

AGES Pb/U, Sr/Rb ET Ar/K
DE FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES ET GRANITIQUES
DU SUD-EST DU BRÉSIL
(ÉTATS DE RIO DE JANEIRO ET DE MINAS GERAIS) (*)

par J. DELHAL (**), D. LEDENT (***) et U. CORDANI (****)

(2 figures)

SUMMARY

Field and petrological data and Pb/U, Sr/Rb and Ar/K radiometric results establish the existence of two superposed orogenesis in the Paraíba Belt (S. E. Brazil, States of Rio de Janeiro and Minas Gerais).

Banded granulites of the « Paraíba Serie » represent sediments metamorphosed during a first orogeny dated at about 2000 m.y.

Migmatitic and granitic gneisses of the Serra dos Órgãos are syntectonic gneisses of an orogeny dated at 620 ± 20 m.y.

Results published previously date the last granites at 540 ± 60 m.y., pegmatites at 464 ± 11 m.y. and the youngest event (apparent ages of biotite) at 450 ± 30 m.y. These are late to post-tectonic events of the second orogeny which is also the last to have affected the area.

One young diabase, which cuts the aforementioned formations, is dated at 133 ± 6 m.y.

Les travaux de G. F. Rosier (1957 et 1965) et de H. Ebert (1957) ont notamment défini dans les États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais deux types bien distincts de formations. Ce sont d'une part la *Série Paraíba-Desengano* et la *Série Juiz de Fora* dans lesquelles ces auteurs voient des sédiments catamétamorphiques néo-algonquiens (dans le sens de Protérozoïque supérieur ou de Précambrien A), et d'autre part la *Série da Serra dos Órgãos*, formée de gneiss migmatitiques et granitoïdes, qu'ils considèrent comme de l'Archéen (Précambrien C, D) plus ou moins palingénétiisé lors de l'orogénèse algonquienne dite aussi assyntique.

Les levés de terrain effectués en 1966 par U. Cordani, J. Delhal et C. de Barros Gomes et l'étude pétrographique entreprise depuis par J. Delhal conduisent à des conclusions nettement différentes puisqu'elles consistent à voir dans la Série Paraíba (nom sous lequel nous groupons ici Paraíba-Desengano et Juiz de Fora) les méta-sédiments d'un cycle orogénique antérieur à celui qui engendra les gneiss de la Série da Serra dos Órgãos.

Les considérations pétrologiques qui conduisent à ces conclusions seront dévelop-

(*) Communication présentée le 29 avril 1969, manuscrit déposé à la même date.

(**) Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique.

(***) Laboratoire de Minéralogie et de Pétrologie, Université Libre de Bruxelles, 50, avenue F.-D. Roosevelt, Bruxelles 5, Belgique.

(****) Département de Pétrologie de la Faculté de Philosophie, Sciences et Lettres de l'Université de São Paulo, Brésil.

pées dans un mémoire en voie d'élaboration (J. Delhal *et al.*). Nous n'en donnons dans ce rapport géochronologique qu'un bref aperçu.

La *Série Paraíba* fut à l'origine un complexe sédimentaire très varié : schistes et schistes carbonatés finement stratifiés ; éventuellement tufs, arkoses et grauwackes ; calcaires et quartzites purs, éventuellement filons de quartz ; passées effusives ou venues intrusives basiques.

Au cours d'un premier cycle, cet ensemble acquiert, en partie, le faciès granulite tout en conservant jusqu'aux plus fins lits toute son hétérogénéité lithologique première. Certains lits n'ont pas dépassé le faciès amphibolite.

A une époque ultérieure, correspondant en tout ou en partie au cycle suivant, il est déformé parallèlement à l'orientation initiale dans des conditions métamorphiques du faciès amphibolite. Mais les recristallisations rétro-métamorphiques n'ont en fin de compte qu'un effet partiel et l'importance de leur action varie avec la composition chimique des différents strates.

Les paragenèses actuellement observées sont nombreuses. Il existe une grande variété de faciès groupant certains des principaux minéraux suivants : hypersthène, grenat, biotite brun-rouge, hornblende, sillimanite, oligoclase, orthose, quartz, pour constituer soit des roches finement zonaires blastomylonitiques à quartz typiquement aplati, soit des roches plus massives, encore que cataclasées, « charnockitiques » et « granulitiques ». Associés souvent intimement à ces différents types, il y a des faciès généralement granoblastiques formés de certains des minéraux calciques tels que pyroxènes monocliniques, hornblende, scapolite, clinozoïzite, sphène, grenat, plagioclase et aussi des marbres à pyroxène ou forstérite, des quartzites cristallins et enfin des roches basiques à deux pyroxènes, hornblende et éventuellement grenat.

A cette diversité des associations minérales qui témoigne de la coexistence des faciès granulite et amphibolite classiques en milieu de composition hétérogène où les transformations métamorphiques sont restées inachevées, il faut ajouter un phénomène de transformation granitique qui débute par l'apparition des macles du microcline dans l'orthose en certains points des faciès précités pour s'accomplir finalement par la formation de gneiss entièrement nouveaux de composition granitique ou tonalitique. Si le phénomène débute discrètement dans quelques lits des granulites rubanées, il va jusqu'à former au sein de la *Série Paraíba* des zones lenticulaires kilométriques de gneiss migmatitiques ou granitoïdes dont l'orientation est parfaitement concordante avec celle de l'ensemble de la *Série Paraíba* mais dont la nature minéralogique, pétrographique et structurale n'est pas différente de celle des gneiss de la *Série da Serra dos Órgãos*.

