Logs pétrographique et géochimique du granite de Beauvoir dans le sondage « Échassières I » Minéralogie et géochimie comparées

Ph. Rossi *(1), A. Autran **(1-6), C. Azencott ** (5), L. Burnol ****(6), M. Cuney *(6), V. Johan ***(2), A. Kosakevitch ****(3), D. Ohnenstetter *(3), G. Monier **(2), P. Piantone ****(3), L. Raimbault *****(5), L. Viallefond ****(4)

Mots-clés : Granite (Granite Beauvoir), Sondage, Composition minéralogique, Analyse majeurs, Analyse élément-trace, Analyse composante principale, Analyse multivariable (Classification ascendante hiérarchique), Mise en place. Allier (Échassières)

Résumé

La réalisation conjointe d'un log pétrographique et d'un log géochimique répond à la nécessité de reconnaître précisément la zonalité du granite albitique à Ta, Nb, Li, Be, de Beauvoir. Ce granite a été recoupé sur 800 m par le sondage « Échassières 1 » du programme « Géologie profonde de la France ». Les variations de composition chimique en roche totale ont été explicitées en termes de présence ou d'absence de minéraux porteurs, de même qu'en termes de composition des minéraux à composition variable. Le log pétrographique a été établi à partir de l'étude de plus de 140 lames minces réparties de manière homogène tout au long du sondage. L'accent a été mis sur la recherche et la caractérisation des minéraux accessoires et accidentels afin de retrouver l'expression minéralogique de variations parfois erratiques d'éléments en traces dans le log géochimique. Le log géochimique en continu a été réalisé sur l'ensemble du sondage à partir d'un échantillonnage qui n'a pris en compte que des passées de granites macroscopiquement non affectés par des transformations hydrothermales. Le comportement des éléments analysés n'est donc contrôlé de manière dominante – aux approximations inhérentes à l'échantillonnage près – que par des processus pétrogénétiques antérieurs aux altérations hydrothermales de basse température. La longueur des carottes prélevées a été fonction de l'extension observée dans les roches d'un même faciès. Elle va d'une vingtaine de cen-timètres à 16 mètres. La synthèse des données pétrographiques et géochimiques permet de discriminer trois zones dans le

une première intrusion « B2 », différenciée du bas vers le haut, avec à sa base un faciés « B3 » et une seconde intrusion « B1 » consanguine enrichie en éléments hygromagmaphiles et mise en place peu de temps après « B2 ». L'interface B1-B2 correspond à une zone hybride d'interaction entre les deux magmas. Les caractères minéralogiques des microlites des faciès B2 et B3 laissent envisager que ce faciès pourrait affleurer dans la carrière de Beauvoir, ce qui apporte de nouvelles contraintes sur la géométrie de l'intrusion de Beauvoir qui apparaît ainsi sous la forme d'une lame « stratifiée » inclinée vers le Sud.

- * Gis « Métallogénie » BRGM/CNRS, 1A, rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2, F.
- ** BRGM, DS, BP 6009, 45060 Orléans *** BRGM, SGN/GEO, BP 6009, 45060 Orléans

- **** BRGM, SGN/GEO, BP 6009, 45060 Orleans

 ***** BRGM, DAM/DEX, BP 6009, 45060 Orléans

 ***** École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne, 158, cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne Cedex 2

 CREGU, BP 23, 54501 Vandœuvre-les-Nancy cedex

 Groupe des sciences de la terre, Laboratoire Pierre Süe, C.E.N., Saclay, BP n° 2, 91191 Gif-sur-Yvette.

- Coordination, rédaction.
 Étude pétrographique.
 Minéralogie des niobo-tantalates.

- (4) Traitement des données géochimiques.
 (5) Analyse par activation neutronique. Comportement des éléments en traces.
- (6) Équipe de projet.

Abstract

Petrographic and geochemical logs of the Beauvoir granite in the Échassières 1 borehole: Comparison of mineralogy and geochemistry.

In order precisely to define the zoning of the Ta—Nb—Li—Be—bearing Beauvoir albite granite, petrographic and geochemical logs were established. This granite was intersected through 800 m in the Echassières 1 borehole drilled as part of the deep-drilling programme for the Deep Geology of France project. The variations in total rock chemistry have been expressed in terms both of the presence or absence of ore minerals and of the composition of minerals of variable composition. The petrographic log was based on the examination of more than 150 thin sections made from samples distributed regularly throughout the length of the borehole, emphasis being placed upon the search for and characterisation of the accessory and accidental minerals that express in mineralogical terms the in places erratic variations of trace elements in the geochemical log. The geochemical log was made from samples taken continuously from the entire borehole except for those intervals affected by low temperature hydrothermal alteration. The behaviour of the analysed elements is thus controlled — within the approximations inherent in the sampling — predominantly by petrogenetic processes occurred before any low temperature hydrothermal alteration. Each core sample corresponds to a single rock facies, sample lengths ranging from 20 cm to 16 m. Compilation of the petrographic and geochemical data reveals three zones in the borehole, indicating that the Beauvoir

Compilation of the petrographic and geochemical data reveals three zones in the borehole, indicating that the Beauvoir granite would have been emplaced in three successive stages of intrusion. The first intrusion, B 3, is at the base. Granite B 2, above this, is impoverished in lepidolite. A further probably cogenetic intrusion, B 1, enriched in hygromagmaphile elements, was emplaced shortly after B 2. The B 1/B 2 contact is a hybrid zone formed by interaction between the two magmas. The mineralogical characteristics of the microlites in facies B 2 and B 3 suggest that these facies may outcrop in the Beauvoir quarry, a new constraint on the geometry of the Beauvoir intrusion, which appears to be a stratified sheet dipping southward.

Introduction

La réalisation conjointe d'un log pétrographique et d'un log géochimique répond à la nécessité de reconnaître précisément la zonalité du granite de Beauvoir, en explicitant les variations de composition chimique observées, en termes de présence ou absence de minéraux porteurs, de même qu'en termes de variation, de composition des minéraux à composition variable. Malgré l'apparente homogénéité (au moins macroscopique) des faciès rencontrés, les variations d'abondance et de nature des minéraux accessoires sont très importantes et les teneurs en éléments majeurs varient considérablement, même en dehors de toute zone d'altération marquée. Un tel ensemble de données est nécessaire pour rechercher si les évolutions observées sont réellement continues ou discontinues pour l'établissement de modèles génétiques : diffusion d'éléments dans une chambre magmatique ou subsolidus, injections successives de magmas, cogénéti-

L'attention a été plus particulièrement focalisée sur la recherche et la signification des variations de teneur des éléments en traces, en fonction de la composition et de l'abondance des phases minéralogiques porteuses de ces éléments lorsqu'on a pu les reconnaître et les analyser, soit de façon systématique, soit seulement les identifier localement. Cette étape de recensement de corrélations et de synthèse des données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques « en continu » est destinée à discriminer et à caractériser les différentes phases constituant le granite de Beauvoir à partir d'un échantillonnage aussi continu que possible. Dans la phase suivante de ce travail de nouvelles analyses sur des portions spécifiques du forage seront nécessaires. Ce travail se distingue dans son approche et dans ses finalités de celui conduit par L. Raimbault et C. Azencott (1987, ce volume), mené sur un échantillonnage distinct, à partir de passées très courtes (20 cm à 1 m) et dont l'objectif était plus particulièrement de contraindre différentes hypothèses de genèse et d'évolution susceptibles d'expliquer les caractéristiques particulières du granite de Beauvoir. Ce dernier travail a de plus permis de proposer une subdivision des faciès pétrographiques reconnus dans le sondage.

Le log pétrographique réalisé à partir de l'étude de plus de 150 lames minces est détaillé en annexe (V. Johan et al., Doc. BRGM n° 124) et résumé sur la figure 1. Il établit la diagnose de chaque lame mince, de la façon la plus précise restant compatible avec le nombre de lames étudiées. Ces lames ont été confectionnées à partir d'échantillons recueillis systématiquement tout au long du sondage y compris dans les zones 400/480 m et 700/820 m où les granites sont altérés. L'accent a été mis sur la recherche et la caractérisation des minéraux accessoires et accidentels afin de retrouver l'expression minéralogique de variations parfois erratiques d'éléments en traces dans le log géochimique. Certains minéraux ont fait l'objet d'une caractérisation au microscope électronique à balayage (MEB) puis ont été analysés à la microsonde électronique (MSE). L'étude des lépidolites n'a pas été abordée ici ayant fait l'objet des travaux de G. Monier ainsi que M. Fonteilles. Les minéraux porteurs de Nb et Ta ont fait l'objet d'une attention toute particulière. L'aspect pétrologie structurale de cette analyse est abordé par ailleurs : C. Gagny 1987 et T. Jacquot 1987 (ce volume).

Le log géochimique a été réalisé sur l'ensemble du sondage à partir d'un échantillonnage qui n'a pris en compte que les passées de granites non affectées - au moins macroscopiquement - par des transformations telles que greisenisation, kaolinisation ou phengitisation. Les passées contenant des filons de quartz, fluorite ou encore des enclaves, etc. ont été exclues.

Le comportement des éléments analysés n'est donc contrôlé — aux approximations inhérentes à l'échantillonnage près — que par des processus pétrogénétiques antérieurs aux phases d'altération hydrothermale de basse température; on verra toutefois que le comportement erratique de certains éléments comme Cs, Sr, Ca signe la présence de phénomènes hydrothermaux, l'étude minéralogique permettant de préciser dans certains cas quels sont les minéraux — tardifs — responsables de ces anomalies. Le nombre d'analyses de poudres prévues contractuellement était d'environ une soixan-

Fig. 1. — Log pétrographique synthétique du sondage GPF « Échassières 1 ».

Légende et commentaires sur la distribution des différents minéraux

Sur la colonne de gauche, entre les cotes -100 et -900 m sont indiquées en noir les passées échantillonnées où ont été confectionnées les 150 lames étudiées pour la réalisation du log.

Les pointillés délimitent les zones altérées. Les cercles noirs indiquent une observation ponctuelle (le diamètre du cercle étant fonction de l'abondance) et les carrés révèlent une présence plus fréquente à systématique des minéraux décrits. Les traits continus ou discontinus indiquent que les minéraux ont été recensés systématiquement.

L'albite se présente schématiquement sous deux habitus : en lattes fines \nearrow plus ou moins déformées \checkmark de -100 à -400 m localement plus trapues, et en lattes trapues \diamondsuit de -400 à -900 m. Les deux habitus étant souvent associés. Les figurés portés sur la figure 1 indiquent les cotes où les habitus décrits sont les plus caractéristiques. La zone d'altération entre -400 et -500 m est marquée par une forte séricitisation des albites que l'on rencontre aussi à proximité des panneaux de micaschistes. Les cristaux ne sont pas zonés à l'exception des faciès vers la cote -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de coeurs plus calciques -700 m où l'on observe des reliques de -700 m où l'on observe des reliques de -700 m ou -700 m où l'on observe des reliques de -700 m ou -700 m ou

La lépidolite est en lattes fines \prec et parfois en rosettes \succ dans la partie la plus supérieure du sondage. Sous cette zone, les lamelles de mica sont trapues, plus grandes, mais moins abondantes. Vers -460 m, les lamelles sont déformées. En bas du sondage, la composition des micas est celle de zinnwaldite, la teneur en FeO $_1$ passant de 0.48 % (-100 m) à 7.20 % (-830 m).

