

## Modalités de la fusion partielle dans l'orthogneiss de Saint-Alyre (Cézallier)

Pierre Barbey\* et Michel Cuney\*\*

Mots-clés : Fusion partielle, Orthogneiss, Analyse majeurs, Analyse élément trace, Terre rare,  
Puy-de-Dôme (Saint-Alyre-ès-Montagne).

### Résumé

Les orthogneiss de Saint-Alyre, recoupés par le sondage GPF-S2, correspondent à une ancienne série granodiorite-granite d'affinité calco-alkaline. Ils ont subi une fusion partielle limitée, sans ségrégation leucosomes - cristaux résiduels, dont l'intensité est contrôlée principalement par la lithologie initiale et vraisemblablement  $\text{PH}_2\text{O}$ . Ils sont en outre injectés par des faciès leucogranitiques pouvant provenir d'un même matériel ayant subi une fusion plus poussée, en profondeur.

### Abstract

*Partial melting conditions in the Saint-Alyre orthogneiss (Cézallier)*

The Saint-Alyre orthogneisses of the GPF-S2 drill hole correspond to a granodiorite-granite series of calc-alkaline affinity. They have been submitted to partial melting without segregation of the leucosomes from the residual crystals. The degree of melting is mainly controlled by initial lithologies and probably  $\text{PH}_2\text{O}$ . These orthogneisses are also injected with leucogranitic dykes which may derive from partial melting of the same material, but at higher degrees at depth.

---

### Introduction

Les sondages S1 et S2 de Chassole du programme Géologie Profonde de la France, ont essentiellement recoupé des formations orthogneissiques, dites de Saint-Alyre, auxquelles sont associés des paragneiss, métadiorites et métaplites. L'ensemble est migmatisé (entre les côtes 280-670 et 1 300-1 400 m) et comprend des faciès anatectiques et leucogranitiques (Feybesse et al., 1986; Tempier et Belin, 1986).

Ce travail se propose d'examiner le fractionnement des éléments traces au cours de l'anatexis des gneiss de Saint-Alyre. Il porte donc sur les caractères pétrographiques et chimiques des formations du sondage S2 entre les côtes 260 et 860 m, correspondant à une des deux zones migmatisées.

Cette étude permet de montrer que la migmatisation se fait sans fractionnement significatif des éléments et se traduit :

- par une fusion partielle pénétrative, in situ, des gneiss, sans ségrégation des mélanosomes ni des leucosomes, donnant lieu principalement à une désorganisation progressive de la structure gneissique, pouvant conduire à des nébulites;
- par l'injection dans la série gneissique, de matériel granitique provenant de niveaux plus profonds.

---

### Pétrographie

Une étude pétrographique préliminaire (Feybesse et al., 1986; Tempier et Belin, 1986) a décrit les grands types pétrographiques rencontrés dans le sondage. Nous avons adopté leurs subdivisions et, le cas échéant, complété leur description.

### Échantillonnage

Cette étude porte sur un lot de 38 échantillons provenant de deux échantillonnages réalisés indépendamment, l'un par M. Cuney (échantillons Cz) l'autre par P. Tempier (échantillons A-U). Un tableau synthétique donne la cote des échantillons ainsi que leur nature pétrographique (Tabl. 1).

### Description pétrographique

Trois faciès principaux constituent l'essentiel des échantillons étudiés : les orthogneiss de Saint-Alyre, des gneiss ocellaires à biotite et plagioclase ainsi que les faciès anatectiques et leucogranitiques.

\* Laboratoire de Pétrologie, Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandœuvre-les-Nancy Cedex et CRPG - CNRS, BP 20, 54501 Vandœuvre les Nancy Cedex.  
\*\* C.R.E.G.U. et G.S. CNRS - CREGU, BP 23, 54501 Vandœuvre les Nancy Cedex.

