

Le karst du Sud-Est du Piauí (Brésil) : premiers éléments chronologiques

Joël Rodet

UMR 6143 CNRS – Morphodynamique Continentale et Côtière

Laboratoire de Géologie de l'Université de Rouen

F-76821 MONT SAINT AIGNAN CEDEX, France

joel.rodet@univ-rouen.fr

The karst of the southeastern Piauí (Brazil): first chronological data

The southeastern Piauí state overlies the contact between the north of the São Francisco craton and the Parnaíba sedimentary basin, presenting a significant geological diversity. There are several small and deeply karstified hills. The Pre-Cambrian limestone went through a first emersion during the Primary Era, being submerged by the Silurian-Permian Parnaíba sea. Afterwards, it experienced a second emersion more than 350 millions years ago. Karst evolution has been continuous since then, culminating in the present stage of residual hills. Some morphological elements give an insight into a long and complex evolution in an area that lacks precise chronological data.

Key-Words: karst, Pre-Cambrian limestone, geomorphological evolution, Brazilian Northeastern, Piauí, São Francisco craton, sedimentary basin of Parnaíba.

O carste do sudeste do Piauí (Brasil): primeiros elementos cronológicos

O sudeste do Piauí engloba o contato geológico entre o norte do cráton do São Francisco e a parte sul da bacia sedimentar do rio Parnaíba, apresentando uma diversidade geológica significativa. Em particular, ocorrem pequenos morros bastante carstificados. Após uma primeira fase de emersão na Era Primária, os calcários do período Pré-Cambriano foram recobertos pelos arenitos silurianos-permianos do mar do Parnaíba. Seguiu-se uma segunda emersão a mais de 350 milhões de anos. As fases cársticas se sucederam até que a erosão reduzisse o relevo ao estágio atual de morros. Alguns elementos permitem evidenciar várias fases de uma longa e complexa evolução em um setor onde faltam referências cronológicas claras.

Palavras-Chaves: carste, calcários Pré-Cambrianos, evolução geomorfológica, Nordeste, Piauí, cráton do São Francisco, bacia sedimentar do Parnaíba.

Résumé : Le sud-est de l'état du Piauí, recouvrant la rupture entre le nord du craton du São Francisco et le bassin sédimentaire du Parnaíba, présente une variété géologique importante pour le Brésil. En particulier, se développent des petits massifs fortement karstifiés. D'âge pré-cambrien, les calcaires qui les composent, après une première phase d'émergence au Primaire, sont recouverts par la mer siluro-permienne du Parnaíba, avant de connaître, depuis plus de 350 millions d'années, une seconde émergence. Les phases karstiques s'y sont succédées jusqu'à ce que l'érosion réduise à l'état actuel de chicots, une extension majeure de calcaires. Certains éléments morphologiques permettent de dégager quelques phases d'une évolution longue et complexe dans un secteur qui manque de repères chronologiques clairs.

Mots-Clés : karst, calcaires pré-cambriens, évolution géomorphologique, Nordeste, Piauí, craton du São Francisco, bassin sédimentaire du Parnaíba.

Le Sud-Est de l'état du Piauí est une région karstologique méconnue du Nordeste brésilien (fig. 1), située à l'intérieur du semi-aride "polygone des sécheresses". A la limite de l'influence des masses d'air atlantique apportées par les alizés de sud-est, et des masses d'air continental équatorial, le haut bassin du Piauí est soumis à un climat semi-aride chaud, avec des pluies d'été (classe BShw de Köppen). La sécheresse y dure en général de mai à octobre. La moyenne des précipitations est de 650 mm/an, mais, en dehors des contraintes thermiques et hydriques, ce chiffre n'a guère de signification en raison d'une extrême irrégularité génératrice de grandes sécheresses catastrophiques ou d'inondations. En effet, sur le même site, on peut relever une année 250 mm, voire même 0 mm, et l'année suivante plus de 1.100 mm [EMPERAIRE, in ARNAUD *et al.*, 1984].

