

MINÉRAUX DISSÉMINÉS COMME INDICATEURS DU CARACTÈRE PEGMATITIQUE DU GRANITE DE BEAUVOIR, MASSIF D'ÉCHASSIÈRES, ALLIER, FRANCE

WANG RU CHENG*, FRANÇOIS FONTAN ET PIERRE MONCHOUX

Laboratoire de Minéralogie, URA 67, 39 Allées Jules Guesde, Université Paul Sabatier, 31000 Toulouse, France

SOMMAIRE

Le granite de Beauvoir, du massif d'Échassières, dans le Massif Central (France), a fait l'objet d'un sondage profond, qui a permis d'y distinguer trois faciès. Outre les minéraux majeurs, quartz, albite, feldspath K et lépidolite, ce granite contient des minéraux accessoires à Zr, Hf, Sn, Ta et Nb. Le caractère pegmatitique du granite est mis en évidence par les teneurs en Hf du zircon, teneurs qui correspondent plutôt à celles de zircon pegmatitique, plus particulièrement lorsque celui-ci est associé à la cassitérite. De plus, une nette corrélation est mise en évidence entre Hf et Ta. Dans ce granite, 30% des grains de cassitérite ont des teneurs en Ta+Nb qui les rangent dans le domaine pegmatitique. De même, la composition des niobotantalates (columbite, tantalite, microlite, ashanite) indique une tendance pegmatitique, qui s'accroît nettement du faciès B3 au faciès B1.

Mots-clés: granite, pegmatitique, zircon, hafnium, niobotantalates, Beauvoir, massif d'Échassières, France.

ABSTRACT

The Beauvoir granite, part of the Échassières complex, in the Massif Central, France, was investigated by means of a deep drill-hole, which permitted the identification and sampling of three facies. In addition to the main minerals, quartz, albite, K-feldspar and lepidolite, this granite contains accessory minerals with Zr, Hf, Sn, Ta and Nb. The pegmatitic affinity of the granite is shown by the Hf contents of the zircon, which correspond more to those of pegmatitic zircon, especially where it is in association with cassiterite. Furthermore, a clear correlation is shown between Hf and Ta. In this granite, 30% of the cassiterite grains have a Ta+Nb content that places them in the pegmatite domain. Similarly, the composition of the niobotantalates (columbite, tantalite, microlite, ashanite) reveals a pegmatite affinity. This pegmatitic character clearly increases from facies B3 to facies B1.

Keywords: granite, pegmatite, zircon, hafnium, niobotantalates, Beauvoir, Échassières massif, France.

INTRODUCTION

Dans le cadre du programme de forages à objectif scientifique "Géologie Profonde de la France" (G.P.F.), plusieurs thèmes d'étude avaient été retenus, et notamment celui sur les leucogranites peralumineux bien représentés dans la chaîne hercynienne européenne. Parmi les massifs de ce type envisagés pour l'implantation d'un sondage, le granite de Beauvoir-Échassières est apparu comme le plus favorable pour plusieurs raisons: son degré d'évolution, ses minéralisations en éléments rares, ses dimensions réduites, et enfin les nombreux travaux dont il a déjà fait l'objet. Le massif d'Échassières se situe au nord du Massif Central (Fig. 1), à 40 km au NNO de Clermont-Ferrand. Le granite de Beauvoir ne forme qu'une partie de ce complexe, dont il est l'unité la plus récente; il affleure sur 6 km² au centre de l'antiforme métamorphique de la Sioule. C'est un granite leucocrate à albite et lépidolite minéralisé en Sn,

Nb, Ta, Be et Li. Le sondage (Fig. 2) réalisé dans ce granite a d'abord traversé un stockwerk à ferberite (Aïssa *et al.* 1987), puis de 97 à 480 m, une zone à lépidolite et albite (faciès B1), de 480 à 746 m, une zone à lépidolite ferrière (faciès B2) et, enfin, de 746 à 789 m, une zone à feldspath potassique rosé (faciès B3) (Autran et Burnol 1985). L'affinité pegmatitique de ces paragenèses, auxquelles est associée la topaze, est également attestée par les compositions particulières des minéraux accessoires: zircon, cassitérite et niobotantalates (Wang 1988).

ZIRCON

Description minéralogique

Le zircon est présent partout dans le granite, avec une distribution quasi-homogène tout au long du sondage. Ces cristaux sont subautomorphes, de faciès octaédrique et de taille inférieure à 0,1 mm, le plus souvent inclus dans lépidolite et topaze, dans lesquelles ils provoquent l'apparition de halos pléochroïques, dus à la radioactivité. La métamictisation du zircon est répandue, ainsi que l'hydratation de sa bordure. Il est souvent associé

*Adresse actuelle: Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210008, People's Republic of China.

