

001143

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 321, série II a,
p. 369 à 376,
1995

Origine des rubanements dans les granitoïdes : exemple du monzogranite de Brignogan-Plouescat (NW du Massif armoricain)

Dominique Gasquet, Angel Fernandez, Cécile Mahé et Anne-Marie Boullier

Résumé Trois injections tonaliques à granodioritiques se sont dispersées dans le monzogranite de Brignogan-Plouescat alors qu'il était à des stades rhéologiques différents. La première de ces injections, produite quand le magma granitique était peu cristallisé, est à l'origine de rubanements par mélange diffusif et mécanique. Les deux autres injections ont conduit à la formation d'essaims d'enclaves dans le magma, dont le taux de cristallisation augmentait progressivement.

Mots-clés : Rubanements, Enclaves, Injections, Brignogan-Plouescat, Massif armoricain.

Abstract **Origin of banding in granitoids: example of the Brignogan-Plouescat monzogranite (NW of the Armorican Massif)**

Three injections of a tonalitic to granodioritic magma have been dispersed into the Brignogan-Plouescat monzogranite at three different stages of its rheological evolution. The first injection occurred when the rate of crystallization of the monzogranitic magma was low and produced bandings by diffusive and mechanical mixing. The two following injections led to the formation of enclave swarms in the monzogranitic magma in which crystallization was progressing.

Keywords: Banding, Enclaves, Injections, Brignogan-Plouescat, Armorican Massif.

**Abridged
English
Version**

GRANITOIDS generally display planar and irregular mineralogical discontinuities such as layering, schlieren and banding. Some confusion remains, however, concerning the various mechanisms leading to these features. According to the currently admitted terminology, *layering* (Wager and Brown, 1968) corresponds to rhythmic sequences of similar pluricentimetric to metric cumulative structures. The mineralogy and the grain size vary strongly perpendicular to the layering (Gagny, 1968; Couturié, 1977; Reid *et al.*, 1993; etc.). *Schlieren* have monotonous ferromagnesian-rich mineralogy and structure (Didier, 1964; Orsini, 1980; Barrière, 1977; Gasquet, 1991). They result from convecting currents without diffusion (Barrière, 1981). *Banding* is a centimetric – to metric – scale planar and parallel structure and shows a constant mineralogical composition over the width of each strip. The proposed mecha-

nisms for its origin include hydrodynamic sorting (Bagnold, 1954), gravity mechanisms with convection (Irvine, 1978, 1987a) or nucleation growth of crystals (Campbell, 1978; McBirney and Noyes, 1979, etc.).

The Brignogan-Plouescat pluton, located in the NW, of the Armorican Massif, is composed of a fine grained granite, in its outer part, and a porphyritic granite in its central part (Le Guen de Kerneizon, 1975; Georget, 1986). The two coeval types of granite were emplaced 292 ± 15 Ma ago (Georget *et al.*, 1986) in orthogneissic, migmatitic and granitic series (fig. 1). The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of 0.7074 ± 11 for the two granites implies a crustal origin with probably a more "mafic" component. Le Guen de Kerneizon (1975) described heterogeneities in each granite-type, including microgranular enclaves and bandings studied in detail by Mahé (1993).

Note

présentée par
Michel Durand-Delga.

remise le 20 mars 1995,
acceptée après révision
le 7 juin 1995.

Field observations have shown that bandings (R1) formed before microgranular enclave-type (EM2), which were themselves emplaced before EM3. Nevertheless, R1, EM2 and EM3 are broadly coeval.

Microgranular enclaves are abundant at Neiz Vran, Karrec Hir, Tevenn Kerbrat and Kerradenec, appearing as large swarms in porphyritic or fine-grained granites.

The clear-grey granodioritic to adamellitic EM2 (fig. 2 a) are ovoid, lobate and contain megacrysts of K-feldspars which are strongly orientated in a direction parallel to the enclave boundaries and decrease in abundance towards the enclave centres.

The dark grey tonalitic to granodioritic EM3 (fig. 2 b) are ovoid or drop-shaped and equigranular. The foliation of the host granite is outlined by K-feldspar megacrysts and goes around the EM3.

Bandings are developed in two sites, Tevenn Kerbrat and Tevenn Braz, in, respectively, the porphyritic and the fine-grained granites. Dark biotite-rich strips (cm to 30 cm) alternate with light strips of granitic composition (fig. 2 c). In the Tevenn Braz area, studied in detail, a dark "enclave-source" is progressively disrupted in the fine grained granite (fig. 3) and becomes a folded banding over a distance of 30 m (fig. 2 d).

The mineralogy of R1, EM2 and EM3 is similar (biotite, plagioclase, quartz, primary muscovite and apatite) but with different proportions of minerals.