Echantillon n°	Z <sub>(m)</sub>	Nature pétrographique
Cz 260	260.6	leucogranite à cordiérite
Cz 332	332.0	orthoigneiss
Cz 335.I	335.5	orthoigneiss
A	344.1	orthoigneiss anatectique
B	344.3	orthoigneiss faiblement anatectique
C	344.5	orthoigneiss
D	345.0	orthoigneiss anatectique
E	345.5	orthoigneiss faiblement anatectique
F	345.9	orthoigneiss
G	363.3	mobilisat à nodule de cordiérite
H	363.3	orthoigneiss anatectique
I	364.0	orthoigneiss anatectique
J	364.4	orthoigneiss anatectique
K	364.7	orthoigneiss anatectique
Cz 445	445.6	mobilisat à nodule de cordiérite
L	498.0	orthoigneiss faiblement anatectique
M	498.8	orthoigneiss faiblement anatectique
N	499.1	orthoigneiss faiblement anatectique
O	499.4	orthoigneiss faiblement anatectique
P	499.5	orthoigneiss faiblement anatectique
Cz 537	537.8	mobilisat
Cz 543	543.8	aplite
Q	547.8	orthoigneiss anatectique
R	555.3	aplite
S	556.2	orthoigneiss anatectique
T	561.8	orthoigneiss anatectique
U	565.4	aplite
Cz 622.I	622.5	orthoigneiss
Cz 622.II	622.5	orthoigneiss anatectique
Cz 622.III	622.5	leucogranite
Cz 767	767.0	aplite
Cz 814	814.0	aplite
Cz 814.III.L	814.0	mobilisat pegmatitique à cordiérite
Cz 814.III.M	814.0	gneiss ocellaire
Cz 855	855.5	leucogranite
Cz Sc.L	?	mobilisat pegmatitique
Cz Sc.M	?	gneiss ocellaire

Tabl. 1. — Localisation et nature pétrographique des échantillons étudiés.  
Sondage S2 de Chassoles.

Tabl. 1. Location and petrographic characteristics of the samples studied.

**Orthogneiss** — Ce sont des roches hétérogènes caractérisées notamment par une variation significative de la taille du grain (1 mm à plus de 5 mm), correspondant à des faciès fins, moyens et grossiers passant progressivement de l'un à l'autre ; selon la position dans le sondage, l'un des faciès domine et contient des récurrences des deux autres (Feybesse et al., 1986). Leur texture est granoblastique, hétérogranulaire. Une schistosité majeure y est soulignée par les paillettes de biotite. Une seconde schistosité, oblique sur la première, y apparaît localement. Leur composition minéralogique est assez constante (Qtz, Kfs, Pl, Bt, Zrn, Ap, Mnz), la seule variation étant celle de la proportion de biotite. Le quartz est le plus souvent en position interstitielle ou en inclusions globulaires dans les feldspaths. Les feldspaths sont xénomorphes à sub-automorphes ; le feldspath potassique n'est que faiblement perthitique ; le plagioclase a une composition variable (An 8-28). Certains échantillons (Cz-332 et Cz-335.I), plus riches

en biotite, présentent une texture transitionnelle avec celle des gneiss ocellaires.

#### Gneiss ocellaires à biotite et plagioclase

Ce sont des roches homogènes à grain moyen (1-3 mm) possédant une structure ocellaire typique et caractérisées par une forte proportion de biotite, leur conférant localement l'aspect de mélanosome. Leur texture est lépidoblastique. Minéralogiquement, ils sont constitués de biotite et plagioclase essentiellement, de quartz et feldspath potassique en quantité subordonnée. Le plagioclase (An 10-20) se présente en ocelles de quelques mm, assez fortement poeciloblastiques et contenant des cristaux trapus de biotite soulignant une fabrique interne. Ces ocelles sont cloisonnées par des travées de biotite marquant la schistosité majeure de la roche.

