

Comportement du lithium et d'autres éléments en traces dans quelques coulées triasiques de l'aiguille de Morges (Alpes françaises méridionales)

Une contribution au problème de l'origine des roches spilitiques

par Nicole VATIN-PÉRIGNON * et Denis M. SHAW **

RÉSUMÉ. — Les quatre coulées du Vallon Long (Morges) appartiennent au vaste domaine spilitique triasique de la bordure occidentale du massif cristallin du Pelvoux. Elles ont une paragenèse minérale primaire, sont riches en K et présentent surtout une surabondance de Li dont la cause peut être d'origine magmatique ou recherchée dans une autohydrothermalisation postérieure à la cristallisation de l'olivine et contemporaine de celle des autres minéraux.

ABSTRACT. — The four lava flows of the Vallon Long (Morges) belong to an extensive spilitic domain of triassic age at the Western edge of the Pelvoux crystalline massif. They exhibit a primary mineral paragenesis, contain much K and more especially much Li, which may be either of magmatic origin, or due to selfhydrothermalization processes, which happened after olivine crystallization but were contemporaneous of crystallization of the other minerals.

Le synclinal mésozoïque de l'Aiguille de Morges (2 985 m), secteur sud du massif cristallin externe des Ecrins-Pelvoux, représente un vaste et complexe lambeau de la couverture sédimentaire dauphinoise, encaissé dans des formations migmatitiques, riches en filons basiques, du socle précambrien du géosynclinal hercynien.

Les formations sédimentaires de cette cuvette débutent par un Trias réduit : absence de base gréseuse, calcaires dolomitiques et coulées spilitiques ; surmonté par les calcaires, puis les schistes du Lias.

La coupe du gisement spilitique du versant gauche du Vallon Long (X = 910,71 ; Y = 284,50 ; Z = 2 530), face SE de l'Aiguille de

Morges, a été relevée par l'un des auteurs (N. V.-P.) ainsi que par R. AUMAITRE et G. BUFFET.

Il s'agit d'une barre spilitique irrégulière, de 20 à 60 m de hauteur, dont la base disparaît sous les éboulis de pente ; elle est coiffée par une falaise liasique et brusquement interrompue, à l'Est, par une faille.

Dans son plus grand développement cette coupe présente la succession suivante :

1^{re} coulée : 5 m — spilite gris violacé, moucheté de pyrite ou à pustules de chlorite, et dont la

* Laboratoire de Géologie Alpine, associé au C.N.R.S., L. A. 69 ; Institut Dolomieu, rue M.-Gignoux, 38031 Grenoble-CEDEX.

** Department of Geology, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.

base, fracturée, présente de nombreuses fissures comblées de piémontite, épidote s. s., calcite et quartz.

Intercoulée : 1 m — deux niveaux de microbrèches et tufs lie-de-vin (20 à 30 cm) séparés par un niveau de projections à éléments spilitiques grossiers.

2^e *coulée* : 15 m — spilite lie-de-vin à petits cristaux d'olivine chloritisée passant à un spilite gris, vacuolaire, riche en gros feldspaths blancs et pseudomorphoses d'olivine en chlorite.

Intercoulée : 0,50 m — microbrèches et tufs lie-de-vin.

3^e *coulée* : 15 m — spilite gris noir, compact, sans phénocristaux, passant à un spilite gris violacé, fin, moucheté d'hématite, puis à un spilite vert, vacuolaire.

Intercoulée : 0,80 à 1 m — microbrèches et tufs verts, passant latéralement à des tufs lie-de-vin.

4^e *coulée* : 20 m — spilite gris noir, très compact, peu vacuolaire, passant à un spilite gris vert, moucheté d'épidote et s'enrichissant vers le sommet de nombreuses veines de calcite. Calcaires du Lias.

Contrairement à ce qui est observable dans certains gisements spilitiques de la bordure occidentale du Pelvoux (TANE et VATIN-PÉRIGNON, 1969), on ne relève, dans cette coupe, aucune intercalation calcaire ou dolomitique entre les coulées. Seuls existent des niveaux indurés verts et rouges d'origine purement volcanique.

