

Étude pétro-structurale du complexe granitique Rouet – Plan-de-la-Tour (massifs des Maures et du Tanneron occidental, Var)

Petro-structural analysis of the Rouet–Plan-de-la-Tour granitic complex (Maures and Tanneron massifs, Var, France)

Jérôme Onézime^{a*}, Michel Faure^{a,b}, Gilbert Crévola^c

^a Département des sciences de la Terre, UMR 6530, université d'Orléans, 45067 Orléans cedex 2, France

^b Institut universitaire de France

^c Institut de géodynamique, université Bordeaux-III, 33405 Talence cedex, France

(Reçu le 20 novembre 1998, accepté après révision le 6 avril 1999)

Abstract — In Variscan Provence, the Maures and Tanneron metamorphic series are intruded by the Plan-de-la-Tour and Rouet granites respectively. Permian sedimentary basins with locally volcanic infills (Estérel Massif) separate the two Palaeozoic areas. The Plan-de-la-Tour and Rouet granites belong to a single pluton emplaced in a pull-apart basin during the dextral wrenching of the Grimaud fault. The quartz [c]-axis fabric analysis shows that the deformation is due to low temperature intracrystalline slip in the mylonitic facies developed in the western border of the Plan-de-la-Tour pluton and to high temperature in the weakly deformed and deepest facies in the south. Around 290 Ma, after filling of the Plan-de-la-Tour coal basin developed along the Grimaud fault, wrenching took place in more brittle conditions, and affected both the granite and the coal basin unit. Finally, the area experienced the Late-Permian north–south extensional tectonics separating the pluton into the Rouet massif to the north and the Plan-de-la-Tour massif to the south. (©Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

Variscan Provence / France / granitoids / ductile deformation / strike-slip tectonics

Résumé — En Provence, les séries métamorphiques des Maures et du Tanneron sont respectivement recoupées par les massifs granitiques de Plan-de-la-Tour et du Rouet, puis recouvertes par les bassins volcano-sédimentaires permiens. Les granites de Plan-de-la-Tour et du Rouet forment un seul pluton zoné qui s'est mis en place dans un contexte de *pull-apart* dextre, contrôlé par l'accident de Grimaud. L'analyse texturale et l'étude de l'orientation des axes [c] du quartz montrent que le faciès mylonitique développé sur la bordure occidentale du pluton a subi une déformation par glissement intracristallin à basse et moyenne température. Les faciès les plus équants, dans la partie sud du pluton, suggèrent une déformation à haute température. Vers 290 Ma, à la fin du remplissage sédimentaire des bassins houillers, le jeu décrochant dextre de la faille de Grimaud évolue en régime transpressif affectant l'ensemble pluton–bassin. Le pluton est ultérieurement scindé en deux au cours de l'épisode extensif nord–sud de la fin du Permien. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

Provence varisque / France / granitoïdes / déformation ductile / tectonique en décrochement / structure en fleur

Note présentée par Jean Aubouin.

* Correspondance et tirés à part.
Jerome.Onerezime@univ-orleans.fr

Abridged version

Introduction

Relationships between syntectonic plutons and crustal deformation are well established nowadays (e.g. Hutton, 1988; Faure, 1995). Structural and textural patterns result from interferences between regional tectonics, such as strike-slip faulting (Berthé et al., 1979; Gapais and Barbarin, 1986), pluton setting dynamics and the emplacement level of the granitic complex. In the Hercynian massifs of the Maures and Tanneron (Provence, France), the Carboniferous tectonics induce the strike-slip faulting of the Grimaud fault along which the Rouet and Plan-de-la-Tour granites were emplaced (figure 1). The microtectonic study of the pluton allows us to propose an emplacement model in a dextral pull-apart reworked in brittle conditions during the Late Palaeozoic.

Geological frame

The Maures and Tanneron massifs are made up of polystructured metamorphic series (figure 1A; cf. Crévola and Pupin, 1994, for further details). The Rouet–Plan-de-la-Tour massif is located along the Grimaud fault to the north and the south of the Permian graben. This pluton presents a petrographic zonation namely from north to south, the cordierite Rouet granite, an intermediate garnet-rich facies, and the porphyritic Plan-de-la-Tour granodiorite (figure 2).