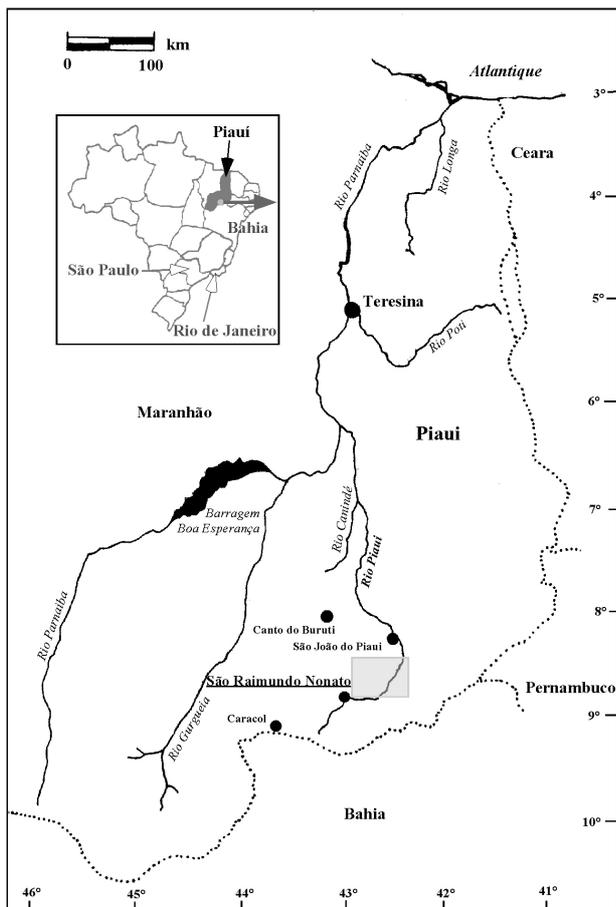
Le secteur d'étude est délimité par les coordonnées géographiques, 8°30' et 9° de latitude sud, et 42° et 43° de longitude ouest, et s'étend sur les municipes de São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, São João do Piauí et Canto do Buriti. Dans cette zone, a été créé, en 1979, le Parc National de la

"Serra da Capivara", déclaré en décembre 1991, "patrimoine culturel de l'humanité" par l'Unesco, pour sa richesse archéologique exceptionnelle [PROUS, 1991].

Deux ensembles de massifs calcaires [RODET, 1997] sont connus (fig. 2). Le premier se développe entre la cuesta et la route fédérale BR-20, entre le "sítio do Garrincho" (São Raimundo Nonato) et "Barragem" (Coronel José Dias), selon un alignement assez régulier de 8 mornes. Le second s'étend à l'est, entre "Barragem" et "Borda", en un grand nombre de petits mornes faiblement élevés au-dessus du pédiment. Les travaux réalisés ont mis en évidence des relations stratigraphiques entre chacune des unités calcaires, et il semble s'agir d'une seule et même unité dont seules les pointes les plus élevées percent au-dessus de l'épandage détritique du glaciaire [RODET, 1993].

Le contexte géologique

La région étudiée se situe sur le craton pré-cambrien du São



Francisco, au pied de la cuesta du bassin siluro-permien du Parnaíba dont le front domine une vaste dépression subséquente méridionale (fig. 2). Les matériaux arrachés à la cuesta gréseuse et conglomératique sont épanchés en un long glacis sur un pédiment, la *planície*, modelé à partir du rio São Francisco, fleuve majeur du Nordeste s'écoulant plus au sud [PETRI et FULFARO, 1988]. De cette platitude émergent quelques reliefs résiduels. Beaucoup sont des inselbergs de gneiss ou de quartzites, mais certains, au pied même de la cuesta, sont des chicots calcaires, des *serrotes* et des

