

Un segment de croûte continentale d'âge archéen ancien (3,4 milliards d'années) : le massif de Sete Voltas (Bahia, Brésil)

Hervé MARTIN, Pierre SABATÉ, Jean-Jacques PEUCAT et Jose-Carlos CUNHA

Résumé – Le massif de Sete Voltas (craton de Saõ Francisco, Brésil) contient des reliques de gneiss gris anciens (âge Rb-Sr = $3,42 \pm 0,09$ Ga et âge monozircon = $3,394 \pm 0,005$ Ga) en enclave dans un complexe plutonique daté entre $3,14 \pm 0,09$ Ga (gneiss gris récents) et $3,17 \pm 0,16$ Ga (granodiorites porphyroïdes); il s'agit des plus anciennes roches connues à ce jour au Brésil. Les âges montrent que l'accrétion crustale archéenne n'a pas été un phénomène progressif et continu mais au contraire un processus épisodique. Les I_{Sr} suggèrent que si les gneiss gris les plus anciens sont dépourvus de contamination crustale significative, cette dernière devient de plus en plus importante au cours du temps.

An early archaean crustal segment (3.4 Ga): the Sete Voltas massif (Bahia, Brazil)

Abstract – The Sete Voltas massif (Saõ Francisco craton, Brazil) contains relicts of old grey gneisses (Rb-Sr and single zircon ages are 3.42 ± 0.09 Ga and 3.394 ± 0.005 Ga respectively) as enclaves in a plutonic complex whose ages range from 3.14 ± 0.09 Ga (young grey gneisses) and 3.17 ± 0.16 Ga (porphyritic granodiorites); these rocks are the oldest so far recognized in Brazil. The ages indicate that the crustal accretion in the Saõ Francisco craton was not a continuous process but rather an episodic phenomenon. The I_{Sr} suggest that if the oldest grey gneiss were of juvenile origin with few or not crustal contamination; the latter became more important in course of time.

Abridged English Version – In order to understand the petrogenesis of the early continental crust it is necessary to determine the relative importance of both juvenile and recycling processes. The purpose of this paper is to address the problem of the old archaean crust in the Saõ Francisco craton (Bahia state, Brazil). The Saõ Francisco craton [2] is made up of two crustal blocks separated by a structural lineament interpreted in terms of collisional structure ([3], [4], [5]) (Fig. 1 B). To the East the Jequié bloc consists in archaean terrains whose ages range from 2.9 to 2.7 Ga ([6] to [9]) and subsequently affected by a transamazonian (2.0 Ga) granulitic metamorphism [10]. The Gaviaõ block crops out to the west, it is made of granitoids and leptyno-amphibolites, both archaean in age ([8], [11]). Along the lineament, folded belts are exposed, they mainly consist in sedimentary and volcano-sedimentary sequences affected by low-grade metamorphism and are cut by late (2.0 Ga) granitoids ([4], [5]). The whole structure results from a collisional event which raised up old basement fragments, including the Sete Voltas massif (Fig. 1 C), which is made up of:

(a) *Old grey gneisses*, they are homogeneous and strongly foliated orthogneisses that appear as enclaves in the other plutonic rocks. They are trondhjemitic, tonalitic and granodioritic (TTG) in composition (Fig. 2 A), and follow a trondhjemitic trend of differentiation (Fig. 2 B). They give a Rb-Sr whole rock isochron age of 3.42 ± 0.09 Ga; a single zircon from the same unit gives an age of 3.394 ± 0.05 Ga (Fig. 3 A). These rocks are the oldest so far recognized in Brazil.

(b) *Young grey gneisses*, they are fine-grained homogeneous orthogneisses, if their composition is typically that of TTG (Fig. 2 A), they occupy an intermediate position between trondhjemitic and calc-alkaline trends in K-Na-Ca triangle (Fig. 2 B). They are intrusive into the old grey gneisses. The age of their emplacement was established at 3.14 ± 0.09 Ga by the Rb-Sr method and at 3.158 ± 0.002 Ga by single zircon (Fig. 3 B).