La *minéralogie de ces 4 coulées* est, de prime abord, assez simple :

- trame microlitique non oblitérée à lattes d'albite saine et cristaux plus trapus et diffus d'orthose, également sains ;
- mésostase primaire de chlorite, calcite, quartz avec amas d'épidotes et d'hématite ;
- phénocristaux d'anciens périclites pseudomorphosés en chlorite et cerclés de magnétite ;
- vacuoles remplies de carbonates et / ou de chlorite et de quartz.

Dans le détail des différences sensibles apparaissent dans les structures et la répartition des minéraux, au sein des coulées et d'une coulée à l'autre.

1^{re} *coulée* : La structure est microlitique fine dans toute l'épaisseur de la coulée. Le cœur est non seulement riche en « fantômes » d'olivine mais aussi en d'innombrables petits cristaux agglomérés de pyroxène non altéré. Le sommet possède toujours des pseudomorphoses d'olivine mais pas de pyroxène ; il est, de surcroît, très vacuolaire : calcite bordée de chlorite et / ou de quartz.

2^e *coulée* : Variation très nette de la taille des cristaux. Le cœur de cette coulée présente une très belle structure intersertale avec une mésostase réduite : épidotes, magnétite. Les « fantômes » d'olivine sont abondants et aux formes nettes. Les épontes de cette coulée ont une structure microlitique très fine ; la mésostase, plus développée, est à dominante ferrugineuse (éponte inférieure) ou calcique (éponte supérieure).

3^e *coulée* : Du cœur jusqu'au sommet de la coulée la structure est typiquement intersertale avec de beaux amas d'épidotes et de grosses vacuoles de calcite, mais on ne remarque aucune forme pouvant correspondre à un ancien cristal de périclote. La base de cette coulée, en revanche, possède une structure microlitique fine et d'abondants petits cristaux d'anciennes olivines aux formes bien conservées.

4^e *coulée* : La structure, fluidale à la base de la coulée, devient intersertale dans sa partie supérieure. Les pseudomorphoses d'olivine sont peu nombreuses mais s'observent dans toute l'épaisseur de la coulée. Les épidotes forment des amas importants.

Les principales variations observables peuvent se résumer ainsi :

- développement de la structure intersertale au cœur des 3 coulées supérieures ; la 1^{re} coulée restant homogène, à structure microlitique très fine, sur toute son épaisseur ;
- présence de pyroxènes *uniquement* au centre de la coulée inférieure ;
- absence de pseudomorphoses d'olivine dans la partie moyenne et supérieure de la 3^e coulée ;
- accroissement notable des épidotes dans les deux dernières coulées.

Les *intercoulées* sont constituées de très fins débris clastiques de spilite pris dans une pâte ferrugineuse, chloriteuse et calcique à nombreux débris de cristaux.

Ces tufs renferment, aux Rayons X, les minéraux suivants : chlorite, quartz, muscovite 2M et / ou calcite, hématite, orthose, albite et allanite (travaux inédits de R. AUMAITRE et G. BUFFET). Ils sont toujours *exempt*s de minéraux argileux de type illite ou kaolinite. L'existence de la muscovite est liée à celle des gros feldspaths séricitisés énallogènes que l'on trouve associés aux nombreux fragments de spilite. Ces éléments du socle (débris de cristaux) sont d'ailleurs assez rares et ne se rencontrent que dans les niveaux pyroclastiques fins. Il n'a été trouvé, dans ce gisement, aucune enclave de socle dans les coulées elles-mêmes.

Le fait qu'il n'y ait pas d'argiles dans les tufs associés aux coulées et qu'il n'y ait pas non plus de niveaux sédimentaires intercalaires (calcaires dolomitiques) laisse supposer que les spilites de Morges, du moins dans ce secteur, se sont mis en place à l'air libre.

L'analyse des teneurs de quelques éléments de ces spilites (K, Rb et Li) a été effectuée par absorption atomique au Laboratoire de McMaster University, selon les méthodes habituellement employées. La précision et la reproductibilité de dosages-tests effectués sur des roches-étalons (tableau I) paraissent satisfaisantes.

