

Contribution de la pétrologie structurale à la connaissance des conditions de mise en place et de structuration complexe du granite des Colettes (massif d'Échassières)

Claude Gagny *, Thierry Jacquot *

Mots-clés : Granite, Leucogranite (Granite Colettes), Pétrofabrique, Mise en place, Cisaillement (Pull-apart)
Allier (Échassières)

Résumé

La structuration magmatique du granite des Colettes est essentiellement verticale ; elle est originale du fait de l'existence de plusieurs fabriques planaires magmatiques d'orientations moyennes N20E, N60E, N120E et N160E qui se superposent en toutes parts de l'apex. Ces quatre familles sont principalement induites par un cisaillement senestre N60E dont certains effets sont observés dans l'encaissant. Cette tectonique intervient comme cause de l'ouverture des schistes selon un mécanisme en pull-apart qui permet l'écoulement vertical du magma. La mise en place du granite des Colettes n'implique donc pas un mécanisme de diapirisme.

Abstract

Contribution of structural petrology to the knowledge of the emplacement conditions and complex structuration of the Colettes granite (Échassières massif, french central massif).

The magmatic structuration of the Colettes granite is essentially vertical. Its organisation is original because it presents magmatic planar fabrics with mean orientations N20E, N60E, N120E and N160E which are superimposed in all part within the massif. These four categories are chiefly induced by a N60E senestral shear zone. Some effects of this shearing are also observed in the surroundings. This tectonic lead to the opening of the schists by a pull-apart mechanism. Therefore, the Colettes granite emplacement does not imply a diapiric mechanism.

1. – Introduction

A. – Cadre géologique du massif d'Échassières

Le massif granitique d'Échassières se situe dans le Nord du Massif central à quelques dizaines de kilomètres à l'Ouest de la plaine de la Limagne (fig. 1). Il est constitué, dans l'ordre chronologique, de trois unités : l'entité magmatique cachée à l'origine du stockwerk de La Bosse, le leucogranite porphyrique à deux micas des Colettes et le granite albitique à lépidolite de Beauvoir. La mise en place de cet ensemble, au Carbonifère supérieur, s'effectue au cœur de la terminaison péri-anticinale d'un voussoir post-schisteux à axe N100-120E de la série métamorphique inverse de La Sioule (Richard, 1938 ; Grolier, 1971).

La compression NNE-SSW, responsable de cette structure, (Feybesse, 1985) contrôlera également les orientations du réseau filonien du stockwerk de La Bosse (Jacquot, 1984) et la création de fractures avec filons de quartz éventuels, sub-

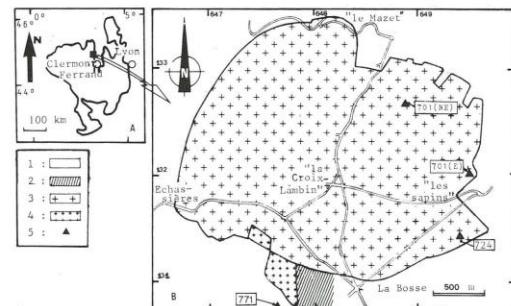


Fig. 1. – Cadre géographique et géologique du massif d'Échassières
A : Localisation du massif d'Échassières dans le Massif central français ; B : Constitution du massif d'Échassières ; 1 : série métamorphique de La Sioule ; 2 : emplacement du stockwerk de La Bosse ; 3 : granite des Colettes ; 4 : granite de Beauvoir ; 5 : points culminants (carte géologique : Gannat à 1/50 000).

Geographical and geological setting of the Échassières massif.
A. localization of the Échassières massif in the French Central Massif. B: Échassières massif constitution ; 1: The metamorphic serie of La Sioule ; 2: La Bosse stockwerk site ; 3: Colettes granite ; 4: Beauvoir granite ; 5: highest points (Gannat geological map at 1/50 000).

(*) Laboratoire de pétrologie structurale et métallogénie, Université de Nancy I - BP. 239 - 54506 Vandœuvre Cedex. UA (CNRS) 728 : Pétrologie des Granitoïdes.

méridiens à N20-30E, dans les unités granitiques et leur encaissant. Ainsi, la mise en place du massif d'Échassières se réalisera sous influence de ce régime de contrainte.

Les caractéristiques pétrographiques, géochimiques et métallogéniques ont été l'objet de nombreuses études (Cantagrel, 1963; De Rosen, 1965; Lameyre, 1966; Aubert, 1969; Cuney et al., 1986) et seront encore affinées dans diverses contributions de ce mémoire.

B. – Objectif de cette note : contribution de la pétrologie structurale à l'étude du granite des Colettes

Le granite des Colettes est l'unité la mieux représentée à l'affleurement (5 km²); le dessin de ses contours cartographiques fait penser à une intrusion de type pluton granitique avec mise en place par montée diapirique et gonflement éventuel.

Les données de la gravimétrie ont permis d'évaluer la géométrie de l'ensemble plutonique d'Échassières au sein duquel s'enracine le granite des Colettes (Vigneresse et al., 1985). Ce serait un diapir enraciné à 6 km et s'étalant sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés à proximité de la surface topographique. Les contours visibles ne seraient que l'image d'un bombement apical du pluton situé en subsurface.

Ce résultat est d'ailleurs en accord avec la cartographie du toit du massif obtenue par sondage électrique (Lallier, 1977; Favin et Millon, 1983; Ezanno et Poinclou, 1984). (fig. 5).

Une telle organisation d'une bulle magmatique en forme de « champignon », d'après des exemples étudiés et des modèles proposés (Brun, 1981; Pons, 1983; Fernandez, 1985; Courrioux, 1987, etc.) devrait conduire à une structuration magmatique par aplatissement des fabriques conformément aux contacts avec l'encaissant en tenant compte des axes d'injection. Cette note montrera que ces modèles, tout en restant valables dans un contexte régional statique, ne rendent pas compte de la complexité du cas du granite des Colettes. Ce dernier enregistre les effets d'une tectonique active contemporaine de son intrusion.

Pour cela, la pétrologie structurale s'intéressera à l'analyse des fabriques magmatiques, à l'organisation des réseaux de filons et filonnets de quartz, à la répartition des différents faciès, à l'orientation des zones hydrothermalisées, ... etc. Il sera fait appel à des concepts nouveaux qui ont engagé, au cours de cette dernière décennie, un vocabulaire spécifique qu'il conviendra de connaître.

