

Les orthomicaschistes, produits de la déformation cisailante ductile synmétamorphe de granites avec transfert de matière : principaux caractères et exemples dans la chaîne varisque du Sud de la France

Ortho-mica schists as products of synmetamorphic ductile shear deformation of granites with mass transfer : main features and examples from the Variscan fold belt of Southern France

par Gilbert CREVOLA*

RÉSUMÉ. — Dans le segment varisque français, les associations d'orthogneiss et de micaschistes sont généralement interprétées comme correspondant originellement soit A des couples socle granitique - couverture pélitique, soit A des granites intrusifs dans un encaissant pélitique, soit encore A des séries détritiques ou volcano-détritiques. Certaines d'entre elles résultent en fait de la déformation cisailante ductile hétérogène synmétamorphe d'anciens granites, associée A d'importants transferts de matière.

Cette interprétation se fonde essentiellement sur la reconnaissance dans des zones de cisaillement ductile de passages progressifs entre orthogneiss et micaschistes. Cette évolution, qui correspond à une séquence blastomylonitique ou subblastomylonitique, est caractérisée par une recristallisation complète, ou quasi-complète, dès le stade orthogneiss, accompagnée par une modification chimique marquée par une perte en Si, Ca et Na et une concentration corrélatrice en Al, Fe, Mg et Ti. Une telle évolution aboutit A des orthomicaschistes, roches entièrement recristallisées et A foliation bien définie, distincts des phyllonites et analogues aux « micaschistes rétrogrades ». Les associations métagranites - orthogneiss - orthomicaschistes reconnues occupent des surfaces allant de 50 à 500 km² et l'épaisseur des nombreux niveaux d'orthomicaschistes va de quelques centimètres A plusieurs hectomètres.

En conséquence, dans les régions affectées par une intense déformation cisailante ductile synmétamorphe, les transformations de granites peuvent être plus variées, plus importantes et plus généralisées qu'on ne l'admettait jusqu'ici.

Mots-clés : Orthomicaschiste, Orthogneiss, Mylonite granitique, Zone de cisaillement ductile, Transfert de matière, Chaîne varisque française.

ABSTRACT. — In the French Variscan fold belt, associations of orthogneisses and micaschists are commonly regarded as either granitic basements and their pelitic cover or granitic intrusions and their pelitic country rocks or detrital or volcanodetrital series, prior to deformation and metamorphism. Some of them actually originated through synmetamorphic ductile shear deformation or granitic bodies, associated with large mass transfer.

This interpretation is mainly based on the recognition of gradational transitions between orthogneisses and mica schists occurring within narrow shear zones. This evolution, corresponding to a blastomylonitic or subblastomylonitic series, is characterized by a complete or near complete recrystallization as early as in the orthogneiss stage, along with a bulk chemical change consisting of a loss of Si, Ca, Na and a correlative concentration of Al, Fe, Mg, Ti. Such an evolution ultimately produces ortho-mica schists which are fine to medium-grained, conspicuously foliated and wholly recrystallized rocks, distinct from classic phyllonites and similar to "retrograde schists". The documented metagranites - orthogneisses - ortho-mica schists associations extend over areas of 30 to 500 km² and the thickness of the widespread ortho-mica schist layers ranges from a few centimetres up to several hectometres.

Consequently in areas of intense synmetamorphic ductile shear deformation, transformations of granites may be expected to be more varied, intense and extensive than previously thought.

Key-words : Ortho-micaschist, Orthogneiss, Granitic mylonite, Ductile shear zone, Mass transfer, French Variscan fold belt.

* Gilbert Crevola, Institut de Géodynamique, Université de Bordeaux III, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex.

INTRODUCTION.

Les associations de gneiss œillés et de micaschistes sont communes dans de nombreuses régions du segment varisque français, où elles peuvent occuper des surfaces importantes allant de la centaine au millier de km². Leur origine, dont la connaissance est déterminante pour l'établissement de schémas lithostratigraphiques et tectonométamorphiques régionaux, a fait l'objet d'interprétations diverses, parfois abusivement généralisées. Le concept de feldspathisation métasomatique de micaschistes, liée à la migmatitisation, a prévalu jusque dans le milieu des années soixante (Roques, 1941; Jung et Roques, 1952 et, à leur suite, de nombreux auteurs). Par la suite, la reconnaissance de l'origine granitique de nombreux corps de gneiss œillés dans diverses régions varisques françaises (revues in Lameyre et Autran, 1980 et Suire et Tempier, 1980), a conduit à utiliser deux autres concepts : celui de socle granitique - couverture pélitique (Guitard, 1965/1970; Autran *et al.*, 1966; Demange, 1975; Seyler, 1983) et celui de granite intrusif dans un encaissement pélitique (Bard et Loueyit, 1978; Bard et Caruba, 1983; Burg et Teyssier, 1983). Toutefois, dans d'autres cas où l'origine granitique des gneiss œillés n'avait pas été mise en évidence, le concept de série détritique ou volcano-détritique, traduit également par les termes de « gneiss conglomératiques » ou de « séries à porphyroïdes », est utilisé (Weisbrod et Marignac, 1968; Ters, 1979).

L'étude d'associations d'orthogneiss et de micaschistes de régions varisques du Sud de la France a permis de proposer récemment un autre type d'interprétation : celui de la déformation cisailante ductile hétérogène *synméta-*morphe du protolithe granitique, avec transfert de matière, qui conduit à des orthogneiss, puis à des micaschistes (Crevola, 1985; Crevola *et al.*, 1986 a et 1986 b; Collomb et Crevola, 1987). Ces orthomicaschistes apparaissent donc comme des faciès tectoniques de granites, ce qui les apparente aux *phyllonites* (Becke, 1909; Sander, 1912; Knopf, 1931; Bryant, 1966) et sont donc dénués de valeur lithostratigraphique. Dans le passé, une telle interprétation avait déjà été proposée à propos de cas ponctuels (Letourneur, 1953; Compagnoni, 1977; mais surtout Stillman et De Swardt, 1965 et Bellière, 1967), mais elle n'avait pas retenu l'attention. En fait, la généralité et l'importance spatiale des orthomicaschistes peut être démontrée dans diverses régions varisques et leur genèse aujourd'hui mieux comprise à la lumière de travaux récents, consacrés aux transformations minéralogiques et chimiques avec transfert de matière dans les zones de cisaillement ductile — ou ZCD — (Beach, 1973, 1976, 1980; Kerrich *et al.*, 1977, 1980; Brodie, 1980; Etheridge et Cooper, 1981; Jamieson et Strong, 1981; Gratier, 1981; Marquer *et al.*, 1983; Sandiford, 1983; Marquer, 1986; Sinha *et al.*, 1986).

Une douzaine d'associations d'orthogneiss œillés et d'orthomicaschistes, correspondant à des conditions variées de métamorphisme (de la zone à chlorite à la zone à sillimanite), et occupant des surfaces allant de 50 à 500 km², ont été étudiées dans les Maures (trois), les Cévennes (une), le Rouergue (huit), (fig. 1). Trois d'entre elles, qui présentent un intérêt particulier, ont fait l'objet d'études plus détaillées (fig. 1) : les orthogneiss de Bormes et les micaschistes « à minéraux » du massif des Maures, les orthogneiss de la Cézarenque dans les Cévennes méridionales, l'orthogneiss du Pinet et les séries environnantes en Rouergue. D'autres régions, où des orthogneiss sont également associés à des micaschistes dont l'origine ortho pouvait être suspectée, ont fait l'objet d'un examen préliminaire (fig. 1) : Montagne Soire (zone axiale et Sorézois), Châtaigneraie, série du Lot, Plateau d'Aigu-rande, Haut Ailier (orthogneiss de Fix, de Pinols, du Celoux et micaschistes « à biotite et sillimanite »), Sardaigne du NE (orthogneiss de Lodè et micaschistes associés).

Cette Note se propose de définir, à partir des divers exemples étudiés, les caractères pétrographiques, géochimiques et structuraux généraux des orthomicaschistes et les critères permettant leur mise en évidence, en les considérant comme les termes ultimes de séquences mylonitiques granitiques particulières qui seront comparées aux séquences mylonitiques granitiques classiquement décrites.

I. ORTHOMICASCHISTES ET ROCHES MYLONITIQUES D'ORIGINE GRANITIQUE.

A. Classification des roches mylonitiques d'origine granitique.

La classification schématique qui sera utilisée concerne uniquement les roches mylonitiques issues de granitoïdes. Elle propose un cadre général pour placer les orthomicaschistes par rapport aux autres types de mylonites granitiques, sans fixer de coupures rigoureuses entre les divers termes. Elle est dérivée des classifications et des terminologies de Spry (1969), Higgins (1971), Sibson (1977), Wise *et al.* (1984) et Takagi (1986), combinées et modifiées pour prendre en compte l'existence de blastomylonites (au sens de Sander, 1912, de Knopf, 1931 et de Christie, 1960) qui ont subi une modification minéralogique et chimique notable. Cette classification est basée sur la distinction, dans la genèse des roches mylonitiques, de trois grands types de processus (Bell et Etheridge, 1973) et sur les notions de séquences et de stades mylonitiques (Lapworth, 1885; Higgins, 1971; Sibson, 1977).

