



**HAL**  
open science

# La Protogine du Mont-Blanc et les roches éruptives qui l'accompagnent

Louis Mrazec

► **To cite this version:**

Louis Mrazec. La Protogine du Mont-Blanc et les roches éruptives qui l'accompagnent. Pétrographie. University of Geneva, 1892. Français. NNT : . tel-00825281

**HAL Id: tel-00825281**

**<https://theses.hal.science/tel-00825281>**

Submitted on 23 May 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EX LIBRIS

W. KILIAN Prof. W. KILIAN

+

LA  
**PROTOGINE**  
DU MONT-BLANC  
ET LES  
**ROCHES ÉRUPTIVES QUI L'ACCOMPAGNENT**

---

**THÈSE DE PÉTROGRAPHIE**

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES

PAR

**LOUIS MRAZEC**

*de Craiova (Roumanie)*

---

GENÈVE  
IMPRIMERIE F. TAPONNIER  
Route de Carouge, 19  
1892

à Monsieur le prof. W. H. Lillian  
Hommage de  
L. Mrazec

LA  
**PROTOGINE**

DU MONT-BLANC

ET LES

ROCHES ÉRUPTIVES QUI L'ACCOMPAGNENT

---

THÈSE DE PÉTROGRAPHIE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES

PAR

**LOUIS MRAZEC**

*de Craiova (Roumanie)*

---

GENÈVE  
IMPRIMERIE F. TAPONNIER  
Route de Carouge, 19  
1892

A MES CHERS PARENTS

*À Monsieur Louis Duparc*

PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE ET DE GÉOLOGIE  
A L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

*Hommage d'estime et de reconnaissance*

*À Monsieur Grégoire Stephanesco*

PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE ET DE GÉOLOGIE  
A L'UNIVERSITÉ DE BUCAREST

*Témoignage de reconnaissance*

Le présent travail a été exécuté pendant les années 1890-1892, dans le laboratoire de minéralogie et pétrographie de l'Université de Genève.

Qu'il me soit permis d'exprimer ici à Monsieur le professeur Louis Duparc, directeur de ce laboratoire, toute ma reconnaissance pour les utiles conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer pendant mon travail, et pour la bienveillance qu'il m'a toujours témoignée.

*La Faculté des Sciences autorise l'impression de  
la présente thèse, sans émettre d'opinion au sujet  
des propositions qui s'y trouvent énoncées.*

Le Doyen de la Faculté :

G. OLTRAMARE.

Genève, le 17 Octobre 1892.

## INTRODUCTION

Le massif du Mont-Blanc, le plus élevé de tous les massifs alpins, est situé à l'altitude moyenne d'environ 45°50', et à la longitude moyenne de 4°30' Est de Paris.

Il est borné à l'W. par la Vallée de Montjoie et le Col du Bonhomme, au S.-W. par l'Allée Blanche, le Val Veni et le Val Ferret suisse, au N.-E. par la Vallée de Chamonix, et enfin au N. par la Forclaz et le Col de Balme.

Il s'étend sur une longueur de 50 kilomètres et présente une largeur de 15 kilomètres environ. La hauteur maxima de la chaîne atteint 4810 mètres. Elle n'est point centrale, mais rejetée au S.-W.

Le massif tout entier est hérissé de pointes aiguës qui dominant de puissants glaciers. Ces aiguilles, si caractéristiques pour la chaîne du Mont-Blanc, et dont l'aspect est unique dans son genre, s'élancent dans les airs avec une hardiesse incomparable, et présentent de gigantesques parois abruptes, qui parfois s'élèvent de plusieurs centaines de mètres. Ces aiguilles communiquent les unes avec les autres par des arêtes sauvages, déchiquetées et ciselées par l'érosion d'une manière aussi bizarre que capricieuse. De leurs flancs abrupts descendent de nombreux petits glaciers suspendus.

D'autres fois ces aiguilles sont remplacées par des dômes aux flancs arrondis, qui supportent de vastes champs de neige. La roche y est alors rarement à nu.

Tandis que le versant nord est presque entièrement constitué par les belles aiguilles dentelées dont nous avons parlé, et qu'on peut voir si bien de Chamonix, le Val Ferret italien et suisse est au contraire dominé par des parois perpendiculaires, dénudées, formant une chaîne continue d'un aspect foncièrement différent.

Le massif dans son ensemble est essentiellement composé de roches cristallines, dont les unes forment le manteau extérieur, et les autres en constituent le noyau central.

Ces dernières ont été appelées protogine il y a de cela presque un siècle, par Jurine. La limite de cette protogine va du Mont-Blanc à l'Aiguille du Greppon, en passant à la base des Grandes Aiguilles, se retrouve de l'autre côté de la Mer de Glace, vis-à-vis de l'Angle, puis elle remonte à l'Aiguille des Grands Montets, coupe la partie inférieure du glacier d'Argentière, passe au-dessous de l'Aiguille du Tour pour arriver au Nord de la pointe des Ecandies. De là, elle tourne à la partie Sud du Val d'Arpette, jusqu'au fond de la combe d'Orny, longe la crête des parois qui dominent le Val Ferret suisse, jusqu'au Col des Grépillons, puis se dirige vers le S.-W., descend au glacier de Pré du Bar et se poursuit jusqu'au glacier de Miage.

Cette protogine, qui forme donc l'ossature du Mont-Blanc, n'est point l'apanage exclusif de cette chaîne.

On la retrouve au sud comme au nord des Alpes, dans le Dauphiné comme dans les Alpes centrales, et toujours avec un facies uniforme, à savoir : un aspect granitoïde et une division en bancs d'épaisseur variable, concordants avec les schistes du manteau.

L'origine même de la protogine, ainsi que la structure géologique des montagnes qu'elle constitue, a été et est encore le point de départ de nombreuses controverses.

A. Favre considérait cette roche comme réellement stratifiée, et par cela distincte du vrai granit. Pour lui le Mont-Blanc n'est qu'un anticlinal plissé en éventail, dont le cœur représente les roches cristallines les plus anciennes, tandis que le manteau est formé de gneiss et de schistes plus récents.

Pour Lory, la protogine n'est point non plus une roche franchement éruptive, et le Mont-Blanc, loin d'être un anticlinal, serait un synclinal isolé entre deux failles.

Pour Gerlach, la protogine semble éruptive, et sa structure particulière en éventail lui paraît être le résultat d'une poussée verticale, due au refoulement latéral. L'absence d'une voûte aurait alors permis un certain écoulement de la roche, et aurait fait naître sa structure en gerbe.

Les géologues italiens, avec M. Zaccagna en tête, considèrent avec Favre le Mont-Blanc comme un anticlinal, et la protogine n'est alors qu'un facies particulier des gneiss primordiaux.

Enfin récemment, M. Michel Lévy, dans sa note sur les roches cristallines et éruptives du Mont-Blanc,

rejette l'idée d'un anticlinal ou d'un synclinal, mais, dit-il : « Le Mont-Blanc est constitué par un culot éruptif de protogine, transgressif par rapport aux traînées de schistes voisins, et qui, ayant servi de point solide lors des formidables poussées latérales qui ont successivement plissé les Alpes, ne présente sa forme de gerbe actuelle que parce que le maximum de ces poussées s'est produit à une certaine profondeur ; il a ainsi motivé une sorte d'écoulement de bas en haut, dont on retrouve les traces dans les phénomènes dynamométamorphiques. »

La nature éruptive de la protogine est du reste admise par la majorité des pétrographes ; le point qui reste contesté, c'est la part qu'il faut attribuer au dynamométamorphisme et aux phénomènes d'injection.

Pour l'école allemande, les actions dynamiques qui ont donné naissance à la grossière schistosité de la protogine, ont été capables de la transformer en véritable gneiss et schistes granulitisés ; et la structure microscopique de cette roche n'est, elle aussi, que le résultat de ces mêmes actions.

M. Michel Lévy, au contraire, n'estime pas que la protogine puisse passer au gneiss par dynamométamorphisme, et sans méconnaître les effets de ce dernier, il pense au contraire que les facies pseudo-gneissiques de la protogine sont les résultats de l'injection de cette roche dans les feuillets des schistes.

Comme on le voit par le court exposé qui précède, la question de la protogine est suffisamment controversée pour donner place à une étude détaillée. C'est

la raison pour laquelle, à l'instigation de M. Duparc, professeur de minéralogie et de pétrographie à l'Université de Genève, nous avons entrepris une étude détaillée de la protogine, en y joignant celle des autres roches éruptives qui l'accompagnent dans le massif du Mont-Blanc. Dans ce travail, je laisserai de côté tout ce qui concerne les schistes, qui forment le manteau de la protogine, et qui seront décrits ultérieurement. J'ajouterai également que M. le prof. Duparc et moi avons déjà publié antérieurement deux notes sur la protogine. Nous leur donnerons un peu plus d'extension dans ce travail.

## DIVISION DU TRAVAIL

---

Nous avons divisé le travail en quatre parties.

La première comprend un aperçu sommaire des principales courses faites dans le massif du Mont-Blanc.

La seconde traite de la protogine, de ses différentes variétés, de son contact avec les schistes, et des roches étrangères qu'elle englobe.

Dans la troisième partie nous décrirons les roches filoniennes qui traversent la protogine et les schistes encaissants.

Enfin dans la quatrième partie nous nous résumerons et tirerons les conclusions naturelles qui se dégagent de notre étude.

---

## PREMIÈRE PARTIE

---

### Courses dans le Massif du Mont-Blanc

---

Dans le but de nous procurer les matériaux nécessaires au présent travail, et aussi d'étudier la disposition géologique de la protogine, ainsi que ses contacts avec les schistes et son injection dans ces derniers, nous avons fait un grand nombre d'excursions dans le massif du Mont-Blanc pendant les années 1891 et 1892. Nous ne pensons pas en faire la description complète, ce qui mènerait trop loin; nous nous bornerons à indiquer celles qui sont particulièrement instructives et permettent de relever un profil détaillé.

#### *I. Course aux rochers des Mottets*

Elle a été faite dans le but d'étudier les schistes qui forment le soubassement de la protogine. Les Mottets sont un petit rocher, difficilement accessible, formant la rive gauche du glacier des Bois. Il est entièrement constitué par des schistes micacés plus ou moins injectés et percés par quelques filons de granulite qui se divisent en filonnets excessivement fins, pour s'épanouir dans les schistes. Aux Mottets même, les schistes plongent de 46 à 82° au Sud-Est.

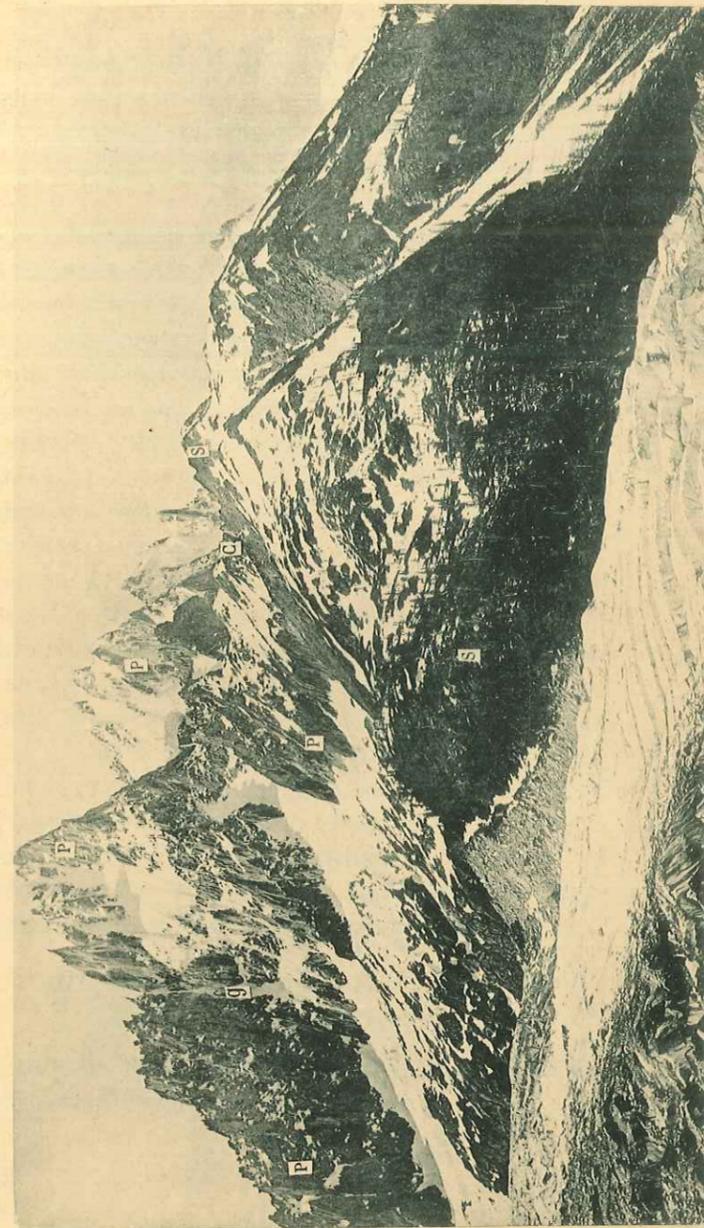
Une profonde entaille les sépare de la Folia, rocher entièrement composé de schistes injectés, avec petits cristaux de feldspath et filonnets de granulite.

*II. Courses du Montenvers au Contact, sous l'Aiguille du Greppon. Planche I.*

Cette course, très instructive, montre d'une manière admirable le contact de la protogine avec les schistes. On commence par suivre le sentier qui passe à droite de l'hôtel du Montenvers pour aller aboutir à l'arête qui relie celui-ci avec l'Aiguille du Greppon, sous l'Aiguille du Charmoz. Le trajet s'effectue principalement dans des schistes granulitisés, alternant avec des leptynites. Les alternances se succèdent rapidement, de sorte que, sur des bancs de deux ou trois mètres d'épaisseur, on trouve souvent toute la série allant des schistes granulitisés aux schistes micacés francs, avec intercalations de leptynites. Lorsqu'on approche de l'Aiguille du Greppon, l'arête devient plus étroite; il est alors préférable de prendre à gauche, dans les rochers. On arrive ainsi près d'un couloir rempli d'éboulis de blocs de protogine qui proviennent d'un filon de cette roche qui perce les schistes un peu plus haut; on descend dans ces éboulis, suit quelques instants le bord d'un petit névé, et l'on retrouve le rocher en place, constitué par des schistes plus ou moins modifiés, avec alternances. On trouve ensuite une petite corniche, et l'on arrive alors en face du contact de la protogine avec les schistes. Ce contact est un des plus beaux que nous connaissions dans le massif. La protogine y est d'un

Planche I

LE MONTENVERS & L'AIGUILLE DU CHARMOZ



P = Protogine  
g = Granulite

C = Contact  
S = Schistes micacés, Leptynites, etc.

aspect granitoïde, riche en quartz. Elle envoie dans les schistes une multitude d'apophyses qui se ramifient à l'infini, traversent ces derniers en isolant des lentilles de toutes les dimensions, ou, d'autres fois, suivent leur schistosité pour se disséminer dans leur intérieur en les modifiant profondément par granulitisation. Dans les filons d'une certaine dimension, la protogine reste franchement granitoïde; dans les filons plus petits, le grain diminue considérablement, et la roche passe au type d'une granulite filonienne. De plus, on peut observer un phénomène digne de remarque : au même contact, on voit des filons de granulite sortir du cœur de la protogine, recouper les filons ramifiés que cette dernière lance dans les schistes, pour s'y épanouir à son tour.

Il paraît donc y avoir dans les schistes deux injections filoniennes qui sont distinctes : l'une provenant directement de la protogine, l'autre des roches généralement plus acides et plus jeunes qui la traversent. Ce phénomène fort curieux ne peut se voir qu'au contact, car, dans les schistes, la protogine en filons, diminuant beaucoup de grain, se confond avec ces granulites. Ce contact est fort beau; nous ne saurions trop en recommander la visite aux personnes qui doutent encore de l'injection filonienne; leur scepticisme tombera devant l'évidence des faits.

*III. Course du Montenvers (1921 m.) au Col du Géant (3362 m.) Planche VI.*

On part du Montenvers en longeant la paroi rocheuse qui domine la rive gauche de la Mer de Glace.

Jusqu'à l'angle (1961 m.) où se trouve le contact, on chemine dans des alternances de micaschistes et de schistes injectés; quelques-uns, notamment ceux qu'on trouve près des premières barrières, montrent de belles lentilles feldspathiques bleuâtres. Tout près du contact, sur le sentier, on peut voir une série de bancs fort minces de leptynites. Quant au contact lui-même, il est assez différent de celui que nous avons décrit et qui se trouve un peu plus haut. Il n'y a pas ici de ligne de démarcation absolue; les schistes passent très rapidement à la protogine par l'intermédiaire de gneiss protoginiques. La protogine elle-même renferme quelques empâtements d'origine étrangère. Elle y présente un facies analogue à celui de l'Aiguille du Greppon et constitue l'ensemble de l'Aiguille du Charmoz (3442 m.). Dans un des grands couloirs qui descendent de cette aiguille sur la Mer de Glace, on remarque un beau filon de granulite entièrement compris dans la protogine. C'est également dans les éboulis de l'un des couloirs de cette aiguille qu'on trouva jadis la curieuse variété à beryl; c'est en vain que nous avons tenté d'en retrouver le filon ou même des débris.

L'Aiguille du Dru (3815 m.), en face de celle du Charmoz, sur la rive droite, est formée de protogine riche en mica vert, ainsi que de protogine gneissique. En continuant à monter sur la Mer de Glace, on arrive à l'Aiguille du Tacul (3438 m.), située à la réunion du glacier de ce nom et de celui de Leschaux. Elle est en protogine à grands cristaux, avec mica vert, et traversée par un épais et superbe filon de granulite dirigé N.-W.