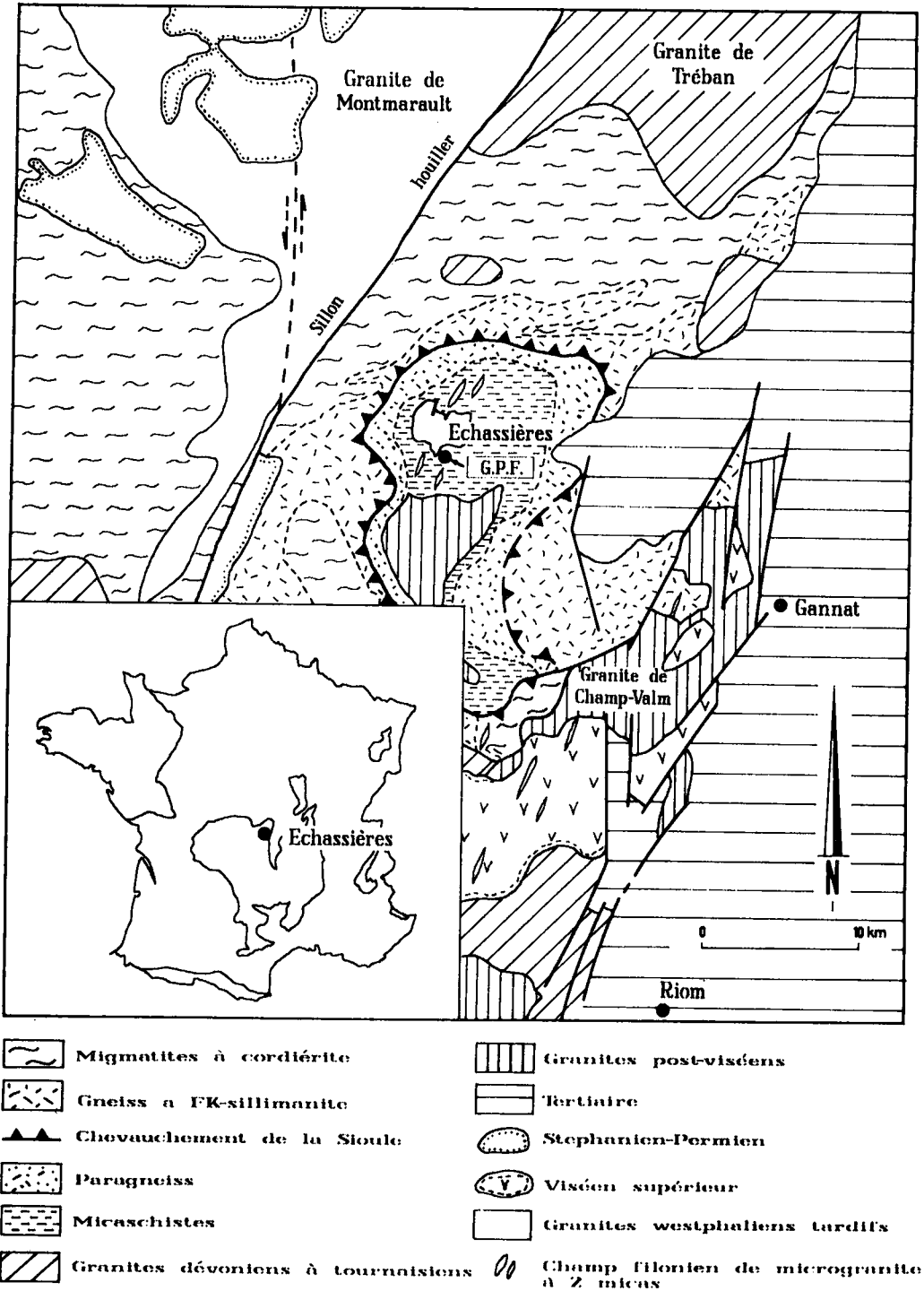


FIG. 1. Localisation du massif de Beauvoir (G.P.F.). Carte d'après Cuney et Autran (1987).

