

Géologie/Geology

## Évolution géodynamique et géochronologie (U-Pb, Rb-Sr et K-Ar) de la ceinture plissée d'Orós, NE du Brésil

Jaziel-Martins SA, Jean-Michel BERTRAND et Jacques LETERRIER

**Résumé** – La ceinture plissée d'Orós, rattachée à la Province géologique Borborema, est composée d'une séquence (méta)volcano-sédimentaire et d'intrusions plutoniques d'âge Protérozoïque. Les âges U-Pb (zircons) de  $1\,790 \pm 9$  et  $1\,673 \pm 20$  Ma établis respectivement sur une métarhyolite et un orthogneiss alcalin sont interprétés comme des âges de mise en place. Au Protérozoïque supérieur, des granites datés à 665 Ma accompagnent la déformation associée au cycle orogénique brésilien.

### Geodynamic evolution and geochronology (U-Pb, Rb-Sr and K-Ar) of the Oros belt, NE Brazil

**Abstract** – The Oros belt, located in the Borborema Province, is formed by a (meta)volcano-sedimentary sequence and several plutonic intrusions. Zircon U-Pb ages of  $1,790 \pm 9$  and  $1,673 \pm 20$  Ma for metarhyolites and augen gneisses respectively are interpreted as emplacement ages. Syntectonic granites (665 Ma) coeval with the Brazilian deformation were emplaced in Upper Proterozoic times.

**Abridged English Version** – The Oros belt is located in the Borborema Province [1], Northeast Brazil (Fig. 1). This province includes an Archaean/Early Proterozoic basement and several Proterozoic mobile belts. Two opposite models for the geodynamic evolution of these belts were proposed: (i) all these belts were affected only by the Brasiliano (Pan-African) orogenesis [2]; (ii) the Early Proterozoic belts were affected successively by the Transamazonian (Eburnean) and Brasiliano orogeny [3].

The Oros belt is formed by a volcano-sedimentary sequence cross-cut by plutonic rocks. During the Brasiliano orogeny, three phases of folding are coeval with NNE-SSW to ENE-WSW transcurrent dextral shear zones [5]. The (meta)volcanic units are located at the base of (or close to) the (meta)sedimentary sequence and comprise non-cogenetic andesites and rhyolites. The less evolved andesites present a geochemical signature similar to that of shoshonitic island arc basalts [6]. Overlying rhyolites exhibit chemical relations similar to post-tectonic sub-alkaline granites [6]. These volcanic rocks are cross-cut by an alkaline augen gneiss whose chemical composition is similar to that of the anorogenic (A-type) granites. Previous geochronological Rb-Sr data [4] yielded a Mid-Proterozoic (1,700–1,800 Ma) age for the andesites and augen gneisses. The last magmatic event occurring in the region is represented by a syntectonic – with respect to a major shear zone – microporphyratic S-type orthogneiss ( $665 \pm 40$  Ma) [7].

New U-Pb data on zircon, Rb-Sr on whole-rock and K-Ar on biotites are presented in this paper. The post-tectonic rhyolites yielded similar U-Pb and Rb-Sr ages ca. 1,790 Ma and the anorogenic augen gneiss furnished a U-Pb age ca. 1,680 Ma (Fig. 2) interpreted as representing emplacement ages.

As there are no sediments interlayered between the andesites and overlying rhyolites, and as both exhibit chemical signatures which may be interpreted as late- to post-orogenic magmas, the age of the andesites must be close to that of the rhyolites. These data and previously published evidence for a Transamazonian imprint on the Archaean/Early Proterozoic basement ([3], [8], [9], [10]) suggest the following evolutionary model for the Oros belt:

Note présentée par Georges MILLOT.

1. Crustal relaxation after a compressive orogenic period, inducing the rise of late to post-orogenic andesites followed by rhyolitic magmas ca. 1,790 Ma; this stage represents the initiation of the Oros basin. 2. Intrusion of anorogenic granites (ca. 1,670 Ma) cross-cutting the volcanic sequence and, at least, the bottom of the sedimentary pile. 3. In late Proterozoic times, long after its completion, the Oros basin was affected by the Brasiliano orogenic cycle which generated a syntectonic microporphyrific orthogneiss (ca. 650 Ma) [7]; the 520 Ma K-Ar age on biotites from the augen gneisses indicates the end of this orogenic cycle.

