

Étude isotopique Rb-Sr de l'apex granitique d'Échassières (Granite des Colettes, granite de Beauvoir)

J.L. Duthou *, C. Pin *

Mots-clés : Datation, Rb-Sr, Roche totale, Granite, Granite Colettes, Leucogranite, Granite Beauvoir Carbonifère, Allier (Échassières).

Résumé

Une étude Rb-Sr sur roches totales a été réalisée sur les granites de l'apex granitique d'Échassières (granite des Colettes et granite de Beauvoir). Une importante dispersion des points représentatifs du granite des Colettes est mise en évidence et son âge ne peut donc être obtenu par la méthode Rb-Sr. Les causes de cette hétérogénéité isotopique du Sr sont discutées et attribuées principalement aux altérations *s.l.* qui se sont développées sur ce granite.

Par contre, l'étude des deux principaux faciès du granite de Beauvoir a permis d'établir deux isochrones : le faciès 1 le plus superficiel fournit un âge de 299 ± 9 Ma (Westphalien-Stephanien) alors que le faciès 2, plus profond a un âge de 312 ± 8 Ma qui correspond au Namuro-Westphalien. Ces âges peuvent être interprétés, soit comme ceux de la mise en place de deux magmas qui correspondent aux deux types principaux du granite de Beauvoir qui présentent des caractéristiques pétrographiques, minéralogiques, chimiques et physiques différentes, soit comme la mise en place d'un seul magma vers 312 Ma suivi d'un événement perturbateur important responsable d'une réhomogénéisation isotopique vers 299 Ma.

Les valeurs élevées des rapports isotopiques initiaux du Sr confirment l'origine crustale de ces granites, mais la mauvaise précision de ces rapports ne permet pas de préciser les relations éventuelles entre ces magmas.

Des études isotopiques complémentaires sur ces granites sont donc nécessaires pour clarifier celles-ci. De même, de nouveaux travaux devraient être envisagés sur l'encaissant (granite des Colettes, micaschistes) par une étude multi-isotopique (Rb-Sr, Sm-Nd) afin de mettre en évidence d'éventuelles interactions entre ces formations.

Abstract

*Rb-Sr Isotopic dates for the Échassières granitic complex
(Les Colettes and Beauvoir granites)*

A whole rock Rb-Sr study has been performed on the Échassières granitic complex : the Beauvoir granite and the surrounding Les Colettes granite.

Les Colettes granite is characterized by a large Sr isotopic scatter, and no age information can be obtained for this pluton. This scatter is ascribed to the pervasive alteration of these rocks (kaolinization and weathering).

In contrast, the samples from the zoned Beauvoir granite (core samples of the bore hole) give two isochrons. The first type (between - 100 and - 480 m) characterized by the early crystallization of lepidolite and albite yields a six point isochron of 299 ± 9 M.y. (Westphalian-Stephanian). The second type (between -520 m and -690 m) with strongly zoned lepidolites (cores of zinnwaldite) and enriched in quartz and K-feldspar gives a seven point isochron of 312 ± 8 M.y. (Namuro-Westphalian).

These dates could be either the emplacement ages of two separate Beauvoir magma types or the 312 M.y. age represents the emplacement of a single magma while the c.a. 299 M.y. age represents an isotopic rehomogenisation.

The high Sr initial ratios (0.710 and 0.715) point to a crustal origin for the magmas but their large error does not allow extraction of more precise information about the relationships between these magmas. Further isotopic studies are needed on these granites to constrain these ratios (Rb-Sr apatites studies). Similar work by other methods (Sm-Nd) is necessary for the surrounding rocks (micaschists, les Colettes granite) to point out possible genetic relationship with the Beauvoir granitic magmas.

*O.P.G.C., CNRS UA 10 et Université de Clermont-Ferrand II, 5, rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex

1. — Cadre géologique général

A l'Est du Sillon Houiller, au sein de la « série cristallophyllienne de la Sioule »affleure, dans un antiforme de micaschistes, le massif granitique d'Échassières. Cet apex granitique est constitué de plusieurs unités.

