

Dispersion des linéations d'étirement sous un chevauchement varisque majeur : le cas de l'orthogneiss de Saint-Alyre-es-Montagne (série du Cézallier, sondage GPF de Chassolle)

Denis Marquer*, Jean-Louis Feybesse**, Denis Gapais*, Pascal Balé*, Claude Lecorre*,
Renaud Maggion***, Jacques Charvet***, Michel Faure**** et Jean-Pierre Burg****

Mots-clés : Linéation (Linéation étirement) Orthogneiss (Série Cézallier), Déformation finie, Cisaillement, Zone cisaillement, Anatexie, Puy-de-Dôme, Chassolle.

Résumé

Les études structurales de la série du Cézallier ont montré que les métapélites et les orthogneiss qui en composent la base géométrique, représentent un ensemble paraautochtone situé sous une nappe crustale majeure d'âge varisque. Deux domaines se distinguant par la direction d'étirement observée ont été distingués :

- 1 — le plus vaste est caractérisé par des linéations d'étirement NW-SE et dans sa partie NW par un cisaillement vers le NW ;
- 2 — le second, où a été implanté le sondage de Chassolle, est plus localisé. Il présente des linéations d'étirement NE-SW, et recouvre une partie de l'orthogneiss de Saint-Alyre-es-Montagne. Dans ce domaine les bandes de cisaillement indiquent un cisaillement vers le SW. Des zones de cisaillement conjuguées à jeu normal délimitent des volumes lenticulaires d'orthogneiss homogènes. L'ellipsoïde de déformation défini d'après la forme des marqueurs de la déformation est de type aplatissement ($K \leq 1$) et les axes régionaux d'élongation maximale et intermédiaire (λ_1 et λ_2) ont respectivement une direction NE-SW et NW-SE.

Tout au long des 1400 m du sondage, l'on retrouve des domaines à linéation NW-SE et des domaines à linéation NE-SW, mais les linéations NE-SW sont clairement dominantes. L'analyse des carottes de sondage a montré que la disposition des zones de cisaillement est compatible avec un cisaillement vers le SW et un ellipsoïde de type aplatissement et rend compte de la dispersion des linéations d'étirement.

Les microstructures observées dans les quartz et les feldspaths indiquent que la déformation est intervenue dans des conditions métamorphiques proches de l'anatexie.

Abstract

Strain and stretching lineation variability under a major variscan thrust: the Saint-Alyre-es-Montagne orthogneiss example (Cézallier Chassolle G.P.F. drill hole)

Field surveys of the Cézallier sequence (central part of the Massif Central) have shown that the metapelitic formation intruded by calc-alkaline orthogneisses, forms a paraautochthonous unit below a major variscan synmetamorphic thrust. Two sets of stretching and mineral lineations are found at the regional scale.

- 1 — The NW-SE trend is the most wide-spread in the North western part of the region. It is associated with a northwestward shearing.
- 2 — The NE-SW trend is more local, but widespread in the Saint-Alyre orthogneiss where the Chassolle G.P.F. drill hole is located. On the field, shear bands and asymmetric minerals show a southwestward shearing. Conjugate normal ductile faults define lensoid volumes of homogeneous orthogneiss. The bulk finite strain ellipsoid belongs to the flattening type, the maximum and intermediate principal elongation axes trend along NE-SW and NW-SE directions respectively.

All along the 1400 m of the Chassolle drill hole, domains with NW-SE and NE-SW lineations are observed but the NW-SE trend is clearly dominant. The analysis of the drilled samples shows that conjugate listric faults are in agreement with a flattening type of strain ellipsoid and account for the trend dispersal of the lineation. The plano-linear orthogneissic fabric with a weak lineation supports a flattening deformation. The quartz and feldspar microstructures indicate a very high temperature of deformation close to anatexis.

* Lab. Géol. Structurale, Centre Armoricaïn d'étude structurale des socles, Univ. Rennes - 35042 Rennes

** BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex

*** Lab. de géologie structurale, Univ. d'Orléans, BP 6759-45067 Orléans Cedex 02

**** Centre Géologique et Géophysique (C.N.R.S.), USTL - Place Bataillon - 34060 Montpellier

Contexte géologique

Située au cœur de la zone interne varisque (fig. 1), la série du Cézallier est composée d'unités lithologiques qui ont été portées dans les conditions du faciès amphibolite au cours du métamorphisme varisque.

Cette série, récemment étudiée par M. Mathonnat (1983) présente de grandes similitudes avec celle du Haut Allier (Lasnier *et al.*, 1982) tant par ses caractères lithologiques que par l'empilement des unités tectoniques qui la composent (fig. 1 B). La base géométrique de la série est constituée de paragneiss à biotite, sillimanite, plagioclase, grenat et feldspath potassique. Ces roches semblent essentiellement d'anciens sédiments et ont été intrudées avant le métamorphisme

