

# Les granites de la Margeride, de Chambon-le-Château et de Saint-Christophe-d'Allier (Massif central) : des laccolites synchrones des derniers stades de l'épaississement varisque\*

Jean-Louis FEYBESSE <sup>(1)</sup>  
Jean-Pierre COUTURIÉ <sup>(2)</sup>  
Patrick LEDRU <sup>(1)</sup>  
Vera JOHAN <sup>(1)</sup>

*The Margeride, Chambon-le-Château and Saint-Christophe-d'Allier granites (Massif Central) : laccoliths emplaced during the last stages of Variscan crustal thickening*

Géologie de la France, n° 1, 1995, pp. 27-45, 5 fig., 5 pl. photos.

Mots-clés : Granite, Laccolite, Processus syntectonique, Orogénie hercynienne, Microtectonique, Tectonique tangentielle, Viséen, Namurien, Épaississement croûte, Massif central, Margeride.

Key words: Granites, Laccoliths, Syntectonic processes, Hercynian orogenesis, Structural analysis, Thrust tectonics, Visean, Namurian, Crustal thickening, Massif central, Margeride.

## Résumé

*L'analyse structurale de la partie orientale de la Margeride permet d'intégrer la mise en place des granites de cette région dans le cadre de l'évolution orogénique du Massif central et de préciser l'âge de la fin de l'épaississement crustal dans ce segment de la chaîne varisque.*

*Le complexe granitique margeridien est composé de trois laccolites superposées (Saint-Christophe-d'Allier, Chambon-le-Château, Margeride).*

*Des accidents tangentiels à vergence sud sont localisés au mur de ces "feuilletés" granitiques. Ces accidents sont synchrones de la mise en place des granites et de la déformation régionale D3; ils sont par contre antérieurs au "dôme" du Velay ainsi qu'aux failles*

*normales et aux plis namuro-westphaliens qui affectent l'environnement du "dôme".*

*Cet événement tectonique fini viséen (entre 335 et 325 Ma) contribue à l'épaississement crustal. Il s'inscrit, avec la tectonique majeure en nappe, classiquement rapportée au Viséen inférieur (vers 345 Ma), dans un continuum au cours duquel la cinématique du cisaillement reste similaire.*

*Cette tectonique reconnue également en Châtaigneraie occidentale et dans les séries de la Sénouire ou du Lyonnais est d'ampleur régionale. Elle marque les derniers incréments de la tectonique additive varisque. Celle-ci est scellée à partir de 320 Ma par la faille de détachement du Pilat et le magmatisme velave. Elle s'achève donc, comme en*

*Montagne Noire, au Namurien (entre 325 et 320 Ma).*

## English abridged version

### Introduction - Geological setting

*The French Massif Central is a segment of the Variscan Belt that was built up during the Devonian and Carboniferous during the collision between Gondwana and Larussia (Autran and Cogné, 1980; Bard et al., 1980; Latte, 1986). The orogenic development of the Massif Central can be broken down into two major stages:*

*1) A stage of mountain building marked by the development of nappe tectonism, at first in the inner zones (between 400 and 340 Ma) and then in the outer zones (between 340 and 325 Ma),*

\* Communication orale lors de la séance spécialisée Massif central, Clermont-Ferrand, septembre 1993. Manuscrit reçu le 4 janvier 1994, accepté définitivement le 1<sup>er</sup> novembre 1994.

(1) BRGM/DR/MGG, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2.

(2) Univ. Blaise Pascal, Département des Sciences de la Terre, 5, rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand.

accompanied by migmatization and early granite emplacement.

2) A stage of erosion accompanied by extensional tectonism and the emplacement of migmatite domes and granite.

The southeastern part of the Massif Central was involved in all or part of this evolution. Between the major crustal thickening of Carboniferous age (345 Ma) and the late-orogenic anatectic and extensional events, however, one notes that considerable amounts of porphyritic potassium granite were emplaced between 340 and 325 Ma in the Lyonnais, Vivarais, Sénouire, Châtaigneraie and Margeride areas (figs. 1 and 5).

A review is given of what is currently known concerning the structure of the eastern part of the Margeride granite complex (Margeride, Saint-Christophe-d'Allier, Chambon-le-Château granites). It is shown that these intrusions were contemporaneous with Visean-Namurian thrust faulting and the place of this tectonic activity within the Variscan orogenic history is discussed.

### Geometry and chronology of the intrusions

Lithostructural and gravimetric data confirm the lamellar shape of the granites (laccoliths) and an analysis of the magmatic contacts between the three granite bodies shows that they were contemporaneous. Similarly, it appears that the eastern part of the Margeride granite complex consists of three superposed « granitic sheets » that are geometrically concordant with the foliation, which was subhorizontal during the granite emplacement (figs. 2, 3, and 4).

### Structural analysis

Study of the internal structure of the granites and of the structures developed in the country rock shows thrust faults with a SE to SSE vergence localized in the footwall of the laccoliths. These faults are marked by mylonites within which the geometry and deformation kinematics are defined by a stretching lineation contained within a foliation, by

asymmetric pressure shadows and by shear bands (photos 2 to 7). An important deformational gradient at laccolith scale is marked by a progressive decrease in the intensity of plastic deformation of the minerals and the fabric away from the faults. The deformation nevertheless retains the same geometry, and analysis of this geometry at the scale of the Margeride laccolith (figs. 1C and 4) shows that all the internal structures of this massif are related to a single tectonic event.

### Relationships between metamorphism and deformation in the host rocks to the granites

Mylonitization of the metamorphic country rock caused a recrystallization of the MP/HT metamorphic paragenesis that marks the regional S1-2 foliation which developed around 345 Ma (Carboniferous), at the height of crustal thickening. This recrystallization took place in two phases: at first a dynamic phase during which the biotite, sillimanite and/or white mica were stable; then the development of a late-tectonic blastitic growth of andalusite and cordierite (developed at the expense of biotite and garnet).

### Origin of the eastern Margeride faults, their place in the regional tectonic sequence and the Variscan orogeny

The metamorphic conditions of the mylonitization, as well as the constancy of the axes of deformation and kinematics developed during the pre-subsolidus (magmatic fabric with globular quartz; photo 1) and subsolidus (mylonitic texture with drawn-out quartz; photos 2 to 6) stages of the granite, reflect the syntectonic character of the Margeride complex.

Consequently, in view of the age of the Margeride granite, this tectonism would have developed during the Visean-Namurian: around 335 Ma at the earliest and around 325 Ma (thermic closure of the system) at the latest.

In addition, the establishment of a relative chronology (photos 8 to 13) and

a geochronology with respect to the sequence of regional tectonic, metamorphic and magmatic events shows that the thrust faulting in the eastern Margeride was: (a) later than the peak Variscan nappe tectonism (i.e. the major crustal thickening generally assigned to the Early Variscan [around 345 Ma] but forming, with this latter, a continuum during which the shear kinematics remained much the same; (b) synchronous with the regional D3 deformation, which was contemporaneous with the granite emplacements of the Margeride complex; (c) earlier than the Velay « dome », and also earlier than the normal faulting and Namurian-Westphalian folding that affected the « dome » environment.

This regional end-Visean tectonic event (between 335 and 325 Ma) therefore contributed to the regional crustal thickening, representing its final stages.

The tectonism is also recognized in western Châtaigneraie and in the Sénouire and Lyonnais series where it was of regional extent (fig. 5). It marks the last increments of the Variscan accretionary tectonism, which was sealed, after 320 Ma, by the Pilat detachment fault and the Velay magmatism. It therefore ended, as at Montagne Noire, during the Namurian (between 325 and 320 Ma).

### Conclusion

It appears that for the eastern, southeastern and southern parts of the Massif Central the process of Variscan mountain building ended in the Visean-Namurian (around 325 Ma). In the eastern part of the Massif Central, this final stage controlled the emplacement and geometry of a major suite of intrusions. It was then sealed very rapidly by the post-collisional evolution marked by a tectonic thinning of the thickened domain (after 320 Ma; Pilat; Malavieille et al., 1990; Montagne Noire; Echtler, 1990; Echtler and Malavieille, 1990; Maluski et al., 1991) or by the « Velay magmatism and tectonism ».

## Introduction

### Cadre géologique

La chaîne varisque s'est édifiée au Dévonien et au Carbonifère lors de la collision entre les continents Gondwana et Laurussia (Autran et Cogné, 1980 ; Bard *et al.*, 1980 ; Matte, 1986).

Dans le Massif central français, la succession des événements structuraux et métamorphiques permet de reconstituer l'évolution tectonique de ce segment de la chaîne. Postérieurement à la mise en place des nappes dans les zones internes (période médiovarisque, 400-340 Ma, Ledru *et al.*, 1989), les zones externes se trouvent impliquées dans la collision (période néovarisque, 340-300 Ma). La tectonique compressive se marque alors par l'empilement des nappes dans l'Albigeois et par la réactivation des surfaces tectoniques antérieures dans les zones plus internes. Elle s'achève vers 325 Ma en Montagne Noire (Feist et Galtier, 1985).

La chaîne varisque est en outre caractérisée par l'ampleur des phénomènes de fusion crustale et l'abondance du magmatisme granitique, développés à différents niveaux structuraux et à divers stades de l'évolution orogénique :

- la migmatisation et la mise en place des magmas peuvent être synchrones de la tectonique compressive et contribuer à l'édification de la chaîne. C'est le cas des migmatisations de l'Artense (Mercier *et al.*, 1993) du Haut-Allier et du Lyonnais (Feybesse *et al.*, 1995) et des granites du Pinet (Burg et Teyssier, 1983) et de Guéret (Bouchez et Jover, 1986).

- ces phénomènes peuvent aussi apparaître postérieurement à la mise en place des nappes et semblent alors être associés à l'extension post collisionnelle. C'est notamment le cas de certains granites du plateau d'Aigurande, de la série de la Sioule ou des Cévennes (Faure *et al.*, 1990, 1992 et 1993 ; Faure et Pons, 1991), de l'anatexie de la Montagne Noire (Echtler et Malavieille, 1990) ou de celle du Velay (Malavieille *et al.*, 1990 ; Lagarde *et al.*, 1993 ; Dallain *et al.*, 1993).

Au sud-est du Massif central, les séries du Lot, de Marvejols, d'Alleyras, de la Truyère et de la Châtaigneraie (fig. 1) ont connu tout ou partie de cette évolution (tabl. 1). Une tectonique compressive (Demay, 1945 ; Carme, 1974 ; Burg, 1977, 1983 ; Briand, 1978 ; Briand et Gay, 1978 ; Bogdanoff *et al.*, 1989) est responsable de la structuration majeure. Elle se marque par deux déformations synfoliales (D1 et D2 ; Burg et Matte, 1978 ; Pin, 1979 ; R'Kha Chaham, 1989 ; ce travail) développées dans des conditions métamorphiques de moyenne pression et haute à moyenne température (Kornprobst et Poulain, 1972 ; Kornprobst, 1977 ; Briand et Gay, 1978 ; Pin, 1980 ; Lasnier et Marchand, 1982 ; Burg *et al.*, 1984).

Cette tectonique a conduit à un épaissement crustal majeur. Au Carbonifère (vers 345 Ma ; Pin, 1979, 1981 ; Pin et Peucat, 1986), deux unités allochtones ortho- et paragneissiques (Unités Supérieure et Inférieure des Gneiss) se mettent en place sur un autochtone relatif quartzo-pelitique (Ledru *et al.*, 1989 ; Ledru et Feybesse, 1991 ; Ledru *et al.*, 1994a, b).

La pile litho-tectonique édifiée à ce stade est reprise par un plissement tardif responsable des grandes structures régionales et associé à une schistosité de crénelation (déformation D3 ; Burg, 1977 ; Pin, 1979 ; Feybesse, 1981 ; Bogdanoff *et al.*, 1989).

La formation du dôme granito-migmatitique du Velay est postérieure aux événements précédents. Elle intervient à la fin de l'orogène. La migmatisation finale est tardive ( $298 \pm 8$  Ma, Rb/Sr, Caen-Vachette *et al.*, 1982 ;  $304 \pm 15$  Ma, U/Pb, Mougeot, 1993 ;  $304 \pm 6$  Ma, Williamson in Mougeot 1993), elle est associée à des phénomènes d'extension (Malavieille *et al.*, 1990 ; Lagarde *et al.*, 1993 ; Dallain *et al.*, 1993, Ledru *et al.*, 1994b). Ceux-ci contrôlent la mise en place de filons et de plutons leucogranitiques dans l'encaissant du dôme. Sur la bordure ouest de ce dernier, des plis péri-vellaves droits (P4) d'axes sub-méridiens, reprennent les grands plis régionaux P3 tel que l'anticlinorium d'Alleyras dont la forme en dôme résulte de la superposition des deux plissements (R'Kha Chaham,

1989). Ce plissement tardif (P4) est classiquement attribué à des déformations développées dans l'environnement du "dôme".

Entre l'épaississement carbonifère majeur et ces événements anatectique et distensif tardi-orogéniques le sud-est du Massif central est le siège, de 340 à 325 Ma, d'importantes venues granitiques. Les granites mis en place à ce stade sont souvent associés à des vauugnérites. Ils représentent un volume considérable difficilement expliqué aujourd'hui. Ce sont les granites porphyroïdes potassiques péri-vellaves du Lyonnais (Grand-Chemin, Saint Héand, Soucieu) du Vivarais (Tournon), de la Sénouire (Chaise Dieu), de la Châtaigneraie (Marcolès, Omps, Boisset) et de la Margeride (Margeride, Chambon-le-Château) ainsi que le granite à deux micas de Saint Christophe.

Le granite de la Margeride est daté à  $323 \pm 12$  Ma (Rb/Sr ; Couturié *et al.*, 1979) et à  $334 \pm 7$  Ma (U/Pb sur monazite ; Respaut, 1984). Ce granite, comme ceux de Châtaigneraie, a souvent été décrit comme post-tectonique (Demay, 1945. Forestier, 1963 ; Lemoine, 1967 ; Vivier, 1972 ; Chèze, 1975 ; Joubert, 1978 ; Boessé, 1980). Certains auteurs ont cependant remarqué la texture orientée du granite de la Margeride dans sa partie est (Lameyre, 1966 ; Couturié, 1977 ; Jarlier, 1982) ou la texture mylonitique de certains granites de Châtaigneraie occidentale (Feybesse, 1981). Plus récemment, M. Laboue (1982) a montré que la texture orientée du granite sombre est liée à une déformation et à un cisaillement plus intenses et a rapporté ce phénomène à une intrusion forcée de ce granite. Enfin, G. Caia (1989) a émis l'hypothèse d'une mise en place syntectonique. Toutefois, le contexte tectonique (compressif ou distensif ?) dans lequel ces intrusions se mettent en place n'est pas clairement établi.