2. – Les fabriques magmatiques du granite des Colettes

A. – Les données de la méthode

Sur le terrain, les fabriques magmatiques correspondent à des orientations préférentielles des phénocristaux de feldspath potassique et parfois de plagioclase. Les formes tabulai-

res marquent la fluidalité planaire. Pour contrôler cette dernière et mettre en évidence une fluidalité linéaire relevée par un allongement relatif des minéraux ($L/l = 1,6$ en moyenne), des observations sur sections sciées orientées sont le plus souvent nécessaires, compte tenu des affleurements en dalles subhorizontales (fig. 2).

Sur le granite des Colettes, différentes fabriques planaires s'observent à l'échelle métrique ou décamétrique (fig. 3) :

- Soit isolément : ceci peut conduire à des zones d'affleurement organisées selon un assemblage de panneaux juxtaposés, sans limites nettes, chacun étant structuré selon une fluidalité planaire *unique* dont l'orientation diffère d'un panneau à un autre.
- Soit *imbriquées* selon deux ou même trois attitudes différentes. Ce concept d'imbrication a été mis en évidence par Blanchard, en 1978.
- Soit *superposées*. Ce concept a été retenu par Gagny et Lameyre, en 1984. Dans ce cas, une chronologie par cisaillement intramagmatique de l'une par l'autre peut être observée. Blanchard (1978, 1979) en avait déjà décrit la phénoménologie.

A noter qu'une fabrique postérieure peut oblitérer, à la limite, la ou les précédente(s). De toute façon, il conviendra de chercher à établir une chronologie et une « hiérarchie d'intensité » des différentes fabriques. Cela permettra de caractériser l'influence prépondérante de tel ou tel phénomène dans les divers secteurs du massif. Cette hiérarchisation est souvent subjective car son appréciation est dépendante des conditions d'affleurement ; mais, la cohérence de la cartographie structurale obtenue sur le granite des Colettes justifie cette approche.

Une représentation cartographique par symboles adaptés a été proposée par Gagny et Cottard, dès 1980, (légende de la figure 3).

Ces différentes fabriques se retrouvent sur l'ensemble du granite des Colettes avec des intensités relatives variables. Il s'agit :

- d'une structuration subhorizontale (pendage faible à moyen) ;
- de plusieurs fabriques planaires subverticales dont les azimuts peuvent se rattacher à quatre familles (Gagny et al., 1984) N20-30E, N60E, N100-120E et N160E.
- d'une fabrique linéaire subverticale (ou à plongement fort), associée à ces derniers.

B. – Présentation des fabriques magmatiques du granite des Colettes

1. – Les fabriques planaires subhorizontales

Les principales fabriques planaires, à faible ou moyen pendage, relevées dans le granite des Colettes sont reportées sur la figure 4. Elles sont plus ou moins bien marquées et parfois se superposent aux fluidalités planaires subverticales qu'elles oblitèrent en partie avec effacement de toute fluida-

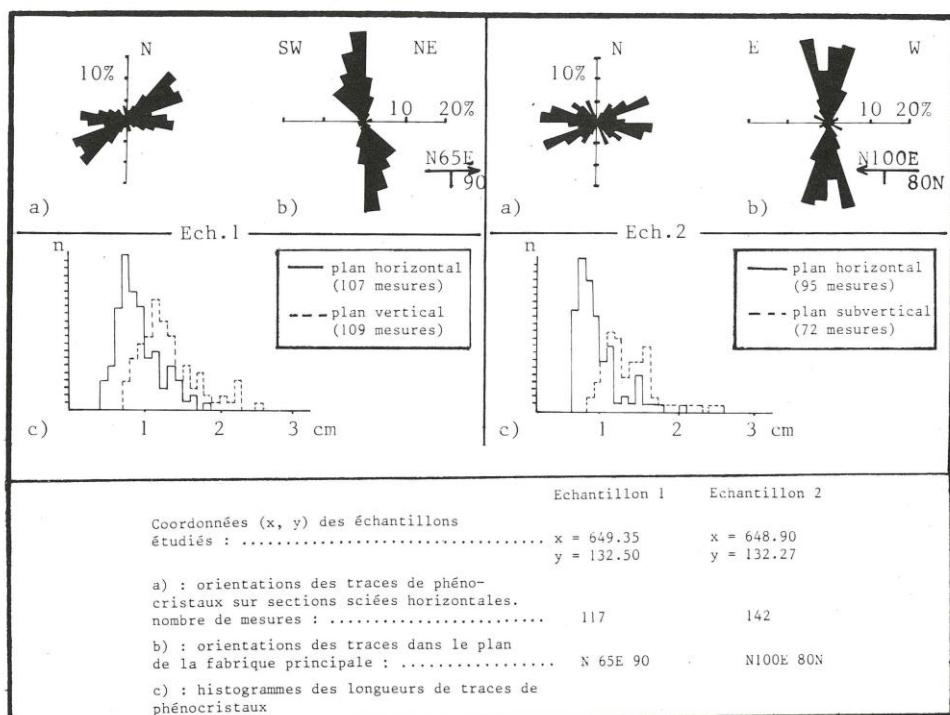


Fig. 2. — Fluidalités planaires (contrôle) et fluidalité linéaire (mise en évidence) sur deux échantillons types du granite des Colettes par observation des phénocrystaux de feldspath sur sections sciées orientées. Dans ces cas, une fluidalité linéaire subverticale est décelée.

Control of planar fabric and pointing out of linear fabric in two representative samples of the Colettes granite by observing feldspars phenocrysts on oriented sawn sections. In these cases, a subvertical linear fabric is found.

lité linéaire subverticale. Cette organisation plaide en faveur d'un « effet de toit » par aplatissement des structurations entraînées par injection subverticale du magma. D'ailleurs, les secteurs intéressés par ce phénomène se situent à la bordure du massif affleurant et sur la partie Est de l'apex. Une explication peut en être donnée en considérant la carte du toit du massif sub-affleurant obtenue par sondages électriques (fig. 5). Vers l'Ouest, la pente du massif est plus raide et le niveau topographique des affleurements plus bas. A l'Est, ces secteurs correspondent à une extension du massif en subsurface à pente plus faible. Ainsi, les domaines à structuration subhorizontale sont conformes à la morphologie du toit. A noter aussi que le gonflement diapirique au niveau de l'apex affleurant est très faible ; ce qui est confirmé par les schistosités de l'encaissant non rebroussées à la périphérie du granite des Colettes.