GRANITE-ENCLAVE-BANDING RELATIONS

The "enclave-source" and the R1 have a granodioritic composition and the EM2 and EM3 a peraluminous tonalitic composition (figs. 4, 5). Granite, enclaves and bandings define a peraluminous association (Debon and Le Fort, 1983). Bandings (dark or light) have a composition intermediate between the fine-grained granite and the microgranular enclaves (EM2 and EM3). This suggests a

hybridization between a felsic magma (fine-grained granite) and a more mafic one (microgranular enclaves). The smaller degree of hybridization of the EM3 compared to that of the EM2 may correspond to a tonalitic injection in a largely crystallized granitic magma which restricts mingling and mixing (Fernandez and Gasquet, 1994). On the other hand, an earlier injection, occurring when the granitic magma was poorly crystallized facilitates the hybridization and the crystallization of EM2. The mineralogical data show that equilibration with the granite component is advanced for the biotites of R1 and less significant for those of the EM2 and EM3 types.

SPECIFIC STUDY OF BANDINGS

Study of the bandings and the "enclave-source" of Tevenn Braz shows that the composition of minerals (mainly biotite and accessory plagioclase) approaches that of the granite from the "enclave-source" (fig. 7). These data suggest that R1 results from a diffusive mixing between a granodioritic-tonalitic ("enclave-source") and a granitic end-member with an intensive magmatic flow, when the granitic magma was poorly crystallized. The bandings then have been folded before the entire crystallization of the granite as shown by the injection of residual leucocratic liquids in the axial planes (fig. 2 d).

CONCLUSIONS

Three injections of a granodioritic to tonalitic magma have been dispersed into the Brignogan-Plouescat monzogranite at three different rheological stages. The first injection (low degree of crystallization of the granitic magma) led to the formation of banding by diffusive and mechanical mixing. The two following injections occurred when the crystallization of the granitic magma was more advanced and mixing and/or hybridization was thus more difficult. During these two injections EM2 and EM3 were formed. This mechanism may be widespread in granitoids.

INTRODUCTION

Les granitoïdes présentent des hétérogénéités minéralogiques planaires non péné-

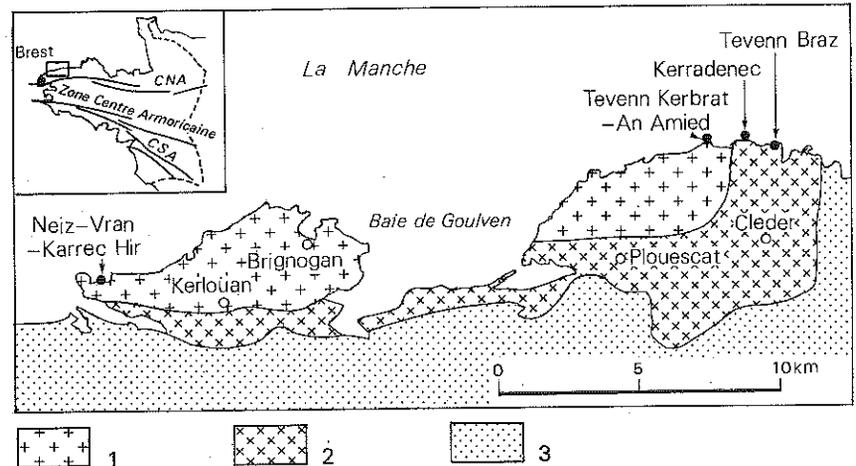
tratives, distribuées dans leur masse de façon plus ou moins irrégulière parmi lesquelles on reconnaît litages, schlieren et rubanements. Aucun travail systématique sur

001143

l'ensemble de ces objets n'a été réalisé, ce qui est source de confusion, en particulier, au niveau de la terminologie. Si Pitcher (1993) utilise le terme général de schlieren pour décrire des concentrations en bandes ou traînées orientées de minéraux, il semble clair que ces schlieren sont le résultat de mécanismes variés. De la même façon, le terme de litage est, pour Irvine (1987 b), synonyme du terme rubanement et concerne uniquement des structures cumulatives.

Nous utilisons ici la terminologie suivante : les *litages* (« layering ») (Wager et Brown, 1968) s'organisent en séquences de structures similaires. Ils sont constitués par une alternance régulière de lits pluricentimétriques à métriques caractérisés par une variation minéralogique transversale aux lits, fréquemment accompagnée d'une variation de la taille des cristaux (Gagny, 1968 ; Couturié, 1977 ; Reid *et al.*, 1993 ; etc.). Les *schlieren sensu stricto* sont généralement de structure et de composition minéralogique assez monotones, de faible épaisseur (quelques centimètres), riches en une phase ferromagnésienne (Didier, 1964 ; Orsini, 1980 ; Barrière, 1977 ; Gasquet, 1991). Les schlieren ont été interprétés par Barrière (1981) comme résultant de l'action de courants de convection, sans diffusion. Les structures que nous appelons ici *rubanements* (« banding ») se différencient des précédentes par une tendance à se disposer en zones planes et parallèles et par une composition minéralogique constante, transversalement aux contacts d'un même ruban. La largeur des rubans est variable (centimétrique à métrique). Ce dernier type de structure est fréquent dans les granitoïdes de composition tonalitique.

Différents mécanismes ont été invoqués pour expliquer l'origine des rubanements. Pour Bagnold (1954), ce serait le tri hydrodynamique des minéraux en fonction de leur taille. Pour Irvine (1978, 1987 a), la sédimentation par gravité, accompagnée de courants de gravité, pourrait s'appliquer aux roches granitiques et former ainsi des litages ou des rubanements. La convection a été également invoquée (Barrière, 1981) ainsi que la croissance *in situ* par nucléation (Campbell, 1978 ; McBirney et Noyes, 1979...).