(Dans d'autres courses, que nous ne décrivons pas, nous avons remonté le glacier de Leschaux et visité successivement les parois qui forment le cirque de ce glacier. Elles sont en protogine identique à celle du Tacul. Dans le fond du cirque, l'arête qui sépare les deux versants montre une fort belle protogine granitique.) En remontant dans la direction du Col du Géant (3362 m.), on passe devant le Petit Rognon (3016 m.), la Vierge (3222 m.), l'Aiguille du Géant (4010 m.) et d'autres pointes, toujours en protogine (à l'exception toutefois de l'Aiguille Noire, qui paraît formée entièrement de schistes), puis on arrive au sommet du col, qui est recouvert par les névés. Le roc nu n'apparaît, à la descente, sur le versant Sud, qu'à la cabane du col. (*Pl. III.*) Celle-ci est construite sur du rocher couvert de débris, qui n'est autre qu'une protogine très feldspathique, riche en mica vert. En descendant d'abord le sentier qui mène au Mont Fréty, l'arête se montre formée par des schistes micacés plus ou moins granulitisés, généralement couverts de neige à leur partie supérieure; c'est, sans doute, la cause pour laquelle ils ont échappé à la perspicacité de Favre. On trouve ensuite des éboulis et des débris morainiques jusqu'à la porte du Col du Géant, où réapparaissent des schistes granulitisés plus compacts, suivis d'un banc épais de protogine de nature identique à celle de la cabane, percé par une belle granulite dans laquelle certains grains de quartz se développent porphyriquement. On en voit la continuation dans les rochers du Mont Jetoula, de l'autre côté du glacier du Fréty.

A la Fontaine de la porte du col, la protogine est compacte, à grain fin. Des éboulis semblables, provenant de l'arête de la rive gauche du glacier de Toule, couvrent les pentes sur la droite. En avant du Mont Fréty, les schistes qui suivent la protogine sont fortement granulitisés. Quant au Mont Fréty (2179 m.) lui-même, il se compose de protogine analogue à celle de la Fontaine, suivie de schistes protoginisés. Nous entendons par cela des schistes, injectés feuillet par feuillet par la protogine.

En continuant à descendre, on arrive au Pavillon de Bellevue (2165 m.), situé sur une roche noire micacée, avec grains de quartz, qui nous paraît n'être qu'un facies modifié des ardoises qui les suivent, et non point un schiste micacé, comme Favre le pensait. Ces schistes ardoisiers, fortement altérés, brisés et corrodés, contiennent des empreintes ferrugineuses provenant de la pyrite qui s'y est oxydée. Quelques bancs d'un calcaire gris-bleuâtre y sont interstratifiés; ce calcaire les remplace bientôt jusqu'à Entrèves. Notre but n'étant pas l'étude de ces couches sédimentaires, nous ne nous y arrêterons pas davantage. Elles nous ont seulement semblé, d'après ce qu'on peut voir à la base du Mont Jetoula, être concordantes avec les roches cristallines du massif.

En remontant le Val Ferret depuis Entrèves, on peut voir que la protogine du côté Sud est généralement granitoïde par excellence; les filons de granulite qui la traversent y abondent. Elle est pauvre en biotite, qui est parfaitement hexagonale, souvent groupée en nids.

Dans les grandes moraines de la vallée, nous avons trouvé quelques rares blocs d'une roche qui, d'après l'examen microscopique, n'est autre chose qu'une pegmatite. M. A. Brun nous communique à ce sujet qu'il a observé un bloc de la même roche dans la moraine droite de la Mer de Glace, ce qui nous fait croire que cette pegmatite provient de filons probablement compris dans la partie qui va des Jorasses à l'Aiguille de Lechaux.

Le Val Ferret italien est séparé du Val Ferret suisse par une chaîne calcaire avec plusieurs passages. Nous avons suivi le col des Grépillons, celui-ci étant le plus rapproché de la protogine. La montée s'effectue dans des ardoises. Au col même, on trouve des éboulis de protogine, des faux gneiss, puis des roches d'apparence cornée et des microgranulites en place sur lesquelles Gerlach et M. le professeur Gräff ont attiré l'attention.

*IV. Du Lac Champex (1465 m.) à Trient, par la pointe d'Orny (3278 m.) Planche IV.*

On monte à la cabane d'Orny (2692 m.) par le Val d'Arpette, en traversant des moraines formées de blocs de protogine, granulite, microgranulite, etc. De la vallée au col de la Brea (2479 m.) on suit des éboulis de schistes injectés et de leptynite; la Brea (2378 m.) elle-même est en microgranulite. A l'extrémité de la Combe d'Orny commence la protogine. Le contact en est masqué par des éboulis; il paraît cependant se faire par les faux gneiss.

Cette protogine présente un développement porphyroïde de feldspath ; elle est pauvre en quartz et empâte souvent des lentilles de schiste.

Après avoir longé la moraine latérale gauche du glacier d'Orny, on arrive sur le dit glacier, au pied de parois polies dans lesquelles on peut voir de fort beaux filons ramifiés de granulite ; on remonte ensuite le glacier jusqu'au plateau du Trient (3098 m.) ; de là, la pointe d'Orny est facilement accessible. La protogine qui la constitue est celle si caractéristique de tout le massif du Trient. Dans les éboulis, on peut voir de nombreux blocs de schistes micacés francs qui proviennent évidemment de lentilles empâtées dans la protogine. La descente sur Trient se fait par le Col des Chamois, couloir rendu dangereux par les chutes de pierres. On y remarque une splendide lentille de schiste micacé et granulitisé, la plus grande et la plus belle que nous avons vue en place. On traverse ensuite une rimaye et un petit névé, puis on retrouve la protogine au bas de la pointe des Ecandies (2886 m.). Elle y forme de belles parois polies, ayant l'aspect d'une mosaïque, grâce à la disposition de ses grandes plages feldspathiques, qui forment de véritables trainées, orientées indépendamment de la schistosité grossière de ces bancs. Il est évident que le contact de la protogine sur ce versant se fait un peu au-dessous et au Nord de la pointe des Ecandies. En effet, après la descente de la moraine droite supérieure du glacier de Trient, on arrive dans des pâturages où l'on constate la présence des schistes micacés avec les alternances les plus variées. Malheureusement, le contact direct

LE COL DES GRANDS MONTETS & L'AIGUILLE DU PRU



P = Protogine  
G = Faux Gneiss

C = Contact  
S = Schistes micacés, Leptymites, etc.

est également masqué, comme sur le versant Sud. En descendant sur la Lys, les schistes sont coupés par de nombreux filons de granulite. C'est là qu'il est facile d'assister à la formation des lentilles pegmatoïdes à feldspath gris-bleuâtre dont nous parlerons plus loin. C'est également de l'autre côté du glacier de Trient que se trouvent les fameux filons granitiques de Favre, qui ne sont, en réalité, que des pegmatites semblables. J'ajouterai que cette dérivation pegmatoïde se voit à merveille également dans la montée de l'arête des Rognes, qui conduit à l'Aiguille du Goûter. Les schistes de la région sont littéralement criblés de filons de granulites variées, passant souvent aux pegmatites, quelquefois tourmalinifères.

V. Course au cirque d'Argentière et au Col des Grands Montets. Planche II et V.

Pour faire cette excursion, il faut aller coucher aux chalets de Lognan. De là, on peut suivre facilement la rive gauche du glacier d'Argentière. On trouve d'abord des schistes micacés plus ou moins granulitisés, suivis par des gneiss protoginiques qui passent graduellement et d'une manière insensible à la protogine, dont on ne pourrait fixer la limite exacte. Celle-ci, feldspathique, pauvre en quartz, riche en mica verdi, semble avoir subi des phénomènes intenses de dynamométamorphisme. Cette protogine est caractéristique pour toute la partie antérieure du cirque d'Argentière ; c'est le même facies que nous retrouvons plus loin, à l'Aiguille du Chardonnet

(3823 m.) et d'Argentière (3612 m.), tandis que, à partir du Tour Noir (3843 m.), elle est granitoïde et très acide. Le jardin d'Argentière est en protogine classique, que nous avons citée ci-dessus ; il en est de même d'un petit rocher situé entre celui-ci et l'Aiguille des Grands Montets (3307 m.). Afin d'arriver à cette aiguille, on prend sur la droite en partant du jardin, on traverse deux rimayes de toute beauté, et on longe une cheminée entre le rocher et le glacier jusqu'à la hauteur du col ; l'aiguille est formée d'une protogine excessivement riche en lambeaux de roches étrangères plus ou moins assimilées. Le même type se retrouve à droite du col, dans l'arête sauvage qui mène à l'Aiguille Verte. En cet endroit, une roche très riche en épidote s'intercale en bancs minces dans la protogine.

On peut descendre du col directement sur la rive droite de la Mer de Glace. On suit d'abord le glacier du Pendant, très incliné et crevassé, jusqu'à l'arête rocheuse qui sépare ce glacier de celui du Nant Blanc. Cette arête est formée, dans sa partie supérieure, d'un rocher totalement bouleversé, constitué par des schistes micacés et des schistes verts<sup>1</sup> dont les débris et éboulis rendent dangereuse la descente. Arrivé sur une petite plateforme, on peut descendre à droite, dans les rochers, en face de l'Aiguille du Bochart (2872 m.). En haut du couloir, on rencontre des roches cornées, bientôt suivies d'un rocher solide

<sup>1</sup> Chloriteux ou amphiboliques ? En descendant des rochers dont nous parlerons plus loin, les échantillons se sont malheureusement perdus.

formé de faux gneiss caractéristiques. A la base du couloir, on voit des rochers polis formés de protogine granitoïde, totalement différente de celle de l'Aiguille des Grands Montets. Nous ne saurions trop insister ici sur l'intercalation, au milieu des schistes, de cette protogine granitoïde ; l'importance en est considérable pour la théorie de cette roche.

On traverse les moraines latérales du glacier du Nant Blanc et on descend sur des pentes gazonnées. Il en émerge quelques rochers polis, formés de schistes micacés, tantôt granulitisés, tantôt traversés par des filonnets de granulites. Le sentier qui descend sur la Mer de Glace, à la base de l'Aiguille du Dru et au-dessus du Montenvers, est encore en schistes ; il en est de même au Mauvais Pas et au Chapeau (1549 m.).

Nous avons fait également la course classique de la base des Grandes Aiguilles, de l'Aiguille du Midi (3843 m.) et du Plan (3673 m.), principalement dans le but d'y voir le contact de la protogine et des schistes. Nous ne les décrivons pas ici, cela ayant été fait d'une manière très détaillée par A. Favre<sup>1</sup> et M. Michel Lévy<sup>2</sup>. Nous nous bornerons à dire qu'ici le contact est de nouveau très franc ; les phénomènes d'injection filonienne et d'empâtement que l'on observe à l'Aiguille du Grep-pon s'y retrouvent d'une manière analogue. C'est à

<sup>1</sup> A. Favre. *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc* (1867, t. III, p. 11).

<sup>2</sup> Michel Lévy. *Etude sur les roches cristallines et éruptives des environs du Mont-Blanc. Bulletin des services de la carte géologique de la France*, n° 9, p. 16.

l'Aiguille du Midi que Favre<sup>1</sup> signale des filons de granite dans la protogine « souvent micacée. »

Il est vraiment curieux de voir combien peut varier le contact de la protogine avec les schistes ; toutes les formes de passage se retrouvent dans le massif, depuis le contact franc avec les injections filoniennes jusqu'aux passages graduels et insensibles des schistes à la protogine.

En terminant cette partie, nous dirons également que nous avons eu l'occasion de compléter largement nos observations en classant la belle collection de M. A. Favre, donnée par sa famille au musée de Genève.

Nous remercions aussi, en terminant, M. A. Brun, qui a bien voulu nous communiquer plusieurs types de roches du massif du Mont-Blanc, ainsi que nos collègues, M. le D<sup>r</sup> Ch. Sarasin, MM. E. Ritter, C. Stabil et E. Claparède, qui ont bien voulu nous accompagner dans plusieurs de ces courses.

<sup>1</sup> L. c., III, p. 9.

## DEUXIÈME PARTIE

### La Protogine ses contacts et ses englobements

La protogine est une roche éruptive qui répond à la définition suivante. C'est un :

*Granit granulitique*, généralement pauvre en mica, passant par places au facies pegmatoïde. Elle présente une disposition en bancs épais, acquis à la suite d'actions dynamiques survenues après sa consolidation ; sa formule est  $\Gamma_{23} \text{fi.5.6.sMta.} \underline{\text{a'1q}}$ .

Les minéraux qui la composent peuvent se diviser en trois catégories, à savoir :

- I) *Les minéraux constituants accessoires*, qui sont :  
Le zircon, l'apatite, rutile, magnétite, sphène, allanite et béryl.
- II) *Les minéraux constituants principaux*, qui sont :  
Mica noir, oligoclase, orthose, anorthose et microcline, puis quartz.
- III) *Les minéraux secondaires*, à savoir : Epidote, chlorite, calcite, séricite et damourite.

Le *Zircon* se trouve généralement à l'état d'inclusion dans le mica noir en grains ou prismes raccourcis, avec grand relief et absence de teintes de polarisation. Il n'est que rarement très abondant; il développe généralement des auréoles polychroïques dans son voisinage, elles peuvent aussi manquer.

L'*Apatite* est le plus souvent également à l'état d'inclusion dans le mica; quelquefois cependant elle est en cristaux libres dans la roche. Elle montre des sections prismatiques ou hexagonales.

Le *Sphène* est plutôt rare; dans certains cas cependant il peut devenir un élément constituant macroscopique de la roche. On le rencontre en petites plages fortement déchiquetées, guillochées avec fort relief. Il montre des teintes du quatrième ordre dans les coupes minces.

L'*Allanite* est un minéral des plus intéressants, qui a été signalé pour la première fois dans la protogine par M. Michel Lévy<sup>1</sup>. C'est à cet auteur, ainsi qu'à M. Lacroix<sup>2</sup>, qu'on doit d'avoir montré la fréquence relative de ce minéral dans les roches acides.

Nous avons trouvé presque toujours l'allanite dans nos diverses protogines. Elle s'y présente en cristaux assez volumineux, ayant jusqu'à 0,4<sup>mm</sup> de longueur, qui sont généralement brisés; d'autres fois ils gardent leur contour plus ou moins net. Son relief est très fort, sa couleur brun-rougeâtre, polychroïque, dans

<sup>1</sup> Michel Lévy. *Etude sur les roches cristallines et éruptives des environs du Mont-Blanc. Bulletin des services de la carte géologique de France.*

<sup>2</sup> Lacroix. A. *Contributions à l'étude des gneiss à pyroxène.* Paris, 1839.

les tons bruns; elle est de première consolidation. Les cristaux sont généralement entourés de grains d'épidote, et quelquefois de quartz secondaire. Ce fait a déjà été signalé par M. Lacroix<sup>1</sup> dans certains gneiss à pyroxène et wernérite. Somme toute, l'allanite est un élément constant de la protogine du Mont-Blanc, mais point abondant à la vérité, car il faut souvent plusieurs coupes d'un même échantillon pour en trouver un seul cristal. Sa distribution dans la roche paraît uniforme.

Le *Rutile* est inclus dans le mica. Il forme de longues aiguilles qui s'entrelacent sous forme de grilles serrées hexagonales (sagénite).

La *Magnétite* n'est point abondante et se trouve en petits grains irréguliers.

La *Biotite* se montre sous deux formes qu'on rencontre ensemble, mais qui peuvent aussi s'exclure mutuellement.

La première consiste en lamelles basales ou allongées, avec clivage *p*; les premières à contour irrégulier, rarement hexagonal, vertes ou brunâtres; les secondes très biréfringentes et très polychroïques.

*ng* est brun-verdâtre foncé, presque noir.

*np* brun ou jaune-verdâtre très pale.

Cette biotite est riche en inclusions des minéraux précités; lorsque les zircons y sont auréolés, la biréfringence monte dans les auréoles. La biotite est souvent partiellement épigénisée en pennine selon  $p = 001$ .

Cette biotite n'est jamais abondante; elle caractérise au plus haut degré la protogine que nous avons appelée granitique. On la voit surtout dans les belles

<sup>1</sup> L. c.

protogines acides provenant du Val Ferret et du versant italien.

La deuxième forme montre des trainées filamenteuses de mica verdi qui garde encore son polychroïsme, abondamment accompagné d'épidote et de chlorite. Elle se rencontre surtout dans les facies de contact ou de rebrassement riche en englobements.

Delesse a analysé le mica de la protogine. Il lui attribue la composition suivante, qui en fait une variété ferrifère.

*Analyse du mica par Delesse*<sup>1</sup>

SiO <sub>2</sub>	= 41.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= 13.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= 21.31
FeO	= 5.03
MnO	= 1.09
CaO	= 2.58
MgO	= 4.70
K <sub>2</sub> O	= 6.05
Na <sub>2</sub> O	= 1.40
Flu	= 1.58
H <sub>2</sub> O	= 0.90
Densité	= 3.127

L'Oligoclase est très caractéristique pour la protogine ; il n'y fait jamais défaut. Il existe comme cristaux libres, à contour fortement corrodé ; d'autres

<sup>1</sup> Delesse : Sur la protogine des Alpes. *Bulletin de la Société géologique de France*, II, série I, VII, 1843, p. 230.

fois, il est moulé par l'orthose. Sa consolidation est donc antérieure à ce dernier. Il est toujours mâclé selon la loi de l'albite, plus rarement selon celle de Carlsbad et de la péricline. De nombreuses mesures d'extinctions faites dans la zone de symétrie donnent en moyenne 24 degrés comme extinction entre deux lamelles hémitropes consécutives. Delesse<sup>1</sup> a également isolé et analysé cet oligoclase. Son analyse donne :

*Analyse de l'oligoclase par Delesse*

SiO <sub>2</sub>	= 63.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= 23.92
FeO	} = traces
MnO	
CaO	= 3.23
MgO	= 0.32
Na <sub>2</sub> O	= 6.88
K <sub>2</sub> O	= 2.31
Densité	= 2.633

Les cristaux d'oligoclase sont souvent brisés ; leurs lamelles hémitropes ployées ; leur intérieur est généralement saturé de kaolin et de séricite.