Anal. n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ech. n°	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	Cz	814.III.L	814.III.M	855	Sc.L	Sc.M	Fac. Gros	Fac. étiré
SiO <sub>2</sub>	76.83	69.61	71.14	51.99	77.68	73.89	74.22	73.49	73.78	76.57	76.73	52.71	74.25	73.12	51.93	69.1	70.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.47	14.54	13.84	15.79	12.48	14.49	13.07	14.24	13.64	12.18	13.04	14.26	14.11	14.93	17.8	14.6	14.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.45	4.32	3.92	11.22	.97	1.47	1.89	.74	1.17	.69	.79	9.84	.38	1.39	11.05	3.7	3.6
MnO	.02	.07	.06	.19	.03	.04	.05	.03	.06	.02	.03	.16	.04	.04	.19	.04	.04
MgO		1.11	1.5	5.62	.03	.45	.54	.31	.03	.12	.79	10.21	.25	.61	5.66	1.05	1
CaO	.3	2.21	1.12	1.98	.34	1.12	1.19	.46	.32	.27	.61	.17	.65	1.44	1.98	3.1	3
Na <sub>2</sub> O	2.91	3.3	3.49	2.63	3.39	3.58	3.54	3.33	3.66	4.25	4.55	1.21	3.33	4.69	2.72	3.1	2.9
K <sub>2</sub> O	5.66	3.07	3.45	5.27	4.56	4.02	3.78	5.48	4.44	3.74	1.78	6.05	5.27	2.14	5.12	3.5	3.62
TiO <sub>2</sub>		.55	.46	1.7	.07	.24	.25	.1	.06	.08	.06	1.38	.05	.24	1.61	.3	.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		.14	.04	.55		.05	.06	.12	.21		.13	.05	.15	.08	.61		
P.F.	.75	.92	.95	1.88	.91	1.08	1.14	1.03	1.28	.63	1.86	2.66	.88	.92	1.8		
Rb	119	130	146	261	183	140	139	208	207	111	104	454	155	45	228	135	136
Sr	51	186	142	122	50	119	113	84	23	70	76	30	201	195	113	138	136
Ba	293	657	656	520	405	432	409	335	40	262	200	223	946	359	423		
Zr																128	127
Nb																9	9
Y																30	31
Co	35	40	29	25	32	29	47	32	28	34	41	11	17	43	18		
Cu	12	18	15	36	10	10	10	10	10	26	10	10	10	10	42		
V	10	81	61	196	10	32	69	31	10	10	26	168	10	37	190		
Ni	10	20	10	42	10	18	26	13	10	10	15	39	10	17	80		
Cr	10	27	16	121	10	10	16	10	10	10	18	170	10	10	114		
Th	23	11.69	11.71	2.45	19.9	8.52	8.38	4.05	.92	21.15	1.2	6.96	.99	.84	2.69	14.58	
U	6.83	3.64	3.24	1.34	5.93	2.49	1.99	3.21	4.17	7.46	.88	3.36	1.62	1.47	1.64	3.69	
La																	26.65
Ce																	58.07
Nd																	24.63
Sm																	5.78
Eu																	1.08
Gd																	4.61
Dy																	4.54
Er																	2.6
Yb																	3.01
Lu																	.45