1) Le granite des Colettes, de forme subcirculaire (6 km² environ) correspond à 95 % de la superficie de l'apex. Il est intrusif dans les micaschistes encaissants où il développe un métamorphisme de contact à andalousite.

Il s'agit, pour le faciès le plus répandu, d'un leucogranite porphyroïde à deux micas de couleur rose (faciès Nigon).

Un autre type — le faciès Mazet — est constitué par un leucogranite porphyroïde gris à deux micas, dont les relations avec le faciès Nigon sont mal connues. Enfin le faciès Croix Lambin à tendance microgrenue, constituée des alignements (filons ?) dans les précédents, il représenterait une différenciation des autres faciès.

2) Le granite de Beauvoir, situé sur la bordure sud du granite des Colettes, tangentiellement à ce dernier,affleure sur une douzaine d'hectares. Il s'agit d'un granite sans biotite, à micas fluorés et lithiques et à topaze dans lequel trois types ont été distingués. Sa mise en place est postérieure à celle du granite des Colettes (Aubert, 1969).

3) Des intrusions filoniennes variées (microgranites-aplites...) qui représentent le cortège filonien du massif d'Échassières.

4) L'existence d'un granite sous-jacent — non affleurant — et moins évolué est envisagée (Aubert, 1969) pour expliquer l'origine du stockwerk à wolframite de la Bosse située à l'Est du granite de Beauvoir.

Les âges précis de ces granites sont inconnus, mais leur mise en place est hercynienne. Chronologiquement on aurait mis en place du granite non affleurement de la Bosse puis du granite des Colettes et enfin du granite de Beauvoir (Aubert, 1969).

2. — Étude isotopique Rb-Sr : résultats

L'étude radiométrique Rb-Sr sur roches totales a été réalisée sur le granite des Colettes et sur le granite de Beauvoir.

1. — Techniques analytiques

Rb et Sr ont été dosés par dilution isotopique.

Les attaques ont été effectuées sur 50 mg de poudre environ avec utilisation d'un spike mixte (⁸⁴Sr ⁸⁷Rb) dans des récipients clos en teflon PFA.

En raison de leurs teneurs très élevées en Rb, les échantillons étudiés n'ont pas pu être traités par la procédure stan-

dard utilisée au laboratoire, dont le facteur de séparation Rb-Sr ne réduisait pas à un niveau négligeable l'interférence de ⁸⁷Rb sur ⁸⁷Sr. Après récupération du Rb sous forme de perchlorate, nous avons utilisé une procédure à deux stades d'échange ionique pour le strontium. La fraction Sr isolée sur une première colonne « standard » (10 ml AG 50 × 8) a été purifiée sur une seconde colonne miniaturisée (1 ml AG 50 × 12). Le Sr ainsi séparé ne contient plus de Rb, la contribution de ⁸⁷Rb à la masse ⁸⁷Sr étant inférieure à 10⁻⁵ pendant la prise des mesures.

Les réactifs utilisés sont tous purifiés par évaporation de surface dans des distillateurs en silice ou en teflon à partir de réactifs de grade analytique. Le blanc total de procédure est de l'ordre de 3 ng de Sr.

Le Sr a été enregistré sur un spectromètre VG 54E en double collection après chargement sur monofilament de tantale sur lequel on a au préalable déposé une microgoutte d'acide phosphorique 1M.

Le Rb chargé sur simple filament de tantale a été enregistré sur un spectromètre de masse MS 2.

Les rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr mesurés sont normalisés à un rapport ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0,1194 pour corriger le fractionnement de masse associé à la thermoionisation.

Les mesures réalisées sur le standard NBS 987 ont donné ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,710237 ± 0,000020 (2 σ). Les isochrones sont calculées selon York (1969) avec une erreur de 1,5 % sur le rapport Rb/Sr et de 0,010 % sur le ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr.