Note présentée par Jean DEFCOURT.

(c) *Porphyritic granodiorites* transformed into augen gneisses near the margins of the massif. Their composition is similar to that of young TTG (Fig. 2). They give a Rb-Sr age of 3.17 ± 0.16 Ga when single zircon yields an age of 3.246 ± 0.005 Ga (Fig. 3 C).

(d) *Dykes of grey granite* which fall on a 2.64 Ga Rb-Sr reference isochron (Fig. 3 D). They are the younger rocks recognized in the Sete Voltas massif.

Such old ages were already reported in that area [8] (Rb-Sr errorchrons at 3.5 ± 0.3 Ga and 3.1 ± 0.6 Ga in Boa Vista and Sete Voltas respectively). The Rb-Sr data presented here are the first true isochron age which is corroborated by single zircon data. Consequently these rocks are the oldest ones so far recognized in Brazil. On an other hand the geochronological study allows to establish emplacement chronology between younger grey gneisses and porphyritic granodiorites which do not show field relationships: porphyritic granodiorites emplaced at 3.243 ± 0.005 Ga prior to the young grey gneisses (3.158 ± 0.002 Ga).

The ages indicate that the crustal accretion in the Saõ Francisco craton was not a continuous process but rather an episodic phenomenon with long pauses in between. The initial Sr ratio ($I_{Sr} = 0.6997 \pm 0.0004$) suggests that the oldest grey gneisses were mostly of juvenile origin with few or no crustal contamination. On an other hand the I_{Sr} of both porphyritic granodiorites (0.7014 ± 0.0011) and young grey gneisses (0.7017 ± 0.0008) are in the higher range of mantle values for that period. This could be caused by crustal recycling; in these conditions the contaminant could be the oldest grey gneisses. The I_{Sr} of the grey granites is more difficult to interpret because it derives from a two-points reference isochron. Nevertheless the I_{Sr} is significantly high (0.710 ± 0.001), thus indicating a crustal derivation. Consequently it appears that in the Sete Voltas massif the influence of earlier continental crust became progressively more important in course of time.

INTRODUCTION. — Les mécanismes de genèse de la croûte continentale ont changé au cours de l'histoire de notre planète en réponse au refroidissement progressif de la Terre [1]. Afin de remonter à ces mécanismes il convient de bien faire la part entre ce qui est juvénile et ce qui est dû à de la contamination crustale. Les résultats préliminaires présentés ici s'inscrivent dans ce contexte. L'exemple traité est celui de la croûte continentale archéenne ancienne de l'état de Bahia au Brésil. Le but de l'article est : (i) de dater les différentes étapes de la genèse crustale dans cette région, et (ii) de déterminer l'importance éventuelle d'une contamination par une croûte continentale plus ancienne.

CADRE GÉOLOGIQUE. — Le craton de Saõ Francisco [2], affleure principalement dans l'état de Bahia au Brésil (fig. 1 A), il est formé de deux blocs crustaux d'âge Protérozoïque inférieur, séparés par un linéament structural de 600 km de long (fig. 1 B), interprété en termes de suture collisionnelle ([3], [4], [5]). Le bloc de Jéqué, situé à l'Est, est constitué de terrains archéens dont l'âge va de 2,7 à 2,9 Ga ([6] à [9]) repris dans un métamorphisme granulitique à 2,0 Ga [10]. Le bloc du Gaviaõ affleure à l'Ouest (fig. 1 B) et est constitué (i) de suites de Tonalites, Trondhjémities et Granodiorites (TTG) et (ii) de formations leptyno-amphiboliques. Cet ensemble, affecté par un métamorphisme de faciès amphibolite, a donné des âges archéens. ([8], [11]). Le linéament est lui-même jalonné par des ceintures plissées (fig. 1 B). Au Nord, la ceinture de Jacobina est essentiellement métasédimentaire avec des intercalations tectoniques de roches basiques et ultrabasiqes. Au Sud, la ceinture de Contendas est constituée : (i) à la base, de formations volcaniques basiques et de formations ferrifères rubanées et (ii) au sommet, de séries détritiques; le tout est affecté par un métamorphisme de bas degré. Les deux ceintures sont recoupées