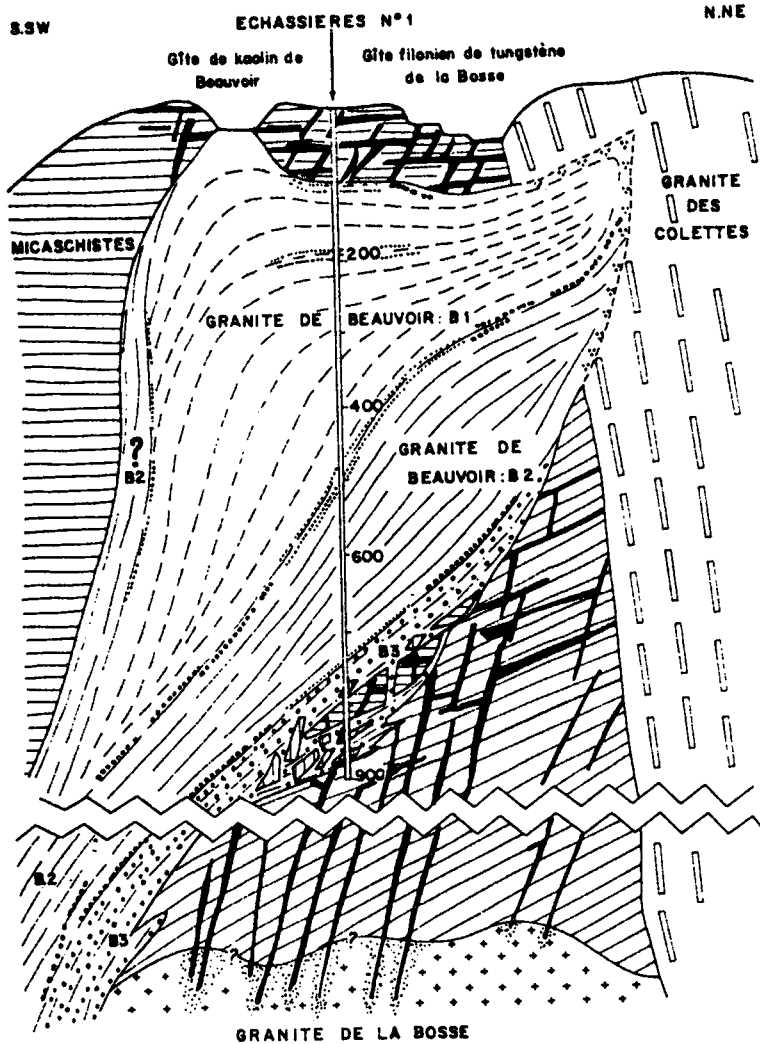


FIG. 2. Sondage GPF et coupe du granite de Beauvoir (d'après Cuney et Autran 1987).

étroitement aux minéraux métalliques, avec une nette prédominance pour la cassitérite; il peut être en inclusion dans cette dernière ou au contraire l'inclure. A la cote 553 m, un cristal de zircon a montré quelques petites inclusions d'uraninite.

Composition chimique

Nous avons effectué 24 analyses à la microsonde (Cameca SX 50) sur 17 cristaux de zircon des trois faciès; les résultats figurent dans le Tableau 1. Le total des pourcentages pondéraux en oxydes varie généralement de 91,0 à 99,5%, le déficit étant probablement dû à l'hydratation des cristaux consécutive à la métamicti-

sation; on note en effet une augmentation forte et progressive de ce déficit du cœur vers la bordure du cristal. De plus, cette hydratation, concomitante d'une augmentation de volume, peut entraîner une fissuration radiale du cristal hôte (Fig. 3). Les cristaux de zircon présentent des teneurs en HfO_2 supérieures à 2,5% en poids dans les échantillons analysés. Les teneurs les plus élevées en HfO_2 (Tableau 1, anal. 7 et 15) sont atteintes par des cristaux avoisinant ou incluant la cassitérite (Fig. 4) riche en tantale [$\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb}) > 0,50$]. Dans chaque cas, des grains de zircon pris à la même cote, mais à distance de la cassitérite, montrent des teneurs nettement inférieures (Figures 5a, 5b). On note cependant une exception: un grain de zircon (Tableau 1, anal. 11) inclus

