

# Les études géologiques récentes de M. A. Brives sur le Maroc.

Par E. Fichet.

(Présentation d'une carte géologique manuscrite à 1:1,000,000.)

**Note présentée au Congrès géologique international de Vienne,  
le 27 août 1903.**

## Introduction.

La carte que j'ai l'honneur de présenter au Congrès géologique international expose les principaux résultats acquis par l'exploration récente faite par M. Brives de décembre 1901 à mars 1902.

M. A. Brives est l'un des collaborateurs les plus actifs de la Carte géologique de l'Algérie, aux travaux de laquelle il participe depuis 12 ans; ses études sur les terrains miocènes<sup>1)</sup> ont été suivies de recherches détaillées sur différentes régions de l'Algérie occidentale. Aussi, grâce à sa connaissance précise de la géologie Algérienne, M. Brives se trouvait-il placé dans les conditions les plus favorables pour étudier le Maroc et établir d'intéressants rapprochements avec l'Algérie.

Les seules esquisses de cartes géologiques publiées à ce jour sur le Maroc sont renfermées dans les publications de MM. Blanckenhorn<sup>2)</sup> et de Thomson<sup>3)</sup>.

Les régions étudiées par M. Brives comprennent d'abord le Maroc occidental depuis le littoral, entre Rabat et Mazaghan, jusqu'au pied de l'Atlas, puis le Bassin de Fès-Meknès. Les tracés géologiques ont été effectués en majeure partie à l'aide de Cartes au 200,000, encore inédites, et dont la réduction a été opérée sur cette feuille à l'échelle de 1:1,000,000 (extrait de la Carte du Maroc par M. de Flotte-Roquevaire).

---

<sup>1)</sup> Brives. Les terrains miocènes du Chélif et du Dahra. Alger 1897.

<sup>2)</sup> Blanckenhorn (M.). Die geognostischen Verhältnisse von Afrika. I. Teil. Der Atlas des nordafrikanischen Faltengebirges. (Peterm. Mitteil. 1888.)

<sup>3)</sup> Thomson. Travels in the Southern Morocco and Great-Atlas. 1839.

### Aperçu géographique.

M. Brives a exposé, dans des notes succinctes<sup>1)</sup> la disposition générale que présentent les grandes plaines de l'Ouest-Marocain, disposition en plateaux étagés, s'étendant depuis le littoral atlantique jusqu'au pied de l'Atlas et à la chaîne du Rif.

Deux larges zones se distinguent ainsi : l'inférieure, voisine du littoral, est la zone des cultures, la suivante jusqu'au pied des grandes chaînes, correspond aux pâturages et aux irrigations. Celle-ci contourne une série de petits chaînons, plus ou moins isolés, témoignant de l'existence d'une troisième zone, aujourd'hui démantelée, qui comprend la région forestière et désertique.

D'une manière générale, ces trois zones forment trois plateaux en larges gradins. Dans la région de Fès la nature plus marneuse des sédiments a permis l'ondulation apparente par suite des ravinements plus faciles ; mais dans la région occidentale, de Mazaghan à Marrakech, la composition plus rocheuse du terrain a conservé la disposition horizontale des plateaux, dans lesquels les érosions ont découpé les berges élevées de rivières profondément encaissées.

Le plateau inférieur (littoral) dont l'altitude s'élève insensiblement jusqu'à la cote 280, correspond à l'extension de la mer pliocène, sur 60 à 70 kilomètres de profondeur. Le plateau moyen, d'une altitude de 300 à 600 mètres, représente „la pénétration“ de la mer miocène jusqu'au pied de l'Atlas, tandis que les témoins du plateau supérieur sont couronnés par les assises horizontales de l'éocène.

Le substratum de ces différentes plateformes est constitué par les terrains primaires dans l'Ouest, et par les terrains secondaires dans le bassin de Fès.

### Stratigraphie.

Les terrains cristallophylliens et primaires affleurent dans la majeure partie du triangle Rabat—Mazaghan—Marrakech, où ils forment le substratum des terrains tertiaires. Les assises y sont fortement plissées avec une orientation générale N. 20° E., tandis que tout le revêtement jurassique et tertiaire est disposé en couches horizontales<sup>2)</sup>. L'arasement de cette chaîne ancienne a commencé avec les formations secondaires.

<sup>1)</sup> Brives. Considérations géogr. sur le Maroc occidental. (Bull. Soc. géog. d'Alger, 1902.)

<sup>2)</sup> Brives. Sur la constitut. géolog. du Maroc occidental. (C. R. Ac. Sc. 21 avril 1902.)

## I. Terrain cristallophyllien.

Des gneiss et micaschistes avec roches granitiques en amas ou en filons s'étendent depuis le flanc sud du Jebel Lakhdar jusqu'au Jebilet, puis au Jebel Kerkour jusqu'à la plaine de Marrakech, au pied des premiers contreforts de l'Atlas.

Le granite, qui présente deux amas importants, paraît analogue au granite de Nedroma (Oran), postérieur au silurien.

## II. Terrains primaires.

La série primaire comporte trois divisions, lithologiquement bien tranchées, et qui paraissent se rapporter aux systèmes suivants :

*Silurien.* Puissante succession de schistes argileux gris-bleuâtres, se débitant en grandes dalles, ou en plaquettes, schistes ardoisiers avec quartzophyllades, et s'intercalant de bancs de quartzites jaunâtres plus ou moins épais. Ces assises, toujours très plissées, affleurent à Casablanca, sous la couverture pliocène; elles occupent une grande partie du plateau des Chaouia et forment le substratum de ces terres-noires (tirs), dont la fertilité a été constatée par tous les voyageurs. Le silurien reparait dans l'Oued Oum-er-R'bia, au gué de Mechra-bou-Laouane, puis disparaît sous le miocène pour se relever au flanc nord du Jebel Lakhdar, et plus au sud dans la partie médiane du Jebilet. Au sud de Marrakech, ce sont ces assises qui se montrent en bordure de la plaine et constituent les premiers contreforts de l'Atlas, depuis Amizmiz jusqu'à Demnat.