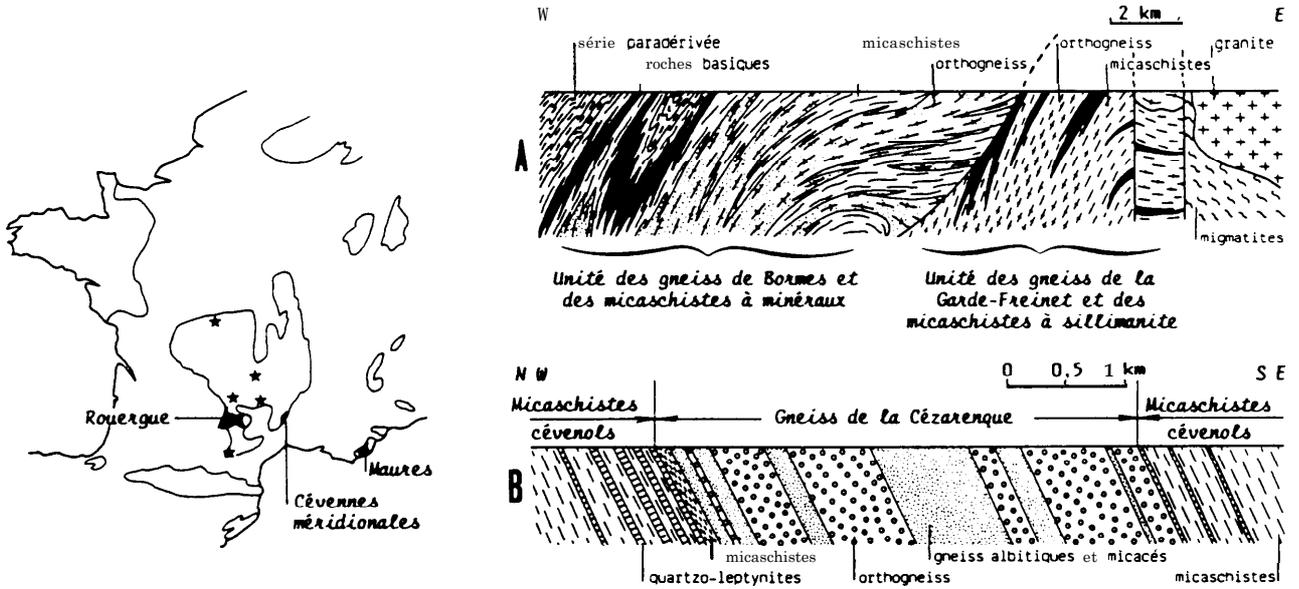


FIG 1. — Localisation des associations métagranites - orthogneiss - orthomicaschistes étudiées et coupes schématiques.

En noir : régions étudiées — Etoiles : associations reconnues dans d'autres régions. A : Partie nord-centrale du Massif des Maures montrant la superposition de deux unités orthodérivées par l'intermédiaire d'un chevauchement tardif. B : Partie nord de la Cézenrenque (Cévennes méridionales).

FIG 1. — Location of the studied metagranites - orthogneisses - orthomica schists associations and schematic cross-sections.

Black : studied region — Stars : associations recognized in other regions. A : North-Central part of the Maures Massif showing the superposition of two orthoderived complexes by means of a late thrust. B : Northern part of the Cézenrenque (Southern Cévennes).

Les roches mylonitiques (terme général qui sera préféré au terme de roches cataclastiques ou à celui de « fault-related rocks », qui n'a pas d'équivalent en français, Tullis *et al.*, 1982) peuvent être définies comme des roches résultant d'un, ou de plusieurs, des processus élémentaires suivants (Bell et Etheridge, 1973; Brodie et Rutter, 1983) :

Processus 1 : cataclase;

Processus 2 : déformation plastique intracrystalline (déformation plastique ss., restauration, recristallisation);

Processus 3 : dissolution-cristallisation avec transfert de matière permettant des recristallisations et des néocristallisations (néominéralisations de Knopf) par réaction métamorphique.

En fonction du processus dominant, on pourra subdiviser les roches mylonitiques issues de granitoïdes en trois grands types correspondant à trois types d'évolution mylonitique.

Schéma de classification des roches mylonitiques d'origine granitique

Cataclasites : évolution cataclastique (processus majeur 1, processus mineur 2, pas de modification chimique).

Séquence : Protolithe → Protocataclasite → Orthocataclasite → Ultracataclasite

Mylonites : évolution mylonitique (processus majeur 2, processus mineurs 1 et 2, modifications chimiques possibles dans le stade ultra)

Séquence : Protolithe → Protomylonite → Orthomylonite → Ultramylonite ou Phyllonite

Blastomylonites : évolution blastomylonitique (processus majeur 3, processus mineur 2, modifications chimiques notables dans toute la séquence)

Séquence : Protolithe → Protoblastomylonite → Orthoblastomylonite → Orthomicaschiste

Pour les mylonites et les blastomylonites auxquelles nous nous intéressons ici, on utilisera, autant que faire se peut, suivant la recommandation de Wise *et al.*, les termes descriptifs suivants : métagranite pour le protolithe très peu ou peu déformé, orthogneiss œillé ou lenticulaire pour les stades proto et ortho; les termes ultramylonite et phyllonite seront utilisés pour le stade ultramylonitique et le terme orthomicaschiste pour le stade ultrablastomylonitique. La séquence blastomylonitique comprendra les termes suivants : métagranite — gneiss œillé — gneiss lenticulaire — gneiss micacé — orthomicaschiste.

B. Caractères comparés des séquences mylonitiques et blastomylonitiques.

Les séquences mylonitiques et blastomylonitiques se distinguent par leur évolution pétrographique et texturale, mais aussi par leur évolution géochimique. Les données utilisées proviennent, pour les mylonites, d'exemples pris dans la littérature (en particulier **Bossière**, 1980; Kerrich *et al.*, 1980; Williams et **Dixon**, 1982; **Vernon** *et al.*, 1983; **Marquer** *et al.*, 1985; Simpson, 1985; Marquer, 1986; Sinha *et al.*, 1986) et, pour les blastomylonites, des exemples étudiés.

1. La séquence mylonitique.

Elle est d'abord caractérisée par une réduction **extrême** du grain qui, dans les ultramylonites, devient généralement inférieur à 50 μm , par la présence de nombreux **porphyroclastes** qui peuvent subsister jusqu'au stade ultra, par une foliation et un **litage** discontinus d'origine surtout mécanique. La déformation est essentiellement ductile, toutefois, les porphyroclastes de feldspath présentent des marques de cataclase et les re-néocristallisations peuvent devenir importantes dans les faciés les plus déformés. Dans ce cas, la **muscovite** se développant aux dépens des feldspaths, la roche devient **plus** micacée et peut **présenter** des modifications chimiques significatives, se transformant en fin d'évolution en phyllonite ou en ultramylonite micacée (**Bossière**, 1980; **Marquer**, 1986; Sinha *et al.*, 1986).

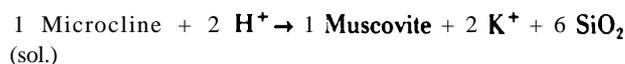
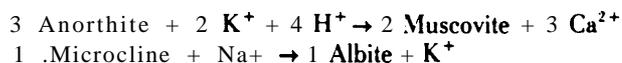
Dans cette séquence, la déformation finie peut être évaluée en utilisant des marqueurs texturaux (élongation des enclaves et de certains porphyroclastes, taille des porphyroclastes, proportion **matrice/porphyroclastes**) et les modifications chimiques directement **corrélées** aux stades de déformation (Marquer, 1986).

2. La séquence blastomylonitique.

Les blastomylonites de cette séquence sont des roches totalement ou quasi totalement **recristallisées**, essentiellement de façon syntectonique, y compris les **porphyroclastes**. Elles montrent, dès le stade proto, une **évolution** minéralogique et chimique qui s'exacerbe dans les stades suivants. Les blastomylonites ne présentent pas de réduction extrême de leur grain, certains néoblastes pouvant d'ailleurs atteindre des tailles millimétriques, voire **centimétriques**. Leur foliation est continue et d'origine métamorphique. Elles ne contiennent en **général** pas de porphyroclastes : les amandes feldspathiques des gneiss **œillés** ou lenticulaires sont en fait des agrégats **re-néocristallisés** à partir des anciens feldspaths. Toutefois, des

quartz ovoïdes peuvent parfois subsister dans les stades initiaux. Durant l'évolution, une restructuration complète par recristallisation pourra se produire dans le stade ortho ou ultra : elle conduira à une roche homogène à grain fin (0,2-2 mm), qui ne montrera pas d'agrégats **re-néocristallisés**.

Les transformations métamorphiques consistent essentiellement en une défeldspathisation progressive, accompagnée du développement des micas : recristallisation des plagioclases en plagioclases plus acides (**An** O-1 0) et remplacement du feldspath potassique par des plagioclases sodiques (**An** O-1 0) dans un premier temps, puis élimination totale du feldspath potassique, et ensuite des plagioclases, avec développement corrélatif des micas et des minéraux alumineux. Ces transformations **métamorphiques** pourront être traduites schématiquement par les **réactions** de décalcification du plagioclase, d'albitisation du feldspath potassique et de muscovitisation des feldspaths **suivants** :



Les biotites initiales recristallisent également dès le stade proto en nouvelles biotites et **muscovites**, libérant des granules de **sphène**. La mobilité ionique importante, due à la **présence** de fluides intergranulaires (Carmichael, 1969; Eugster, 1970) permet une certaine **différenciation** métamorphique dès le stade proto puis une **recristallisation-restructuration** totale de la roche dans les stades ultérieurs.

L'évolution géochimique, dont il existe plusieurs variantes, pourra être directement corrélée aux transformations minéralogiques observées. Dans le cas le plus général, elle montrera dès le stade proto une perte notable en Ca, puis en Si et Na dans les autres stades, accompagnée d'une augmentation des teneurs en Al, Fe, **Mg** et Ti. L'existence de modifications chimiques importantes conduit **à s'interroger** sur le devenir des éléments mobiles. La **présence** dans les orthomicaschistes de niveaux de quartz d'exsudation et, parfois, de niveaux de leptynite peut rendre compte de la migration et de l'accumulation proximale de certains éléments.

Contrairement à la séquence mylonitique, la déformation finie ne pourra être évaluée à partir de marqueurs texturaux et l'on considérera l'évolution minéralogique et chimique et la progression de la restructuration pour évaluer le stade d'évolution.

3. Les séquences de type intermédiaire ou séquences sub-blastomylonitiques.

L'évolution blastomylonitique décrite ci-dessus constitue un type d'évolution extrême qui s'est, néanmoins, révélé fréquent (six exemples reconnus dans quatre régions). Des types intermédiaires d'évolution existent entre les types mylonitiques et blastomylonitiques, que nous dénommerons *sub-blastomylonitiques*. Les *sub-blastomylonites* des stades proto et ortho des associations étudiées apparaissent comparables aux « blastomylonites » des classifications et descriptions de Waters et Campbell (1935), Bryant et Heed (1970), Higgins (1971) et aux « mylonites » de Stillman et De Swardt (1965) et de Williams et Dixon (1982). Les évolutions *sub-blastomylonitiques* sont caractérisées par une recristallisation importante dès le stade proto qui laisse cependant subsister des porphyroclastes, un grain de la matrice qui est réduit sans être extrêmement fin, une foliation d'origine métamorphique, une évolution chimique notable. Les micas *re-néocristallisés* restent généralement de petite taille et les feldspaths potassiques, en partie ou en *totalité* albitisés, se transforment en petits *plagioclases* polygonaux. Dans certains des exemples du Rouergue, ces évolutions peuvent conduire à des orthomicaschistes qui pourront contenir encore quelques porphyroclastes de quartz et de feldspath, les quartz ovoïdes disparaissant les derniers. Il apparaît cependant difficile, d'après les données de la littérature et en l'état actuel de nos travaux, de hiérarchiser ces types intermédiaires. Les critères utilisables étant variés : abondance et nature des porphyroclastes, taille des grains, importance des recristallisations précoces des micas, caractères de la foliation.

