Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 14 (1934)

Heft: 1

Artikel: Sur la tectonique de la "protogine" du massif du Mont-Blanc

Autor: Liechti, Henri

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-14639

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Sur la tectonique de la „protogine“ du massif du Mont-Blanc

par *Henri Liechti,* à Berne

RÉSUMÉ

L'étude du granite de la région du Trient, faite suivant les méthodes combinées de CLOOS et SANDER, a révélé l'existence de 6 phases tectoniques différentes, dont deux de très grande importance. L'une d'elles, pendant la période d'activité magmatique, a donné naissance à un grand nombre de mylonites et précédé l'intrusion de filons d'aplite. La période orogénique alpine a provoqué la formation de zones mylonitiques orientées approximativement S—N et E—W. La direction primitive de mouvement est N—63°—W et plonge de 15° vers le SE.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. Introduction	176
2. Statistique des joints	177
3. Analyse microtectonique	184
4. Résultats de l'analyse et conclusions	190
5. Relations entre la tectonique et la morphologie	193
6. Liste bibliographique	195

1. INTRODUCTION

L'application des méthodes combinées de H. CLOOS et B. SANDER à la partie médiane du massif de l'Aar a fourni des résultats très intéressants, en particulier au point de vue de la tectonique alpine (voir Bull. suisse de Min. et Pétr., vol. XII et XIII). Vu le déplacement SW—NE subi par le granite dans cette région, il était tout indiqué d'étudier de près les effets du mouvement alpin plus à l'W. Le rôle de la „dépression du Rawyl“ dans la déformation des massifs de l'Aar et du Mont-Blanc, en particulier, restait à déterminer. A cet effet, les recherches ont été conduites parallèlement des deux côtés de la dépression. L'étude de la partie occidentale du massif de l'Aar (région du Bietschhorn) a été entreprise par W. MINDER, pendant que je concentrais mon attention sur la partie suisse du massif du Mont-Blanc (région de Saleinaz et Val d'Arpette).

L'étude tectonique du granite du Mont-Blanc est basée sur les travaux importants de L. DUPARC et L. MRAZEC (L. b. 5) ainsi que sur ceux de P. CORBIN et N. OULIANOFF (L. b. 1 à 4 et 8 à 10). Il faut citer en particulier leur carte au 1 : 20 000, qui n'existe malheureusement que pour la partie française du massif.

Notre travail a été grandement facilité par l'appui financier de la „Stiftung zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung an der bernischen Hochschule". Je tiens à exprimer ici mes remerciements sincères au Conseil de gestion de cette Fondation.

2. STATISTIQUE DES JOINTS

Les mesures de joints ont été faites dans deux régions bien distinctes:

1° dans les environs immédiats de la cabane de Saleinaz;

2° dans la partie moyenne du vallon d'Arpette.

Il importe de remarquer que les mesures se rapportent à deux niveaux tectoniques différents. La première zone a été choisie, aussi bien que possible, à l'intérieur du massif et la seconde, tout près de la surface du dôme granitique primitif. On doit donc s'attendre, dans le premier cas, à voir les phases tectoniques importantes seules enregistrées. Dans le second cas, même les mouvements de faible amplitude ont pu laisser des traces. En plus, la dispersion est certainement plus grande dans le second cas que dans le premier.

Les 528 joints mesurés dans les environs de la cabane de Saleinaz, réunis en secteurs de 5 degrés, se répartissent comme suit[1]):

Directions:	0—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35
N. de joints:	9	8	1	3	7	14	27
36—40	41—45	46—50	51—55	56—60	61—65	66—70	71—75
27	20	25	22	18	13	10	13
76—80	81—85	86—90	91—95	96—100	101—105	106—110	111—115
15	22	28	23	16	13	17	5
116—120	121—125	126—130	131—135	136—140	141—145	146—150	151—155
11	5	18	10	12	10	10	6
156—160	161—165	166—170	171—175	176—180			
12	18	18	22	20			

(directions non corrigées).

Portés dans un système double de coordonnées polaires, ils fournissent la rose de la fig. 1.

[1]) Des explications détaillées sur les méthodes de mesure ont été données dans des travaux antérieurs (nos 6 et 7 de la liste bibliographique).

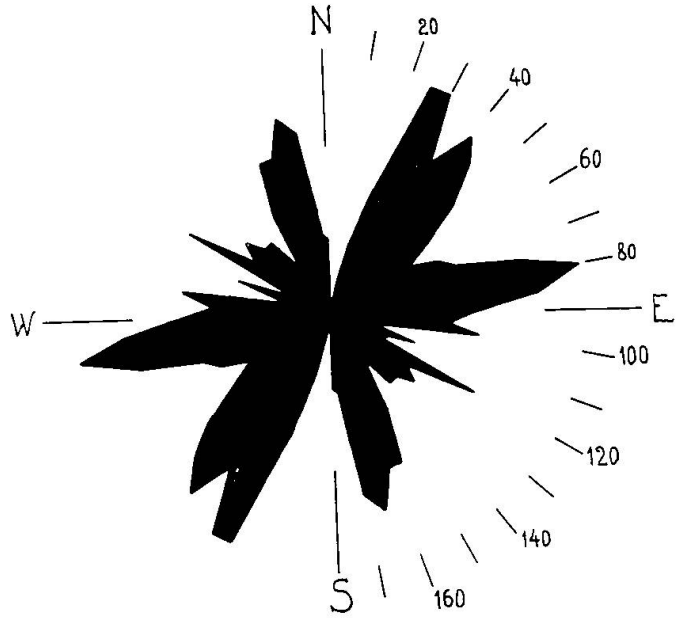

Fig. 1. Rose des joints du granite (trace horizontale) dans la région de Saleinaz.

Dans le vallon d'Arpette, les mesures ont porté sur 626 joints, dont voici la répartition:

Directions:	0—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35
N. de joints:	26	21	24	15	17	17	10
36—40	41—45	46—50	51—55	56—60	61—65	66—70	71—75
22	23	12	22	25	19	20	26
76—80	81—85	86—90	91—95	96—100	101—105	106—110	111—115
32	25	15	22	26	18	11	23
116—120	121—125	126—130	131—135	136—140	141—145	146—150	151—155
13	8	7	7	12	17	12	17
156—160	161—165	166—170	171—175	176—180			
9	10	10	18	25	(directions non corrigées).		

Leur représentation graphique donne la rose de la fig. 2.

En plus des joints, j'ai pu mesurer 13 filons d'aplite, une trentaine de lentilles basiques et environ 15 zones mylonitiques.

