

# Sur l'existence d'un accident important à la bordure occidentale du granite des Sept-Laux (Massif de Belledonne)

(NOTE PRÉLIMINAIRE)

par C. E. EHRSTRÔM

Au cours d'une étude, essentiellement pétrographique, des granites et de leurs roches encaissantes dans le massif de Belledonne, notre attention a été attirée par la localisation d'un certain type de mylonites. L'étude préliminaire paraît indiquer l'existence d'une faille le long de la bordure occidentale du granite des Sept-Laux, depuis le col du Pra, à la hauteur des lacs, jusqu'à la vallée de l'Arc, et probablement même au-delà de ces limites. Cette faille est plane sur au moins 25 km, c'est-à-dire entre la Valloire et la vallée de l'Arc. Les faits et les méthodes qui nous ont conduit à cette conclusion vont être exposés ci-après.

En faisant des coupes transversales à la chaîne de Belledonne, depuis les micaschistes francs à l'Ouest, jusqu'au granite des Sept-Laux à l'Est, on est frappé par la monotonie des transformations dynamométamorphiques dans la série satinée d'une part, dans les migmatites et le granite même d'autre part. En effet, à la subdivision pétrographique en schistes cristallins (micaschistes, etc.), migmatites (gneiss œillés, etc.) et granite, se superpose une subdivision dynamométamorphique d'une séquence régulière. Cette séquence a ceci de spécial d'être symétrique par rapport à une certaine zone dans la bordure du granite (« mylonitic border zone » de KALSBECK [1]). Dans la moitié Ouest, malgré les déformations, on reconnaît encore l'appartenance à la série satinée ; nous désignerons par la lettre S cette appartenance. A l'Est, l'appartenance au granite des Sept-Laux se

reconnaît aussi et les roches de ce groupe seront désignées par la lettre G. La séquence est la suivante, de l'Ouest à l'Est :

a) *Micaschiste cataclastique*. C'est un schiste de la série satinée ; broyé, sans structure en mortier et avec relativement peu de mica, mais dont les minéraux leucocrates sont brisés et tordus par l'écrasement. Le micaschiste est encore reconnaissable.

b) *Cataclasite S*. De même origine que la roche précédente, mais ici l'écrasement est beaucoup plus avancé, souvent accompagné de recristallisations et de broyage extrême des minéraux leucocrates. Structure en mortier mais peu de mica ; peu ou pas du tout de rubans continus de micas. La roche est plus ou moins méconnaissable.

c) *Mylonite S*, rubannée par des guirlandes de mica (phengite, botite et muscovite) et de chlorite. C'est encore un schiste satiné très fortement broyé à structure en mortier et finement granulé (à part les yeux de quartz recristallisé), ayant l'aspect d'un gneiss œillé fin.

d) *Ultramylonite*. Tout est broyé en grains très fins, souvent difficiles à identifier. Toute structure schisteuse est effacée.

e) *Mylonite G*, rubannée avec des guirlandes de mica, avec moins de chlorite que dans la mylonite S. Structure en mortier et minéraux très écrasés. Aspect de gneiss œillé ou de gneiss fin.

f) *Cataclasite G*, à cristaux fortement déformés et broyés. Peu de mica et surtout pas de mica en rubans ou guirlandes continus. La structure granitique est plus ou moins perdue.

g) *Granite cataclastique*, à cristaux brisés, tordus, corrodés et zonés. Il n'y a pas de structure

en mortier. La structure granitique est bien conservée.