Geochronological data for the pluton range between 335 Ma and 313 Ma according to various methods (Maluski, 1972; Morillon, 1996). The 324 ± 5 Ma U/Pb zircon age for the Plan-de-la-Tour granite (Moussavou, 1998) is the most reliable emplacement age. Tonalites surrounding the Rouet granite, also present in the Maures, attest an older magmatism like that in the French Massif Central (Faure et al., 1997).

Architecture of the Rouet–Plan-de-la-Tour granitic complex

The Grimaud fault runs parallel to the western border of the Rouet–Plan-de-la-Tour complex. The granite and the surrounding rocks have developed here a mylonitic facies with a north–south to N 20° vertical foliation and an horizontal lineation (figure 1). In the northwestern part of the Plan-de-la-Tour granite, enclaves show a north–south elongation associated with east–west cross-joints (Serment and Triat, 1967). In thin section taken from the north–south trending dykes, K-feldspar is frequently fractured perpendicularly to foliation. These fractures are infilled with micro-aplite, corresponding to the late crystallization stage (Van der Molen and Paterson, 1979; Hibbard, 1987; Bouchez et al., 1992). Microscopic observations support a syntectonic emplacement of the granite characterized by a north–south stretching (figure 3). The porphyritic facies does not show any ductile deformation. Conversely the east–west trending dykes present a vertical foliation and a vertical lineation. The observed S–C structures indicate a downward motion of the southern side.

Texture and quartz [c]-axis fabrics

In the mylonites, the quartz is characterized by inframillimetric stretched grains with undulose extinction and serrated boundaries. In the Grimaud mylonite, [c]-axis diagrams show a sub-maximum centered on the Y-axis of the finite strain ellipsoid (figure 4: MAU2, MAU6, A1b), implying the activation of the medium temperature prism $<\alpha$ slip in quartz (Tullis et al., 1973; Jessel and Lister, 1990; Law, 1990). In the Rouet massif, the maxima are located near the Z-axis (figure 4, E7, B2, D8, C1). This fabric corresponds to the activation of the low temperature basal $<\alpha$ slip. Finally, in the north–south dykes of the Plan-de-la-Tour granite, the diagrams with maxima close to the X-axis point to the activation of the high temperature prism [c] slip (figure 4: P24, P27). This fabric study implies a temperature increase from north to south, consistent with the petrographic model.

Strike-slip tectonics

Kinematically, the east–west dykes of the Rouet granite with a vertical lineation show shear criteria and [c]-axis diagrams consistent with the collapse of the southern side (figure 4: D8, E7, C1). An aplite dyke located in the vicinity of the Joyeuse fault (figure 1B) indicates a dextral wrenching (figure 4: E13). The same sense of shear is observed along the Fontcounille fault, in the Rouet massif, and on the eastern border of the Plan-de-la-Tour pluton (figure 4: P24, P27). However, on the western part of the latter area, [c]-axis diagrams do not permit a clear sense of wrenching to be defined. There, the fabrics might have resulted from a polyphased ductile deformation. Although the dextral shearing predominates near the pluton (figure 3), in agreement with previous studies (Vauchez and Buffalo, 1985, 1988), the Grimaud fault has likely overprinted an older sinistral shear zone in the host rocks. These kinematic criteria suggest that the Rouet–Plan-de-la-Tour pluton emplacement was controlled by a dextral pull-apart structure along the Grimaud fault (figure 5). Structural and textural patterns are consistent with an emplacement of the granite in the upper crust around the brittle–ductile rheological transition.

During the Late Hercynian stage, the wrenching along the Grimaud fault evolves in more brittle conditions. A transpressional regime was responsible for both the reworking of the granitic complex and the opening Plan-de-la-Tour coal basin (Rousset et al., 1998). Then, brittle wrenching occurred around 290 Ma, before the setting of the Permian graben (Toutin-Morin et al., 1993).