La présente étude des rubanements du massif de Brignogan-Plouescat nous amène à proposer un mécanisme original de formation des rubanements, qui pourrait être très fréquent dans les granitoïdes.

CADRE GÉOLOGIQUE

Le pluton de Brignogan-Plouescat, localisé sur la côte nord du Léon (Finistère) (fig. 1), est intrusif dans des séries orthodérivées (migmatites de Plouguerneau et orthogneiss de Plounévez-Lochrist) et dans le granite de Kernilis. Il a été étudié sur le plan pétrographique et géochimique par Le Guen de Kerneizon (1975), Georget (1986) et Georget *et al.* (1986). C'est un pluton zoné. Sa partie centrale est constituée par un granite monzonitique porphyroïde à deux micas, cordiérite et silicates d'alumine (andalousite et sillimanite), mis en place il y a 292 ± 15 Ma (Georget *et al.*, 1986). Son rapport isotopique initial ($0,7074 \pm 11$), bien qu'impliquant une composante crustale, n'exclut pas une contamination par des produits basiques (Georget, 1986). L'évolution, du cœur (granite porphyroïde) vers la bordure (granite à grain fin), correspond à la cristallisation fractionnée d'un mélange de plagioclase, biotite et minéraux accessoires. En dehors des enclaves d'encaissant, d'autres hétérogénéités ont été décrites dans les deux faciès de granite (Le Guen de Kerneizon, 1975). Il s'agit d'enclaves microgrenues sombres, parfois porphyriques, et de

Fig. 1 Carte géologique simplifiée du Massif de Brignogan-Plouescat d'après Le Guen de Kerneizon (1985), Georget (1986). 1 : granite porphyroïde, 2 : granite à grain fin, 3 : encaissant métamorphique différencié (migmatites de Plouguerneau, orthogneiss de Plounévez-Lochrist, granite de Kernilis).

Geological sketch map of the Brignogan-Plouescat massif after Le Guen de Kerneizon (1985), Georget (1986). 1: porphyritic granite, 2: fine-grained granite, 3: metamorphic country rocks (Plouguerneau migmatites, Plounévez-Lochrist orthogneiss, Kernilis granite).

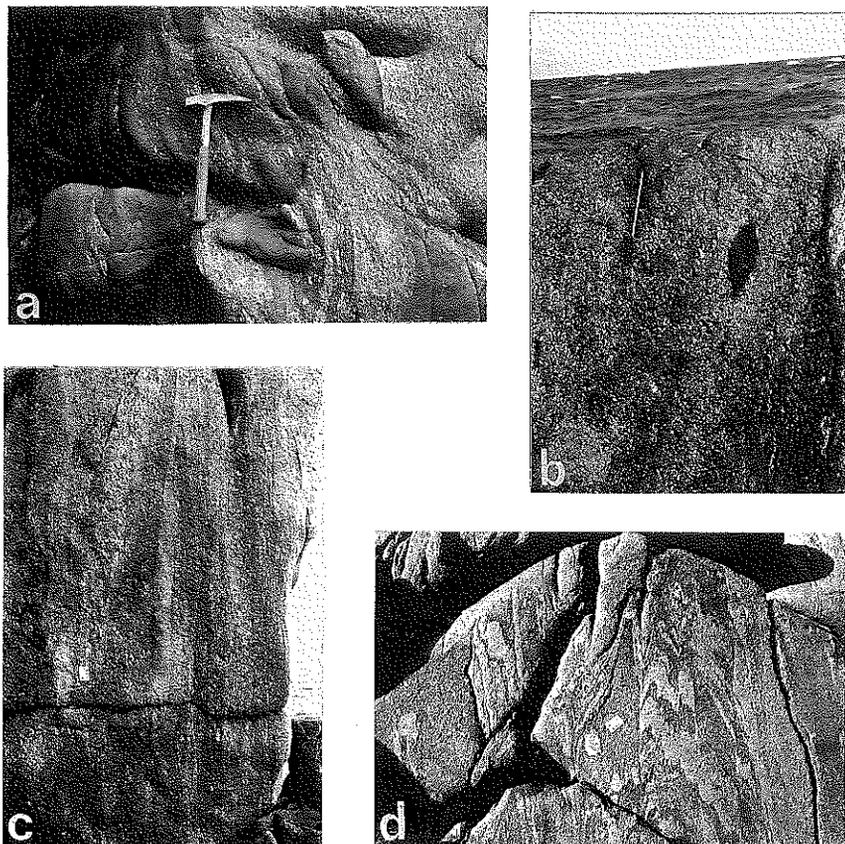


Fig. 2 a : enclaves EM2 ; b : enclaves EM3 ; c : rubanements verticaux de Tevenn Kerbrat ; d : rubanements plissés de Tevenn Braz.

a : EM2 enclaves ; b : EM3 enclaves ; c : vertical banding from Tevenn Kerbrat ; d : folded banding from Tevenn Braz.

schlieren et/ou de zones rubanées. L'inventaire détaillé de toutes ces hétérogénéités et de leurs relations mutuelles ont été étudiés (Mahé, 1993). Certaines sont présentées ici dans le but de mieux comprendre l'origine des rubanements dans les granitoïdes.

