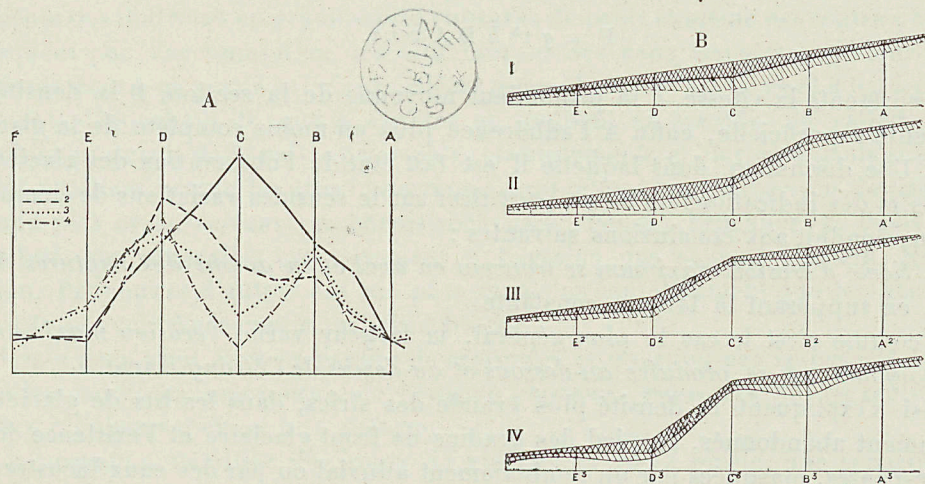


Fig. 7. — A. Courbes exprimant les variations du frottement : 1, dans le cas d'un étranglement du lit glaciaire sans rupture de pente (étranglement en C); — 2, dans le cas d'une rupture de pente du thalweg (en B) au-dessus de l'étranglement (en C); — 3, dans le cas d'une rupture de pente au-dessous de l'étranglement; — 4, dans le même cas avec rupture de pente deux fois plus forte. La pente générale est de A en F.

B. — Profils indiquant l'érosion du lit glaciaire dans les mêmes quatre cas. Le quadrillé et le grisé indiquent deux stades successifs d'érosion.

Je suis conduit ainsi à supposer des formes fluviales jeunes, précédant les formes des vallées glaciaires, contrairement à Penck et à Davis, qui attribuent le rajeunissement des Alpes uniquement aux glaciers et supposent un état de maturité préglaciaire.

L'étude détaillée de cas concrets confirme l'exactitude de mon hypothèse. Mais la réalité révèle des complications telles qu'on ne saurait s'étonner des contradictions persistantes entre les auteurs. Les formes définies et expliquées par ma théorie sont des formes simples, dont on ne trouve d'exemples que dans les hautes vallées surtout dans les montagnes granitiques, comme l'Oisans et les Hohe Tauern. Le profil transversal des grandes vallées glaciaires n'est presque jamais celui d'une auge simple, mais présente une série de replats indiquant des étapes de creusement. Les uns y voient la trace de vallées fluviales, au nombre de 17, selon Gogarten, de 2 seulement, d'après Penck; les autres y reconnais-

sent les restes de 4 lits glaciaires emboîtés, comme Hess. Des résultats aussi contradictoires sur une question purement morphologique ne peuvent être dus qu'à l'absence d'une méthode d'analyse bien définie. J'ai cherché à définir cette méthode, que j'ai appliquée aux vallées de l'Arc et de l'Isère : usage de profils transversaux au thalweg actuel, très rapprochés (au moins 3 profils pour 2 km.), établis d'après les cartes en courbes de niveau les plus exactes (je me suis servi des minutes à 1 : 20 000 de la nouvelle Carte de France à 1 : 50 000), vérification des profils sur le terrain, en marquant sur la carte l'extension des différents niveaux d'érosion ; reconstruction à l'aide de ces profils des anciens thalwegs, en prolongeant les replats, qui représentent des éléments de versant adouci.

L'erreur probable augmente avec l'altitude relative des anciens thalwegs, désavantage heureusement atténué par le fait que les niveaux supérieurs correspondent à des formes plus mûres que les niveaux inférieurs (sans quoi elles ne seraient pas conservées) et ont, par suite, des pentes relativement douces.

Cette erreur probable ne doit pas dépasser 5 à 10 p. 100 de la dénivellation. Toute anomalie du profil longitudinal d'un ancien thalweg doit être expliquée (si elle dépasse l'erreur probable), soit par une dislocation tectonique, soit par une capture, soit par l'érosion glaciaire.

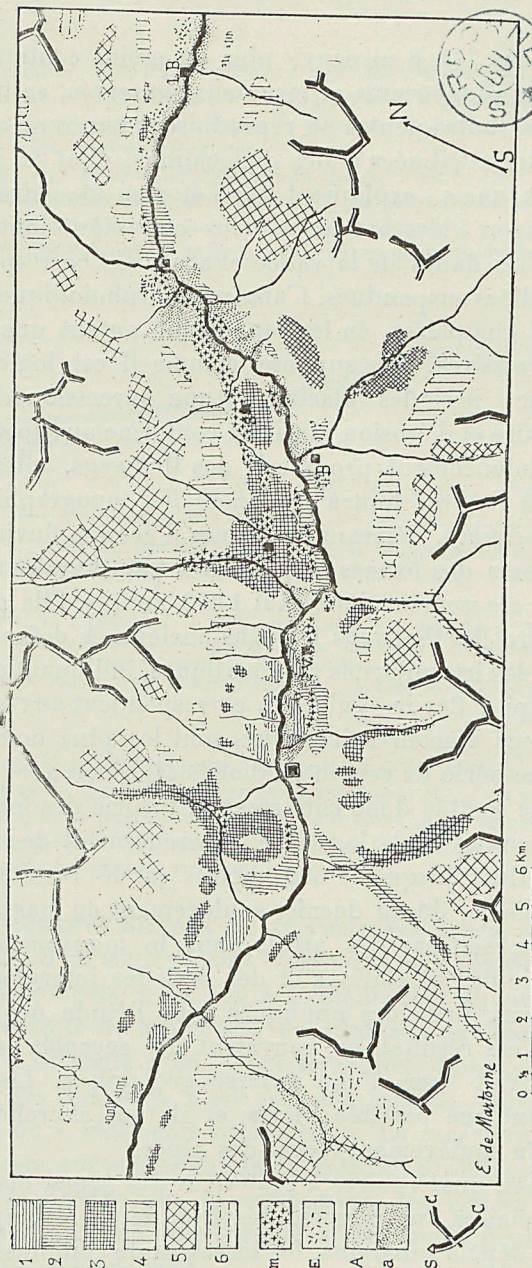


Fig. 8. — Esquisse de carte morphologique d'une partie de la Maurienne. — Échelle 1 : 200 000.

1, 2, 3, 4, 5 et 6, Niveaux successifs numérotés suivant leur ancienneté (1, le plus récent) ; — m, Moraines de la dernière extension glaciaire ; — E, Eboulis ; — A, Terrasses et plaines alluviales ; a, Cônes de déjection ; — C-C, Crêtes dont les formes indiquent qu'elles n'ont pas été recouvertes par les dernières phases glaciaires ; — Δ, Sommet de premier ordre sur ces crêtes.
 LB, Laus-le-Bourg ; — T, Thermignon ; — S, Sardierès ; — B, Branais ; — A, Aussois ; — V, Villarodin ; — M, Modane.

La méthode ainsi définie serait applicable non seulement aux vallées glaciaires alpines, mais à toutes les vallées où s'observent de multiples niveaux d'érosion. Les résultats qu'elle a donnés pour l'Arc et l'Isère sont remarquables (fig. 8).

On observe 7 à 8 niveaux, plus ou moins continus. Les thalwegs inférieurs, qui sont les plus récents et les mieux conservés, se trouvent être les plus irréguliers. Leurs contre-pentes se reproduisent toujours aux mêmes points. Elles ne peuvent être attribuées à des dislocations, dont la preuve resterait à faire pour chaque cas, mais s'expliquent par l'érosion glaciaire. Elles répondent en effet à des verrous et à des bassins anciens emboîtés, dont on retrouve facilement les traces sur les flancs de la vallée et auxquels correspondent souvent autant d'anciennes vallées suspendues. L'analyse morphologique doit débrouiller et éclairer ces formes complexes, en les rapportant, autant que possible, aux périodes glaciaires successives. Elle suppose, comme il est logique si l'on admet l'existence de plusieurs périodes glaciaires, une succession de phases d'érosion fluviale interglaciaire et d'érosion glaciaire conforme aux lois énoncées plus haut. A l'une revient l'enfoncement progressif des thalwegs, tendant à un profil d'équilibre régulier, à l'autre, toutes les anomalies topographiques qui sont le cachet des formes glaciaires, dérivant de formes d'érosion fluviale rajeunies.

La jeunesse des formes préglaciaires paraît vraisemblable, si l'on songe à l'intensité du creusement dépassant 1 000 mètres. Elle paraît certaine, si l'on considère l'allure des thalwegs les plus anciens. A défaut de contre-pentes certaines, ils offrent des irrégularités systématiques, indiquant un soulèvement incontestable du bloc alpin. Ces irrégularités correspondent aux sections où les contre-pentes des thalwegs glaciaires inférieurs sont les plus nombreuses, où la topographie montre une série de verrous emboîtés alternant avec des bassins. L'analyse morphologique semble donc confirmer la théorie des formes glaciaires, tout en montrant la complexité de la réalité. Le creusement des vallées alpines sur une profondeur allant jusqu'à 1 500 mètres est le résultat d'un long cycle d'érosion fluvio-glaciaire, dû au dernier soulèvement en masse et décomposé en une série d'épicycles, soit par des arrêts dans le mouvement d'exhaussement, soit par l'alternance des glaciations et des périodes interglaciaires.

Fidèle aux principes appliqués dans l'étude des Carpates méridionales, j'ai pensé que ces résultats ne pouvaient être acceptés sans être confrontés avec ceux qu'on pouvait tirer d'une analyse géologique. Les niveaux d'érosion doivent être, autant que possible, datés, et il faut chercher à mettre en évidence des preuves du soulèvement récent des Alpes.

Les dépôts quaternaires à l'intérieur des Alpes, étant tous dus aux derniers épisodes glaciaires, ne peuvent servir à dater les replats et thalwegs glaciaires. Parmi les dépôts subalpins, les terrasses de cailloutis du plateau de Chambaran, considérées comme pliocènes par Kilian et Gignoux, se raccordent avec les niveaux 5 et 6, qui représentent par conséquent des thalwegs préglaciaires. Les terrasses plus récentes peuvent servir à fixer au moins la date de ce que j'ai

appelé le « surcreusement vrai », c'est-à-dire le moment où l'érosion fluviale a atteint le profil d'équilibre et, par suite, cessé de creuser pendant les périodes interglaciaires, tandis que l'érosion glaciaire continue à approfondir les bassins et à raboter les verrous.

Le thalweg 1 est le thalweg würmien. Son fond se trouve à 50 mètres de profondeur vers Grenoble. Le creusement avait atteint le profil d'équilibre dès la période Mindel-Riss, dans toute la section en aval d'Aiguebelle. On s'explique suffisamment par là que le fond de la vallée soit, même dans les parties les plus étroites, tout en alluvions.

Les basses vallées de la plupart des grands fleuves alpins, Rhin, Rhône, Inn, offrent des faits du même genre, encore plus démonstratifs, mais qui n'ont pas toujours été compris. Les îlots rocheux noyés dans les alluvions ont été invoqués comme des arguments contre le creusement glaciaire. Ce sont, en réalité, des verrous de vallées creusées au-dessous du profil d'équi-

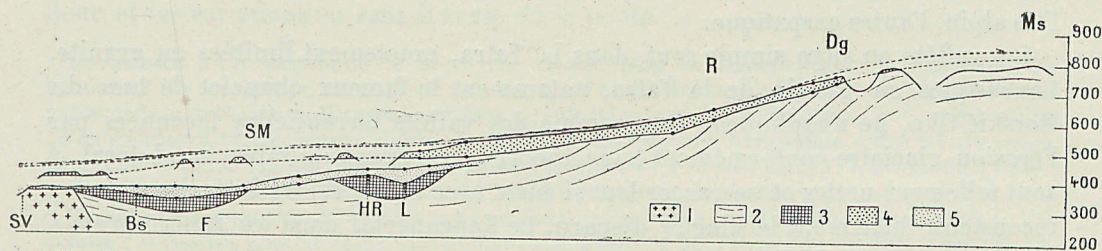


Fig. 9. — Coupe longitudinale des plateaux du Bas-Dauphiné depuis la Cluse de Voreppe jusqu'au Rhône. — Échelle des hauteurs, 1 : 25 000. Échelle des longueurs, 1 : 400 000. (Extrait du *Bulletin de la Société Géologique de France*).

1, Terrains cristallins du Massif Central; — 2, Molasse; — 3, Pliocène (marnes de Hauterive, sables de Lens-l'Etang); — 4, Cailloutis de Chambaran (nappe supérieure); — 5, *Idem* (nappe inférieure). — La surface originale du dépôt et le soubassement de la nappe supérieure sont reconstitués en pointillé à l'amont et à l'aval.
Ms, Morsonnas; — Dg, La Digionne; — R, Roybon; — SM, St-Martin-d'Aoust; — L, Lens-l'Etang; — HR, Hauterive; — F, Fay; — Bs, Beausembiant, — SV, Saint-Vallier.

libre et dont, par suite, les irrégularités ont été en partie masquées par les alluvions, les points les plus hauts des verrous pointant seuls. On voit tous les intermédiaires entre un verrou ayant gardé même son aspect topographique de barre, bien que les alluvions aient envahi la gorge (verrou de Saint-Maurice en Valais), et les roches isolées comme une île, soit au bord de la vallée (Sion, Bex), soit au milieu (Kummerberg, Eschen sur le Rhin).

En l'absence de dépôts quaternaires anciens à l'intérieur des Alpes, on ne peut trouver de preuves géologiques d'un soulèvement récent que par l'étude attentive du bord subalpin. Penck l'a compris, mais son argumentation reposait sur des observations insuffisantes. La pente de 8 p. 1 000 des plateaux de Chambaran ne prouve pas une dislocation; c'est celle d'un dépôt torrentiel. Des sondages ont montré que toute la masse des cailloutis n'est pas décomposée, comme on le croyait, et qu'il ne s'agit pas de « sédiments appauvris ». Le caractère torrentiel des dépôts du Pliocène supérieur, succédant aux sédiments fins du Pliocène moyen et inférieur, est justement la preuve que le creusement des vallées alpines a repris après une longue phase de calme, que le relief a été rajeuni brusquement, probablement à la suite d'un soulèvement.

Ce mouvement a fini par gagner l'avant-pays. J'ai pu le démontrer en étudiant l'allure du soubassement de la nappe de Chambaran (fig. 9), qui, après une montée de 5 à 6 p. 1 000, s'élève avec une pente de 16 p. 1 000 entre Roybon et

la Digonne. Cette montée correspond à un genou anticlinal de la molasse. En définitive, même en admettant que le creusement des terrasses soit dû, là où leur pente n'est pas trop forte, à un abaissement de 200 mètres du niveau de base, on est en présence d'un soulèvement incontestable du bord subalpin, de 150 à 250 mètres, simple contre-coup du grand mouvement épeirogénique qui a affecté toute la masse alpine.

Ainsi l'analyse géologique confirme les résultats de l'analyse morphologique, elle-même guidée par l'étude théorique des lois de l'érosion glaciaire.

Une série de courses dans les Hohe Tauern et dans la Tatra m'a permis, peu après la publication des articles analysés, de recueillir des observations confirmant ma théorie. La jeunesse des formes préglaciaires est évidente dans ces hauts massifs, l'un alpin, l'autre carpatique.