Conclusion

The Rouet–Plan-de-la-Tour massif is a zoned pluton, injected in the upper crust around the brittle–ductile transition. Its emplacement during Middle Carboniferous was controlled by a north–south dextral pull-apart system. In the Early Permian, the granitic massif and the adjacent coal basin were reworked by transpressional tectonics.

1. Introduction

Les relations entre les granites syntectoniques et la déformation à l'échelle de la croûte sont aujourd'hui bien établies (par exemple Hutton, 1988 ; Faure, 1995). Les caractères structuraux et texturaux des granitoïdes résultent de l'interférence entre la tectonique régionale et la dynamique de mise en place propre au granite et le style de cette interférence dépend de son niveau de mise en place dans la croûte. Le plutonisme est souvent lié, dans le temps et dans l'espace, à des zones de décrochement (Berthé et al., 1979 ; Gapais et Barbarin, 1986). Dans les massifs hercyniens des Maures et du Tanneron, la tectonique décrochante carbonifère induit le jeu de l'accident de Grimaud connu depuis Demay (1927). C'est le long de cette faille subméridienne que se localise le complexe granitique de Rouet – Plan-de-la-Tour (figure 1). Cette juxtaposition spatiale suggère un lien entre les processus magmatiques et tectoniques. L'étude microtectonique des

massifs du Rouet et de Plan-de-la-Tour permet de proposer un modèle de mise en place du granite dans un *pull-apart* dextre.

2. Cadre géologique

Les massifs des Maures et du Tanneron sont constitués de séries métamorphiques polystructurées au cours de l'orogenèse hercynienne (cf. Crévolà et Pupin, 1994, pour une présentation régionale synthétique, figure 1A). Le long de la faille de Grimaud, on identifie plusieurs types de granitoïdes, comme les granodiorites porphyriques de Plan-de-la-Tour (Maures), du Rouet (Tanneron), les filons leucogranitiques, très abondants au nord du granite du Rouet et les tonalites calco-alcalines. De fait, les massifs de Plan-de-la-Tour et du Rouet correspondent à un même pluton, scindé en deux par le graben permien est–ouest de Roquebrune. Ce complexe granitique présente une zonation pétrographique. Ainsi, dans le granite du Rouet, la