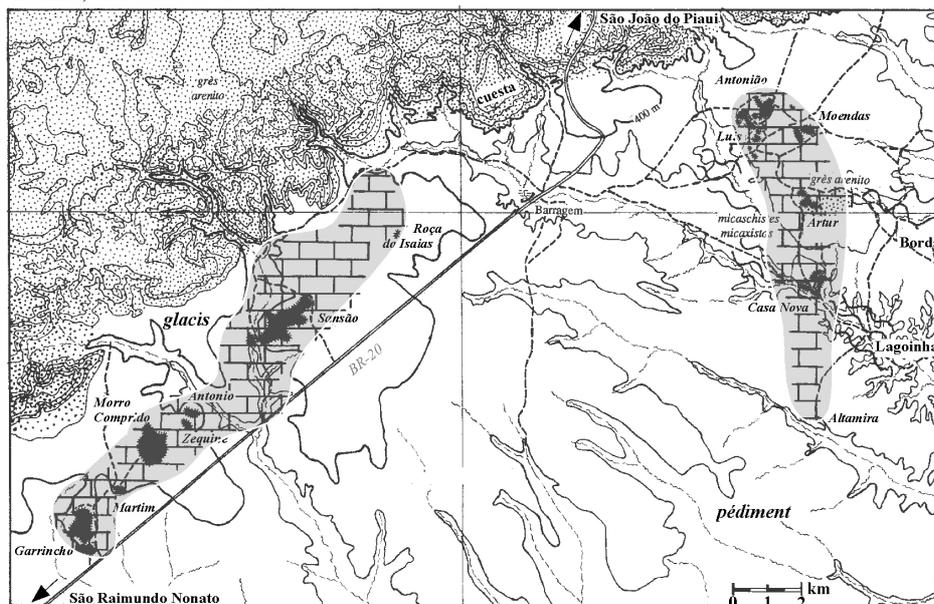
morros, à la morphologie karstique très développée [PELLERIN, in ARNAUD *et al.*, 1984].

Figure 1 : situation de l'aire d'étude. Location of the studied area.

Le socle, archéen et protérozoïque inférieur, est composé au sud de gneiss et migmatites (Groupe Caraíba) et au nord de micaschistes (Groupe Salgueiro). Cette dernière série renferme en outre des niveaux de calcaires métamorphiques et de quartzite qui apparaissent en relief dominant. Accompagnant le cycle tectonique Brasiliano (680-450 millions d'années), une première phase d'émersion laisse supposer une karstification très ancienne (dépression du Serrote do Artur) qu'aurait fossilisée la submersion siluro-permienne du Parnaíba, mais ses témoins sont délicats à identifier.

Après cette phase sédimentaire à faible diagenèse (grès quartzeux, surmontés de conglomérats quartzeux, dans lesquels l'érosion a dégagé la cuesta), l'émersion fini-permienne initie une phase d'évolution continentale en relation avec l'évolution du cours du paléo-fleuve São Francisco. Jusqu'au Santonien, le cours inférieur est orienté vers le nord (golfe marin du Parnaíba), ce qui doit limiter l'évolution continentale de la région étudiée. Il faut attendre le soulèvement post-crétacé pour permettre le dégagement de la cuesta et de la dépression subséquente [AB'SÁBER, 1972]. Cette surrection est responsable d'une phase d'endoréisme du paléo-São Francisco durant le Mio-Pliocène (plateforme de calcaires blancs lacustres de Bom Jesus da Lapa à Juazeiro-Petrolina, de 10 m de puissance [BRANNER, 1910] qui draine le bassin du haut-Piauí, avant qu'enfin se réalise la capture par un fleuve côtier baianais (cascades de Paulo Alfonso). Pendant ce temps, le rio Parnaíba se développe vers le sud et un de ses affluents, le rio Canindé atteint, par érosion régressive, la dépression subséquente. Il en résulte la capture du bassin du haut-Piauí, dont le cours d'eau s'enfonce d'une vingtaine de mètre dans le pédiment, en abandonnant son parcours vers le São Francisco. C'est la situation actuelle.

Figure 2 : les massifs calcaires de l'aire d'étude. The limestones unities of the studied area.



Le karst relique du Haut Piauí

Au-dessus du pédiment, les sommets des dépôts calcaires ont subi une karstification intense et profonde, avec introduction des débris arrachés à l'environnement non carbonaté (glacis). Il

en résulte un comblement des conduits par des éléments grossiers (notamment des galets de quartz) et fins (argiles de décantation). Ces paléo-drains comblés de remplissages fortement indurés, sont aujourd'hui recoupés par l'érosion, et illustrent une première "phase" de karstification, d'âge possible tertiaire, avec un cavernement profond et dense de la masse. Le ciment siliceux des comblements d'argiles rubéfiées à galets de quartz, assure une homogénéisation et une forte résistance : on retrouve des planchers à substitution de la calcite par la silice, ce qui laisse supposer une longue phase d'enneigement en climat chaud. C'est aussi l'indication d'une succession complexe de types dynamiques dont il n'est pas possible, actuellement, d'élaborer la chronologie. Depuis le Pléistocène, l'ensemble s'exonde et s'assèche.

