

**L'ALTÉRATION MÉTÉORIQUE DES SILLS DE PEGMATITES LITHINIFÈRES
DE SÃO JOÃO DEL REI ET DE LEUR ENCAISSANT
(MINAS GERAIS-BRÉSIL)
APPLICATION A LA PROSPECTION GÉOCHIMIQUE
DE MINÉRALISATIONS DE COLUMBOTANTALITE
ET DE CASSITERITE NON AFFLEURANTES**

Jean-Claude PARISOT

Géologue O.R.S.T.O.M.

Universidade de São Paulo, Brasil, Instituto de Geociencias
departamento geologia geral CP 20 899 05508 São Paulo.

RÉSUMÉ

Les pegmatites de la région de São João Del Rei (Minas-Gerais), exploitées pour l'étain et le tantale, ont constituées une zone test pour la recherche d'une méthode de prospection géochimique de pegmatites masquées par un encaissant schisteux.

Les minéraux recherchés dans ces pegmatites (cassiterite, colombotantalite) étant très peu altérables d'une part, le recouvrement empêchant toute dispersion mécanique de ces minéraux d'autre part, il s'agit de rechercher un élément traceur caractéristique des pegmatites.

Une étude comparée de la minéralogie des pegmatites et de leur encaissant, a montré que le lithium est un élément caractéristique des pegmatites susceptible d'être utilisé comme traceur géochimique. Les roches de la région (pegmatites, et encaissant) étant soumises à une importante altération ferrallitique, le lithium est facilement libéré, principalement à partir du spodumène, et migre à travers l'encaissant jusqu'à la surface ou il est encore aisément décelable. Il semble que dans l'encaissant altéré, les principaux pièges du lithium soient les phyllosilicates (kaolinite, sericite) et les hydroxydes de fer.

Une mini campagne géochimique effectuée dans une zone où existe une pegmatite parfaitement reconnue par sondages et puits a montré que le lithium était un bon traceur géochimique des pegmatites.

MOTS-CLÉS : Brésil. São João del Rei. Altération ferrallitique. Prospection géochimique. Pegmatite. Cassiterite. Columbotantalité. Lithium. Spodumène.

ABSTRACT

METEORIC WEATHERING OF LITHINIFEROUS PEGMATITE SILLS IN SÃO JOÃO DEL REI AND THEIR COUNTRY ROCK. (MINAS GERAIS. BRAZIL). APPLICATION TO THE GEOCHEMICAL PROSPECTING OF HIDDEN COLUMBOTANTALITE AND CASSITERITE MINERALIZATIONS

The pegmatites of the São João del Rei district (Minas-Gerais), mined for tin and tantalum, have been used as a test area for the investigation of a geochemical prospecting method for locating pegmatites hidden by schistose overburden.

As the pegmatites minerals of interest (cassiterite and columbite-tantalite) are very resistant to weathering and the overburden impedes any mechanical dispersion of these minerals, a elemental tracer typical of the pegmatites has been sought.

Comparative study of the mineralogy of the pegmatites and country rock has shown that lithium is a typical element of the pegmatites and can be used as a geochemical tracer. The rocks in the region have undergone very

importante ferrallitic alteration, and the lithium, especially that in spodumene, has been freed easily, migrating through the overburden to the surface where it is easily detectable. It appears that the principal traps for the lithium in the altered country rock are phyllosilicates and iron hydroxides.

A small-scale geochemical prospection carried out in an area of a pegmatite well known from wells and cores has confirmed lithium as a good geochemical tracer for pegmatites.

KEY WORDS: Brazil. São João del Rei. Ferrallitic alteration. Geochemical prospection. Pegmatite. Cassiterite. Columbotantalite. Lithium. Spodumène.

RESUMO

ALTERAÇÃO METEÓRICA DOS SILLS DE PEGMATITOS LITINIFEROS DA REGIÃO DE SÃO JOÃO DEL REI E DA ROCHA ENCAIXANTE (MINAS GERAIS, BRASIL). APLICAÇÃO NA PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE MINERALISAÇÕES MASCARADAS DE COLUMBOTANTALITA E DE CASSITERITA INSERIDAS

Os pegmatitos da região de São João del Rey (Minas Gerais) explorados devido a presença de estanho e tantalito, constituíram uma área teste para a procura de um método de prospecção geoquímica de pegmatitos mascarados por uma cobertura xistosa.

Sabendo-se que os minerais procurados nos pegmatitos (cassiterita e columbo-tantalita) são muito pouco alteráveis, e que o recobrimento impede qualquer dispersão mecânica desses minerais, é necessário que se procure um elemento indicador típico dos pegmatitos.

O estudo comparativo da mineralogia dos pegmatitos e da sua encaixante, mostrou que o lítio é um elemento típico dos pegmatitos, podendo ser utilizado como traçador geoquímico. As rochas da região (pegmatitos e encaixante) vêm sofrendo uma alteração ferralítica muito importante, e o lítio, sobretudo aquele incluído no espodumênio, é liberado facilmente e migra, atravessando a encaixante, até a superfície onde é facilmente detectado. Parece que na encaixante alterada as principais estruturas mais favoráveis a retenção do lítio são os flossilicatos e hidróxidos de ferro.

Uma mini prospecção geoquímica efetuada numa área onde existe um pegmatito, perfeitamente conhecido por sondagens e poços, mostrou que o lítio é realmente um bom indicador geoquímico de pegmatitos.

PALAVRAS CHAVE : Brasil. São João del Rei. Alteração ferralítica. Prospecção geoquímica. Pegmatitos. Cassiterita. Columbotantalita. Lítio. Espodumênio.

INTRODUCTION

La plupart des minéralisations en columbotantalite ainsi qu'une partie des minéralisations en cassitérite du Brésil, sont associées à des pegmatites. Les minéraux tantalifères et stannifères de ces pegmatites étant très peu altérables, les méthodes de prospection généralement utilisées consistent à rechercher des indices affleurants, ou subaffleurants. Dans les régions à couvert végétal dense la prospection à la batée est la plus efficace, mais dans les régions à végétation plus clairsemée cette dernière méthode est complétée par la recherche d'indices de surface (certains animaux fouisseurs, notamment les termites, remontent en surface des minéraux de la roche sous-jacente. Ainsi la présence de muscovite de relativement grande taille peut être un indice). Mais les pegmatites totalement incluses dans leur encaissant, sur lesquelles ne se produit aucune altération mécanique, échappent alors à ces méthodes.

Ainsi les sills pegmatitiques, sont exploités pour leurs minéralisations en cassitérite et columbotantalite dans la région de São João Del Rei, au Sud de l'état brésilien du Minas Gerais. L'importante

altération météorique caractérisant cette région permettait d'envisager une méthode géochimique *indirecte* de recherche de nouveaux corps pegmatitiques non affleurants, basée sur l'utilisation d'un élément traceur caractéristique des pegmatites. L'étude du comportement des éléments, lors de l'altération météorique des roches-mères pegmatitiques et de leur encaissant, a permis de vérifier l'opportunité d'une prospection géochimique.

Le secteur étudié se trouve au centre de gravité du triangle formé par les villes de Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro, à environ 50 km à l'ouest de la localité de São João Del Rei (fig. 1 a). Quatre corps pegmatitiques ont été étudiés (fig. 1 b). Les trois premiers affleurent aux lieux dits Volta Grande et Minas Brasil ; ils sont exploités par la « companhia de estanho Minas Brasil » ; fournissant des profils d'altération profonds (fronts de carrière), ils ont permis une étude à l'échelle du profil, de l'échantillon, et du cristal. L'altération est nettement moins intense à Minas Brasil. Le quatrième non affleurant, se trouve sur un permis de recherche de cette même compagnie au lieu dit Barra ; il n'est pas encore exploité, mais a été parfaitement reconnu par sondages et puits.

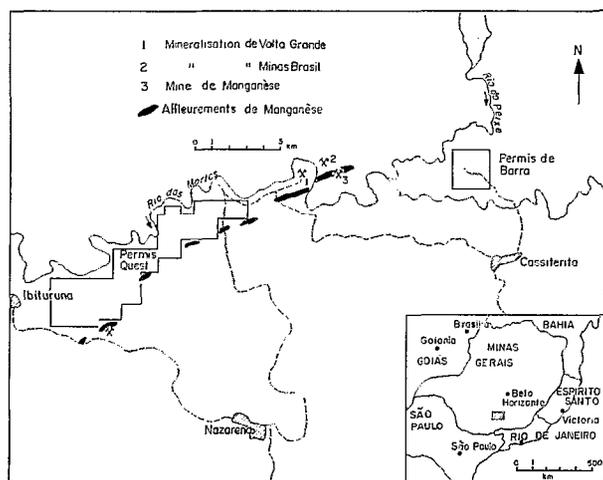


Fig. 1 a. — Schéma de situation de la zone étudiée.

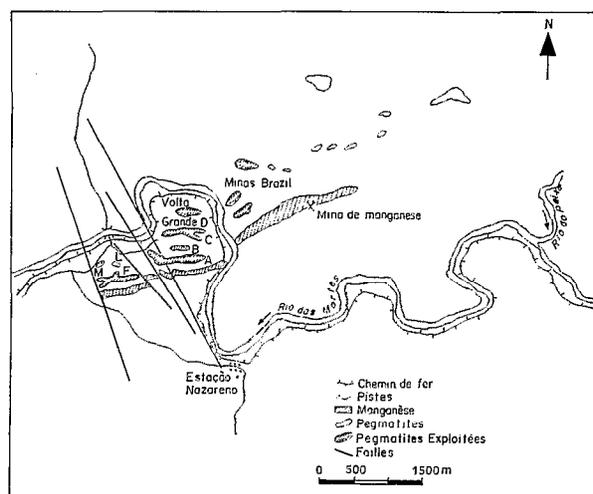


Fig. 1 b. — Pegmatites en exploitations ; zone de Volta Grande et Minas Brasil.

Ce dernier secteur, que l'on peut considérer exempt de pollution, constitue une excellente zone pour l'étude géochimique à l'échelle du profil et du paysage, et pour tester la validité d'une prospection géochimique.

CADRE GÉNÉRAL

Le façonnement des formations superficielles, résulte de l'action du climat sur les roches saines du substrat.

Le climat

Le climat est subtropical (T moyenne = 19°) avec des écarts de température importants entre le jour et la nuit. Les précipitations sont en moyenne de 1 300 mm par an dont 90 % durant la période de novembre à mars.

Contexte géologique

La région de São João Del Rei est caractérisée par des formations précambriennes complexes, dont l'altération météorique importante gêne beaucoup l'étude. ROLFF (1952), BELEZKIJ (1956), DORR et VAN NOSTRAND (1959) s'accordent pour distinguer quatre séries :

- Un complexe de base,
- La série du Rio das Velhas,
- La série Minas,
- La série d'Itacolomi.

séparées par trois phases orogéniques. Pétrographiquement, ces formations précambriennes com-

prennent quatre grands types de roche : des gneiss, des quartzites, des micaschistes, et des amphibolitoschistes.