Le quartz est surtout xénomorphe, interstitiel et polycristallin dans la partie haute $(-100\,\text{å}-200\,\text{m})$, il est localement globuleux. Sous la cote -200, il montre une nette tendance à l'automorphisme. Dans les zones $-400\,\text{et}-720\,\text{m}$, on note des passées silicifiées finement grenues, entre les cotes $-400\,\text{et}-500\,\text{m}$, la silicification dense est associée à la séricitisation des feldspaths à proximité des deux grandes zones de fracturation du sondage.

Le feldspath potassique est peu abondant dans la moitié supérieure du sondage (— 100 à 430 m), il est interstitiel, parfois en plages relictuelles perthitiques au cœur d'albites en haut du sondage. Il est souvent pœcilitique (2 générations possibles). Sous la cote — 430 m, il est de plus en plus abondant et automorphe. On observe souvent des inclusions d'albite en zone. Sur la bordure des cristaux, on observe un développement de liserés, voire de cristaux « en peigne » d'albite. Au niveau des panneaux de micaschistes, l'albitisation « en échiquier » est importante surtout vers la cote — 790 m.

La topaze est constamment présente, on peut distinguer deux générations (I, II). La première génération (I) se rencontre dans tout le sondage. Dans la partie supérieure, elle est en cristaux xénomorphes ou en agrégats à habitus d'aspect « éclaté » et dans la partie « B2 », elle est en cristaux plus grands et de plus en plus automorphes vers le bas. L'altération est marquée par le développement d'agrégats phylliteux radiés, le plus souvent le long de fractures. La seconde génération (II) est cantonnée entre la cote — 370 et le fond, on en trouve une trace à la cote — 260 m. Elle n'est jamais altérée. Les cristaux sont très fins, souvent en chapelets autour de la lépidolite ou à la limite entre les cristaux de lépidolite-quartz-albite.

L'amblygonite est constante, interstitielle, localement à tendance automorphe et altérée dans la partie supérieure (-100 à - 150 m) ainsi que dans la zone -400 à - 450 m et dans la partie riche en septums de micaschistes (-700 à - 770 m). L'altération se manifeste sous la forme de produits cryptocristallins qui sont, dans la partie inférieure du sondage et dans la zone des micaschistes, chargés en pigments opaques.

L'apatite: on peut distinguer deux générations (I, II). La première génération est cantonnée entre la cote – 450 m et le fond du sondage. De couleur verte, elle est toujours xénomorphe et associée à la topaze. Elle est riche en MnO, de 6 à 3,5 %. La seconde génération est distribuée tout au long du sondage. Elle est incolore, très rarement automorphe et zonée. Le plus souvent elle est xénomorphe et en agrégats de cristaux très fins. Elle est souvent associée à l'albite séricitisée et accompagnée localement par la fluorite

La cassitérite est constante mais plus abondante dans la partie supérieure au-dessus de la cote – 550 m. Les cristaux, le plus souvent zonés, ont un habitus automorphe.

L'uraninite a une distribution limitée au bas du sondage entre la cote – 475 m et le fond. On la rencontre sous deux formes : soit en fins cristaux cubiques, soit dans le clivage des lépidolites en fines traînées opaques développant des halos pléochroïques dans la zinnwaldite. Elle est très abondante dans les aplites à la base et au sommet du sondage.

La columbo-tantalite peut être observée sous deux habitus : une forme lamellaire (L) cantonnée dans la partie inférieure du sondage, sous la cote -475 m. La forme granulaire (G) est distribuée à peu près régulièrement dans le sondage, elle devient plus abondante dans la zone supérieure.

Le microlite-pyrochlore est limité à la moitié supérieure du sondage. Il n'est vrajment abondant que dans la zone sommitale où il est en plages isolées et automorphes de 0,1 à 0,5 mm.

Le zircon montre une distribution régulière tout au long du sondage. Il est en cristaux octaédriques de taille inférieure à 0,05 mm. Quelques individus ont un développement aciculaire à la base du sondage. La métamictisation est très fréquente. Les zones à cristaux peu ou non métamictes sont signalées par un losange.

 $La\ goyazite$: $SrAl_3H(OH)_6(PO_4)_2$ est cantonnée à la partie supérieure du sondage en association étroite avec l'apatite II. Elle se présente sous la forme de cristaux cubiques, opacifiés et plus ou moins automorphes.

La crandallite CaAl₃H(OH)₆(PO₄)₂ a été identifiée localement. Elle est toujours en agrégats tardifs, sécants, le plus souvent associés à l'albite.

La fluorite est présente seulement dans la moitié inférieure du sondage, sous la cote — 400 m. Elle est toujours secondaire, xénomorphe et a le même habitus que l'apatite II.

 $\textit{La herdérite} : CaBe \ (F,OH) \ (PO_4) \ a \ \text{\'et\'e\'i identifi\'ee uniquement dans un filonnet recoupant le microgranite \`a la cote} - 701 \ \text{m}.$

La blende a été identifiée près de la base du sondage en rares cristaux automorphes < 50 μ m.

La tourmaline a été rencontrée dans le microgranite, elle est exceptionnelle

Petrographic log of the Échassières 1 borehole.

Legend and observations on the distributions of the various minerals.

In the left-hand column, between the 100 and 900 m levels, are shown the sampled intervals from which the 140 thin sections were made that were used to compile the log.

The dotted lines indicate the boundaries of altered zones. Circles indicate single observations, the diameter of the circle being proportional to the abundance of the mineral. Squares indicate more common to ubiquitous occurrence of the mineral concerned. Continuous or broken lines indicate that the mineral has been recorded throughout.

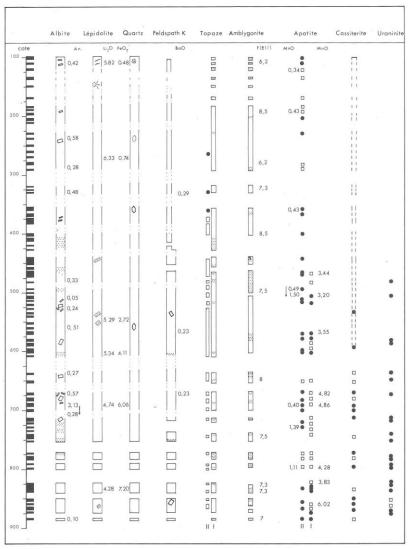


Fig. 1a. – Log pétrographique synthétique du sondage GPF: « Échassières 1 ».

Albite This mineral occurs with two different habits; between 100 and 400 m it occurs as fine, commonly deformed laths, in places as squarer crystals, and between 400 and 900 m as square prisms, both habits occurring together in many of the samples. The symbols on figure 1 indicate the depths at which the habits described are most characteristic. The altered zone between 400 and 500 m is marked by strong sericitisation of the albite, which also occurs near the inclusions of micaschist. Except around the 700 m mark, where relics of more calcic (AnO₃) cores can be seen, the crystals are not zoned.

Lepidolite In the upper parts of the borehole lepidolite occurs as fine flakes and in places in rosettes; at greater depths the mica crystals become thicker and larger but less abundant. At about 460 m the crystals is deformed. At the bottom of the borehole the composition of the mica is that of zinnwaldite, the FeO^{tot} content passing from 0.48 % at 100 m depth to 7.20 % at 830 m.

Quartz In the upper part of the hole (100 to 200 m) quartz is essentially anhedral, interstitial and polycrystalline, though locally globular. Below 200 m quartz shows a strong tendancy to be euhedral. At about 400 and 720 m are fine-grained silicified intervals and between 400 and 500 m intense silicification is associated with sericitization of the feldspars near the two main zones of fracturing encountered in the borehole.

Kfeldspar From 100 down to 430 m this mineral is scarce, occurring interstitially, and locally in the upper part of the borehole as relict perthitic, anhedral when it is commonly poekilitic, possibly in two generations. Below 430 m K feldspar becomes more and more common and euhedral commonly with zones of albite inclusions. Albitic margins develop, and in places comb-like fringes of small albite crystals. Near the inclusions of micaschist, chequerboard albitization becomes important, in particular at about 790 m.

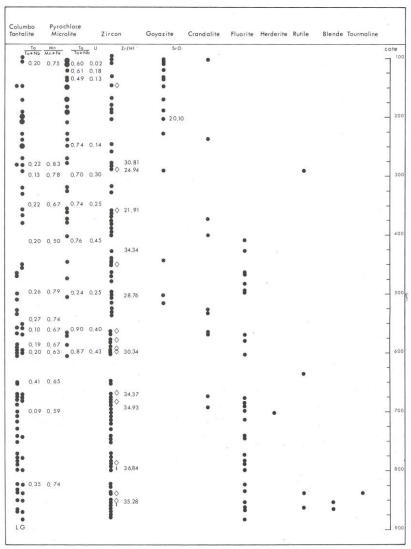


Fig. 1b. — Log pétrographique synthétique du sondage GPF: « Échassières 1 ».

Topaz occurs throughout, two generations being distinguishable. The first generation (1) occurs throughout the borehole. In the upper part it occurs as anhedral crystals or in burst-like aggregates. In the B2 granite topaz occurs as larger and progressively more euhedral crystals towards the base. This topaz is altered, with the development of radiating micaceous aggregates, most commonly along fractures. The second generation of topaz (II) occurs essentially only below 370 m although a trace occurs at 260 m. This topaz is never altered. The crystals are very fine, commonly forming strings around lepidolite or at the boundaries between lepidolite, quartz and albite.

Amblygonite This mineral occurs interstitially throughout, tending locally to be euhedral and altered from 100 to 150 m, between 400 and 450 m and in the section of the borehole rich in septa of micaschist (between 700 and 770 m on either side of a fault zone at around 730 m). The alteration products are cryptocrystalline and in the lower part of the borehole and in the zone of micaschist are dense with opaque material.

Apatite This mineral also occurs as two generations. The first occurs below 450 m, is green, always anhedral and associated with topaz. It is manganese-rich, containing between 3.5 and 6 % of MnO. The second generation (II) is distributed throughout the borehole. It is colourless and occurs most commonly as aggregates of fine anhedral crystals though rarely it occurs as zoned euhedra. It is in many cases associated with sericitised albite and locally accompanied by fluorite.

 $\textit{Cassiterite} \ Also \ occurs \ throughout \ the \ borehole \ but \ is \ more \ abundant \ above \ 550 \ m. \ The \ crystals \ are \ generally \ zoned.$

Uraninite This mineral occurs only below 475 m and occurs in two forms, as fine cubic crystal, and in fine opaque trains along the cleavage of lepidolite, developing pleochroic haloes in zinnwaldite. It is very abundant in the aplites at the base and at the top of the borehole.