Cette séquence, comme on le voit, symétrique par rapport à l'ultramylonite (d), a été retrouvée plus ou moins complète dans une quinzaine de coupes. Sur les 11 coupes choisies comme base

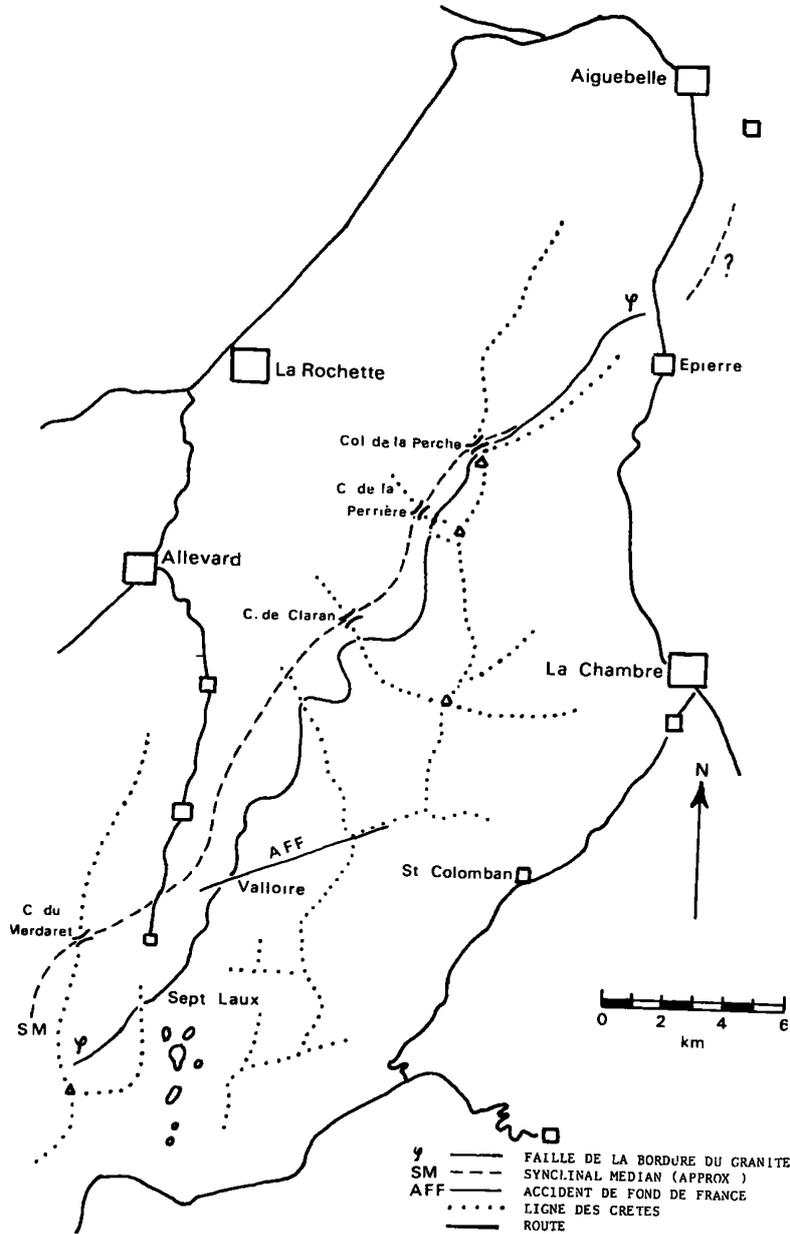


Fig. 1. — Schéma de situation.

pour l'orientation de la faille, dont il sera question, 9 coupes présentent des séquences nettes.

Les déformations des minéraux sont d'un genre courant dans les roches broyées : quartz à extinction onduleuse, à cristaux brisés, feldspaths brisés à flexures ou à décrochements de lamelles, micas brisés et tordus, etc. La description minéralogique et pétrographique détaillée sort du cadre de cet article.

Il est cependant nécessaire de justifier la subdivision en roches appartenant au groupe des schistes satinés, c'est-à-dire d'origine sédimentaire, et en roches dérivant par déformation du granite des Sept-Laux.

1. Le métamorphisme dynamique est progressif depuis le synclinal médian jusqu'à l'ultramylonite ; il décroît ensuite jusqu'au granite franc.