La *Série da Serra dos Órgãos* est constitué par des roches de composition granitique à tonalitique (plagioclase, microcline, quartz, biotite et parfois hornblende), de texture migmatitique à granitoïde et de structure granoblastique orientée.

Habituellement les structures ne montrent qu'un seul stade de cristallisation orientée et on doit considérer les gneiss de la *Serra dos Órgãos* comme des gneiss syntectoniques de caractère palingénétique formés au cours du dernier cycle orogénique qui a affecté la région et au cours duquel les métasédiments *Paraíba* ont été partiellement transformés et recristallisés. Certains faciès rubanés laissent peu de doute sur l'origine *Paraíba* des migmatites *Órgãos*. La *Série da Serra dos Órgãos* apparaît comme une lentille granitoïde différant seulement par ses dimensions beaucoup plus vastes des nombreuses plages granitoïdes insérées dans la *Série Paraíba-Desengano* (voir plus haut). Aucune de nos observations ne vient appuyer l'idée que les gneiss *Órgãos* pourraient provenir en partie de la transformation des sédiments du dernier cycle ; cette hypothèse ne peut toutefois être entièrement écartée.

Les *granites post-tectoniques* sont des roches minéralogiquement comparables aux gneiss de la Serra dos Órgãos, au cœur de laquelle ils affleurent pour la plupart, mais ils sont plus homogènes et non orientés. L'impression qui se dégage du terrain et de l'examen pétrographique est que ces granites représentent le stade ultime de la granitisation syntectonique et qu'ils ont cristallisé dès la fin des mouvements tectoniques.

Les *pegmatites post-tectoniques* sont apparemment peu répandues mais elles affleurent en masses importantes dans la région de Eugenópolis-Caparaó au sein de la Série Paraíba (Rosier, 1965).

Des petits dykes de roche basique exempts de métamorphisme et de déformation sont abondants dans les deux formations considérées.

Les granites post-tectoniques, les pegmatites et les nombreux dykes de dolérite ont été soigneusement cartographiés par G. F. Rosier (1957 et 1965).

Du point de vue de la tectonique, on constate que les différentes lignes structurales ont dans l'ensemble une orientation commune. La zonation primaire et secondaire de la Série Paraíba, celle des gneiss Órgãos, les axes des plis, les différents dykes de dolérite et jusqu'à la plupart des failles apparemment récentes présentent la même direction grosso modo SW-NE incurvée parallèlement à la côte. Depuis le grand orogène qui a donné naissance aux gneiss de la Serra dos Órgãos aucun phénomène orogénique important ne s'est traduit dans les roches. Le soulèvement important de la Serra dos Órgãos est attribué à des mouvements épirogéniques post-crétaciques liés à des plis de fond (Ruellan, 1953).

GÉOCHRONOLOGIE

Les datations par les méthodes Pb/U et Sr/Rb ont été effectuées dans le cadre du Centre belge de Géochronologie (Université de Bruxelles et Musée Royal de l'Afrique centrale) par Madame D. Ledent sur des échantillons sélectionnés à la suite de l'étude pétrographique de J. Delhal. Les techniques utilisées pour l'analyse des zircons et des roches totales sont décrites dans S. Deutsch, D. Ledent et P. Pasteels (1965). La technique adoptée pour l'analyse du sphène a été mise au point par P. Pasteels (à paraître).

Les calculs des isochrones ont été effectués à l'ordinateur I.B.M. 7040 du « Centre de Calcul » de l'Université Libre de Bruxelles suivant un programme établi par M. M. Huybrechts. Les erreurs admises sur les valeurs des âges et des rapports Sr_{87}/Sr_{86} initiaux représentent 2σ . Les datations par la méthode K/Ar ont été faites par U. Cordani au Centre de recherches géochronologiques de l'Université de São Paulo, en employant les techniques décrites dans Amaral *et al.* (1966).

Série Paraíba.

Quatre échantillons de roches métamorphiques de faciès granulite ont été datés par Sr/Rb. Il s'agit de deux parties d'une même granulite zonaire (n° 8-10 et 11), d'une « charnockite » (n° 121a) et d'une « leptynite » (n° 121b). L'isochrone calculée (fig. 1) fournit un âge de 1923 ± 60 m.a. avec un rapport initial de $0,7115 \pm 0,0016$. L'origine détritique du matériau explique la valeur du rapport initial relativement élevée pour une roche aussi ancienne. L'âge obtenu date l'homogénéisation isotopique résultant du métamorphisme de la Série.

Les datations par Pb/U ont été faites sur les zircons des mêmes roches (dont deux fractions de teneurs en uranium différentes pour l'échantillon n° 8-10) et sur