Ces schistes et quartzites présentent une similitude absolue avec les schistes primaires de l'Algérie (schistes des Traras, schistes de la Chiffa), dont l'âge reste indéterminé, et qui ont été classés provisoirement dans le Silurien. Au Maroc, pas plus qu'en Algérie, aucun fossile n'a été rencontré dans cette série, mais ici les relations avec les assises suivantes donnent la plus grande probabilité à l'attribution de ces schistes au système silurien.

*Dévonien.* Des grès siliceux noirâtres en bancs et en plaquettes, surmontent les assises précédentes et forment deux petites bandes, l'une au Jebel Lakhdar, l'autre dans le Jebilet; la rigidité de ces couches donne lieu à la formation de gours dont les plus remarquables sont la Gara d'Ouzern et celle de Chabeurguia (ouest de Quelaâ).

Ces grès sont identiques à ceux qui caractérisent le dévonien inférieur du Sahara Algérien, reconnu dans l'Oued Saoura, le Touat, et le Tidikelt (couches à *Pleurodictyum*, *Orthis*, *Chonetes*, *Spirifer*, etc.) et antérieurement par M. Fourreau dans le Tassili des Azdjer (Sahara Oriental).

Le carboniférien n'a pas été reconnu dans la région étudiée; on sait qu'il a été signalé plus à l'ouest par M. Th. Fischer sous la forme de calcaires à encrines.

*Permien.* Poudingues durs et schistes violacés, traversés de porphyres rouges, qui forment des dykes énormes (Srours) et qui ailleurs paraissent interstratifiés. Ce sont ces roches qui présentent des escarpements curieux le long de l'Oued Oum-er-R'bia.

Ces poudingues et schistes présentent absolument l'aspect des couches qui en Algérie (Djebel-Kahar, Beni-Menir, Djebel Doui) ont été attribués au Permien; on n'y a trouvé jusqu'ici aucun fossile caractéristique. Ce terrain, en relation avec les schistes siluriens, comme en Algérie, occupe une vaste surface le long de l'Oum-er-R'bia et sur le plateau au sud-ouest.

Toute cette série primaire paraît faire défaut dans le bassin du Sebou.

### III. Terrains secondaires.

*Trias.* Se présente sous le facies gypso-ophitique avec argiles irisées, comme en Algérie. Ce terrain forme, près de l'embouchure de l'Oum-er-R'bia, un petit îlot directement recouvert par le pliocène. Dans la région de Fès et vers El-Ksar, le trias est disposé en deux bandes parallèles orientées est-ouest. La bande nord disparaît sous l'éocène inférieur; la bande sud passe sous les calcaires liasiques du Zalagh. C'est dans cette zone que se trouve la fameuse source sulfureuse de Mouley-ben-Yacoub, qui jouit au Maroc d'une réputation d'ailleurs méritée.

*Lias.* Au nord de Fès, au Jebel Zalagh, se montrent des calcaires à Ammonites et à encrines peu déterminables, mais que leur facies permet, par comparaison avec les calcaires liasiques d'Algérie, d'attribuer à cette formation.

*Dogger.* Calcaires dolomitiques, très développés dans une bande dirigée est-ouest, au nord de Fès, dans le Zerhoum. Au sud de la plaine du Sebou, s'étend une zone très nettement marquée de ces dolomies depuis Fès jusqu'à l'ouest de Meknès.

Quelques îlots se montrent, au sud-est de Rabat (vallée de l'Oued Bou-Regreg, puis dans le Jebilet. Ce sont ces assises qui reparaissent sur le flanc du Grand-Atlas au sud de Marrakech.

Les terrains *crétacés* manquent dans la région étudiée; on sait que le cénomaniens a été reconnu à l'ouest (région de Mogador).

#### IV. Terrains tertiaires.

*A. Eocène.* Eocène inférieur. Marnes schisteuses noires, à la base, surmontées de calcaires blancs à silex et à nummulites, couronnés de bancs de grès. C'est le même faciès qu'en Algérie. Ce terrain s'étend au nord de Fès, dans une bande continue du Zalagh au Zerhoun, se développe autour du Zerhoun, et occupe une assez vaste surface un peu à l'ouest, au Djebel Outita et au Djebel Kafès. Dans le prolongement de cette zone, un affleurement se retrouve au sud de Rabat. Dans la vallée de l'Oum-er-R'bia, deux petites bandes affleurent le long de l'escarpement qui limite le plateau moyen sous la couverture miocène.

*Eocène moyen.* L'étage précédent est surmonté au Jebel Guebueb (nord de Fès) par des marnes blanches et des grès, qui s'étendent en transgression sur les calcaires à nummulites; ces couches se présentent comme l'analogue des assises, qui, dans l'est de l'Algérie et en Tunisie, ont été séparées de l'eocène inférieur et attribuées à l'eocène moyen. Elles sont discordantes sous les assises suivantes.

*Eocène supérieur.* Alternances d'argiles feuilletées brunes et de grès schisteux surmontés de grès quartzeux en bancs d'épaisseur variable, présentant le faciès du flysch gréseux, puissamment développé en Algérie depuis la Tafna jusqu'à la frontière Tunisienne. C'est l'étage que j'ai désigné sous le nom de Medjanien. Ces argiles et grès à fucoides avaient été depuis longtemps signalés à l'Est de Tanger par Coquand. Ces assises contournent le massif du Rif; elles viennent reposer en discordance sur l'eocène inférieur entre le Jebel Kafes et le Zerhoun. L'affleurement de ce terrain est surtout remarquable au Jebel Sarsar et près de Larache, où il s'approche de la côte, grâce à la découpeure de l'Oued Loukkos.