Intrusives dans le précambrien (âge probable 600 M.A. ou plus ancien), les pegmatites affleurent sporadiquement en une succession de lentilles, suivant une bande de 100 km de long, et de 3 km de large, orientée $N 70^{\circ} E$. Cette direction correspond à une zone de fracture (DAVINO, 1978). Les corps pegmatitiques sont des sills minces (épaisseur décimétrique), sub-horizontaux, non enracinés, de taille variable ($200\text{ m} \times 100\text{ m}$ à $600\text{ m} \times 300\text{ m}$). GUIMARÃES et BELEZKIJ (1956) et ROLFF (1952) relient ces venues pegmatitiques à des granites, localement tonalitiques, qui affleurent vers CONGONHAS. La région étudiée correspond à l'extrémité occidentale de l'alignement pegmatitique.

Dans les zones de Volta Grande et de Barra l'encaissant des pegmatites est un schiste à amphibole. La schistosité, sub-verticale, est orientée $N 30^{\circ} E$ à $N 30^{\circ} W$. Outre l'amphibole (la hornblende verte étant largement dominante) le schiste comprend de la biotite, du quartz, et accessoirement des plagioclases presque toujours saussuritisés et/ou séricitisés. L'amphibole peut devenir très largement prépondérante donnant alors des « bancs » d'amphibolites, concordants avec la schistosité ; cette roche résiste beaucoup mieux à l'altération que les schistes micacés.

Les corps pegmatitiques de Volta Grande et de Barra présentent une distribution minéralogique homogène à l'intérieur de chaque corps, mais qui peut varier d'un corps à l'autre. En aucun cas on ne peut définir de zonalité minérale. Le quartz, la

muscovite, le microcline, les plagioclases et le spodumène constituent les minéraux majeurs. La pegmatite F, à Volta Grande, renferme en outre une très grande quantité de lépidolite. La taille des grains est en moyenne de l'ordre de 2 cm, mais certains cristaux, notamment de spodumène, peuvent dépasser 10 cm. Parmi les minéraux secondaires, la cassitérite et les columbotantalites sont les minéraux d'intérêt économique. On peut citer pour mémoire la présence de zircon, grenat, rutile, épidote, tourmaline, béryl, monazite, pyrochlore, alvarolite, ixiolite, samarkite (FRANCESCONI, 1972).

Le contact de la pegmatite avec l'encaissant, souvent sub-horizontale, est discordant sur le pendage sub-vertical des schistes. Dans les schistes, et sur une distance d'environ 2 m, ce contact se traduit par un fort enrichissement en biotite et par la présence de tourmaline. Quant à la pegmatite, elle présente sur 3 à 4 cm une zone plus altérée que le reste du corps, constituée de quartz, d'un peu de muscovite et de kaolinite. Dans cette zone la taille des grains de quartz et de muscovite est bien inférieure à celle observée ailleurs dans la pegmatite.

La présence de failles de direction N 70° E (correspondant à l'alignement général des pegmatites) a été notée en plusieurs points du contact schiste-pegmatite ; le pendage de ces failles augmente avec la profondeur. D'autres failles N 30° W déplacent certaines pegmatites. HEINRICH (1964) pense que les failles N 70° E, anté-pegmatites, auraient favorisé la mise en place des sills.

Contexte géomorphologique

Le paysage est formé d'un ensemble de collines arrondies dont l'altitude moyenne est d'environ 900 m à 1 000 m, et de vallées peu profondes. Les dénivelées sont comprises entre 80 m et 200 m.

Les sommets des collines correspondent aux vestiges d'une ancienne pénéplaine entaillée par le Rio Das Mortes et son affluent principal le Rio de Peixe ces deux rivières drainent de nombreux cours d'eau plus ou moins temporaires.

Les schistes sont profondément altérés sur 50 m : les sills pegmatitiques, sub-horizontaux et peu épais sont de ce fait totalement inclus dans la tranche altérée.

Au fond des talwegs, on trouve généralement des colluvions actuelles ne dépassant pas 1 m d'épaisseur. Au sommet des collines il peut exister, de manière sporadique, des colluvions plus épaisses que les précédentes, renfermant des galets de quartz, qui sont les vestiges de l'ancienne pénéplaine.

Conclusion

La comparaison de la minéralogie des pegmatites et de leur encaissant schisteux montre que les

minéraux lithinifères (spodumène, lépidolite) sont caractéristiques des pegmatites. Les sills pegmatitiques se présentent altérés, inclus dans un encaissant profondément altéré.

L'utilisation du *lithium* des pegmatites comme élément traceur, peut donc être envisagée, sous réserve des vérifications suivantes :

— l'altération météorique des pegmatites s'accompagne-t-elle de la lixiviation d'une grande partie de leur lithium initial ?

— migrant à travers les schistes altérés, le lithium y est-il retenu en quantité suffisante à proximité de la surface ?

Ce sont ces deux points qui vont faire l'objet des deux prochains chapitres.

L'ALTÉRATION DES MINÉRAUX DES PEGMATITES

Toutes les pegmatites actuellement exploitées sont très altérées, malgré un recouvrement schisteux qui peut atteindre dans certains cas 40 m. Elles se présentent sous la forme d'une roche blanche très friable, conservant la structure générale de la roche initiale. Au sein de certains corps subsistent des noyaux métriques à décimétriques moins altérés, souvent en forme de boules.

Aucun bilan global de l'altération des pegmatites n'a pu être fait compte tenu des difficultés à obtenir un échantillon représentatif de la pegmatite saine. En revanche, la taille des cristaux facilite leur séparation. L'étude minéralogique et géochimique de l'altération peut ainsi être conduite pour chaque minéral. Néanmoins, l'objectif principal étant de suivre le comportement du lithium, l'essentiel des analyses a porté sur les minéraux porteurs de cet élément.

Les constituants principaux de la roche altérée sont le quartz, la muscovite et la kaolinite. La figure 2 schématise les filiations minéralogiques intervenant au cours de l'altération des pegmatites.

Le quartz, la muscovite et l'éventuelle lépidolite apparaissent comme résistants à l'altération météorique, et ne montrent aucun indice de transfor-

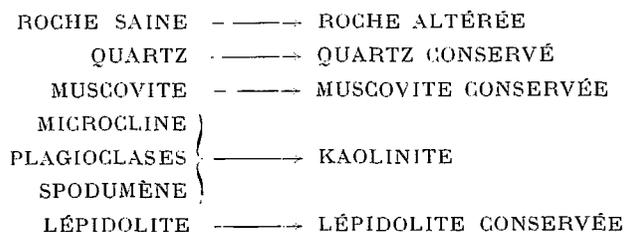


Fig. 2. — Filiation minéralogique au cours de l'altération des pegmatites.

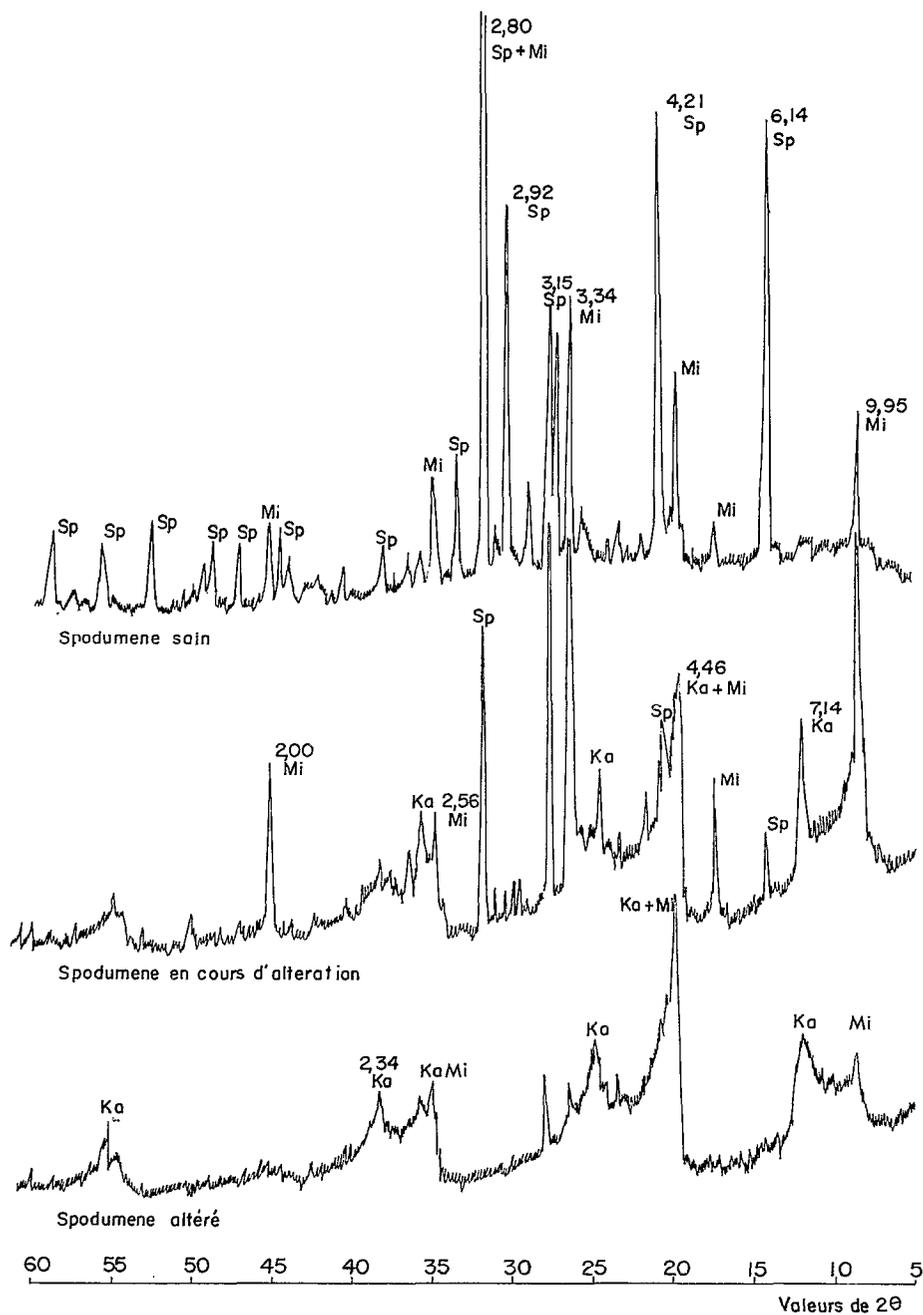


Fig. 3. — Diffractogramme de rayons X de cristaux de spodumène à différents stades d'altération. Sp : spodumène ; Mi : Muscovite ; Ka : kaolinite.

mation ou de corrosion. Feldspaths et spodumène, en revanche, sont rapidement kaolinisés. Les diagrammes de rayons X obtenus sur des cristaux isolés de spodumène à divers stade d'altération (fig. 3) montrent sa transformation en kaolinite.

