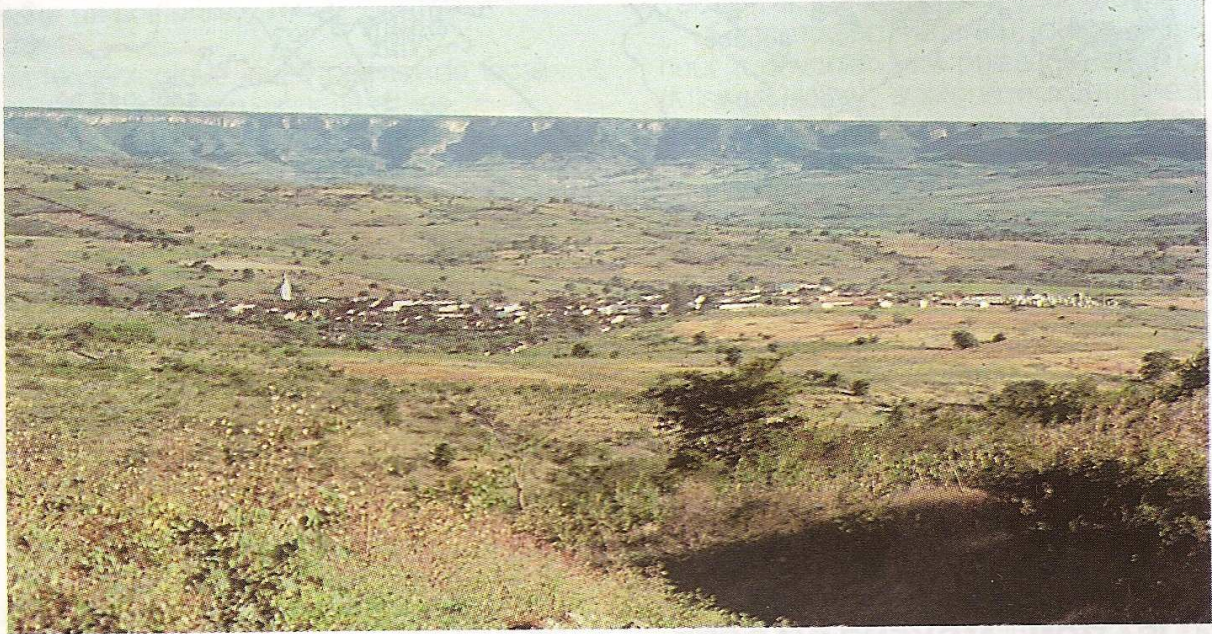




*De haut en bas, Dastilbe (8,6 cm) dans le calcaire de la formation Crato ;
et Dastilbe (7,5 cm) traité par la méthode de Waller.*

Les poissons et les concrétions fossilifères de l'Araripe dans leur contexte (Nordeste du Brésil)

par J. CASSEDANNE
UFRJ & CNPq, Rio de Janeiro

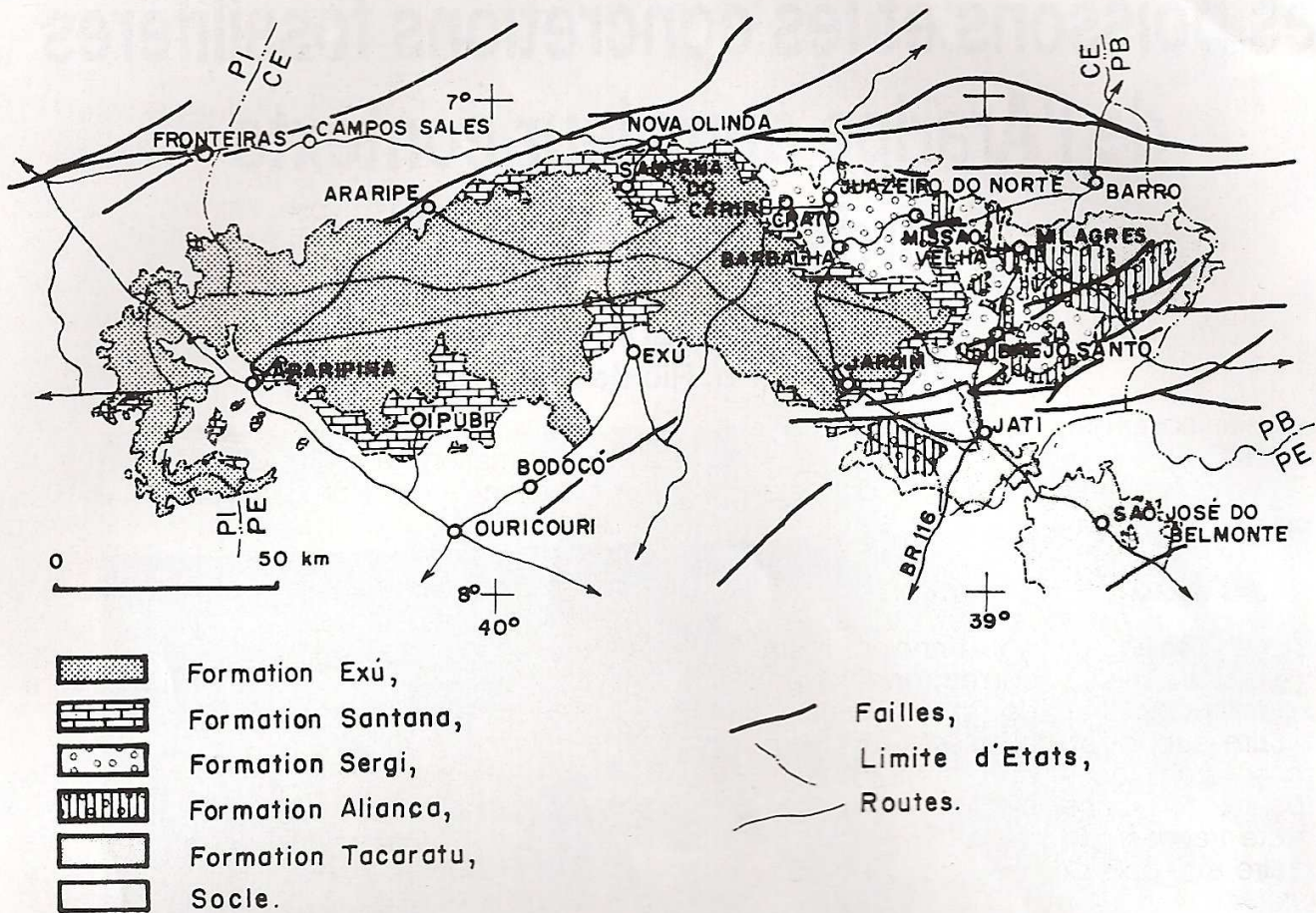


Santana do Cariri, au pied de la Chapada do Araripe, vue de la piste d'accès à la carrière de gypse abandonnée de Pedra Branca.