TABLEAU 1. COMPOSITION CHIMIQUE DU ZIRCON DU GRANITE DE BEAUVOIR

		N°Cristl	N°Anal	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	UO ₂	ThO ₂	PbO	Total
B1	A	1	2	30,10	58,26	3,59	1,06	0,00	0,02	93,03
	B	2	1	29,10	57,05	3,95	0,88	0,05	0,00	91,03
	C	3	2	28,14	55,66	3,55	6,92	0,10	0,20	94,57
		4	28,37	54,72	3,51	7,63	0,00	0,22	0,00	94,55
	D	5	29,56	58,27	3,49	0,55	0,15	0,00	0,00	92,02
	E	6	29,11	57,16	4,84	0,42	0,01	0,05	0,00	91,59
	F	7	32,37	58,65	8,11	0,13	0,23	0,05	0,00	99,54
		8	25,32	54,69	6,17	0,73	0,12	0,11	0,00	87,34
		9	20,50	51,76	5,65	0,49	0,09	0,20	0,00	78,69
	G	10	29,70	59,13	4,53	0,51	0,02	0,01	0,00	93,90
	H	11	27,83	54,60	3,64	7,54	0,08	0,55	0,00	94,71
	I	12	27,69	47,91	18,76	0,00	0,35	0,00	0,00	94,71
		13	28,42	56,40	6,65	0,82	0,00	0,02	0,00	92,31
B2	J	14	14	32,25	60,59	5,06	0,37	0,00	0,00	98,27
	K	15	15	30,97	58,65	6,05	0,48	0,01	0,00	96,16
	L	16	16	32,48	62,59	3,90	0,02	0,00	0,07	99,06
	M	17	17	29,74	59,51	2,72	1,10	0,00	0,08	93,15
		18	28,75	57,32	2,53	4,37	0,00	0,22	0,00	93,19
		19	29,43	57,34	2,70	4,85	0,00	0,14	0,00	94,46
	N	20	26,31	57,80	3,86	0,64	0,00	0,00	0,00	88,61
	21	23,98	55,33	2,39	1,67	0,00	0,00	0,00	83,37	
B3	O	22	22	29,23	57,06	3,22	1,48	0,00	0,00	90,99
	P	23	23	30,27	58,64	3,59	1,36	0,00	0,12	93,98
	Q	24	24	27,50	56,28	2,54	4,45	0,06	0,07	92,89

Résultats d'analyse de 24 cristaux de zircon par microsonde électronique CAMEBAX SX 50). Conditions analytiques: 15 kV, 20 nA, temps de comptage 20 secondes, corrections PAP. Étalons: andradite (Si), Zr métal (Zr), galène (Pb), ThO₂ (Th), UO₂ (U).

dans la cassitérite montre une teneur plus faible en HfO₂ qu'un autre (Tableau 1, anal. 10) de même niveau, mais non associé à la cassitérite; cette différence se trouve compensée par une forte teneur en UO₂. Aucune inclusion d'uraninite n'est visible au microscope dans ce grain; on peut donc penser que ce dernier, de composition différente des précédents, résulte d'une cristallisa-

tion précoce, antérieure à celle de la cassitérite. Ce résultat est confirmé par un autre exemple (Tableau 1, anal. 3, 4). Notons que le zircon contient pratiquement toujours de l'uranium, mais avec des teneurs inférieures à 1% dans le faciès B1, sauf dans le zircon inclus dans la cassitérite (Tableau 1, crist. C, H: 6,9 à 7,6% HfO₂), bien que ces teneurs soient inférieures à celles signalées par Cuney & Brouand (1987). Les exemples de zircon hafnifère décrits par plusieurs auteurs sont toujours dans des pegmatites (Levinson & Borup 1960, von Knorring & Hornung 1961, Quadrado & Lima de Faria 1966, Correia Neves *et al.* 1974, Černý & Siivola 1980, Fontan *et al.* 1980, Cassedanne *et al.* 1985). Si l'on reporte les résultats d'analyses du Tableau 1 dans le diagramme de Černý *et al.* (1985) (Fig. 6), on remarque que le zircon du faciès B1 tombe invariablement dans le domaine pegmatitique, et celui des faciès B2 et B3, dans les domaines pegmatitique et granitique. Ainsi, le caractère pegmatitique du granite s'affirme de plus en plus, du faciès B3 au faciès B1. Plusieurs auteurs ont signalé que le zircon hafnifère est en relation avec les minéraux riches en tantale, (von Knorring & Hornung 1961, Quadrado & Lima de Faria 1966, Černý & Siivola 1980, Fontan *et al.* 1980). Dans les pegmatites des Pyrénées ariégeoises, Fontan *et al.* (1980) ont noté que les variations de teneurs en hafnium d'un cristal de zircon à l'autre sont liées d'une part au voisinage des niobotantalates, et d'autre part à la teneur en tantale de ces derniers. Dans le granite de Beauvoir, la richesse en Hf du zircon est en relation avec la proximité de la cassitérite à Nb-Ta (Figures 5a, 5b).