Columbo-tantalite This mineral occurs with two habits, a lamellar form (L) confined to the lower part of the borehole, below 475 m and a granular form (G) which occurs more or less regularly throughout the borehole, becoming more abundant in the upper part.

Microlite pyrochlore It occurs only in the upper half of the borehole and is only abundant in the topmost part where it forms isolated euhedral crystals 0.1 to 0.5 mm across.

Zircon is distributed regularly throughout the length of the borehole, occuring as octahedral crystals smaller than 0.05 mm. A few acicular crystals occur at the bottom of the borehole. The zircon is very commonly metamict. The zones with slightly or non-metamict crystals are indicated on the log by a diamond.

 $Goyazite [SrAl_3H(OH)_6 \cdot (PO_4)_2] \ This mineral occurs only in the upper part of the borehole in close association with a patite II. It occurs as opacified, more or less euhedral cubic crystals.$

Crandallite [CaAl₃H(OH)₆.(PO₄)₂] Crandallite has been locally identified, always occurring as late, cross-cutting aggregates, most commonly associated with albite.

Fluorite occurs only in the lower part of the borehole, below 400 m. It is always secondary, anhedral and has the same habit as

Herderite [CaBe. (F, OH) (PO₄)]. This mineral has only been identified in a veinlet cutting microgranite at 701 m depth. Rutile has been recognised at four points in the borehole: at 290 m as inclusions at the core of lepidolite; at about 636 m in a silicified zone with quartz and fine secondary lepidolite, and at the bottom of the borehole near the inclusions of micaschist. Sphalerite This mineral has been identified near the bottom of the borehole as rare euhedral crystals less than fifty μ m. Tourmaline occurs rarely in the microgranite.

taine pour l'ensemble du sondage. Les prélèvements ont été effectués sur 1/4 de carotte, les passées analysées sont consignées sur la figure 2. La longueur des carottes prélevées a été fonction de l'extension et de la constance des types de roches rencontrés, elle va d'une vingtaine de cm à 4 m. Les fractions de passées successives identiques ont été mélangées et analysées ensemble constituant ainsi des passées dont la longueur peut atteindre jusqu'à 16 m. Les fractions non mélangées restant disponibles pour affiner si besoin est l'information géochimique. Les conditions d'échantillonnage, de préparation et d'analyse des échantillons sont décrites dans le volume annexe [Rossi et al., 1987, Document BRGM n° 124].

Les valeurs analytiques portées dans les tableaux 2 ont été choisies parmi les valeurs obtenues par différents laboratoires et avec différentes méthodes d'analyse, en fonction des résultats obtenus sur quatre échantillons témoins anonymes constitués du standard international « M.A.N. » du C.R.P.G. de composition proche de celle des granites analysés.

Entre les cotes 400 et 480 m ainsi que 700 et 820 m, l'état d'altération des carottes n'a pas permis d'échantillonner de passées non affectées par des transformations post-solidus. De ce fait, le faciès « B'¾ » du granite de Beauvoir n'est représenté que par dèux échantillons (7 et 24) à la base du corps principal et les échantillons 14, 27, 11, 13, 21, 2, 26 et 22 dans les corps filoniens du bas du sondage. Quelques analyses ponctuelles de roches situées à ces cotes sont disponibles dans le log géochimique de reconnaissance du sondage GPF 1 [Cuney et al., (1986), Autran et Burnol (1985). Document BRGM n° 1001.

La localisation des 67 échantillons analysés dans la présente étude est consignée sur le tableau 1 et sur le log lithologique (fig. 2).

Sur le tableau 1 seule la cote de la partie supérieure de chaque longueur de carotte analysée est indiquée. Sur la figure 2, colonne de droite, les lettres A, B, C, D, indiquent les sous-fractions de chaque échantillon éventuellement utilisables pour des études plus détaillées. Les autres échantillonnages géochimiques réalisés antérieurement (1985) ou par Raimbault (ce volume) et Piantone, Burnol (ce volume) sont aussi indiqués.

1. – Analyse du comportement des éléments dans la roche totale et dans les minéraux

1.1. - Tracé du log géochimique

Le tracé automatisé des variations de teneur en fonction de la profondeur joint par un segment de droite deux points d'analyse successifs. Les cotes portées sont celles du sommet des passées échantillonnées. Dans la colonne de gauche, sont figurés en noir la continuité des passées analysées et à droite le découpage de ces passées. Dans les zones 400/480 m et 700/720 m où la densité d'échantillonnage est faible par suite de l'altération importante des roches, une teneur anomale en un élément donné prend une grande importance graphique par la surface du pic qu'elle engendre. Les points d'échantillonnage situés aux cotes :

195,90 : passée enrichie en lépidolite et à contacts francs avec le granite (échantillon n° 68)

221,40: passée à grain très fin (échantillon n° 60)

 $834,\!30$: aplite rose à texture micrographique au contact des micaschistes (échantillon n^o 16)

860,30 : microgranite (échantillon nº 1)

déterminent des anomalies géochimiques qui sont dues à la nature particulière de ces roches qui recoupent ou sont enclavées par le granite de Beauvoir. Les variations géochimiques dues à leur présence ne seront pas prises en compte dans la discussion qui suit.

1.2. - Métaux alcalins

Dans le granite de Beauvoir, les alcalins rares sont très enrichis par rapport aux autres types de granitoïdes et se trouvent en teneur d'éléments majeurs pour la plupart, Cs excepté. Le log graphique de leur variation est reporté figure 3a.

G.P.F. IECHLASSIIERIES -1 ECHANTILLONAGE L.RAIMBAULT(1987) LOG GEOCHIMIQUE (1987) ZONE PRELEVEE AVEC INDICATION DU N°DE CODE DE L'ECHANTILLON. ANALYSES FIGURE 2 : Log d'échantillonnage PUBLIEES DOC . nº 100 ALTERATIONS LITHOLOGIE PRIMAIRE HYDROTHERMALES GRANITES HICASCHISTES CHIMIE (D'après AUTRAN et BURNOL, 1985.) Filons | Mineraux (P.ROSSI, G.HONIER) (P. PIANTONE) cote 1 2 3 4 5 6 O à 3,7m. Eluvions 3,7 à 97,62m MICASCHISTES avec banc gréseux 13.3 1 Schistosité sub horizontale 2 24.3 1)Métamorphisme régional (Biot+Muscov. + Staurotide + Grenat + Sillimanite) 34,7 3 3 34.8 + lentille de quartz 44.2 5 2)Métamorphisme de contact (biot. + Andalousite) 51.6 6 + lentilles à quartz + + Andalousite. 3)Transformations hydrothermales et réseau filonien polyphasé .filons d'aplite (34,7;55,6-56,7;67-68,3; 95,5-97,3) 82,35-82.4 (0000) .filons de granite à micas 93.5 blancs (49,1-49,6; 100-83,2) (2-1-1-) 9 1023 10 69 Stockwerk à wolframite : 107,50 BODA plusieurs générations de 70 filons de quartz, (quartz+ micas) (quartz + Feldsp.) avec topaze - apatite = C colonne 1. -72 В .Filons de quartz seul, à argile ou Fluorine = -140.9 D 11 Lcolonne 2 -73 97,62 à 470 m В 150 D GRANITE DE BEAUVOIR + C 71 В TYPE 1 - HOLOLEUCOCRATE 170 BLANC D Grain moyen, aspect constant 67 Foliation magmatique nette В Albite et Lépidolite auto-67 morphes formant une trame cloisonnante Quartz et Feld-spath potassique de cristel-200 B 207.9 12 lisation plus tardive. Topaze, Apatite, Amblygonite, Cassitérite, Columbo-tanta-215lite disséminés. 221 Variations de texture et de 230m proportion des minéraux :

Altérations : le contenu des colonnes est explicité dans le texte descriptif de gauche.

G.P.F. ECHASSIERES -1 ECHANTILLONAGE L.RAIMBAULT(1987) ANALYSES FIGURE 2 : Log d'échantillonnage LOG GEOCHIMIQUE (1987) ZONE PRELEVEE AVEC INDICATION DU N°DE CODE DE L'ECHANTILLON. PUBLIEES DOC. nº 100 ALTERATIONS LITHOLOGIE PRIMAIRE HYDROTHERMALES Filons | Minéraux P.ROSSI, G.MONIE 1 2 3 4 5 6 cote | n° 220m .Franges ou zones centimétri-+ В 61 ques à bordure polarisée nette ou diffuse, essentiel-D lement en lattes d'albite ou ·C 239.4 62 13 en albite + lépidolite (===) 196, 200, 210; 215 à 220, 237 250-267, 276, 304. A .Accumulations coplanaires de C 63 Lépidolite : 367, 372, 379. 14 .Passées métriques de granite A 269.3 15 riche en lépidolite à grain D plus fin : 97,7-99 ; 116-122; C 170-178 ; 202-209 ; 215-220. B .Passées à quartz globuleux A abondant : 165, 175, 225-230. A 41 .Passées pauvres en quartz R + 300 à plages hyperalbitiques : 297.7 16 C + AB + 42 .Zones riches en phosphates C (amblygonite et autres (?) • • • figuré litho ++1 43 C MODIFICATIONS PAR ALTERATIONS: D + + F Granite très sain de 100 à A + ВС + 400 m. 339.7 17 44 .Greisen à topaze, lépidolite D cassitérite, tantalite au 350 В toit (97,6 à 99 m). 45 Greisen centimétriques le D long des fissures ou de min-A ces filonnets de quartz : 53 100, 107,5, 114, 140, 178, 221 : cf. colonne 3 //// D Filonnets de quartz indiqués c par - colonne 2. .Silicification (colonne 3 Phengitisation (" 4) Argilisation (" 5) 400 + + 402.9 18 C deviennent importante au-delà + + F de 400m.Fluorine(F:colon.1) D + fréquemment associée. .Fentes (diaclase) tapissées +++ d'argile smectique. .Brèche de faille à éléments silicifiés et ciment calcédonieux (Br.)de 457,5 à 460,6 772 A