2. Les plagioclases de la partie Ouest (schistes satinés) ont un aspect vermoulu dû à des inclusions en gouttelettes, notamment de quartz. En général, ils ne sont pas mâclés mais, quand ils le sont, les mâcles sont simples, à lamelles larges. Les grains sont arrondis.

A l'Est de l'ultramylonite au contraire, les plagioclases sont dépourvus de gouttelettes ; les inclusions, là où elles existent, sont idiomorphes ou épitaxiques. Ils sont souvent zonés ; les mâcles sont en général multiples et à lamelles étroites. Les cristaux sont plus ou moins idiomorphes.

3. Un examen préliminaire paraît indiquer que les plagioclases du côté des schistes satinés sont des albites ( $2V$  moyen =  $79^\circ$ ), alors que de l'autre côté de l'ultramylonite on trouve de l'oligoclase ( $2V$  moyen =  $85^\circ$ ).

4. Macroscopiquement, sur le terrain, les roches ont un aspect plus « granitique » au SE qu'au NW des ultramytonites.

5. Les zones<sup>1</sup> formées par les directions et pendages sont différentes des deux côtés de l'« ultramylonite » et sont toujours différentes dans une même coupe (voir ci-dessous).

Reportées sur la carte topographique (1/20 000<sup>e</sup>) avec la précision correspondante, les « ultramytonites » ou, à défaut, la roche la plus broyée de

la coupe, dessinent une courbe sinueuse (fig. 1). Or, on constate qu'entre la Grande Valloire et la vallée de l'Arc, cette courbe représente l'intersection d'un plan avec le terrain. La vérification de cette proposition a été faite par géométrie analytique en faisant toutes les combinaisons 3 à 3 de 16 points et en cherchant le plan commun aux 3 points dans chaque combinaison. Il s'avère que ces plans coïncident pratiquement avec un seul plan entre la Grande Valloire et la vallée de l'Arc, alors que les plans contenant les points au Sud de la Grande Valloire ne le font pas. La limite Sud du plan correspond à l'accident de Fond-de-France. Le décalage vers l'Ouest des secteurs à mylonitisation maximale, se dessinant sur la carte au Sud de cet accident, se trouve vérifié par le calcul.

Le plus grand écart entre les secteurs de mylonitisation observés et le plan calculé est inférieur à 20 m et, par là, inférieur à l'erreur probable des coordonnées.

En langage géologique, les termes les plus mylonitisés de la séquence dynamométamorphique correspondent donc aux affleurements d'un plan mylonitique pratiquement idéal.

La direction moyenne de ce plan calculé est de  $29^\circ 18'$  à l'Est de l'axe des  $y$  du réseau de coordonnées, soit environ N 32 E par rapport au Nord géographique ou N 40 E par rapport au Nord magnétique. Le pendage calculé est de  $32^\circ 36'$  SE.

En vue d'une interprétation de la nature structurale de ce plan, il convient de jeter un coup d'œil d'ensemble sur les directions et pendages des roches des deux côtés de celui-ci. Ces grandeurs étant très variables dans ce genre de milieu géologique, il sera ici question de moyennes.

Une comparaison entre le côté « schisteux » (au NW du plan) d'une part et le côté « granitique » (au SE du plan) de l'autre, en considérant les moyennes de chaque côté depuis le plan jusqu'à environ 1 km de celui-ci, révèle que :

- le rapport entre les directions des différentes coupes des deux côtés est indéterminé ;
- le pendage est plus faible dans 6 coupes sur 8 du côté NW et égal dans une coupe.

Une comparaison entre le côté NW et le plan mylonitique montre que :

<sup>1</sup> Ce mot est employé ici dans son sens géométrique (ensemble des plans parallèles à une direction donnée).

- la direction de la schistosité, côté NW, est plus près du méridien que la direction du plan dans 5 coupes sur 8 ; il n'y a jamais égalité ;
- le pendage est plus fort côté NW que celui du plan dans 5 coupes sur 8 et égal dans 1 coupe.