Les vallées en auge simple sont, dans la Tatra, exactement limitées au granite. Les cirques en gradin de la Tatra, notamment le fameux chapelet de lacs du Morskié Oko, ne s'expliquent que comme des vallées torrentielles façonnées par l'érosion glaciaire conformément à ma théorie. Les traces de sapement latéral y sont tellement nettes et se raccordent si bien avec les moraines latérales qu'on y reconstruit facilement le glacier disparu. Le Kaprunertal dans les Tauern prête à des remarques semblables.

J'ai pu résumer ainsi, au Congrès international de Géographie de Rome, la conception nouvelle de l'évolution du relief alpin, à laquelle conduisent à la fois l'observation et la théorie, l'analyse morphologique et l'analyse géologique :

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 fluvio-glaciaires 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 forme 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.

Reste à exposer le sort de la théorie nouvelle des formes alpines. Elle a d'abord rencontré l'hostilité systématique des géographes qui ont attaché leur nom à des théories plus simples, d'un côté Penck et ses élèves, de l'autre les adversaires irréductibles de l'érosion glaciaire. Dans ce dernier clan, E. Romer, qui veut expliquer toutes les anomalies par des mouvements du sol quaternaires; nul n'a suivi cette voie dangereuse. De l'autre côté, Lautensach, Sölch et d'autres Allemands. Lautensach en particulier a attaqué ma formule de l'érosion glaciaire, en

montrant que le facteur décisif $\cos \alpha$ pouvait en être éliminé. Pour y arriver, il introduit dans la formule la valeur de la vitesse (v) en fonction de la profondeur h et de la pente α

$$v = k \sqrt{h \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

J'ai montré qu'il y avait là une duperie; car on a négligé d'évaluer un autre des termes de la formule qui est fonction de h et de α , l'adhérence A . Or $A = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}$.

On aboutit au résultat suivant:

$$F = g \cdot D \cdot h^3 \cos \alpha.$$

Cette simplification très intéressante montre clairement l'importance de la profondeur et les variations en sens inverse de la pente.

Lautensach a-t-il soupçonné le péril que cachait pour sa démonstration la réalisation du facteur A ? Il a contesté en tous cas l'évaluation que j'ai donnée de l'adhérence en fonction de la pente et de la profondeur. D'après cette formule, dit-il, on aurait $A = \infty$ pour $\alpha = 0$; c'est-à-dire qu'on ne pourrait faire bouger un bloc de glace sur une surface horizontale « das würde sagen dass man ein Eisblock auf einer horizontalen Fläche nicht schieben kann ». L'erreur du raisonnement n'apparaît pas au premier abord; à la réflexion, on en découvre deux très graves.

La phrase citée prouve clairement que Lautensach n'envisage pas l'adhérence telle que je l'ai définie: le contact plus ou moins parfait du glacier avec son lit; l'objection est donc sans valeur.

On peut même contester la conclusion à propos de l'adhérence telle que l'entend Lautensach. En réalité la pente n'est nulle que si le bloc de glace a une épaisseur uniforme; dans ces conditions il ne bougera pas de lui-même sur une surface horizontale. Mais on peut le faire bouger (*schieben*); cela équivaut à lui appliquer une force, dont l'équivalent serait, s'il était laissé à lui-même, une augmentation d'épaisseur d'un côté. Lautensach a oublié que c'est la pente superficielle que j'ai désignée par α .

Ma formule de l'érosion glaciaire subsiste donc, quoique plusieurs auteurs allemands aient persisté à ignorer ma réponse aux critiques dont elle avait fait l'objet. Elle est d'ailleurs nécessaire pour expliquer le caractère différentiel de l'érosion glaciaire et les transformations des formes fluviales préglaciaires, dont tout le monde a fini par reconnaître le caractère de jeunesse. Sur ce point, les témoignages sont formels: observations de Nussbaum en Suisse, de Staff et Diestel en Allemagne et en Autriche, puis de Lehmann et Sölch dans les mêmes pays. Ni Diestel, ni Sölch ne semblent avoir connu mes travaux. La rencontre est d'autant plus significative.

En France même, ma théorie de la genèse des formes glaciaires a eu l'assentiment de Kilian; elle a été confirmée par les recherches détaillées de A. Cholley dans les Préalpes de Savoie, ainsi que par celles de Baulig et ses élèves sur les vallées glaciaires des Vosges.

III

TRAVAUX SUR LE CLIMAT ET L'HYDROGRAPHIE DANS LEUR RAPPORT AVEC LE RELIEF DU SOL

Le relief du sol est le principal facteur de la différenciation des climats locaux et des particularités de l'hydrographie; mais il est lui-même fortement influencé par le climat. Ces deux aspects de relations qui sont un des côtés les plus intéressants de la Géographie physique m'ont préoccupé. Au premier se rapportent mes études sur le Vent d'Autan, et le chapitre sur l'Hydrographie du tome I de mon *Europe centrale*, qui est un essai de synthèse nouveau. Au second se rapportent la série d'enquêtes qui a abouti à la *Carte des régions privées d'écoulement*, avec son mémoire explicatif, et qui m'a amené à créer des notions nouvelles de Morphologie et de Climatologie : l'*Endoréisme* et l'*Indice d'aridité* particulièrement.

LE VENT D'AUTAN

J'ai exposé les premiers résultats de l'étude de l'autan dans deux articles parus au *Bulletin de la Société languedocienne de Géographie* de Montpellier (49 et 53), une communication à la Société Météorologique de France (54) et au Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences à Toulouse (61). J'en donnerai un résumé d'ensemble.

L'autan est connu dans le Languedoc et le Sud-Est de l'Aquitaine comme un vent des régions Est, violent, sec et chaud, causant une impression physiologique désagréable. Les données recueillies par le Service météorologique officiel sont insuffisantes pour l'étude d'un vent local. J'ai organisé un réseau spécial d'observations s'étendant sur le département du Tarn et les départements voisins. Les observateurs remplissaient un bulletin indiquant l'heure du début et la fin de chaque période d'autan, la force du vent, l'état du ciel, la pluie, les phénomènes de végétation, etc. En outre, j'ai installé en plusieurs points convenablement choisis des stations avec enregistreurs sous abris et anémomètres, notamment

à Saint-Ferréol, Lacaune et Belpech. J'ai utilisé naturellement les observations des stations officielles, notamment de Montpellier. Cette organisation, qu'il a fallu régler, surveiller et contrôler, a été maintenue pendant près de cinq ans. Les résultats publiés dérivent des observations de 1906, 1907 et 1908.

Le paysan du Languedoc distingue l'autan noir et l'autan blanc, le premier amenant la pluie, le second, une sécheresse persistante. Il y a en effet deux types d'autan, répondant à deux situations météorologiques différentes. L'autan résulte d'un gradient dirigé vers l'Ouest et déterminé, soit par une dépression atlantique débordant sur le golfe de Gascogne, soit par un anti-cyclone débordant de l'Europe centrale sur la Méditerranée occidentale. L'autan cyclonal

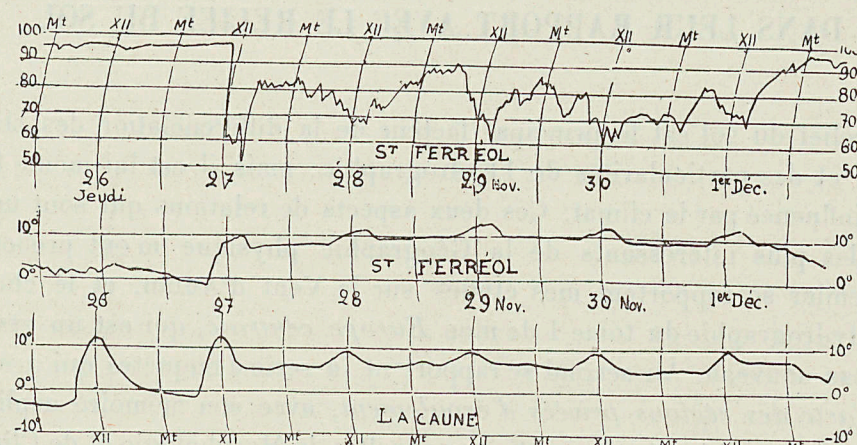


Fig. 10. — Marche de l'hygromètre et du thermomètre à Saint-Ferréol et à Lacaune pendant une période d'autan (Extrait du *Bulletin de la Société Météorologique de France*).

répond le plus souvent à l'autan noir, qui, s'il finit toujours par la pluie, commence lui-même par nettoyer le ciel de nuages. L'autan anti-cyclonal correspond à l'autan blanc, qui reste toujours sec. L'analyse détaillée de plusieurs périodes d'autan, en refaisant les cartes d'isobares millimètre par millimètre, permet de suivre le mécanisme du phénomène. L'autan n'a aucun rapport direct avec le mistral, leur simultanéité ne dure pas vingt-quatre heures et résulte d'une situation anormale. Les influences cyclonales et anti-cyclonales peuvent se combiner et donner un type mixte.

En ajoutant aux données de mon réseau particulier celles des stations météorologiques voisines, il est possible de fixer approximativement la limite de l'autan. Il se fait sentir vers l'Ouest jusqu'à Montauban et au delà de Toulouse. Mais la violence et la sécheresse sont particulièrement sensibles sur le bord de la Montagne Noire et du Sidobre.

A Saint-Ferréol l'anémomètre enregistre des vitesses de 15 mètres et les arbres sont couchés, les routes déchaussées; l'hygromètre peut descendre à 25 p. 100, la température s'élève brusquement de 10 à 15° au début de l'autan.

En avançant vers le Sud-Est, on voit les caractères du vent changer; sur le versant méditerranéen, le courant du Sud-Est est un vent humide et de vitesse très faible, qu'on appelle « marin ».

J'ai pu tracer la zone où s'opère en moyenne le changement. Elle coïncide à peu près avec la ligne de partage des eaux, passant entre Murat et Lacaune, par le col de Fenille, le Cabardès, entre Bram et Carcassonne. Cette limite varie suivant la saison et suivant les conditions météorologiques générales. Pendant les périodes à influences cyclonales, le marin gagne vers l'Ouest.

Le contraste entre le marin et l'autan est semblable à celui qui existe entre le vent du Sud sur le versant italien des Alpes et le *Föhn* sur le versant suisse. L'autan est une sorte de *föhn*. L'étude des diagrammes d'enregistreurs en apporte la preuve.

Les vents d'Est à Montpellier atténuent l'oscillation thermique diurne, relèvent légèrement le maximum et notablement le minimum en hiver; ils amortissent aussi l'oscillation de l'humidité relative en relevant le minimum.

A Saint-Ferréol, les mêmes vents relèvent à la fois le minimum et le maximum thermique, augmentent les oscillations de l'état hygrométrique en abaissant légèrement le maximum et très notablement le minimum.

L'opposition est si frappante qu'elle se traduit même dans les moyennes, comme le montre ce tableau (octobre 1908).

	MONTPELLIER		SAINT-FERRÉOL	
	Est	Ouest	Est	Ouest
Maximum.	93	81	92	95
Minimum.	77	49	66	78
Oscillation	15	33	25	16
Moyenne	87	64	80	89

Les montées et descentes de l'hygromètre et du thermomètre à Montpellier et Saint-Ferréol se correspondent, mais sont de signe contraire. Toute interruption du vent d'autan se traduit dans la courbe de l'hygromètre de Saint-Ferréol, qui remonte.

La violence de l'autan est sujette à des variations locales très grandes en rapport avec le relief. Je crois avoir trouvé une explication générale satisfaisante, en comparant le mouvement du courant d'Est, qui constitue le marin-autan, à celui d'un cours d'eau torrentiel ayant à franchir un obstacle interposé dans son lit.

Le marin forme du côté de la Méditerranée une masse d'air animée d'un mouvement ascendant jusqu'à une certaine hauteur, avec un déplacement horizontal peu rapide. La tranche d'air en mouvement vers l'Ouest sur les hauteurs de l'Espinouse et de la Montagne Noire est très peu épaisse, les observations de nuages le montrent d'une façon incontestable. Sur le versant atlantique, la vitesse devient très grande et, dans le cas où il y

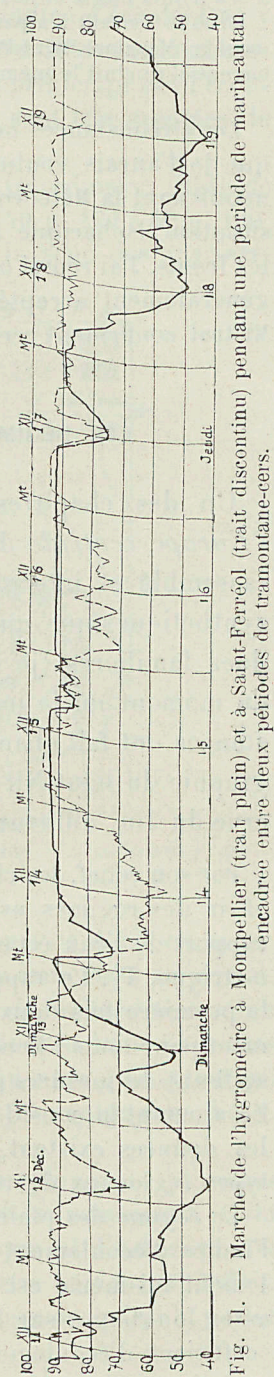


Fig. 11. — Marche de l'hygromètre à Montpellier (trait plein) et à Saint-Ferréol (trait discontinu) pendant une période de marin-autan encadrée entre deux périodes de tramontane-cers.

a dénivellation brusque du sol, le mouvement devient tumultueux, avec des tourbillons où il y a des points morts et des lieux de vitesse extrême.

Là où le courant n'a pas à franchir un obstacle, il lui faut s'engager dans un couloir resserré (couloir Mazamet-Saint-Pons-Bédarieux, couloir Carcassonne-Naurouse); le resserrement du lit torrentiel produit le même effet que l'élévation du fond.

Les circonstances ne m'ont pas permis de pousser l'étude de l'autan aussi loin que je l'aurais voulu. Elle devrait être reprise avec les moyens dont dispose maintenant la Météorologie : sondages aériens quotidiens, et interprétation de la situation isobarique à la lumière des idées modernes sur les discontinuités et les fronts. J'ai réussi cependant à donner une explication des divers types d'autan, généralement acceptée partout, et je constate que des travaux récents sur le Mistral confirment certaines de mes interprétations de la violence de l'autan.

LES RÉGIMES HYDROGRAPHIQUES DE L'EUROPE CENTRALE

Un des chapitres généraux du premier volume de mon ouvrage sur l'*Europe centrale* donne un exposé des régimes hydrographiques, où j'ai rassemblé et interprété des résultats dispersés, à la lumière de notions synthétiques que quelques études personnelles m'avaient inspirées ou rendues familières (je rappelle qu'une de mes premières publications, datant du moment où je me préparais à un voyage d'exploration que les circonstances ont fait abandonner, a été un exposé des connaissances sur l'hydrographie du haut Nil [4], et que j'ai fait l'étude hydrologique complète d'une crue du Jiu, affluent du bas Danube [26]).

Par son relief, ses climats et ses sols variés, l'Europe centrale est disposée pour offrir des régimes assez différents. Leur caractère essentiel est exprimé par le rapport de l'eau écoulee (Indice d'écoulement, E) à l'eau tombée (Indice pluviométrique, P). Le rapport $D : P$ est le coefficient d'écoulement. J'ai dressé pour la première fois deux cartes de l'Indice d'écoulement et du coefficient d'écoulement pour toute l'Europe (la seconde, reproduite ici, fig. 12), d'après un nombre suffisant de mesures pour de petits bassins ou des fragments de grands bassins. En ajoutant la considération des variations mensuelles de l'écoulement et, quand les données existent, celles même du coefficient, on arrive à distinguer quatre types régionaux de régimes hydrographiques.

Le régime des plaines du Nord, où l'eau est partout à la surface, où cependant l'indice d'écoulement reste faible (20 à 30 centimètres) et où le coefficient d'écoulement lui-même est peu élevé (25 p. 100), sauf en Pologne, où la neige reste assez longtemps sur le sol. La faible pente et la forte évaporation de l'été (où le coefficient d'écoulement tombe à 16) expliquent cette pauvreté relative. Les variations mensuelles sont très faibles, et le maximum de débit est hivernal ou printanier.