Ce travail fait le point des connaissances sur la structure de la partie orientale du complexe granitique margeridien (Margeride, Saint Christophe, Chambon-le-Château) et de son encaissant. Une analyse de la déformation développée au mur et au toit de ces laccolites ainsi qu'un réexamen et une réinterprétation

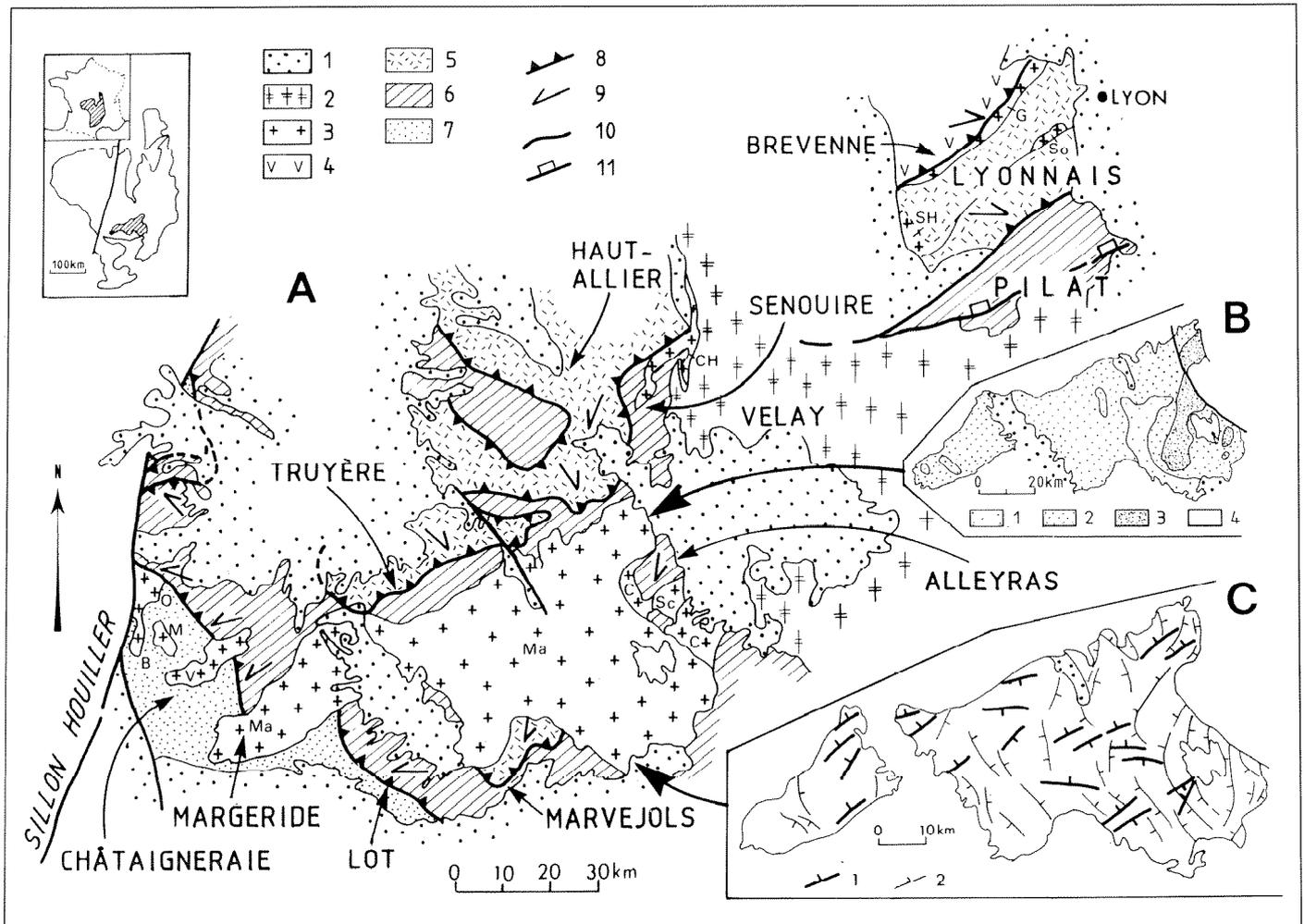


Fig. 1. - Cadre litho-structural.

A. - 1 - Terrains post-stéphanien indifférenciés ; 2 - Granites vellaves indifférenciés ; 3 - Granites viséo-namuriens. O = Omps, B = Boisset, M = Marcolès, V = Veinazès, Ma = Margeride, C = Chambon-le-Château, Sc = Saint-Christophe-d'Allier, Ch = Chaise-Dieu ; Guillomanche et Saint-Just-de-Medeyrolles ; SH = Saint Héand, So = Soucieu, G = Grand-Chemin ; 4 - Série paléovolcanique de la Brevenne ; 5 - Unité supérieure des gneiss ; 6 - Unité inférieure des gneiss ; 7 - Autochtone relatif ; 8 - Chevauchements d'âge carbonifère inférieur ; 9 - Direction et sens du cisaillement associé aux chevauchements d'âge carbonifère inférieur ; 10 - Faille indifférenciée ; 11 - Détachement du Pilat.

Documents consultés : Andrieux *et al.*, 1980 ; Bogdanoff *et al.*, 1989 ; Briand et Gay, 1978 ; Burg, 1989 ; Burg et Matte, 1977 ; Couturié, 1977 ; Delfour *et al.*, 1977 ; Feybesse, 1981 ; Feybesse *et al.*, 1988 ; Feybesse *et al.*, 1995 ; Gardien, 1990a et b ; Gay *et al.*, 1981 ; Grivotte, 1985 ; Laboue, 1982 ; Ledru *et al.*, 1989, 1989, 1994b ; Ledru et Feybesse, 1991, Malavieille *et al.*, 1990 ; Pin, 1979 ; Pin, 1980.

B. - Répartition des faciès pétrographiques du Massif de la Margeride (d'après Couturié, 1977). 1 - faciès clair ; 2 - faciès moyen ; 3 - faciès sombre ; 4 - leucogranite de Grandrieu.

C. - Organisation globale des structures internes du Massif de la Margeride (modifié d'après M. Laboue 1982). 1 - fabrique "longitudinale" ; 2 - fabrique "transversale".

Fig. 1. - Geological setting.

A. - 1 - Undifferentiated post-Stephanian ; 2 - Undifferentiated Velay granite ; 3 - Visean-Namurian Velay granite: B - Boisset, M - Marcolès, V - Veinazès, Ma - Margeride, C - Chambon-le-Château, Sc - Saint-Christophe d'Allier, Ch - Chaise-Dieu; Guillomanche and Saint-Just-de-Medeyrolles; SH = Saint Héand, So = Soucieu, G = Grand-Chemin; 4 - Brevenne volcanic series; 5 - Upper Gneiss Unit; 6 - Lower Gneiss Unit; 7 - Relative autochthon; 8 - Early Carboniferous thrusts ; 9 - Direction and sense of shearing associated with Early Carboniferous thrusts; 10 - Undifferentiated fault, 11 - Pilat detachment.

B. - Distribution of petrographic facies in the Margeride granite (after Couturié, 1977). 1 - pale facies; 2 - medium facies; 3 - dark facies; 4 - Grandrieu leucogranite.

C. - Overall organization of internal structures of the Margeride granite (adapted from Laboue, 1982). 1 - "longitudinal" fabric; 2 - "transversal"

des textures décrites dans le massif de la Margeride par M. Laboue (1982) ont été réalisés dans le cadre de cette étude. Le calage des structures internes par rapport aux événements tectoniques régionaux

permet de montrer le caractère syntectonique des intrusions de Margeride orientale. La mise en place des granites intervient le long d'accidents tangentiels viséo-namuriens à vergence sud, dont

l'origine et la place dans l'histoire orogénique varisque seront discutées : notamment par rapport aux événements distensifs péri-vellaves qui affectent également cette région.

ÉVÉNEMENTS ANTE-STÉPHANIENS				ÉVÉNEMENTS STÉPHANIENS
Séries du Lot, de Marvejols, d'Alleyras, de la Truyère et de la Châtaigneraie				Série d'Alleyras
D é f o r m a t i o n s	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	
		- foliation transpositive S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub> - plis (isoclinaux?) P <sub>1</sub> rares ; axes et linéation d'intersection S <sub>0</sub> /S <sub>1</sub> de direction NNE	- foliation sub-horizontale transposant S <sub>0</sub> -S <sub>1</sub> - plis isoclinaux P <sub>2</sub> : axes et linéation d'intersection de direction NW-SE - linéation d'éirement : NW-SE à N-S (Truyère, Alleyras, Marvejols) ; NE-SW à E-W (Châtaigneraie, Lot)	- schistosité de crénulation S <sub>3</sub> (sub-verticale) - plis droits P <sub>3</sub> - foliation S <sub>3</sub> dans les accidents tangentiels - linéation d'éirement : N-S à NW-SE (Alleyras), NE-SW à E-W (Châtaigneraie)
M é t a - m o r p h i s m e	... U.S.G. (HP - HT?) ... U.I.G. (?) -	U.S.G. HP - HT (Bi + Sill + FK) U.I.G. MP - HT (Bi + Sill + FK ou Bi Sill + St + gt ± Di) à MP - MT (Bi + Mu ± gt) Autochtone relatif : épizonal	Domaines en aplatissement : épizonal ou mélamorphisme de contact péri-margeridien (Bi + Cd + Mb) Accidents tangentiels : (MP à BP?) - HT (Bi + Sill ± Cd ± mica blanc, syn-tectoniques, puis : Cd et And fini-tectoniques	BP (mica blanc ± chlorite) -
D i r e c t i o n e t s e n s d u c i s a i l l e m e n t	?	Truyère, Alleyras, Marvejols : vers le sud-est ou le sud (fig. 1) Lot, Châtaigneraie : vers le sud-ouest ou l'ouest (fig. 1)	Alleyras : vers le sud ou le sud-est (fig. 5) Châtaigneraie : vers le sud-ouest ou l'ouest (fig. 5)	Vers le sud-est
P r i n c i p a l e s d i s c o n t i n u i t é s	..... Chevauchements ..... Accidents tangentiels			failles normales et décrochements
S t y l e t e c t o n i q u e	..... tangentiel .....			distensif et transcurrent
M a g m a t i s m e		pegmatoides granites - syntectoniques	complexe granitique margeridien granites d'Omps et de Boisset	..... leucogranites .....
	360	345	335	325 305
	Carbonifère inférieur		Viséen supérieur à Namurien	S t é p h a n i e n
D É V O N I E N C A R B O N I F È R E				

Tabl. 1. – Tableau récapitulatif des principaux événements fini-dévonien et carbonifères (échelle numérique des temps géologiques d'après Odin et Odin, 1990).

### Géométrie et chronologie de mise en place des intrusions

Le massif granitique de la Margeride est interprété comme un vaste laccolite plissé (Couturié, 1977). Il se décompose en trois "faciès" pétrographiques (sombre, moyen et clair) (fig. 1B) dont le caractère distinctif principal est la teneur modale en biotite qui varie de 5 à 28 % (Couturié, 1977). Le faciès "sombre" est localisé au mur du laccolite (barrage de La Valette, Laval-Atger). Il est surmonté par les faciès "moyen" et "clair". Les passages très progressifs observés entre ces différents faciès attestent qu'ils sont comagmatiques.

La géométrie du massif de la Margeride est confirmée par :

1) l'analyse des données gravimétriques (Aghshahi, 1979 ; Petrequin, 1979 ; Bayer *et al.*, 1982). Celles-ci

montrent qu'il s'agit d'une lame granitique dont l'épaisseur est au minimum de 4 km, de 4 à 5 km dans la majeure partie du massif et peut atteindre au maximum 8 km à l'extrémité occidentale du laccolite (région d'Entraygues-sur-Truyère) .

2) l'étude lithostructurale de la partie orientale du complexe granitique margeridien (*cf. infra*).

Sur sa bordure orientale, le massif granitique de la Margeride est en contact avec les laccolites sous-jacents de Chambon-le-Château et de Saint-Christophe (Couturié, 1977). Les interfaces entre ces trois unités granitiques sont fréquemment soulignées par des feuilletés gneissiques et correspondent souvent, nous le verrons, à des accidents tangentiels. Toutefois, quand, par endroit (par exemple, au sud-ouest de Chambon-le-Château : à Ancette et à la Baraque du Tribe), les contacts magmatiques sont

conservés, des phénomènes d'intrications magmatiques (contacts interlobés) et l'absence de faciès de bordure dans l'un ou l'autre des granites attestent que ces intrusions laccolitiques sont contemporaines.