In the Borborema Province, the Oros belt represents a well-characterized early Mid-Proterozoic volcano-sedimentary sequence. It is interpreted as related to strain relaxation and extensional behaviour after the completion of the Transamazonian orogeny. Outside of the Borborema Province, similar sequences of this age are known in Northeast and North Brazil: 1. The Uatumã Supergroup (1,900-1,800 Ma), in the Amazonia-Guyana Craton exhibits a calc-alkaline andesitic suite followed by sub-alkaline rhyolites [11]. This sequence is cross-cut by alkaline anorogenic granites (1,700 Ma) with a tectonic and geodynamic setting not yet well settled [12]. 2. In the São Francisco Craton, early Mid-Proterozoic rhyolites (1,750 Ma) are also described at the base of the Espinhaço sedimentary Group [14] as well as sub-alkaline granites (1,720 Ma) intruding the underlying basement [15]. However, this sequence does not exhibit mafic volcanics as in Oros and in Uatumã.

It must be stressed that the Transamazonian imprint is well-documented in the basement of both the Amazonia-Guyana and the São Francisco Cratons ([13], [16]). Thus, the Oros, Uatumã and Espinhaço volcano-sedimentary sequences may outline a major, continental-size, extensional event that occurred in Mid-Proterozoic times just after the end of the Transamazonian orogeny.

I. INTRODUCTION. — La Province précambrienne Borborema [1] au NE du Brésil est subdivisée en plusieurs ceintures qui associent un socle gneissique d'âge Archéen/Protérozoïque inférieur et des séquences volcano-sédimentaires Protérozoïque. Les deux ensembles sont recoupés par d'abondantes intrusions plutoniques d'âge Protérozoïque inférieur (ca. 2 000 Ma) à supérieur (ca. 600 Ma). L'évolution géodynamique des séquences supracrustales dans cette Province fait actuellement l'objet de deux interprétations opposées. 1° L'existence de plusieurs bassins de sédimentation actifs tout au long du Protérozoïque et uniquement affectés par l'orogénèse Brésilienne-Panafricaine [2]; ce modèle monocyclique considère les granites d'âge Protérozoïque inférieur comme anorogéniques. 2° Certains bassins sont d'âge Protérozoïque inférieur et ont été successivement affectés par les cycles orogéniques Transamazonien (Eburnéen) et Brésilien [3]; ce modèle orogénique polycyclique distingue deux cycles magmatiques syntectoniques Protérozoïques inférieur et supérieur.

Le but de cette étude est de présenter de nouvelles données isotopiques U-Pb, Rb-Sr et K-Ar sur le magmatisme ante-Brésilien de la ceinture d'Orós localisées dans la partie centrale de la Province Borborema (*fig. 1*). Cette ceinture échappe à la controverse car son évolution tectonique monocyclique — bien que polyphasée — est évidente et bien contrastée par rapport à celle des terrains Archéen/Protérozoïque inférieur sous-jacents. De plus, les âges disponibles [4], entre 1 700 et 1 800 Ma, sont nettement postérieurs à l'événement Transamazonien/Eburnéen.

II. CADRE GÉOLOGIQUE. — Encaissée dans un socle Archéen/Protérozoïque inférieur, la ceinture d'Orós (*fig. 1*) est constituée d'une puissante séquence métasédimentaire

(quartzites, métapélites et marbres) comportant, à proximité de sa base, un complexe volcanique bi-modal (méta-andésites et métarhyolites). L'ensemble est recoupé successivement par des granites porphyriques (gneiss œillés) et des granites microporphyriques. La ceinture a été affectée par la succession de trois phases tectono-métamorphiques d'âge Brésilien associées à des zones de décrochement dextre de direction NNE-SSW à ENE-WSW [5].

Le complexe basique à intermédiaire qui constitue la base de la séquence volcanique forme une séquence continue depuis des andési-basaltes jusqu'à des dacites. Les termes les plus primitifs de cette séquence montrent une signature géochimique semblable à celle des basaltes shoshonitiques d'arc insulaire [6] : enrichissement en terres rares légères, rapport La/Nb très élevé, Nb/Th très bas et anomalie négative accentuée en Nb. Les rhyolites sont stratigraphiquement superposées – sans intercalation sédimentaire – aux andésites et forment l'essentiel du complexe volcanique. Elles constituent un ensemble géochimiquement disjoint de la série andésitique, ce qui suggère une source distincte et présentent une signature de magmatisme transitionnel (sub-alkalin à monzonitique) semblable à celle de granites post-tectoniques [6].