L'Orthose est blanc ou légèrement rosé. C'est l'élément le plus répandu. Ses grandes plages, polarisant dans le gris de premier ordre, sont sillonnées de filonnets d'albite. Il passe par places à l'anorthose, ce qui est confirmé par l'analyse suivante, due à Delesse.

<sup>1</sup> Lieux cités.

*Analyse de l'orthose par Delesse*

SiO <sub>2</sub>	=	66.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	49.06
CaO	=	0.63
MgO	}	= traces
FeO		
K <sub>2</sub> O	=	10.52
Na <sub>2</sub> O	=	2.30
Densité	=	2.615

Le *Microcline* est très constant, abondant même dans certaines variétés. En général, il se rencontre surtout dans les facies acides.

Le *Quartz* gris enfumé, de couleur souvent violacée, est de deux consolidations distinctes. La première, en grands cristaux granitoïdes irréguliers, forme des plages qui moulent les autres éléments. Les extinctions y sont toujours roulantes; il est de plus fortement pressé par les actions dynamiques.

La seconde, toujours granulitique, à grains beaucoup plus petits, à contour souvent *nettement hexagonal*, est distribuée dans tout l'intérieur de la roche. L'abondance respective de ces deux venues est très variable selon les spécimens; dans certains facies gneissiques et au contact, la deuxième venue devient si importante qu'elle représente, à elle seule, presque exclusivement l'élément quartzeux. Les extinctions des petits grains sont toujours franches; cette venue ne manque en tout cas jamais dans la protogine. Elle peut se réduire toutefois à quelques grains. Certains auteurs

se rattachant à l'école allemande veulent voir dans ce quartz que nous qualifions de granulitique un produit d'écrasement des grands cristaux dû aux phénomènes dynamiques. Nous le considérons, avec M. Michel Lévy, comme bien individuel, et nous établirons nos preuves dans les conclusions qui termineront cet ouvrage.

Nous ajouterons également que, dans certaines variétés, il est facile de distinguer du véritable quartz d'écrasement, ou encore de provenance secondaire, mais que les caractères de celui-ci sont essentiellement différents de la venue granulitique mentionnée ci-dessus.

Enfin, parmi les *Minéraux secondaires*, il faut tout d'abord mentionner l'*épidote*, minéral très fréquent que l'on rencontre ordinairement en grains de couleur jaune-verdâtre très pâle, fort biréfringents, entourés par le mica et la chlorite, ou, d'autres fois, réunis en amas.

Dans certaines variétés, notamment dans celle à Béryl, cette *épidote* présente des formes prismatiques. On y reconnaît les faces 100, 201, 001 et 101. Certains de ces cristaux mesurent jusqu'à 0<sup>m</sup>,02.

Souvent, sur différents points d'un même cristal d'*épidote*, on observe des variations dans la biréfringence. Le polychroïsme est insensible.

La *Chlorite* résulte de la décomposition du mica, qu'elle épigénise partiellement ou totalement. Sa faible biréfringence et ses propriétés optiques nous la font rapporter à la pennine. Dans certains cas, toute-

fois, lorsque la chlorite forme des nids dans la roche, il faut alors la rapporter à la ripidolithe.

Enfin, la *Séricite* et *Damourite* sont en inclusion dans les feldspaths ; la *Calcite*, qui les accompagne, est en grains irréguliers, souvent aux clivages marqués, polarisant dans le quatrième ordre.

Sans être précisément riche en minéraux de collection, la protogine en fournit cependant quelques-uns de remarquables dans ses géodes ou dans les fissures qui la sillonnent. Ce sont d'abord de beaux cristaux de *quartz* enfumé, qu'on trouve principalement dans la moraine qui descend du Tour Noir. Puis aussi la *fluorine*, en octaèdres, rose, que l'on rencontre sur le glacier de Miage, tandis qu'une variété violette se trouve sur le glacier d'Argentière.

La *Molybdénite*, en petits amas graphitoïdes gris d'acier, qui paraît répandue dans tout le massif ; puis aussi l'*oligiste* en rhomboèdres basés à l'Aiguille du Plan, d'autres fois en petits cristaux semés sur de l'*épidote*.

Cette dernière se rencontre en très beaux cristaux, qui mesurent jusqu'à 15 centimètres de long, de couleur verte ou brunâtre, quelquefois tordus et disloqués.

On y remarque les faces 100, 101, 201, 111, 423.

Ces beaux cristaux proviennent des glaciers d'Argentière, de Miage, du Talèfre et du Col du Géant.

A l'Aiguille du Charmoz, on trouve encore de l'*épidote* en petits cristaux verts-jaunâtres et transparents dans les fissures de cristaux de quartz.

Des cristaux de *Feldspath* ont été trouvés au Col du Géant. La *Galène* en masses clivables semble assez fréquente. M. A. Brun a décrit une variété curieuse de ce minéral présentant un clivage octaédrique.

Les *actions dynamiques* subies par la protogine sont particulièrement intéressantes à examiner pour la discussion de l'origine de cette roche. On leur doit d'abord la grossière division en bancs que l'on observe dans tout le massif, puis aussi toute une série de froissements microscopiques des éléments constitutifs de la roche. Le quartz est souvent éraillé sur son contour et frangé par une multitude de petites esquilles ; souvent aussi les grands cristaux sont brisés ; la compression qu'ils ont subie est alors accusée par leurs extinctions roulantes. Les feldspaths sont également brisés, leurs lamelles ployées et froissées ; les différents fragments ayant appartenu ostensiblement à un même cristal sont déplacés de leur position respective. Le mica lui-même est souvent étiré ; c'est peut-être aussi aux actions de même nature qu'il faut attribuer la production de *séricite* si abondante dans certaines variétés.

A notre avis, ce sont là les faits principaux auxquels se bornent l'action dynamométamorphisme. Cet avis n'est pas partagé par tout le monde. M. le professeur K. Schmidt<sup>1</sup>, dans son travail sur les roches de la feuille XVI de la carte géologique suisse, lui attribue une part beaucoup plus large. Pour lui, le quartz

f  
<sup>1</sup> K. Schmidt. *Beiträge zur Kenntniss der im Gebiete vom Blatt XII der geologischen Karte der Schweiz auftretenden Gesteine.*

granulitique décrit par M. Michel Lévy et par M. Duparc et moi serait simplement le résultat de l'écrasement des grands cristaux, de sorte que cette structure si typique de la protogine proviendrait purement et simplement d'une action mécanique. Nous reprendrons en détail cette question dans nos conclusions, car, avant de la discuter, il est indispensable de passer en revue les différentes protogines, leur contact avec les schistes et leur mode d'injection dans ces derniers.

*Description et analyses des différents types de protogine*

Les échantillons dont la description suit ont été, à l'exception d'un seul que nous tenons de M. A. Brun, récoltés par nous en place. Nous les distribuerons, pour écrire, dans deux catégories, à savoir :

- I. Les protogines du versant Nord.
- II. Les protogines du versant Sud.

I. PROTOGINE DU VERSANT NORD <sup>1</sup>

1. *Protogine de l'Aiguille du Charmoz*

Le grain de la roche est grossier ; les feldspaths ont une tendance porphyroïde. Ce type est caractéristique pour la chaîne des grandes aiguilles de Chamonix (Aiguille du Charmoz, de la Blaitière, du Plan, du Midi).

*Au microscope* : zircon, apatite, sphène, allanite en grands cristaux entourés d'épidote. Orthose et micro-

<sup>1</sup> Pour les descriptions et analyses qui suivent, voir aussi L. Dupan et L. Mrazec. *Recherches sur la protogine du Mont-Blanc. Archives d. sc. phys. et nat.*, III, XXVII, 639.

line en grandes plages. Oligoclase à lamelles ployées. Quartz des deux venues, la seconde plus ou moins abondante. Epidote, chlorite, séricite.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub> =	76.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	41.76
FeO =	3.51
MnO =	traces
CaO =	1.80
MgO =	0.22
K <sub>2</sub> O =	2.85
Na <sub>2</sub> O =	3.02
Perte au feu =	0.70
	100.48

2. *Protogine de l'Aiguille du Dru (en place)*

Nous en avons examiné deux types.

Le premier vient de la base de l'aiguille.

*Sous le microscope* : Zircon sans auréoles, apatite, sphène ou magnétite, mica noir en plages étirées. La coupe renferme, en outre, une seule section d'un minéral incolore, à relief inférieur à celui de l'épidote à clivage facile, avec extinctions rapportées du clivage atteignant 26 degrés environ. La biréfringence  $n_g - n_p = 0,016$ . Le manque de sections ne nous a pas permis de faire une diagnose plus complète de ce minéral, qui pourrait peut-être être du triphane.

Oligoclase, orthose, microcline. Peu d'épidote, chlorite et calcite.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub>	=	69.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	16.64
FeO	=	3.06
MnO	=	traces
CaO	=	2.17
MgO	=	0.18
K <sub>2</sub> O	}	= 8 %
Na <sub>2</sub> O		
Perte au feu	=	0.34

Le second échantillon provenait de l'arête de l'aiguille. C'est une protogine gneissique à grands cristaux d'orthose. La coupe en est intéressante. Les grandes plages de quartz diminuent pour faire place à une abondante venue granulitique qui enveloppe les feldspaths. Ça et là on voit encore dans la roche des traînées de micaschiste disloquées et injectées par des bandes de protogine. Ce facies gneissique est donc un facies d'injection et point de dislocation. Parmi les grands cristaux, le microcline abonde. Le mica noir y est exceptionnellement riche en inclusions de zircon et surtout de rutile. On y trouve aussi quelques lamelles de mica blanc et également de l'épidote en amas et cristaux.

*3. Protogine de l'Aiguille du Tacul*

Mica riche en inclusions de zircons auréolés. Cristaux corrodés d'oligoclase montrant de beaux exemples de moulage par l'orthose. Quartz des deux venues.

*4. Protogine du massif des Courtes*

Echantillon à grain moyen. Mica verdi abondant. Zircons auréolés, sphène en grains, apatite. Superbes allanites polychroïques. Microcline abondant et quartz des deux venues, la seconde avec quelques belles formes hexagonales. Quelques cristaux de quartz sont corrodés. Très nombreux grains et cristaux d'épidote. Chlorite et calcite.

*5. Protogine du jardin d'Argentière*

Elle est verdâtre, à grain moyen (facies pegmatoïde). Magnétite, biotite rare, presque complètement épi-génisée en chlorite. Oligoclase, anorthose, microcline, tous très altérés. Beaucoup de damourite. Quartz des deux venues. A mentionner quelques quartz corrodés, grains de calcite.

La roche accuse des actions dynamiques intenses.

*6. Protogine du Tour Noir*

C'est une belle protogine qui représente le type caractéristique pour la partie S.-E. du massif. Le grain est relativement grossier ; la biotite hexagonale y est plutôt rare. Zircon abondant, quelquefois libre dans la roche. Apatite, sphène, allanite avec couronne d'épidote. Biotite en belles lamelles hexagonales, avec nombreuses inclusions de zircon et surtout de rutile.

L'oligoclase, assez rare, est moulé par de grandes plages d'orthose. Dans ce dernier, on trouve aussi quelques petits cristaux de microcline et du quartz secondaire.

Quartz abondant, surtout en grains granitoïdes.

7. *Protogine du massif du Trient*

Cette roche est très caractéristique pour toute la partie N.-E. du massif; elle est formée de grandes plages feldspathiques ayant jusqu'à 10 centimètres de longueur sur 3 de largeur.

*Sous le microscope* : Magnétite rare, sphène, zircon auréolé, avec apatite dans les grandes traînées du mica. Allanite. Grandes plages de feldspath. Oligoclase, anorthose, microcline, quartz des deux venues, épidote, calcite, séricite.

II. PROTOGINE DU VERSANT SUD

8. *Protogine des rochers de Tourette*

(Sommet du Mont-Blanc)

L'échantillon nous a été remis par M. A. Brun, qui l'a pris en place. M. Michel Lévy<sup>1</sup> a tout récemment décrit cette roche dans son travail sur la prolongation vers le Sud de la chaîne des Aiguilles Rouges. Elle est surtout caractéristique pour l'intensité des phénomènes dynamiques qu'elle accuse.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub> =	66.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	17.47
FeO =	3.18
MnO =	traces
CaO =	2.31
MgO =	0.46
K <sub>2</sub> O =	5.43
Na <sub>2</sub> O =	5.64
Perte au feu =	0.73
	<hr/>
	101.57

<sup>1</sup> Michel Lévy. Lieux cités.

9. *Protogine du Col du Géant*

L'échantillon est à grain fin, très pauvre en mica.

*Sous le microscope* : Quelques rares grains de magnétite, sphène et lamelles de mica. Oligoclase rare, orthose et microcline abondants, quartz des deux venues bien représenté. Quelques quartz présentent des caractères pegmatoïdes.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub> =	72.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	14.83
FeO =	1.79
MnO =	traces
CaO =	1.15
MgO =	0.28
K <sub>2</sub> O =	5.49
Na <sub>2</sub> O =	3.42
Perte au feu =	0.53
	<hr/>
	99.91

10. *Protogine de la cabane du Col du Géant*

Protogine verdâtre à grands cristaux.

*Au microscope* : Magnétite, zircon, apatite, mica verdi abondant, oligoclase et orthose très altéré. Quartz des deux venues; la granitique très fraîche.

11. *Protogine à la Fontaine de la porte du Col du Géant*

Roche à grain fin; *sous le microscope* : belles lamelles de biotite avec inclusions de rutile en fines aiguilles croisées, apatite et zircon. Ces derniers sont aussi inclus dans quelques cristaux d'allanite, sphène rare.

12. *Protogine du Breuva*

Type remarquable du facies dit granitoïde de la protogine, avec mica hexagonal.

*Au microscope* : Zircon, magnétite, apatite, sphène, allanite, mica avec rutile. Beaux cristaux d'oligoclase, orthose, anorthose et microcline.

Quartz des deux venues, la seconde rare.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub> =	68.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	15.89
FeO =	3.46
MnO =	—
CaO =	2.35
MgO =	0.60
K <sub>2</sub> O =	4.01
Na <sub>2</sub> O =	4.10
H <sub>2</sub> O =	0.53
	<hr/>
	100.85

*Protogine à émeraude*

Cette curieuse variété fut découverte par Soret <sup>1</sup>.

Pendant longtemps le béryl y fut considéré comme une topaze. M. G. Spezia <sup>2</sup> y reconnut qualitativement la glucine; puis, plus tard, M. Descloizeaux <sup>3</sup> détermine complètement les propriétés optiques de ce béryl et

<sup>1</sup> *Bulletin de la Société philomatique*. 1820, f. 3.

<sup>2</sup> Académie des Sciences de Turin, 15 novembre 1875.

<sup>3</sup> Descloizeaux. Cristaux de Beryl de la Mer de glace. *Bulletin de la Soc. géol. de France*, vol. IV. 94; V, 142.

le considère comme tel. Enfin, la roche a été étudiée successivement par M. Michel Lévy <sup>1</sup> et M. Duparc <sup>2</sup> et moi.

Jadis, on trouvait cette protogine dans les éboulis de l'un des grands couloirs qui descendent de l'Aiguille du Charmoz, du côté de la Mer de Glace. Aujourd'hui, il est complètement impossible d'en retrouver un fragment quelconque. Le gisement en place n'a, du reste, jamais été connu.

Nous avons pu disposer d'admirables échantillons de cette roche, provenant de la collection Favre. Ils sont constellés de superbes cristaux de béryl bleu pâle, mesurant jusqu'à 4 centimètre de longueur et plus. A l'œil nu, la roche paraît dépourvue de quartz; celui-ci se retrouve cependant sous le microscope.

Sous le microscope, la roche se montre particulièrement feldspathique. L'oligoclase y prédomine. Le microcline y remplace partiellement ou totalement l'orthose. Le mica, fortement altéré et verdi par les actions secondaires, ne s'y trouve que rarement. En revanche l'épidote y est abondamment répandue en grains ou en prismes souvent terminés et inclus dans les feldspaths ou le béryl.

Celui-ci s'y présente en sections hexagonales ou prismatiques. Les sections basales montrent des lignes d'accroissement concentriques parallèles aux côtés. En lumière convergente, elles donnent une croix noire, à un axe négatif, qui n'est point disloquée

<sup>1</sup> Michel Lévy. Lieux cités.

<sup>2</sup> Duparc et Mrazec, idem.

par rotation et superposition de verres colorés. Les sections prismatiques montrent un allongement négatif; elles conservent un très faible polychroïsme: np est légèrement bleuâtre, tandis que ng est parfaitement incolore.

Ce béryl est de consolidation antérieure au quartz qui en moule certaines sections hexagonales. Le quartz lui-même est rare, toujours en plages granitoïdes froissées, avec extinctions roulantes. Le quartz granitique y fait absolument défaut. Ce fait a été constaté non seulement sur les coupes que nous possédons, M. Duparc et moi, mais encore sur celles que M. Michel Lévy nous a montrées.