La disposition de ces trois laccolites dans la pile lithologique peut être observée à la faveur des plis P 4 de l'anticlinorium périvelave d'Alleyras qui redressent les contacts lithologiques et plissent les granites donnant accès au toit et au mur des laccolites (fig. 2a, 2b et 3). Ces intrusions lamellaires sont concordantes avec la structuration majeure de la série métamorphique encaissante : ainsi, le laccolite de la Margeride est souvent séparé des lames granitiques sous-jacentes (Chambon-le-Château et Saint-Christophe-d'Allier) par des septa de gneiss globalement concordantes avec la foliation régionale composite (S1-2) des terrains métamor-

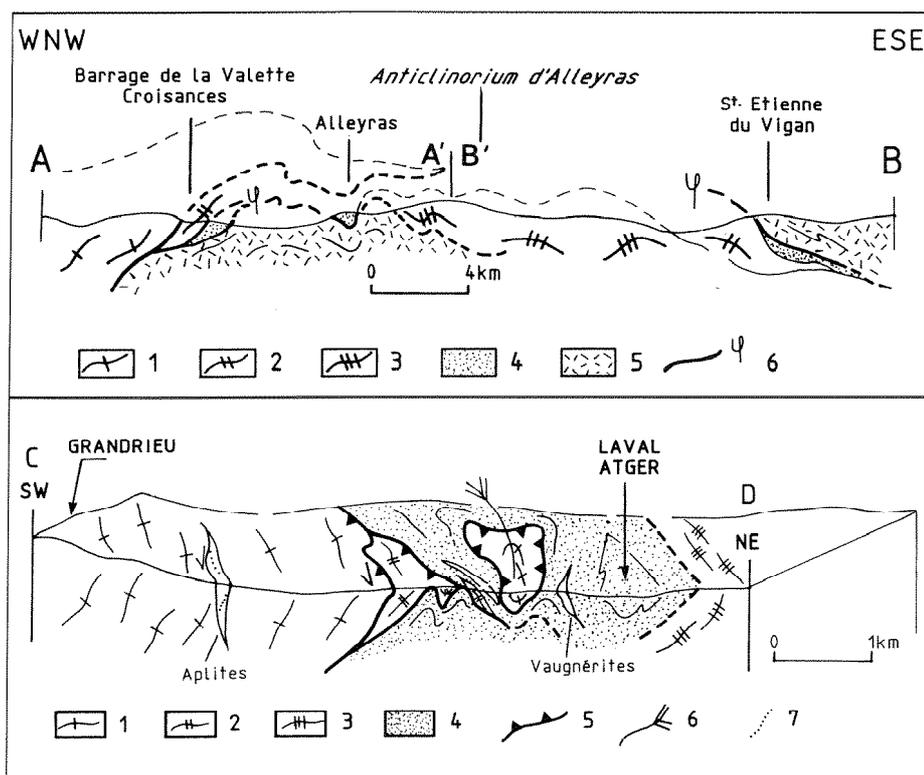


Fig. 2. – Pour la localisation des coupes des figures 2a et 2b, voir la figure 3.

**a** - Coupe schématique et interprétative de la bordure orientale du complexe granitique margeridien. 1 - granite de la Margeride; 2 - granite du Chambon-le-château; 3 - granite de Saint-Christophe-d'Allier; 4 - paragneiss; 5 - orthogneiss du "dôme" d'Alleyras et de l'arc de Fix; 6 - accident tangentiel.

**b** - Bloc diagramme schématique de l'organisation lithostructurale de la région de Laval-Atger. 1 - granite de la Margeride; 2 - granite du Chambon-le-château; 3 - granite de Saint-Christophe-d'Allier; 4 - paragneiss; 5 - accident tangentiel; 6 - synclinal P4 de la "klippe" de Laval-Atger; 7 - fabrique des aplites déformées.

Fig. 2. – Sections (see figure 3 for location).

**a**) Schematic interpretative section across the eastern margin of the Margeride granitic complex: 1 - Margeride granite; 2 - Chambon-le-Château granite; 3 - Saint-Christophe-d'Allier granite; 4 - paragneiss; 5 - orthogneiss of the Alleyras "dome" and The "Arc de" Fix; 6 - thrust fault.

**b**) Schematic block diagram of the Laval-Atger area: 1 - Margeride granite; 2 - Chambon-le-Château granite; 3 - Saint-Christophe-d'Allier granite; 4 - paragneiss; 5 - thrust fault; 6 -  $F_4$  syncline of the Laval-Atger klippe; 7 - Fabric of the deformed aplites.

phiques de la série d'Alleyras. De même, au mur et au toit, les contacts et la fabrique des granites sont parallèles à cette foliation. Ces relations peuvent être observées notamment dans les secteurs de Croisances, du barrage de la Valette, de Laval Atger (fig. 2a, 2b et 3) et de Monistrol d'Allier (à Pratclaux, au toit du laccolite de la Margeride).

Dans sa partie orientale, le complexe granitique margeridien est donc un assemblage de trois "feuilletés granitiques" superposés avec de bas en haut les trois laccolites subcontemporains de Saint Christophe, de Chambon-le-Château et de la Margeride. Ces granites sont d'un point de vue géométrique subconcordants avec la foliation S1-2 ce qui

ne permet en aucun cas d'argumenter d'un synchronisme des intrusions et de la foliation S1-2. En revanche, la foliation S1-2 étant associée aux chevauchements régionaux, donc probablement initialement subhorizontale, cette subconcordance implique que les laccolites avaient la même attitude avant d'être plissés, en même temps que leur encaissant, par des plis droits à axes subhorizontaux développés dans un contexte de déformation coaxiale.

### Analyse structurale

La structuration interne du granite de la Margeride a été étudiée dans son ensemble par M. Laboue (1982). A

l'échelle du massif, cet auteur considère que les différentes directions de fabrique qu'il observe ont été acquises lors "des phénomènes de mise en place". De fait, l'ensemble des fabriques internes se sont développées au stade anté- à syn-subsolides et dans des conditions de stabilité de la paragenèse magmatique (Q, Pl, Fk, Bi).

D'un point de vue géométrique, deux familles de fabriques feldspathiques "imbriquées" peuvent être distinguées : l'une "longitudinale" de direction N 60 à N 100 souligne l'allongement du massif, l'autre "transversale" de direction globale N 140 à N 160 est dominante à l'est, où elle épouse la forme en "croissant" de la bordure orientale (fig. 1C).

Pour ce qui concerne le massif de la Margeride, l'analyse structurale présentée ici concerne principalement la fabrique transversale et notamment ses relations avec des zones de déformation mylonitique, mais nous verrons que cette analyse permet d'expliquer les deux familles de fabriques par un événement tectonique unique.

Quant aux granites de Chambon-le-Château et de Saint Christophe, l'analyse a porté essentiellement sur les structures internes développées dans les zones de cisaillement.

Dans la partie orientale du complexe granitique margeridien, les structures planaires et linéaires internes des granites ont des orientations variables car elles sont déformées par le plissement tardif P4. En particulier, les linéations d'étirement sont de direction N-S à NW SE voir NE-SW (fig. 3 et 4).

L'incidence du plissement périvellaive P4 sur l'attitude des structures apparaît à l'échelle cartographique (fig. 2 et 3) et elle peut être observée directement au niveau de la "klippe" de Laval-Atger où la structuration interne et le mur du granite de la Margeride sont plissés en même temps que la foliation S1-2 des gneiss encaissants (fig. 2b).

Dans la partie basale du granite de la Margeride (faciès sombre) ainsi qu'au toit et au mur des granites de Saint-Christophe-d'Allier et de Chambon-le-Château, le plan d'aplatissement et la

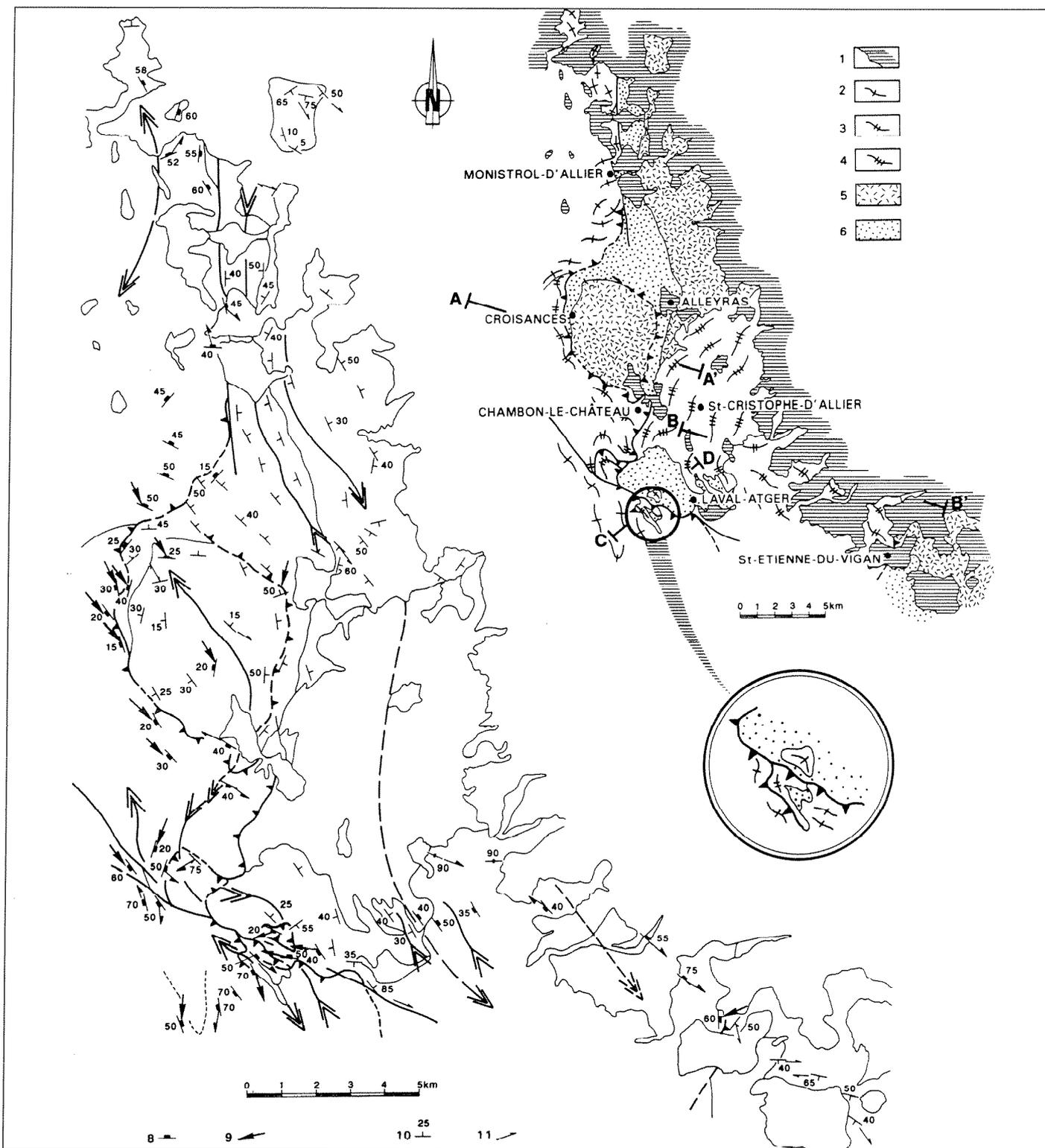


Fig. 3. – Carte lithostructurale de la bordure est du complexe granitique Margeridien.

1 - Volcanisme indifférencié ; 2 - Granite de la Margeride ; 3 - Granite de Chambon-le-Château ; 4 - Granite de Saint-Christophe-d'Allier; 5 - Orthogneiss de l'"Arc de Fix" ; 6 - Micaschistes et paragneiss.

Structures viséo-namuriennes : 8 - Schistosité ; 9 - Direction de la linéation d'étirement et sens de cisaillement (sens de déplacement du compartiment supérieur). Les demi-flèches noires indiquent la direction du plongement de la linéation d'étirement quand le sens du cisaillement est indéterminé.

Structures carbonifères inférieures : 10 - Foliation composite S1-2 ; 11 - Linéation d'étirement ; AA', BB' et CD position des coupes de la figure 2.

Fig. 3. – Geological map of the eastern margin of the Margeride granitic complex.

1 - undifferentiated volcanics ; 2 - Margeride granite ; 3 - Chambon-le-Château granite ; 4 - Saint-Christophe-d'Allier granite ; 5 - "Arc de Fix" orthogneiss ; 6 - mica schist and paragneiss.

Visean-Namurian structures : 8 - schistosity ; 9 - strike of the stretching lineation and sense of shearing (direction of movement of upper unit); half black arrows indicate the direction of lineation dip where the shear sense is undefined.

Early Carboniferous structures : 10 - composite S1-S2 foliation ; 11 - stretching lineation ; A-A', B-B', C-C' - sections in figure 2.

linéation d'étirement sont marqués, de façon générale, par les mégacristaux de feldspath potassique (MFK) et/ou les micas ainsi que les quartz étirés. Les fabriques macroscopiques sont planolinéaires (S>L) à linéo-planaire (L>S) : l'arrangement des cristaux est très régulier dans les plans XZ, l'orientation est par contre plus discrète dans les plans YZ car les micas et/ou les feldspaths tendent à se disposer en zone autour de l'axe d'élongation et par endroit l'orientation planaire est très peu marquée (texture à tendance linéaire). Ces caractères suggèrent que l'ellipsoïde de déformation est de type  $K = 1$  à  $K > 1$ .

Les sections XZ permettent d'observer l'organisation sigmoïde des plans d'aplatissement entre les plans de cisaillement.

Dans le faciès sombre de la Margeride, les plans de cisaillement se développent à toutes les échelles et portent des stries de glissement. Ces stries sont parallèles à la linéation d'étirement, tapissées par de la biotite et particulièrement nettes sur les faces (010) des mégacristaux de feldspath potassique déposés dans les plans de cisaillement.

La déformation décrite ici est particulièrement pénétrative dans des accidents localisés au mur du laccolite de la Margeride ainsi qu'au mur et au toit des feuillets granitiques de Saint-Christophe-d'Allier et de Chambon-le-Château (photos 5 et 6). Au niveau de ces accidents, une mylonitisation intense, ou une ultramylonitisation, affecte les granites et leur encaissant immédiat (*cf. infra*). Dans les granites, la mylonitisation se manifeste par une forte déformation plastique du quartz, une intense granulation des feldspaths, notamment des MFK, ainsi que par le développement d'une foliation et d'ombres de pression asymétriques. Les critères cinématiques observés dans les plans XZ indiquent un cisaillement global vers une direction SE à SSE (fig. 3 et 4 ; photos 2 à 6).

La foliation et la mylonitisation observées dans les zones de cisaillement intense se sont développées essentiellement au stade subsolidus, lors de la mise en place du granite. Les minéraux qui soulignent la foliation sont (photos 2 à

6) : biotite, plagioclase, feldspath potassique, et mica blanc (dans le faciès sombre du massif de la Margeride, ce minéral est limité à la zone mylonitique localisée au mur) voire sillimanite et cordiérite syn-tectoniques et grenat pour ce qui concerne les granites de Saint-Christophe et de Chambon. Cependant, il apparaît localement, notamment dans les ombres de pression, un début de chloritisation de la biotite ou de déstabilisation du feldspath potassique et de la sillimanite en mica blanc.