Anal. n°	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Ech. n°	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
SiO <sub>2</sub>	76.5	74	69.8	78.3	72.5	69.8	75.9	77.9	78.6	77.8	76.6	69.2	67.2	66.1	64.5	69	77.8	77.2	76.8	75.5	76.6	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.2	14.4	14.7	11.2	14.1	14.6	12.4	12.4	11.7	11.4	12	14.5	14.5	15.6	16.3	15.7	11.1	12.15	12.55	13.4	12.8	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.9	2.04	3	1.8	3.4	4.19	1.6	1	1.3	1.2	1.95	4.1	4.9	5.4	6	3.85	1.81	.9	2.1	.9	.6	
MnO	.02	.04			.04	.05						.05	.8	.08	.09	.05	.02	.04	.01	.01		
MgO	.13	.95	2.05	.75	1.4	1.4	.61	.3	.35	.65	.65	2.15	2.7	2.75	2.7	1.7	.74	.55	.74	.16	.2	
CaO	.58	1.4	1.6	1	1.7	2.8	.83	.75	.61	.67	.81	2	1.9	1.55	1.9	2.1	.88	.6	.37	.46	.59	
Na <sub>2</sub> O	3.5	3.7	3.65	2.6	3.65	3.5	2.9	3.6	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.65	3.8	3.8	2.75	3.5	2.5	3.3	3.3	
K <sub>2</sub> O	4.25	3	3	3.6	3.2	2.4	3.7	3.9	3.8	2.8	3.7	2.4	2.7	2.9	3.2	2.6	3.55	3.75	3.75	5	4.25	
TiO <sub>2</sub>		.4	.5		.2	.7			.1	.2	.1	.6	.7	.8	.8	.4						
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>																						
P.F.																						
Rb	122	97	135	99	130	125	103	97	102	125	124	123	134	138	147	106	157	115	120	185	137	
Sr	86	111	104	95	129	142	60	71	69	74	73	114	112	114	121	122	69	58	42	74	70	
Ba																						
Zr	77	104	120	97	138	170	97	77	80	83	87	149	196	13	158	168	80	81	93	75	83	
Nb	8	8	7	7	10	10	15	7	7	8	9	9	13	189	15	11	8	8	10	9	7	
Y	32	30	25	28	35	33	216	39	35	35	41	28	52	39	55	39	43	47	34	38	32	
Co																						
Cu																						
V																						
Ni																						
Cr																						
Th	16.6	15.51	15.33				33.52	17.76						15.53	17.07				20.1			
U	4.89	23.12	4.24				11.13	4.62						4.9	5.2				4.88			
La	26.7	29.99					89.67							35.42					28.31			
Ce	55.92	62.39					205.72							75.4					61.88			
Nd	24.83	26.93					99.36							32.64					26.91			
Sm	5.97	6.53					30.3							7.97					6.9			
Eu	.5	1.13					1.51							1.08					.65			
Gd	4.98	5.33					29.74							6.69					5.9			
Dy	5.14	5.3					40.23							6.54					6.33			
Er	2.87	3.09					24.48							3.72					3.73			
Yb	3.32	3.64					26.56							4.34					4.03			
Lu	.45	.54					3.77							.6					.58			

Tabl. 2. — Teneurs en éléments majeurs (% pds) et traces (ppm) des échantillons étudiés  
Major and trace elements contents of the samples studied. — Major elements : weight %. — Trace elements : ppm.

**Faciès anatectiques et leucogranitiques** — Deux types principaux de faciès anatectiques ont été observés.

1) Des orthogneiss anatectiques, caractérisés par une perte progressive de la schistosité, sans ségrégation des mélanosomes ni des leucosomes. La fusion de l'orthogneiss se fait de façon pénétrative et les mélanosomes correspondent à des schlieren à biotite et cordiérite, plus ou moins mimétiques de la schistosité et intimement associés aux leucosomes. La composition minéralogique est peu différente de celle des orthogneiss, si ce n'est le développement de la cordiérite aux dépens de la biotite. Cette cordiérite peut être ensuite, partiellement remplacée par la biotite dans des ombres de pression ou le long de microfractures.

2) Des mobilisats quartzofeldspathiques avec ou sans cordiérite, en poches ou filons sécants sur la structure des gneiss. Ces mobilisats ont une texture subpegmatitique et sont constitués de quartz, feldspath potassique, plagioclase.

De grandes cordiérites poecilites (Qtz et Pl) peuvent apparaître localement.

Certains mobilisats sont des roches à textures de cumulats constituées de feldspath potassique et plagioclase (<An 10) et de quartz interstitiel en proportion restreinte. Les deux feldspaths peuvent varier en proportion et donner des termes plagioclasiques ou potassiques. Ils correspondent aux anatectes particulières décrites par Tempier et Belin (1986).

Les faciès leucogranitiques présentent une grande variabilité texturale et comprennent des aplites, des leucogranites et des pegmatites. Les aplites sont des roches à quartz, feldspath potassique perthitique, plagioclase (An10) et biotite ou cordiérite. Deux types d'aprites ont été distingués selon qu'elles sont déformées ou non (Feybesse et al., 1986) ; Tempier et Belin, 1986). Les autres faciès ont la même composition minéralogique mais se caractérisent par une texture cumulative à feldspath potassique et plagioclase automorphes, souvent assez fortement zonés et quartz interstitiel. La cordiérite est généralement présente en cristaux automorphes pinitisés.