Cette transformation est isovolumétrique puisque le minéral totalement kaolinisé présente encore les formes cristallines du minéral originel. Cette pseudomorphose commence au niveau des clivages et des cassures du minéral.

TABLEAU I

Composition chimique des minéraux des pegmatites et de quelques pegmatites altérées

	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Li ₂ O
I.....	2,27	35,53	0,53	0,12	0,08	0,73	14,16	40,14	1,24
II.....	0,65	17,58	0,01	0,01	0,02	0,42	12,60	64,66	0,06
III.....	0,06	24,19	0,17	0,02	0,08	0,73	13,44	50,50	4,91
IV.....	0,08	22,15	0,16	0,00	tr	0,40	8,62	48,58	3,70
	à	à	à	à	à	à	à	à	à
	1,52	28,93	0,92	0,46	0,24	1,06	10,02	53,45	5,95
V-1.....	0,74	26,84	0,11	0,06	0,02	0,16	0,32	56,00	9,72
V-2.....	0,98	26,08	0,10	0,06	0,04	0,32	0,22	63,78	9,83
V-3.....	0,64	26,84	0,09	0,02	0,02	0,16	0,13	58,16	9,5
V-4.....	1,4	26,46	0,11	0,04	0,04	0,68	1,04	64,22	9,3
V-5.....	1,75	25,33	0,12	0,07	0,10	1,01	1,36	61,12	6,8
V-6.....	1,26	27,59	0,09	0,05	0,05	0,15	0,24	63,22	9,4
V-7.....	0,98	23,06	0,09	0,06	0,16	1,08	1,34	63,08	6,7
V-8.....	1,02	26,84	0,11	0,07	0,06	0,50	0,78	64,56	8,2
V-9.....	0,90	26,08	0,10	0,07	0,06	0,24	0,54	65,14	9,3
V-10.....	1,32	29,86	0,10	0,07	0,07	0,20	0,94	62,36	6,7
V-11.....	0,72	36,10	0,15	0,09	0,12	1,00	1,50	47,70	1,4
VI.....	0,73	19,70	0,19	0,23	0,12	—	2,00	71,10	0,41
VII.....	1,14	32,00	0,12	0,18	—	—	2,3	55,40	0,89

I : Muscovite (zone peu altérée, pegmatite de Minas Brasil) ; II : Microcline (zone peu altérée, pegmatite de Minas Brasil) ; III : Lépidoïite (pegmatite F de Volta Grande) ; IV : lépidolites d'après DEER *et al.* (1962) ; V-1 à V-11 spodumènes classés par ordre d'altération croissante, estimée d'après leur densités apparentes ; VI : composition moyenne de la pegmatite A ; VII : composition moyenne de la pegmatite F.

Le tableau I regroupe les analyses chimiques de divers minéraux.

— Muscovite, séparée d'une zone peu altérée de la pegmatite de Minas Brasil.

— Microcline, séparée d'une zone peu altérée de la pegmatite de Minas Brasil.

— Lépidoïite, séparée d'une zone altérée de la pegmatite F de Volta Grande.

— Spodumène, à divers stades d'altération, et séparés des pegmatites A de Volta Grande et Minas Brasil.

La composition des pegmatites A et F (altérées), évaluée sur des échantillons homogénéisés de 400 kg environ, figure également sur le tableau I.

La muscovite peut renfermer du lithium, mais ce dernier ne participe pas au cycle géochimique supergène puisque son minéral hôte n'est pas affecté par l'altération. L'altération du microcline est susceptible de libérer du lithium, mais en quantité faible. La lépidolite, riche en lithium, n'est pas touchée par l'altération, ce que confirme la comparaison de l'analyse chimique des lépidolites de la pegmatite F (roche très altérée), avec les analyses de lépidolites publiées par DEER *et al.* (1962) (tabl. I) : il n'y a aucun départ d'élément à partir des lépidolites lors de l'altération. Le spodumène, enfin, est à la fois

riche en lithium, et profondément transformé par l'altération. La figure 4 montre le bilan isovolumétrique de l'altération des 11 spodumènes isolés (la diminution de la densité apparente, pouvant être considérée comme un critère d'altération croissante, a été utilisée pour classer les échantillons). Trois groupes d'éléments peuvent être distingués :

— Mg, Na, Ca, toujours en faibles teneurs, avec de grandes irrégularités, sont en moyenne à peu près constants : il doivent appartenir à des impuretés minéralogiques du spodumène, subsistant inaltérées.

— Le fer, également peu abondant, est en moyenne constant au début de l'altération, mais diminue nettement dans les faciès les plus kaolinisés.

— Si, Al, Mn, et Li révèlent des pertes croissantes avec l'altération limitées au départ pour Si et Al, très régulières tout au long du processus pour Mn et Li. Au total 95 % du lithium initial du spodumène ont été lixivés lorsque ce minéral est totalement kaolinisé.

La teneur moyenne en lithium de chaque corps pegmatitique peut être très variable : 0,9 % pour la pegmatite à spodumène et lépidolite, 0,4 % pour la pegmatite A à spodumène et seulement 400 ppm pour la pegmatite étudiée dans la zone test de Barra. Mais la quantité de lithium qui migre dans

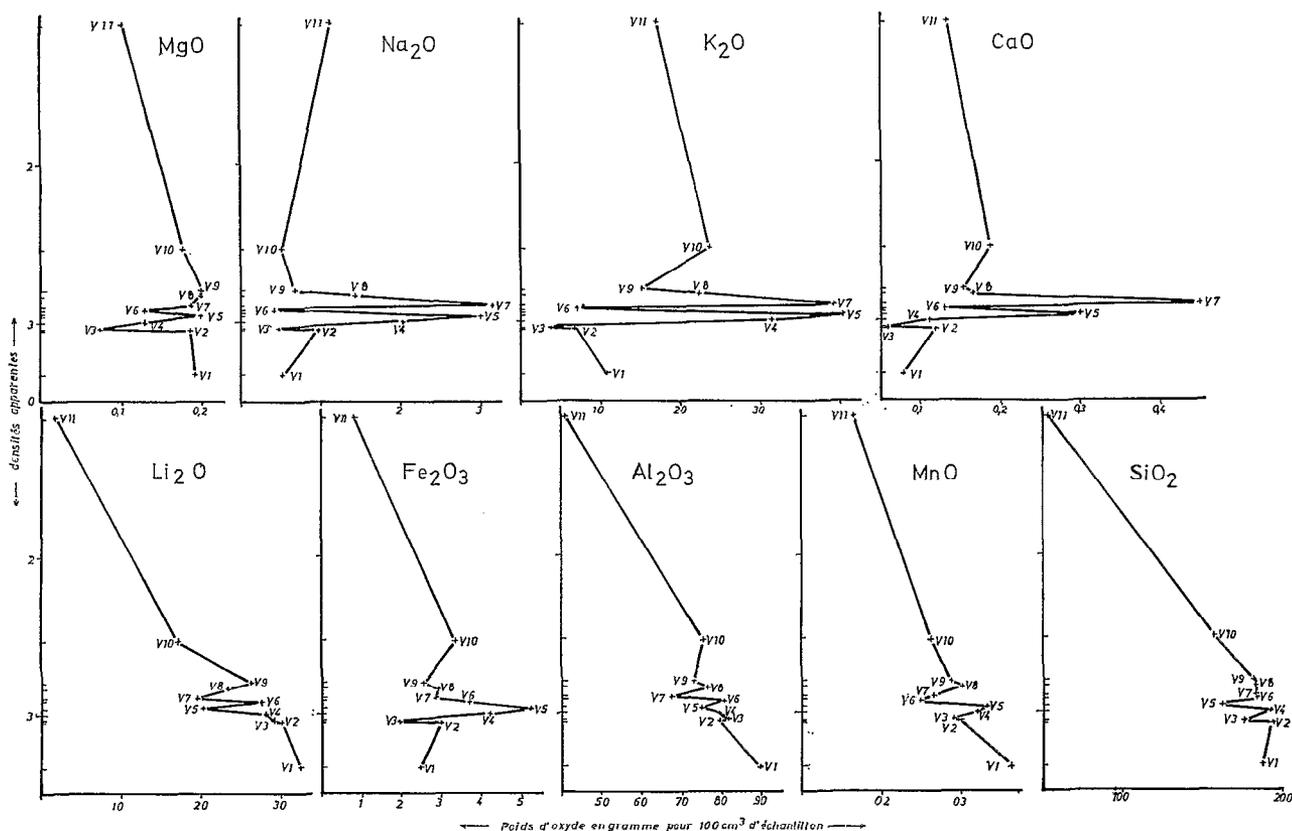


Fig. 4. — Variation des teneurs isovolume du spodumène en fonction du degré d'altération, estimé d'après les densités apparentes.

l'encaissant ne dépend pas uniquement de la teneur moyenne en lithium de la pegmatite, mais comme nous l'avons vu de la nature des minéraux lithinifères et de leur degré d'altération. En fait la principale source de lithium susceptible de migrer dans l'encaissant est le *spodumène*, dont l'altération en kaolinite s'accompagne d'un départ massif de lithium. Toutes les pegmatites de la région renfermaient du *spodumène* riche en lithium avant d'être altérées. Elles ont donc livré à leur environnement des quantités importantes de cet élément.

L'ALTÉRATION DES SCHISTES À AMPHIBOLES, ENCAISSANT DES PEGMATITES

Deux profils d'altération (PA et PF) et une toposéquence ont été échantillonnés dans les schistes à partir du toit des pegmatites jusqu'à la surface :

— ces deux profils et cette toposéquence correspondent à un encaissant riche en amphiboles ;

— profond d'une quarantaine de mètres le profil PA a été effectué à l'aplomb d'une pegmatite dont

le principal minéral de lithium est le *spodumène* (pegmatite A de Volta Grande) ;

— le profil PF a été échantillonné au-dessus d'une pegmatite à *spodumène* riche en *lépidolite* (pegmatite F de Volta Grande) ; ce profil a environ 20 m de hauteur ;

— une toposéquence de 5 puits a été échantillonnée dans la zone de Barra, au-dessus d'un corps pegmatitique masqué encore non exploité. Sur cette toposéquence la surface du toit de la pegmatite suit grosso modo la surface topographique, entre 5 et 15 m de profondeur. Cette ligne de puits correspond à un axe d'interfluve du toit de la pegmatite et à une ligne de plus grande pente du modelé (fig. 5).