2. — Les fabriques linéaires subverticales

Les principales fluidalités linéaires sont portées sur la figure 6. Elles ont été souvent acquises par exploitation de sections sciées orientées (*cf. supra* et fig. 2). Liées à des fluidalités planaires subverticales, elles sont indicatrices de l'axe de mise en place du magma ; leur plongement fort correspond à une injection subverticale.

Certaines exceptions existent : quelques linéations à faible plongement portées par des fluidalités verticales bien exprimées à N60E. Elles seraient la conséquence d'une intensification locale des cisaillements senestres affectant ces structures. (*cf. infra*). Cependant leur rareté illustrerait la faible intensité des mouvements horizontaux cisallants ou tout du moins, puisque la structuration finale résulte de la combinaison des différents mouvements horizontaux et verticaux, la part prédominante de ces derniers oblitérerait certaines des traces des cisaillements horizontaux. D'autres fabriques linéaires subhorizontales caractérisant des fluidalités planaires subverticales d'azimuts variés ont été observées en des secteurs également affectés par une structuration planaire faiblement pente ; elles indiquent alors l'influence de l'effet de toit sur la structuration issue principalement de l'intrusion verticale du magma.

3. — Les fabriques planaires subverticales

Une des caractéristiques originales du granite des Colettes est sa structuration verticale exprimée selon plusieurs orientations planaires. Quatre directions ont statistiquement été mises en évidence : N20-30E ; N60E, N100-120E et N160E. Une régionalisation de ces analyses statistiques a été réalisée sur la figure 7 qui présente, par ailleurs, la carte des

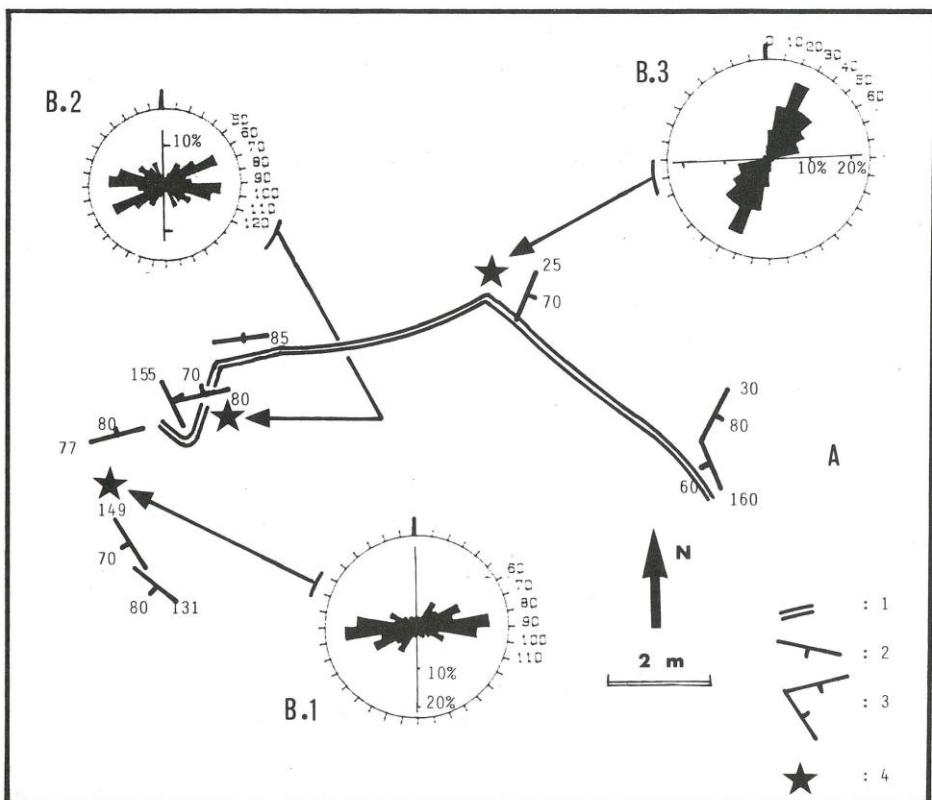


Fig. 3. — Exemple de relevé des fabriques magmatiques sur le granite des Colettes ($x = 649.35$; $y = 132.50$).
 A. : 1. Schéma du front de taille de la carrière ; 2. Fabriques planaires observées avec azimuth et pendage ; 3. Deux fabriques observées imbriquées (i) au sens de Blanchard (1978) ou observées sans critères de chronologie (Gagny et Cottard, 1980) ; 4. Point de comptage. B. : Étude des orientations des traces de phénocristaux sur sections sciées horizontales : B1.175 mesures - une fluidalité à N85E ; B2.142 mesures - deux fluidalités à N65E et N100E (imbrication des fluidalités N60E et N100-120E relevées respectivement au Nord et plus à l'Est) ; B3.165 mesures - une fluidalité à N30E.

Example of magmatic fabrics recording in the Colettes granite. ($x = 649.35$; $y = 132.50$).
 A 1 : quarry forehand ; 2 : observed planar fabrics with azimuths and dips ; 3 : two imbricated (i) observed fabrics as defined by Blanchard 1978 or without chronology criterion (Gagny and Cottard 1980) ; 4 : counting zone. B : Study of phenocrysts marks orientations on horizontal sawn sections : -B1. 175 measures - a N85E fabric ; -B2. 142 measures - two, N65E and N100E-120E, fabrics (imbrication of two fabrics which are respectively recorded toward North and East) ; -B3. 165 measures - a N30E fabric.

fluidalités planaires subverticales prépondérantes dans le granite des Colettes.

a. — Les fabriques N20E sont conformes aux limites NE et pro parte W du Massif ainsi qu'aux limites subméridiennes des grabens nord, notamment dans la région du Mazet. Elles sont souvent soulignées par des filons de quartz et, de plus, parallèles à des fractures dans l'encaissant métamorphique. Cette fracturation N20E est sans doute en partie préexistante à la mise en place du granite : Vennat en 1982 a souligné la mise en place d'un réseau filonien de microgranite à cordiérite selon une direction moyenne N20E à N35E intéressant toute la région au Sud d'Échassières. Localement, pour ce qui nous concerne directement, la pointe nord du laccolite de Pouzol-Servant située à dix kilomètres au Sud du granite des Colettes, se prolonge par un faisceau de grandes fractures

subméridiennes. Leur attitude conforme à l'orientation des contacts de ce corps permet de les rapporter à la mise en place de ce dernier. Ces failles précoces ont ainsi servi de contrôle structural lors de l'intrusion du massif d'Échassières.

b. — Les fabriques N60E dans le granite des Colettes sont omniprésentes et, a priori, ne correspondaient à aucun fait structural connu dans la région. Nous verrons ci-dessous qu'une étude structurale dans l'encaissant métamorphique nous a permis de mettre en évidence la réalité et l'importance régionale de cette orientation. Dans le granite, des jeux en cisaillement senestre sont observés selon cette direction (fig. 8). Sur la carte des trajectoires des fabriques subverticales prépondérantes (fig. 9), les structurations à N20E sont fauchées par un couloir de cisaillement senestre, orienté à N60E et passant par la Croix Lambin et qui donne lieu à d'importantes fabriques N160E (fig. 10).