par des granites peralumineux datés à 2,0 Ga ([4], [5]). La structure d'ensemble est une structure de collision qui se traduit par un système d'écaillés ramenant dans les superstructures des fragments de socle auxquels appartient le massif de Sete Voltas. Ce dernier possède une structure en dôme et affleure dans le Sud de la ceinture de Contendas (fig. 1 B et C); il est constitué de quatre grands ensembles lithologiques :

Des Gneiss gris anciens. — Il s'agit d'orthogneiss gris à gros grain, homogènes, fortement foliés, qui apparaissent en tant qu'enclaves anguleuses métriques à pluridécamétriques dans les autres formations. Dans tous les cas, leur foliation est recoupée par la foliation qui affecte les lithologies encaissantes indiquant ainsi l'existence d'un événement tectonométamorphique important entre la mise en place des gneiss gris anciens et celle des formations plus récentes. Il s'agit des matériaux les plus anciens reconnus à ce jour dans la région.

La figure 2 A montre que les gneiss gris anciens se placent dans le champ des tonalites et des trondhjémities dans le triangle normatif An-Ab-Or [12]. Leur position dans le domaine des trondhjémities près du point triple entre les champs des Tonalites, des Trondhjémities et des Granodiorites en fait une suite typique des TTG archéennes. Ce caractère est confirmé par le diagramme K-Na-Ca ([13]; fig. 2 B) où les gneiss gris anciens suivent une lignée de différenciation trondhjémitique.

Des Gneiss gris récents. — Ces roches qui forment l'encaissant des gneiss gris anciens, sont elles mêmes des orthogneiss équigranulaires à grain fin, qui affleurent dans la partie sud du massif. Le triangle An-Ab-Or (fig. 2 A) montre qu'il s'agit de TTG; toutefois celles-ci se distinguent des gneiss gris anciens par leur plus faible teneur en An et leur plus grande richesse en Or normative. Leur plus grande richesse en K fait que ces roches ont une position intermédiaire entre les lignées trondhjémitique et calco-alcaline classique (fig. 2 B).

Des granodiorites porphyroïdes. — Il s'agit d'orthogneiss à phénocristaux de feldspath potassique au centre du massif; près des contacts tectoniques ils sont transformés en gneiss œillés en raison d'une déformation ductile. Les figures 2 A et B montrent que les caractéristiques chimiques de ces matériaux sont semblables à celles des gneiss gris récents. Aucun contact entre les granodiorites porphyroïdes et les gneiss gris récents n'a pu être observé, de telle sorte qu'il n'a pas été possible d'établir leur chronologie relative de mise en place.

Des granites gris. — Ils affleurent sous forme de filons intrusifs dans tous les formations décrites précédemment dont ils recoupent la foliation. De composition granitique ces dykes marquent le dernier événement magmatique connu dans la région.

RÉSULTATS GÉOCHRONOLOGIQUES. — *Les Gneiss gris anciens.* — Cinq échantillons des gneiss gris anciens définissent une isochrone de bonne qualité (MSWD=0,27) dont l'âge est de $3,42 \pm 0,09$ (2 σ) Ga avec un rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial (I_{Sr}) de $0,6997 \pm 0,0004$ (2 σ) (fig. 3 A). Un monozircon extrait de l'échantillon SV 11 a fourni deux groupes d'âges : l'un de $3,372 \pm 0,003$ (2 σ) Ga et l'autre de $3,394 \pm 0,005$ (2 σ) Ga (fig. 3 A). La concordance des âges obtenus par les deux méthodes, aux incertitudes analytiques près, conforte la validité du I_{Sr} très bas mesuré dans ces gneiss et indique pour ces matériaux une origine essentiellement mantellique.