Évolution minéralogique des profils

L'altération des schistes est très importante, dépassant 50 m en de nombreux endroits. L'horizon de surface est formé par un sol brun peu épais (de 0 à 50 cm), puis d'un sol rouge de 1 à 5 m d'épaisseur où la structure de la roche est effacée. En dessous on trouve la roche à structure conservée, mais

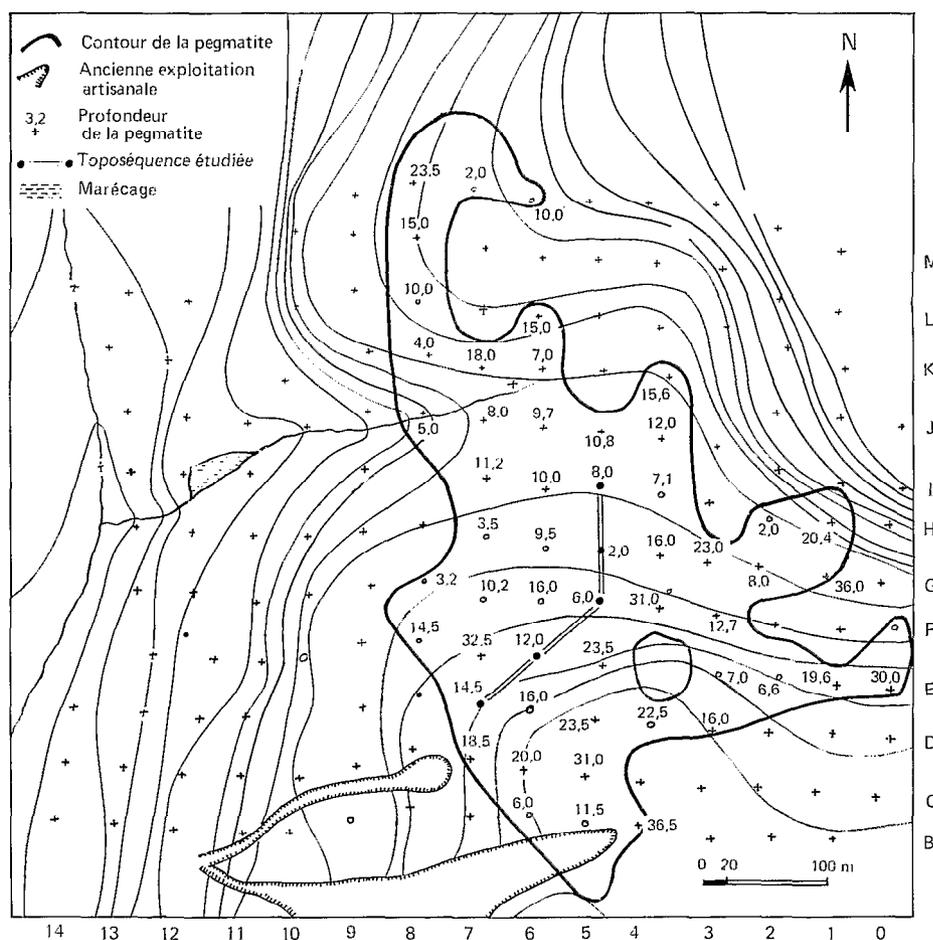


Fig. 5. — Zone test de Barra : topographie, situation de la pegmatite étudiée.

toujours très altérée. Ce faciès, brun-rouge, se maintient sur l'essentiel des profils. Concordant avec la schistosité, quelques « bancs » subsistent peu altérés : ils sont constitués presque uniquement d'amphibole.

A la base des profils on rencontre en général une roche brun-rouge altérée à structure conservée, très semblable à celle que l'on trouve sur toute la hauteur du profil. Dans quelques cas la base des profils montre un faciès moins altéré, sous forme d'une roche vert-clair, également à structure conservée, mais que l'on ne trouve jamais en sommet de profil. L'étude microscopique montre que ce deuxième type correspond à une roche plus riche en hornblende.

Au contact schiste-pegmatite on observe en de nombreux endroits un mince dépôt de manganèse et une rubéfaction intense du schiste, preuve d'une circulation d'eau.

L'altération incomplète des faciès riches en amphiboles permet d'esquisser de la façon suivante la

chronologie des altérations. L'altération de l'amphibole (hornblende verte dominante) se traduit d'abord par des exsudations d'oxydes-hydroxydes de fer dans les clivages, cependant qu'une quantité importante d'épidote, et un peu de kaolinite, se forment aux dépens des amphiboles. Lorsque l'altération est plus avancée, les amphiboles disparaissent totalement, mais il subsiste des fantômes, reconnaissables à leurs clivages soulignés par des hydroxydes de fer. A ce stade les épidotes sont plus rares, les biotites sont totalement transformées en kaolinite et hydroxydes de fer, la proportion de kaolinite est devenue très importante et il s'y associe un peu de séricite, les quartz sont intacts. Au fur et à mesure que l'on monte dans le profil, les fantômes d'amphibole disparaissent, pour donner en sommet de profil une roche constituée d'un plasma ferro-kaolinique enrobant des grains de quartz, seuls vestiges de la roche initiale. C'est aussi en sommet de profil que les

rayons X montrent l'apparition d'une très faible quantité de gibbsite.

En définitive l'essentiel de l'évolution minéralogique supergène des schistes à amphibole est caractérisé par une transformation en kaolinite et hydroxydes de fer. Cette transformation est acquise très tôt, dès la base (toit des pegmatites) de presque tous les profils, qui présentent ensuite en gros, une grande homogénéité, comme le montrent les valeurs de densités apparentes reportées dans le Tableau II pour les profils PA et PF. Les seules nuances sont

introduites par les proportions respectives de biotite et de hornblende. Il apparaît ainsi que si l'altération des schistes à micas et amphiboles est plus rapide que celle des roches très riches en amphiboles, ce dernier *minéral* disparaît très vite, avant même les derniers édifices micacés (séricite) : microfissuration des roches à micas, et compacité des amphibolites doivent expliquer ce comportement en apparence paradoxal.

Comportement des éléments majeurs

Profil vertical PF

Le profil PF qui est l'unique profil où a pu être échantillonné un schiste à amphibole très peu altéré permet d'avoir une idée du comportement des éléments lors du passage de la roche saine à la roche altérée. Le tableau III fournit les teneurs, à volume constant, des divers niveaux de ce profil, qui peuvent être comparés à la composition d'un schiste à amphibole peu altéré.

Globalement, on observe le départ quasi total de Mg, Ca, partiel de Si, Mn, Na, K, partiel également du fer, mais conservation de Al (ou même accumulation absolue). Cet excès d'aluminium peut être dû au manque de représentativité de l'échantillon sain considéré (si la roche mère des niveaux altérés analysés était plus riche en micas alcalins, sa teneur en aluminium serait plus élevée que dans l'amphibolite de référence), on peut considérer que l'aluminium provenant de la roche mère est strictement conservé sur place, principalement sous forme de kaolinite. Dans les zones de meilleur lessivage, principalement en surface, il y a formation de gibbsite aux dépens de la kaolinite (les analyses montrent en revanche une concentration *relative* du fer et de l'aluminium).

TABLEAU II

Relation profondeur densité apparente dans les profils PA et PF

	Profondeur m	Densité apparente
PA10....	0,80	1,10
PA9.....	2,80	1,04
PA8.....	4,80	1,24
PA7.....	8,80	0,97
PA6.....	14,80	1,17
PA5.....	20,80	1,05
PA4.....	25,80	1,04
PA3.....	30,80	1,30
PA2.....	34,80	1,90
PF8.....	0,40	1,37
PF7.....	1,50	1,20
PF6.....	4,20	1,15
PF5.....	6,80	2,69
PF5'....	6,80	1,12
PF4.....	8,40	1,47
PF3.....	10,60	1,26
PF2.....	16,60	1,29

PF5 : schiste à amphiboles prélevé dans un « banc » plus sain, à la même profondeur que PF5'.

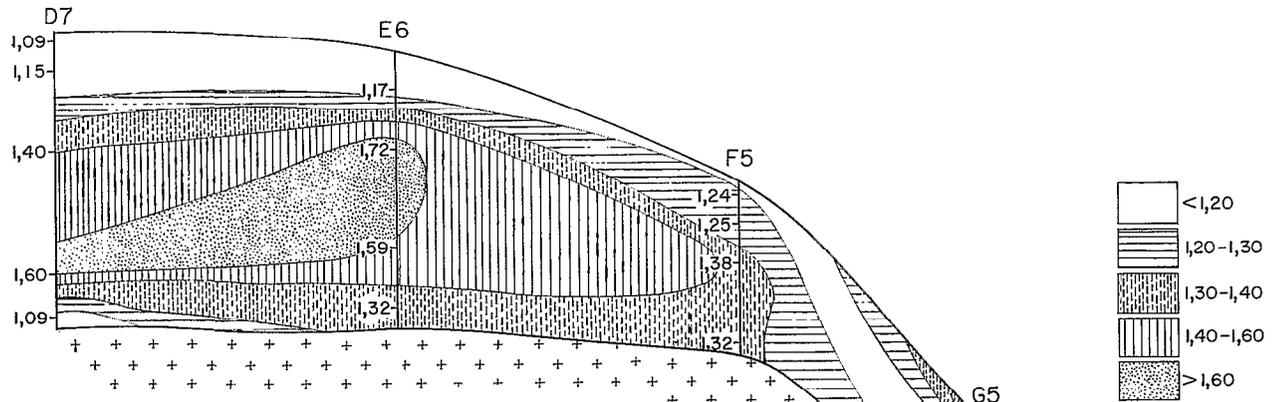
TABLEAU III

Profil PF : teneurs à volume constant

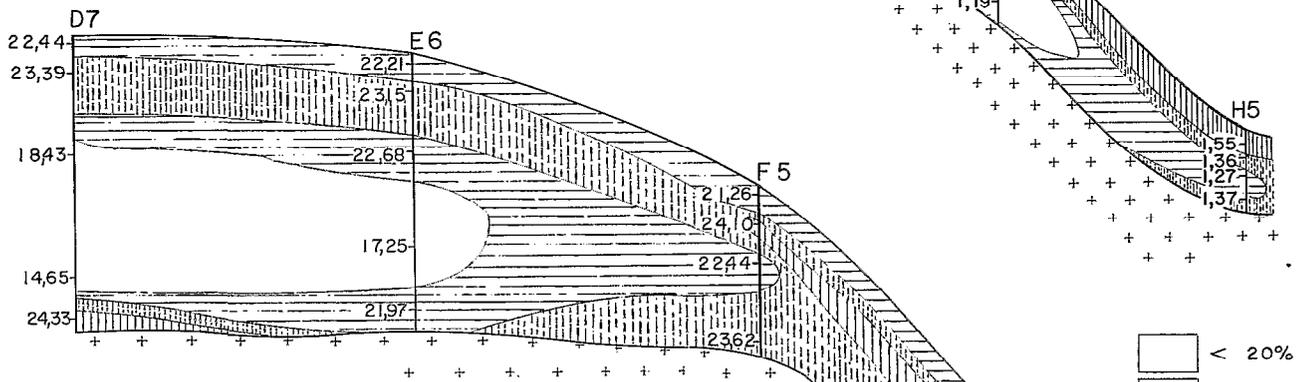
	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Si ₂ O	Li ₂ O	Densité
PF8.....	29,67	29,13	0,111	0,164	0,264	0,823	0,374	55,02	0,039	1,37
PF7.....	25,99	26,36	0,124	0,438	0,672	0,730	0,198	43,44	0,021	1,20
PF6.....	24,70	21,74	0,082	0,081	0,370	0,621	0,228	46,35	0,030	1,15
PF5.....	27,44	20,64	0,052	0,253	0,059	0,423	0,218	65,97	0,112	1,12
PF4.....	35,49	31,95	0,225	0,259	0,438	1,191	0,551	47,36	0,123	1,47
PF3.....	28,85	23,81	0,239	0,246	0,150	0,532	0,306	45,94	0,095	1,26
PF2.....	27,35	26,51	0,116	1,499	0,255	0,680	0,244	54,31	0,254	1,29
PF5-1....	41,53	21,61	0,409	50,01	24,10	1,334	0,673	113,14	0,211	2,69

