

Forage scientifique de Sancerre-Couy Géochimie des protolithes (formations orthodérivées). Mise en évidence de deux événements paléomagmatiques au cours de l'évolution antévarisque

Bruno CABANIS ⁽¹⁾, Denis THIÉBLEMONT ⁽²⁾

Mots-clés : Métabasite, Orthogneiss, Analyse majeurs, Analyse élément-trace, Protholithe, Bassin arrière-arc, Processus post-tectonique, Contexte post-orogénique, (Primaire), Primaire inf. Cher département (Sondage GPF Sancerre-Couy), Bassin parisien.

Introduction

Dans le cadre des travaux concernant le socle du forage de Couy-Sancerre, nous avons entrepris une étude géochimique sur éléments traces des roches basiques orthodérivées. Une première phase d'investigation a porté sur les roches forées entre les cotes - 1 510 et - 1 737 m ; elle a mis en évidence les principaux caractères chimiques de ces roches, montré leur diversité (MORB appauvri, tholéiite d'arc ou d'arrière arc, intraplaque) souligné leur ressemblance avec certains groupes leptyno-amphiboliques et posé le problème de leur origine : rift ou environnement d'arc primitif ou d'arrière-arc (B. Cabanis, 1988).

D'autres travaux géochimiques ont également souligné la complexité de ces roches à caractère de MORB dominant et proposent pour expliquer certains de leurs caractères une contamination crustale dans un contexte de bassin marginal sur croûte amincie (J. Chantraine *et al.*, 1988) ou divers degrés de contamination magmatique ou métamorphique affectant des tholéiites abyssales (J.-P. Burg *et al.*, 1988).

On voit donc les difficultés rencontrées dans l'étude de ces roches basiques orthodérivées et surtout dans l'interprétation de leur site tectonique de mise en place. C'est pour tenter de lever ces difficultés qu'une deuxième phase d'investigation a été entreprise. Elle a porté sur un échantillonnage plus exhaustif (20 échantillons) réalisé entre les cotes - 940 m et - 1 800 m, et sur deux échantillons de mobilisats acides situés aux cotes - 1 855 et - 2 990 m.

Ensembles lithologiques

Sur la base de critères pétrographiques et lithostratigraphiques, trois ensembles peuvent être distingués : des métabasites en massifs, des orthogneiss à biotite-grenat +/- hornblende et métabasites associées (unité des gneiss) et des mobilisats acides. Leur localisation est reportée dans le log de la figure 1.

Les métabasites en massifs

Il s'agit de granulites et amphibolites de composition basaltique. Elles appartiennent aux deux massifs principaux recoupés par le sondage entre les cotes - 942 et - 1 127 m, d'une part, et les cotes - 1 557 et - 1 800 m, d'autre part. Ces deux massifs sont apparemment homogènes et sans discontinuités internes évidentes.

Entre les cotes - 1 027,6 et - 1 029,7 m, on observe toutefois un fin niveau orthogneissique de composition trondhjémitique (ech. DCS 43).

Par leur puissance et leur caractère essentiellement basaltique, ces deux massifs de métabasites évoquent les complexes magmatiques associés aux zones de forte accréation : domaines de rides océaniques, de bassins marginaux ou de rifts en voie d'océanisation.

Les roches orthodérivées de « l'unité des gneiss »

Ces roches se rencontrent surtout entre les cotes - 1 130,4 et - 1 557 m. Dans la partie la moins profonde

(1) Université P.-et-M.-Curie, Lab. Géochimie Comparée et Systématique et Institut de Physique du Globe, Paris.

(2) BRGM, SGN/Département Cartes et synthèses géologiques, Orléans.

