

# Pétrologie structurale du granite de Beauvoir (massif d'Échassières) : données et interprétation à son niveau apical

Th. Jacquot\* et Cl. Gagny\*

Mots-clés : Granite (Granite Beauvoir), Pétrofabrique, Mise en place, Modèle (Caisson),  
Allier (Échassières).

## Résumé

Le granite de Beauvoir, situé contre la bordure Sud du granite des Colettes et mis en place de façon subsynchrone à ce dernier, montre une structuration magmatique en surface très complexe. Celle-ci est le produit de la superposition de fabriques d'attitudes variées subverticales ou faiblement pentées, induites par trois facteurs structuraux principaux : écoulement du magma du Sud vers le Nord, effet de toit et diastrophisme lié à une fracturation régionale subméridienne. La comparaison avec les données du sondage GPF. Éch. I permet d'envisager une mise en place sous forme d'un caisson allongé N20E et moyennement penté vers le Sud.

## Abstract

*Structural petrology of the Beauvoir granite (Echassières Massif) : data and explanation of the top level.*

The Beauvoir granite, situated close to the south border of the Colettes granite and emplaced synchronously with this latter, shows outcropping very complex magmatic structuration. This is the product of the superimposition of different fabrics with various subvertical or horizontal orientations, induced by three main structural factors : magma flowing from south to north, roof effect and regional W20E fracturing. The comparison with the data of the GPF drilling permits to conceive its emplacement as in a coffer elongated to the N20E direction and moderately inclined to the south.

## 1. — Introduction

Le massif d'Échassières est constitué par trois unités mises en place successivement : le stockwerk de la Bosse, le leucogranite des Colettes et le granite différencié à fluor et lithium de Beauvoir (fig. 1) (Aubert, 1969).

Un sondage profond carotté a été réalisé dans le cadre du programme GPF sur le granite de Beauvoir. Il était important d'étudier les fabriques magmatiques à l'affleurement, au niveau apical de cette unité, pour établir des corrélations avec les données du sondage. L'objectif était de préciser la dynamique de mise en place de l'apex de Beauvoir.

## 2. — Données de pétrologie structurale

### A. Modalités de la prise de données

Le faciès dominant est un granite à albite et lépidolite, plus ou moins kaolinisé. Cette lépidolite généralement pré-

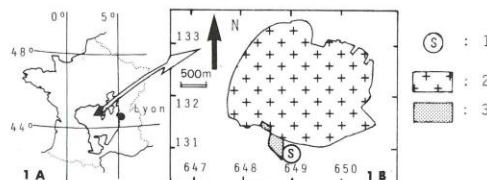


Fig. 1. — Situation du granite de Beauvoir

A : Localisation du massif d'Échassières dans le Massif Central Français. B : Représentation des différentes unités du massif d'Échassières ; 1 : emplacement du « stockwerk » de la Bosse ; 2 : granite des Colettes ; 3 : granite albitique à lépidolite de Beauvoir.

### Setting of the Beauvoir granite

A : localization of the Echassières massif in the french central massif. B : sketch of the different units of the Echassières massif ; 1 : La Bosse Stockwerk site ; 2 : Colettes granite ; 3 : Beauvoir albite-lepidolite granite.

servée de l'altération, en cristaux bien visibles à l'œil nu, constitue le marqueur privilégié des fabriques observées.

L'analyse reste délicate car les orientations planaires préférentielles des minéraux fluctuent d'un affleurement à l'autre et se juxtaposent ou se surimposent souvent dans un même échantillon, jusqu'à l'échelle microscopique. C'est un cas exemplaire de fluidalités planaires imbriquées allant jus-

\* Laboratoire de pétrologie structurale et métallogénie, Université de NANCY I — BP 239 — 54506 Vandœuvre Cedex UA (CNRS) 728 : Pétrologie des granitoïdes.

qu'au caractère pénétratif des différentes orientations observées (Blanchard, 1978). L'approche des caractéristiques principales du massif demande alors de définir des structurations dominantes qui, heureusement, existent en tout secteur affleurant.