TABLEAU I

Résultats de dosage des standards géochimiques (roches-étalons) BR et GA

Numéro d'analyse	MgO %	K ₂ O %	Li ppm	Rb ppm	Ba ppm
BR					
72017	13.28	1.41	13.5	47.5	1190
72061	13.35	1.42	12.5	48.5	1190
72070	13.25	1.39	13.5	48.5	1171
72104	—	1.40	13.9	47.5	—
72046	13.21	1.35	12.1	46.6	1200
Teneur recommandée (1)	13.28	1.40	12 (2)	45 (2)	1050
GA					
72047	0.91	4.11	86	192	907
Teneur recommandée (1)	0.95	4.03	100 (2)	175	850

(1) ROUBAULT et al., 1968.

(2) Valeur proposée.

Mg et K (ainsi que les autres éléments majeurs) ayant été préalablement dosés au Laboratoire de Quantométrie du C.R.P.G. de Nancy et les résultats donnés pour K par les deux laboratoires étant très voisins, nous utiliserons donc la moyenne des 2 chiffres pour chaque échantillon.

Nous avons regroupé sur le tableau II les résultats des dosages des 15 spilites de Morges. On constate immédiatement que les teneurs moyennes en Mg et K de nos spilites sont assez différentes de celles du spilite moyen d'AMSTUTZ (1968) pour lequel MgO = 6 % et K₂O = 1 %. Les spilites de Morges sont nettement plus riches en K.

TABLEAU II

Teneurs de quelques éléments dans 15 échantillons de spilite de Vallon Long (Aiguille de Morges)

Elément	Gamme	Moyenne
Mg %	1.80 - 4.78	3.68
K %	0.53 - 5.71	2.11
Li ppm	30 - 78	60
Ba ppm	115 - 1570	435
Rb ppm	14 - 265	86
10* Li/Mg	13 - 38	16
K/Ba	26 - 127	49
K/Rb	178 - 400	245

D'autre part la comparaison des teneurs en Mg, K, Li, Ba et Rb de nos spilites avec celles d'autres familles basaltiques (tableau III) conduit à des conclusions intéressantes. En effet, si les teneurs en Mg et Ba des spilites de Morges sont assez proches de celles des basaltes normaux, il n'en est pas de même pour les teneurs en K et Rb ; celles-ci sont beaucoup plus fortes, bien que le rapport K/Rb reste voisin de celui des basaltes (fig. 1). Par ailleurs on constate qu'à partir des teneurs brutes le rapport K/Ba de ces spilites est deux fois plus grand que celui des basaltes. Quant aux autres paires d'éléments : Rb-Li, K-Li et Ca-Sr, nous n'avons trouvé, à leur sujet, aucune corrélation significative.

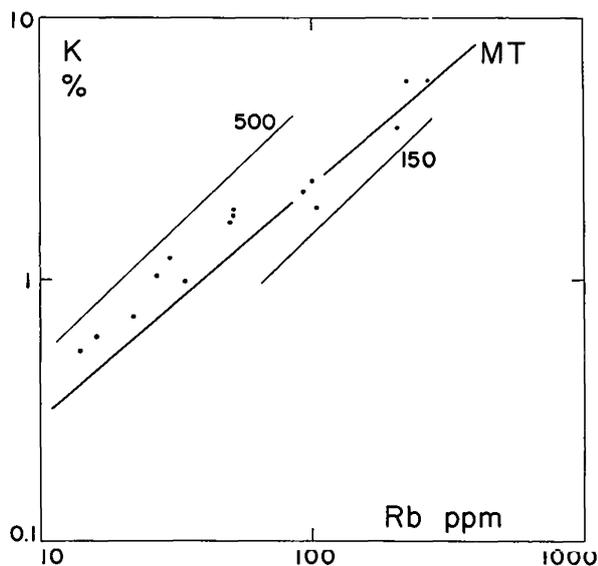


Fig. 1. — Teneurs en K et Rb des spilites de l'Aiguille de Morges.

Tous les rapports K/Rb observés tombent entre les valeurs 150 et 500. La tendance normale (« main trend » : SHAW, 1968) des roches ignées est indiquée par la droite MT.