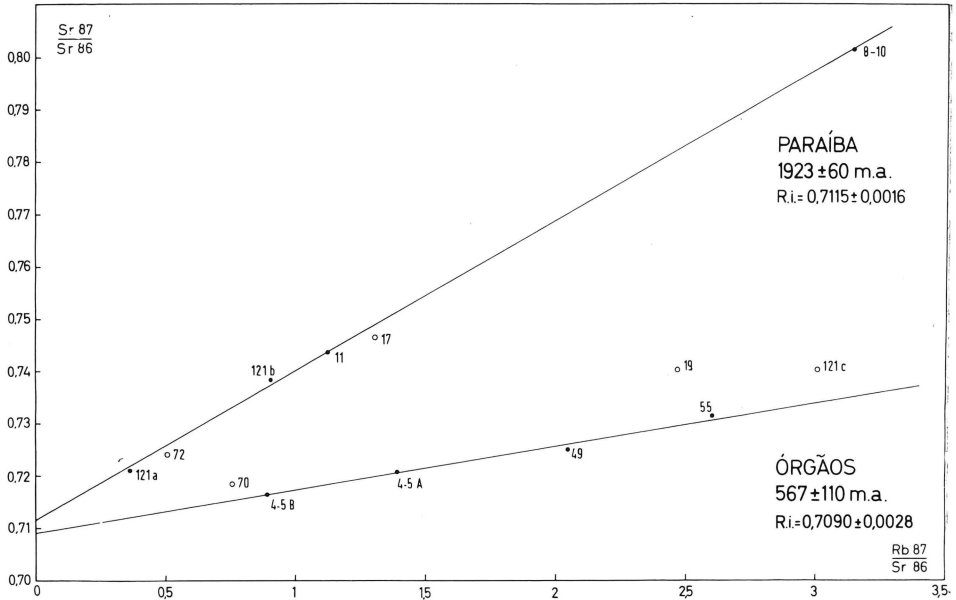


Fig. 1. — Isochrone des granulites Paraíba (droite supérieure) et des gneiss granitiques Órgãos (droite inférieure). Les points représentés par des cercles n'ont pas été pris en considération pour le calcul des isochrones (voir texte).

$$\lambda_{\text{Rb}} = 1,47 \cdot 10^{-11} \cdot a^{-1}.$$

TABLEAU I

Résultats analytiques rubidium/strontium, sur roches totales

N°	Rb ppm	Sr ppm	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ calculé (1)	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ mesuré (1)	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	% Rad. (2)
4-5 (A)	198,1	402,7	0,7207	0,7207	1,3901	1,6
4-5 (B)	123,5	402,6	0,7159	0,7169	0,8873	1,1
8-10	174,4	162,0	0,8037	0,8013	3,1418	11,5
11	92,1	245,7	0,7451	0,7437	1,1214	4,7
17	131,3	298,6	0,7464	—	1,3014	5,0
19	207,9	244,4	0,7414	0,7403	2,4678	4,2
49	73,5	104,2	0,7239	0,7250	2,0448	2,2
55	133,0	148,6	0,7321	0,7314	2,6000	3,1
70	85,2	326,3	0,7172	0,7186	0,7554	1,3
72	90,1	517,9	0,7241	—	0,5042	2,1
121a	40,0	318,6	0,7201	0,7210	0,3639	1,7
121b	75,7	243,6	0,7404	0,7384	0,9022	4,0
121c	213,3	202,5	0,7349	0,7404	3,0528	4,2

(1) Les rapports Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ sont normalisés en prenant une valeur de 0,1194 pour Sr⁸⁶/Sr⁸⁸.

(2) Calculé avec un rapport initial de Sr₈₇/Sr₈₆ = 0,709.

TABLEAU II

Résultats analytiques uranium/plomb

N°	Fraction	Concentrations en ppm			Composition isotopique du plomb (1)				Ages apparents en millions d'années (2)		
		U	Pb total	Pb rad.	204	206	207	208	207/206	206/238	207/235
<i>Zircons</i>											
4-5	gros	810	75,8	72,1	0,0791	100	7,149	10,764	616 ± 20	567 ± 10	576 ± 15
	fin A	764	87,4	78,9	0,1598	100	8,231	20,170	588 ± 40	614 ± 10	609 ± 20
	fib B	1157	119,5	111,4	0,1102	100	7,670	17,117	640 ± 20	585 ± 10	597 ± 15
8-10	A	756	193,6	190,5	0,0381	100	12,032	7,806	1913 ± 15	1446 ± 25	1645 ± 15
	B	1323	255,7	253,8	0,0226	100	11,525	7,849	1865 ± 10	1124 ± 20	1405 ± 20
11		925	235,6	228,4	0,0531	100	12,949	7,065	2025 ± 10	1424 ± 24	1680 ± 25
30		268	102,6	96,5	0,1078	100	14,418	18,818	2130 ± 15	1837 ± 30	1977 ± 30
47		478	52,7	49,3	0,1134	100	7,891	15,388	704 ± 20	629 ± 10	646 ± 15
49		638	76,6	68,7	0,1842	100	9,525	18,645	906 ± 40	651 ± 15	711 ± 20
70		492	58,2	51,1	0,2033	100	9,335	18,064	752 ± 30	644 ± 15	667 ± 20
121a-c		237	32,2	29,0	0,1588	100	8,788	15,680	786 ± 35	705 ± 15	726 ± 20
121b		379	85,3	74,1	0,2335	100	13,561	19,659	1713 ± 20	1118 ± 20	1338 ± 20
<i>Sphène</i>											
30		22,9	7,3	3,1	1,9468	100	34,7372	108,790	950 ± 150	628 ± 20	709 ± 50

(1) Plomb commun de correction utilisé pour tous les zircons : « plomb moderne »

 $206/204 = 18,6$; $207/204 = 15,7$; $208/204 = 38,9$.

Plomb commun de correction utilisé pour le sphène = plomb de feldspath potassique du même échantillon n° 30 (âge conventionnel 1655 m.a. (tables de Pockley)) :

 $206/204 = 16,09$; $207/204 = 15,37$; $208/204 = 39,46$.