surmontée d'une zone très

450 m Li et smectites. .Filonnets de quartz parfois

argilisée à kaolin, Tosudite

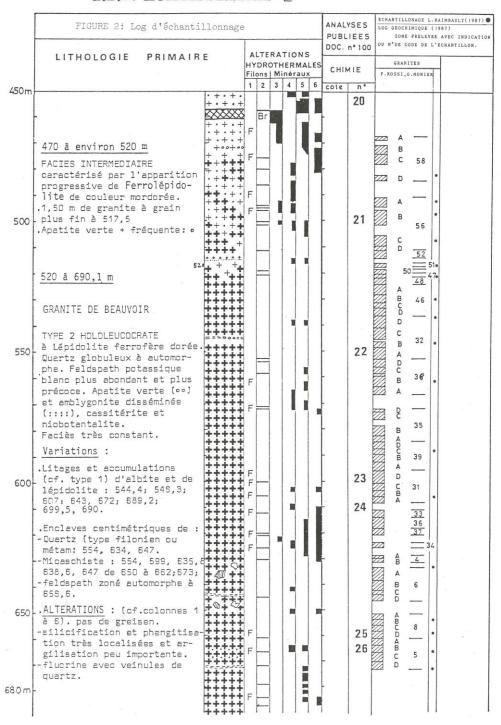
géodiques 178, 162, 115, 221,150 +

B . 59

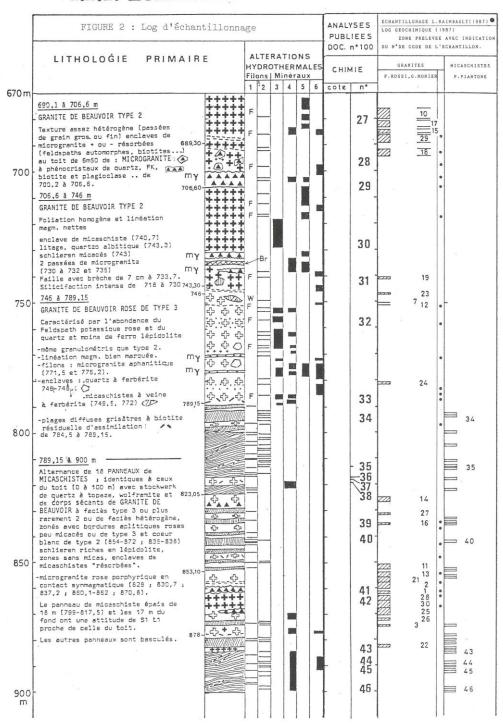
C

19 -

G.P.F. ECHLASSIERES -1



G.P.F. ECHLASSIERES -1



(7)	(7)	(1)	(2)	(2)	(1)	(7)	.(2)	(1)	(1)	(3)	(4)	(5)	(1)
COTE	SI02	AL2 03	TI02	MNO	FE203	MGO	CAD	NA20	K20	P205	L120	R820	F O=F TOTAL- PF CODE
0001 101.10 0002 109.30 0003 127.30 0003 127.30 0003 127.30 0005 147.35 0006 147.35 0006 147.35 0006 147.35 0006 147.35 0006 147.35 0006 147.35 0017 257.30 0017 257.30 0017 257.30 0018 1018 1018 1018 1018 1018 1018 101	677.667.669.669.669.669.7000.8800.800.800.800.800.800.800.800.8	17,717,7887,620,000	0.001 0.002 0.003 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.004 0.003 0.003 0.004 0.003	0.03311212000000000000000000000000000000	88924978718085259730812603047481214133009989648744699556614357774463949277	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.10 0.10	0.9655*** 0.9655*** 0.9655** 0	5 - 4 - 4 - 4 - 4 - 5 - 4 - 5 - 4 - 4 -	3.71707 77777 77777 77777 77777 77777 7777 7777	11128578515121577310D3093880817588925589164755187475589940B55723729044256743807	29777351888873696664441311111111111111111111111111111	0.4753 0.4453 0.4453 0.4456 0.	1. 45

^{*} Analyse Fluo.X BRGM.

**Analyse 1. C.P., CRPG.

N.B.: La colonne « CODE » à droite indique le N° de l'analyse porté sur le log du sondage et les sacs de poudres. Le N° séquentiel (0001 à 0067) n'est utilisé que dans les traitements statistiques.

Analyse des éléments majeurs (en % de poids d'oxydes). TOTAL: Somme des oxydes et du fluor et soustraction de O = F, la P. F. n'étant pas prise en compte.

Les laboratoires d'analyses sont indiqués par un chiffre entre parenthèses:

(1) C.R.P.G., Nancy: L.C.P., (P.F par grillage à 1 000° C)

(2) Laboratoire Pierre Süe, Saclay: Activation neutronique

(3) B.R.G.M., Orléans: I.C.P.

(4) B.R.G.M., Orléans: Spectrométrie de fluorescence X

(5) B.R.G.M., Orléans: Potentiométrie.

(6) Institut Laue Langevin, Grenoble: Activation neutronique.

(7) E.N.S. des Mines, Saint-Etienne: Spectrométrie de fluorescence X.

N.B. Les dosages de Mn. Ro et Li exprimés en ppm figurent dans les tableaux analytiques du volume annexe. (Document BRGM n° 124).

N.B. Les dosages de Mn, Rb et Li exprimés en ppm figurent dans les tableaux analytiques du volume annexe. (Document BRGM nº 124).

Tabl. 1. - Log géochimique du sondage « Échassière 1 ». (a)

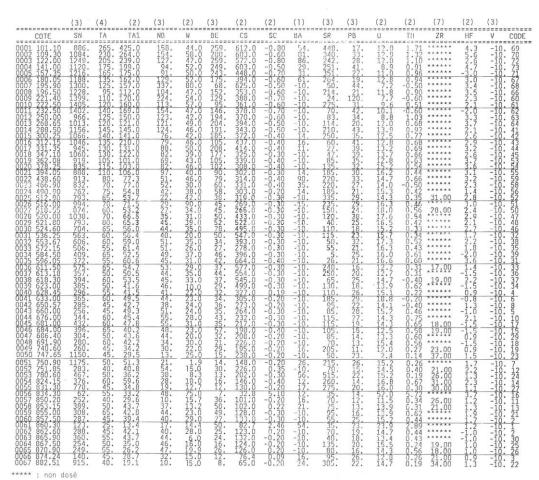
Li croît assez régulièrement de la base vers le sommet du sondage. Les teneurs sont très faibles et sans variations cohérentes de 880 à 840 m. Elles croissent faiblement de 840 à 540 m, puis de manière plus accentuée jusqu'à 220 m. Elles diminuent ensuite jusqu'au toit. Les minéraux porteurs sont la *lépidolite* (partie supérieure) — zinnvaldite (partie inférieure du sondage) (K, Rb, Na, Cs, Ca) $_2(\text{Li}_{3-2}, \, \text{Al}_{2-3}, \, \text{Fe}_{0-1}^{2+}, \, \square_{\,\, 0-0,5})_6$ (Si $_{6-7}, \, \text{Al}_{1-2})_8$ O $_{20}$ (F,OH) $_4$ et l'amblygonite Li Al (PO $_4$)F.

L'amblygonite est à peu près constante dans tout le sondage, sa

teneur en Li n'a pu être estimée ponctuellement, Li étant indétectable à la MSE. Le porteur principal est la lépidolite (qui contient 2 à 3 fois plus de Li par molécule). Li dosé par voie chimique sur micas séparés (Monier et al., 1987, ce volume) augmente globalement de 4,4 à 6,3 % de $\mathrm{Li}_2\mathrm{O}$ de 850à 300 m puis décroît vers le sommet jusqu'à 5,8 % (voir fig. 5). Cette tendance se calquant sur celle de Li dans la roche (fig.

Rb la variation des teneurs en Rb est strictement parallèle à

^{**}Analyse I.C.P., CRPG.



(le signe - devant la valeur indique les teneurs inférieures au seuil de mesure fiable)

Tabl. 1. — Log géochimique du sondage « Échassières 1 ». (b) Analyse des éléments en traces (en ppm).

celle de Li. Les deux éléments montrent le même comportement. Rb est majoritairement contenu dans la lépidolite (1 à 2 % de Rb₂O, (Monier et *al.*; (M. Fonteilles) ce volume mais aussi dans le feldspath potassique (Fonteilles, ce volume).

Cs augmente de la base vers le sommet du sondage mais avec de fortes variations entre les cotes 520 à 650 m. En dehors de cette zone anomale, Cs est à peu près bien corrélé avec Li et Rb sa teneur dans la lépidolite croissant de 0,1 à 0,28 % de Cs_2O (Monier et al., (1987) ce volume).

A la cote 132,90 m, des inclusions microniques d'un minéral riche en Cs ont été repérées dans l'albite à l'aide du MEB. Il s'agit selon toute vraisemblance d'inclusions de pollucite Cs₄NaAl₅Si₁₂O₃₀ l,3 H₂O. La présence de ce minéral entre 520 et 650 m, pourrait expliquer l'anomalie positive en Cs. Ce minéral est aussi connu comme généralement associé à l'amblygonite et à la lépidolite.

Na est contenu principalement dans l'albite et en traces dans la lépidolite et dans le microlite.

K se trouve dans le feldspath potassique, la lépidolite et dans une moindre quantité le microlite. Les variations de teneurs en Na et K sont contrôlées majoritairement par des variations modales des minéraux cardinaux plus que par les variations de composition des dits minéraux.

On notera toutefois que l'augmentation de la teneur en Na (figure 6b) des microlites se corrèle avec l'augmentation de Na en roche totale entre les cotes 500 à 200.

1.3. - Métaux alcalino-terreux

Ces éléments sont à l'état de traces à l'exception de Ca qui varie de 0,15 à 1 % et exceptionnellement 1,5 % de CaO. Les graphiques de variation des teneurs sont reportés sur la figure 3b.

 $\it CaL$ es niveaux les plus riches en CaO sont localisés : près du sommet du sondage aux cotes 100 à 180 ; entre les cotes 400