Il est fréquent de trouver, chez les négociants en minéraux et fossiles, de grandes concrétions calcaires cassées longitudinalement et renfermant un poisson plus ou moins complet et/ou son moulage. Si ces concrétions sont identifiées comme provenant du Brésil, leur origine exacte n'est pas toujours bien précisée, quoi qu'elles soient toutes extraites dans la même région : un grand plateau du Nordeste brésilien — la Chapada do Araripe. Celle-ci, considérée comme une localité fossilifère unique englobant de nombreux gisements, compte parmi les plus grandes du monde par la diversité de ses fossiles — où prédominent les poissons —, mais aussi ptérosaures et autres vertébrés, et par la conservation exceptionnelle de ceux-ci. Elle permet une vision incomparable de la « biota » du Crétacé inférieur, vers 110 Ma et l'obtention, au laboratoire, de détails anatomiques exceptionnels, sur de nombreuses espèces. Insectes et plantes y abondent également. Trois localités, au pied de la Chapada, sont connues depuis plus de cent cinquante ans, comme centres d'extraction paraissant inépuisables de concrétions fossilifères où prédominent les poissons — les ichthyolites des anciens auteurs. La première citation paléontologique en est due à Spix & Martius (1823), qui ont figuré un poisson dans une concrétion.

De nombreux auteurs ont depuis étudié des spécimens de cette riche faune, en particulier Agassiz, Woodward, Jordan, Branner et Santos. On se reportera à ce dernier (Santos & Valença, 1968), pour la première synthèse publiée. Mabesoone & Tinoco (1973), et Brito (1975), entre autres, ont complété les données précédentes. Enfin, Maisey (1991), a réalisé un atlas magnifiquement illustré, en couleur, compilant tous les fossiles décrits à cette date et ajoutant des données géologiques et paléogéographiques, parfois fort discutables ou hypothétiques. Les recherches paléontologiques se poursuivent dans divers pays, sur des fossiles dont le lieu de collecte n'est malheureusement pas toujours bien précisé topographiquement ou stratigraphiquement, par suite de manque de levés détaillés.

Actuellement, l'extraction des concrétions (ou nodules), se concentre autour de la localité fossilifère la plus occidentale : Santana do Cariri. Nous nous proposons donc de décrire particulièrement cette région, ainsi que les gîtes qu'elle renferme, après avoir replacé ceux-ci dans leur contexte géographique et géologique. Un aperçu paléontologique sommaire complètera cette communication, auquel s'ajouteront les dispositions légales - et pratiques - relatives aux fossiles.



Carte géologique de la Chapada do Araripe (d'après Dantas, 1974, simplifié).

LOCALISATION - MOYENS D'ACCÈS

Les principaux centres d'extraction des fossiles se trouvent près de Santana do Cariri (ex Santanopole) et de Nova Olinda, sur le revers septentrional du long plateau de l'Araripe qui sépare les États du Ceara (CE), au nord, de Pernambuco (PE), au sud, et du Piauí (PI), à l'ouest. D'une façon plus générale, cette région se trouve à l'ONO de Recife et au sud de Fortaleza, au cœur du Nordeste brésilien.

L'accès se fait à partir de Juazeiro do Norte (altitude 400 m), où se trouve le meilleur hôtel de la région. Cette ville est reliée par avion et d'excellentes routes goudronnées à Fortaleza, à 550 km au nord (BR 116), et Juazeiro da Bahia, à 405 km au sud. Il y a 11 km de Juazeiro à Crato. Après cette agglomération, la route goudronnée gravit la Chapada do Araripe, laisse à gauche une piste se dirigeant vers Santana et traverse, à l'altitude de 850 m, une large ramification NE de la Chapada, avant de redescendre vers Nova Olinda (440 m), à 30 km de Crato, puis continue vers Campos Sales et Fronteiras dans l'État du Piauí. Une route goudronnée relie Nova Olinda à Santana do Cariri (480 m) en 13 km. Les voies d'accès secondaires, en terre, seront précisées lors de la description des divers gisements.

Les autres régions fossilifères sont facilement accessibles par des routes goudronnées partant de Barbalha, à 10 km au sud de Juazei-

ro do Norte : Jardim (ou Barra do Jardim), à 34 km, et Missao Velha (ou Barra da Missao Velha), à 22 km.

CONTEXTE RÉGIONAL

La partie la plus septentrionale de la région décrite correspond à une zone mollement ondulée sur un socle cristallin où pointent quelques reliefs granitiques, bordée au sud par une dépression d'axe est-ouest dite Val du Cariri. L'ensemble est dominé par la grande « mesa » sédimentaire de la Chapada do Araripe, vaste plan incliné du nord vers le sud, long de 160 km d'est en ouest et large de 30 à 50 du nord au sud, qui se prolonge par une ramification méridienne vers l'ouest. La Chapada, qui arrive à surplomber le socle de 3 à 400 mètres, s'y raccorde par un talus abrupt à falaises, coupé sporadiquement de grands replats, comme au voisinage de Santana do Cariri. Le bord de l'escarpement est entaillé par des ravins qui y ont creusé une série de cirques. Le rio Jaguaribe, au nord, collecte les eaux du versant septentrional de la Chapada, le rio Sao Francisco, au sud, et le rio Parnaíba à l'ouest, complètent le réseau de drainage.

Le sommet de la Chapada est recouvert par une végétation de savane boisée, alors que les pentes septentrionales plus humides, qui arrêtent les nuages venus de l'océan, voient croître une épaisse forêt riche en palmiers. Les plaines

sont le domaine de la « caatinga » (forêt sèche souvent basse, épineuse), localement débroussée. Des cultures de canne à sucre prospèrent dans les bas-fonds et au pied Nord de la Chapada.

Le climat est du type Aw de Koppen (chaud et humide). Les précipitations annuelles varient de 600 à 1 000 mm à Crato, et de 400 à 600 au sud du massif. La population est abondante sur le pourtour de la Chapada, se concentrant dans les vallées qui en divergent, surtout au nord, et à leur débouché dans la plaine. Elle vit assez pauvrement sur un sol fertile.

La carte géologique jointe permet de localiser les principales agglomérations citées.

GÉOLOGIE RÉGIONALE

On peut distinguer un socle ancien, métamorphique, très plissé, correspondant aux plaines bordant la Chapada, et un ensemble sédimentaire subhorizontal, discordant, plus récent, constituant tout le plateau et l'essentiel de ses pentes. Les bases de la géologie régionale ont été tracées par Small (1913). La série sédimentaire a depuis été révisée par de nombreux auteurs.

Le socle, en partie pénéplané avant le Silurien et se relevant vers le sud et le sud-ouest, présente d'importantes ondulations conditionnant le comportement de la couverture. Il est formé de gneiss granitiques, de migmatites et de micaschistes d'orientation SO-NE, traversé par de grands massifs de granites intrusifs. Il est fortement kaolinisé au contact des sédiments et appartient au Groupe Cachoeirinha d'âge précambrien A (570 - 1 100 Ma) à l'est et au sud-est, au Groupe Uaua, d'âge précambrien C (1 700 - 2 200 Ma) au sud, et au Précambrien

indivisé, plus ancien que 2 200 Ma au nord (Dantas, 1974).