Le complexe volcanique et les formations métasédimentaires susjacentes sont recoupés par un gneiss œillé qui présente les caractères géochimiques d'un granite alcalin très évolué et une claire signature de magmatisme anorogénique [6]. Le dernier épisode magmatique de la ceinture d'Orós correspond à la mise en place de plutons granitiques microporphyriques (type S) d'âge brésilien [7].

III. DONNÉES ISOTOPIQUES. – Une première approche isotopique Rb-Sr [4] sur le complexe volcanique et le gneiss œillé n'avait permis d'obtenir, du fait de la dispersion des données analytiques, qu'une indication d'âge Protérozoïque moyen inférieur pour ces deux ensembles ( $1\,704 \pm 46$  Ma pour les andésites et  $1\,762 \pm 174$  Ma pour les gneiss œillés). Les granites microporphyriques ont été datés, par la méthode Rb-Sr à 665 Ma [7].

Les nouvelles données combinent les méthodes U-Pb sur zircons, Rb-Sr sur roches totales et K-Ar sur biotites. Les analyses isotopiques ont été réalisées au C.R.P.G. (gneiss œillés), à l'Université du Kansas (données U-Pb sur les rhyolites) et à l'Université de São Paulo (données Rb-Sr sur les rhyolites). Les données analytiques sont disponibles sur demande aux auteurs.

1° Les zircons des rhyolites sont limpides, de teinte jaune pâle, de forme prismatique peu allongée, avec les faces (100) > (110). Au microscope électronique à balayage (MEB) ils montrent une zonation de croissance primaire, avec parfois une fine couche discontinue de surcroissance métamorphique. Trois fractions de zircon d'un échantillon de cette rhyolite définissent, dans le diagramme  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  une discordia (MSWD=0,11) dont les intercepts avec la concordia donnent respectivement les âges de  $1\,790 \pm 9$  et  $440 \pm 23$  Ma (fig. 2 a). L'analyse isotopique Rb-Sr en roche totale sur la rhyolite permet de définir une isochrone (MSWD=0,15) donnant un âge de  $1\,780 \pm 54$  Ma avec un rapport initial ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) de  $0,7020 \pm 0,0028$  (fig. 2 a). La très bonne concordance entre cet âge et celui défini par l'intercept supérieur du diagramme concordia atteste que les rhyolites, et donc les andésites qui les précèdent sans discontinuités, se sont mises en place au Protérozoïque moyen.

2° Les zircons des gneiss œillés sont limpides, de teinte jaune très pâle et de forme prismatique allongée avec, toutefois, une variation de la forme du prisme depuis (100)  $\gg$  (110) à (100)  $\approx$  (110). L'observation au MEB montre des zonations de croissance primaires avec, parfois, une surcroissance fine et discontinue. Quatre fractions de zircon

d'un échantillon de ce gneiss œillé définissent une discordia ( $MSWD=1,87$ ) dont les intercepts donnent les âges  $1\,673 \pm 20$  et  $119 \pm 39$  Ma (*fig. 2b*). L'âge de  $522 \pm 1$  Ma obtenu par la méthode K-Ar sur la biotite peut être interprété comme la fermeture du système isotopique à la fin de l'orogénèse brésilienne.

IV. ÉVOLUTION GÉOGYNAMIQUE DE LA CEINTURE D'ORÓS. — Les âges U-Pb obtenus pour les rhyolites et les gneiss œillés ( $1\,790 \pm 9$  et  $1\,673 \pm 20$  Ma), étant respectivement confortés par les données Rb-Sr et leurs positions stratigraphiques, peuvent s'interpréter comme l'âge de mise en place de ces deux unités. La mise en place de la série volcanique à la base de la séquence d'Orós, et donc l'initiation du bassin, sont significativement postérieures au cycle orogénique Transamazonien-Eburnéen ( $2\,100$ - $1\,850$  Ma) bien caractérisé régionalement dans le socle Archéen/Protérozoïque inférieur de la Province Borborema ([3], [8], [9], [10]).

Quoique associés spatialement et temporellement, les andésites et rhyolites ne sont pas cogénétiques, mais présentent des signatures géochimiques et géodynamiques compatibles avec celles des magmas engendrés dans un contexte tardi- à post-orogénique. Par contre, du fait de leur caractère alcalin très accentué, les gneiss œillés peuvent s'interpréter comme la manifestation d'un magmatisme anorogénique plutonique mis en place environ  $120$  Ma après la série volcanique.