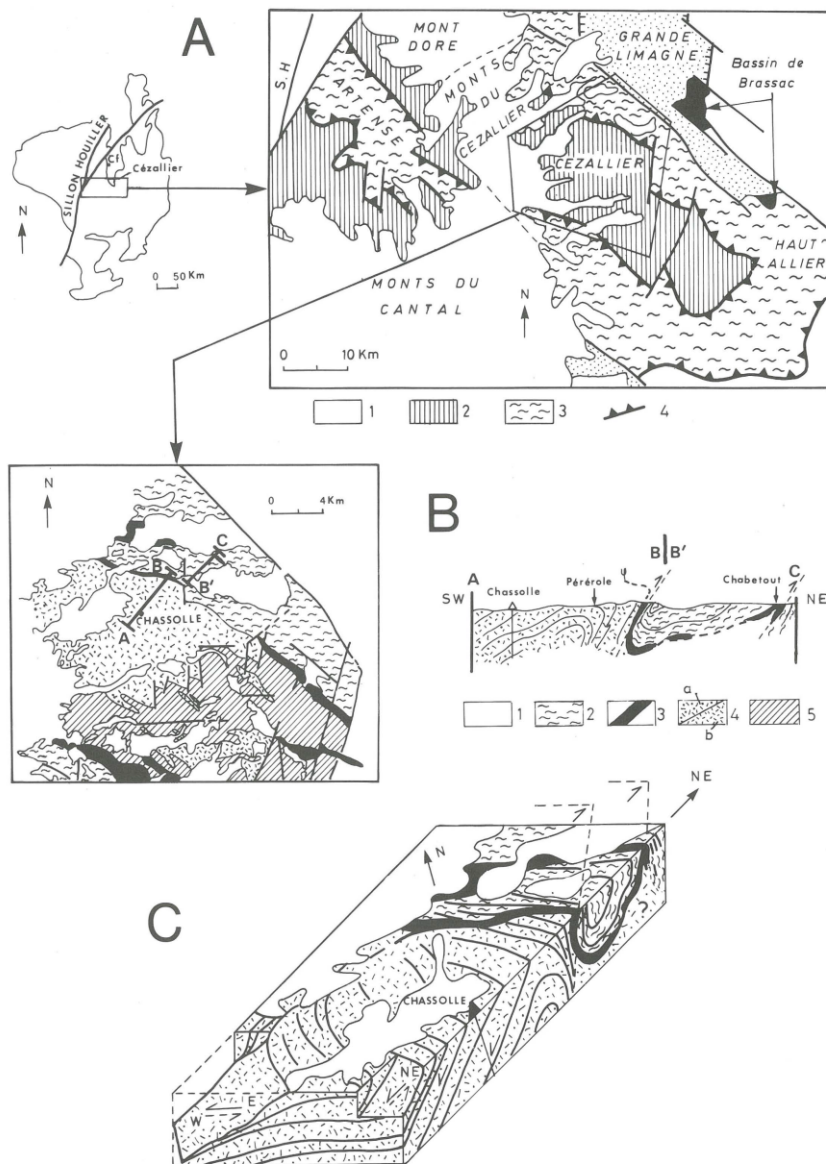


Fig. 1. — Cadre géologique et structural. — Geological and structural context.

A) — Cadre géologique général.

1. Volcanisme et terrains sédimentaires récents indifférenciés — 2. Paragneiss et métagranites (paraautochtone)
3. Formations migmatitiques — 4. Chevauchement.

B et C) — Lithologie du Cézallier et structure de la région de Chassolle

1. Volcanisme — 2. Unité migmatitique — 3. Groupe leptynoamphibolique
4. Métagranites — a) de Saint-Alyre-es-montagne — b) du Grenier Montgon — 5. Paragneiss à biotite-sillimanite

et la déformation par les massifs granitiques calco-alcalins de Saint-Alyre-es-montagne et du Grenier Montgon (fig. 1 B). L'ensemble est surmonté par le groupe leptyno-amphibolique. Cette association de leptynites, de gneiss à amphiboles et d'amphibolites est en partie issue d'un ensemble volcanique de type arc insulaire (Mathonnat, 1983 ; Cabanis, 1984). Le sommet de la pile lithologique est composé de migmatites foliées ou grenues à sillimanite et/ou à cordiérite (Mathonnat *op.cit.*).

La superposition géométrique de ces unités est attribuée à une tectonique tangentielle rapportée à l'époque éovarisque (Burg, 1977 ; Burg *et al.*, 1978 ; Burg, 1983 ; Mathonnat, 1983) (fig. 1 C). Selon ces auteurs, l'ensemble paragneissique et orthogneissique est considéré comme para-autochtone par rapport à une nappe constituée du groupe leptyno-amphibolique et des migmatites. La semelle de l'unité allochtone est localisée à la base du groupe leptynoamphibolique qui a subi, comme l'unité migmatitique, un stade métamorphique de haute pression (daté à 430 Ma) dont on n'a jamais trouvé aucune trace dans les paragneiss et les orthogneiss sous-jacents.

La cinématique de cette nappe n'est pas clairement définie et sur ce point les avis des différents auteurs divergent. Mise en place du Nord vers le Sud (Burg, 1977 ; Burg et Matte, 1978 ; Burg, 1983 ; Brun et Burg, 1982 ; Brun *et al.*, 1987) ou de l'ouest vers l'est (Suire, 1982 ; Mathonnat, 1983). Cette dernière hypothèse s'appuie sur la prédominance des linéations d'étirement E-W à NW-SE. En particulier au SW de la série du Cézallier, M. Mathonnat (1983) observe des linéations N 80° à N 150° et en déduit un cisaillement tangentiel de l'W vers l'E qu'il définit à partir de l'analyse de la fabrique du quartz.

Plus récemment, le sondage GPF de Chassolle a traversé l'orthogneiss de Saint-Alyre-es-Montagne sur 1400 m. Les études de surface préliminaires à son implantation, ont relancé le débat.

En effet, les données microstructurales recueillies à cette occasion (Mathonnat, 1983 ; Tempier et Lemoine, 1985 ; Feybesse et Marchand, 1985) ont fait apparaître une grande variabilité des linéations d'étirement et l'existence de nombreuses zones de cisaillement entre lesquelles les relations géométriques ne pouvaient être clairement établies.

L'objet de cette note est de décrire, à la faveur de ce sondage implanté environ 0,5 à 1 km sous le chevauchement, les structures pénétratives observées et d'en discuter les interprétations cinématiques possibles à la lumière des données régionales de terrain. Rappelons que l'orientation quasi continue des carottes de ce sondage est une occasion unique d'effectuer, selon une coupe verticale continue de 1400 m, une analyse géométrique et cinématique de la déformation associée à un grand chevauchement crustal.

1. — Structures régionales

À l'échelle de la région d'Ardes sur Couze, les cartes de trajectoires des directions principales de déformation (fig. 2) montrent les caractéristiques suivantes :

— les trajectoires de la foliation montrent une direction globale NW-SE avec des pendages généralement Sud dans l'ensemble de l'orthogneiss de Saint-Alyre ;

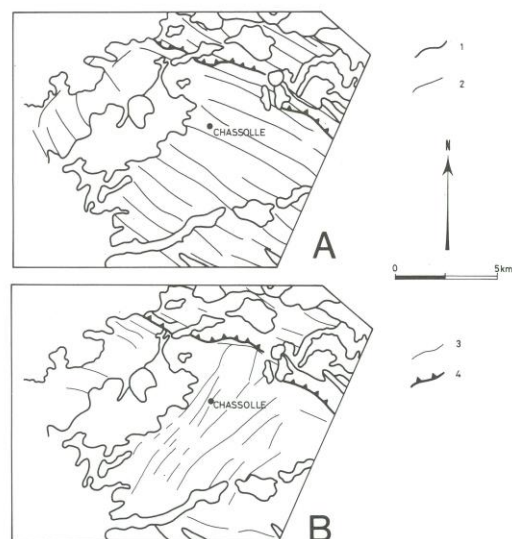


Fig. 2. — Trajectoires de la déformation finie — Finite strain trajectories

A) Foliation — B) Linéation d'étirement

1. — Contours lithologiques principaux — 2. — Trajectoires de la foliation
3. — Trajectoires de linéation — 4. — Chevauchement.