L'allanite semble manquer à cette variété.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub> =	62.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	18.02
BeO =	1.02
FeO =	3.97
MnO =	traces
CaO =	2.59
MgO =	0.75
K <sub>2</sub> O =	4.07
Na <sub>2</sub> O =	6.51
Perte au feu =	1.99
	<hr/>
	101.02

Cette analyse montre que cette variété est moins acide que la protogine ordinaire. Le béryl a été extrait de la roche, purifié autant que faire se pou-

vait, puis analysé à part. L'analyse donne les chiffres suivants :

*Analyse du béryl*

SiO <sub>2</sub> =	63.64
BeO =	9.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	19.19
FeO =	5.00
CaO =	traces
MgO =	1.16
Perte =	10.07
	<hr/>
	100.00

Cette analyse, comparée à la précédente, montre que la protogine renferme à peu près 10 % de béryl.

*Considérations chimiques relatives à la protogine*

Il n'est pas sans intérêt de rapprocher les résultats analytiques qui ont été donnés et d'en tirer quelques comparaisons.

La moyenne calculée de toutes les analyses que nous avons faites de la protogine est la suivante :

SiO <sub>2</sub> =	71.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	15.00
FeO =	2.93
CaO =	1.90
MgO =	0.39
K <sub>2</sub> O =	4.59
Na <sub>2</sub> O =	3.99
Perte au feu =	0.48

La pauvreté de la roche en fer et en magnésie montre bien le caractère pegmatoïde de celle-ci, et la teneur en chaux l'acidité des plagioclases qui, dans certaines variétés, peuvent constituer jusqu'à 30 % de la roche.

Les deux chiffres extrêmes qui ont été obtenus pour la silice sont, en chiffres ronds, 66 et 76 %, soit un écart de 10 %. Or le chiffre moyen de 71 % montre bien le caractère de la protogine qui est, par son acidité, comme du reste par sa structure, l'intermédiaire entre les vrais granits et les granulites.

Les oscillations que l'on remarque dans l'acidité ne résultent point de variations dans la quantité de l'élément noir, toujours trop peu abondant pour avoir quelque influence. On trouve en effet certaines protogines, relativement micacées, beaucoup plus acides que d'autres qui sont pauvres en mica. Ce dernier élément ne dépasse pas, du reste, le 10 % du total.

Dans la majorité des cas, le chiffre de la potasse égale à peu près celui de la soude, rarement elle le dépasse de beaucoup, et ce fait ne se présente alors que dans les variétés à grain fin, qui sont généralement plus acides que la moyenne que nous avons indiquée, et qui sont toujours riches en microcline, tandis que l'oligoclase y diminue, ce qui entraîne également une diminution correspondante dans la quantité de chaux dosée.

Cette égalité presque complète de la soude et de la potasse paraît être aussi un bon caractère pour la protogine.

Nous avons réuni les analyses faites antérieurement par Roscoe et Delesse, et nous les donnerons ci-dessous.

Le n° I est un fragment du versant nord analysé par Roscoe et Schönfeld<sup>1</sup>.

Les n° II vient du sommet du Mont-Blanc, III des aiguilles du fond de la Mer de Glace, IV de l'Aiguille du Dru. Ces trois derniers numéros ont été analysés par Delesse.<sup>2</sup>

	I	II	III	IV
SiO <sub>2</sub>	71.41	74.25	72.42	70.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.45	11.58		
FeO	2.58	2.41		
MnO		traces		
CaO	2.49	1.08	1.03	1.08
MgO	1.19	10.01		
K <sub>2</sub> O	2.77			
Na <sub>2</sub> O	3.05			
Perte au feu	1.25	0.67		

La forte perte au feu et la pauvreté en alcalis du NoI nous font penser que l'échantillon de Roscoe et Schönfeld était altéré.

Quand aux analyses de Delesse, elles concordent parfaitement avec les nôtres. Il est seulement regrettable que l'auteur n'ait point séparé les alcalis. Delesse admettait un accroissement d'acidité vers le centre du massif. Après plus amples recherches cette opinion nous paraît contestable. Tout d'abord le sommet du Mont-Blanc n'est point au centre du massif, et de plus, d'après nos recherches, la protogine la plus

<sup>1</sup> Roscoe et Schönfeld : Protogin von Mont-Blanc. *Annalen der Chemie und Pharmacie*. XVI, 1858, 305.

<sup>2</sup> Delesse : Sur la protogine des Alpes. *Bulletin de la Société géologique de France*. II, T. VI, 1849, p. 230.

acide paraît exister dans deux chaînes presque parallèles : celle des grandes Aiguilles, à Chamonix (Charmoz, Greppon, etc.), et celle au sud-est, qui va approximativement du Glacier de Brenva au Mont Dolent, et dont la largeur maximum paraît se trouver au Tour Noir.

Pour être complet en ce qui concerne le côté chimique de la protogine, nous mentionnerons encore trois analyses de cette roche, provenant d'autres massifs, analyses faites par M. le professeur Duparc.

Les numéros I et II sont des protogines du Bietschhorn et de l'Aletschhorn, dans les Alpes Valaisannes; le numéro III est la protogine qui perce le flysch au pointement de la Rosière<sup>1</sup> et qui a été étudiée par M. Michel Lévy.

	I	II	III
SiO <sub>2</sub> =	76.40	76.28	76.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	13.38	13.19	13.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	0.35		
FeO =	0.99	1.23	1.44
MnO =	traces	traces	
CaO =	1.28	0.88	0.65
MgO =	0.32	0.48	0.50
K <sub>2</sub> O =	4.59	4.32	3.83
Na <sub>2</sub> O =	3.93	4.18	3.43
Perte au feu =	0.51	0.51	0.84

Ces trois protogines sont plus acides que celles de la chaîne du Mont-Blanc, elles se rapprochent beau-

<sup>1</sup> Duparc in Michel Lévy. Note sur la prolongation vers le sud des Aiguilles Rouges. *Bulletin de service de la carte géologique de France.* N° 27.

coup comme type des roches filoniennes que nous décrirons plus tard.

Parmi les éléments rares que la protogine renferme, et qui n'ont pas été dosés vu leur trop petite quantité, il faut citer l'acide titanique, le manganèse, le chrome, l'acide phosphorique, et enfin le chlore, dont on a trouvé toujours des traces qui proviennent certainement d'inclusions renfermées dans le quartz.

Nous dirons, pour terminer ces quelques considérations, qu'avec un peu d'habitude, en tenant compte du grain de la protogine et de la moyenne analytique que nous avons donnée, il est facile de prévoir quelle sera la composition de tel ou tel échantillon. Nous l'avons essayé avec succès.

#### *Le contact de la protogine avec les schistes*

Comme on a pu le voir dans la première partie de ce travail, le contact de la protogine avec les schistes encaissants, est essentiellement variable. Tantôt il est franc, tantôt au contraire il y a passage graduel par des variétés gneissiques de telle manière qu'il est impossible de fixer une ligne de démarcation qui soit nette.

Nous avons pu examiner sous le microscope un contact très franc de la protogine avec le micaschiste récolté en place au-dessus de l'Angle. Au microscope, la protogine du contact frappe de suite par sa grande abondance de quartz granitique, tandis que le quartz granitoïde est très rare. On a là, d'une manière évidente, une diminution du grain analogue à celle que l'on constate dans les roches filoniennes, provo-

quée par une cristallisation plus rapide, due à l'influence exercée par la roche encaissante. Le mica noir s'y présente en longues trainées schisteuses qui entourent de nombreux grains d'épidote. Le mica est pauvre en inclusions de zircon. Dans la protogine on trouve de plus du sphène, de la magnétite et de l'allanite.

Les plagioclases sont fortement kaolinisés et rares, au contraire l'orthose et surtout le microcline forment de belles plages.

Le schiste micacé est gris verdâtre, formé de bandes dont la coloration alterne. Au contact même il est fortement froissé et sous le microscope il se montre formé d'une quantité de très petits grains de quartz entremêlés de lamelles de mica orienté, de petits grains d'épidote dont l'un renferme à l'état d'inclusion un grain d'allanite. Dans le micaschiste, çà et là, on trouve quelque lentille de quartz granulitique à grains polyédriques, émané évidemment de la protogine. On peut du reste se rendre parfaitement compte de la manière dont se fait l'injection. On voit au contact la protogine lancer de minces apophyses submicroscopiques latérales dans le schiste et reproduire en petit ce que l'on peut observer en grand sur le terrain. Ces apophyses, exclusivement formées de quartz granulitique, s'épanouissent dans tous les sens, disloquent le schiste en écartant les feuilles et l'injectent lenticulairement; c'est là le prototype de l'injection quartzeuse. Nous aurons du reste, dans le travail d'ensemble que nous préparons, M. Duparc et moi, sur les phénomènes d'injection dans les schistes, à revenir sur cette importante question pour entrer dans des détails plus circonstanciés.

*Roches étrangères dans la protogine*

Favre, le premier, dans ses minutieuses recherches sur le massif du Mont-Blanc<sup>1</sup>, remarquait que la protogine empâtait souvent des fragments de gneiss. Cependant ailleurs dans le même livre, reconnaissant l'analogie entre certains de ces englobements qu'il avait observés dans un bloc erratique trouvé à Pers-Jussy<sup>2</sup> et le porphyre gris-cendré de la base du Mont-tenvers, il les considère comme des variétés de protogine.

Gerlach<sup>3</sup> mentionne également ces fragments étrangers et s'exprime à leur égard de la manière suivante : « Bemerkenswerth sind die dunkelgrünlich grauen feinkörnigen Flecke oder Auscheidungen welche sehr häufig sowohl in den Protogingneisse als auch in den Protogingranit zum Vorschein kommen und oft eine Grösse von 2-3 Füsse erreichen auch in diesen dunkel feinkörnigen Massen treten grössere Feldspathkristalle auf. »

Il est intéressant de constater ici que Gerlach considérait ces fragments comme résultant d'une sécrétion plus basique au sein de la protogine, idée défendue également, en général pour les roches acides par M. Rosenbusch.

M. Michel Lévy<sup>4</sup>, dans son mémoire sur les roches éruptives du Mont-Blanc, a repris la question et a

1 Favre § 559,

2 Id., § 694.

3 Gerlach. Das Sud-Wesliche Wallis (Matériaux pour la carte géologique suisse, liv. 1891, p. 48).

4 Michel Lévy, loc. cit.

démontré la véritable origine de ces fragments, et à la même époque, M. Duparc et moi<sup>1</sup>, sans avoir eu connaissance à l'origine de notre travail de la publication de M. Michel Lévy, avons traité également le sujet et sommes arrivés à des conclusions analogues.

Ces fragments étrangers sont très communs dans certaines protogines, dans d'autres ils sont rares et manquent complètement. On les observe surtout dans le voisinage du contact avec les schistes, on les retrouve même au cœur du massif.

On peut distinguer dans ces englobements deux types assez différents. Le premier est compact et homogène, généralement gris clair ; le second, franchement schisteux, est beaucoup plus foncé. Du reste les échantillons en apparence les plus compacts et homogènes, se laissent facilement séparer par le choc, et donnent des surfaces planes sur lesquelles l'éclat paraît soyeux et différent de celui qu'on observe directement sur la roche ; il est en revanche semblable à celui qu'on voit sur les feuillets de certains schistes. Ces surfaces indiquent évidemment une schistosité primitive de la roche.

Ces fragments présentent les formes les plus variées, les uns sont arrondis, irréguliers ou anguleux ; d'autres, principalement ceux qui sont schisteux, sont aplatis et allongés. On en trouve de toutes les dimensions, depuis des blocs énormes, comme on peut les voir à la base de l'Aiguille du Plan et encore au glacier du Trient, jusqu'à des fragments excessive-

<sup>1</sup> Duparc et Mrazec. Recherches sur les roches étrangères enfermées dans la protogine du Mont-Blanc. *Archives*, tome XXV, 1891.

ment petits et fort nombreux, qui communiquent alors à la protogine un aspect tout à fait caractéristique. La structure de ces englobements est toujours franchement grenue ; à leur contact immédiat avec la protogine ils sont entourés d'un mince revêtement micacé d'épaisseur variable, qui ne dépasse pas en général quelques millimètres. Ce revêtement de couleur brun verdâtre reste adhérent à la protogine quand on en sépare le fragment. Dans l'intérieur de ceux-ci on a observé de nombreuses glandules d'orthose pouvant atteindre jusqu'à plusieurs centimètres et de gros grains de quartz. Ces glandules plutôt rares dans le facies schisteux sont très abondantes dans les échantillons compacts, si abondantes même que tout le fragment présente alors l'aspect d'un porphyre à grands cristaux.

Sur les blocs erratiques qui en renferment, on voit leur surface s'écailler, tandis que les glandules feldspathiques et quartzéuses restent en saillie.

Partout où la protogine renferme un grand nombre de ces fragments étrangers, elle devient remarquablement riche en mica noir ; ce n'est point à la vérité le mica hexagonal des belles variétés granitoïdes du versant sud de la chaîne ; il y forme de petits amas généralement allongés, de couleur brun verdâtre, à éclat légèrement métalloïde. Ceux-ci paraissent plus ou moins orientés dans la roche et lui communiquent parfois une fausse apparence gneissique, bien qu'en réalité la roche soit très compacte.

Dans certaines protogines, quand la dimension des fragments devient très petite, il arrive un moment où

l'on ne voit pas de limite entre le fragment proprement dit et les petits amas micacés dont il a été question. Quelquefois, dans le voisinage immédiat d'un de ces englobements, on observe dans la protogine des bandes de mica plus ou moins concentriques entre lesquelles le magma de la protogine a pénétré de toutes pièces.

D'ordinaire les fragments étrangers d'aspect nettement porphyroïde se rencontrent plutôt chez les protogines granitoïdes, tandis que, dans la protogine à disposition pegmatoïde, les fragments sont réduits à des lambeaux verdâtres, généralement gneissiques, fortement disloqués et modifiés. Souvent ces lambeaux communiquent les uns avec les autres par de longues trainées filamenteuses de mica verdi, dans lesquelles ils se résolvent parfois complètement. Ces trainées sont disséminées dans tous les sens et leur orientation est absolument indépendante de la stratification grossière de la protogine. Nous donnons à celle-ci, lorsqu'elle présente les caractères que nous venons de décrire, le nom de protogine de rebrassement. Nous entrerons dans des détails plus circonstanciés sur la protogine dite pegmatoïde et granitoïde dans nos conclusions.

Nous considérons ce facies particulier comme le résultat de l'intrusion en masse d'une protogine feldspathique dans des roches schisteuses, arrachées, injectées, puis pénétrées dans toute leur masse, et enfin entraînées et plus ou moins complètement assimilées dans le mouvement de magma. Avant d'entrer dans les détails que comporte cette manière de voir,

il faut avant tout démontrer que ces fragments étrangers sont bien des roches encaissantes, arrachées par la protogine, et point des concentrations de l'élément ferro-magnésien au sein de la roche acide ; nous nous permettrons d'insister un peu sur cette question, qui est fort intéressante pour la genèse de la protogine. Nous ajouterons que ces englobements ne sont du reste point un caractère exclusif de cette roche. Nous en avons rencontré de semblables dans de vrais granits, tout particulièrement à Valorsine, par exemple. MM. Duparc et Ritter<sup>1</sup> les ont retrouvés également dans les pointements granitiques de Beaufort et Haute-Luce, qui sont la continuation de ceux de Valorsine.

Nous avons examiné sous le microscope de nombreuses coupes de ces fragments étrangers.

Les variétés schisteuses sont de véritables mica-schistes formés par de petits grains de quartz et de très petites lamelles de mica orienté en trainées allongées et parallèles. Toute la masse est imprégnée de quartz granulitique, disposé en petits amas ou bien surtout en lentilles étirées. L'on peut voir quelquefois, dans certaines régions de la coupe, des portions intactes de schiste dans lesquelles pénètrent des veinules excessivement minces de grains de quartz granulitique, alignés en chaîne. Dans toute la masse on voit se développer des lamelles de mica noir à aiguille de rutile, du sphène en petits grains, un peu de magnétite et quelques rares cristaux d'allanite généralement

<sup>1</sup> Duparc et Ritter. Note préliminaire sur la géologie et les roches éruptives de Beaufort. *Archives*, tome XXVII, 1892.

brisés. Dans certaines variétés on remarque également quelques belles lamelles de muscovite.

Les glandules feldspathiques sont formées d'orthose et d'anorthose très riches en veinules d'albite et moulant généralement des oligoclases corrodés.

Lorsque ces glandules sont quartzseuses, le quartz y est à grands cristaux irréguliers, froissé sur les bords. Il est à remarquer que, lorsque les échantillons sont riches en glandules quartzseuses, le développement de quartz granitique dans la masse y est plus considérable.

Les variétés d'apparence compacte sont en principe identiques à celles qui viennent d'être mentionnées; il est toutefois plus difficile d'y retrouver la structure essentiellement microschieuse du facies précédent; cependant on la voit sur plusieurs de nos coupes. Toute la roche paraît disloquée, les éléments y sont pêle-mêle; les grands cristaux empâtent des lamelles de mica, et le développement des glandules d'orthose et de quartz y devient considérable. Nous donnerons encore l'analyse microscopique d'un beau fragment provenant d'un énorme englobement trouvé dans la moraine frontale du glacier de l'Aiguille du Dru.

La roche est riche en débris d'allanite; sur un de ces morceaux à polychroïsme net on observe une partie non polychroïque très biréfringente, qui paraît être une transformation épidotique de l'allanite.