Aucune discordance stratigraphique majeure n'a été reconnue au sein de la séquence volcano-sédimentaire d'Orós. Les mêmes éléments structuraux (plis et foliation métamorphiques) ont été identifiés depuis la base de la séquence ( $1\,800$  Ma) jusqu'aux granites d'âge Protérozoïque supérieur ( $665$  Ma). Les déformations présentes dans la ceinture d'Orós donc sont toutes attribuables au cycle orogénique Brésilien (Pan-Africain).

Sur la base de ces observations il est possible de proposer un modèle global de l'évolution géodynamique de la ceinture d'Orós.

1° Relaxation crustale avec collapse et extension après une période de compression orogénique, qui a permis l'initiation du bassin ainsi que la genèse et l'ascension des magmas andésitiques puis rhyolitiques dans une époque tardi- à post-tectonique, au Protérozoïque moyen inférieur (ca.  $1\,800$  Ma). L'ascension de ces magmas a pu être contrôlée par des failles listriques.

2° Vers la fin de la période de sédimentation, intrusion du magmatisme plutonique anorogénique (gneiss œillés) ca.  $1\,700$  Ma. La forme allongée de cette intrusion et sa localisation en bordure du socle suggèrent que sa mise en place a été contrôlée par des failles.

3° A la fin du Protérozoïque supérieur, l'ensemble est repris par les phases tectono-métamorphiques brésiliennes s'accompagnant de la mise en place de granitoïdes syn-orogéniques ( $665$  Ma) et s'achevant vers  $520$  Ma.

V. COMPARAISON AVEC D'AUTRES SÉQUENCES AU NORD ET NORD-EST DU BRÉSIL. — Au Nord et au Sud, en dehors de la Province Borborema; deux séquences volcano-sédimentaires d'âge voisin ont été définies : le Supergroupe Uatumã, dans le bouclier Amazonien (Nord du Brésil), et le Groupe Espinhaço, au Sud de la Province Borborema, discordant sur le Craton São Francisco.

1° Les roches magmatiques du Supergroupe Uatumã ( $1\,900$ - $1\,800$  Ma) sont des andésites à affinité calco-alcaline et des rhyolites sub-alcalines à alcalines [11]. Elles sont recoupées par des granites alcalins anorogéniques d'âge ca.  $1\,700$  Ma. Cependant, l'origine de ce magmatisme volcanique et sa liaison avec les granites anorogéniques ne sont pas

encore bien définies [12]. Plus au Nord, dans le bouclier Guyanais, le cycle Transamazonien est bien caractérisé vers 2000-1900 Ma [13].

2° Le Groupe Espinhaço est une séquence sédimentaire comportant des rhyolites sub-alcalines à la base, datées aux environs de 1750 Ma [14]. Des granites sub-alcalins (ca. 1720 Ma) sont intrusifs dans le socle sous-jacent et représentent un magmatisme anorogénique contemporain du début de la sédimentation [15]. Le socle a été affecté par le cycle Transamazonien [16], mais le Groupe Espinhaço ne contient pas de volcanisme basique comme Orós et Uatumã.

D'une façon générale, ces deux séquences peuvent être globalement corrélées avec la séquence d'Orós et donc correspondre à un épisode d'extension majeur post-orogénique transamazonien.

VI. CONCLUSIONS. — Les données présentées mettent en évidence : 1° l'âge du début de la séquence volcano-sédimentaire d'Orós vers 1800 Ma; 2° l'âge distinct des intrusions de roches plutoniques alcalines anorogéniques, 120 Ma après le début de la sédimentation; 3° l'âge Brésilien/Pan-Africain (665-520 Ma) de la déformation et du métamorphisme bien établi par la présence des granites syn-orogéniques.

Dans la Province Borborema, la ceinture d'Orós est unique, car elle comporte la seule séquence volcano-sédimentaire d'âge Protérozoïque moyen inférieur bien caractérisée qui présente une structuration uniquement due au cycle orogénique brésilien. Elle peut donc servir de modèle pour résoudre les ambiguïtés d'interprétation des autres ceintures Protérozoïques du NE du Brésil.

