

SUR LES PORPHYROBLASTES
DE FELDSPATHS. QUELQUES REMARQUES SUR
LEUR SIGNIFICATION PETROGENETIQUE

par

M. ROUBAULT

Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques
Nancy

Au moment de prendre la parole, avant d'entendre, au cours des jours qui suivront, des communications de caractère essentiellement minéralogique, je tiens à bien expliciter l'esprit dans lequel a été rédigée la présente communication.

Il ne s'agit nullement d'une communication au cours de laquelle sont exposées des recherches personnelles nouvelles ; et ce n'est que de façon tout à fait fragmentaire que j'ai introduit quelques observations. Il ne s'agit pas davantage d'un rapport qui conclut dans un sens déterminé. Il s'agit uniquement d'un ensemble de remarques qui m'ont été suggérées par la lecture d'un assez grand nombre d'articles ou de mémoires.

Parallèlement, je m'excuse à l'avance auprès de mes confrères pour d'inévitables omissions dans la bibliographie à laquelle je me référerai. La matière, en effet, est considérable et je suis malheureusement presque certain d'avoir involontairement passé sous silence des mémoires intéressants.

I. Definition du terme porphyroblaste et exposé du problème

Le terme de porphyroblaste vient du rassemblement de deux expressions : Porphyre et Blaste.

Le terme de *Porphyre* (du grec « porphurites », pourpre) [1] est

[1] Par allusion à la couleur du « Porphyre rouge antique », des carrières de Haute Egypte.

traditionnellement appliqué à des roches qui montrent à l'oeil nu de grands cristaux dont la taille peut d'ailleurs être variable (de quelques millimètres à plusieurs centimètres) et qui se détachent sur un fond beaucoup plus finement cristallisé. Il s'agit donc là d'une expression d'esprit essentiellement *morphologique* sinon même géométrique et qui a dans tous les cas *un sens descriptif*.

Le mot *Blaste*, par contre, qui vient du grec *Blastos* (« germer ») implique a priori *une idée d'ordre génétique*. Et le terme de « Porphyroblaste » a été employé, semble-t-il, pour la première fois en 1903 par F. Becke pour désigner les grands cristaux de feldspaths qui existent dans certaines roches métamorphiques et donnent à ces roches une apparence porphyrique pouvant être ainsi comparée à celle des véritables porphyres plutoniques. Or dès l'origine, le mot de « Blaste » impliquait l'idée d'une croissance sur place.

Ceci dit, le seul fait qu'il existe dans une roche des grands et des petits cristaux, c'est-à-dire ce que l'on appellerait en statistique *deux populations différentes* de cristaux, implique a priori la succession d'au moins deux phases successives de cristallisation au cours de la genèse de la roche.

Dans le cas des véritables porphyres, les Pétrographes sont pratiquement unanimes à admettre qu'il y a eu effectivement deux temps de cristallisation, le premier temps correspondant aux gros cristaux ou phénocristaux (ceci prouvé par exemple par l'existence des quartz dits « quartz corrodés »), la genèse du deuxième temps — encore dénommé pâte — étant postérieure à la formation des gros cristaux.

Dans le cas qui nous occupe, le problème est différent et correspond à une situation inverse puisque nous serons amenés à conclure que les gros cristaux désignés sous le terme de « Porphyroblastes » sont au contraire de formation postérieure aux petits cristaux de la roche. Le terme de « Porphyroblaste », d'ailleurs, est appliqué dans le même sens à de nombreux autres cristaux que les feldspaths, par exemple les grenats, l'andalousite, etc. . . .

En pratique, et toujours relativement à l'emploi du mot « Porphyroblaste », un premier fait se dégage de la lecture des auteurs lorsqu'il s'applique à de gros cristaux, en particulier de feldspaths situés dans une roche métamorphique : il est admis, on peut dire par définition, que le développement de ces cristaux s'est opéré en milieu solide par une sorte de germination — conformément au sens étymologique du

mot « Blaste » — l'emploi du terme de « Porphyroblaste » étant alors restreint aux schistes cristallins (ex. Rinne (1928), Raguin (1957)).

Mais parallèlement, de très nombreux auteurs ont étendu l'emploi du terme aux gros cristaux des roches plutoniques qui leur donnent alors une apparence porphyrique (Ex. : F. J. Turner et J. Verhoogen (1960)).

En pratique, la terminologie traduit une certaine hésitation dans les esprits car certains auteurs réservent le mot « Porphyroblaste » (qui sous-entend à leurs yeux croissance dans le solide) aux roches cristallophylliennes, mais emploient le terme « Blastoporphorique » pour les roches plutoniques d'origine magmatique, sans pour autant remarquer que le fait d'avoir inversé l'ordre des éléments du mot n'a pas pour autant changé le sens ni l'idée impliquée dans le préfixe « Blaste ».

D'autres emploient également, de façon courante, l'expression de « feldspaths porphyriques » et j'ai même trouvé un auteur qui parle successivement et presque dans la même phrase de poeciloblastes d'orthose, de phénocristaux, de porphyroblastes et de phénoblastes.

En conclusion, et quelles que soient les restrictions apportées par certains auteurs à l'emploi du terme, j'ai donc cru pouvoir englober sous le terme de « porphyroblastes feldspathiques » l'ensemble de ce que l'on pourrait appeler, vulgairement parlant, *les gros cristaux de feldspaths* tels qu'on les observe couramment soit dans les schistes cristallins (ex. : gneiss ocellés), soit dans les roches grenues (ex. : les granites dits « à dents de cheval »), soit enfin dans les zones de bordure des roches grenues (ex. : sédiments feldspathisés situés à l'extérieur des massifs granitiques).