A l'échelle des laccolites, on observe, d'un point de vue qualitatif, une importante gradation de la déformation contrôlée par les failles ductiles limitant les granites.

Dans tous les cas, les accidents sont marqués par une zone de mylonitisation de puissance métrique. Dans les granites de Saint-Christophe-d'Allier et de Chambon-le-Château, en dehors des accidents, la déformation plastique s'estompe très rapidement et la fabrique devient très ténue.

Cette évolution est en revanche plus progressive dans le granite de la Margeride, mais la gradation de la déformation est parfaitement discernable. Au-dessus de l'accident situé au mur du laccolite (c'est-à-dire, à la base du "faciès sombre"), la mylonitisation persiste, à un degré moindre, dans une partie du "faciès sombre" et la déformation reste rotationnelle même à distance de la zone mylonitique dans les zones à fabrique magmatique (faible déformation plastique des minéraux ; photo 1). Vers le haut la déformation garde la même géométrie mais elle s'estompe progressivement : l'allongement des quartz et l'intensité de la fabrique diminuent progressivement jusqu'à apparition de quartz globuleux et dans certains secteurs d'une structuration en dessous du seuil de perception macroscopique. C'est le cas notamment au toit du laccolite où la déformation plastique est minimale et dans les faciès "moyen" et "clair".

Il y a donc, du mur au toit du laccolite de la Margeride, une diminution de l'intensité de la déformation. Celle-ci semble, au moins pour partie, en rapport avec la répartition des fabriques "longi-

tudinale" N60-100 et "transversale" N140-160. En effet, dans la zone de déformation maximale (= la zone de cisaillement majeure), la fabrique "transversale" est la seule exprimée mais dès que la déformation décroît la fabrique "longitudinale" apparaît : cette dernière devient dominante vers le haut du laccolite et, cartographiquement, vers l'ouest, tandis que la fabrique "transversale" n'apparaît que sporadiquement.

Pour ce qui concerne le régime de déformation, nous avons vu que les fabriques "transversales" sont liées à une déformation rotationnelle. L'analyse géométrique des fabriques "longitudinales", indique qu'elles se sont généralement développées en régime de déformation coaxiale ; sauf au toit du laccolite, notamment sur la bordure nord du massif, où la déformation est rotationnelle : le "tuilage" des cristaux au contact avec l'encaissant (de direction N70 et penté de 40° vers le nord) indique un jeu en faille inverse et un cisaillement vers le SE développé au stade magmatique (Laboue, 1982) et compatible avec celui que nous décrivons au mur du laccolite.

Dans la partie sommitale du faciès sombre et dans la partie inférieure du faciès moyen sus-jacent (par exemple, dans la région de Châteauneuf-de-Randon) les fabriques transversales et longitudinales cohabitent à l'échelle métrique. L'analyse de l'arrangement des cristaux permet alors de constater que les deux fabriques présentent une direction d'étirement (X) identique et des plans XZ de même direction.

En résumé, il apparaît donc que : 1) la répartition des familles de fabriques suit la gradation de la déformation ; 2) la fabrique "transversale" est contrôlée par des zones de cisaillement et se développe dans un régime de déformation rotationnelle tandis que la fabrique "longitudinale" est généralement associée à un régime de déformation coaxiale ; 3) les deux familles de fabriques sont contemporaines et associées au même champ de déformation. Ceci nous amène donc à interpréter les fabriques transversales qui apparaissent sporadiquement au sein des domaines à fabrique longitudinale dominante comme des répliques

mineures marquant l'influence atténuée de la zone de cisaillement majeure.

En conclusion, compte tenu des faits précédents, il semble que toutes les structures internes du massif de la Margeride soient relatives à un événement tectonique unique.

### Relations métamorphisme/déformation dans l'encaissant des granites

Au niveau des roches métamorphiques encaissantes, la mylonitisation est postérieure à la foliation composite S1-2. En particulier, la paragenèse métamorphique précoce de type MP-HT (Bi, Sill, FK, Gt ; Kornprobst, 1977) classiquement rapportée dans les séries voisines à la période d'épaississement majeur au Carbonifère inférieur (Burg, 1977 ; Pin, 1980 ; Lasnier et Marchand, 1982) est transposée et partiellement recristallisée. Dans l'aire d'emprise (d'échelle métrique) de la zone mylonitique, il apparaît des plis en fourreau et une restructuration intense marquée par une néofoliation :

- dans l'orthogneiss d'Alleyras, la sillimanite et la biotite sont en cours de déstabilisation en mica blanc ou en chlorite ;

- pour ce qui concerne les paragneiss, l'évolution se développe en deux stades : d'abord un stade dynamique au cours duquel la biotite, la sillimanite et/ou le mica blanc sont stables ; puis l'évolution s'achève par une blastèse tardi-tectonique d'andalouite et de cordiérite (développée aux dépens de la biotite et du grenat).

### Origine des accidents de Margeride orientale, leur place dans la séquence tectonique régionale et dans l'histoire orogénique varisque

- **Age de la déformation.** Les conditions métamorphiques de la mylonitisation ainsi que la constance des axes de la déformation et de la cinématique développées aux stades anté sub-solidus

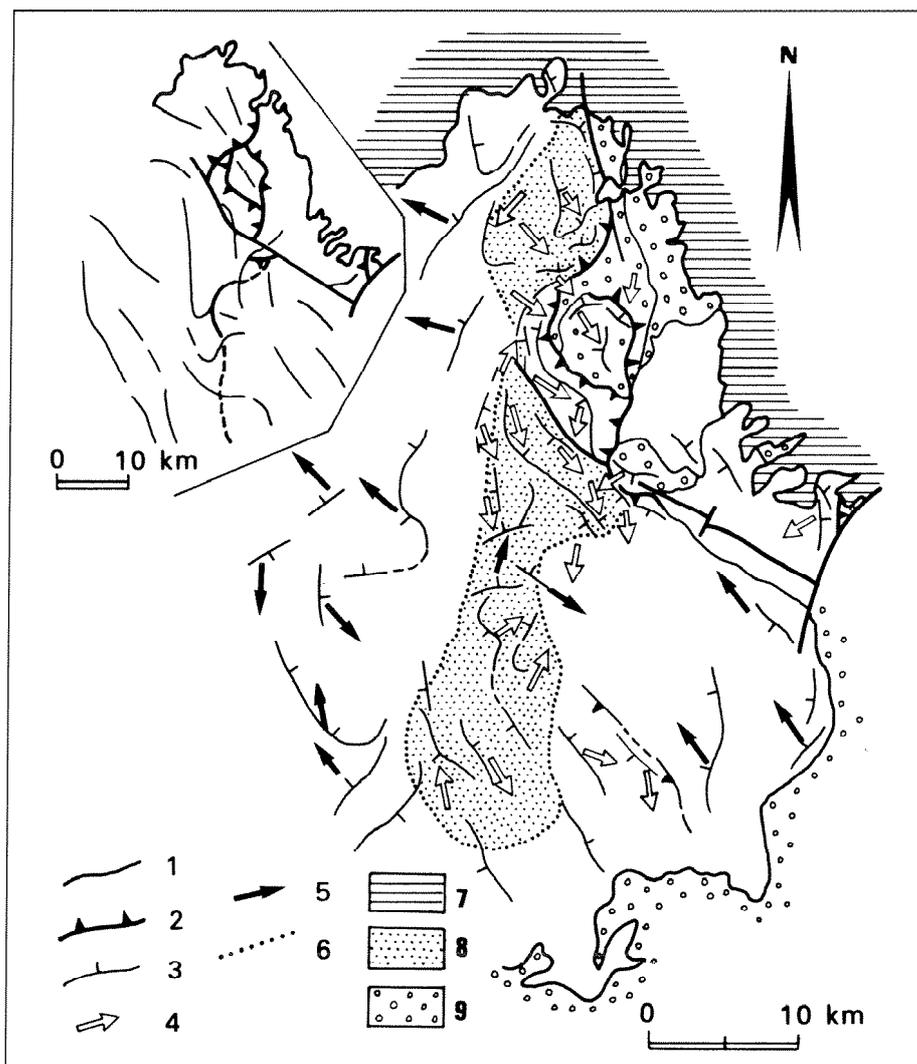


Fig. 4. - Carte synthétique des structures viséo-namuriennes dans la partie orientale du complexe granitique margeridien ; 1 - Trajectoire de la linéation d'étirement ; 2 - Accidents tangentiels ; 3 - fabrique ; 4 - Sens de cisaillement (déplacement du compartiment supérieur) ; 5 - Linéation d'étirement ; 6 - Limite du toit du faciès sombre d'après J.P. Couturié (1977) ; 7 - Volcanisme indifférencié ; 8 - Faciès sombre du granite de la Margeride ; 9 - Encaissant métamorphique indifférencié.

Fig. 4. - Composite Visean-Namurian structural map for the eastern part of the Margeride granitic complex: 1 - trace of stretching lineation; 2 - thrust faults; 3 - fabric; 4 - sense of shearing (direction of movement of upper unit); 5 - stretching lineation; 6 - top of dark facies (after Couturié, 1977); 7 - undifferentiated volcanics; 8 - dark facies of the Margeride granite; 9 - undifferentiated metamorphic host rocks.

(fabrique magmatique à quartz globuleux) et sub-solidus (texture mylonitique à quartz étirés) des granites indiquent le caractère syntectonique du complexe margeridien.

Par conséquent, compte tenu de l'âge du granite de la Margeride, cette tectonique s'est développée au Viséo-Namurien, au plus tôt vers 335 Ma et au plus tard vers 325 Ma, fermeture thermique du système.

- **Relations avec le magmatisme d'âge stéphanien et les déformations périvellaves.** La formation du dôme gra-

nito-migmatitique du Velay représente un événement migmatique développé au stade final de l'orogène varisque. Les derniers stades de migmatisation et la mise en place du dôme immature sont datés à 300 Ma. Les granites à cordiérite qui composent le dôme du Velay contiennent fréquemment des enclaves de granites porphyroïdes foliés classiquement considérés comme contemporains de la Margeride (Couturier, 1969 ; Dupraz et Didier, 1988).

De plus, en Margeride orientale, des filons et des petits massifs leucogran-

tiques se mettent en place au Stéphanien ( $298 \pm 2$  Ma ; Rb/Sr sur roche totale et minéraux ; Couturié et Caen-Vachette, 1980 ;  $305 \pm 4$  Ma ; U/Pb sur monazites ; Lafon et Respaut, 1988). Ces intrusions recoupent le massif de la Margeride (Lameyre, 1966; Couturié, 1977 ; Dutartre, 1982 ; Lafon et Respaut, 1988) et sont sécantes sur la structuration des granites margeridiens. Les filons sont subverticaux et de direction N 60 à N 130 (Dutartre, 1982). Ils sont localement affectés au stade magmatique à subsolidus par des failles normales ductiles et par des décrochements qui semblent donc postérieurs au granite de la Margeride (dont l'âge est de 334 à 323 Ma ; cf. supra) et à sa structuration syn-magmatique. Ces failles associées à des décrochements dextres de direction NNE-SSW et NW-SE se développent, dans l'environnement du dôme vellave, au sein des granites de Margeride orientale et de la série d'Alleyras. Elles sont faiblement pentées (généralement 10 à 45° vers l'est), de direction N-S à N130° et souvent tapissées de micas blancs qui soulignent la striation. L'analyse des tectoglyphes indique un cisaillement vers le sud-est. Le jeu de ces failles s'achève au stade cassant provoquant alors la cataclase des mylonites du mur du faciès sombre et de certains filons de leucogranite.

Enfin, dans sa partie orientale, le complexe granitique margeridien, comme les métasédiments et les orthogneiss de l'Arc de Fix de la région d'Alleyras, sont affectés par le plissement périvellave P4. Cartographiquement, les contacts principaux et les trajectoires de déformation sont plissés (fig. 2b). Ce plissement pourrait être synchrone des filons tardifs E-W à tourmaline qui clôturèrent l'épisode magmatique leucogranitique et se sont mis en place au Stéphanien (Dutartre, 1982).

Le magmatisme margeridien et les accidents tangentiels contemporains sont donc nettement antérieurs à ces événements fini-orogéniques stéphanien.

• **Place dans la séquence tectonique et métamorphique antéstéphanienne.** Différents faits doivent être pris en compte :

– le magmatisme margeridien se met en place dans les Unités Inférieure et

Supérieure des Gneiss et les séries parautochtones. La structuration majeure et le pic métamorphique interviennent dans ces unités au cours de la déformation D2 (tabl. 1). Ainsi, au niveau du charriage identifié dans la Châtaigneraie (Bogdanoff *et al.*, 1989) à l'interface Unité Inférieure des Gneiss/autochtone relatif, la mylonitisation maximale associée est liée à un cisaillement vers le sud-ouest (photo 8). La foliation développée est postérieure à une première foliation S0-S1 (photo 9 et 10) et reprise par une schistosité de crénulation S3 (photo 11). Les granites de la Châtaigneraie, en particulier ceux de Veinazès, et de la Margeride occidentale recoupent ces plans de charriage (fig. 1 ; Burg, 1977 ; Pin, 1979, 1981). De plus, ils développent au sein des terrains encaissants un métamorphisme de contact superposé à la foliation composite S1-2 (Forestier, 1963 ; Vivier, 1972 ; Chèze, 1975 ; Kornprobst, 1977 ; Joubert, 1978 ; Boessé, 1980 ; Derré, 1983 ; Nicolas, 1985 ; Caïa, 1989). Ces corps intrusifs sont donc, comme cela a été récemment souligné, postérieurs au paroxysme de l'épaississement (Lagarde *et al.*, 1992) et à la structuration majeure associée (déformation D2).

– Les plissements P2 et P3 sont coaxiaux (Pin, 1980 ; Feybesse, 1981 ; Burg *et al.*, 1984 ; Matte, 1986) de plus, en Châtaigneraie, un cisaillement, synchrone de la schistosité S3 (portant alors une linéation d'étirement L3 de direction NE-SW), reprend les mylonites syn D2 dont il est synthétique (photo 12). Les déformations D2 et D3 s'inscrivent donc dans un continuum au cours duquel le cisaillement vers le sud-ouest persiste.