## B. Les données et leur interprétation

Après un relevé systématique et détaillé, les fabriques prépondérantes ont été retenues pour illustrer la structuration du massif (fig. 2). Les fluidalités planaires à pendage fort et celles à pendage faible ont été dissociées car elles représentaient deux groupes facilement distinguables à l'œil, lors de l'approche de terrain (fig. 2, a et c). Des cartes de trajectoire de ces fluidalités ont été établies. Le fait que beaucoup de fabriques à pendage faible soient conformes à une géométrie probable du toit de l'apex (il y a une cohérence par suite de l'homogénéité des mesures indicatrices d'un toit relativement plan à pendage nord) et que surtout les trajectoires de structurations subverticales proches des contacts se parallélisent à ces derniers, est une justification a posteriori de la démarche suivie.

Une approche de la pétrofabrique sur lames minces permet aussi de cautionner les mesures prises sur le terrain et d'illustrer le concept des fluidalités imbriquées pénétratives (Blanchard, 1978) (fig. 3). Chaque fois que cela sera possible, nous distinguerons :

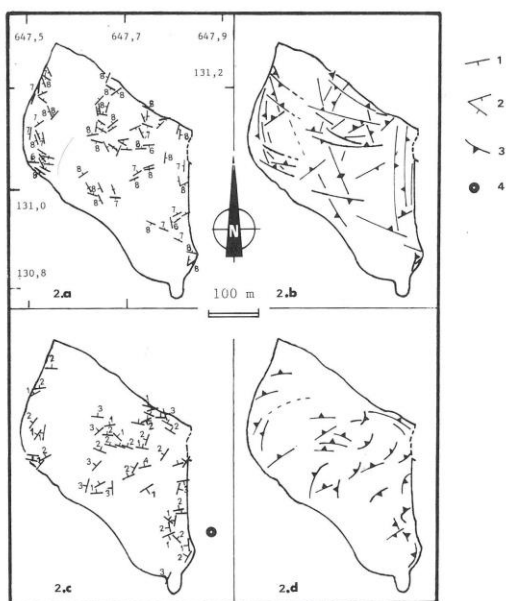
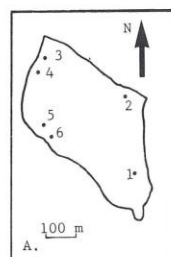


Fig. 2. — Cartographie des fabriques prépondérantes relevées à l'affleurement dans le granite de Beauvoir. 2a et 2c : fabriques respectivement à fort et à faible pendage. 2b et 2d : extrapolation des trajectoires de fabriques à partir des mesures respectivement à fort et faible pendage. Pendages en dizaines de degrés. 1 : mesure de fabrique ; 2 : fabriques imbriquées sur affleurement ; 3 : trajectoire de fabrique ; 4 : emplacement du sondage Echa I.

Map of outcropping preponderant fabrics in the Beauvoir granite. 2a and 2c : fabrics with respective high and low dip values. 2b and 2d : extrapolation of the fabrics trajectories from respectively high and low dip values. Dips indicated in tens of degrees. 1 : fabric measure ; 2 : imbricated fabrics on outcrop. 3 : fabric trajectory ; 4 : Echa I drilling site.

— les fabriques magmatiques liées à l'écoulement du magma et aux contrôles locaux dus à la géométrie de l'espace pouvant être occupé dans l'encaissant.



c.	a	b	c	d
1	1500 - 300	219	271	1-2-3-4%
2	1500 - 600	186	217	1-3-4-6%
3	1000 - 333	205	232	1-2-3-5%
4	1500 - 375	198	236	1-2-3-5%
5	2000 - 500	173	211	1-2-3-5%
6	1500 - 375	169	210	1-2-3-4-5%

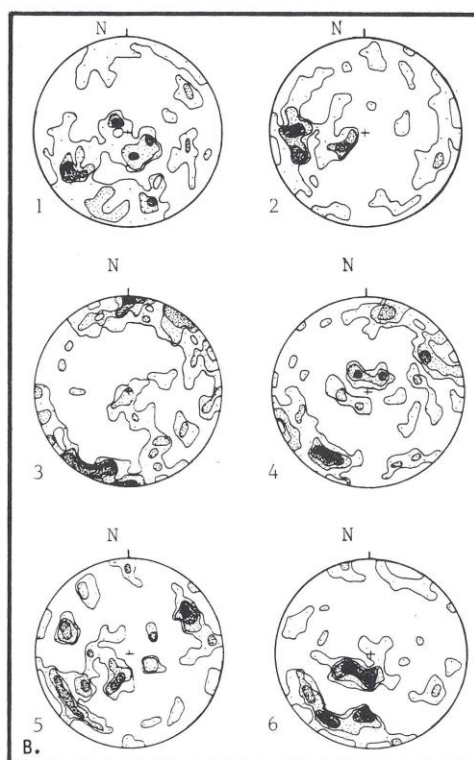


Fig. 3. — Orientations préférentielles des lépidolites en différents sites du granite de Beauvoir.