Le régime des moyennes montagnes est celui des massifs hercyniens et de la plupart des Carpates (bien moins hautes que les Alpes). L'indice d'écoulement y est assez fort (30 à 60 centimètres), le coefficient s'élève de 20 à 50 p. 100, richesse due à l'enneigement qui capitalise les précipitations jusqu'au printemps et à l'écoulement rapide sur les pentes fortes. Les variations de débit sont très accusées, le maximum étant au printemps.

Le régime alpin est caractérisé par une abondance extraordinaire (plus de 60 centimètres) et un coefficient d'écoulement atteignant de 50 p. 100 à 80 p. 100, surtout à cause de l'enneigement qui ne cesse pas dans la zone des glaciers;

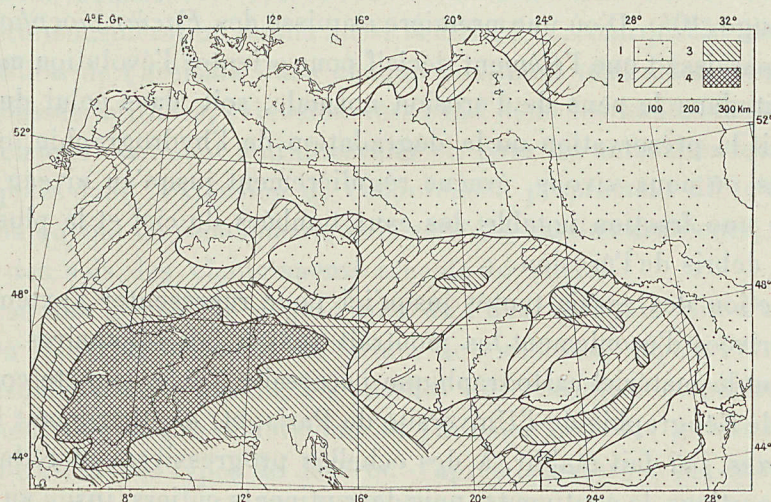


Fig. 12. — Coefficient d'écoulement dans l'Europe centrale.

Importance du coefficient d'écoulement : 1. Moins de 30 p. 100; — 2. De 30 à 45 p. 100; — 3. De 45 à 60 p. 100; — 4. Plus de 60 p. 100. — Échelle, 1 : 20 000 000.

d'où le paradoxe du maximum de débit en été et du minimum de débit en hiver.

Le régime oriental ou danubien doit ses caractères, non seulement au climat, où se dessine une sécheresse de fin d'été (Indice d'aridité de septembre-octobre inférieur à 20), mais aussi aux sols des plaines, alluvions fines et loess. La puszta hongroise et le Baragan valaque n'ont de rivières permanentes que celles qui viennent des montagnes; la Tisza inférieure n'écoule que 16 centimètres d'eau, 22 p. 100 des pluies....

Nous ne pouvons reproduire l'analyse des régimes complexes de plusieurs grands fleuves, le Rhin, l'Elbe, la Vistule et le Danube, où se combinent, étant donné la forme de leur bassin, sa situation géographique et l'influence des faisceaux d'affluents, les caractères de plusieurs des régimes régionaux définis. C'est dans la définition exacte de ces régimes et de leur extension qu'est la portée principale de cet essai.

L'EXTENSION DES RÉGIONS PRIVÉES D'ÉCOULEMENT,
SES CAUSES ET SES CONSÉQUENCES MORPHOLOGIQUES

L'importance d'une étude des régions privées d'écoulement m'est apparue à la suite de voyages dans l'Ouest des États-Unis que j'ai parcourus jusqu'au Mexique en 1904 (41) et revus en 1912 (73). Elle s'est imposée de plus en plus quand j'ai pu faire des études sur la morphologie désertique dans le Sud Algérien et Marocain (88, 97) et dans la Haute-Égypte entre le Nil et la Mer Rouge (104). D'où une première esquisse des *Faciès morphologiques* (75). Il apparaissait que l'élément décisif pour orienter l'évolution morphologique, soit dans le sens de l'érosion normale, soit dans celui du modelé aride, était la préservation ou la dégradation de l'hydrographie, qui, dans les climats où nous vivons, évacue régulièrement jusqu'au niveau de base océanique une fraction notable des eaux tombées du ciel et la plus grande partie des débris de l'érosion.

L'inspection des essais tentés jusqu'ici pour représenter l'extension des régions privées d'écoulement les montrait tout à fait sommaires. J'ai rassemblé tout le matériel cartographique nécessaire à une enquête complète à l'Institut de Géographie de l'Université de Paris, et, en distribuant le travail à des élèves, j'ai fait établir, à des échelles progressivement réduites, des cartes de portions de continents, puis de continents entiers, jusqu'au moment où on pouvait songer à rédiger une carte d'ensemble. La guerre est venue interrompre cette enquête, et la mise au net du planisphère n'a été achevée, avec l'aide de L. Aufrère, qu'en 1925 (100). Présenté au Congrès International de Géographie du Caire (105), il a été plusieurs fois retouché depuis (111, 114), tandis que son commentaire m'amenait à créer diverses notions nouvelles de Géographie physique et de Climatologie, présentées à l'Académie des Sciences (106) et à la Société Météorologique de France (110), jusqu'à la publication du grand mémoire édité par l'Union Géographique Internationale à l'occasion du Congrès de Cambridge (115).

Les faits et idées essentiels sont les suivants : plus du tiers des continents est privé d'écoulement vers la mer (ce sont les *régions endoréiques*, s'opposant à tous égards aux régions normalement drainées ou *exoréiques*) ; un quart n'a aucun écoulement (*régions aréiques*, qui sont les vrais déserts). Cette extension considérable montre assez l'importance que joue dans l'économie du globe le domaine aride. Pour l'expliquer, il faut avant tout s'adresser au climat ; j'y suis parvenu en inventant une fonction de la tempé-

rature (T) et des précipitations (P), appelée l'*indice d'aridité*, dont la carte a été dressée pour toute la Terre et dont les valeurs moyennes suivant la latitude ont été comparées aux valeurs moyennes du pourcentage d'endoréisme et d'aréisme. La formule de l'indice d'aridité est susceptible d'autres applications, par exemple aux conditions générales de la répartition des types de végétation et même à la densité de la population. La limite polaire de l'aréisme (par 55° de latitude en moyenne) et la curieuse absence de limite équatoriale (déserts littoraux) peuvent être expliquées par une analyse plus détaillée dans laquelle intervient la considération des mouvements de l'atmosphère. Cette considération donne aussi la clef de la remarquable dissymétrie de répartition de l'aréisme dans chaque continent (extension vers l'Ouest dans les basses latitudes, extension vers l'Est dans les hautes latitudes). La forme de chaque continent doit intervenir et, pour les anomalies locales, surtout marquées dans l'extension de l'endoréisme proprement dit (c'est-à-dire des régions qui ont un écoulement, mais vers des bassins intérieurs), le relief, la nature des sols, les changements récents du climat.

L'analyse des formes de dégradation de l'hydrographie est d'un grand intérêt; on distingue une série de formes de transition, depuis l'écoulement normal jusqu'au désert absolu, en passant par l'écoulement périodique, le ruissellement temporaire endoréique, et l'aréisme humide; on est conduit à une classification des types de déserts, d'après la nature et les causes de la dégradation à peu près complète de l'hydrographie qui y apparaît.

Les difficultés rencontrées dans certains cas montrent la nécessité de considérer le passé géologique le plus récent et de reconstruire l'hydrographie au moment du dernier maximum d'humidité (coïncidant généralement avec la période glaciaire quaternaire). On voit alors que la situation actuelle dépend du point où le réchauffement postglaciaire a surpris l'évolution progressive du drainage, dessinée à ce moment humide. Une évolution régressive est en cours partout dans les régions subarides; l'évolution progressive (tendant à l'extension de l'exoréisme par le recul des limites des bassins fluviaux débouchant à l'Océan) ne continue que dans les régions suffisamment humides. La régression, c'est-à-dire la dégradation de l'hydrographie (qui ne suppose pas nécessairement un changement du climat actuellement en cours), est favorisée par l'accumulation de masses détritiques, charriées pendant la phase humide quaternaire dans des régions alors acquises à l'endoréisme et maintenant aréiques. C'est le legs du passé pesant sur le temps présent.

On voit le caractère synthétique des recherches sur l'endoréisme et

l'aréisme. Les conditions anormales de l'hydrographie entraînent des anomalies de la morphologie; elles ont des conséquences géologiques, par l'accumulation sur place des débris non évacués vers l'Océan. La Paléogéographie devrait viser le plus possible à la reconstruction des anciens domaines endoréiques, comme à celle de l'ancienne extension des Océans.

L'analyse du Mémoire publié par l'Union Géographique Internationale suffira à donner les détails que ce bref résumé n'a pu fournir.

Ce mémoire étudie d'abord les conditions générales, examine ensuite les conditions locales dans les divers continents, pour finir par des conclusions de caractère géographique et paléogéographique.

La première partie définit les notions d'*endoréisme*, *aréisme* et *exoréisme*. Les travaux antérieurs sur l'extension des régions sans écoulement sont incomplets ou inexacts, non seulement parce qu'ils ne reposent pas sur une enquête cartographique faite, comme la nôtre, sur les cartes les plus détaillées, mais surtout faute d'avoir fait ces distinctions. Ils ont négligé d'analyser les formes de dégradation de l'hydrographie, qui sont variées et telles qu'on a souvent peine à décider d'après la carte entre l'endoréisme propre et l'aréisme. L'exoréisme se définit par l'écoulement permanent ou temporaire, mais régulier, vers l'Océan, ce qui répond à la formule hydrologique $E = P - D$, dans laquelle E est le débit annuel, P le volume des précipitations, et D le déficit d'écoulement, D étant plus petit que P (nous appelons E l'indice d'écoulement, P, l'indice pluviométrique). L'aréisme se définit par $P = D$ ou même $< D$, il se reconnaît sur la carte à l'absence de cours d'eau *nés dans la région*. Mais il y a bien des formes intermédiaires; elles sont analysées avec exemples tirés de cartes de régions arides: d'abord l'écoulement saisonnier régulier des régions à saison sèche (climat méditerranéen, tropical, de mousson), puis l'écoulement temporaire des marges du Sahara et des bords de montagnes désertiques, passant à ce qu'on peut appeler l'écoulement accidentel (crues produites par des orages de temps en temps, *Séils* en Égypte), capable de former des nappes minces inondant pour quelques heures toute une plaine (*sheet flood* des Américains), deux formes caractéristiques de ce qu'on peut appeler l'*endoréisme de piémont*. Enfin certaines plaines subdésertiques ont des mares temporaires qui n'arrivent pas à s'organiser en cours d'eau (type des « mares d'hivernage » du Sénégal); c'est ce que nous appelons l'*aréisme humide*, réalisé non seulement sur la marge du Sahara occidental, mais dans les steppes du Sud de la Sibérie, au pied des Rocheuses canadiennes, etc.

Les causes de la dégradation de l'hydrographie sont avant tout climatiques. L'*indice d'aridité* est une fonction nouvelle de la température (T) et des précipitations (P), que j'ai créée pour préciser cette influence. Sous la forme $I = P : (T + 10)$, elle est calculable pour toutes les terres. La comparaison de la carte de I avec celle de l'endoréisme et de l'aréisme montre que la dégradation de l'hydrographie est généralement complète quand I est plus petit que 20, absolue quand il tombe au-dessous de 10. Nos cartes ont permis des calculs intéressants

dont les résultats sont donnés par une série de tableaux et de graphiques montrant le pourcentage d'aréisme et d'endoréisme par zones de 1° de latitude dans l'ensemble des continents et dans chaque fuseau continental (Nouveau Monde, Ancien Monde occidental et Ancien Monde oriental) comparé aux valeurs moyennes de I dans ces zones. Nous reproduisons un graphique synthétique par zones de 5° (fig. 13).

On remarque la concordance d'allure générale des courbes, mais quelques anomalies aussi; elles s'expliquent par les courbes des fuseaux continentaux; et l'analyse de celles-ci met sur la voie d'explications intéressantes, dans le détail

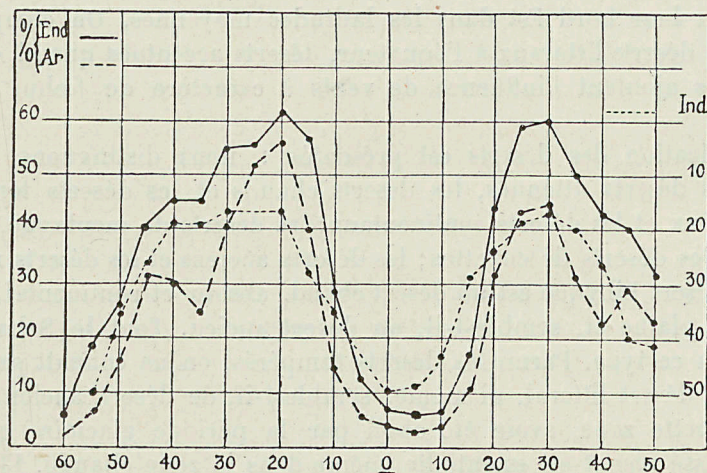


Fig. 13. — Variations de l'étendue des régions endoréiques et aréiques suivant la latitude, comparées à celle de l'Indice d'aridité.

Valeurs de 5° en 5°. — Endoréisme, trait continu, échelle à gauche. — Aréisme, trait discontinu, même échelle. Indice, pointillé, échelle à droite.

desquelles on ne peut entrer ici. Notons seulement les principes généraux :

1° l'indice d'aridité, expression synthétique du climat, ne dépend pas seulement de la latitude, mais de la forme des continents, du relief du sol et du sens de la circulation atmosphérique, même parfois de la circulation océanique, qui amène sur certaines côtes des eaux anormalement froides;

2° outre le climat, il y a lieu de considérer l'orographie générale, due aux déformations de la lithosphère, qui a créé dans certaines régions des systèmes de pentes convergentes vers des dépressions fermées; la nature des terrains, qui peut amener l'enfouissement des eaux circulant au-dessous de la surface (les roches très perméables, comme le calcaire, sont à cet égard moins importantes que les vastes étendues d'alluvions anciennes, accumulées par l'endoréisme ou par l'écoulement temporaire normal lui-même, et les dépôts de loess);

3° enfin il faut tenir compte des conditions de climat de la période quaternaire, dont les effets ne sont pas encore effacés. Sur les reliefs glaciaires, l'écoulement s'organise difficilement. L'endoréisme de piémont réalisé à l'époque quater-

naire sur le bord de toutes les montagnes des régions actuellement arides a laissé des traces.

Ces principes sont appliqués dans la deuxième partie du Mémoire, consacrée à l'analyse détaillée de toutes les régions d'endoréisme et d'aréisme, et dont la rédaction est due à mon fidèle collaborateur M. L. Aufrère.

Dans la Conclusion, je reviens sur les principaux faits, et je dégage une série d'idées générales. Un schéma explique par le mécanisme de la circulation atmosphérique et de la circulation océanique elle-même le dispositif des climats à faible Indice d'aridité, générateurs de l'aréisme, qui présente une dissymétrie systématique, occupant l'Ouest des masses continentales dans les basses latitudes, leur centre et leur bord Est dans les latitudes moyennes. On comprend ainsi l'existence de déserts littoraux à l'équateur, déserts accentués quand des chaînes de montagnes ajoutent l'influence de vents à caractère de fœhn, comme au Pérou.