PF5-1 : schiste à amphibole, prélevé latéralement dans un « banc » plus sain, à la même profondeur que PF5.

a_Courbes d'isodensités



b_Courbes d'isoteneurs Al_2O_3



c_Courbes d'isoteneurs SiO_2

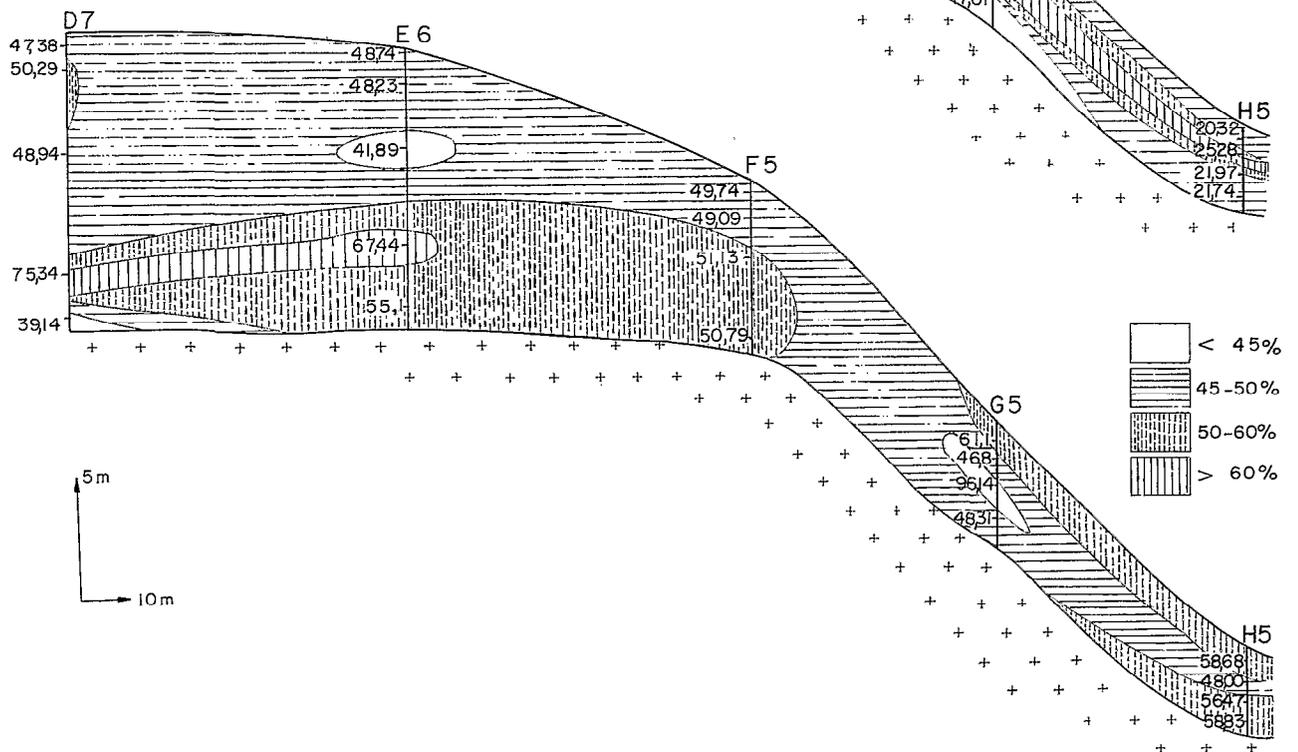


Fig. 6. — Toposéquence de Barra. Courbes d'isodensité et d'isoteneurs en SiO_2 et Al_2O_3 . a : courbes d'isodensités ; b : courbes d'isoteneurs Al_2O_3 ; c : courbes d'isoteneurs SiO_2 .

Par l'étude rapide de ce profil, on retrouve le mécanisme général de l'altération sous climat tropical, c'est-à-dire, lessivage rapide et total des bases et partiel de la silice, entraînant une accumulation relative des sesqui-oxydes : l'altération est typiquement ferrallitique. La grande homogénéité des profils est également confirmée.

Toposéquence de Barra

Les mesures de densité apparente effectuées sur la toposéquence de Barra montrent à l'amont, des valeurs élevées en milieu de profil alors qu'à l'aval le phénomène s'inverse : ce sont les faibles valeurs qui sont mesurées en milieu de profil (fig. 6 a).

A l'amont de la toposéquence (puits D7 et E6) il y a départ préférentiel de la silice et des bases au sommet et surtout à la base des profils, s'accompagnant d'une concentration relative du fer, de l'aluminium, et du manganèse (fig. 6 b et 6 c). Tout à fait en surface, les teneurs de ces trois derniers éléments diminuent légèrement. Il y a donc un double front d'altération, l'un, normal, descendant à partir de la surface, et l'autre, montant à partir du contact schiste-pegmatite, zone de suraltération consécutive aux circulations d'eaux à la surface du toit de la pegmatite.

En aval, les phénomènes sont rendus plus complexes par le jeu simultané des accumulations et des lixiviations, rendues plus importantes par la double rupture de pente de la surface topographique et du contact schiste-pegmatite. On peut toutefois observer un départ plus important des bases et de la silice en milieu de profils et au contraire une concentration relative des sesqui-oxydes à ce niveau.

Il existe donc deux zones de circulation préférentielle des solutions des points hauts vers les points bas : l'une en surface et l'autre au niveau du contact schiste-pegmatite. Dans les zones de pente topographique plus accentuée les circulations les plus importantes se manifestent en milieu de profils.

Les mesures d'électrorésistivité effectuées par A. DAVINO (1978) indiquent la présence, de part et d'autre de la pegmatite d'une zone plus conductrice, ce qui confirme les circulations existant au contact schiste-pegmatite.

Comportement du lithium

Teneurs en roche totale

Comme il a été dit au § III, la libération du lithium de la pegmatite, suivie de sa migration dans l'encaissant, dépend de la nature du minéral porteur du lithium. La comparaison des teneurs en lithium dans les profils PA et PF nous en apporte une confirmation supplémentaire (fig. 7). Les rapports

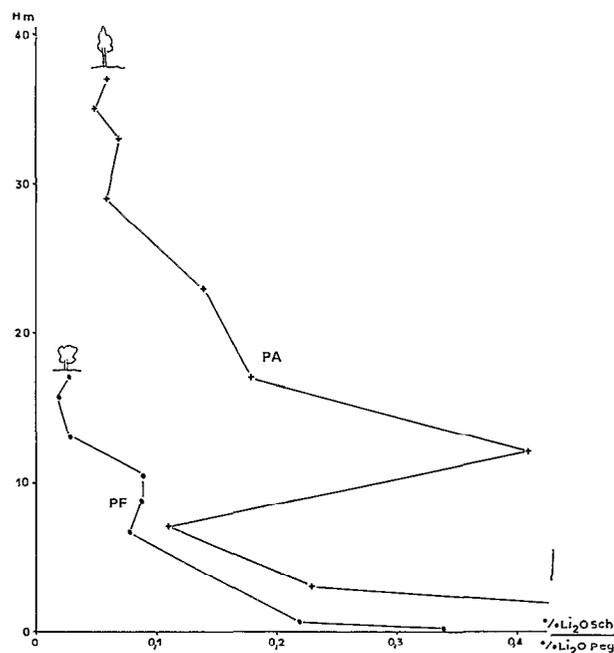
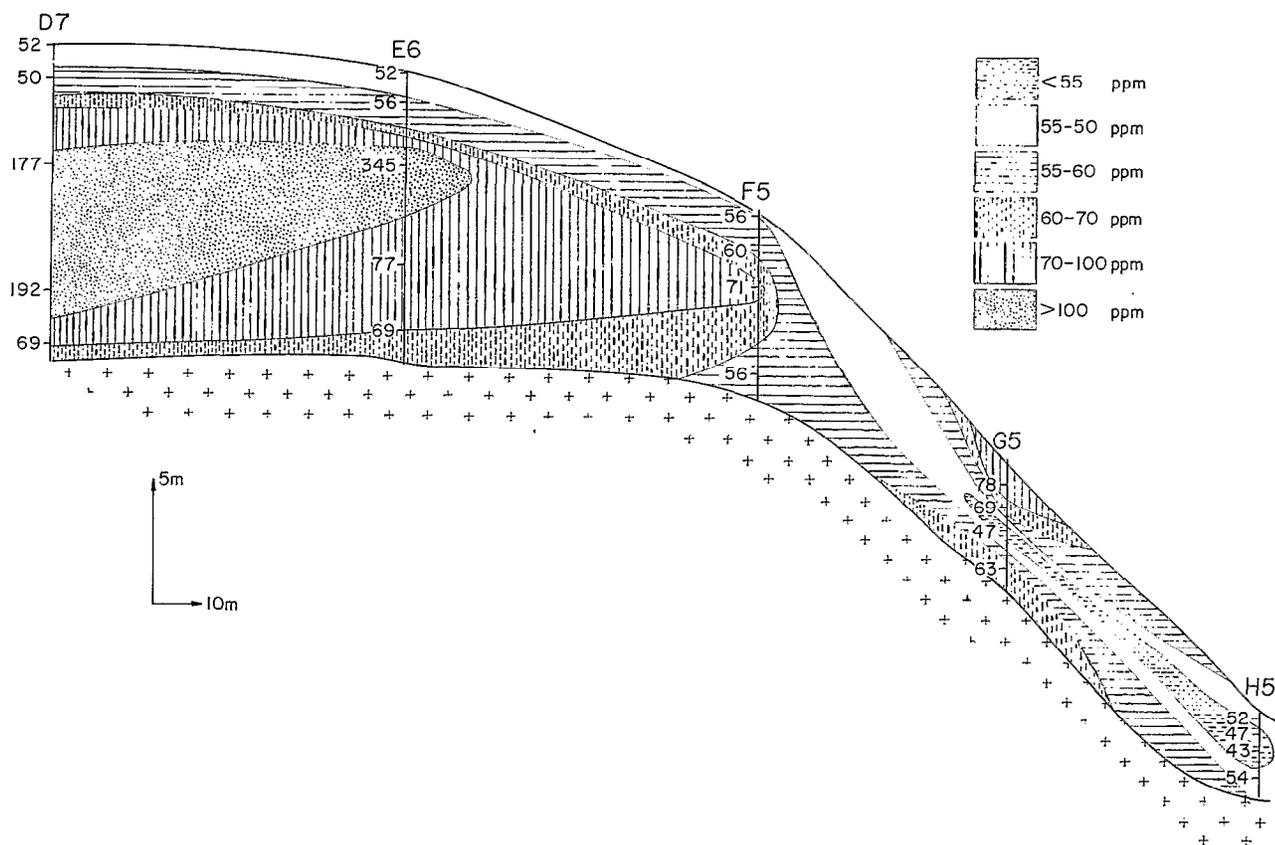


Fig. 7. — Variation du rapport teneur Li_2O du schiste/teneur Li_2O Pegmatite en fonction de la distance au contact schiste pegmatite.

teneurs en Li_2O du schiste/teneurs en Li_2O de la pegmatite, pour une même distance de la pegmatite source sont toujours plus élevés pour le profil PA (pegmatite à spodumène) que pour le profil PF (pegmatite à lépidolite et spodumène). Et malgré une épaisseur de recouvrement quasiment double, le rapport en surface est le double à l'aplomb de la pegmatite à spodumène.

