

Le volcanisme permien du bassin de Toulon : un jalon septentrional du volcanisme permien de l'Ouest méditerranéen*

Permian Volcanism in the Toulon Basin: a northern occurrence of Permian volcanism in the Western Mediterranean

Sylvie LEROY (1), Bruno CABANIS (2)

Mots-clés : Basalte alcalin, Rhyolite, Composition calco-alcaline, Volcano-sédimentaire, Permien, Analyse majeurs, Analyse éléments-traces
Var (Bassin Toulon)

Résumé

L'étude géochimique du volcanisme permien du bassin de Toulon, démontre pour les coulées basaltiques un caractère anorogénique franc, de type deuxième cycle rencontré dans le massif de l'Anayet (Pyrénées) et dans certains basaltes tardifs de Corse et de l'Estérel. L'étude des nombreux galets de rhyolite inclus dans les grès permien permet de les rapporter au premier cycle calco-alcalin, avec des caractères chimiques spécifiques (teneurs faibles en éléments hygromagmaphiles), les différenciant des rhyolites de Corse. Ils proviendraient donc d'une région volcanique inconnue, située au sud et qui aurait pu se rattacher à la Sardaigne.

Abstract

Geochemical study of the Permian volcanic rocks of the Toulon basin shows a clear anorogenic character for the basalt flows, of the second cycle type known in the Anayet Massif of the Pyrenees and in certain late-stage basalts of Corsica and Esterel. Numerous rhyolite cobbles occurring within Permian sandstone are attributed to a first calc-alkaline cycle. With their specific chemical characteristics of low hygromagmaphile elements content they are differentiated from Corsican rhyolites. These rhyolites would appear to have originated from an unknown volcanic area located to the south and which may have been attached to Sardinia.

Introduction

Le volcanisme permien de l'Ouest méditerranéen est composé classiquement de deux cycles principaux : l'un calco-alcalin, l'autre alcalin (Vellutini, 1977) qui s'échelonnent depuis le Stéphano-Permien jusqu'à la fin du Permien. Les études géochimiques sur éléments traces ont permis d'identifier chacun des deux cycles (Cabanis *et al.*, 1990) : le premier cycle calco-alcalin, caractérise un magmatisme orogénique de type compression-collision à forte composante crustale, le deuxième alcalin, traduit un magmatisme anorogénique de type distensif intraplaque.

Ce volcanisme est largement répandu sur le pourtour méditerranéen : dans le massif de l'Estérel (Bordet, 1951, Boucarut, 1971, Gondolo, 1989), en Corse (Brisset et Cochemé, 1976, Vellutini, 1977), en Sardaigne (Traversa, 1966, Vellutini, 1977), dans les Pyrénées (Bixel, 1984, Cabanis et Le Fur Balouet, 1989), au Maroc (Youbi *et al.*, 1993) et en Italie du Nord (Di Battistini *et al.*, 1988).

Le bassin permien de Toulon s'inscrit dans ce vaste ensemble volcanique et constitue l'extrémité occidentale de la dépression permienne du Var. Il se situe à une centaine de kilomètres du massif volcanique de l'Estérel.

* Manuscrit reçu le 8 décembre 1992, accepté définitivement le 19 août 1993.

(1) Laboratoire GEMCO, U.P.M.C., Case 129, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

(2) Laboratoire de Géochimie Comparée, U.P.M.C., Case 109, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

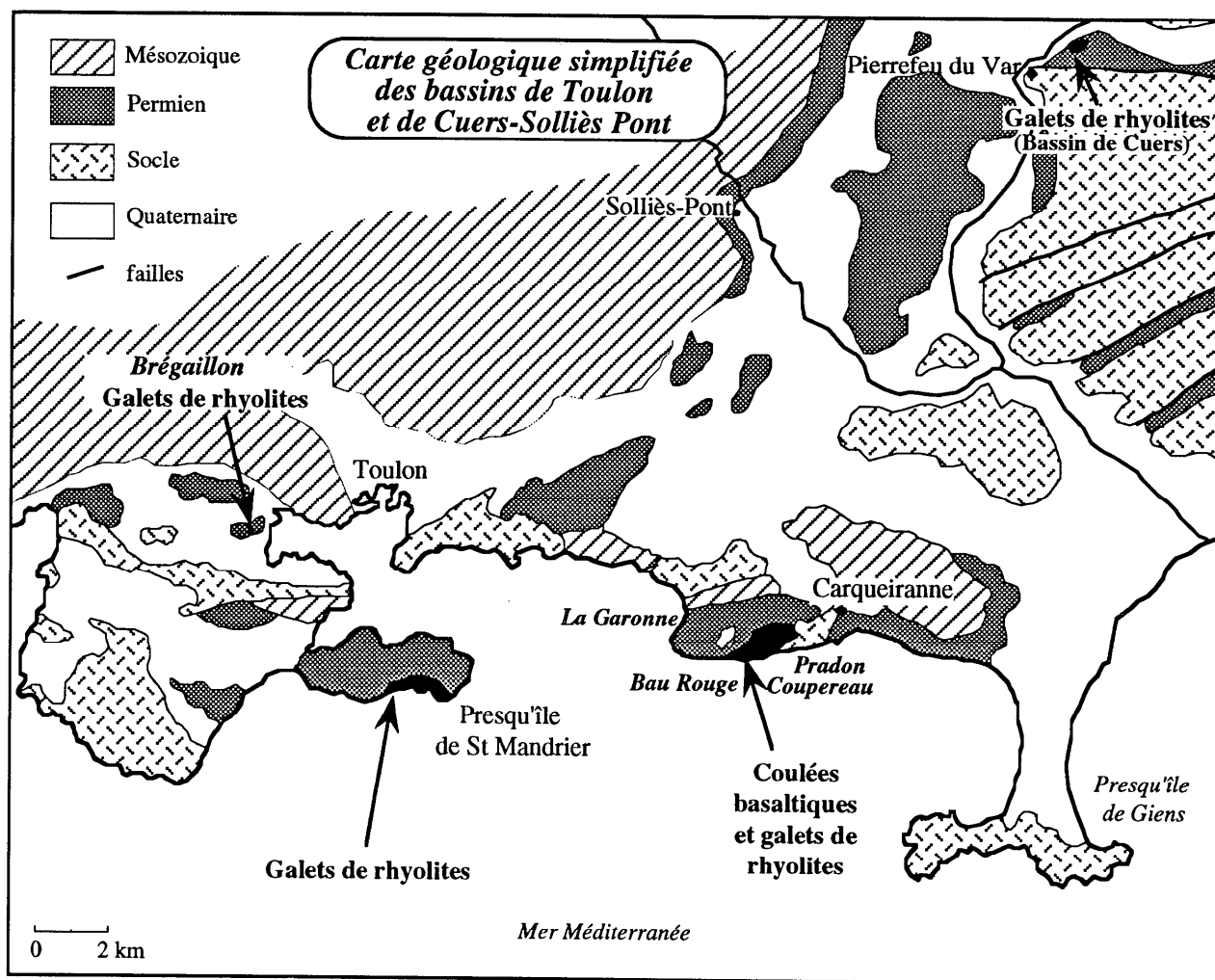


Fig. 1. – Carte géologique simplifiée des bassins permien de Toulon et de Cuers-Solliès Pont.

Fig. 1. – Simplified geological map of the Permian basins of Toulon and Cuers-Solliès Pont.