2. — Granite des Colettes

Les échantillons ont été prélevés en surface sur l'ensemble du granite : 6 échantillons correspondent au granite des Colettes s.s. (faciès Nigon et faciès Mazet) 4 échantillons au faciès Croix Lambin. Les résultats de l'étude isotopique (tableau 1) montrent une importante dispersion des points dans le diagramme ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (fig. 1) aucune relation ne semble exister entre cette dispersion et le lieu de prélèvement ou la nature pétrographique des échantillons. A titre indicatif deux droites de références à 300 Ma ont été tracées (S₁ = 0,730 et 0,760). La méthode Rb/Sr sur roches totales ne peut donc fournir l'âge de mise en place du granite des Colettes.

N°	ECHANTILLON	Rb $\mu\text{g/g}$	Sr $\mu\text{g/g}$	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
E F P	1	619	58,4	31,2	0,88167
E F P	2	548	44,9	36	0,89019
E F P	3	523	47	33	0,93715
E F P	6	549	52	31,1	0,89036
E F P	8	570	43,2	39	0,90078
E F P	21	601	59,5	29,7	0,88905
E F P	22	618	42,4	43,1	0,94153
E F P	23	554	79	20,6	0,8186
E F P	28	542	56,7	28,1	0,8612
	2135	521	38,2	40,1	0,8688

Tabl. 1. — Résultats analytiques : Teneurs en Rb, Sr et rapports isotopiques
Granite des Colettes s.s. n^{os} 1, 8, 21, 22, 23, 28
Faciès Croix Lambin n^{os} 2, 3, 6, 2135

— Analytical results : Rb, Sr concentrations and isotopic data
Les Colettes s.s. granite n^{os} 1, 8, 21, 22, 23, 28
Croix Lambin facies n^{os} 2, 3, 6, 2135

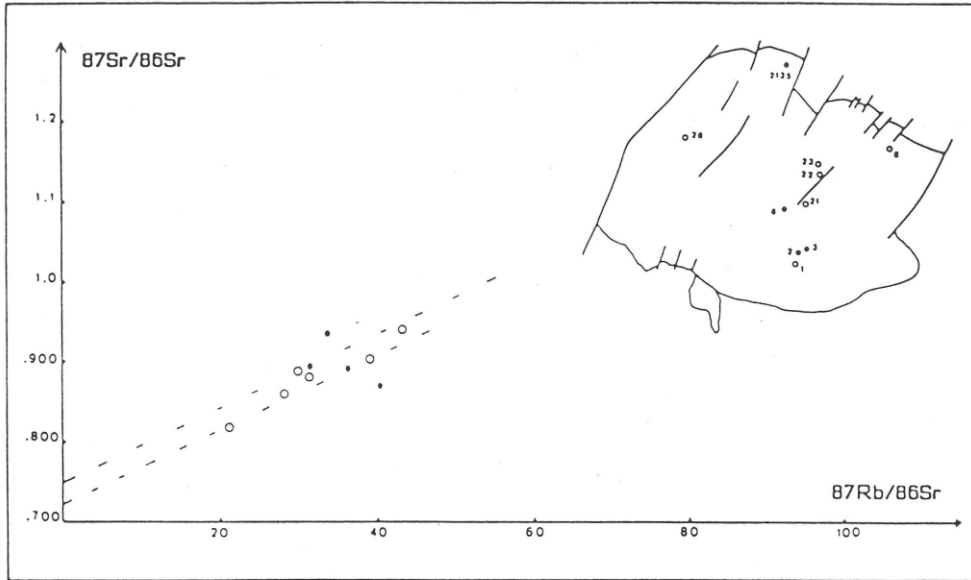


Fig. 1. — Diagramme isochrone pour le granite des Colettes, et localisation des échantillons étudiés.
 (O) Granite des Colettes s.s. (●) Faciès Croix Lambin
 — — Droites de référence (300Ma, Sri = 0,730 et 0,760)

Rb-Sr isochron diagram for the Colettes granite, and localization of the studied samples.
 (O) Les Colettes granite s.s. (●) Croix Lambin faciès
 — — Reference lines (300 M.y., Sri = 0,730 and 0,760)

3. — Granite de Beauvoir

Le forage GPF Échassières n° 1 a traversé le granite de Beauvoir sur environ 700 m. Les études pétrographiques, minéralogiques et chimiques ont mis en évidence une zonation du granite en trois types principaux. (Rapport GPF (3), 1985, Cuney et al., 1986).