*B. Miocène.* M. Brives a reconnu les deux grandes divisions du miocène de l'Algérie; le Cartennien (ou 1<sup>er</sup> étage méditerranéen) et l'Helvétien—Tortonien (ou 2<sup>e</sup> étage méditerranéen).

*Cartennien.* Le miocène inférieur est représenté par des poudingues et des grès à *Pecten præscabriusculus*, dont les affleurements sont réduits par suite de l'extension de l'Helvétien. Sur le flanc du Zalagh, presque sous la ville de Fès, cet étage est bien caractérisé. Une grande partie du plateau des Zemmour, au sud de Rabat, paraît constituée par cette formation, d'après les fossiles rapportés à M. Brives, entre autres *Ostrea cartenniensis*.

Dans la vallée de l'Oum-er-R'bia, le Cartennien se montre plus développé, notamment aux environs de Quelaâ et jusque vers Tameilt.

Ce sont les poudingues de cet étage qui forment le sol de la plaine de la Teçaout.

*Miocène moyen.* Cet étage est représenté par les marnes argileuses de l'Helvétien si caractéristiques en Algérie, et qui se développent dans la région comprise entre Fès et Larache. A la partie supérieure, ces marnes sont couronnées par les grès du Tortonien, qui forment la terrasse Fès—Meknès. Sous cette dernière ville les grès passent à des calcaires à *Lithothamnium*, analogues à ceux de la rive droite du Chéelif, en aval d'Orléansville.

Dans la vallée de l'Oum-er-R'bia, c'est le faciès grèsocalcaire à *Lithothamnium* qui prédomine.

Tout le plateau moyen est recouvert par ces bancs disposés horizontalement.

M. Brives n'a pu observer la discordance qui sépare les deux étages miocènes.

*C. Pliocène.* Ces dépôts, qui affleurent sur tout le littoral depuis le Cap Spartel jusqu'au Cap Blanc en pénétrant plus ou moins profondément dans l'intérieur, sur la largeur du plateau inférieur, comprennent des argiles bleues surmontées de poudingues et de molasses calcaires à *Ostrea curvata*, avec une faune assez abondante.

Les observations de M. Brives établissent des rapprochements très serrés entre les formations étudiées au Maroc et celles de l'Algérie; nous devons attendre des résultats non moins importants de l'énergique activité, que déploie à l'heure actuelle M. Brives dans une nouvelle exploration dans la région de Mogador et vers les crêtes du Grand-Atlas occidental.

---

# La période glaciaire dans les Karpates méridionales

par E. de Martonne.

La glaciation des Karpates méridionales a été signalée dès 1881 par le géographe Lehmann<sup>1)</sup>. Mise en doute par les géologues Primics et Inkey<sup>2)</sup>, elle était, jusqu'à ces dernières années, considérée comme probable et l'on voyait figurer sur toutes les cartes représentant l'extension glaciaire en Europe une tache correspondant aux Monts de Fogarash.

Depuis cinq ans mes recherches dans les Karpates méridionales ont eu pour principal objet l'étude des traces glaciaires<sup>3)</sup>. Des faits nouveaux ont été en même temps mis en lumière par MM. Mrazec<sup>4)</sup>, Schafarzik<sup>5)</sup> et Loczy<sup>6)</sup>. Je crois qu'on peut maintenant considérer comme établi que

1° les Karpates méridionales offrent des traces indiscutables de glaciers du type pyrénéen,

2° que cette glaciation a été plus étendue qu'on ne le croyait et a eu pour principal centre non les Fogarash mais le massif du Banat (Retiezat—Godeanu—Tarco),

---

<sup>1)</sup> Beobachtungen über Tektonik und Gletscherspuren im Fogarascher Hochgebirge. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1881. — Die Südkarpathen zwischen Retiezat und Königstein. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin 1885.

<sup>2)</sup> G. Primics, Die geologischen Verhältnisse der Fogarascher Alpen, Mitteil. aus d. Jahrb. d. königl. ungar. geol. Anst. 1881. — B. v. Inkey, Geotektonische Skizze der westlichen Hälfte des ungarisch-rumänischen Grenzgebirges. Földtany Közlöny 1884.

<sup>3)</sup> Sur la période glaciaire dans les Karpates méridionales. Comptes Rendus des Séances de l'Ac. d. Sc. Paris, 27 nov. 1899. — Nouvelles observations sur la période glaciaire dans les Karpates méridionales, ibid. 11 février 1901. — Contribution à l'étude de la période glaciaire dans les Karpates méridionales. Bull. Soc. géol. de France 1900 etc.

<sup>4)</sup> Sur l'existence d'anciens glaciers sur le versant S. des Karpates méridionales. Bul. Soc. d. Sc. de Bucarest 1895.

<sup>5)</sup> Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Borlova und Pojana Mörul. Jahresber. d. königl. ungar. geol. Anst. 1899. — Über die geologischen Verhältnisse der südwestlichen Umgebung von Klopotiva und Malomviz. Ibid. 1901.

<sup>6)</sup> Communication manuscrite d'après une excursion faite en 1903 au Retiezat-

3° que les conditions de la glaciation ont été très variables et s'expliquent par un climat analogue au climat actuel quant à la direction des vents pluvieux et l'intensité relative des précipitations.

## I.

L'étude des traces glaciaires dans une région de glaciers locaux est toujours des plus délicates et la mise en lumière de preuves décisives se heurte à de nombreuses difficultés. La conscience de ces difficultés, la crainte de se laisser prendre aux apparences trompeuses des phénomènes pseudoglaciers des hautes montagnes expliquent la réserve excessive de géologues aussi distingués que B. von Inkey. Les roches cristallines qui constituent presque entièrement l'arc karpatique méridional se décomposent rapidement et ne conservent pas les stries glaciaires. Leurs éboulis entassés dans presque toutes les hautes vallées peuvent être facilement pris pour des moraines. L'insuffisance de la cartographie de la région rend encore plus délicate l'étude d'une question où les arguments topographiques jouent un grand rôle.