Par contre, j'ai pratiquement exclu des considérations suivantes les feldspaths des pegmatites. Cette coupure peut évidemment paraître artificielle et j'ai pleinement conscience des critiques qui peuvent m'être adressées, mais je pense malgré tout que du point de vue du Pétrographe, le « phénomène pegmatitique » avec ses filons si particuliers et ses cristaux énormes, correspond sinon à un autre phénomène, du moins à des conditions spéciales de genèse.

II. Caractères généraux des porphyroblastes

Les porphyroblastes tels que précédemment définis se présentent en règle générale sous la forme de gros cristaux dont les sections, plus

ou moins rectangulaires, ont couramment une longueur de plusieurs centimètres et même davantage.

Lorsqu'ils apparaissent dans un gneiss, ils possèdent volontiers une section ovoïde, caractéristique des gneiss dits « oeillés ». Lorsqu'ils apparaissent dans une roche granitique, ils sont disposés de façon quelconque, formant ainsi de larges taches claires qui confèrent à la roche son aspect porphyroïde ; assez fréquemment même, ils sont alignés en files parallèles qui donnent à l'ensemble un aspect plus ou moins gneissique. Quant aux porphyroblastes qui se trouvent à l'extérieur des massifs granitiques dans les zones de métamorphisme de contact présentant le phénomène dit de feldspathisation, ils sont soit disposés en ordre quelconque, soit parfois également alignés formant ce que certains auteurs (ex. Ch. Barrois (1884)) ont appelé depuis longtemps déjà, des filons moniliformes.

Tels qu'ils se présentent à l'oeil nu, les porphyroblastes offrent en outre, de façon quasi constante, la particularité de montrer, outre le chatolement courant provoqué par les mâcles, la présence d'un certain nombre d'inclusions étrangères constituées très souvent des mêmes minéraux ferro-magnésiens que ceux qui sont présents dans le fond de la roche. En outre, mais de façon moins constante, apparaît, visible même à l'oeil nu, un zonage caractérisé des sections de feldspaths.

La complexité de la composition et de la structure interne de ces porphyroblastes a été largement confirmée par toutes les études qui ont été faites au microscope, et ils ont été depuis de nombreuses années l'objet de multiples descriptions. Il ne saurait être question de les évoquer toutes. Quelques exemples seulement seront présentés et considérés comme caractéristiques.

Avant de les présenter, une remarque s'impose. On ne trouve pratiquement pas d'exemples de description de porphyroblastes faites indépendamment de considérations d'ordre génétique. En outre, les descriptions des porphyroblastes, et plus spécialement des feldspaths qui les constituent, sont évidemment beaucoup plus précises dans les dernières années, compte tenu des progrès récents sur les relations mutuelles de ces divers minéraux.

Au point de vue pratique, je présenterai ces quelques observations types dans l'ordre suivant :

- Porphyroblastes de gneiss,
- Porphyroblastes de granite,

Porphyroblastes situés dans les zones de contact
des massifs granitiques.

1°) *Porphyroblastes de Gneiss*

Il s'agit là des porphyroblastes répondant exactement à la définition d'origine. Un exemple caractéristique a été présenté par N. Oulianoff (1932) et correspond à des gneiss ocellés des massifs du Grand St-Bernard. Les yeux de ces gneiss ont des tailles variables, pouvant atteindre 10 cm ; ces yeux sont enrobés dans un micaschiste à grain fin.

L'auteur insiste sur le fait que les inclusions très nombreuses qui se trouvent à l'intérieur des cristaux de feldspaths ne sont pas toujours des minéraux isolés, mais que l'on trouve aussi, inclus dans les feldspaths, des morceaux de roche, de schistes micacés, de schistes à épidote et à sphène qui sont pris dans la masse feldspathique. Ces débris de roches conservent encore leur schistosité et sont souvent alignés, en traînées parallèles à la schistosité de la masse qui enveloppe les « feldspaths géants ».

« Ici », dit l'auteur, « on est donc en présence des restes de schistes qui n'ont pas été résorbés par les cristaux de feldspath. Ces derniers ne pouvaient pas repousser, rejeter toutes ces impuretés, le réseau cristallographique enjambait, pour ainsi dire, ces obstacles. En effet, l'orientation cristallographique des feldspaths géants reste invariable autour de ces inclusions ». On se trouve donc dans ce cas, en présence de feldspaths dont la genèse in situ est incontestable.

Le même auteur a décrit dans les schistes lustrés du Val Ferret (Oulianoff (1953)) des feldspaths néogènes mais sous forme de cristaux plus petits (quelques millimètres seulement) ; il s'agit de cristaux de plagioclases du Groupe albite-oligoclase (5 à 15% d'anorthite) qui sont traversés de part et d'autre par des particules charbonneuses disposées en alignements qui se poursuivent à l'extérieur du feldspath.

La description est caractéristique : « Pendant la formation et la croissance des cristaux de feldspaths, ces derniers ont utilisé partiellement le matériel qui se trouvait sur place (la chaux de la calcite, l'alumine et la silice de l'argile). Mais, incapables de « digérer » le matériel charbonneux, ils l'ont enjambé en laissant intacte la structure des lits charbonneux ».

Examinant en outre l'origine possible des alcalins nécessaires pour

la formation de ces cristaux de feldspaths, l'auteur pense qu'il est inutile d'évoquer « obligatoirement l'intervention d'un foyer magmatique ». Ces alcalis peuvent parfaitement provenir de l'eau salée qui originellement imbibait tous les sédiments marins.