Enfin, une comparaison entre le côté SE et le plan révèle que :

- la direction de la schistosité est indéterminée par rapport à celle du plan ;
- le pendage est plus fort dans 7 coupes sur 8 et jamais plus faible.

Les différences dans les divers cas sont en général de l'ordre de quelques dizaines de degrés.

Ces données indiquent que le plan ne doit pas être considéré comme étant un simple terme stratigraphique, ni même un terme concordant dans une zone dynamométamorphique. Il s'agirait plutôt d'un plan qui sépare deux formations en positions différentes.

Ce fait se présente encore mieux en considérant, non plus les directions et les pendages, mais les zones formées par eux et, notamment, les axes ou — ce qui revient au même — les pôles des zones.

La situation est la suivante :

L'axe de zone des formations au NW du plan mylonitique ne se confond dans aucune coupe avec celui des formations au SE du plan. Les angles sphériques entre les pôles des axes dans les différentes coupes sont (entre parenthèses solutions alternatives) : 110° (35°) ; 145° (10°) ; 90° ; 80° ; 25° ; 40° (60°) ; 155° (55°) ; 30°.

Ces angles sont mesurés du même côté du plan horizontal. Les directions des axes associés aux formations au NW du plan mylonitique varient sur 180°. Ces axes plongent en général vers l'Est, la moyenne étant d'environ 25°. Le plan ne contient aucun de ces axes.

Du côté SE du plan, les axes plongent aussi vers l'Est, mais sous une moyenne d'environ 20°. Un seul axe est contenu dans le plan. Ici les directions des axes ne varient que sur 90°, ceux-ci plongeant en général vers le NE (pour éviter toute confusion, nous nous permettons de souligner que le fait que les pendages sont accentués n'implique pas que l'axe correspondant plonge sous un grand angle) (fig. 2).

En résumé on peut donc constater que la schistosité de la région ne paraît avoir aucun rapport avec le plan mylonitique et que le rapport entre les schistosités, de part et d'autre de ce plan, si rapport il y a eu, ne se manifeste plus par des zones communes.

Il paraît inévitable de conclure à l'existence d'une faille inclinée séparant les schistes de la série satinée des formations granitiques des Sept-Laux. Cette faille est caractérisée par un plan de mylonitisation maximale. La schistosité des roches affectées par cette mylonitisation a été soit effacée, soit forcée en accordance tectonique avec la faille. Quant à la nature de cette faille, nous n'avons que de faibles indications à son sujet. A l'hypothèse d'une faille normale, s'opposent les arguments suivants (en appliquant la théorie de NAVIER - MOHR - ANDERSON [6]) :

1. Le pendage n'étant que de 32° (angle normal sous poussée tangentielle), la faille ne pourrait être considérée comme normale qu'en supposant que l'angle avec l'horizontale ait été diminué ultérieurement par fauchage. Le fauchage est connu dans la région (BORDET, DONDEY, KALSBECK, etc.). Cependant il paraît peu vraisemblable qu'après de tels événements la surface mylonitique ait épousé la forme d'un plan pratiquement idéal, et ceci sur 25 km.

2. Si le pendage est originel, la force de la pesanteur aurait dû être combinée avec une véritable poussée dans une direction oblique de haut en bas pour donner lieu au pendage de 32°.