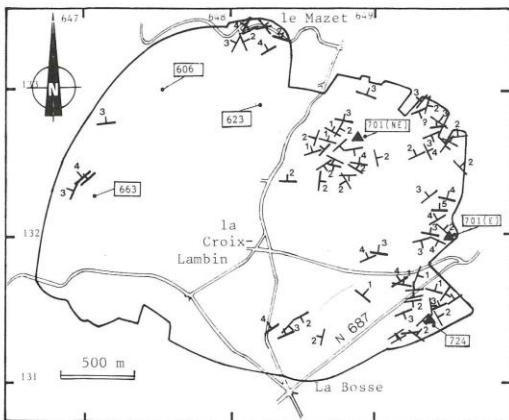


Fig. 4. — Carte des principales fluidalités planaires à faible ou moyen pendage, relevées dans le granite des Colettes (pendages en dizaines de degrés).

Map of main planar fabrics with weak or middle dips recorded on Colettes granite (dips in tens of degrees).

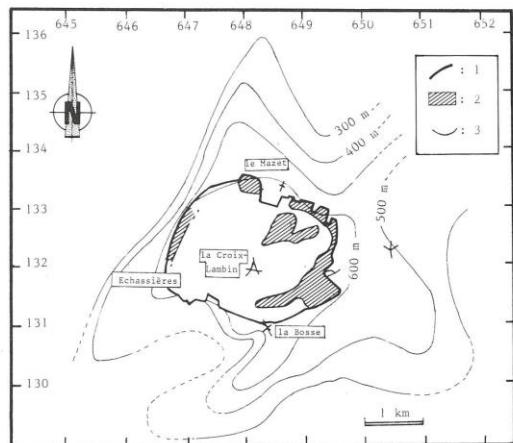


Fig. 5. — Carte pour l'interprétation des domaines structurés subhorizontalement dans le granite des Colettes.

Géologie : 1. contours du granite des Colettes ; 2. domaines à structuration subhorizontale nette (cf. fig. 4). Géophysique : 3. isohypses du toit avec indication des altitudes (d'après la cartographie du toit du diapir obtenu par sondages électriques ; Lallier, 1977 ; Favin et Millon, 1983 ; Ezanno et Poinclou, 1984).

Interpretative map of the subhorizontally structured domains in the Colette granite.

Geology : 1. Colettes granite outlines ; 2. domains with evident subhorizontal structuration (see fig. 4). Geophysics : 3. roof isohyps with altitudes indicated (after granite roof mapping by electric sounding ; Lallier, 1977 ; Favin and Millon, 1983 ; Ezanno and Poinclou, 1984).

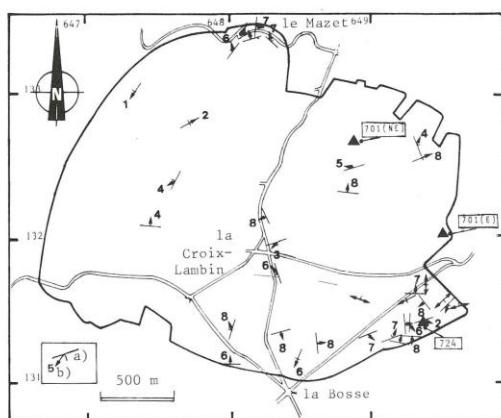


Fig. 6. — Carte des principales fluidalités linéaires relevées dans le granite des Colettes.

a : attitude de la fluidalité planaire souvent subverticale support de la fluidalité linéaire ; b : plongement de la fluidalité linéaire (valeurs indiquées en dizaines de degrés).

Map of the main linear fabrics recorded in the Colettes granite. a : attitude of the subvertical planar fabric including the linear fabric ; b : plunge of the linear fabric (values in tens of degrees).

c. — Les fabriques N100-120E, assez mal réglées, pourraient exprimer un plan d'aplatissement cohérent avec le régime de contrainte tectonique qui provoque le jeu senestre sur la direction N60E et ouvre en tension la direction N20E (gross filons de quartz).

d. — Les fabriques à N160E sont présentes et posent des problèmes d'interprétation. Liées à l'activité du cisaillement N60E dans la partie centrale du massif, leur présence ubiquiste pourrait-elle être due à l'expression de la direction

conjuguée de celle à N60E ? Certaines informations, telles des critères de cisaillement entre fabriques, en majorité senestres sur cette direction (fig. 8), également observés en bordure sud sur certains filonnets de quartz, contredisent cette dernière interprétation. La réactivation et la propagation intramigmatique de fractures antérieures au massif sont également envisagées.

e. — Chronologie des structurations subverticales. Alors qu'il est souvent possible d'établir localement la succession par superposition d'une fabrique par une autre sur des critères de cisaillement, la recherche d'un ordre chronologique général résumant les observations de terrain entre les différentes fabriques subverticales se révèle illusoire, certaines contradictions étant relevées (fig. 8). Il est alors nécessaire d'admettre des jeux de réajustements différentiels entre des blocs ayant déjà acquis une cohésion interne, tout au long de l'époque de mise en place. De même, une fluidalité planaire déformée peut rejouer à nouveau selon son orientation initiale et entraîner une complexité de la structuration finale. Sur la figure 10 est interprétée l'acquisition des fabriques superposées telles qu'elles se présentent souvent au S du massif. Ce mécanisme, qui implique l'expression saccadée de telle ou telle fabrique, semble généralisable. Ainsi, bien que de nombreuses fabriques à N20E aient été tournées passivement par le cisaillement N60E, il n'en demeure pas moins qu'il y a un continuum d'expression de ces structures ; le jeu en cisaillement et la formation des fabriques N60E ne peuvent être calés que par rapport à un épisode d'acquisition de fluidalités à N20E.