Les échantillons ont été choisis en fonction de leur description pétrographique et de leurs caractéristiques qui ont permis d'assurer leur représentativité, et de leur état de fraîcheur. Le log chimique du sondage (Rossi et al., ce volume) montre des variations très importantes de la teneur en Sr, assez surprenantes dans ces granites à albite. La teneur en Rb diminue plus régulièrement avec la profondeur. Les échantillons utilisés pour cette étude isotopique ont été choisis dans la gamme des variations moyennes de Sr.

Six échantillons appartiennent au type 1 hololeucocrate caractérisé par une lépidolite presque dépourvue de fer, entre -100 et -400 m; sept du type 2 hololeucocrate à lépidolite ferrifère dorée, entre -520 et -680 m, enfin deux échantillons correspondent au type 3 caractérisé par la présence de feldspaths potassiques roses, situés entre -740 et -780 m. (tabl. 2).

Les six échantillons de type 1 s'alignent selon une isochrone (MSWD = 1,2) dont l'âge est de 299 ± 9 Ma (2σ), avec un rapport initial du strontium $Sr_i = 0,7153 \pm 0,0067$ (tabl. 3 et fig. 2).

Les sept échantillons de type 2 déterminent également une isochrone (MSWD = 2,2) d'âge $t = 312 \pm 8$ Ma (2σ), avec un $Sr_i = 0,7101 \pm 0,0069$ (tabl. 3, fig. 3).

D'autre part, une lepidolite extraite d'une « pegmatite emballée » dans le type 1 de la carrière de Beauvoir et un greisen donnent respectivement des âges de 315 Ma et 292 Ma avec un $Sr_i = 0,715$ ou de 315 et 294 avec un $Sr_i = 0,710$.

Numéro BRGM	Cote en m.	
70	109.30 à 120.45	} Type 1
72	122 à 139.53	
66	202.90 à 213.20	
64	266.65 à 288.30	
41	288.50 à 300.25	} Type 2
54	378.25 à 394.05	
46	524.60 à 536.25	} Type Rose
35	572.15 à 584.50	
36	613.80 à 618.30	
37	618.30 à 620.30	
6	633.00 à 645.20	} Type 2
8	650.57 à 660.00	
5	660.00 à 672.10	
19	740.60 à 741.90	} Type Rose
24	780.60 à 781.20	

Tabl. 2. — Liste des échantillons analysés et cote dans le sondage GPF Granite de Beauvoir.

List of analysed samples and depth in the bore hole for the three Beauvoir granite types.

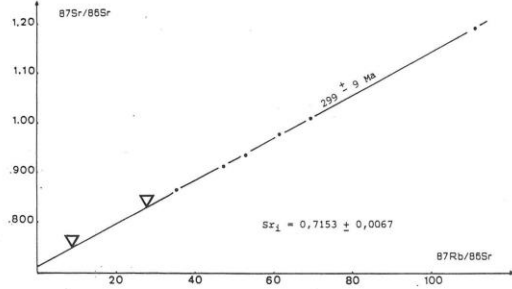


Fig. 2. — Diagramme isochrone pour le granite de Beauvoir type 1 (●). Les 2 points (▽) correspondent au type 3 (rose) et n'ont pas été pris en compte pour le calcul. Rb-Sr isochron diagram for Beauvoir granite type 1 (●). The two points (▽) of the type 3 (pink) are omitted for the calculation of the isochron.