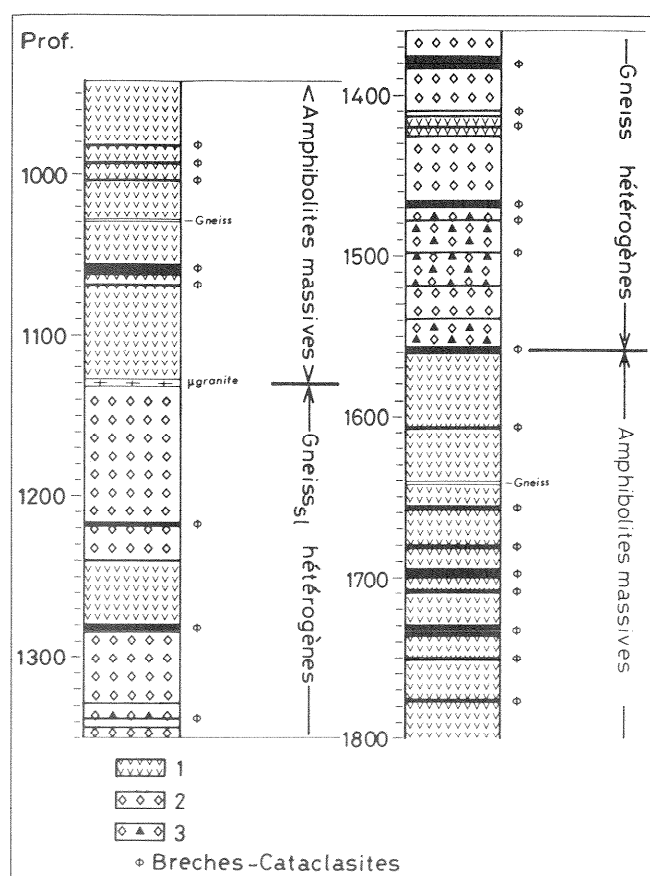


Fig. 1. - Log lithologique du sondage GPF de Couy-Sancerre entre - 942 m et - 1 800 m (modifié d'après F. Wéber *et al.*, 1988) indiquant la situation des unités lithologiques définies dans le texte. 1 : amphibolites, 2 : alternances de gneiss fins et ceillés à biotite-grenat +/- hornblende +/- silicates d'alumine, et rares passées d'amphibolites, 3 : alternances d'amphibolites (dominantes) et de gneiss à biotite grenat +/- hornblende.

du sondage, elles sont séparées des metabasites précédentes par un microgranite orienté. Elles constituent un massif apparemment homogène entre - 1 130,4 et - 1 224,8 m. Puis on les retrouve entre les cotes - 1 376,5 et - 1 383,4 m selon deux bandes étroites intercalées dans un ensemble de lithologie variable comprenant notamment des gneiss à disthène, d'origine grauwaqueuse ou tuffacée (A.-M. Hottin *et al.*, 1988).

La variabilité des faciès observés entre les cotes - 1 130 et - 1 557 m a amené A.-M. Hottin *et al.*, (1988) à interpréter ces formations comme une ancienne pile volcano-sédimentaire avec alternance de grauwaques, tufs, sills, coulées basiques et acides.

Vers la cote - 1 470 m, débute le second massif de metabasites. A son sommet, les orthogneiss sont étroitement associés à des amphibolites distinctes des metabasites en massifs. Le retour à des metabasites homogènes est marqué par un niveau de brèche, vers la cote - 1 557 m.

Dans cet ensemble orthogneissique, une étude géochronologique par la méthode U-Pb sur zircon, sur un échantillon d'orthogneiss à biotite et grenat prélevé à la cote - 1 143 m a permis de dater le protolithe à 497 ± 13 Ma (F. Galibert *et al.*, 1988), soit à peu près la limite Cambrien-Ordovicien.

Les mobilisats acides

Deux roches ont été prélevées à plus grande profondeur dans des niveaux pluridécimétriques acides que nous interprétons comme des mobilisats. Vers - 1 885 m, l'échantillon (DCS 1) est encaissé dans des amphibolites litées avec lesquelles il présente des contacts francs. Vers - 2 990 m, l'échantillon (DCS 18) est intimement associé à des roches claires, riches en grenat, et à des granulites. L'association étroite de ces divers faciès peut être considérée comme le résultat de l'anatexie d'un paléosome de composition basique : les roches les plus claires représenteraient un leucosome tandis que les faciès riches en grenat correspondraient à des mobilisats plus ou moins bien individualisés de la fraction restitutive à grenat, rutile et zircons ovoïdes (corrodés).

L'observation fréquente en lame mince de plages limpides à quartz-plagioclase acide et +/- feldspath potassique suggère par ailleurs que des phénomènes d'anatexie ont pu affecter les roches basiques sur l'ensemble de la pile carottée. Des phénomènes de contamination syn-métamorphe par les liquides anatectiques seront donc envisagés et dans cette hypothèse, les mobilisats en question seront considérés comme des pôles contaminants possibles.

Étude géochimique

Dans la présente étude, nous prendrons en compte l'ensemble des 89 analyses effectuées sur les metabasites et les orthogneiss situés entre les cotes - 942 m et - 1 800 m. Parmi ces analyses, 17 proviennent du travail de J.-P. Burg *et al.* (1988), 41 sont fournies par A.-M. Hottin, du travail de J. Chantraine *et al.* (1988), 11 de celui de B. Cabanis (1988) et 20 sont nouvelles. Les éléments majeurs ont tous été dosés par fluorescence X. Les éléments traces par activation neutronique au Centre de géologie et de géophysique de l'Université de Montpellier (analyses dans J.-P. Burg *et al.*, 1988), au laboratoire P. Sue du CEN de Saclay (analyses de B. Cabanis, 1988 et analyses nouvelles), ou par fluorescence X et ICP au BRGM (analyses de J. Chantraine *et al.*, 1988).

Caractères géochimiques des « metabasites en massifs » et des orthogneiss de « l'unité des gneiss »

Dans leur grande majorité (voir tableau 1), les metabasites ont des teneurs en SiO₂ comprises entre 45 % et 50 % et des teneurs en MgO, Cr, Ni et Co respectivement comprises entre 5,5 % et 8 %, 100 ppm et 400 ppm, 50 ppm et 150 ppm, et 30 ppm et 60 ppm. Ces valeurs confirment le caractère basaltique et non cumulatif de ces roches et reflètent le faible degré de différenciation de l'ensemble des protolithes. Les rares échantillons orthogneissiques intercalés dans les metabasites (cotes - 1 029 m et - 1 641 m) présentent une composition trondhjémitique ou plagiogranitique (SiO₂ voisin de 70 %, Na₂O/K₂O élevé, supérieur à 5) (F. Baker, 1979 ; Coleman et Donato, 1979).