## Géochimie

### Méthodes analytiques

Les éléments majeurs et traces ont été dosés sur 36 échantillons. Les éléments majeurs ont été dosés au CRPG (Nancy) par ICP (Govindaraju, 1980), pour la série Cz, et à l'Université de Clermont-Ferrand, pour la série A-U. Rb, Sr, Zr, Nb et Y ont été dosés par XRF (Govindaraju et Montanari, 1978) à l'Université de Nancy I et les terres rares par ICP (Govindaraju, 1980) au CRPG.

### Caractérisation géochimique de la série

Les données analytiques sont rassemblées dans le tableau 2. Les groupes pétrographiques définis précédemment sont clairement confirmés par les données chimiques.

Dans le diagramme Al/3-K en fonction de Al/3-Na (de la Roche, 1968), l'ensemble de la série orthogneissique (indépendamment de l'intensité de la fusion) apparaît nettement orthodérivée (fig. 1). Le caractère calco-alcalin de cette série ressort sans ambiguïté dans le diagramme R1-R2 (de la Roche et al., 1980 ; fig. 2) où elle dessine une lignée granodiorite-granite. Cette origine est confirmée par les teneurs en éléments traces (tableau 1 et fig. 3) : Rb compris entre 100 et 200 ppm, Zr < 200 ppm, Th et U variant de 12 à 17 ppm et de 4 à 5 ppm respectivement (Th/U = 3,7). Les spectres de terres rares (fig. 4) moyennement fractionnés ( $La_N/Yb_N = 4, 6-5, 9$ ) et caractérisés par une anomalie négative en Eu légèrement variable ( $Eu/Eu^* = 0,15-0,63$ ), sont ceux des séries calco-alcalines.

L'intensité de la fusion partielle, marquée macroscopiquement par la désorganisation plus ou moins avancée de la foliation métamorphique, se superpose remarquablement sur l'évolution chimique générale de la série (fig. 1-3), les faciès les plus migmatisés étant les plus proches d'une composition granitique.

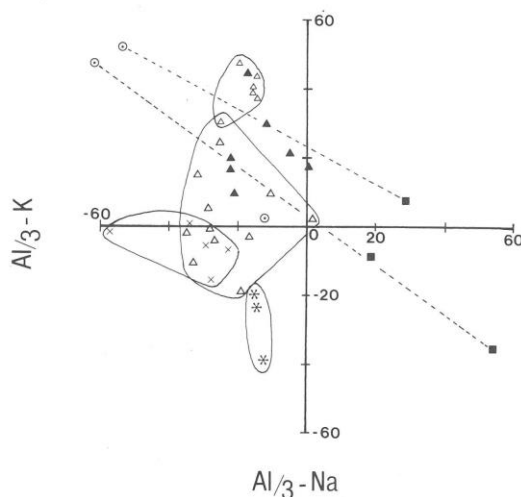


Fig. 1. — Diagramme Al/3-N en fonction de Al/3-K (de La Roche, 1968) montrant la nature orthodérivée de la série de Saint-Alyre et l'accroissement du degré de fusion en fonction du chimisme des gneiss. Symboles : orthogneiss (triangles pleins), gneiss ocellaires (carrés pleins), orthogneiss faiblement anatectiques (petits triangles vides), orthogneiss anatectiques (grands triangles vides), aplites (croix), leucogranites (astérisques) et mobilisats quartzofeldspathiques (cercles pointillés). Les couples gneiss ocellaires - mobilisats sont reliés par un trait pointillé (explication dans le texte).

Al/3Ka - Al/3K diagram of rocks from the chassole S.2 borehole showing the ortho-origin of the Saint-Alyre formation and an increasing melting depending upon the chemical composition of the gneiss.