TYPE 1				
N° BRGM	Rb µg/g	Sr µg/g	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
70	3848	320.5	35.27	0.86711
72	3708	209.5	52.35	0.93607
66	3857	186.3	61.47	0.97645
64	3501	95.5	111.04	1.1910
41	3388	212.2	47.13	0.91474
54	2929	125.8	69.35	1.0105
TYPE 2				
48	2327	105	85.88	0.99703
35	2184	58.7	112.8	1.2127
36	2052	242.2	24.79	0.82288
37	2049	64.8	95.28	1.1349
6	1922	179.6	31.35	0.84730
8	1930	97	58.89	0.97289
5	1901	90.5	62.43	0.98663
TYPE ROSE				
19	1929	205.9	27.44	0.83545
24	1708	498.4	9.97	0.76158
GREISEN (G) et LEPIDOLITE (L)				
G	4250	115	112	1.178
L	14880	17.7	2646	12.58

Tabl. 3. — Teneurs en Rb, Sr et rapports isotopiques pour : les 3 types du granite de Beauvoir ; un greisen de ce granite et une lépidolite du granite de type 1. Rb, Sr concentrations and isotopic data for : the three Beauvoir granite types, one greisen of this granite and a lepidolite of the type 1 granite

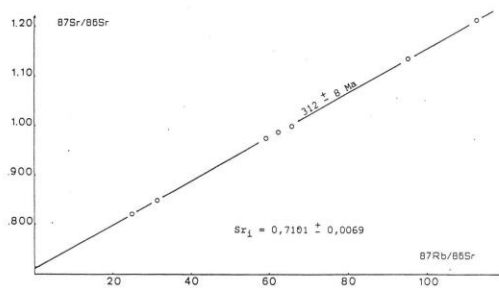


Fig. 3. — Diagramme isochrone pour le granite de Beauvoir type 2. Rb-Sr isochron diagram for Beauvoir granite type 2

3. — Interprétation des résultats. Discussion

L'étude isotopique Rb-Sr sur roches totales n'a pas permis d'obtenir d'isochrone pour le granite des Colettes, son âge ne peut être déterminé par cette méthode.

Par contre l'étude du granite de Beauvoir a permis d'obtenir deux âges significativement différents d'un point de vue statistique, bien que les erreurs se recouvrent : 299 ± 9 Ma pour le type 1 le plus superficiel et 312 ± 8 Ma pour le type 2 situé sous le précédent.

Le passage entre les deux types est réalisé par une « zone intermédiaire » où les deux faciès alternent avec des contacts nets vers 520 m (C. Gagny, T. Jacquot 1985). On y note également une importante zone de failles avec brèche silicifiée. Ces deux types principaux sont caractérisés par des différences minéralogiques (G. Monier, M. Teygey, 1985), des différences de résistivité importantes — le granite supérieur étant moins résistant que le granite inférieur —, ainsi que par des variations plus faibles de la radioactivité et une faible dérive de la densité. L'étude Rb-Sr montre également des différences importantes dans la teneur en Rb de ces deux types : le type 1 a une teneur moyenne de l'ordre de 3 000 à 4 000 ppm alors que le type 2 a une teneur plus faible et plus homogène de 1 900 à 2 300 ppm. Les teneurs en Sr semblent également plus faibles dans le type 2. Toutefois pour Gagny et Jacquot (1985) « aucun indice ne permet de penser à des injections successives ».

Les deux âges obtenus peuvent être interprétés soit comme ceux de la mise en place de deux magmas — constituant les types 1 et 2 du granite de Beauvoir, soit en considérant qu'il ne s'agit que d'une seule venue magmatique à 312 Ma rajeunie à 299 Ma dans sa partie supérieure par des phénomènes hydrothermaux importants qui ont favorisé une rehomogénéisation isotopique.

