



HAL
open science

Une mise au point sur la géologie des continents issus du Gondwana

Alain Blieck, Jacky Ferrière, Michel Waterlot

► **To cite this version:**

Alain Blieck, Jacky Ferrière, Michel Waterlot. Une mise au point sur la géologie des continents issus du Gondwana. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 1994, 2e série, 3 (2), pp.41-63. hal-01331796

HAL Id: hal-01331796

<https://hal.science/hal-01331796>

Submitted on 16 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXTRAIT DES ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

T. 3 (2^{ème} série), p. 41

LILLE

UNE MISE AU POINT SUR LA GÉOLOGIE DES CONTINENTS ISSUS DU GONDWANA

Updated geological data of the Gondwanan continents

par Alain BLIECK (*), Jacky FERRIÈRE (***) et Michel WATERLOT (***)

Résumé. — La moitié méridionale des terres émergées était jadis regroupée en un supercontinent baptisé Gondwana. Les continents issus du Gondwana sont caractérisés, entre autres, par la présence de séries sédimentaires d'âge carbonifère à jurassique, essentiellement continentales (le Karroo d'Afrique Australe et de Madagascar, le Gondwana d'Inde). Ces séries débutent par des dépôts glaciaires et périglaciaires d'âge permocarbonifère et se terminent par des roches volcaniques d'âge jurassique. Le Gondwana se serait formé au début du Cambrien à partir de cratons précambriens issus d'une première Pangée. En position latitudinale australe pendant tout le Paléozoïque inférieur, il a subi une rotation horaire jusqu'à entrer en collision à l'ouest avec un continent septentrional, le Continent des Vieux Grès Rouges. De cette collision est issue dès le Dévonien une seconde Pangée qui s'est agrandie d'éléments asiatiques au cours du Paléozoïque supérieur: c'est la Pangée de Wegener. Ce mégacontinent s'est fragmenté à partir du Jurassique et sa partie méridionale, gondwanienne, a donné naissance aux masses continentales australes actuelles de l'Amérique du Sud à l'Australie en passant par l'Afrique, l'Inde et l'Antarctique. L'Inde a eu une histoire originale en entrant en collision avec le continent eurasiatique dès la limite Crétacé/Tertiaire. Quant à la Nouvelle-Zélande, elle illustre l'histoire d'une marge périgondwanienne active depuis 300 Ma, voire 600 Ma, au cours des cycles orogéniques Tuhua et Rangitata. C'est au début du cycle Kaikoura (100-0 Ma) que la Nouvelle-Zélande s'est séparée de l'Australie.

Abstract. — The southern half of emerged landmasses has formerly been united into a supercontinent called Gondwana. These Gondwanan continents are characterized by the occurrence of a Carboniferous to Jurassic sedimentary sequence of mainly continental rocks (the South African and Madagascan Karroo, the Indian Gondwana). This sequence begins with Permo-Carboniferous glacial and periglacial deposits and is topped by Jurassic volcanic rocks. The Gondwana supercontinent would have formed in the Early Cambrian from Precambrian shields originated from a first Pangaea. It was located in a southern latitude during the whole Early Palaeozoic, when it has rotated clockwise till it collided with a northern landmass called the Old Red Continent. As early as the Devonian this collision created a second Pangaea which grew due to the accretion of Asian elements during the Late Palaeozoic: it is the Wegener's Pangaea. Dating from the Jurassic this megacontinent broke up. Its southern, Gondwanan part gave the present day southern continents such as South America, Africa, India, Antarctica, and Australia. India had a separate, original history when colliding with Eurasia as early as the Cretaceous/Tertiary boundary time. Finally New Zealand is used to illustrate the history of a perigondwanan margin, active since 300 Ma, or even 600 Ma, during the Tuhua and Rangitata orogenic cycles. New Zealand split off Australia at the beginning of the Kaikoura orogenic cycle (100-0 Ma).

I. — INTRODUCTION (M.W.)

Il y a environ 300 millions d'années tous les continents que nous connaissons actuellement étaient réunis en un vaste ensemble que l'on appelle la Pangée (Wegener, 1915), le reste de la surface du globe correspondant à un vaste Paléopacifique parfois appelé Panthalassa. L'énorme ensemble continental que constituait la Pangée commença à se dissocier et se fragmenter il y a environ 200 millions d'années. Cette fragmentation est relativement réduite dans la partie actuellement septentrionale et ne conduisit qu'à deux grands ensembles continentaux, l'Amérique du Nord et l'Eurasie. Par contre, la partie actuellement méridionale se dissocia de manière plus importante sans que nous

connaissons bien actuellement les raisons de cette différence.

Cette partie méridionale, que l'on a proposé d'appeler Gondwana, donna naissance à l'Amérique du Sud, à l'Afrique, à l'Arabie, à Madagascar, à l'Inde, à l'Australie, à une partie de la Nouvelle-Zélande, à l'Antarctique et à un certain nombre d'éléments du sud de l'Eurasie. Ces continents méridionaux, issus du Gondwana, sont donc particulièrement importants par leur surface (la moitié des terres émergées) et par leur intérêt économique. Les formations géologiques "gondwaniennes" contiennent en effet des richesses actuellement sous-exploitées qui constituent environ 60 % du potentiel mondial en charbon, pétrole, métaux, eau douce.

(*) U.S.T.L., Sciences de la Terre, URA 1365 du CNRS, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

(**) U.S.T.L., Sciences de la Terre, Laboratoire de Géologie dynamique, URA 719 du CNRS, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

(***) U.S.T.L., Sciences de la Terre, Laboratoire de Paléobotanique, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

IIe siècle après J.-C.	Claude Ptolémée, probablement né vers 110 à Ptolemaïs d'Hermias, en Thébaïde, suggère l'existence d'un vaste continent méridional, la <i>terra australis incognita</i> . Ses travaux sont publiés aux XVe et XVIe siècles
1620	Francis Bacon émet l'idée de déplacements possibles des continents
1775	Le capitaine James Cook croit pouvoir annoncer la non-existence de cette <i>terra australis incognita</i> . Le continent antarctique ne sera découvert que plus tard
1817-1818	Charles Konig évoque la "probabilité que les montagnes de Pernambuco, de Rio et d'autres parties de l'Amérique méridionale étaient originellement réunies aux chaînes opposées qui traversent les plaines du Congo et de Loango" (cité par P. Homéril, in <i>Historique des premières hypothèses géologiques d'une séparation Afrique-Amérique du Sud</i> , Comité français d'histoire de la géologie, n° 10, 1978). Cette observation, remarquable, est restée méconnue
1875	H.F. Blanford rapporte l'existence de la flore à <i>Glossopteris</i> et <i>Gangamopteris</i> dans le système de Karoo (Afrique du Sud), du Gondwana (Inde) et en Australie. On émet l'idée d'un "continent indo-océanique" depuis le Permien jusqu'au Tertiaire
1885	Eduard Suess, dans <i>Das Antlitz der Erde (La Face de la Terre)</i> , reprend les idées de Blanford et propose le terme de Gondwana pour nommer un ensemble ayant regroupé l'Afrique, Madagascar et la péninsule indienne pendant le Permo-Trias
1887	Melchior Neumayr propose d'ajouter à ce Gondwana l'Amérique du Sud en un continent "africano-brésilien"
1888-1901	Eduard Suess ajoute l'Australie et l'Amérique du Sud aux regroupements précédemment proposés. On a ainsi "création" de la Gondwanie qui regroupait les continents au Sud de la Téthys
1907	T. Arltd admet l'existence de la Gondwanie depuis le Précambrien (en 1919, John M. Clarke proposera d'ajouter l'Antarctide à ladite Gondwanie)
1915	Alfred Wegener, dans <i>Die Entstehung der Kontinente und Ozeane (La Genèse des continents et des océans)</i> , inclut la Gondwanie dans son continent unique, la Pangée, dont les éléments, pour lui, ne se séparent que dès le début du Tertiaire
début des années 1930	<p>Fox (1931) peut écrire : "il est évident et pratiquement certain qu'une vaste aire continentale, relativement permanente, existait dans l'hémisphère Sud et incluait ce qui fait actuellement partie de l'Inde, de l'Afrique du Sud, de l'Amérique du Sud, de l'Australie et de l'Antarctique"</p> <p>Des essais d'interprétation de la répartition des marges continentales ont amené, dans les années 1930, différents chercheurs à proposer deux tentatives d'explication :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La <i>théorie de Gondwanaland</i> est essentiellement due aux géologues du Geological Survey of India et à Suess. Ces chercheurs pensaient que l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Arabie, l'Inde, Madagascar et l'Australie avaient formé un continent unique, ou Gondwanaland, allant de l'Amérique du Sud à l'Australie dans leur position actuelle. D'énormes pans de ce vaste édifice continental se seraient effondrés et auraient été submergés, au Jurassique, pour la partie correspondant à l'océan Indien, au Crétacé pour la partie correspondant à l'océan Atlantique sud. Cette théorie n'a évidemment pas résisté aux travaux océanographiques. Signalons, de plus, que le terme Gondwanaland est à proscrire puisque Gond-wana signifie déjà Terre des Gonds - La <i>théorie des ponts continentaux</i>. La grande difficulté d'imaginer les effondrements et les immersions que nous venons d'évoquer dans la théorie de Gondwanaland a, sans doute par comparaison avec des réalités géographiques comme l'isthme de Bering, poussé certains géologues à imaginer un ingénieux système de ponts continentaux, entre l'Antarctique, l'Amérique du Sud, l'Afrique, Madagascar, l'Inde et l'Australie. L'effondrement de ces ponts, d'importance relativement réduite, leur paraissait plus facile à admettre que celle des vastes pans continentaux envisagés plus haut
1933-1952	Réunions de la Commission internationale du Gondwana (créée lors du XVe Congrès géologique international à Pretoria) lors des différents Congrès géologiques internationaux. Travaux de Sidney H. Haughton et Curt Teichert
1952-1992	Tenues régulières de symposiums par la Sous-Commission de stratigraphie et géologie du Gondwana, sous l'impulsion de E. Plumstead, J.M. Dickins et Rochas-Campos à Canberra, Calcutta, Wellington, Colombus et Rio de Janeiro. Travaux du Groupe français d'étude du Gondwana et colloques à Paris (1981) et à Lille (1977, 1987)

Tableau I. — Principales étapes de l'évolution du concept de Gondwana (d'après Waterlot & Blicek, 1989, tabl. I modifié).

Table I. — Main steps towards the concept of Gondwana (after Waterlot & Blicek, 1989, tabl. I, modified).

II. — HISTORIQUE DE LA NOTION DE GONDWANA (M.W.)

Ce terme, a priori très local, doit son origine aux royaumes indiens des Gonds, parties de l'empire Mogol (Pouchepadass & Hurtig, 1990, p. 29). Les royaumes des Gonds, ou Gondwana, étaient situés entre le Bengale et le royaume de Golconde au sud du fleuve Narbada. C'est dans la vallée de ce fleuve que les formations géologiques, dès lors appelées "gondwaniennes", ont été étudiées et décrites pour la première fois par les géologues anglais du Service Géologique Indien.

Le mot Gondwana fut utilisé pour la première fois en 1872 par Medlicott, dans un rapport manuscrit inédit. Ce terme fut imprimé, donc connu du monde scientifique, en 1877, dans un travail de Feismantel publié à Calcutta. A l'époque ce terme était une appellation géologique strictement locale mais, assez rapidement, les géologues et géographes se rendirent compte des étroites ressemblances entre les formations géologiques post-précambriennes des continents méridionaux et, dès lors, la notion de formations gondwaniennes se généralisa.

Toutefois si les termes Gondwana et gondwanien sont relativement récents (à peine plus d'un siècle), la notion d'abord diffuse mais de plus en plus précise d'un continent méridional unique est ancienne. La genèse de cette notion a connu de nombreuses étapes et de nombreux aléas récapitulés dans le tableau I.

III. — GRANDS TRAITS GEOLOGIQUES COMMUNS AUX CONTINENTS GONDWANIENS (M.W.)

De manière générale on distingue, dans les continents gondwaniens, deux grands ensembles lithologiques:

- des formations précambriennes épaisses, monotones, très souvent fortement métamorphisées (gneiss, micaschistes, amphibolites). Ces séries présentent de nombreuses ressemblances d'un continent méridional à l'autre. Nous en étudierons plus loin un exemple, celui du sous-continent indien. Ces séries précambriennes, socle des continents gondwaniens, sont toujours très riches en minerais divers et leur potentiel d'exploitation est immense. Sur certains continents (Antarctique, Afrique du Sud, Inde), le Précambrien est surmonté par un Cambrien sédimentaire fossilifère (exemple: le Groupe de Nama en Afrique du Sud).

- au-dessus de ces formations précambriennes et discordantes sur elles (sauf en Antarctique et en Afrique Australe où s'intercalent des séries respectivement d'âge dévonien et silurien à carbonifère inférieur), se trouvent des formations s'étagant, sur 150 millions d'années, du Carbonifère supérieur au début du Crétacé. Ces formations, assez homogènes, sont pratiquement identiques de l'Amérique du Sud à l'Australie et ont recouvert l'ensemble des continents méridionaux. Fortement érodées au Crétacé, au Tertiaire et au Quaternaire, elles couvrent encore, néanmoins, une surface de l'ordre de 30 millions de kilomètres carrés, soit la superficie actuelle de l'Afrique.