Une classification des déserts est présentée : nous distinguons les déserts absolus et les déserts atténués, les déserts chauds et les déserts tempérés; les déserts littoraux et les déserts continentaux; les déserts de montagne, les déserts de plaine et les déserts de cuvettes; les déserts anciens et les déserts récents. Par exemple, le désert Libyque est un désert chaud, absolu et continental; c'est aussi un désert de plaine et, semble-t-il, un désert ancien. Tout le Sahara est loin d'appartenir à ce type. Parmi les déserts tempérés, on ne connaît pas de désert absolu, ni de désert littoral, ni même, semble-t-il, de désert ancien. L'aréisme paraît, dans cette zone, avoir été aboli par la période glaciaire quaternaire. L'étude du passé récent est essentielle, même dans la zone chaude. Elle explique ce qui est parfois en désaccord avec les conditions actuelles, l'adaptation n'étant pas encore parfaite. Il faut concevoir l'hydrographie continentale comme en voie d'évolution; d'un côté, évolution progressive dans les régions humides et leur bordure où l'Indice d'aridité est entre 20 et 30, c'est-à-dire extension des bassins fluviaux tributaires de l'Océan par érosion; de l'autre, évolution régressive, dans les régions subarides, l'endoréisme tendant vers l'aréisme. Au Quaternaire, l'évaporation, diminuée par la baisse de température, a arrêté l'évolution régressive et favorisé l'évolution progressive. De ce moment, sinon des phases humides du Pliocène, datent les conquêtes de l'exoréisme en Afrique et en Asie, qui ont constitué les bassins du Niger, du Nil, du Zambèze, du Hoang Ho, etc. Ces conquêtes ne se sont pas toutes maintenues. Le Zambèze perd ou a perdu une partie de son aire de drainage, de même le Niger, le Nil lui-même. Le Tchad est isolé et menacé dans son existence. La dégradation de l'hydrographie se poursuit sous nos yeux, sans qu'il soit besoin, pour l'expliquer, d'invoquer de changement actuel du climat.

Il a paru nécessaire d'insister sur les idées principales sorties de l'analyse d'un grand phénomène de Géographie physique, trop négligé jusqu'ici. Il y a là un exemple du caractère synthétique que présentent les études géographiques, capables d'enrichir le domaine même de sciences voisines. Quelques géologues

ont manifesté de l'intérêt pour les considérations développées ici, et on peut espérer voir accorder plus d'attention dans les reconstitutions paléogéographiques à l'extension de l'endoréisme. Les Météorologistes, les Phytogéographes ont exploité la notion d'Indice d'aridité; des cartes détaillées en ont été dressées pour différents pays; on a proposé des améliorations de la formule. J'étudie moi-même le moyen d'y introduire la considération du nombre des jours de pluie, et j'espère pouvoir bientôt présenter à ce sujet des résultats nouveaux.

IV

TRAITÉ DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Il ne saurait être question d'analyser complètement un ouvrage en trois volumes, exposant toute la Géographie physique, mais seulement d'en faire connaître la conception, la méthode, en signalant quelques-unes des idées nouvelles qui y apparaissent, soit comme conséquence des travaux de l'auteur lui-même, soit par suite du rapprochement de faits déjà connus dont on a essayé l'interprétation synthétique.

L'idée même d'entreprendre un pareil ouvrage peut paraître bien audacieuse. Elle a été inspirée par le désir de rendre service aux étudiants et aux travailleurs spécialisés; les premières éditions n'avaient qu'un volume. D'ailleurs l'auteur, pleinement conscient de la difficulté de sa tâche, s'est efforcé d'acquérir par des travaux personnels une familiarité suffisante avec les méthodes des diverses sciences auxquelles la Géographie physique touche nécessairement. Spécialisé dans l'étude du relief du sol, il a plus d'une fois traité des questions de climatologie ou même de météorologie; il a eu l'occasion d'étudier des problèmes d'hydrographie. Après avoir fait un sérieux effort pour donner, dans les premières éditions, un tableau des principes de la Biogéographie, il s'est décidé, pour la quatrième édition entièrement refondue, à faire appel à deux collaborateurs biologistes, qui ont accepté ses directives, le chapitre de Biogéographie générale restant seul rédigé par le principal auteur, tandis que M. Chevalier a traité la Géographie des Plantes et M. Cuénot, aujourd'hui membre de l'Académie des Sciences, la Géographie des Animaux.

L'unité de l'œuvre n'a pas été compromise. Elle vise à exposer les principes généraux, sans entrer dans les descriptions régionales, sauf pour fournir des exemples de cas concrets. Elle veut offrir un guide sûr, point d'appui nécessaire pour les recherches des spécialistes dans une science

aussi vaste que la Géographie scientifique moderne. On a le droit de penser que ce but élevé a été à peu près atteint, quand on songe qu'un livre aussi technique et d'un prix aussi élevé a été répandu dans tous les pays par quatre éditions, dont la dernière a déjà eu un nouveau tirage, et que la cinquième édition est imminente; et ceci malgré la publication d'un *Abrégé de Géographie physique*, qui donne la substance de l'ouvrage, à l'usage des débutants, et qui a été traduit dans trois langues étrangères. Les comptes rendus consacrés partout à l'ouvrage indiquent qu'on y a apprécié l'utilité des Bibliographies *triées*, l'agrément de l'illustration, personnelle par l'usage même de cartes et diagrammes inventés ou dessinés par l'auteur, la clarté de l'exposition, la précision des analyses d'exemples régionaux, enfin les vues originales synthétiques qui se dégagent souvent.

Première partie, Notions générales.

C'est une sorte d'Introduction où l'on a cherché à renseigner sur les questions dont l'intelligence est nécessaire pour toutes les parties de la Géographie physique. La première est : « Qu'est-ce que la Géographie ? » A une définition dogmatique, on a préféré un exposé historique d'où se dégagent naturellement les principes essentiels de la méthode géographique. On aboutit à la définition suivante : « La Géographie moderne s'affirme comme la science des phénomènes physiques, biologiques et sociaux, envisagés dans leur répartition à la surface du globe et leurs rapports réciproques. »

La surface de la Terre étant le domaine de la Géographie, toute étude géographique présuppose la connaissance de la forme et de la situation cosmique de la Terre. C'est l'objet du deuxième chapitre, où des notions d'Astronomie et de Géodésie sont exposées avec la préoccupation constante d'en montrer les applications géographiques.

Les éléments de la Géographie mathématique, qui donne le moyen de représenter la surface de la planète, doivent être familiers à tout géographe. Le chapitre III expose les principes du problème du point (latitudes et longitudes). On y trouve aussi des notions pratiques sur les propriétés et la construction des projections stéréographique, orthographique, des projections horizontales et transversales équivalentes de Lambert, de la projection de Mercator, de plusieurs coniques vraies et de divers canevas dérivés (Sanson, Mollweide, Eckert, Bonne), enfin des polyconiques et polyédriques. Deux pages de tables numériques sont destinées à permettre quelques exercices.

Reste à préciser le domaine propre de la Géographie physique, en la délimitant du côté de la Géophysique. C'est l'objet du quatrième chapitre, où l'on examine la répartition des éléments à la surface du globe, en définissant leurs principales propriétés physiques et en notant les réactions qui se manifestent à leur contact.

Un grand nombre de faits généraux, dont les conséquences se font sentir dans toutes les branches de la Géographie physique, sont ainsi rendus familiers au lecteur. On a cherché à faire sentir l'espèce de vie physique qui anime l'épiderme de notre planète. La conclusion est que la Géographie physique est la science des phénomènes par lesquels se manifeste cette activité physique superficielle, envisagés au point de vue de leur extension et de leurs réactions réciproques. Elle comprend l'étude des climats, celle de l'Hydrographie, celle du relief, et on peut y ajouter les principes de la Biogéographie.

Deuxième partie, le Climat.

Un premier chapitre en étudie les facteurs : énergie solaire avec ses variations zonales d'où résultent les grandes zones climatiques, influence de l'atmosphère jouant le rôle d'un philtre, influence de la latitude, influence de la répartition des terres et des mers, influence des courants marins, influence du relief du sol et de la végétation.

Trois chapitres exposent ensuite les lois météorologiques générales se rapportant aux trois groupes principaux de faits climatiques : la température, les variations de la pression atmosphérique et les vents, enfin les précipitations. Un cinquième chapitre est consacré à un sujet qui, jusqu'alors, n'était pas touché dans les traités de Géographie physique, les « types de temps ». On y expose les lois du déplacement des cyclones et anti-cyclones et étudie un certain nombre de types de temps, en tenant compte (dans les dernières éditions) des progrès réalisés récemment par la Météorologie dynamique (structure des cyclones selon Bjerknes et théorie des fronts).

Trois chapitres sont finalement consacrés à l'étude synthétique des climats. La classification des climats régionaux, dont les différents types sont analysés dans deux chapitres de la 4^e édition, n'a pas changé depuis la 1^{re} édition, qui en donnait déjà la répartition sur un planisphère hors texte en couleurs.

Chaque climat est désigné par un nom local emprunté au pays où le type a été choisi : climat sénégalien, breton, péruvien, etc.... Les longues recherches qui ont été nécessaires pour aboutir à cet essai de synthèse ont trouvé leur récompense dans l'accueil qui lui a été fait par les lecteurs de l'ouvrage. Les noms proposés pour les types de climat ont été souvent adoptés.

Le climat des montagnes présente des particularités très curieuses dues au relief autant qu'à l'altitude. Il a paru nécessaire d'y consacrer un chapitre spécial. On y trouvera, groupés dans un tableau d'ensemble, un grand nombre de faits remarquables, dont les relations sont rarement mises en lumière. Dans les pages consacrées aux vents de montagne, j'ai pu tirer parti d'expériences personnelles, spécialement au sujet de l'autan (exposées plus haut).

Troisième partie, l'Hydrographie.

On trouvera dans les trois premiers chapitres un exposé aussi complet que possible de l'état actuel de nos connaissances en Océanographie physique, présenté sous une forme géographique. Une distinction fondamentale est établie entre les océans et les mers; deux chapitres étudient les conditions physiques normales, qui sont celles des océans, communiquant largement entre eux et animés d'une circulation à la fois superficielle et profonde, d'où résulte une salinité et une température uniformes. Un troisième chapitre montre comment l'iso-

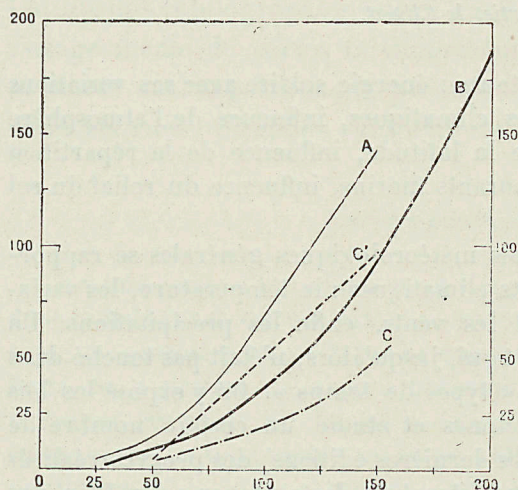


Fig. 14. — Courbes de l'écoulement en fonction des précipitations.

A, Europe centrale; — B, États-Unis au N. du 40° parallèle; — C et C', États-Unis au S. du 40° parallèle, C, en plaine, C', en montagne,

lement plus ou moins complet des mers bordières et surtout des mers continentales amène une sorte de dégradation des caractères océaniques : anomalies et variations de plus en plus grandes de la température et de la salinité, *homothermie* et *dichothermie*, influence de plus en plus évidente du climat, des vents locaux et des apports fluviaux, même sur le niveau des mers. La démonstration en est faite par l'étude d'une série d'exemples : Mer du Nord, Bassin polaire arctique, Méditerranée, Mer Rouge, Mer Baltique, Mer Noire. Les mers continentales fermées, comme la Caspienne, ne diffèrent plus des lacs, auxquels est consacré le chapitre suivant.

Ce chapitre, inspiré surtout des travaux de Forel et Delebecque, offre une classification nouvelle des lacs suivant leur origine, une brève étude des lois du régime thermique et des oscillations du niveau (saisonales et séculaires), en rapport avec le climat et avec la topographie.

Un dernier chapitre traite des eaux courantes. L'étude des nappes aquifères et des sources sert d'introduction. La question de l'écoulement fluvial est précisée en introduisant les notions d'*indice d'écoulement* (D), *indice pluviométrique* (P), *déficit d'écoulement* (P-D) et *coefficient d'écoulement* (D : P). Les nombreuses études faites en Europe et aux États-Unis ont permis de réunir une série de courbes (fig. 14) dont la discussion conduit à des conclusions générales nouvelles :

L'indice d'écoulement moyen dépend avant tout de la pluie, de la pente et de la température. Les variations locales se traduisent par une courbe hyperbolique dont la montée est d'autant plus rapide et le point de départ d'autant plus près du 0 des précipitations que la température moyenne est plus basse. L'écoulement commence à 20-25 centimètres de pluie dans la zone tempérée, à 40-50 dans la zone tropicale et probablement vers 100 centimètres dans la zone équatoriale d'après le seul travail consacré à un bassin de cette zone.

Le reste du chapitre est consacré à l'analyse des facteurs du régime fluvial (défini par les hauteurs au-dessus de l'étiage), à la classification des régimes fluviaux et à l'analyse d'un certain nombre d'exemples avec graphiques. On a indiqué plus haut (p. 34-35) comment ces idées ont été appliquées par l'auteur à l'Europe centrale.

Quatrième partie, le Relief du sol.

Si cette partie est la plus développée, ce n'est pas seulement parce que l'auteur s'y trouvait sur le terrain de la plupart de ses travaux personnels, mais aussi et surtout parce qu'il considère, suivant les traditions françaises, l'étude du relief du sol comme le point culminant de la Géographie physique; parce que les faits envisagés sont à la fois les plus complexes, les mieux étudiés, les plus difficiles à résumer, et les plus intéressants par leurs conséquences directes, même sur la Géographie humaine.

Suivant une conception personnelle, l'auteur débute par deux chapitres sur la Topographie et ses enseignements. C'est la première fois qu'on cherche, dans un traité de Géographie physique, à enseigner au lecteur comment sont faites les cartes détaillées, sans lesquelles il n'est pas d'analyse rigoureuse du relief qui soit possible et dont il est nécessaire de pouvoir mesurer le degré de fidélité. Dans l'application, on est allé jusqu'à la description de la règle à éclimètre de Goulier et du planimètre d'Amsler, jusqu'à l'étude des procédés d'analyse graphique : sections, perspectives, blocs-diagrammes. A ce dernier procédé sont consacrées quatre pages, exposant la théorie et la pratique d'une méthode géométrique mise au point par l'auteur et qu'il a réussi à faire appliquer chaque année dans son enseignement aux élèves avancés.

Le chapitre II répond encore à une conception personnelle. L'étude d'un certain nombre de types de topographie, empruntés à des levés de précision autant que possible et illustrés de blocs-diagrammes qui leur correspondent exactement, sert à dégager les grandes lois du modelé de la surface des continents : prépondérance de l'érosion comme agent du modelé; nécessité de recourir à la Géologie pour expliquer les ruptures de pente, soit par la différence de nature des roches, soit par les dislocations tectoniques; enfin nécessité d'envisager les diverses formes de l'érosion. On arrive ainsi à la notion des *familles de formes d'érosion*, déterminées surtout par les caractères du climat, familles de l'érosion fluviale, des formes glaciaires, des formes éoliennes, des formes littorales. Un essai a été fait pour représenter cartographiquement leur extension à la surface du globe (fig. 15).

C'est à la famille des formes d'érosion fluviale qu'est accordée la première place, parce qu'elle est la plus connue et aussi parce que ses actions ne peuvent être négligées même dans les autres domaines. On propose de l'appeler l'érosion normale. Ses lois sont exposées dans deux chapitres, le premier analytique, le second plutôt synthétique. D'abord le mécanisme du creusement,

en distinguant l'élaboration du profil d'équilibre du lit, et le modelé des versants, puis l'alluvionnement, avec ses formes plus variées qu'on ne l'imagine. Ce dernier sujet est éclairé par la distinction des « plaines de montagne », essentiellement instables, des « plaines de piedmont », constamment remaniées par suite des vicissitudes tectoniques des montagnes et des changements de climat, d'ailleurs toujours en pente assez forte, enfin des « plaines de niveau de base », seules stables, à moins de mouvements épeirogéniques ou eustatiques, mais elles-mêmes influencées par le climat, comme le montre une statistique originale sur la pente de diverses plaines de ce genre. On aurait évité bien des discussions et des erreurs sur les terrasses et leur signification en tenant compte de ces distinctions.