Les Gneiss gris récents. — Sept échantillons de gneiss gris récents définissent un âge isochrone Rb-Sr de $3,14 \pm 0,09$ (2 σ) Ga avec un I_{Sr} de $0,7017 \pm 0,0008$ (2 σ) (MSWD=0,056) (fig. 3 B). Un zircon de l'échantillon SV 2 donne lui aussi deux groupes

d'âges : (i) un groupe de faible fréquence à $3,076 \pm 0,004$ (2σ) Ga et, (ii) un groupe parfaitement défini à $3,158 \pm 0,002$ (2σ) Ga (fig. 3 B). L'âge de 3,14 Ga obtenu sur les gneiss gris récents est significativement plus jeune que celui de 3,42 Ga mesuré dans les gneiss gris anciens, corroborant ainsi l'existence dans cette région d'au moins deux épisodes distincts de genèse de croûte continentale.

Les granodiorites porphyroïdes. — Cinq échantillons de granodiorites porphyroïdes définissent un âge isochrone Rb-Sr de $3,17 \pm 0,16$ (2σ) Ga ($I_{Sr} = 0,714 \pm 0,0011$ (2σ)) (MSWD = 0,029) (fig. 3 C). L'erreur sur l'âge est importante et fait qu'il n'est pas possible à ce niveau, de le distinguer de celui des gneiss gris récents. Toutefois un monozircon provenant de l'échantillon SV 20 donne un âge de $3,246 \pm 0,005$ (2σ) Ga, (fig. 3 C) qui est significativement plus ancien que celui des gneiss gris récents.

Les granites gris. — Seuls deux échantillons de filon de granite gris ont pu être collectés, ils définissent une isochrone de référence Rb-Sr roches totales à 2,64 Ga avec un I_{Sr} de 0,710 (fig. 3 D). Bien qu'il ne s'agisse que d'un âge de référence, celui-ci est significativement plus jeune que ceux obtenus sur les autres formations du massif de Sete Voltas. Le rapport isotopique élevé indique pour ces granites une origine essentiellement crustale.

DISCUSSION. — *Les âges.* — Des âges anciens ont déjà été reportés dans cette région. Cordani et coll. [8] ont obtenus des âges Rb-Sr dont les données recalculées avec le même programme que celui utilisé ici donnent des erreurs chronométriques de $3,5 \pm 0,3$ Ga (MSWD = 30,7) pour le massif voisin de Boa Vista et de $3,1 \pm 0,6$ Ga (MSWD = 31) pour Sete Voltas. Les résultats présentés ici sont les premières isochrones vraies; ils confirment les âges anciens, mais avec une meilleure précision. L'âge Rb-Sr de $3,42 \pm 0,09$ Ga, conforté par les analyses de monozircons fait des gneiss gris anciens du massif de Sete Voltas les plus anciennes roches reconnues à ce jour au Brésil.

Les travaux menés antérieurement sur le massif de Sete Voltas [8] ont toujours considéré ce massif comme constitué d'un seul type lithologique. L'analyse de terrain a permis de

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

Fig. 1. — A, Localisation du craton de São Francisco en Amérique du Sud. B, Carte géologique simplifiée d'après [3] replaçant le massif de Sete Voltas dans son contexte régional. (1)=Ceintures de Jacobina et de Contendas; (2)=Terrains granulitiques du bloc de Jéquié; (3)=Terrains gneissiques du bloc du Gavião; (4)=Massif de Sete Voltas; $\perp\perp\perp$ =Chevauchement. C, Carte géologique et structurale du massif de Sete Voltas. (1)=Massif de Sete Voltas; (2)=Gneiss du bloc du Gavião; (3)=Granulites du bloc de Jéquié; (4) Séquence volcano-sédimentaire de Contendas; (5)=Granites transamazoniens; $\perp\perp\perp$ =Chevauchement.