Ces séries gondwaniennes, immenses et monotones, sont souvent épaisses de plusieurs kilomètres. Gignoux (1950) indiquait dans son traité de géologie stratigraphique: "Combien une telle grandiose permanence nous éloigne des multiples vicissitudes géologiques qu'ont traversées, depuis le Carbonifère, nos pays de la Méditerranée et de l'Europe occidentale !"

Ayant, dès le milieu du XIXe siècle, été étudiées par des écoles géologiques diverses, en Amérique du Sud, en Afrique, en Inde et en Australie, ces séries, bien que très ressemblantes d'un continent à un autre, ont été subdivisées de manière sensiblement différentes et les corrélations ne sont pas toujours aisées à établir. Nous proposons toutefois

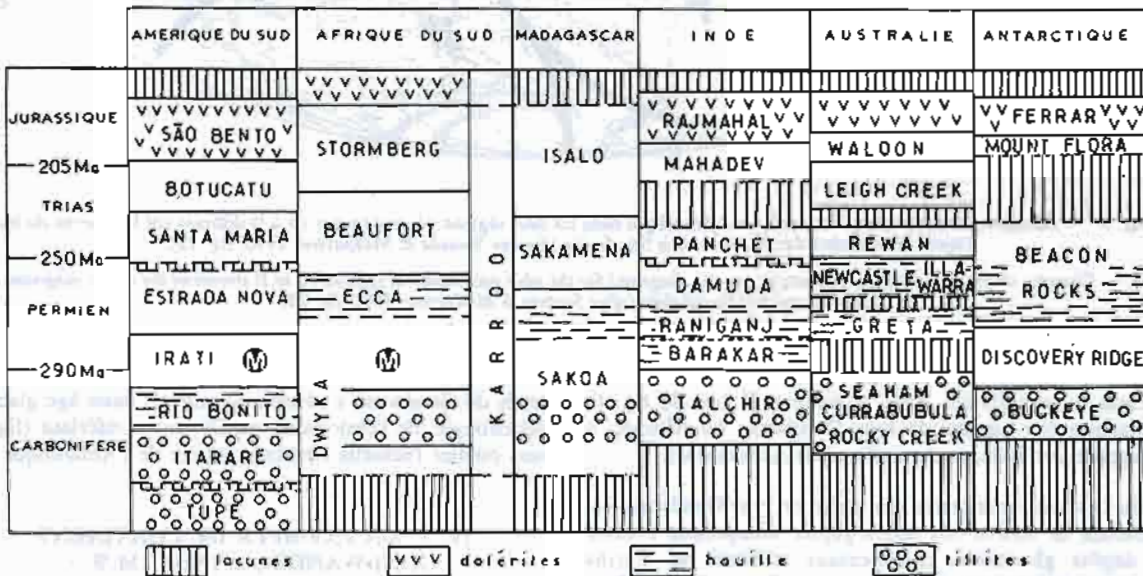


Tableau II. — Corrélation stratigraphique entre les séries gondwaniennes (d'après Vickers-Rich & Rich, 1993, p. 18 modifié; âges radiochronologiques d'après Cowie & Bassett, 1989). Le M blanc dans une pastille noire symbolise la présence de *Mesosaurus*.

Table II. — Stratigraphical correlations of the Gondwanan series (after Vickers-Rich & Rich, 1993, p. 18, modified; radiochronologic ages after Cowie & Bassett, 1989). The white M in the black dot locates occurrences of *Mesosaurus*.

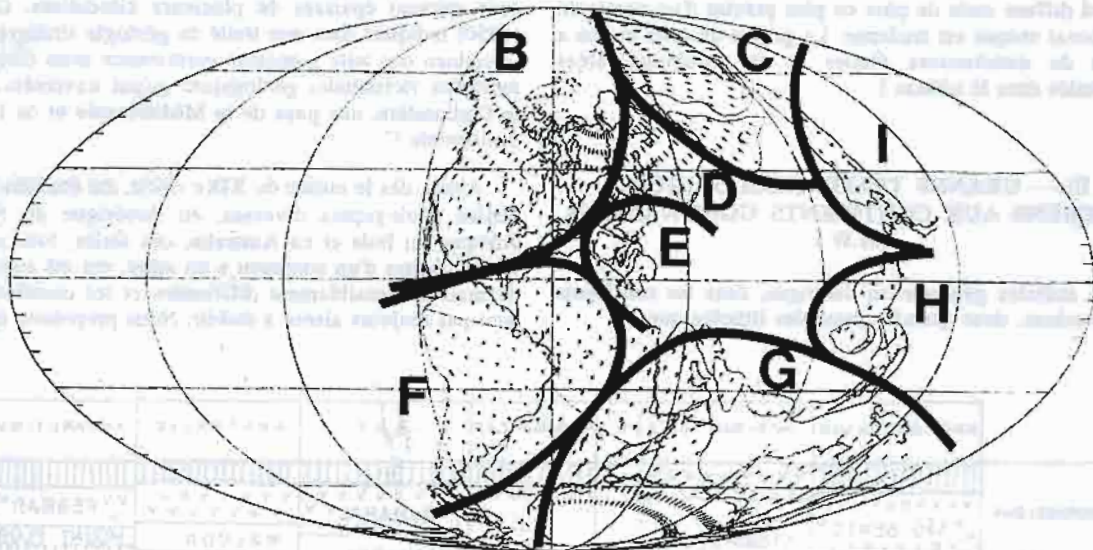
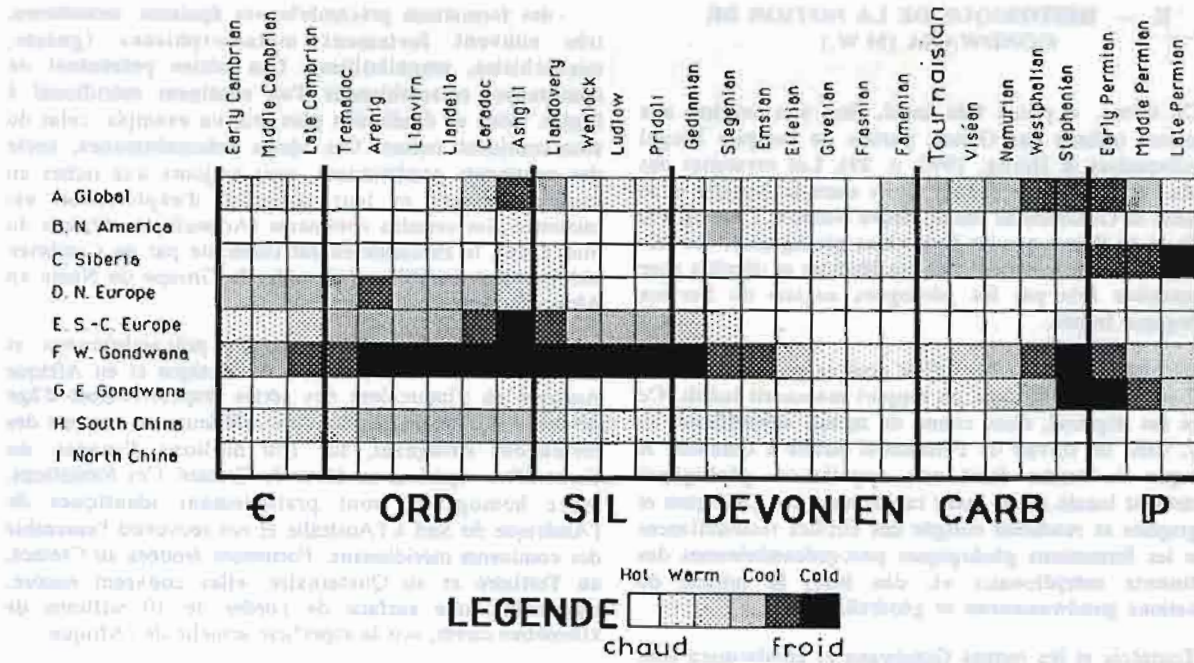


Fig. 1. — Changements climatiques au cours du Paléozoïque dans les neuf régions géographiques (B à I) définies sur le schéma du bas, d'après les données des faunes et des lithofaciés (d'après Scotese & McKerrow, 1990, fig. 22).

Fig. 1. — Climatic changes during the Palaeozoic (upper diagram) for the nine geographical regions (B to I) shown in the lower diagram, after faunal and lithofacial data (after Scotese & McKerrow, 1990, fig. 22).

un essai de corrélation dans le tableau II (en B, fig. 6, localisation des bassins de type Gondwana en Afrique, à Madagascar, en Inde, en Australie et en Antarctique).

Un des traits marquants des séries de type Gondwana est l'existence de formations lithologiques interprétées comme des dépôts glaciaires, continentaux (tillites) ou marins (blocs erratiques), ou périglaciaires au Permo-Carbonifère. Les tillites de Talchir en Inde en constituent l'exemple (tabl. II). Ces formations ont joué un rôle historique important puisqu'elles sont l'un des arguments de Wegener (1915) pour regrouper les continents méridionaux. Une

partie du Gondwana a néanmoins subi un autre âge glaciaire paléozoïque, de l'Ordovicien au Dévonien inférieur (fig. 1), sans oublier l'actuelle situation polaire de l'Antarctique.

IV. — UN EXEMPLE DE CONTINENT GONDWANIEN, L'INDE (M.W.)

1) Grands traits structuraux

Nous prenons l'Inde comme exemple de continent gondwanien d'une part pour les raisons historiques

développées ci-dessus et d'autre part en raison de la série géologique typique et assez complète qu'elle offre.

La péninsule indienne est formée, pour l'essentiel, d'un vaste ensemble précambrien venant du sud-ouest après sa séparation au Jurassique de l'ensemble africano-malgache et subducté en partie sous l'Asie dès le début du Tertiaire au moins. Cet important phénomène géotectonique a déterminé la genèse des Himalayas. Le Précambrien indien péninsulaire (fig. 2), non concerné par la chaîne himalayenne, a été entièrement recouvert, de la fin du Paléozoïque au début du Crétacé, par une série horizontale essentiellement continentale, la série gondwanienne (tabl. III) qui, on l'a vu, est une série de référence pour l'ensemble des séries gondwaniennes mondiales. Ces formations ont été largement érodées et ne s'observent plus maintenant que dans des zones effondrées, leur effondrement les ayant protégées de l'érosion.

Les séries gondwaniennes ont été recouvertes au Crétacé-Paléocène par les énormes épandements basaltiques dits Trapps du Deccan qui constituent l'une des venues volcaniques les plus importantes connues dans l'histoire de notre planète (Courtilot, 1990a-b). C'est à cette époque que la péninsule indienne est devenue partie intégrante de l'Asie tandis que de petites transgressions de l'Océan Indien venaient lécher ses bordures. Les grands ensembles constitutifs du sous-continent indien sont donc (fig. 2):

- au nord, la chaîne des Himalayas due à la migration et au passage de la plaque indienne sous l'Asie ; cette collision produit également une importante déformation de la partie orientale de la plaque eurasiatique (phénomène de poinçonnement: Tapponnier *et al.*, 1982);

- plus au sud, la plaine indogangétique provenant essentiellement de l'érosion de la chaîne himalayenne.

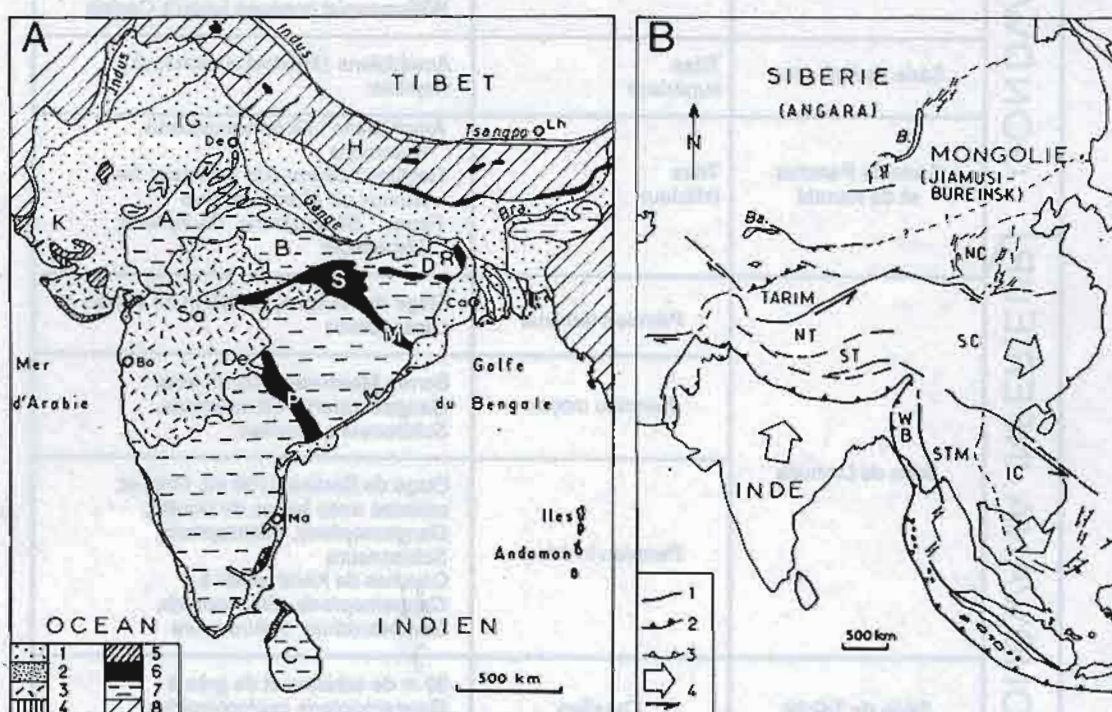


Fig. 2. — Cadre géologique de la péninsule indienne.