La séquence sédimentaire comprend de bas en haut un conglomérat de base et deux niveaux de grès séparés par des horizons de calcaires, marnes et gypse. Elle a subi de nombreuses vicissitudes quant à ses divisions. Nous les ébaucherons ci-dessous.

Conglomérat de base : formation = Serra Grande (Small, 1913), Cariri (Moraes, 1962 ; Beurlen, 1962), Mauriti et Brejo Santo (Anjos, 1963), Tacaratu (Barbosa et al., 1970).

La formation Tacaratu, d'âge silurien supérieur à dévonien, est puissante de 10 à 100 m (Missao Velha), azoïque et d'origine fluviatile. Elle est discordante sur le socle et formée d'arkoses conglomératiques, de conglomérats à stratification entrecroisée, de schistes argileux et de phyllites d'orientation est-ouest vers Juazeiro do Norte et Milagres. Sa partie inférieure, au sud (Exu, Bodoco) est silicifiée.

Grès inférieurs : formation = Missao Velha (Moraes, 1962 ; Beurlen, 1962 ; Anjos, 1963).

À la base, la Formação Aliança (Barbosa et al., 1970) d'argiles, silts et schistes, puissante d'environ 50 m, affleure près de Brejo Santo et Missao Velha.

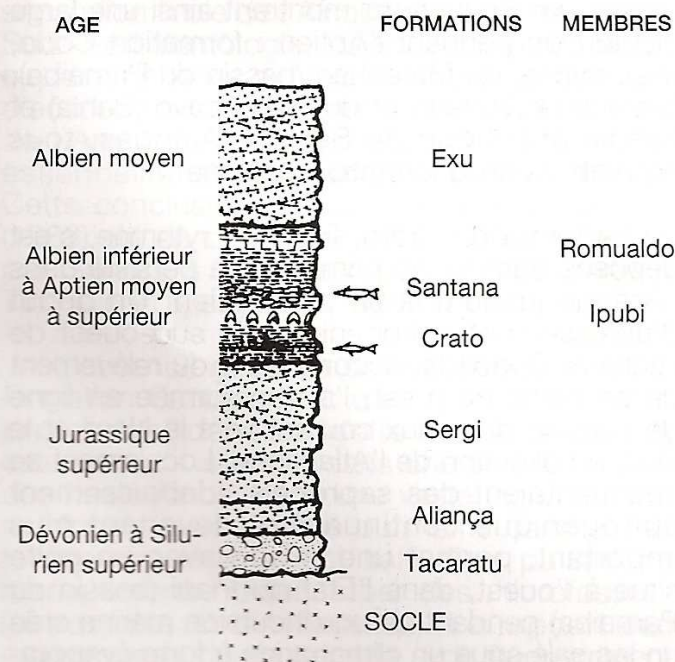
Au dessus, des grès d'origine lacustre et d'âge également jurassique supérieur, ont été baptisés de formations Sergi par Barbosa et al. (1970). Puissants d'environ 200 m (Barbalha), ils sont argileux, friables, rougeâtres, à stratification entrecroisée. Quelques bois silicifiés (*Podocarpus* sp.) y existent, ainsi que des strates argileuses vertes et des lits conglomératiques. Discordants sur le conglomérat basal, les grès inférieurs ne s'étendent comme lui qu'au nord-est de la Chapada et correspondent paléogéographiquement au remplissage d'un bassin intracontinental, par une sédimentation grossière.

Formation Santana : formations = Santana inférieur et supérieur (Moraes, 1962), Santana (Barbosa et al., 1970 ; Anjos, 1963) ; Crato et Santana (Beurlen, 1962).

Reprenant le sens de Beurlen (1963), elle groupe à ce jour la formation Crato à la base et la formation Santana s. s. au sommet, cette dernière étant subdivisée en deux membres. Elle serait puissante de 50 m (Silva, 1986), à 150 m (Mabesoone & Tinoco, 1973).

La formation Crato, lacustre, puissante de 40 à 50 m (Barbalha, Nova Olinda), est formée de calcaires gris clair à beige, silteux ou argileux, en bancs finement laminés, contenant des poissons de petite taille et des insectes, de schistes argileux, de lentilles de schistes bitumineux et d'argiles à végétaux (Moraes, 1928).

Une couche de gypse (Membre Ipubi), puissante de 15 à 30 m, fait suite. Elle déborde largement au sud et au sud-ouest les formations antérieures sur lesquelles elle s'étend en discordance.



Coupe géologique de la Chapada do Araripe.

Le reste de la séquence (Membre Romualdo), lacustre à incursions marines, est formée d'une alternance d'argiles, de marnes, de calcaires et de quelques grès débordant encore la masse gypseuse. Au dessus de celle-ci, des marnes à concrétions calcaires sont très fossilifères et renferment l'essentiel des organismes connus. Le sommet de la séquence est également fossilifère, mais dépourvu de vertébrés.

La formation Santana, datée de l'Aptien moyen à supérieur - Albien inférieur, affleure sur de grands replats au nord (Santana do Cariri) et au sud (Jardim), de la Chapada. Elle sera examinée en détail ci-après.

Grès supérieurs : formations = Arajara (Moraes, 1962) ; Feira Nova (Anjos, 1963) ; Exu (Beurlen, 1962 ; Barbosa et al., 1970).

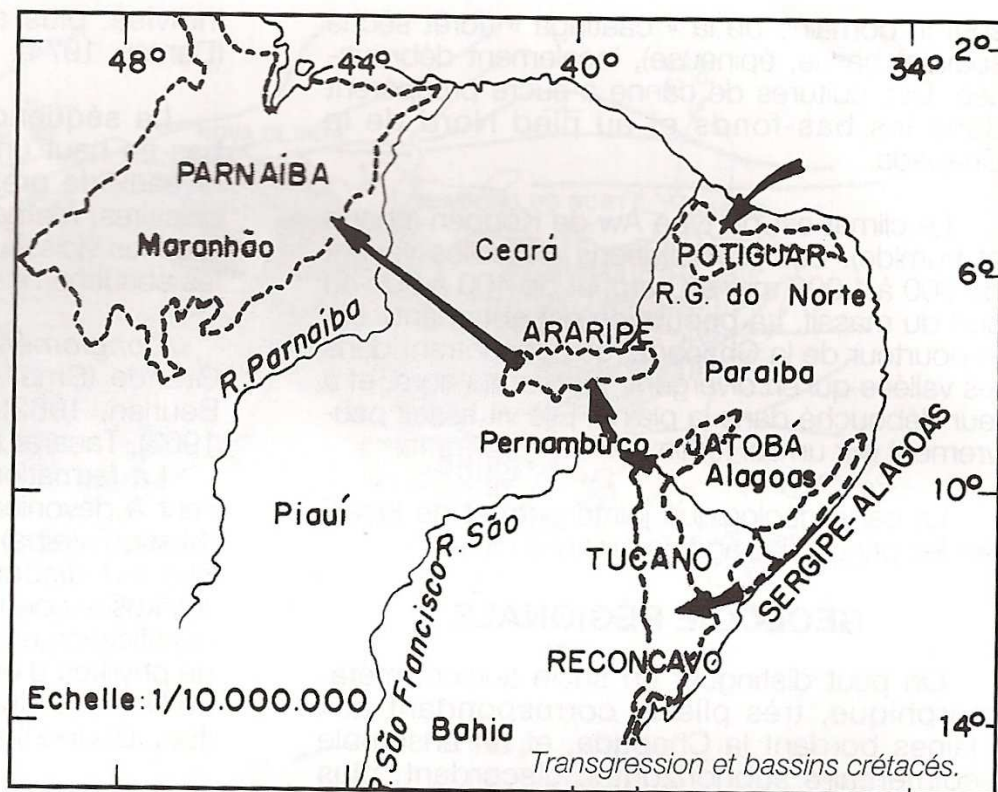
D'âge albien moyen, la formation Exu, tronquant par érosion la formation Santana sous-jacente, fluviatile, très étendue, constituant le sommet de la Chapada, repose souvent sur le socle (Araripina). Puissante de 100 à 300 m (Crato), elle est formée de grès friables, monotones, à stratification entrecroisée, rougeâtres à l'affleurement, avec quelques lentilles de conglomérats et de rares bois silicifiés. Son sommet présente une silicification datée du Tertiaire supérieur. Les grès supérieurs dominent en falaise la route de Santana do Cariri.