Une autre étude de porphyroblastes gneissiques est due à Ch. Exner (1951) et porte sur des cristaux de microcline à *inclusions hélicitiques* près de Badgastein dans les Hohe Tauern. Pour lui, le fait important est l'existence d'inclusions hélicitiques dans le feldspath potassique aussi bien que dans l'albite. Il est catégorique quant à la signification qui doit être attribuée aux inclusions qu'il désigne sous le nom de « structures reliques internes ». Ch. Exner (1951) décrit en outre des « holoblastes de microcline » également à inclusions *dans la roche encaissante* du gneiss de Badgastein.

Dans le Massif Central Français, J. JUNG en 1949 décrit de façon précise les porphyroblastes de feldspath de Bort les Orgues. Il y distingue plusieurs variétés de microcline, décrit une micropertithe avec facules d'albite « orientées sur le réseau du feldspath potassique » et conclut catégoriquement à la formation de ces porphyroblastes par une métasomatose complexe comprenant les stades successifs suivants :

- a) Cristallisation des yeux de microcline (microcline sodique) ;
- b) Exsolution de la micropertithe ;
- c) Cristallisation du microcline quadrillé et de l'albite du fond granoblastique. Albitisation du microcline.
- d) Formation de l'albite en veinules.

Pour J. Jung (1949) également, la formation in situ des porphyroblastes ne fait pas de doute ; elle correspond à un apport potassique qu'il interprète dans un sens hydrothermal en utilisant en particulier les résultats obtenus par J. Wyart (1947) et T. E. Gillingham (1948).

G. Frasl, en 1954, a présenté dans un mémoire les « Indices de croissance des gros feldspaths potassiques de quelques granites porphyriques, de gneiss granitiques porphyriques et de gneiss oillés d'Autriche sous des conditions de fusion liquide et de température élevée (« Anzeichen schmelzflüssigen und hochtemperierten Wachstums an den grossen Kalifeldspaten einiger Porphyrg Granite, Porphyrg granite und Augengneise Österreichs »). Il s'agit là d'un important travail contenant des descriptions intéressantes et très précises, mais qui présente le grave inconvénient d'avoir été écrit avec une idée

préconçue évidente ainsi que le montre la première phrase du résumé donné par l'auteur lui-même : « En contradiction des descriptions microscopiques de porphyroblastes, de feldspaths potassiques qui sont aujourd'hui de plus en plus — effectuées dans l'optique de l'importance d'une phase hydrothermale au cours de la genèse du granite, ou encore dans l'optique des granitisations (transformations) par voie sèche ou humide — ce qui conduit à des *températures de formation basses* — nous chercherons ici à rassembler toutes les caractéristiques de ces porphyroblastes, qui pourraient indiquer l'existence d'une phase au moins en partie fondue au cours de leur formation ».

Du travail de G. Frasl (1954) et au point de vue descriptif, nous retiendrons néanmoins en ce qui concerne le gneiss, de belles descriptions, dans des feldspaths potassiques, d'inclusions de plagioclases orientés parallèlement aux directions cristallographiques principales des porphyroblastes, la coexistence dans une même section de microcline quadrillé ou non, de structures zonées (Pl. IX et X), de structures zonées oscillantes, parfois avec de nombreuses inclusions, en particulier de quartz.

À une date plus récente enfin, G. Guitard (1953, 1955, 1960), en plusieurs mémoires successifs, a présenté les caractéristiques des porphyroblastes de divers gneiss des Pyrénées, associés d'ailleurs étroitement à des granites, comme le sont les gneiss décrits par G. Frasl 1954. Ses travaux confirment, sur des cas décrits avec une extrême minutie, la complexité des porphyroblastes feldspathiques : présence de feldspaths alcalins et de plagioclases, les uns et les autres pouvant être réunis ou pouvant être présents seuls dans un même porphyroblaste, présence très fréquente mais non obligatoire de microperthites dans les feldspaths alcalins, coexistence possible de microcline « quadrillé » ou non (décrit parallèlement par G. Frasl (1954)), albitisation possible du plagioclase dans le cas de porphyroblastes plagioclasiques, cette albitisation rare n'ayant jamais l'importance de celle du feldspath potassique, présence de « gouttes de quartz » dans les plages d'oligoclase, etc... Et il ajoute :

« Comme les feldspaths potassiques, les plagioclases peuvent être chemisés et envahis par un agrégat d'albite et de microcline « quadrillé ».

Les porphyroblastes renferment souvent des inclusions de minéraux de la mésostase qu'ils ont englobés au cours de leur croissance : quartz,

biotite surtout, oligoclase parfois. Les inclusions de biotite et de plagioclase sont souvent séparées par un liseré quartzeux.

G. Guitard, comme les auteurs précédents, considère donc la croissance *in situ* des porphyroblastes des gneiss des Pyrénées orientales comme un fait acquis.

2°) *Porphyroblastes des Granites*

Dans le cas des granites et suivant les auteurs, la description des porphyroblastes conduit à des interprétations de tendance évidemment différente.

Un bon point de départ pour leur connaissance est en tout état de cause le Mémoire désormais classique de F. K. Drescher-Kaden (1948) sur : « Die Feldspat-Quarz-Reaktionsgefüge der Granite und Gneise ». Ainsi un porphyroblaste de microcline (Figure 24, p. 51) nous montre de multiples inclusions de biotite du fond microcristallin de la roche et les figures 25 et 26 présentent de très beaux exemples d'inclusions de plagioclase, soit dans du microcline soit dans une sanidine. Dans le premier cas, la figure montre que les inclusions de plagioclase peuvent être ou non orientées parallèlement aux plans cristallographiques du minéral hôte. Et le même Mémoire abonde en figures montrant des structures de corrosions diverses, soit en bordure, soit à l'intérieur de porphyroblastes.