Les lentilles basiques, de forme variable, ont une orientation très constante. Leur direction peut varier entre 5 et 15; elle est en moyenne N—10°—E (dans la région Aiguilles dorées — Pointe des Plines). L'orientation est la même que celle des gros cristaux d'orthose de la variété porphyrique du granite. Cette direction privilégiée des enclaves et zones d'enclaves a aussi été constatée par P. Corbin et N. Oulianoff (L. b. 1). On peut donc conclure que cette orientation est la même dans tout le massif: c'est celle des axes

de synclinaux formés par le toit du massif lors de la mise en place du granite.

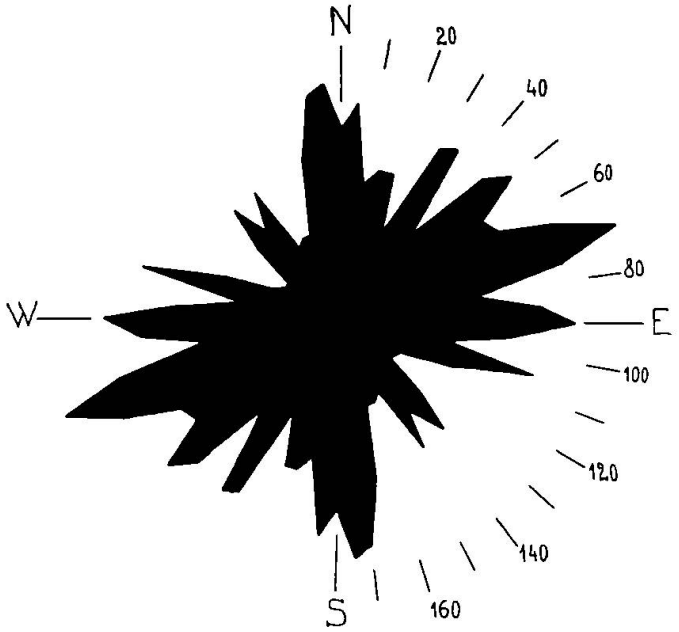

Fig. 2. Rose des joints du granite dans le Val d'Arpette.

Les rares filons d'aplite repérés sont plus ou moins acides, c. à d. qu'ils peuvent apparaître comme aplites ordinaires ou comme pegmatites quartzifères. Portés dans un système de coordonnées polaires, ils donnent le diagramme de la fig. 3. Cette rose de direction des aplites est d'un haut intérêt. Elle est formée de trois systèmes orthogonaux: 30—120, 45—130 et 70—160. Elle révèle plusieurs poussées orogéniques survenues avant la fin de la phase de tectonique magmatique.

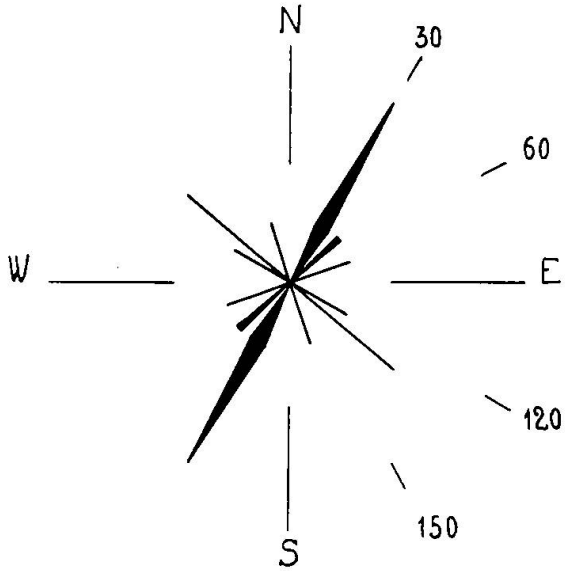

Fig. 3. Rose des filons d'aplite.

Le diagramme des joints de la région de Saleinaz diffère beaucoup de ceux du Grimsel et de la vallée de Göschenen (L. b. 7, fig. 3, L. b. 6, fig. 4). Il est caractérisé par trois maxima principaux, 30—40, 80 et 165, ainsi que par un certain nombre de maxima plus faibles, 100, 110, 120, 130—140, 180. On peut aussi, comme pour les diagrammes du massif de l'Aar, résoudre celui-ci en plusieurs systèmes orthogonaux. On obtient ainsi deux grands systèmes (30—40)—(120—130) et 80—165. Ils sont accompagnés de systèmes secondaires: 70—150 et 100—180. Le maximum 110 est presque perpendiculaire à la direction d'intrusion: peut-être est-il formé de joints dûs au retrait du granite (joints Q de Cloos).

Les zones mylonitiques mesurées sont orientées suivant les trois grands maxima 30—40, 80 et 165 du diagramme. Leurs dimensions sont généralement très inférieures à celles du granite de l'Aar. Les plus puissantes sont orientées suivant 30—40 et sont généralement accompagnées de zones porphyroclastiques, comme dans le granite de l'Aar. Leur importance les a fait attribuer par P. Corbin et N. Oulianoff à la poussée orogénique alpine. Mes observations conduisent à un résultat différent. Comme on l'a vu plus haut (fig. 3), le système 30—120 contient la moitié des filons d'aplite. Mais cet argument ne suffirait pas s'il n'était corroboré par l'analyse microtectonique: une mylonite orientée suivant 35/90 est complètement recristallisée et présente un maximum très marqué suivant 170 (voir fig. 12). On est donc en présence, sans aucun doute possible, d'un système préalpin. Le système alpin ne peut donc être formé que des deux maxima 80 et 165, qui contiennent tous deux des zones mylonitiques. Les dimensions de ces mylonites sont beaucoup plus modestes que celles des mylonites du maximum 30, et, à plus forte raison, que celles des mylonites du granite de l'Aar. Leur largeur totale ne dépasse pas quelques décimètres; elles sont limitées de chaque côté par du granite à texture normale.

Comme il fallait s'y attendre, la rose des joints du Val d'Arpette est beaucoup plus complexe. Elle présente une dizaine de maxima très accentués, dont 7 de grandeur à peu près égale (5, 35, 70, 105, 175). Contrairement aux autres diagrammes, celui-ci ne peut pas être décomposé en systèmes parfaitement orthogonaux. Les joints étant dûs à la même cause, on doit admettre que l'angle des deux maxima d'un système peut varier dans une certaine mesure et compter, suivant les conditions du moment, de 75 à 105 degrés. En tenant compte de cette variation, on retrouve, dans le diagramme de la fig. 2, les différents systèmes de joints déterminés à l'aide du premier

diagramme. Le tableau ci-dessous facilite la comparaison des deux graphiques:

Saleinaz	Val d'Arpette	Angle des maxima (Val d'Arpette)
30—120	35—135	100°
40—130	50—145	95°
80—165	70—175	105°
—	90—185	95°
70—155	60(?)—155	95°
100—180	?	
110	15—105	90°

Le diagramme du Val d'Arpette correspond donc parfaitement à celui de Saleinaz. La plupart des maxima font entre eux l'angle de 95° constaté déjà dans le granite de l'Aar. Les différences les plus importantes sont:

1° Le système double (30—40)—(120—130) s'est séparé nettement en deux systèmes indépendants 35—135 et 50—145.