Dans la nature, creusement et alluvionnement ne sont pas séparés; le chapitre suivant étudie leur combinaison, qui donne quatre types principaux de vallée, et consacre un long développement aux vallées dissymétriques, analysant spécialement le cas des méandres encaissés; puis vient le phénomène des captures, épisode curieux, mais nécessaire et normal, de l'évolution du réseau hydrographique, dont plusieurs cas classiques sont exposés, ce qui permet de fixer les signes certains de capture et les conditions de cet événement. Il est permis de signaler comme une nouveauté le paragraphe sur des captures contemporaines, observées depuis peu ou en cours de réalisation. Les analyses précédentes ayant montré que toutes les formes d'érosion évoluent, on est amené à envisager le sens et le but de l'évolution générale d'une région; le terme en est nécessairement la *surface de base* ou *pénéplaine*. On expose la notion du cycle d'érosion et de ses stades, en montrant ce qu'il y a à retenir des critiques qu'elle a essuyées; on montre par des exemples la généralité du cas où sont mélangées des formes appartenant à plusieurs cycles successifs; on explique dans quelles conditions il est possible de les observer et par quelles méthodes on peut arriver à les distinguer.

Les deux chapitres que nous venons d'analyser avec quelque détail sont parmi les plus personnels de l'ouvrage. Leur influence a été notable sur tous les travaux géographiques parus en France depuis une vingtaine d'années.

Le chapitre sur l'influence des roches, qui fait suite, est également nouveau par sa conception. Sans entrer dans les détails, notons la distinction essentielle qu'il établit entre la classification géologique des roches et les différences physiques ou chimiques influant sur le modelé d'érosion, qui intéressent seules le morphologue : roches compactes ou cohérentes et roches meubles ou non cohérentes, roches schisteuses ou plus ou moins diaclasées et roches massives, roches homogènes et roches hétérogènes, roches à gros grain et roches à grain fin, roches perméables et roches imperméables, roches solubles et roches peu ou point solubles. Ceci n'empêche que la classification géologique, donnant le nom et, en quelque sorte, l'état civil des roches, doit être familière au géographe. C'est dans cet esprit qu'on étudie le relief des roches granitoïdes, celui des argiles et marnes, des schistes divers, des sables et des grès. Le relief calcaire fait l'objet

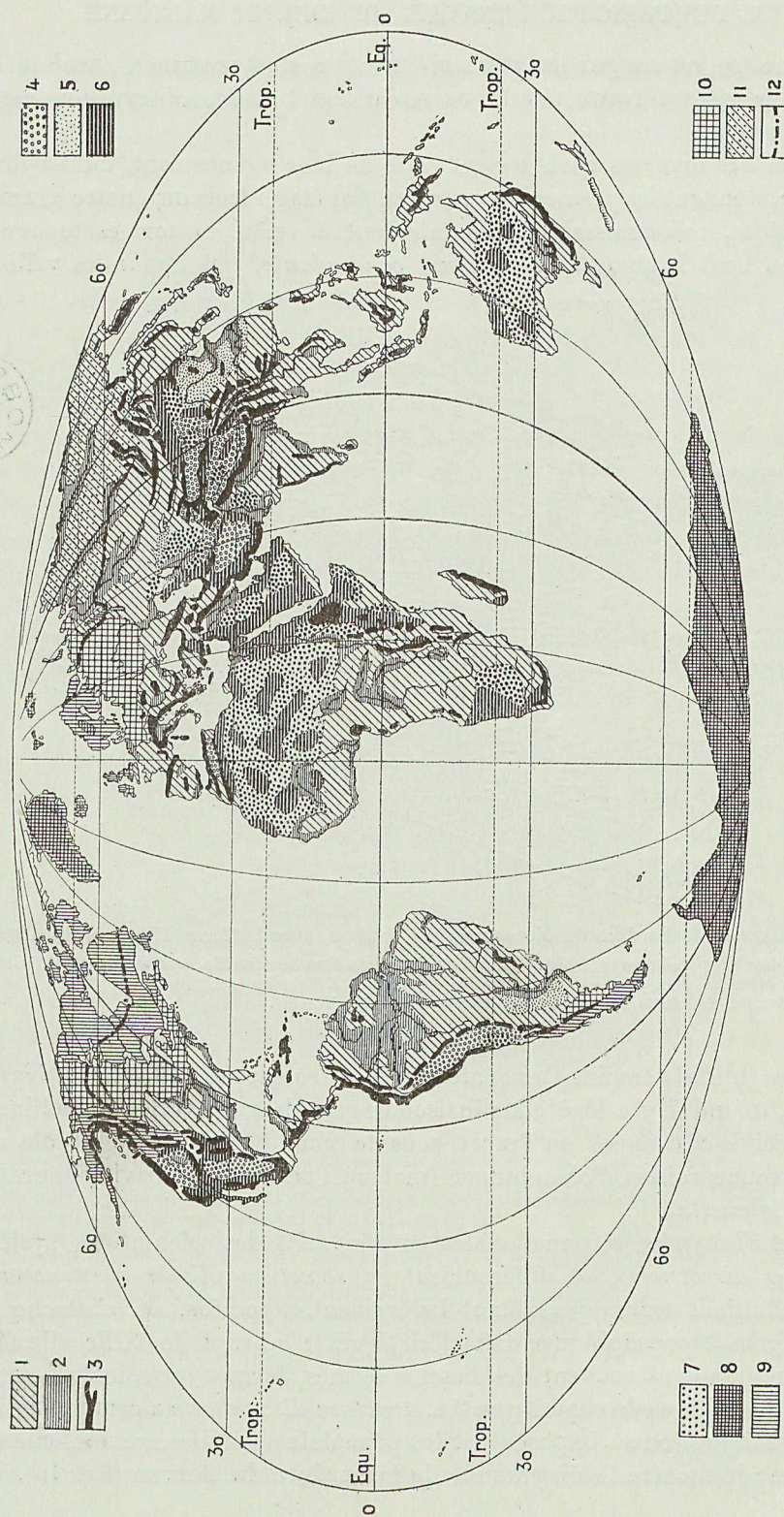


Fig. 15. — Esquisse de la répartition des formes dominantes de l'érosion sur les continents

1, 2, 3 et (partiellement) 4 et 5, érosion normale : 1, décomposition chimique et érosion fluviale; — 2, accumulation fluviale; — 3, désagrégation mécanique avec transport fluviale (traces d'érosion glaciaire généralement); — 4, désagrégation mécanique et accumulation par suite de drainage insuffisant (bassins intérieurs); — 5, accumulation par actions éoliennes et ruissellement (loess).
6, 7, et (partiellement) 4 et 5, érosion éolienne : 6, désagrégation mécanique avec transport et érosion éolien; — 7, accumulation éolienne.
8, 9, 10, érosion glaciaire (partiellement 3 : 8, érosion glaciaire actuelle; 9, érosion glaciaire quaternaire; — 10, accumulation glaciaire quaternaire.
11, érosion nivale; — 12, limite du sol perpétuellement gelé, marquant à peu près l'extension de l'érosion nivale actuelle dans le domaine des actions glaciaires quaternaires.

de tout un chapitre, où ses particularités si curieuses sont examinées, expliquées et classées d'après les travaux nombreux sur ce sujet et des observations personnelles de l'auteur.

Après l'étude des diverses roches vient celle de leur agencement, c'est-à-dire de la structure, donnant les *formes structurales*. J'ai établi trois ou quatre grands types de structure, reconnaissables généralement à certaines formes topographiques, qui en sont le signe : la *structure concordante*, qui donne les vallées

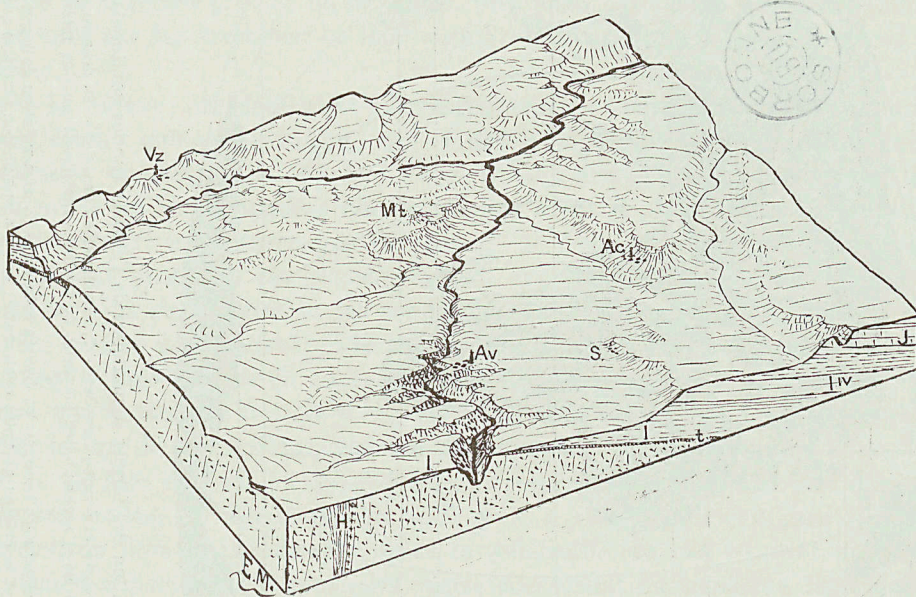


Fig. 16. — Diagramme de la bordure du Morvan, près d'Avallon, avec la Terre Plaine et les Côtes.

H, bande houillère de Sincay-les-Rouvray (schistes peu résistants pincés dans le cristallin, sans action sur le relief); — t, Trias; — l, Lias inférieur marneux; — l iv, Calcaire à gryphées; — J, Calcaire à entroques. Abréviations : Av, Avallon; Mt, Butte Montmartre; Ac, Annay-la-Côte; Vz, Vézelay.

en corniche, les buttes-témoins, les plates-formes structurales, suivant le degré d'évolution; et, quand il y a légère inclinaison des couches, les vallées et collines monoclinales, celles-ci connues en France sous le nom populaire de « côte », que l'on n'a aucune raison d'abandonner (malgré l'autorité de Davis) pour le mot espagnol de *cuesta*.

Les *structures disloquées*, reconnaissables en général à des orientations systématiques (*lignes directrices*), se différencient en *structure plissée* et *structure faillée*. Les définitions tectoniques étant brièvement rappelées, on s'attache à montrer les signes topographiques caractéristiques : abrupt de faille aligné, fossés tectoniques donnant souvent des bassins fermés, formes jurassiennes classiques, formes des régions de charriages. La *structure discordante* a comme signe les vallées épigéniques (ou surimposées) et les pénéplaines fossiles, généralement associées, comme le montre le diagramme de la bordure du Morvan (fig. 16).

Un type de structure très particulier est celui des volcans, qui, avant d'être disséqués par l'érosion, forment des reliefs postiches édifiés avec une rapidité

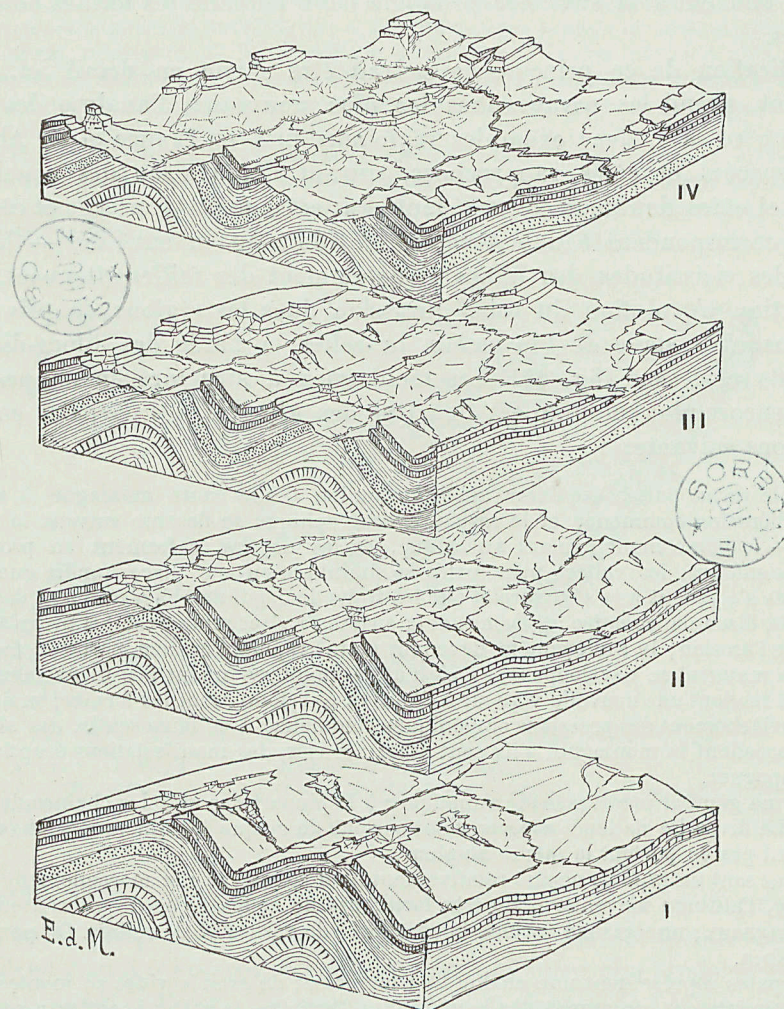


Fig. 17. — Schéma de l'évolution vers la formation des vallées anticlinales.

Creusement dans un complexe de conches argileuses, gréseuses et calcaires.

Au premier stade : vallées conséquentes synclinales, formation de *ruz*, première ébauche des vallées anticlinales (affluents des *ruz*) et du décapage du dôme anticlinal (à droite), raccordement des vallées longitudinales par une vallée transversale suivant un abaissement de l'axe du pli de droite.

Au deuxième stade : constitution du réseau hydrographique jurassien, élargissement des vallées anticlinales bordées de *crêts*, découpage des flancs des anticlinaux par les *ruz* en écailles ou facettes triangulaires, accentuation du décapage du dôme anticlinal.

Au troisième stade : les vallées anticlinales ont pris définitivement le dessus sur les vallées synclinales, leur creusement ayant atteint un niveau plus bas ; la vallée synclinale gauche a été tronçonnée par capture.

Au quatrième stade : l'inversion du relief est générale. Tronçonnement de toutes les vallées synclinales, série de cuvettes synclinales perchées entre les vallées anticlinales.

étonnante. Leur étude, permettant de partir de formes primitives construites avant que l'érosion commence son cycle de dégradation, est une introduction excellente aux chapitres qui essaient de suivre l'évolution des formes dans les

différents types de structure; essai délicat, car on ne saurait connaître généralement la surface sur laquelle l'érosion a commencé, et cette surface ne correspondait pas souvent à la structure profonde dans laquelle les formes actuelles sont sculptées.

L'application de ce principe ne saurait être suivie en détail ici. Signalons seulement, parmi les paragraphes les plus nouveaux, l'analyse des différents types de « côtes », avec exemples régionaux pris en France et en Allemagne : côtes espacées et côtes rapprochées, suivant l'inclinaison des couches; côtes simples et côtes doubles; côtes dédoublées; côtes à front interne et côtes à front externe correspondant à une structure en dôme ou en cuvette; — la démonstration des vicissitudes des failles et notamment des failles atténuées, rajeunies ou inverties. L'évolution du relief jurassien dans les régions de plis lâches est suivie jusqu'au stade de l'inversion du relief, à l'aide des blocs-diagrammes reproduits ci-dessus (fig. 17). Les montagnes à structure en nappes ont une histoire encore plus compliquée; l'analyse des Alpes et des Carpates conduit aux conclusions suivantes :

Il semble qu'on puisse esquisser ainsi l'évolution d'une haute montagne à structure en nappes : l'érosion commence et le réseau hydrographique se dessine suivant le système jurassien; — le bombement général s'accroît, et les nappes se forment en profondeur; — l'érosion s'enfonce, les vallées principales se maintiennent sur place, tandis que les vallées secondaires s'adaptent à la structure et que les traits de détail du relief évoluent dans le même sens; — la discordance entre les formes et la structure s'accroît avec les progrès du bombement et de l'érosion; le soulèvement devenant moins rapide, l'érosion prend le dessus, et des formes de maturité se développent; — c'est alors qu'interviennent des mouvements épirogéniques qui rendent une nouvelle vigueur à l'érosion et rajeunissent les formes; mais en même temps le relâchement des pressions orogéniques commence à se faire sentir, des affaissements locaux morcellent la montagne; s'ils sont assez accusés, des manifestations éruptives peuvent les accompagner.