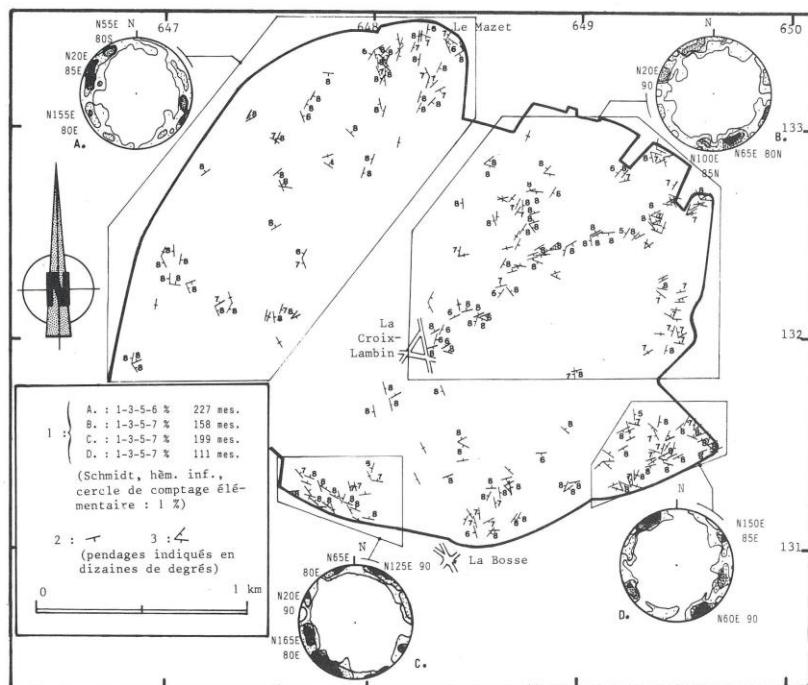


Fig. 7. — Carte des fluidalités planaires subverticales prépondérantes du granite des Colettes.

Stereogrammes A, B, C et D : diagrammes d'isodensité de l'ensemble des mesures des fabriques (prépondérantes et secondaires) relevées sur les quatre secteurs tracés sur la carte. 1 : valeur des contours d'isodensité et nombre de mesures ; 2 et 3 : symboles des fabriques selon leur type (cf. fig. 3).

Map of the preponderant subvertical planar fabrics in the Colettes granite.

Stereograms A, B, C and D : fabric values (preponderant and secondary) recorded in the four zones traced on the map. 1 : contours values and number of measures for each stereogram ; 2 and 3 : fabric symbols dependant on their types (see fig. 3).

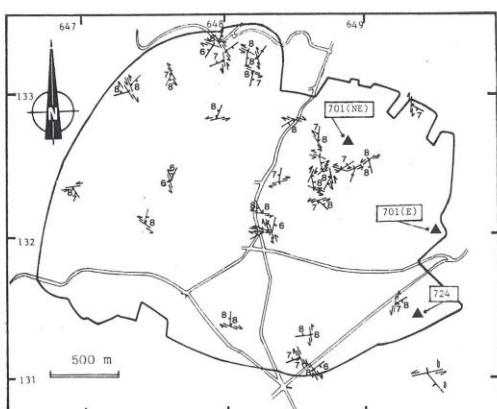


Fig. 8. — Critères de cisaillement magmatiques observés entre fabriques d'un même affleurement (la fabrique b cisaille la fabrique a ; pendages en dizaines de degrés).

Magmatic shear criterions between fabrics within an outcrop
 (b fabric shears a fabric ; dips in tens of degrees).

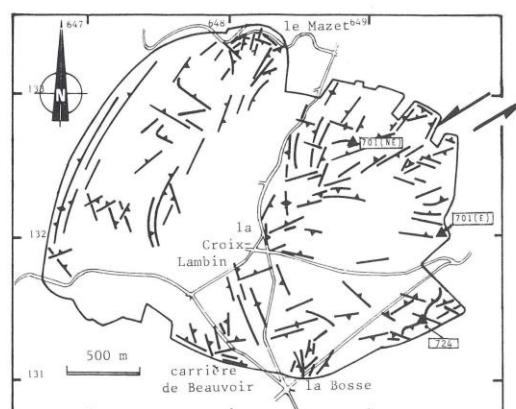


Fig. 9. — Carte des trajectoires des fabriques subverticales prépondérantes du granite des Colettes (extrapolation à partir des mesures de terrain). Indication par double demi-flèche du tracé du couloir de cisaillement à N60E passant par la Croix-Lambin.

Map of subvertical fabrics trajectories in the Colettes granite
 (extrapolated from field data).

Half-arrows indicate the N60E shear zone passing through the Croix-Lambin site.

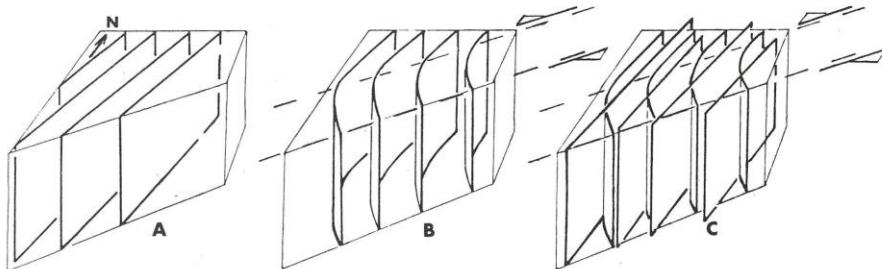


Fig. 10. — Exemple de modalité d'acquisition des fabriques magmatiques superposées dans le granite des Colettes par jeux en réajustement ; La fluidalité planaire à N20E (A) est reprise par un cisaillement senestre à N60E (B) ; ensuite se superpose à l'ensemble, un nouveau jeu qui imprime une structuration à N20E (C).

Example of imprint of superimposed magmatic fabrics by readjustement motions in the Colettes granite ;

The N20E planar fabric (A) is caught by a N60E shear (B) ; after that, a readjustement works to generate a new and so superimposed N20E fabric.

3. — Interprétation et présentation d'un modèle de mise en place du granite des Colettes

A. — Interprétation de la complexité des structurations subverticales

1. — Recherche d'information dans l'encaissant métamorphique

Dans la série métamorphique encaissante, un contrôle s'imposait pour rechercher les effets éventuels d'une structuration du granite par des fluidalités subverticales N60E, à jeu senestre. Ces dernières sont en effet omniprésentes dans le massif et particulièrement bien marquées selon deux couloirs : le principal passe par la Croix-Lambin et l'autre intéresse la partie sud-est du granite (Gagny *et al.*, 1984 b).