J'indiquerai brièvement les points principaux qui me paraissent de nature à lever tous les doutes. Mes levés topographiques et géologiques à l'échelle du 1:5000, 1:10.000 et 1:25.000, de nombreuses photographies et dessins déjà en partie publiés<sup>1)</sup> rendent aisée la vérification de tous les faits avancés.

Les moraines des petits glaciers se distinguent difficilement des éboulis. Cependant on peut signaler dans les Karpatés méridionales plusieurs moraines incontestables.

Le cirque de Soarbele dans la région des sources de la Cerna peut-être considéré comme le point le plus décisif. Il présente trois remparts successifs échelonnés sur une distance de 2 km, composés de blocs anguleux empâtés dans une arène mêlée de cailloux. Il est impossible de voir dans ces dépôts detritiques dont l'épaisseur atteint jusqu'à 50 et 70 m des éboulis. S'ils ne contiennent pas de blocs striés ils ont tous les caractères d'une triple moraine frontale correspondant

<sup>1)</sup> Ces levés ont été exposés au Congrès ainsi qu'un certain nombre de photographies. Le levé au 1:10.000 des cirques de Găuri et Gălcescu (Paringu) a été publié dans le Bul. Soc. Ingenerilor Bucarest, IV, 1900. Un fragment de ma carte au 1:25.000 de tout le Massif du Paringu a paru dans le Bul. Soc. géol. de France 1900. J'espère publier prochainement le levé topographique et géologique de Soarbele au 1:10.000, les levés au 1:5000 de Gărdomanu et Jeseru, ainsi que les photographies particulièrement démonstratives de Soarbele. Un certain nombre de photographies et dessins se rapportant au Paringu et aux Mts. de Fogarash ont déjà paru dans le Bul. Soc. d. Sc. de Bucarest (Recherches sur la période glaciaire dans les Karpatés méridionales).



à trois phases de retrait d'un petit glacier. En effet on peut voir d'après mon levé au 1:10.000 que 1<sup>o</sup> l'épaisseur du dépôt et la hauteur des murailles va en augmentant vers l'aval c'est à dire justement du côté où s'atténuent les escarpements, 2<sup>o</sup> la forme de moraine frontale accompagnée de moraines latérales séparées des flancs de la vallée par une dépression est de plus en plus nette vers l'amont, 3<sup>o</sup> les éléments du dernier rempart qui descend à 1500 *m* sont empruntés à toutes les roches qui affleurent en amont jusqu'au fond du cirque (calcaire crétacé, malm, verrucano, micaschistes) alors que les escarpements qui le dominent à droite et à gauche n'offrent que le calcaire crétacé blanc.

Il était nécessaire d'insister sur Soarbele car c'est le point le plus décisif. Grâce à la variété géologique des affleurements on peut en effet ajouter à l'argument topographique l'argument pétrographique pour établir le caractère morainique des dépôts détritiques.

Dans la même région je signalerai encore deux localités présentant des dépôts détritiques ayant conservé parfaitement les formes topographiques des moraines terminales, ce sont le cirque de Gårdomanu avec son lac et sa belle moraine latérale et frontale descendant à 1650 *m* dont j'ai exécuté un levé au 1:5000, et la vallée de Cârnia où M. Schafarzik a très bien décrit une moraine typique à la hauteur de la Stina. L'uniformité de la géologie de la région d'alimentation du névé ne permet pas d'invoquer ici l'argument pétrographique. Au contraire c'est cet argument qui est décisif pour établir le caractère morainique des terrasses de Cărbunele et Găuri (1600 et 2000 *m*) dans le massif du Paringu, alors que les formes topographiques de la moraine n'ont pas été conservées (voir carte du Paringu au 1:25.000, dans *Bul. Soc. géol. de France* 1900, pag. 283).

A la lumière de ces faits décisifs il semble qu'on puisse interpréter les cas douteux et reconnaître le caractère morainique des dépôts qui se présentent à l'extrémité de presque tous les cirques dans la haute montagne au point où le profil longitudinal de la vallée subit le plus fort ressaut, où le profil transversal passe brusquement de la forme U à la forme V. Ces dépôts ont souvent dans ce cas l'aspect de terrasses (Paringu, Fogarash, massif des sources de la Cerna). On trouve plus haut, parfois même dans le fond des cirques des murailles en fer à cheval qui ont l'aspect extérieur et la composition d'une moraine frontale et qui doivent être regardés comme des éboulis de névé datant de la dernière phase de retraite des glaciers. Urda dans le Paringu en offre un excellent exemple<sup>1)</sup>. On peut en voir la

<sup>1)</sup> La partie de mon levé au 1:25.000 du Paringu qui renferme ce cirque a été publiée comme fond de la carte géologique détaillée donnée par M. Munteanu

reproduction en petit dans les fers à cheval d'éboulis qui se forment actuellement encore au pied des escarpements où se maintiennent jusqu'à la fin de l'été des flaques de neige (v. carte de Găuri et Gălcescu au 1:10.000.)

Les moraines ne sont pas la seule trace glaciaire qu'offrent les Karpates méridionales. Des roches moutonnées superbes se montrent dans les cirques du Paringu et du Retiezat et j'ai montré par mon levé de Găuri et Gălcescu que leur situation topographique ne permet pas de les interpréter comme des formes de désquamation. Parfois d'ailleurs mais assez sûrement la surface de ces roches a conservé le poli et offre des stries glaciaires typiques (Găuri et Jeşul dans le Paringu, Capra dans les monts de Fogarash, Petrile dans le Retiezat).