B. M. Koupletzky (1946) décrit des granites porphyroïdes du Moyen Oural montrant de nombreux et grands porphyroblastes de feldspaths potassiques, principalement à proximité d'enclaves plus mélanocrates, les porphyroblastes apparaissant non seulement dans le granite, mais dans les enclaves. Il s'agit de grands cristaux de microcline montrant une grande quantité de minéraux en inclusions, surtout à la périphérie (biotite, quartz, plagioclase, etc...). D'autre part, dans la même roche, certains cristaux de plagioclases montrent des couronnes de microcline. L'auteur conclut dans le sens d'une métasomatose potassique qui, seule, peut entraîner « la formation des grands cristaux, manifestation plus tardive que celle du granite même ».

C'est dans un sens tout à fait comparable que Tom F. W. Barth expose en 1947 les caractéristiques du « Birkeland granite, a case of petroblastesis ».

Par contre, S. J. Shand (1949) aboutit à des conclusions opposées

en faisant en 1949 l'«History of a Feldspar Crystal». Il décrit un gros porphyroblaste du granite de Table Mountain (Cape Town) dont le coeur est de microcline et la périphérie de plagioclase. Le coeur d'ailleurs contient «a few idiomorphic inclusions of plagioclase» et l'auteur poursuit en parlant de ces inclusions : «These are so small, in relation to the granite microcline, that one can hardly doubt that microcline began to grow first. There are also some problematic inclusions of quartz intergrown with biotite ; these may be fragment of country rocks but one cannot be sure of this, and the point is unimportant ».

Et il conclut dans le sens de la croissance du microcline en milieu liquide, son principal argument résidant dans le fait que seuls les porphyroblastes de microcline de grande taille sont entourés par du plagioclase. Les petits cristaux de microcline au contraire, très nombreux, ne portent pas trace de ce phénomène. Par conséquent, les gros porphyroblastes devaient exister avant que le reste de la roche ne cristallise. Examinant en outre la présence des porphyroblastes dans les roches encaissantes, il les explique par l'existence de solutions liquides circulant au sein de ces roches.

S. J. Shand (1949) ne dissimule d'ailleurs pas qu'il est en contradiction avec F. Walker et M. Mathias (1947) qui ayant examiné les porphyroblastes de même granite ont conclu à une genèse postérieure à la formation du granite en invoquant la comparaison qui doit être faite entre ces porphyroblastes et des cristaux *identiques* présents dans la migmatite située au contact : « . . . , since the large microclines in the migmatite obviously grew in a solid matrix, the similar crystals in the granite must have grown at the same time and under similar conditions ».

L'étude des granites de Trancoso au Portugal (A Study in Microclinization) due à L. J. G. Schermerhorn (1956), contient une très bonne description de porphyroblastes, description conduite d'ailleurs dans un sens comparable au travail déjà cité de G. Frasl (1954). L'auteur y décrit avec soin de grands cristaux de microcline avec de nombreuses inclusions de plagioclases corrodés, certaines de ces inclusions étant non orientées, les autres par contre étant alignées parallèlement aux plans cristallographiques principaux du minéral hôte — observation faite par d'autres auteurs (Drescher-Kaden (1948), Frasl (1954), Guitard (1955), etc. . . .). Pour lui, cette orientation a

une importance considérable et abandonnant le style descriptif, il écrit : « *The orientation of inclusions of older minerals in microcline is definitely a magmatic texture* »... sans d'ailleurs expliquer pourquoi cette texture est « definitely » magmatique. Il décrit parallèlement des structures zonées.

Vladi Marmo (1956) dans un article général « On the emplacement of granites » aborde également le problème des porphyroblastes et à côté de considérations théoriques générales, présente la description de trois stades successifs de croissance de cristaux de microcline dans un granite de Sierra Seone :

1. Microcline remplissant des interstices de la roche,
2. Microcline formant de petites veines dans le granite,
3. Microcline remplaçant le plagioclase.

Il précise en outre que dans tous les cas de granites porphyroblastiques qu'il a examinés, le microcline des porphyroblastes est incontestablement plus jeune que la matrice (mésostase).

Parmi d'autres descriptions d'auteurs, nous citerons également N. D. Znamensky (1954) en U.R.S.S. et J. Burchart (1957) en Pologne. Le premier abordant « Le phénomène de la formation des microclines dans les massifs de granodiorites de la formation Gabbro-Peridotique de l'Oural » conclut au remplacement métasomatique du plagioclase par un feldspath potassique ; le remplacement s'observe soit à la périphérie des grains de plagioclase, soit sous forme de taches dans les parties centrales. J. Burchart (1957) dans une Note intitulée : « *The metamorphic origin of the granite of Mount Jawornik (Lower Silesia)* » montre avec photographies à l'appui que les porphyroblastes de plagioclases qu'il a observés résultent de la recristallisation d'une mylonite à l'état solide, ce phénomène étant suivi d'une feldspathisation potassique.

Enfin, l'auteur mentionnera simplement pour mémoire les diverses descriptions et microphotographies de porphyroblastes avec inclusions diverses que R. Perrin et lui ont publiées dès 1939 et qui sont un élément de plus à l'appui des autres descriptions. Il a observé en outre de nombreux échantillons qui montrent des cas particulièrement nets de répartition des minéraux ferromagnésiens à l'intérieur de porphyroblastes de granites français (Vosges et Massif Central).