Seul le gypse, au nord-est, (Barbalha, Santana) et au sud-ouest (Araripina et Ipubi) de la Chapada est exploité semi-industriellement, comme le sont les calcaires de la formation Crato autour de Nova Olinda. De petits indices de plomb-zinc (nord de la Chapada), de schistes bitumineux et de célestine sont complètement dépourvus d'intérêt économique.

Tectonique : les formations sédimentaires sont pratiquement horizontales et ne présentent aucune faille importante. Conglomérat de base et grès inférieurs subsistent localement dans des panneaux effondrés du socle. D'infimes pendages, nord au Nord-Est de la Chapada, sud à l'Ouest, et ouest à l'Est, s'observent très localement.

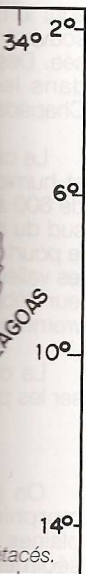
LA FORMATION SANTANA PALÉOGÉOGRAPHIE - FORMATION DES CONCRÉTIONS FOSSILIFÈRES

Paléogéographiquement, l'histoire de la l'Araripe est liée à la séparation de l'Afrique de l'Amérique du Sud. À la fin du Jurassique et au



début du Crétacé, un système de lacs intérieurs s'est développé dans la zone de rupture située entre les continents naissants, analogue au grand Rift actuel de l'Afrique orientale. Les régions avoisinant ces lacs étaient densément couvertes de végétation, ce qui explique la richesse en pollens de nombreux sédiments lacustres auxquels s'associent d'épais dépôts terrestres. Géologiquement, le remplissage des lacs, dont les dépôts forment une série de bassins actuellement isolés (voir la carte), est le résultat d'une transgression marine commencée au Néocomien et s'étendant durant l'Aptien, de la côte est de l'Atlantique sud vers le bassin de Tucano ; elle a ensuite gagné à travers l'actuelle Araripe le bassin du Parnaíba. *Dastilbe*, un poisson euryhalin, ainsi que le gymnosperme *Brachyphylum* BRONGNIART montrent ainsi une large distribution pendant l'Aptien : formation Codo, avec gypse, du Maranhão (bassin du Parnaíba), bassins de Tucano et du Reconcavo (Bahia) et bassin atlantique de Sergipe-Alagoas, tous équivalents de la formation Santana.

La formation Crato, finement rythmée, s'est déposée dans le lac primitif qui a persisté dans l'Araripe jusqu'à la fin de l'Aptien. Un début d'abaissement épirogénique au sud-ouest de l'actuelle Chapada, accompagné du relèvement de sa partie nord-est, l'a transformée en ligne de partage des eaux courant vers le Nord et le Sud, en direction de l'Atlantique. Localement se sédimentaient des sapropels. L'abaissement épirogénique continuant et devenant plus important, permet une liaison avec un golfe situé à l'ouest, dans l'État du Piauí (bassin du Parnaíba) pendant qu'une incursion marine crée un lac salé sous un climat aride à forte évaporation (Membre Ipubi). Ce lac est le reflet des épais dépôts salifères connus plus au sud,



à Sergipe (riches en tachyhydrite qui ne se forme qu'à l'air libre). Le Membre Romualdo fait suite, correspondant à un retour à une sédimentation normale. Localement, des dépôts de haute énergie marquent sa base, puis s'installe partout un environnement de basse énergie permettant le dépôt de calcaires et de schistes argileux. Quelques récurrences de haute énergie se manifestent par des bancs de gastropodes, souvent fragmentés. Une seconde incursion marine est documentée par des bancs à échinodermes, toujours sous un climat humide, précédant la dulcification rapide du bassin de l'Araripe, définitivement isolé de la mer occidentale par la surrection, au Paléozoïque, du Piauí.

Écologiquement, l'assemblage des fossiles est dominé par des éléments pélagiques où prédominent les poissons, mais est remarquablement dépourvu de grands invertébrés comme céphalopodes et crustacés. Il y a quelques reptiles terrestres, mais pas d'ichthyosaure ou de requin. Pélécytopodes et gastropodes sont localement abondants, mais ne se trouvent jamais dans les concrétions. Brachiopodes, coraux, limules et crinoïdes sont absents, les échinodermes très rares. Aucune forme encroûtante (telle que les huîtres) n'est connue. Les plantes terrestres sont relativement rares et sans doute apportées par les crues ou les orages.

Les poissons des concrétions de la formation Santana sont-ils marins ou non ? Il ne semble pas y avoir de réponse simple. De nombreux représentants sont connus dans d'autres séquences interprétées comme lacustres, non marines. Rappelons que les échinodermes ne sont présents qu'au sommet de la formation (Beurlen, 1962). La plupart des espèces de poissons sont endémiques et leur distribution dans le temps et l'espace suggère une région d'endémisme présentant des subdivisions distinctes, ressenties comme contre-coup de la séparation finale de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. Sédimentologie, paléogéographie, tectonique et données biologiques récentes semblent d'accord pour considérer les poissons fossiles de l'Araripe comme piégés dans un habitat essentiellement non marin (Maisey, 1991). Cette conclusion qui corrobore celle de Silva (1983) est en opposition avec celles soutenues par Santos & Valença (1968), Mabesoone & Tinoco (1973) et Martill (1988), entre autres.