La supposition que la faille soit dans sa position originelle se heurte à une autre difficulté, qu'il s'agisse d'une faille normale ou inverse. En effet, comment interpréter le synclinal médian qui, par conséquent, lui aussi devrait être dans sa position originelle ? Nous préférons, avec BORDET [8], considérer ce « synclinal » comme un joint comblé. Mais ceci suppose qu'il ait été plus ou moins vertical à l'origine, autrement il est difficile de comprendre comment il aurait pu être comblé par gravité. Il nous paraît alors inévitable de supposer que les deux accidents en question aient été verticaux à l'origine et qu'ils aient été renversés ultérieurement. Le fait que la prolongation de la faille au Sud de l'accident de Fond-de-France paraît plus verticale que le reste constitue, peut-être, un argument en faveur de cette hypothèse. L. RADELLI [9] a trouvé un cas semblable en

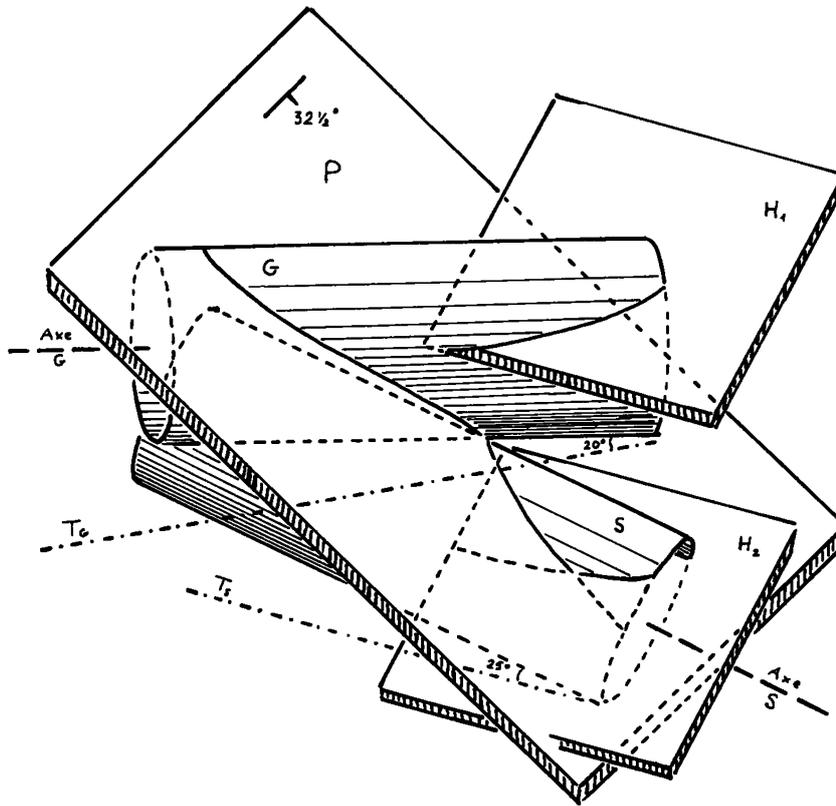


Fig. 2.

La fig. 2 représente le cas d'une zone G, au SE du plan de la faille et d'une zone S, au NW de celui-ci. La direction de l'axe de la zone G est NE et il plonge dans cette direction sous l'angle de  $20^\circ$ , alors que l'axe de la zone S plonge sous  $25^\circ$  vers l'Est. Tg et Ts représentent les traces des deux axes dans le plan horizontal.

Les deux zones sont coupées par le plan P de la faille, de direction N  $32^\circ$  E et de pendage  $32\frac{1}{2}^\circ$  SE. Chaque zone est en plus coupée par un plan horizontal, respectivement H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub>, pour montrer comment se produisent les directions et les pendages dans les zones. Les bords de ces plans sont dirigés N-S et E-W.

Bolivie : il y a là de grandes failles, qui dans leurs bouts sont manifestement des failles normales, alors qu'au milieu elles paraissent inverses et plus ou moins planes. Pour l'instant, nous nous trouvons donc dans le dilemme de devoir choisir entre, d'une part, l'hypothèse d'une faille normale ultérieurement renversée, tout en ayant gardé — ou bien en ayant épousé — la forme d'un plan pratiquement idéal et, d'autre part, celle d'une faille inverse, imposant comme corollaire le remplissage par gravité d'un joint incliné. Ces hypothèses n'étant, ni l'une ni l'autre, satisfaisantes, nous devons remettre le choix, en espérant qu'une étude détaillée des prolongations de la faille au-delà de

sa partie plane nous fournira des renseignements conclusifs.