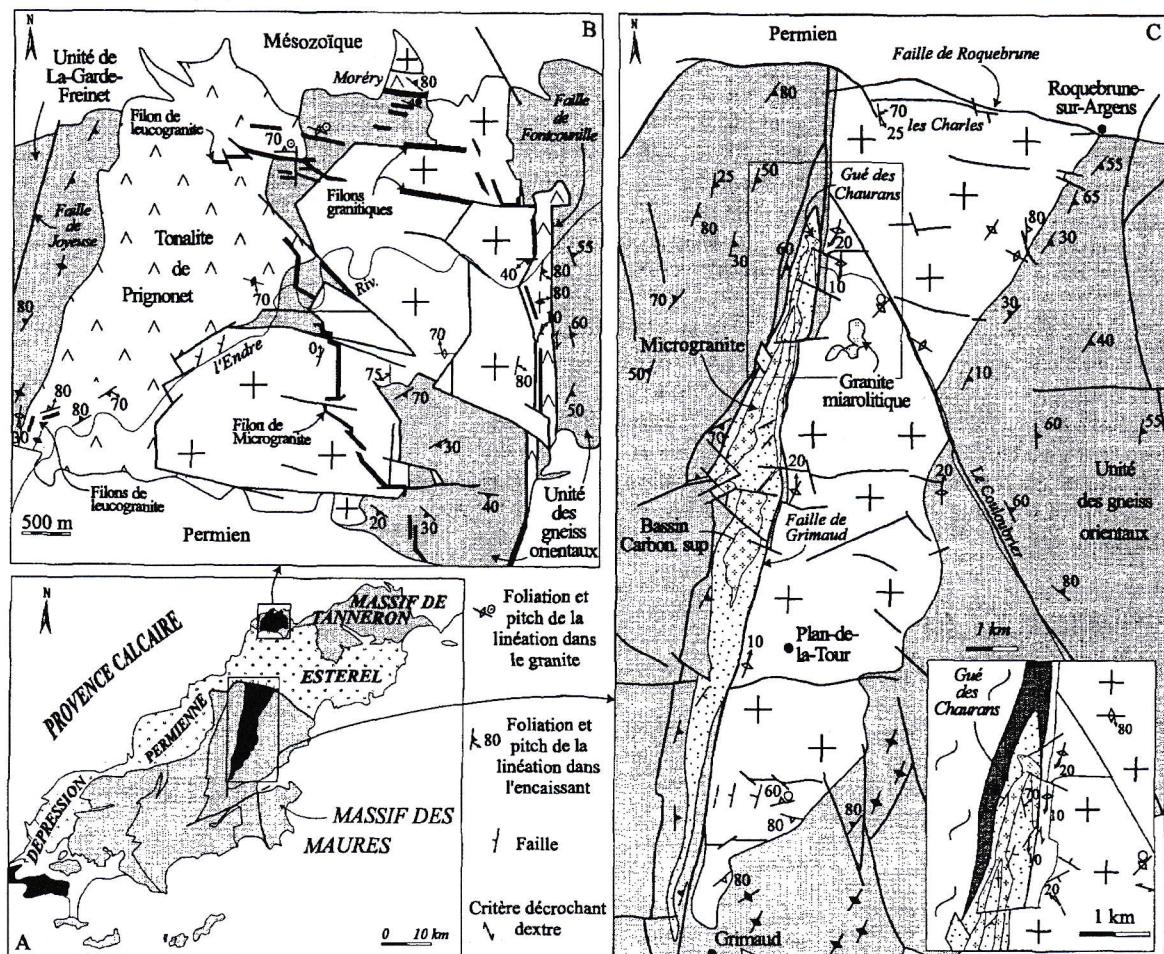


Figure 1. Cartes structurales des massifs étudiés. A. Localisation dans la Provence cristalline. B. Cadre géologique du granite du Rouet. C. Cadre géologique du granite de Plan-de-la-Tour.

Structural map of studied massifs. A. Location in Crystalline Provence. B. Geological frame of the Rouet granite. C. Geological frame of the Plan-de-la-Tour granite.