GISEMENT, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE DES RUBANEMENTS ET ENCLAVES ASSOCIÉES

Des rubanements (R1) et deux types d'enclaves microgrenues (EM2 et EM3) ont été parfois reconnus dans un même site. L'observation des relations entre ces trois objets montre qu'ils sont pénécotemporains, que les EM2 déforment des R1 (Kerradenec) et que les EM3 peuvent englober des EM2 (Tevenn Kerbrat). Une chronologie relative peut être proposée : les rubanements se sont formés avant les enclaves de type EM2 elles-mêmes antérieures aux enclaves de type EM3.

Les enclaves microgrenues

Les enclaves de ce type sont peu nombreuses, mais quelques sites présentent une concentration importante. Il s'agit de Neiz Vran, Karrec Hir, Tevenn Kerbrat et Kerradenec où les enclaves forment des « essaims » ou des couloirs correspondant à l'injection successive de venues, plus basiques, dans le granite (porphyroïde ou à grain fin). Les deux types d'enclaves définis ont des compositions tonalitiques à adamellitiques et sont différenciables par leur couleur, leur forme, leur taille et leur relation avec le granite-hôte :

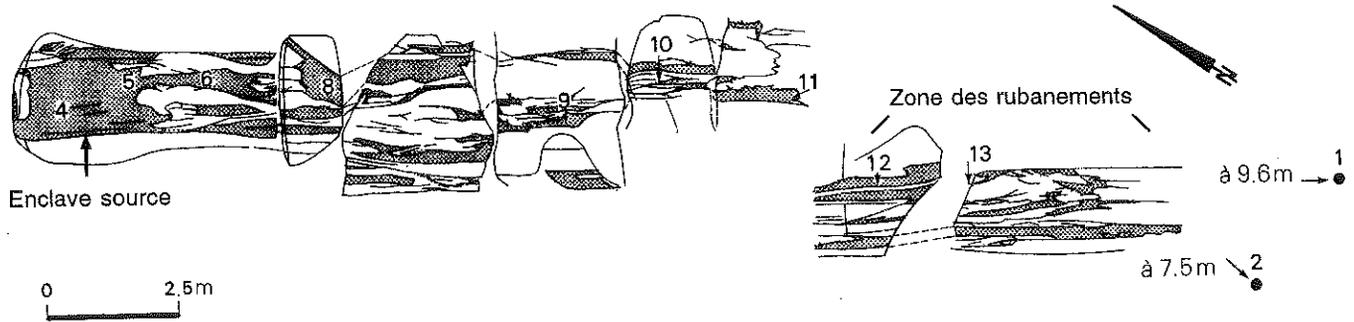
(i) les enclaves EM2 (**fig. 2 a**) sont ovoïdes, gris clair, contiennent des mégacristaux de feldspath potassique (FK) orientés parallèlement à leur bordure et devenant de moins en moins nombreux vers le centre de l'enclave. Leur taille varie de quelques centimètres à quelques mètres. Le contact avec le granite est franc ou diffus et souvent lobé ;

(ii) les enclaves EM3 (**fig. 2 b**) sont gris sombre. Elles contiennent très peu ou pas de mégacristaux de FK. Elles sont généralement ovoïdes ou en forme de gouttes et leur taille varie de 10 cm à 2 m. Le contact avec le granite est net et les mégacristaux de FK du granite contournent les enclaves.

Les enclaves présentent toutes la même minéralogie : biotite, plagioclase, quartz, muscovite primaire, apatite et \pm zircon, magnétite, ilménite, sphène, allanite. La présence de rares enclaves à amphibole et biotite d'affinité calco-alcaline a été signalée par Georget (1986). Les minéraux ont une taille qui ne dépasse pas 0,5 mm. Les mégacristaux de FK et les quelques quartz centimétriques mono- ou poly-cristallins des EM2 ont des contours arrondis et présentent des figures de corrosion qui tendent à prouver une origine xénocristique à partir du granite (Le Guen de Kerneizon, 1975). De même, le blindage des ocelles de quartz par des micas et la plus grande concentration des quartz et FK sur les bords des enclaves suggèrent qu'il s'agit de xénocristaux provenant du granite encaissant (Barrière, 1977 ; Vernon, 1991).

Les rubanements R1

Ils sont principalement développés à Tevenn Kerbrat et Tevenn Braz, respective-



ment dans le faciès porphyroïde et dans le faciès à grain fin. Ils sont caractérisés (fig. 2 c) par une alternance de rubans de couleur sombre, riches en biotite, et de rubans plus clairs de composition très proche de celle du granite-hôte. Les rubans, sombres ou clairs, ont une largeur de quelques centimètres à environ 30 cm et une longueur pouvant atteindre 30 m. Leur minéralogie est similaire à celle respectivement des enclaves microgrenues et du granite. Leur composition est adamellitique (R1 sombres) à granitique (R1 clairs).