2° Un nouveau système 90—185 apparaît. On est probablement en présence d'un deuxième système alpin, dû peut-être au débordement des nappes sédimentaires (Klippes-Chablais?).

3° Le diagramme de Saleinaz présente un maximum isolé (110); il a son équivalent dans le système 15—105, exactement orthogonal, du deuxième diagramme. Ce système a peut-être aussi été provoqué par le retrait (joints S et Q de Cloos).

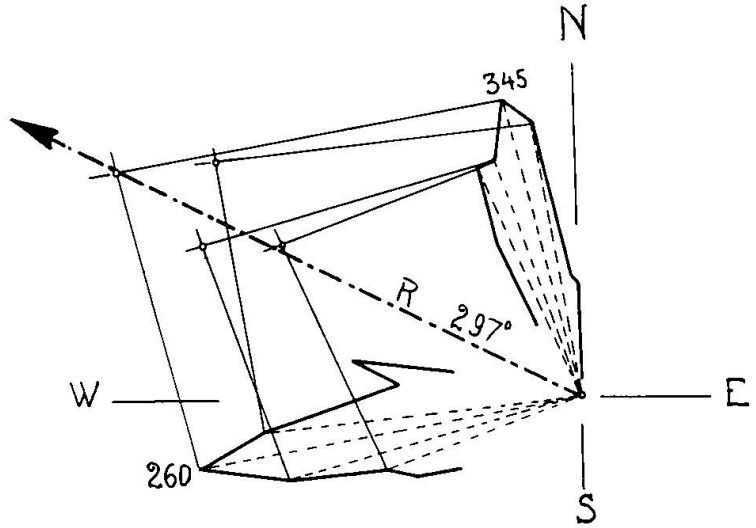

Fig. 4. Détermination de la direction primitive de mouvement à l'aide de la statistique des joints (voir fig. 1).

Les deux branches du système alpin de „Saleinaz" sont presque d'égale importance, la branche longitudinale (165) étant légèrement plus courte que la branche transversale. Elles sont dans un rapport

de 22 à 28 ou 1 à 1,25. Le rapport des deux branches du système alpin de „Val d'Arpette" est 26 à 32 ou 1 à 1,23. La proportion est donc la même dans les deux cas.

La construction d'un parallélogramme des forces, les deux branches du système alpin étant considérées comme vecteurs secondaires, permet de déterminer avec une assez grande exactitude la direction de mouvement initiale (voir L. b. 6, p. 523). Cette construction (fig. 4) donne au vecteur initial R, pour la région de Saleinaz, la direction N—117°—S ou N—63°—W. La même construction,

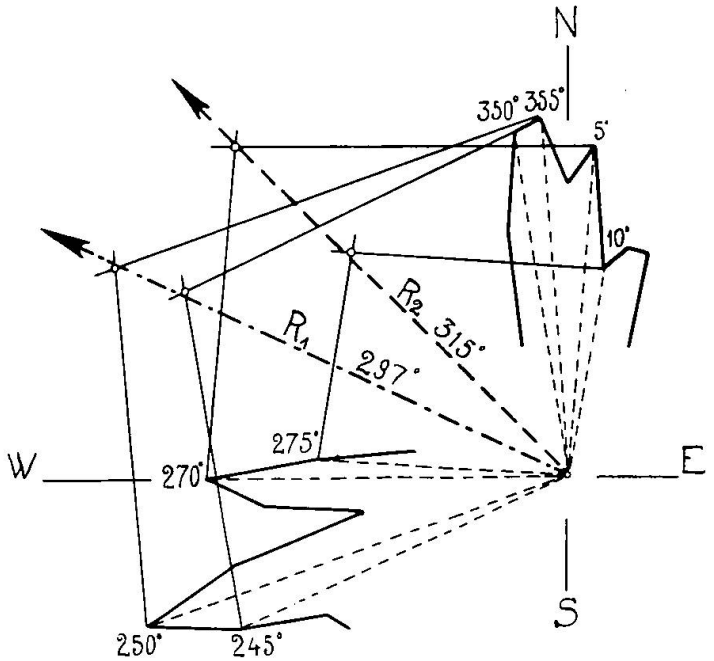

Fig. 5. Direction primitive de mouvement dans le granite du Val d'Arpette (voir fig. 2).

faite sur le diagramme du Val d'Arpette, indique exactement la même direction N—63°—W (voir fig. 5). L'angle de R avec les deux vecteurs secondaires est, dans le premier cas de 37° et (85 — 37 =) 48°, dans le second cas de 47° et (105 — 47 =) 58°. Ce fait explique la présence de zones mylonitiques dans les deux branches du système: La direction primitive de mouvement est approximativement bissectrice du système; les deux directions secondaires ont servi toutes deux au déplacement, sans que l'une ait été favorisée aux dépens de l'autre.

La coïncidence parfaite des deux vecteurs primitifs, c. à. d. leur orientation exactement pareille, est une preuve de plus de l'interdépendance génétique des deux branches d'un système. L'angle φ, formé par ces deux branches, est indépendant de la direction de trans-

port; il est déterminé par des conditions locales et peut varier dans un même milieu. Il paraît être déterminé par des directions de moindre résistance. D'une manière générale, il semble qu'il tende à augmenter quand le niveau tectonique s'élève.

Le deuxième système alpin (?) du diagramme de la fig. 2 est formé de deux branches sensiblement égales. Leur rapport est de 24 à 26 ou 1 à 1,08. Il donne, par construction, une direction primitive de mouvement N—45°—W. Cette direction est assez exactement normale à l'arc formé par les nappes du Chablais et des Klippes, au SW du Rhône.

Tous les joints du granite sont identiques et ne permettent pas de constater, sur le terrain, une direction privilégiée, comme c'est le cas dans le granite central de l'Aar. Les zones mylonitiques sont d'ailleurs extrêmement rares. La pente des joints est loin d'avoir aussi la régularité constatée dans le massif de l'Aar. Les joints transversaux (dir. 80) sont généralement inclinés de 75 à 80° vers le S. Les joints longitudinaux (dir. 165) plongent le plus souvent de 80 à 85° vers l'W. Cette pente vers l'intérieur du massif a suggéré à de nombreux auteurs l'idée d'une forme en éventail des massifs centraux alpins. Ceux-ci ont généralement celle d'un dôme déjeté vers l'extérieur. Ainsi, le massif du Mont-Blanc, au moins dans sa partie N, est déjeté vers le NW.