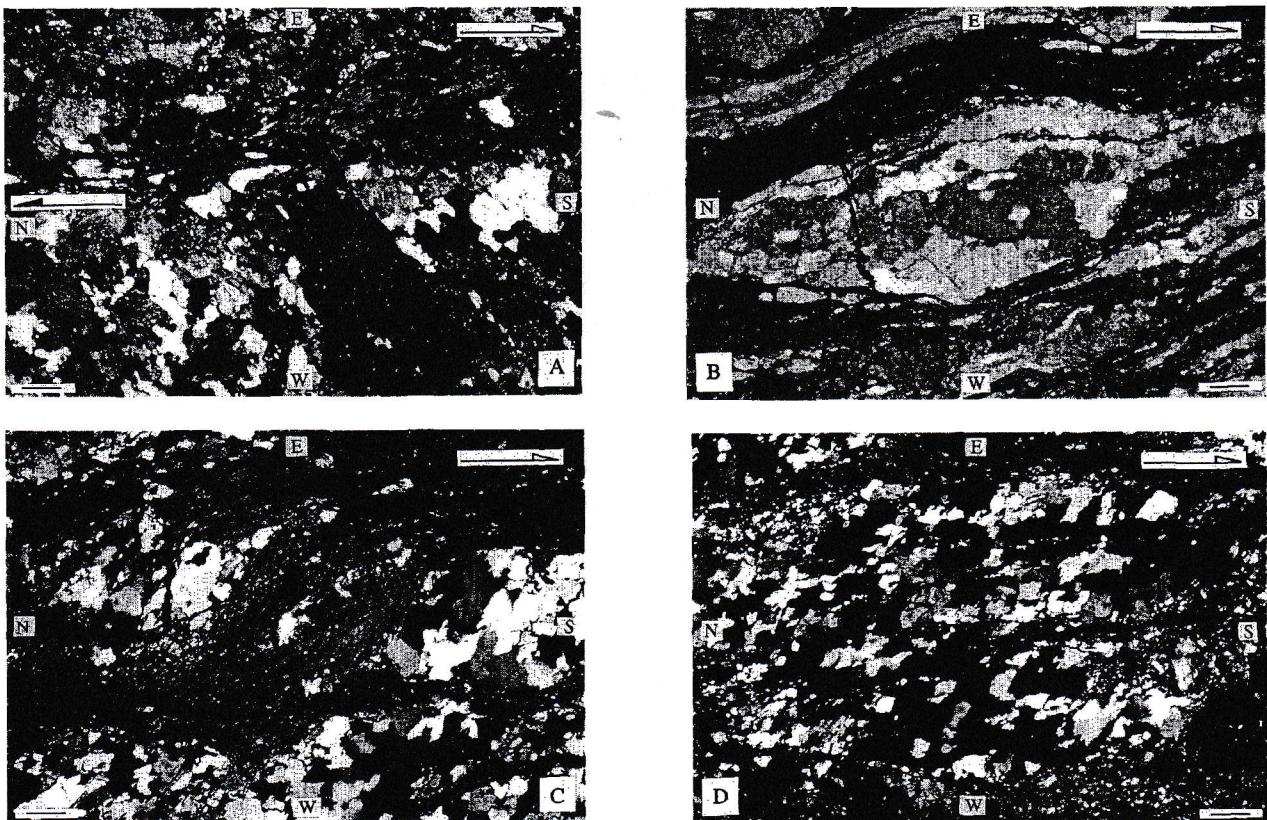


Figure 3. Textures de quartz et critères cinématiques observés dans la mylonite de Grimaud (barre : 1 mm). A. Agrégat de quartz montrant une fabrique de forme senestre reprise par un cisaillement dextre. B. Agrégat quartzo-feldspathique asymétrique. C. Biotite sigmoïde dextre. D. Agrégat de quartz recristallisé à fabrique de forme dextre.

Quartz texture and kinematic criteria observed in the Grimaud mylonite (bar: 1 mm). A. Quartz aggregate with sinistral shape fabric reworked by dextral shear. B. Asymmetric dextral quartz-feldspar aggregate. C. Sigmoidal dextral biotite. D. Recrystallized quartz aggregate with dextral shape fabric.

Dans le massif du Rouet, la distribution d'orientation des axes [c] du quartz a été étudiée sur des filons de leucogranites. Les diagrammes diffèrent de ceux observés dans les Maures par l'individualisation d'un maximum proche de l'axe Z de l'ellipsoïde de déformation finie (figure 4 : E7, B2, D8, C1). Ces fabriques résultent de l'activation du système de glissement basal <a> pour de basses températures (< 350 °C). Dans les dykes submeridien du granite de Plan-de-la-Tour, les diagrammes d'axes C montrent un maximum proche de la linéation d'étirement X, caractéristique d'un système de glissement prismatique [c], activé pour des températures supérieures à 500 °C (Okudaira et al., 1995 ; figure 4 : P24, P27). Pour certains auteurs, ces diagrammes indiquent une déformation dans des conditions subsolidus (Blumenfeld et al., 1985), mais la migration des joints de grains peut aussi être responsable de l'acquisition de ce type de fabrique d'axes [c] (Gapais et Barbarin, 1986 ; Roig et Faure, 1995). Ainsi, à l'échelle du complexe granitique Rouet – Plan-de-la-Tour, le système de glissement basal <a>, prédominant au nord (massif du Rouet), est remplacé par l'association prismatique <a> – basal <a> dans le centre du massif. Enfin, le système de

glissement prismatique [c] est représenté dans la zone méridionale. Cette évolution des fabriques indique une augmentation importante de la température de déformation du nord vers le sud, en liaison, à notre avis, avec la profondeur. Cependant, la majorité des éléments structuraux caractérise une déformation acquise à basse température.