A- Schéma géologique d'après Furon (in Durand-Dastès & Furon, 1990, fig. 1; modifié d'après Bassoullet *et al.*, 1986, fig. 1 et Tripathi & Singh, 1987, fig. 3). 1- Quaternaire, 2- Tertiaire, 3- Trapps du Deccan, 4- Crétacé marin, 5- Jurassique marin, 6- Super-groupe de Gondwana, 7- Précambrien, 8- chaînes alpines. Abréviations: A- Aravalli, B- Bundelkhand, Bra- Brahmapoutre, C- Ceylan, De- Deccan, H- Himalaya, IG- Plaine Indogangétique, K- Kutch, Sa- Satpura; villes: Bo- Bombay, Ca- Calcutta, De- Delhi, Lh- Lhasa, Ma- Madras; bassins gondwaniens de l'Inde péninsulaire: D- Damodar, M- Mahanadi, P- Pranhita-Godavari, R- Rajmahal, S- Son.

B- Relation des blocs continentaux d'Asie du sud, du sud-est et de l'est, issus du Gondwana et/ou du voisinage de sa marge nord-est, d'après Tapponnier *et al.* (1982, fig. 1) et Peltzer *et al.* (1984), modifié suivant Talent *et al.* (1987, fig. 4), Burrett *et al.* (1990, fig. 5). 1- failles majeures ou limites de plaques, 2- chevauchements intracontinentaux, 3- subduction, 4- mouvements majeurs des blocs par rapport à la Sibérie. Abréviations: B- lac Baïkal, Ba- lac Balkhach, IC- Indochine, NC- Chine du Nord (Sino-Korea), NT- Nord-Tibet, SC- Chine du Sud, ST- Sud-Tibet, STM- Shan-Thai-Malay (Sibumasu), WB- Birmanie Ouest.

Fig. 2. — Geology of peninsular India.

A- Geological sketch after Furon (in Durand-Dastès & Furon, 1990, fig. 1; modified according to Bassoullet *et al.*, 1986, fig. 1 and Tripathi & Singh, 1987, fig. 3). 1- Quaternary, 2- Tertiary, 3- Deccan Traps, 4- Marine Cretaceous, 5- Marine Jurassic, 6- Gondwana Supergroup, 7- Precambrian, 8- Alpine chains. Abbreviations: A- Aravalli, B- Bundelkhand, Bra- Brahmaputra, C- Sri Lanka, De- Deccan, H- Himalayas, IG- Indus-Ganga plain, K- Kutch, Sa- Satpura; towns: Bo- Bombay, Ca- Calcutta, De- Delhi, Lh- Lhasa, Ma- Madras; Gondwana basins of peninsular India: D- Damodar, M- Mahanadi, P- Pranhita-Godavari, R- Rajmahal, S- Son.

B- Relationships of southern, south-east and eastern Asian continental blocks, originated from Gondwana and/or nearby its north-east margin, after Tapponnier *et al.* (1982, fig. 1) and Peltzer *et al.* (1984), modified according to Talent *et al.* (1987, fig. 4), Burrett *et al.* (1990, fig. 5). 1- main faults or plate boundaries, 2- intracontinental thrusts, 3- subduction, 4- main motions of blocks, relative to Siberia. Abbreviations: B- lake Baikal, Ba- lake Balkhach, IC- Indochina, NC- North China (Sino-Korea), NT- North Tibet, SC- South China, ST- South Tibet, STM- Shan-Thai-Malay (Sibumasu), WB- West Burma.

GONDWANA SUPERIEUR	Trapps du Deccan	Crétacé supérieur et Paléocène	Eruptions fissurales ; jusqu'à 2 000 m d'épaisseur ; quelques dépôts lacustres intercalés
	Couches de Lameta (Inde centrale)	Crétacé supérieur	Faune de Reptiles, Dinosaures cosmopolites, <i>Titanosaurus</i> , <i>Antarctosaurus</i> , <i>Megalosaurus</i>
	Couches d'Umia (dans le Kutch)	Crétacé inférieur	1 km entre le Portlandien et le Néocomien marins
	Série de Jabalpur	Jurassique moyen et supérieur	Abondance de Conifères et Cycadales
	Série de Rajmahal	Lias	700 m de coulées basaltiques (sensiblement contemporaines de celles d'Afrique du Sud et d'Amérique du Sud). Intercalations de grès et schistes à plantes (<i>Thinnfeldia</i> , <i>Taeniopteris</i> , <i>Williamsonia</i>) connues jusqu'à Ceylan
	Série de Mahadev	Trias supérieur	Amphibiens (<i>Mastodontosaurus</i>), Reptiles
	Série de Panchet et de Kamthi	Trias inférieur	Amphibiens : <i>Gondwanosaurus</i> , <i>Brachiops</i> Reptiles : <i>Dicynodon orientalis</i> , bien connus en Afrique du Sud Flores : <i>Glossopteris</i> , <i>Pecopteris</i> , <i>Thinnfeldia</i>
	Série de Damuda	Permien terminal	Etage de Raniganj : 1 000 m de dépôts à <i>Glossopteris</i>
		Permien moyen	Barren Measures (700 m) avec <i>Gangamopteris</i> , <i>Glossopteris</i> , <i>Schizoneura</i> , Houilles
		Permien inférieur	Etage de Barakar (700 m). Grès et schistes avec bancs de houille, <i>Gangamopteris</i> , <i>Glossopteris</i> , <i>Schizoneura</i> Couches de Karaharbari à <i>Gangamopteris</i> , <i>Glossopteris</i> , <i>Gondwanidium</i> , <i>Schizoneura</i>
Série de Talchir	Ouralien	30 m de schistes et de grès à <i>Gangamopteris cyclopteroides</i> , <i>Glossopteris indica</i> , Tillites de Talchir	
On ne connaît pas, en Inde, de dépôts intermédiaires entre le Précambrien et le Carbonifère supérieur et ses tillites gondwaniennes de base (Tillites de Talchir)			
PRECAMB.	Précambrien terminal	Infracambrien ou Lipalien - 1 000 à - 600 MA	
	Précambrien supérieur	Système de Satpura : plis E-W. Moins métamorphisé que les séries précédentes	
	Précambrien moyen	Système de Aravalli - Dharwar et des Ghâts orientaux <u>discordant</u> sur le Précambrien inférieur. Plis N-S (or, graphite)	
	Précambrien inférieur	Système de Bundelkhand (pré-Aravalli). Centre de l'Inde. Les plis sont orientés E-W. Ancien complexe sédimentaire métamorphisé	

Tableau III. — Série stratigraphique indienne simplifiée (d'après Furon, in Durand-Dastès & Furon, 1990).

Table III. — Simplified stratigraphical sequence of India (after Furon, in Durand-Dastès & Furon, 1990).

	USA 243 773 000 habitants Densité : 26 h/km ² Superficie : 9 364 000 km ²	FRANCE 55 623 000 habitants Densité : 102 h/km ² Superficie : 544 000 km ²	INDE 783 044 000 habitants Densité : 247 h/km ² Superficie : 3 270 000 km ²
P.N.B./hab.	P.N.B. 17 600 US\$/hab.	P.N.B. 9 545 US\$/hab.	P.N.B. 260 US\$/hab.
Pétrole brut en barils	3 163 900 000 barils	19 371 000 barils	226 936 000 barils
Charbon	805 556 000 tonnes	18 964 000 tonnes	157 485 000 tonnes
Gaz Naturel	453 000 000 000 m ³ env.	6 000 000 000 m ³ env.	4 000 000 000 m ³ env.
Bauxite	500 000 tonnes	1 380 000 tonnes	2 400 000 tonnes
Mineral de fer	42 374 000 tonnes	3 700 000 tonnes	53 000 000 tonnes
Culvre	1 150 000 tonnes		55 000 tonnes
Or	112 tonnes	2,7 tonnes	2 tonnes

Tableau IV. — Principales industries extractives de l'Inde, comparées à celles de la France et des USA. Les chiffres proposés sont, en gros, les moyennes des années 1985 à 1988, assez significatives (Collectif, 1988).

Table IV. — Main extraction industries of India, France and the USA. Averages for years 1985-88 (Collectif, 1988).

Cette plaine de piedmont est, comme son nom le rappelle, parcourue par l'Indus, le Gange et, en partie, par le Brahmapoutre, à l'est;

- plus au sud encore, déterminant le triangle morphologique caractéristique de l'Inde péninsulaire, quatre ensembles structuraux :

- . le Précambrien indien (tabl. III) qui correspond à l'essentiel de la masse du sous-continent et à l'île de Ceylan ;

- . les zones d'effondrement dans lesquelles sont conservées les formations gondwaniennes (bassins de Pranhita-Godavari, Mahanadi, Son, Satpura, Damodar et Rajmahal) ;

- . les transgressions jurassiques et crétacées localisées surtout au NW du bouclier précambrien;

- . les Trapps du Deccan.

Il existe cependant des séries sédimentaires de type Gondwana en dehors de la péninsule, dans l'Himalaya (A, fig. 2). Il s'agit de dépôts glaciaires (diamictites), de la flore à *Glossopteris* et de la faune à *Eurydesma*, présents à la fois dans le Bas et le Haut Himalayas. La limite septentrionale de l'Inde gondwanienne doit donc être portée au moins jusqu'au Bas Himalaya. La série du Haut Himalaya présente en effet également des éléments de flore à affinités "cathaysiennes" (chinoises) et "laurasiatiques"; elle est ainsi qualifiée de mixte et pourrait correspondre soit à une extension plus au nord de la marge gondwanienne soit à un ensemble insulaire situé en bordure du Gondwana (Tripathi & Singh, 1987).

2) Ressources minérales

Les séries précambriennes et gondwaniennes qui, nous l'avons vu, constituent l'essentiel de la péninsule indienne, contiennent pratiquement toutes les ressources minérales envisageables. L'Inde est donc, sur le plan minéral, un pays potentiellement très riche. Toutefois sa densité de population et son système économique induisent un PNB/habitant assez faible. Nous donnons, à titre d'illustration, un tableau comparatif des richesses minérales des USA, de la France et de l'Inde (tabl. IV). Les chiffres proposés sont, en gros, les moyennes des années 1985 à 1988.

V. — FORMATION ET FRAGMENTATION DU GONDWANA (A.B.)*

Historiquement donc, le supercontinent de Gondwana a été défini à partir d'arguments stratigraphiques et paléontologiques et nous étions habitués à parler du Gondwana comme d'une masse unique, pérenne au moins au cours du Paléozoïque, fragmentée après le Trias. Cette masse était censée être partie intégrante d'une Pangée au moins au Permo-Carbonifère. Cependant des questions ont été posées sur les limites de ce supercontinent, notamment en ce qui concerne ses marges septentrionales et orientales, et on a vu apparaître les contours d'un Gondwana élargi, intégrant plusieurs éléments continentaux européens, asiatiques et circumpacifiques dès le Cambrien (Nur & Ben-Avraham, 1982; Waterlot & Blicek, 1989; Courjault-Radé *et al.*, 1992). Ce modèle a néanmoins évolué récemment à la suite

(*) Ce chapitre a fait l'objet d'une communication orale devant le Groupe Français d'Étude du Gondwana, à Paris le 7 Décembre 1990.

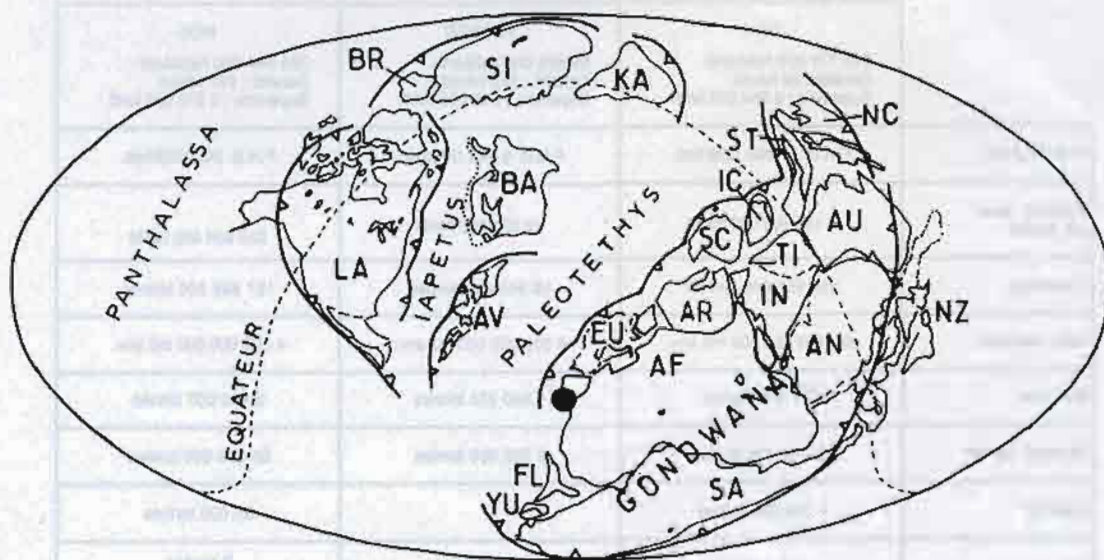


Fig. 3. — Reconstitution paléogéographique mondiale à l'Ordovicien moyen/supérieur (Llandeilo-Caradoc) d'après Scotese & McKerrow (1991, fig. 1). Blocs continentaux: AF- Afrique, AN-Antarctique, AR- Arabie, AU- Australie, AV- Avalonia (Nouvelle-Angleterre et Angleterre), BA- Baltica (Europe du Nord), BR- Barentsia (Svalbard), EU- Europe du centre et du sud, FL- Floride et Piedmont (SE des USA), IC- Indochine, IN- Inde, KA- Kazakhstan, LA- Laurentia (Amérique du Nord), NC- Chine du Nord, NZ- Nouvelle-Zélande, SA- Amérique du Sud, SC- Chine du Sud, SI- Sibérie + Mongolie, ST- Shan-Thaï-Malay, TI- Tibet, YU- Yucatan. La pastille noire situe le pôle sud.