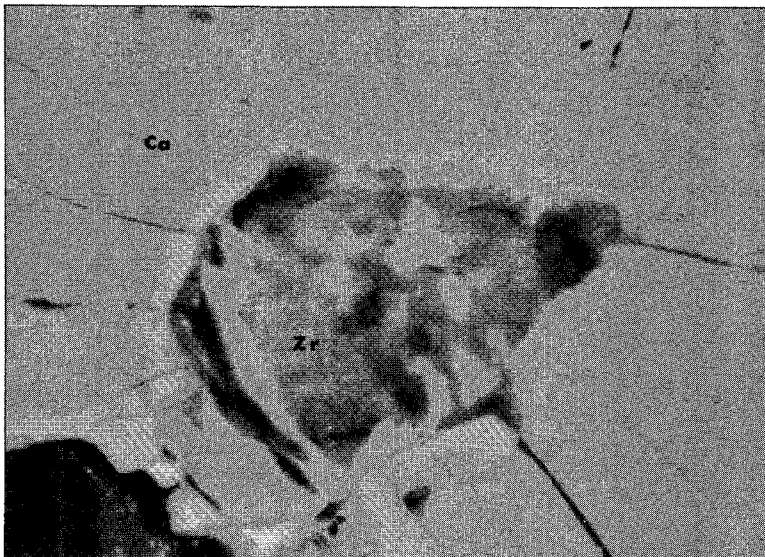


FIG. 3. Inclusion de zircon (Zr) uranifère métamictite (Tableau 1, anal. 11; Fig. 5a) provoquant

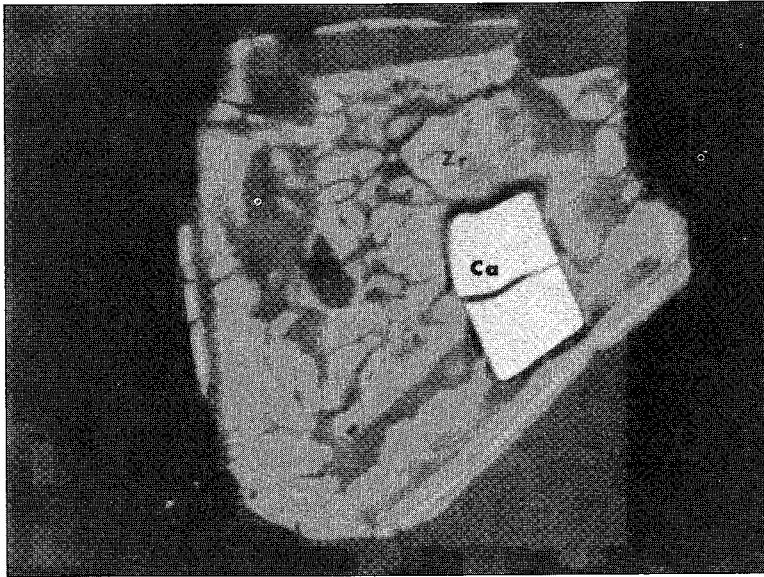


FIG. 4. Inclusion de cassitérite (Ca) dans un grain de zircon zoné (Zr). La zone sombre proche de la bordure est plus riche en Hf (Tableau 1, anal. 15; Fig. 5b) que la zone centrale (anal. 14); bordure claire hydratée. Photo MEB; échelle: 10 µm.

CASSITÉRITE

La cassitérite est dispersée au sein du granite, généralement incluse dans topaze et lépidolite, moins couramment dans l'albite, et rarement dans le feldspath-K ou le quartz. L'abondance et la dimension des cristaux croissent du bas vers le haut. Maksimyuk & Lebedeva (1968) ont proposé que la teneur limite en Nb₂O₅+Ta₂O₅ susceptible de s'incorporer dans la cassitérite est de 4,1%. Cependant, ce seuil a été dépassé dans la cassitérite de pegmatites granitiques, par exemple 12,4% à Peerless, au Dakota du Sud (Černý *et al.* 1985). A Beauvoir, 30% des grains de cassitérite analysés ont des teneurs en excès de 4,1%, qui les rangent dans le domaine pegmatitique, la cassitérite provenant du granite ayant des teneurs plus faibles (Borisenko & Lizunov 1959).