5. Tectonique en décrochement

Du point de vue cinématique, les filons est-ouest à linéation verticale du granite du Rouet présentent des critères de cisaillement et des figures d'axes [c], indiquant un abaissement du compartiment sud (figure 4 : D8, E7, C1). On note, cependant, un mouvement inverse dans un filon (figure 4 : B2). Une aplite (E13), située à proximité de la faille de Joyeuse, indique un décrochement dextre semblable à celui observé le long de l'accident de Fontcounille sur la bordure est du massif (figure 7). La partie orientale du granite de Plan-de-la-Tour confirme bien ce sens décrochant dextre. La bordure occidentale, le long de

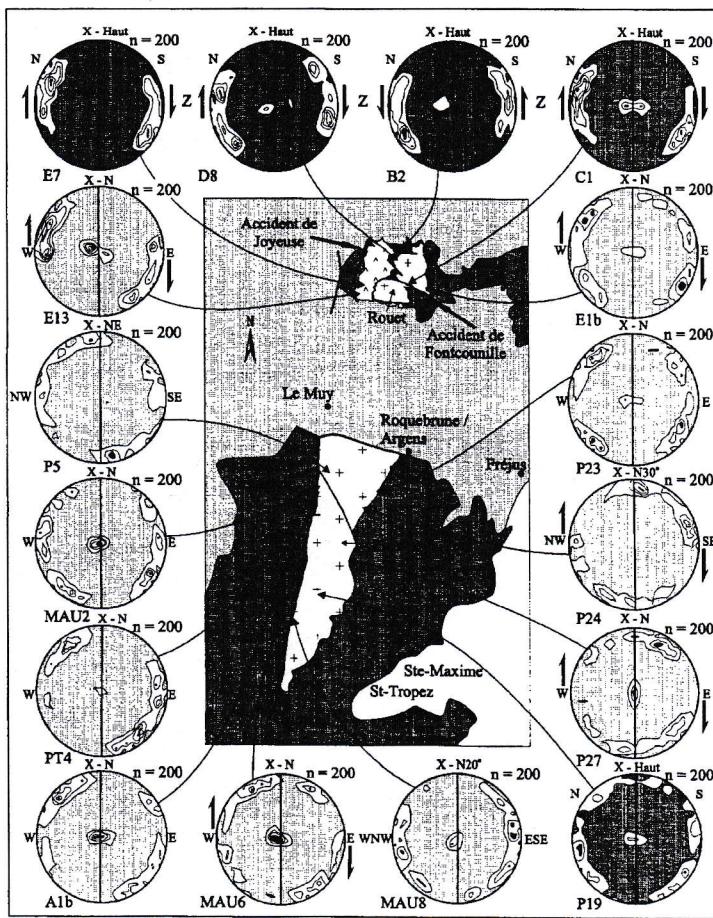


Figure 4. Diagrammes d'axes [c] du quartz mesurés sur les faciès de bordure et les filons leucogranitiques (200 mesures par diagramme ; canevas de Schmidt, hémisphère inférieur, contours à 2, 4, 6, 8 % pour 1 % de surface). Fond gris clair : échantillons à linéation horizontale ; fond gris foncé : échantillons à linéation verticale.

Quartz [c]-axis diagrams measured in the border facies and leucogranite dykes (200 measurements, Schmidt net, low. hem., contours for 2, 4, 6 and 8 % per 1 % area). Light grey: samples with horizontal lineation; dark grey: samples with vertical lineation.

la zone mylonitique de Grimaud, présente des figures d'axes [c] ne permettant pas de déterminer clairement un sens de cisaillement. Cette fabrique dispersée peut s'expliquer par un polyphasage de la déformation ductile. Cependant, des bandes de cisaillement, des agrégats biotitiques sigmoïdes, des porphyroclastes asymétriques et des fabriques de forme oblique mettent en évidence un cisaillement dexter (figure 3). En accord avec les études antérieures (Vauchez et Buffalo, 1985, 1988), l'accident de Grimaud se surimpose à une large zone de cisaillement ductile senestre plus ancienne.