C. Roches mylonitiques d'origine granitique, métamorphisme rétrograde et circulations de fluides.

Il convient de souligner les analogies qui existent entre les évolutions *sub/blastomylonitiques* et a) l'évolution finale des mylonites, lorsqu'elle donne naissance à des phyllonites ou à des ultramylonites recristallisées présentant des modifications chimiques et b) l'évolution qui conduit aux « micaschistes rétrogrades » mésozonaux par métamorphisme rétrograde de gneiss catazonaux (C'ernon et Ransom, 1971; Beach, 1976; Etheridge et Cooper, 1981; Sandiford, 1985). Dans ces trois cas, les transformations qui s'observent dans des ZCD correspondent au métamorphisme rétrograde (au sens d'une diminution de la température et d'une hydratation de la roche) de roches acides. Le comportement des feldspaths (en particulier leur disparition au profit de la *muscovite* et les modifications chimiques associées) est analogue dans les trois cas et peut

être également rapproché de celui des feldspaths lors de l'altération deutérique de granites (Lame! re.1966; Ferry, 1979).

Ces observations et analogies conduisent à insister sur le rôle des fluides lors de la mylonitisation. Ainsi, il apparaît que les mylonites, les *sub-blastomylonites* et les *blastomylonites* granitiques correspondent à des régimes de déformation distincts non par leur climat métamorphique, mais par la *disponibilité de fluides*. L'existence de pertes de *matière* importantes conduira à envisager divers modèles de circulation de fluides et de transport de *matière*, à l'échelle des ZCD comme à l'échelle régionale de la portion de croûte résultant d'un empilement de nappes (Etheridge et al., 1984; Kerrich et al., 1984; Marquer, 1986; Sinha et al., 1986).

II. CARACTÈRES DES ORTHOMICASCHISTES.

A. Caractères pétrographiques.

Le terme orthomicaschiste est un terme général qui désigne des roches micacées ayant l'apparence des *micaschistes* d'origine sédimentaire. Ils se distinguent des *phyllonites* (Knopf, 1931; Bryant, 1966; Bryant et Reed, 1970) par leur recristallisation totale ou quasi totale qui leur confère un grain plus grossier, par leur foliation mieux marquée et plus *régulière*, et par leurs micas *re-néocristallisés* en grandes plages non déformées.

1. Types d'orthomicaschistes.

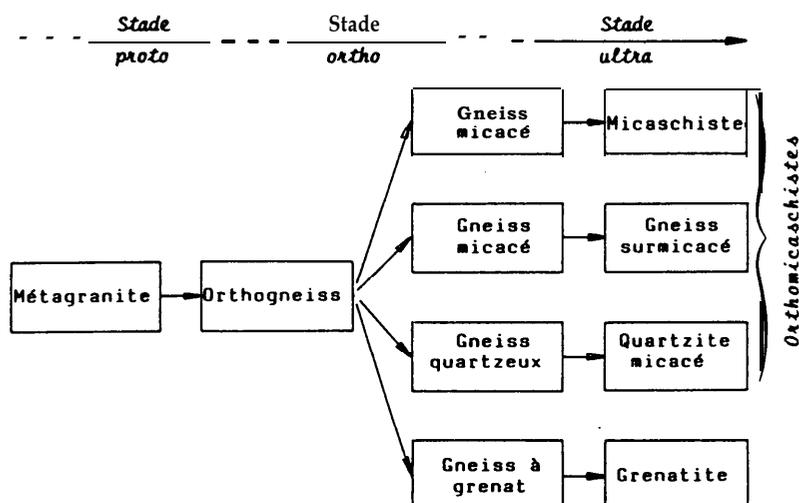
Du point de vue textural, on peut distinguer deux types extrêmes d'orthomicaschistes : a) ceux pour lesquels la recristallisation-restructuration s'est faite en conservant de fines lentilles feldspathiques re-néocristallisées et *quartzues* recristallisées qui donnent naissance à un *litage* très fin; ces orthomicaschistes montrent un passage très progressif aux orthogneiss lenticulaires, b) ceux pour lesquels la recristallisation-restructuration a homogénéisé la roche, effaçant toute trace d'un état antérieur.

Du point de vue de la composition minéralogique, les orthomicaschistes correspondent de façon plus précise à divers types pétrographiques (fig. 2).

— *A des micaschistes s.s., peu ou non feldspathiques*. Dans certains micaschistes hyperalumineux ($Al_2O_3 > 20\%$), peuvent se développer des néoblastes parfois de taille centimétrique : suivant les cas, le grenat, la *staurotide*, la *tourmaline*, le *disthène*.

— *A des roches micacées et feldspathiques*, pouvant être également appelées gneiss *micacés* ou gneiss fins, en raison

A. DIVERS TYPES D'EVOLUTION



B. ASSOCIATION AVEC DES MOBILISATS QUARTZEUX OU LEPTYNIQUES

. En niveaux individualisés concordants (cm - dm)

. En lits dans la roche :

■ micaschiste à lits quartzeux

- □ gneiss micacé ou micaschiste à lits leptyniques ("pseudo-migmatite")

FIG 2. — Orthomicaschistes et roches associées.

FIG 2. — Ortho-micaschists and associated rocks.

de leur contenu feldspathique mais qui, bien qu'assez massives, ne présentent pas le **litage** caractéristique des gneiss. Lorsque leur grain est fin, leur aspect macroscopique de micaschiste sera renforcé.

— A des **quartzites micacés** pouvant contenir des grenats, ces roches étant **plus** rares.

Il est intéressant de noter la présence fréquente, dans les orthomicaschistes, de graphite en petits granules et de cristaux de tourmaline formant parfois des agrégats.

Certains types sont remarquables.

— Les micaschistes à a nodules feldspathiques » de la formation des micaschistes « à minéraux » des **Maures** sont des roches qui ont recristallisé avec un étirement peu marqué. Les nodules feldspathiques sont des agrégats plagioclasiques néocristallisés à partir des mégacristaux de feldspath potassique originels.

— Certains micaschistes, par exemple de la formation des micaschistes « à minéraux » des Maures ou des gneiss chloriteux de Villefranche de Rouergue, présentent de fins lits plagioclasiques ou quartzeux qui proviennent de l'étirement extrême, avec re-neocristallisation des feldspaths ou des quartz initiaux.

— Les gneiss micacés albitiques, très développés dans la

Cézarenque et dans la Châtaigneraie, sont caractérisés par la présence de **très** nombreux néoblastes millimétriques d'albite.

2. *Faciès associés aux orthomicaschistes* (fig. 2).

Mobilisats. Les évolutions sub/blastomylonitiques qui conduisent aux orthomicaschistes se traduisant par des migrations d'éléments, les orthomicaschistes peuvent être associés à des faciès correspondant à l'expression de la phase mobile. Ces mobilisats sont soit indépendants des orthomicaschistes, soit intimement associés avec eux. Dans le premier cas, ils correspondent à des lits de quartz, et, plus rarement, à des lits ou à des niveaux de quartzite ou de quartzo-leptynite d'épaisseur centimétrique à décimétrique. Dans le second cas, on peut observer des roches mixtes, ayant l'aspect de migmatites, à lits quartzeux, ou parfois leptyniques, alternant avec des lits micaschisteux.

Restites. Les orthomicaschistes peuvent également être associés à des roches particulières, interprétées comme des concentrations extrêmes de certains éléments inertes. Dans le Massif des Maures, on observe fréquemment des gneiss ou des quartzites à grenat qui s'enrichissent progressivement en grenats pour passer à des grenatites. Par exten-

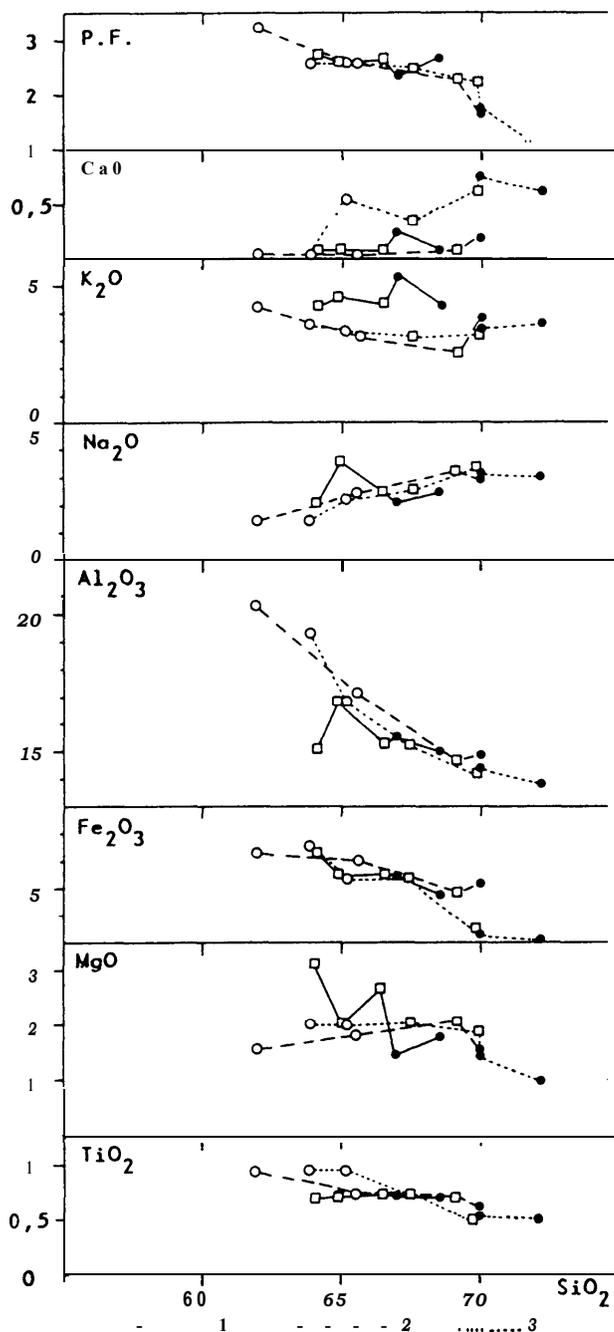


FIG 3. — Evolution géochimique pour trois coupes (environ 20 m de long) dans des alternances métriques de termes orthodérivés.