— une variation locale de l'orientation de la foliation peut être observée au NW du secteur où la foliation adopte progressivement une direction NE-SW et un pendage NW (fig. 2 A) ;

— les trajectoires des linéations (fig. 2 B), à l'échelle régionale, soulignent en revanche la répartition plus complexe des directions d'étirement fini.

Deux secteurs peuvent être différenciés :

— le premier est caractérisé par les linéations NW-SE qui correspondent à la direction d'étirement la plus fréquemment observée dans les séries du Cézallier et du Haut Allier (Lasnier *et al.*, 1982 ; Burg, 1983 ; Brun et Burg, 1982 ; Mathonnat, 1983 ; Tempier et Lemoine, 1985).

— le second, d'extension plus limitée présente des linéations de direction NE-SW sans qu'un passage progressif entre les deux directions d'étirement apparaisse clairement (fig. 2 B).

Une coupe effectuée perpendiculairement aux structures (fig. 1 B) fait apparaître la complexité de cette région. En effet, au niveau du groupe leptyno amphibolique, la foliation est fortement redressée et des critères de cisaillement locaux (Berthe *et al.*, 1979 ; Simpson et Schmid, 1983) semblent indiquer une remontée du compartiment sud (fig. 1 B). Ce phénomène peut rendre compte de l'inversion locale de l'empilement lithologique (Feybesse et Marchand, 1985) et paraît se répéter plus au nord-est où le groupe leptynoamphibolique réapparaît au sein des migmatites (fig. 1 C). Cette tectonique locale contribue à la formation d'un pli déversé vers le nord (fig. 1 B et C) qui, au Sud-ouest du groupe leptyno-amphibolique inverse localement le pendage de la foliation sans modifier les caractères des déformations antérieures.

À l'extrême sud-ouest du secteur étudié (fig. 2) dans la zone où la foliation adopte progressivement une orientation

NE-SW (*cf.* supra et fig. 2 A), l'analyse microstructurale indique que les linéations d'étirement NW-SE sont liées à un cisaillement du SE vers le NW.

Le sondage de Chassolle situé dans la zone à linéation NE-SW montre sur toute sa longueur des structures comparables à celles qui sont observées en surface. En particulier l'association de domaines prédominants à linéation d'étirement NE-SW et de domaines à linéation d'étirement NW-SE observée en carte (fig. 2) se retrouve sur une coupe verticale. Sur le sondage, ces dernières apparaissent localisées au niveau de perturbations de la schistosité régionale, en particulier au niveau des zones plissées. En revanche, les domaines à linéations d'étirement NE-SW sont très nettement dominants et sont associés à une foliation faiblement pentée vers le sud, d'orientation globalement constante.

2. — Déformation finie et critères de cisaillement

2-1. — Observations de terrain

La zone à linéations NE-SW étudiée ici se situe cartographiquement au sein de l'orthogneiss de St-Alyre (fig. 2).

Ce dernier montre une déformation finie hétérogène marquée par un étirement global de direction N 210° à N 240° définissant la direction d'étirement principale régionale ($\lambda 1$). L'analyse des critères de cisaillement associés à la foliation (structures C/S, bandes de cisaillement C', asymétries minérales...) (Berthe et al., 1979 ; Simpson et Schmid, 1983) montre une dominance des microstructures cisailantes vers le SW (fig. 3). Par ailleurs, l'orientation des nombreuses zones de cisaillement locales, d'échelle centimétrique à décimétrique, sécantes sur la foliation va également dans le sens d'une vergence globale vers le SW (fig. 3). Par ailleurs, l'orientation des nombreuses zones de cisaillement locales, d'échelle centimétrique à décimétrique, sécantes sur la foliation va également dans le sens d'une vergence globale vers le SW. En particulier, dans un plan $\lambda 1$, $\lambda 3$, la trace des zones conjuguées de type faille normale qui contribuent à un étirement global parallèle à $\lambda 1$, montrent une distribution asymétrique.

Les zones de cisaillement à pendage sud font généralement un angle faible avec la schistosité contrairement à leurs conjuguées qui montrent une plus forte obliquité (fig. 4). Le cœur de ces zones de cisaillement extensives est souvent composé d'un matériel de type anatectique (zones diffuses et grenues) qui témoigne d'un fonctionnement synchrone du métamorphisme régional synschisteux de haut grade (fig. 7 et 8).

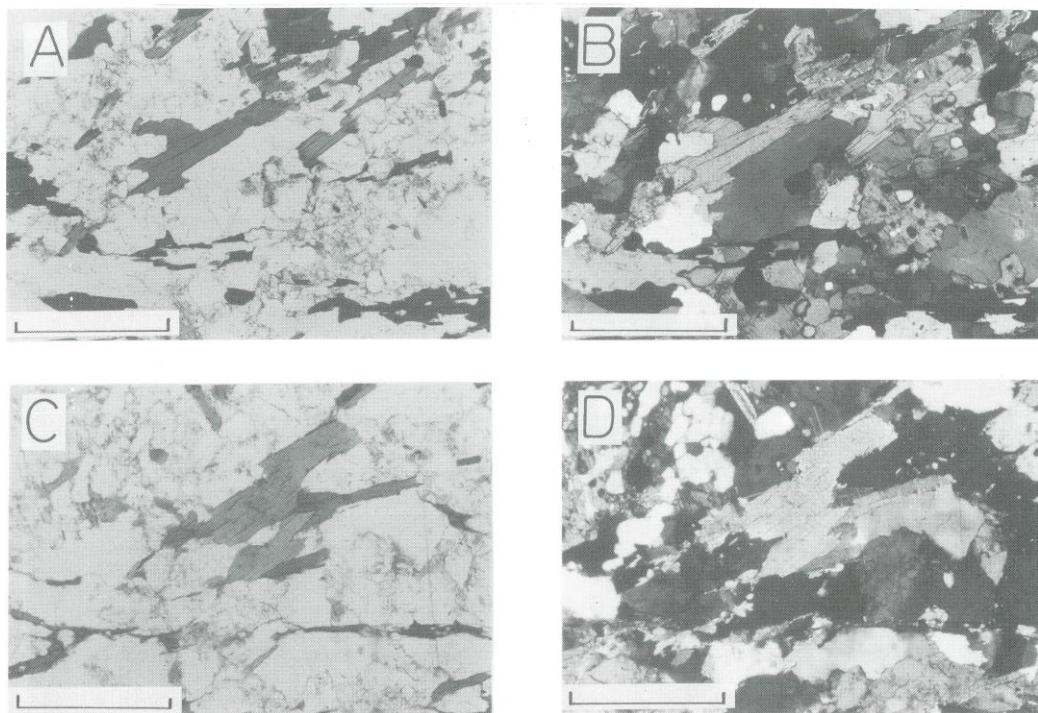


Fig. 3. — Texture des roches étudiées et critères de cisaillement.
Microtexture and shear criteria

A et C — Lumière naturelle — B et D — Lumière polarisée. Barre d'échelle = 500 microns.