3°) *Porphyroblastes dans les roches encaissantes.*

La présence, dans les roches encaissantes, de porphyroblastes en tous points comparables à ceux granite voisin est un fait connu depuis longtemps. Ch. Barrois en 1884 montre à Rostrenen, en Bretagne, la présence de gros cristaux d'orthose isolés dans les schistes micacés à l'extérieur d'un massif de granite à « dents de cheval » et identiques aux porphyroblastes du granite lui-même ; de même, Auguste Michel Levy (1893), dans son étude du granite de Flamanville, montre, dans les enclaves, l'importance « de grands cristaux d'orthose, identiques à ceux qui prêtent parfois une apparence porphyroïde aux granites ». J. de Lapparent (1932), observant le même phénomène à propos d'un granite Rapakivi, écrit aussi sous une forme imagée : « On dirait que le granite envoie ses cristaux dans ses contacts ».

Depuis, comme pour les porphyroblastes du granite ou du gneiss, le même fait a été constaté en de nombreux points.

A titre d'exemple, nous citerons l'étude de D. L. Reynolds (1943) sur la granitisation des sédiments transformés en cornéennes à la périphérie de la granodiorite de Goragghwood Quarry. Elle y décrit entre des porphyroblastes de plagioclases parfois zonés montrant un « oscillatory zoning » et contenant à la périphérie soit des inclusions de quartz (rounded blebs), soit des couronnes de biotite dont l'auteur dit : « These porphyroblasts are rimmed by biotite which has evidently been swept aside during the growth of the porphyroblasts ». L'auteur décrit également la présence de microcline dont il dit : « The microcline has clearly developed porphyroblastically ». Et la conclusion de ce Mémoire très détaillé est incontestablement dans le sens d'une formation métasomatique.

Une étude de G. E. Goodspeed (1937) sur le développement des porphyroblastes de plagioclase dans les Hornfels de la Cornucopia Area au NE de l'Oregon montre l'existence, dans ces porphyroblastes, de nombreuses reliques du matériel constituant le sédiment, ainsi que l'existence d'un « zoning » pour des feldspaths nés incontestablement dans un milieu solide. L'auteur conclut dans le sens d'une formation au bénéfice de la circulation de solutions hydrothermales.

De ces études enfin, nous pensons qu'il est possible de rapprocher les porphyroblastes observés « à cheval » sur la limite de roches différentes, en particulier de la limite granite-enclave, granite-filons

d'aplite. R. Perrin et moi-même en 1939 avons longuement commenté l'importance qui s'attache à ces observations. H. H. Read (1957) a, depuis, repris et développé l'intérêt que présentent ces porphyroblastes particuliers et montré, comme nous l'avions fait antérieurement, l'impossibilité devant laquelle on se trouvait d'admettre que ces porphyroblastes aient été pour une fraction engendrés dans un magma liquide et pour l'autre fraction dans une roche incontestablement solide, tout en ayant à leurs deux extrémités des propriétés rigoureusement identiques. Et il ajoute : « I am tempted to remark, as the Duke of Wellington did on another occasion that if one can believe this, one can believe anything! ».

La même idée est exprimée dans les arguments donnés par F. Walker et M. Mathias (1947) pour expliquer la genèse des porphyroblastes du granite de Table Mountain (Cape Town) et cités ci-dessus à propos d'une description de S. J. Shand (1949).

III. Remarques et essai de conclusion

De cet aperçu, au demeurant très partiel, de quelques travaux caractéristiques sur les porphyroblastes feldspathiques, on peut déduire tout d'abord une série de faits principaux :

1°) Grande diversité dans la composition et la structure des feldspaths. Les plagioclases sont présents aussi bien que les feldspaths potassiques ; néanmoins une importance très grande doit être attribuée à la présence du microcline quadrillé ou non, avec ou sans microperthite. Observés à l'oeil nu, les cristaux sont limités par des faces nettes mais leur bordure observée au microscope montre qu'ils sont engrenés avec les minéraux du fond de la roche.

2°) Présence quasi constante d'inclusions, soit de plagioclases dans le microcline, soit, dans tous les cas, de micas ou de quartz.

Les inclusions de plagioclases sont parfois orientés parallèlement aux plans cristallographiques du minéral hôte, mais ce fait n'est pas constant.

Par contre, et de façon très générale les inclusions ont les bords corrodés ; en outre, les inclusions de minéraux ferromagnésiens et de quartz, et même de plagioclases, correspondent à des minéraux de la mésostase. Fréquemment on observe de plus, côte à côte, plusieurs inclusions d'un même minéral orientées de façon rigoureuse dans la

même direction et qui sont des fragments d'un même cristal « digéré » sur place et remplacé par le feldspath.

3°) Existence assez fréquente de zonations dans les feldspaths avec même alternance de zones plus ou moins riches en anorthite (oscillatory zoning).

4°) La répartition des inclusions de minéraux ferromagnésiens est variable ; elle est, soit quelconque, soit avec formation de groupements centraux ou périphériques, ces groupements pouvant dans le second cas prendre l'aspect d'une véritable couronne parallèle aux bords du feldspath.

5°) Fait très important, tous ces caractères se retrouvent *indistinctement* dans les porphyroblastes situés dans les gneiss, les granites ou les sédiments métamorphisés qui entourent ces derniers.

A ce titre une mention spéciale doit être attribuée à une étude récente de G. Guitard (1960) qui a déterminé avec soin à l'aide de Rayons X le degré de triclinisme des porphyroblastes de roches très variées des Pyrénées axiales orientales, gneiss, granites profonds et granites récents à bords circonscrits. Or, cette étude montre que dans tous les cas on trouve ensemble des microclines à fort triclinisme et de véritables orthoses. Une évaluation statistique n'a pas permis de mettre en évidence des groupements séparant en particulier les porphyroblastes des gneiss de ceux des granites. L'auteur conclut, par contre, dans le sens d'une genèse à des températures donc à des profondeurs variables, ceci aussi bien pour les gneiss que pour les granites.