Le mica y est très abondant, chargé d'inclusions, particulièrement de rutile. Les feldspaths sont potassiques, en petits cristaux incomplets, parmi lesquels on distingue de belles plages de microcline.

Nombreux produits de décomposition. Chlorite, séricite, etc.

Il est intéressant d'examiner sous le microscope le contact direct de l'un de ces englobements avec la protogine qui l'entoure. On peut se convaincre facilement que l'on se trouve en présence de deux roches bien différentes.

La protogine y est remarquable par son abondance en quartz granitique; elle est séparée de la roche étrangère par un cordon formé de grandes lamelles de biotite, chargées d'inclusions de zircons auréolés et d'apatite, puis aussi quelques grands cristaux de sphène et d'allanite, et d'une multitude de grains de magnétite. Ce cordon est rompu en plusieurs endroits; le magma de la protogine pénètre alors par la brèche dans la roche étrangère. Celle-ci présente en arrière de ce cordon tous les caractères d'un schiste micacé granulitisé.

*Analyses de la roche étrangère*

Favre<sup>1</sup> donne déjà dans son ouvrage deux analyses de ces blocs étrangers, faites par Delafontaine et provenant d'un fragment extrait de la protogine erratique de Pers-Jussy. Ces analyses, qui sont incomplètes, donnent :

	I	II
SiO <sub>2</sub>	64 —	61. —
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18 —	18.5
K <sub>2</sub> ONa <sub>2</sub> O	14 —	14.5
CaO	4 —	4.2

<sup>1</sup> Favre. III. p. 302.

Nous avons fait trois analyses d'un fragment pris dans un bloc erratique du Salève. Nous en donnons la moyenne ci-dessous :

SiO <sub>2</sub> =	61.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	16.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	3.02
FeO =	6.00
MnO =	0.48
CaO =	3.57
MgO =	1.69
K <sub>2</sub> O =	7.26
Na <sub>2</sub> O =	1.94
Perte au feu =	0.45
	<hr/>
	102.03

De plus, traces de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FlH.

Il n'y a donc au point de vue chimique pas d'analogie entre cette roche et la protogine. La différence porte principalement sur les bases chaux, oxyde de fer et alumine, etc. La potasse prédomine de beaucoup sur la soude.

Peut-on alors chimiquement admettre que nous avons là une concentration de mica noir dans la protogine, mica resté mêlé à une certaine quantité de quartz et de feldspath? Dans ce cas il semblerait alors que, en ajoutant à l'analyse du mica noir de Delesse des quantités variables du magma de la protogine, il serait aisé de reproduire la composition chimique ci-dessus indiquée. Nous avons essayé de le faire,

mais les résultats ne sont point satisfaisants; l'alumine et les alcalis sont impossibles à raccorder.

On voit ainsi que l'analyse chimique comme la diagnose microscopique et les observations sur le terrain confirment l'origine de ces blocs étrangers. Ceux-ci sont donc bien des fragments clastiques de schistes micacés arrachés par la protogine lors de son intrusion et plus ou moins modifiés par elle. Ces blocs sont donc autant de preuves nouvelles que l'on peut ajouter à celles qui ont déjà été données pour l'origine éruptive absolument incontestable de la protogine.

Quant aux deux facies différents qui ont été décrits pour ces fragments, ils sont évidemment le résultat d'une modification plus ou moins profonde du schiste par la protogine. Cependant j'incline à penser que cette différence est déjà originelle, à savoir que les uns ont été arrachés comme simples schistes micacés et modifiés ensuite, les autres comme schistes déjà antérieurement protoginisés.

Ces englobements nous montrent aussi de quelle manière les schistes peuvent s'assimiler dans la protogine, car nous l'avons dit, toutes les transitions possibles s'observent entre la protogine à englobements et celle riche en amas micacés.

Pour terminer, nous donnerons encore l'analyse de la protogine de laquelle a été extrait l'englobement analysé. Elle est granitique et montre de très beaux cristaux d'allanite.

Analyse

SiO <sub>2</sub> =	72.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	13.44
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	0.01
FeO =	2.30
MnO =	traces
CaO =	1.65
MgO =	0.65
K <sub>2</sub> O =	5.48
Na <sub>2</sub> O =	3.78
Perte au feu =	0.58
	<hr/>
	99.94

BIBLIOGRAPHIE

1. JURINE. Lettre à Monsieur Gillet-Laumont. *Journal des Mines*, XIX, 1806, p. 367.
2. BROCHANT DE VILLERS. Considérations sur la place que doivent occuper les roches granitoïdes du Mont-Blanc, etc. *Annales des Mines*, IV, 1819, p. 283.
8. DE LUC. Mémoire sur les blocs de granit épars dans les vallées qui entourent la chaîne du Mont-Blanc, etc. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1<sup>re</sup> série, X, 1839, p. 230.
4. DELESSE. Sur la protogine des Alpes. *Bulletin de la Société géologique de France*, II<sup>me</sup> série, VI, 1844.
5. A. FAVRE. Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse, voisines du Mont-Blanc, 1867, II et III.
6. EBRAY. Assimilation de la protogine des Alpes au porphyre granitoïde du Beaujolais. *Bulletin de la Société géologique de France*, XXVI, 1869, p. 927.
7. ROSCOE et SCHÖNFELD. Protogine von Mont-Blanc. *Annalen der Chemie und Pharmacie*, XCI, 1854.
8. GERLACH. Das südwestliche Wallis. Matériaux pour la carte géologique Suisse, 1871, 9<sup>me</sup> livre.
9. STUDER. Gneiss und Granit der Alpen. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, XXIV, 1872.
10. G. SPEZIA. Sul berillo del protogine del Monte-Bianco. *Atti acad. scien. Torino*, 1875.
11. G.-E. POZZI. Sopra alcune varietà di protogine del Monte-Bianco. *Atti della Reale academia delle scienze di Torino*, XIV, 1879.
12. A. BRUN. Mineralogische Notizen. *Zeitschrift für Krystallographie*, VII, 1892.
13. DESCLOIZEAUX. Cristaux de beryl de la Mer de Glace. *Bulletin de la Société minéralogique de France*, IV 94, V 142.
14. GRAEFF. Studien am Mont-Blanc Massif. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1890.

14. A. MICHEL-LÉVY. Etude sur les roches cristallines et éruptives du Mont-Blanc. *Bulletin des services de la carte géologique de France*, n° 9, 1890.

15. L. DUPARC et L. MRAZEC. Recherches sur les roches étrangères enfermées dans la protogine erratique du Mont-Blanc. *Archives des sciences physiques et naturelles*, XXV, p. 655, 1891.

16. A. MICHEL-LÉVY. Note sur la prolongation vers le sud de la chaîne des Aiguilles Rouges, etc. *Bulletin des services de la carte géologique de France*, n° 27, t. III, 1892.

17. L. DUPARC et L. MRAZEC. Recherches sur la protogine du Mont-Blanc et sur quelques granulites filoniennes qui la traversent. *Archives*, t. XXVII, 1892.

TROISIÈME PARTIE

Roches filoniennes dans la protogine

Granulites filoniennes

Les filons de *granite à grain fin* qui traversent les schistes ont déjà préoccupé Favre<sup>1</sup>, mais, chose curieuse, il interprète leur présence dans la protogine au contact sous l'Aiguille du Midi en faveur de l'origine neptunienne de cette roche.

Gerlach<sup>2</sup> en parle aussi et les considère toutes comme des apophyses émanées de la protogine. M. Michel Lévy<sup>3</sup> décrit plus tard celles qui, sous l'Aiguille du Plan, sortent de la protogine et injectent les schistes; il mentionne également certains filons d'aplite à grain fin qui percent la protogine sur certains blocs erratiques. Enfin M. Duparc<sup>4</sup> et moi avons décrit et analysé plusieurs de ces granulites prises en place au sein même de la protogine.

Ces granulites (aprites pro parte des allemands), sont toujours filoniennes. Elles appartiennent, comme

1 Favre. L. c.

2 Gerlach. L. c.

3 Michel Lévy. L. c.

4 Duparc et Mrazec. L. c.

nous l'avons déjà dit, à deux types différents. Les unes en filons plus ou moins épais, quelquefois excessivement minces, ne sont *que des apophyses de véritable protogine, qui traverse les schistes*, et diminuent brusquement son grain à leur contact; ces granulites ne se rencontrent par conséquent que dans les schistes.

Les autres sont une venue généralement plus jeune et plus acide que la protogine qu'elles traversent sous forme de filons souvent fort épais. On peut en voir un superbe à l'Aiguille du Tacul, puis à l'Aiguille du Charmoz au Col du Géant, et quelques beaux entre la pointe d'Orny et le pas d'Arpette. Nous nous sommes attachés à relever exactement les plus importants de ces filons qui figurent sur nos profils. Ils paraissent du reste très communs dans l'ensemble du massif. Leur existence sur les deux versants de la chaîne est confirmée par la nature des blocs erratiques charriés sur les glaciers qui en descendent. Comme nous l'avons déjà dit dans la première partie de ce travail, certains de ces filons qui traversent la protogine se continuent jusque dans les schistes qu'ils injectent comme les apophyses granulitiques de la protogine; il est même probable, d'après ce que nous connaissons des filons éruptifs qui sillonnent le massif cristallin des Aiguilles Rouges, que certaines de ces granulites traversent directement les schistes sans passer préalablement au travers de la protogine; mais, comme nous l'avons déjà dit, quand on n'est pas sur le contact même, il est impossible de dire si les filons qui injectent les schistes sont des apophyses

granulitiques de la protogine ou des granulites plus jeunes qui la traversent.

Macroscopiquement, de même que sous le microscope, le type de ces granulites est très uniforme. Ce sont des roches blanches compactes, quelquefois d'apparence saccharoïde, qui, en thèse générale, sont pauvres en mica. Dans certaines variétés, cet élément paraît même complètement manquer à l'œil nu; dans d'autres on trouve seulement quelques jolies lamelles de biotite ou de muscovite, souvent les deux ensemble.

Dans quelques variétés que nous avons rencontrées, seulement dans les filons qui traversent les schistes, et point dans ceux qu'on observe dans la protogine, les micas y sont accompagnés par de jolies aiguilles de tourmaline.

Sur les nombreuses coupes de ces roches que nous avons examinées, la biotite rare renferme généralement peu d'inclusions de zircon et d'apatite. La muscovite forme des traînées ou d'autres fois se trouve en petites lamelles isolées. Les feldspaths sont principalement de l'orthose et du microcline, l'oligoclase existe toujours, mais il est beaucoup moins abondant que dans la protogine.

Le quartz est ici exclusivement granulitique, avec formes propres, souvent franchement hexagonales. Il constitue une masse plus ou moins abondante qui entoure tous les autres éléments de la roche. Quelquefois cependant, notamment au Col du Géant, on trouve quelques graines isolées de quartz granitoïde qui sont développées porphyriquement.

Certains quartz corrodés entourent quelquefois les

cristaux d'orthose. A l'Aiguille du Tacul, la granulite renferme en plus quelques belles allanites avec leur cortège habituel de grains d'épidote.

Lorsque la granulite renferme de la tourmaline, comme c'est le cas par exemple pour certains filons que l'on trouve dans les schistes qui forment la base de l'arête des Rognes, ainsi que dans ceux qui se trouvent au-dessous du glacier de la Griez, celle-ci forme des aiguilles ayant jusqu'à 3 centimètres de longueur, brisées et fortement polychroïques ;

ng est brun foncé ; np est brun pâle.

Dans le tableau qui suit, nous donnerons trois analyses parallèles de trois variétés de ces granulites.

Le n° I provient du grand filon de l'Aiguille du Tacul.

Le n° II de celui de l'Aiguille du Charmoz. Ces deux filons sont intercalés dans la protogine.

Le n° III est une variété tourmalinifère qui provient d'un filon dans les schistes de la base des Rognes. La tourmaline y est rare, ainsi que la muscovite. La biotite y fait défaut :

*Analyses*

	I	II	II
SiO <sub>2</sub> =	75.21	73.85	75.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =	13.88	15.23	16.13
FeO =	0.91	1.14	traces
CaO =	1.19	1.68	0.88
MgO =	0.25	0.29	0.13
K <sub>2</sub> O =	4.50	4.10	3.77
Na <sub>2</sub> O =	3.96	3.27	3.87
Perte au feu =	0.24	0.36	0.83

Ces analyses confirment l'uniformité de ces roches et leur nature réellement granulitique. Elles sont, comme on le voit, en moyenne plus acides que la protogine, plus pauvres qu'elle en mica et renferment une plus grande quantité d'orthose et de microcline. Il est à remarquer que ces types filoniens se rapprochent énormément par leur composition chimique des protogines de l'Aletschhorn, du Bietschhorn et du pointement de la Rosière, dont les analyses ont été données précédemment.

**Pegmatites**

Nous avons déjà mentionné que, sous certaines conditions, ces filons de granulite qui injectent les schistes encaissants peuvent donner naissance à des lentilles pegmatoïdes intercalées dans ces derniers et orientées toujours dans le sens de leur schistosité. Un bel exemple qu'on peut citer de cette formation pegmatoïde est celui des filons découverts par Favre dans la cheminée de Trient. « On peut reconnaître, » dit cet auteur, « la présence de cinq filons de granit traversant des gneiss à grain fin semblable à celui du Col de Balme. On pourrait les nommer bancs de granit, car ils sont concordants avec les feuillets des schistes cristallins, mais ils ont cependant des branches latérales qui coupent les feuillets de cette roche. » Ce granit en filon couche serait, d'après Favre, formé de mica blanc et d'un feldspath bleuâtre. Le filon le plus puissant aurait 5 à 6 mètres d'épaisseur.

Nous avons pu vérifier, sur les échantillons récoltés par Favre, que ce granit n'est qu'une pegmatite, assez commune dans les moraines droites du Glacier des Grands, dans la partie supérieure de la Vallée de Trient. Nous en avons trouvé également dans la moraine gauche du Glacier du Tour, puis en place dans les schistes de l'arête des Rognes où cette pegmatite devient tourmalinifère.

Macroscopiquement, ces pegmatites paraissent formées d'un feldspath gris bleuâtre, à veinules plus foncées, et de quelques grandes lamelles de muscovite. Le quartz n'y est en général pas visible à l'œil nu.

Sous le microscope, la roche se résoud en un agrégat de grandes plages d'orthose et surtout de microcline, accompagnées de quelques cristaux d'oligoclase, le tout enveloppé d'une masse abondante de quartz granulitique, identique à celui de la protogine. Le mica noir manque complètement à la roche. La muscovite y forme de grandes lamelles très biréfringentes à axes très écartés.

L'analyse qui suit montre que cette roche est, de toutes celles du massif, la plus riche en feldspaths potassiques.

*Analyse*

SiO <sub>2</sub>	=	66.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	21.15
FeO	=	traces
CaO	=	3.05
MgO	=	0.21
K <sub>2</sub> O	=	8.05
Na <sub>2</sub> O	=	1.43
Perte au feu	=	0.82

La genèse de ces pegmatites est aisée à comprendre. Elle résulte principalement des dissolvants et des minéralisateurs qui accompagnent la protogine, comme du reste l'ensemble des roches granitoïdes acides. Leur présence nous est indiquée par l'abondance des minéraux riches en fluor: tourmaline, topaze, etc., qu'on trouve généralement dans les pegmatites. Lorsque ces roches éruptives font intrusion dans les schistes, deux cas peuvent se présenter.

1. Il y a seulement pénétration des dissolvants sous pression dans la roche encaissante: dans ce cas il y a alors métamorphisme et l'on voit se développer certains minéraux nouveaux. C'est ainsi, par exemple, que dans le plateau central on est averti de la proximité d'un massif de granulite, par le simple fait que les schistes micacés et autres se chargent de mica blanc, sans cependant être traversés par des filons de la roche éruptive. C'est ainsi également que se manifeste souvent l'approche de roches éruptives, qui ne sont point venues jusqu'à la surface, mais restées dans les profondeurs.

2. Il y a pénétration en même temps de la roche éruptive et des minéralisateurs. La première cristallise alors rapidement et confusément en gros individus emboîtés, tandis que les minéralisateurs qui peuvent agir librement donnent naissance, là où la pression diminue, à toute une série de nouveaux minéraux accessoires.

C'est la raison pour laquelle, comme le font bien remarquer MM. Michel Lévy et de Lapparent, les granulites à leur contact avec les schistes sont quel-

quefois bordées par une salbande de pegmatite. Dans le cas particulier de la protogine, nous pouvons ajouter qu'au contact même, à l'Aiguille du Midi, on peut observer par-ci, par-là, un développement pegmatoïde.

Nous avons indiqué dans la première partie de ce travail que, dans la course que nous avons faite dans le Val Ferret italien, nous avons découvert dans les moraines quelques rares blocs d'une roche jaunâtre. Celle-ci, fort intéressante, s'est montrée sous le microscope être une fort belle **pegmatite graphique**. La roche est dans un état de fraîcheur remarquable.

Le mica noir et blanc y est fort rare, de même que la magnétite et le sphène. Les feldspaths comportent d'abord l'oligoclase en grands cristaux, à mâcles très belles, puis de l'orthose à filonnets d'albite. Le microcline paraît manquer. La roche semble montrer deux stades; le premier est représenté par de grands cristaux de feldspath, avec des grains de quartz bi-pyramidés, généralement corrodés; le second qui moule le premier n'est qu'un mélange de feldspath et de *quartz graphique*.

A notre connaissance, cette belle roche dont nous avons reproduit la coupe à la planche VII, figure VIII, est la première pegmatite graphique signalée dans le massif du Mont-Blanc. Seul le gisement en reste à découvrir. D'après ce que nous avons pu voir, cette pegmatite doit former des filons dans la protogine même; elle serait donc l'équivalent pegmatoïde des granulites filoniennes décrites précédemment.