Les orthogneiss présentent des compositions intermédiaires (53 % < SiO₂ < 63 %) à acides (SiO₂ > 63 %)

et des teneurs modérées à faibles en éléments fortement compatibles ($MgO > 4\%$). Ils se distinguent des gneiss plagiogranitiques précédemment décrits par un caractère plus alcalin et plus potassique.

Les rapports entre éléments hygromagmaphiles réputés les plus inertes lors de processus d'altération permettent également une bonne discrimination. Ainsi, le rapport Hf/Ta (ou son équivalent Zr/Nb), est supérieur à la valeur chondritique dans les metabasites et proche de cette valeur dans les orthogneiss. Dans les premières, les rapports élevés suggèrent une source originellement appauvrie (D.A. Wood *et al.*, 1979 a) à l'inverse des orthogneiss.

Des variations chimiques importantes apparaissent au sein des metabasites. Dans le diagramme $(Th/Ta)_N$ vs $(Hf/Ta)_N$ (d'après D.A. Wood *et al.*, 1979 b, modifié) (fig. 2), les variations du rapport Th/Ta mettent en évidence plusieurs groupes entre lesquels existent des termes intermédiaires.

Dans un diagramme de normalisation au Manteau Primordial (D.A. Wood *et al.*, 1979 a) (fig. 3 a), les échantillons à faible valeur du rapport Th/Ta (groupes 1 et 2) présentent des spectres régulièrement croissants et les échantillons à rapport Th/Ta intermédiaire (entre 2 et 5), des spectres peu ou pas fractionnés possédant une faible anomalie négative en Ta et Ti

(groupes 3 et 4). La coexistence de laves aussi variées au sein d'un même ensemble magmatique se retrouve dans les bassins arrière-arcs intra-océaniques actuels. Ainsi, les metabasites des groupes 1 et 3 sont comparables aux basaltes émis à l'axe du bassin arrière-arc des Mariannes (Mariana Trough) (H. Bougault *et al.*, 1981) et celles du groupe 4 proches des basaltes associés au rift arrière-arc d'Okinawa (X. Boespflug, 1990) (fig. 3 b).

Dans ce même type de diagramme, les orthogneiss présentent des spectres fractionnés avec des anomalies marquées en Ta et Ti et plus faibles en Sr et P. Ces caractères permettent de les comparer aux granitoïdes calco-alcalins post-orogéniques du batholite corso-sarde (A. Cocherie, 1984 ; A. Cocherie *et al.*, 1984) (fig. 4). Les roches basiques associées à ces orthogneiss présentent des spectres de type chondritique bien différents de ceux des metabasites (fig. 4) mais comparables à ceux de certains gabbros liés aux granitoïdes de Corse.

Effets possibles d'une contamination métamorphique

Étant donné le haut degré de métamorphisme des roches analysées et les déformations symmétamorphes