Fig. 3. — Middle/Upper Ordovician (Llandeilo-Caradoc) World palaeogeographical reconstruction after Scotese & McKerrow (1991, fig. 1). Continental blocks: AF- Africa, AN- Antarctica, AR- Arabia, AU- Australia, AV- Avalonia (New England and England), BA- Baltica (northern Europe), BR- Barentsia (Svalbard), EU- Central and southern Europe, FL- Florida and Piedmont (SE USA), IC- Indochina, IN- India, KA- Kazakhstan, LA- Laurentia (North America), NC- North China, NZ- New Zealand, SA- South America, SC- South China, SI- Siberia + Mongolia, ST- Shan-Thai-Malay, TI- Tibet, YU- Yucatan. The black dot locates the south pole.

d'études géologiques de terrain sur les régions méridionales du Gondwana (Amérique du Sud et Antarctique notamment) et d'études paléomagnétiques et paléontologiques tant à l'ouest (Afrique) qu'à l'est (Australie-Antarctique) des éléments du supercontinent. La question posée est la suivante: y a-t-il eu une seule masse continentale méridionale ou plusieurs éléments séparés au cours du Paléozoïque, avant la formation de la Pangée wegenérienne (Young, 1987, p. 300; Ramos, 1988; Hoffman, 1991; Kirschvink *in* Debrenne & Zhuravlev, 1992)?

Le Gondwana, une fois soudé, s'est fragmenté en même temps que le reste de la Pangée après le Trias, au cours de la formation des bassins océaniques actuels (Atlantique Sud, Océan Indien). Un élément central, l'Inde, a dérivé globalement vers le nord et, d'après une vision désormais classique, s'est trouvé en situation insulaire au cours du Mésozoïque. Il apparaît pourtant que cette partie du modèle soit, elle aussi, à revoir parce que des données paléontologiques laissent entrevoir des contacts avec l'Afrique et l'Eurasie, tels que l'Inde n'a jamais été vraiment isolée du reste du monde. Historiquement d'ailleurs, cette option est celle que Wegener (1915) avait retenue.

Tels sont les points qui vont être discutés ci-dessous.

1) Un Gondwana compact

Une masse méridionale compacte, proche du pôle sud et comprenant les sept éléments continentaux d'origine (Amérique du Sud, Afrique-Arabie, Madagascar, Inde, Antarctique, Australie) plus un ensemble de "microcontinents" périphériques, semble faire l'unanimité

au moins à partir de l'Ordovicien. L'exemple choisi (fig. 3) illustre ce Gondwana, entouré de zones de subduction (Scotese & McKerrow, 1991, fig. 1).

Rappelons quand même que cette image du Gondwana, comme celles de toutes les masses continentales paléozoïques reconstituées, est loin de représenter fidèlement ce qu'a dû être le supercontinent austral. En effet, à sa périphérie, chaque élément est restitué avec sa forme et sa surface actuelles, sans tenir compte ni des raccourcissements subis au cours des orogènes phanérozoïques ni de l'érosion continentale profonde (Lallemand & Malavieille, 1992). On peut donc supposer un contour assez différent de celui qui est représenté (fig. 3). Un autre point mérite attention: les zones de subduction, qui ceinturent presque complètement le Gondwana sur le modèle choisi, ne le bordent qu'au nord (le long de la Chine du Nord, de l'Australie, de l'Antarctique) sur le modèle de Zonenshain *et al.* (1985, fig. 7c). Sur ce second modèle d'ailleurs, l'espace océanique qui sépare la Sibérie, le Kazakhstan et l'Europe du Nord (Baltica) du Gondwana est beaucoup plus réduit que sur celui de Scotese & McKerrow (1991, fig. 1) (fig. 3). Cette différence est à mettre au compte de la méthode de reconstruction "absolue" de Zonenshain *et al.* (1985), fondée sur l'étude du mouvement intraplaque de la trace des points chauds (magmatisme) en vue de déterminer la place des cratons en longitude, en plus des données paléomagnétiques qui les situent en latitude. La méthode de Zonenshain *et al.* semble donc plus crédible parce qu'elle prend en compte un facteur correcteur supplémentaire. La position et l'orientation du bloc de Chine du Nord (NC, fig. 3) pose aussi un problème grave: il est en latitude très

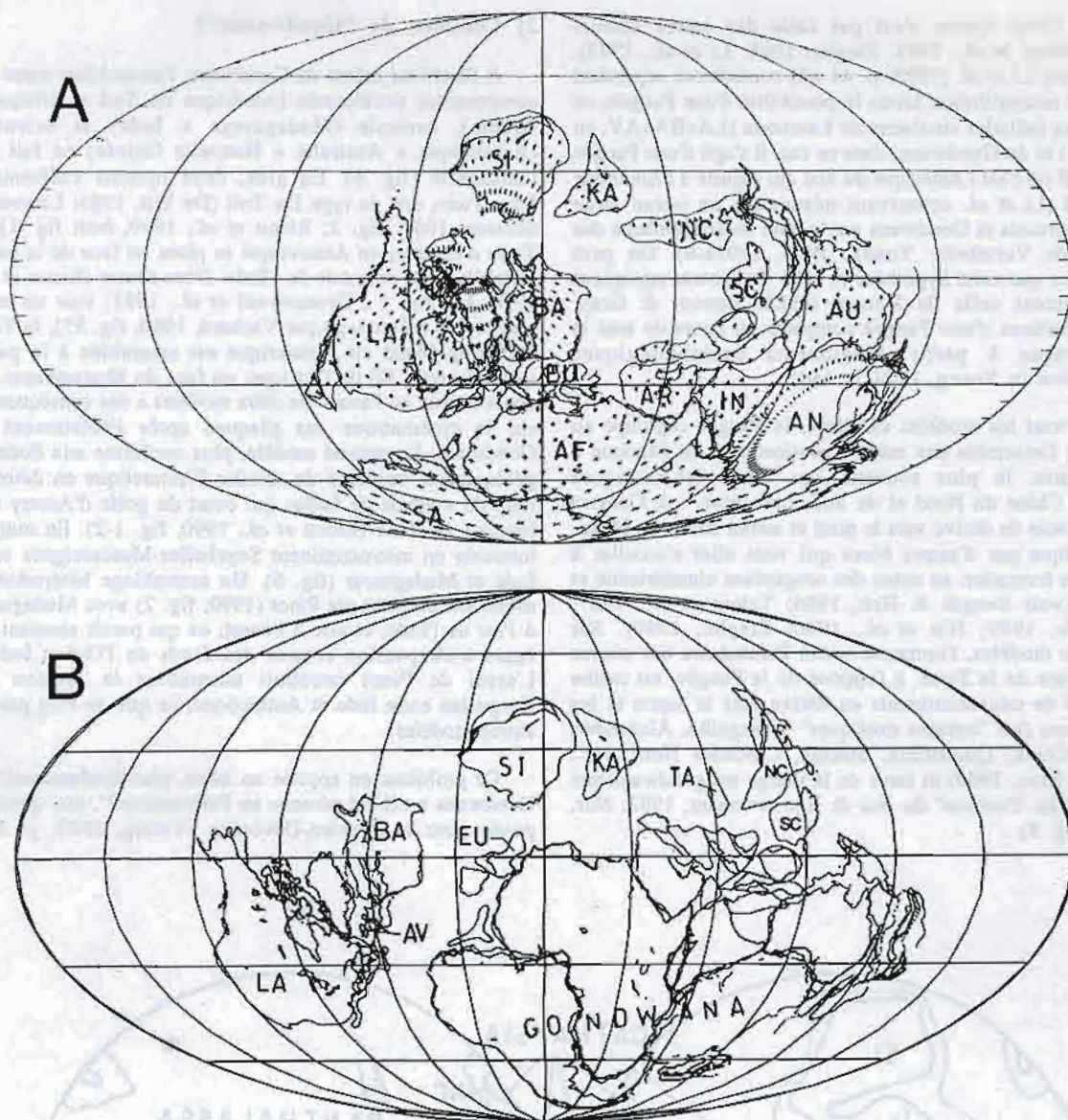


Fig. 4. — Deux reconstitutions différentes pour le Dévonien inférieur (Lochkovien). A- reconstitution de type Pangée A d'après Scotese & McKerrow (1990, fig. 13); B- reconstitution où le Gondwana n'est pas au contact du Continent des Vieux Grès Rouges (LA+BA+AV), d'après Li *et al.* (1993, fig. 2.6). Mêmes abréviations que fig. 3 avec, en plus, TA- Tarim.

Fig. 4. — Two different Early Devonian (Lochkovian) reconstructions. A- Pangaea A type reconstruction after Scotese & McKerrow (1990, fig. 13); B- reconstruction without any contact between Gondwana and the Old Red Sandstones Continent (LA+BA+AV), after Li *et al.* (1993, fig. 2.6). Same abbreviations as fig. 3, plus TA- Tarim.

septentrionale et avec la Corée orientée au nord sur le modèle de Zonenshain *et al.* (1985), en latitude méridionale et orienté SW-NE sur celui de Scotese & McKerrow (1990), en latitude septentrionale proche de l'équateur, orienté W-E, mais situé de l'autre côté (à l'est) de l'Australie sur celui de Li *et al.* (1993, fig. 2.4)! Sur la reconstitution présentée ici (fig. 3), la Chine du Nord est en position intermédiaire, au nord-ouest du bloc Australie-Nouvelle Guinée. Cette incertitude vient du manque de données paléomagnétiques en Chine du Nord de l'Ordovicien supérieur au Carbonifère inférieur (Li *et al.*, 1993, p. 37). Néanmoins les données paléontologiques parlent en faveur d'une proximité biogéographique de la Chine du Nord avec la Chine du Sud, l'Australie et l'Antarctique au moins au Dévonien (Burrett *et al.*, 1990; Young, 1990; Ritchie *et al.*, 1992).

Globalement les modèles comparés s'accordent sur une rotation dans le sens horaire du Gondwana au cours du Paléozoïque, aboutissant à une Pangée de type A c'est-à-dire une Pangée où le NW de l'Afrique s'encastre à l'est du bloc Laurentia (A, fig. 4). Un regroupement pangéen est même déjà perceptible sur les reconstitutions de Scotese (Scotese & McKerrow, 1990, fig. 13-14; Cocks & Scotese, 1991, fig. 3) dès le Dévonien inférieur: les blocs Laurentia et Gondwana y sont au contact au niveau de l'Europe moyenne (ex-Armorica) qui inclut le territoire français (EU, en A, fig. 4). Cette formation précoce de la Pangée au Paléozoïque supérieur a été supposée depuis plusieurs années sur la base de données essentiellement géologiques (tectoniques) par McKerrow & Ziegler (1972) puis paléomagnétiques par Miller & Kent (1988) et Van der Voo

(1988). Cette option n'est pas celle des autres auteurs (Zonenshain *et al.*, 1985; Ziegler, 1988; Li *et al.*, 1993). Parmi eux, Li *et al.* (1993, p. 41-42) considèrent cependant que leur reconstitution laisse la possibilité d'une Pangée, eu égard aux latitudes similaires de Laurussia (LA+BA+AV, en B, fig. 4) et du Gondwana; dans ce cas, il s'agit d'une Pangée de type B où c'est l'Amérique du Sud qui s'ajuste à l'Amérique du Nord (Li *et al.* conservent néanmoins un océan large entre Laurussia et Gondwana sur la base de l'endémisme des faunes de Vertébrés: Young, 1990, 1993a-b). On peut remarquer que cette hypothèse et celle de Scotese rejoignent partiellement celle de Boucot (1985; Boucot & Gray, 1983), partisan d'une Pangée compacte au cours de tout le Paléozoïque à partir d'arguments paléontologiques (discussion in Young, 1990, p. 450).

Sur tous les modèles existants, la Pangée regroupe au Permien l'ensemble des masses continentales de l'époque à l'exception, le plus souvent, des blocs est-asiatiques (Tarim, Chine du Nord et du Sud, Indochine, ...). Ceux-ci sont en voie de dérive vers le nord et seront suivis au Méso-Cénozoïque par d'autres blocs qui vont aller s'accoller à l'Asie en formation au cours des orogènes cimmérienne et alpine (voir Sengör & Hsü, 1986; Talent *et al.*, 1987; Metcalfe, 1989; Nie *et al.*, 1990; Ziegler, 1990). Sur quelques modèles, l'immense océan Panthalassa qui couvre l'autre face de la Terre, à l'opposé de la Pangée, est même parsemé de microcontinents en dérive vers le Japon et les Amériques (les "terrains exotiques" Wrangellia, Alexander, Cache Creek, Quesnellia, Stikina, Cascades Nord, etc.: Ross & Ross, 1990) et issus de la marge est-gondwanienne (fig. 5) (la "Pacifica" de Nur & Ben-Avraham, 1982; Nur, 1984, fig. 5).