– En Châtaigneraie, au sein de l'auréole de métamorphisme de contact induite par le granite de la Margeride, des biotites blastiques, générées par ce métamorphisme, sont nettement superposées à la foliation S2 des mylonites syn D2 et postérieures au maximum de la déformation. Elles sont néanmoins disposées dans la linéation d'étirement et affectées par les derniers incréments du cisaillement vers le sud-ouest (photo 13). De même, les cordiérites blastiques, liées à ce métamorphisme de contact, incluent nettement la foliation S1-2 ; elles sont étirées dans la direction

d'élongation marquée par la linéation d'intersection et d'étirement L3; leur rétro-morphose en mica blanc est pour partie synchrone du développement de la schistosité S3 que soulignent des micas blancs syn-tectoniques. Par ailleurs les accidents de Margeride orientale étant contemporains du magmatisme margeridien, il est clair que la cristallisation orientée, développée à ce moment dans l'encaissant, correspond à un métamorphisme de contact syn-tectonique. Or, à distance des accidents tangentiels, la déformation devient très rapidement moins pénétrative et à caractère non rotationnel. Elle est alors définie par une schistosité de crénulation qui est disposée en plan axial des plis régionaux P3 (déformation D3). De même, des répliques mineures des accidents dans la série métamorphique (R'Kha Chaham, 1989) sont synchrones des plis P3 (déformation régionale D3). Le métamorphisme de contact péri-margeridien est donc synchrone de la déformation régionale D3 et des accidents de Margeride orientale.

En résumé, les accidents tangentiels de Margeride orientale sont donc fini D2 à syn D3. Ils s'inscrivent avec l'épaississement paroxysmal syn D2 dans un continuum au cours duquel la cinématique reste d'ailleurs similaire (fig. 5) : cisaillement vers le sud-ouest en Châtaigneraie, vers le sud dans la région d'Alleyras (ce travail) et dans celle de Marvejols (Pin, 1979 ; Burg *et al.*, 1984 ; Matte, 1986).

Par conséquent, cette tectonique doit être rapportée à l'épaississement régional dont elle représente les derniers stades.

Cet événement tectonique tardif a été également reconnu en Châtaigneraie occidentale (fig. 5) où les granites syn-tectoniques viséo-namuriens d'Omps et de Boisset (Feybesse, 1981) marquent les stades finaux de la tectonique compressive carbonifère (Ledru et Feybesse, 1991). Vers le nord, dans la région de la Chaise-Dieu (fig. 5), ces accidents tangentiels sont contemporains de décrochements senestres (Ledru *et al.*, 1994c). Ils affectent les granites syn-tectoniques viséens de la Chaise-Dieu, de Guillomanches (Grivotte, 1985) et de Saint

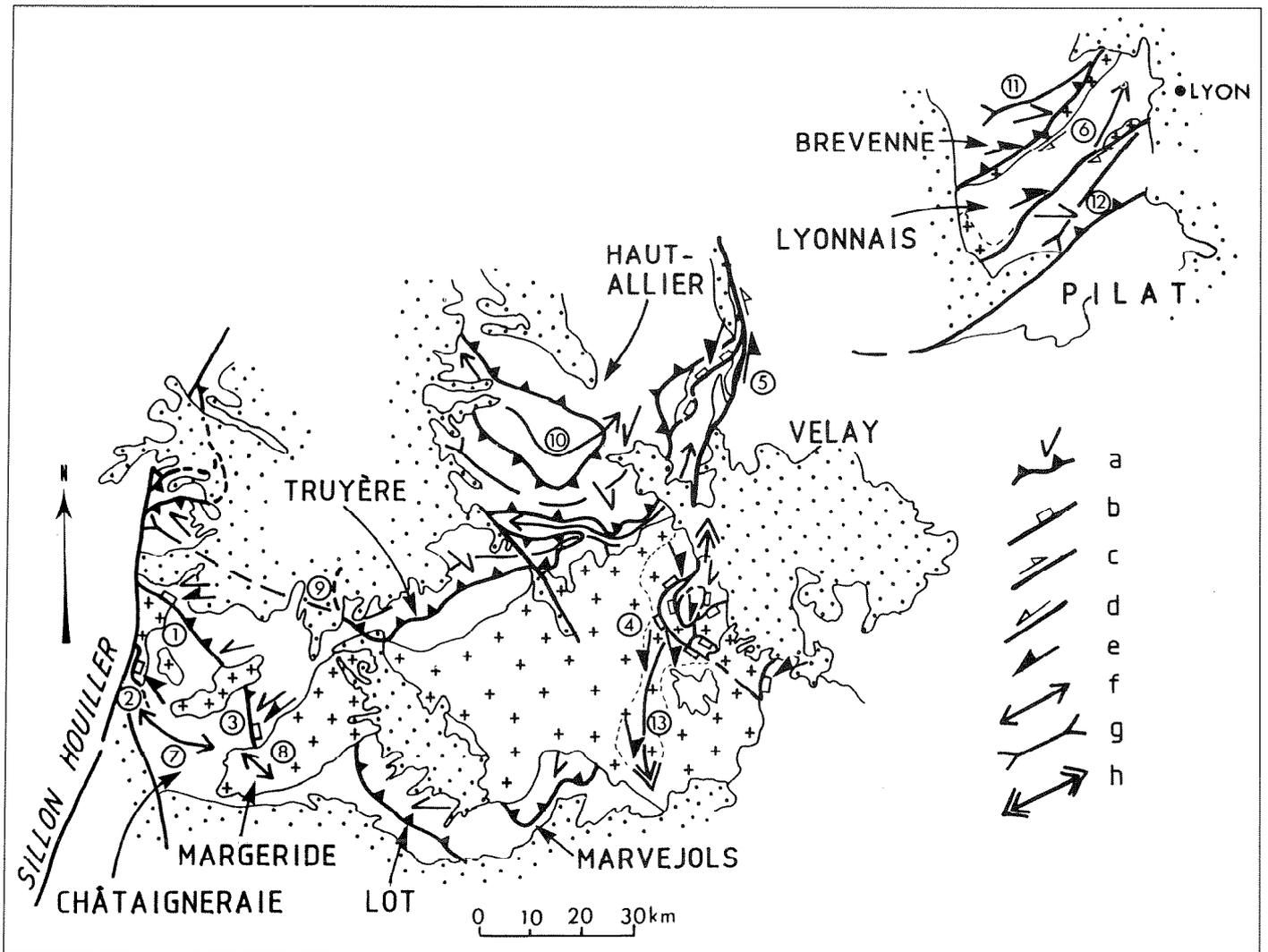


Fig. 5. – Carte de localisation des structures viséo-namuriennes reconnues à l'est et au sud est du Massif central.

Structures d'âge carbonifère inférieur : a - Chevauchements et sens de cisaillement.

Structures d'âge viséo-namurien : b - Accidents tangentiels ; c - Décrochement dextre ; d - Décrochement sénestre ; e - Direction et sens du cisaillement associé aux accidents b à d ; f - Anticlinorium P<sub>3</sub> ; g - Synclinorium P<sub>3</sub> ; h - Anticlinorium P<sub>4</sub> (péri-vellave). (1) et (2) Accidents affectant les granites syntectoniques d'Omps et de Boisset ; (3) Accident tangentiel reprenant le chevauchement d'âge carbonifère inférieur de la région d'Entraygues-sur-Truyère ; (4) Accidents tangentiels de Margeride orientale ; (5) Décrochement sénestre et accident tangentiel affectant les granites de la région de la Chaise-Dieu ; (6) Décrochements dextres synchrones de la mise en place des granites syntectoniques viséens (et des vagnérites associées) lyonnais ; (7) et (8) Anticlinorium P<sub>3</sub> de Grand-Vabre ; (9) Synclinorium P<sub>3</sub> de la Truyère ; (10) Anticlinorium P<sub>3</sub> du Haut Allier ; (11) Synclinorium de la Brevenne ; (12) Synclinorium de Saint-Romain-en-Jarez ; (13) Anticlinorium P<sub>4</sub> d'Alleyras - Saint Prejet - Fortunio.

Documents consultés : Andrieux *et al.*, 1980 ; Couturié, 1977 ; Feybesse, 1981 ; Feybesse *et al.*, 1988 ; Feybesse *et al.*, 1995 ; Gay *et al.*, 1981 ; Grivotte, 1985 ; Ledru *et al.*, 1990 ; Ledru et Feybesse, 1991 ; Ledru *et al.*, 1994.

Fig. 5. – Map showing known major structures in the eastern and southeastern Massif Central:

Early Carboniferous structures: a - overthrusts showing sense of shearing;

Visean-Namurian structures (V-N): b - thrust faults; c - dextral strike-slip faults; d - sinistral strike-slip faults; e - direction and sense of shearing associated with V-N faults b - d; f - F<sub>3</sub> anticlinorium; g - F<sub>3</sub> synclinorium; h - F<sub>4</sub> (peri-Velay) anticlinorium.

1, 2. Faults affecting the Omps and Boisset syntectonic granites; 3. Thrust fault reactivating the Early Carboniferous thrust in the Entraygues-sur-Truyère area; 4. Eastern Margeride thrust faults; 5. Sinistral strike-slip fault and thrust fault affecting the granites in the Chaise-Dieu area; 6. Dextral strike-slip faults contemporaneous with the emplacement of the Visean syntectonic granites and associated quartz-diorites of the Lyonnais area; 7, 8. Grand-Vabre F<sub>3</sub> anticlinorium; 9. La Truyère F<sub>3</sub> synclinorium; 10. Haut-Allier F<sub>3</sub> anticlinorium; 11. Brevenne synclinorium; 12. Saint-Romain-en-Jarez synclinorium; 13. Alleyras - Saint-Prejet - Fortunio F<sub>4</sub> anticlinorium.

Just Medeyrolles (Andrieux *et al.*, 1980). Enfin, cette tectonique compressive tardive a aussi été identifiée à l'est du Massif central où, après le charriage du domaine lyonnais sur la série du Pilat au Carbonifère inférieur (Feybesse *et al.*,

1995), des granites porphyroïdes et des vagnérites viséens se mettent en place vers 340 à 330 Ma (Gay *et al.*, 1981 ; Costa, 1989 ; Feybesse *et al.*, 1995) à la faveur de décrochements dextres (Lardeaux et Dufour, 1987) (fig. 5).

Par ailleurs, l'évolution proposée ici pour le sud-est du Massif central est très similaire à celle qui est envisagée en Montagne Noire où la tectonique de nappe à vergence sud (Mattauer et Proust, 1963 ; Echtler, 1990) rapportée

au Viséen terminal (Engel *et al.*, 1981 ; Echtler et Malavieille, 1990 ; Feist et Galtier, 1985) est scellée par l'anatexie namurienne de la zone axiale ( $323 \pm 6$  Ma, Hamet et Allègre, 1976 ; 322 Ma, Maluski *et al.*, 1991) et la tectonique distensive (Echtler et Malavieille, 1990).

## Conclusion

Il apparaît donc que dans l'est, le sud-est et le sud du Massif central le processus d'édification de la chaîne

varisque s'achève au Viséo-Namurien (vers 325 Ma). Dans la partie orientale du Massif central, ce stade final contrôle la mise en place et la géométrie d'un important cortège d'intrusions. Il est ensuite scellé très rapidement par l'évolution post-collisionnelle marquée par un amincissement tectonique du domaine épaissi (à partir de 320 Ma ; Pilat ; Malavieille *et al.*, 1990 ; Montagne Noire, Echtler, 1990 ; Echtler et Malavieille, 1990 ; Maluski *et al.*, 1991) ou par "le magmatisme et la tectonique vevlaves".

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de cartographie géologique de la France (Projet Massif central) et du projet "Hercynides d'Europe" financés par le BRGM.

Les auteurs souhaitent remercier A. Autran pour ses critiques constructives ainsi qu'A.L. Chassignol et C. Henry pour la réalisation des dessins.

Ils remercient également M. Faure et le lecteur anonyme qui ont grandement contribué à améliorer le manuscrit.