En résumé, la statistique a donné les résultats suivants:

Le granite du Mont-Blanc a été introduit dans une série d'anticlinaux de direction N—10°—E. Après sa mise en place, il a été soumis à trois poussées orogéniques au moins, dont deux relativement faibles, marquées par deux systèmes de joints 40—130 et 70—155. La troisième poussée, suivant 30—120, incomparablement plus forte, a provoqué la formation de nombreuses et puissantes zones mylonitiques. Ces phases orogéniques ont été accompagnées de l'intrusion de filons d'aplite, dernier reste magmatique injecté. A l'injection a succédé une quatrième poussée tectonique, de faible intensité, qui a provoqué un système de joints 100—180.

Le mouvement tectonique alpin a relativement peu touché le granite du Mont-Blanc. Il a été marqué par la formation d'un système de joints 80—165 (70—175 à l'extrémité N du massif) et par des zones de mylonitisation, assez rares et de faibles dimensions, ayant la même orientation. Ce mouvement alpin a été beaucoup moins intense que dans le massif de l'Aar, par exemple. Ses effets cataclastiques seront étudiés dans le chapitre suivant, consacré à l'analyse microtectonique.

3. ANALYSE MICROTECTONIQUE

La statistique des joints du granite permet de retrouver la direction et l'amplitude relative d'une poussée tectonique, par la détermination des deux plans de déplacement qu'elle provoque. Ces derniers sont indiqués, dans les diagrammes, par leur trace sur le plan horizontal. La direction primitive de mouvement n'est donc marquée que par sa projection sur le plan horizontal; l'angle qu'elle fait avec ce plan n'est pas donné par la statistique. La direction de transport, dans le plan de schistosité, est généralement .visible à l'oeil nu sur le terrain. Elle est contrôlée à l'aide de l'analyse microtectonique: dans le cas qui nous intéresse, l'axe c du quartz s'oriente dans la direction de transport.

L. Duparc (L. b. 5) analyse aussi les phénomènes dynamiques subis par le granite du Mont-Blanc. Voici comment il décrit (p. 36) les réactions du quartz:

„Le Quartz lui-même est un des réactifs les plus sensibles pour le diagnostic des phénomènes dynamiques. La compression lui communique d'abord des extinctions onduleuses, puis en devenant plus forte, elle fait apparaître dans l'intérieur d'un même cristal une série de plages dont les extinctions sont légèrement différentes, qu'une faible rotation de la platine du microscope met aussitôt en évidence. Si la compression augmente encore, il y a rupture et dislocation du cristal primitif. Les fragments qui en résultent se déplacent les uns par rapport aux autres et s'entourent d'une couronne d'esquilles. Toutes les grandes plages du quartz sont alors remplacées par une brèche à couronnes étroites formées par ces esquilles. Celles-ci sont d'ailleurs très petites et peuvent, à la dimension près, simuler les formes du quartz grenu. Beaucoup plus rarement la pression produit dans le quartz un véritable laminage, celui-ci prend alors un aspect qui rappelle absolument celui qu'il a dans les gneiss dynamo-métamorphiques. Enfin dans certains cas tous les éléments de la roche sont complètement broyés, il se forme alors une brèche contenant indistinctement des fragments de quartz et de feldspath pêle-mêle avec des débris de mica."

En se basant sur la clasticité du quartz, on peut établir trois degrés différents, très schématiques, de métamorphisme:

1° granite avec quartz à extinction roulante;

2° granite avec fragments de quartz entourés de couronnes d'esquilles;

3° granite laminé, avec quartz partiellement ou totalement recristallisé.

L'analyse microtectonique, même basée sur le quartz seul, permet donc une étude complète des phénomènes dynamo-métamorphiques de la protogine du Mont-Blanc.

La statistique a été exécutée sur des coupes minces exactement orientées dans l'espace; elles sont perpendiculaires à un élément tectonique déterminé (s), horizontales (A) ou verticales (B).

On rencontre, dans le massif du Mont-Blanc, trois directions différentes de mylonitisation. Elles seront désignées par la lettre s suivie d'un indice. Ainsi, j'ai indiqué par

s_1, un plan de schistosité 30/90;

s_2, un plan N—S, de pente variant entre 70 W et 80 E; et

s_3, un plan 80—90, de pente 80 S.

L'orientation du plan de schistosité est d'ailleurs donnée exactement pour chaque projection.

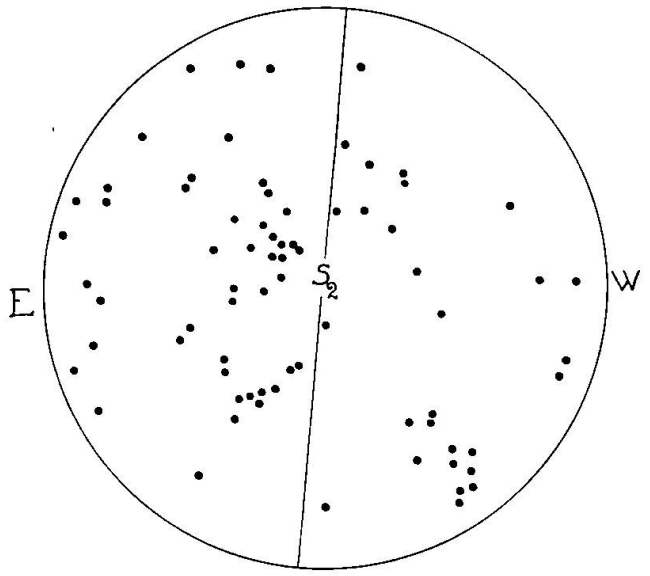

Fig. 6. Quartz primaire. 75 individus répartis dans 3 coupes minces. Coupes B. s_2 = N—S/85 E.

Le granite le moins tectonisé a tout d'abord été soumis à l'analyse. Les gros cristaux de quartz, à extinction roulante, sont primaires et très peu déformés par les différentes poussées orogéniques. La projection de la fig. 6, qui résume les observations faites sur trois coupes minces de même orientation, est bien intéressante. La répartition des axes est presque isotrope. Elle présente toutefois un maximum bien marqué, 10° à gauche de s_2. Ce maximum, orienté suivant N—10°—E, correspond à la direction d'intrusion. Un deuxième maximum est situé à peu de distance du plan de projection (vers „5 heures", pour employer une expression de tir). Le granite

a probablement subi deux poussées tectoniques différentes pendant sa solidification.