A : Localisation des différents échantillons ; B : diagrammes d'isodensité des orientations des pôles de plan de clivage (001) des micas ; Schmidt, hém. inf., cercle de comptage élémentaire de 1 %. Correction faite de l'effet de coupe d'après Courrioux et Jacquot, 1985. C : cartouche se rapportant à la figure 3B : — a, b et c : correction de l'effet de coupe (a : longueur et largeur moyenne des lépidolites considérées en  $\mu\text{m}$  ; b : nombre de mesures réalisées ; c : nombre de mesures après correction de l'effet de coupe) ; — d : valeur des contours d'isodensité.

### Preferred orientations of lepidolites on different sites of the Beauvoir granite

A : sample emplacement. B : preferred orientations of the poles of micas cleavage (001) ; Schmidt net, lower hem., counting unit circle : 1 %. Cut effect corrected after Courrioux and Jacquot, 1984. C : notice board corresponding to 3.B : — cut effect adjustment : a : average length and width of lepidolites (in  $\mu\text{m}$ ) ; b : number of realised measures ; c : number of measures rectified from the cut effect. — d : percentage cuts.

— les fabriques diastrophiques, dues à des contraintes tectoniques régionales s'imprimant dans la structuration du magma avant sa consolidation totale.

### 1. — Les fabriques subméridiennes à fort pendage

L'environnement du granite de Beauvoir a enregistré les effets d'une contrainte régionale N20E; une ouverture en pull-apart sur un cisaillement N60E à jeu senestre, a été invoquée pour la mise en place du granite des Colettes (Gagny, et al., 1984). Des zones de cisaillement passeraient au carrefour de la Croix Lambin et au Sud du carrefour de la Bosse (Gagny et Jacquot, 1987 ce même volume). Cette dernière intéresserait directement le granite de Beauvoir avec l'expression de fabriques à N60E (fig.2a). Cependant ces manifestations diastrophiques, sont relativement rares dans le massif de Beauvoir. Leur existence permet toutefois d'attribuer au gra-

nite de Beauvoir une mise en place contemporaine des épisodes de cisaillement et donc du régime de contrainte N20E. L'intrusion de ce corps s'insère dans le même contexte tectonique que celle du granite des Colettes.

Une fracturation importante s'exprime en tension dans l'encaissant. Elle contrôle les contacts Est et Ouest de l'apex et s'inscrit en fluidalités planaires subméridiennes à N20E soit sur les bordures, soit dans la masse du granite de Beauvoir où elle peut devenir prépondérante. Ces dernières fluidalités représenteraient une fabrique diastrophique subméridienne à jeux verticaux dans le magma en fin de cristallisation. Cette structuration serait relayée au stade subsolidus par une fracturation, d'attitude analogue, déjà signalée par De Rosen en 1965. Ce jeu est aussi enregistré dans l'environnement où les ouvertures en tension donnent lieu à un puissant cortège filonien à quartz (fig.4).