Les lacs sont extrêmement nombreux dans le Retiezat et le Paringu ainsi d'ailleurs que dans toutes les parties des Karpates méridionales dépassant 2000 *m*. Dans le Paringu mes levés topographiques au 1:10.000 et au 1:25.000 le sondage et l'analyse des boues du grand lac Gălcescu ont établi le caractère glaciaire de la plupart d'entre eux.

Enfin les cirques superbes qui donnent leur caractère aux hautes Karpates ont été invoqués avec raison comme une preuve de glaciation. Nous ne pouvons reprendre ici la controverse sur l'origine glaciaire des cirques. Je rappellerai seulement que c'est pour éclaircir cette question que j'ai entrepris le levé topographique au 1:10.000 de Găuri et Gălcescu et exécuté la carte au 1:25.000 du massif du Paringu qui offre avec le Retiezat les plus beaux exemples de cirque que je connaisse. J'ai été conduit à donner une définition rigoureuse de la forme topographique connue sous le nom de cirque en français, Kare en Allemand et pour laquelle les peuples montagnards ont partout un terme spécial. Cette définition peut se résumer ainsi

A) Profil transversal en U, profil longitudinal en escalier, le ressaut le plus fort étant généralement le dernier,

B) Lignes de plus grande pente des escarpements convergeant non vers un point unique, mais vers une ligne de rupture de pente qui entoure un fond plat ou déprimé,

C) Allure générale des courbes de niveau complètement différente de celle qu'on observe dans les vallées ordinaires, courbes carrées dans les creux (cirques) et à angles aigus dans les pleins (arêtes séparatrices).

J'ai pu ainsi établir les différences essentielles de la forme cirque et des formes voisines avec lesquelles on l'a confondue, notamment

---

Murgoci dans son mémoire: Über die Einschlüsse von Granat-Vesuvianfels in dem Serpentin des Paringumassivs. Bukarest 1901.

le bassin de réception torrentiel ou entonnoir d'érosion, et je crois avoir démontré que le cirque typique ne pouvait être produit que par l'action de petits glaciers semblables aux glaciers de cirque des Alpes et des Pyrénées actuelles. Mes coupes géologiques de Găuri et Gălcescu (Bul. Soc. géol. de Fr. 1900) montrent que les lignes de rupture de pente caractéristiques de la topographie du cirque ne sont pas en rapport avec des différences de roches, ni avec des dislocations tectoniques. On ne peut les expliquer que par une différence dans la nature des agents du modelé: érosion glaciaire s'exerçant sur le fond du cirque décomposition chimique et mécanique des roches s'écroulant constamment sur les flancs escarpés qui dominent le glacier, érosion subaérienne de la grande vallée libre de glaces au dessus de laquelle le cirque débouche par un abrupt très marqué.

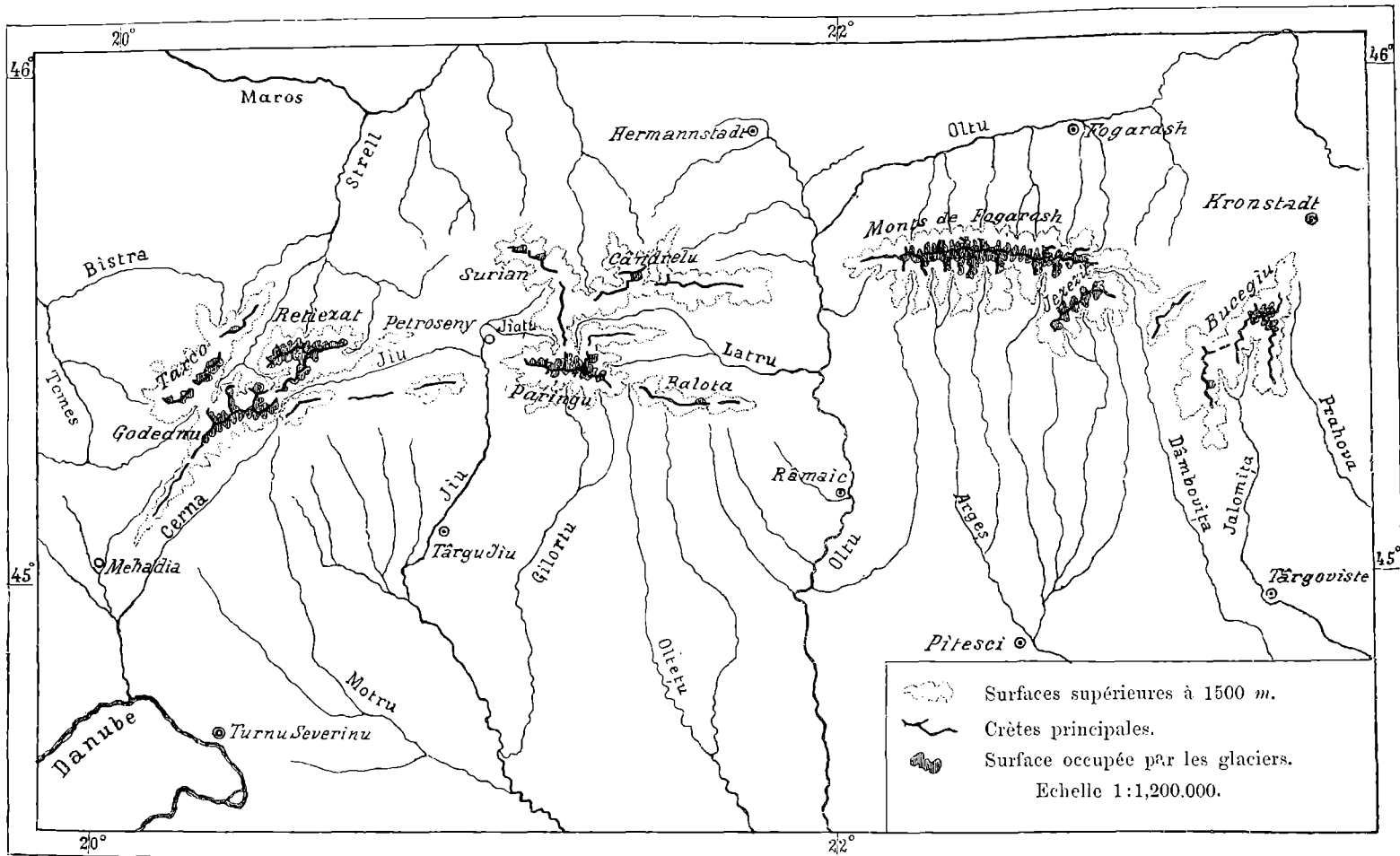
Les cirques se rencontrent dans les Karpates méridionales à l'origine de toutes les hautes vallées dont le bassin d'alimentation s'élève au dessus de 2000 *m* et descendent, presque toujours par plusieurs paliers successifs, jusqu'à une hauteur qui varie entre 1600 et 1900 *m*. Chacun d'eux peut-être considéré comme représentant le lit d'un ancien petit glacier.