Le caractère le plus marquant de nos spilites reste leur *haute teneur en Li* (60 ppm en moyenne), qui est 5 à 6 fois supérieure à celle

des basaltes normaux (10-12 ppm). Des teneurs en Li équivalentes aux nôtres ont déjà été signalées dans des spilites : il s'agit de ceux du Verrucano glaronnais en Suisse (AMSTUTZ, 1953). Pour cet auteur, les fortes teneurs en Li pourraient être influencées par le degré d'oxydation de Fe ; elles impliqueraient une basse température de cristallisation de la roche et suggéreraient une origine primaire pour au moins une partie de la chlorite.

La gamme des résultats obtenus sur les spilites de Morges s'accorderait mieux avec une série granitique, aussi avons-nous soupçonné la possibilité d'erreur analytique systématique ; mais celle-ci est à rejeter, car les résultats obtenus par le même analyste sur les roches-étalons d'une part, sur une série de 38 basaltes mondiaux pour lesquels les teneurs varient de 3.2 à 47 ppm (moyenne 15 ppm) d'autre part, ne laisse subsister aucun doute. Il faut donc accepter l'existence d'une *surabondance de Li* dans ces spilites, ce qui conduit nécessairement à un rapport 10^4Li/Mg également élevé (tableaux II et III). La corrélation Mg-Li, sauf dans le cas d'un point, est bien définie (fig. 2) et s'explique en fonction de la substitution de Mg par Li dans les minéraux ferromagnésiens.

TABLEAU III

Répartition de quelques éléments dans des roches banales

Elément	Basaltes tholéitiques (a)			Basaltes alcalins (a)			Roches ignées (b)		Roches sédimentaires (b)	
	n	G	\bar{x}	n	G	\bar{x}	n	G	n	G
Li ppm	110	2-40	10	53	2-40	12	111	3-250	46	28-630
Ba ppm	178	10-1200	244	75	20-1000	444	123	22 4400	296	150-12000
Rb ppm	110	0-125	17	55	0-150	41				
10^4Li/Mg			2.7			2.9	237	1-4100	46	18 560
K/Ba			24			26	—	15-100 (c)	296	0.7 139
K/Rb			341			283	256	55-800		
Mg %			3.7			4.2				
K %			0.58			1.16				

n : nombre de données ;
 G : gamme des teneurs ;
 \bar{x} : moyenne des teneurs.

(a) Eléments majeurs (MANSON, 1968) ; éléments de traces (PRINZ, 1968).
 (b) Compilation des données publiées.
 (c) GUNN (1969).

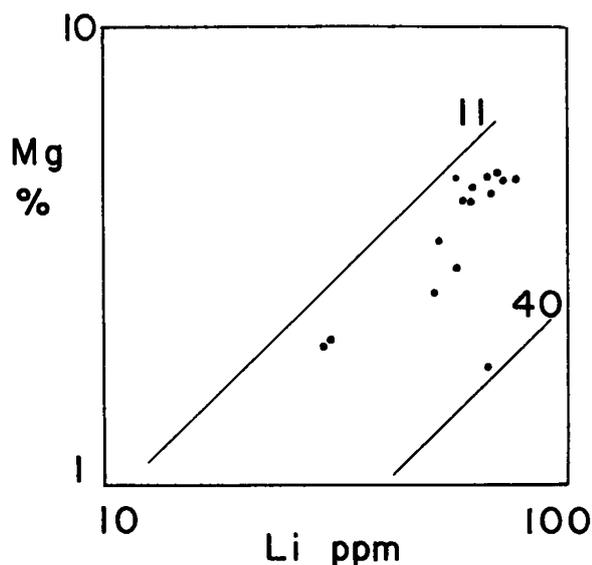


Fig. 2. — Corrélation Mg/Li dans les spilites de l'Aiguille de Morges avec les droites de rapport 10 Li/Mg égales à 11 et 40.