L'absence générale de sédimentation de la formation Santana était d'eaux saumâtres peu profondes, dans un golfe bordé de baies, estuaires et « sliques », dans une baie isolée par des hauts fonds, dans une vaste lagune, communiquant avec le large ou même dans un lac temporaire légèrement salé. Des pulsations marines sont indiquées par des microfossiles (ostracodes et dinoflagellés). Le rapport eau marine - eau douce semble avoir fréquemment varié, influençant l'abondance et la distribution des poissons et autres organismes. L'énorme

quantité de fossiles accumulés serait due à des fluctuations des conditions ambiantes décimant ou annihilant la population locale de vertébrés par une ou plusieurs mortalités en masse, la seconde hypothèse paraissant la plus en faveur actuellement. Les fluctuations des conditions peuvent être des variations de salinité (migration de l'holocène), de température, ou l'afflux brusque de courants marins salés, d'eaux douces apportées par les crues (Price, 1959), ou une explosion de la flore alguaire... Les vertébrés n'étaient peut-être pas tous acclimatés au bassin de l'Araripe, mais s'y faisaient piéger à la suite d'inondation des terres voisines.

Des variations locales et sans doute stratigraphiques de la lithologie, de la composition et de la faune ichthyologique des concrétions ont fait émettre l'hypothèse de l'existence d'un compartimentage du bassin de l'Araripe : ainsi, certaines espèces paraissent restreintes à certaines roches alors que d'autre part se notent des différences dans l'abondance relative et la taille des individus d'une même espèce, par exemple. Il en résulterait trois assemblages faunistiques (qui seraient à vérifier et à confirmer par des fouilles scientifiques systématiques), avec apport de vertébrés terrestres ou semi-aquatiques comme des crocodiles. Ce compartimentage pourrait être dû à la proximité de la côte, à des profondeurs différentes, à la stratification de la colonne liquide, au voisinage de l'embouchure d'une rivière, à la topographie des zones émergées, à la végétation couvrant les terres exondées... Les concrétions de la formation Santana ont été ainsi grossièrement rapportées à trois types, caractéristiques des sites de collecte les plus productifs. Cette typologie doit être utilisée avec précaution, car plusieurs sortes de concrétions peuvent coexister dans un même gîte, peut-être à des horizons différents ou ne reflétant que le résultat d'études effectuées sur du matériel déjà récolté par les « garimpeiros » et d'origine exacte souvent imprécise.

Le parfait état de conservation de nombreux spécimens atteste une mort suivie d'un enfouissement rapide, le fossile n'ayant pas été perturbé post-mortem par des prédateurs ou étant à peine arqué, tout se passant comme s'il avait drainé le calcaire du milieu ambiant durant sa pétrification. La présence fréquente de pyrite, de restes celluloseux et certaines caractéristiques de fossilisation tendent à démontrer une ambiance de fond anoxique et d'eaux calmes : deux facteurs empêchant la destruction mécanique et la putréfaction rapide des individus morts.

Formation des concrétions : peu de publications sont relatives à leur formation. Elles ne sont pas dolomitiques, comme rapporté par les premiers auteurs (Jordan & Branner, 1908), afin d'expliquer le déchiquetage de certains poissons, un chevauchement trop accentué de cer-

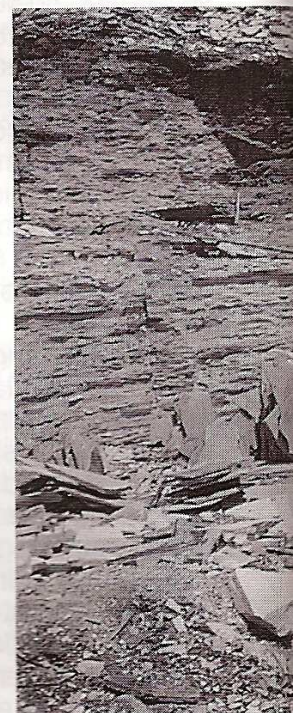
taines grandes écailles ou les fentes des septarias. Mabesoone et Tinoco (1973), concluent que les concrétions se sont formées au bord des plans d'eau où les cadavres des poissons et des tétrapodes étaient exposés à une forte dessiccation solaire et subaérienne. Ceci expliquerait la parfaite conservation des structures externes et internes, les produits de la décomposition facilitant l'adhérence des sédiments aux restes organiques. Cette hypothèse n'est pas convaincante car peu de fossiles montrent une courbure post mortem accentuée. Les observations de Weeks (1953, 1957), semblent actuellement les plus pertinentes. Selon cet auteur, un grand développement de concrétions se fait dans les dépôts où les calcaires ne sont pas présents ou très impurs. Ces dépôts se caractérisent par un fond stagnant où l'oxygène libre est rapidement appauvri et le départ de CO₂ inhibé, permettant au calcium de rester sous forme de bicarbonate. Ceci est en opposition avec le CO₂ libre des fonds aérés de beaucoup de marges de bassins sédimentaires peu profonds où le calcium est facilement extrait des eaux et précipite sous forme de carbonate. Dans cet environnement anoxique, comment se forment alors les concrétions ? Il semble qu'un micro-environnement très localisé, favorable à la précipitation du calcium soit responsable de cette formation. En effet, comme la solubilité du carbonate est surtout conditionnée par le pH, toute condition soutirant le CO₂ augmentera celui-ci et fera déposer le calcium. Dans un environnement de fond stagnant cette condition peut être remplie par la décomposition de restes organiques par des bactéries anaérobies, avec production d'ammoniaque et d'amines qui, augmentant le pH, amèneront le bicarbonate à précipiter comme carbonate. D'autre part, la présence du gypse sous-jacent pouvant minéraliser les eaux ascendantes percolant le substrat, une haute température ambiante et de faibles circulations d'eaux, conduisent à penser à une très forte salinité, avec un taux de calcium approchant sans doute la sursaturation dans certains fonds. L'arrivée de beaucoup de poissons riches en lipides et une mortalité en masse peuvent avoir fait pencher la balance et déclenché la formation de sels de lipides. L'abondance des cyanobactéries (restreintes à un environnement hypersalin), sur le fond, formant une sorte de mousse, protège par ailleurs sédiments et fossiles de l'érosion et de la destruction par l'oxygène. Ces bactéries contribuent en outre au dépôt du carbonate ainsi qu'à la phosphatation locale du fossile. En l'absence d'oxygène le corps des poissons morts n'enfle généralement pas, se conservant donc intact (Schäffer, 1972, cité par Maisey). La colonne vertébrale souvent arquée *post mortem* des grands poissons allongés comme *Vinctifer* ou *Cladocycclus* suggère que la déshydratation des tissus peut se faire à l'air libre ou en ambiance hypersaline. *Racolepsis* par contre est toujours gonflé, sans doute parce qu'il était riche en lipides. Quelques fossiles ayant flotté avant de sombrer ont la tête recoupant le litage du sédiment alors que le reste du corps est parallèle au dit litage.