2) Combien de "Gondwanas"?

A l'intérieur même du Gondwana, l'assemblage entre ses composantes occidentale (Amérique du Sud + Afrique + Arabie), centrale (Madagascar + Inde) et orientale (Antarctique + Australie + Nouvelle Guinée) ne fait pas l'unanimité (fig. 6). En gros, deux options s'affrontent. Dans l'une, dite de type Du Toit (De Wit, 1986; Lawver & Scotese, 1987, fig. 3; Ricou *et al.*, 1990, haut fig. 1), la Terre d'Enderby en Antarctique se place en face de la partie (actuellement) orientale de l'Inde. Dans l'autre (Ricou *et al.*, 1990, bas fig. 1; Groenewald *et al.*, 1991; voir un essai précoce du même type par Vachard, 1980, fig. 55), la Terre Dronning Maud en Antarctique est assemblée à la partie (actuellement) SE de l'Afrique, en face du Mozambique. Le choix de l'un ou l'autre des deux modèles a des conséquences sur la cinématique des plaques après l'éclatement du Gondwana. Le second modèle, plus conforme aux données géologiques, implique de scinder l'Antarctique en deux, le long du système de failles qui court du golfe d'Amery à la barrière de Ross (Ricou *et al.*, 1990, fig. 1-2). En outre il intercale un microcontinent Seychelles-Mascareignes entre Inde et Madagascar (fig. 6). Un assemblage hétérodoxe a même été proposé par Pinot (1990, fig. 2) avec Madagascar à l'est de l'Inde, et non à l'ouest, ce qui paraît aberrant, eu égard à l'expansion connue des fonds de l'Océan Indien. L'essai de Pinot introduit néanmoins le plateau des Kerguelen entre Inde et Antarctique, ce que ne font pas les autres modèles.

Ce problème en appelle un autre, plus fondamental: "le Gondwana a-t-il été pérenne au Paléozoïque?", une question posée pour le Silurien-Dévonien (Young, 1987, p. 300)

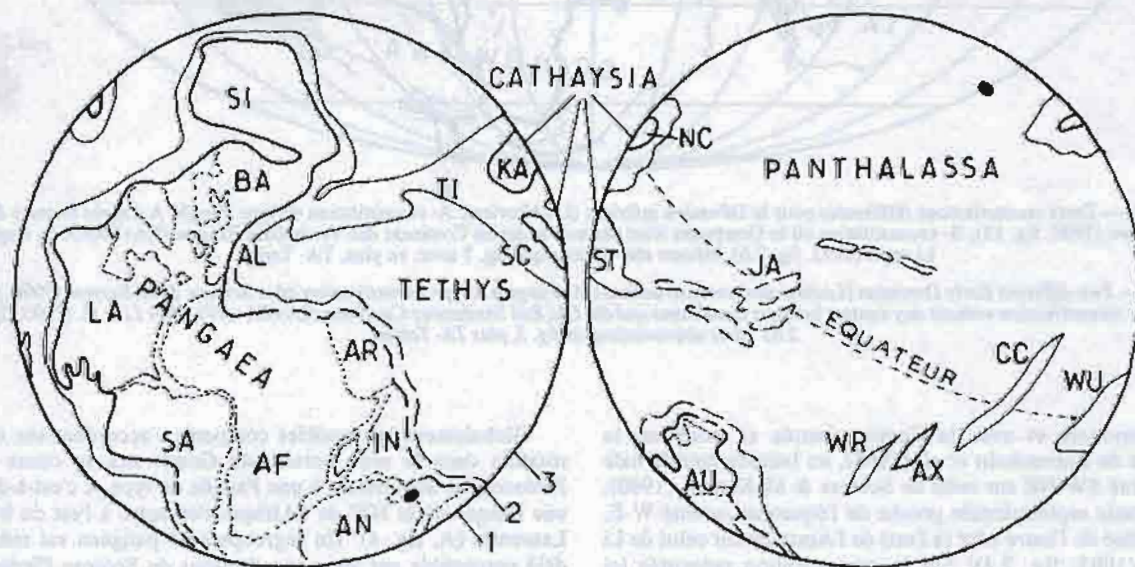


Fig. 5. — Reconstitution paléogéographique mondiale au Permien inférieur (Wolfcampien-Léonardien) d'après Ross & Ross (1990, p. 355). 1- terres émergées, 2- plateaux continentaux/mers peu profondes, 3- océans. Mêmes abréviations que fig. 3 avec, en plus, AL- Alpes Carniques, AX- Alexander, CC- Cache Creek, JA- Japon, WR- Wrangellia, WU- Ouest-USA et Mexique (Stikina + Northern Cascades + Quesnellia + Sonomia). Les deux pastilles noires situent les pôles.

Fig. 5. — Early Permian (Wolfcampian-Leonardian) World palaeogeographical reconstruction after Ross & Ross (1990, p. 355). 1- emerged lands, 2- continental shelves/shallow seas, 3- oceans. Same abbreviations as fig. 3, plus AL- Carnic Alps, AX- Alexander, CC- Cache Creek, JA- Japan, WR- Wrangellia, WU- Western USA and Mexico (Stikina + Northern Cascades + Quesnellia + Sonomia). Both black dots locate the poles.

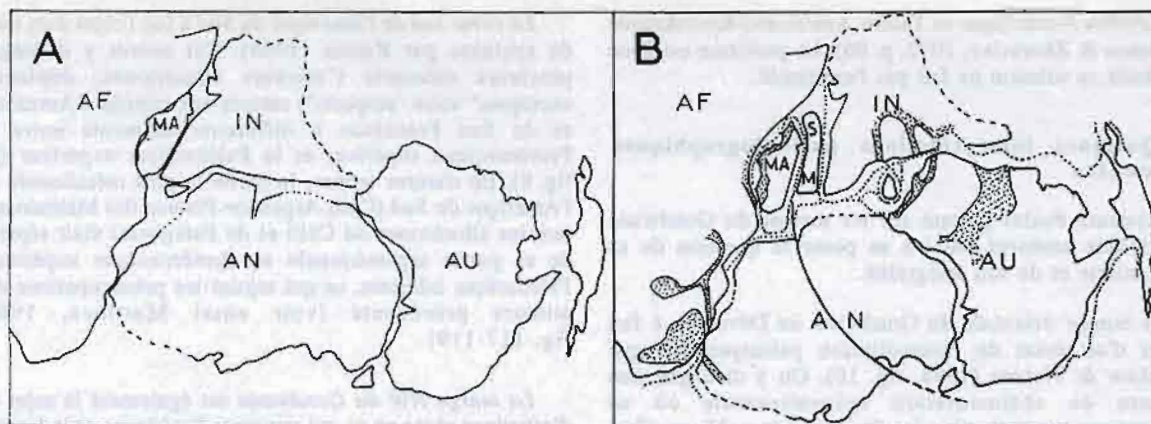


Fig. 6. — Deux reconstitutions du Gondwana. A- reconstitution de type Du Toit (Ricou *et al.*, 1990, fig. 1 en haut); B- d'après Ricou *et al.* (1990, fig. 1 en bas) avec l'Antarctique scindé en deux parties et un contact entre l'Inde et l'Australie. Mêmes abréviations que fig. 3 avec, en plus, M- Mascareignes, MA- Madagascar, S- Seychelles. Les bassins pré-rupture (Super groupe de Gondwana et équivalents) sont figurés en pointillé. Les lignes ponctuées situent les limites des plateaux continentaux actuels.

Fig. 6. — Two reconstructions of Gondwana. A- Du Toit type reconstruction (Ricou *et al.*, 1990, fig. 1, upper diagram); B- after Ricou *et al.* (1990, fig. 1, lower diagram): this reconstruction splits Antarctica in two separate blocks and shows a contact between India and Australia. Same abbreviations as fig. 3 plus M- Mascarene Islands, MA- Madagascar, S- Seychelles Islands. Pre-rift basins (Gondwana Supergroup and equivalents) are figured stippled. Lines of dots are for the extant continental shelves boundaries.

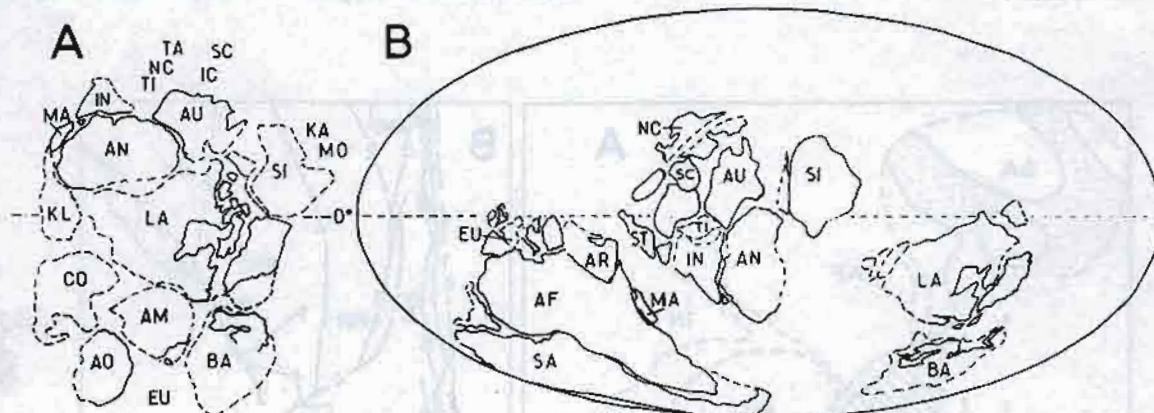


Fig. 7. — Reconstitutions paléogéographiques mondiales au Protérozoïque supérieur (vers -700Ma: A, d'après Hoffman, 1991, fig. 1A) et au Cambrien inférieur (Botomien: B, d'après Kirschvink *in* Debrenne & Zhuravlev, 1992, fig. 40). Mêmes abréviations que fig. 3-6 avec, en plus, AM- Amazonie, AO- Afrique occidentale, CO- Congo, KL- Kalahari, MO- Mongolie.

Fig. 7. — Late Proterozoic (at ca. -700Ma: A, after Hoffman, 1991, fig. 1A) and Early Cambrian (Botomian: B, after Kirschvink *in* Debrenne & Zhuravlev, 1992, fig. 40) World palaeogeographic reconstructions. Same abbreviations as fig. 3-6 plus AM- Amazonas, AO- Western Africa, CO- Congo, KL- Kalahari, MO- Mongolia.

"The unity of East and West Gondwana during the Middle Palaeozoic may need reconsideration") et argumentée pour le Protérozoïque-Cambrien. Une revue récente (Hoffman, 1991) résume les relations entre Laurentia, Baltica et Gondwana entre le Protérozoïque supérieur et l'Ordovicien. Au Protérozoïque, nombre d'auteurs ont supposé un supercontinent unique regroupant tous les cratons connus (voir par exemple Piper, 1982, pour le Protérozoïque anté-2200Ma; Piper, 1976, pour le Protérozoïque à environ -1150Ma; Black, 1985, pour le Protérozoïque à -600Ma). Sur cette première Pangée, le Gondwana est tel qu'on le connaît au Paléozoïque c'est-à-dire compact. Sur le modèle d'Hoffman (1991, A, fig. 1) par contre, les éléments gondwaniens sont dispersés autour d'un "noyau" constitué par la Laurentia, de telle façon que l'assemblage des ceintures orogéniques de type Grenville soit optimal (A,

fig. 7). Autrement dit, entre le Protérozoïque supérieur et l'Ordovicien basal (Hoffman, 1991, B, fig. 1) où l'on sait que les cratons gondwaniens sont réunis (fig. 3), ceux-ci ont dérivé séparément au cours du Cambrien: les ensembles Australie-Antarctique-Inde-Madagascar et Afrique-Amérique du Sud n'étaient pas encore accolés. Cette hypothèse rejoint la série de reconstitutions proposées par Kirschvink (*in* Debrenne & Zhuravlev, 1992, fig. 40) pour le Cambrien inférieur (B, fig. 7). Dans ce cadre, l'évènement thermo-tectonique pan-africain à ≈500Ma est interprété comme le résultat de la formation du Gondwana (discussion *in* Black, 1985). Cependant un Gondwana éclaté au Cambrien inférieur ne semble pas compatible avec la répartition des Archéocyathes (F. Debrenne, comm. pers., 1994) pour lesquels on définit, notamment au Botomien, période de leur diversité taxinomique maximale, deux provinces, l'une

Afro-Sibéro-Antarctique et l'autre Américano-Koryakienne (Debrenne & Zhuravlev, 1992, p. 96). Le problème est donc posé mais sa solution ne fait pas l'unanimité.

3) Quelques interprétations paléogéographiques régionales

Plusieurs études portant sur les marges du Gondwana paléozoïque amènent aussi à se poser la question de sa physionomie et de son intégralité.

La marge orientale du Gondwana au Dévonien a fait l'objet d'un essai de reconstitution palinspastique par Bradshaw & Webers (1988, fig. 10). On y distingue une ceinture de sédimentation épicontinentale où se développent en particulier les faciès de type Vieux Grès Rouges, de l'Australie à l'Afrique du Sud à travers l'Antarctique (A, fig. 8). Des bassins marginaux sont installés au large de cette ceinture, de la Nouvelle-Zélande jusqu'à l'extrémité sud de l'Amérique du Sud. Cette reconstitution rejoint celle de Courjault-Radé *et al.* (1992, fig. 1) pour le Cambrien inférieur, une époque pendant laquelle l'Australie orientale, l'Antarctique oriental et la pointe sud de l'Amérique du Sud développent le même type de marge continentale étroite, limitée par une ceinture volcanique. Autrement dit, c'est l'unité de l'Amérique du Sud qui est mise en cause.