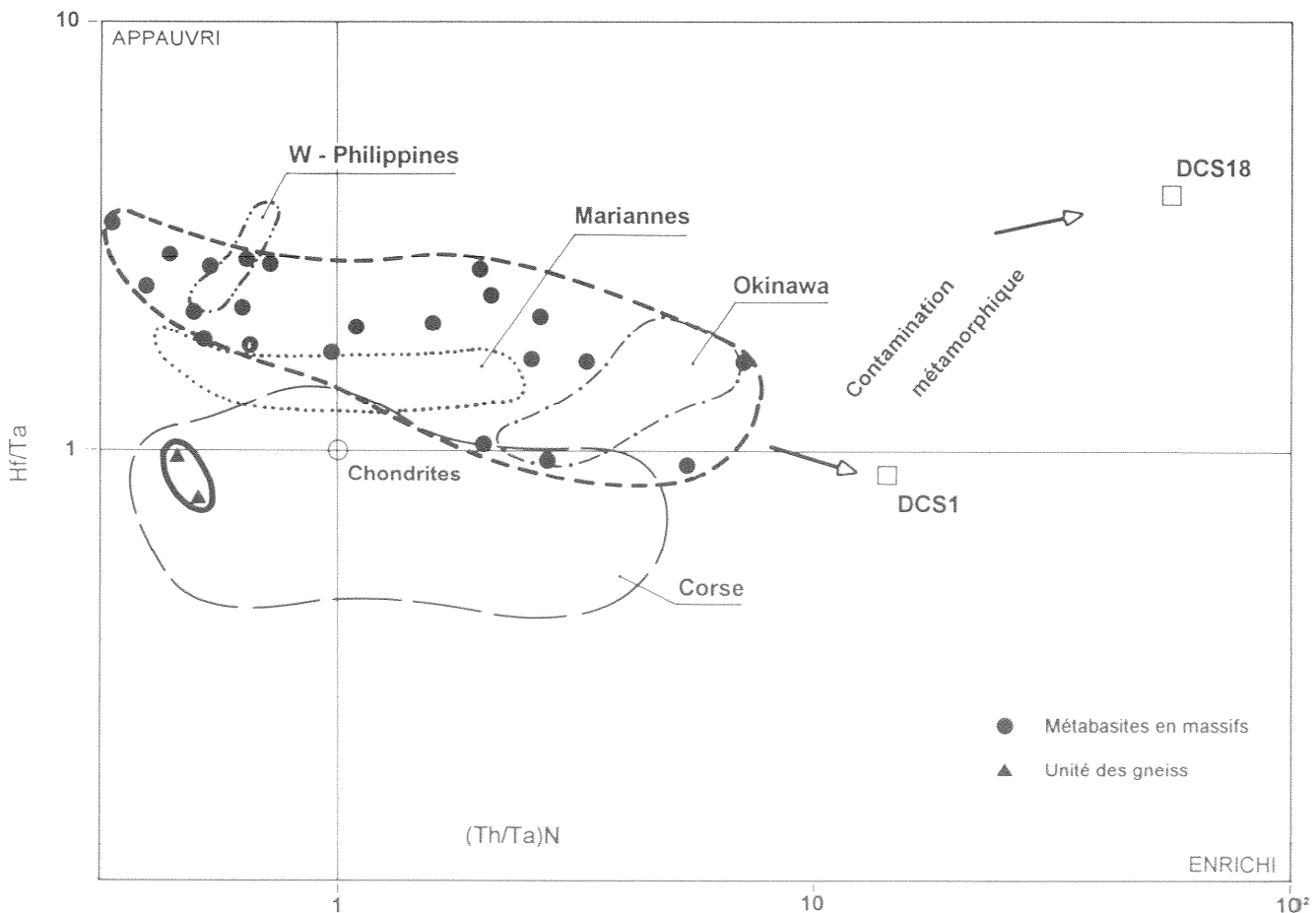
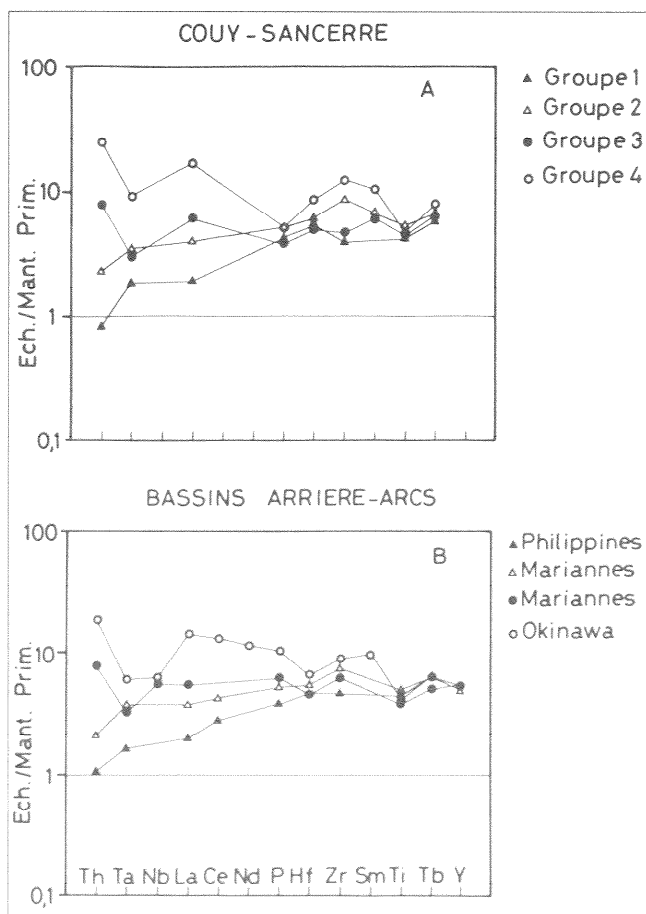


Fig. 2. - Diagramme $(Hf/Ta)_N$ vs $(Th/Ta)_N$ pour les roches basiques du sondage de Sancerre-Couy. Rond noir : metabasites ; losange noir : amphibolites de l'unité des gneiss. On a porté sur la figure les domaines des basaltes arrière-arcs d'Okinawa (Boespflug, 1990), des Mariannes (Bougault *et al.*, 1981 ; Wood *et al.*, 1981 ; Hawkins *et al.*, 1990) et les gabbros associés au batholite corse (Cocherie, 1984). La position des deux mobilisats acides DCS 1 et DCS 18 permet une évaluation du processus de contamination métamorphique.