Ce schéma général paraît pouvoir s'appliquer à la plupart des grandes chaînes de plissement connues. La diversité de leurs aspects vient surtout de ce que les différentes phases de l'évolution n'ont pas eu partout la même ampleur.

Les Alpes sont un type de chaîne relativement bien conservée : le morcellement y a à peine commencé, l'altitude moyenne reste très forte; pas de coupures ou de vides étendus dans le bloc montagneux; une grande variété de structure, de roches et de reliefs. On pourrait parler de *type alpin*.

Les Carpates représentent une chaîne très morcelée; de grands vides se montrent partout; les affaissements ont commencé dès le milieu du Tertiaire, le volcanisme les a accompagnés; l'altitude moyenne est très inférieure à celle des Alpes; les formes sont moins variées, moins jeunes en général; avec des traces évidentes d'un modelé de maturité plus ou moins avancé atteint à plusieurs reprises. On pourrait parler d'un *type carpatique*.

Le type alpin n'est peut-être pas le plus répandu; l'Himalaya semble s'y rattacher. Au type carpatique on rapporterait la plupart des chaînes méditerranéennes, sans doute aussi la plupart des montagnes de l'Ouest des États-Unis.

Les anciennes montagnes rajeunies offrent une variété de combinaisons extrême, dont l'étude des régions hercyniennes de l'Europe centrale et de la France a permis à l'auteur de connaître la plupart. Il a le premier montré dans la Bretagne un exemple du type appalachien (46), dans le Morvan la structure discordante avec intersection des pénéplaines (95), rapproché le Boehmerwald

et la Lysahora (107). Les principales distinctions à faire sont résumées ainsi :

Structure appalachienne nette (comme dans les Appalaches) ou structure massive (comme dans le Massif Central français); — déformations par simples mouvements épeirogéniques ou déformations accompagnées de dislocations; — sculpture assez poussée ou érosion ayant pénétré peu profondément au-dessous de la pénéplaine primitive; — cycles d'érosion plus ou moins nombreux depuis le début du rajeunissement; — couverture discordante inconnue, par suite, surimposition douteuse; ou couverture discordante encore bien conservée, soit dans des dépressions tectoniques (Bohême, Massif Central), soit sur la périphérie (d'où épigénies, dépression et côtes périphériques); — dans le cas d'une couverture discordante, rapports simples entre la pénéplaine fossile et la pénéplaine qui est souvent établie sur la couverture (Morvan septentrional), ou au contraire relations complexes dues à des mouvements du sol et des dislocations; — couverture discordante simple, ou traces de plusieurs séries en discordance (cas de la Bohême).

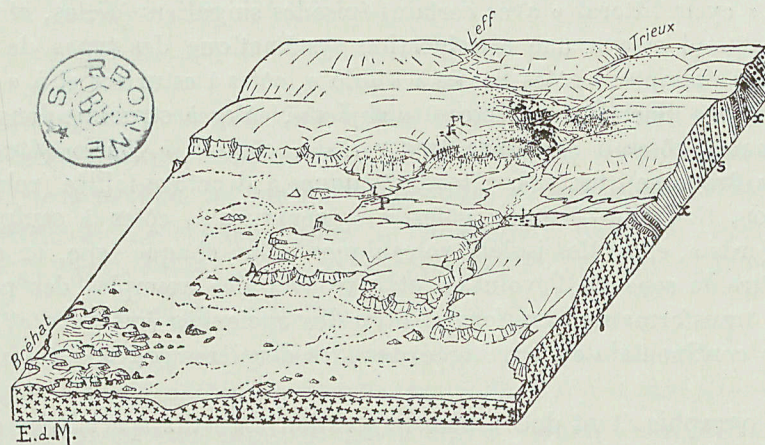


Fig. 18. — Diagramme de la côte du Trégorrois, type de côte à rias.

A, Pointe de l'Arcouet; — P, Paimpol; — Pl, Plourivo; — L, Lézardrieux.

X, Schistes précambriens, plus ou moins métamorphisés avec roches éruptives; — S, Poudingues et grès siluriens;

— Y, Granite, syénite, etc.

Les forêts sont marquées par des traits verticaux, les landes, par un pointillé.

Ces considérations conduisent à envisager les cadres de la Géologie et de la Paléogéographie (chap. XI). On passe ensuite à la famille des formes glaciaires. Deux chapitres y sont consacrés. Le premier donne, outre une étude des glaciers actuels (comprenant la théorie du mouvement de la glace et de l'érosion glaciaire, telle que l'auteur l'a élaborée), une monographie des phénomènes de nivation (solifluction, etc.), qui n'avait jusqu'ici jamais été essayée dans un traité de Géographie physique. Le relief glaciaire est décrit dans toutes ses variétés, en s'inspirant de l'idée maîtresse, démontrée par les travaux de l'auteur sur les Alpes, que l'érosion préglaciaire conditionne l'érosion glaciaire. Ce principe trouve son application dans les formes simples (cirques et crêtes alpines, auge, verrou, vallées suspendues, etc.), comme dans les formes complexes des grandes vallées alpines. Il s'applique même aux régions de glaciation régionale, comme la Scandinavie.

Le chapitre sur le modelé désertique et les actions éoliennes bénéficie des observations personnelles faites par l'auteur dans divers pays arides et de ses études

sur l'endoréisme, analysées plus haut. Partant de la dégradation de l'hydrographie, on comprend mieux la part qui revient à l'érosion des eaux dans les déserts et régions subdésertiques, et on y reconnaît les traces de la période pluviale quaternaire. L'étude des dunes n'est arrivée à quelque précision qu'en ce qui touche les dunes littorales des pays humides; sur les ergs sahariens, on sait encore peu de chose : stabilité de forme générale, orientation systématique des gassis, encore inexpliquée....

Aux formes littorales sont consacrés deux chapitres. Le premier, sur les facteurs littoraux, discute la formation de la plate-forme d'abrasion, en niant son extension illimitée, donne de nombreux exemples de formes d'accumulation et analyse le « cycle littoral » avec certains épisodes singuliers (deltas, récifs coralliens). Le second essaye une classification systématique des types de côte, en décrivant des exemples : côtes basses à « lido », côtes à estuaires et à « limans », côtes de plaines glaciaires ou côtes à « skjärs », côtes à structure longitudinale (type dalmate), côtes à structure transversale, côtes à « rias » (étudiées par l'auteur en Bretagne) (fig. 18), côtes tectoniques à structure faillée (relativement rares, Japon, Nouvelle-Zélande), côtes « épigéniques », côtes à sculpture glaciaire, « fjords », enfin îles isolées volcaniques. Pour chaque type, on a cherché à reconnaître le sens de l'évolution et à trouver des exemples des principaux stades. La transformation des formes littorales anciennes émergées et soumises à l'érosion continentale est envisagée dans les dernières pages.

La Biogéographie étant due à la collaboration de deux spécialistes éminents, qui ont rédigé entièrement, l'un, les chapitres sur la Géographie des plantes (Aug. Chevalier), l'autre, ceux sur la Géographie zoologique (L. Cuénot), ma part s'est réduite, dans ce troisième volume, à la coordination des manuscrits, à quelques additions inspirées par une connaissance personnelle de certaines particularités des pays de l'Europe centrale, et à la rédaction d'un chapitre d'introduction générale, pour lequel mes deux collaborateurs ont fourni la plupart des éléments. On me permettra seulement de faire remarquer que ce chapitre était une tentative assez neuve (déjà esquissée dans les premières éditions). Le succès de cette partie de l'ouvrage n'a pas été moindre que celui des deux premiers volumes, et des pourparlers ont été engagés pour une traduction anglaise.

V

GÉOGRAPHIE RÉGIONALE. L'EUROPE CENTRALE

La Géographie descriptive ou Géographie régionale a la réputation d'être moins scientifique que la Géographie générale, dont les problèmes physiques m'ont surtout occupé. Je me suis cependant efforcé, lorsque j'ai été amené à l'aborder, de tirer parti, pour la Géographie physique elle-même, des occasions offertes par la nécessité d'une documentation étendue et la largeur des horizons ouverts aux tentatives de synthèse.

Le grand ouvrage sur l'*Europe centrale* que mon maître Paul Vidal de La Blache m'avait demandé pour sa nouvelle *Géographie Universelle* m'a été, à ce point de vue, utile; et son premier volume, paru en 1931, a déjà été l'objet de comptes rendus semblant indiquer qu'on a apprécié la portée des pages consacrées aux problèmes généraux de la Géographie physique, étudiés dans leurs applications locales. On a reconnu aussi l'originalité des cartes morphologiques régionales, dont le second volume, paru en février 1932, offre encore un grand nombre d'exemples et qui sont toutes des tentatives nouvelles (nous en reproduisons ci-joint un exemple), de même que les blocs-diagrammes établis suivant la méthode que j'ai mise au point, comme il est expliqué plus haut (nous en reproduisons aussi deux exemples).

La série des chapitres généraux sur l'Europe centrale, qui ouvre le premier volume, mérite d'être brièvement analysée ici.

Le climat de l'Europe centrale est d'abord étudié comme un élément caractéristique de cette grande région. Les cartes d'isothermes tracées de degré en degré sont originales, de même que la carte générale des pluies et surtout la carte des pluies des Alpes à 1 : 3 000 000. Une tentative est faite pour définir nettement des types de climats régionaux : climats de la grande plaine du Nord, caractérisés par une lente transition du type océanique au type continental; climats

danubiens, où des influences méditerranéennes se combinent avec des influences continentales; climat de montagnes (particulièrement climat alpin); climats

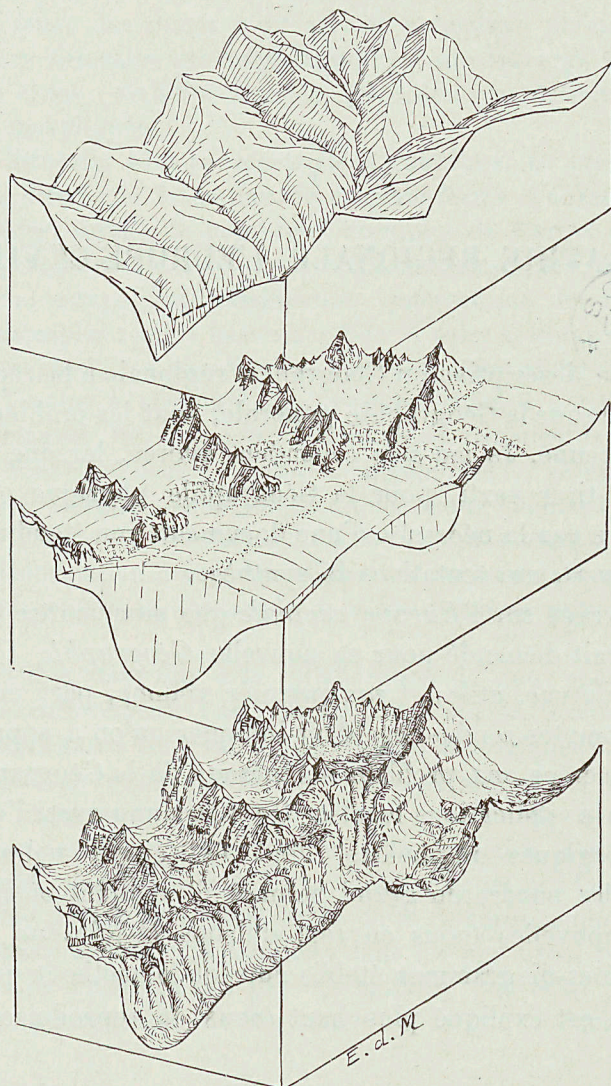


Fig. 19. — Évolution des formes glaciaires haut-alpines.

En haut, modelé préglaciaire (sur l'avant du bloc, un trait discontinu indique le profil de la vallée mûre avant le rajeunissement). — Au milieu, aspect de la glaciation, avec indication des séracs sur les gradins qui correspondent à des débouchés de vallées secondaires ou à une rupture de pente de la vallée principale (noter aussi l'épaisseur réduite des glaciers affluents). — En bas, relief après disparition des glaciers (noter le cirque correspondant à un bassin de réception torrentiel dans la topographie préglaciaire, les vallées suspendues avec verrous, correspondant à des glaciers affluents et à leur débouché avec séracs, le verrou dans la vallée principale correspondant lui-même à un gradin glaciaire).

hercyniens, avec la variété extrême due au morcellement du relief et le cas particulier des pays rhénans, remarquables par une teinte méridionale; enfin

climats subalpins des plaines et couloirs subalpins en Suisse, Allemagne du Sud et Autriche.

Les chapitres sur le relief décrivent et interprètent sous une forme très condensée et synthétique les traits essentiels des Alpes, des Carpates, des massifs et bassins hercyniens, des grandes plaines nordiques ou danubiennes.

La conception des Alpes dérive des études de l'auteur, sur le relief glaciaire,

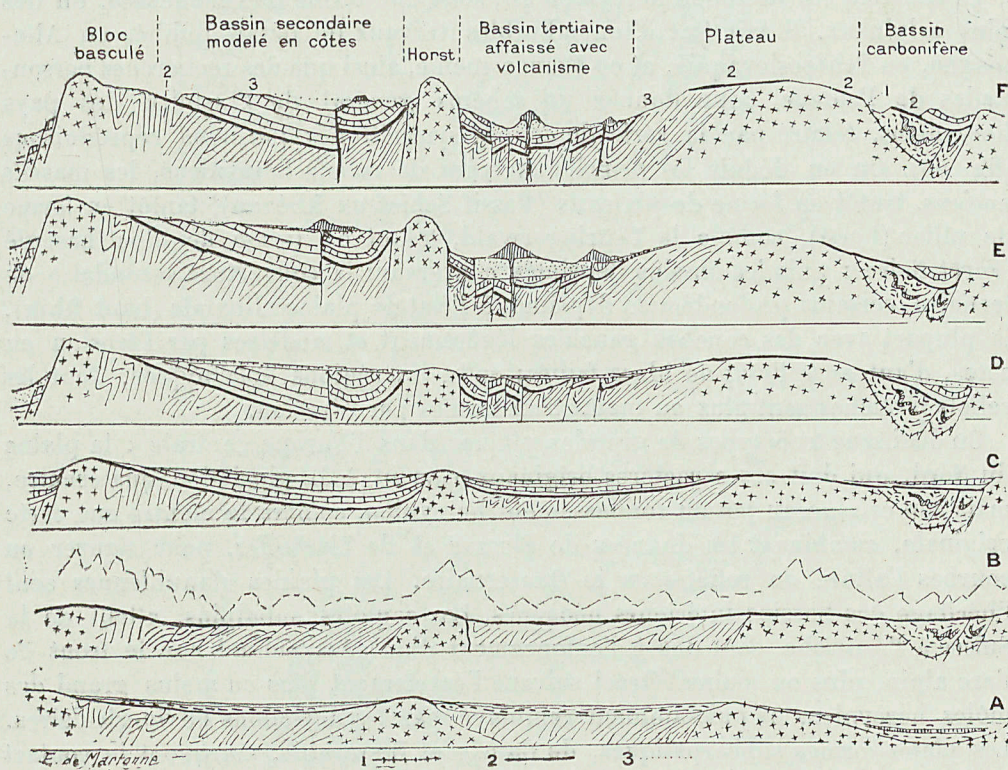


Fig. 20. — Série de coupes schématiques montrant l'évolution de la zone hercynienne.