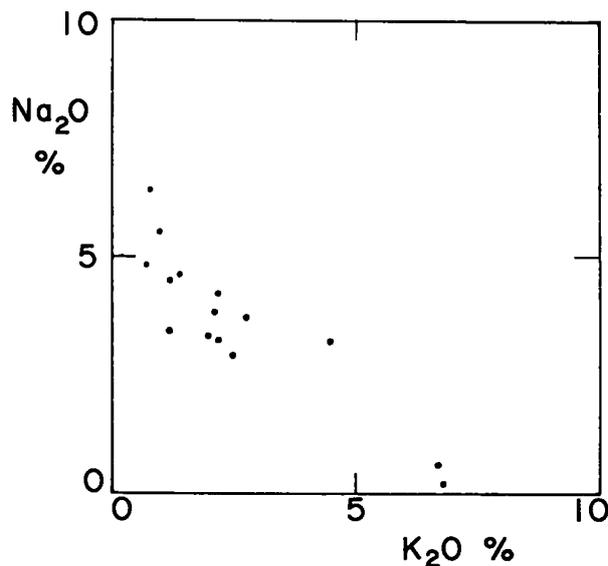


Fig. 3. — Corrélation Na₂O/K₂O dans les spilites de l'Aiguille de Morges.

Il est bon de noter que les 15 spilites proviennent de 4 coulées différentes et que les analyses individuelles ne montrent aucune tendance régulière de variation chimique avec leur position stratigraphique à l'intérieur d'une coulée particulière, sauf une corrélation négative entre Na et K (fig. 3). Cette corrélation semble indiquer un pourcentage constant (à peu près égal à 7 %) de Na₂O + K₂O qui provient très probablement d'un remplacement sous l'influence de fluides post-magmatiques.

En cherchant une *explication au comportement du Li* dans ces spilites, nous sommes conduits à envisager les différents processus susceptibles de provoquer un enrichissement en Li.

Le 1^{er} est la « *greisenisation* » : altération secondaire qui produit normalement des teneurs élevées en Li, F, B, etc., mais ces phénomènes apparaissent surtout dans les terrains granitiques et cristallophylliens, et par ailleurs, nous l'avons souligné, les feldspaths (albite et orthose) des spilites étudiés sont relativement sains. Nous tenons donc ce processus pour *très improbable* dans le cas qui nous intéresse et nous le rejetons.

Le 2^e fait appel soit aux *eaux diagénétiques* (altération secondaire postérieure à la consolidation), soit aux *eaux deutériques* (réactions hydrothermales produites sous l'influence de solutions

aqueuses résiduelles dérivées du magma lui-même). La teneur en Li des eaux de mer ne dépasse pas 0.18 ppm ($10^4 \text{Li/Mg} = 1.4$; HEIER et BILLINGS, 1969 ; USDOWSKI, 1969) alors qu'elle atteint 8.2 ppm dans les eaux hydrothermales (moyenne de 258 sources) et 26 ppm dans les eaux intersertales (moyenne de 134 dosages ; HEIER et BILLINGS, *op. cit.*). Si donc l'altération consécutive à la diagénèse est peu productrice de Li, il n'en est pas de même, en revanche, dans le cas de réactions deutériques qui dénotent un enrichissement certain en cet élément.

Etant donné que nos spilites présentent de fortes teneurs en Li, cette surabondance peut fort bien résulter de l'intervention d'eaux deutériques (théorie VI d'AMSTUTZ), mais avec cette restriction : cette *autohydrothermalisation* est immédiatement postérieure à la cristallisation de l'olivine, puisque celle-ci est détruite, et contemporaine de la cristallisation des autres minéraux puisque ceux-ci sont primaires. Il nous a donc semblé intéressant d'étudier la relation entre Li et H₂O+. L'eau n'ayant pas été dosée directement sur nos échantillons, nous l'avons assimilée à la valeur (perte au feu —CO₂) et avons construit la fig. 4 en y ajoutant les analyses disponibles de la série des basaltes mondiaux mentionnée ci-dessus. Bien qu'il y ait une dispersion considérable, il nous semble évident que les laves à haute teneur en Li sont