 (2) $\lambda U^{238} = 1,537 \times 10^{-10} a^{-1}$, $\lambda U^{235} = 9,72 \times 10^{-10} a^{-1}$, $U^{238}/U^{235} = 137,8$.

TABLEAU III

Résultats analytiques potassium/argon

N°	Nature	N° Lab SPK	% K	Ar ⁴⁰ rad. cc STP/ g × 10 ⁻⁶	Ar ⁴⁰ atm. %	âge m.a.
1	biotite	1263	7,93	153,70	1,9	432 ± 22
4-5	amphibole	1221	2,053	46,48	7,1	496 ± 30
6	biotite	1339	7,66	160,60	3,3	464 ± 23
16	biotite	1224	7,52	154,63	2,9	455 ± 22
25	amphibole	931	0,862	19,775	6,4	502 ± 15
35	biotite	1229	5,58	165,35	4,7	627 ± 32
38	amphibole	932	0,680	15,226	55,6	491 ± 15
39	roche totale	1039	1,657	9,421	7,8	137 ± 7
39	plagioclase	1048	2,832	15,092	3,8	129 ± 6
48	amphibole	1208	0,510	11,894	6,0	509 ± 26
58	biotite	1265	7,97	149,26	1,9	419 ± 21
72	biotite	1298	7,43	151,13	3,3	451 ± 23
72	muscovite	1222	8,24	156,94	2,1	426 ± 22
101	pyroxène	1225	0,00976	0,666	50	1220 ± 350
		1333	0,00976	0,695	40,1	1260 ± 130
108	biotite	1264	8,02	163,86	1,3	453 ± 23
114	biotite	1288	7,47	178,80	2,3	521 ± 26
120	biotite	1238	7,77	176,26	18,5	497 ± 35
		1335	7,77	162,41	5,8	462 ± 23
120	amphibole	1206	0,2802	10,94	16,9	788 ± 38
		1343	0,2802	10,82	20,3	782 ± 39
120	plagioclase	1207	0,2046	19,93	16,5	1570 ± 80
		1336	0,2046	18,65	10,4	1500 ± 75
124	biotite	1223	7,86	218,30	6,3	593 ± 30
133	biotite	1230	7,63	166,59	2,0	480 ± 25
193	amphibole	1287	1,478	33,43	6,2	496 ± 25

$$\lambda_{\text{tot.}} = 0,530 \times 10^{-9} \cdot a^{-1}; \lambda_{\text{K}} = 0,585 \times 10^{-10} \cdot a^{-1}; \text{atome } \% \text{ K}^{40} = 1,19 \times 10^{-2}.$$

le zircon et le sphène d'une roche (n° 30) sur laquelle l'action du métamorphisme Paraíba fut apparemment moins intense (amphibolite facies). Les résultats sont reportés sur un diagramme « Concordia » (fig. 2). On constate qu'il n'existe pas de corde idéale passant par tous les points. La meilleure corde (en trait interrompu) passant au plus près des différents points indique un âge proche de 2200 m.a. pour la formation du zircon et un âge d'environ 600 m.a. pour une perte épisodique importante du Pb radiogénique de ce zircon. Cependant le fait que les points ne définissent pas une ligne droite et le caractère détritique et hétérogène des différentes roches suggèrent qu'une partie du zircon pourrait être détritique et héritée et avoir conservé une faible partie de son plomb radiogénique primitif malgré l'intensité du métamorphisme Paraíba. Considérant donc que certains points peuvent être déplacés

sur la droite du graphique sous l'influence de ce facteur, les points situés le plus à gauche correspondraient à la meilleure approximation de l'âge du métamorphisme Paraíba. La corde (en trait plein) passant par ces points intersecte la courbe à 2070 m.a. (± 70), valeur beaucoup plus proche de l'âge donné par l'isochrone des roches totales.