A Tevenn Kerbrat les rubanements sont très frustes et plans. Par contre, les rubanements de Tevenn Braz sont plus développés. Ils dessinent des plis semblables et sont affectés par des cisaillements parallèles aux plans axiaux de ces plis (fig. 2 d). Ces plis se seraient développés dans un stade avancé de la cristallisation du magma (comportement très ductile) et par cisaillement simple hétérogène. Les jeux sénestres centimétriques à décimétriques des plans de cisaillements (N140°E) seraient le résultat des contraintes liées à la forte extension latérale du pluton (σ_1 : N90 à N100°E dans ce secteur). De plus, dans la zone de Tevenn Braz, une masse sombre plurimétrique (« enclave-source ») se prolonge par des rubanements, sur une quinzaine de mètres vers le SSE, et s'estompe progressivement, dans le granite fin (fig. 3). Cet affleurement a été étudié en détail. Il a fait l'objet : (i) d'une cartographie à l'échelle du 1/50, (ii) d'un échantillonnage le long du rubanement par carotteuse portable suivant le plan de la figure 3, (iii) d'une analyse des échantillons (majeurs, traces et terres rares) par ICPMS et des minéraux par microsonde électronique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Relations enclaves-rubanements-granites

« L'enclave-source » de Tevenn Braz et les rubanements R1 qui la prolongent ont une composition de granodiorite-adamellite, alors que les enclaves de type EM2 et EM3 ont une composition de tonalite peralumineuse où la biotite alumineuse est abondante et l'amphibole rare (fig. 4, 5). Les deux faciès de granite, les enclaves et les rubanements forment un ensemble magmatique peralumineux (Debon et Le Fort, 1983) à composition proche de l'association du massif d'Egletons (Stussi et Cuney, 1993).

Peu de différences chimiques apparaissent entre les rubanements sombres et clairs de Tevenn Braz. L'ensemble est intermédiaire entre le faciès de granite fin et les enclaves microgrenues (EM2 et EM3). Ceci suggère la possibilité d'une hybridation entre le magma acide (granite fin de Brignogan-Plouescat) et un magma granodiorito-tonalitique représen-

Fig. 3 Représentation dans le plan horizontal de l'affleurement de Tevenn Braz. Les rubanements (en grisé) se forment progressivement, dans le faciès de granite à grain fin (en blanc), par dislocation d'une « enclave-source » plus « basique ». Les échantillons 1 et 2 ont été prélevés, en dehors de l'épure, respectivement à 9,6 et 7,5 m des points noirs dans la direction des flèches.

Map representation in the ground-plane of the outcrop of Tevenn Braz. Bandings (grey) are progressively formed, in the fine-grained granite (white), by disruption of a more mafic "enclave-source". Rocks 1 and 2 have been sampled, outside the area in the sketch, at, respectively, 9.6 and 7.5 m from black dots in the direction of the arrows.

Fig. 4 Diagramme de classification des associations magmatiques de Debon et Lefort (1983). ad : adamellite, dq : quartz diorite, gd : granodiorite, go : gabbro, mz : monzonite, mzdq : quartz monzonite, mzdgo : quartz monzodiorite, mzgo : monzogabbro, s : syénite, sq : quartz syénite, to : tonalite. I, II, III : secteurs du domaine peralumineux où dominent respectivement la muscovite sur la biotite, la biotite sur la muscovite et où la biotite est seule. Les roches du secteur IV (avec biotite + amphibole + pyroxène) appartiennent au domaine métalumineux. Losanges : granites porphyroïdes, croix : granites à grain fin, ronds noirs : rubanements, carrés noirs : EM2, tirets : EM3. ES : « enclave-source ».

Classification of magmatic associations diagram after Debon and Lefort (1983). I, II, III : sectors of the peraluminous domain with, respectively: muscovite > biotite, biotite > muscovite, biotite alone. Associations of sector IV (with biotite + amphibole + pyroxene) are metaluminous.

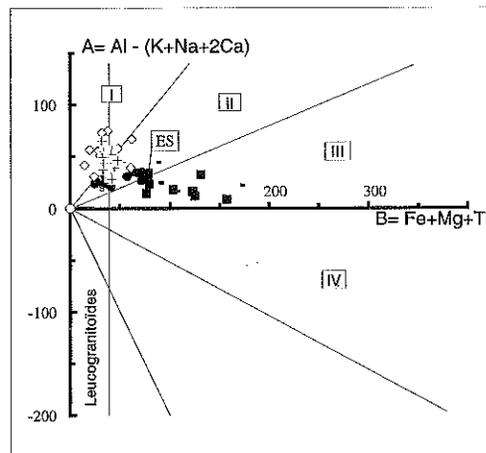


Fig. 5 Diagramme $Q = Si/3 - (K+Na+2Ca/3)$ vs $P = K - (Na + Ca)$ de nomenclature (Debon et Lefort, 1983). A : ensemble des faciès du massif de Brignogan-Plouescat ; mêmes figurés que précédemment. B : rubanements de Tevenn Braz ; ronds noirs : rubanements sombres, ronds blancs : rubanements clairs. ES : « enclavement source ».