Le granite au deuxième degré de métamorphisme a aussi été analysé. Sous le microscope, le quartz se présente sous forme de grosses plages à extinction roulante, entourées de couronnes de fragments menus. L. DUPARC donne dans sa monographie (L. b. 5,

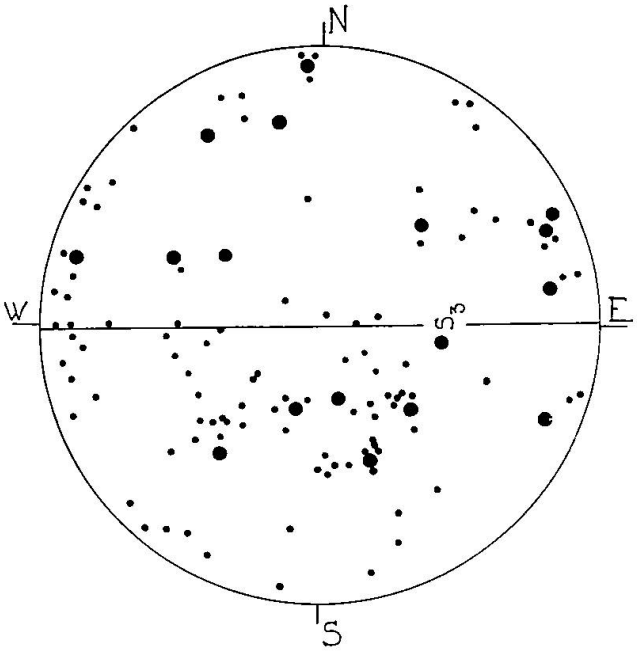

Fig. 7. Quartz primaire et fragments, entourés de couronnes d'esquilles. Gros cercles = individus primaires. Petits cercles = esquilles en couronnes. 116 individus. Coupe A. s_3 = 89/86 S.

planche XVII, n° 518) une photographie de „protogine très dynamométamorphique", qui présente une image à peu près analogue, quoique plus accentuée, à celle de la roche soumise à l'analyse. Dans la projection, fig. 7, j'ai fait la distinction entre les grandes plages (gros cercles), qui ont conservé à peu près leur orientation primaire, et les esquilles (petits cercles) disposées en couronnes. La répartition des gros cercles est quelconque. Les petits fragments ont été très peu déplacés. Leur orientation reste approximativement la même que celle des cristaux dont ils ont été détachés. On peut constater pourtant la formation d'un amas indépendant dans le plan s_3 (vers W). Il est probablement dû à une recristallisation partielle, orientant l'axe c du cristal dans la direction de transport *a*. Un autre petit amas est orienté suivant 35, c. à d. parallèlement à s_1; il est dû aux mêmes causes. Le diagramme permet encore une autre constatation intéressante. Les gros cristaux placés horizontalement

et orientés à peu près E—W ou N—S ne sont guère entourés que de deux ou trois esquilles chacun: ils réalisaient d'avance les con-

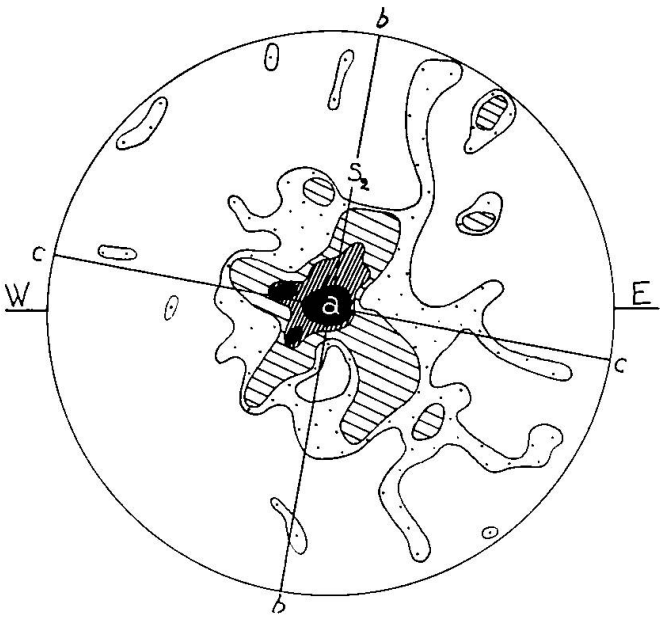

Fig. 8. Quartz, 275 individus. Coupe B. s_2 = 176/72 W (mylonite alpine longitudinale).

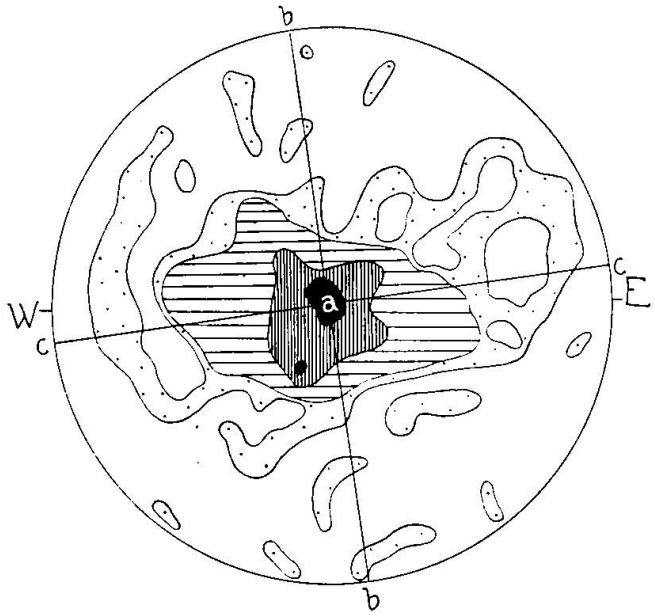

Fig. 9. Quartz, 356 individus. Coupe B. s_2 = 178/82 E (mylonite alpine longitudinale).

ditions d'équilibre les plus favorables. Les cristaux d'orientation différente ont été beaucoup plus fortement disloqués; ils sont entourés chacun de 8 à 10 esquilles. Ils étaient placés dans des con-

ditions d'équilibre beaucoup moins favorables et par ce fait soumis les premiers à la déformation.

Les 5 autres statistiques ont été faites sur des échantillons assez fortement tectonisés. Elles amènent à constater que le troisième degré de métamorphisme est atteint: granite laminé, avec quartz en grande partie recristallisé.