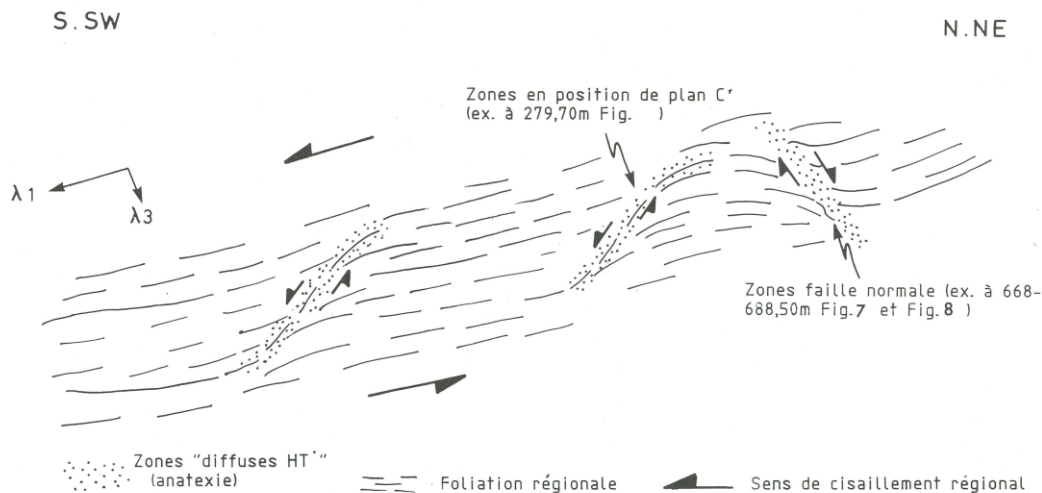


Fig. 4. — Position des « zones HT » (anatectiques) dans l'ensemble structural régional.
HT (anatectic) shear zones arrangement relative to the regional finite strain axis.

A plus grande échelle, ces zones de cisaillement limitent des volumes d'orthogneiss plus ou moins lenticulaires relativement homogènes étirés suivant les axes λ_1 et λ_2 de la déformation régionale. Ces zones sont distribuées autour des domaines préservés suivant des surfaces courbes en forme de cuillère. La courbure de ces surfaces de cisaillement est accompagnée par une dispersion plus ou moins radiale des directions locales de déplacement marquées sur ces surfaces par un étirement minéral (fig. 5).

Cette distribution des zones de cisaillement peut, au moins partiellement, rendre compte des dispersions des linéations d'étirement observées localement (fig. 5 b).

L'ensemble des structures implique non seulement un étirement principal régional de direction NE-SW mais également une certaine quantité d'extension selon la direction NW-SE : en effet, les zones de cisaillement ductiles montrent localement des orientations plutôt NE-SW et les déplacements associés impliquent alors une composante d'extension NW-SE (zones conjuguées dans un plan $\lambda_2 \lambda_3$) (fig. 6).

Ceci indique une déformation finie régionale de type aplatissement. L'observation qualitative de marqueurs de la déformation tels que des taches de métamorphisme à sillimanite ou à biotite, faiblement elliptiques dans le plan $\lambda_1 \lambda_2$, permet de conforter cette interprétation ($k < 1$) (Flinn, 1962).

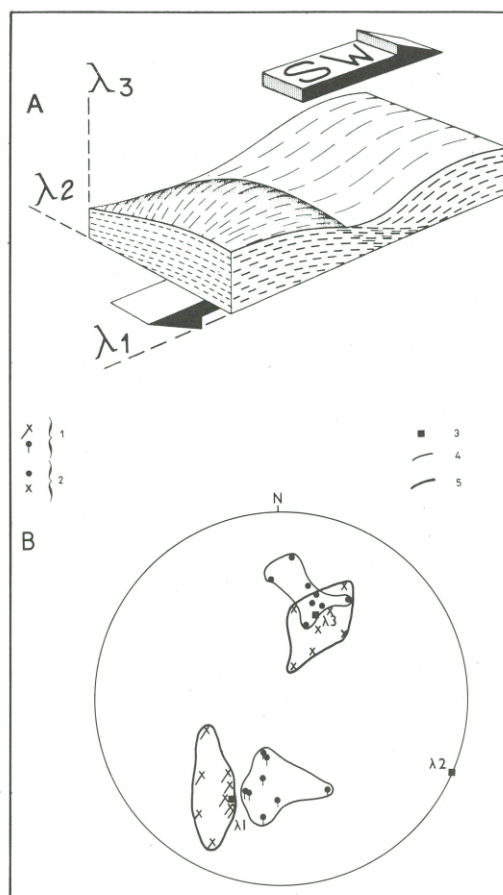


Fig. 5. — A) Volume d'orthogneiss plus ou moins lenticulaire, étiré suivant les axes λ_1 et λ_2 de la déformation régionale et limité par des shear zones qui sont distribuées suivant des surfaces courbes en forme de cuillère. Noter la dispersion plus ou moins radiale des directions locales d'étirement.

B) Éléments structuraux mesurés :

1 — Linéations d'étirement. 2 — Plans de foliation porteurs des linéations. 3 — Directions principales locales de la déformation (λ_1 , λ_2 , λ_3). 4 — Linéation. 5 — Foliation.
Lenses flattened parallel to the regional schistosity and elongated parallel to the λ_1 and λ_2 finite strain regional axis.

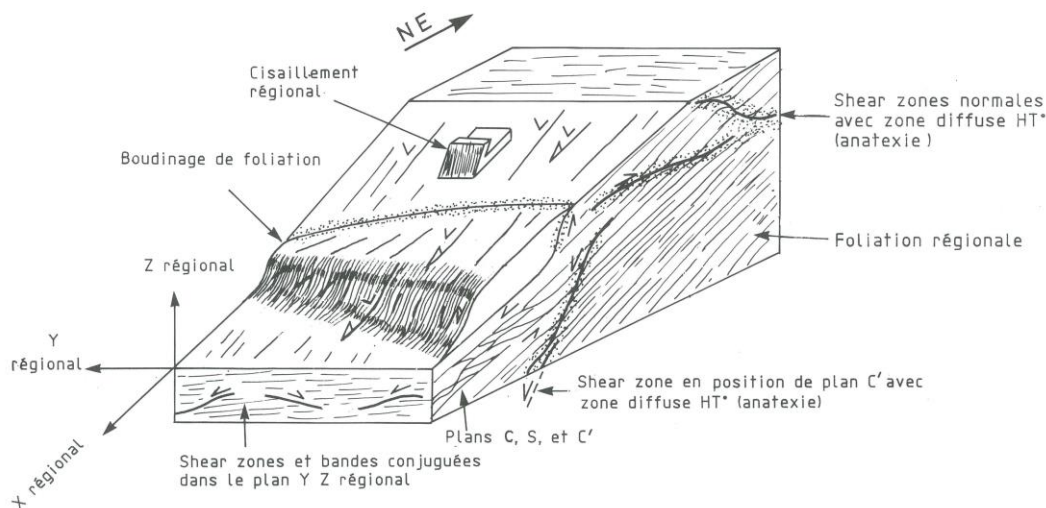


Fig. 6. — Bloc diagramme illustrant la position des structures observées par rapport aux axes régionaux de la déformation.
Schematic block-diagram showing structures pattern relative to the regional finite strain axis.