L'étude des reliques volcaniques contenues dans les sédiments des bassins permien provençaux indique que l'influence du volcanisme acide de l'Estérel, équivalent du deuxième cycle volcanique présent en Corse (Boucarut, 1971, Gondolo, 1989, Vellutini, 1977) reste relativement limité dans l'espace. Les coulées de rhyolite A₇, en effet, s'interrompent dans le bassin du Luc et aucune relique de ce volcanisme n'apparaît dans les sédiments des bassins occidentaux. A l'inverse, la typologie des zircons dans les sédiments a mis en évidence la présence de zircons issus d'un volcanisme calco-alcalin (Pupin, 1987) inconnu dans l'Estérel mais bien représenté en Corse et en Sardaigne du Nord (Vellutini, 1977).

Dans le bassin de Toulon (fig. 1), le volcanisme est exprimé par de puissantes coulées basaltiques (Coulon, 1967) et, en plusieurs points, il existe des niveaux volcano-détritiques à galets de rhyolites centimétriques à décimétriques (Brégaillon, Pradon, Bau Rouge, Saint Mandrier). Des conglomérats à galets de rhyolite sont également présents dans le bassin de Cuers-Solliès Pont. Ces niveaux grossiers, sans corrélation avec d'autres conglomérats appartenant aux bassins situés plus à l'est vers l'Estérel, laissent supposer le démantèlement au Permien d'un massif volcanique acide relativement proche et indépendant de l'Estérel.

Le volcanisme basique

Les laves basaltiques s'étendent de la pointe du Bau Rouge à l'ouest, à la pointe de Beau Rivage à l'est, entre Carqueiranne et les mines de la Garonne (fig.1). Elles se présentent sous forme de plusieurs coulées massives superposées, et sont intercalées dans les niveaux de grès, et arkoses plus ou moins grossières rapportées au Permien moyen (Toutin, 1980). Ces coulées sont au nombre de sept, d'épaisseur variable (10 à 40 m), et en concordance avec les séries sédimentaires permien.

Les basaltes sont souvent vacuolaires au sommet des coulées (les vacuoles sont alors remplies de chlorite et/ou de calcite secondaires) et traversés par des filonets de calcite, quartz et des filons minéralisés (sulfures, barytine) qui ne dépassent pas 50 cm de puissance.

Étude pétrographique et minéralogique

Une étude pétrographique a été effectuée par C. Coulon (1967) mais le degré d'altération intense des roches n'avait pas permis d'effectuer leur identification précise. La texture du basalte est ophitique à sub-ophi-

tique. Les cristaux de plagioclase forment l'essentiel de la lave avec les pyroxènes. Les olivines sont presque totalement transformées et des minéraux opaques pseudomorphosent en général les ferromagnésiens. Le plagioclase, (An65-70), dominant, représente en moyenne 57 % du volume total de la roche ; il est rarement zoné, automorphe, il subit des débuts d'altération en séricite ou calcite. Le pyroxène se présente en plages xénomorphes ou automorphes, incluant partiellement ou totalement les plagioclases. L'olivine (Fo65-70) est présente, partiellement remplacée par des minéraux phylliteux de type chlorite, seuls le cœur et la forme des cristaux sont préservés (fig. 2).

Analyses chimiques des clinopyroxènes reliques

Les variations des teneurs en oxydes les plus caractéristiques (SiO₂, Al₂O₃ et TiO₂) sont importantes au sein des clinopyroxènes d'une même roche. Dans le diagramme de classification (Morimoto *et al.*, 1988), la composition est celle d'une augite proche de celle du diopside (fig. 2a). Dans le diagramme Ti=f(Ca+Na) (Leterrier *et al.*, 1982) (fig. 2b), l'ensemble des clinopyroxènes des coulées basaltiques montrent un caractère alcalin, avec un enrichissement en Ti pour des valeurs assez constantes de Ca+Na. Il existe une évolution des compositions chimiques du cœur vers la bordure du minéral ; les phénocristaux sont plus riches en SiO₂ et plus pauvres en TiO₂ et Al₂O₃ au cœur que sur les bordures. Ces variations progressives pourraient traduire une évolution du liquide magmatique au cours du temps, avec une augmentation progressive du degré d'alcalinité.

Étude géochimique

Les éléments majeurs

L'altération importante des basaltes entraîne une mobilité de la plupart des éléments majeurs (silice, alcalins, calcium, magnésium) qui ne peuvent être utilisés pour l'identification géochimique de ces roches (tabl. 1). Les éléments traces réputés les plus immobiles aux processus d'altération (Cabanis, 1986, Condie *et al.*, 1977) se révèlent de meilleurs marqueurs du caractère des laves (Joron et Treuil, 1977, Pearce, 1982, Wood, 1980).

Les éléments traces

Dans le diagramme Ta=f(Th) (fig. 3), l'ensemble des points se regroupe au voisinage d'une droite passant par l'origine pour une valeur du rapport Th/Ta proche de 2. Une telle valeur caractérise les basaltes des contextes anorogéniques continentaux (Joron and Treuil, 1977).

Les valeurs des rapports Th/Hf (~0,25), Ta/Tb (~0,85) et La/Ta (entre 15 et 20) correspondent à celles des basaltes transitionnels associés à l'ouverture de bassin en domaine continental (Cabanis, 1986).

Dans le diagramme géotectonique Th-Tb*3-Ta*2 (Cabanis et Thiéblemont, 1988) (fig. 4), les volcanites de Toulon se situent dans le domaine intermédiaire des séries volcaniques de transition orogénique, avec une évolution nette vers le domaine anorogénique mantellique, à la limite du champ des OIB.

Les diagrammes binaires du type log (éléments de transition) en fonction de log (Th) (fig.5), le thorium étant pris comme indice de différenciation, montrent que les basaltes de Toulon n'ont pas subi de cristallisation fractionnée au cours de leur évolution. Ils se disposent selon une droite de fusion partielle avec une faible évolution des taux de fusion. L'ensemble de ces coulées basaltiques représentera donc des liquides relativement primaires issus de la fusion d'un manteau de type « OIB » pour des taux de fusion peu variables.

Les diagrammes de normalisation multi-éléments par rapport aux MORB (Pearce, 1982) (fig.6), montrent des courbes qui présentent toutes un fractionnement régulier des éléments depuis Th jusqu'à Tb, sans