Fig. 1. — A, Localization of the São Francisco craton in South America. B, Simplified geological map showing the Sete Voltas massif in its regional context [3]. (1)=Jacobina and Contendas belts; (2)=Jequié granulitic block; (3)=Gavião block gneisses; (4)=Sete Voltas massif; $\perp\perp\perp$ =thrust. C, Geological map of the Sete Voltas massif. (1)=Sete Voltas massif; (2)=Gavião gneisses; (3)=Jequié granulites; (4)=Contendas volcano-sedimentary sequence; (5)=transamazonian granites; $\perp\perp\perp$ =thrust.

Fig. 2. — Triangle normatif An-Ab-Or [12], (A) et triangle K-Na-Ca [13], (B) montrant que les formations du massif de Sete Voltas sont typiques des suites archéennes de Tonalites, Trondhjémites et Granodiorites (TTG).

Fig. 2. — Normative An-Ab-Or [12], (A) and K-Na-Ca [13], (B) triangles showing that the Sete Voltas gneisses belong to typical Archaean Tonalitic, Trondhjemitic and Granodioritic (TTG) suites.

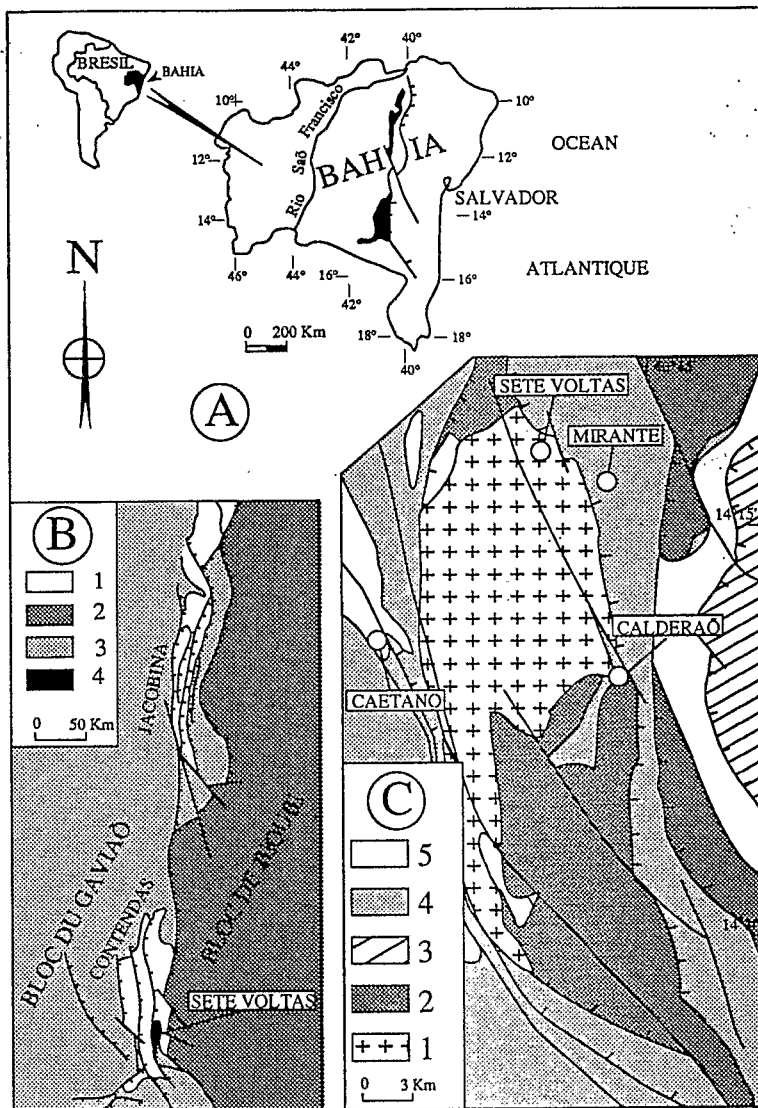


Fig. 1

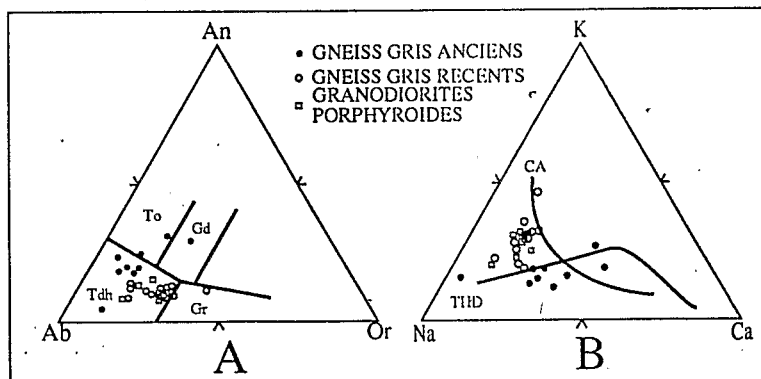


Fig. 2

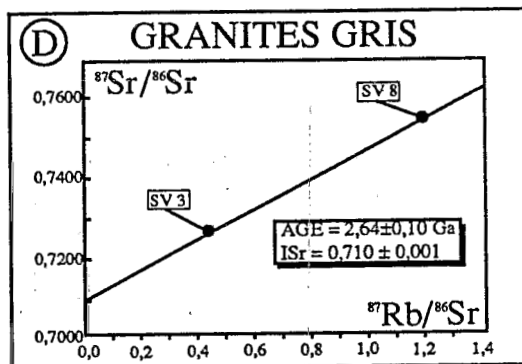
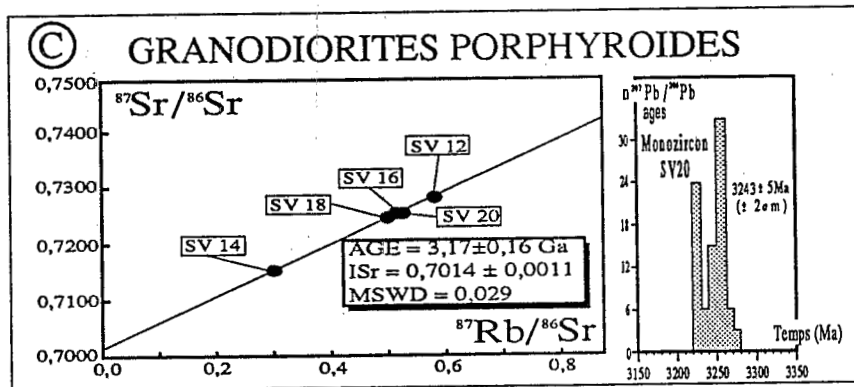
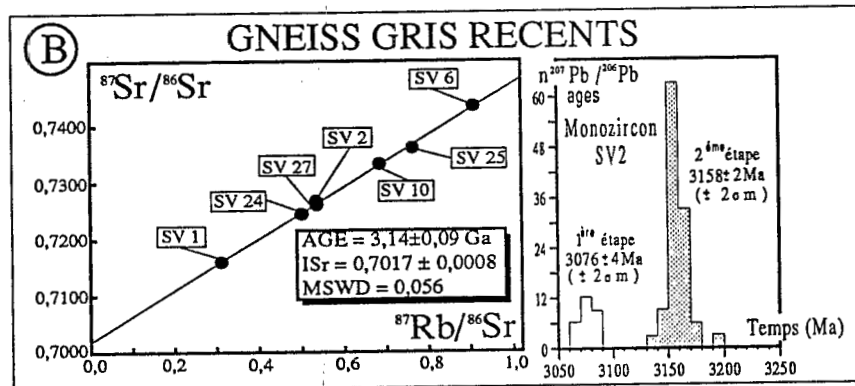
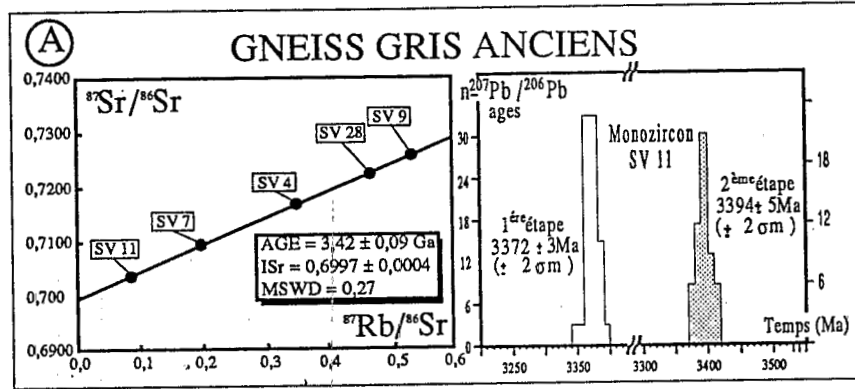