	(3)	_(2)	_(1)_	(3)	(3)	(2)	(3)	(3)	(2)	(2)	(3)	(3)	(6)	
COTE	CR	NI	NI	ZN	CU	MO	BI	AG	AS	SB	CD	Υ	В	CODE
0001 101.10 0002 109.30 0003 122.00 0004 141.00 0005 157.35 0006 180.05	15. 10: 11: 10: 10:	25.2	-10. -10. -10.	77. 72. 64. 57. 82.	13. 21. 7. 8.	-11.0 -10.0 -9.0 -8.0 -5.0	55555	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	12.0 16.0 16.0 -8.0	0.65 0.99 0.63 0.53 0.42	2. 2. 2.	-10. -10. -10. -10.	34.3 11.0 24.6	69 70 72 73 71
0007 195.90 0008 196.50 0009 221.40 0010 222.50 0011 232.50	10. 16. 10. 10.	6.4	-10. -10. -10. -10. -10.	89. 49. 59. 52. 61. 53. 49.	10. 3. 7.	-7.0 -7.0 . 6.3 -6.0	-5.	0:1 0:1 0:1	5.9 -6.0 4.9 5.3 -4.0	0.31 0.25 0.64 0.37 0.45 0.37	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2	-10. -10.	26.6	67 68 66 61 62 63
0013 268.65 0014 288.50 0015 300.25 0016 312.15 0017 331.35	10. 14. 10. 12. 10.	8.3	-10. -10. -10. -10. -10.	49. 71. 69. 122. 108. 127. 98.	33.68.87.6.		-555555	0:1 0:1 0:1 0:1 0:1	-5.09 -5.09 -3.00 -3.00	0.46 0.84 0.64 0.75	122222	-10. -10. -10. -10. -10.	16.9	64 41 42
0019 362.08 0020 378.25 0021 394.05 0022 438.60 0023 466.90	10. 13. 10. 10. 21.	6.4	-10. -10.	98. 142. 199. 165. 137.	18.	-5.0 -5.0 -5.0 -5.0 -4.0 -5.0	-5. -5. -5. -5.	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	-4.0 -4.0 10.6 10.0 5.3 16.0	0.37 0.58 0.73 0.24 0.15 0.12 0.09	3. 4.	-10. -10. -10. -10. -10. -10.	17:1	5555 5555 5555 5555
0025 512.90 0026 516.00 0027 518.55 0028 520.00 0030 524.60 0031 536.25	10. 12. 18. 22. 10. 10.	****** ***** ***** *****	-10. -10. -10.	108. 162. 148. 151. 155.	5. 4. 3.	4.9 4.7 -4.0 -4.0 2.4 -1.0	-5. -5. -5.	0.1 0.1 0.6 0.1 0.1	3.0 3.1 -4.0 -3.0 2.3 -6.0	0.05 0.08 0.02 0.05 0.06	200 mm mm mm 22.	-10. -10. -10. -10. -10.	****	51 50 47 48 46 32
0032 553.67 0033 572.15 0034 584.50 0035 596.05 0036 611.50 0037 613.18	10. 12. 10. 10.	*****	-10. -10. -10. -10.	161. 144. 150. 146. 148.	256.	-5.0 -4.0 -5.0 -5.0 -4.0	-5. -5. -5.	0.1 0.1 0.1 0.1	-9.0 -5.0 -10.0 -7.0 -7.0	0.04 0.05 -0.10 -0.10 0.21 0.12	32.33.	-10. -10. -10.	****	38 35 39 33 33 33 33 36
0038 618.30 0039 623.00 0040 628.45 0041 633.00 0042 650.57	10. 10. 18. 13. 10.	*****	-10. -10. -10. -10.	145. 141. 142. 172. 126. 139.	6.4.13.22.33.	-5.0 -4.0 -3.0	-5. -5. -5. -5.	0.1 0.1 0.1 0.1	-7.0 -6.0 -4.0 -1.0 -4.0	0.07 0.14 -0.10 0.11 -0.10	32.33.22.22.32.23.32.23.3	-10. -10. -10. -10.	20.7	37 34 4 6 8
0043 660.00 0044 676.00 0045 681.00 0046 684.00 0047 686.40 0048 691.90 0049 740.60	10. 16. 16. 13.		-10: -10: -10: -10: -10:	146. 146. 143. 129. 180. 172.	3.	-3.0 -3.0 -2.0 -1.0 -2.0 -2.0 -3.0	5-	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	-4.0 5.9 6.2 -3.0 5.6 -3.0	0.14 0.18 0.16 -0.10 0.13 0.09 0.25 0.33	2:	-10.	10.1	5 10 17 15 29 18
0050 747.65 0051 750.90 0052 751.85 0053 780.60 0054 831.130	12. 11. 10. 14. 15. 12.	*****	-10. -10. -10.	184. 145. 145. 157. 179.	3. 4. 3. 3. 11.	-43.0 -33.0	-5. -5. -5. -5.	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	12.1 5.0 -1.0 -5.0 40.0 23.2 23.0 23.3	0.20 0.20 -0.10 0.15	3.	-10. -10. -10. -10. -10. -10.	17.4	19 23 7 12 24 14 27
0056 834.30 0057 850.20 0058 853.15 0059 855.10 0060 857.50 0061 860.30 0062 862.60 0063 865.90	29. 25. 16. 19. 17. 15.	* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *	-10. -10. -10. -10. -10. -10.	75. 124. 152. 168. 173. 102. 165. 169.	4.	-2.0 -2.0 -3.0 -1.0 -3.0 -2.0 -2.0 -3.0	-5. -5.	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	11.4 45.0 15.0 -4.0 14.8	0.22 0.23 0.21 0.13 -0.10 0.17 0.07	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2	-10. -10. -10.	15.6	11 13 21 2 1 2 2 30
0064 867.50 0065 870.90 0066 874.24 0067 882.51	19. 58.	*****	$\frac{-10.}{-10.}$	159: 157: 131: 138:	7: 16: 6:	-3.0 -2.0 4.5 -2.0	-55-55-55-55-55-55-55-55-55-55-55-55-55	0.1 0.1 0.1 0.1	-5.0 37.0 27.3 10.5 86.0	0.13 0.27 0.29 0.57	2: 2: 2:	-10. -10. -10. -10.	18.4	25 26 3 22

**** : non dosé

(Les teneurs au-dessous du seuil analytique sont précédées d'un -)

Tabl. 1. — Log géochimique du sondage « Échassières 1 ». (c) Analyse des éléments en traces (en ppm).

et 500 m. Dans la partie basale, la forte anomalie en Ca n'est due qu'à un seul échantillon à la cote 780,60.

Ca paraît croître de la base jusqu'aux environs de la cote 611 m puis après une chute brutale, croître à nouveau de la cote 516 m vers la surface. Entre les cotes 400 et 450 m l'anomalie positive en Ca est parfaitement corrélée avec une anomalie de même sens en Ba et Sr ainsi qu'avec une anomalie de

sens inverse en Na. Cet ensemble de perturbations est la signature non pas d'un phénomène purement magmatique mais résulte vraisemblablement de phénomènes hydrothermaux. Dans cette zone caractérisée par la présence d'une brêche de faille et à faible densité d'échantillonnage à cause de l'état d'altération des carottes, (fig. 2) des échantillons récoltés, quoique macroscopiquement peu modifiés, ont révélé à l'examen microscopique une forte séricitisation des

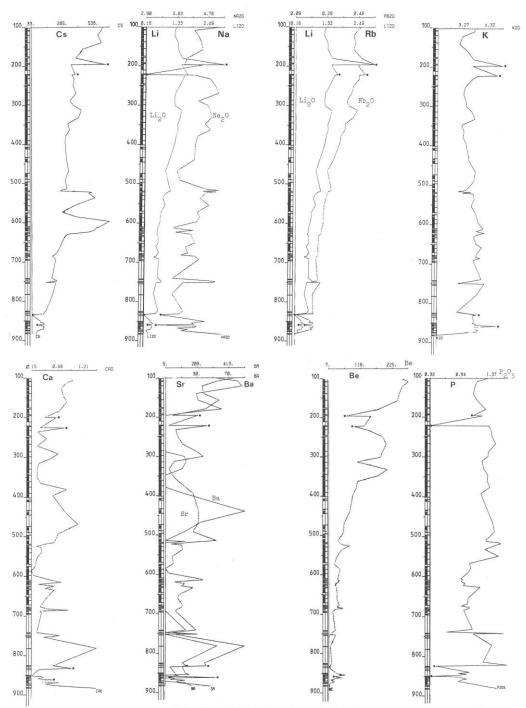


Fig. 3. — Log géochimique du sondage « Échassières 1 ».

Domaine de variation des alcalins, alcalino-terreux et du phosphore. Les valeurs anomales (ech. 68,60. 16 et 1) sont dues à la présence d'aplite et de concentrations de lépidolite aux cotes 195,90; 221,40 et 834,30 ainsi que de microgranite à 860,30. Leur comportement géochimique souligne leur caractère particulier mis en évidence lors de l'échantillonnage et par l'étude pétrographique. Elles sont repérées par un point noir.

Geochemical log of the Echassières 1 borehole

The field of alkalines, alkaline earths and phosphorus. The anomalous values (samples 68,60, 16 and 1) are due to the presence of aplite and concentrations of lepidolite at 195.9,n 221.4 and 834.3 m and microgranite at 860.3 m. Their geochemical behaviour emphasises their distinctive character revealed during sampling and by petrographic examination. These samples are indicated by dots.

albites et une silicification intense qui, à l'instar des éléments considérés plus haut, signent la trace d'une activité hydrothermale

De nombreux minéraux sont porteurs de Ca, néanmoins on peut les classer en deux groupes :

- 1) Ceux qui sont responsables des teneurs observées :
- * l'albite (An 0 à An 0,5). Localement comme au voisinage de la cote 700 m on peut trouver des cœurs relictuels An 0,3 (héritage du microgranite?),
- * la fluorite CaF2 surtout sous la cote 400 m,
- \star l'apatite Ca5(PO4)3(F, OH, Cl) tout au long du sondage mais surtout sous la cote 520 m,
- * le microlite (Ca, Na, U) $_2$ Ta $_2$ O $_6$ F au-dessus de la cote 600 qui peut renfermer jusqu'à 10 % de CaO. Vu son abondance, sa contribution ne peut se traduire que par quelques centaines de ppm de Ca.
- 2) D'autres minéraux renferment du Ca mais ne sont pas responsables des variations observées à cause de leur faible abondance:
- * la crandalite CaAl₃H(OH)₆(PO₄)₂,
- * la herdérite CaBe [F, OH] (PO₄),
- * la wilkéite Ca₅ [(F,O),(PO₄),SiO₄, SO₄)₃] (détermination R.X.) est mentionné par A. Kosakevitch (1975) dans le sondage E15 dans la carrière de Beauvoir.

Sr montre de très fortes variations le long du sondage et relativement bien corrélées avec Ca. Il décroît irrégulièrement de 800 à 500 m, les teneurs sont très variables dans le faciès B 1. Le comportement erratique de Sr peut en grande partie, être expliqué par la présence d'un phosphate de cristallisation secondaire : la goyazite SrAl₃H(OH)₆ (PO₄)₂, renfermant jusqu'à 20 % de SrO, reconnu entre les cotes 100 et 500 m.

Ba n'a pas été dosé à des teneurs inférieures à 10 ppm. Les valeurs supérieures à ce seuil se répartissent en quatre groupes : 880/720 m correspondant au faciès « B 3 », 520/380 m partie inférieure du faciès B 1, 340/290 m et 200/100 m dans le faciès B 1. Dans le premier groupe 880/720 m, Ba est parfaitement corrélé avec Sr, moyennement dans les trois autres groupes. Ba n'a été rencontré que dans le cœur de quelques cristaux de feldspath potassique. On a vu plus haut que l'anomalie 520/380 est essentiellement imputable à des phénomènes hydrothermaux.

Be La teneur en Be est de moins de 60 ppm dans les faciès B 2 - B 3. Elle n'augmente que dans la partie supérieure de B 2 à partir de 500 m avec de fortes oscillations, les teneurs croissent à partir de 347 m, les plus importantes apparaissant dans les 100 m supérieurs. Le problème de la localisation de Be n'a pas été complètement résolu. G. Aubert (1969) avait mis en évidence la présence de herdérite CaBe, (FOH) (PO $_{\phi}$) par clichés de R X dans les sondages miniers et la descenderie foncée dans la carrière de Beauvoir. Des essais de récupération de Be réalisés par le CEA dans la carrière de Beauvoir démontrent que Be y est contenu dans des minéraux lixiviables (mais dans le granite très kaolinisé il peut s'agir d'un minéral secondaire hydrothermal). Nos propres recherches pétrographiques et minéralogiques montrent que la herdérite n'est pas le porteur principal. Elle n'a été repérée qu'en deux

points du sondage, un des deux points étant une veine recoupant le microgranite (cote 701,70). Son identification, Be n'étant pas dosable à la MSE, a été réalisée par spectroscopie Raman, (Johan et *al.*,(1987); Document BRGM n° 124).