1: Cévennes, barrage de Sénéchas. 2: Cévennes, les Deux Aigues.
3: Maures, Toumavelle. — Ronds vides: micaschistes — Ronds pleins: orthogneiss — Carrés: gneiss micacés.

FIG 3. — Geochemical evolution for three cross-sections (about 20 m long) in metric alternations of granitic-derived terms.

Open circles: mica schists — Full circles: orthogneisses — Squares: micaceous gneisses.

sion, une telle origine est envisageable pour la collobriérite, intimement associée aux orthogneiss de Bormes et à leurs orthomicaschistes.

B. Caractères géochimiques.

Les études géochimiques ont concerné essentiellement des exemples d'évolution blastomylonitiques dans les Cévennes, les Maures et le Rouergue. Dans ce cadre, plusieurs coupes géochimiques, correspondant à des ZCD métriques ou à des alternances fines plurimétriques, ont été effectuées. Les données brutes présentées dans les diagrammes de la figure 3 (trois exemples de coupes géochimiques correspondant aux divers types pétrographiques rencontrés sur une vingtaine de mètres dans des alternances) ou de la figure 4 (45 analyses des divers types pétrographiques de la formation des gneiss de la Cézarenque) illustrent les principaux caractères géochimiques des orthomicaschistes. On notera que :

- les types pétrographiques successifs d'une évolution donnée présentent des teneurs en Si décroissantes, qui peuvent être corrélées avec les évolutions des autres oxydes. Ainsi, la teneur en Si permettra de fixer le degré d'évolution dans une séquence blastomylonitique:

- il existe une évolution continue depuis les métagrani-tes et les orthogneiss jusqu'aux orthomicaschistes. Certaines évolutions sont sensibles dès le stade orthogneiss (perte en Ca) ou dès le stade gneiss micacé (perte en Na, enrichissement relatif en Al, Fe, Mg, Ti):

- les gneiss micacés peuvent soit être des termes intermédiaires entre orthogneiss et micaschistes hyperalumineux (coupes 2 et 3, fig. 3), soit définir une tendance différente (coupe 1, fig. 3 et fig. 4). La première sera caractérisée par une diminution des teneurs en Si, Ca, Na. La seconde sera caractérisée par une diminution des teneurs en Si, Ca, K.

Les départs d'éléments correspondant à une diminution de volume qui, évaluée suivant la méthode de Gresens (1967), est, suivant les cas, de 20 à 40 % (Magontier, 1987). On a vu que les quartz d'exsudation, présents dès le début de l'évolution, peuvent rendre compte de la migration proximale de la silice. Cependant, le devenir du calcium et du sodium pose un problème général en raison de l'importance des pertes (respectivement 1,5 g pour 100 g de roche et de 1 à 3 g pour 100 g) et de l'épaisseur des niveaux affectés qui peut aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

C. Aspects structuraux.

1. Cadre géotectonique des régions étudiées.

Les exemples étudiés se situent dans la partie méridionale du segment varisque français. Dans le cadre des

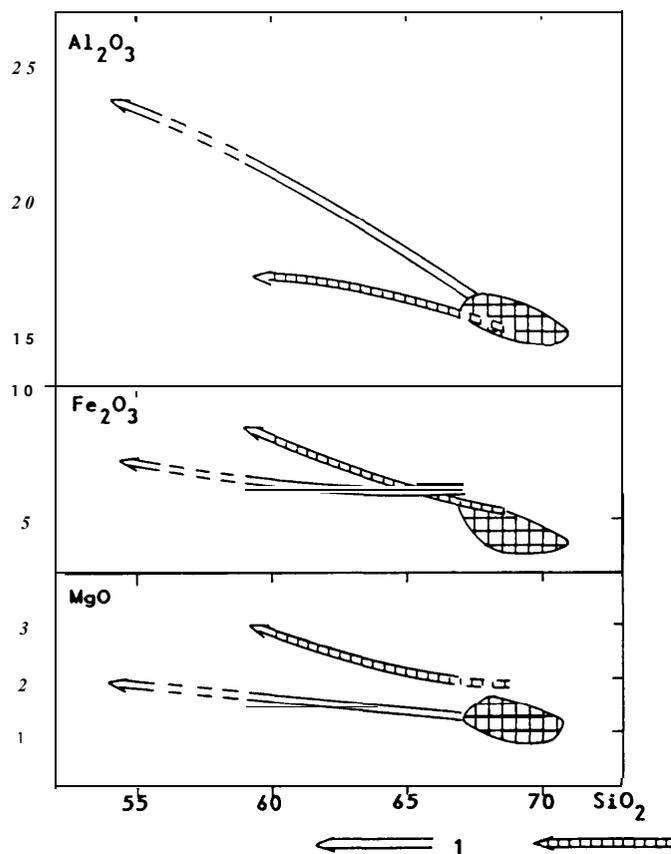


FIG 4. — Caractères géochimiques (45 analyses) de l'association orthogneiss — gneiss micacés albitiques — orthomicaschistes de la Césarenque.

- 1 : tendance des mica schists.
 2 : tendance ou champ des gneiss micacés albitiques.
 3 : champ des orthogneiss.

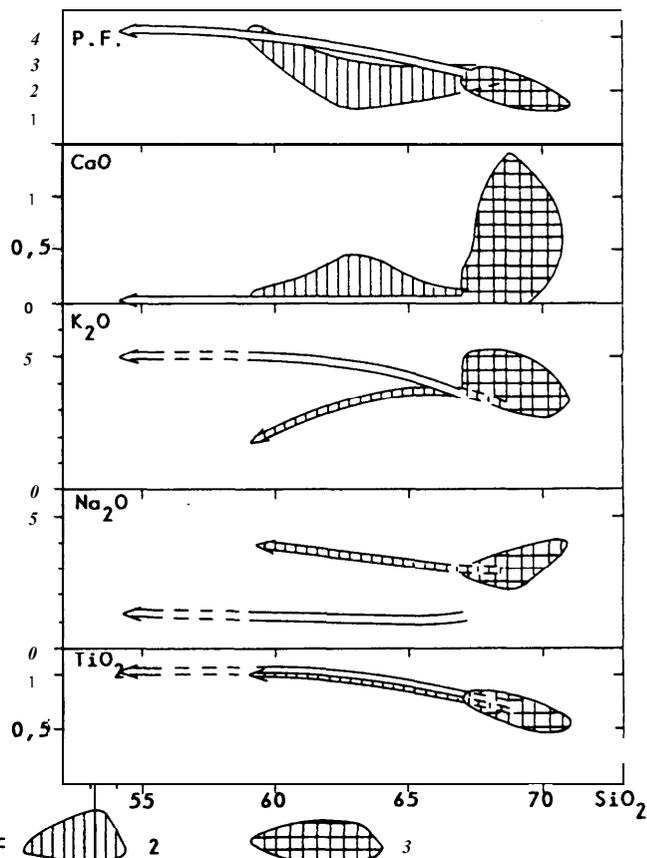


FIG 4. — Geochemical features (45 analyser) of the orthogneiss — micaceous albitic gneisses — ortho-micaschists association of the Césarenque area.

- 1 : mica schists trend.
 2 : micaceous albitic gneisses trend or field.
 3 : orthogneisses field.

modèles géodynamiques actuels (Autran, 1980: blatte. 1986), la chaîne varisque d'Europe apparaît comme une chaîne de collision constituée de deux ensembles de grandes nappes cristallines de vergences opposées, séparées par une zone axiale moins déformée. À l'échelle des régions étudiées, qui appartiennent aux nappes méridionales les plus développées, l'existence de grandes surfaces de chevauchement et celle de plis kilométriques de type pennique, sont reconnues ou supposées (Brouder, 1968; Crevola, 1983; Burg *et al.*, 1986). Les séries cristallophylliennes de ces régions, et en particulier les termes orthogneissiques, portent la marque d'une intense déformation cisailante ductile tangentielle, très pénétrative (Burg et Teysier, 1983; Lacassin et Van Den Driessche, 1983; Vauchez et Bufalo, 1985), qui confère aux roches ainsi déformées les caractères de tectonites S-C (Lister et Snoke, 1984). La linéation d'étirement est parallèle aux axes des plis subsoclineaux décimétriques à métriques qui sont

homologues et contemporains des grandes structures plissées kilométriques.