## II.

Il semble qu'on peut conclure des faits précédents que les Karpates méridionales ont bien réellement participé au régime glaciaire pléistocène, mais n'ont connu que de petits glaciers de cirque pouvant descendre jusqu'à 1500 *m* (Soarbele) dans des cas exceptionnels, mais ne dépassant pas en moyen 1750 *m*. Le chiffre de 1900 *m* peut être admis comme la limite moyenne des neiges éternelles et l'on doit s'attendre à trouver des traces glaciaires dans tous les massifs dépassant 2000 *m*.

La carte de l'extension glaciaire dans les Karpates méridionales (fig. 1) montre qu'il y eut en réalité 6 centres principaux de glaciation correspondant comme le montre la courbe hypsométrique de 1500 *m* à autant de massifs montagneux distincts.

Il est curieux de remarquer qu'aucun centre de glaciation ne se trouve en dehors de l'îlot de roches cristallines et mésozoïques anciennes qui forme le corps des Alpes transylvaines. Le Bucegiu à l'Est, formé de calcaires jurassiques et de conglomérats crétacés, et le Tarco à l'Ouest, constitué en partie par des conglomérats paléozoïques, des grès, schistes et calcaires mésozoïques sont d'ailleurs les seuls massifs soumis à la glaciation qui ne soient pas entièrement cristallins. Il est probable que la glaciation a été en partie le résultat d'un mouvement en bloc de l'îlot cristallin des Karpates méridionales que je considère comme très récent.



Carte de l'Extension glaciaire dans les Karpatés méridionales.

Figure 1.

Errata. Au lieu de Jiata lire Jietu. — Au lieu de Latru lire Lotru. — Au lieu de Râmaic lire Râmnic.

La description des traces glaciaires de chaque massif sortirait du cadre de ce bref exposé. Je me bornerai à faire ressortir quelques faits intéressants au point de vue des causes qui influent en général sur les variations locales de la limite des neiges éternelles. Ces faits ressortent de la carte de l'extension glaciaire et du tableau suivant.

I Nom du massif	II	III	IV	V	VI	Altitude de la trace glaciaire la plus basse
	Surfaces au-dessus de		Surface des glaciers	Proportion de		
	1500 m	2000 m		IV à II	IV à III	
	km.	km.	km.	%	%	m
Bucegiu . . . . .	170.8	32.0	5.64	3.3	17.5	1700
Monts de Fogarash (sans le Massif de Jezeru)	656.1	153.7	55.1	8.4	30.0	1550
Paringu . . . . .	302.3	48.9	29.0	9.6	59.0	1650
Godeanu - Boreasco . . .	163.6	34.1	16.76	10.3	49.2	1500
Retiezat . . . . .	200.6	67.4	34.7	17.2	51.2	1600
Tarco (sans Verfu Petri)	59.3	10.4	7.8	7.6	75.6	1650

On remarque que: 1° les centres de glaciation se groupent et s'étendent de plus en plus vers l'Ouest, 2° dans chaque massif l'extension glaciaire paraît d'autant plus grande qu'il est situé plus à l'Ouest.

Ces deux faits semblent une nouvelle illustration d'une loi générale mise en lumière dès longtemps pour les montagnes de l'Europe centrale et dont MM. Cvijic et Penck ont récemment montré l'application à la péninsule des Balkans, loi d'après laquelle la limite des neiges éternelles s'abaissait de l'Est à l'Ouest pendant la période glaciaire.

Mais si l'on examine les choses de plus près, on reconnaît que cette loi n'offre peut-être pas la meilleure explication de toutes les particularités. On est tout d'abord frappé par le brusque abaissement de la limite des neiges éternelles dans le massif Banatique. La moraine de Sourbele descendant au dessus de 1500 m est la trace glaciaire la plus basse qui ait encore été reconnue dans les Karpates méridionales. Il y a là un fait analogue à celui qu'a signalé M. Penck dans le massif de l'Orjen sur la côte dalmate, où l'on voit brusquement les traces glaciaires descendre à 1100 m et 800 m. Le voisinage immédiat de la mer explique pour le savant glaciologue cette anomalie; mais nous ne pouvons rien invoquer de semblable pour la chaîne du Godeanu.

L'étude détaillée des traces glaciaires dans chacun des massifs des Karpates méridionales montre des variations étonnantes de la glaciation suivant l'exposition.