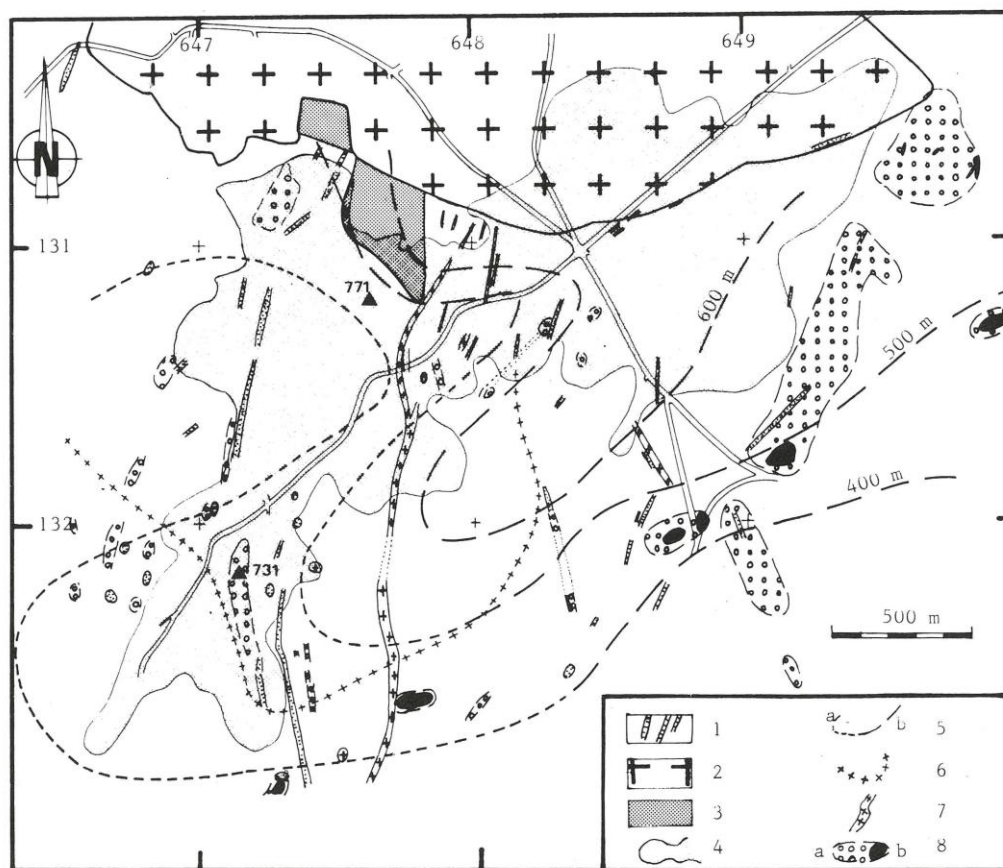


Fig. 4. — Caractères géologiques et topographiques de l'environnement du granite de Beauvoir

1 : principaux filons du stockwerk (Aubert 1969) ; 2 : granite des Colettes ; 3 : granite de Beauvoir ; 4 : courbe de niveau 700 m ; 5 : isohypses d'un horizon résistant (Lallier 1977, Favin et Millon 1984, Ezanno et Poinclou, 1984), a : tracé déterminé, b : tracé hypothétique ; 6 : limite méridionale d'une zone à manifestations filoniennes à faibles ou moyens pendages (celle-ci marquerait l'extension maximale du stockwerk) ; 7 : filons de microgranite (Aubert 1969, modifié) ; 8 : filons de quartz (Aubert 1969, modifié) ; brèches (Lallier 1977, modifié), a : quartzzeuses, b : à oxydes de fer.

Geological and topographical features of the Beauvoir granite surrounding  
1 : main stockwork dykes (Aubert, 1969) ; 2 : Colettes granite ; 3 : Beauvoir granite ; 4 : topographic contour 700 m ; 5 : isohypses of the resistant area (Lallier 1977, Favin et Millon 1984, Ezanno et Poinclou, 1984), a : determined drawing, b : hypothetical drawing ; 6 : southern boundary of a zone including veins with low or moderate dips (this would limit maximal enlargement of the stockwerk) ; 7 : microgranite dykes (Aubert, 1969, modified) ; 8 : quartz dykes (Aubert, 1969, modified) ; breccias (Lallier, 1977 modified), a : quartzeous breccias, b : breccias with iron oxides.

Pour le granite de Beauvoir, ces mouvements verticaux synmagmatiques seraient la conséquence d'une mise en place dans un caisson subsident, découpé dans l'encaissant micaschisteux selon une direction subméridienne à N20E. Ce caisson aurait une largeur excédant celle du massif de Beauvoir à l'affleurement : de fait le contact Est n'est vertical que sur quelques dizaines de mètres, le sondage GPF Ech. I implanté à l'Est recoupant le toit à -97 m ; telle qu'elle apparaît en surface, cette bordure n'est contrôlée que localement par un plan de fracture. Par contre, de nombreux filons de quartz et microgranite dont le pendage subvertical est connu ou déduit pour certains d'entre eux, se concentrent de part et d'autre du granite affleurant selon deux axes. Ces derniers se prolongent vers le SSW et constitueraient de bons jalons des bordures profondes de l'intrusion (fig. 4). L'ouverture de ce caisson sera discontinue et structurera la lame de granite en unités successives superposées (Gagny Jacquot, ce même volume).