Le niveau de base hydrologique est représenté par le paléolito du rio Piauí vers lequel se réalise le drainage de la dépression et du front de cuesta. La capture du rio Piauí, par la percée du rio Canindé à São João do Piauí, engendre un enfoncement du drainage, d'au-moins 20 m sous le glacis, qui se répercute dans les massifs calcaires. Cette dernière phase est relativement récente, fini-tertiaire ou Quaternaire ancien. Les mornes, très cloisonnés par la tectonique qui les individualise morphologiquement, sont dans la partie Est, des écaillies calcaires, bousculées par une phase tectonique chevauchante. Dans la partie occidentale, on observe une succession

Une évolution complexe : la toca da Coroa de Frade

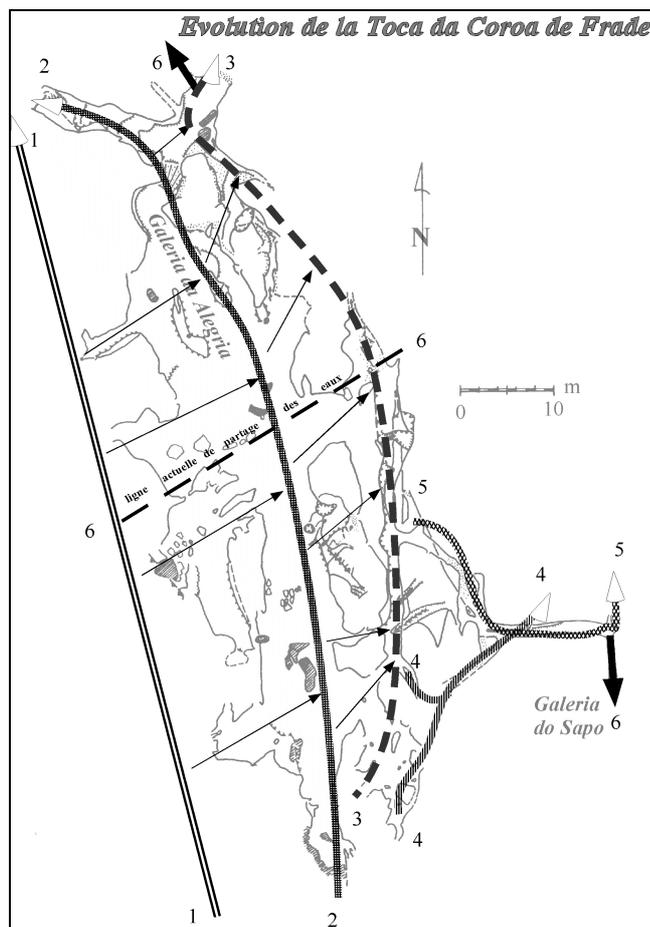


Figure 3 : évolution du drainage dans la Toca da Coroa de Frade. Underground drainage evolution in the Coroa de Frade cave.

d'ondulations dont la cartographie reste à faire.

Le karst nu se développe essentiellement dans les mornes ou serrotes, ce qui n'exclut pas des surfaces calcaires au niveau du pédiment. On y distingue des formes de corrosion en kamenitza, et d'autres en rainures (rillenkarren), dégageant par coalescence des lapiés (spitzkarren). Cette morphologie superficielle se surimpose très souvent à des formes souterraines recoupées par l'érosion (bases de puits ou parois de galerie). Les mégaformes superficielles résultent généralement de tels recoupements et sont rarement des formes originelles. Des avens et des grottes donnent accès à l'endokarst.

Le karst couvert concerne des étendues beaucoup plus importantes. Cependant les conditions de l'aridité, la nature des couvertures du glacis et la végétation serrée de la caatinga en limitent l'expression. On observe, ici ou là, une doline généralement peu profonde (plusieurs centaines de mètres de diamètre pour quelques mètres de profondeur), une perte ponctuelle (en période de pluie), mais aucune source, aucun aven. Localement, on peut rencontrer quelques crypto-lapiés exhumés de leur couvert argileux, près des pistes, mais, l'absence de forme exceptionnelle et surtout une faible densité des phénomènes caractérisent ce paysage de glacis [RODET, 1995].