Les diagrammes ci joints (fig. 2) les font nettement ressortir. Fait curieux, l'exposition Ouest, loin d'être la plus favorisée est celle où l'extension glaciaire est la plus réduite. Le contraste est en général moins grand entre le Nord et le Sud qu'entre l'Ouest et l'Est. même les pentes tournées au S. et S. E. sont celles qui offrent les traces glaciaires les plus basses de toutes (Soarbele 1500 *m.*, Bucura 1600 *m.*). Cette constatation suffit pour montrer que les variations de l'extension glaciaire sont dues à des conditions différentes de celles qui ont prévalu dans l'Europe centrale et occidentale. En particulier l'insolation n'est pas le facteur principal de ces variations. Du moins son influence est-elle contrebalancée par celle d'autres facteurs, notamment de l'hypsométrie: l'extension glaciaire étant plus grande en général sur les versants où les surfaces supérieures à la limite moyenne des neiges éternelles sont le plus développées. Ainsi s'expliquent les cas des Fogarash et du massif Godeanu-Boresco, où la glaciation est à peu près égale sur les versants Nord et Sud.

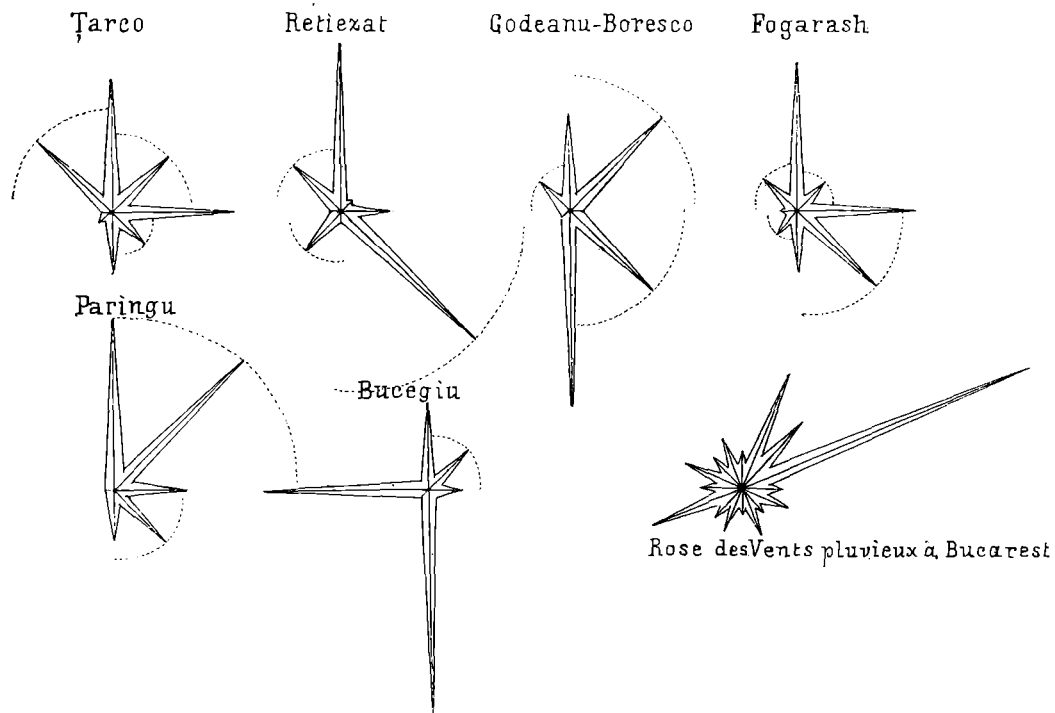
Mais le fait le plus général et le plus curieux est la prépondérance de l'exposition Est, qui est sensible dans tous les diagrammes et pour laquelle ni les conditions hypsométriques, ni la faible différence que présentent au point de vue de l'insolation les expositions Est et Ouest n'offrent une explication vraisemblable. La clef de cette anomalie nous est donnée par le régime pluviométrique. Si l'on compare en effet nos diagrammes avec la rose pluviométrique de Bucarest on constate une ressemblance frappante. En effet le total des précipitations tombées à Bucarest se répartit ainsi entre les quatre points cardinaux; 48% tombent par vents d'Est, 28% par vents du Nord, 14% par vents du Sud <sup>1)</sup>.

Ce régime pluviométrique, entièrement différent de celui qui prévaut dans l'Europe occidentale, où comme on le sait les pluies viennent surtout par les vents d'Ouest, existait vraisemblablement à l'époque glaciaire. Ce qui le prouve c'est qu'il a, à l'heure actuelle, des conséquences semblables à celles qu'il y aurait eu alors. En classant les observations d'enneigement, on arrive en effet au même résultat qu'en observant les traces d'anciens glaciers. L'exposition Est est prépondérante.

Nous pouvons maintenant expliquer toutes les particularités de

---

<sup>1)</sup> La station de Bucarest doit être préférée à tout autre parce que, située en plaine, elle est entièrement soustraite à l'influence du relief. La loi dégagée pour Bucarest est facile à appliquer à la montagne: on aura toujours prédominance de la composante E. mais avec déviation vers le Nord sur le versant Nord (maximum de pluviosité par des vents du N. E) et vers le Sud sur le versant Sud (maximum de pluviosité par des vents du Sud-Est).



**Figure 2.**

Shémas de l'extension glaciaire suivant l'orientation dans les principaux massifs des Karpates méridionales comparés à la rose des vents pluvieux à Bucarest.

**NB.** Les shémas sont établis en évaluant dans chaque massif la surface des glaciers occupant des vallées orientées au N, NE, E etc. et en divisant les surfaces obtenues pour chaque orientation par l'ensemble de l'aire soumise à la glaciation dans le massif considéré.