Martill (1988), a suggéré que calcification et phosphatation des tissus mous sont essentiellement diagénétiques et liés à la décomposition en présence de cyanobactéries. Des observations conduisent à penser qu'une partie de ces phénomènes est antérieure à l'enfouissement : certains poissons fossiles présentent des écailles se chevauchant, témoignant d'une minéralisation rapide après leur mort, faisant par la suite se comporter ces écailles comme une cuirasse, plutôt que comme une peau armée souple. L'enrichissement en phosphates se fait localement après enfouissement, avant la calcification principale incluant celle de la matrice entourant le fossile, définissant ainsi la forme de la concrétion. Cette calcification s'accompagne de la cristallisation de calcite dans les vides et fissures. Cette diagénèse a commencé en même temps que la compaction des sédiments comme le démontrent des os cassés et des carcasses aplaties. Après formation de la concrétion, la compaction continuant fait ployer les sédiments argileux autour de celle-ci, arrivant même à la fissurer par suite du départ d'eau. Le résultat est une série de fentes, comme dans les septarias.

LES CALCAIRES FOSSILIFÈRES DE LA FORMATION CRATO PRÈS DE NOVA OLINDA

La formation Crato, qui repose par des argiles gris-jaune ou verdâtres, gypseuses, en discordance sur le socle, forme de petits ressauts aux flancs de collines arrondies. Elle est exploitée dans de nombreuses excavations artisanales qui produisent des plaques irrégulières. Celles-ci sont utilisées comme pavages et revêtements muraux, ou polies lorsque leur grain et leur taille sont jugées aptes à fournir des dalles de « marbre ». Les déblais servent à l'édification des murs ou sont, le plus souvent, anarchiquement abandonnés sur place.

Une des principales carrières, dite Ponta da Serra (coordonnées UTM : x = 409,6 ; y = 9212,4 - carte Santana do Cariri SB-24-U-I à 1/100 000 - SGE 1969), exploitée par A. F. Ferreira, sera décrite comme exemple. L'accès se fait à partir de Nova Olinda sur 12,7 km par la route goudronnée de Assaré et Campos Sales, puis par une piste déboulant à gauche en face du panneau « Sitio Tatajuba ». On prend à gauche à 0,6 km et à droite à 2,3 km avant d'atteindre à 6,1 km le chemin de service de la carrière. Celle-ci se trouve à 400 m à droite, vers 530 m d'altitude. La piste est utilisable par les véhicules de tourisme par temps sec.



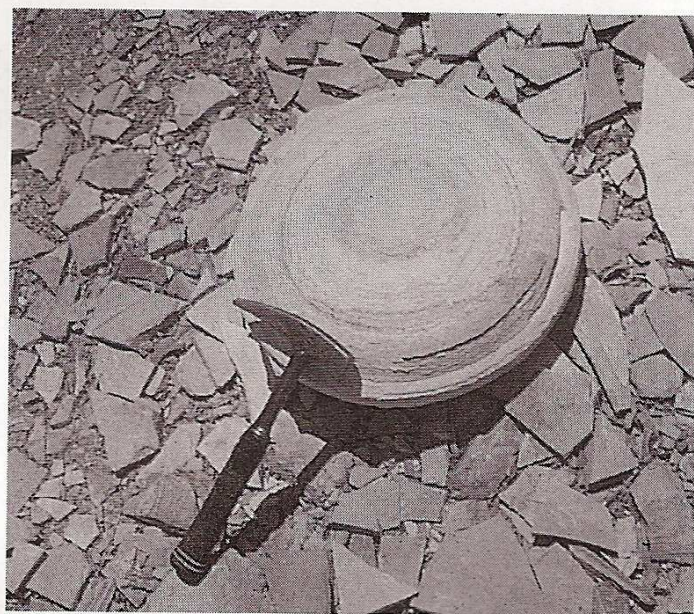
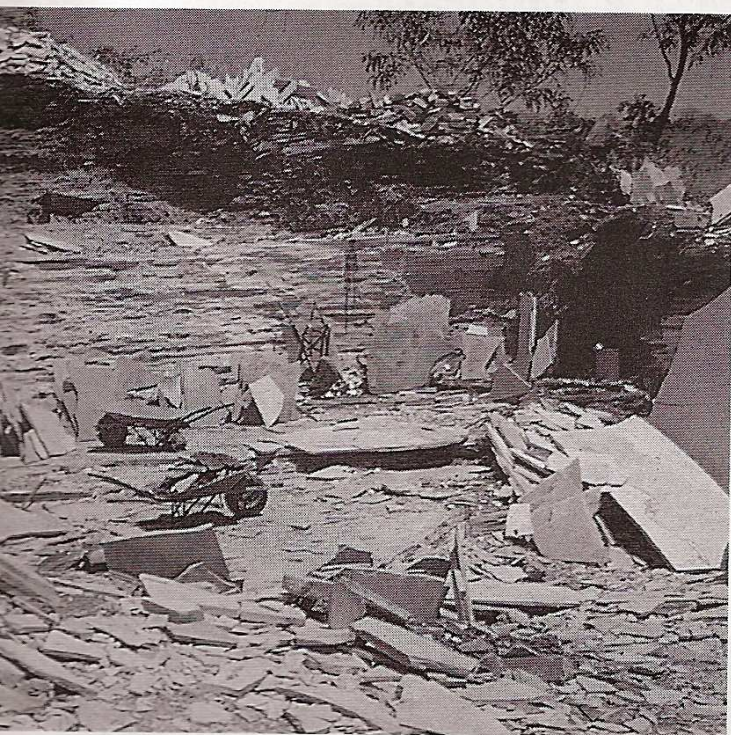
La carrière, de direction NE-SO, est longue d'une cinquantaine de mètres, large de vingt et haute d'une dizaine. Elle est creusée dans le flanc méridional d'une colline allongée au sol d'argile brune généralement desséchée. Autour la « caatinga » clairsemée est tachetée par de petits îlots de forêt sèche, basse, où les calcaires affleurent sporadiquement en dalles cassées sur le sol ou en petits ressauts abrupts. La carrière est entaillée dans des calcaires horizontaux. La partie supérieure se débite en bancs minces aux nombreux dendrites, les lits de la partie inférieure étant souvent plus épais. La couleur prédominante passe du beige ocre brun clair à la partie supérieure au bleuté ocre en bas, sans doute en raison de pyrite finement disséminée. Des noyaux irréguliers de silex beige clair s'observent sporadiquement, ainsi que de fort belles concrétions circulaires au grain grossier. Les calcaires se débitent au choc en plaques d'épaisseur multimillimétrique, comme le font également les blocs paraissant massifs. Ces calcaires rappellent des varves avec des alternances de couches de quelques millimètres gris pâle à peine bleuté (avec grain parfois lithographique) et beige ocre clair, régulières sur quelques décimètres, mais se terminant souvent en coins, témoignant de tassements ou de mouvements différentiels durant la sédimentation. Quelques lits sont plus argileux, d'autres plus siliceux. La surface des bancs est tapissée de débris courbes centimétriques d'algues d'eau douce, disposées au hasard, plus ou moins régulièrement ou en nids. Ces algues sont quelquefois remplacées par de l'ocre jaune, ou bien sont à peine visibles, masquées par un matériau argileux blanc. De petits débris charbonneux y sont associés ainsi que des ostracodes. Des fragments décimétriques de lignite sont communs dans les zones de couleur bleutée. De jolis petits poissons (*Dastilbe*), quelques rares plus gros et des insectes sont fossilisés entre les

bancs calcaires. Les joints de stratification sont soulignés par des dendrites noirâtres et quelques cavités aplaties. Des veinules de calcite secondaire, résultant de phénomènes de tassement, recourent les bancs.