### **Microgranulites du Val Ferret suisse**

Ces roches intéressantes se rencontrent du Mont Catogne à Champex, jusqu'au Col des Grépillons.

Alphonse Favre, qui les a vues, les considère comme des filons de pétrosilex, prenant parfois l'aspect d'un porphyre quartzifère. Gerlach<sup>1</sup> les cite également et décrit même une transition qui lui semble évidente entre le porphyre et la protogine. Plus récemment M. le professeur Græff<sup>2</sup>, de Fribourg en Brisgau, a repris la question, et fait une communication fort intéressante, sur les roches porphyriques du flanc sud-ouest du massif. D'après ses observations, ces roches porphyriques sont de véritables porphyres quartzifères, et le contact de ces derniers, soit avec la protogine, soit avec les schistes serait, contrairement à ce que dit Gerlach, toujours franc; dans certains cas il prend un facies qui rappelle singulièrement certains schistes micacés.

Nous n'avons pu malheureusement consacrer suffisamment de temps à l'étude de ces roches remarquables. Nous avons simplement constaté la présence de ces microgranulites dans les régions indiquées et les variations macroscopiques qu'elle présente dans ses différents facies.

<sup>1</sup> Gerlach dit en effet en parlant de la Combe d'Orny et en décrivant la paroi gauche de celle-ci: « Diese Felswand ist merkwürdig, sie zeigt den deutlichen Uebergang des Porphyres in Granit; der bisher felsitiche Porphyr verwandelt sich zunächst in ein feinkörniges Gemenge vor gräulich weissen Feldspath und kleinen wasserheller glasigen Quatzkörnern mit Spuren von schwarzen Glimmer und dunkeln Chloritkörnern; dann wird das Gestein mittelkörnig und ist von echten Granit nicht zu unterscheiden. »

<sup>2</sup> Græff. *Studien am Mont-Blanc Massif Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 1890.

Sous le microscope, les différents échantillons pris en place au Col des Grépillons et à la Combe d'Orny sont, abstraction faite du plus ou moins grand développement des cristaux de première consolidation, très uniformes.

Les *grands cristaux* sont : le mica noir, la magnétite, l'orthose, l'oligoclase et le quartz.

La pâte est microgranulitique.

Le mica noir est totalement épigénisé en chlorite et hématite. L'oligoclase et l'orthose fortement séricitisés ; les mâcles des plagioclases sont à peine visibles. Le quartz bipyramidé est très abondant ; c'est le seul élément bien visible à l'œil nu. Ces cristaux, souvent brisés, mais jamais froissés comme ceux de la protogine, contiennent quelquefois des inclusions de biotite non altérée. Les grands cristaux existent toujours ; ils sont quelquefois très nombreux.

La *pâte microgranulitique* est très compacte. Elle est formée d'un tissu serré de microgranulite, avec fines lamelles de muscovite et avec quelques rares grains de sphène. Cette masse pénètre souvent dans les fissures des grands cristaux de quartz, et s'y répartit à l'intérieur.

M. le professeur Græff pense que ce porphyre représente des poussées postérieures du magma granitique de la protogine solidifiée porphyriquement. Nous pensons plutôt que, conformément à ce qui s'observe dans d'autres cas, ces microgranulites sont plus récentes que la protogine, bien qu'il soit très difficile, comme nous le verrons, d'assigner un âge exact à cette roche.

### Syénite du massif du Mont-Blanc

Les syénites représentent la seule série des roches neutres qu'il soit possible d'observer dans le massif du Mont-Blanc. On en rencontre de nombreux blocs dans les moraines du glacier des Bossons et de Taconnaz ; elle existe en place au-dessus de la Pierre à l'Echelle, au glacier Rond, dans les rochers des Grands Mulets et dans la partie Sud du Val Ferret suisse. Tout d'abord, il faut remarquer que la grande majorité de ces roches sont de simples schistes amphiboliques injectés par des filons de granulite, c'est le motif pour lequel M. Michel Lévy a proposé avec raison le nom de protogine amphibolique pour ces roches. Toutefois, dans les cailloux morainiques du glacier des Bossons, nous avons trouvé des roches qui paraissent être de véritables syénites. Nous n'en connaissons pas le gisement, qui est probablement couvert par le glacier.

Nous commencerons à décrire ces dernières pour revenir ensuite au type beaucoup plus commun des protogines amphiboliques.

#### 1. Syénite ?

Les échantillons viennent de la moraine du glacier des Bossons.

Microscopiquement la roche est formée d'un agrégat granitoïde de feldspath blanc et de hornblende noire.

Au microscope la roche montre de superbes cristaux de sphène, mesurant jusqu'à 0,10 millimètres, maclés selon h<sup>1</sup> et terminés. On y reconnaît les faces 111, 001, 102. Ce sphène est abondant dans la roche.

Apatite tantôt en inclusions dans l'amphibole, tantôt libre. Quelques grains de zircon avec auréole, également inclus dans l'amphibole.

Hornblende en grands cristaux allongés à contour irrégulier. Allongement positif. Extinctions maximum à 18 degrés. Polychroïsme intense ng vert-olive, np brun-verdâtre très clair, nm vert. Biréfringence = 0,023. Mâcles selon h<sup>1</sup>, rares généralement, sans répétition. Mica noir très rare, complètement épigénisé en chlorite.

Les feldspaths sont presque exclusivement l'orthose et le microcline; l'oligoclase est très rare, avec lamelles hémitropes.

Le quartz, élément accidentel, doit être considéré comme secondaire.

L'Épidote montre quelques jolis prismes terminés.

Sur un autre échantillon semblable, nous avons trouvé une notable quantité de biotite fraîche accompagnant l'amphibole. Cette biotite est riche en inclusions.

### 2. Protogine amphibolique

Ce n'est qu'une injection de granulite dans les schistes amphiboliques. Favre dit à leur égard : « Les schistes cristallins situés au-dessus de la Pierre à l'Echelle renferment des bancs d'une roche qui paraît très voisine de la syénite. » Et plus loin, en parlant

des roches du flanc occidental de l'Aiguille du Midi : « Dans le voisinage des filons (granit à grain fin), les schistes deviennent moins schisteux, sont assez chargés en amphibole et se rapprochent des diorites ou des syénites. »

Dans les coupes que nous avons examinées, l'amphibole est riche en inclusions d'apatite et en paillettes de mica noir.

Cette amphibole, en cristaux allongés, s'éteint sur g<sup>1</sup> = 010 à 13 degrés seulement. Ces cristaux d'amphiboles sont alignés parallèlement comme dans les schistes.

Les feldspaths sont tellement kaolinisés que leur détermination est impossible.

La roche renferme beaucoup de quartz granulitique qui s'injecte entre les cristaux d'hornblende à la façon des schistes granulitisés. L'épidote se trouve en grains peu abondants.

Nous avons fait l'analyse de cette dernière variété. Elle est trop acide pour une syénite proprement dite. Cette analyse n'a pu être complétée.

SiO <sub>2</sub>	=	59.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	16.53
FeO	=	11.22
MnO	=	traces
CaO	=	6.92
MgO	}	= 4.37
K <sub>2</sub> O		
Na <sub>2</sub> O		
Perte au feu	}	

*Epidotite*

Cette roche curieuse se rencontre en bancs intercalés dans la protogine au Col des Grands Montets. On la trouve également dans la moraine du glacier des Pèlerins. Microscopiquement elle est compacte et de couleur jaune verdâtre.

Sous le microscope elle est formée de très petites paillettes de mica noir, de petits cristaux de feldspath, oligoclase, orthose (le microcline fait défaut) et de quelques grains de quartz. Tous ces éléments sont moulés par une multitude de grains d'épidote vert pâle qui quantitativement forment la majeure partie de la roche.

QUATRIÈME PARTIE

Résumé et conclusions

Les preuves que nous avons données, dans la première et la seconde partie de ce travail, de la nature éruptive de la protogine, nous paraissent suffisamment évidentes pour nous permettre de nous dispenser de revenir sur ce sujet.

Le microscope, l'analyse chimique et les observations sur le terrain sont unanimes à se prononcer à cet égard.

Nous avons déjà dit que l'acidité de la protogine oscille entre 66 et 76 % de silice. Or, en examinant les choses de plus près, on remarque bien vite que ces oscillations sont intimement liées aux différents facies de la roche. C'est ainsi qu'on peut distinguer deux types principaux de protogine. L'un est relativement basique, à grands cristaux de feldspath, pauvre en quartz granitoïde, tandis que le quartz granulitique peut y devenir abondant dans certaines variétés. Nous avons qualifié ce type du nom de protogine pegmatoïde, dans le sens de roche pauvre en mica originel (ce qui ne l'empêche pas de se charger de mica d'origine étrangère dans certains cas).

Ce minéral n'y forme du reste jamais des tables

hexagonales. Cette protogine devient souvent riche en englobements et empâte quelquefois d'énormes lentilles de schiste. Elle se rencontre principalement dans le cirque d'Argentière, forme la rive gauche de la Mer de Glace, ainsi que les massifs de Trient, Saleinaz, etc.

Au contraire, les aiguilles de Chamonix, ainsi que la région Sud-Est du massif, sont constituées par notre second type, que nous avons appelé protogine granitoïde. Celle-ci est la variété essentiellement acide, d'aspect granitique, de couleur claire. Le mica y est hexagonal, souvent en nids, c'est seulement dans le voisinage du contact avec les schistes que cette protogine s'adjoint du mica étranger. Le quartz granitoïde est toujours abondant, la deuxième venue granulitique est rare au contraire, et ne se retrouve en quantité notable que dans les variétés de contact.

Quand cette protogine renferme des englobements, ce n'est généralement que le type compact et pseudo-porphyrrique qu'on y rencontre.

Il résulte de la présence simultanée de ces deux types fort distincts dans le même massif que la deuxième venue granulitique est indépendante des phénomènes dynamiques, qui ont été évidemment les mêmes pour ces deux faciès ; et, puisque nous en sommes au quartz granulitique, nous entrerons dans des détails plus circonstanciés sur cette formation.

M. Michel Lévy<sup>1</sup> a défini cette seconde venue de la

<sup>1</sup> Michel Lévy. *Etudes des roches cristallines et éruptives du Mont-Blanc.*

manière suivante, il dit : « Une seconde venue de quartz plus finement grenu, accompagné d'un peu de chlorite, s'injecte dans les cassures et cimente également une brèche en couronnes étroites, qui entoure parfois les cristaux de grande taille de la roche. » Dans nos publications antérieures, M. Duparc et moi<sup>1</sup> avons insisté sur la présence de cette seconde venue en en confirmant la nature.

M. le prof. K. Schmidt, de Bâle, qui s'est occupé également de la protogine d'autres massifs alpins, ne se range pas à la manière de voir précédente. Il attribue en effet notre seconde venue à un écrasement dynamométamorphique des grands cristaux.

Nous sommes les premiers à reconnaître l'importance du dynamométamorphisme, et certes, le massif du Mont-Blanc se prête admirablement à une démonstration de ses effets ; mais nous ne pensons pas que cette formation du quartz granulitique puisse lui être attribuée.

Le véritable quartz d'écrasement, tel que nous le comprenons, existe plus ou moins développé dans la protogine. Il se retrouve également du reste dans tous les granits fortement pressés. Nous l'avons toujours vu sous forme de très petites esquilles anguleuses, qui, généralement, frangent les grands cristaux de quartz et se sont produites par la friction résultant de leur déplacement forcé dans la roche ; MM. Duparc et Ritter<sup>2</sup> en ont signalé un remarquable exemple dans un granit de Beaufort. En réalité, ce quartz

<sup>1</sup> Lieux cités.  
<sup>2</sup> Lieux cités.

d'écrasement reste toujours *distinct de la venue granulitique* avec laquelle il ne saurait être confondu.

Celui-ci (planche VII, figure II), nous le répétons encore, est franchement polyédrique, souvent hexagonal, d'autres fois à formes arrondies. Le contour en est net, les extinctions généralement franches. Dans certains cas, entre ces grains, on voit de très petites esquilles qui sont dues au froissement. Ce quartz est identique à celui des granulites, sur lequel tout le monde est d'accord ; pourquoi donc l'attribuer dans un cas à la cristallisation, dans l'autre à un dynamométamorphisme, lorsque les mêmes conditions ont existé dans les deux cas ? Comment expliquer aussi sa grande abondance dans certaines pegmatites où les grands cristaux accusent de minimes phénomènes de froissement, tandis que, dans les variétés graphiques de la même roche, qui se trouvent dans la protogine, et qui ont supporté toutes les poussées subies par celle-ci, il fait totalement défaut ? Et le même raisonnement s'appliquerait tout naturellement à la protogine à béryl, qui n'a que du quartz granitoïde. Ne voyons-nous pas, en outre, ce quartz granulitique se développer admirablement dans les contacts de la protogine, comme du reste dans ses apophyses, au point de se substituer complètement au quartz granitoïde. Ce phénomène a du reste été mentionné déjà pour d'autres roches, notamment pour les vrais granits.

De plus, il nous paraît difficile d'attribuer à l'écrasement dynamique les injections microscopiques de

quartz si franchement granulitique que la protogine lance dans les schistes qu'elle touche.

Enfin, au Mont-Blanc comme ailleurs, la protogine est escortée par de vrais granits. On les voit percer la chaîne des Aiguilles Rouges à Valorsine et, plus au Sud-Ouest, à Beaufort, Hauteluze et Cevins. Comme la protogine, ce granit a subi d'énergiques compressions, et les preuves qu'on en peut donner sont nombreuses ; cependant, grâce à cette dernière venue, sous le microscope, la distinction des deux roches reste toujours aisée.

Il nous paraît donc que les roches granitoïdes sont, sous certaines conditions, susceptibles d'accuser deux temps de consolidation les liant aux roches de filons, qui n'en sont souvent qu'un facies particulier.

Nous pensons nous être suffisamment expliqué sur ce sujet pour pouvoir passer maintenant à une question de première importance, à savoir l'intrusion de la protogine et le développement des différentes phases qui se sont succédées dans l'édification du Mont-Blanc.

Il est évident que, dans l'état actuel de la science, cette question comporte de nombreuses difficultés et ne peut être traitée que d'une manière théorique. C'est ce que nous ferons en nous appuyant sur nos propres recherches, ainsi que sur celles de nos prédécesseurs.

Nous rappellerons tout d'abord les caractères principaux qui nous serviront dans cet exposé ; d'une part, l'existence des facies dans la protogine, la pré-

sence de lentilles schisteuses isolées dans le massif et la liaison intime qui existe entre certains faciès et les englobements étrangers ; de l'autre, la diversité des contacts, tantôt francs et filoniens, tantôt graduels, par l'intermédiaire des protoginignèss ; enfin, l'injection filonienne si caractéristique dans les schistes.

Nous pensons qu'il faut établir, en effet, plusieurs phases dans l'histoire géologique du Mont-Blanc.

Sa première phase représente pour nous celle d'un plissement primitif des schistes micacés et amphiboliques qui forment le manteau actuel de la protogine. Ce pli, anticlinal dans son ensemble, présentait probablement une série de froissements secondaires en plis très aigus à faible rayon de courbure. Cette supposition d'un premier ridement des schistes aux époques paléozoïques n'est point gratuite. Actuellement on tend de plus en plus à admettre l'ancienneté considérable des premiers mouvements qui ont façonné le relief de nos grandes chaînes de montagne. Ces mouvements sont du reste constatés en de nombreux endroits. Dans le massif qui nous occupe, ils sont accusés par la discordance évidente qu'on observe entre le carbonifère et les schistes cristallins sur plusieurs points.

Sur le versant Sud du Mont-Blanc lui-même, ces bouleversements considérables que montrent les couches que Favre attribuait au liasique et Gerlach au carbonique semblent bien indiquer une discordance entre ces couches et celles des schistes micacés qui revêtent la protogine. C'est du reste ce que M. Zacca-

gna a admis et ce qu'il représente dans son profil général.

Sous l'effet des pressions croissantes et continues qui se succédaient, la protogine pâteuse, essentiellement feldspatique, qui se trouvait au-dessous des schistes, pénétrait par les points faibles, s'injectait, en certains endroits, feuillet par feuillet dans ces derniers, en isolait des lentilles entières qu'elle modifiait plus ou moins, tandis que sur d'autres points elle émettait des apophyses qui se ramifiaient dans les schistes et les transformaient en schistes granulitisés d'après le procédé que nous avons vu précédemment. En certains endroits également, les schistes étaient complètement pénétrés par la protogine qui les disloquait, les résolvait et en assimilait les éléments. Toutefois celle-ci se modifiait également à leur contact en se chargeant de fragments de toutes dimensions qui ne sont autre chose que nos englobements actuels. Dans cette masse s'opérait un rebrassement constant pendant lequel de nouvelles venues de protogine venaient s'ajouter aux premières.

C'est ainsi que se forma notre type de protogine dit de rebrassement, dans lequel on constate une quantité d'englobements partiellement ou complètement assimilés, et ces longues trainées de mica orientées dans tous les sens, comme les filaments que l'on produit quand on remue un liquide visqueux, ce qui indique bien la nature du mouvement qui s'effectuait dans cette masse. Il n'est pas impossible que la variété granitoïde soit légèrement postérieure et se soit

frayé passage dans la masse encore incomplètement solide sur deux directions parallèles. Il est regrettable que la difficulté d'accès des lieux rende l'étude du contact entre les deux variétés de protogine difficile.