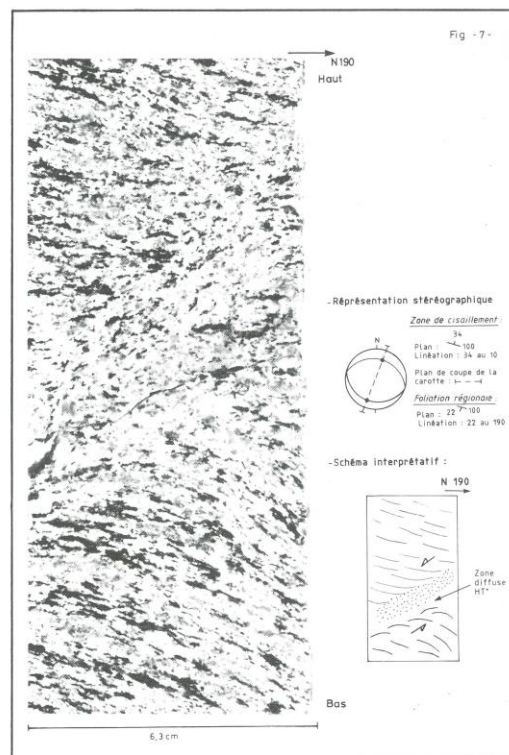
2-2. — Observations sur le sondage

Conformément aux observations de surface, les zones de cisaillement observées sur le sondage sont pour la plupart soit des zones normales à faibles angles par rapport à la foliation (vergence sud), soit des zones normales à forts angles avec la foliation (vergence nord) (fig. 6, 7 et 8). De plus, de rares zones de cisaillement inverses pentées vers le nord affectent la foliation et sont compatibles avec la composante de cisaillement régionale du NE vers le SW. Enfin, localement certaines zones conjuguées dans un plan $\lambda 2 \lambda 3$ contribuent à un étirement plus ou moins E-W (fig. 9).

Pris dans leur ensemble, les pôles de ces zones de cisaillement développées dans les conditions du métamorphisme de haut grade semblent se disperser autour d'une surface conique grossièrement centrée sur $\lambda 3$ (fig. 10). Ce type d'agencement des zones de cisaillement peut être interprété comme l'expression d'une déformation finie globale de type aplatissement (Gapais *et al.*, 1987).

De plus, la dissymétrie de la répartition spatiale des zones de cisaillement par rapport à $\lambda 3$ (fig. 10) (Gapais *et al.*, 1987) semble également attester le caractère cisailant à vergence SW de la déformation régionale qui affecte l'ensemble du massif étudié, ce qui est tout à fait en accord avec les gradients de déformation qui indiquent un cisaillement vers le SW (fig. 11).

Fig. 7. — Zones de type faille normale à fort angle vers le nord à cœur composé d'un matériel anatectique (zones diffuses et grenues HT*). (Profondeur 668 m).
Strongly northward dipping normal shear zone underlined by contemporaneous anatectic material.



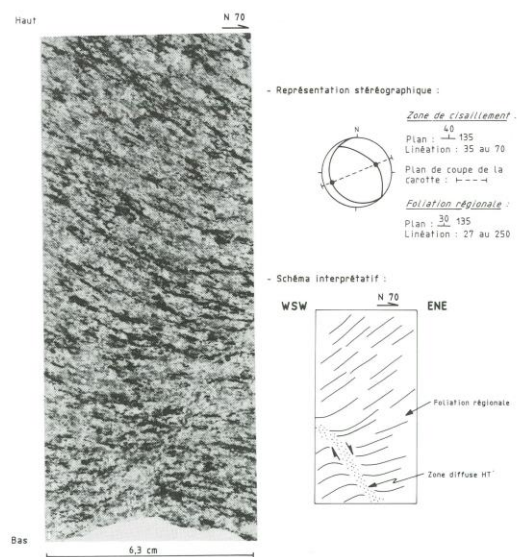


Fig. 8. — Zone de type faille normale à fort angle vers le Nord-Est à cœur composé d'un matériel anatectique (zones diffuses et grenues HT^m). (Profondeur 688,50 m).
 Strongly northeastward dipping normal shear zone underlined by contemporaneous anatectic material.



Réprésentation stéréographique

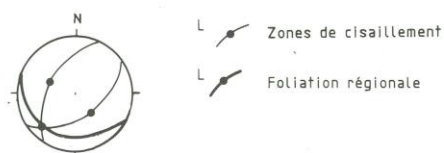
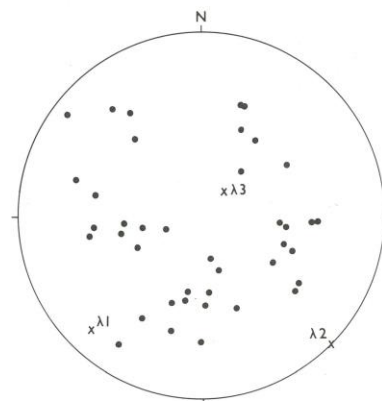


Fig. 9. — Zones conjuguées dans le plan $\lambda_2 \lambda_3$ relevant d'un étirement NW-SE. (Profondeur 229,50 m).
 Conjugate shear zones relative to a λ_2 stretch component ($\lambda_2 \lambda_3$ section).