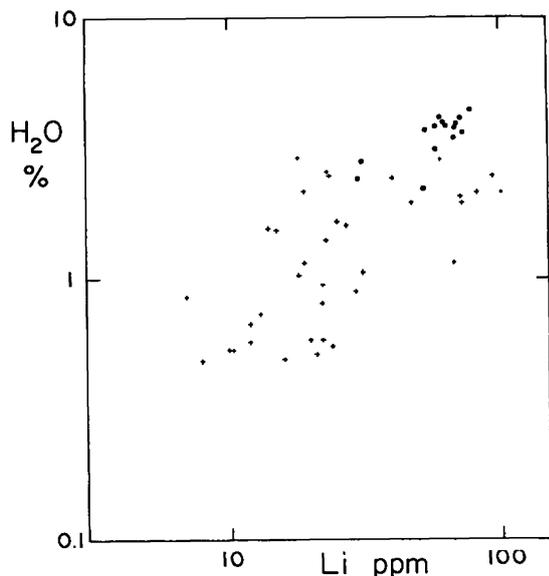


Fig. 4. — Corrélation H₂O+/Li.

Les spilites de Morges sont indiqués par des cercles pleins : leur teneur en H₂O représente la quantité (perte au feu —CO₂). Les croix représentent 36 basaltes mondiaux pour lesquels H₂O est mesuré directement.

toujours à haute teneur en eau. Cette conclusion serait en bon accord avec une hypothèse d'intervention d'eaux deutériques, parallèlement à notre observation d'une relation inverse entre Na et K (fig. 3).

Un dernier cas envisageable et proche du précédent fait appel directement à un *magma originel riche en Li*. Il est difficile de nier d'emblée cette possibilité, étant donné la nature essentiellement primaire de ces spilites, mais il est cependant assez troublant que nous n'ayons pu trouver ailleurs d'exemple semblable. Aussi, avant de la rejeter, nous pensons que de nouvelles données concernant le Li des autres gisements spilitiques qui ceinturent le Pelvoux (et dont celui-ci fait partie) nous apporteront des éléments plus déterminants pour infirmer ou confirmer cette hypothèse.

Nous tenons à remercier vivement M. John MUYSSON, analyste à McMaster University, pour les soins qu'il a apportés aux dosages de nos échantillons.

BIBLIOGRAPHIE

- AMSTUTZ (G. C.) (1953). — Geochemistry of swiss lavas. (*Geochim. Cosmochim. Acta*, 3, p. 157-168).
- (1968). — Spilites and spilitic rocks. *In* Basalts. The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. Ed. Hess et Poldervaart, Interscience, vol. 2, p. 737-753.
- GUNN (B. M.) (1969). — The determination of Ba in silicate samples by X-Ray fluorescence analysis (*Can. Spectr.*, 14, p. 164-170).
- HEIER (K. S.) et BILLINGS (G. K.) (1969). — Lithium. *Handbook of Geochemistry*, vol. II, ch. 3. Ed. Wedepohl, Springer Verlag.
- MANSON (V.) (1968). — Geochemistry of basaltic rocks : major elements. *In* Basalts. Ed. Hess et Poldervaart, Interscience, vol. 1, p. 215-269.
- PRINZ (M.) (1968). — Geochemistry of basaltic rocks : trace elements (*ibid.*, p. 271-323).
- ROUBAULT (M.), DE LA ROCHE (H.) et GOVINDAJARU (K.) (1968). — Report (1966-1968) on geochemical standards : Granites GR, GA, GH ; Basalt BR ; Ferriferous biotite mica Fe ; Phlogopite mica-Mg (*Sc. de la Terre*, 13, 4, p. 379-404).
- SHAW (D. M.) (1968). — A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis (*Geochim. Cosmochim. Acta*, 32, p. 573-603).
- TANE (J.-L.) et VATIN-PÉRIGNON (N.) (1969). — Les coulées spilitiques du Pic Vert (massif de l'Oisans) (*Bull. Soc. Géol. France* (7), 11, p. 102-105).
- USDOWSKI (H. E.) (1969). — Magnesium. *Handbook of Geochemistry*, vol. II, ch. 12. Ed. Wedepohl, Springer Verlag.

Manuscrit remis le 7 novembre 1972.