Prof. (m)	984	998	1001	1020	1029	1052	1136	1148	1379	1537	1549	2987
Unité	Métabasites en massifs											Mobilisat
Echs.	DCS38	DCS40	DCS41	DCS42	DCS43	DCS44	DCS47	DCS48	DCS52	2	3	DCS18
SiO ₂	47,74	47,85	48,06	49,47	67,92	44,59	64,05	60,70	53,85	43,56	46,14	75,47
TiO ₂	1,14	1,25	1,36	1,22	,53	1,26	1,03	1,36	1,51	3,49	1,85	,16
Al ₂ O ₃	15,20	15,31	14,33	14,12	12,83	14,56	15,25	15,42	15,37	13,80	15,82	13,12
Fe ₂ O _{3t}	10,27	10,64	11,71	10,36	5,93	11,47	7,10	8,49	9,43	14,27	11,58	1,1
MnO	,18	,16	,18	,16	,12	,18	,11	,14	,14	,24	,19	,02
MgO	7,46	7,42	7,56	6,27	2,62	7,56	2,61	3,47	6,29	6,01	5,14	,28
CaO	13,06	12,76	12,60	13,04	4,11	14,48	2,70	4,17	5,49	10,06	13,50	2,33
Na ₂ O	2,68	2,94	2,65	3,25	4,47	1,30	3,13	3,19	2,45	2,85	2,70	3,85
K ₂ O	,38	,60	,63	,32	,61	,26	2,73	2,16	1,77	,87	,89	2,44
P ₂ O ₅	,08	,10	,11	,11	,05	,09	,19	,19	,22	,40	,19	,05
PF	2,30	1,49	1,42	1,96	1,21	5,01	1,49	1,03	4,75	-	-	,81
Tot.	100,49	100,52	100,61	100,28	100,40	100,76	100,39	100,32	101,27	-	-	99,63
U	,91	,34	,34	1,33	,56	,07	3,16	1,79	3,86	,39	,14	,97
Th	,74	,46	,22	2,4	5,1	,06	11,55	8,02	6,72	1,21	,5	17,28
Zr	51	72	95	137	374	77	268	216	184	272	114	137
Hf	1,73	2,11	2,16	3,02	14,4	2,1	7,2	6,9	5,07	6,59	3,8	4,55
Ta	,13	,13	,15	,39	,84	,08	,92	,94	,93	1,05	,48	,14
Ba	92	90	131	58	116	nd	510	482	147	257	207	577
Sr	-	-	-	-	67	327	338	140	-	267	280	-
Cs	4,63	,96	1	,28	,8	2,5	4,34	3,35	4,95	1,27	1,3	,54
Rb	22	7,4	10,2	0	8,3	10,9	90,6	71,6	72,5	21	20	82
Sb	2,02	3,9	3,3	12	1,06	7,25	6,57	4,9	2,48	-	-	,07
Cr	306	314	170	256	72	376	90	96	155	163	219	5
Co	43,2	44,4	46,9	42,9	15	53,1	18,7	23,4	29,5	40	38,8	2,6
Ni	76	72,2	56,5	142	3,5	134	34	39	57	46,7	52	2,3
Sc	41,2	44,7	44,7	33,7	14,3	43,1	20	24,4	29,7	45	39	3,7
La	4,32	3,06	2,85	11,9	52,1	1,91	33,02	26,85	16,96	12,5	5,95	38,1
Sm	2,35	2,6	2,6	4	16,6	2,3	7,2	6,4	6,44	-	-	5,3
Eu	1,07	1,29	1,29	1,45	3,72	1,21	1,63	1,82	1,58	3,1	1,79	,78
Tb	,64	,63	,67	,78	3,92	,65	1,12	1,17	1,08	1,65	,91	,67

Tabl. 1. - Analyses représentatives des différentes unités orthodérivées traversées par le sondage GPF de Couy-Sancerre.

Fig. 3. - Diagramme de normalisation au « Manteau Primordial » (Wood *et al.*, 1979 a) pour quatre échantillons représentatifs de l'unité des métabasites en massifs (A) (les groupes 1 à 4 sont définis dans le texte). Comparaison avec des échantillons représentatifs de suites basaltiques associées à des bassins arrière-arcs actuels (données de Wood *et al.*, 1981 ; Bougault *et al.*, 1981 et Boespflug, 1990) (B).

subies, l'effet de migrations de certains éléments chimiques sur la composition initiale des roches doit être envisagé.

Les variations chimiques importantes observées dans les métabasites ont amené certains auteurs à invoquer une contamination métamorphique (A.-M. Hottin *et al.*, 1988 ; J.-P. Burg *et al.*, 1988 ; J. Chantreine *et al.*, 1988). Un tel processus peut-il rendre compte de la variabilité des teneurs et rapports entre éléments réputés inertes tels Hf, Th ou Ta ? Dans les terrains anatectiques, les mobilisats silicatés sont susceptibles de véhiculer des éléments peu mobiles en phase aqueuse. Les indices d'anatexie sont évidents dans la partie profonde du sondage, mais pas dans la partie haute. Néanmoins une contamination des roches de la partie haute par les mobilisats de la partie profonde peut être envisagée.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons considéré les deux mobilisats acides comme des pôles contaminants possibles. Leur composition granitique ($\text{SiO}_2 > 70\%$), qui les oppose aux compositions basaltiques des métabasites, permet de limiter l'effet « contamination » à 15 % maximum, seuil au-delà duquel leur composition deviendrait andésitique ($\text{SiO}_2 > 53\%$).

Comme l'illustre le diagramme $(\text{Th}/\text{Ta})_N$ vs $(\text{Hf}/\text{Ta})_N$ (fig. 2), une contamination des métabasites par les mobilisats acides (DCS 1 ou DCS 18) pourrait entraîner l'augmentation du rapport Th/Ta observée entre les groupes 1 et 4 sans variation notable du rapport Hf/Ta, ainsi, le caractère appauvri des métabasites peut-il être considéré comme hérité des protolithes. Nous avons par ailleurs montré (B. Cabanis et D. Thiéblemont, 1993) qu'un taux de contamination de 15 % est trop faible pour rendre compte de l'évolution des métabasites du groupe 1 aux métabasites du groupe 4. Cette évolution traduirait plus probablement un caractère des protolithes.