Les mornes calcaires sont extrêmement réduits en dimension et ne s'élèvent à plus de 100 m au-dessus du glacis. Ils soulignent un aspect résiduel que confirme la présence de nombreux recoupement par la topographie de paléo-drains. Sur un potentiel d'un millier de cavités, à peine une soixantaine ont été explorées. L'aspect fragmentaire du karst est renforcé par la

dimension relique des développements souterrains (moins de 400 m pour la plus longue grotte), ce qui ne doit pas masquer la densité des indices morphologiques d'une évolution complexe et variée. Ainsi, la Toca da Coroa de Frade, cavité majeure du Serrote do Antônio, présente de nombreuses variations du drainage, illustrées par l'organisation de ses conduits (fig. 3):

1 - Là où est établi le vallon qui isole le serrote da Bastiana du serrote do Antônio, a été identifié un paléo-collecteur orienté sud/nord (axe 1 du schéma d'évolution), aujourd'hui détruit (quelques éléments endokarstiques isolés ont été retrouvés).

2 - Le pendage stratigraphique favorable a facilité le glissement du drainage souterrain vers l'est par un grand nombre de petits conduits de fuite jusqu'à l'établissement d'un deuxième collecteur (axe 2 : *galeria da Alegria*). Les conditions géomorphologiques restent stables puisqu'on ne note pas de déviation notable du drainage karstique. On peut penser que le pédiment s'abaisse légèrement sans modification fondamentale du relief.

3 - Par contre, avec la troisième phase, on note une première influence sur le drainage souterrain par un coude soudain de l'aval du drainage vers l'est, indiquant une modification des conditions de drainage et donc du relief extérieur, peut-être due à un enfoncement plus fort du niveau de base et le creusement d'un vallon vers l'est (capture karstique ?).

4 - La phase 4 confirme la modification radicale des conditions de drainage, puisque le sens d'écoulement s'inverse et décrit une boucle vers le sud (axe 4-4), avant de retrouver sa direction septentrionale. L'éloignement vers l'est du drainage est un élément important.

5 - la cinquième phase confirme l'évolution précédente, l'abaissement du niveau de base entraînant l'enfoncement du drainage souterrain et des captures, tandis que l'influence orientale augmente. On peut rapprocher cette observation de celle de l'évolution de la Toca da Barra do Antônio, grande cavité proche qui est peut-être alors recoupée par la surface.

6 - La situation actuelle montre, par delà la fossilisation saisonnière de la cavité, son inadaptation à la topographie locale.

On note la duplication des exutoires actuels (6), l'un au nord qui retrouve l'orientation initiale des phases 1 et 2, l'autre à l'est qui s'oriente résolument vers le sud. A l'intérieur de la cavité, cette duplication du drainage est soulignée par une ligne de partage des eaux (6-6) : celles qui atteignent la cavité au nord, rejoignent l'exutoire nord, tandis que celles qui rejoignent la partie méridionale de la grotte, se dirigent vers l'exutoire sud (Galeria do Sapó).

Le Serrote do Antônio : essai de chronologie

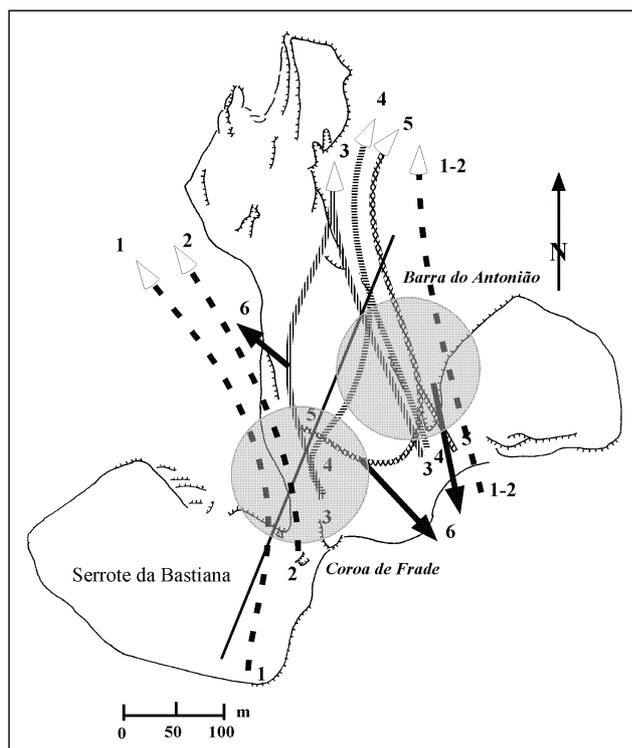


Figure 4 : variations du drainage karstique dans le serrote do Antônio. Karst drainage evolution in the Antônio's hill.