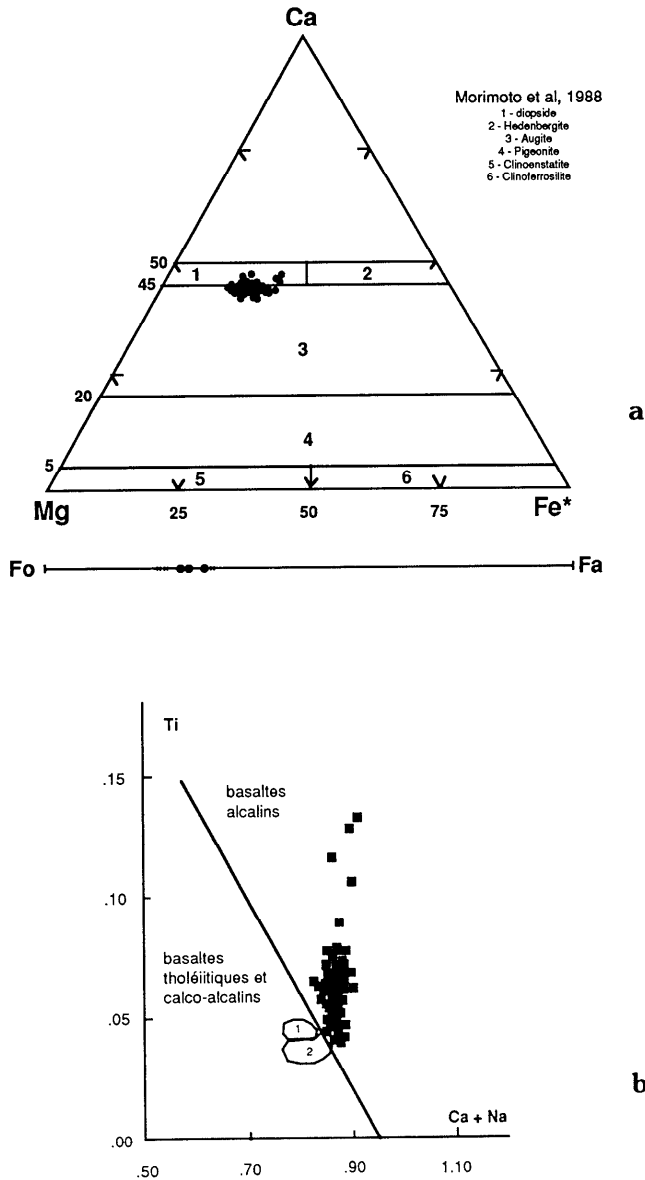


Fig. 2. - a : Diagramme Mg, Ca, Fe_t de Morimoto *et al* (1988) pour les clinopyroxènes des basaltes de Toulon. b : Diagramme Ti = f (Ca+Na) (Leterrier *et al.*, 1982) pour les Cpx des basaltes de Toulon. Comparaison avec les domaines des cpx des laves de Scandola (1) et de l'Estérel (2).

Fig. 2. - a : Mg, Ca, Fe_t diagram (Morimoto *et al.*, 1988) for the Toulon basalt clinopyroxenes. b : Ti = f(Ca+Na) diagram (Leterrier *et al.*, 1982) for the Toulon basalt clinopyroxenes. Comparison with the cpx domains of lavas from the Scandola (1) and the Estérel (2)

N° éch.	T.49	T.52	T.57	T.64	TL5	TL3	TL37	T.71	T.70	T.51	T.26
SiO ₂	44,37	45,09	43,77	46,22	41,9	47,28	48,1	42,2	40,42	43,26	42,03
TiO ₂	1,81	2,16	1,54	1,87	1,51	1,36	1,52	1,87	2,04	2,06	1,91
Al ₂ O ₃	15,13	16,85	16,63	16,6	16,4	17,1	16,6	15,36	16,07	16,21	14,73
Fe ₂ O _{3t}	10,66	12,46	12,1	11,91	12,7	10,33	11,1	12,1	11,08	11,89	11,66
MnO	0,12	0,11	0,1	0,17	0,11	0,15	0,18	0,14	0,15	0,15	0,15
MgO	3,2	4,37	4,32	7,59	1,12	6,95	7,02	3,59	3,64	5,41	3,29
CaO	10,44	10,05	10,3	9,35	13,2	8,83	9,38	9,35	8,07	8,85	10,69
Na ₂ O	3,39	3,27	2,83	2,99	2,89	3,9	3,36	3,34	0,3	2,77	2,79
K ₂ O	0,78	0,76	0,43	0,45	1,05	0,44	0,59	0,6	0,32	1,18	0,88
P ₂ O ₅	0,44	0,51	0,25	0,35	0,24	0,25	0,28	0,4	0,44	0,48	0,4
P.F.	9,44	4,13	7,53	2,19	8,85	3,17	2,08	10,77	17,29	7,52	11,26
Total	99,78	99,76	99,8	99,69	100,1	99,76	100,3	99,72	99,82	99,78	99,79
U	0,5	0,44	0,25	0,37	0,71	0,63	0,84	0,51	0,38	0,37	0,34
Th	1,6	1,11	0,77	0,95	1,46	1,29	1,77	1,43	1,56	1,03	1,14
Zr	242	208	143	175	161	128	156,54	223,4	244,15	197,55	210,48
Hf	5,13	4,66	3,64	3,87	3,62	3,16	3,57	4,79	5,33	4,19	4,41
Ta	0,88	0,99	0,38	0,78	0,73	0,6	0,77	0,82	0,9	0,91	0,74
Ba	92	247	129	98	139	90	92,92	90,59	0	214,72	144,96
Sr	436	291	307	537	240	315	438,87	572,71	218,34	440,45	410,04
Cs	7,41	0,73	3,55	2,24	2,3	7,9	3,46	2,72	2,06	7,88	9,62
Rb	24,5	11	17	5,77	35	16,22	19,14	16,42	12,73	44,01	35,55
Cr	130	128	137	160	130	127	128,54	145,59	137,06	126,92	144,82
Co	50	34,5	38,6	47	28,2	41,5	40,36	40,13	22,76	0,91	0,74
Ni	122	88	62,3	132	89	118,2	103,32	96,76	68,86	98,1	82,57
Sc	25,6	34,3	34,16	36	29,8	30,2	30,44	29,26	30,41	34,25	25,65
La	16,85	16,6	9,23	13,34	11,08	9,04	11,78	16,04	15,21	15,56	14,8
Ce	27,96	26,1	15,52	16,32	73,82	75,44	24,08	33,7	32,35	31,89	29,9
Sm	4,1	3,98	3,6	4,02	3,97	3,5	4,04	5,15	5,55	4,57	4,88
Eu	2,28	2,64	1,52	2,09	1,45	1,43	1,4	1,83	1,83	2,29	1,72
Tb	0,98	0,96	0,8	0,92	0,8	0,72	0,84	0,98	1,07	0,92	0,91
Yb	4,73	3,41	3,47	3,5	4,14	2,89	3,61	4,19	4,2	3,79	4,19

Tabl. 1. – Analyses chimiques des basaltes de Toulon, effectuées par XRF au laboratoire Xral (Canada) pour les éléments majeurs et par activation neutronique (Saclay) pour les éléments traces.

Tabl. 1. – Chemical compositions of Toulon basalts, by XRF at the Xral laboratory (Canada) for major elements and by AA (Saclay) for trace elements.

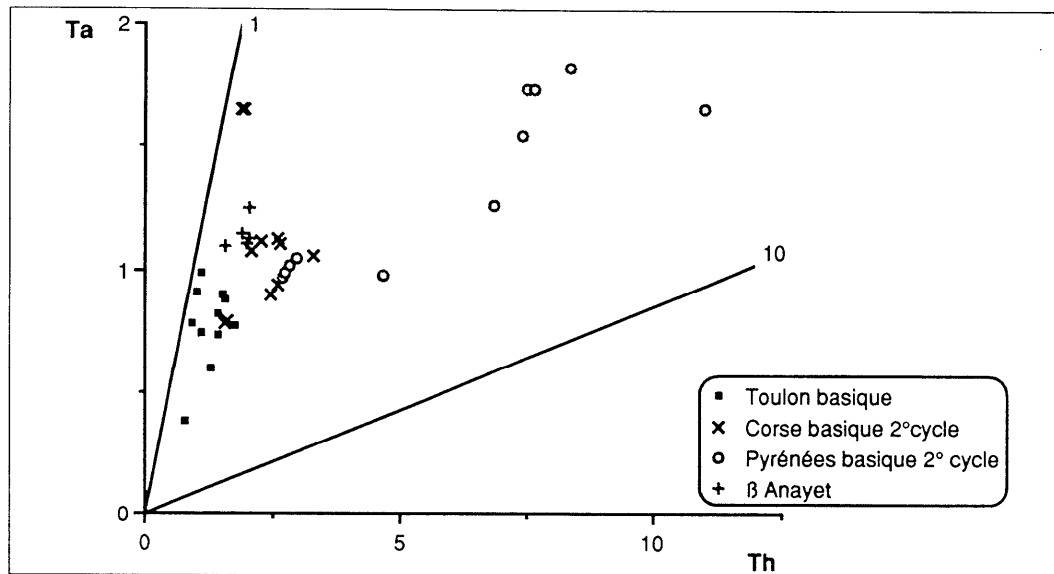


Fig. 3. – Diagramme Ta=f(Th), pour les basaltes de Toulon, de Corse 2^e cycle, du 5^e épisode des Pyrénées, et des basaltes de l'Anayet.