La décroissance globale des teneurs en Li_2O du contact schiste-pegmatite jusqu'à la surface montre bien que le lithium est caractéristique des pegmatites, que comme les bases il est progressivement lixivié lors de l'altération kaolinique, mais qu'il subsiste longtemps du lithium dans les schistes altérés lorsque ceux-ci surmontent un corps de pegmatites à spodumène.

Les diagrammes d'isoteneurs en Li_2O sur la toposéquence de Barra (fig. 8), montrent une parfaite similitude avec le diagramme d'isodensité (fig. 6 a). Il y a donc une concentration relative du lithium dans les zones où l'altération (et la lixiviation) est la moins intense. Ainsi la concentration relative en Li_2O observée au sommet du profil G5 n'est pas (uniquement) due à la plus grande proximité de la pegmatite, mais au fait que la zone de plus grande circulation des solutions drainantes se trouve en milieu de profil, alors qu'elle est en sommet de profil en amont. Cette concentration relative en

Fig. 8. — Toposéquence de Barra ; courbes d'isoteneurs Li_2O .

milieu de pente topographique sera observée lors de la prospection géochimique.

Analyses des fractions granulométriques

Le lithium dans les fractions granulométriques des échantillons de surface, le long de la toposéquence. Les analyses effectuées sur les fractions granulométriques (1) des échantillons des sommets de profil des cinq puits de la toposéquence (tabl. IV) montrent que deux fractions présentent des teneurs en Li_2O supérieures aux teneurs de l'échantillon roche-totale. Il s'agit de la fraction la plus grossière (> 1 mm) et surtout de la fraction la plus fine (< 74 μ). Le calcul du pourcentage du lithium total de l'échantillon renfermé par chaque fraction ($\% \text{Li}_2\text{O} = \text{ti} \times \text{Pi}/\text{Ti}$) montre que 60 à 80 % du lithium de l'échantillon se trouvent dans ces deux fractions. Si la fraction fine est très régulièrement

enrichie, la fraction grossière révèle des teneurs très variables : cette dispersion résulte de la grande hétérogénéité de cette fraction grossière, qui peut renfermer des agrégats non détruits lors du tamisage (et riches en lithium), mais aussi des graviers de quartz évidemment dépourvus de lithium.

Un simple tamisage permet en conséquence un enrichissement dans une fraction donnée. Il en résulte que des faibles teneurs, qui n'auraient pas pu être dosées dans l'échantillon global (le seuil de détection en roche est d'environ 3 ppm), peuvent être décelées dans la fraction la plus riche. Dans ce cas il est préférable d'utiliser la fraction fine plus homogène que la fraction grossière.

La comparaison des teneurs des fractions < 74 μ des échantillons de la toposéquence avec la teneur de la même fraction fine d'un échantillon prélevé en surface, en amont de toute pegmatite (échantillon L1 représentatif du fond géochimique) montre que

(1) Ces fractions sont obtenues par simple tamisage, à l'eau pour la fraction < 74 μ , à sec pour les autres fractions.

TABLEAU IV

 Composition granulométrique et teneurs Li_2O de six échantillons de sol

ni	granulo	% Pi	ti	% Li_2O	t _{ni} /TLI	Ti	T _{ni} /TLI
D7H	> 1000	27,08	22,25	24,26	4,1	24,84	3,3
	1000-500	12,59	28,35	14,37	5		
	500-297	17,87	19,17	13,79	3,4		
	297-105	16,68	21,87	14,69	4,3		
	105-74	2,73	23,76	2,61	9,8		
	< 74	23,05	32,67	30,32	3,5		
E6F	> 1000	44,60	17,15	28,91	3,2	26,46	3,5
	1000-500	12,49	36,99	17,46	6,5		
	500-297	11,40	20,16	8,69	3,6		
	297-105	5,63	19,71	4,19	3,8		
	105-74	2,10	5,67	0,45	8,3		
	< 74	23,78	44,82	40,28	4,7		
G5E	> 1000	46,17	79,91	65,70	14,8	56,16	7,5
	1000-500	7,17	32,40	4,14	5,7		
	500-297	5,10	26,46	2,40	4,7		
	297-105	7,08	28,35	3,57	5,5		
	105-74	1,25	21,30	0,47	10		
	< 74	33,23	40,01	23,67	4,2		
H5E	> 1000	38,64	34,72	42,11	6,4	31,86	4,3
	1000-500	11,55	33,21	12,04	5,9		
	500-297	12,80	19,44	7,81	3,4		
	297-105	13,77	21,33	9,22	4,2		
	105-74	1,96	14,85	0,91	6,1		
	< 74	21,28	41,85	27,95	4,4		
F5E	> 1000	49,54	48,46	65,38	9	36,72	4,9
	1000-500	12,20	21,33	7,09	3,8		
	500-297	7,80	23,49	4,99	4,1		
	297-105	10,92	15,39	4,58	3		
	105-74	1,82	8,10	0,40	3,3		
	< 74	18,72	34,56	17,62	3,7		
L1	> 1000	14,46	5,40	10,45	1	7,47	1
	1000-500	7,36	5,67	5,59	1		
	500-297	8,24	5,67	6,25	1		
	297-105	14,34	5,13	9,85	1		
	105-74	2,63	2,43	0,85	1		
	< 74	52,97	9,45	67,01	1		

D7H, E6F, G5E, H5E, F5E : Échantillons de sommet de profils ; L1 : Échantillon non pollué par la pegmatite ; % Pi : Pourcentage poids de la fraction considérée ; ti : Teneur Li_2O en ppm de la fraction granulométrique ; ti de la fraction 1000 a été calculée et non analysée en raison des difficultés d'obtenir un échantillon représentatif d'une fraction aussi hétérogène (présence de graviers quartzeux, etc.) ; % Li_2O : Pourcentage du lithium total de l'échantillon ; t_{ni}/TLI : Rapport de la teneur Li_2O de la fraction granulométrique sur la teneur Li_2O de la même fraction de l'échantillon L1 ; Ti : Teneur totale de l'échantillon ; T_{ni}/TLI : Rapport de la teneur Li_2O de l'échantillon global sur la teneur Li_2O de l'échantillon L1.

si le fractionnement granulométrique facilite l'analyse chimique, il n'améliore pas le contraste.

Répartition du lithium dans la fraction fine d'un profil vertical. Essai d'interprétation de la localisation du lithium dans les schistes altérés. La fraction $<74 \mu$ des échantillons du profil E6 a été elle-même subdivisée en trois par sédimentation, dans le but de préciser la localisation du lithium dans cette fraction enrichie.

TABLEAU V

Analyses des fractions granulométriques 74-20 μ , 20-2 μ , $<2\mu$; % Pi pourcentage poids de la fraction considérée; Ti Teneur totale de l'échantillon (en ppm Li_2O); ti Teneur Li_2O en ppm de la fraction; % Li_2O Pourcentage du lithium total de l'échantillon

	Granu.	% Pi	Ti	ti	% Li_2O
E6F	74-20	3,66	26,46	72,9	10,08
	20-2	5,36		58,3	11,81
	<2	14,32		43,2	23,38
E6E	74-20	5,74	34,56	151,2	25,11
	20-2	10,73		88,7	27,54
	<2	35,20		38,3	39,05
E6D	74-20	15,34	567	864	23,38
	20-2	32,22		461,6	26,23
	<2	5,26		145,8	1,35
E6B	74-20	26,38	43,2	72,9	44,52
	20-2	34,02		52,3	41,22
	<2	4,68		43,2	4,68

Les résultats obtenus pour les fractions 20-74 μ , 2-20 μ , $<2 \mu$ de ces échantillons (tabl. V) montrent des teneurs en lithium nettement plus élevées dans les fractions grossières (2-20 μ , et surtout 20-74 μ). Mais en sommet de profil, la grande proportion de fraction fine ($<2 \mu$) entraîne que cette fraction renferme un plus grand pourcentage du lithium total de l'échantillon. A la base du profil, en revanche, les fractions 2-20 μ et 20-74 μ présentent à la fois les plus fortes teneurs en lithium, et renferment l'essentiel du lithium de l'échantillon.

La fraction la plus fine est essentiellement constituée de kaolinite et accessoirement de goethite. Ceci met donc en évidence une liaison du lithium avec la kaolinite et/ou les hydroxydes de fer. Les fractions granulométriques supérieures à 2 μ sont beaucoup plus hétérogènes, car outre la kaolinite, elles renferment une forte quantité de quartz, de séricite et une très faible quantité de goethite. L'augmentation des teneurs dans les fractions

2-20 μ et 20-74 μ ne peuvent s'expliquer que par la présence d'une autre phase support du lithium. La comparaison minéralogique entre la fraction $<2 \mu$ et les fractions de granulométrie supérieure montre que le seul minéral susceptible de fixer le lithium, absent dans la fraction $<2 \mu$ et présent dans les fractions plus grossières, est le mica. Outre la kaolinite et les hydroxydes de fer la séricite serait par conséquent une phase support du lithium. Les phyllosilicates se révèlent donc des pièges préférentiels du lithium, même dans les milieux lixivants comme les profils d'altération ferrallitique, ce qui confirme les observations de TARDY *et al* (1972).

LE LITHIUM COMME ÉLÉMENT TRACEUR DES PEGMATITES, APPLICATION À LA PROSPECTION GÉOCHIMIQUE

Comme il vient d'être montré, le lithium des pegmatites, en particulier du spodumène, migre facilement de la pegmatite dans l'encaissant schisteux lors de l'altération. Les teneurs observées en surface, même lorsque le recouvrement dépasse 30 m, restent facilement décelables par un dosage à l'absorption atomique. Le lithium présente donc toutes les conditions pour être un excellent traceur géochimique. Mais il reste maintenant à étudier sa dispersion latérale, ce qui va influencer le choix de la maille de prélèvement.