NIOBOTANTALATES

Columbite

La columbite (*sensu lato*) se trouve sur toute la hauteur du sondage, incluse dans lépidolite, topaze et cassitérite. Comme pour cette dernière, l'abondance et la dimension des cristaux augmentent du faciès B3 au faciès B1 et elle s'enrichit progressivement en Ta et Mn de B3 à B1. Ohnenstetter & Piantone (1987, 1992) font état d'observations comparables, surtout pour le manganèse, ce qui est conforme à l'évolution de la columbite

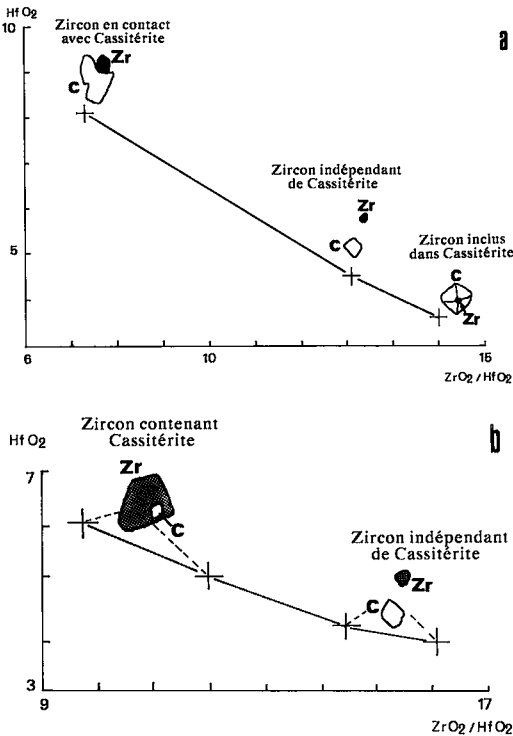


FIG. 5. Variation en HfO₂ versus ZrO₂/HfO₂, aux cotes 217 m (a) et 518 m (b), respectivement.

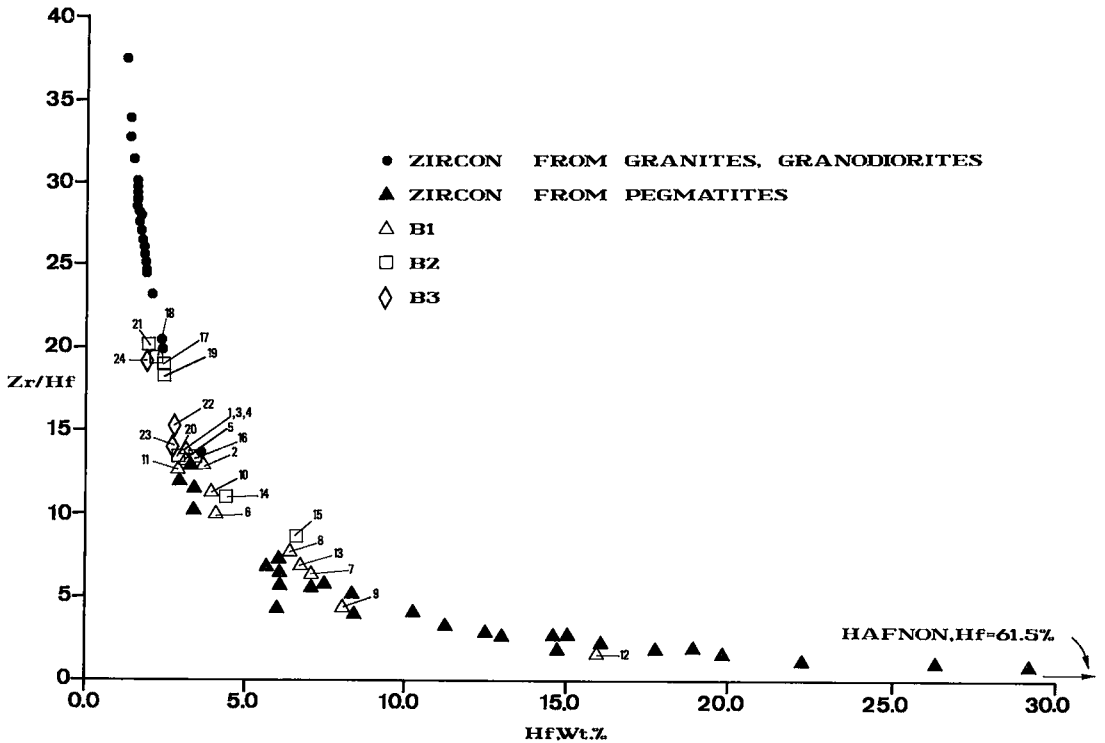


FIG. 6. Répartition du zircon des granites et pegmatites granitiques dans le diagramme Zr/Hf versus Hf, d'après Černý *et al.* (1985). Faciès B1, B2, B3: cette étude.