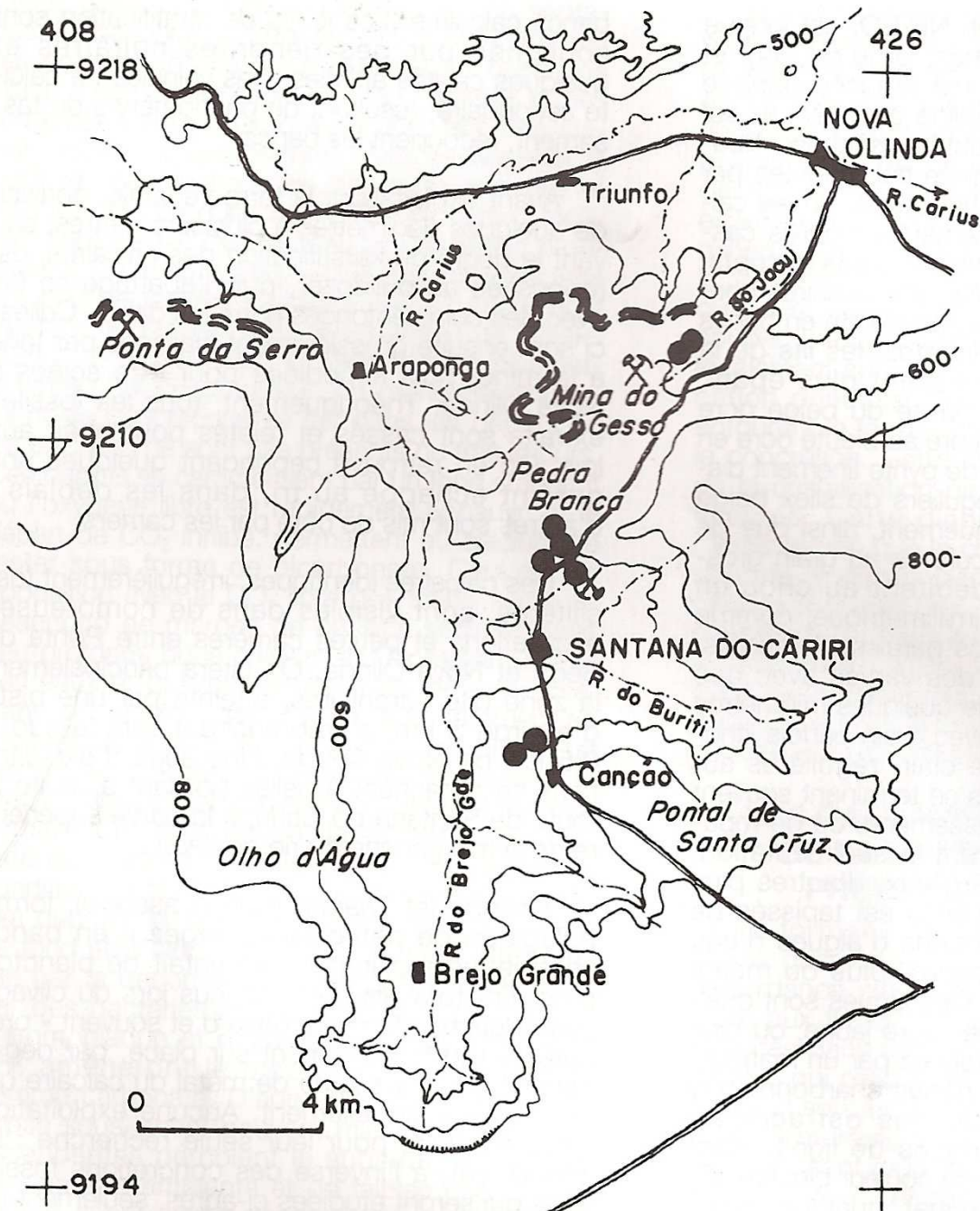
Avant exploitation, la terre végétale, épaisse de quelques décimètres à plusieurs mètres, suivant le degré de karstification des calcaires, est repoussée au bulldozer, puis l'abattage se fait avec des coins enfoncés entre les dalles. Celles-ci sont ensuite grossièrement classées par taille à la mine, puis expédiées pour être sciées à Nova Olinda. Théoriquement, tous les fossiles extraits sont cassés et rejetés pour obéir aux lois. On en retrouve cependant quelques uns qui ont échappé au tri, dans les déblais ; d'autres sont mis de côté par les carriers.

Des calcaires identiques, irrégulièrement fossilifères, sont visibles dans de nombreuses excavations et petites carrières entre Ponta da Serra et Nova Olinda. On citera principalement la zone dite Laranjeiras, atteinte par une piste d'environ 3 km, s'embranchant vers le sud à 8,5 km de Nova Olinda. Une série d'exploitations se rattachent à celles bordant à droite la route de Santana do Cariri, à la partie supérieure de la rive gauche du rio do Jacu.

Dastilbe (et *Tharrias* parfois associé), forme pélagique de petite taille, nageant en bancs comme les sardines, s'alimentait de plancton près du littoral. Ils sont obtenus lors du clivage des calcaires, donc par hasard et souvent « préparés » rudimentairement sur place, par dégagement avec une lame de métal du calcaire qui les masque partiellement. Aucune exploitation n'est conduite pour leur seule recherche : ils constituent, à l'inverse des concrétions fossilifères qui seront étudiées ci-après, seulement un sous-produit de l'extraction des dalles calcaires.



À g., vue partielle de la carrière de Ponta da Serra. Au-dessus, une concrétion typique des calcaires de la Formation Crato, à la carrière de Ponta da Serra.



Coordonnées UTM

Simplifié et complété de la carte
Santana do Cariri 1/100.000
(1969)



Affleurements des calcaires fossilifères de la Formation Crato,
Garimpos sur les concrétions du Membre Romualdo.