Les rapports isotopiques initiaux différents (0,7153 et 0,7101) bien que peu précis, ainsi que les caractéristiques pétrographiques, minéralogiques, chimiques et physiques énoncées auparavant sont en faveur de la première hypothèse. De plus la valeur du Sri de l'isochrone à 312 Ma (0,7101) calculée à 299 Ma donne 0,721. Cette valeur supérieure à celle obtenue à partir de l'isochrone (0,7153) montre qu'en toute rigueur le type 1 ne peut provenir directement par différenciation d'un même réservoir magmatique du type 2. Le manque de précision pour les valeurs des Sr initiaux nuance cependant cette affirmation. Cette hypothèse demande à être confirmée, en particulier par l'obtention de valeurs précises pour les Sri. L'analyse d'apatites primaires des deux types de granites devrait permettre de résoudre ce problème.

Les âges obtenus sur la lépidolite et le greisen apportent des contraintes sur la signification des âges.

Les lépidolites appartiennent d'après G. Aubert (1969) à la première phase de cristallisation du granite de Beauvoir et l'âge de 315 Ma obtenu est identique à celui du faciès profond type 2 (312 Ma). Cette venue magmatique est donc bien calée chronologiquement.

Par contre, l'âge de 292 Ma peut correspondre à la phase « pneumatolytique » de G. Aubert ou « d'altération hydro-

thermale chaude conduisant à la formation des greisens » (Dudoignon et Meunier 1985). Dans ce cas, on serait en présence d'un seul magma mis en place vers 312-315 Ma. Un important phénomène aurait ensuite rehomogénéisé la partie apicale du granite vers 299-292 Ma.

Le choix entre ces deux hypothèses : mise en place de deux magmas ou d'un seul magma est développé dans la conclusion.

Par leurs valeurs élevées, les Sri confirment l'origine crustale de ces granites. D'autre part, leurs valeurs différentes peuvent indiquer que des sources de nature différentes interviennent dans la genèse de ces magmas. Actuellement la composition et la nature de ces sources ne peuvent être définies : s'agit-il d'injection de magmas formés ailleurs, de magmas ayant des relations avec les roches encaissantes bien que celles-ci soient loin des conditions de fusion partielle (percolation, échanges isotopiques...?)

Quant au faciès rose, de nouvelles mesures doivent être réalisées pour fixer son âge, les deux échantillons étudiés semblent s'aligner sur l'isochrone du type 1 (voir fig. 2).

L'hétérogénéité isotopique Rb-Sr du granite des Colettes peut être due à plusieurs causes (J.L. Duthou, 1985). On peut penser que l'altération *s.l.* importante, est en partie responsable de celle-ci. Ce granite est en effet affecté par une importante kaolinisation qui est due à la superposition de plusieurs épisodes hydrothermaux (de haute puis de basse température) ainsi qu'à une altération supergène (P. Dudoignon, A. Meunier, 1985). Une étude Sm-Nd, éléments *a priori* peu sensible à ces phénomènes devrait permettre de mieux cerner ce problème. Le granite des Colettes bien que recoupé par le granite de Beauvoir lui serait « pénécemporain » (Jacquot et Gagny, 1985) et son âge serait de l'ordre de 315 Ma.

4. — Conclusions

L'étude Rb-Sr de l'ensemble des granites de l'apex granitique d'Échassières permet de proposer les conclusions suivantes :

— Les deux types principaux du granite de Beauvoir définis sur la base de leurs caractéristiques pétrographiques minéralogiques et physiques permettent la construction de deux isochrones différentes : 312 Ma (base du Westphalien) pour le type 2 ($Sr_1=0,715$) et 299 Ma (sommet du Westphalien) pour le type 1 ($Sr_1=0,710$). Deux hypothèses peuvent être envisagées pour rendre compte de ces données.

1 — soit les âges différents et les caractéristiques physico minéralogiques sont initiaux et d'origine magmatique. Dans ce cas, on est en présence de granites indépendants, d'origine et de mise en place distinctes.

2 — soit ces différences (âge et caractéristiques générales) ont été acquises postérieurement à la mise en place d'un seul et unique massif vers 312 Ma. Dans ce cas, un événement à environ 299 Ma aurait induit une réhomogénéisation isotopique ainsi que les autres modifications (pétrographie, minéralogie physique) du type 1. Cet épisode serait également responsable de la greisenisation à 294 Ma environ.