Du point de vue génétique, que peut-on déduire des propriétés intrinsèques des porphyroblastes ? De façon plus précise, quelles sont les propriétés qui sont susceptibles d'orienter le Pétrographe soit vers une origine magmatique, soit vers une naissance métasomatique.

I. La structure même des feldspaths, avec toute leur complexité interne, me paraît poser plus de questions que fournir de solutions. Il est simplement logique de penser que les études de ces dernières années sur ces minéraux permettent d'expliquer certaines des particularités observées, par exemple par le jeu d'exsolutions ou de transformations sous l'influence de variations de température, avec ou sans présence d'eau sous pression et cela sans recourir à la fusion.

2. L'alignement particulier d'inclusions de plagioclases parallèlement aux directions cristallographiques principales du minéral hôte — fait d'ailleurs non constant — ne paraît pouvoir être considéré comme

un critère en faveur d'une origine magmatique certaine, contrairement à l'opinion de Schermerhorn (1956). La naissance ou la disparition possible de ces inclusions de plagioclases dans un fond de microcline entre dans le cadre général des phénomènes conduisant à la formation ou à la disparition des perthites, et ces phénomènes n'ont rien d'obligatoirement magmatique.

3. L'existence d'une zonation des feldspaths est également un critère qui joue en faveur d'une genèse métasomatique. Outre les multiples objections auxquelles se heurtent les théories magmatiques mises en avant pour expliquer cette zonation, un Mémoire très pertinent de J. M. Fuster et E. Ibarrola (1956), a montré que la zonation des feldspaths avec ou sans « oscillatory zoning » pouvait exister aussi bien dans des feldspaths de laves que dans ceux de gneiss, ou même dans des feldspaths situés dans des enclaves énallogènes, et correspondait à un phénomène postérieur à la naissance des cristaux. Comme pour les autres propriétés intrinsèques des feldspaths, il s'agit donc là d'une propriété générale de ces minéraux, qui ne joue certainement pas en faveur d'une origine directement magmatique. Ces auteurs concluent d'ailleurs dans un sens nettement « métamorphiste », avec existence de diffusions d'éléments en milieu solide.

4. Il reste le problème des inclusions des minéraux ferromagnésiens, problème qui a notre sens n'a pas suffisamment retenu l'attention des auteurs, ceux-ci se bornant le plus souvent à y voir, sans plus, et comme pour les gouttes de quartz, des reliques de la mésostase englobées dans les porphyroblastes et non complètement digérées.

Bien entendu nous laisserons entièrement de côté la remarque, au moins étonnante, de S. J. Shand (1949), pour lequel le fait que certaines de ces inclusions — ainsi d'ailleurs que celles de quartz — puissent être des reliques de minéraux de la mésostase, est « sans importance » !

Or, si l'on prend par exemple le cas des couronnes régulières de biotite qui existent à la périphérie de certains cristaux, il est tout-à-fait impossible de les expliquer dans l'hypothèse magmatique, au moins telle qu'elle fut initialement exprimée. Il suffit en effet de songer que l'un des fondements de cette théorie est la formation des feldspaths après précipitation des minéraux ferromagnésiens, le liquide surnageant étant alors uniquement quartzofeldspathique. Comment expliquer alors qu'après naissance d'un coeur feldspathique, précipitent à sa

périphérie, au sein d'un liquide qui n'en contient plus les éléments, des minéraux qui requièrent la présence de ces mêmes éléments. Là comme pour la formation des feldspaths zonés, il paraît difficile d'échapper à la nécessité de diffusion d'éléments au sein d'une masse solide, et cela quel que soit le mécanisme même du transport de ces éléments (diffusion ionique, pore solutions, films intergranulaires, etc....).

En dehors des propriétés propres aux feldspaths, il demeure enfin le problème de leur environnement géologique, et ceci nous paraît *essentiel*. Comme nous l'avons vu, on les trouve d'abord identiques dans leur diversité, dans les gneiss, dans les granites et dans les sédiments feldspathiques, hornfels ou autres, à la périphérie des massifs granitiques. Et les séparer les uns des autres revient à mettre une coupure tout-à-fait artificielle là où, de toute évidence, la nature n'en a mis aucune.

Or, dans les gneiss et dans les sédiments feldspathiques il est *impossible* de nier la naissance *in situ*, *en milieu solide*, de ces porphyroblastes, la « blastèse » au sens littéral du mot est là incontestable. Que dire aussi des porphyroblastes à cheval sur les bordures d'enclaves ou sur les bords de filons d'aplite.

L'étude de l'environnement des porphyroblastes conduit ainsi à envisager un aspect du problème qui, dans l'avenir, devra retenir avec force l'attention de chercheurs, celui de l'établissement du *bilan géochimique* auquel correspond l'apparition des porphyroblastes, aussi bien dans le cas des roches métasomatiques que dans le cas roches plutoniques. Déjà des tentatives tout-à-fait valables ont été faites dans ce sens, (Doris Reynolds (1943), K. R. Mehnert (1957)); mais aussi intéressantes soient-elles, elles ne sont que fragmentaires. Je pense par exemple à l'intérêt qui pourrait être attaché à la recherche parallèle de la composition chimique moyenne de roches voisines — avec ou sans porphyroblastes — recherche portant sur des masses de l'ordre de grandeur d'une tonne ou davantage, et qui seules permettront d'avoir une idée de l'importance — sinon même de la réalité — d'un apport dont l'ampleur est encore trop souvent plus ou moins entachée de mystère. Il est également une autre question importante à laquelle nul n'a encore répondu et qui est probablement, au moins en partie, en liaison avec le bilan géochimique : Quels sont les facteurs qui provoquent la naissance d'un porphyroblaste en un point donné et qui, de plus, permettent d'expliquer l'apparition maintes fois observée,

d'alignements ou même de groupements de cristaux en associations parallèles. Ne serait-ce pas l'existence antérieure suivant une répartition d'origine sédimentaire, et cela même dans des granites, de zones contenant les éléments chimiques nécessaires à cette genèse.