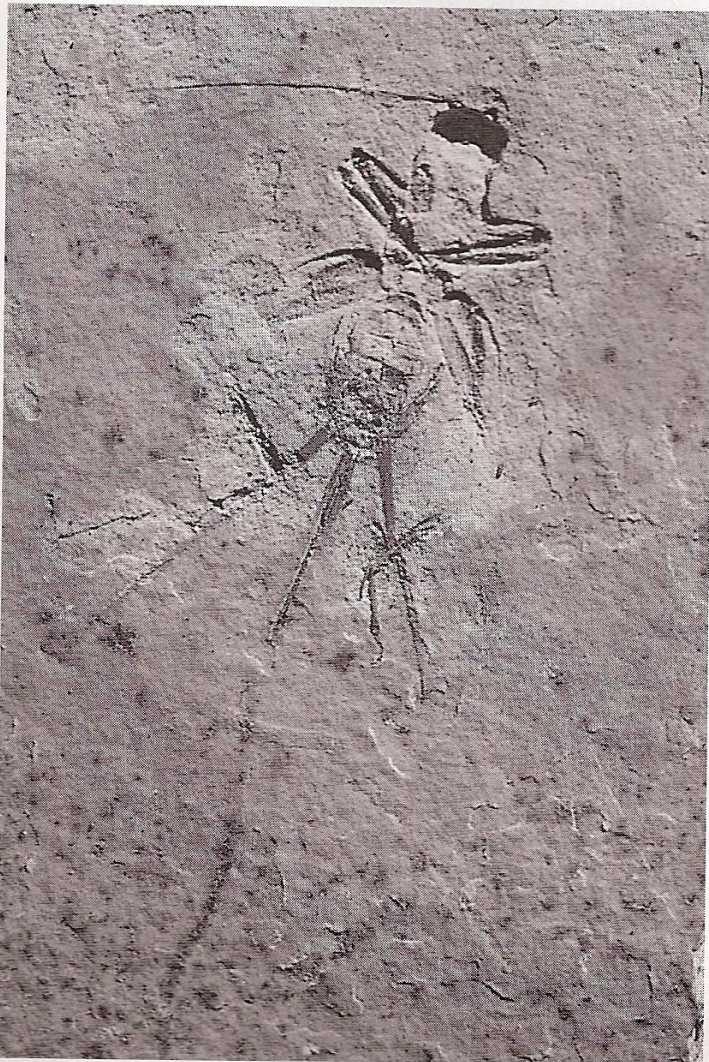
Carte de la région de Santana do Cariri (CE).

Afin d'améliorer la présentation des fossiles il est souvent utile de les traiter par un procédé connu en paléontologie comme méthode de Waller (1980). Celle-ci convient particulièrement bien aux *Dastilbe* : au lieu d'une vague image brune sur une matrice beige sale, on obtient un fossile net, couleur chamois foncé, se détachant sur un fond crème. En outre, une série de détails inaperçus auparavant, ressortent. La méthode utilise la propriété qu'à l'hydroxyde ferreux d'être plus soluble que le ferrique, et ceci dans une zone de pH plus étendue, l'hydroxyde ferrique étant dissout par une solu-

tion neutre qui contient des ions complexants. Trois sels de sodium sont utilisés. Une solution qui se conserve indéfiniment contient 71 g de citrate de sodium (qui complexe les ions ferreux) et 8,5 g de bicarbonate de sodium (qui agit comme tampon pour obtenir un pH neutre), par litre d'eau distillée. Un troisième sel, le dithionite de sodium, est ajouté à raison de 1 g/50 ml de la solution précédente, au moment de l'emploi, car ce sel s'oxyde rapidement. L'ensemble est versé dans un récipient en plastique dans lequel les spécimens sont immergés, et placés sous une hotte dans un endroit bien ventilé, si pos-



En haut, *Tharrius* (14,5 cm) « préparé » par les carriers (exploitation de Ponta da Serra).
En bas, à g., Orthoptère (criquet ? - 4 cm) et, à dr., Neuroptère (2,5 cm) dans le calcaire de la formation Crato.





Algues à la surface d'une plaque de calcaire
(carrière de Ponta da Serra).

sible avec agitation intermittente de la solution (couverte afin d'éviter son oxydation), qui reste active environ douze heures. Si nécessaire l'attaque est répétée. Les échantillons sont ensuite lavés dans l'eau distillée (12 à 24 heures) puis séchés. Comme le citrate de sodium complexe aussi bien le calcium que les ions ferreux, la méthode de Waller n'est pas recommandée dans le cas de calcite ou d'aragonite, étant avantageusement utilisée pour les calcaires.

**Ordres d'insectes
présents dans la
Formation Santana
(Maisey, 1991)**

- Ephemeroptera
- Odonata
- Dermatera
- Isoptera
- Homoptera
- Heteroptera
- Blattodea
- Orthoptera
- Neuroptera
- Rhaphidioptera
- Diptera
- Hymenoptera
- Lepidoptera
- Trichoptera
- Mecoptera
- Plecoptera
- Psocoptera

Rappelons que ce procédé est couramment utilisé pour décaper la « limonite » des minéraux.

Les insectes : de conservation variable, ils sont beaucoup plus rares. Maisey (1991), compte un insecte pour deux cents *Dastilbe* et seulement un insecte sur dix à peu près complet. Cette relative rareté explique la « fabrication » actuellement florissante de ces précieux restes organiques. Comme des organes manquent souvent aux insectes, on remplace

ainsi des ailes par une gravure approximative ou par celles d'un insecte actuel, parfois assez différent. Un examen attentif permet de déceler la fraude, la colle étant généralement fluorescente en U. V. Récemment s'est développée l'habitude de comprimer des insectes actuels entre deux plaques de calcaire de la formation Crato. Après un certain temps les produits de leur décomposition tachent la roche : l'insecte est aplati sur l'une des plaques et le « fossile » est prêt. Cette pratique, également appliquée à des feuilles (et des plumes), est utilisée dans plusieurs carrières près de Nova Olinda. Elle est parfois fort difficile à détecter sur place, bien que ces fabrications soient en très léger relief sur les plans de stratification.

La préparation des insectes en laboratoire doit être effectuée avec le plus grand soin : après avoir mécaniquement retiré la gangue en excès autour du fossile, on fait agir sur celui-ci une solution faible (1 à 2%) d'acide acétique. La détermination exacte des insectes est affaire de spécialistes ; on pourra souvent obtenir une idée approchée de la famille ou du genre, en consultant les catalogues abondamment illustrés de Grimaldi (1990) et Maisey (1991).

Trois gisements d'insectes fossiles sont seulement connus dans l'ancien continent de Gondwana, l'Araripe étant de loin le plus grand et celui présentant le plus de formes différentes. En fait, il est probablement le plus grand du monde selon Maisey (1991) qui signale qu'au moins dix neuf ordres sont représentés, soit quatre vingt-dix sept taxons nommés et cent quarante huit estimés. Cet ensemble de fossiles est essentiellement moderne dans sa représentation des familles, mais cet aspect moderne disparaît au niveau des genres, car tous virtuellement éteints. Dans le cas des Homoptera, par exemple, des familles nouvelles ont été décrites. Finalement on doit noter que divers groupes d'insectes présents dans l'Araripe sont maintenant cantonnés dans l'hémisphère Nord. Les insectes aquatiques ou semi-aquatiques très abondants, associés à beaucoup de phytophages, conduisent à évoquer durant la vie de ces insectes, une végétation émergente, épaisse, sur le bord ou au milieu d'étendues d'eau peu profonde.

La découverte des insectes est relativement récente (Costa Lima, 1950). Un catalogue avait été présenté par Brito en 1984, précédant les publications déjà mentionnées de Grimaldi et Maisey, qui reprennent en outre une série de travaux très spécifiques.

à suivre...