Les projections des fig. 8 et 9 proviennent de mylonites alpines longitudinales (N—S). Elles sont identiques entre elles et ont la même orientation (coupes verticales). Le quartz qu'elles représentent est presque complètement recristallisé. Dans chaque projection, un maximum très important occupe le centre du diagramme. Le grand axe *a* de l'ellipsoïde de déformation est exactement horizontal. *ab*

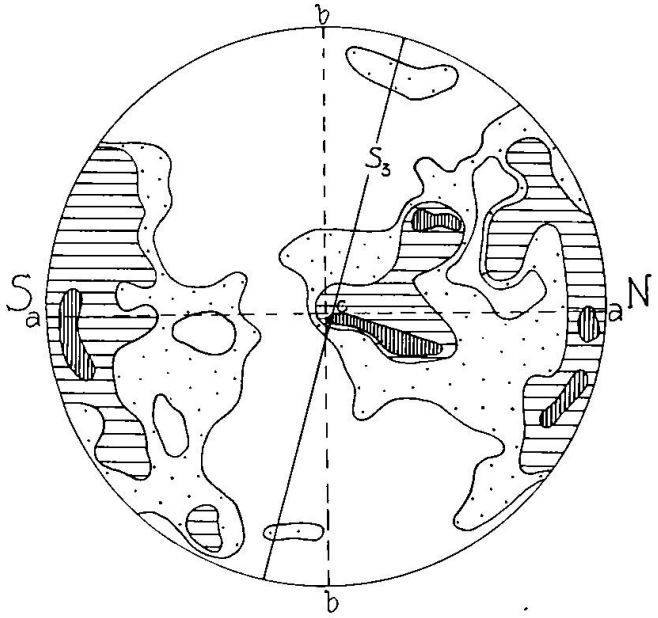

Fig. 10. Quartz, 328 individus, Coupe B. s_3 = 88/75 S (mylonite alpine transversale).

est approximativement vertical et orienté du N au S. *c* est aussi horizontal et dirigé suivant E—W.

Le diagramme de la fig. 10 représente une mylonite transversale (orientée suivant 88/75 S). Il est caractérisé par deux maxima. Le premier, placé dans le plan s_3, plonge de 10 à 15 degrés vers l'E. Il représente la deuxième composante alpine. Le deuxième maximum, placé dans le plan de projection, est identique aux maxima des fig. 8 et 9. Il est orienté aussi exactement du N au S et placé horizontalement (*a*).

Le diagramme de la fig. 11 se rapporte à une mylonite très importante, orientée suivant 26/90 et désignée plus haut par s_1. Il

présente en son centre un maximum très accusé, qui indique la direction de transport a_1 de la phase 30—120. L'ellipsoïde de défor-

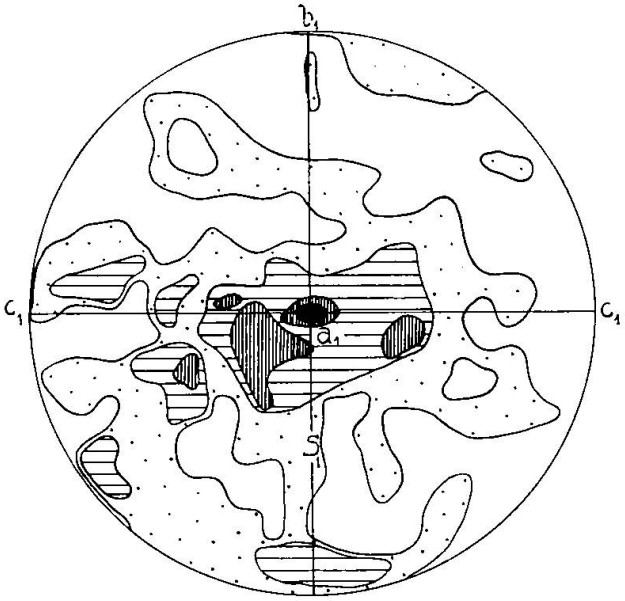

Fig. 11. Quartz, 374 individus. Coupe B. s_1 = 26/90 (mylonite ancienne).

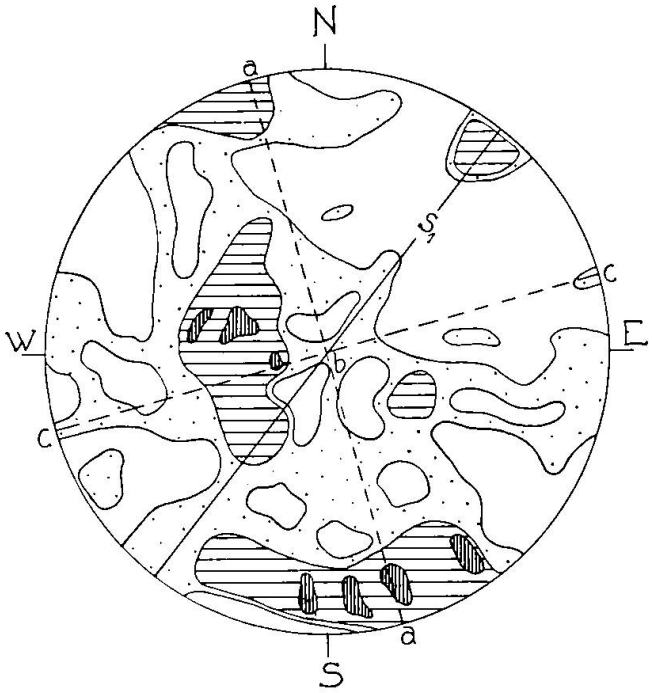

Fig. 12. Quartz, 342 individus. Coupe A. s_1 = 35/90. *(ab)* = 170/80 W (mylonite ancienne).

mation de cette phase a, dans l'espace, l'orientation suivante: a_1 est horizontal et dirigé suivant N—30°—E; b_1 est exactement vertical; c_1 est horizontal et orienté suivant N—120°—S.

A 20° à gauche du maximum principal est placé un deuxième maximum très étendu. Il appartient probablement à la phase 50—145. Enfin, deux autres maxima, placés l'un à 45° de a_1 et 20° en-dessous du plan a_1c_1, l'autre à 30° à droite de a_1 et légèrement en-dessous de a_1c_1, pourraient représenter les deux branches du système alpin 70—175 (voir fig. 2). Le premier est en effet orienté suivant N—70°—E et plonge de 20° environ vers l'E. Le second est à peu près horizontal et dirigé vers le N.

La projection de la fig. 12 doit particulièrement retenir notre attention. Elle représente une coupe mince provenant d'un granite fortement mylonitisé suivant 35/90. La projection est horizontale (A) et la trace de la mylonite est marquée par s_1. Or on peut constater que le plan de schistosité ne contient pas de maximum, à part une petite zone de troisième degré de concentration (vers „2 heures"). Ce fait est très remarquable, surtout pour une mylonite de cette importance. On peut constater, par contre, la présence de deux groupes de maxima, l'un indiqué par *a* et le second à cheval sur *bc*, à 30° environ de *b*. Le maximum en *a* a l'orientation de la branche longitudinale du système alpin (165). Le maximum en *bc* est orienté parallèlement à la branche transversale (80), à laquelle il peut appartenir, bien qu'il fasse un angle de 60° avec le plan horizontal. On est en présence d'un bel exemple de recristallisation, provoqué par des phases tectoniques successives. Il ne reste en effet presque rien du maximum a_1 de la phase 30—120, qui devait certainement être bien marqué avant le mouvement alpin. Ce diagramme nous apporte une preuve certaine de la justesse de l'hypothèse émise plus haut (p. 180): la phase 30—120 est antérieure au mouvement orogénique alpin; elle a précédé l'intrusion des filons d'aplite.