Nous remercions vivement Annie Michard et Danielle Dautel (C.R.P.G./C.N.R.S.) qui nous ont toujours aidé dans l'obtention des données U-Pb comme Maria H. F. Macedo pour les données Rb-Sr. Notre gratitude à J. L. Zimmermann qui a réalisé les analyses K-Ar, W. R. Van Schmus et B. B. Brito Neves pour l'autorisation d'utiliser les données U-Pb sur les rhyolites. Ce travail est financé par le Projet C.E.E. CII-0320-F (CD) « Northeast Brazil Tectonics ».

Contribution C.R.P.G. n° 867.

Note remise le 25 mars 1991, acceptée après révision le 4 juin 1991.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. F. M. ALMEIDA, Y. HASUI, B. B. BRITO NEVES et R. FUCK, *Earth Sci. Rev.*, 17, 1981, p. 1-29.
- [2] R. CABY, *Geol. Soc. America, Sp. Paper*, 230, 1989, p. 145-158.
- [3] M. H. F. MACEDO, E. F. JARDIM DE SA et J.-M. SA, *Simp. Geologia do Nordeste*, S.B.G., Brésil, 1, 1984, p. 253-262.
- [4] M. H. F. MACEDO, J. M. SA et K. KAWASHITA, *Rev. Brasileira de Geociências*, 18, (3), 1988, p. 1-24.
- [5] J.-M. SA, F. H. R. BEZERRA et R. PEREIRA, *Simp. Estudos Tectônicos*, Salvador, Brésil, 1, 1987, p. 1-3.
- [6] J.-M. SA et J. LETERRIER, *Prec. Res.* (soumis).
- [7] J.-M. SA, F. H. R. BEZERRA, M. H. F. MACEDO et R. PEREIRA, *Congr. Latino-Americano de Geologia*, Belém, Brésil, 1, 1988, p. 35-48.
- [8] R. R. PESSOA, B. B. BRITO NEVES, K. KAWASHITA, D. R. PESSOA et R. A. FUCK, *Simp. Geologia do Nordeste*, S.B.G., João Pessoa, Brésil, 1, 1986, p. 75-93.
- [9] H. MARTIN, E. F. JARDIM DE SA, H. MEDEIROS, M. H. F. MACEDO et J. LETERRIER, *Congr. Brasileiro de Geologia*, Natal, Brésil, 1, 1990, p. 180-181.
- [10] P. C. HACKSPACHER, W. R. VAN SCHMUS et E. L. DANTAS, *Congr. Brasileiro de Geologia*, Natal, Brésil, 6, 1990, p. 2683-2696.
- [11] J. O. S. SANTOS, *Congr. Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, Brésil, 9, 1984, p. 4526-4538.
- [12] R. DALL'AGNOL, J. S. BITTENCOURT, X. F. JORGE-JOÃO, H. MEDEIROS, H. T. COSTI et M. J. B. MACAMBIRA, *Rev. Brasileira de Geociências*, 17, (4), 1987, p. 382-403.

- [13] X. S. JORGE-JOÃO, C. A. SANTOS et A. PROVOST, *Simp. Geologia da Amazônia*, S.B.G., Belém, Brésil, 2, 1985, p. 93-109.
- [14] B. B. BRITO-NEVES, K. KAWASHITA, U. G. CORDANI et J. DELHAL, *Rev. Brasileira de Geociências*, 9, (1), 1979, p. 71-85.
- [15] L. T. TURPIN, P. MARUEJOL et M. CUNEY, *Contr. Min. Petrol.*, 98, 1988, p. 139-147.
- [16] U. G. CORDANI et B. B. BRITO-NEVES, *Rev. Brasileira de Geociências*, 12, (1/3), 1982, p. 78-88.

J.-M. S., J.-M. B. et J. L. : C.R.P.G./C.N.R.S., B.P. n° 20, 54501 Vandœuvre;

J.-M. S. : Departamento de Geologia, U.F.R.N., 59075 Natal, Brésil.

#### EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 1. — Carte géologique de la ceinture d'Orós et sa localisation dans la Province Borborema, Nord-Est Brésil.

Fig. 1. — Sketch map of Oros belt and its position in the Borborema Province, Northeast Brazil.

Fig. 2. — Diagrammes  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  pour les rhyolites (a) et gneiss œillés (b). Les blancs de plomb sont inférieurs à 1 ng. Les corrections apportées pour le plomb commun sont pour  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,60$  et pour  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,50$ . L'erreur sur  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  et  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  est de 1,5%. Le carré dans le cadre (a) représente un diagramme isochrone Rb-Sr obtenu pour les rhyolites.