Une mini-prospection géochimique sol a donc été effectuée sur le secteur de Barra, dans une zone où existe une pegmatite parfaitement reconnue par sondages et puits. La maille de prélèvement de base est de 50 \times 50 m avec des échantillons prélevés en amont, à l'aplomb, et en aval de cette pegmatite (fig. 9 à 12). En chaque point de la maille, un échantillon a été prélevé à 30 cm dans le sol brun (fig. 9); un point sur deux, a été en outre échantillonné à 80 cm, donc sous le sol brun (fig. 12). Ce dernier échantillonnage correspond donc à une maille carrée de 70 \times 70 m avec une ligne base NW-SE. Cette même maille peut être appliquée aux prélèvements à 30 cm (fig. 10 et 11, selon la ligne base choisie).

Les résultats des analyses Li_2O de ces différents prélèvements ont été reportés sur les figures 9 à 12 qui permettent de visualiser l'influence de la maille de prélèvement et de la profondeur d'échantillonnage.

Influence de la maille de prélèvement

Sur la figure 9 la première coupure (15-20 ppm) montre une auréole de dispersion du lithium calquée sur le réseau de drainage, avec, selon l'axe du talweg, une lixiviation importante qui efface l'anomalie en amont. Cet effacement de l'anomalie est encore

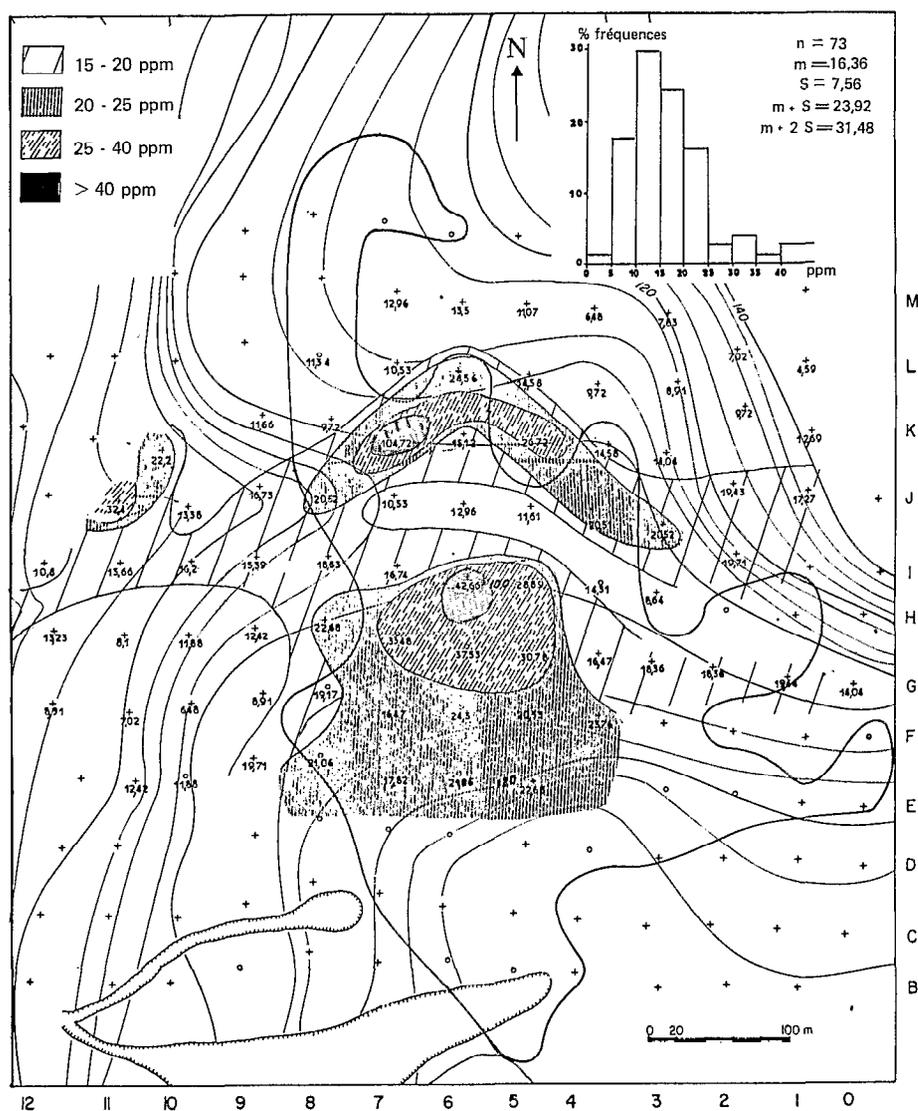


Fig. 9. — Géochimie Lithium (ppm Li_2O). Maille d'échantillonnage 50×50 m ; profondeur d'échantillonnage 30 cm.

accentuée par la coupure suivante (20-25 ppm). Dans ce cas on obtient deux auréoles bien centrées sur la pegmatite de part et d'autre du talweg, et une petite anomalie apparaît en aval dans une zone d'eaux stagnantes où il y a concentration du lithium lixivié. Les deux coupures suivantes, représentant les valeurs anormales probables (25-40 ppm) et certaines (>40 ppm), forment deux taches au sein de l'image précédente.

Les teneurs de la figure 9 ont été réparties sur les figures 10 et 11. On obtient ainsi deux mailles de 70×70 m à lignes de base NW-SE. Sur la figure 10 l'anomalie la plus au nord, qui correspond à un

petit appendice de la pegmatite, a totalement disparu ; par contre la figure 11 présente des anomalies comparables à la figure 9. La maille 70×70 m n'est donc pas adaptée dans le cas de cible de petite dimension (comparable à la partie Nord de la pegmatite test). Si la cible visée est large, la maille 70×70 m est en revanche suffisante.

Influence de la profondeur de prélèvement

Selon la maille de prélèvement de la figure 11, la figure 12 montre les teneurs obtenues à 80 cm. Malgré la perte de trois lignes d'échantillons, les

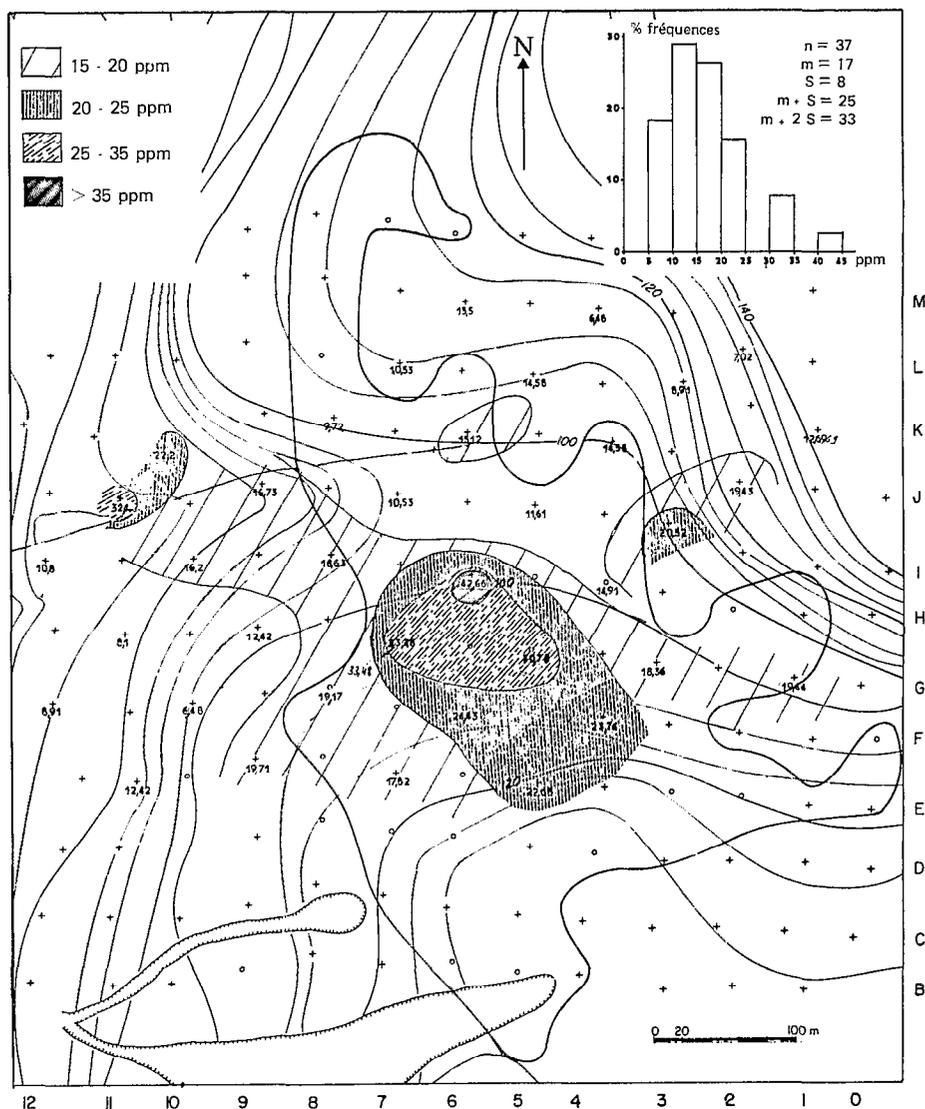


Fig. 10. — Géochimie Lithium (ppm Li_2O). Maille d'échantillonnage 70 × 70 m ; profondeur d'échantillonnage 30 cm.

valeurs obtenues permettent toutefois d'évaluer le rôle de la profondeur de prélèvement.

Les anomalies de la figure 12 sont comparables à celles obtenues par prélèvement à 30 cm. Les figures 11 et 12 ont 23 points en commun :

— 8 points en amont topographique donc non pollués par la pegmatite ;

— 15 points théoriquement anormaux se situant à l'aplomb et à l'aval de la pegmatite.

Les moyennes effectuées sur les points non anormaux d'une part et les anormaux d'autre part, donnent respectivement :

— pour les échantillons à 80 cm : 14,61 ppm et 43,8 ppm ;

— pour les échantillons à 30 cm : 11,74 ppm et 22,97 ppm.

Le contraste (rapport des teneurs non anormales sur les teneurs anormales) est donc de 1,96 pour les prélèvements à 30 cm et de 3 pour les prélèvements à 80 cm.

L'image de la pegmatite obtenue par analyse des teneurs Li_2O à 80 cm apparaît donc mieux contrastée, et semble-t-il plus précise que dans le cas de prélèvements à 30 cm.