A



B

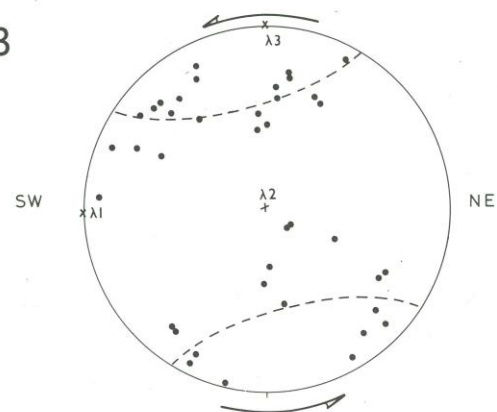


Fig. 10.
 A — Répartition dans l'espace des zones de cisaillement normales.
 B — Projection dans le plan $\lambda_1 \lambda_3$.
 1 — Zone de cisaillement — 2 — λ_1 , λ_2 , λ_3 = axes régionaux de la déformation finie.
 Schmidt stereographic projection showing distribution of shear zones direction.
 A) Equatorial plan. — B) Vertical plan including λ_1 and λ_3 axis. (regional finite strain axes)

L'étude statistique des axes d'étirement (λ_1) souligne leur très forte dispersion et permet de distinguer des maxima de densité sans qu'une interprétation précise en soit possible (fig. 12A). En effet, cette répartition de la linéation pourrait refléter soit une réorientation passive, plus ou moins bien réalisée, d'une linéation précoce, soit des variations synchrones et ponctuelles de la direction d'étirement en fonction de la géométrie locale des structures majeures. Cette deuxième interprétation paraît partiellement favorisée par deux observations :

(I) l'absence d'évidence de linéations précoces préservées dans les domaines moins déformés des terrains paraautochtones et (II) l'existence de variations cohérentes entre

l'orientation locale de la linéation d'étirement et celle de son plan porteur (fig. 12 B) ;

(a) malgré la dispersion observée, la majorité des linéations a une direction comprise entre N 205 et N 245 (M1). Ces linéations sont portées par des foliations de direction NW-SE à pendage sud et peuvent être assimilées à l'axe d'étirement régional (λ_1) (fig. 2).

(b) les autres directions d'étirement observées définissent des maxima secondaires (M2 et M3) qui correspondent à des populations de foliations distinctes par leur attitude mais associées aux mêmes conditions métamorphiques (fig. 12 B). Ces différentes familles de foliations et de linéa-

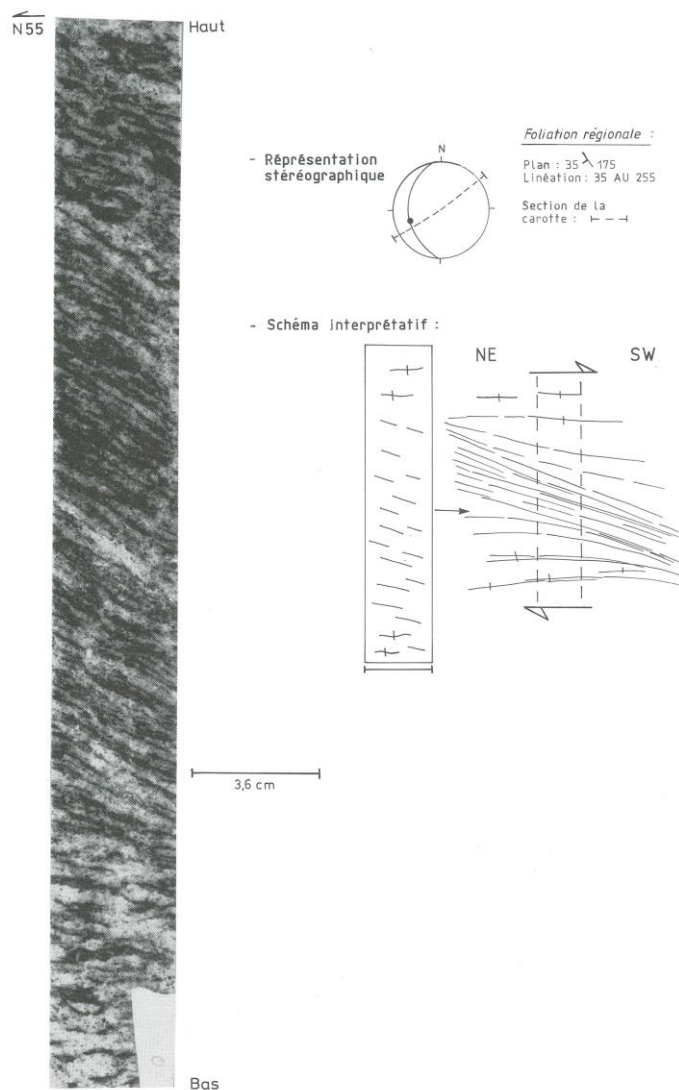


Fig. 11. — Gradient de déformation lié à un cisaillement vers le SW observé à 1207 m.
Finite strain gradation relative to a southwestward shearing.

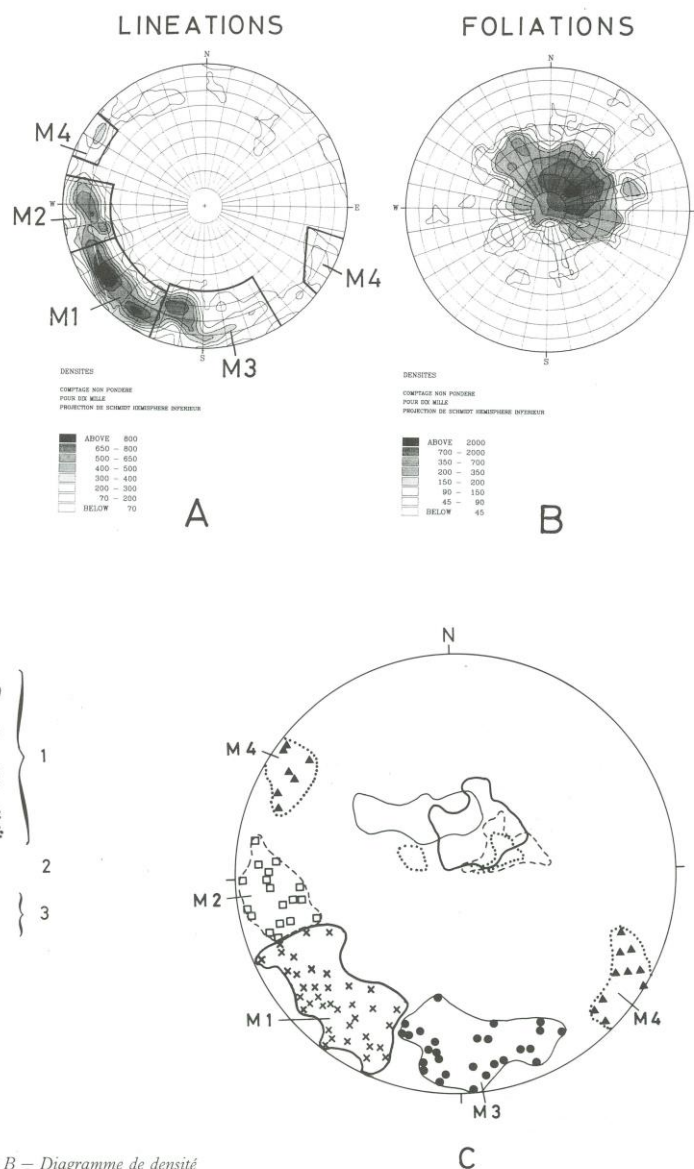


Fig. 12. — A et B — Diagramme de densité (canecos de Schmidt hémisphère inférieure).