(*sensu lato*) spécifique des pegmatites (Černý *et al.* 1986).

Pyrochlore

Le pyrochlore (*sensu lato*) est courant dans la partie apicale du granite, mais sa présence diminue avec la profondeur, pour disparaître à la cote 560 m. Ici encore, la teneur moyenne en Ta et Nb correspond à celle de microlite de milieux pegmatitiques; les termes riches en Ta sont en effet strictement liés aux pegmatites granitiques (Foord 1982). Il faut signaler la présence inhabituelle de deux cristaux de pyrochlore (*sensu stricto*) tardifs associés à la columbite.

Ashanite

Ce minéral typomorphe de pegmatite n'a été rencontré qu'une seule fois dans le faciès B2, en syncristallisation avec la cassitérite et contenant de nombreuses inclusions de columbite; l'analyse indique qu'il s'agit d'ashanite manganésifère, qui doit être comparée à "l'ixiolite probable" signalée par Kosakevitch (1976).

CONCLUSIONS

Les caractères exceptionnels du granite de Beauvoir (leucogranite albitique à topaze et lépidolite, minéralisé en éléments rares) ont fait l'objet d'études concertées (structurales, géochimiques, minéralogiques, pétrologiques) dans le cadre du programme GPF. Fouillac *et al.* (1987) ont proposé un modèle d'évolution de ce granite, intégrant leurs résultats sur la géochimie isotopique de l'oxygène et ceux d'autres auteurs (Gagny et Jacquot 1985, Aïssa *et al.* 1987, Rossi *et al.* 1987). D'après ce modèle, une sursaturation en fluides serait atteinte au stade de cristallisation de la topaze dans le faciès B1; il en résulterait un dégazage, une fracturation hydraulique de l'encaissant, et une chute de la pression des fluides magmatiques permettant l'interaction de fluides extérieurs et du magma. La variation des conditions chimiques ainsi produite dans le système magmatique favoriserait la concentration des éléments rares dans les phases cristallisant.

Les données présentées ci-dessus sur les minéraux accessoires s'intègrent dans ce modèle. Les phases porteuses en éléments rares évoluent en composition au cours de la cristallisation pour atteindre, dans le faciès

B1, des compositions propres aux pegmatites granitiques: la columbite s'enrichit en Ta et Mn, le pyrochlore, en Mn, la cassitérite, en Nb et Ta, le zircon, en Hf, ces deux dernières phases étant préférentiellement associées.

Par ces compositions particulières et par la présence de minéraux typomorphes de pegmatites granitiques, le granite de Beauvoir manifeste un caractère typiquement pegmatitique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les deux lecteurs anonymes ainsi que le rédacteur associé pour leurs remarques et leurs suggestions constructives.