## Références

- AGHSHAHI E. (1979). – Etude gravimétrique du diapir de QUM (Iran) et du massif granitique de la Margeride (France). Thèse Univ. Montpellier, 115 p.
- ANDRIEUX P., KORNPBST J., HARMAND C. (1980). – Les granitoïdes de Saint-Just de Medeyrolles (Puy-de-Dôme) : un sill différencié sur la bordure occidentale de massif de Velay. 8<sup>e</sup> RAST, Marseille, p. 9.
- AUTRAN A., COGNE J. (1980). – La zone interne de l'orogénèse varisque dans l'Ouest de la France et sa place dans le développement de la chaîne hercynienne. In: Cogné J. et Slansky M. Eds., Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens, 26<sup>e</sup> Cong. Géol. Int., Coll. C6, Paris 1980. *Ann. Soc. géol. Nord*, Lille, **99**, pp. 90-111.
- BARD J.P., BURG J.P., MATTE P., RIBEIRO A. (1980). – La chaîne hercynienne d'Europe Occidentale en termes de tectonique des plaques. In: Cogné J. et Slansky M. Eds., Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens, 26<sup>e</sup> Cong. Géol. Int. Coll. C6. Paris 1980. *Ann. Soc. géol. Nord*, Lille, **99**, pp. 233-246.
- BAYER R., COUTURIE J.P., VASSEUR G. (1982). – Résultats géophysiques récents sur le granite de la Margeride. *Ann. Géophys.*, **38**, n° 3, pp. 431-447.
- BOESSE J.M. (1980). – Lithologie, structure et métamorphisme de la Châtaigneraie septentrionale (Cantal). Massif central français. Thèse de troisième cycle Université d'Orsay, 129 p.
- BOGDANOFF S., CIRODDE J.L., DONNOT M. (1989). – The nappes of La Châtaigneraie southwest Massif central, France. *Tectonophysics*, **157**, pp. 69-79.
- BOUCHEZ J.L., JOVER O. (1986). – Le Massif central français : un chevauchement de type himalayen vers l'ouest-nord-ouest. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **302**, pp. 675-680.
- BRIAND B. (1978). – Métamorphisme inverse et chevauchement de type "himalayen" dans la série de la vallée du Lot (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **286**, pp. 729-731.
- BRIAND B., GAY M. (1978). – La série inverse de Saint-Geniez-d'Olt : évolution métamorphique et structurale. *Bull. BRGM Fr.*, (2), Section 1, n° 3, pp. 167-86.
- BURG J.P. (1977). – Tectonique et microtectonique des séries cristallophylliennes du Haut-Allier et de la Truyère. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Montpellier.
- BURG J.P. (1983). – Tectogénèse comparée de deux segments de chaîne de collision : le sud du Tibet (suture du Tsangpo), la chaîne hercynienne en Europe (sutures du Massif central). Thèse d'état, Montpellier, 361 p.
- BURG J.P., MATTE P. (1978). – A cross section through the French Massif Central and the scope of its variscan geodynamic evolution. *Z. dtsh. geol. Gesellsch. Stuttgart*, **109**, pp. 429-460.
- BURG J.P., TEYSSIER C. (1983). – Contribution à l'étude tectonique et microtectonique des séries cristallophylliennes du Rouergue oriental : la déformation des lacolithes syntectoniques, type Pinet. *Géologie de la France*, (2), Section 1, n° 1-2, pp. 3-30.
- BURG J.P., LEYRELOUP A., MARCHAND J., MATTE Ph. (1984). – Inverted metamorphic zonation and large scale thrusting in the Variscan belt : an example in the French Massif Central. In: Hutton D.H.W. and Sanderson D.J., Eds ; Variscan tectonics of the North-Atlantic region. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, **14**, pp. 47-61.
- CAIA G. (1989). – Les gîtes de tungstène du secteur d'Engualès - Le Viala dans leur contexte géologique (Châtaigneraie, Massif central français). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Orléans, 155 p.
- CAEN-VACHETTE M., COUTURIE J.P., DIDIER J. (1982). – Age radiométrique des granites anatectiques et tardimigmatitiques du Velay (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **294**, pp. 135-138.
- CARME F. (1974). – Tectoniques superposées dans le Haut-Allier : mise en évidence d'une mégastucture tangentielle formée aux dépens d'un socle plus ancien. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, D, **278**, pp. 2501-2504.
- CHEZE Y. (1975). – Etude géologique de la Châtaigneraie au Nord d'Entraygues-sur-Truyère. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Clermont-Ferrand, 143 p.
- COSTA S. (1989). – De la collision continentale à l'extension tardi-orogénique : 100 millions d'années d'histoire varisque dans le Massif central français. Une étude chronologique par la méthode <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar. Thèse Univ. Montpellier II, Lab. Sci. et Techn. du Languedoc, 391 p.

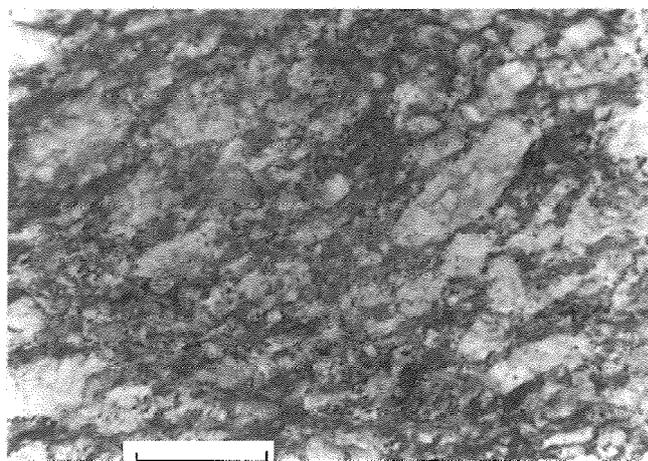
- COUTURIE J.P. (1969). – Sur l'antériorité du granite porphyroïde de la Margeride par rapport au granite à cordiérite du Velay (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **269**, pp. 2298-2300.
- COUTURIE J.P. (1977). – Le massif granitique de la Margeride (M.C.F.). Etude pétrographique, géochimique et structurale. Exemple de différenciation par gravité dans les roches granitiques. Evolution régionale de la croûte au cours de l'orogène hercynien. *Ann. Univ. Clermont*, n° 62.
- COUTURIE J.P., VACHETTE M., VIALETTE Y. (1979). – Age namurien d'un laccolite granitique différencié par gravité : le granite de la Margeride (M.C.F.). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **289**, (D), pp. 449-452.
- COUTURIE J.P., VACHETTE M. (1980). – Age westphalien des leucogranites recoupant le granite de la Margeride. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **291**, (D), pp. 43-45.
- DALLAIN C., SCHULMANN K., MELKA R., LOBKOWICZ M.Z. (1993). – Structural evolution and localisation of the deformation at the top of the Velay granite. International meeting on late orogenic extension in mountains belts. Montpellier, 4-5-6 March 1993. Abstract in Document du BRGM n° 219, p. 53.
- DELFOUR J., DUFOUR E., FEYBESSE J.L., JOHAN V., KERRIEN Y., LARDEAUX J.M., LEMIERE B., MOUTERDE R., TEGYEY M. (1989). – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille de Tarare (697). Editions BRGM Orléans, 120 p.
- DEMAÏ A. (1945). – Sur la nappe antéstéphanienne de la Margeride, dans la région médiane du Massif central. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **226**, pp. 825-827.
- DERRE C. (1983). – La province à Sn-W Ouest Européenne. Histoire de divers types de gisements du Massif central, des Pyrénées et du Portugal. Distribution des gisements. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Paris, 345 p.
- DUPRAZ J., DIDIER J. (1988). – Le complexe anatectique du Velay (Massif central français) : structure d'ensemble et évolution géologique. *Géologie de la France*, n° 4, pp. 73-88, 1 carte dépliant en pochette.
- DUTARTRE P. (1982). – Etude de la fracturation du granite de la Margeride (région de Saint-Alban-sur-Limagnole - Lozère). Géométrie, cinématique, densité des fractures. Documents du BRGM, n° 41, 215 p.
- ECHTLER H. (1990). – Geometry and kinematics of recumbent folding and low angle detachment in the Pardailhan nappe (Montagne Noire, Southern French Massif Central). *Tectonophysics*, **177**, pp. 109-123.
- ECHTLER H., MALAVIEILLE J. (1990). – Extensional tectonics, basement uplift and Stephano-Permian collapse basin in a late Hercynian Metamorphic core complex from the french Massif Central (Montagne Noire). *Tectonophysics*, **177**, pp. 125-138.
- ENGEL W., FEIST R., FRANKE W. (1981). – Le Carbonifère anté-Stéphanien de la Montagne Noire : rapports entre mise en place des nappes et sédimentation. *Bull. BRGM*, Orléans, (2), Section I, pp.341-389.
- FAURE M., PROST A., LASNE E. (1990). – Déformation ductile extensive d'âge namuro-westphalien dans le plateau d'Aigurande, Massif central français. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **6**, n° 1, pp. 189-197.
- FAURE M., PONS J. (1991). – Crustal thinning recorded by the shape of the Namurian-Westphalian leucogranite in the Variscan belt of the northeast Massif Central, France. *Geology*, **19**, pp. 730-733.
- FAURE M., GROLIER J., PONS J. (1993). – Extensional ductile tectonics of the Sioule metamorphic series (Variscan French Massif Central). *Geol. Rundschau*, **82**, pp. 461-474.
- FEIST R., GALTHIER J. (1985). – Découverte de flancs d'âge namurien probable dans le flysch à olistolites de Cabrières (Hérault). Implication sur la durée de la sédimentation synorogénique dans la Montagne Noire. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **300**, II, 6, pp. 207-212.
- FORESTIER F.H. (1963). – Métamorphisme hercynien et antéhercynien dans le bassin du Haut-Allier (Massif central français). *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, **271**, 294 p.
- FEYBESSE J.L. (1981). – Tectonique et microtectonique de la région de Laroquebrou (Cantal, Massif central français). Rôle de la déformation ductile et évolution du Sillon Houiller. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Clermont-Ferrand, 182 p.
- FEYBESSE J.L., LARDEAUX J.M., TEGYEY M., KERRIEN Y., LEMIERE B., MAURIN G., MERCIER L., THIEBLEMONT D. (1995). – Notice explicative de la carte géologique de France (1/50 000) feuille Saint-Symphorien-sur-Coise (721). Acceptée pour publication aux éditions du BRGM.
- GARDIEN V. (1990a). – Reliques de grenat et de staurotide dans la série métamorphique de basse pression du Mont Pilat (Massif central français) : témoins d'une évolution tectonométamorphique polyphasée. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2) **310**, pp. 233-240.
- GARDIEN V. (1990b). – Evolutions P-T et structures associées dans l'Est du Massif central français : un exemple de l'évolution thermo-barométrique de la chaîne Paléozoïque. Thèse Univ. Joseph Fourier, Grenoble I, 168 p.
- GAY M., PETERLONGO J.M., CAEN-VACHETTE M. (1981). – Age radiométrique des granites allongés et en feuillets minces syntectoniques dans les Monts du Lyonnais (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **293**, pp. 993-996.
- GRIVOTTE J.M. (1985). – Les granites de la région de la Chaise Dieu (Haute-Loire). Etude pétrographique et structurale. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Clermont, 224 p.
- HAMET J., ALLEGRE C.J. (1976). – Hercynian orogeny in the Montagne Noire (France). Application of 87Rb-87Sr systematics. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **87**, pp.1429-1442.
- JARLIER C. (1982). – Etude pétrographique et structurale de la bordure nord-orientale du granite de la Margeride (Massif central). Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Toulouse, 161 p.
- JOUBERT M. (1978). – Etude pétrographique, structurale et métallogénique de la Châtaigneraie (secteur de Veinazès, Cantal) Massif central français. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Univ., Clermont-Ferrand, 205 p.
- KORNPROBST J. (1977). – Notice explicative de la carte géologique à 1/50 000 du Cayres (n° 815) BRGM ed, 55 p.
- KORNPROBST J., POULAIN D. (1972). – Relations structurales entre les micaschistes supérieurs de la région de Saint-Geniez-d'Olt. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **274**, pp. 3511-3514.

- LABOUE M. (1982). – Etude structurale du massif de la Margeride. Thèse Univ. Clermont-Ferrand, 140 p.
- LAFON J.M., RESPAUT J.P. (1988). – Géochronologie U-Pb et leucogranites varisques : cas des massifs de Grand-Rieu (Lozère) et de la Porcherie (Limousin), Massif central français. *Bull. Minéral.*, **3**, pp. 225-237.
- LAGARDE J.L., CAPDEVILLA R., FOURCADE S. (1992). – Granites et collision continentale : l'exemple des granitoïdes carbonifères dans la chaîne hercynienne ouest-européenne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **163**, n° 5, pp. 597-610.
- LAGARDE J.L., DALLAIN C., MERLE O., LEDRU P. (1993). – Champs de déformation associés à l'expansion horizontale de magma granitiques. L'exemple des granites hercyniens du Velay, Massif central. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **316**, pp. 653-659.
- LAMEYRE J. (1966). – Leucogranite et muscovitisation dans le Massif central français. *Ann. Fac. Sci. Clermont-Ferrand*, n° 29, 125 p.
- LARDEAUX J.M., DUFOUR E. (1987). – Champs de déformation superposés dans la chaîne varisque. Exemple de la zone nord des Monts du Lyonnais (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **305**, pp. 61-64.
- LASNIER B., MARCHAND J. (1982). – Notice explicative de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Brioude (n° 166). Editions du BRGM, Orléans. 65 p.
- LEDRU P., LARDEAUX J.M., SANTALLIER D., AUTRAN A., QUENARDEL J.M., FLOCH J.P., LEROUGE G., MAILLET N., MARCHAND J., PLOQUIN A. (1989). – Où sont les nappes du Massif central français ? *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **8**, **5**, 3, pp. 605-618.
- LEDRU P., AUTRAN A., SANTALLIER D. (1994a). – Lithostratigraphy of variscan terranes in the french Massif Central. A basis for paleogeographical reconstruction. J.D. Keppie (Ed.) : Pre-Mesozoic Geology in France and related Areas. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 276-288.
- LEDRU P., COSTA S., ECHTLER H. (1994b). – Structures in the Massif Central. J.D. Keppie (Ed.) : Pre-Mesozoic Geology in France and related Areas. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 305-323.
- LEDRU P., FEYBESSE J.L. (1991). – Synthèse structurale des districts du sud Limousin, de Moyenne Dordogne et de Châtaigneraie. *In*: Synthèse des districts du sud Limousin, de Moyenne Dordogne et de Châtaigneraie. Rapport public BRGM DL/C DAM 90.
- LEDRU P., VITEL G., DALLAIN C., BEURRIER M., MAURIN G., MERCIER F., ETLICHER, DAUTRIAT J.M., LIOTARD J.M. (1994). – Notice explicative de la carte géologique de France (1/50 000) feuille Craonne-sur-Arzon (767). (sous presse).
- LEMOINE S. (1967). – Etude géologique des schistes cristallins de la région d'Alleyras (HauteLoire). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Clermont Ferrand, 151 p.
- MALAVIEILLE J., GUIHOT P., COSTA S., LARDEAUX J.M., GARDIEN V. (1990). – Collapse of the thickened Variscan crust in the french Massif Central: Mont Pilat extensional shear zone and St Etienne upper Carboniferous basin. *Tectonophysics*, **177**, pp. 139-149.
- MALUSKI H., COSTA S., ECHTLER H. (1991). – Late Variscan tectonic evolution by thinning of earlier thickened crust: <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar study of the Montagne Noire, Southern Massif Central, France. *Lithos*, **26**, pp. 287-304.
- MATTAUER M., PROUST F. (1963). – Sur le déversement vers le sud et le style tectonique en têtes plongeantes des structures hercyniennes du versant sud de la Montagne Noire. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **257**, pp. 3967-3970.
- MATTE P. (1986). – Tectonics and plate tectonics model for the variscan belt of Europe. *Tectonophysics*, Amsterdam, **126**, pp. 329-374.
- MOUGEOT R. (1993). – Géochronologie U-Pb sur minéraux accessoires, application à la bordure Sud du Velay (Massif central français). DEA Lab. géochimie isotopique. Univ. Montpellier II, 45 p.
- MERCIER L., JOHAN V., LARDEAUX J.M., LEDRU P. (1993). – Evolutions tectonométamorphiques des nappes de l'Artense (M.C.F.) : marqueurs de la collision dans la chaîne varisque. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **163**, n° 3, pp. 293-308.
- NICOLAS V.A. (1985). – Le gisement wolframifère de Leucamp dans son environnement géologique (Châtaigneraie du Cantal, France). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle E.N.S.M., Paris, 384 p.
- ODIN G.S., ODIN C. (1990). – Echelle numérique des temps géologiques : mise à jour 1990. *Géochronique*, **35**, pp. 12-21.
- PETREQUIN M. (1979). – Etude gravimétrique du Massif de la Margeride et de sa bordure orientale. Thèse 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Montpellier, 95 p.
- PIN C. (1979). – Géochronologie U-Pb et microtectonique des séries métamorphiques antéstéphanienues de l'Aubrac et de la région de Marvejols (Massif central). Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Montpellier, 205 p.
- PIN C. (1980). – Données microstructurales sur les terrains métamorphiques de la série du Lot. *Bull. BRGM, Fr. I*, n° 4, pp. 293-314.
- PIN C. (1981). – Old inherited zircons in two synkinematic variscan granitoïds: the "granite du Pinet" and "the orthogneiss de Marvejols" (Southern Massif Central). *Neues Jb. Miner. Abh.*, **142**, pp. 27-48.
- PIN C., LANCELOT J.R. (1982). – U-Pb dating of an early paleozoic bimodal magmatism in the french Massif Central and of its further metamorphic evolution. *Contrib. Mineral Petrol.*, **79**, pp. 1-12.
- PIN C., PEUCAT J.J. (1986). – Ages des épisodes de métamorphisme paléozoïque dans le Massif central et le Massif armoricain. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, Paris, (8), **2**, 3, pp. 461-469.
- RESPAUT J.P. (1984). – Géochronologie et géochimie isotopique U-Pb de la minéralisation uranifère de la mine des Pierres Plantées (Lozère) et de son encaissant : le massif granitique de la Margeride. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Montpellier, 122 p.
- R'KHA CHAHAM K. (1989). – Etude pétrologique et structurale de l'ensemble orthogneissique de l'Arc de Fix (M.C.F.). Thèse doctorat, Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 183 p.
- VIVIER G. (1972). – Etude pétrographique et géochronologique de la Châtaigneraie (S-W du Massif central français). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Clermont-Ferrand, 205 p.