Le béryl a été mis en évidence dans des échantillons provenant de la descenderie foncée dans la carrière de Beauvoir. ains que dans des « bulles » pegmatoïdes du faciès B1 (M. Fonteilles, comm. orale), mais la quantité de Be au toit du sondage ne peut s'expliquer par la seule présence de ce minéral. Des dosages réalisés au CRPG sur des lépidolites soigneusement séparées (G. Monier et al., 1987, ce volume), montrent que la teneur en Be croît rapidement de la base vers le sommet du sondage depuis une quarantaine de ppm entre la cote 700 et 550 jusqu'à 170 ppm à la cote 280 et 266 ppm à la cote 110. Le problème de la localisation précise du béryllium reste toutefois posé. Est-il lié cristallochimiquement à la lépidolite ou bien s'agit-il d'inclusions ultra-microscopiques de béryl? Compte tenu des éléments d'appréciation développés plus haut on ne peut rendre compte que d'environ 50 % de la teneur en Be du granite dans le sondage en termes de porteurs minéralogiques. Il est donc vraisemblable que d'autres phases porteuses de Be existent qui n'ont pas encore été identifiées.

Mg Le dosage de Mg, qui peut être considéré dans le cas présent comme un élément en traces, n'a pas été réalisé avec une précision suffisante qui permette de s'assurer que les variations observées dans le log sont bien dues aux teneurs mesurées et non propres à la méthode analytique utilisée. Mg est contenu majoritairement dans la lépidolite (Monier et al.; Fonteilles ce volume). MgO variant de 0,09 à 0,04 % de la base au sommet du sondage.

1.4. – Eléments de transition et autres métaux (fig. 4)

Fe Les données concernant Fe sont fragmentaires dans le faciès B 1, à cause des teneurs voisines des seuils de détection de la méthode de dosage utilisée. De façon très globale, on peut dire que $Fe_{\rm T}$ montre une nette tendance à décroître vers le haut du sondage. Fe est contenu dans une grande partie des minéraux étudiés — soit comme élément majeur, soit comme trace — on ne peut donc pas corréler simplement son comportement avec la présence ou la composition de tel ou tel minéral ; on peut toutefois noter dans la lépidolite qui contrôle la plus grande partie du stock de fer, de la roche, que $FeO_{\rm T}$ varie de 7,2 à 0,48 % de bas en haut du sondage, le rapport Fe^{2+}/Fe^{3+} décroissant de 15 à 3 (Monier et al.,(1987), ce volume) indique une tendance à l'augmentation de la FO_2 vers le surface.

Mn montre des teneurs à peu près constantes dans B 3 et B 2 puis une décroissance de 420 à 300 m suivie d'une augmentation puis d'une seconde décroissance de 250 à 100 m. Mn est principalement contenu dans la lépidolite et accessoirement dans l'apatite et la columbo-tantalite. Dans la lépidolite, on note entre 400 et 460 m une chute brutale de la teneur en Mn, de 1 % à 0,20 % de MnO qui marque bien la discontinuité B 2-B 1 (fig. 5). Dans les zinnwaldites des passées au contact des micaschistes, on observe une nette influence de l'encaissant sur la distribution de Mn qui décroît alors fortement tandis que Mg et Fe croissent dans les mêmes proportions (Monier et *al.*, 1987, ce volume).

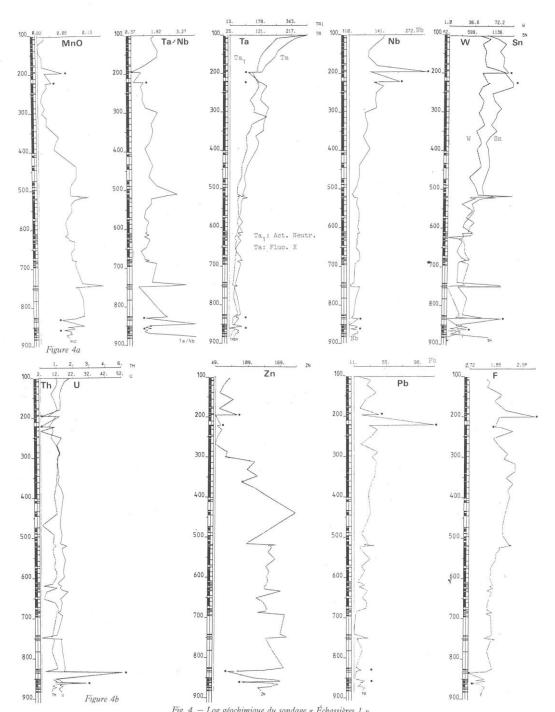


Fig. 4. — Log géochimique du sondage « Échassières 1 »

Domaine de variation des éléments en traces (éléments de transition, autres métaux et fluor). Les valeurs anomales (éch. 68,60; 16 et 1) sont dues à la présence d'aplites et de concentrations de lépidolite aux cotes 195,90; 221,40 et 834,30 ainsi que de microgranite à 860,30. Leur comportement géochimique souligne leur caractère particulier mis en évidence lors de l'échantillonnage et par l'étude pétrographique.

Geochemical log of the Échassieres 1 borehole
Field of trace elements (transition elements, other metals and fluorine). The anomalous values (68.6, 16 and 1) are due to the presence of aplite and concentrations of lepidolite at 195.9, 221.4 and 834.3 m and microgranite at 860.3 m. Their geochemical behaviour emphasises their distinctive character revealed during sampling and by petrographic examination.

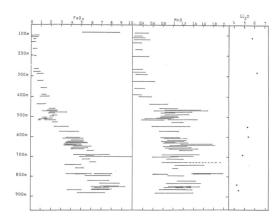


Fig. 5. - Variation de la composition des zinnwaldites - lépidolites (LiO₂ analysé sur micas sépares, MnO et FeO₁₀α analyses à la MSE) le long du sondage Échassières I, d'après G. Monier et al. (1987) (ce volume)

Le zonage des micas est indiqué par la longueur et les discontinuités des barres horizontales des œurs est à droite, celle des bordures à gauche. Variation in the composition of zinnwaldite-lepidolite through the Échassières 1 borehole (Monier et al., this volume; LiO2 analysed on mica separates, MnO and FeO2 analysed by electron microprobe). The zoning of the micas is indicated by the length and discontinuities of the horizontal lines, the composition of the cores being at the right hand that of the margin at the left.

Dans l'apatite, la génération d'apatite verte (apatite 1), la plus riche en Mn est localisée au-dessous de la cote 470 dans les faciès B 2-B 3. La seconde génération beaucoup moins enrichie en Mn ne marque pas nettement la discontinuité 400/460 m. Mn est présent seulement dans la columbo-tantalite granulaire. Au sein de chaque faciès les teneurs en Mn tendent à croître vers le sommet de B 3-B 2 et B 1 respectivement (fig. 6a). Toutefois, il est à noter qu'entre les faciès B 2 et B 1, une augmentation de la teneur en fer, dans la columbotantalite, perturbe l'évolution générale entre 409 et 498 m.

Les columbo-tantalites sont zonées, les zones les plus externes sont les plus ferrifères. Vers 260 m, les teneurs en fer redeviennent normales et l'évolution se fait vers un enrichissement en Mn dans le haut du sondage.

Ta – Nb Nb croît de la base vers le sommet du sondage avec des irrégularités autour de la cote 200 m, dues aux litages et veines riches en micas ou en albite qui sont représentés par les échantillons 68 et 60. La croissance ne devient nette que vers la cote 400 m à partir de laquelle le microlite est fréquent.

L'évolution du microlite dans les faciès B1 et B2 se caractérise (fig. 6b) par une augmentation des teneurs en Nb vers la surface.

Ta croît de la base au sommet du sondage, la variation la plus marquée et produisant au-dessus de la cote 500 m. Dans les columbo-tantalites, les teneurs en tantale ont tendance à diminuer vers la surface. Généralement, lorsque les columbo-tantalites sont zonées, la teneur en Ta augmente vers la bordure des cristaux, bien que localement on puisse observer des récurrences dans les teneurs en niobium (Ohnenstetter et Piantone (1987) document BRGM n° 124).

Lorsque l'on compare l'évolution des rapports Ta/Nb et Ta/Ta+Nb des deux minéraux principaux porteurs de Ta et Nb (fig. 6c), il apparaît que :

- Ta/Nb diminue depuis les faciès les plus profonds jusqu'à la surface,
- Ta/Ta+Nb tend plus rapidement vers 0 dans la columbotantalite que dans le microlite.

En passant des faciès B 3 à B 1, le rapport Mn/Mn+Fe des columbo-tantalites augmente alors que le rapport Ta/Ta+Nb tend à diminuer.

Zr, Hf Les données analytiques concernant Zr ne couvrent pas l'ensemble du sondage et sont discontinues, en particulier dans la partie supérieure. Les teneurs en Hf dispersées dans les faciès B 3 et B 2 montrent de la base au sommet du faciès B 1 une légère décroissance suivie d'un léger accroissement. Zr et Hf sont principalement contenus dans le zircon; la mesure (à la MSE) du rapport Zr/Hf dans les zircons (fig. 7) qui ne montre pas de variations notables, indique que les teneurs en Zr dans le faciès B 1 doivent être du même ordre de grandeur que ce qui a été mesuré dans B 2 et qu'à un cœfficient constant près, les teneurs en Zr doivent pouvoir être corrélées à celles de Hf.

Sn Les teneurs en Sn croissent à quelques irrégularités près, de la base au sommet du sondage avec deux anomalies positives marquées, l'une vers 750 m dans le faciès B 3 très chargé en débris de schistes et de quartz à wolframite, l'autre à 500 m au sommet de l'unité B 2 homogène, sous une veine à grain très fin de B 1, base de la zone basale de B 1 à enclaves de B 2. Sn est contenu majoritairement dans la cassitérite et constitue une part mineure jusqu'à 1 % de certaines columbo-tantalites. Ces données sont en bon accord avec l'observation macroscopique qui indique que l'abondance de la cassitérite croît de la base vers le sommet du sondage.

WDe façon globale, mais avec de nombreuses irrégularités, les teneurs en W croissent de la base vers le sommet du sondage. Les fortes anomalies en W et Sn apparaissent corrélées, dans le détail les variations des deux éléments ne sont pas systématiquement couplées, on observe même des anticorrélations dans B 2 et B 3. W a été dosé dans la columbo-tantalite, les teneurs en tungstène évoluent régulièrement dans le microlite au travers de la lame granitique, les valeurs maximales 4,63 % de WO_3 étant observées près de la surface.