Ces cisaillements sont régionaux car ils auraient induit à grande échelle dans la série métamorphique de la Sioule des fauchages de la schistosité (Gagny *et al.*, 1984 a) et se caractérisent plus localement par des infléchissements de l'orientation des linéations de crénulation (Courrioux et Jacquot, 1984 ; (fig. 11). De même, sur cette figure, les principaux filons sont orientés selon une direction en tension (avec ouverture) par rapport aux cisaillements et, pour ceux situés au Nord du granite des Colettes, tendent à se disposer en échelon sur un axe parallèle à la zone de cisaillement de la Croix-Lambin.

2. — Dans le granite, un jeu complexe orchestré par ce cisaillement régional à N60E.

La complexité des structurations planaires subverticales du granite des Colettes peut s'expliquer par le contrôle régional d'un jeu senestre à N60E, contemporain de la mise en place du massif.

En utilisant les fractures à N20E, il provoque une ouverture en pull-apart qui permet la montée du magma (fig. 12A). Cette direction N20E, alors disposée en tension, a pu localement s'ouvrir pour permettre la mise en place de puissants

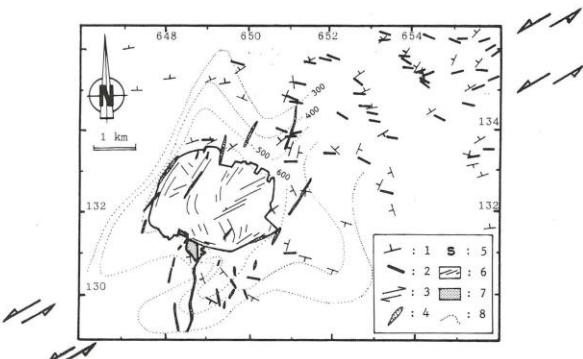


Fig. 11. — Recherche d'éléments structuraux particuliers dans l'encaissant métamorphique du granite des Colettes.

1 : attitude de la schistosité ; 2 : attitude des linéations de crénulation au NE du granite des Colettes ; 3 : indications des cisaillements senestral principaux ; 4 : principaux filons de quartz ou de microgranite. *Données générales* : 5 : emplacement du réseau filonien du stockwerk de la Bosse ; 6 : principales trajectoires des fabriques magmatiques subverticales dans le granite des Colettes ; 7 : granite de Beauvoir ; 8 : isohypses du toit du diapir granitique d'Échassières.

Research of particular structural data in the metamorphic surrounding of the Colettes granite.

1 : schistosity attitude ; 2 : crenulation lineations attitude in the North-east of the Colettes granite ; 3 : major senestral shears ; 4 : main quartz or microgranite dykes. *General data* : 5 : La Bosse stockwerk site ; 6 : main magmatic subvertical fabrics trajectories in the Colettes granite ; 7 : Beauvoir granite ; 8 : roof isohypses of the Échassières granitic diapir.

filons. Le découpage en blocs du magma s'effectue aussi selon la direction d'aplatissement à N100-120E et les directions à N160E (préexistantes ? et donc leurs rejeux ?). Ce sont les quatre composantes du jeu « *horizontal* » qui s'expriment d'une façon complexe avec des réajustements entre blocs ayant des comportements rhéologiques différents. Ces jeux en réajustement imposent des fluidalités planaires subverticales simples, imbriquées, superposées et même récurrentes.

Le « moteur » de cette complexité reste le jeu général en cisaillement senestre à N60E qui se marque plus particulièrement dans des couloirs de cisaillement.

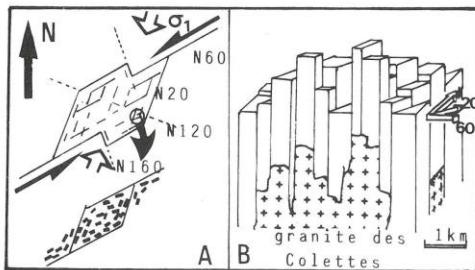


Fig. 12. — Modèle de mise en place du granite des Colettes
(d'après Gagny et al., 1984 a et b).

A: ouverture en pull-apart et représentation des différentes fluidalités planaires subverticales induites par le cisaillement N60E, senestre, régional. B: bloc diagramme illustrant la mise en place en « serrure à piston » (échelle verticale exagérée).

Model of the Colettes granite emplacement (after Gagny et al., 1984 a and b).

A: pull-apart opening and sketch of the different directions induced by regional N60E senestral movement; B: block-diagram showing « serrure à piston » emplacement (exaggerated vertical scale).

— Le plus important passe par la Croix-Lambin, près de la cote 701 (NE) (fig. 9) et se poursuit dans l'encaissant vers le NE. Ce cisaillement reste modeste avec un γ de l'ordre de 1 selon nos appréciations.

— Le second intéresse le SE du Massif près de la cote 724 et se poursuit au SW, vers le carrefour de La Bosse, contrôlant la formation des caisses filonniennes à quartz et microgranite.

B. — Interprétation des structurations subhorizontales

1. — Rappels sur la forme générale du toit

Une fabrique linéaire subverticale a été mise en évidence et correspond à la montée subverticale du magma granitique (cf. *supra* et fig. 6). Des fabriques planaires subhorizontales ont été observées (fig. 4) ; elles ont tendance à se surimposer aux fabriques verticales et représentent un « effet de toit ». L'analyse en a été faite et une morphologie générale du toit en a été déduite en accord avec les investigations par prospection électrique (fig. 5) de la partie sommitale du pluton d'Échassières.

2. — Étude et interprétation des « accidents » du toit

Un examen plus détaillé devrait permettre de préciser les accidents éventuels dans cette géométrie du toit du granite affleurant et apporter des éléments nouveaux d'interprétation. Dans la partie Est, la géométrie détaillée du toit, indiquée par les fluidalités subhorizontales, est en accord avec la topographie du massif qui présente bombements et dépressions.

Notamment, deux zones en relief existent à la cote 701-NE et aux cotes 701 E et 724, (fig. 4 et 5) ; elles encadrent une gouttière allongée WSW-ENE (disposée juste au Nord de la R.N 687) comportant des panneaux de schistes, interprétés

comme représentant le toit. Les deux rides ainsi caractérisées sont conformes au grand axe du massif et soulignent, à N60E, des rehaussements du toit.