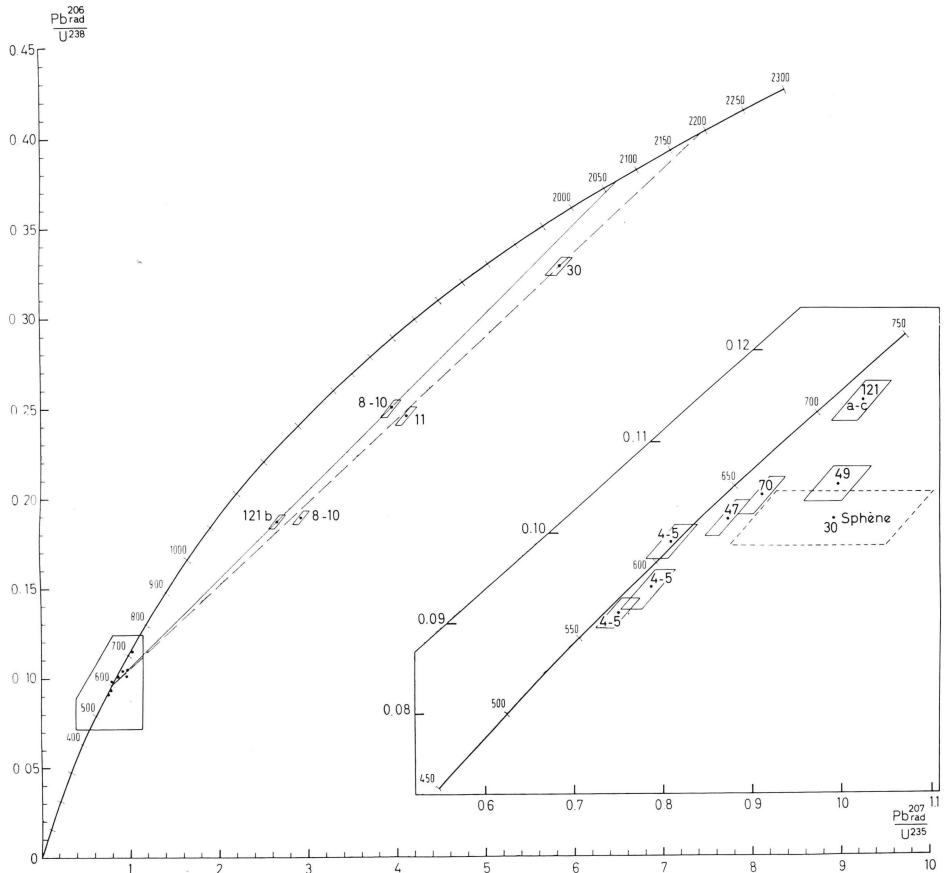


Fig. 2. — Diagramme « Concordia » relatif aux zircons et au sphène des Séries Paraíba et Órgãos.

La position relativement basse sur le graphique du point 121a-c s'explique par le fait que le zircon a été extrait d'un mélange de la « charnockite » (n° 121a) et de passées y incluses riches en biotite (n° 121c) dont la mesure en roche totale indique un âge relativement jeune (696 ± 105 avec 0,709).

Le sphène appartient comme il est dit plus haut à une roche métamorphisée au cycle Paraíba dans les conditions du faciès amphibolite. Cette roche a été ensuite déformée et partiellement recristallisée au cours du cycle Órgãos. L'examen pétrographique montre bien que l'amphibole est primaire au même titre que l'hypersthène dans les faciès granulites, et que le sphène peut l'être bien qu'il soit fortement recristallisé. Or nous constatons que le sphène a perdu presque tout son plomb

radiogénique il y a 600 m.a. Néanmoins le peu qu'il en a conservé atteste une origine plus ancienne. En réalité, il a été plus sensible que le zircon à l'action de cet important événement. Le sphène étant très riche en plomb commun, on a cherché à préciser la composition isotopique de ce plomb en mesurant celle du plomb contenu dans le feldspath potassique du même échantillon. L'âge conventionnel de ce plomb est d'environ 1650 m.a., valeur qui malgré son imprécision constitue une autre indication de l'âge élevé de la roche.

Peu d'échantillons représentatifs de la Série Paraíba ont fait l'objet de mesures Ar/K (n° 25, 35, 58, 101, 114, 120, 124, 133). Ils ont livré des âges jeunes compris pour la plupart entre 600 m.a. et 500 m.a. environ pour les biotites et des valeurs nettement plus anciennes pour les minéraux retenant mieux l'argon tels que pyroxène (1260 m.a.) et plagioclase (1570 m.a.). Ces résultats ne constituent que des valeurs intermédiaires entre l'âge des minéraux ou de la roche et celui du dernier événement important susceptible d'avoir provoqué des pertes d'argon.

Gneiss de la Serra dos Órgãos.

Quatre échantillons ont fait l'objet de mesures en Rb/Sr. Il s'agit d'un gneiss granitoïde (n° 55), du faciès clair et du faciès sombre d'une même migmatite (n° 4 et 5) et de la partie granitique d'une autre migmatite (n° 49). L'isochrone (fig. 1) établie à l'aide de ces quatre points présente une pente correspondant à 567 ± 110 m.a. et a pour origine un rapport initial de $0,7090 \pm 0,0028$.

Le zircon global de la migmatite n° 4-5, a été subdivisé en 3 fractions de granulométrie et de teneurs en U différentes. Ces dernières livrent des âges concordants ou très légèrement discordants (voir tableau II et fig. 2). On peut, dans ces conditions, considérer comme exacts les $t_{207/206}$ qui concordent à 620 m.a. pour autant qu'il n'y ait pas d'héritage du cycle précédent. Comme cet héritage est manifeste dans le cas d'une autre roche (voir ci-après n° 47 et 49), on ne peut entièrement exclure cette possibilité dans le cas présent mais, vu la concordance des âges apparents, ce facteur, s'il existait, serait de toute évidence peu important et l'âge réel est de toute manière fort proche de 620 m.a.

Les zircons de la partie granitique (n° 49) et de la partie granodioritique (n° 47) d'une autre migmatite ont été datés séparément. La corde passant par les deux points représentatifs de ces zircons coïncide pratiquement avec la corde des zircons Paraíba puisqu'elle recoupe « Concordia » à 620 m.a. d'un côté et vers 2200 m.a. de l'autre. Il apparaît donc que les zircons des gneiss Órgãos sont en partie hérités. Le même résultat serait obtenu selon que les gneiss proviennent de la palingénèse de roches Paraíba ou de la transformation de sédiments d'âge Órgãos ayant inclus lors du dépôt des zircons d'âge Paraíba.

L'événement qui a provoqué la perte épisodique importante des zircons de la Série Paraíba se trouve défini comme étant l'orogénèse qui donne naissance aux gneiss de la Serra dos Órgãos. L'âge de cette orogénèse peut être considéré comme étant de 620 ± 20 m.a.