Fig. 3

Planche II

Fig. 3. — Diagrammes isochrone Rb-Sr et $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ sur monozircons pour : (A) les gneiss gris anciens; (B) les gneiss gris récents; (C) les granodiorites porphyroïdes; (D) les granites gris.

Fig. 3. — Rb-Sr and single zircon $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ data for: (A) old grey gneisses; (B) young grey gneisses; (C) porphyritic granodiorites; (D) grey granites.

reconnaître quatre ensembles lithologiques distincts. L'étude géochronologique, quant à elle, a montré que ceux-ci s'étaient mis en place en trois épisodes successifs, séparés chacun par un important événement tectonométamorphique : (i) à $\approx 3,4$ Ga, mise en place des gneiss gris anciens; (ii) à $\approx 3,17-3,15$ Ga intrusion des gneiss gris récents et granodiorites porphyroïdes; (iii) à $\approx 2,6$ Ga intrusion des filons de granite gris. L'ensemble de Sete Voltas est donc un segment crustal qui n'a pas subi une accréation continue ou progressive mais plutôt qui a connu une croissance par crises séparées par des longues périodes de repos.

Sur le terrain les gneiss gris récents et les granodiorites porphyroïdes ne montrent pas de relations claires, de telle sorte qu'il est impossible à ce jour d'établir leur chronologie relative. Les données géochronologiques quant à elles permettent de trancher, en effet les âges Rb-Sr, mais surtout les âges sur monozircon démontrent l'antériorité des granodiorites porphyroïdes sur les gneiss gris récents : environ 85 Ma se sont écoulés entre la mise en place de ces deux ensembles.

Les compositions isotopiques. — D'une manière générale les rapports isotopiques initiaux des gneiss gris récents ($0,7017 \pm 0,0008$) et des granodiorites porphyroïdes ($0,7014 \pm 0,0011$) sont bas, et même très bas pour les gneiss gris anciens ($0,6997 \pm 0,0004$). De telles valeurs sont interprétées comme proches des valeurs mantelliques et permettent d'affirmer que tous ces matériaux ne peuvent pas provenir du recyclage de matériaux crustaux beaucoup plus anciens. Ceci implique donc que les âges Rb-Sr reflètent l'âge de mise en place des protolithes, conclusion confirmée par la bonne concordance entre les âges Rb-Sr et les âges sur monozircon. Toutefois si le I_{Sr} des gneiss gris anciens est très bas et franchement dans la gamme des valeurs mantelliques à cette époque, les I_{Sr} des gneiss gris récents et des granodiorites sont significativement plus élevés et très proches des valeurs maximales admises pour le manteau à $\approx 3,17-3,15$ Ga. Cela pourrait donc aussi refléter pour partie un recyclage de la croûte continentale. La croûte contaminante serait probablement les gneiss gris anciens, cette hypothèse est actuellement éprouvée à l'aide des isotopes du Nd.