En résumé, c'est donc à cette première phase que nous attribuons la formation de lentilles de schiste dans la protogine ; l'injection de celle-ci, feuillet par feuillet, dans les schistes et la formation de protoginigneiss ; la pénétration filonienne dans les dits schistes et leur granulitisation et injection lenticulaire, et enfin la formation de notre type de rebrassement.

Une seconde phase nous paraît indiquée par l'apparition des roches filoniennes qui traversent la protogine et les schistes et recourent les apophyses que celle-ci émet dans ces derniers. Ces roches filoniennes nous semblent être l'expression de l'acidité maximum de la protogine ; en d'autres termes, le type filonien acide de la roche de profondeur.

Ici se pose tout naturellement une question importante : c'est celle de l'âge de la protogine.

M. Michel Lévy l'a résolue autant que l'état de nos connaissances permet de le faire. D'après lui, il est incontestable que la protogine est postérieure aux schistes, qu'il attribue au précambrien. D'autre part, on la retrouve dans le conglomérat houiller de Ajoux, ce qui prouve sa dénudation à l'époque du carbonique supérieur ; mais, quant à préciser exactement son âge, il ne peut en être question, l'âge relatif de la zone des schistes micacés étant hypothétique.

Quant aux granulites, elles sont évidemment plus jeunes que la protogine qu'elles traversent ; comme

elles injectent également les schistes, il y a donc, à notre avis, deux injections filoniennes non contemporaines dans ces derniers.

La troisième phase représente celle de la surélévation du massif, qui lui valut son aspect actuel. Elle est intimement liée au dernier et énergique plissement des Alpes, sans toutefois qu'il faille négliger les mouvements orogéniques qui se sont succédé depuis le carbonique.

La protogine qui, depuis les époques paléozoïques, formait une masse solide, supporta alors, au Nord comme au Sud, les poussées latérales qui contribuèrent à donner aux Alpes leur relief actuel. Sous l'effet de ces poussées, elle fut sollicitée à s'écouler de bas en haut, écoulement qui lui donna sa forme d'éventail et sa disposition en bancs si caractéristiques. Cette structure en éventail est du reste un fait d'expérience. M. Daubrée<sup>1</sup> l'a reproduite artificiellement avec une exactitude parfaite en soumettant à la compression des masses plus ou moins plastiques de plomb, d'argile, etc.

Nous partageons donc complètement, à cet égard, l'opinion de M. Michel Lévy et, avec lui, nous ne pensons pas que le massif du Mont-Blanc doive être considéré comme un pli anticlinal ou synclinal, mais bien au contraire, comme il le dit, par un *culot* éruptif, plus ou moins modifié par les phénomènes dynamométamorphiques.

On peut se demander ici si le mouvement d'exhaussement se continue encore actuellement. Nous

<sup>1</sup> Daubrée. *Géologie expérimentale*.

ne le pensons pas ; il semblerait au contraire que le massif du Mont-Blanc se soit depuis lors légèrement affaissé. En effet, il n'est pas rare d'observer dans le massif de nombreuses surfaces de glissements et des petites failles locales, qui paraissent dues à un affaissement. La disposition si particulière des schistes s'incurvant fortement et brusquement vers le haut, sous la protogine du versant Nord, semble indiquer un affaissement au moins sur ce versant. Peut-être même les grandes cassures occupées actuellement par les glaciers en sont-elles aussi les conséquences.

Voici, brièvement résumée, notre manière de voir sur l'origine du massif du Mont-Blanc. Nous n'avons pas la prétention d'avoir ici épuisé le sujet. Une étude très détaillée de ce massif, principalement sur son versant Sud-Est, s'impose en effet, et les quelques aperçus que nous venons de donner ne sont que des vues générales qui demanderaient à être complétées.

La multiplicité des phénomènes est telle, en effet, que ce n'est point toujours l'explication la plus simple qui doit être choisie, et les superpositions qui résultent des phénomènes concomitants d'injection et de dynamométamorphisme sont souvent d'une extraordinaire complication.

Nous serons toutefois heureux si, par ce modeste travail, nous avons pu contribuer à faire avancer la question et à montrer surtout l'importance qu'il faut attribuer aux phénomènes d'injection des roches granitoïdes dans les schistes pour l'explication des faits observés.

### BIBLIOGRAPHIE

- f H.-B. DE SAUSSURE. Voyages dans les Alpes, Neuchâtel 1779-1796.
- f BERTHOUT. Description méthodique d'une suite de fossiles du Mont-Blanc et montagnes avoisinantes, faite par le citoyen Berthoud, sous les yeux de Werner, professeur de minéralogie à Freyberg. *Journal des Mines*, Germinal, an 3, t. III. 7. X.
- f DOLOMIEU. Rapport fait à l'Institut national sur ses voyages de l'an VI. *Journal des Mines*, t. VII. 1798.
- f JURINE. Lettre à M. Gillet-Laumont. *Journal des Mines*, XIX, p. 367, 1806.
- f C. GIMBERNAT. Planos geognosticos que demestruam la estructura de los Alpes la Siuza. 1806.
- f BROCHANT DE VILLERS. Considérations sur la place que doivent occuper les roches granitoïdes du Mont-Blanc et d'autres cimes centrales des Alpes, dans l'ordre d'antériorité des terrains primitifs. *Annales des Mines*, t. IV, 1819.
- f NECKER. Mémoire sur la Vallée de Valorsine. *Mem. Soc. phys. et hist. nat. de Genève*, IV, 209, 1828.
- f DE LUC. Mémoire sur les blocs de granites épars dans les vallées qui entourent la chaîne du Mont-Blanc, et en particulier dans la vallée de Chamonix. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1<sup>re</sup> série, t. X, 1839.
- f J. FORBES. Travels through the Alps of Savoy and other parts of the Pennin chain et Topog. Sketch, III, 1843.
- f DELESSE. Sur la protogine des Alpes. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2<sup>me</sup> série, t. VI, p. 230, 1844.
- f B. STUDER. Geologie der Schweiz, 1851.
- f Ad. SCHLAGINTWEIT. Über den geologischen Bau der Alpen. *Société scient. de Berlin*, 1852.
- f D. SHARPE. On the structure of Mont-Blanc and its environ. *Quart Journ. of the geol. Soc. of London*, 1854, XI.
- f ROSCOE et SCHÖNFELD. Der Protogin vom Mont-Blanc. *Ann. der Chemie und Pharmacie*, XCI, 1854.

- J. FORBES. Sur les relations géologiques des roches secondaires et des roches primaires de la chaîne du Mont-Blanc. *Arch. des sciences phys. et nat.*, 1856, XXXI.
- G. DE MORTILLET. Géologie et minéralogie de la Savoie.
- W. HUBER. Le massif du Mont-Blanc. *Bulletin de la Soc. géol. de France*, 5<sup>me</sup> série, t. XXII, 1866.
- A. FAVRE. Recherches géologiques dans les parties de la Savoie du Piémont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc, 1867, II et III.
- EBRAY. Assimilation de la protogine des Alpes au porphyre granitoïde du Beaujolais. *Bul. de la Soc. géol. de France*, 2<sup>me</sup> série, XXVI, p. 944, 1869.
- B. GASTALDI. Studii geologici sulle Alpi occidentali. *Mem. Com. geolog. d'Italia*, t. I, 1871.
- H. GERLACH. Das südwestliche Wallis. *Matér. de la carte géolog. suisse*, 1871.
- B. GASTALDI. Studii geologici sulle Alpi occidentali. *Mem. per serv. alla descriz. di carta geol. d'Italia*, II, 1874.
- C. LORY. Sur la structure de la Vallée de Chamonix. *Bulletin de la Soc. géol. de France*, 3<sup>me</sup> série, t. III, p. 783, 1875.
- G. SPEZIA. Sul berillo del protogine del Monte-Bianco. *Atti Acad. sc. Torino*, XI, 1875.
- VIOLLET-LE-DUC. Le massif du Mont-Blanc, avec carte, 1876.
- C. LORY. Profils géologiques de quelques massifs primitifs des Alpes. *Compt. rend. de l'Acad. des sciences*, LXXXVI, 1877.
- E. POZZI. Sopra alcune varietà di protogino del Monte-Bianco. *Atti Acad. sc. Torino*, 1879.
- A. BRUN. Mineralogische Notizen. *Zeitschrift für Kristallographie*, VII, 1882.
- DESCLOISEAUX. Cristaux de béryl de la Mer de Glace. *Bull. de la Soc. minér. de France*, t. IV, p. 94, 1881, et t. V, page 142, 1882.
- D. ZACCAGNA. Nota sulla geologia delle Alpi occidentali. *Bollettino del R. Comitato geologico Italia*, t. VIII, 1887.
- C. LORY. Etude sur la constitution et la structure des massifs cristallins des Alpes occidentales. *Mem. du Congrès géologique intern. à Londres*, 1889.
- Y. REVIL. La géologie des Alpes occidentales, d'après un mémoire de M. Zaccagna. *Bull. de la Soc. d'hist. nat. de Savoie*, II, 1889, p. 158.
- GRAEFF. Studien am Mont-Blanemassiv. *Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellschaft*, 1890, et roches porphyriques du Mont-Blanc, 73<sup>me</sup> session de la Soc. helv. des sc. nat., à Davos, 1890.

- Michel LÉVY. Etude sur les roches cristallines et éruptives des environs du Mont-Blanc. *Bull. du serv. de la carte géol. de France*, 1890.
- C. DIENER. Der Gebirgsbau der Westalpen, Vienne, 1891.
- L. DUPARC et L. MRAZEC. Recherches sur les roches étrangères enfermées dans la protogine erratique du Mont-Blanc. *Archives des sciences phys. et nat.*, XXV, 1891.
- A.-Michel LÉVY. Note sur la prolongation vers le sud de la chaîne des Aiguilles Rouges, montagnes de Pormenaz et du Prarion. *Bulletin des serv. de la carte géolog. de France*, n° 27, 1892.
- A. BRUN. Microcline de la protogine du Mont-Blanc. *Archives des sciences phys. et nat.*, XXVI, 1892.
- L. DUPARC et L. MRAZEC. Recherches sur la protogine du Mont-Blanc et sur quelques granulites filoniennes qui la traversent. *Arch. des sciences phys. et nat.*, XXVII, 1892.
- J. REVIL. Histoire de la géologie des Alpes de Savoie, 1779-1831. Discours de réception à l'Acad. de Savoie, 31 mars 1892.

NOTA

Pendant l'impression de ce travail, nous avons eu connaissance d'une note de M. le Dr U. Grubenmann, intitulée : *Über Gesteine des granitischen Kerns im östlichen Teil des Gotthardmassivs*<sup>1</sup>. Nous n'entrerons point dans une critique détaillée de ce travail ; nous dirons seulement que les observations de cet auteur sont identiques à celles que nous avons faites dans le massif du Mont-Blanc, mais que sa manière d'interpréter les faits diffère totalement de la nôtre. Pour M. Grubenmann, protogine, protoginegneiss et schistes ne sont qu'une même roche granitoïde à l'origine et plus ou moins dynamométamorphisée, les englobements n'en sont pas, mais au contraire une simple ségrégation basique ; et quant aux granulites des contacts, comme aussi celles qui traversent la protogine, ce ne sont que : *Euritgänge..... nicht durch aktives Hervordringen in ihre heutige, zum Teil sekundäre, Lage gelangt.*

M. Grubenmann répondant à nos deux notes précédentes, ne saisit point ce que M. Duparc et moi avons appelé quartz granulitique dans la protogine ; nos explications comme nos dessins lui paraissent incompréhensibles, et pour lui, c'est là simplement du quartz d'écrasement ou d'origine secondaire.

Peut-être nous sommes nous mal exprimés, nous espérons avoir été plus clairs cette fois. Il est regrettable

<sup>1</sup> Tirage à part du fascicule X, extrait de « *Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft*, » 1892.

que M. le Dr Grubenmann n'ait pu se procurer les publications de M. Michel Lévy sur le sujet ; elles auraient sans doute contribué à le convaincre, si toutefois la chose est possible.

Nous ne reviendrons pas sur cette question qui nous paraît suffisamment discutée. Nous ajouterons seulement que dans le massif du Mont-Blanc, nous ne connaissons aucun fait qui permette d'attribuer les faux gneiss et ce que nous entendons par schistes injectées à de la protogine dynamométamorphique.

L'injection au contraire joue dans le massif du Mont-Blanc un rôle considérable et en la suivant sur le terrain comme aussi pas à pas pour ainsi dire sous le microscope, il ne nous paraît pas possible d'en méconnaître les effets ; le travail que nous préparons actuellement sur les schistes du Mont-Blanc sera, nous l'espérons, démonstratif à cet égard.

Nous ne connaissons que très imparfaitement, il est vrai, le massif du Gothard pour l'avoir parcouru occasionnellement il y a quelques années ; mais nous pensons qu'il ne doit pas être fort différent de celui du Mont-Blanc. Comme celui-ci, il appartient à la première zone alpine, dont les caractères sont assez uniformes. Il est donc probable que par analogie les phénomènes y sont les mêmes et les descriptions que donne M. Grubenmann corroborent cette supposition et nous fortifient dans la manière de voir que nous professons en confirmant la généralité.

COUPE du COL du GÉANT à ENTRÈVES

LÉGENDE

N.W

Col du Géant  
3362

Cabane

Mont de Jetoula

2803

2634

Mont Fréty  
2179

Pavillon  
2165

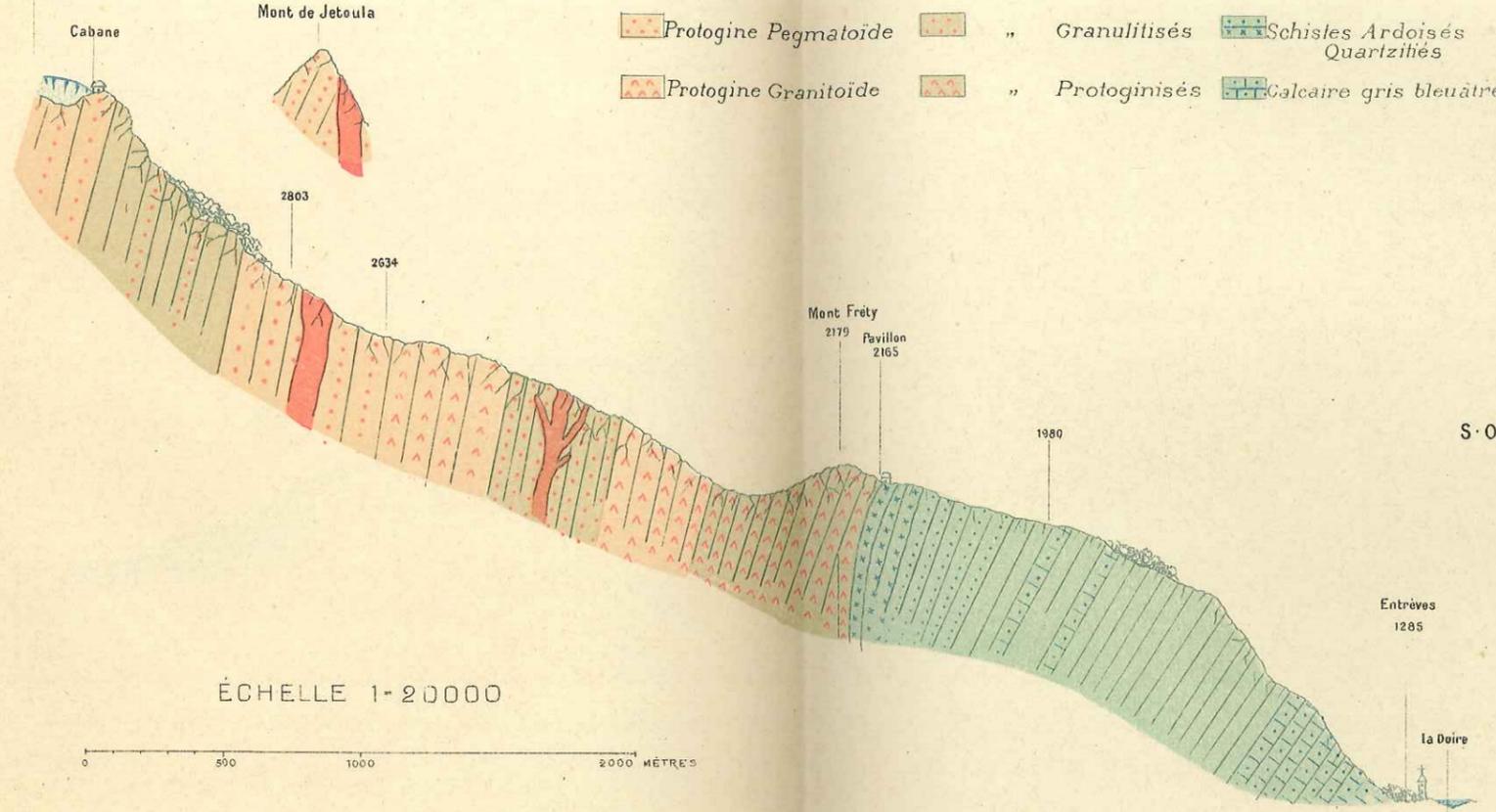
1980

S.O

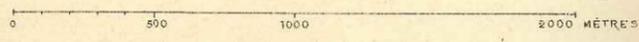
Entrèves  
1285

La Doire

- Granulite
- Schistes Micacés
- Schistes Ardoisés
- Protogine Pegmatoïde
- " Granulitisés
- Schistes Ardoisés Quartzitiés
- Protogine Granitoïde
- " Protoginisés
- Calcaire gris bleuâtre