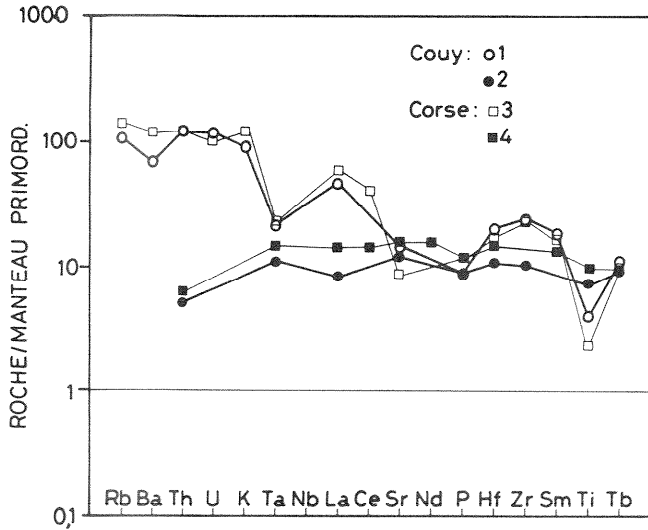


Fig. 4. - Diagramme de normalisation au « Manteau Primordial » (Wood *et al.*, 1979 a) pour deux échantillons représentatifs de l'unité des gneiss (1 ; 2). Comparaison avec des échantillons représentatifs de la suite plutonique post-orogénique de Corse (données de Cocherie, 1984) (3 ; 4).

Proposition d'un contexte géotectonique

L'étude géochimique des metabasites en massifs a montré leur similitude avec les basaltes associés aux bassins arrière-arcs. Dans le diagramme Th/Ta vs Hf/Ta (fig. 5), la position intermédiaire des metabasites entre les N-MORB et les basaltes associés aux zones de subduction apparaît caractéristique des laves émises à l'axe des bassins arrière-arcs intra-océaniques (B. Cabanis, 1986 ; B. Cabanis et D. Thiéblemont, 1988). A l'opposé, le caractère appauvri des basaltes alcalins et transitionnels intraplaques et de la plupart des tholéiites continentales (B. Cabanis et D. Thiéblemont, 1993).

Le caractère acide à intermédiaire, sub-alcalin et potassique des orthogneiss s'accorde avec une mise en place en contexte orogénique et/ou « post collisionnel ». Dans le diagramme Zr vs Zr/Nb (fig. 6) (d'après J.-A. Pearce *et al.*, 1984 et D. Thiéblemont et B. Cabanis, 1990 modifié), les orthogneiss se placent en position intermédiaire entre les domaines orogéniques et anorogéniques, position caractéristique des granitoïdes post-collisionnels. L'analogie des spectres multiélémen-

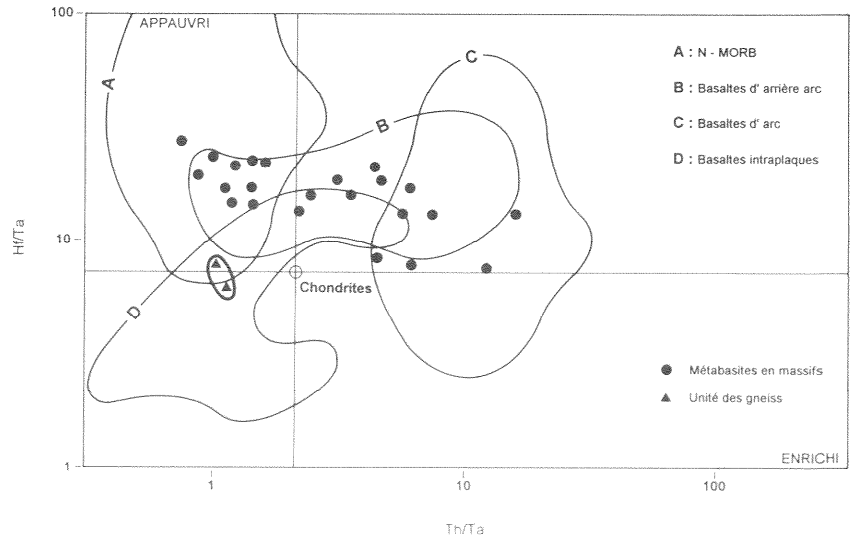


Fig. 5. - Diagramme Hf/Ta vs Th/Ta pour les roches basiques du sondage de Couy-Sancerre : A, MORB de type N ; B, basaltes des bassins arrière-arc ; C, basaltes d'arc ; E, basaltes intraplaques. Rond noir : metabasites ; triangle noir : amphibolites de l'unité des gneiss.