Fig. 20. — Série de coupes schématisées de la péninsule de la Pénola. — 1. Pénéplaine fossile postcalédonienne; 2. Pénéplaine fossile posthercynienne; 3. Pénéplaine tertiaire. — A. Situation avant les plissements hercyniens. — B. Pénéplaine posthercynienne (en trait interrompu, profil du relief des montagnes qu'avait formées le plissement hercynien). — C. Sédimentation de l'époque secondaire. — D. Pénéplaine tertiaire après dislocations affectant la couverture secondaire. — E. Dislocation de la pénéplaine tertiaire et volcanisme. — F. État actuel après que l'érosion a fait disparaître une partie des reliefs volcaniques, déblayé des dépressions dans le Tertiaire meuble en le balayant, sauf là où il est protégé par des laves, sculpté des côtes dans les bassins de couches secondaires, dégagé par endroits la pénéplaine fossile posthercynienne (2) et même parfois la pénéplaine postcalédonienne.

dû au rajeunissement fluvatile pliocène et aux érosions glaciaire et fluviale alternant au Quaternaire; elle fait état des synthèses sur la structure en nappes (carte et série de coupes d'après Staub) et de l'interprétation que j'ai donnée moi-même, dans mon *Traité de Géographie physique*, de l'influence exercée par l'orogénie sur le dessin général de la chaîne et sur les grandes lignes de sa topographie. Un nouveau diagramme montrant l'élaboration du relief glaciaire est reproduit comme supérieur aux essais antérieurs (fig. 19). La division en grandes

unités géographiques diffère de celles proposées jusqu'ici et reproduit les conclusions de l'étude que j'en ai faite dans un article antérieur (99).

L'étude des Carpates fait ressortir leurs différences avec les Alpes, leur hétérogénéité et leur morcellement, dus à une décadence orogénique précoce, enfin la distinction essentielle entre les Carpates du Nord-Ouest et les Carpates du Sud-Est.

Le chapitre sur le Monde hercynien est, sous une forme très condensée, un des plus originaux. Il fait état d'innombrables travaux de détail publiés en Allemagne, en Tchécoslovaquie, et en France même, ainsi que des recherches personnelles de l'auteur, pour donner un schéma général de l'histoire des pays hercyniens, éclairé par la série de coupes synthétiques que nous reproduisons (fig. 20). On en déduit les principaux types de reliefs hercyniens, les massifs anciens, tantôt en forme de plateaux (Massif Schisteux Rhénan), tantôt en forme de pilier (horst), comme le Thüringerwald, tantôt en forme de bloc basculé (Forêt Noire); puis les bassins déprimés conservant la couverture secondaire ou tertiaire, certains profondément déprimés à l'état de plaine alluviale (haut Rhin), la plupart avec des couches gauchies légèrement et modelées par l'érosion en côtes, d'autres à l'état de blocs faillés; enfin les régions volcaniques, dont les reliefs postiches sont plus ou moins transformés par l'érosion.

On distingue trois types de grandes plaines dans l'Europe centrale : la plaine du Nord, qui doit ses caractères originaux surtout à la glaciation quaternaire, mais son origine au jeu du soubassement hercynien, comme le montre une carte originale, combinant les données de Fleszar et de Zierhoffer, pour figurer en courbes l'allure du relief sous le Quaternaire. Les plaines danubiennes sont l'héritage des bassins intérieurs néogènes. Les couloirs subalpins, allant de la Suisse à l'Autriche, sont dus à l'enfoncement d'un géosynclinal sur le front de l'arc alpin, plus ou moins rétréci suivant l'écartement plus ou moins grand des môles hercyniens et puissamment remblayé par les déjections fluvio-glaciaires. Les plates-formes subcarpatiques, de Galicie et Bessarabie, marquent le contact avec le bouclier russe, figé depuis la fin du Primaire.

Après l'étude du relief, celle des eaux courantes est l'occasion d'un nouvel essai de synthèse, que nous avons déjà analysé pour le mettre à sa suite dans l'ensemble des travaux sur l'Hydrographie dans son rapport avec le relief du sol. On nous permettra de signaler encore le chapitre sur la Vie végétale et animale, qui doit sans doute tous ses éléments aux nombreux travaux des spécialistes, mais qui représente un essai de synthèse régionale, pour lequel n'existait aucun exemple, essai que l'auteur n'aurait pu songer à tenter sans la familiarité acquise avec ces questions dans la rédaction des chapitres de Biogéographie de son *Traité de Géographie*, en collaboration avec des collègues aussi compétents que MM. Cuénot et Chevalier.

Les idées maîtresses sont : 1° le manque d'originalité du peuplement biologique de l'Europe centrale, dû surtout à l'influence de la glaciation quaternaire, après laquelle la région a été envahie par les espèces animales et végétales atlantiques,

méditerranéennes ou continentales; 2° le contraste des régions forestières et des régions découvertes, en rapport avec les sols (dont j'ai tenté de donner une carte

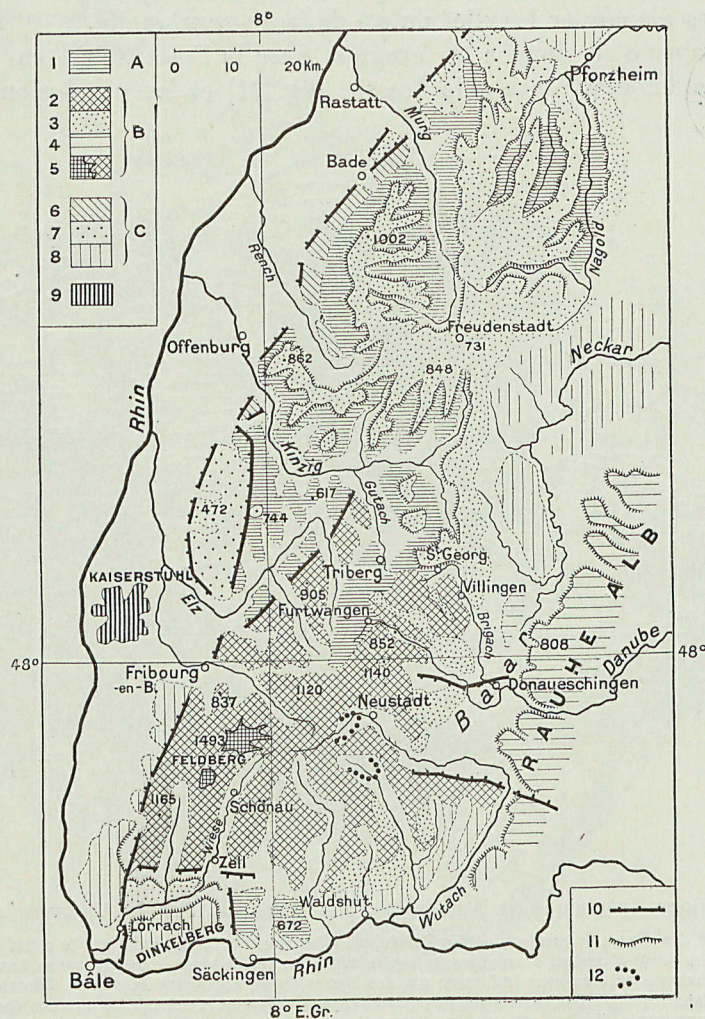


Fig. 21. — Essai de carte morphologique de la Forêt Noire.

A. 1, Pénélaine fossile posthercynienne. — B. Pénélaine du Tertiaire inférieur (Éocène) : 2, Sur le massif hercynien (formée aux dépens de A); 3, Sur les grès du Trias inférieur; 4, Sur le Trias moyen ou le Jurassique calcaire; 5, Buttes résiduelles dominant la pénélaine B, avec cirques glaciaires. — C. Surfaces d'érosion néogène: 6, Sur le massif hercynien (formée aux dépens de 2); 7, Sur les grès du Trias inférieur (formée aux dépens de 3); 8, Sur le Trias moyen ou le Jurassique calcaire. — 9, Massif volcanique d'âge néogène récent. — 10, Failles principales. — 11, Gradins d'érosion des tables gréseuses ou des côtes calcaires. — 12, Vallum morainique. — Échelle, 1 : 1 250 000.

à 1 : 13 000 000), donc avec le climat, mais aussi avec l'action de l'homme; cependant j'admets, comme le prouve tout un ensemble de faits rassemblés en faisceau par Gradmann, que les Néolithiques se sont installés dans des clairières naturelles pendant la période d'optimum climatique postglaciaire.

Il ne saurait être question d'analyser les descriptions régionales détaillées qui remplissent deux volumes de plus de 800 pages et dans lesquelles les considérations économiques doivent souvent avoir la première place. Cependant toutes occasions ont été saisies d'analyser le relief du sol de façon personnelle.

On va essayer d'en donner un exemple avec la Forêt Noire, en reproduisant la carte morphologique originale dressée (fig. 21) et les conclusions suivantes :

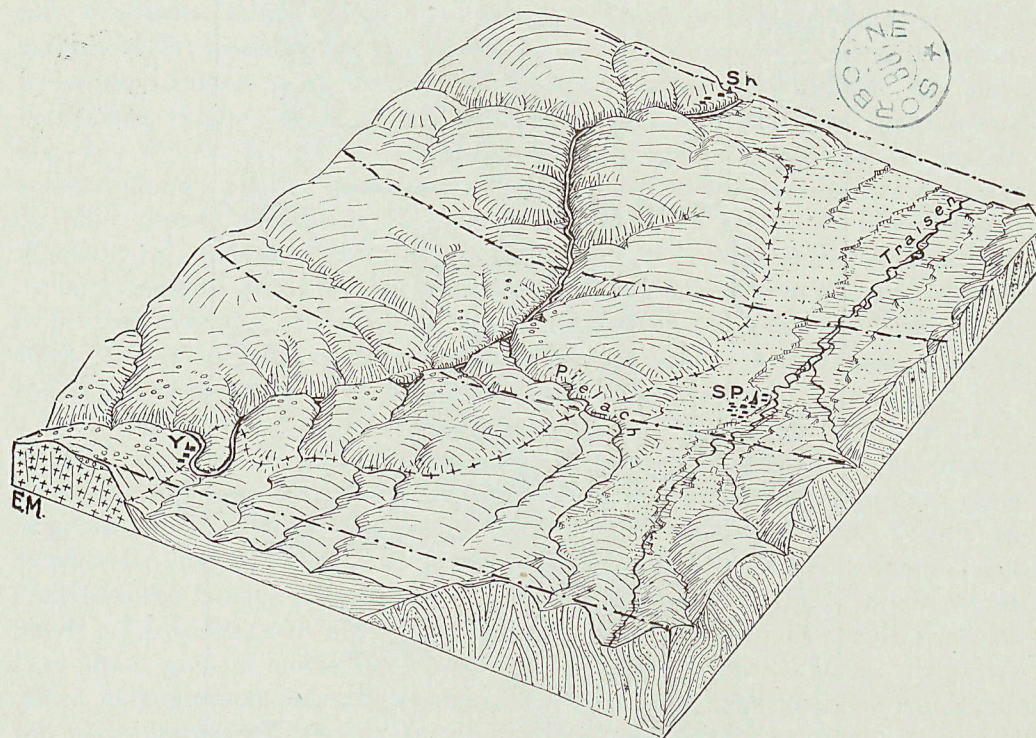


Fig. 22. — Gorge épigénique du Danube et couloir subalpin étranglé. Vue vers le Nord-Est.

A droite, le bord des Alpes; à gauche, le Massif Bohémien (sa limite est marquée sur le relief par une ligne de croix allongées). Les ronds signalent les résidus de dépôts néogènes sur la plate-forme d'érosion. Les terrasses quaternaires de la dépression subalpine sont indiquées par des lignes de points. Avant la reprise d'érosion qui a évidé le couloir subalpin dans les dépôts néogènes meubles, tandis que le Danube s'enfonçait sur place dans le socle hercynien en creusant une gorge étroite, qui entraîne l'étranglement des vallées affluentes près de leur confluent, l'allure générale du relief était à peu près celle qu'indiquent les quatre profils en traits forts discontinus avec points. — SK, Stein et Krems; SP Sankt Pölten; Y, Ybbs.

Le géographe au courant de l'histoire de la zone hercynienne reconnaît dans les croupes de la Haute Forêt Noire méridionale la trace d'une pénéplaine, souvent même celle de la pénéplaine fossile prétriasique, qu'il voit disparaître sous les grès, dressant en un front abrupt la tranche de leurs couches massives.

Au Nord et à l'Est, il aperçoit facilement une discordance entre la pente des strates de cette couverture sédimentaire et la surface des plateaux qu'elle forme, signe évident que ces plateaux représentent la pénéplaine tertiaire, dont nous savons la grande extension dans la zone hercynienne. Leur pente, prolongée vers l'Est, se raccorde avec les hauteurs du Jura Souabe, tandis que, vers l'Ouest, elle vient affleurer parfois sur les hauts sommets cristallins, signe évident aussi que les deux pénéplaines se recoupent à angle aigu....

Les hauts niveaux atteints par la pénéplaine tertiaire sont une originalité de la Forêt Noire. Ils se sont conservés grâce à la faible érosion du versant Est. Le dégagement de la pénéplaine fossile prétriasique n'a commencé, en certains points du versant Ouest lui-même, qu'à partir du Quaternaire, quand la plaine rhénane a atteint sa profondeur actuelle, en partie par la continuation de l'affaissement, en partie par le déblaiement des couches tertiaires peu résistantes.

L'avantage de l'érosion sur le versant Ouest s'est accentué de plus en plus, et a amené des

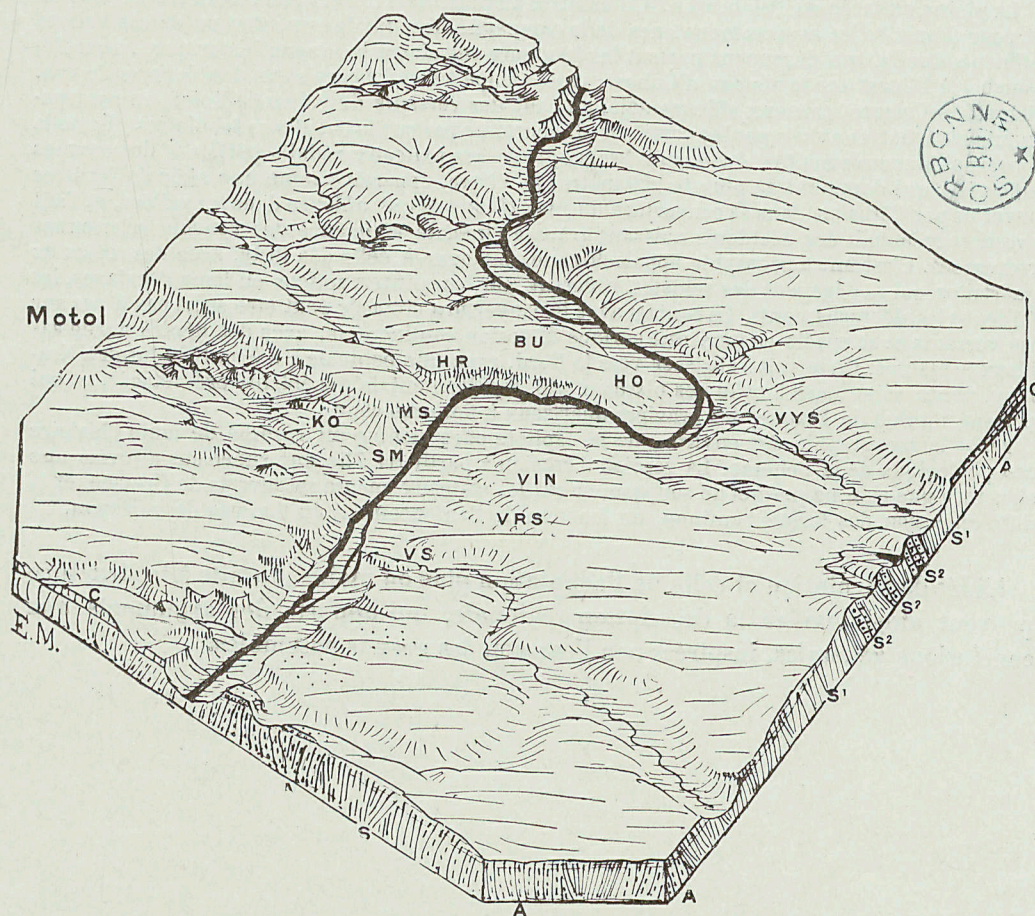


Fig. 23. — Diagramme du relief de environs de Prague. Vue vers le Nord-Ouest.