Le découpage de l'encaissant aux limites du massif affleurant se fait selon des directions connues dans sa structuration interne, notamment à N20E, N60E, ...

Ces éléments, pour un jeu complexe « vertical » permettent de présenter une mise en place selon un modèle de « serrure à pistons » ; l'injection fait appel à la fois :

— à la remontée différentielle de blocs de l'encaissant découpé de façon fragile suivant les directions de plans verticaux reconnues (fig. 12 B). Ce mécanisme est suggéré par l'existence de jeux verticaux synmagmatiques auxquels se rattache en particulier la genèse des fabriques à N20E et qui donnent lieu par exemple à la morphologie crénelée de la bordure NE du granite. Notons que d'après Johnson et Pollard (1973), le soulèvement dû à la montée du magma ne serait conséquent que pour des blocs à surface basale assez importante : en effet pour que la force liée à la pression d'injection puisse soulever l'encaissant il est nécessaire qu'elle surpassé la résultante de la force induite par la pression lithostatique et des forces de cisaillement apparaissant autour du bloc déplacé ; par conséquent elle doit s'appliquer à une surface d'encaissant supérieure à une aire limite (au vu de certaines intrusions, une valeur de 1 km² est avancée par ces auteurs). Ainsi ce mécanisme ne serait fortement probable, à l'aplomb du granite des Colettes, qu'à grande échelle.

— à un phénomène de « magmatic-stopping » certainement important ainsi que l'indiquerait les sondages et profils magnétotelluriques. En effet, de grands panneaux à résistivité faible très différente du granite, ont été repérés à plusieurs centaines de mètres de profondeur (Perrin et Ravat, 1985). Ce phénomène pourrait être également contrôlé par la fracturation et prolongerait à petite échelle le débitage de l'encaissant au niveau du toit de l'intrusion, déjà engagé par le mécanisme précédent.

C. — Synthèse sur le modèle de mise en place du granite des Colettes

La complexité de la structuration du granite des Colettes rendait nécessaire une décomposition de l'interprétation :

— pour un système de contraintes « horizontales » en raison des fabriques subverticales nombreuses

— pour un système de contrainte « verticale » en raison de la fabrique linéaire subverticale et des fabriques planaires subhorizontales.

La synthèse des deux est aisée et permet de concevoir un modèle en pull-apart qui facilite la mise en place du magma. Ce dernier s'injecte verticalement et, à son toit, induit une morphologie de l'encaissant en touches de piano selon le découpage dû à la tectonique.

Le « moteur » de ce mécanisme est un cisaillement régional senestre à N60E, engageant une compression subméridienne. Ce mécanisme est connu pour de nombreux granites du Massif central, liés à des indices ou gisements d'étain-tungstène (Gagny et al., 1984 a ; Leistel, 1984 ; Mourey, 1985).

4. – Conclusion

Le granite des Colettes est exemplaire pour la complexité des fabriques magmatiques qu'il a enregistré au cours de sa mise en place et avant sa consolidation. Situé au cœur d'une terminaison périclinaline, d'encaissant métamorphique, il a profité d'une fracturation antérieure à N20E et N160E. Mais, l'intrusion de la masse granitique n'a pu se réaliser que sous l'effet d'un cisaillement régional senestre à N60E qui a ouvert une structure en « pull-apart » avec la direction N20E. Un autre plan acquis est celui de l'aplatissement à N100-120E. La masse du granite était ainsi sollicitée en blocs à comportement rhéologique hétérogène qui jouaient les uns par rapport aux autres, sous l'effet d'un continuum de déformation (avec jeux et rejeux possibles par réajustement). C'est ainsi que se sont exprimées quatre fluidalités planaires subverticales isolées, imbriquées ou superposées, avec une chronologie parfois contradictoire. Sous l'effet de l'injection subverticale du magma (fluidalités linéaires subverticales), le toit a lâché en compartiments découpés selon ces mêmes directions suivant un modèle assimilé à une « serrure à piston » (contours du massif – fluidalités planaires subhorizontales).

Ainsi, ce granite, malgré sa forme à l'affleurement, ne s'inscrit pas dans le modèle des diapirs (à éventuel gonflement), avec mise en conformité des fluidalités planaires avec les contacts subcirculaires. Sa structuration ne répond pas à une dynamique diapirique, mais à une tectonique régionale orchestrée par un événement extérieur et découvert à posteriori dans l'encaissant. C'est grâce à l'étude du granite des Colettes que ces cisaillements senestres à N60E ont été découverts (Gagny *et al.*, 1984 a). Depuis, ils ont été retrouvés dans d'autres secteurs du Massif central (Leistel, 1984 ; Mourey, 1985 ; Sider, 1985).

Cela souligne l'importance qu'il faut accorder à la structuration des magmatiques qui sont ainsi des enregistreurs fidèles et précis des phénomènes tectoniques contemporains de leur mise en place et de leur cristallisation. Souvent, les pluto-nites « vivent » dans les périodes de silence de la stratigraphie et en décalage par rapport aux plissemens ; elles deviennent, grâce à la pétrologie structurale, des « fossiles » de la tectonique, d'autant que leur géochronologie peut être connue.

La seule difficulté reste la lecture et l'interprétation des faits utilisés, que seul un œil exercé et un esprit ouvert aux concepts et à la méthodologie spécifique à cette discipline peuvent exploiter. Mais, n'en est-il pas de même pour toutes les disciplines qui restent au contact du terrain ?