2. Orthomicaschistes et ZCD.

Dans les exemples étudiés, les orthomicaschistes se présentent soit en associations intimes avec des orthogneiss (intercalations ou alternances décimétriques à métriques, fig. 5), soit seuls, en séries monotones, épaisses de plusieurs dizaines ou centaines de mètres (fig. 1). D'une manière générale, le passage des orthogneiss aux orthomicaschistes est progressif, bien que parfois rapide, et correspond à une séquence blastomylonitique. Ainsi, les intercalations de faible épaisseur (dm-m), isolées ou répétées, d'orthomicaschistes au sein d'orthogneiss pourront être considérées comme des ZCD (Ramsay et Crahan, 1970; White *et al.*, 1980; Crevola et Crevola, 1987). Dans le cas d'alternances de grande épaisseur, qui

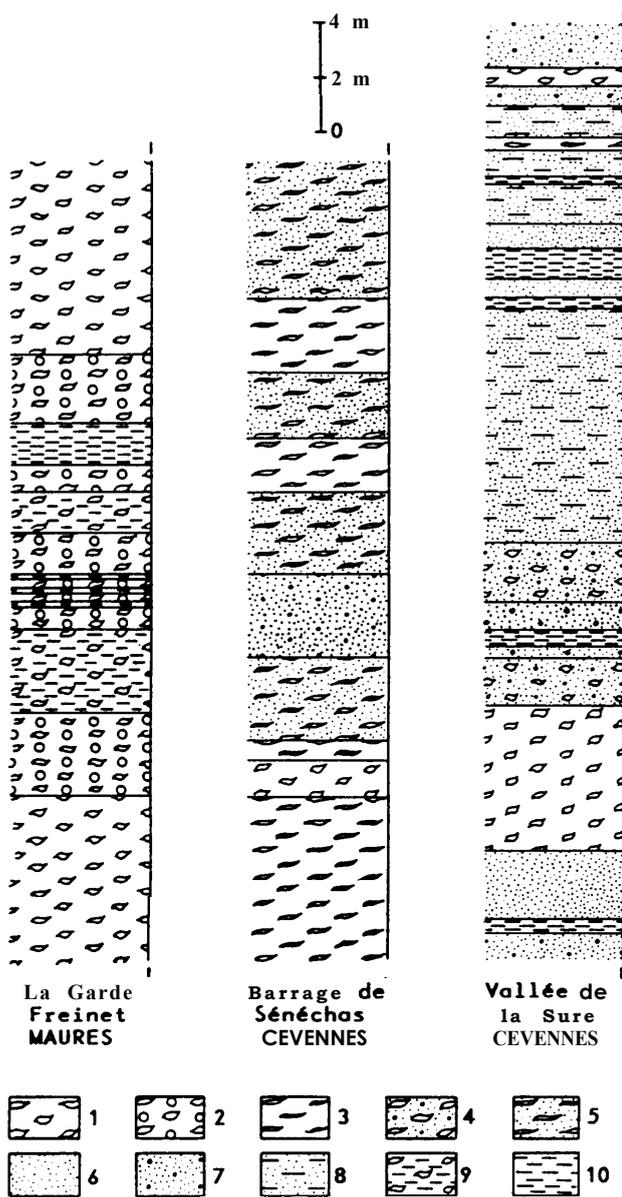


FIG 3. — Colonnes lithologiques montrant des alternances de termes orthodérivés.

1 : gneiss œillé. 2 : gneiss œillé à grenat. 3 : gneiss lenticulaire. 4 : gneiss micacé albitique à résidus. 5 : gneiss fin micacé albitique. 6 : gneiss micacé albitique. 7 : gneiss micacé à quartz bleus. 8 : micaschiste albitique. 9 : micaschiste à nodules feldspathiques. 10 : micaschiste.

Rc 3. — Lithologic columns showing alternations of granitic-derived terms.

1 : augen gneiss. 2 : garnet augen gneiss. 3 : flaser gneiss. 4 : micaceous albitic gneiss with relics. 5 : flaser micaceous albitic gneiss. 6 : micaceous albitic gneiss. 7 : micaceous albitic gneiss with blue quartz. 8 : albitic mica schist. 9 : nodular mica schist. 10 : mica schist.

correspondent à des entités cartographiques. le passage pourra s'effectuer soit rapidement en quelques mètres ou moins, soit très progressivement en quelques dizaines de mètres. et ces niveaux épais d'orthomicaschistes pourront être considérés également comme des ZCD. Dans le cas de telles zones de transition ménagée, on pourra parfois observer des transformations brutales dans des ZCD très localisées, traduisant le caractère hétérogène de la déformation (fig. 6A).

Les ZCD élémentaires présentent des caractères analogues à celles des ZCD mylonitiques classiquement décrites dans des granites ou dans des gneiss catazonaux et pourront avoir la même signification tectonique (Ramsay et Graham, 1970; Vernon et Ransom, 1971; Burg et Laurent, 1978; Bell, 1981; Choukroune et Gapais, 1983; Simpson, 1983; Bell et Hammond, 1984; Sandiford, 1985). Elles sont continues ou discontinues, symétriques ou asymétriques, et peuvent admettre des récurrences internes (fig. 6B). Lorsque les orthomicaschistes présentent encore des agrégats feldspathiques recristallisés, le sens de cisaillement peut être déterminé. Le plus souvent, elles présentent une disposition planaire et leur foliation régulière est parallèle à celle des orthogneiss encaissants. Toutefois, dans un orthogneiss peu déformé, elles peuvent présenter des géométries complexes remarquables (fig. 7) permettant une mise en évidence immédiate de l'origine granitique des orthomicaschistes (cas de l'ensemble des gneiss de Bormes et des micaschistes « à minéraux γ des Maures où les ZCD sont les plus caractéristiques, Crevola et Crevola, 1987) :

- anastomose autour de boudins ou de lentilles d'orthogneiss,
- foliation discordante par rapport à celle de l'orthogneiss encaissant,
- association avec des structures plissées, les ZCD micaschisteuses séparant des bandes de gneiss plissées isoclinalement et se développant par cisaillement des flancs des plis.

Lorsque la déformation est plus pénétrative, on observe le passage de ces structures à des dispositions planaires. Les caractères des ZCD permettent de reconnaître trois mécanismes pour leur développement : par cisaillement plus intense dans certains horizons, par exagération du boudinage de foliation (Platt et Vissers, 1980), par cisaillement des flancs des plis (fig. 6C).

Les ZCD élémentaires, comme les niveaux plus épais d'orthomicaschistes, doivent pouvoir être intégrés dans un modèle de déformation régionale dans la mesure où les grandes structures sont reconnues. Deux modèles sont envisageables pour les complexes étudiés : celui de la lame de socle avec horizons de mouvement plus intense, notamment vers sa base (Lagarde, 1978) et celui du pli de type « Rheid Fold » (Carey in Whitten, 1966, p. 142) ou de type pennique (Simpson, 1982).

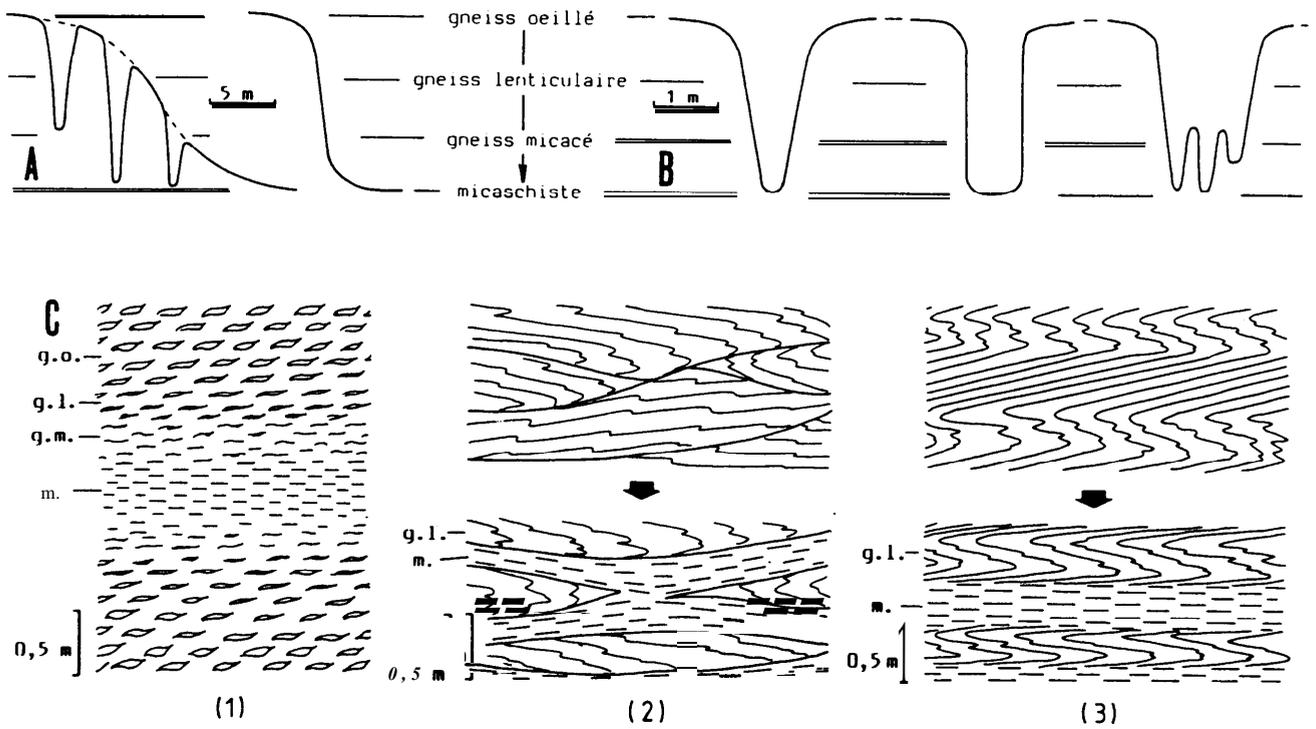


FIG 6. — Types de zones de cisaillement ductile micaschisteuses.

A : passage progressif avec zones de cisaillement ductile localisées et passage brusque; B : zones de cisaillement ductile étroites : continue, discontinue, avec réurrences; C : développement de zones de cisaillement ductile par 1) cisaillement hétérogène, 2) évolution du boudinage de foliation, 3) cisaillement des flancs des plis.

FIG 6. — Types of mica schist ductile shear zones.

A : Gradational transition with narrow ductile shear zones and abrupt transition; B : narrow ductile shear zones : continuous, discontinuous, with recurrences; C : development of ductile shear zones through 1) heterogeneous shearing, 2) evolution of foliation boudinage, 3) shearing of fold limbs.

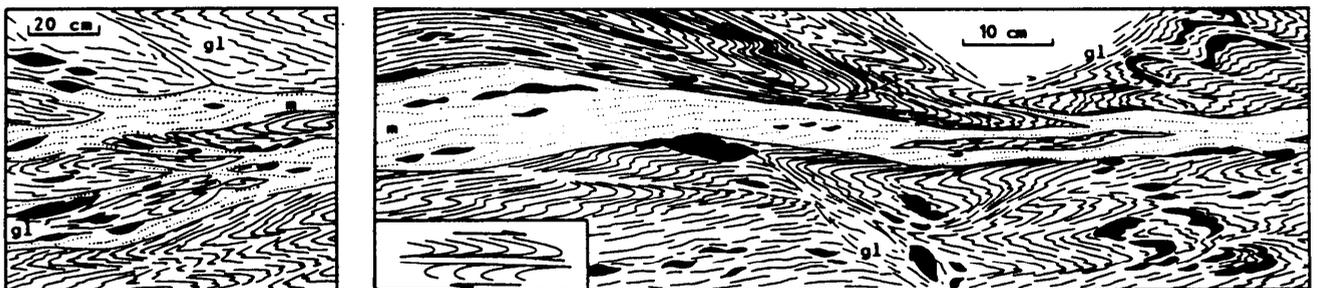


FIG 7. — Exemples de zones de cisaillement ductile micaschisteuses associées au boudinage de foliation et au plissement (Col du Babaou, Maures).