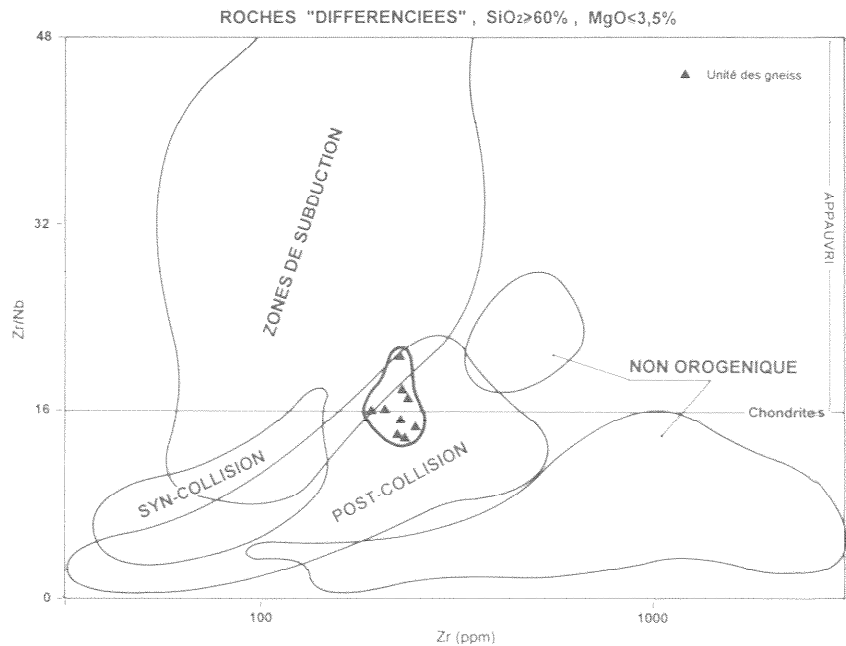


Fig. 6. - Diagramme Zr vs Zr/Nb pour les roches intermédiaires à acides de l'unité des gneiss (d'après Pearce *et al.*, 1984, modifié). Les champs ont été tracés à partir de la base de données géochimiques du BRGM. On notera la position intermédiaire du champ « post-collision » (champ « Post-Col » de Pearce *et al.*, 1984) entre le champ des roches acides associées aux zones de subduction et celui des laves et plutons mis en place en contexte non orogénique.

taires avec les granitoïdes calco-alcalins tardi-varisques de Corse (fig. 4) confirme cette interprétation. Enfin, les amphibolites associées aux orthogneiss à caractère transitionnel intraplaque, sont comparables à certains gabbros du batholite calco-alcalin de Corse. Ainsi, les caractéristiques chimiques des roches de « l'unité des gneiss » sont entièrement compatibles avec une mise en place en contexte post-orogénique.

Conclusions

Les données géochimiques obtenues sur les roches orthodérivées du socle de Couy-Sancerre forées entre - 942 m et - 1 800 m mettent en évidence leur caractère « composite ».

Les différences observées entre les deux ensembles, metabasites et orthogneiss, suggèrent que leurs protolithes se sont mis en place lors de deux événements magmatiques distincts traduisant des contextes géodynamiques différents.

Singulièrement, les données isotopiques Sm-Nd (M. Pagel *et al.*, ce volume) suggèrent un âge de mise en place commun, Cambrien (494 Ma), pour l'ensemble des metabasites, qu'elles appartiennent à l'unité des metabasites_{ss}, ou qu'elles soient encaissées dans l'unité des gneiss (F. Galibert *et al.*, 1988). Néanmoins, l'isochrone Sm-Nd sur roche totale a été tracée à partir d'échantillons aux rapports ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd très

variables : certains appauvris (Sm/Nd > à la valeur chondritique) et les autres enrichis (Sm/Nd < à la valeur chondritique), dont le cogénéisme ne nous semble pas démontré. Au contraire, nos données géochimiques suggèrent que ces échantillons, aux signatures géochimiques (éléments traces) très différentes, dérivent de sources mantelliques bien distinctes. Nous conserverons donc l'idée de deux événements magmatiques différents que nous attribuons à deux événements géodynamiques :

— l'unité des gneiss traduirait le retour à l'équilibre, vers 500 Ma (F. Galibert *et al.*, 1988), d'un domaine orogénique récemment édifié (Cadomien ?) ;

— l'unité des metabasites témoignerait du fonctionnement d'une subduction océanique. Par analogie avec des formations comparables de la chaîne varisque (D. Thiéblemont, 1988), et d'après les âges obtenus sur le métamorphisme de haute pression dans la chaîne varisque (C. Pin et J.-J. Peucat, 1986), nous avons proposé un âge siluro-dévonien (B. Cabanis et D. Thiéblemont, 1983). Alternativement, si l'âge de 494 Ma devait être retenu, deux domaines de mise en place bien différents devraient être invoqués pour l'unité des gneiss et celle des metabasites, cette dernière témoignant de l'existence d'une subduction tardi-cadomienne ou paléo-varisque dans le domaine interne varisque.

Pour une discussion plus complète de ces problèmes, nous renvoyons le lecteur à l'article B. Cabanis et D. Thiéblemont (1993).