Fig. 2. —  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  diagrams for rhyolites (a) and augen gneisses (b). Total lead processing blanks are smaller than 1 ng. Common lead corrections are  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.60$  and  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.50$ . Errors on  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  are 1.5%. The square in (a) represents a Rb-Sr isochron from the rhyolites.

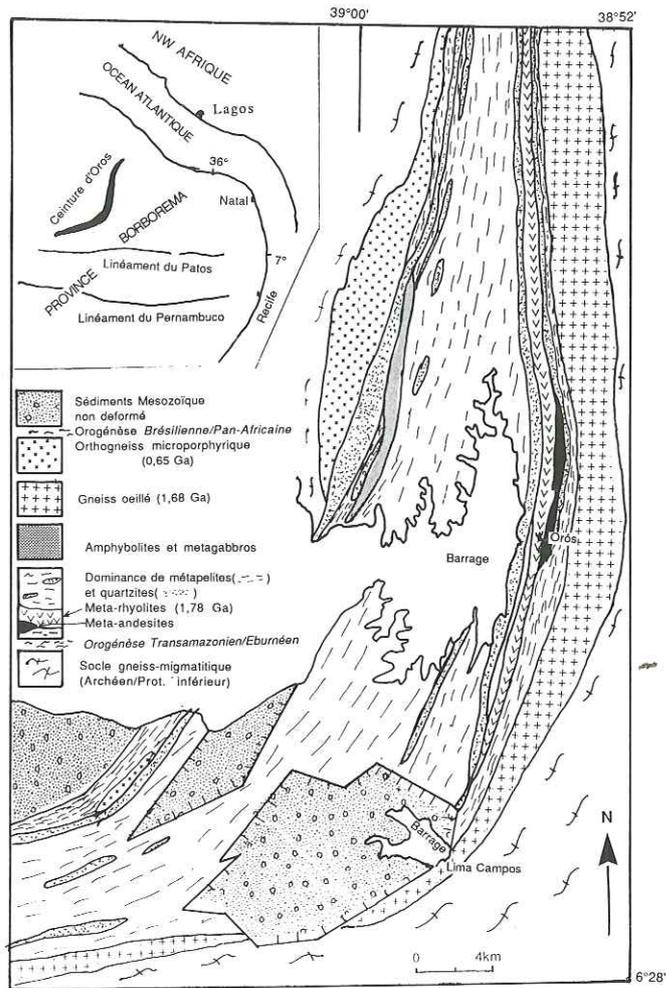


Fig. 1

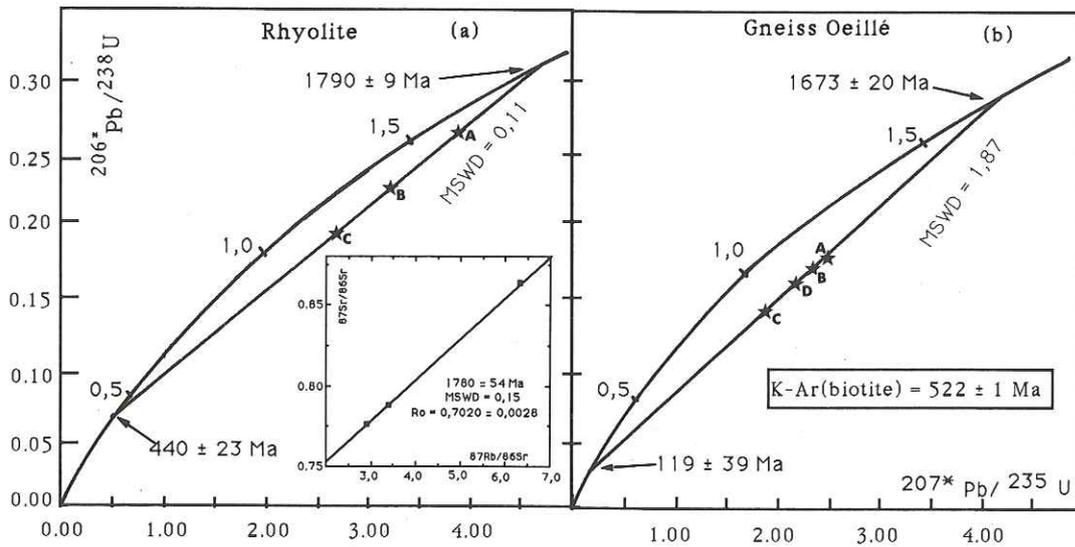


Fig. 2