$Q = Si/3 - (K+Na+2Ca/3)$ vs $P = K - (Na + Ca)$ "nomenclature" diagram (Debon and Lefort, 1983) for all the rock-types of the Brignogan-Plouescat massif (A), and for the banding of Tevenn-Braz (B).

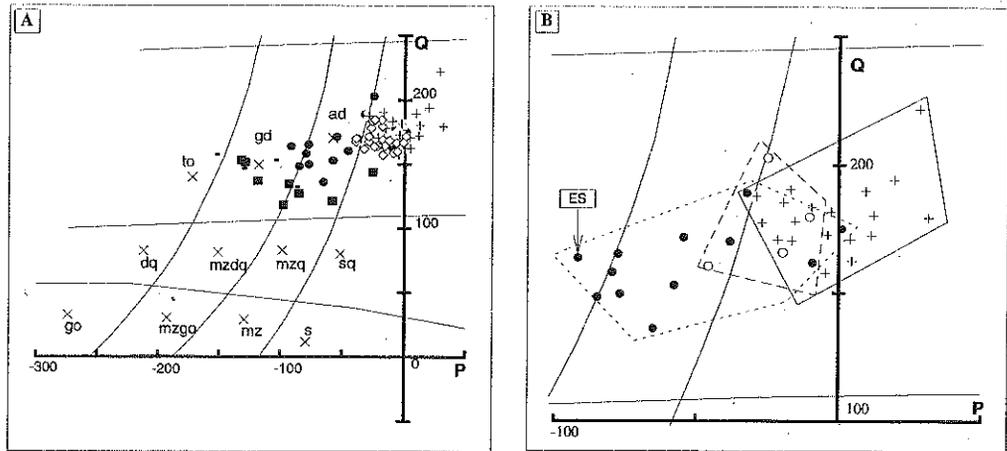
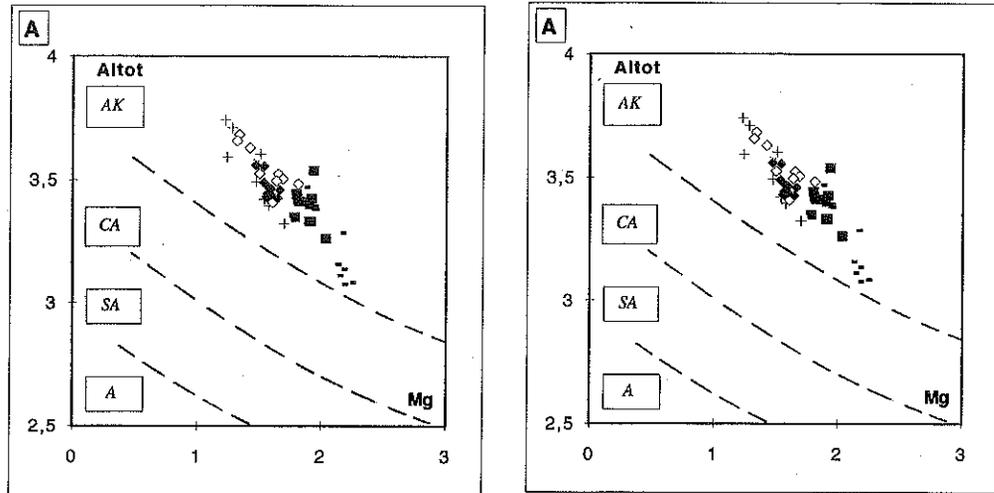


Fig. 6 Diagramme Al total/Mg de Nachit et al. (1985) des biotites. AK, CA, SA, A : domaines alumino-potassique, calco-alkalin, subalkalin, alcalin respectivement. A : ensemble des faciès de Brignogan-Plouescat ; B : rubanements de Tevenn Braz. Mêmes figurés que précédemment.

Al total vs Mg diagram (Nachit et al., 1985) for biotites from all the rock-types (A), and from the banding of Tevenn-Braz (B), AK, CA, SA, A : alumino-potassic, calc-alkaline, subalkaline, alkaline domains respectively.



té par les enclaves. Cette hybridation serait forte dans le cas des rubanements, plus faible dans le cas des enclaves de type EM2 et encore plus faible, dans le cas de EM3. Cette hypothèse est argumentée par les observations de terrain : les enclaves EM3 contiennent peu ou pas de xénocristaux du granite et ont des contours toujours nets. La faible hybridation des EM3 pourrait correspondre à une injection tonalitique dans un granite largement cristallisé, ce qui limite les mélanges et interactions (Fernandez et Gasquet, 1994). Par contre, l'injection du même magma tonalitique à un stade plus précoce, dans le magma granitique, moins cristallisé, faciliterait l'hybridation et la formation d'enclaves EM2, ainsi que l'introduction

mécanique, dans les enclaves, de xénocristaux du granite encaissant.

En ce qui concerne la biotite, les rééquilibres avec le granite sont importants dans le cas des rubanements et moins marqués pour les EM2 et EM3 (fig. 6). L'interdiffusion chimique différentielle (ex. Debon, 1991) pourrait être, ici, le moteur essentiel de l'hybridation en complément de l'introduction mécanique de xénocristaux.