L'existence d'un accident de ce genre a déjà été annoncée par KALSBECK [1], qui cependant ne va pas jusqu'à fixer la position et l'étendue de la faille. Déjà la séquence de roches mylonitisées a été vaguement ébauchée par lui. Ainsi, en ce qui concerne le côté NW du plan mylonitique, KALSBECK écrit : « ... This retrograde metamorphism is related with thrusting movements along... the western granite boundary, the low grade rocks evidently having mylonitic textures. » En ce qui concerne le côté SE, il note : « ... Also the western mylonitic border zone of the granite passes gra-

dually into more normal schists and gneisses... In the opinion of the author, many schists and gneisses of the mylonitic border zone are granite phyllonites... many of these rocks originated from granodiorite by different grades of crushing. »

L'étude de KALSBECK traitant d'une région assez limitée, il n'a pu tracer le cours de sa « mylonitic border zone » que sur une courte distance. Malgré cela, il avance une généralisation qui ne manque pas de témérité : « The western granite boundary and the Synclinal Median are thought to represent important thrust faults along which the granite is pushed upon the Berlanche formation (Série satinée) and the « rameau interne » upon the « rameau externe ». Nous venons de voir les difficultés qu'amène une telle hypothèse.

Un calcul par la méthode exposée ci-dessus a été fait à partir de la carte de A. TOBI [4] et à partir de la carte géologique Saint-Jean-de-Maurienne (1/80 000°) pour fixer la position du Synclinal Médian. Nous ne retrouvons pas là le « plan sur plus de 40 km » dont parle F. KALSBECK [1]. D'après le calcul, la surface contenant les affleurements est assez ondulante et elle est légèrement courbée vers le Nord dans la partie septentrionale (le centre de courbure se trouvant au NW). La direction à la hauteur des Sept-Laux diffère de 5° de celle à la hauteur de la vallée de l'Arc. La direction moyenne est de 37° 45' E de l'axe des y des coordonnées, soit environ N 41 E par rapport au méridien, le pendage moyen étant de 41° SE. La situation entre le col de Claran et la vallée de l'Arc n'est pas très claire. Selon le calcul, le Synclinal devrait être coupé sous un petit angle par la faille de la bordure du granite, mais ceci est difficile à constater sur le terrain. Il est probable que les deux se confondent dans le plan de la faille. Si c'est le cas, l'interprétation de la faille du granite comme un « splay-faulting » à partir du Synclinal Médian ne serait pas admissible.

L'accident de Fond-de-France est vertical à l'intersection de la faille de la bordure du granite. Il est orienté environ N 68 E (selon les coordonnées relevées sur la carte de F. KALSBECK).

Le déplacement relatif consisterait en une combinaison de décrochement vers l'Ouest et surrection verticale de la partie au Sud de l'accident. Ceci suppose une poussée de biais vers le haut dans la direction WNW : admettons par exemple N 65-70 W sous un angle d'environ 30° avec l'hor-

izontale. Comme une telle poussée n'admet pas une coïncidence de la direction de moindre pression avec la direction N 32 E de la faille du granite (tout en appliquant un coefficient de friction convenable), il est peu probable que l'accident de Fond-de-France soit une conséquence de la fracturation exprimée par la faille du granite. Cette conclusion est valable aussi pour le cas où la position originelle de la faille aurait été verticale, tout en supposant une direction correspondante pour la poussée.