Références bibliographiques

- AUBERT G. (1969). – Les coupoles granitiques de Montebras et d'Échassières (Massif central français) et la genèse de leur minéralisation en étain, lithium, tungstène et beryllium. Mémoire du BRGM, n° 46, 349 p.
- BLANCHARD J.-Ph. (1978). – Dynamique magmatique du granite porphyroïde des Ballons (Vosges méridionales) – « fluidalités planaires imbriquées » et « couloirs magmatiques » – phénomène de percolation. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, **20**, n° 2, pp. 157-162.
- BLANCHARD J.-Ph. (1979). – Pétrogenèse et pétrologie structurale du granite des Ballons (Vosges méridionales). Thèse 3^e cycle, Université de Nancy, 254 p. + annexes, 119 fig.
- BRUN J.-P. (1981). – Instabilités gravitaires et déformation de la croûte continentale. Application au développement des dômes et des plutons. Thèse d'état, Université de Rennes, 197 p.
- CANTAGREL J.-M. (1963). – La mine de wolframite des Montmins et son cadre géologique. Thèse 3^e cycle, Univ. Clermont-Ferrand, 119 p.
- COURRIOUX G. (1987). – Oblique diapirism : the Criffel granodiorite/granite zoned pluton (southwest Scotland). *J. struct. geol.*, **9**, n° 3, pp. 313-330.
- COURRIOUX G., JACQUOT Th. (1984). – Caractérisation structurale d'une zone de cisaillement orientée à N60E dans l'encaissant métamorphique au NE du massif d'Échassières (Massif central français). Rapport préliminaire GPF2 n° 84, 8 p., 3 fig. (dépôt au BRGM, secrétariat GPF).
- CUNY M., AUTRAN A., BURNOL L., BROUAND M., DUOIGNON Ph., FEYBESSE J.-L., GAGNY Cl., JACQUOT Th., KOSAKEVITCH A., MARTIN P., MEUNIER A., MONIER G., TEGYEV M. (1986). – Résultats préliminaires apportés par le sondage GPF sur la coupole de granite albiteux à topaze-lépidolite de Beauvoir (Massif central, France). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **303**, n° 7, pp. 569-574.
- EZANNO P., POINCLOU C. (1984). – Campagne complémentaire de sondages électriques sur la coupole granitique. Rapport SGN (BRGM) 261 GPH, 13 p., 2 pl., 1 annexe.
- FAVIN H., MILLON R. (1984). – Campagne de sondages électriques sur la coupole d'Échassières (Allier). Rapport Programme Géologie Profonde de la France, Documents B.R.G.M., n° 81-8, pp. 41-56.
- FERNANDEZ A. (1985). – Étude théorique et expérimentale du développement de la fabrique dans les roches magmatiques. Application à l'étude structurelle des granitoïdes. Thèse d'état, Université de Clermont-Ferrand, 238 p.
- FEYBESSE J.-L. (1985). – Étude structurale du massif d'Échassières et de son encaissant métamorphique. Programme Géologie Profonde de la France, Documents BRGM n° 95-8, pp. 55-72.
- GAGNY Cl., COURRIOUX G., CUENIN O., JACQUOT Th., LEISTEL J.-M. (1984 a). – Contrôle structural de la métallogenèse dans la région d'Échassières par une zone de cisaillement régional orientée à N60E (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **298**, (2), n° 10, pp. 459-462.
- GAGNY Cl., COURRIOUX G., CUENIN O., JACQUOT Th., LEISTEL J.-M. (1984 b). – Pétrologie structurale du granite des Colettes (massif d'Échassières). Méthode d'études de terrain et premiers résultats. Programme Géologie Profonde de la France, Documents BRGM, n° 81-8, pp. 1-10.
- GAGNY Cl., LAMEYRE J. (1984). – Signification régionale de la foliation de plan axial mise en évidence dans les leucogranites du Limousin. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **299**, n° 3, pp. 105-108.
- GROLIER J. (1971). – Contribution à l'étude des séries cristallogéniques inverses du Massif central français : la série de la Sioule (Puy-de-Dôme, Allier). Mémoires du BRGM, n° 64, 163 p.
- JACQUOT Th. (1984). – Essai d'interprétation du stockwerk à wolframite du gisement de La Bosse (Massif d'Échassières, Massif central français). Rapport préliminaire, GPF2 - et in « JACQUOT Th. et GAGNY Cl., Document BRGM n° 95-8, pp. 39-53 ».

- JOHNSON A.-H., POLLARD D.-D. (1973). — Mechanics of growth of some laccolithic intrusions in the Henry mountains, Utah. I. *Tectonophysics*, **18**, pp. 261-309.
- LALLIER S. (1977). — Étude géologique et géophysique au Sud-Est du massif granitique d'Échassières, Allier. Thèse 3^e cycle, Université d'Orléans, 121 p.
- LAMEYRE J. (1966). — Leucogranites et muscovitisation dans le Massif Central français. Thèse d'État, Université de Clermont-Ferrand, 264 p.
- LEISTEL J.-M. (1984). — Évolution d'un segment de la chaîne hercynienne dans le Nord-Est du Massif central français. Le fossé volcano-tectonique de la Loire - Plateau d'Urfé, Montagne Bourbonnaise; carte de Noirétable et Feurs à 1/50 000[°]. Thèse d'Université de Nancy I, 315 p., 123 fig., 1 annexe, 2 cartes HT.
- MOUREY Y. (1985). — Le leucogranite à topaze de Chavence. Un nouvel exemple de massif à Sn, W, Li dans le Nord du Massif central français. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (2), **300**, n° 19, pp. 951-954.
- PERRIN J., RAVATIN F. (1985). — Étude du granite d'Échassières (Allier) par un profil de sondages magnétotelluriques. Programme Géologie Profonde de la France. Documents du BRGM n° 95-8 pp. 93-123.
- PONS J. (1983). — Interprétation et utilisation des diverses structures et architectures de plutons basiques et acides. Gabbros et granitoïdes de la Sierra Morena occidentale (Espagne). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **25**, n° 9, p. 349-355.
- RICHARD J. (1938). — Étude de la série cristalophyllienne renversée de la vallée de la Sioule aux confins de l'Auvergne et du Bourbonnais. *Rev. Sci. Nat. Auvergne*, **4**, n° 1.
- ROSEN A. De (1965). — Évolution continue du massif granitique et succession minérale : le massif des Colettes (Échassières, Allier). Première partie : granite et micaschistes. *Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr.*, **88**, pp. 678-687.
- SIDER H. (1985). — Évolution d'un segment de la chaîne hercynienne dans le Nord-Est du Massif central français. L'enchaînement géologique : d'une déchirure continentale à un fossé volcano-tectonique. Région du Beaujolais : carte géologique de la feuille d'Amplepuis à 1/50 000[°]. Thèse d'Université de Nancy I, 372 p., 1 annexe.
- VENNAT G. (1982). — Un exemple de relations volcanisme-plutonisme : chronologie, pétrologie, dynamisme d'un complexe volcanoplutonique dans la région de Gannat - Les Ancizes (M.C.F.). Thèse 3^e cycle, Clermont II, 156 p., 13 annexes.
- VIGNERESSE J.-L., MENICHETTI V., CANNAT M. (1985). — Interprétation gravimétrique du massif granitique d'Échassières. Documents du BRGM n° 95-8, pp. 81-91.