En noir : quartz d'exsudation. gl : gneiss lenticulaires. m : micaschistes.

FIG 7. — Examples of mica schist ductile shear zones related to foliation boudinage and to folding (Col de Babaou, Maures).

Black : quartz ceins. gl : lenticular gneisses. m : mica schists.

III. MISE EN ÉVIDENCE DES ORTHOMICASCHISTES.

A. Aspects méthodologiques.

Si la mise en évidence des **mylonites** et des **ultramylonites** granitiques ne présente pas de difficulté particulière, celle des **orthomicaschistes**, qui sont en grande partie ou en totalité recristallisés et dépourvus de **porphyroclastes**, et dont l'aspect est très différent de celui de la roche de départ, s'avère délicate. Diverses approches devront être menées simultanément. Les approches directes consistent en la reconnaissance de séquences **sub/blastomylonitiques** associées à des ZCD et en la reconnaissance éventuelle, au sein de micaschistes d'apparence banale, de reliques du protolithe granitique : **lentilles d'orthogneiss**, **porphyroclastes**, enclaves, zircons hérités. Les **approches indirectes** sont basées sur l'étude géométrique et cartographique des relations des diverses formations associées aux orthogneiss et conduisent à la discussion des diverses interprétations possibles. En pratique, la reconnaissance dans un premier temps d'affleurements montrant clairement la possibilité de la transformation en micaschiste dans des ZCD, conduit ensuite à réexaminer l'ensemble des caractères des formations orthogneissiques et micaschisteuses associées. De

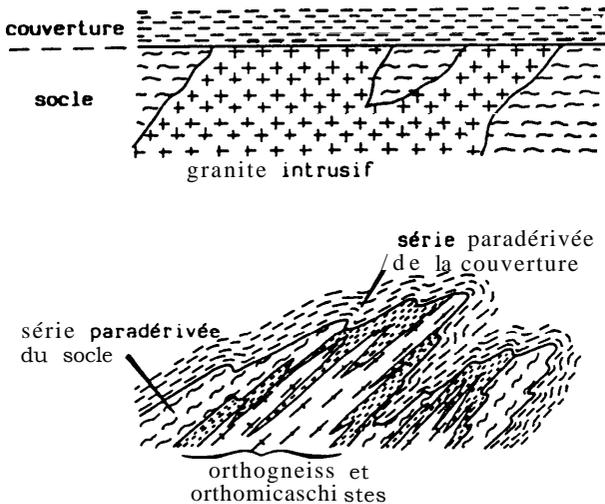


FIG 8. — Schéma montrant l'origine d'une association complexe de séries métamorphiques ortho et paradérivées lors du développement symptomorphe de grands plis kilométriques à partir d'un couple socle-couverture.

FIG 8. — Sketch illustrating the development of a complex association of ortho and parametamorphic series through symptomorphic kilometric folding of a basement and its cover.

plus, l'expérience montre que le type mylonitique **présenté** par les orthogneiss, qui sera rapidement déterminé par l'examen des amandes feldspathiques et des lits micacés, fournira une indication sur la présence possible d'**orthomicaschistes**.

Il conviendra cependant de toujours considérer que les ensembles orthodérivés, actuellement composés d'**orthogneiss** et d'**orthomicaschistes**, pouvaient présenter originellement des relations de granite **intrusif** avec certaines formations et de socle-couverture avec d'autres. Il pourra en résulter, après métamorphisme et déformation, une structure particulièrement complexe où les orthogneiss sont associés à des orthomicaschistes, comme à des paramicaschistes. La figure 8, inspirée de l'exemple de la nappe **pennique** de **Maggia** dans les Alpes suisses, où l'évolution est de type mylonitique (Simpson, 1982), illustre ce cas :

B. Approche directe.

1. **Zones de cisaillement ductile.** Leur mise en évidence sera toujours déterminante pour la reconnaissance des orthomicaschistes en intercalations de petite taille et nécessitera une étude attentive des contacts. Toutefois, la reconnaissance de ZCD discontinues et l'extrapolation à des intercalations très épaisses peuvent s'avérer délicates. Il convient, en outre, de noter que si les ZCD sont très fréquentes dans certains exemples (orthogneiss de **Bormes**, orthogneiss de la **Cézarenque**), elles sont rares ou peu évidentes dans d'autres (orthogneiss du **Pinet**).

2. **Reliques du protolithe.** Au sein de formations monotones d'orthomicaschistes apparaissent parfois des lentilles de taille variable (dm à hm) d'orthogneiss à divers stades de transformation et qui présentent des passages progressifs avec leur encaissant. Parfois on verra apparaître inopinément dans les orthomicaschistes des **porphyroclastes** de quartz (cas de certains micaschistes à quartz bleutés des **Maures**) ou des **agrégats** feldspathiques provenant de la néocrystallisation du feldspath potassique (gneiss **micacés** albitiques à « résidus feldspathiques » de la **Cézarenque**).

3. **Enclaves.** Dans certains cas (orthogneiss de la **Cézarenque**, orthogneiss de la **Garde-Freinet** des **Maures**), les enclaves microgrenues sombres, ou autres, sont fréquentes dans le métagranite et peuvent être parfois encore reconnues dans les orthomicaschistes. Dans le cas des orthogneiss de la **Garde-Freinet**, le métagranite contient de nombreuses enclaves de gneiss à silicates **calciques** qui se comportent passivement lors du métamorphisme et de la déformation et qui subsistent à l'état de gros nodules dans les orthomicaschistes associés.

4. **Typologie du zircon.** Le zircon hérité ne recristallisant dans les roches métamorphiques qu'au voisinage de

l'anatexie, la comparaison des types de zircons d'orthogneiss avec ceux de la typologie de référence établie pour les roches magmatiques permet de caractériser la roche originelle (Rupin, 1976). L'extension de cette méthode aux orthomicaschistes devrait permettre une mise en évidence indépendante des autres considérations. Des résultats probants ont déjà été obtenus dans le cas des gneiss de la Cézarenque (Creuly *et al.*, 1986).

C. Approche indirecte.

1. Etude cartographique. Elle pourra, dans les cas favorables, permettre de délimiter un ensemble orthodérivé, composé d'orthogneiss et d'orthomicaschistes en petites intercalations ou en niveaux épais et monotones, cartographiables. Cet ensemble se distinguera des formations environnantes qui auront une lithologie différente, qui pourront comporter des intercalations de quartzites et de cipolins, et qui ne présenteront plus de reliques du protolithe d'aucune sorte. Les gneiss de la Cézarenque constituent un bon exemple d'ensemble orthodérivé bien circonscrit (fig. 1 B). Groupant des métagranites, des orthogneiss, des gneiss micacés albitiques et des micaschistes s.s., il est séparé de l'ensemble paradérivé des micaschistes cévenols par une formation quartzo-leptynique, très épaisse à l'ouest, assez réduite mais parfois massive à l'Est (« mur quartzeux »). Comme l'ont déjà montré Stillman et De Swardt (1965), il sera difficile dans d'autres cas, comme par exemple dans le Rouergue, lorsque les lithologies seront proches, de fixer la limite entre micaschistes supposés orthodérivés et paradérivés.

2. Examen critique des autres hypothèses. L'hypothèse du granite intrusif est celle qui est le plus souvent employée, car elle permet d'expliquer des associations intimes (en particulier pour plusieurs exemples étudiés en Rouergue cristallin). L'un des principaux arguments utilisés est l'existence d'une feldspathisation de son encaissant par l'ancien granite intrusif qui expliquerait la présence de porphyroblastes de feldspath potassique originels dans les gneiss fins ou les micaschistes associés aux orthogneiss. D'un point de vue général, la mise au point de Vernon (1986) a montré que le concept de porphyroblastose de feldspath potassique dans les granites, comme dans leurs enclaves microgrenues et leur encaissant, doit être abandonné et qu'en particulier les « cornéennes porphyroblastiques » se sont révélées être des mylonites porphyroclastiques du granite lui-même. Dans nos exemples, on observe souvent dans des orthomicaschistes, à côté de porphyroclastes de feldspath potassique, des quartz ovoïdes relictuels que l'on ne pourra expliquer par une métasomatose liée à un métamorphisme de contact.

L'hypothèse détritico ou volcano-détritico est généralement motivée par la présence, dans les termes gneissiques, d'anciens quartz automorphes et par l'existence d'alternances de termes considérées comme originelles. On remarquera que a) les quartz automorphes se rencontrent non seulement dans les rhyolites, mais aussi dans les microgranites et dans certains granites, b) la taille des amandes feldspathiques de certains orthogneiss est de beaucoup supérieure à la taille habituelle des feldspaths de rhyolites (Vernon, 1986), c) certaines alternances correspondent à la juxtaposition de faciès sub/blastomylonitiques à des stades d'évolution différents. Ainsi, et sans que cela exclue l'existence de porphyroïdes dérivant de rhyolites, certains porphyroïdes pourront correspondre à l'évolution sub/blastomylonitique d'anciens granites. C'est par exemple le cas pour les gneiss de la Cézarenque, considérés auparavant soit comme des arkoses conglomératiques (Weisbrod et Marignac, 1968), soit comme une série volcano-détritico (Chenevoy, 1968) et qui contiennent en fait des métagranites très caractéristiques (Crevola *et al.*, 1983).

L'hypothèse socle-couverture n'est pas compatible avec l'intrication parfois extrême des orthogneiss et des orthomicaschistes, l'existence de passages progressifs entre eux et l'absence de niveaux quartzo-leptyniques à leur contact.

CONCLUSION.