Considérons à présent les résultats obtenus en Rb/Sr principalement sur des roches granitoïdes de type Órgãos incluses en passées de plus ou moins faible extension dans la Série Paraíba elle-même. Ces roches ne se placent pas sur l'isochrone des roches de la Serra dos Órgãos. Deux d'entre elles (n° 19 et 70), dont l'extension est suffisante pour avoir été cartographiée (Rosier, 1957), auraient un âge apparent de 850 m.a. si le calcul était fait avec un rapport initial de 0,709 et le zircon du n° 70 se place sur la corde des zircons Paraíba. Une autre (n° 17), beaucoup plus limitée en importance, se place pratiquement sur l'isochrone de 1900 m.a. des roches granu-

litiques du Paraíba. Il en est de même pour une migmatite (n° 72) des environs de Cabo Frio dans une partie de la région littorale lithologiquement comparable à la Serra dos Órgãos.

D'autres mesures seront nécessaires pour élucider parfaitement le problème que pose la datation de ces dernières roches. Puisque l'examen pétrographique ne permet pas de les distinguer des roches typiquement Órgãos et s'il faut donc les considérer comme des roches formées sous l'influence de l'orogénèse de 620 m.a., force est à ce stade des recherches d'admettre que ces roches ont bien 620 m.a. mais des rapports initiaux très différents. L'isochrone calculée pour les gneiss de la Serra dos Órgãos pourrait elle-même être factice, la réalité pouvant se présenter comme une série de droites parallèles de pente correspondant à un âge de 620 m.a. (déterminé par les mesures U/Pb sur zircon) et d'origines différentes.

Le rapport initial de l'isochrone de référence des gneiss Órgãos est normal (0,7090) si ces roches proviennent des sédiments du dernier cycle. Si par contre une grande partie au moins d'entre elles sont des métasédiments Paraíba granitisés, la valeur anormalement basse du rapport peut s'expliquer de plusieurs façons. La première consiste à invoquer un apport de Sr, lié aux fluides granitisants de l'orogénèse Órgãos, dont le rapport $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ aurait abaissé celui que le Paraíba a atteint à ce moment-là ; la seconde consiste à considérer les gneiss Órgãos comme le produit de la transformation du mélange de roches Paraíba essentiellement détritiques, du type de celles qui ont été datées, et de roches calcareuses Paraíba, que l'on sait relativement abondantes, dont le rapport $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ est sans doute sensiblement plus faible. Les deux facteurs envisagés pourraient d'ailleurs avoir cumulé leurs effets.

Il reste à signaler la présence, au sein même de la roche Paraíba charnockitique n° 121a, de « taches » riches en hornblende et biotite (n° 121c) ayant livré des âges fort bas (696 ± 105 avec 0,709), ce qui implique un phénomène de rajeunissement intense bien que très localisé, lié apparemment à l'orogénèse de 620 m.a.

Les mesures en Ar/K d'un certain nombre d'échantillons de gneiss migmatitiques granitoïdes et tonalitiques de la Serra dos Órgãos même ou inclus dans la Série Paraíba (n° 1, 4-5, 6, 16, 38, 48, 72, 108, 193) fournissent des âges de 500 m.a. environ pour les hornblendes et de 450 m.a. environ pour les biotites.

Les âges des roches post-tectoniques ont déjà été publiés (D. Ledent et P. Pasteels, 1968). Nous les rappelons brièvement :

Granites : isochrone Rb/Sr : 534 ± 66 m.a. avec $0,709 \pm 0,003$
 U/Pb sur zircon : 540 ± 60 m.a.
 Rb/Sr sur biotite : 437 ± 12 m.a.

Pegmatite : Rb/Sr sur muscovite et microcline : 464 ± 11 m.a.

Entretemps, des mesures par la méthode K/Ar ont été faites sur la biotite du même granite post-tectonique avec pour résultat 450 ± 23 m.a. et sur la muscovite de la même pegmatite avec pour résultat 454 ± 23 m.a. Ces données établies par U. Cordani ne figurent pas aux tableaux des résultats annexés à cette note. Quelques résultats du même ordre ont aussi été obtenus par Dirac et Ebert (1967).

Il ressort des données ci-dessus qu'il pourrait n'y avoir qu'une différence faible entre l'âge moyen des granites post-tectoniques et celui des gneiss syntectoniques ; si la différence se marque mieux dans les valeurs U/Pb obtenues, les âges par Rb/Sr sur roches totales sont par contre pratiquement concordants dans les limites d'erreur ; le rapport initial déduit du calcul des isochrones est aussi le même pour les deux types de roches. Ces données sont en accord avec les observations géologiques et

pétrographiques montrant la continuité dans la formation des différents gneiss et granites et la grande similitude de composition qui existe entre eux.

La valeur de 450 m.a. environ obtenue systématiquement pour toutes les mesures d'âge faites par la méthode K/Ar sur les micas des gneiss syntectoniques de type Órgãos, des granites et des pegmatites post-tectoniques du même cycle, concorde avec les valeurs obtenues par Rb/Sr sur la biotite d'un granite post-tectonique et sur la muscovite et le microcline d'une pegmatite post-tectonique. Cette valeur de 450 m.a. représente l'âge des effets ultimes de l'orogénèse de 620 m.a. enregistrés par les données radiométriques. Sa signification exacte en regard des valeurs sensiblement plus élevées obtenues par K/Ar seulement sur les biotites de la plupart des métasédiments Paraíba, ne pourra éventuellement être interprétée qu'au moyen d'un complément de mesures par les deux méthodes sur les biotites de ces dernières roches.

Enfin les mesures K/Ar faites sur la roche totale et sur le plagioclase d'une dolérite jeune (n° 39) ont fourni des âges de 137 ± 7 m.a. et de 129 ± 6 m.a. respectivement.