Le site et l'extension de la ville sont indiqués par les initiales des quartiers extérieurs : BU, Bubeneč; HO, Hološovice; VYS, Vysočany; HR, Hradčany; MS, Malá Strana; KO, Košice; SM, Smíchov; VIN, Vinohrady; VRS, Vršovice; VS, Vyšehrad. — La structure géologique indiquée sur les trois faces visibles du bloc montre la pénéplaine hercynienne tranchant les plis primaires (A) et la couverture crétacée (C). — A, Schistes algonquiens métamorphiques; S1, Schistes siluriens; S2, Quartzites siluriens — avec des crêtes de quartzites, réapparaissant depuis l'enlèvement de la couverture crétacée, notamment dans le vallon de Motol. Les alluvions anciennes des hauts niveaux sont signalées en coupe (ronds), près de la Vltava en amont de Prague et par un pointillé sur le relief.

captures, qui expliquent la disposition souvent singulière du réseau hydrographique. Celle de la haute Wutach par la Dreisam, affluent de gauche de l'Elz, qui passe à Fribourg-en-Brigau, date certainement du Quaternaire.

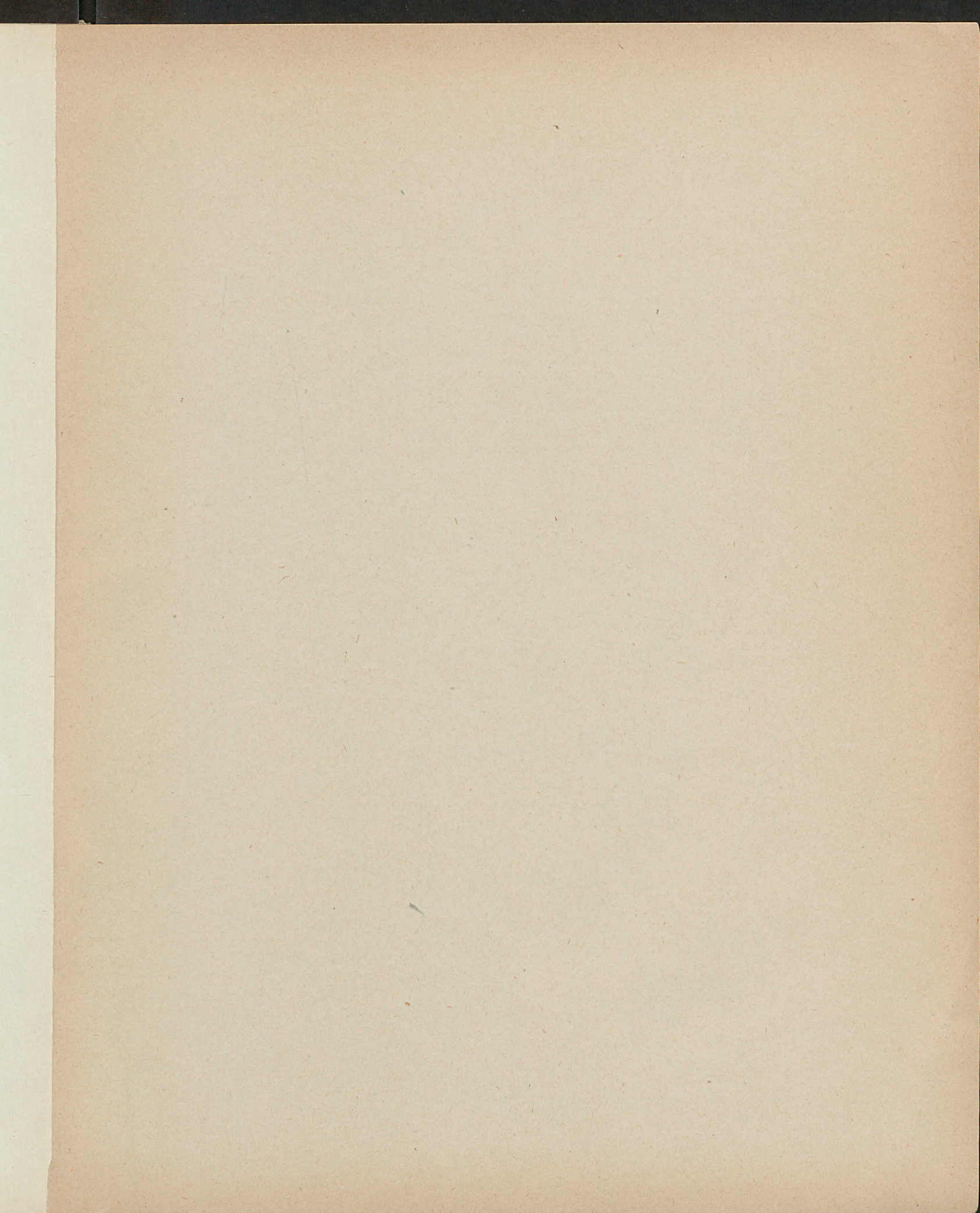
On nous permettra enfin d'insister sur l'usage des blocs-diagrammes, qui permettent de synthétiser les caractères morphologiques, à côté de nombreuses

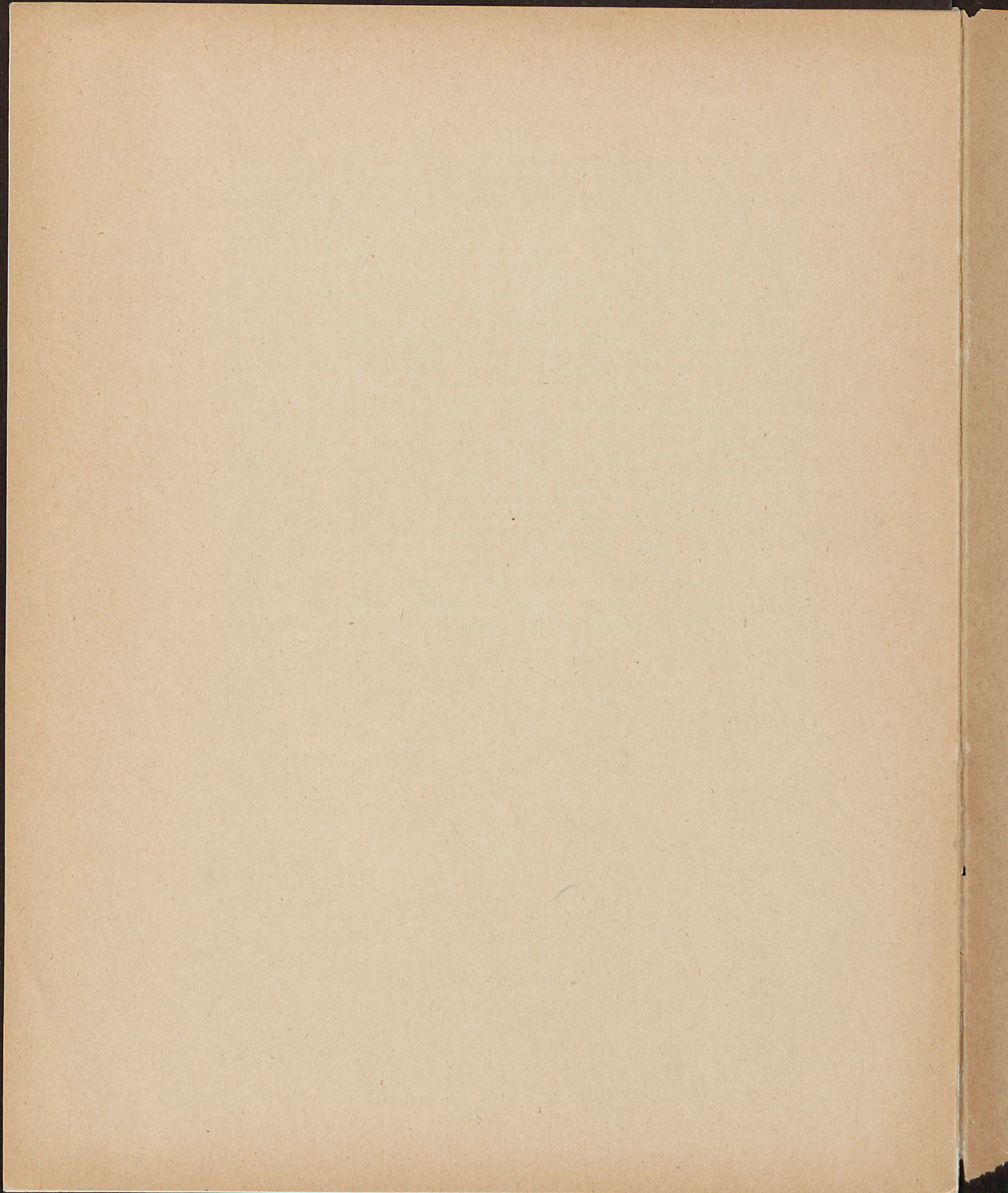
coupes, elles-mêmes souvent originales. Nous reproduisons le diagramme expliquant la surimposition ou épigénie du Danube en Autriche (fig. 22) et celui qui représente la morphologie des environs de Prague (fig. 23), avec les conclusions suivantes :

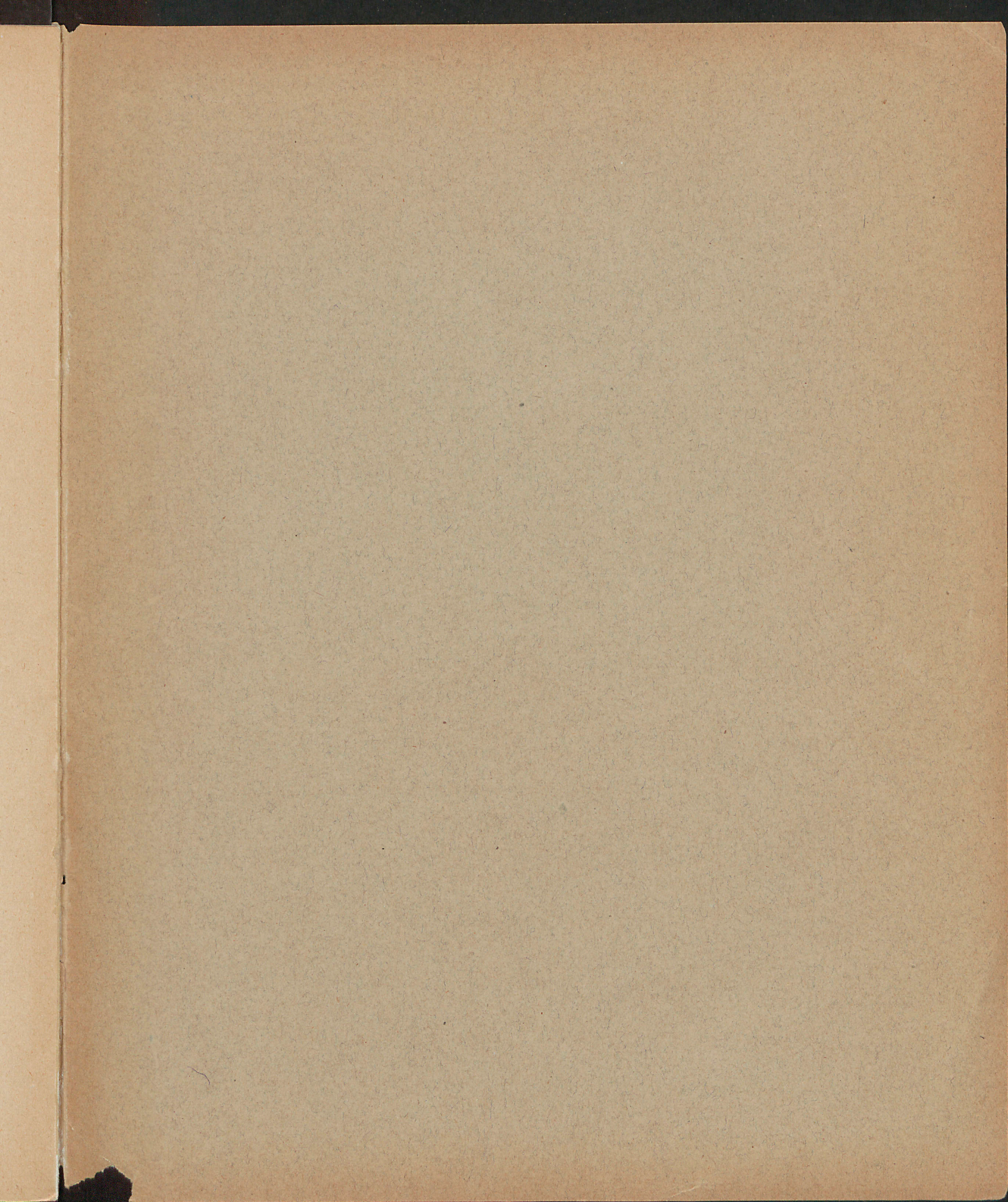
La plaine crétacée du Polabi est à 20 kilomètres au plus. Mais il n'est pas besoin d'aller jusque-là pour connaître les aspects monotones de la campagne. Il suffit de remonter un de ces vallons affluents étroits, qui découpent partout les hauteurs encadrant le Prague historique... pour déboucher à l'Ouest sur le plateau d'Unhost, vaste steppe où les labours s'étendent à perte de vue. Son sol de Crétacé marneux affleure déjà, au haut des versants du vallon de Motol, en escarpements blanchâtres avivés par les carrières. Il couronne partout les hauteurs tabulaires. Toute la topographie mouvementée du Grand Prague, avec ses plateaux réduits parfois à des croupes allongées, qui dominent de plus de 200 mètres la Vltava, apparaît comme une série de fenêtres ouvertes par l'érosion dans la couverture du massif ancien qui affleure dans les vallées, et l'œil averti y reconnaît des accidents naissant grâce à l'inégale résistance des couches siluriennes redressées. C'est une topographie appalachienne, analogue à celle des Brdy, avec des crêtes de quartzites qui se dégagent des schistes, reflétant, par leurs interruptions ou leurs décalages, les failles et les décrochements. Le contact avec la couverture crétacée peut être suivi pas à pas sur les versants et se révèle comme une surface d'érosion continentale, avec des dépôts argilo-sableux à plantes. On le voit s'abaisser vers le Nord, avec une pente de 8 à 9 p. 1000 jusqu'à Kralupy, pente supérieure à celle des plateaux qui représentent la pénéplaine précrétacée, et qui portent, au Sud de Prague, des graviers quartzeux à flore miocène.

Ainsi la topographie des environs de la capitale offre comme un résumé de toute l'histoire morphologique de la Bohême. La reprise d'érosion à partir du Pliocène supérieur a révélé une structure que rien ne permet de soupçonner sur les plateaux encore recouverts de Crétacé, et la différenciation des formes continue, en fonction de l'enfoncement du thalweg de la Vltava.

L'idée de l'évolution et celle de l'adaptation plus ou moins parfaite à la structure peuvent ainsi vivifier la description régionale, qui apporte des arguments aux conclusions générales, inspirées par l'examen des grands ensembles.







Imprimé en France
TYP. FIRMIN-DIDOT ET C^{ie}
PARIS - 1932