## 2. — Les fabriques « WNW-ESE », à fort pendage

En profondeur sur le sondage (Cuney et al., 1986), une fluidalité magmatique planaire apparente générale orientée WNW-ESE, avec un pendage Sud ne dépassant pas 30 à 50° est observée sur carottes. Elle est interprétée comme le plan d'écoulement vers le Nord du magma.

En surface, il existe des fabriques prépondérantes selon une direction N90 à N130E mais subverticale (fig. 2d). En

pétrofabrique, une certaine mise en zone des minéraux marquerait un axe vertical de mise en place au niveau structural affleurant.

Selon une même direction, cette modification du pendage de la fluidalité planaire entre sondage et surface illustre un effet de redressement du flux magmatique en partie apicale proche du granite des Colettes (fig. 5).

## 3. — L'effet de toit : les fabriques à faible pendage

Ce sont les fluidalités planaires à faible pendage qui soulignent l'effet de toit. Ce dernier, par blocage de la propulsion naturelle au diapirisme, crée un aplatissement contre les micaschistes surincombants, en fin de mise en place (fig. 2b et 2d). Ces fluidalités, par leur forte intensité, indiquent la proximité du toit. Leur distribution d'orientation n'évoque pas une montée diapirique ; leurs pendages, généralement vers le Nord, caractérisent plutôt le contrôle par un panneau d'encaissant subhorizontal et légèrement basculé vers le Nord.

## 3. — Le modèle de mise en place

L'absence de critère de cisaillement et l'observation en tout site des traces des différentes structurations, très inégalement intenses mais souvent imbriquées, amènent à envisager

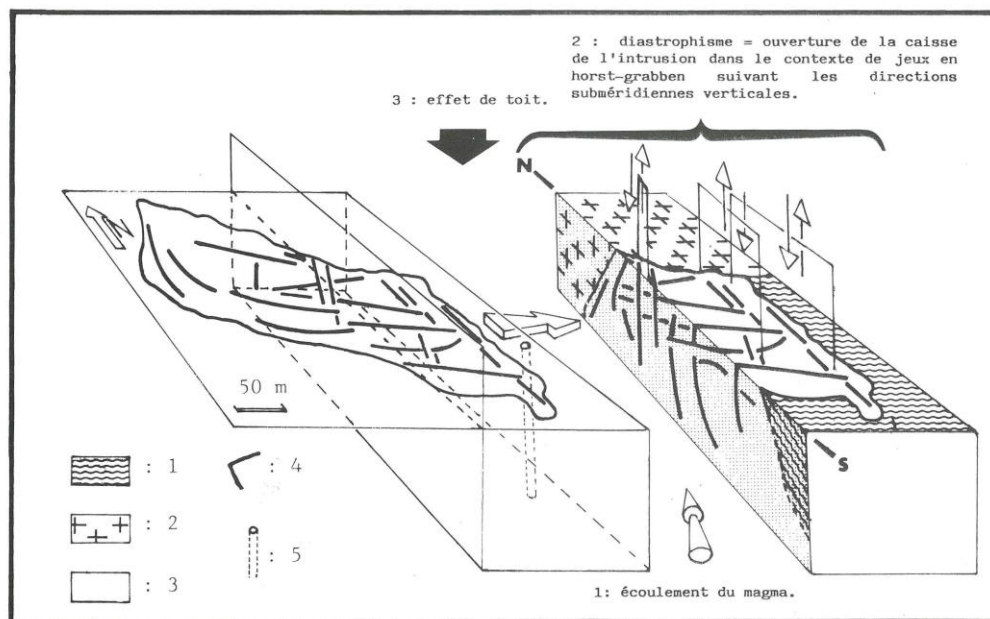


Fig. 5. — Structuration magmatique de la partie apicale du granite de Beauvoir

Illustration de la compétition de plusieurs facteurs contrôlant la genèse des fabriques superposées. 1 : encaissant métamorphique ; 2 : granite des Colettes ; 3 : granite de Beauvoir ; 4 : tracé schématisé des plans de fabriques prépondérantes ; 5 : emplacement du sondage Echa I.