ÉTUDE SPÉCIFIQUE DES RUBANEMENTS

L'étude détaillée des rubanements de la presqu'île de Tevenn Braz et de « l'enclavement source » a montré que la biotite et le FK ont la même composition dans les rubans clairs et dans les rubans sombres. En ce qui

concerne la biotite (fig. 7) : (i) la teneur en Fe_t et Mg des biotites des rubans est intermédiaire entre celle des biotites de « l'enclave-source » et celle des biotites du granite fin encaissant, (ii) la teneur en Fe_t des biotites augmente progressivement, le long d'un même ruban, en s'éloignant de « l'enclave-source ». Parallèlement, le pourcentage en anorthite du plagioclase diminue.

L'ensemble de ces observations et les analyses sur roches totales indiquent que les rubanements de Tevenn Braz sont le résultat du mélange essentiellement diffusif entre le magma granodiorito-tonalitique (« enclave-source ») et le granite-hôte lors d'un intense écoulement responsable de la formation des rubans pendant la mise en place magmatique. Le magma granodiorito-tonalitique peut, lui-même, être issu d'un mélange en profondeur d'un magma plus basique métalumineux et d'un magma granitique comme le propose Georget (1986) en s'appuyant, notamment, sur la présence d'enclaves à amphiboles et biotites « calco-alcalines », et des rapports isotopiques $^{87}Sr/^{86}Sr$ bas (0,7048) pour une enclave à biotite-sphène. Les mélanges mécaniques et chimiques responsables des rubans n'ont pu se produire que lorsque le magma acide était encore peu cristallisé (Fernandez et Gasquet, 1994). Ces rubans ont été ensuite plissés (fig. 2 d) alors que la cristallisation n'était pas terminée, comme l'atteste l'injection des derniers liquides leucocrates dans les plans axiaux.

CONCLUSIONS

Au moins trois injections tonalitiques à granodioritiques se sont dispersées dans le monzogranite de Brignogan-Plouescat, alors qu'il était à des stades rhéologiques différents. La première est à l'origine des rubanements R1 par mélange essentiellement diffusif, mais également mécanique, entre un

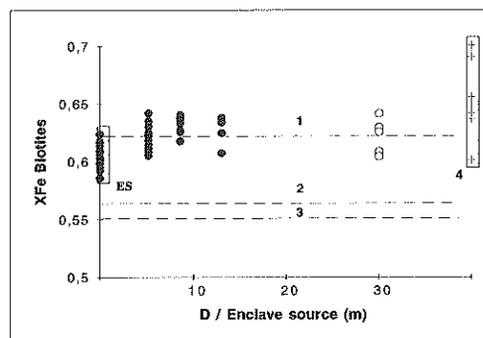


Fig. 7 Diagramme de variation du rapport $Fe/(Fe+Mg)$ des biotites des rubanements de Tevenn Braz. La distance (en mètres) de l'échantillon par rapport à « l'enclave-source » (ES) est indiquée en abscisse. 1, 2, 3 : moyennes des biotites respectivement du granite porphyroïde, des EM2, des EM3 ; 4 : biotites du granite à grain fin (ce faciès de référence a été prélevé en dehors de la zone représentée dans la figure 3). Mêmes figurés que précédemment.

pôle « tonalitique » et le granite-hôte, lors de l'écoulement magmatique lié à la mise en place et alors que le granite était très peu cristallisé. Deux autres venues « tonalitiques » successives se sont ensuite dispersées dans le granite. Elles sont à l'origine des essais d'enclaves EM2 et EM3 ; la cristallisation du granite avançant, les mélanges et les processus d'hybridation sont, alors, devenus plus faibles.

Une telle succession, venue tonalitique (ou plus basique) puis dispersion dans le magma et formation éventuelle de rubans, a rarement été décrite si ce n'est par Wells et Wooldridge (*in* Pitcher, 1993) dans le granite de Ronez Jersey ou par nous-mêmes sur des enclaves de vaugnérites diluées dans le granite du Velay. L'observation du stade final (rubanements homogènes) est plus probable que celle du stade intermédiaire (formation incomplète de rubans avec persistance de « l'enclave-source »). En effet, pour que la dislocation puis les rubanements se produisent, il faut des conditions rhéologiques précises (viscosité faible et comparable des deux magmas) et un contexte dynamique facilitant l'écoulement. Quand ces conditions sont réunies, le phénomène peut se produire et aller jusqu'à son terme (rubanements) ; le stade de dislocation est alors effacé. Bien que peu fréquemment observé, ce phénomène pourrait être assez général dans les granitoïdes