CONCLUSIONS

Les données géologiques, pétrographiques et géochronologiques permettent de définir la succession d'événements suivante dans la partie sud-orientale du Brésil considérée.

1. Les séries Paraíba-Desengano et Juiz de Fora sont constituées principalement par les métasédiments d'un cycle dont le métamorphisme catazonal se situe vers 2000 m.a.
2. Une puissante orogénèse qui affecte les séries Paraíba et au cours de laquelle ont été formés les gneiss migmatitiques et granitoïdes de la Serra dos Órgãos est datée à 620 ± 20 m.a.
3. La fin des principaux mouvements orogéniques est limitée par l'âge des granites dits post-tectoniques qui est de 540 ± 60 m.a.
4. L'âge des pegmatites post-tectoniques est de 464 ± 11 m.a.
5. La valeur de 450 ± 30 m.a. représente l'événement ultime se traduisant dans les micas de roches de type Órgãos.
6. Des dolérites jeunes percent les roches Paraíba et Órgãos. L'âge de l'une d'elles est fixé à 133 ± 6 m.a.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont redevables à de nombreuses personnes et à plusieurs institutions, au Brésil et en Belgique, d'avoir pu réaliser cette étude. Ils remercient en particulier leurs collègues M. P. Pasteels pour l'aide qu'il a bien voulu leur apporter dans le domaine de la géochronologie, et C. de Barros Gomes pour sa contribution aux travaux de terrain ; ils tiennent à mentionner que leurs travaux ont bénéficié de subsides spéciaux de la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo et du Fonds belge de la Recherche scientifique fondamentale collective d'initiative ministérielle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMARAL, G., CORDANI, U. G., KAWASHITA, K., REYNOLDS, J. H., 1966. — Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **30**, 159-189.
- CORDANI, U. G., DELHAL, J., GOMES, C. B., LEDENT, D., 1969. — Nota preliminar sôbre idades radiométricas em rochas da Serra dos Órgãos e vizinhanças (leste de Minas Gerais e Estado do Rio de Janeiro). *Bull. Soc. Géol. Brésil* (à paraître).
- DEUTSCH, S., LEDENT, D. et PASTEELS, P., 1965. — Datation par les méthodes Rb/Sr et Pb/U au Laboratoire de Géochronologie du Service de Géologie et de Géochimie nucléaires. Université Libre de Bruxelles.
- DIRAC, F. M. et EBERT, H., 1967. — Isotopic ages from the pegmatite province of Eastern Brazil. *Nature*, **215**, 948-949.
- EBERT, H., 1957. — Beitrag zur Gliederung des Präkambriums in Minas Gerais. *Geol. Rundschau*, **45**, 3, 471-521.
- LEDENT, D. et PASTEELS, P., 1968. — Déterminations de l'âge des roches post-tectoniques du sud-est du Brésil. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **91**, 305-309.
- ROSIER, G. F., 1957. — A geologia da Serra do Mar, entre os picos de Maria Comprida e do Desengano (Estado do Rio de Janeiro). *Bol. Depto. Nac. Prod. Min.*, n° 166, 58 p.
- ROSIER, G. F., 1965. — Pesquisas geológicas na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais. *Bol. Depto. Nac. Prod. Min.*, n° 222, 41 p.
- RUELLAN, F., 1952. — Le rôle des plis de fond dans la structure et le relief du bouclier sud-américain. *Congr. Géol. Int. C. R.* 19^e Sess., Alger 1952, Sect. III, fasc. III, 241-261.

LOCALISATION ET DESCRIPTION SUCCINCTE DES ÉCHANTILLONS DATÉS (*)

1. R. G. 106.701. — Affl. 1 : Carrière environ 6 km à E.S.E. de Três Rios, rive droite rivière Piabanha (coord. : 22°08'24" S - 43°09'02" W). (État de Rio de Janeiro). Gneiss de composition granitique finement zonaire — Type Órgãos dans Série Paraíba.
- 4 et 5. R. G. 106.704 et 106.705. — Affl. 2 : Carrière de Areal, rive droite de la rivière Piabanha (coord. : 22°14'24" S - 43°05'42" W). (État de Rio de Janeiro). Gneiss de composition granitique, migmatitique — Type Órgãos à la limite des Séries Órgãos et Paraíba.
6. R. G. 106.706. — Affl. 2 : voir ci-dessus.
Veine pegmatitique discordante dans les migmatites.
- 8 à 10. R. G. 106.708 à 106.710. — Affl. 3 : Carrière du « Viaduto », environ 5 km à l'Est de Três Rios, rive droite du fleuve Paraíba (coord. : 22°06'45" S - 43°09'27" W) (État de Rio de Janeiro).
Métasédiments finement zonaires à hypersthène, grenat, biotite. Faciès granulite de la Série Paraíba.
11. R. G. 106.711. — Affl. 3 : voir ci-dessus.
Idem, bande homogène, très sombre mais leucocrate.
16. R. G. 106.716. — Affl. 6 : Carrière de Três Rios (coord. : 22°06'14" S - 43°11'19" W). (État de Rio de Janeiro).
Gneiss de composition granitique, finement zonaire. Type Órgãos dans Série Paraíba.

(*) Le n° attribué à l'échantillon sur le terrain par J. Delhal est suivi du n° de son inscription au répertoire général (R. G.) du Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren où la moitié de chaque échantillon de la mission Cordani-Delhal-Gomes est conservée. L'autre moitié se trouve à la Faculté des Sciences à São Paulo.