Magmatic structures disposition at the top of the Beauvoir granite

Sketch showing several competing factors which control superposed fabrics genesis. 1 : metamorphic enclosing rocks ; 2 : Colettes granite ; 3 : Beauvoir granite ; 4 : schematic outlines of preponderant fabrics ; 5 : GPF drilling site.

une interaction subsynchrone des facteurs structuraux, actifs chacun de façon répétitive en cours de mise en place. En fin d'évolution magmatique, les empreintes des différents phénomènes n'ont pu s'oblitérer mutuellement et illustrent un cas certes complexe mais exemplaire de fabriques magmatiques superposées.

### A. — Un modèle de diapir ?

La complexité précédemment exposée exclut une montée diapirique qui aurait engendré, par aplatissement lié au gonflement de l'intrusion, de classiques structures subconcentriques conformes à la géométrie du pluton. D'ailleurs plusieurs arguments s'opposent à ce type de modèle : dans le sondage les plans de mise en place sont inclinés de 30 à 50°. Or, d'après les critères développés par Talbot en 1977 sur des milieux à viscosités assez diverses (le diapirisme a été étudié pour des gammes de viscosité généralement de 10<sup>3</sup> à 10<sup>7</sup> poises mais aussi de 10<sup>2</sup> poises), l'ascension d'un diapir nécessiterait un axe supérieur à 60° par rapport à l'horizontale ; de plus, il n'existe pas d'hétérogénéité lithologique de la pile des métamorphites encaissantes qui puisse être à l'origine de l'inclinaison de la mise en place d'un éventuel diapir. D'autre part, aucune perturbation de la schistosité qui demeure d'attitude subméridienne faiblement pentée vers l'Ouest à l'approche du granite affleurant, ainsi que l'absence d'une fracturation hydraulique évidente (filons, brèche...) n'accompagnent l'intrusion de Beauvoir, contrairement au stockwerk de la Bosse (Jacquot et Gagny, 1985) et peut être ce qui existe au Sud (à la cote 731, x = 647,16 ; y = 129,80) et au Sud-Ouest du massif de Beauvoir.

### B. — Un modèle en caisson subsident

Ce modèle est proposé eu égard à nos observations. Les contraintes régionales à N20E créent dans les micaschistes des fracturations subméridiennes en tension à N20E qui contrôlent, au niveau structural affleurant, la mise en place du granite des Colettes dans un pull-apart guidé par des cisaillements régionaux senestres associés à N60E (Jacquot et Gagny, 1985). Ce granite se met en place avec notamment une bordure Sud légèrement extravasée (Aubert, 1969 ; Jacquot et Gagny, 1984). Au cours et en conséquence de cette montée, il se crée dans l'encaissant Sud, un caisson subméridien qui va s'ouvrir par saccades. Avec un phénomène « d'appel au vide » (Gagny, 1983), le magma du granite de Beauvoir se mettra en place depuis le Sud par unités successives au fur et à mesure de l'ouverture (cf. Gagny, Jacquot, ce même volume, pour les arguments). Les premières unités sont rebroussées par la montée contemporaine du granite des Colettes et les fluidalités planaires WNW-ESE à pendage 30° à 50° vers le Sud dans le sondage, se redresseront à l'approche du granite des Colettes (fig. 6). La contemporanéité des mises en place des granites des Colettes et de Beauvoir est attestée par des figures de mélanges magmatiques (Jacquot et Gagny, 1984). Des fluidalités subméridiennes à fort pendage soulignent les limites Est et Ouest du caisson. Enfin, la zone affleurante est proche du toit représentée par un panneau de micaschiste faiblement penté vers le Nord. Les fabriques à faible pendage s'y conforment par aplatissement consécutif à la tendance toujours diapirique d'un leucogranite. Le,

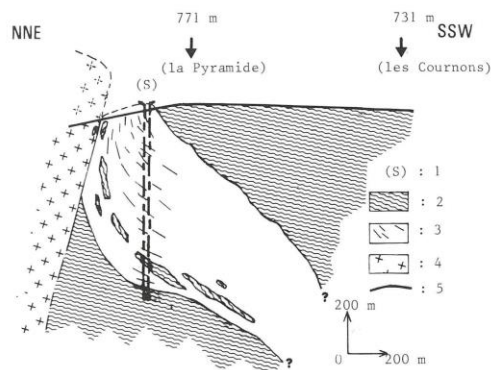


Fig. 6. — Représentation schématique de l'architecture du caisson de Beauvoir selon un plan de coupe longitudinale  
1 : projection sur le plan de coupe de l'emplacement du sondage Echa I (ce dernier se situe approximativement 200 mètres plus à l'Est) ; 2 : encaissant micaschisteux ; 3 : granite de Beauvoir et traces de la structuration magmatique générale ; 4 : granite des Colettes ; 5 : horizon topographique actuel.