A — Linéation.

Noter la forte dispersion des linéations d'étirement mesurées sur le sondage de Chassolles

B — Foliation

C — Diagramme (canecos de Schmidt hémisphère inférieure) montrant la variation simultanée

de la direction de la linéation et de son plan porteur (foliation).

1. Aires de répartition des polaires des plans de foliation portant les linéations regroupées au sein des maxima M1, M2, M3 et M4

2. Linéations NE-SW assimilables à l'axe d'étirement régional λ_1 .

3. Directions de linéations définissant des maxima secondaires.

Schmidt stereographic projections:

A — Stretching lineation; — B — Schistosity;

C — Stereographic projection showing the simultaneous stretching lineation and schistosity variation.

tions semblent se répartir sur un cône à grand rayon de courbure dont l'axe correspond à la direction moyenne de raccourcissement régional subvertical (λ_3). La répartition des zones de cisaillement ductiles (fig. 10) peut, au moins en partie, expliquer la dispersion de la direction de l'étirement fini par des modifications locales de cette direction par des composantes de cisaillement dispersées autour de λ_1 .

Dans cette interprétation, la dispersion de la direction d'étirement local peut résulter, au moins partiellement, d'une déformation régionale de type aplatissement mais avec cependant une direction de cisaillement prédominante vers le SW.

2-3. — Microstructures et conditions thermiques.

L'ensemble des structures ductiles majeures observées sur le sondage montre les mêmes caractéristiques microstructurales. Macroscopiquement, la fabrique des roches est très plane et caractérisée par une linéation d'étiement souvent difficilement visible, attestant là encore, du fort aplatissement enregistré par les roches étudiées. Pour un même faciès magmatique, la distribution minérale et la texture des échantillons prélevés est homogène. La recrystallisation plus ou moins totale des différentes phases minérales conduit à une structure équante, sans clastes résiduels (fig. 3). De taille globalement homogène, les grains de feldspaths et de quartz présentent des joints lobés leur donnant une forme plus ou moins globuleuse.

Les microstructures observées dans le quartz font apparaître l'absence de rubans et d'orientation préférentielle de réseau marquée. La forte imbrication des grains, l'aspect lobé des joints de grains et une grande hétérogénéité de la fréquence des sous-structures d'un grain à l'autre suggère que la migration des joints de grains contribue largement au processus de recrystallisation (fig. 13 A). La recrystallisation par migration de joints de grains, symptomatique de conditions thermiques élevées ($> 550^{\circ}\text{C}$) (Tungatt et Humphreys, 1981; Lister et Dornsiepen, 1982), est en outre classiquement observée dans les granites déformés sous des conditions « subsolidus » (Courrioux, 1984; Gapais et Barbarin, 1986).

La présence de myrmékites à la périphérie des feldspaths potassiques et des plagioclases (fig. 13 D) suggère une intense

activité des mécanismes de déformation par diffusion et des processus d'exsolution à l'échelle des grains (Simpson, 1985; Ashworth, 1986). Outre ces myrmékites typiques de déformations à haute température (Simpson, 1985), de nombreuses exsolutions de quartz dans les feldspaths potassiques et les plagioclases (fig. 13 C) (quartz globuleux de taille moyenne : 50-100 μm) suggèrent également des conditions thermiques proches de l'anatexie (Hibbard, 1979; Asworth, 1986).

Ainsi, l'ensemble des observations microstructurales révèle une déformation pénétrative sous des conditions métamorphiques de haut grade probablement proche de l'anatexie. On notera que ces conditions sont en accord avec celles observées dans les paragneiss. On peut, en outre, signaler que certaines des zones de cisaillement observées sont localement caractérisées par la présence de sillimanite ou de cordiérite synschisteuses (fig. 13 B).

Par ailleurs, beaucoup de zones de cisaillement extensives sont caractérisées par la destruction de la fabrique plane de l'orthogneiss au profit d'une structure équante peu orientée (fig. 7-8) attestant du synchronisme global entre les phénomènes anatectiques locaux et la formation des zones de cisaillement. On souligne clairement ici le caractère non rétro-morphique des zones de cisaillement ductiles étudiées vis-à-vis de la foliation régionale majeure.

Postérieurement à cette déformation majeure décrite, la foliation régionale est reprise localement par des cisaillements rétro-morphiques tardifs qui développent des microstructures de plus basse température (forte fabrique du quartz, cataclase... ex. : prof. 1273,40) et attestent d'une histoire tectonique localisée postérieure à la déformation de haut grade.