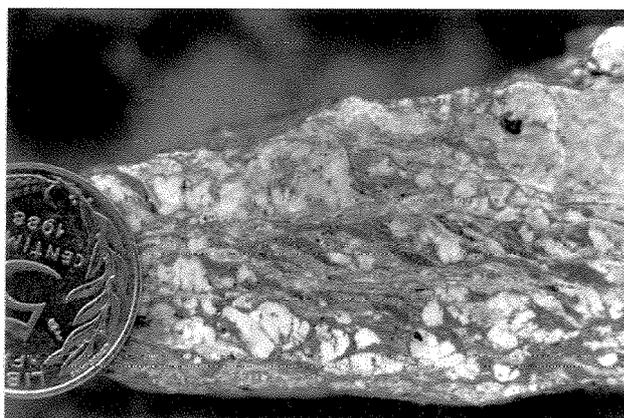
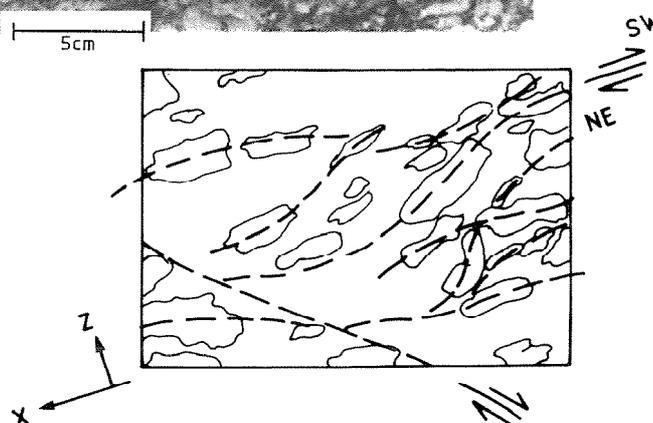
Accidents de Margeride orientale  
*East Margeride faults*

Photo 1. – Aspects de la fabrique “transversale” (section XZ) développée au toit du faciès sombre dans des conditions de déformation rotationnelle (l’angle entre les plans C et S a été mesuré sur l’ensemble de l’affleurement : il varie de 35 à 45°).

*Photo 1. – View of fabric in the top of the dark facies under conditions of rotational deformation (XZ plan).*



1



2

Photo 2. – Granite de la Margeride mylonitique (mur du faciès sombre à Laval Atger) : section XZ. Noter la granulation des MFK et les bandes de cisaillement (les flèches indiquent le sens de cisaillement).

*Photo 2. – Mylonitic Margeride granite, base of the dark facies at Laval-Atger (XZ plan) Note granulation of K-feldspar megacrysts and shear bands (arrows indicate sense of shearing).*

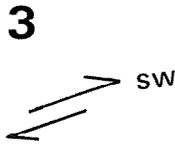
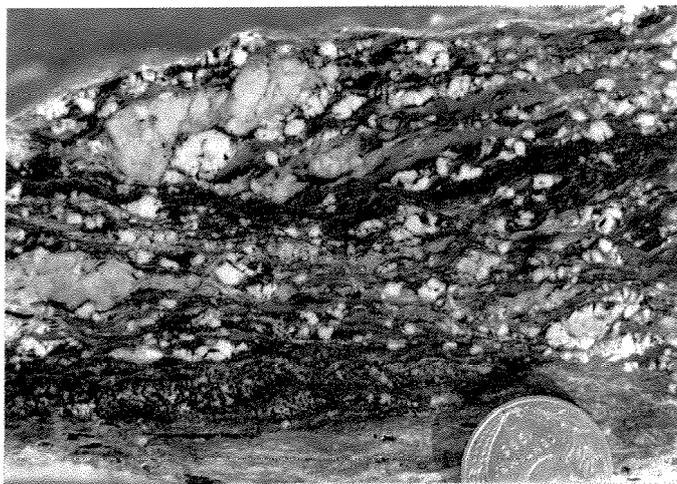


Photo 3. – Granite de la Margeride mylonitique (mur du faciès sombre à Laval-Atger) : section XZ. Noter la granulation des MFK et les bandes de cisaillement (les flèches indiquent le sens de cisaillement).

*Photo 3. – Mylonitic Margeride granite, base of the dark facies at Laval-Atger (XZ plan). Note granulation of K-feldspar megacrysts and shear bands (arrows indicate sense of shearing).*

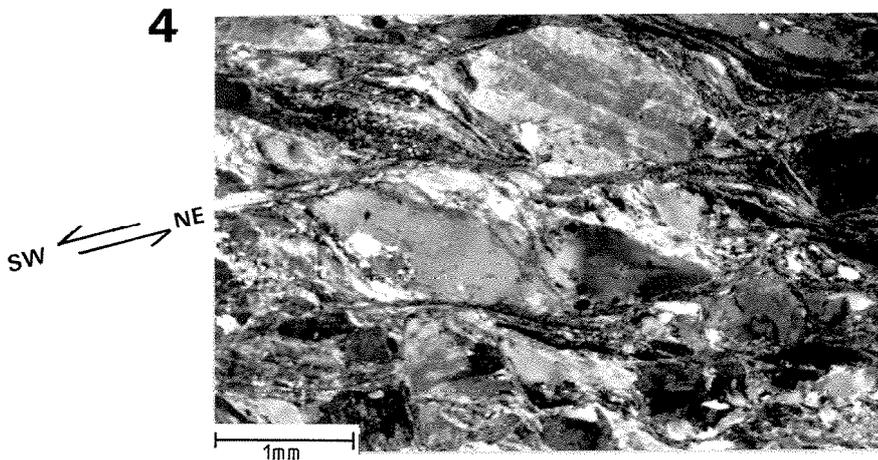


Photo 4. – Granite de la Margeride mylonitique (mur du faciès sombre dans la région de Laval-Atger), vue de la section XZ (LP) montrant les bandes de cisaillement (plans C et S) et les ombres de pression asymétriques autour des clastes de biotite et de feldspath (les flèches indiquent le sens de cisaillement).

*Photo 4. – Mylonitic Margeride granite, base of the dark facies in the Laval-Atger area, (XZ plan; crossed polarisers), showing shear bands (C and S planes) and asymmetric pressure shadows around biotite and feldspar clasts (arrows indicate sense of shearing).*

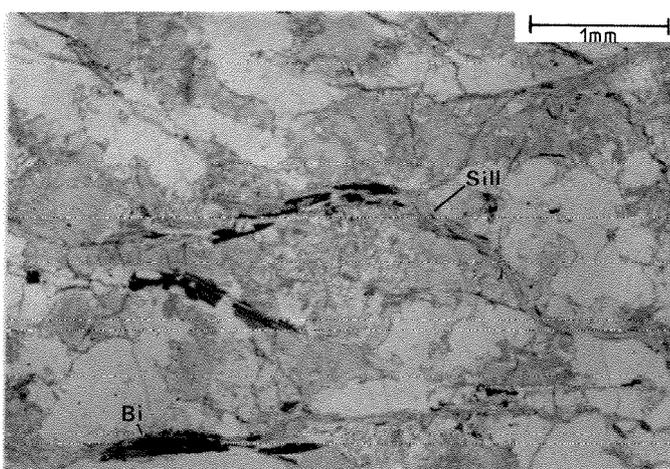
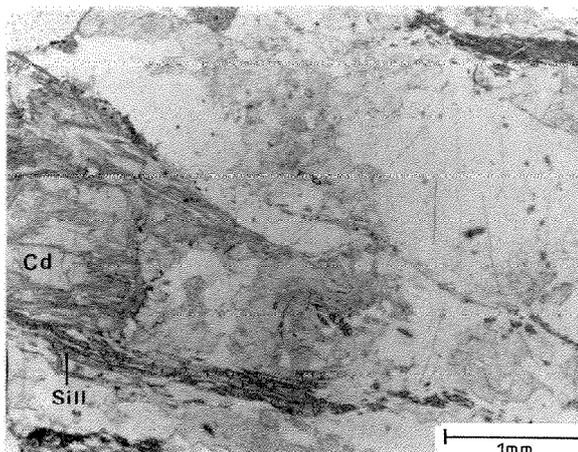


Photo 5. – Granite du Chambon-le-Château mylonitique prélevé au mur du laccolite au contact avec l'encaissant sous-jacent : biotites et sillimanites syn-tectoniques (section XZ, LN) (les flèches indiquent le sens de cisaillement).

*Photo 5. – Mylonitic Chambon-le-Château granite, sampled at the contact with the underlying host-rocks (XZ plan) showing syntectonic biotite and sillimanite (arrows indicate sense of shearing).*

Photo 6. – Granite du Chambon-le-Château mylonitique prélevé au mur du laccolite au contact des paragneiss mylonitiques sous-jacents : cordiérite magmatique pré à syn-tectonique et sillimanite syn-tectonique (section XZ) (LN).

*Photo 6. – Mylonitic Chambon-le-Château granite sampled at the contact with the underlying mylonitic paragneiss (XZ plan; plane polarised light), showing pre- to syntectonic magmatic cordierite and syntectonic sillimanite.*



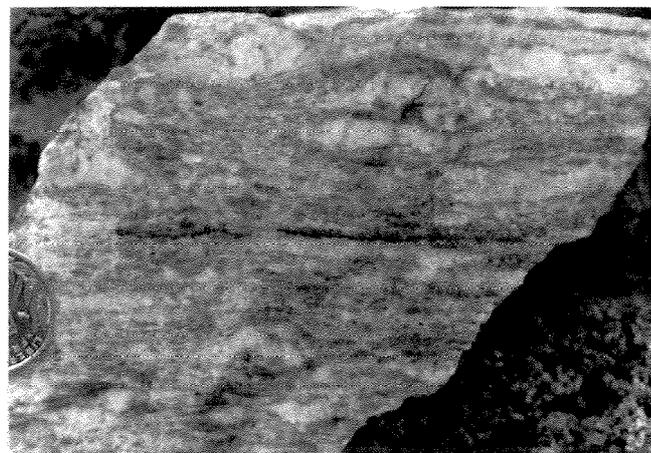
6



7

Photo 7. – Orthogneiss d'Alleyras restructuré et mylonitisé lors de la déformation viséonamurienne (les flèches indiquent le sens de cisaillement).

*Photo 7. – Alleyras orthogneiss, mylonitized during the Visean-Namurian deformation (arrows indicate sense of shearing).*

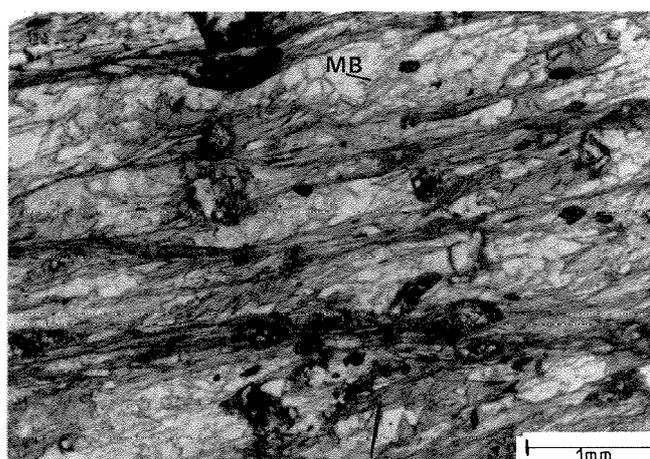


**Place de la déformation viséo-namurienne dans la séquence tectonique régionale : l'exemple de La Châtaigneraie.**

*Visean-Namurian deformation in the regional tectonic sequence: La Chataigneraie*

Photo 8. – Micaschistes feldspathiques (à biotite, mica blanc, plagioclase) de la semelle de la nappe mise en place au Carbonifère inférieur (base de l'UIG ; La Châtaigneraie) : bandes de cisaillement syn D2 (les flèches indiquent le sens de cisaillement) (LN).