Les orthomicaschistes sont les termes ultimes d'évolutions blastomylonitiques ou sub-blastomylonitiques, épizo-nales ou mésozonales, affectant d'anciens granites. Ces évolutions se distinguent de l'évolution mylonitique classique par une recristallisation complète ou quasi complète apparue précocement, amenant l'élimination des porphyroclastes, et par des modifications chimiques associées très importantes qui impliquent une perte de matière. Les orthomicaschistes peuvent être clairement mis en évidence à petite échelle, dans des ZCD de faible épaisseur, comme à l'échelle régionale où ils peuvent constituer des niveaux cartographiables, épais de plusieurs dizaines ou centaines de mètres. Leur généralité a pu être vérifiée dans diverses régions de la chaîne varisque du Sud de la France. Ils viennent d'ailleurs d'être aussi reconnus dans les Appalaches septentrionales (Wintsh et Dipple, 1986; Andrews *et al.*, 1987).

La prise en considération de cette nouvelle possibilité d'évolution élargit le champ des roches mylonitiques d'origine granitique. Elle montre que les mylonites, sub-blastomylonites et blastomylonites granitiques correspondent à des régimes de déformation distincts non par leur

climat métamorphique, mais par la disponibilité de fluides. Elle conduit en outre à considérer l'existence d'une métasomatose importante, à l'échelle des ZCD comme à l'échelle crustale, lors du développement synmétamorphe de grandes nappes par déformation cisailante ductile de granites.

Dans une région donnée, présentant une intense déformation cisailante ductile synmétamorphe, les transformations des anciens granites pourront être plus variées, plus importantes et plus généralisées que ce que l'on pensait jusqu'ici, conduisant à la banalisation de parties importantes de ces granites. Ce modèle d'évolution sub/blastomylonitique d'un ancien granite est susceptible, au même titre que les modèles de socle granitique -couverture pélitique et de granite intrusif dans un encaissant pélitique, de rendre compte des associations d'orthogneiss et de micaschistes rencontrées fréquemment dans le segment varisque français. Ces modèles pourront être combinés pour rendre compte de dispositifs complexes où orthogneiss et orthomicaschistes provenant d'un ancien granite peuvent être en contact avec des paramicaschistes provenant d'une ancienne couverture ou d'un ancien encaissant du granite.

Remerciements.

L'auteur tient à remercier P. Collomb, C. Crevola et J. Magontier pour leur collaboration dans l'étude de certains exemples. J.M. Caron, P. Collomb et J.P. Gratier pour leurs critiques constructives du manuscrit et C. Crevola pour la dactylographie.

RÉFÉRENCES

- ANDREWS M.S., AMBERS C.P. et WINTSCH R.P. (1987). — Evidence against the correlation of the Hunt's Brook schist with pelitic rocks of the Putman-Nashoba terrane. *G.S.A. Abstracts with programs*, vol. 19, n° 1, p. 2.
- AUTRAN A. (1980). — Evolution structurale du Protérozoïque aux distensions post-hercyniennes. In « Evolutions géologiques de la France », *Mém. B.R.G.M.*, n° 107, p. 10-17.
- AUTRAN A., FONTEILLES M. & GUITARD G. (1966). — Discordance du Paléozoïque inférieur métamorphique sur un socle gneissique anté-hercynien dans le massif des Albères (Pyrénées Orientales). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 263, p. 317-320.
- BARD J.P. & CARUBA C. (1983). — Mise au point sur l'application du concept de socle-couverture dans le massif des Maures-Tanneron : une nouvelle interprétation des orthogneiss œillés dans ce segment varisque du Sud de la France. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 296, Série II, p. 1341-1344.
- BARD J.P. & LOUEYIT J. (1978). — Sur l'origine des gneiss œillés de l'Espinouse dans la zone axiale de la Montagne Noire (Massif Central) : conséquences tectoniques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XX, n° 5, p. 751-772.
- BEACH A. (1973). — The mineralogy of high temperature shear zones at Scourie, N.W. Scotland. *J. of Petrol.*, vol. 14, Part 2, p. 231-248.
- BEACH A. (1976). — The interrelations of fluid transport, deformation, geochemistry and heat flow in early Proterozoic shear zones in the Lewisian complex. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 280, p. 569-604.
- BEACH A. (1980). — Retrogressive metamorphic processes in shear zones with special reference to the Lewisian complex. *J. Struc. Geol.*, vol. 2, n° 1/2, p. 257-263.
- BECKE F. (1909). — Über Diaphorite. *Tschermaks Mineralog. Petrog. Mitt.*, vol. 27, p. 369-377.
- BELL T.H. (1981). — Foliation development — The contribution, geometry and significance of progressive, bulk, inhomogeneous shortening. *Tectonophysics*, 75, p. 273-296.
- BELL T.H. & ETHERIDGE M.A. (1973). — Microstructure of mylonites, and their descriptive terminology. *Lithos*, 6, p. 337-348.
- BELL T.H. & HAMMOND R.L. (1984). — On the internal geometry of mylonite zones. *J. of Geol.*, vol. 92, p. 667-686.
- BELLIERE J. (1967). — Le métamorphisme blastomylonitique : source possible de jus pegmatitique migrant. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. 90, bull. n° 1-3, p. 185-199.
- BOSSIERE G. (1980). — Un complexe métamorphique polycyclique et sa blastomylonitisation. Etude pétrologique de la partie occidentale du Massif de Grande Kabylie. Thèse, Nantes, 302 p.
- BRODIE K.H. (1980). — Variations in mineral chemistry across a shear zone in phlogopite peridotite. *J. Struct. Geol.*, vol. 2, n° 1/2, p. 265-272.
- BRODIE K.H. & RUTTER E.H. (1985). — On the relationship between deformation and metamorphism, with special reference to the behavior of basic rocks. In « Metamorphic reactions : kinetics, textures and deformation ». Ed. A.B. Thompson & D.C. Rubie, Springer Verlag, Berlin, p. 138-179.
- BROUDER P. (1968). — De la présence de nappes plis de style pennique dans une série métamorphique hercynienne : les Cévennes, Massif Central français. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 267, p. 575-578.
- BRYANT B. (1966). — Formation of phyllonites in the Grandfather Mountain area, Northwestern North Carolina. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, n° 550 D, p. 144-150.
- BRYANT B. & REED J.C. (1970). — Geology of the Grandfather Mountain Window and Vicinity, North Carolina and Tennessee. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, n° 615, 190 p.
- BURG J.P. & LAURENT P. (1978). — Strain analysis of shear zone in a granodiorite. *Tectonophysics*, 47, p. 15-42.
- BURG J.P. & TEYSSIER C. (1983). — Contribution à l'étude tectonique et microtectonique des séries cristallophylliennes du Rouergue oriental. La déformation des laccolites syntectoniques, type Pinet. *Géologie de la France*, (2), 1, n° 1-2, p. 3-30.
- BURG J.P., DELOR C. & LEYRELOUP A. (1986). — Le massif du Lézou et les séries adjacentes du Rouergue oriental. Nouvelles données pétrographiques et structurales. *Géologie de la France*, n° 3, p. 229-272.
- CARMICHAEL D.M. (1969). — On the mechanism of prograde metamorphic reactions in quartz-bearing pelitic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 20, p. 244-267.