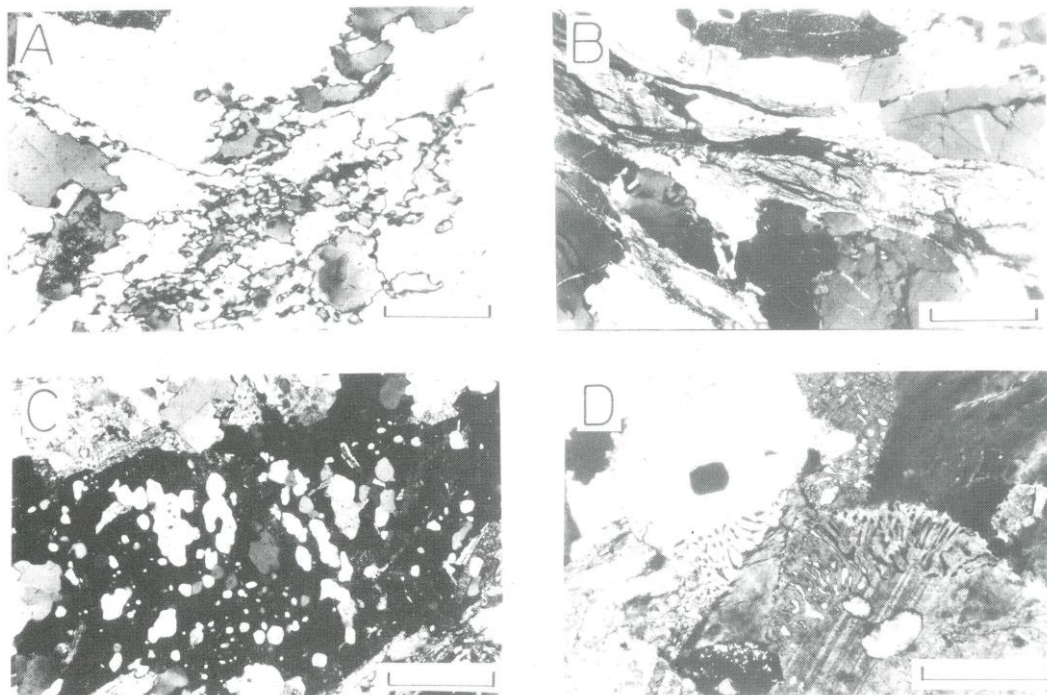


Fig. 13. — Exemples de microstructures observées dans l'orthogneiss de Saint-Alyre (lumière polarisée).
A — Aspect des plages de quartz déformées (échelle 500 microns) — B — Zone de cisaillement à sillimanite (échelle 500 microns)
C — Feldspath avec exsolution de quartz (échelle 500 microns) — D — Myrmékites à la bordure des feldspaths (échelle 200 microns).
Microstructures observed in the Saint-Alyre metagranite.

Conclusion

Les observations de terrain décrites ici, ainsi que les structures observées dans le sondage de Chassolle, ne permettent pas de clairement argumenter la présence de différentes phases de déformations majeures superposées dans l'orthogneiss de Saint-Alyre.

Sans que les données acquises ne puissent à elles seules être clairement discutées en termes d'histoire cinématique régionale, nous soulignons que les structures haute température observées semblent géométriquement compatibles entre elles et reflètent :

- un aplatissement global fini subhorizontal ;
- une composante de déplacement dominante vers le SW (Burg, 1983) ;
- un contexte métamorphique synschisteux proche de l'anatexie.

Références bibliographiques

- ASHWORTH J.-R. (1986). — Myrmekite replacing albite in prograde metamorphism. *Amer. Minér.* **71**, pp. 895-899.
- BERTHE D., CHOUKROUNE P., JEGOUZO P. (1979). — Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granite : example of the south Armorican shear zone. *J. Struct. Geol.*, **1**, pp. 31-42.
- BRUN J.-P., BURG J.-P. (1982). — Combined thrusting and wrenching in the Ibero-Armorican arc : a corner effect during continental collision. *Earth and planetary Science letters*, **61**, pp. 319-332.
- BURG J.-P. (1977). — Tectonique et microtectonique des séries cristallophylliennes du Haut Allier et de la Vallée de la Truyère. Thèse 3^e cycle, 79 p., Montpellier.
- BURG J.-P., MATTE Ph. (1978). — A cross section through the French Massif central and the scope of its Variscan geodynamic evolution *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, **129**, pp. 429-460.
- BURG J.-P., LEYRELOUP A., MARCHAND J., MATTE Ph. (1983). — Inverted metamorphic zonation and large scale thrusting in the Variscan belt : and example in the French Massif central. *Bull. Geol. Soc. London* (à paraître).
- BURG J.-P. (1983). — Tectogenèse comparée de deux segments de chaîne de collision. Le Sud du Tibet (suture du Tsangpo). La chaîne hercynienne en Europe (suture du Massif central). Thèse d'État U.S.T.L. Montpellier.
- CABANIS B. (1984). — Identification géochimique des amphibolites du groupe leptyno-amphibolique du Cézaillier. Colloque national : Programme Géologie Profonde de la France. Thème 10. Géothermalisme actuel (Cézaillier). Documents du B.R.G.M., n° 81-10.
- COURRIOUX G. (1984). — Étude d'une évolution magmatique et structurale dans le contexte d'une zone de cisaillement active : exemple du linéament granitique hercynien de Prentedenme (Galice, Espagne). Thèse 3^e cycle. Nancy, 218 p.
- FEYBESSE J.-L., MARCHAND J. (1985). — Les déformations dévoniennes synmétamorphes et les phases plicatives affectant le socle de la région d'Ardes-sur-Couze (Cézaillier). Note BRGM 85 GEO ET 06 effectuée dans le cadre du Programme Géologie Profonde de la France. Thème 10 : Géothermalisme actuel (Cézaillier).
- FLINN D. (1962). — On folding during three dimensional progressive deformation. *Q.-J. Geol. Soc. Lond.*, **118**, pp. 385-428.
- GAPAIS D., BALE P., CHOUKROUNE P., COBBOLD P.-R., MAHD-JOUBY, MARQUER D. (1987). — Bulk kinematics from shear zone patterns : some field examples. S. presse.
- GAPAIS D., BARBARIN B. (1986). — Quartz fabric transition in a cooling syntectonic granite (Hermitage massif, France). *Tectonophysics*, **125**, pp. 357-370.
- HIBBARD M.-J. (1979). — Myrmekite as a marker between preaqueous and postaqueous phase saturation in granitic systems. *Geological Society of America Bulletin* **90**, pp. 1047-1062.
- LASNIER B., MARCHAND J. (1982). — Notice explicative de la feuille de Brioude à 1/50 000. Carte géologique de la France. Ministère de la recherche et de l'industrie B.R.G.M. - SGN.
- LISTER G.-S., DORMSIEPEN V.-F. (1982). — Fabric Transition in the saxony granulite terrain. *J. struct. Geol.* **4**, pp. 81-92.
- MATHONNAT M. (1983). — La série métamorphique du Cézaillier (M.C.F.). Lithologie et structure. Relations du groupe leptyno-amphibolique avec les autres formations de la région. Thèse 3^e cycle U.E.R.. Sci. exactes et naturelles. Univ. Clermont-Ferrand.
- SIMPSON C., SCHMID S.-M. (1983). — An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **94**, pp. 1281-1288.
- SIMPSON C. (1985). — Deformation of granitic rocks across the brittle-ductile transition. *J. Struct. Geol.* **7**, n° 5, pp. 503-511.
- TEMPIER P., LEMOINE S. (1985). — Sur la structure du socle oriental du Cézaillier. Rapport du Lab. de chronologie des terrains cristallins et volcanologie (L.A. 10) effectué dans le cadre du Programme Géologie Profonde de la France. Thème 10 : Géothermalisme actuel. Documents du B.R.G.M. n° 85-10.
- TUNGATT P.-D., HUMPHREYS F.-J. (1981). — An in situ optical investigation of the deformation behaviour of Sodium nitrate-An analogue for calcite. *Tectonophysics*, **78**, pp. 661-675.