Les chiffres de pourcentage ainsi acquis sont utilisés comme pour la rose des vents pluvieux.

l'extension glaciaire dans les Karpates méridionales. Si le maximum de glaciation est à l'Ouest, la cause en est due en partie au relief et en partie au régime pluviométrique. C'est à l'Ouest en effet que les Karpates méridionales présentent le plus de massifs élevés. C'est à l'Ouest aussi qu'ils reçoivent les précipitations les plus abondantes. La carte pluviométrique montre en effet que le rebord oriental du massif du Godeanu est le point le plus arrosé de toute la Valachie; c'est même le seul endroit où la sécheresse hivernale qui caractérise le régime des pluies de montagne n'existe pas. Ainsi s'explique l'abaissement anormal de la limite des neiges éternelles sur le versant Est du massif du Godeanu qui présente directement le flanc aux vents pluvieux. Là encore les observations d'enseignement répondent pleinement à ces déductions.

S'il nous était permis d'appliquer cette méthode à l'examen d'une région que nous ne connaissons pas personnellement, nous montrerions comment elle pourrait expliquer les conditions de la glaciation des Alpes Illyriennes. L'extraordinaire abaissement de la limite des glaciers pleistocènes signalée par M. Penck dans l'Orjen s'applique seulement au versant Ouest. Or on sait quelle est à l'heure actuelle la richesse en précipitations de la côte dalmate. Là se trouvent quelques uns des points les plus pluvieux du globe. Ce n'est pas tant le voisinage de la mer que l'orientation qui est ici le fait décisif. D'ailleurs il est probable que l'Adriatique n'existait pas encore au début du pleistocène.

Nous croyons qu'on ne saurait trop accorder d'importance à ces considérations d'orientation par rapport aux vents pluvieux. De multiples exemples pourraient être donnés pour montrer leur application à l'extension actuelle des glaciers.

### III.

Je ne puis terminer ce résumé succinct sans toucher deux questions très délicates et qui demanderaient à être traitées plus longuement.

Y a-t-il eu plusieurs périodes glaciaires dans les Karpates méridionales? A cette question j'ai cru pouvoir répondre par l'affirmative à la suite de ma première campagne dans le Paringu. Je dois avouer que les résultats de mes recherches postérieures n'ont pas répondu à mon attente et que le faisceau d'arguments, que j'espérais voir grossir, reste assez faible. Plusieurs faits de l'histoire des vallées rendent cependant très vraisemblable cette hypothèse. D'après ce qu'on peut observer dans la haute montagne, on peut croire que la seconde glaciation a été strictement limitée aux cirques les plus développés, peut-être spécialement aux petits cirques secondaires. C'est à elle



qu'il faudrait peut-être attribuer les quelques moraines qu'on rencontre à l'intérieur des cirques.

La seconde question intéresse la géographie physique autant que la géologie. Quelle a été la valeur de l'érosion postglaciaire? D'après tous les faits que j'ai pu réunir, elle semble avoir été en général assez faible dans la haute montagne. Si les traces glaciaires ont été souvent en grande partie oblitérées c'est à la décomposition des roches cristallines et aux éboulis recouvrant les moraines qu'il faut surtout l'attribuer. La valeur de l'érosion est d'ailleurs variable: très faible dans les cirques creusés dans le calcaire comme Găuri dans le Paringu, Soarbele dans le massif des sources de la Cerna, Mușăteca dans les monts de Fogarash, elle a été plus forte dans les régions de roches vertes et de micaschistes. Le massif du Paringu offre à cet égard des contrastes très intéressants et qu'on peut suivre sur ma carte au 1 : 25.000. L'érosion des torrents qui forment la tête des sources du Lotru paraît avoir été plus intense que celle des torrents du Jiețu. Le fond du cirque de Geseru a été presque entièrement décapé et transformé en entonnoir d'érosion. A l'issue des cirques d'Urda et Dengheru il y a eu creusement d'une gorge profonde dans le rebord du palier inférieur couvert de roches moutonnées. De même dans les monts de Fogarash il y a un contraste assez marqué entre l'érosion des hautes vallées du versant Nord où la pente est beaucoup plus forte, et celle du versant Sud. Dans le massif des sources de la Cerna la chaîne du Godeanu offre sur son versant Est des différences très grandes entre les cirques méridionaux et ceux voisins des sources de la Cerna et du Jiu. La moraine de Soarbele doit en partie à cette circonstance son parfait état de conservation.

La persistance ou la disparition des traces glaciaires est en rapport avec ces phénomènes d'érosion.

Là où les moraines ont subsisté on observe relativement peu de roches moutonnées et de lacs creusés dans le roc; c'est au contraire dans les massifs où il est le plus difficile de retrouver des moraines (Paringu, Retiezat) que les roches moutonnées se montrent les plus typiques et les bassins lacustres dans le roc le plus nombreux.

L'érosion postglaciaire doit d'ailleurs être considérée comme la continuation de l'érosion antéglaciaire. C'est dans les entonnoirs d'érosion torrentiels de la fin du pliocène que se sont établis les petits glaciers pleistocènes. Plus le torrent était important et plus son bassin de réception était excavé, plus le glacier a été étendu et plus le cirque s'est élargi. Mais après la disparition des glaciers les cirques les plus grandioses sont devenus des bassins de réception torrentiels d'autant plus importants: l'érosion plus forte a pu entraîner souvent presque

complètement les dépôts morainiques et faire même disparaître parfois les seuils de roches moutonnées, alors que dans les cirques plus petits, sièges de glaciers moins étendus les traces glaciaires subsistaient à la faveur d'une moindre érosion. Ainsi s'explique cette loi en apparence paradoxale, et qui rend compte de bien des difficultés dans l'étude des traces glaciaires des Karpates: ce sont souvent les points où la glaciation a été la plus forte qui en ont le moins bien conservé les traces.

En résumé la glaciation des Karpates méridionales doit être considérée comme un épisode de leur histoire, dont on ne peut plus douter, mais dont il ne faut pas s'exagérer l'importance; et qui, après avoir donné quelque temps à la chaîne un aspect semblable à celui des Pyrénées actuelles, a laissé comme principale trace les cirques, si admirablement conservés grâce à la valeur insignifiante de l'érosion en général faible dans la haute montagne.