Les caractères cinématiques : décrochement nord-sud dextres et failles normales est-ouest suggèrent que la mise en place du complexe granitique Rouet – Plan-de-la-Tour est contrôlée par un *pull-apart* dexter le long de l'accident de Grimaud (figure 5). En effet, ce modèle rend compte à la fois de la cinématique en faille normale observée dans les filons de leucogranite au nord du massif du Rouet, des critères de cisaillement dexter des bordures est et ouest, et de l'allongement submeridien du pluton. Les caractères structuraux et texturaux des différents faciès et de l'encaissant montrent que le granite s'est mis en place à un niveau relativement élevé de la croûte supérieure, où le comportement rhéologique fragile-ductile prédomine. Au cours du déplacement progressif le long de la faille de Grimaud,

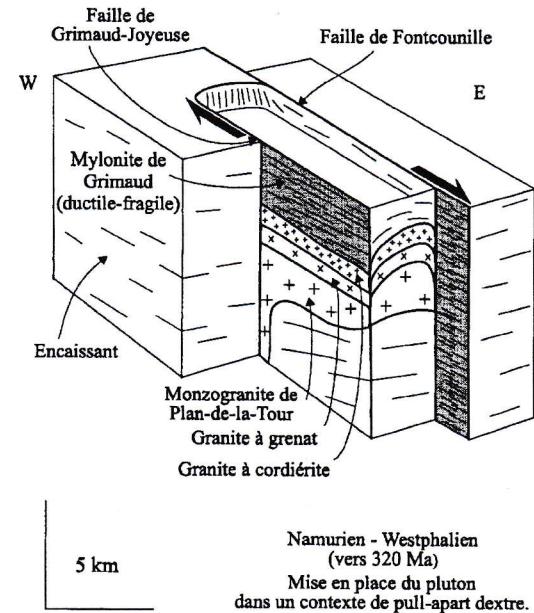


Figure 5. Modèle de mise en place dans un *pull-apart* dexter du complexe granitique Rouet – Plan-de-la-Tour.

Pull-apart emplacement model of the Rouet–Plan-de-la-Tour pluton.

les différentes lames granitiques se seraient injectées, produisant la zonation du platon. La tectonique tardive hercynienne se traduit par une évolution du jeu décrochant de l'accident de Grimaud, dans un domaine encore plus fragile.

Ainsi, un régime transpressif est responsable de la structuration de l'ensemble formé du complexe granitique et du bassin houiller, développé sur le flanc ouest de l'accident de Grimaud (Rousset et al., 1998). L'âge du décrochement fragile le plus tardif est estimé vers 290 Ma (Stéphanien supérieur – Permien inférieur), à la suite du dépôt des bassins houillers et avant la formation de la

dépression permienne datant du Permien supérieur (Thuringien ; Toutin-Morin et al., 1993).

6. Conclusion

Le massif de Rouet – Plan-de-la-Tour est un platon zoné, injecté dans la croûte supérieure pendant sa déformation autour de la transition ductile–fragile. Sa mise en place au Carbonifère moyen est contrôlée par un système de pull-apart dextre. Au Permien inférieur, le massif granitique et le bassin houiller adjacent sont restructurés par un jeu fragile, en régime transpressif de l'accident de Grimaud.