Je pense également à la systématisation sur les massifs granitiques de recherches du genre de celles de K. R. Mehnert (1949, 1957) sur les alcalins des granites de la Forêt Noire ou de celles que de la Roche et moi-même avons entreprises dans les Pyrénées Centrales, recherches devenues aujourd'hui relativement aisées grâce à la mise en oeuvre des méthodes modernes rapides d'analyse chimique.

Car à bien prendre, le problème de la genèse des porphyroblastes est, comme cela a été déjà souligné par bien des auteurs, inséparable de l'étude de la genèse des roches qui les contiennent — et en premier lieu du granite.

* * *

Telles sont les quelques idées que m'ont suggérées la lecture d'un certain nombre de mémoires sur le passionnant et toujours actuel problème des porphyroblastes feldspathiques.

Au cours des journées qui vont suivre, nos collègues minéralogistes apporteront certainement aux pétrographes des éléments nouveaux sur la nature et les propriétés des feldspaths. Puissent-ils, en tout cas, ne pas oublier que dans l'écorce terrestre, ce n'est que dans des cas *exceptionnels* qu'un minéral peut être considéré indépendamment de son contexte naturel, c'est-à-dire du milieu formé par les autres minéraux ou les roches qui l'entourent. Personnellement, je pense depuis des années que les porphyroblastes correspondent, dans les granites comme ailleurs, à une « blastèse » en milieu solide et qu'ils sont postérieurs à la formation de la roche qui les contient ; et la littérature scientifique que j'ai lue et relue au cours de ces récentes semaines n'a fait que me confirmer dans cette opinion.

Mais, avouerai-je qu'en dépit des progrès considérables faits par la science des feldspaths au cours des récentes années, le pétrographe pense que le poids des arguments géologiques est largement comparable, sinon même parfois supérieur, au poids des arguments minéralogiques ce qui ne me fait pas le moins du monde minimiser la valeur de ceux-ci ; car ce n'est pas sans satisfaction que j'ai lu sous la plume de J. Wyart et G. Sabatier (1956) en conclusion de l'expérience qui leur a permis la reproduction, en présence d'eau sous pression, du

microcline et de l'albite, une phrase dans laquelle ces auteurs soulignent que les réactions d'échanges qui les ont conduit à ce résultat important « *sont typiquement des réactions à l'état solide* ».

Tant et si bien que pour clore ces pages, je dois exprimer mes remerciements sincères à mon ami Tom F. W. Barth puisque je lui dois le choix du sujet que je viens d'effleurer devant vous.

Lorsqu'il y a plus de trente ans j'étais étudiant, j'apprenais à la Sorbonne le dogme de la genèse du granite issu *directement dans son état actuel* de la consolidation en profondeur d'un magma fondu. Depuis, bien des auteurs ont montré la fragilité de ce dogme et, parmi eux, René Perrin et moi-même (1939) — parfois taxés d'extrémistes — ce qui ne nous émeut nullement — avons défendu l'idée de la granitisation dans le solide sur la base de faites d'observations incontestables et en émettant l'hypothèse de diffusions à travers les réseaux cristallins. Les progrès de la Science apporteront sans doute et apportent chaque jour des faits nouveaux sur le mécanisme encore bien mal connu d'échanges de matières qui, eux, sont une réalité absolue.

Quoi qu'il en soit et relativement à la naissance possible de cristaux, donc à la genèse de roches dans un milieu solide, ce n'est certainement pas la présente incursion au domaine des porphyroblastes de feldspaths qui me fera changer d'avis.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIS, CH. (1884): Le granite de Rostrenen, ses apophyses et ses contacts. Ann. Soc. Géol. Nord, t. XII, pp. 1.
- BARTH, TOM, F. W. (1947): The Birkeland granite, a case of petroblastesis. C. R. Soc. Géol. de Finlande, n° XX, (1940), pp. 173.
- BECKE, F. (1903): Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. C. R. Cong. Géol. Internat., Vienne, IX, 570.
- BURCHART, J. (1957): The metamorphic origin of the granite of Mount Jawornik (Lower Silesia). Bull. Ac. Polonaise Sci., Cl. III, vol. V, n° 5, pp. 555.
- DRESCHER-KADEN, F. K. (1948): Die Feldspat-Quartz-Reaktionsgefüge der Granite und Gneise und ihre genetische Bedeutung. Miner. und Petr. in Einzeldarstellungen, pp. 1.
- EXNER, CH. (1951): Mikroklinporphyroblasten mit helizitischen Einschlusszügen bei Badgastein. Beitr. zur Kenntnis der Zentralgneisfazies, V. Teil. Tschermaks Miner. und Petro. Mitt., 3. Folge, Bd. II, H. 3, pp. 355.
- FRASL, G. (1954): Anzeichen schmelzflüssigen und hochtemperierten Wachstums an den grossen Kalifeldspathen einiger Porphyrg Granite, Porphyrg granitegneise und Augengneise Österreichs. Extr. de Arbeiten zur Geologie der Zentralalpen und