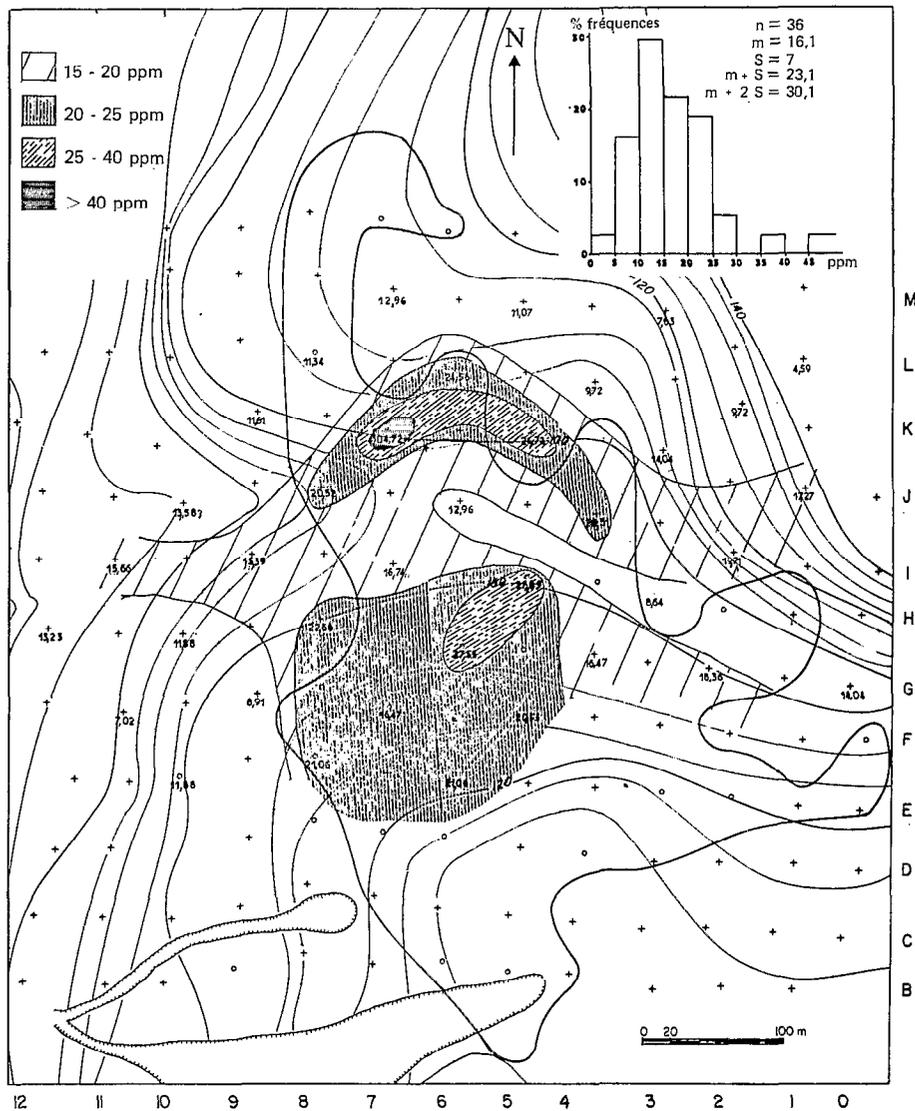


Fig. 11. — Géochimie Lithium (ppm Li_2O). Maille d'échantillonnage 70×70 m ; profondeur d'échantillonnage 30 cm.

Choix d'une maille et d'une profondeur de prélèvement

Il ressort donc de ces différents essais que la profondeur de prélèvement la mieux appropriée est dans le cas présent sous le sol brun, c'est-à-dire à environ 80 cm. Quant à la maille de prélèvement, elle dépend bien entendu des dimensions de la cible visée. Si celle-ci a une de ces dimensions inférieure à 150 m, une maille 70×70 m risque d'être insuffisante surtout si la teneur en lithium de la pegmatite est relativement faible (ce qui est le cas de la pegmatite test choisie ici, dont la teneur moyenne est de 400 ppm environ).

CONCLUSION

La comparaison minéralogique et géochimique entre les pegmatites et le schiste à amphibole qui les recouvre, a montré que le seul élément caractéristique des pegmatites qui est libéré lors de l'altération est le lithium. Dans ces pegmatites, la principale source de lithium est le spodumène ; la lépidolite, autre minéral lithinifère est trop peu altérable.

Lors de sa migration dans la tranche d'altération le lithium montre, comme on pouvait s'y attendre, un comportement semblable aux autres alcalins,

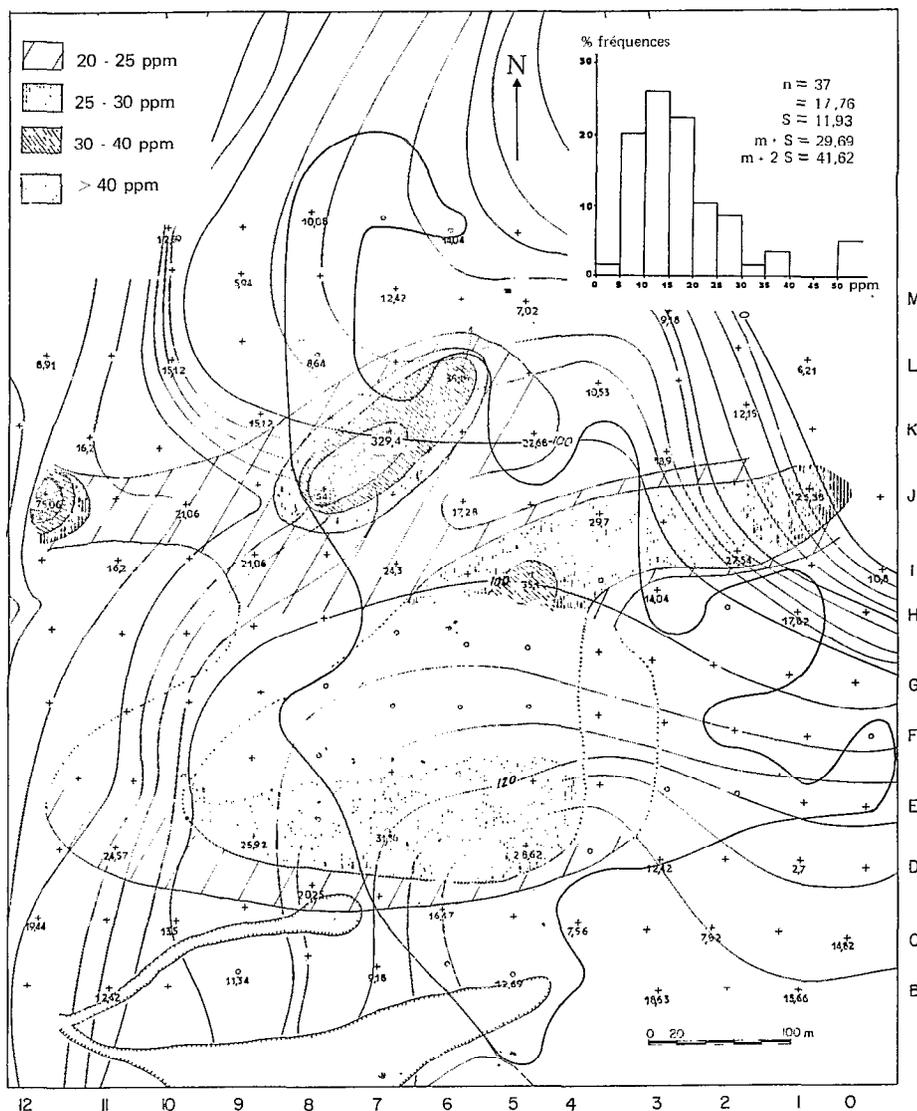


Fig. 12. — Géochimie Lithium (ppm Li_2O). Maille d'échantillonnage 70×70 m ; profondeur d'échantillonnage 80 cm.

c'est-à-dire une mobilisation facile par les solutions drainantes. Lors de sa migration à travers l'encaissant de schistes à amphibole altérés, le lithium est en partie fixé par les phyllites (kaolinite, séricite), et par les hydroxydes de fer présents dans les profils ferrallitiques développés sur ces schistes. Le lithium étant un élément étranger dans ces schistes, sa présence permet d'identifier la présence d'un corps pegmatique sous les zones anormales.

Une mini campagne géochimique confirme que le lithium est un bon « traceur géochimique des pegmatites ». Cet élément montre une bonne dispersion latérale qui permet de déceler un corps pegmatitique

enfoui sous plus de 10 m de recouvrement et dont la teneur moyenne en Li_2O est faible (400 ppm).

Les résultats obtenus sont satisfaisants, faisant apparaître des anomalies significatives. Mais cette méthode a bien sur des limites :

— *Au-delà d'une certaine épaisseur de recouvrement qui dépend de la nature et de la quantité des minéraux lithinifères, les teneurs en surface ne seront plus assez élevées pour être décelées. Dans le cas des pegmatites de Volla Grande et Minas Brasil qui sont riches en spodumène, on peut estimer cette épaisseur limite entre 30 et 60 m.*

— La présente étude s'applique à un recouvrement de schistes à amphibole. Un recouvrement différent peut influencer le mode de migration du lithium et par conséquent la profondeur de détection de la pegmatite.

— Cette méthode a pour but d'identifier la seule présence de corps de pegmatites, masquées dans un encaissant. Dans le cas de São João Del Rei, des minéralisations non affleurantes de cassitérite et de columbotantalite peuvent être localisées indirectement, puisque le premier pas de leur prospection est la recherche de leur roche-mère pegmatitique. Cette méthode pourrait être envisagée ailleurs, éventuellement pour d'autres minéralisations des pegmatites, une fois

connues les caractéristiques minéralogiques et géochimiques de ces roches, de leur encaissant, et de l'altération. Là encore, elle pourrait permettre de déceler des pegmatites masquées, sans toutefois apporter de renseignements sur leur caractère minéralisé ou non.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements à la Companhia de Estanho Minas Brasil et plus particulièrement à Mrs J. C. GRIFFON, géologue de la compagnie et D. HERNANDEZ, gérant des mines de Volta Grande pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée.

BIBLIOGRAPHIE

DAVINO (A.), 1978. — Estudos geofísicos na provincia pegmatítica de São João del Rei, entre Volta Grande e Ibituruma, estado de Minas Gerais. Rap. Int. Companhia de estanho Minas Brasil, *multigr.*

DEER (W. A.), HOWIE (R. A.), ZUSSMAN (J.), 1962. — Rock forming mineral. John Wiley and sons Inc. New York.

DORR, VAN NOSTRAND, 1959. — Estratigrafia do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais. *Engen. Miner. Metal.*, v. 29 : 75-78.

GUIMARAES (D.), BELEZKIJ (W.), 1956. — The stano-tantalouraniferous deposits and occurrences in the region of São

João Del Rei, Minas Gerais, Brasil. Int. Conf. Peaceful uses atom. Energy, *Proc. v. 6 Geology of uranium and thorium* : 143-146.

HEINRICH (E. W.), 1964. — Tin-tantalum-lithium pegmatites of the São João Del Rei district, Minas Gerais, Brasil. *Ec. Geol.*, v. 59, n° 6 : 982-1002.

ROLFF, 1952. — Geologia da provincia estanolitínifera do rio das Mortes, Minas Gerais. *Revista Escola Minas, Minas Gerais* : 1-12.

TARDY (Y.), KREMPP (G.), TRAUTH (N.), 1972. — Le lithium dans les minéraux des sédiments et des sols. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1972, v. 36, p. 397-412.