U, Th Dans les faciès B3 et B2 la teneur en U est à peu près constante au-dessus de 10 ppm. Elle décroît ensuite dans le faciès B 1 assez régulièrement de 15 à 10 ppm de 440 à 200 m puis entre 200 et 100 m les valeurs restent autour de 10 ppm. Th varie de 0,1 à 1 ppm. Il montre une tendance à peu près symétrique de celle de U : variables dans B 3, les valeurs sont plus regroupées autour de 0,5 ppm dans B2 et on note une tendance à la croissance de Th dans B1 jusqu'à 1,7 ppm à 100 m. Les minéraux porteurs de U ont été identifiés, ce sont : l'uraninite, le microlite et le zircon. Le zircon peut renfermer jusqu'à 4 % de UO2, le microlite 12 %. L'uraninite n'est présente que sous la cote 500 m, c'est-à-dire dans les faciès B 2 et B 3 où l'on a les teneurs maximum en U, elle contient jusqu'à 3 % de ThO₂ et 4,5 % de PbO (Cuney et Brouand, (1987) ce volume). Son altération conduit à la présence locale de chalcolite et de plumbogummite. La présence d'uranium dans le microlite avait déjà été signalée par Kosakevitch (1976). Dans le microlite l'évolution de la teneur en U se caractérise

par une décroissance vers le sommet de chaque faciès (fig. 6b). La décroissance de U y est drastique entre les niveaux 298 m et 260 m (qui correspond également à une décroissance dans la roche totale). Les variations de U au sein de chaque niveau (exemple de 110 à 340 m) sont liées aux zones de croissance des microlites, les zones uranifères étant les plus précoces (cf. Kosakevitch et al., Document BRGM nº 124). Le lessivage des cations remplissant le site A des microlites, Ca et Na ainsi que la teneur en fluor visualisent la métamictisation plus importante vers la base du sondage favorisée par la plus grande abondance d'uranium (fig. 6b).

Th n'a pas été détecté à la MSE ni au MEB dans les zircons, les minéraux porteurs n'ont pas été identifiés, il est néanmoins probable qu'une partie de Th se trouve sous

Ta

un phosphate de Th et de calcium (voisin de la brockite) observé dans un échantillon des sondages miniers (Cuney et Brouand (1987), ce volume). Un phosphate contenant U et Th et des terres rares a été reconnu du M.E.B. (Monazite?) vers la cote 200 m. P Les teneurs en phosphore permettent, aux fluctuations

forme de phosphates. Th est présent dans l'uraninite et dans

près, de discriminer deux ensembles. Un premier ensemble « inférieur » compris entre la base du sondage et la cote 572 et un second ensemble « supérieur » compris entre la cote 553 et le sommet du sondage, caractérisé par des teneurs moyennes plus élevées en P2O5 que dans l'ensemble inférieur. Dans l'ensemble inférieur, les teneurs en P des granites du faciès B3 oscillent fortement dans la zone de contact avec les micaschistes, cependant la partie inférieure de l'ensemble B3 et une partie de l'ensemble B2 montrent des teneurs en P assez semblables. L'augmentation de la quantité de phosphore dans la roche au-dessus de la cote 553 se traduit minéralogiquement par la présence de goyazite. La zone 400-

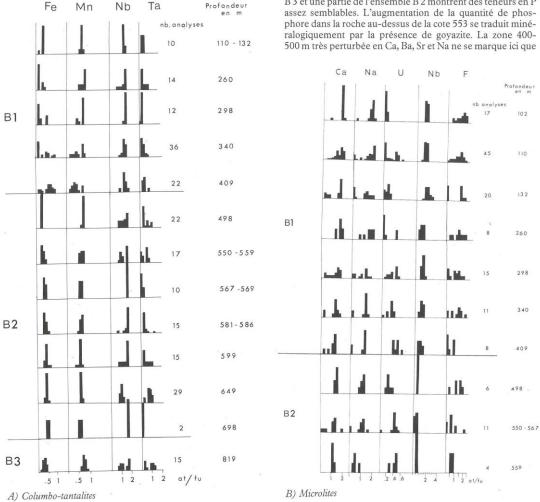
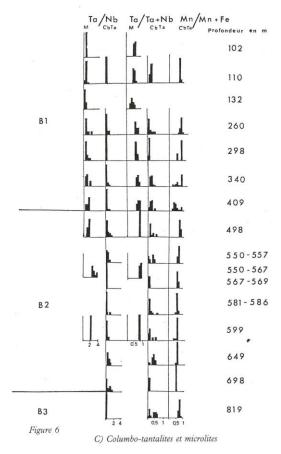


Fig. 6. – Variations (exprimées en atomes par formule-unité) des principaux constituants des microlites (B et M) et des columbo-tantalites (A) en fonction de la profondeur. Variations expressed in atoms per formula-unit of the principal constituents of the microlite (B-M) and the columbo-tantalites (A-Cb Ta) with depth.



par une très légère décroissance du phosphore qu'on doit donc considérer comme un élément peu mobile au stade des altérations à argiles.

Sb Sur la base du dosage de l'antimoine on peut discriminer deux zones : une zone supérieure caractérisée par des teneurs en Sb>3 ppm au-dessus de la cote 420 m correspondant au faciès B 1, et une zone inférieure où les teneurs en Sb<3 ppm. Les minéraux porteurs de l'antimoine, s'ils existent, n'ont pas encore été reconnus.

As Les dosages d'arsenic ne sont pas connus sur l'ensemble de l'échantillonnage à cause des faibles teneurs et des seuils de détection de la méthode de dosage utilisée. On constate cependant un enrichissement en As à proximité du toit et du plancher de l'intrusion qui pourrait traduire l'existence d'échanges entre la roche consolidée et l'encaissant.

B Les teneurs en bore ne sont pas connues pour l'ensemble de l'échantillonnage. Néanmoins, il semble que les teneurs en bore inférieures à 20 ppm dans la partie centrale du sondage (200 à 700 m) s'élèvent au-dessus de cette valeur et jusqu'à 35 ppm dans les zones de contact avec les micaschistes. L'hypothèse d'une contamination de l'encaissant, comme dans le cas de l'arsenic, doit être envisagée.

Zn Dans les faciès B3 et B2, Zn, quoique montrant d'assez

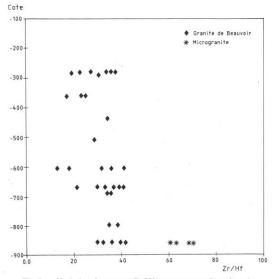


Fig. 7. — Variation du rapport Zr/Hf en atomes par formule-unité des zircons du granite de Beauvoir en fonction de la profondeur. Se zircons du microgranite (cote 860) se singularisent par leur rapport plus élevé qui indiquerait leur non cogénétisme avec l'ensemble des granites de Beauvoir.

Variations in the Zr/Hf ratio in the zircons of the Beauvoir granite and in the microgranite in the Échassières 1 borehole. Measurements made by electron microprobe.

fortes variations, reste toujours supérieur à 100 ppm de ZnO. Dans le faciès B 1, à partir de 394 m, les teneurs deviennent rapidement inférieures à 100 ppm de Zn. La forte anomalie (200 ppm) entre 440 et 480 m correspond à la base du faciès B 1 où elle coïncide avec la forte anomalie de Ba. Ces deux échantillons anormaux encadrent la zone très fortement hydrothermalisée de la cote 460 m. Les fortes valeurs de Zn et Ba sont probablement liées à une phase hydrothermale. Les teneurs en Zn de l'ordre de 150 ppm à la base du sondage peuvent être expliquées par la présence de blende en petits cristaux de 50 μ m environ. Ceux-ci n'ont pas été vus plus haut, toutefois leur petite taille et leur rareté les rendent difficilement discernables. Un examen systématique appuyé par une analyse au MEB devrait permettre de les localiser entre 450 et 800 m.

1.5. - Autres éléments

Pb La teneur en Pb ne devient non négligeable qu'au-dessus de la cote 700. Elle croît à partir de la cote 600 (apparition du microlite) jusqu'à la cote 300. Au-dessus de cette cote, bien que très variables, les valeurs de Pb décroissent légèrement. A la cote 221 des enduits de plumbogummite ont été trouvés lors de l'échantillonnage dans des fractures. Ils n'ont bien entendu pas été pris en compte dans les analyses. Dans la même zone a été observée la plumbomicrolite (4,8 % de PbO) dans le niveau 298 m, une teneur comparable a été rencontrée à la cote 409. Près de la surface des teneurs en PbO de 0,74 % ont été mesurées dans la plumbomicrolite.

FLes teneurs en fluor croissent depuis la cote 825 m jusqu'à la cote 320 m. Au-dessus de cette cote, elles décroissent len-

I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0023 0024 0022 0020 0021 0025 0026 0031 0029 0030 0032 0028			2	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0052 0049 0047 0043 0042 0040 0044 0045 0057 0046 0063 0058 0060 0062 0059 0065 0048 0061		111111111111111111111111111111111111111	****	3	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0016 0017 0018 0019 0012 0013 0011 0006 0010 0008 0074 0015	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	111111111111111111111111111111111111111	11111	5 1		0039 0036 0037 0033 0034 0035 0038 11111 0003 0004 0005 0002	111111111111111111111111111111111111111		sor por lea	nt : ·té	les n s à g	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	les sé	éque ne e	ent les	0056 11111111 0009 0007 2012 20		
---------------------------------------	---	--	--	--	---	---	--	--	---	------	---	---	--	---	---	-------	-----	--	---	---	--	-------------------	-------------	----------------	---------------------------------------	-----------	--------------	------------	--	--	--

Tableau 4 — Teneurs moyennes des échantillons du sondage dans chacune des classes définies en C.A.H. Average values of the samples from the borehole in each of the classes defined by hierarchical classification.

GR. 6 3 9 1 5 2 7 8	OPS 5 12 2 13 7 21 6 1	TITRE B1 SOMMET B1 AFLITES B1 INTERFACE 1-2 B2 SOMMET B2 B2+ B 3 AFLITE LA BOSSE	\$102 68.55 68.24 66.68 69.34 71.18 71.81 69.96 71.50	AL2X 17.53 17.83 18.49 17.39 16.27 16.07 16.64 15.90	MNO 0.03 0.04 0.06 0.09 0.08 0.09 0.10 0.07	FE2X 0.19 0.20 0.20 0.27 0.53 0.63 0.49 1.13	F205 1.14 1.30 0.69 1.37 0.92 0.91 1.45 0.42	L120 1.28 1.41 2.39 1.04 0.69 0.52 0.57	RB20 0.44 0.42 0.52 0.30 0.25 0.21 0.18	F 1.69 2.31 2.69 2.21 1.69 1.45 1.57 0.72	2N 70. 76. 74. 146. 145. 149. 151. 75.	SR 1111. 1116. 1349. 815. 428. 292. 742. 62.
GR. 6 3 9 1 5 2 7 8	OBS 5 12 2 13 7 21 6 1	TITRE B1 SOMMET B1 AFLITES B1 INTERFACE 1-2 B2 SOMMET B2 E2+ R 3 APLITE LA BOSSE	TA 208. 126. 117. 75. 57. 50. 49.	NB 124. 105. 280. 47. 47. 40. 23. 48.	¥ 50. 46. 67. 40. 27. 20. 8. 75.	BE 258. 161. 98. 60. 37. 33. 12. 7.	CS 567. 373. 506. 369. 501. 180. 138.	SR 326. 141. 37. 161. 110. 94. 314.	U 11. 12. 7. 15. 14. 14. 15.	TH 1.2 0.6 -0.5 0.3 0.3 0.5 0.2 5.7	HF 2.8 2.5 2.8 2.5 0.5 0.4 1.5 3.7	B1 -5. -5. -5. -5. -5.