La direction de la schistosité serait N 60 E à l'intersection des deux failles, d'après F. KALSBECK. C'est le cas, par endroits. Nous avons trouvé des directions très variables dans les schistes satinés, dues à un plissement dont l'axe moyen des zones est dirigé N 71 W et qui plonge sous un angle de 20° vers le SE. L'axe moyen des zones du côté du granite se trouve à peu près dans la même direction, mais il plonge sous un angle de 55°. On n'échappe pas à l'impression que ce plissement serait associé à l'accident de Fond-de-France. Mais où est la cause et où la conséquence ? Est-ce la zone qui a favorisé le décrochement ou la pression tectonique qui a effectué le plissement ? La réponse n'est pas essentielle pour cet exposé. Il nous suffit de constater que l'accident de Fond-de-France s'avère plus récent que la faille de la bordure du granite. C'est ce qu'indique aussi un certain déplacement des mylonites en cet endroit. En effet, la mylonitisation maximale au Sud de l'accident est déplacée d'une centaine de mètres vers l'Ouest par rapport au plan calculé. Seulement, nous ne savons pas s'il s'agit d'un décrochement ou d'une flexure.

Quelles sont les relations tectoniques et chronologiques entre les trois accidents : le Synclinal médian, la faille de la bordure du granite et l'accident de Fond-de-France ?

Concernant l'aspect tectonique, nous ne sommes pas persuadé que les trois accidents soient de même nature. Il est fort possible qu'il se soit produit des ruptures dans le synclinal médian, mais il semble tout aussi admissible de n'y voir qu'une simple compression suivie d'une détente. Cependant les deux autres ont plutôt le caractère de véritables failles.

Comme il vient d'être dit, la faille de la bordure du granite pourrait être un « splay-faulting » associé au synclinal médian, c'est l'impression que donne la carte géologique. Les relations entre ces deux accidents demeurent néanmoins mal définies.

Par contre, il est assez évident que l'accident de Fond-de-France est plus récent que la faille du granite et, nous l'avons vu, il est probable que les deux failles représentent des phénomènes indépendants.

Quant aux autres accidents de la région, il est évident que l'existence d'une faille plane à la bordure du granite exclut celle de failles transversales témoignant de déplacements notables de diverses parties du granite entre la Valloire et l'Arc. Par là, nous ne prétendons pas qu'il n'y ait pas eu des accidents transversaux dans cette région. Seulement, ces accidents n'ont pas causé de déplacements suffisamment importants pour être détectables dans la zone mylonitique de la bordure du granite, en tout cas pas à l'échelle de cette étude.

Cependant l'existence de décrochements transversaux dans les schistes au NW de la faille du granite pourrait peut-être nous fournir des renseignements sur la nature des poussées ayant donné lieu à la forme plane de cette faille et à la courbure du synclinal médian. En effet, cette courbure peut être due à plusieurs décrochements en échelon, ainsi que les présente J. SARROT-REYNAULD [5]. Or, il est difficile de comprendre comment une poussée sur le granite vers le synclinal aurait pu causer un décalage dans les schistes satinés sans affecter le plan de la faille du granite. Par contre, une poussée dans le sens inverse, affectant les schistes satinés entre le synclinal et la faille et butant contre le granite pourrait, à nos yeux, se produire sans décrocher le plan. Un mouvement du socle à l'Ouest du granite vers ESE, refoulant les schistes satinés sous le granite dans la première phase, aurait été un agent tectonique d'un ordre de grandeur propre à produire une faille plane sur au moins 25 km (la forme des surfaces mylonitisées au Nord et au Sud du plan qui nous intéresse n'a pas été définitivement déterminée). Dans la seconde phase, il y aurait eu décrochement et compression des schistes et fracturation du granite, sans décrochement. Un tel événement pourrait aussi expliquer pourquoi les schistes satinés sont plus plissés (et microplissés) dans la partie septentrionale de la région que dans la partie méridionale. Cette interprétation s'applique difficilement au cas où le synclinal médian et la faille du granite auraient été verticaux lors des décrochements.