Fig. 3. – Ta=f(Th) diagram, for basalts from Toulon, Corsica 2nd cycle, 5th episode of the Pyrenees, and Anayet.

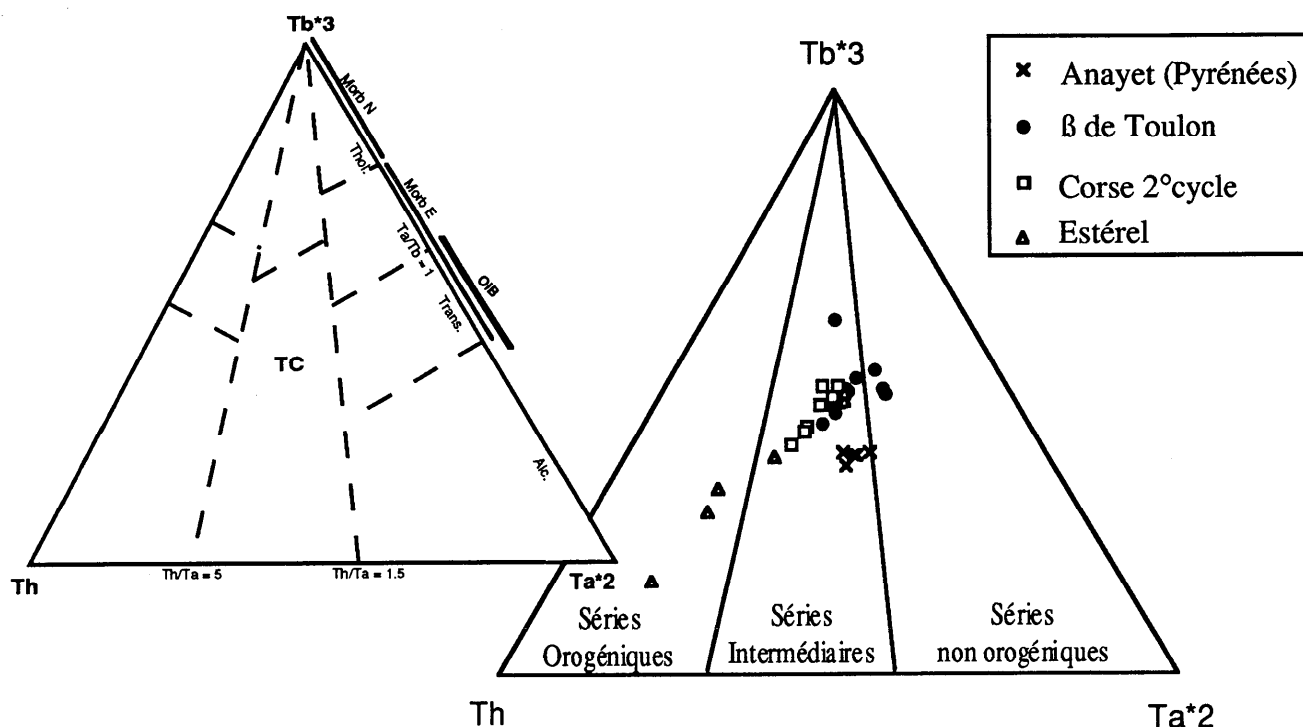


Fig. 4. – Diagramme géotectonique (Th-Tb*3-Ta*2) de Cabanis et Thiéblemont (1988), pour les basaltes de Toulon. Comparaison avec différentes séries volcaniques permienne.

Fig. 4. – Geotectonic diagram (Th-Tb*3-Ta*2) of Cabanis and Thiéblemont (1988) for Toulon basalts. Comparison with various Permian volcanic series.

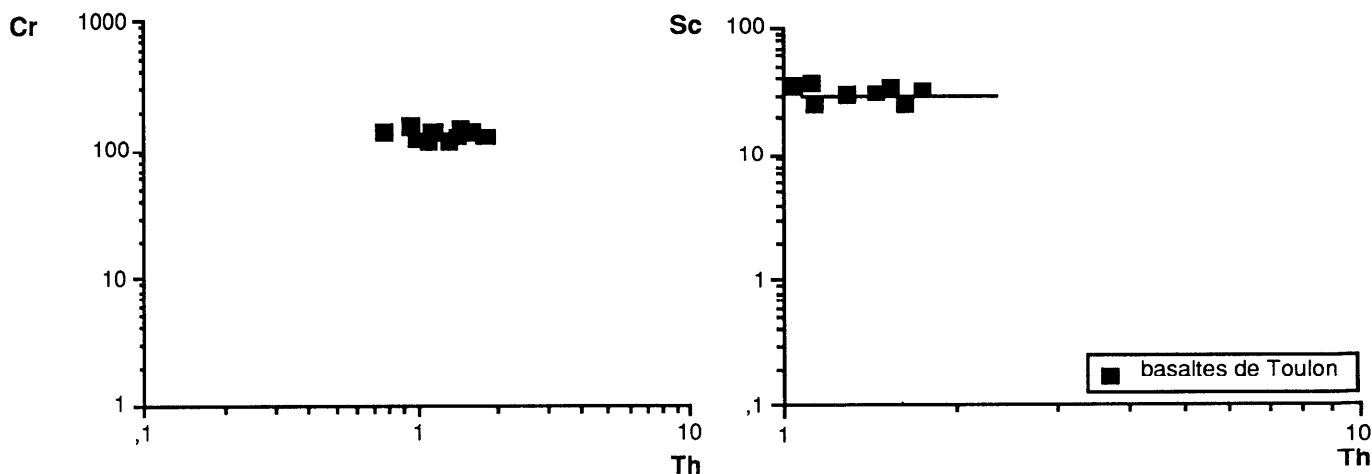


Fig. 5. – Diagrammes log (éléments de transition 3d) en fonction de log (Th), mise en évidence d'un processus de fusion partielle, pour la formation des basaltes de Toulon.

Fig. 5. – Log (3d transition elements)-log (Th) diagrams, showing a partial fusion process, for the formation of Toulon basalts.

anomalie négative en Ta. Ces caractères modérément enrichis et l'absence d'anomalie en Ta rappellent les basaltes de type OIB. Par ailleurs, les teneurs basses en Th et l'homogénéité des teneurs de la plupart des éléments n'impliquent pas une participation d'un constituant orogénique ou crustal au niveau de la source.