17. R. G. 106.717. — Affl. 6 : voir ci-dessus.
Idem, passée hololeucocrate, blanche, hétérogranulaire, un peu de biotite et de grenat.
19. R. G. 106.719. — Affl. 8 : 1 km à l'Est de Alberto Torres, au bord de la route et de la rive droite de la rivière Piabanha (coord. : 22°12'00" S - 43°08'29" W). (État de Rio de Janeiro).
Gneiss granitoïde. Type Órgãos dans Série Paraíba.
25. R. G. 106.725. — Affl. 12 : 4 km au Sud de Chiador, à 500 m à l'W de la gare (coord. : 22°02'30" S - 43°03'03" W). (État de Minas Gerais).
Gneiss à deux pyroxènes et hornblende en intercalations dans gneiss à biotite rouge et orthose. Faciès granulite de la Série Paraíba.
30. R. G. 106.730. — Affl. 16 : route Br-135 (Três Rios - Juiz de Fora), km 151, rive gauche de la rivière Paraibuna (coord. : 22°00'15" S - 43°19'16" W). (État de Minas Gerais).
Gneiss à hornblende biotite et sphène, finement zonaire. Faciès amphibolite de la Série Paraíba.
35. R. G. 106.735. — Affl. 18 : localité de Anta, route Três Rios-Sapucaia. (État de Rio de Janeiro).
Petite veine pegmatitique à grandes biotites dans un complexe basique de faciès granulite de la Série Paraíba.
38. R. G. 106.738. — Affl. 20 : Route Córrego da Prata-(S. Rita da) Floresta. (État de Rio de Janeiro).
Dyke de « gabbro » représenté sur la carte de Rosier (1957). Gneiss d'origine gabbroïque à hornblende à biotite et vestiges de pyroxène.
39. R. G. 106.739. — Affl. 21 : Au Nord de la localité de Carmo, dike de dolérite représenté sur la carte de Rosier (1957). (État de Rio de Janeiro).
Dolérite.
47. R. G. 106.747. — Affl. 28 : Route Nova Friburgo - Bom Jardim. Carrières entre les km 98 et 99. (État de Rio de Janeiro).
Migmatite, partie granodioritique à hornblende et grenat. Série Órgãos.
48. R. G. 106.748. — Affl. 28 : voir ci-dessus.
Même migmatite, partie amphibolique, à hornblende et biotite.
49. R. G. 106.749. — Affl. 28 : voir ci-dessus.
Même migmatite, partie granitique.
55. R. G. 106.755. — Affl. 34 : Nova Friburgo, ancienne route vers São Lourenço. (État de Rio de Janeiro).
Gneiss granitoïde. Série Órgãos.
70. R. G. 106.772. — Affl. 46 : Route Cantagalo - Macuco, 4 km à l'W de Macuco. (État de Rio de Janeiro).
Gneiss granitoïde de type Órgãos dans Série Paraíba.
72. R. G. 106.776. — Affl. 48 : Route Cabo Frio - S. Pedro da Aldeia. Carrière à 10 km de Cabo Frio. (État de Rio de Janeiro).
Gneiss migmatitique de type Órgãos.
101. R. G. 106.807. — Affl. 63 : Route Miracema - Santo Antônio de Pádua. Petite carrière à deux km de Santo Antônio. (État de Rio de Janeiro).
Gneiss finement zonaire, de faciès granulite et amphibolite ; zone à pyroxène monoclinique, scapolite, sphène, carbonate.
108. R. G. 106.814. — Affl. 68 : Route Manhaçu-Lajinha ; à 5 km de Lajinha. (État de Minas Gerais).
Gneiss granitoïde de type Órgãos.
114. R. G. 106.818. — Affl. 73 : Caiana - Lavra São Roque. Exploitation de pegmatite. (État de Minas Gerais).
Gneiss à biotite et grenat, de type Paraíba, constituant l'éponte de la pegmatite. (L'âge de la pegmatite (n° 113) est donné dans D. Ledent et P. Pasteels, 1968).
120. R. G. 106.824. — Affl. 78 : Route Tombos - Faria Lemos. A 8 km de Tombos. (État de Minas Gerais).
Roche intrusive basique (« Klausenite à biotite » selon Rosier, 1965).

121. a, b, c. — R. G. 106.825, 106.826, 106.827. — Affl. 79 : Route Carangola - Fervedouro. Carrière à 4 km de Carangola. (État de Minas Gerais).
 a. — gneiss à hypersthène de caractère charnockitique,
 b. — gneiss à grenat (leptynite), en contact avec (a),
 c. — roche riche en biotite et hornblende en « taches » ou « passées » dans (a).
124. R. G. 106.830. — Affl. 82 : Juiz de Fora ; carrière située entre la route vers Benfica de Minas et le Mt. Castelo. (État de Minas Gerais).
 Gneiss sombre (« métagrauwacke » de la Série Juiz de Fora, selon Ebert, 1957).
133. R. G. 106.839. — Affl. 90 : Juiz de Fora, carrière près de la route vers l'aéroport. (État de Minas Gerais).
 Veine pegmatitique dans gneiss (« Kinsigite gneiss » de la Série Juiz de Fora, selon Ebert).
193. Affl. 129 : Nouvelle route Itaipava - Rio de Janeiro. Carrière du Km 45. (État de Rio de Janeiro).
 Gneiss granitique à tonalitique de la Serra dos Órgãos.