4. RÉSULTATS DE L'ANALYSE ET CONCLUSIONS

L'analyse microtectonique, appuyée par la statistique des joints, permet de reconstruire dans ses grandes lignes l'histoire du massif du Mont-Blanc. La mise en place du granite s'est faite sous pression dirigée, le magma ayant probablement été introduit dans une série de voûtes de direction N—10°—E: *Phase 1*. Il s'est élevé à mesure que l'arc des anticlinaux se tendait. Le présence d'une pression constante est marquée par la direction des enclaves basiques du granite et de ses lentilles de différenciation, puis par l'orientation parallèle des gros cristaux d'orthose, et enfin, par la cristallisation, dans cette direction privilégiée, du quartz. La texture parallèle imposée au granite solidifié dans ces conditions est plus marquée dans

ses détails microscopiques que dans les caractères visibles à l'oeil nu. Cette particularité justifie en quelque mesure le nom de „protogine", que nous avons conservé.

Après solidification complète, le granite est soumis à un mouvement tectonique de faible envergure, qui provoque un système de joints 70—155: *Phase 2.* Bientôt après se produisent deux poussées très intenses, presque parallèles, qui se traduisent dans le granite non seulement par la formation de deux systèmes de joints 30—120 (35—135): *Phase 3,* et 40—130 (50—145): *Phase 4,* mais encore par de nombreuses et puissantes zones de mylonitisation (dont la direction peut varier de 30 à 50, suivant les lieux). Ces deux phases tectoniques ont une amplitude si grande qu'elles dominent nettement toutes les autres, même la phase alpine.

Ces trois phases tectoniques se sont certainement suivies de près puisqu'elles se sont toutes produites avant la fin de l'activité magmatique. En effet, les trois systèmes de joints auxquels elles ont donné naissance sont garnis de filons d'aplite. Cette activité magmatique est d'ailleurs très faible et réduite à l'injection de rares filons variant de l'aplite à la pegmatite quartzifère. On ne rencontre, à l'intérieur du massif granitique, ni microgranites, ni lamprophyres.

D'autres poussées orogéniques ont encore laissé des traces dans le granite. Leur amplitude était pourtant très réduite, de sorte qu'il n'est pas possible de les déterminer plus exactement (elles ont donné naissance aux joints 100—180 et peut-être aussi 15—105).

Le mouvement alpin a pu être étudié d'un peu plus près. Il a été marqué, comme nous l'avons vu plus haut, par un système de joints 80—165 (70—175) et par des mylonites qui garnissent les deux branches du système. L'intensité de ce mouvement est légèrement plus faible que dans le massif de l'Aar, par exemple. Les statistiques des joints fournissent un terme de comparaison, assez peu exact, il est vrai. Il s'exprime par le rapport des joints alpins au nombre total de joints mesurés. Ce rapport est de 243 à 528 pour Saleinaz, ce qui correspond à 46 % [2]). Cette proportion est de 50 % pour la région du Grimsel (L. b. 7) et de 55 % pour la vallée de Göschenen (L. b. 6).

La rareté relative des zones mylonitiques est aussi la preuve d'une poussée de moindre puissance. La réaction du granite n'a d'ailleurs pas été la même que dans le massif de l'Aar (partie mé-

---

[2]) Le calcul est fait sur la base de 5 nombres pour chaque branche du système: le nombre maximum, 2 à droite et 2 à gauche du maximum, c. à d., pour chaque branche les joints contenus dans un angle de 30 degrés.

diane). Les effets cataclastiques sont beaucoup moins intenses que dans le granite central. Sauf dans les zones mylonitiques, le quartz, seul atteint, présente généralement une extinction roulante, parfois assez faiblement marquée. (Dans le granite de l'Aar, la recristallisation, au moins partielle, est de règle: voir fig. 23 à 29, L. b. 6.)

Le deuxième degré de métamorphisme, caractérisé par des couronnes de fragments menus entourant les gros individus de quartz à extinction roulante, se rencontre rarement. Ici encore, le degré de recristallisation est faible. Et pourtant, ce stade est considéré par L. DUPARC comme „très dynamo-métamorphique".

Dans les mylonites, la majeure partie du quartz a recristallisé (déformation paracristalline). Toutefois, cette transformation est limitée à une zone très étroite: un échantillon, pris à 1,20 mètre de la mylonite proprement dite, ne présente que du quartz à extinction légèrement onduleuse. Le transport s'est donc fait uniquement le long des zones de mylonitisation et des joints. On ne peut pas, comme dans le granite central de l'Aar, constater un déplacement différentiel de toute la masse.

Ces différences remarquables sont dues à deux causes:

Le granite du Mont-Blanc présente deux directions de cisaillement, perpendiculaires entre elles et d'égale importance. Un effet de laminage, comme dans le massif de l'Aar, ne peut se produire. Le granite est plutôt débité en parallélipipèdes géants, limités par des mylonites, et subdivisés eux-mêmes par les joints en blocs de plusieurs mètres cubes.

De plus, le massif du Mont-Blanc occupait déjà, avant la période orogénique alpine, un niveau très élevé dans l'édifice tectonique. Les conditions de pression et de température nécessaires à la recristallisation du quartz étaient loin d'être suffisantes et n'ont été remplies que dans des zones bien déterminées, soumises à un cisaillement maximum.

Les deux directions secondaires de déplacement ont pu être déterminées avec exactitude à l'aide des deux méthodes statistiques réunies. L'une est exactement horizontale et dirigée du S au N (suivant 165—175). L'autre, plongeant par 20° vers l'E, est orientée suivant 80 (70). La direction primitive de mouvement, dirigée du SE au NW (exactement N—63°—W), fait avec le plan horizontal un angle de 10 à 15° environ. Cette direction est approximativement perpendiculaire au front des nappes pennines, dans leur zone de contact avec le massif du Mont-Blanc. Elle est, en effet, normale à la direction du Val Ferret.

La deuxième phase alpine (90—185 du diagramme du Val d'Arpette) est moins bien déterminée; notre analyse n'a révélé aucune mylonite qui lui soit attribuable. Orientée suivant N—45°—W, la poussée correspondante était, comme nous l'avons déjà vu plus haut, normale à l'arc des nappes des Klippes et du Chablais, au SW de la vallée du Rhône. Ce fait suggère l'idée qu'elle a été provoquée par le débordement de ces nappes par dessus les massifs du Mont-Blanc et de l'Aar. Elle serait donc postérieure à la première phase décrite et, ainsi, la dernière trace du mouvement orogénique alpin.