Discussion et comparaison avec d'autres séries volcaniques permienne

Malgré les transformations subies par ces laves permienne, l'étude minéralogique et géochimique en permet une identification précise. La présence de plagi-

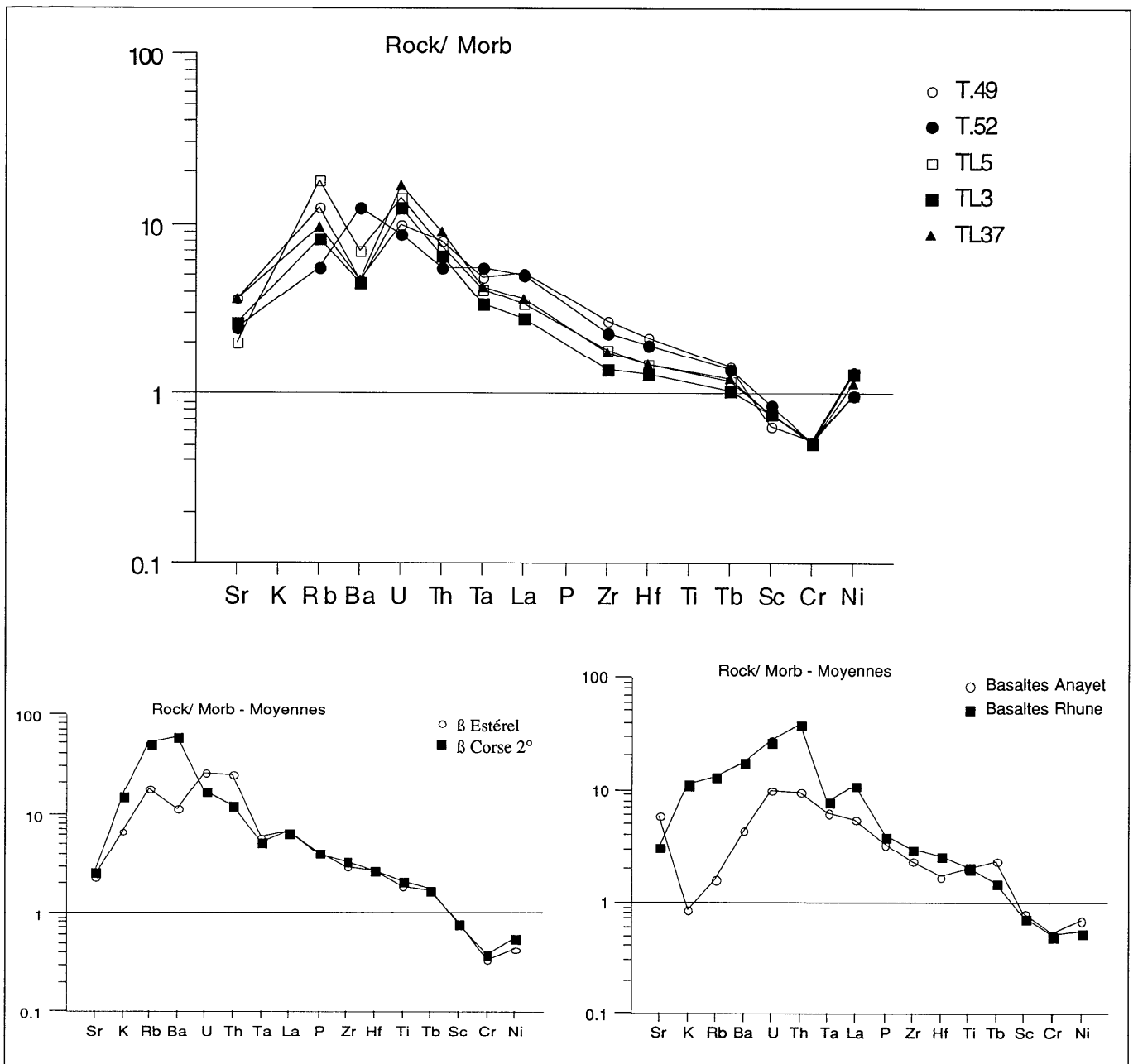


Fig. 6. – Diagramme de normalisation par rapport aux Morb (Pearce, 1982), des échantillons représentatifs des laves de Toulon. a) comparaison avec ceux de Corse et d'Estérel (b) et des Pyrénées (c).

Fig. 6. – Normalisation diagram in relation to MORB (Pearce, 1982) of representative samples of Toulon lava. a) comparison with those of Corsica and the Esterel (b) and the Pyrenees (c).

clases (labrador), d'augite titanifère, et d'olivine permet de les comparer aux basaltes de Scandola du 2^e cycle de Corse (Brisset et Cochemé, 1976). Les clinopyroxènes reliques possèdent des teneurs élevées en Ti qui démontrent le caractère alcalin de ces basaltes (fig. 2). Ils se différencient en cela des CPX des basaltes de Corse 2^e cycle et de ceux des basaltes de l'Estérel (fig. 2) qui présentent un caractère plus tholéitique (Gondolo, 1989, Cabanis *et al.*, 1990).

L'ensemble des données géochimiques (majeurs et traces) démontre le caractère non orogénique des basaltes et permet de les comparer aux basaltes du deuxième cycle volcanique permien.

Dans le diagramme $Th-Tb \cdot 3-Ta \cdot 2$, les basaltes de Toulon évoluent du domaine intermédiaire vers les séries anorogéniques de type MORB enrichi (OIB).

Cette même caractéristique se retrouve pour les basaltes de l'Anayet (2^e cycle des Pyrénées (Cabanis et Le Fur Balouet, 1989)), et certains basaltes du 2^e cycle de l'Estérel ou de la Corse (Gondolo, 1989, Cabanis *et al.*, 1990).

Le diagramme de normalisation, par rapport aux MORB, des moyennes des différentes séries permiennes (Corse, Estérel, Toulon, Anayet, Rhune) illustre le même phénomène (fig. 6). Les spectres des basaltes de Corse (Cabanis *et al.*, 1990), de l'Estérel et de la Rhune (Cabanis et Le Fur Balouet, 1989) montrent une anomalie négative en Ta interprétée comme la participation d'un constituant orogénique de type 1^{er} cycle, au niveau de la source de ces basaltes. Cette anomalie en Ta n'apparaît pas dans les basaltes de Toulon ou ceux de l'Anayet (Pyrénées) ou certains

basaltes tardifs de Corse ou de l'Estérel, ce qui traduit leur caractère anorogénique franc et les rend comparables à certaines tholéiites ou basaltes transitionnels associés à des débuts de rifting (Asal) (Joron *et al.*, 1980).

Enfin, le caractère « série de fusion » bien démontré pour les basaltes de Toulon est aussi une caractéristique du volcanisme basique du 2^e cycle. Il a été mis en évidence dans les massifs de la Rhune (Pyrénées) (Cabanis et Le Fur Balouet, 1989) et retrouvé dans les basaltes de Scandola (Corse 2^e cycle) (Cabanis *et al.*, 1990).

L'ensemble de ces données permet de rapporter le volcanisme basique du bassin de Toulon comme appartenant au 2^e cycle anorogénique du volcanisme permien. La mise en place de ces basaltes s'est donc effectuée dans un contexte géodynamique distensif franc, de type « début de rift intracontinental ». Ils annoncent dès le Permien supérieur la généralisation de la distension triasique représentée par la province alcaline téthysienne.

Le volcanisme acide

Ce volcanisme acide, sous forme de produits d'érosion, est représenté en plusieurs points du bassin de Toulon (Brégaillon, Saint Mandrier, et Carqueiranne) (fig. 1). Les conglomérats à éléments de rhyolites, centimétriques à décimétriques, plus ou moins roulés, sont inclus dans des formations volcano-détritiques appartenant au Permien inférieur et moyen.

Ces formations sont visibles : le long de la voie de chemin de fer de Brégaillon, entre la ville de Toulon et la Seyne sur Mer et en bordure de mer, au sud de la presqu'île de Saint Mandrier ainsi qu'aux alentours de Carqueiranne, non loin des coulées de basaltes décrites ci-dessus.

Au nord du bassin de Toulon, à quelques kilomètres de Carqueiranne, dans le bassin de Cuers (fig. 1), il existe également des galets de roches volcaniques.

La seule étude de ces roches (Santarelli, 1966) a porté sur l'analyse pétrographique de la séquence volcano-sédimentaire permienne visible dans l'ancienne tranchée SNCF de Brégaillon (la Seyne sur Mer). Nous reprendrons ici, l'étude pétrographique et géochimique de l'ensemble des galets de rhyolites du bassin de Toulon et du bassin de Cuers.