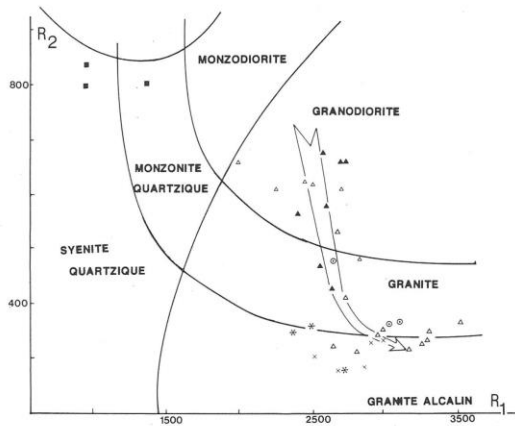


Fig. 2. — Diagramme R1-R2 (de La Roche et al., 1980) montrant que la série de Saint-Alyre dérive d'un ensemble granodiorite-granite d'affinité calco-alkaline. Mêmes symboles que pour la fig. 1.

R1 - R2 diagram of the Saint-Alyre formation, showing that this formation was originally a calc-alkaline granodiorite granite. Same symbols as fig. 1

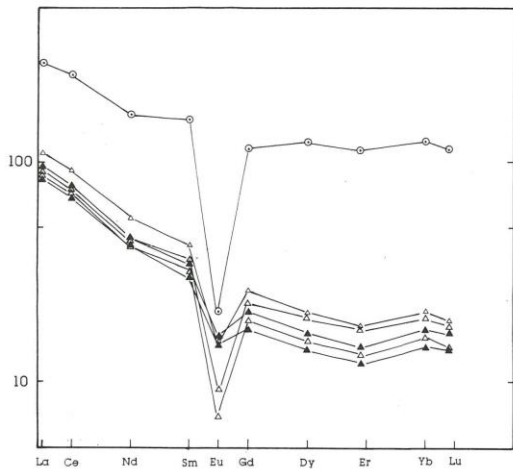


Fig. 4. — Spectres de terres rares normés aux chondrites (Jahn et al., 1980). Chondrite normed rare earth elements spectra.

Les faciès aplitiques, leucogranitiques et pegmatitiques se différencient bien, par les éléments majeurs, des faciès orthogneissiques (fig. 1). Ils sont très siliceux ( $SiO_2 = 74-77\%$  pds) et potassiques ( $K_2O = 5, 3-5, 7\%$  pds). Néanmoins, leurs teneurs en éléments traces ne se distinguent pas des faciès précédents; seules les teneurs extrêmement variables en Th (0,9-23 ppm) les en distinguent.

Les gneiss ocellaires forment un groupe à part, localisé dans le champ des roches paradérivées, sur le diagramme de la figure 1. Cependant, leur caractère très peu siliceux ( $SiO_2 = 52-53\%$  pds), moyennement alumineux ( $Al_2O_3 = 14-18\%$  pds) et très ferromagnésien ( $MgO+Fe_2O_3 = 17-20\%$  pds) les démarquent des roches d'origine sédimentaire. Ils se caractérisent également par de très fortes teneurs en Rb (228-454 ppm), Cr (124-170 ppm) et V (168-196 ppm)

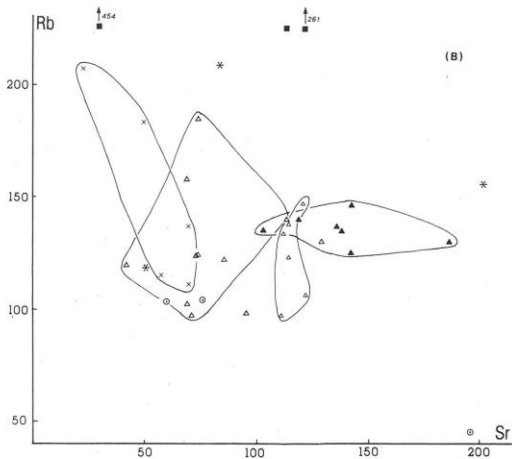
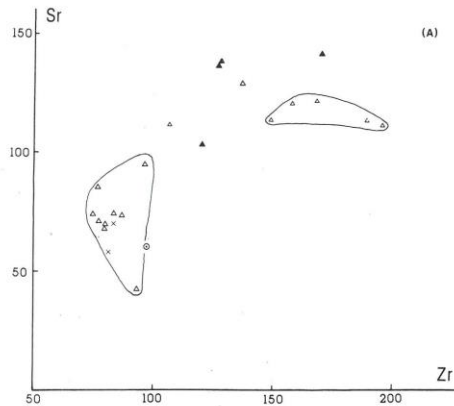