La corne sud de l'Amérique du Sud a fait l'objet d'un essai de synthèse par Ramos (1988). Cet auteur y distingue plusieurs éléments ("terrains alloctones, déplacés, exotiques" voire "suspects") suturés aux cratons d'Amazonie et de San Francisco à différents moments entre le Protérozoïque supérieur et le Paléozoïque supérieur (B, fig. 8). En d'autres termes, la partie la plus méridionale de l'Amérique du Sud (Chili-Argentine-Plateau des Malouines = terrains alloctones du Chili et de Patagonie) était séparée de sa partie septentrionale au Protérozoïque supérieur-Paléozoïque inférieur, ce qui rejoint les préoccupations des auteurs précédents (voir aussi Martinez, 1980, fig. 117-119).

La marge NW du Gondwana est également le sujet de discussions vives en ce qui concerne l'existence et la largeur d'une ou plusieurs aires océaniques paléozoïques. Pour le Dévonien en particulier, quand tout le monde s'accorde à reconnaître que l'océan ordovico-silurien Iapetus est fermé entre Laurentia et Baltica (voir en particulier Pickering *et al.*, 1988), deux thèses s'affrontent. Celle de "l'école britannique" admet un océan Rhéique étroit entre le Continent des Vieux Grès Rouges au nord (Laurentia+Baltica) et le Gondwana au sud ou plutôt la composante Armorica du Gondwana (McKerrow *et al.*, 1991; Soper *et al.*, 1992) (A et B, fig. 9). Par contre celle de "l'école bretonne" suppose un Rhéique encore large au

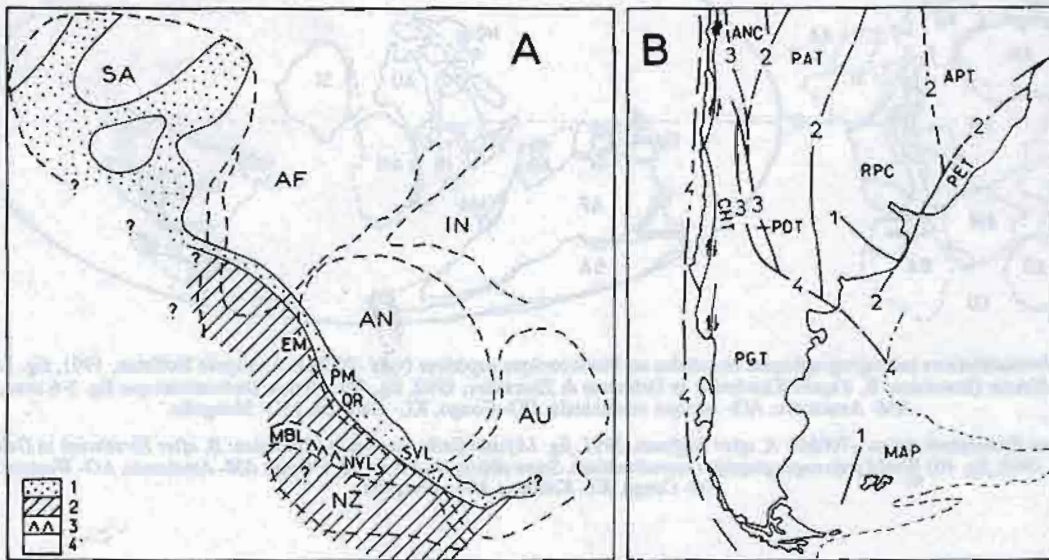


Fig. 8. — La marge orientale du Gondwana au Paléozoïque.

A- reconstitution paléogéographique au Dévonien, d'après Bradshaw & Webers (1988, fig. 10); 1- sédimentation épicontinentale, 2- bassins marginaux, 3- arc volcanique, 4- terres émergées; mêmes abréviations que fig. 3-6 avec, en plus, EM- Monts Ellsworth, MBL- Marie Byrd Land, NVL- North Victoria Land, OR- Ohio Range, PM- Monts Pensacola, SVL- South Victoria Land.

B- blocs continentaux principaux et zones de suture de la corne sud de l'Amérique du Sud, d'après Ramos (1988, fig. 1); 1-4- zones de suture du Paléozoïque supérieur (4), du Paléozoïque inférieur (3), du Protérozoïque supérieur (2) et plus anciennes (1); abréviations: ANC- craton d'Antofalla, APT- terrain d'Alto Paraguay, CHT- terrain de la Pampa, PAT- terrain de la Pampa, PDT- terrain de la Precordillère, PET- terrain de Pelotas, PGT- terrain de Patagonie (incluant MAP- plateau des Malouines), RPC- craton du Rio de la Plata.

Fig. 8. — The Palaeozoic eastern margin of Gondwana.

A- Devonian palaeogeographical reconstruction, after Bradshaw & Webers (1988, fig. 10); 1- epicontinental sedimentation, 2- marginal basins, 3- volcanic arc, 4- emerged lands; same abbreviations as fig. 3-6 plus EM- Ellsworth Mountains, MBL- Marie Byrd Land, NVL- North Victoria Land, OR- Ohio Range, PM- Pensacola Mountains, SVL- South Victoria Land.

B- main continental blocks and suture zones of southern South America, after Ramos (1988, fig. 1); 1-4- Late Palaeozoic (4), Early Palaeozoic (3), Late Proterozoic (2) and older (1) suture zones; abbreviations: ANC- Antofalla craton, APT- Alto Paraguay terrane, CHT- Chilean terrane, PAT- Pampean terrane, PDT- Precordillera displaced terrane, PET- Pelotas terrane, PGT- Patagonia terrane (including MAP- Falkland (Malvinas) plateau), RPC- Rio de la Plata craton.

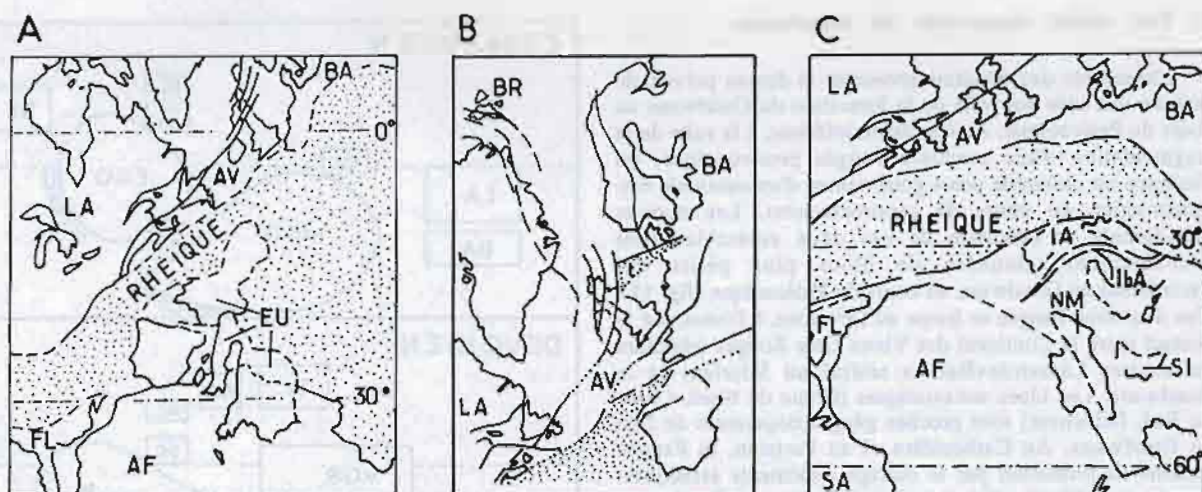


Fig. 9. — Diverses reconstitutions de la marge NW du Gondwana au Dévonien inférieur. A- d'après McKerrow *et al.* (1991, fig. 6); B- d'après Soper *et al.* (1992, fig. 6c); C- d'après Robardet *et al.* (1990, fig. 6). Mêmes abréviations que fig. 3 avec, en plus, IA- terrains ibéro-armoricains, lba- terrains ibéro-aquitains, NM- Nord-Maghreb, SI- Sud-Ibérie, t- restes possibles de la mer de Tornquist. Aires océaniques en pointillé.

Fig. 9. — Various Early Devonian reconstructions of the northwestern Gondwanan margin. A- after McKerrow *et al.* (1991, fig. 6); B- after Soper *et al.* (1992, fig. 6c); C- after Robardet *et al.* (1990, fig. 6). Same abbreviations as fig. 3 plus IA- Ibero-Armorican terranes, lba- Ibero-Aquitanian terranes, NM- North Maghreb, SI- South Iberia, t- possible remnant of Tornquist sea. Oceanic areas stippled.

Dévonien inférieur au nord de l'Armorica soudé au Gondwana; l'Armorica y est scindé en plusieurs éléments dont un ibéroarmoricain et un ibéroaquitain séparés par un sinus océanique sud-armoricain étroit (Morzadec *et al.*, 1988; Robardet *et al.*, 1990, 1993) (C, fig. 9). Pour les Britanniques, Avalonia+Armorica sont séparés de Baltica par une aire océanique dite de Tornquist à l'Ordovicien (voir aussi Erdtmann, 1991; Li *et al.*, 1993), mais, pour les Bretons, le Tornquist n'existe pas. Les différences d'interprétation proviennent de l'utilisation de certains schémas paléobiogéographiques fondés sur des faunes benthiques dans un cas (Vannier *et al.*, 1989; Fortey & Cocks, 1992), pélagiques dans l'autre (Paris & Robardet, 1990) (discussion in Fortey & Mellish, 1992). Cependant l'existence du Tornquist, déduite de données paléomagnétiques et paléontologiques (voir par exemple Trench & Torsvik, 1992), est établie par le fait que sa zone de suture a été mise en évidence par la sismique profonde au sud du bouclier baltique (Blundell *et al.*, 1992).

Quoi qu'il en soit, l'histoire paléozoïque de cette partie de l'Europe est extrêmement compliquée ("puzzle paléozoïque européen" in Blicek & Meilliez, 1993), ce qui se traduit, en particulier en France, par un schéma tectonostratigraphique en mosaïque (fig. 10). L'étude de l'orogène paléozoïque en France implique plusieurs aires océanisées dont l'âge, l'emplacement et la largeur sont discutés (Blicek *et al.*, 1988; Bouchardon *et al.*, 1989; Meilliez *et al.*, 1992; Quénardel *et al.*, 1992) mais le collage de la majeure partie de ces terrains (Ardenne, Nord-Ouest, Central et Aquitain, fig. 10) est achevé au cours du Dévonien (Martinez-Catalan, 1990; Quénardel *et al.*, 1990; Piqué, 1992). Le nord de la France en particulier est, par ses faunes de Vertébrés, partie intégrante du Continent des Vieux Grès Rouges dès le Silurien supérieur-Dévonien inférieur (Blicek, 1982; Blicek & Janvier, 1991; Janvier & Blicek, 1993; Young, 1990, 1993b).

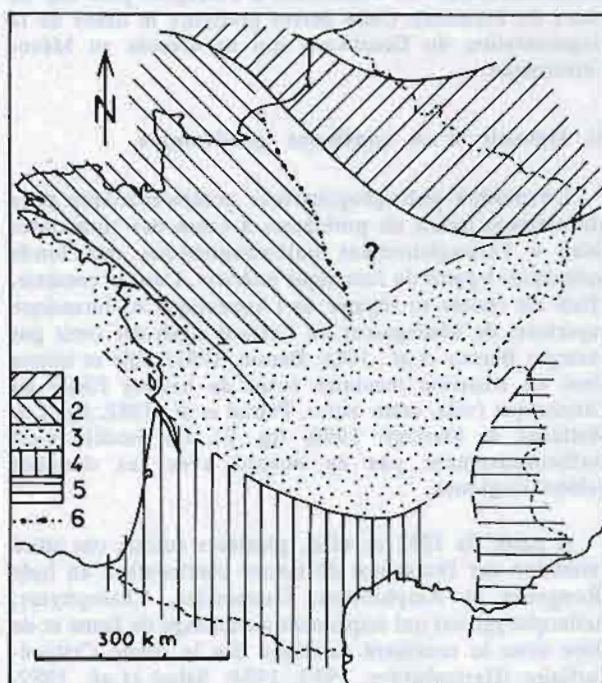


Fig. 10. — Principaux ensembles structuraux du socle paléozoïque de France, d'après Quénardel *et al.* (1990) et Piqué (1992). 1- terrain ardennais, 2- terrain nord-ouest, 3- terrain central, 4- terrain aquitain, 5- terrain oriental, 6- anomalie magnétique du bassin de Paris. 1, 2, 4 = plates-formes du Paléozoïque inférieur (zones externes varisques); 3, 5 = sillons à croûte amincie et/ou océanique du Paléozoïque inférieur (zones internes varisques).

Fig. 10. — Main structural domains of the French Palaeozoic basement, after Quénardel *et al.* (1990) and Piqué (1992). 1- Ardenne terrane, 2- northwestern terrane, 3- central terrane, 4- Aquitainian terrane, 5- eastern terrane, 6- Paris Basin magnetic anomaly. 1, 2, 4 = Early Palaeozoic shelves (outer Variscan zones); 3, 5 = Early Palaeozoic thinned and/or oceanic crust domains (inner Variscan zones).