Les travaux de Gagny et Jacquot (1985) mettent l'accent sur l'absence de frange de type « contact froid » et suggèrent

plutôt un état visqueux des deux types en contact. Compte tenu du caractère superficiel de l'intrusion, ces observations sont en faveur de la contemporanéité des deux types du granite de Beauvoir. Ceux-ci auraient un âge de 312 Ma (isochrone roche totale pour le type 2) à 315 Ma (âge d'une lépidolite).

Par conséquent, une remobilisation locale à environ 299 Ma (isochrone roche totale pour le type 1), 292 Ma (âge d'un greisen) paraît *a priori* plus compatible avec les données actuellement disponibles.

— le granite des Colettes, antérieur ou synchrone présente une importante hétérogénéité isotopique du Sr et n'a donc pu être daté par cette méthode.

— l'origine crustale du granite de Beauvoir est confirmée par les valeurs élevées des rapports initiaux du strontium.

Plusieurs problèmes restent à résoudre, en particulier : les causes de l'hétérogénéité isotopique du granite des Colettes, les relations ou rapports éventuels entre les micaschistes et ou le granite des Colettes avec le granite de Beauvoir (liaison génétique ? assimilation ?...), le rôle de l'altération *s.l.* sur les systèmes isotopiques dans le granite de Beauvoir.

Des études Sm/Nd sur ces différents granites (et K/Ra pour les altérations) et sur l'encaissant micaschisteux pourraient apporter des éléments de réponse à ces problèmes.

Références bibliographiques

- AUBERT G. (1969). — Les coupôles granitiques de Montebas et d'Échassières (Massif Central Français) et la genèse de leur minéralisation en étain, lithium, tungstène et beryllium Mémoire BRGM, n° 46, 349 p.
- CUNEY M., AUTRAN A., BURNOL L., BROUAND M., DUDOIGNON P., FEYBESSE J., GAGNY C., JACQUOT T., KOSAKEVITCH A., MARTIN P., MEUNIER A., MONIER G., TEYGEY M. (1986). — Résultats préliminaires apportés par le sondage GPF sur la coupole du granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir (Massif Central, France), *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 302, 11, 7 pp. 569-574.
- DUDOIGNON P., MEUNIER A. (1985). — La kaolinisation de l'apex granitique d'Échassières : les altérations hydrothermales des différents faciès des Colettes éloignés du contact avec l'albite et des micaschistes. In Doc. BRGM n° 95-8, Programme géologie profonde de la France, GPF 2, thème 8, pp. 137-149.
- DUTHOU J.L. (1985). — Étude isotopique et géochimie Rb-Sr de l'apex granitique d'Échassières (Allier). In Doc. BRGM n° 95-8, Programme géologie profonde de la France, GPF 2, thème 8, pp. 159-167.
- GAGNY C., JACQUOT T. (1985). — Présentation de quelques problèmes mis en évidence par la pétrologie structurale. Forage profond Echassières n° 1 sur le granite de Beauvoir (Échassières. Allier). In Doc. BRGM n° 100. Programme géologie profonde de la France, GPF 3, thème 8, p. 139-163.
- G. P. F. (3), (1985). — Forage Echassières N°1 — Rapport d'exécution et descriptions préliminaires. Documents du BRGM n° 100, 323 p.
- JACQUOT T., GAGNY C., (1985). — Pétrologie structurale du massif d'Échassières (Massif Central Français) : mise en évidence de l'activité de linéaments lors de la genèse. In Doc. BRGM n° 95-8. Programme géologie profonde de la France, GPF 2, thème 8, pp. 39-53.
- MONIER G., TEYGEY M. (1985). — La pétrographie des différents faciès. Étude pétrographique préliminaire. In Doc. BRGM n° 100. Programme géologie profonde de la France, GPF 3, thème 8, pp. 41-58.