$Fe/(Fe+Mg)$ variation diagram from biotites of the Tevenn Braz banding. The distance (metres) of each sample from the "enclave-source" (labelled ES) is indicated on the horizontal axis. 1, 2, 3: average of biotites of, respectively, porphyritic granite, EM2 and EM3; 4: biotites from the fine-grained granite (this sample has been taken outside the area drawn in the figure 3).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAGNOLD, R., 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in Newtonian fluid under shear, *Proc. r. Soc. London*, série A, p. 49-63.
- BARRIERE, M., 1977. Le complexe de Ploumanac'h, Massif armoricain. Essai sur la mise en place et l'évolution pétrologique d'une association plutonique subalkaline tardi-orogénique, *Thèse Sc.*, Univ. de Brest, 291 p., déposée à la Soc. géol. France.
- BARRIERE, M., 1981. On curved laminae, graded layers, convection currents and dynamic crystal sorting in the Ploumanac'h (Brittany) subalkaline granite, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, p. 214-224.
- CAMPBELL, L. H., 1978. Some problems with cumulus theory, *Lithos*, 11, p. 311-323.
- COUTURIÉ, J. P., 1977. Le massif granitique de la Margeride (Massif Central Français), *Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand*, 62, 319 p.
- DEBON, F., 1991. Comparative major element chemistry in various « microgranular enclave-plutonic host » pairs, in DIDIER, J. et BARBARIN, B., éd., *Enclaves and granite petrology*, Elsevier, Amsterdam, p. 293-312.
- DEBON, F. et LÉ FORT, P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations, *Trans. r. Soc. Edinburgh-Earth Sci.*, 73, p. 135-149.
- DIDIER, J., 1964. Étude pétrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central Français, *Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand*, 23, 254 p.
- FERNANDEZ, A. et GASQUET, D., 1994. Relative rheological evolution of chemically contrasted coeval magmas: example of the Tichka plutonic complex (Morocco), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, p. 316-326.
- GAGNY, C., 1968. Pétrogenèse du granite des Crêtes, *Thèse Sc.*, Univ. de Nantes, 546 p.
- GASQUET, D., 1991. Genèse d'un pluton tardihercynien composite : le massif du Tichka (Haut Atlas Occidental, Maroc), *Thèse Sc.*, Univ. Nancy, 413 p., déposée à la Soc. géol. France.
- GEORGET, Y., 1986. Nature et origine des granites peralumineux à cordiérite et des roches associées. Exemple des granitoïdes du Massif armoricain (France), pétrologie et géochimie, *Thèse Doctoral*, Univ. de Rennes, *Mém. et Documents du CAESS*, 9, 250 p.
- GEORGET, Y., MARTINEAU, F. et CAPDEVILA, R., 1986. Age tardi-hercynien et origine crustale du granite de Brignogan (Finistère, France). Conséquences sur l'interprétation des granites Nord-armoricains, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, p. 237-242.
- IRVINE, T. N., 1978. Density current structure and magmatic sedimentation, *Carnegie Inst. Wash. Year Book*, 77, p. 717-725.
- IRVINE, T. N., 1987 a. Layering and related structures in the Duke Island and Skaergaard intrusions: similarities, differences, and origins, in PARSONS, I., éd., *Origins of Igneous Layering*, D. Reidel Publishers, p. 185-245.
- IRVINE, T. N., 1987 b. Glossary of terms for layered intrusions, in PARSONS, I., éd., *Origins of Igneous Layering*, D. Reidel Publis. Comp., p. 641-647.
- LE GUEN DE KERNEIZON, M., 1975. Étude pétrographique du massif de Brignogan-Plouescat (Massif Armoricain), *Thèse 3^e cycle*, Univ. de Clermont-Ferrand, 83 p., déposée à la Soc. géol. France.
- MAHÉ, C., 1993. Étude des mélanges magmatiques hétérogènes sur l'exemple des rubanements du massif granitique de Brignogan (Bretagne), *Dipl. Etudes Approf.*, INPL, Nancy, 63 p.
- McBIRNEY, A. R. et NOYES, R. M., 1979. Crystallization and layering of the Skaergaard intrusion, *J. Petrol.*, 20, p. 487-554.
- NACHIT, H., RAZAFIMAHEFA, N., STUSSI, J. M. et CARRON, J. P., 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, p. 813-818.
- ORSINI, J. B., 1980. Le batholithe corso-sarde : un exemple de batholithe hercynien (structure, composition, organisation d'ensemble). Sa place dans la chaîne varisque de l'Europe moyenne, *Thèse Sc.*, Univ. d'Aix-Marseille-III, 543 p., déposée à la Soc. géol. France.
- PITCHER, W. S., 1993. *The nature and origin of granite*, BLACKIE, A. et P., Chapman & Hall, 321 p.
- REID, J. B., Jr, MURRAY, D. P., HERMES, O. D. et STEIG, E. J., 1993. Fractional crystallization in granites of the Sierra Nevada: how important is it?, *Geology*, 21, p. 587-590.
- STUSSI, J. M. et CUNNEY, M., 1993. Modèles d'évolution géochimique de granitoïdes peralumineux. L'exemple du complexe plutonique varisque du Millevalches (Massif central français), *Bull. Soc. géol. France*, 164, 4, p. 585-596.
- VERNON, R. H., 1991. Interpretation of microstructures of microgranitoid enclaves, in DIDIER, J. et BARBARIN, B., éd., *Enclaves and granite petrology*, Elsevier, Amsterdam, p. 277-291.
- WAGER, L. R. et BROWN, G. M., 1968. *Layered igneous rocks*, Olivier and Boyd, Edinburgh, 588 p.