La question des relations entre le plan myloni-

tique et les formations limitrophes a déjà été abordée à propos des zones. Nous avons vu qu'il n'y a pas de concordance entre ces unités. D'autre part, la présence occasionnelle de matériel granitique au NW de la mylonitisation maximale, donc du plan (voir aussi [1]) et, inversement, d'enclaves de matériel de schistes satinés au SE, indique que la migmatitisation a précédé la formation du plan mylonitique. Autrement dit, l'accident tectonique de la bordure du granite est postérieur à l'établissement de la lithologie qu'on observe des deux côtés de la faille.

Nous remettons à plus tard la discussion de la chronologie des accidents dont il a été question, ainsi que la discussion de la pétrogenèse des roches de la région. Nous dirons seulement que l'existence d'une part de roches sédimentaires de la série satinée, plus ou moins métamorphosées, de gneiss et de granite de l'autre, ne suppose pas nécessairement une origine différente des deux. Au contraire, le tout pourrait n'être que différents faciès des mêmes sédiments, métamorphosés et altérés dans différents domaines thermodynamiques.

En résumé, les affleurements de mylonitisation maximale à la bordure migmatitique du granite des Sept-Laux, entre la Valloire et l'Arc, sont contenus dans un plan de direction N 32 E et de pendage 32,5° SE. Les directions, les pendages et les axes des zones des deux côtés de ce plan ne s'accordent pas avec celui-ci. Ce fait permet d'identifier ce plan avec une faille, postérieure au métamorphisme principal de la région et antérieure à l'accident de Fond-de-France. Au Sud de cet accident on ne retrouve plus le même plan. Au Nord de l'Arc, ce plan paraît être déplacé.

Cette faille peut être soit une faille normale, ultérieurement renversée par fauchage dans sa position actuelle, soit une faille inverse, actuellement à peu près dans sa position originelle ; dans ce cas l'agent aurait été une poussée tangentielle de direction N 60 W agissant d'Ouest vers l'Est et ayant refoulé le socle au NW du plan sous le granite.

L'accident de Fond-de-France est un phénomène indépendant de l'existence antérieure de la faille de la bordure du granite. Par contre, cette faille pourrait éventuellement être un cas de « splay-faulting », associé au synclinal médian.

BIBLIOGRAPHIE

1. KALSBECK (F.) (1962). — Petrology and structural geology of the Berlanche-Valloire area (Thèse, Leiden).
2. DEBELMAS (J.) (1963). — Plissement paroxysmal et sur-  
rection des Alpes franco-italiennes (*T.L.G.*, 39).
3. DONDEY (D.) (1960). — Contribution à l'étude de la  
série cristallophyllienne et de la couverture sédi-  
mentaire de la chaîne de Belledonne méridionale  
(Dipl., *T.L.G.*, 36).
4. TOBI (A.C.) (1959). — Petrographical and geological  
investigations in the Merdaret-Lac Crop region (Bel-  
ledonne Massif) (*Leidse geol. Mededel.*, t. 24).
5. SARROT-REYNAULD (J.) (1965). — Style tectonique et  
morphologie de la bordure occidentale de la chaîne  
de Belledonne au Sud d'Allevard (*T.L.G.*, 41).
6. ANDERSON (E.M.) (1963). — The dynamics of fault-  
ing, etc. (Oliver et Boyd, Edinburgh-London).
7. BORDET (P.) (1963). — Déformations anciennes, récentes  
et actuelles dans les massifs cristallins externes des  
Alpes françaises (*T.L.G.*, 39).
8. BORDET (C.) (1964). — Recherches géologiques sur la  
partie septentrionale du massif de Belledonne (Impr.  
Nat., Paris).
9. RADELLI (L.) (1966). — New data on tectonics of  
bolivian Andes from a photograph by Gemini 5 and  
field knowledges (*T.L.G.*, 42).

Laboratoire de Géologie  
de la Faculté des Sciences de Grenoble  
(Institut Dolomieu).  
(Laboratoire de Géologie alpine associé au C.N.R.S.)

*Manuscrit déposé le 30 mars 1967.*