4) Une vision renouvelée du Gondwana

L'ensemble des résultats présentés ci-dessus permet de se faire une idée nouvelle de la formation du Gondwana au cours du Paléozoïque. Au Cambrien inférieur, à la suite de la fragmentation d'une première Pangée protérozoïque, on distingue un ensemble ouest-gondwanien d'un ensemble est-gondwanien en cours de rapprochement. Les marges méridionale et orientale de ces deux ensembles sont probablement jalonnées de blocs plus petits qui s'accrocheront au Gondwana au cours du Paléozoïque (fig. 11). Une deuxième Pangée se forme au Dévonien, à l'ouest, par le contact entre le Continent des Vieux Grès Rouges (résultant du contact Laurentia+Baltica réalisé au Silurien) et le Gondwana. Les blocs est-asiatiques (Chine du Nord, Chine du Sud, Indochine) sont proches géographiquement de l'est du Gondwana. Au Carbonifère et au Permien, la Pangée termine sa formation par le collage d'éléments asiatiques: Kazakhstan, Sibérie, Chine du Nord, Tarim, etc. Pendant ce temps, la marge nord-est de sa partie gondwanienne (Chine du Sud et Indochine entre autres) commence à dériver vers le nord tandis que sa marge orientale se fragmente en microcontinents "pacifiques" qui dérivent vers les Amériques et le Japon. Les autres éléments de la marge nord-est gondwanienne suivront vers le nord après le Paléozoïque (Afghanistan, Iran en particulier; voir, par exemple, Sengör & Hsü, 1986, fig. 5; cependant, pour Metcalfe [1989, fig. 9], ces blocs ainsi que le Tibet et Sibumasu [Birmanie, Ouest-Malaysie] ont commencé à s'éloigner plus tôt, au cours du Permien). Cette dérive préfigure le début de la fragmentation du Gondwana qui se déroule au Mésocénozoïque.

5) Devenir d'un continent gondwanien

L'évolution paléogéographique postpaléozoïque pose globalement moins de problèmes à cause des contraintes liées à l'enregistrement paléomagnétique des fonds océaniques à partir du Jurassique inférieur. Dans ce contexte, l'Inde est censée se séparer de l'Antarctique au Jurassique supérieur, de Madagascar au Crétacé supérieur (voir par exemple Barron *et al.*, 1981; Barron, 1987). Elle se trouve ainsi en situation insulaire avant de heurter l'Asie au Cénozoïque (voir, entre autres, Patriat *et al.*, 1982, fig. 1-3; Mattauer & Mercier, 1990, fig. 2). Ce modèle n'est malheureusement pas en accord avec les données paléontologiques.

A partir de 1982 en effet, plusieurs auteurs ont attiré l'attention sur l'existence de taxons continentaux en Inde (Rongeurs et Amphibiens, Ostracodes, Charophytes, Actinoptérygiens) qui impliquent un échange de faune et de flore avec le continent asiatique dès la limite Crétacé-Tertiaire (Hartenberger, 1982, 1984; Sahni *et al.*, 1982, 1987; Bhatia & Rana, 1986; Gayet *et al.*, 1986). Une revue des arguments biogéographiques a été dressée par Briggs (1990). Parmi eux, la répartition des Amphibiens Anoures Discoglossidae (Eurasie et Afrique du Nord - au nord de l'accident sud-atlasique) et Pelobatidae (Amérique du Nord et Eurasie; Duellman & Trueb, 1986, fig. 19.26 et 19.32) est devenue un exemple classique: présentes en Inde dans les niveaux inter-trapps du Deccan (Sahni *et al.*, 1982; Prasad & Rage, 1991), ces grenouilles témoignent d'un échange de faune avec l'Asie. Dès lors, il faut trouver une solution pour remplir l'espace laissé vacant entre Inde et Asie par les reconstitutions paléogéographiques fondées sur les données paléomagnétiques. On peut imaginer une guirlande de

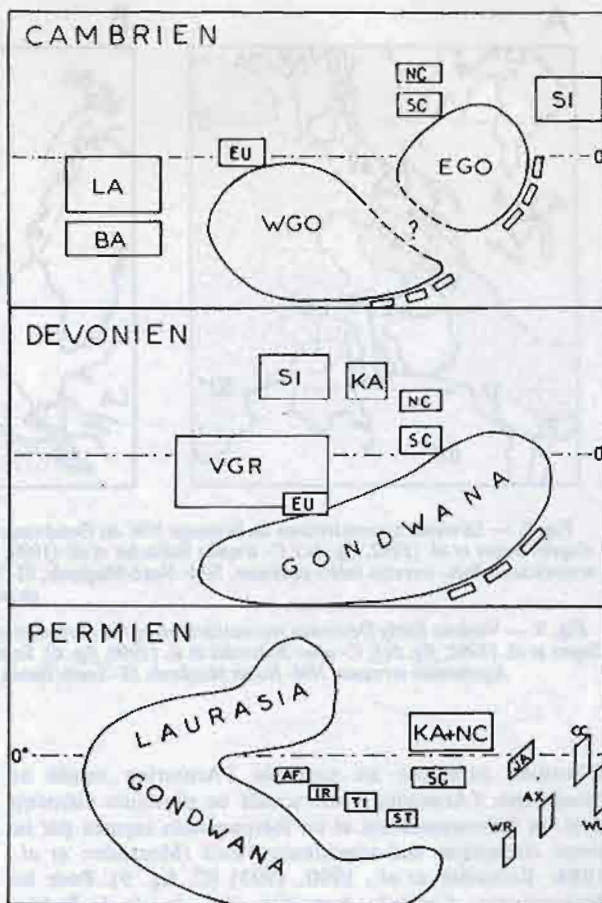


Fig. 11. — Représentation schématique des grands ensembles continentaux à trois moments du Paléozoïque (pour le détail, voir les fig. 4, 5 et 7). Abréviations: AF- Afghanistan, AX- Alexander, BA- Baltica, CC- Cache Creek, EGO- Est-Gondwana, EU- Europe du centre et du sud, IR- Iran, JA- Japon, KA- Kazakhstan, LA- Laurentia, NC- Chine du Nord, SC- Chine du Sud, SI- Siberia (Angara), ST- Shan-Thaï, TI- Tibet, VGR- Continent des Vieux Grès Rouges (= Nord-Atlantique = Laureuropa = Laurussia = Euramerica), WGO- Ouest-Gondwana, WR- Wrangellia, WU- Ouest-USA et Mexique.

Fig. 11. — Sketch view of the main continental components at three different Palaeozoic periods (for detail, see figs 4, 5, 7). Abbreviations: AF- Afghanistan, AX- Alexander, BA- Baltica, CC- Cache Creek, EGO- East Gondwana, EU- Central and southern Europe, IR- Iran, JA- Japan, KA- Kazakhstan, LA- Laurentia, NC- North China, SC- South China, SI- Siberia (Angara), ST- Shan-Thai, TI- Tibet, VGR- Old Red Continent (= North Atlantis = Laureuropa = Laurussia = Euramerica), WGO- West Gondwana, WR- Wrangellia, WU- Western USA and Mexico.

microplaques (dont l'Afghanistan et l'Iran) et/ou d'îles (Hartenberger, 1982; Sahni *et al.*, 1982, 1987) autorisant des échanges de proche en proche. On peut aussi intercaler le bloc indo-chinois entre, au sud, une Inde élargie de 650 à 1000 km vers le nord (en "dépliant" l'Himalaya et en ajoutant la lame continentale passée sous le Tibet) et, au nord, les blocs tibétains (Jaeger *et al.*, 1989; Courtillot, 1990a; Prasad & Rage, 1991; Rage, 1992), l'Indochine étant "éjectée" vers l'est au cours du Cénozoïque (voir Tapponnier *et al.*, 1982) (B, fig. 2). C'est la deuxième solution qui paraît actuellement la plus plausible, en accord avec l'ensemble des données paléontologiques, paléomagnétiques et géologiques (Rage, 1992) (fig. 12).

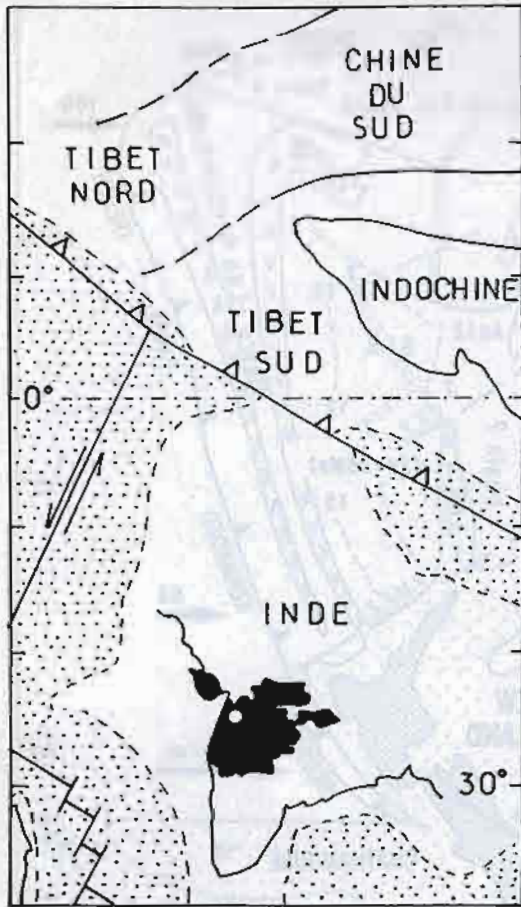


Fig. 12. — Reconstitution paléogéographique du contact Inde-Asie aux environs de la limite Crétacé/Tertiaire, vers -65Ma, d'après Courtillot (1990a) et Rage (1992). Trapps du Deccan en noir (au-dessus d'un point chaud volcanique [pastille blanche]), aires océaniques en pointillé, aires continentales en blanc.

Fig. 12. — Palaeogeographical reconstructions of the contact between India and Asia nearby the Cretaceous/Tertiary boundary, at ca. -65Ma, after Courtillot (1990a) and Rage (1992). Deccan traps in black (above a volcanic hot spot [white dot]), oceanic areas stippled, continental areas in white.

Néanmoins une controverse s'est engagée sur ce sujet. Elle s'appuie sur l'interprétation des affinités biogéographiques des diverses espèces concernées (voir Thewissen, 1990; Buffetaut, 1990; la réponse de Jaeger & Rage, 1990; voir aussi Patterson & Owen, 1991). Les difficultés viennent de la mauvaise qualité d'une partie du matériel fossile, fragmentaire et des datations parfois imprécises des niveaux infra- et inter-trapps. Par contre, la détermination des Ostracodes, des Charophytes et des Grenouilles ne semble pas remise en cause et constitue un argument pertinent dans le débat.

Autrement dit, sur le plan de la biogéographie, l'Inde n'a jamais été insulaire au cours de sa dérive vers le nord puisque, même au Crétacé, elle a gardé des contacts avec Madagascar et l'Afrique (Colbert *in* Waterlot, 1985; Briggs, 1990). On peut rappeler ici qu'un auteur hétérodoxe, Owen, avait déjà proposé des reconstitutions révisées de cette partie du monde où l'Inde restait en contact avec l'Afrique et Madagascar tout au long du Crétacé (Owen, 1983, cartes 69, 71) et était en contact avec l'Asie dès le Paléocène (*ibid.*,

carte 67; voir aussi Chatterjee, 1986, fig. 2; Chatterjee & Hotton, 1986, fig. 24). Owen proposait également des assemblages plus compacts dans le cadre de l'hypothèse de l'expansion globale (*ibid.*, cartes 68, 70, 72), une hypothèse retenue actuellement par une minorité de biogéographes mais discréditée par les résultats de l'étude des planètes telluriques du système solaire, qui montrent que seule une variation de volume de très faible amplitude peut être envisagée (Masson, 1987; Thomas & Masson, 1987; Dollfus, 1991). Finalement les reconstitutions d'Owen sont d'accord avec celles des autres auteurs sur le fait qu'il faut envisager un contact Inde-Asie plus tôt qu'on ne le pensait, c'est-à-dire à la limite Crétacé-Tertiaire (redatée à $-65,7 \pm 2,0$ Ma par Jaeger *et al.*, 1989; épisode paléomagnétique 29R; donc un peu plus ancienne que la date la plus communément admise à environ -64,5 Ma; Baksi, 1994). La polémique engagée par la réponse de Patterson & Owen (1991) à l'article de Briggs (1990) porte sur la qualité à la fois des données paléontologiques et des reconstitutions paléogéographiques; cependant elle reconnaît qu'il faut trouver une solution pour que l'Inde ne soit plus représentée comme isolée du reste du monde. Si la solution d'Owen n'est pas acceptable pour les raisons invoquées ci-dessus, celle de Jaeger *et al.* (1989) semble la moins mauvaise (Rage, 1992). Il n'y a dès lors pas de Téthys océanique large à cet endroit. Cette constatation va dans le même sens que les remarques sur la largeur des aires océaniques au cours du Paléozoïque (p. 53).