Références

- BARKER F. (1979). - Trondhjemite : definition, environment and hypotheses of origin. In: Barker F. Ed., Trondhjemites, dacites and related rocks. *Dev. Petrol.*, 6, pp. 1-11.
- BOESPFLUG X. (1990). - Évolution géodynamique et géochimique des bassins arrière-arcs. Exemples des bassins d'Okinawa, de Lau, et Nord-Fiji. Thèse Brest, 354 p.
- BOUGAULT H., MAURY R.C., EL AZZOUZI M., JORON J.-L., COTTEN J., TREUIL M. (1981). - 35. Tholeiites, basaltic andesites and andesites from Leg 60 sites. Geochemistry, mineralogy and low partition coefficients elements. In: Hussong D.M. and Uyeda S. *et al.* Eds., *Init. Rep. of the Deep Sea Drilling Project*, 60. Washington, U.S. Govt. Print. Off., pp. 657-677.
- BURG J.-P., KIENAST J.-R., HOTTIN A.-M., BOUTIN R., LEYRELOUP A., VEZAT R., BALE P., BODINIER J.-L., DUPUY C. (1988). - Résultats préliminaires de l'étude pétro-structurale sur le forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 155-174.
- CABANIS B. (1988). - Étude géochimique préliminaire sur éléments traces des roches metabasiques du forage de Sancerre entre la cote - 1 510 et - 1 737 mètres : essai d'interprétation. Documents du BRGM, n° 137, pp. 155-174.
- CABANIS B., THIÉBLEMONT D. (1988). - La discrimination des tholeiites continentales et des basaltes arrière-arc : proposition d'un nouveau diagramme discriminant ; le triangle Th-3 x Tb-2 x Ta. *Bull. Soc. géol. Fr.* (8), IV, 6, pp. 927-935.
- CABANIS B., THIÉBLEMONT D. (1993). - Les metabasites du sondage « Couy-Sancerre » et la signification des événements paléomagmatiques au sein des complexes leptyno-amphiboliques. Arguments géochimiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 164, 1, pp. 27-38.
- CHANTRAINE J., HOTTIN A.-M., VEZAT R., JEGOUZO P. (1988). - Interprétation géochimique préliminaire des formations orthodérivées basiques du forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 187-197.
- COCHERIE A. (1984). - Interaction manteau-croûte : son rôle dans la genèse d'associations plutoniques calco-alcalines. Contraintes géochimiques (éléments en traces et isotopes du strontium et de l'oxygène). Documents du BRGM, n° 90, 246 p. Thèse Sci., Rennes, 1984.
- COCHERIE A., ROSSI P., LE BEL L. (1984). - The Variscan calc-alkaline plutonism of western Corsica: mineralogy and major and trace element geochemistry. *Phys. Earth Planet. Int.*, 35, pp. 145-178.
- COLEMAN, DONATO (1979). - Oceanic plagiogranite revisited. In: Barker F. Ed., Trondhjemites, dacites, and related rocks. *Dev. Petrol.*, 6, pp. 149-168.
- GALIBERT F., LANCELOT J.-R., RESPAUT J.-P. (1988). - Datation U-Pb sur zircon d'une métadiorite du socle atteint par le forage GPF de Sancerre-Couy (Cher). Documents du BRGM, n° 137, pp. 207-213.
- HOTTIN A.-M., LAFORET C., VEZAT R., WYNS R., BALE P., BOUTIN B. (1988). - Description pétrographique des roches du socle dans le forage de Sancerre-Couy. Documents du BRGM, n° 137, pp. 99-114.
- PEARCE J.A., HARRIS B.W.N., TINDLE A.G. (1984). - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25, 4, pp. 956-983.
- PIN C., PEUCAT J.-J. (1986). - Age des épisodes métamorphiques paléozoïques dans le Massif central et le Massif armoricain. *Bull. Soc. géol. Fr.* (8), II, 3, pp. 461-471.
- THIÉBLEMONT D. (1988). - Le magmatisme paléozoïque en Vendée. Apport de la géochimie des éléments traces et de la pétrologie du métamorphisme à la compréhension du développement orogénique varisque. Documents du BRGM, n° 157, 365 p. Thèse, Paris, 1987.
- THIÉBLEMONT D., CABANIS B. (1990). - Utilisation d'un diagramme (Rb/100)- Tb-Ta pour la discrimination géochimique et l'étude pétrogénétique des roches magmatiques acides. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, (8), VI, 1, pp. 23-35.
- WOOD D.A., JORON J.L., TREUIL M., NORRIS M., TARNEY J. (1979 a). - Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from iceland and the surrounding ocean floor. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 70, pp. 319-339.
- WOOD D.A., JORON J.L., TREUIL M. (1979 b). - A re-appraisal of the use of trace element to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45, pp. 326-336.
- WOOD D.A., MARSH N.G., TARNEY J., JORON J.L., FRYER P., TREUIL M. (1981). - 33. Geochemistry of igneous rocks recovered from a transect across the Mariana trough, arc, fore-arc, and trench, sites 453 through 461, Deep Sea Drilling Project Leg 60. In: Hussong D.M. and Uyeda S. *et al.* Ed., *Init. Rep. of the Deep Sea Drilling Project*, 60. Washington, U.S. Govt. Print. Off., pp. 611-642.