Tableau 5 — Répartition des échantillons du sondage à l'intérieur des groupes définis en C.A.H. Distribution of samples from the borehole within the groups defined by hierarchical classification.

groupe particulier apparaît, caractérisé par de fortes teneurs en Sr, Sn, F et P_2O_5 et par contre une diminution des teneurs moyennes en W, Nb, Be et Cs. Il correspond assez bien au faciès B 3 défini macroscopiquement.

L'association W, Bi dans l'aplite rose de la cote 834,30 rappelle l'image géochimique de l'épisode La Bosse, responsable du gîte à W et de son auréole W — Bi (Aubert, 1969).

3. - Conclusion

3.1. — Traitement statistique des données géochimiques

Les méthodes de traitement des données utilisées mettent bien en évidence le rôle primordial des éléments en traces: Li, Be, Rb, F, Sn, Nb, Cs, Ta, qui se regroupent pour donner, en ACP, le facteur FA1 qui explique, à lui seul, 60 % de la variance totale et dont les variations de moyenne pilotent la séparation des groupes de la CAH. Cette dernière technique s'avère plus performante que l'ACP pour la discrimination de sous-groupes.

La combinaison des deux méthodes illustrée sur la figure 9 permet de proposer les distinctions de faciès suivantes:

- un faciès « B¹1 » situé au-dessus de la cote 416,30 (ACP) à 378,25 (CAH). La CAH discrimine un sous-faciès « B¹1 sup » au-dessus de 172,03 qui correspond à la zone du toit de l'intrusion appauvrie en fluor et à lépidolite partiellement muscovitisée
- $-\,$ une « interface B 1 B 2 » comprise entre 438,60 et 536,25 (ACP) ou 378,2 et 566,30 (CAH).
- $-\,$ la CAH permet de détailler l'intérieur du faciès « B $2\,$ » en mettant en évidence :
- + un faciès « B 2 supérieur » enrichi en éléments hygromagmaphiles de 572,15 à 625,65 ;
- + un faciès « B 2 » 628,45 à 747,85 et de 850,20 à 874,60 en filons dans les micaschistes.
- + un faciès « B 3 » (équivalent du faciès macroscopique « B 3 ») disposé à la base du corps principal de granite de Beauvoir entre 747 et 789 m ou formant des filons minces dans les micaschistes entre 790 et 850 m.

3.2. – Log pétrographique

Les domaines de cristallisation des différents minéraux résumés sur la figure 1 se répartissent, pour les uns de façon continue sur l'ensemble du sondage (avec toutefois des variations de composition interne), pour les autres de façon discontinue. Le chevauchement des zones d'apparition, de disparition ou de changement de composition drastique des minéraux entre les cotes 400 et 480 amène à définir une zone mixte, homologue de celle définie en géochimie, interface entre les faciès sommital (B 1) et basal (B 2) du granite de Beauvoir. La puissance de cette zone de transition entre les deux faciès est de l'ordre de 80 m, le domaine de définition du passage entre B 1 et B 2 peut être réduit à une vingtaine de mètres et cerné entre 425 et 450 m : disparition de l'apatite 1, de la columbotantalite lamellaire, changement de mode du

feldspath potassique, changement de composition en MnO des lépidolites.

4. - Conclusion générale

La figure 10 synthétise les données issues des informations pétrographiques et géochimique. On note une assez bonne correspondance entre les zones discriminées dans le sondage GPF par des approches totalement différentes. Le

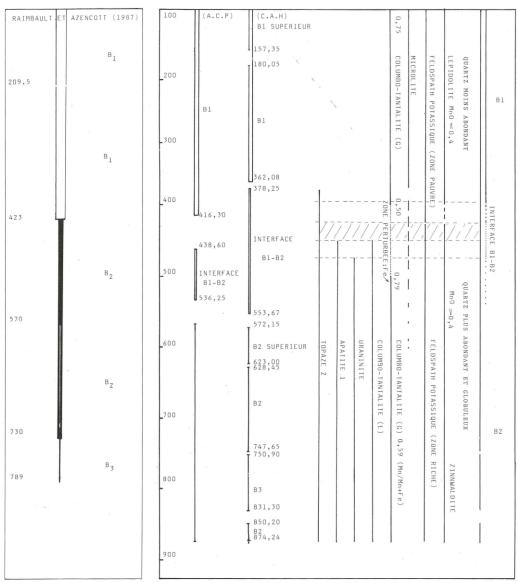


Figure 10 — Discrimination des principales unités du granite de Beauvoir d'après les données géochimique et pétrographique.

Discrimination of the principal units of the Beauvoir granite from geochemical and petrographic data.

granite de Beauvoir pourrait correspondre à la mise en place successive de deux intrusions.

Une première intrusion « B 2 » différenciée du bas vers le haut et une seconde intrusion « B 1 » enrichie en éléments hygromagmaphiles, et mise en place peu de temps après B 2. L'interface B 1 - B 2 correspondant à une zone d'interaction entre les deux magmas à l'état magmatique, son caractère de zone hybride explique les différences d'appréciation de ses limites en fonction de la mobilité des éléments considérés pour les définir.

L'analyse minéralogique détaillée des composants des granites du sondage GPF peut être utilisée pour essayer de corréler les faciès B1 et B2 définis dans le sondage avec les granites de la carrière de Beauvoir reconnus à partir des sondages miniers (fig. 12). Sur la base des compositions des microlites (Kosakevitch, travail en cours), on remarque (fig. 11) que les microlites du sondage E4 (fig. 12), proche du sondage GPF, montrent des compositions proches des microlites du faciès B1 les plus riches en Nb. Les compositions des microlites des autres sondages miniers situés dans la carrière de Beauvoir à l'ouest des sondages GPF et E4 se positionnent à la fois sur celles du faciès B 1 mais aussi sur celles du faciès B 2 et accessoirement B 3. L'étude géochimique des isotopes stables (Fouillac et al., (1987), ce volume) conclut aussi à l'appartenance des roches analysées dans les sondages E1 et E10 au faciès B2. Les analyses des éléments traces réalisées par Raimbault sur les sondages ES4, E1, E10 (Document BRGM nº 124) conduisent aussi à y identifier des granites de type G2 supérieur. Ceci amène à penser que le faciès B 2 affleure vraisemblablement dans la carrière de Beauvoir et qu'il convient d'en rechercher l'extension afin de parfaire la reconstitution géométrique de l'intrusion de Beauvoir. C'est à ce stade que l'introduction de types de descripteurs nouveaux de ces granites, tels que ceux qui dériveraient d'une analyse de pétrologie structurale (Gagny et Jacquot, ce volume) ou de propriétés pétrophysiques comme l'anisotropie de la susceptiblilité magnétique (cf. Bouchez et al., ce volume), ou encore de diagraphies de forages... permettront de vérifier si les limites et/ ou les discontinuités nouvelles décelées par ces méthodes coïncident ou non avec les discontinuités géochimiques décrites ci-dessus.

Références bibliographiques

AUBERT G. (1969). — Les coupoles granitiques de Montebras et d'Échassières (Massif central français) et la genèse de leurs minéralisations en étain, tungstène, lithium et beryllium. Mem. BRGM, Fr. n° 46, 345 p.

AUTRAN A., BURNOL B. (1985). — Présentation synthétique des résultats du log lithologique du forage GPF. Documents du BRGM n° 100, pp. 21-38.

CUNEY M., AUTRAN A., BURNOL L., BROUAND M., DUDOIGNON P., FEYBESSE J.-L., GAGNY C., JACQUOT T., KOSAKEVITCH A., MARTIN P., MEUNIER A., MONIER G. et TEGYEY M. — Résultats préliminaires apportés par le sondage GPF de 900 m sur le granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, Paris 303, II, 7, pp. 569-574.

 $\begin{array}{l} \hbox{JOHAN V., MONIER G., ROSSI Ph. (1987).} - \hbox{\'etude p\'etrographique} \\ \hbox{syst\'ematique des granites du sondage GPF de Beauvoir (complexe granitique d'Échassières, Massif central, France). Vol. annexes.} \\ \hbox{Document BRGM n° 124.} \end{array}$

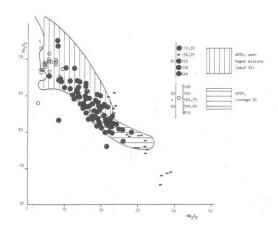


Fig. 11. — Comparaison de compositions des microlites du sondage GPF et des sondages miniers. Les microlites du faciès B 1 du sondage GPF1 et du sondage E4 ont des compositions semblables, les microlites des autres sondages miniers montrent des compositions identiques à celles reconnues dans les faciès B 1 et B 2.

Comparison of the compositions of microlites from the Echassieres 1 borehole and from mining boreholes. The microlites of facies B 1 in the Échassières borehole and of borehole E4 have similar compositions; the microlites from the other mining boreholes have compositions identical to those found in facies B 1 and B 2.

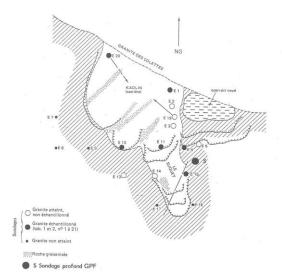


Fig. 12.— Croquis d'implantation des sondages courts et du sondage GPF sur le granite de Beauvoir et les micaschistes encaissants. Sketch map showing the location of the short boreholes and of the Échassières 1 deep borehole on the Beauvoir granite and the enclosing micaschist.

KOSAKEVITCH A. (1976). - Evolution de la minéralisation en Li, Ta, Nb dans la coupole granitique de Beauvoir (massif d'Echassières, Allier). Rapport BRGM 76 SGN 316 MGA.

MONIER G., TEGYEY M. (1985). — Etude pétrographique préliminaire du sondage GPF. Doc. BRGM n° 100, 41-102.

OHNENSTETTER D., PIANTONE P. (1987). — Caractérisation et étude des substitutions dans les minéraux du groupe des columbotantalites et du groupe du pyrochlore du granite de Beauvoir. Première approche. Document BRGM n° 124.

RAIMBAULT L., AZENCOTT C. (1987). — Géochimie des éléments majeurs et traces des granites du complexe d'Echassières, Massif Central Français). Documents BRGM n° 124.

ROSSI Ph., AUTRAN A., AZENCOTT C., GOVINDARAJU K., MONIER G., RAIMBAULT L., SAUGUES J.-C., VIALLEFOND L. (1987). — Sélection des méthodes analytiques utilisées pour la réalisation du log géochimique du granite de Beauvoir. Sandage GPF « Échassières I », vol. annexes. Document BRGM nº 124.