RÉFÉRENCES

- AÏSSA, M., WEISBROD, A. & MARIIGNAC, C. (1987): Le stockwerk à ferberite d'Échassières: évolution spatiale et temporelle: cristalochimie des ferberites. *Géol. France* **2-3**, 311-333.
- AUTRAN, A. & BURNOL, L. (1985): Présentation synthétique des résultats du log lithologique du forage GPF 3. *Bur. Rech. Géol. Min., Doc.* **100**, 21-38.
- BORISENKO, L.F. & LIZUNOV, N.V. (1959): The occurrence of scandium and some other rare elements in cassiterite. *Geochemistry*, no. **1**, 76-82.
- CASSEDANNE, J.P., BAPTISTA, A. & ČERNÝ, P. (1985): Zircon hafnifère, samarskite et columbite d'une pegmatite du Rio Doce, Minas Gerais, Brésil. *Can. Mineral.* **23**, 563-567.
- CERNY, P., GOAD, B.E., HAWTHORNE, F.C. & CHAPMAN, R. (1986): Evolution of the Nb-Ta oxide minerals in the Greer Lake pegmatitic granite and its pegmatite aureole, south-eastern Manitoba. *Am. Mineral.* **71**, 501-517.
- _____, MEINTZER, R.E. & ANDERSON, A.J. (1985): Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. *Can. Mineral.* **23**, 381-421.
- _____ & SIVOLA, J. (1980): The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XII. Hafnian zircon. *Can. Mineral.* **18**, 313-321.
- CORREIA NEVES, J.M., LOPES NUNES, J.E. & SAHAMA, T.G. (1974): High hafnium members of the zircon-hafnon series granite pegmatites of Zambezia, Mozambique. *Contrib. Mineral. Petrol.* **48**, 73-80.
- CUNEY, M. & AUTRAN, A. (1987): Objectifs généraux du projet GPF Echassières n1 et résultats essentiels acquis par le forage de 900 m sur le granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir. *Géol. France* **2-3**, 7-23.
- _____, _____ & BURNOL, L. (1985): Premiers résultats apportés par le sondage G.P.F. de 900 m réalisé sur le granite sodolithique et fluoré à minéralisation disséminée de Beauvoir (complexe granitique d'Echassières, Massif Central, France). *Chron. Rech. Min.* **481**, 59-63.
- _____ & BROUAND, M. (1987): Minéralogie et géochimie de U et Th dans le granite de Beauvoir et les micaschistes encaissants. Comparaison avec la géochimie de l'étain. *Géol. France* **2-3**, 247-257.
- FONTAN, F., MONCHOUX, P. & AUTEFAGE, F. (1980): Présence de zircons hafnifères dans des pegmatites granitiques des Pyrénées ariégeoises; leur relation avec les niobo-tantalates. *Bull. Minéral.* **103**, 88-91.
- FOORD, E. E. (1982): Minerals of tin, titanium, niobium and tantalum in granitic pegmatites. In *Granitic Pegmatites in Science and Industry* (P. Černý, ed.). *Mineral. Assoc. Can., Short-Course Handbook* **8**, 187-238.
- FOUILLAC, A.M., KOSAKEVITCH, A., MERCERON, T., MEUNIER, A. & ROSSI, P. (1987): Comportement des fluides dans l'évolution magmatique puis hydrothermale du granite à Ta, Nb, Li de Beauvoir, d'après la géochimie isotopique de l'oxygène et de l'hydrogène. *Géol. France* **2-3**, 279-293.
- GAGNY, C. & JACQUOT, T. (1985): Présentations de quelques problèmes mis en évidence par la pétrologie structurale. Forage profond d'Echassières n° 1 sur le granite de Beauvoir. *Bur. Rech. Géol. Min., Doc.* **100**, 137-163.
- VON KNORRING, O. & HORNING, G. (1961): Hafnian zircons. *Nature* **190**, 1098-1099.
- KOSAKEVITCH, A. (1976): Évolution de la minéralisation en Li, Ta et Nb dans la coupole granitique de Beauvoir (massif d'Echassières, Allier). *Bur. Rech. Géol. Min., Rapp. DGRST* **76**, SGN, 316, MGA.
- LEVINSON, A.A. & BORUP, R.A. (1960): High hafnium zircon from Norway. *Am. Mineral.* **45**, 562-565.
- MAKSIMYUK, I.E. & LEBEDEVA, S.I. (1968): A study of the physical properties of cassiterite with the aim of finding out the form of occurrence for their tantalum and niobium. *Fiz. Svoistv. Redkometal. Mineral. i. Metodi ikh Issledov. Izdat. "Nauka", Moscow* (31-43; in Russ.).
- OHNSTETTER, D. & PIANTONE, P. (1987): Géochimie et évolution des minéraux du groupe des columbo-tantalites et du groupe du pyrochlore du sondage GPF 1 Echassières (Allier). *Bur. Rech. Géol. Min., Doc.* **124**.
- _____ & _____ (1992): Pyrochlore-group minerals in the Beauvoir peraluminous leucogranite, Massif Central, France. *Can. Mineral.* **30**,
- QUADRADO, R. & LIMA DE FARIA, J. (1966): High hafnium zircon from Namacotche, Alto Ligonha, Mozambique. *Garcia Orta* **14**, 311-315.
- ROSSI, P., AUTRAN, A., AZENCOTT, C., BURNOL, L., JOHAN, V., KOSAKEVITCH, A., MONIER, G., OHNSTETTER, D., PIANTONE, P., RAIMBAULT, L., & VIALLEFOND, L. (1987): Logs pétrographiques et minéralogiques du sondage "Échas-

sières n° 1". *Minéralogie et Géochimie comparées. Géol. France* **2-3**, 111-135.

métallogéniques. Thèse de doctorat, Univ. P. Sabatier, Toulouse, France.

WANG RU CHENG (1988): *Etude minéralogique et cristallo-chimique de cassitérite, niobo-tantalates et minéraux disséminés du granite de Beauvoir, (Allier); implications*

Reçu le 30 octobre, 1990, manuscrit révisé accepté le 20 avril, 1991.