#### Sketch of Beauvoir coffer organization as viewed on a vertical longitudinal plan

1 : Projection on this plan of the GPF drilling site (this latter is situated approximately 200 meters toward the East) ; 2 : surrounding micaschists ; 3 : Beauvoir granite and marks of the main magmatic structuration ; 4 : Colettes granite ; 5 : present topographic level.

redressement des structures à l'approche du granite des Colettes y favorise certainement un départ des fluides (zone à kaolinisation intense).

En l'état, il n'est pas possible de préciser la zone d'alimentation du magma de Beauvoir. Nous ferons l'hypothèse d'un enracinement dans la zone de cisaillement à N60E (linéament de la Bosse) sous-jacent à la cote 731.

Ce dispositif en caisson, visible pour l'apex de Beauvoir pourrait se répéter dans la zone du château de Beauvoir (fortes anomalies géochimiques et gravimétriques subméridiennes). Ce deuxième secteur, ainsi que les enracinements alignés sur la zone de cisaillement de la Bosse, représenteraient alors autant de cibles cachées pour une prospection d'appareils comparables à l'apex de Beauvoir.

En dernier point, soulignons que les données d'un sondage profond sont essentielles à la bonne compréhension du granite de Beauvoir mais que les études en surface, quand elles sont possibles, restent indispensables.

## Références bibliographiques

- AUBERT G. (1969). — Les coupoles granitiques de Montebrias et d'Echassières (Massif Central français) et la genèse de leur minéralisation en étain, lithium, tungstène et beryllium. Mémoire du BRGM, n° 46, 349 p.
- BLANCHARD J.P. (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.

- COURRIOUX G., JACQUOT Th. (1984). — Étude de l'effet de coupe dans l'interprétation des diagrammes de pétrofabrication : application au granite de Beauvoir (Échassières, Massif Central français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **299**, (2), pp. 549-554.
- CUNNEY M., AUTRAN A., BURNOL L., BROUAND M., DUDOIGNON 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 albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir (Massif Central, France). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **303**, (2), 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 BRGM, n° 81-8, pp. 41-56.
- GAGNY Cl. (1983). — Processus de distribution magmatique W-Sn-Mo au cours de la mise en place de complexes granitiques. Le modèle endogranite à stockscheider — exogranites et la formation de filons minéralisés. Rapport préliminaire A.T.P. géochimie-métallogénie, CNRS.
- GAGNY Cl., COURRIOUX G., CUENIN O., JACQUOT Th., LEISTEL J.M. (1984). — Contrôle structural de la métallogénèse dans la région d'Échassières par une zone de cisaillement régionale orientée à N60E (Massif Central Français). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **298**, (2), n° 10, pp. 459-462.
- JACQUOT Th., GAGNY Cl. (1984). — Pétrologie structurale du granite de Beauvoir et de la partie Sud du granite des Colettes (avec quelques données de pétrologie) (Massif d'Échassières, Massif Central Français). Rapport préliminaire GPF2, 40 p. (dépôt au BRGM, secrétariat GPF).
- JACQUOT Th., GAGNY Cl. (1985). — Pétrologie structurale du massif d'Échassières (Massif Central Français) : mise en évidence de l'activité de linéaments lors de sa genèse. Documents du BRGM n° 95-8, pp. 39-53.
- LALLIER S. (1977). — Étude géologique et géophysique au Sud-Est du massif granitique d'Échassières, Allier. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Orléans, 121 p.
- ROSEN A. de (1965). — Contribution à l'étude géologique du massif granitique des Colettes, de ses minéralisations et de ses altérations (Échassières, Allier). Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Paris, 138 p.
- TALBOT C.J. (1977). — Inclined and asymmetric upward-moving gravity structures. *Tectonophysics*, **42**, pp. 159-181.