- CHENEVOY M. (1968). — Les gneiss amygdalaires du Massif Central français. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, (2), vol. X, p. 177-195.
- CHOUKROUNE P. & GAPAIS D. (1983). — Strain pattern in the Aar granite (Central Alps) : orthogneiss developed by bulk inhomogeneous flattening. *J. Struct. Geol.*, vol. 5, n° 3-4, p. 411-418.
- CHRISTIE J.M. (1960). — Mylonitic rocks of the Moine thrust-zone in the Assynt region, north-west Scotland. *Edinb. Geol. Soc. Trans.*, vol. 18, pt. 1, p. 79-93.
- COLLOMB P. & CREVOLA G. (1987). — Métagranites, orthogneiss et orthomicaschistes en Rouergue cristallin (Massif Central, France). Sur la fréquence de cette suite orthodérivée dans les ensembles métamorphiques. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série II*, t. 305, p. 461-465.
- COMPAGNONI R. (1977). — The Sezia-Lanzo zone : high-pressure-low temperature metamorphism in the austro alpine continental marg-in. *Rend. Soc. It. Miner. Petrol.* 33 (1), p. 335-374.
- CREULY F., PUPIN J.P. & CREVOLA G. (1986). — Caractérisation des orthogneiss alumineux du Sud-Est de la France par la typologie du zircon. Ile *R.S.T.*, Clermont-Ferrand, p. 43.
- CREVOLA G. (1985). — les orthomicaschistes du massif des Maures (France) : produits ultimes du tectonométamorphisme métasomatique d'anciens granites. *C.R. Acad. Sci., Paris, Série II*, t. 301, p. 99-104.
- CREVOLA G., BOUCARUT M., MAGONTIER J. & COLLOMB P. (1983). — Origine granitique des gneiss de la Cézarenque (Cévennes, Massif Central) : identification de plusieurs faciès plutoniques originels. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série II*, t. 296, p. 1519-1522.
- CREVOLA G., COLLOMB P. & MAGONTIER J. (1986a). — Mise en évidence et importance des orthomicaschistes en tant que produits ultimes du tectonométamorphisme métasomatique en régime cisailant des granitoides. Ile *R.S.T.*, Clermont-Ferrand, p. 44.
- CREVOLA G., COLLOMB P. & MAGONTIER J. (1986 b). — Genèse des orthomicaschistes : aspects pétrographiques et géochimiques. *Réunion Soc. fi. Min. Crist.* « Cristallisation et déformation », Lyon, Nov. 1986, V. 4.
- CREVOLA G. & CREVOLA C. (1987). — Développement d'orthomicaschistes dans des zones de cisaillement ductile au sein d'orthogneiss : exemples pris dans le Massif des Maures (France du Sud-Est). *C.R. Acad. Sci. Paris, Série II*, t. 305, p. 913-918.
- DEMANGE M. (1975). — Style pennique de la zone axiale de la Montagne Noire entre Saint-Pons et Murat-sur-Vèbre (Massif Central). *Bull. B.R.G.M.*, Fr., sect. 1, n° 2, p. 91-139.
- ETHERIDGE MA. & COOPER JA. (1981). — Rb/Sr isotopic and geochemical evolution of a recrystallized shear (mylonite) zone at Broken Hill. *Contrib. Mineml. Petrol.* 78, p. 74-84.
- ETHERIDGE MA., WALL VJ. & COX S.F. (1984). — High fluid pressures during regional metamorphism and deformation : implications for mass transport and deformation mechanisms. *J. Geophys. research*, vol. 89, p. 4344-4358.
- EUGSTER H.P. (1970). — Thermal and ionic equilibria among muscovite, K-feldspar and aluminosilicate assemblages. *Fortshr. Miner.*, 47, 1, p. 106-123.
- FERRY J.M. (1979). — Reaction mechanisms, physical conditions, and mass transfer during hydrothermal alteration of mica and feldspar in granitic rocks from South Central Maine, USA. *Contrib. Miner. Petrol.*, 68, p. 125-139.
- GRATIER J.P. (1984). — La déformation des roches par dissolution-cristallisation. Aspects naturels et expérimentaux de ce fluage avec transfert de matière dans la croûte supérieure. Thèse, Grenoble, 315 p.
- GRESENS R.L. (1967). — Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geol.*, 2, p. 47-65.
- GUITARD G. (1970). — Le métamorphisme hercynien mésozonal et les gneiss ceillés du massif du Canigou (Pyrénées Orientales). *Mém. B.R.G.M.*, 63, 353 p. (et Thèse, Paris, 1965).
- HIGGINS M.W. (1971). — Cataclastic rocks. *Geol. Surv. Prof. Paper*, n° 687, 97 p.
- JAMIESON R.A. & STRONG D.F. (1981). — A metasomatic mylonite zone w-ithin the ophiolite aureole, St Anthony complex, Newfoundland. *Am. J. of Sc.*, vol. 281, p. 264-281.
- JUNG J. & ROQUES M. (1952). — Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes. *Bull. Serv. Carte géol.* Fr., n° 235, 62 p.
- KERRICK R., FYFE W.S., GORMAN B.E. & ALLISON I. (1977). — Local modification of rock chemistry by deformation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65, p. 183-190.
- KERRICK R., ALLISON I., BARNETT R.L., MOSS S. & STARKEY J. (1980). — Microstructural and chemical transformations accompanying deformation of granite in a shear zone at Miéville, Switzerland: with implications for stress corrosion cracking and super-plastic flow. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, p. 221-242.
- KERRICK R., LA TOUR T.E. & WILLMORE L. (1984). — Fluid participation in deep fault zones : evidence from geological, geochemical, and ¹⁸O/¹⁶O relations. *J. Geophys. Research*, vol. 89, p. 4331-4343.
- KNOPF E.B. (1931). — Retrogressive metamorphism and phyllositization. *Am. J. of Sc.*, ser. 5, vol. 21, p. 1-27.
- LACASSIN R. & VAN DEN DRIESSCHE J. (1983). — Finite strain determination of gneiss : application of Fry's method to porphyroid in the southern Massif Central (France). *J. Struct. Geol.*, vol. 5, n°3/4, p. 245-253.
- LAGARDE J.L. (1978). — La déformation des roches dans les domaines à schistosité subhorizontale. Application à la nappe du Canigou-Roc de France (Pyrénées orientales) et au complexe cristalloyphylien de Champtoceaux (Massif Armoricain). Thèse 3e cycle, Rennes, 164 p.
- LAMEYRE J. (1966). — Leucogranites et muscovitisation dans le Massif Central français. Thèse, Clermont-Ferrand, 264 p.
- LAMEYRE J. & AUTRAN A. (coord.) (1980). — Les granitoides de France. In « Evolutions géologiques de la France ». *Mém. B.R.G.M.*, n°107, p. 51-97.
- LAPWORTH C. (1885). — The Highland controversy in British geology. *Nature*, vol. 32, p. 558-559.
- LETOURNEUR J. (1953). — Le grand sillon houiller du Plateau Central français. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, (7), VIII, p. 1-236.
- LISTER G.S. & SNOKE A.W. (1984). — S-C mylonites. *J. Struct. Geol.*, vol. 6, n° 6, p. 617-638.
- MAGONTIER J. (1987). — Etude géologique de la Gardonenque entre Saint-Jean-du-Gard et la Grande-Combe à l'Ouest d'Alès (Gard, France). Thèse, Bordeaux (soutenance fin 87).
- MARQUER D. (1986). — Transfert de matière et déformation progressive des granitoides. Exemple des massifs de l'Aar et du Gothard (Alpes Centrales suisses). Thèse, Rennes, 250 p.
- MARQUER D., GAPAIS D., & CAPDEVILA R. (1985). — Comportement chimique et orthogneissification d'une granodiorite en faciès schistes verts (Massif de l'Aar, Alpes centrales). *Bull. Minéml.*, 108, p. 209-221.

- MATTE P.** (1986). — La chaîne varisque parmi les chaînes paléozoïques péri-atlantiques, modèle d'évolution et position des grands blocs continentaux au Permo-Carbonifère. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (8), t. II, n° 1, p. 9-24.
- PLATT J.P. & VISSERS R.L.M.** (1980). — Extensional structures in anisotropic rocks. *J. Struct. Geol.*, vol. 2, n° 4, p. 397-410.
- PUPIN J.P.** (1976). — Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. Thèse, Nice, 394 p.
- RAMSAY J.G. & GRAHAM R.H.** (1970). — Strain variation in shear belts. *Canadian J. of Earth Sc.*, 7, p. 786-813.
- ROQUES M.** (1941). — Les schistes cristallins de la partie sud-ouest du Massif Central français. *Mém. expl. Carte géol. fr.*, 527 p.
- SANDER B.** (1912). — Über einige Gesteinsgruppen des Tauernwestendes. *Geol. Reichsanst.*, Wien, Jahrb., v. 62, p. 219-228.
- SANDIFORD M.** (1985). — The origin of retrograde shear zones in the Napier Complex : implications for the tectonic evolution of Enderby Land, Antarctic. *J. Struct. Geol.*, vol. 7, n° 3-4, p. 477-488.
- SEYLER M.** (1983). — Géologie de la partie centrale des Maures. Conséquences sur l'évolution géodynamique du massif. *Géologie de la France*, n° 1-2, p. 81-96.
- SIBSON R.H.** (1977). — Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, vol. 133, p. 191-213.
- SIMPSON C.** (1982). — The structure of the Northern lobe of the Maggia Nappe, Ticino, Switzerland. *Eclogae Helv. Geol.*, vol. 75/3, p. 495-516.
- SIMPSON C.** (1983). — Strain and shape-fabric variations associated with ductile shear zones. *J. Struct. Geol.*, vol. 5, n° 1, p. 61-72.
- SIMPSON C.** (1985). — Deformation of granitic rocks across the brittle-ductile transition. *J. Struct. Geol.*, vol. 7, n° 5, p. 503-511.
- SINHA A.K., HEWITT D.A. & RIMSTIJD J.D.** (1986). — Fluid interaction and element mobility in the development of ultramylonites. *Geology*, vol. 14, p. 883-886.
- SPRY A.** (1969). — Metamorphic textures. Pergamon Press Ltd., Oxford, 350 p.
- STILLMAN C.J. & DE SWARDT A.M.J.** (1965). — The response to Lufilian folding of the basement complex around the Northern edge of the Mpande Dome, Northern Rhodesia. *J. of Geol.*, vol. 73, n° 1, p. 131-141.
- SUIRE J. & TEMPIER P.** (1980). — Caractère généraux des orthogneiss. Application au Massif Central français. *105e Congr. Soc. Sav.*, Caen, Sci. fasc. II, p. 51-62.
- TAKAGI H.** (1986). — Implications of mylonites microstructures for the geotectonic evolution of the Median Tectonic Line, Central Japan. *J. Struct. Geol.*, vol. 8, n° 1, p. 3-14.
- TERS M.** (1979). — Les synclinoriums paléozoïques et le Précambrien sur la façade occidentale du Massif Vendéen. Stratigraphie et structure. *Bull. B.R.G.M.* (2), I, 4, p. 293-301.
- TULLIS J., SNOKE A.W. & TOOD V.R.** (1982). — Penrose Conference report on significance and petrogenesis of mylonitic rocks. *Geology*, vol. 10., p. 227-230.
- VAUCHEZ A. & BUFALO 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, Série II*, t. 301, n° 14, p. 1059-1062.
- VERNON R.H.** (1986). — K-feldspars megacrysts in granites-phenocrysts, not porphyroblasts. *Earth-Sci. Rev.*, 23, p. 1-63.
- VERNON R.H. & RANSOM D.M.** (1971). — Retrograde schists of the amphibolite facies at Broken Hill, New South Wales. *J. of Geol. Soc. of Australia*, vol. 18, pt. 3, p. 267-277.
- VERNON R.H., WILLIAMS VA. & D'ARCY W.F.** (1983). — Grain-size reduction and foliation development in a deformed granitoid batholith. *Tectonophysics*, 92, p. 123-145.
- WATERS A.C. & CAMPBELL C.D.** (1935). — Mylonites from the San Andreas fault zone. *Am. J. of Sci., ser. 5*, vol. XXIX, n° 174, p. 473-503.
- WEISBORD A. & MARICNAC C.** (1968). — Sur l'origine des « schistes amygdalaires » des Cévennes (Massif Central français). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 266, Sér. D, p. 865-867.
- WISE D.U., DUNN D.E., ENCELDER J.T., GEISER PA., HATCHER R.D., KISH S.A., ODOM A.L. & SCHANEL S.** (1984). — Fault-related rocks : suggestions for terminology. *Geology*, vol. 12, p. 391-394.
- WINTSCH R.P. & DIPPLE G.M.** (1986). — Evidence for tectonic schists in the Falls River fault zone, Essex, Connecticut. *G.S.A. Abstracts with programs*, vol. 18, n° 1, p. 76.
- WHITE S.H., BURROWS S.E., CARRERAS J., SHAW N.D. & HUMPHREYS F.J.** (1980). — On mylonites in ductile shear zones. *J. Struct. Geol.*, vol. 2, n° 1/2, p. 175-187.
- WHITTEN E.H.T.** (1966). — Structural geology of folded rocks. Rand Mac Nally and Co, Chicago.
- WILLIAMS G. & DIXON J.** (1982). — Reaction and geometrical softening in granitoid mylonites. *Text. and Microstruct.*, vol. 4, p. 223-239.

Manuscrit déposé le 10 avril 1987,
accepté le 28 juillet 1987.