7. Références

- Berthé D., Choukroune P. et Jégouzo P. 1979. Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: the example of the South Armorican Shear Zone, *J. Struct. Geol.*, 1, 31–42
- Blumenfeld P., Mainprice D. et Bouchez J.-L. 1985. Glissement de direction [c] dominant dans le quartz de filons de granites cisaillés en conditions subsolidus (Vosges, France), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, série II, 1303–1308
- Boucarut M. 1963. Étude tectonique du Tanneron occidental (Var), *DES*, Marseille, 93 p.
- Bouchez J.-L., Delas C., Gleizes G. et Nédélec A. 1992. Submagmatic microfractures in granites, *Geology*, 20, 35–38
- Crévolà G. et Pupin J.-P. 1994. Crystalline Provence: structure and Variscan evolution, in : Keppie J.D. (éd.), *Pre-Mesozoic Geology in France and Related Areas*, Springer Verlag, Berlin, 426–441
- Demay 1927. La zone mylonitique de Grimaud et la tectonique du massif des Maures, *Bull. Soc. géol. France*, (4), 28, 9–24
- Faure M. 1995. Late orogenic Carboniferous extensions in the Variscan French Massif Central, *Tectonics*, 14, 132–153
- Faure M., Leloir C. et Roig J.-Y. 1997. L'évolution polycyclique de la chaîne hercynienne, *Bull. Soc. géol. France*, 168, 695–705
- Gapais D. et Barbarin B. 1986. Quartz fabric transition in a cooling syntectonic granite (Hermitage Massif, France), *Tectonophysics*, 125, 357–370
- Hibbard M.J. 1987. Deformation of incompletely crystallized magma systems: granitic gneisses and their tectonic implications, *J. Geol.*, 95, 543–561
- Hibbard M.J. et Watters R.J. 1985. Fracturing and dikeing in incompletely crystallized granitic plutons, *Lithos*, 18, 1–12
- Hutton D.H.W. 1988. Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inferences from deformation studies, *T. Roy. Soc. Edin-Earth*, 79, 245–255
- Jessell M.W. et Lister G.S. 1990. A simulation of temperature dependence quartz fabrics, in : Knipe R.J. et Rutter E.H. (éds), *Deformation mechanisms, rheology and tectonics*, Geol. Soc. Sp. Publ., 54, 353–362
- Law R.D. 1990. Crystallographic fabric: a selective review of their application to research in structural geology, in : Knipe R.J. et Rutter E.H. (éds), *Deformation mechanisms, rheology and tectonics*, Geol. Soc. Sp. Publ., 54, 335–352
- Maluski H. 1972. Étude ^{87}Rb - ^{87}Sr du massif de granite de Plan-de-la-Tour (Maures), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 274, série D, 520–523
- Morillon A.-C., Sosson M., Féraud G., Ruffet G., Crévolà G. et Lerouge G. 1996. Précision sur l'âge des déplacements le long de l'accident de Plan-de-la-Tour (massif des Maures, SE France), par la méthode ^{40}Ar / ^{39}Ar , in : 16^e RST, Orléans, 6, 57
- Mousavou M. 1998. Contribution à l'histoire thermo-tectonique des Maures par la typologie du zircon et la géochronologie U/Pb sur minéraux accessoires, *Thèse*, Université de Montpellier, 187 p.
- Okudaria T., Takeshita T., Hara I. et Ando J. 1995. A new estimate of the conditions for transitions from basal < \rightarrow > to prism < \lhd > slip in naturally deformed quartz, *Tectonophysics*, 250, 31–46
- Roig J.-Y. et Faure M. 1995. La déformation du quartz dans un platon syntectonique mis en place pendant l'extension Carbonifère supérieur du Massif central français (le leucogranite de Chambles, massif du Velay), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 321, série IIa, 789–796
- Rousset C., Crévolà G., Lerouge G., Morillon A.-C., Pupin J.-P. et Sosson M. 1998. in : 17^e RST, Brest, 188
- Serment R. et Triat J.-M. 1967. Étude tectonique du granite du Plan-de-la-Tour (Var), *Bull. Soc. géol. France*, (7), IX, 662–669
- Toutin-Morin N., Bonjoly D., Brocard C. et Dubard M. 1993. Enregistrement sédimentaire de l'évolution post-hercynienne en bordure des Maures et du Tanneron, du Carbonifère supérieur à l'actuel, *Géologie de la France*, 2, 3–22
- Tullis J., Christie J.M. et Griggs D. T. 1973. Microstructure and preferred orientations of experimentally deformed quartzites, *GSA Bull.*, 84, 297–314
- Van der Molen I. et Paterson M.S. 1979. Experimental deformation of partially melted granite, *Contr. Mineral. Petrol.*, 70, 299–318
- Vauchez A. et Buffalo M. 1985. La limite Maures occidentales – Maures orientales (Var, France) : un décrochement ductile senestre majeur entre deux provinces structurales très contrastées, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, série II, 1059–1062
- Vauchez A. et Buffalo M. 1988. Charriage crustal, anatexie et décrochements ductiles dans les Maures orientales (Var, France) au cours de l'orogenèse varisque, *Geol. Rundschau*, 77, 45–62