L'introduction de ce schéma dans l'extension actuelle du massif calcaire est particulièrement parlante (fig. 4). On peut maintenir la comparaison avec l'évolution de la Toca da Barra do Antônio, ancien axe majeur de drainage du massif, dont les eaux fuient elles aussi vers le sud. Si l'on affine la comparaison entre les deux cavités, on peut distinguer :

1 - une première phase (axes 1 et 2) pendant laquelle les deux cavités doivent évoluer en parallèle, sans liaison directe affirmée.

2 - Lors d'une seconde phase (axe 3), l'évolution locale semble favoriser le développement de la Toca da Barra do Antônio, semble-t-il plus proche du bord du massif calcaire.

3 - Cette préférence se confirme dans une troisième phase (axes 4 et 5), lorsque cette dernière domine clairement le drainage souterrain du massif, soustrayant les eaux de la partie occidentale vers la partie orientale, jusqu'à la trépanation et la destruction de la cavité.

4 - La quatrième et dernière phase est l'actuelle (axe 6), où la pauvreté des précipitations ne permet pas l'entretien d'un drainage pérenne. L'isolement du serrote dans la topographie locale est suffisant pour permettre une diffuence du drainage souterrain et le morcellement de l'ancienne unité hydrologique.

Conclusion

Reconstituer l'évolution des vieux ensembles karstifiés des zones semi-arides du Brésil, est une tâche délicate en raison de la durée des phases d'érosion et du manque de repères clairs qui définissent les régions tropicales. Cependant l'examen des phénomènes endokarstiques et de leur situation morphologique, peut livrer parfois des éléments chronologiques, souvent très isolés mais qui localement permettent des propositions de travail.

Si l'on doit tenter une reconstitution chronologique de la région karstique de São Raimundo Nonato, fondée sur des événements dynamiques, on est tenté d'associer la grande rupture hydrologique identifiée dans plusieurs cavités (phases 3 à 5) à la capture du haut Piauí par le rio Canindé, et son enfoncement d'une vingtaine de mètres dans le pédiment, descente qui n'a pas encore été récupérée par la morphologie en raison des conditions climatiques défavorables. Cet abaissement a pour conséquence l'enfoncement du drainage en amont dans le glacis et, donc, du drainage karstique. Ainsi, la modification de la morphologie de surface morcelle les reliefs et désorganise les circulations souterraines.

La multiplication des observations dans l'ensemble de l'aire d'étude devrait conforter le schéma d'évolution proposé. L'utilisation de méthodes adaptées de datation pourrait, en fixant cette chronologie, apporter les ancrages temporels qui font défaut aujourd'hui.

Références bibliographiques

- Ab'Sáber, A. 1972. O relevo brasileiro e seus problemas. In : (A. De Azevedo, ed.): *Brasil, a terra e o homem*, Companhia Editora Nacional, São Paulo: 135-250.
- ARNAUD, B., EMPERAIRE, L., GUIDON, N., PELLERIN, J. 1984. L'aire archéologique du Sud-Est du Piauí (Brésil). Volume 1 : Le milieu et les sites. Recherche sur les Civilisations, A.D.P.F., Paris, *Synthèse* 16 : 118 p.
- BRANNER, J.C. 1910. Agraded limestone plain of the interior of Bahia and the climatic changes suggested by them. *Am.- Journ.-of-Sciences* 22 (2) : 187-206.
- PETRI, S. & FULFARO, V.-J. 1988. *Geologia do Brasil*. Editora Universidade de São Paulo : 631 p.
- PROUS, A. 1991. *Arqueologia brasileira*. Editora UnB, Brasília : 605 p.
- RODET, J. 1993. Brésil : Etat du Piauí (Nordeste). *Spelunca* 49 : 23-25.
- RODET, J. 1995. Un paléo-karst tropical de zone semi-aride : les cavités de São Raimundo Nonato (Piauí, Brésil). *Actes du 10ème Congrès National de Spéléologie*, Breitenbach (Suisse): 371-380.
- RODET, J. 1997. As zonas cársticas de São Raimundo Nonato (Piauí, Brasil). *O-Carste* 9 (1): 2-7.