ÉCHELLE 1-20000



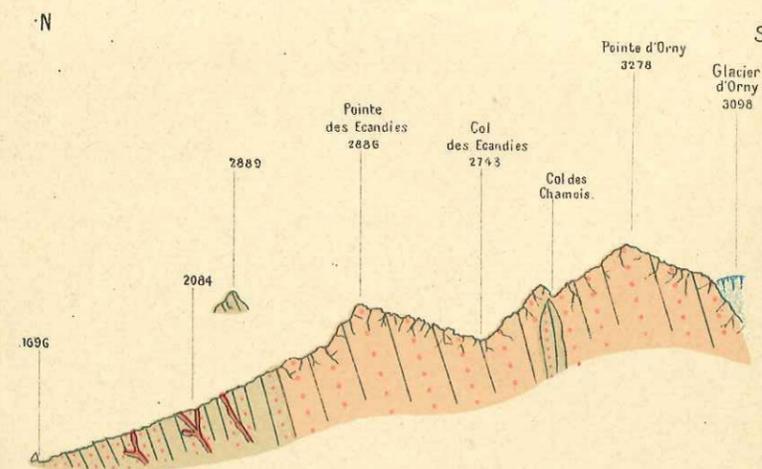
L. MRAZEC

Lith. A. Noverraz Fils (Genève)

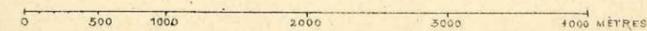
COUPE  
de la POINTE d'ORNY à la VALLÉE de TRIENT

LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
|  Granulite            |  Schistes Micacés |
|  Protogine Pegmatoïde |  Granulitisés     |



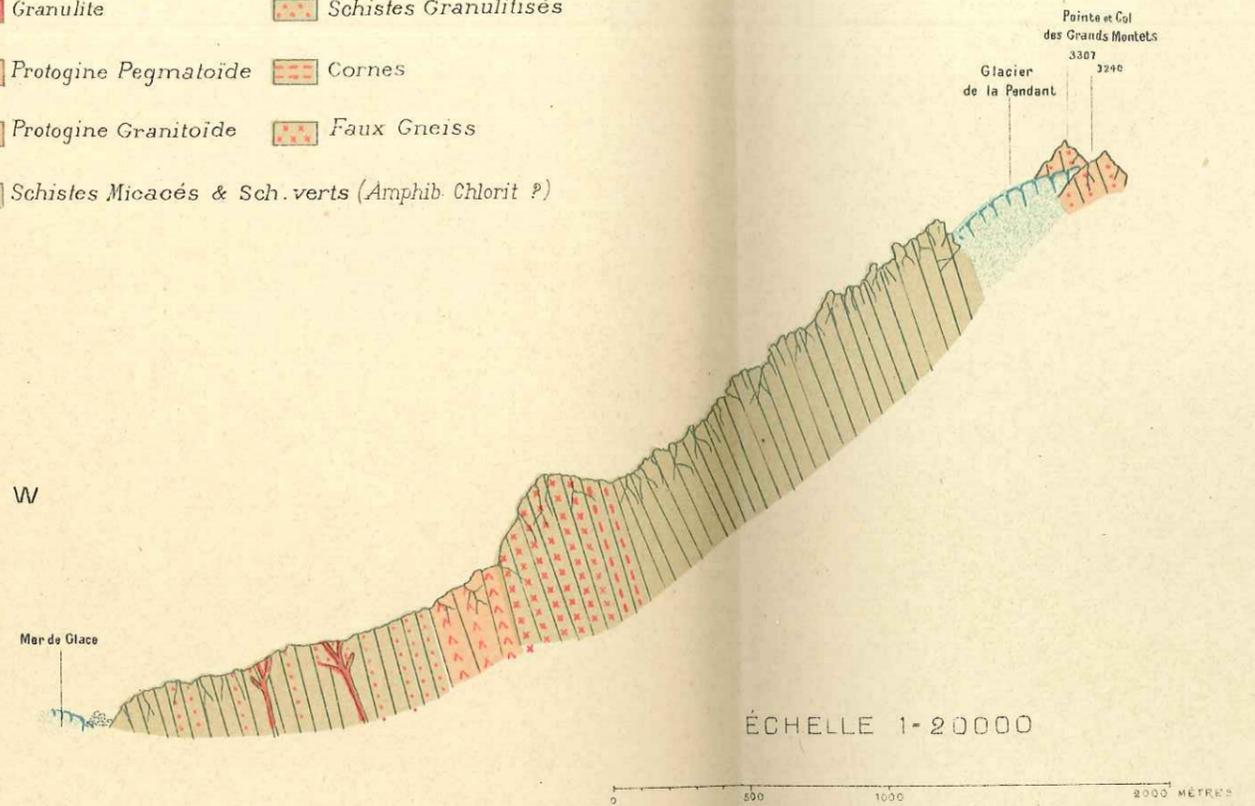
ÉCHELLE 1 - 50000



COUPE des GRANDS MONTETS à la MER de GLACE

LÉGENDE

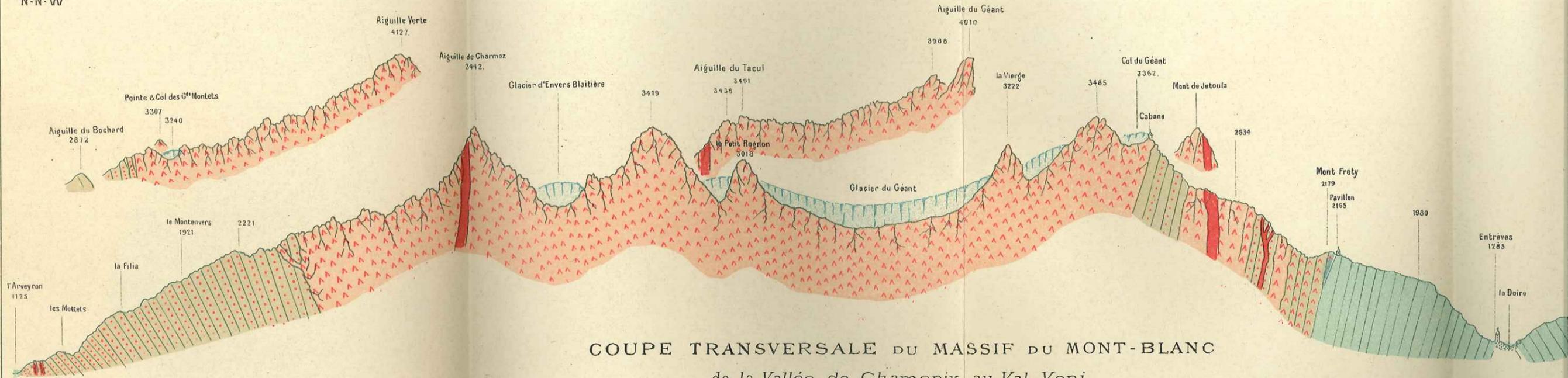
- |   |   |
|---|---|
|  Granulite   |  Schistes Granulitisés |
|  Protogine Pegmatoïde                              |  Cornes                |
|  Protogine Granitoïde                              |  Faux Gneiss           |
|  Schistes Micacés & Sch. verts (Amphib. Chlorit ?) |   |



LÉGENDE

- Granulite
- Protogine
- Schistes Micacés
- Schistes Granulitisés
- Schistes Protoginisés
- Dolomie & Carogneule

N-N-W



COUPE TRANSVERSALE DU MASSIF DU MONT-BLANC  
de la Vallée de Chamounix au Val Veni.

ÉCHELLE 1-40000

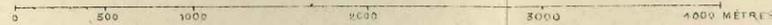
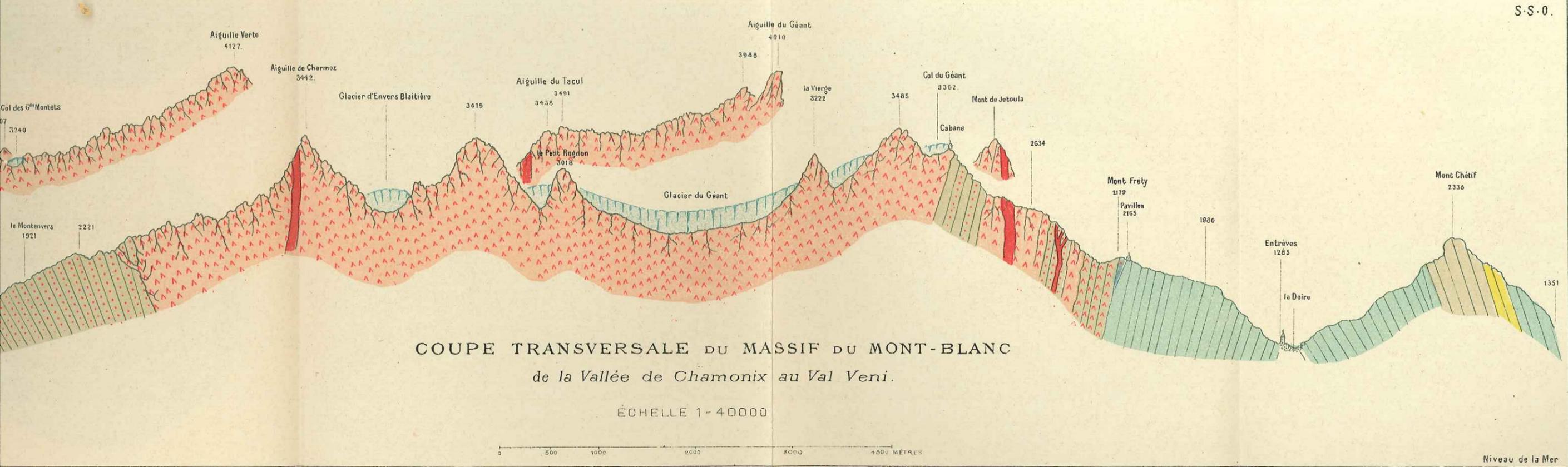


Planche VI

LÉGENDE

- Granulite
- ▲ Protogine
- Schistes Micacés
- Schistes Granulitisés
- Schistes Protoginisés
- Dolomie & Cargneule
- Ardoisés & Calcaire



COUPE TRANSVERSALE DU MASSIF DU MONT-BLANC  
de la Vallée de Chamonix au Val Veni.

ÉCHELLE 1-40000

0 500 1000 2000 3000 4000 METRES

Niveau de la Mer

S.S.O.

EXPLICATIONS DES PLANCHES

- Fig. 1. — Protogine granitoïde du Tour noir.  
 Fig. 2. — Protogine riche en quartz granulitique de l'Aiguille du Dru.  
 Fig. 3. — Protogine à allanite. Massif des Courtes.  
 Fig. 4. — Protogine à Beryl de l'Aiguille du Charmoz.  
 Fig. 5. — Injection granulitique au contact de la protogine et des schistes.  
 Fig. 6. — Contact de la roche étrangère et de la protogine.  
 Fig. 7. — Granulite de l'Aiguille du Tacul.  
 Fig. 8. — Pegmatite graphique du Val Ferret italien.  
 Fig. 9. — Microgranulite du Col des Grépillons.  
 Fig. 10. — Syénite? des Bossons.

- |                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Quartz granitoïde.   | 8. Epidote.                       |
| 2. Quartz granulitique. | 9. Schiste micacé.                |
| 3. Orthose.             | 10. Hornblende (incl. de zircon). |
| 4. Microcline.          | 11. Biotite.                      |
| 5. Oligoclase.          | 12. Sphène.                       |
| 6. Beryl.               | 13. Microgranulite.               |
| 7. Allanite.            | 14. Zone micacée.                 |

Fig. I

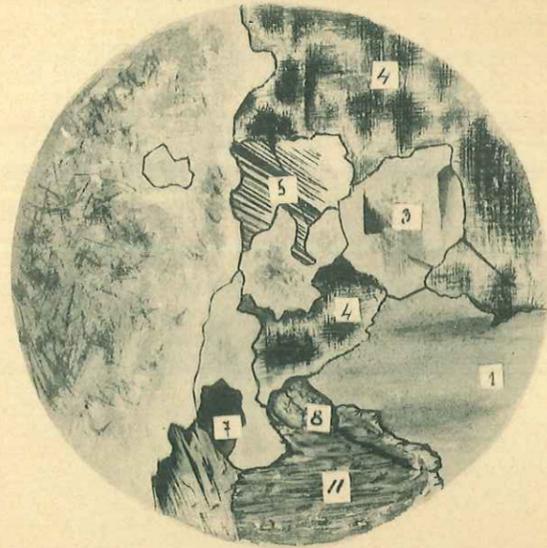


Fig. II

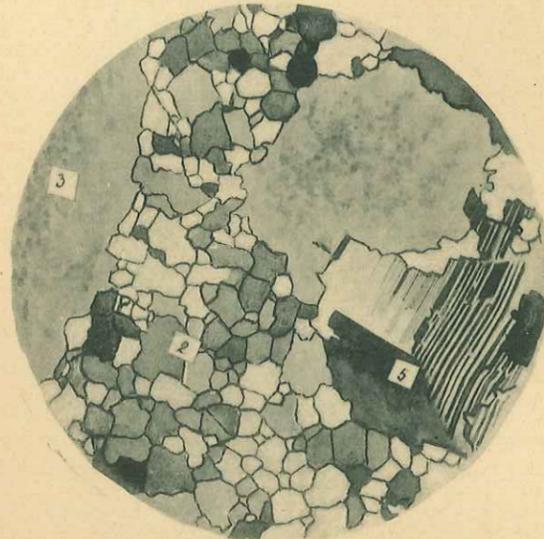


Fig. III

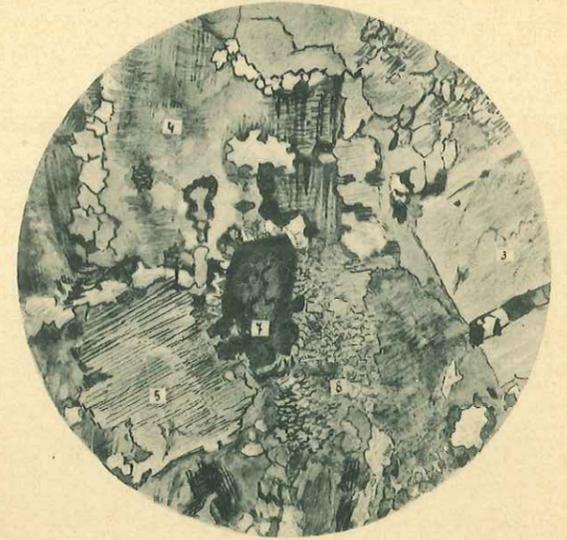


Fig. IV



Planche VIII

Fig. V

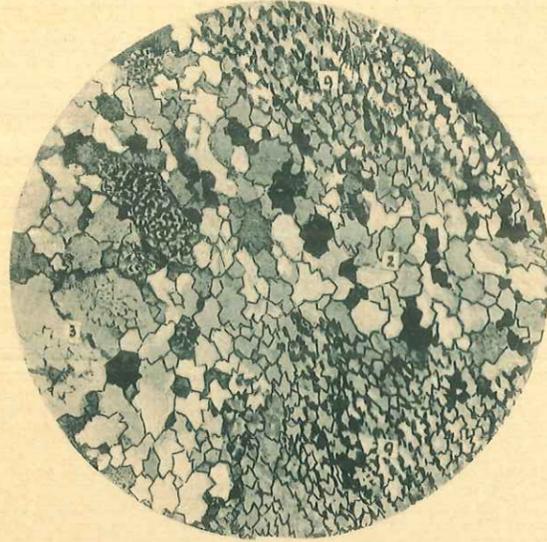


Fig. VI



Fig. VII

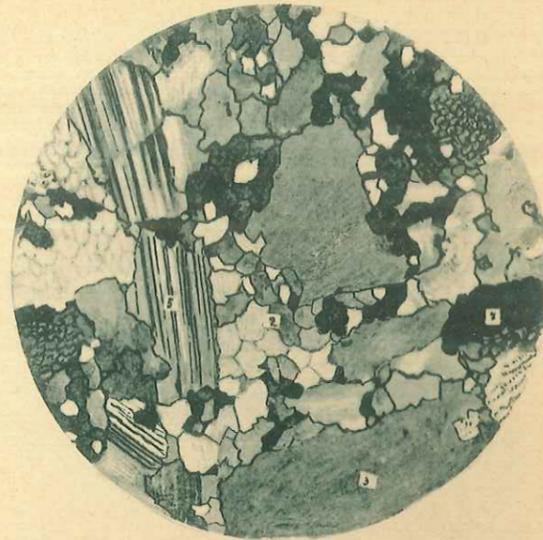


Fig. VIII



Fig. IX

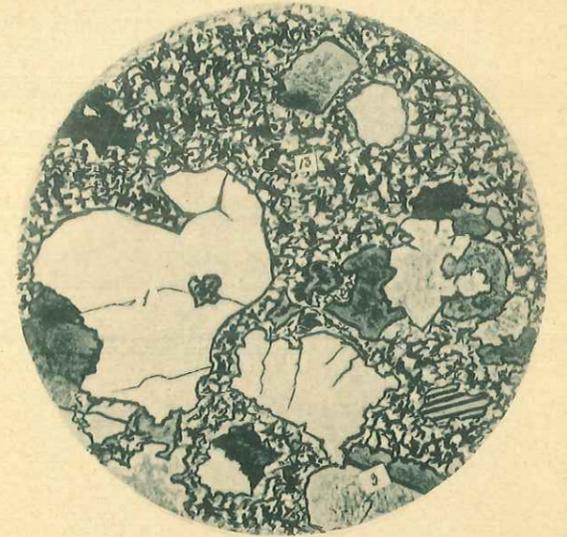


Fig. X