Étude pétrographique et minéralogique

La texture est vitroclastique avec de nombreuses échardes de verres, de formes variées (X, Y ou I), et des phénocristaux de quartz et plagioclase. Les phénocristaux principaux sont le quartz, automorphe mais souvent brisé ou corrodé, caractéristique des quartz des roches acides effusives qui constitue 8 à 19 % de la roche, le plagioclase (15 %) de grande taille et parfois brisé, aux formes cristallines incomplètes, il est relativement sodique (An 30-35) et mâclé Albite, et plus rarement Albite-Carlsbad.

La biotite (3 %) apparaît altérée, déferrisée avec des lits d'opacques dans les clivages, le zircon en très petits cristaux, souvent isolés parmi les échardes, et des minéraux opacques sont répartis dans la matrice soulignant

les échardes ou sous forme de grains et cristaux isolés (0.02 %).

En résumé, les rhyolites de Toulon, malgré leur transformation minéralogique, montrent des caractères analogues à ceux des rhyolites calcoalcalines du premier cycle de Corse, notamment par la présence de plagioclases et de biotites magnésiennes (Leroy, 1992).

Étude géochimique

Les caractéristiques chimiques sur éléments majeurs des rhyolites des deux cycles volcaniques permien de Corse, ont été exposées par F. Brisset et J.J. Cochemé (1976) et par P. Vellutini (1977). Le premier cycle calco-alcalin est plus alumineux et plus calcique, tandis que le deuxième cycle alcalin présente des teneurs élevées, voire très élevées en silice et en potassium et très faibles en calcium. Les teneurs en silice des rhyolites de Toulon sont très élevées avec une moyenne de 83,2 %. Cependant, étant donné les processus de silicification secondaire important subis par ces rhyolites, les teneurs de la plupart des éléments majeurs ne caractérisent plus nécessairement les compositions originelles des roches.

L'utilisation des éléments traces permet en partie de remédier à ces difficultés. Certes, une altération importante des roches peut entraîner une dilution des éléments chimiques mais il a été démontré que les éléments de propriétés voisines subissent alors des mobilités cohérentes, et que les valeurs des rapports entre ces éléments pouvaient être conservées (Nystrom, 1984, Zielinski, 1985).

Les analyses chimiques des galets de rhyolite (tabl. 2) font apparaître d'importantes variations des teneurs en la plupart des éléments hygromagmaphiles

* N° éch.	T.62	T.10	T.34	Pr5*	Pr4*	T.42	T.12	T.41
SiO ₂	89,7	81,84	79,9	85,3	84,4	84,12	78,5	85,43
Al ₂ O ₃	6,3	9,6	12,8	7,71	7,61	9,89	12,03	9,25
Fe ₂ O ₃ t	0,3	0,14	0,81	0,68	0,95	0,39	0,29	0,34
MnO	0	0	0	0,02	0,03	0	0	0
MgO	0,08	0,03	0,16	0,37	0,61	0,08	0,07	0,07
CaO	0	0,08	0,2	0,21	0,77	0,1	0,17	0,06
Na ₂ O	0,08	3,2	0,06	0,22	0,27	0,06	4,62	0,07
K ₂ O	0,53	3,62	0,45	1,33	1,3	0,59	3,02	0,4
TiO ₂	0,04	0,05	0,17	0,06	0,07	0,04	0,07	0,04
P ₂ O ₅	0	0	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0
P.F.	2,72	0,9	5,3	3,85	3,62	4,53	1,15	4,17
Total	99,75	99,46	99,87	99,8	99,8	99,8	99,94	99,83
U	4,98	3,35	3,67	4,13	2,74	3,5	3,04	3,33
Th	13,23	8,95	11,3	14,33	10,16	11,93	12,14	11,82
Zr	67,2	76	123	62,45	66,3	155,96	121,6	50,19
Hf	2,95	2,63	4,31	2,71	2,61	5,07	3,72	2,6
Ta	0,98	1	0,94	1,11	1,12	1,09	1,04	1,34
Ba	683	1372	44	220	1186	610,21	962,23	254,08
Sr	34	66	35	41	10	0	124,79	37,58
Cs	2,31	1,71	4,68	2,5	2,58	2,27	2,16	5,48
Rb	17	79	16	48,52	36	84,74	81,29	13,82
Cr	3,2	4,2	5,21	6	6	5,5	6,2	4,4
Co	1,22	0,46	1,48	4,5	2,33	0,25	0,23	26,21
Ni	3,5	3,5	3,33	3,7	9	14,33	13,66	1,28
Sc	1,26	1,15	1,98	4,22	3,1	2,08	1,98	21,13
La	12,79	29,86	12,71	11,12	8,29	4,38	49,6	13,27
Ce	20,9	43,19	16,23	50,2	20,3	84,42	80,68	20,64
Sm	1,8	1,2	2,3	2,78	2,22	1,88	7,1	2,27
Eu	0,32	0,6	0,07	0,44	0,24	1,07	1,02	1,03
Tb	0,46	0,5	0,38	0,77	0,39	0,79	0,76	0,46
Yb	2,1	2,12	2,29	2,59	1,7	2,8	2,67	2,52

Tabl. 2. – Analyses chimiques des galets de rhyolites des bassins de Toulon et de Cuers-Solliès Pont.

Tabl. 2. – Chemical compositions of rhyolite pebbles from the Toulon and Cuers-Solliès Pont Basins.

(La, Hf, Tb). Seuls Th et Ta présentent des teneurs relativement homogènes et peuvent être considérés ici comme de bons discriminants.

Dans le diagramme $Ta=f(Th)$ (fig. 7), les galets de rhyolite de Toulon se répartissent de part et d'autre de la droite de pente 10 qui caractérise les séries orogéniques. Comparées aux rhyolites permienne de Corse, elles se rapprochent de celles du premier cycle calco-alcalin à valeur élevée du rapport Th/Ta (proche de 10) mais s'en différencient nettement par les teneurs absolues en ces éléments systématiquement plus faibles.

Les spectres de normalisation (fig. 8) par rapport aux ORG (Ocean Ridge Granite) (Pearce *et al.*, 1984) permettent de distinguer deux tendances géochimiques.

La première regroupe les galets de rhyolites de Brégaillon et du bassin de Cuers-Solliès-Pont et montre des spectres conformes à ceux obtenus pour les roches acides de type « post-collision » (Thiéblemont et Cabanis, 1990) : les teneurs en LILE sont élevées avec un fractionnement important entre Th et Tb et une anomalie négative en Ta bien marquée par rapport au Th et au La. La deuxième tendance comprend les galets de rhyolite des falaises de Carqueiranne qui présentent des spectres particuliers ne pouvant être rattachés à aucun type actuel connu.