Fig. 3. — Diagrammes Sr-Zr (a) et Rb-Sr (b) montrant que les caractères chimiques propres des différents termes de la série orthogneissique de Saint-Alyre. Mêmes symboles que pour la fig. 1.

Sr-Zr (a) and Rb-Sr (b) diagrams showing the particular chemical characteristics of the various terms of the Saint-Alyre orthogneissic formation.

réflétant l'abondance de la biotite. Par contre, leurs teneurs en Th (2,5-7 ppm) et U (1,3-3,4 ppm) sont faibles. Il convient de souligner que les gneiss ocellaires sombres, présentant parfois macroscopiquement des relations apparentes de type leucosome/mélanosome, ne correspondent pas à des faciès restitiques issus de la fusion partielle des orthogneiss. Les seuls couples répondant éventuellement à un fractionnement restite/leucosome du point de vue macroscopique et des éléments majeurs (analyses 29/11 et 32/31; fig. 1) présentent tous deux des concentrations en Th très faibles (0,8-7 ppm), incompatibles avec une origine par fusion partielle des orthogneiss encaissants (Th = 12-17 ppm).

Les concentrations en  $SiO_2$ , MgO,  $Fe_2O_3$ , Cr, V, Th, de ces roches correspondent à des compositions de type gabbro-diorite, et contrastent fortement avec leurs teneurs éle-

vées en K<sub>2</sub>O et Rb. Ces relations évoquent une métasomatose ayant conduit à une transformation de minéraux ferromagnésiens initiaux (pyroxène et/ou amphibole) en biotite. La biotite définissant une foliation métamorphique bien marquée, dans ces gneiss, conduit à envisager que cette transformation métasomatique soit antérieure à l'anatexis des orthogneiss. Il s'agit donc probablement d'anciennes enclaves basiques ayant subi une métasomatose potassique lors de leur inclusion dans le magma granitique à l'origine des orthogneiss de Saint-Alyre.

Enfin, les mobilisats à texture cumulative et notamment l'échantillon de la cote 338,5 m décrit par Tempier et Belin (1986), ont des caractères chimiques qui s'opposent à une origine par simple fusion partielle des orthogneiss. A notre avis, ils pourraient correspondre, plus vraisemblablement, à des faciès injectés apparentés aux faciès leucogranitiques.

## Discussion et conclusion

L'étude des orthogneiss de Saint-Alyre et des faciès anatectiques associés, recoupés par le sondage S2 de Chassole, a permis de mettre en évidence quelques points fondamentaux sur la nature des protolites et les modalités de l'anatexis.

1) Les orthogneiss de Saint-Alyre représentent une ancienne suite granodiorite-granite d'affinité calco-alcaline.

2) Cet ensemble a subi une fusion partielle sans ségrégation des liquides anatectiques et des cristaux résiduels. Cette anatexis se manifeste macroscopiquement par une désorganisation progressive de la foliation métamorphique initiale, conduisant dans les cas extrêmes à des faciès nébulitiques.