L'interprétation des I_{Sr} des granites gris est plus hasardeuse du fait que leur âge ne nous est indiqué que par une isochrone de référence à deux points. Toutefois si cet âge est bien celui de la cristallisation du magma granitique, le I_{Sr} de $0,710 \pm 0,001$ reflète une origine typiquement crustale. Il semble donc au simple vu des données isotopiques du Sr que l'influence d'une croûte continentale dans la région de Sete Voltas est devenue de plus en plus importante au cours du temps. Ceci est en accord avec le fait que la masse de croûte continentale s'est elle aussi considérablement accrue dans la même période.

Ce travail est une contribution aux programmes C.N.R.S.-I.N.S.U. : « Dynamique et bilan de la Terre » et au projet « Granitoides da Bahia : geologia e metalogenese » qui a reçu le support financier de la F.I.N.E.P. (P.A.D.C.T./U.F.B.A., C.N.P.q/ORSTOM, S.G.M.E.-S.M.E. (Ba)/U.F.B.A. et C.N.E.N./U.F.B.A.

Note remise le 17 juillet 1991, acceptée le 23 juillet 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. MARTIN, *Geology*, 14, 1986, p. 753-756.
- [2] F. F. M. DE ALMEIDA, Y. HASUI, B. B. DE BRITO-NEVES et R. A. FUCK, *Atas. Soc. Bras. Geol. Campina Grande*, 1977, p. 363-391.
- [3] P. SABATÉ, M. CUNEY et Ph. VIDAL, 36 *Congr. Bras. Geol. Natal*, 1990, p. 323.
- [4] P. SABATÉ, M. M. MARINHO, Ph. VIDAL et M. CAEN-VACHETTE, *Chem. Geol.*, 83, 1990, p. 325-338.
- [5] M. CUNEY, P. SABATÉ, Ph. VIDAL, M. M. MARINHO et H. CONCEIÇÃO, *Journal Volc. Geotherm Res.*, 44, 1990, p. 123-141.
- [6] J. DE MASCARENHAS. *Soc. Bras. Geol., Aracaju*, 2, 1973, p. 35-66.
- [7] U. G. CORDANI et S. S. IYER, *Precamb. Res.*, 9, 1978, p. 255-274.
- [8] U. G. CORDANI, K. SATO et M. M. MARINHO, *Precamb. Res.*, 27, 1985, p. 187-213.
- [9] J. S. BARBOSA, *Thèse doct.*, Univ. Paris-VI, *Mem. Sci. Terre*, 86-34, 1986, p. 1-401.
- [10] N. WILSON, S. MOORBATH, P. N. TAYLOR et J. S. F. BARBOSA, *Chem. Geol.*, 70, 1988, p. 146.
- [11] M. M. MARINHO, E. F. A. DA SILVA, G. A. D. C. LOPES, J. V. SOARES et M. J. M. CRUZ, *Comp. Bahiana Pesqui., Miner/Secr. Min. Energ.*, Salvador, 1980.
- [12] J. T. O'CONNOR, *U. S. Geol. Surv. Prof. pap.* 525-B, 1965, 79-84.
- [13] F. BARKER et J. G. ARTH, *Geology*, 4, 1976, p. 596-600.

H. M. et J.-J. P. : C.A.E.S.S., U.P.R. n° 4661,

Université de Rennes-I, campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex.

P. S. : ORSTOM, C.P. n° 4021, Barra, 40160 Salvador, Bahia, Brésil;

J.-C. C. : C.B.P.M. Salvador, Centro administrativo da Bahia, 4000 Salvador, Bahia, Brésil.