Comparés aux rhyolites calco-alcalines du premier cycle de Corse (fig. 9), le spectre représentant la moyenne des rhyolites de Toulon en diffère par des

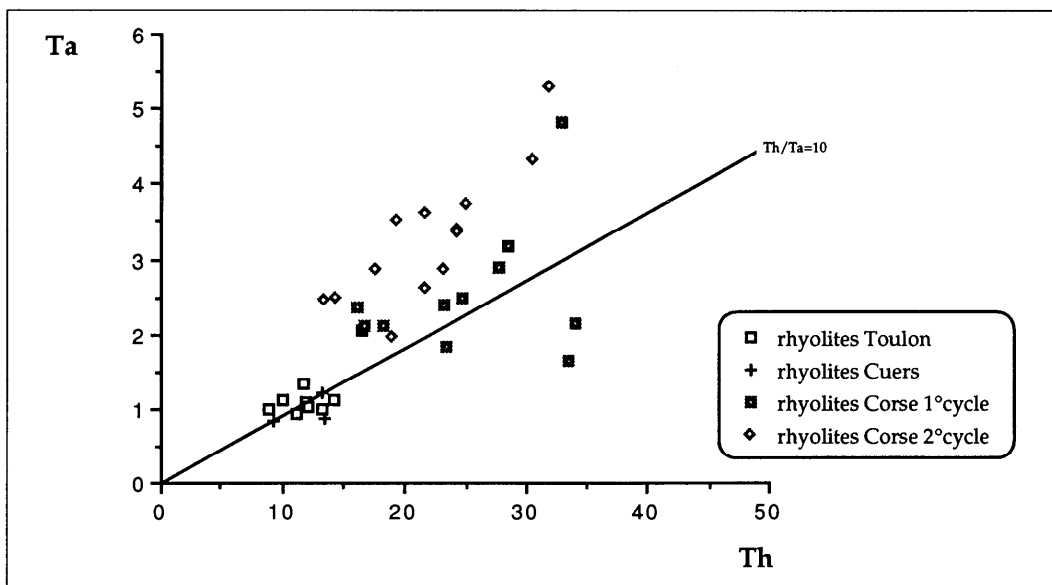


Fig. 7. – Diagramme Th/Ta pour les rhyolites de Toulon, de Cuers, en comparaison avec les rhyolites de Corse du 1^{er} et du 2^e cycle.

Fig. 7. – Th/Ta diagram for rhyolites from Toulon, Cuers, compared to Corsican rhyolites of the 1st and 2nd cycles.

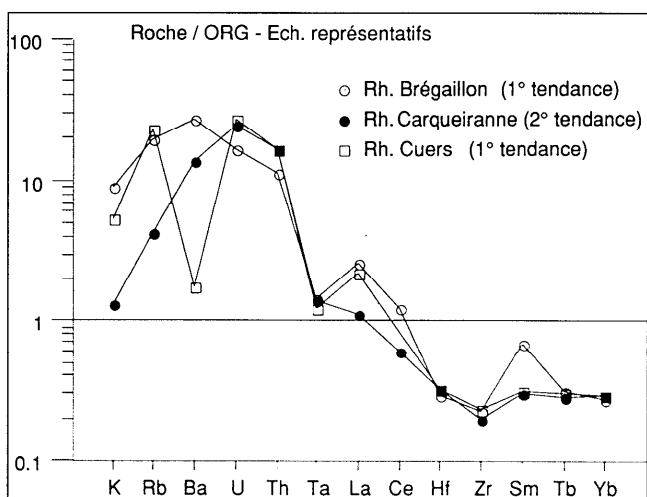


Fig. 8. – Diagramme de normalisation aux ORG, pour les galets de rhyolite de la tranchée de Brégaillon, des falaises du Bau Rouge (Carqueiranne) et du bassin de Cuers.

Fig. 8. – Normalisation ORG diagram for rhyolite pebbles from the Bregailion trough, the Bau Rouge cliffs (Carqueiranne) and the Cuers Basin.

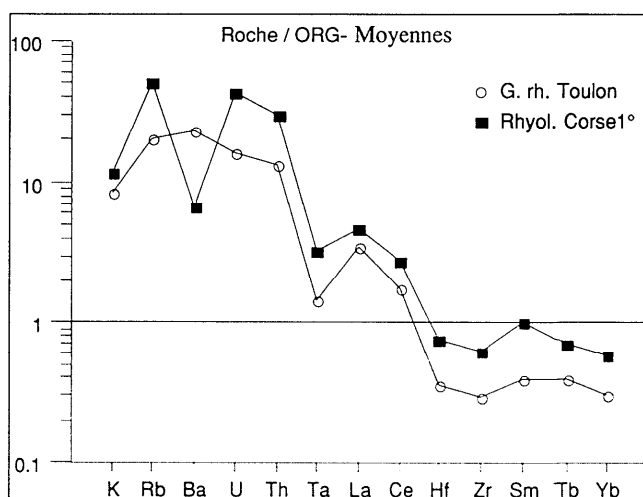


Fig. 9. – Diagramme de normalisation aux ORG, comparaison des spectres d'une moyenne des galets de rhyolite de Toulon et d'une moyenne des rhyolites de Corse 1^{er} cycle.

Fig. 9. – Normalisation ORG, diagram comparison of spectra of an average of rhyolite pebbles from Toulon and an average of the 1st cycle Corsican rhyolites.

teneurs en Hf, Zr, Sm, Tb et Yb systématiquement plus basses. Pour expliquer cette particularité, on peut envisager soit une dilution de ces éléments au cours de l'altération, soit une source de composition légèrement différente de celle de la Corse. Le caractère réputé inerte des éléments considérés (Hf-Zr-Tb) et la cohérence générale du spectre avec les séries orogéniques, nous font pencher en faveur de la deuxième hypothèse.

Conclusion

Les deux cycles volcaniques permien sont représentés dans le bassin de Toulon, comme produits d'émission (les coulées) et produits d'érosion (les galets).

Les caractéristiques des coulées basiques du Permien moyen peuvent être rapportées sans équivoque au deuxième cycle volcanique permien connu dans l'ouest méditerranéen. Il se rapproche plus particulièrement de la série de l'Anayet (Pyrénées 2^e cycle). L'absence de déficit marqué en Ta montre que l'influence d'un constituant orogénique au niveau de la source de ces basaltes est très réduite, voire inexistante.

Cette particularité peut être mise en correspondance avec le caractère tardif de ces coulées basiques ou leur position plus distale par rapport à la zone orogénique, siège du volcanisme du premier cycle calco-alcalin.

Les galets de rhyolite abondants dans les arkoses du Permien inférieur et moyen, possèdent des caractères

qui démontrent leur appartenance au premier cycle calco-alcalin du volcanisme permien. Cependant, leurs caractères chimiques spécifiques obligent à envisager un massif volcanique d'alimentation de composition différente de celle ayant alimenté le volcanisme acide du premier cycle de Corse (Leroy, 1992).

La présence de paléocourants observés dans les formations sédimentaires du Cap Saint Mandrier (Durand, 1993) indique une provenance du matériel détritique à partir du sud du bassin de Toulon. De plus, l'existence de niveaux pyroclastiques épais dans les formations du Cap Saint Mandrier (Durand, 1993), témoigne d'une activité volcanique explosive importante, située au sud et proche du bassin de Toulon. Ce massif volcanique inconnu aurait pu se rattacher à la Sardaigne plus proche du continent à cette époque et son démantèlement être à l'origine des galets de rhyolite de Toulon. Les premiers résultats géochimiques obtenus sur le volcanisme de Gallura, situé au nord ouest de la Sardaigne, confirment cette hypothèse (Leroy, 1992).

Remerciements:

Cette étude a été financée par le CEA-DAMN (contrat 002269000GAS). Nous exprimons notre reconnaissance à Messieurs J. Saint-Martin et V. Mathis (Cogema, Lodève), qui ont facilité la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier également J.J. Cochemé et C. Coulon du Laboratoire de Pétrologie Magmatique (Marseille), pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche.