- des Kristallins in Österreich. *Jahrb. der Geol. Bundesanstalt*, Bd. XCVII, H. 1, pp. 71 et suiv.
- FUSTER, J. M., IBARROLA, Y. (1956): Una nueva interpretacion de las estructuras zonales en las plagioclasas. Extr. tercera Reunion Internacional Sobre Reactivida de los Solidos, Madrid, pp. 391.
- GILLINGHAM, T. E. (1948): Solubility of silice and others volatiles in steam. *Econ. Geol.*, t. XLIII, p. 241.
- GOODSPEED, G. E. (1937): Development of plagioclase porphyroblasts. Extr. de *The American Mineralogist*, *Journ. of the Miner. Soc. of America*, Vol. XXII, n° 12, Part. 1, pp. 1133.
- (1959): Some textural features of magmatic and metasomatic rocks. *Amer. Mineralogist*, Menasha, vol. XXXXIV, n° 3-4, pp. 211.
- GUITARD, G. (1953): La structure de Massif du Canigou. Aperçu sur le métamorphisme régional dans la zone axiale des Pyrénées Centrales. (Note préliminaire). *Bull. Soc. Géol. de France*, 6è sér., t. III, pp. 907.
- (1955): Sur l'évolution des gneiss des Pyrénées. *Bull. Soc. Géol. de France*, 6è sér., t. V, pp. 441.
- GUITARD, G., RAGUIN, E., SABATIER, G. (1960): La symétrie des feldspaths potassiques dans les gneiss et les granites des Pyrénées Orientales. *Intern. Geol. Congr.*, Report of the twenty-first Session Norden, Part. XIV, The granite-gneiss problem, pp. 207.
- JUNG, J. (1949): Les gneiss oeilés de Bort-les-Orgues (Corrèze). *Ann. HEBERT et HAUG*, livre jubilaire Charles JACOB, t. VII, pp. 223.
- KOUPLETZKY, B. M. (1946): Sur la formation de quelques granites porphyroïdes du Moyen Oural. *Ac. Sci. de l'U.R.S.S.*, livre jubilaire de l'académicien D. S. BELIANKINE, pp. 209.
- LAPPARENT, J. (de) (1932): Courses géologiques en Finlande. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 5è sér., t. II, pp. 145.
- MARMO, V. (1956): On the emplacement of granites. *Amer. J. Sci.*, t. 254, n° 8, pp. 479.
- MEHNERT, K. R. (1949): *Begriffserläuterungen zur angewandten Nomenklatur im kristallinen Grundgebirge*. Extr. HOENES, MEHNERT-SCHNEIDERHÖHN, Führer zu Petrog. *Geol. Exkurs. im Schwarzwald und Kaiserstuhl*.
- (1957): Petrographie und Abfolge der Granitisation im Schwarzwald. *N. Jb. Miner., Abh.* 90, 1, pp. 39 — *N. Jb. Miner., Abh.* 85, 1, 59.
- MICHEL-LEVY, A. (1893): Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, n° 36, t. V, pp. 1.
- OULIANOFF, N. (1932): Une contribution à la connaissance des gneiss oeilés. *Ed. Géol. Helv.*, vol. XXV, pp. 23.
- (1953): Felspaths néogènes dans les « Schistes lustrés » du Val Ferret. *Bull. des Labor. de Géol., Minér., Géophys.*, et du Musée Géol. de l'Univ. de Lausanne, n° 106, pp. 1.
- PERRIN, R., ROUBAULT, M. (1939): Le granite et les réactions à l'état solide. *Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie*, 5è sér., n° 4, pp. 1.
- RAGUIN, E. (1957): Géologie du granite. 1 vol., pp. 1.
- READ, H. H. (1957): The granite controversy. 1 vol., pp. 1.

- REYNOLDS, D. L. (1943): Granitisation of hornfelsed sediments in the newry granodiorite of Goragghwood Quarry, CO. Armagh. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, v. XLVIII, Sect. B, n° 11.
- RINNE, F. (1928): *La Science des Roches*. pp. 1, 559 fig.
- SCHERMERHORN, L. J. G. (1956): The Granites of Trancoso (Portugal): A study in microclinization. *Amer. Journ. of Sci.*, vol. 254, pp. 329.
- SHAND, S. J. (1949): History of a Feldspar Crystal. *Bull. Geol. Soc. of America*, vol 60, pp. 1213.
- TURNER, F. J., VERHOOGEN, J. (1960): Igneous and metamorphic petrology. *Intern. series in the Earth Sciences*, sec. edition, pp. 1, 115 fig.
- WALKER, F., MATHIAS, M. (1947): The petrology of two granite-slate contacts at Cape-Town, South Africa. *Geol. Soc. London, Quart. Jour.*, vol. CII, p. 499.
- WYART, J. (1947): Solubilité de la potasse dans la vapeur d'eau et cristallisation de la silice amorphe. *Bull. Soc. Fr. Min.*, t. LXX, p. 325.
- WYART, J., SABATIER, G. (1956): Mobilité des ions alcalins et alcalinoterreux dans les feldspaths. *Bull. Soc. Fr. Min. et Crist.*, LXXIX, pp. 444.
- (1956): Transformations mutuelles des feldspaths alcalins. Reproduction du microcline et de l'albite. *Bull. Soc. Fr. Min. et Crist.*, LXXIX, pp. 574.
- ZNAMENSKY, N. D. (1954): Sur le phénomène de la formation des microclines dans les massifs des granodiorites de la formation gabbropéridotite de l'Oural. *C.R. Ac. Sc. URSS*, t. XCVIII, n° 6, p. 1027 (trad. par V. KOVENKO, *Serv. Carte géol.*, Algérie, Alger, 1959, doc. n° 55, 4 p. ronéo).