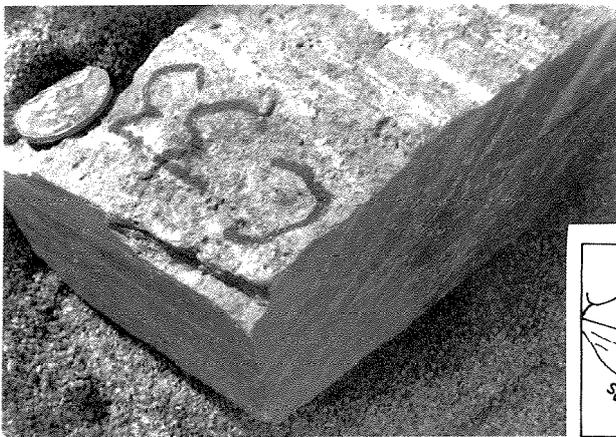
*Photo 8. Biotite muscovite plagioclase schist (plane polarised light) from the sole of the Early Carboniferous nappe (base of the Lower Gneiss Unit, La Chataigneraie), showing D2 shear bands (arrows indicate sense of shearing).*



8



Bi



9

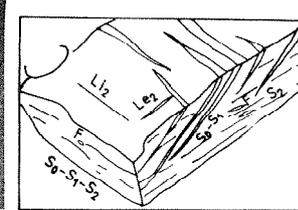


Photo 9. – Schistes épizonaux de la Châtaigneraie (autochtone relatif) : foliation composite S0-1 (stratification S0 transposée dans la foliation S1 ; déformation D1) recoupée par la foliation S2 (déformation D2) ; noter les feldspaths (F) étirés qui soulignent la linéation d'étirement L2 de direction NE-SW (déformation D2) qui dans la semelle de la nappe sus-jacente (photo 8) correspond à l'axe d'élongation des mylonites (Li2 = linéation d'intersection entre S0-S1 et S2). Dans le cas présent, la déformation D2 est non rotationnelle.

Photo 9. – La Chataigneraie low-grade schist (relative autochthon). Composite S0/S1 foliation (S0 stratification transposed into S1) cut by S2 foliation. Note drawn-out feldspars (F) marking the NE-SW stretching lineation L2; this corresponds to the axis of elongation in the mylonites in the sole of the overlying nappe (Photograph 8); Li2 is the S1/S2 intersection lineation. D2 deformation is here non-rotational.

10

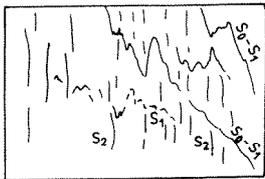
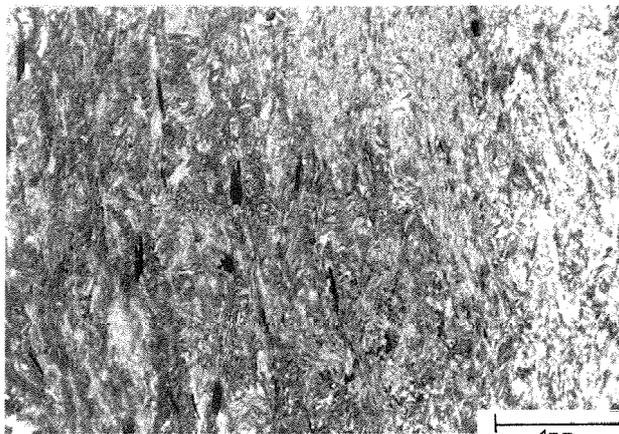


Photo 10. – Détail de l'échantillon précédent, S0-S1 microplissée (plis P2) et recoupée par S2 (LN) (section YZ de l'ellipsoïde de déformation D2).

Photo 10. – Detail of section in Photograph 9 (plane polarised light), S0/S1 folded by F2 microfolds and cut by S2. (YZ section of the ellipsoid of D2 deformation).

11

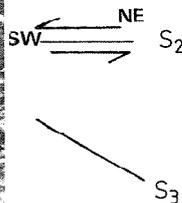
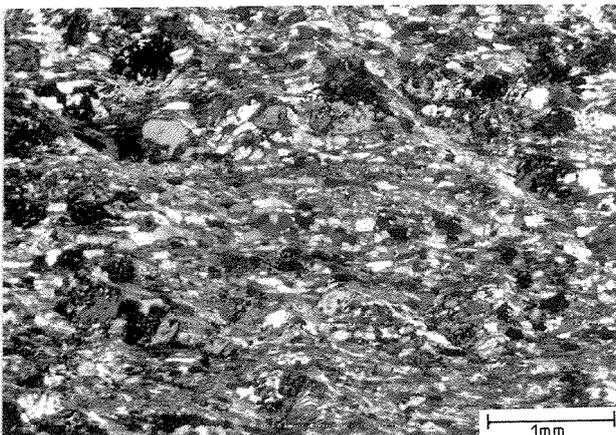


Photo 11. – Mylonites syn D2 de la semelle de la nappe reprises par la schistosité S3 (LN).

Photo 11. – S3 superimposed on D2 mylonites in the sole of the nappe (plane polarised light).

Photo 12. – Mylonites syn D2 reprises par un cisaillement syn D3 (LN ; section XZ ; les flèches indiquent le sens du cisaillement syn D3 et syn D2). Le schéma ci-joint illustre les relations géométriques des plans de cisaillement syn D3 (a) avec les plans de cisaillement syn D2 et (b) avec le plissement régional P3 et la schistosité associée S3.

Photo 12. – D2 mylonites reworked by a D3 shear (XZ plane; planes polarised light; arrows indicate sense of D2 and D3 shearing). The accompanying diagram shows the geometrical relationships between the D3 shear planes and a) the D2 shear planes, b) the regional F3 folding and associated cleavage S3.

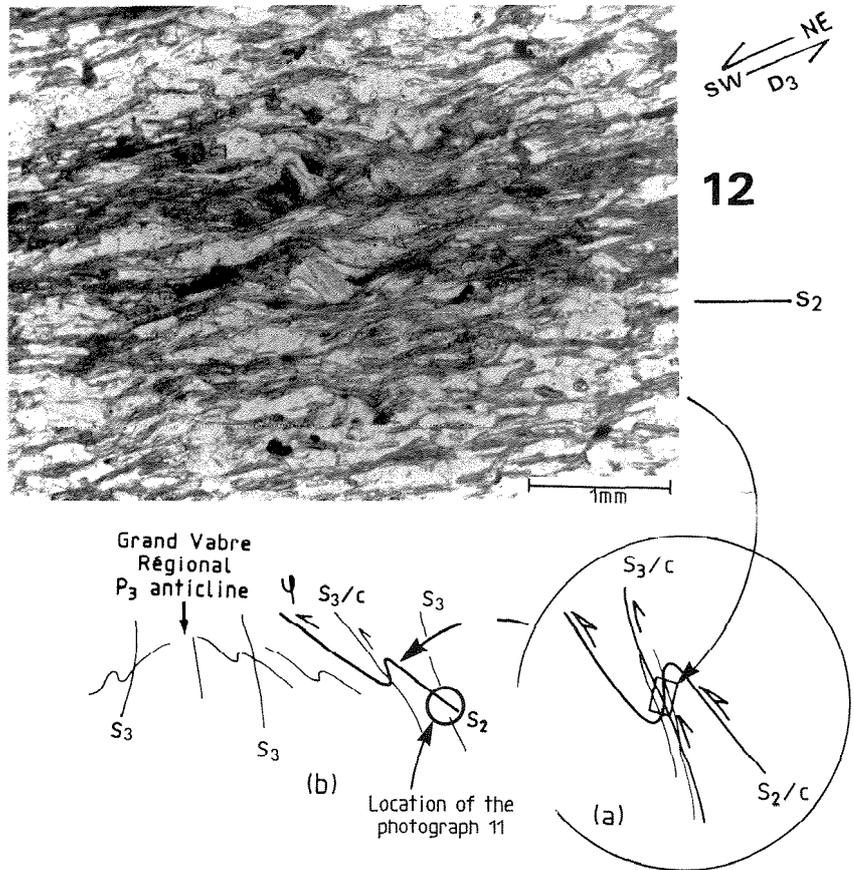
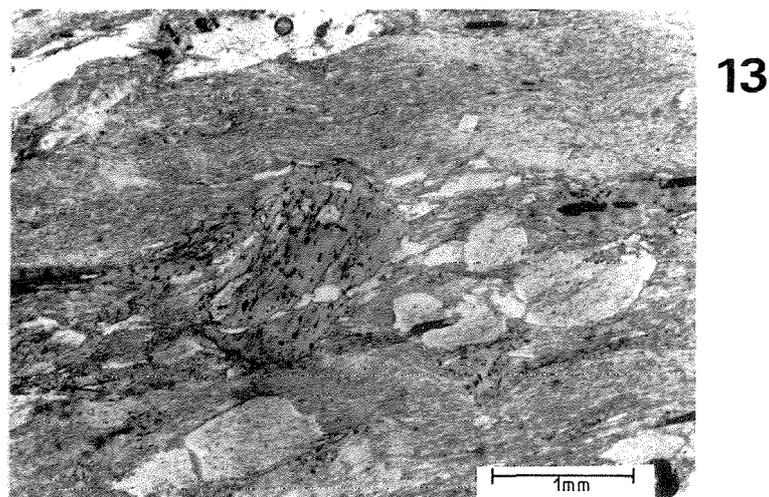


Photo 13. – Base de l'unité supérieure des gneiss; biotites blastiques fini cisaillement développées dans l'aurole thermique du granite de la Margeride. Noter les ombres de pression attestant du caractère syn-tectonique de ces minéraux de métamorphisme de contact (LN).

Photo 13. – Base of the Upper Gneiss Unit (plane polarised light) - late shearing blastitic biotite in the thermal aureole of the Margeride granite. Note the pressure shadows indicating the syn-deformational growth of the contact-metamorphic biotite.



# HYDROGÉOLOGIE

# HYDROGEOLOGY

Fondée en 1963, **Hydrogéologie**, revue scientifique et technique trimestrielle, est destinée aux spécialistes de l'eau souterraine : chercheurs conduisant des travaux sur les processus hydrodynamiques et géochimistes, modélisateurs, ingénieurs et praticiens de la prospection, de l'exploitation et de la gestion des nappes.

Dédiée à un seul objet, l'eau souterraine et ses interfaces, Hydrogéologie publie des travaux concernant aussi bien les milieux de climat tempéré que les zones tropicales et arides.

Les articles peuvent être publiés en français ou en anglais. Ils peuvent porter sur des avancées dans la connaissance fondamentale et son application, des présentations de nouveaux outils, des études de cas ou encore des synthèses thématiques ou régionales. Depuis 1994, la revue publie annuellement un inventaire des thèses et diplômes en cours concernant la thématique du périodique. Régulièrement, la revue publie des numéros thématiques. Elle procède également à des analyses d'ouvrages et à des présentations de séminaires et colloques. Elle publie, en outre, la lettre d'information du Comité français de l'Association internationale des hydrogéologues.

« **Hydrogéologie** », was first published in 1963. It is a quarterly scientific and technical journal, written for ground water specialists, such as researchers working on hydrodynamic and geochemical processes, modellers, engineers and those involved in the search for, exploitation and management of groundwater. « Hydrogéologie », focuses exclusively on groundwater and its interfaces, publishing work in areas with both temperate and arid tropical climates.

Papers may be published in either French or English. They may be concerned with progress made in the understanding of fundamental hydrogeological principles and their applications, the presentation of new tools, case studies, and thematic or regional compilations. Thematic numbers are published regularly. As of 1994, the journal includes an annual inventory of current theses and diplomas relating to topics dealt with by the journal. « Hydrogéologie » also includes reviews of scientific books, gives information on seminars and symposia, and publishes the newsletter of the French Committee of the International Association of Hydrogeologists.

## COMITÉ DE DIRECTION

(Editorial Board)

**Mustapha BESBES**,  
ENIT, Tunis, Tunisie

**Jean KHOURI**,  
Directeur des ressources en Eau,  
ACSAD, Syrie

**Wolfgang KINZELBACH**,  
Institut für Umwelphysik,  
Heidelberg, Allemagne

**Ramon LLAMAS MADURGA**,  
Professeur, Universidad Autonoma,  
Madrid, Espagne

**Ghislain de MARSILY**,  
Laboratoire de Géologie appliquée,  
Université Pierre et Marie Curie,  
Paris, France

**Georg MATTHES**,  
Geologisch-Paläontologisches Institut und  
Museum der Christian Aebrechts  
Universität Kiel, Allemagne

**Alberic MONJOIE**  
Laboratoire de Géologie de l'ingénieur,  
d'hydrogéologie et de prospection  
géophysique,  
Liège, Belgique

**François ZWAHLEN**,  
Institut de Géologie, Centre d'hydrogéologie,  
Neufchâtel, Suisse

**RÉDACTEUR EN CHEF**  
(Chief Editor)

**Jean-Jacques COLLIN**, BRGM

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**  
(Director of Publication)

**Gérard SUSTRAC**

HYDROGÉOLOGIE - 4 numéros par an (4 issues per year).

Abonnement 1995 (annual subscription) : France : 650 FF  
(frais de port inclus) Étranger : 700 FF  
(postage included) (Abroad)

**PENSEZ A RENOUELER  
VOTRE ABONNEMENT  
POUR 1995  
REMEMBER  
TO RENEW YOUR  
SUBSCRIPTION FOR 1995**

**BON DE COMMANDE (order form to) :**

**CDR, 11 rue Gossin, 92543 Montrouge Cedex, France**

Veuillez trouver ci-joint le paiement/m'envoyer la facture de ..... FF\* pour abonnement à Hydrogéologie (Please accept my payment of/invoice me for \* FF ..... for my 1995 subscription to Hydrogeologie).

Veuillez m'envoyer un spécimen de « Hydrogéologie » (Please send me a sample copy of Hydrogeologie).

NOM (Name) .....

ADRESSE (Address) .....

DATE ..... SIGNATURE .....

VISA/CARTE BLEUE  EUROCARD  MASTER CARD

.....

Expiration. Date: ...../.....

Signature: .....

\* Rayer la mention inutile (Please delete as appropriate).  
Établir le chèque à l'ordre de CDR (Checks to be made payable to CDR).