Références bibliographiques

- BIXEL F. (1984). – Le volcanisme stéphano-permien des Pyrénées. Thèse d'état, Toulouse.
- BORDET P. (1951). – Étude géologique et pétrologique de l'Estérel. Mém. Carte Géol. Fr., 227 p.
- BOUCARUT M. (1971). – Étude volcanologique et géologique de l'Estérel (Var, France). Thèse d'État, Université de Nice.
- BRISSET F., COCHEMÉ J.J. (1976). – Étude géologique des presqu'îles de Scandola et du Monte Senino (Corse). Thèse 3^e cycle, Université d'Aix-Marseille.
- CABANIS B. (1986). – Identification des séries magmatiques dans les socles métamorphiques sur la base de critères géologiques, pétrographiques et géochimiques. Thèse d'État, Paris.
- CABANIS B., COCHEMÉ J.J., VELLUTINI P.J., JORON J.L., TREUIL M. (1990). – Post-collisional Permian volcanism in northwestern Corsica: an assessment based on mineralogy and trace-element geochemistry. *J. Volc. Geoth. Res.* Amsterdam, **44** pp. 51-67.
- CABANIS B., LE FUR BALOUET S. (1989). – Les magmatismes stéphano-permiens des Pyrénées marqueurs de l'évolution géodynamique de la chaîne: apport de la géochimie des éléments en traces. *Bull. C. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine*, **13**, 1, pp.105-130.
- CABANIS B., THIÉBLEMONT D. (1988). – La discrimination des tholéiites continentales et des basaltes arrière-arc. Proposition d'un nouveau diagramme, le triangle Th-Tb*3-Ta*2. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (8), **4**, 6, pp. 927-935.
- CONDIE K.C., VILJOEN M.J., KABLE E.J.D. (1977). – Effects of alteration on element distribution in Archean tholeiites from the Barbeton greenstone belt (South Africa). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **64**, pp. 75-89.
- COULON C. (1967). – Le volcanisme basique de la basse Provence occidentale (région Toulonnaise et massif des Maures). Thèse 3^e cycle, Paris.
- DI BATTISTINI G., BARGOSSO G.M., SPOTTI G., TOSCANI L. (1988). – Andesites of the Late Hercynian volcanic sequence in Trentino-Alto Adige (Northern Italy). *Rend. Soc. ital. Miner. petrol.*, **43**, pp. 1087-1100.
- DURAND M. (1993). – Un exemple de sédimentation continentale permienne dominée par l'activité de chenaux méandri-formes: la formation de Saint Mandrier (bassin de Toulon, Provence). *Géologie de la France*, n° 2, 1993 (ce volume).
- GONDOLO A. (1989). – Le volcanisme alcalin permo-triasique du sud est de la France. Scandola et Senino (Corse) et Estérel et Bas-Argens (Provence). Université, Nice.
- JORON J.L., TREUIL M. (1977). – Utilisation des éléments hygromagmaphiles pour l'étude de la composition chimique et de l'hétérogénéité du manteau. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **19**, 6, pp. 1197-1205.
- JORON J.L., TREUIL M., JAFFREZIC H., VILLEMANT B. (1980). – Etude géochimique des éléments en traces dans les séries volcaniques du rift Asal. Identification et analyse des processus d'accrétion. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **22**, 6, pp. 61-862.

LEROY S. (1992). – Étude comparée du volcanisme permien de la région de Toulon et de la Sardaigne. Proposition d'un massif d'alimentation pour le volcanisme du bassin de Lodève. Implications géodynamiques. DEA de Géodynamique, Aix-Marseille et U.P.M.C.

LETERRIER J., MAURY R.C., THONON P., GIRARD D., MARCHAL M. (1982). – Clinopyroxene composition as a method of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, pp. 139-154

MORIMOTO N., FABRIES J., FERGUSON A.K., GINZBURG I.V., ROSS M., SEIFERT F.A., ZUSSMAN J. (1988). – Nomenclature of Pyroxenes. *Bull. Mineral.* III., pp. 535-550.

NYSTROM J.A. (1984). – Rare earth element mobility in vesicular lava during low-grade metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **88**, pp. 328-331.

PEARCE J.A. (1982). – Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In : R. S. Thorpe (Eds), *Andesites : orogenic andesites and related rocks*. Intersci. Publ., Wiley & Sons, Chichester, pp. 525-549.

PEARCE J.A., HARRIS N.B.W., TINDLE A.G. (1984). – Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of Granitic rocks. *J. Petrol.*, **24**, 4, pp. 956-983.

PUPIN J.P. (1987). – Origine des grès de la dépression permienne (Var, France) par la typologie des zircons, conséquences paléogéographiques. *Géol. Alpine. Mém. h.s. n° 13*.

SANTARELLI N. (1966). – Etude pétrographique de la série volcanosédimentaire de la tranchée de Brégaillon près de la Seyne-sur-Mer (Var). DES, Marseille.

THIÉBLEMONT D., CABANIS B. (1990). – Utilisation du diagramme Rb/100-Tb-Ta pour la discrimination géochimique et l'étude pétrogénétique des roches magmatiques acides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **8**, 1, pp. 23-35.

TOUTIN N. (1980). – Le permien continental de la Provence orientale. Thèse d'Etat, Université de Nice.

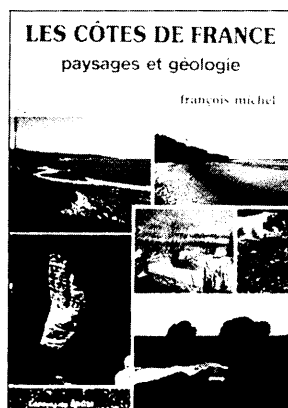
TRAVERSA G. (1966). – Studio petrografico del complesso vulcanico permiano della Gallura (Sard. sett.). Nota I : Le vulcaniti ignimbricche del settore settentrionale. *Period. Mineral.* **35**, pp. 503-600.

VELLUTINI P. (1977). – Le magmatisme permien de la Corse du Nord-Ouest. Son extension en Méditerranée occidentale. Thèse d'Etat, Aix-Marseille.

WOOD D.A. (1980). – The application of the Th-Hf-Ta diagram to problems of tectono-magmatic classification, and to establishing the nature of the crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **50**, pp.11-30

YOUBI N., CABANIS B., CHALOT-PRAT F., CAILLEUX Y. (1993). – La dynamique éruptive du volcanisme permien de Khenifra (S.E. Maroc Central). *Geodinamica acta*. (à paraître)

ZIELINSKI R.A. (1985). – Volcanic rocks as sources of uranium. Current perspective and future direction. In : I. A. E. agency (Eds), *Uranium deposits in volcanic rocks*. Vienna.



LES CÔTES DE FRANCE

paysages et géologie

françois michel

Professeur de Sciences naturelles dans la région parisienne et guide de haute montagne, François MICHEL est l'auteur de livres destinés au grand public et le scénariste de plusieurs films, tous axés sur l'Histoire de la Terre.

Pédagogue, il sait faire partager avec enthousiasme sa passion pour la géologie.

Titre déjà paru aux Éditions du BRGM :

Roches et paysages ont une histoire

Ouvrage relié de 160 pages
Nombreuses illustrations en couleurs

Prix : 200 F
+ 35 F de frais de port et d'emballage

5 500 kilomètres de côtes jalonnent la France sur la moitié de son pourtour. A chaque secteur du littoral correspond un paysage caractéristique, souvent marqué d'un cachet pittoresque. Suivre les rivages procure un dépaysement permanent, parsemé de transitions étonnantes et souvent brutales. En peu de distance, on passe de la plage à la falaise, de cette dernière aux marais ou à la dune.

Chaque paysage correspond à un sous-sol particulier façonné par la nature des roches, l'histoire géologique, l'évolution tectonique, le contexte climatique... et parfois l'action humaine.

Entre Dunkerque et Bonifacio, François MICHEL vous emmène découvrir le littoral de France dans une « balade géologique » à la portée de tous.

ÉDITIONS DU BRGM
Avenue de Concyr
45060 ORLÉANS CEDEX 2
FRANCE. Tél. 38 64 30 28
ISBN 2-7159-0516-5