3) Il apparaît assez nettement par comparaison des textures et du chimisme des orthogneiss migmatitiques que l'intensité de la fusion est essentiellement contrôlée par la nature plus ou moins différenciée des protolites, c'est-à-dire par leur proximité de l'eutectique du système granitique. En effet, l'absence de ségrégation entre liquides anatectiques (leucosomes) et résidus de fusion (mélanosomes) implique que les différences de chimisme observées ne dépendent pas du degré de fusion. On doit cependant remarquer que d'autres facteurs (PH<sub>2</sub>O notamment) sont susceptibles d'intervenir sur la fusion, l'orthogneiss initial n'étant pas toujours affecté par la fusion. La préservation des textures métamorphiques initiales indique que le seuil critique de 30-40 % de liquide (van der Molen et Patterson, 1979) n'est que rarement franchi, à l'exception bien sûr des nébulites. Cet exemple présente de fortes analogies avec les migmatites de Gerbépall dans le Massif vosgien (Blumenfeld, 1986).

4) Cette fusion *in situ* de la série orthogneissique est accompagnée de l'injection de matériel leucogranitique. Ces injections peuvent provenir de la fusion partielle d'un matériel équivalent à celui de la série de Saint-Alyre, mais à une plus grande profondeur. Le chimisme de ces faciès leucogranitiques suggère de plus une évolution plus complexe avec notamment ségrégation des liquides anatectiques (caractère plus quartzofeldspathique des leucogranites) et cristallisation fractionnée (textures cumulatives).

## Remerciements

Nous tenons à remercier P. Tempier d'avoir aimablement mis à notre disposition son échantillonnage ainsi que les données pétrographiques et géochimiques afférentes.

## Références bibliographiques

BLUMENFELD Ph. (1986). — Déformation et fusion partielle dans la croûte continentale. Migmatites et granites de l'Unité occidentale des Vosges moyennes (France). *Thèse Univ. Nancy I*, 169 p.

BONNOT H. (1978). — Lithostratigraphie et pétrologie des formations cristallophylliennes de la région de Bujaleuf - St-Paul-d'Eyjaux (Haut Limousin, Massif central français). *Thèse 3<sup>e</sup> Cycle Univ. Lyon*, 219 p.

FEBESSE J.L., BELIN J.M., LOISEAU Ph., MICHAELY B., MARTIN P. (1986). — Présentation de l'ensemble des données pétrographiques et structurales acquises sur les forages S1 et S2 de Chassole (Cézallier, Massif central français). In: Programme Géologie Profonde de la France (GPF3). Forages de Cézallier. Résultats préliminaires. Document BRGM, **105**, pp. 69-132.

GOVINDARAJU K., MONTANARI R. (1978). — Routine performance of a matrix-correction free X-Ray Fluorescence spectrometric method for rock analysis. *X-Ray Spectrometry*, **7**, pp. 148-151.

GOVINDARAJU K. (1980). — Report 1980 on the three GIT-IWG rock reference samples: anorthosite from Greenland AN-G; Basalte d'Essey-la-Côte, BE-N; granite de Beauvoir, MA-N. *Geostandards Newsletter*, **4**, pp. 49-138.

JAHN B.M., AUVRAY B., BLAIS S., CAPDEVILA R., CORNICHE J., VIDAL P. (1980). — Trace element geochemistry and petrogenesis of Finnish greenstone belts. *J. Petrology*, **21**, pp. 201-244.

LAROCHE H. de (1968). — Comportement géochimique différentiel de Na, K et Al dans les formations volcaniques et sédimentaires: un guide pour l'étude des formations métamorphiques et plutoniques. *C.R. Acad. Sci., Fr*, **267**, pp. 39-42.

LAROCHE H. de, LETERRIER J., GRANCLAUDE Ph., MARCHAL M. (1980). — A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis - its relationship with current nomenclature. *Chem. Geol.*, **29**, pp. 183-210.

TEMPIER P., BELIN J.M. (1986). — Aspects pétrographiques, micro-texturaux et géochimiques des formations recoupées par le sondage S2 de Chassole (Puy-de-Dôme). In: Programme Géologie Profonde de la France (GPF3). Forages de Cézallier. Résultats préliminaires. Document BRGM, **105**, pp. 133-146.

VAN DER MOLEN I., PATTERSON M.S. (1979). — Experimental deformation on partially-melted granite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, pp. 299-318.