La forme du massif a été très peu modifiée par le déplacement alpin. Sa position aussi est restée à peu près la même; tout au plus a-t-il été légèrement déjeté vers l'W.

La direction primitive de poussée, légèrement oblique et s'élevant vers le NW, n'a pas pu provoquer de dénivellement axial. La formation d'une dépression entre les massifs de l'Aar et du Mont-Blanc ne peut donc être due au mouvement alpin; elle est sans aucun doute primaire. Le déversement vers le N et le NW des nappes helvétiques et celles des Préalpes est un effet secondaire, favorisé par la présence de la „dépression du Rawyl", et n'affectant que dans une faible mesure la tectonique des massifs centraux. Il a laissé des traces tout au plus à l'extrémité N du massif du Mont-Blanc (deuxième phase alpine?).

5. RELATIONS ENTRE LA TECTONIQUE ET LA MORPHOLOGIE

L'inhomogénéité des roches, qu'elle soit primitive ou acquise, est un facteur des plus décisifs pour la configuration du sol. Les vallées importantes suivent généralement des lignes tectoniques spéciales. Dans un massif granitique, où la roche est particulièrement homogène, tous les éléments tectoniques servent au modelage des formes et peuvent être ainsi repérés assez facilement. Les vallées, les lits de glaciers, les cols, sont presque toujours dûs à la présence de zones de mylonitisation, tandis que les arêtes et les chaînes sont formées de granite intact. Les dimensions et l'orientation des joints sont des facteurs essentiels, qui imposent au paysage un caractère déterminé.

Trois directions différentes de mylonitisation ayant été constatées dans le massif du Mont-Blanc, on doit s'attendre à voir dominer trois directions orographiques. L'examen, même superficiel, d'une carte topographique confirme facilement cette hypothèse.

La vallée de Chamonix, profondément encaissée entre le massif du Mont-Blanc proprement dit et le massif des Aiguilles-Rouges, est

orienté suivant N—30°—E. Elle a la même orientation que les mylonites de l'importante phase 30—120. Le dépôt, dans cette vallée, non-seulement de sédiments mésozoïques, mais encore de Carbonifère, autorise l'attribution de cette phase 3 à la période orogénique hercynienne. Cette même direction se retrouve souvent dans le massif du Mont-Blanc. C'est celle, par exemple, des vallées du Trient (partie inférieure), de la Dranse inférieure, de Barberine, ainsi que celle du col de Balme et du glacier de Saleinaz. A la branche transversale (120—140) du même système appartiennent en particulier les glaciers d'Argentière, du Tour et du Triolet, ainsi que la partie inférieure du vallon de Saleinaz (entre le glacier d'Orny et Saleinaz) et la vallée de la Neuvaz (partie inférieure).

Le système alpin (80—165) n'a pas joué un rôle beaucoup moins important. Le coude du Rhône à Martigny est dû certainement à des mylonites alpines: en amont de Martigny, la vallée est orientée suivant 75, en aval, suivant 160 environ. La vallée de Champex, le glacier du Trient, la Mer de glace, sont orientés parallèlement à la branche longitudinale alpine, tandis que le glacier et la Combe d'Orny, le vallon d'Arpette, la Dranse entre Bovernier et le Borgeau, appartiennent à la branche transversale.

Les très nombreux cols sont orientés généralement suivant l'une ou l'autre de ces directions privilégiées, soit la direction alpine 160 (Fenêtre de Saleinaz, cols des Plines, de Planereuse, de Crête sèche, de la Neuvaz), soit la direction hercynienne 30—40 (Cols du Chardonnet, du Tour noir, de la Grande Luis), ou encore la direction alpine transversale (Fenêtre d'Arpette, col des Ecandies).

Les imposantes pyramides, „aiguilles" et „clochers", auxquelles la région doit son caractère spécial, ont une forme très régulière, due à la rareté des mylonites et à l'homogénéité de la roche. Elles sont généralement à trois faces et leurs arêtes sont orientées suivant les trois directions déjà citées: N—30°—E, N—80°—E et N—20°—W. Tel est le cas, entre autres, pour l'Aiguille des Grands Charmoz et pour l'Aiguille du Chardonnet.

Les Aiguilles dorées, longue arête orientée suivant 80 environ, sont, par contre, coupées à intervalles plus ou moins réguliers par des zones mylonitiques longitudinales.

La combinaison de ces trois composantes d'importance à peu près égale confère au paysage, contrairement à ce qu'on pourrait croire, une très grande diversité et contribue certainement à donner à toute la région ce charme grandiose et imposant qui lui est particulier.

6. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE [3])

1. CORBIN, P., et OULIANOFF, N., Sur les éléments de deux tectoniques, hercynienne et alpine, observables dans la protogine du Mont-Blanc. C. R. Acad. Sci., t. **182,** Paris 1926.
2. — Deux systèmes de filons dans le massif du Mont-Blanc. C. R. Soc. géol. de France, no. **14,** 1925.
3. — Sur certains caractères du plissement hercynien dans la région Servoz-Les Houches. C. R. Acad. Sci., t. **176,** Paris 1923.
4. — Les contacts, éruptif et mécanique, de la protogine et leur signification pour la tectonique. Bull. Soc. géol. de France (4) **XXVI,** 1926.
5. DUPARC, L., und MRAZEC, L., Recherches géologiques et pétrographiques sur le massif du Mont-Blanc. Mémoires Soc. Phys. et Hist. nat. Genève, t. **XXXIII,** no. 1, 1898.
6. LIECHTI, H., Recherches pétrographiques et tectoniques dans la vallée de Göschenen (Canton d'Uri). Bull. Suisse Min. et Pétr. **13,** 1933.
7. MINDER, W., Beiträge zur Petrographie des mittleren Aarmassivs. Schweiz. Min. Petr. Petr. Mitt. **12,** 1932.
8. OULIANOFF, N., Une contribution à l'étude de la tectonique du Mont-Blanc. Eclogae geol. helv. **XIX,** 1926.
9. — Sur le plissement ancien dans le massif du Mont-Blanc. C. R. XIVe Congrès intern., 1926.
10. — Sur quelques failles et quelques zones de mylonite dans le massif du Catogne (Valais). Eclogae geol. helv. **XXIII,** 1930.

Berne, Institut de minéralogie de l'Université, décembre 1933.

Reçu le 14 janvier 1934.

---

[3]) La liste bibliographique ne contient que les travaux se rapportant directement à la présente étude. Une liste plus complète est donnée dans les publications no. 6 et 7. L. DUPARC donne une liste complète de ses travaux dans sa monographie sur le massif du Mont-Blanc (no. 5).