Terminons ce paragraphe en évoquant le rôle qu'aurait joué l'Inde dans l'extinction en masse de la fin du Crétacé. Selon Courtillot (1990 a-b; voir aussi Buffetaut, 1991), cette extinction est à mettre en relation avec le volcanisme des trapps du Deccan, daté de la limite Crétacé-Tertiaire, époque à laquelle l'Inde était au-dessus d'un point chaud de l'Océan Indien (situé actuellement au niveau de l'île de la Réunion). Bien entendu cette hypothèse fait l'objet de controverses non éteintes, comme l'est le point chaud en question!

VI. — LES MARGES GONDWANIENNES : L'EXEMPLE DE LA NOUVELLE-ZÉLANDE (J.F.)

1) Généralités

La Nouvelle-Zélande, faite de deux îles principales, est actuellement traversée par une limite de plaques active constituée de deux subductions à vergence opposée reliées entre elles par la faille décrochante alpine de l'île du Sud (480 km de rejet dextre) à valeur de faille transformante intracontinentale (fig. 13). Cette limite active n'existe en fait que depuis 25-20 Ma. Elle correspond à la période véritablement orogénique (tectogénèse et orogénèse) du cycle orogénique Kaikoura (100-0 Ma) (Ferrière & Chanier, 1993). Au début de ce même cycle se produit un phénomène important dans l'histoire du bloc continental néo-zélandais, sa séparation du continent australien entre 90 et 60 Ma (formation de la Mer de Tasman, fig. 13).

Cet épisode de rifting prend en fait la suite d'une orogénèse importante dite Rangitata qui s'est développée entre 300 et 100 Ma et a affecté l'essentiel du soubassement de la Nouvelle-Zélande (fig. 14). Dans l'île du Sud (secteur NW et secteur SW), existent également des témoins d'une histoire orogénique plus ancienne (anté-300 Ma) dite orogénèse Tuhua.

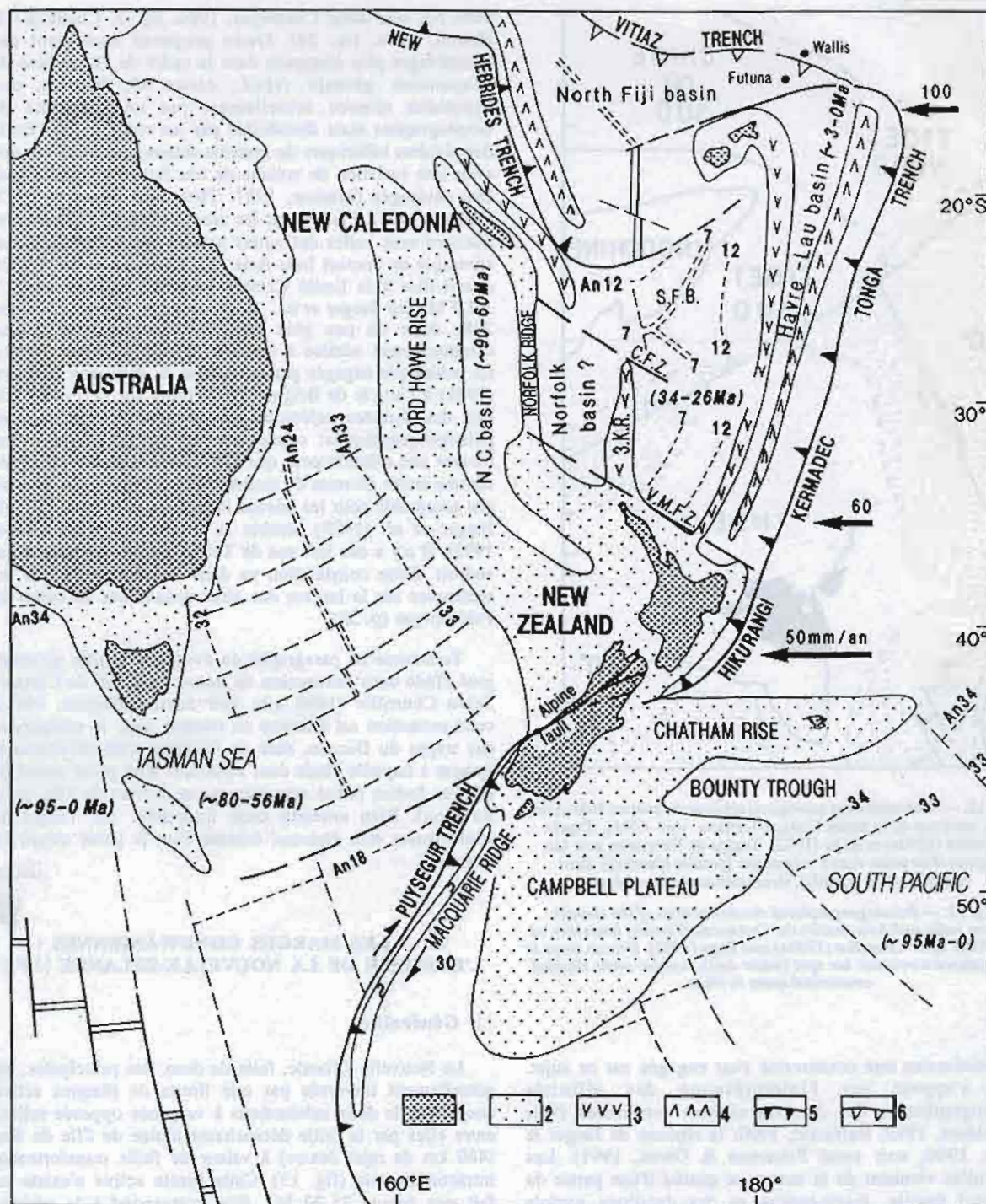


Fig. 13. — La Nouvelle-Zélande dans son cadre géodynamique (d'après Ferrière & Chanier, 1993). 1 : secteurs émergés; 2 : croûte continentale immergée; 3 : arcs volcaniques inactifs; 4 : arcs volcaniques actifs; 5 : subductions actives; 6 : subductions inactives. Abréviations: An: anomalies magnétiques; C.F.Z.: Cook Fracture Zone; N.C.: Bassin de Nouvelle-Calédonie; S.F.B.: Bassin Sud Fidjien; V.M.F.Z.: Vening Meinesz Fracture zone; 3 K.R.: Three King Ridge. L'âge des différents bassins océaniques est indiqué entre parenthèses.

Fig. 13. — Geodynamic context of New Zealand (after Ferrière & Chanier, 1993). 1- emerged areas, 2- immersed continental crust, 3- inactive volcanic arcs, 4- active volcanic arcs, 5- active subductions, 6- inactive subductions. Abbreviations: An- magnetic anomalies, C.F.Z.- Cook Fracture Zone, N.C.- New Caledonia Basin, S.F.B.- South Fijian Basin, V.M.F.Z.- Vening Meinesz Fracture Zone, 3 K.R.- Three King Ridge. The ages of the different ocean basins are between brackets.

L'histoire la plus typique du Gondwana se déroulant surtout au Permien et au Trias, c'est sur cette période que nous focaliserons notre analyse. Nous verrons que les

terrains de cet âge, présents en Nouvelle-Zélande (orogénèse Rangitata), témoignent de l'existence d'une marge active (subduction) périgondwanienne. Ce caractère

de bordure océanique, active ou non, est d'ailleurs un caractère constant dans l'histoire du bloc néo-zélandais depuis 300 Ma, voire depuis 600 Ma (Suggate *et al.*, 1978 ; Spörli, 1978 ; Bradshaw *et al.*, 1981 ; Ferrière, 1987 ; Crook & Feary, 1982).

2) Remarques sur les terrains du cycle orogénique le plus ancien en Nouvelle-Zélande (cycle Tuhua, anté-300 Ma)

Ces terrains sont relativement bien connus au NW de l'île du Sud, à l'ouest de la ville de Nelson, où l'on note la présence de roches sédimentaires et effusives mais aussi d'importantes masses de roches granitiques (Suggate *et al.*, 1978 ; Cooper, 1989). Les roches sédimentaires sont datées du Cambrien au Dévonien. Elles révèlent des roches variées dont des passées carbonatées épaisses. Certaines des roches effusives du Paléozoïque inférieur observées dans la série évoquent un ancien arc volcanique. Ceci impliquerait que ce secteur devait déjà se trouver en position de marge active à la limite entre le bloc continental et un bassin à croûte océanique. Les roches granitiques se développent plutôt vers la fin du cycle comme l'imposant batholite de Karamea, c'est-à-dire entre 370 et 280 Ma, avec quelques datations plus anciennes (390-450 Ma) (Nathan *et al.*, 1986).

Les terrains carbonifères sont pratiquement absents en Nouvelle-Zélande, qu'il s'agisse des blocs affectés par l'orogénèse Tuhua (W de l'île du Sud) ou des ensembles correspondant au cycle Rangitata (E de l'île du Sud et totalité de l'île du Nord). Seuls quelques niveaux sédimentaires faiblement métamorphiques sont datés du Carbonifère à l'est de la Faille Alpine ; il pourrait d'ailleurs s'agir de niveaux ayant subi des remaniements.

3) Existence d'une marge périgondwanienne active entre 300 et 100 Ma : la marge Rangitata

a) Les preuves

L'existence d'une marge active au niveau de la Nouvelle-Zélande durant le cycle Rangitata est attestée par la présence d'un arc volcanique typique (laves de la lignée calco-alcaline) dès le Permien inférieur-moyen (Brook Street) ; (fig. 14 et 15) (Coombs *et al.*, 1976 ; Bradshaw *et al.*, 1981 ; Ferrière, 1987). D'autres indices, tel que le très probable paléoprisme d'accrétion du Torlesse, viennent renforcer l'hypothèse du fonctionnement d'une subduction à cette époque. La position respective de ces deux éléments impose que la subduction majeure se fasse avec un plongement vers l'ouest de la plaque orientale océanique sous la plaque occidentale supportant le bloc gondwanien.

b) Les principaux éléments constitutifs de la marge active Rangitata

D'est en ouest, en partant des blocs continentaux les plus anciens d'âge anté-permien (orogénèse Tuhua) recouverts de rares affleurements permien (Parapara Peak) (Clark *et al.*, 1967), on reconnaît les différents éléments morphostructuraux ayant appartenu à cette marge active à savoir (fig. 14 et 15) ; (Coombs *et al.*, 1976 ; Bradshaw *et al.*, 1981 ; Ferrière, 1987 ; Johnston, 1990) :

- l'Arc Brook Street, déjà cité, recouvert pour partie de terrains fossilifères datés de la partie inférieure du Permien ;

- des formations triasico-jurassiques pélitogréseuses et parfois carbonatées riches en éléments volcanoclastiques (Murihiku Supergroup) ;

- les ophiolites de la "Dun Mountain Ophiolitic Belt" (le nom de dunite provient du nom de ces montagnes) et leur couverture calcaire et surtout volcanoclastique du Permien moyen-supérieur - Trias (Maitai Group) ;

- des formations volcanoclastiques très déformées (Caples-Pelorus Group) ;

- l'ensemble très puissant de grès, arkoses, pélites à rares passées volcaniques basiques et radiolarites du Torlesse Supergroup d'âge permien - crétacé inférieur, à valeur de prisme d'accrétion.

Des laves associées d'une part à des radiolarites du Permien (Kazanien-Tatarien), d'autre part à des calcaires à Fusulines d'affinités téthysiennes de même âge (Caridroit & Ferrière, 1988 ; Vachard & Ferrière, 1991) témoignent de l'existence de sea-mounts de cet âge sur la croûte océanique supportant le cône détritique qui a donné le prisme d'accrétion du Torlesse.

Des éléments appartenant à l'orogénèse Rangitata, difficiles à interpréter, existent également à l'ouest de l'Arc Brook Street. Ce sont notamment des granites d'âge crétacé inférieur [Bradshaw, 1993] (fig. 14 et 15).

4) Evolution de la marge active Rangitata

a) Evolution du prisme d'accrétion du Torlesse

Cet ensemble, dont l'épaisseur dépasserait 20 km, constitue plus de la moitié du soubassement de la Nouvelle-Zélande. Il se serait formé aux dépens d'un vaste cône détritique sous-marin, comparable à ceux du Gange et de l'Indus, déposé sur la plaque plongeante et véhiculé par celle-ci jusqu'au niveau de la subduction (fig. 15). La durée de la subduction (300-100 Ma) et l'importance en volume du cône détritique initial expliquent le développement exceptionnel du prisme d'accrétion du Torlesse. Ce dernier serait en fait constitué de deux sous-ensembles à valeur de prismes d'accrétion élémentaires (PAE) séparés par un ensemble à blocs (Esk Head Melange). Le premier PAE se serait développé du Permien au Jurassique *p.p.* et le second du Jurassique *p.p.* au Crétacé inférieur. Les études de détail ont mis en évidence plusieurs phases tectoniques majeures au sein du Torlesse (Bradshaw, 1989). Un métamorphisme important, allant jusqu'à des faciès à biotite et grenat, affecte une partie de cet ensemble. Ceci contribue à la transformation du prisme en un bloc de type "continental".

b) Le problème des ophiolites (obduction anté-100 Ma)

Pendant que le prisme d'accrétion se développe, les ophiolites de la Dun Mountain Ophiolitic Belt se mettent en place à partir d'un bassin situé entre l'arc volcanique Brook Street à l'ouest et le prisme d'accrétion à l'est. Ces ophiolites présentent la particularité d'affleurer sur une étroite bande de plusieurs centaines de km de longueur et quelques km de largeur. Leur position géographique par rapport à l'arc Brook Street a fait dire qu'il s'agissait d'ophiolites d'avant-arc (Coombs *et al.*, 1976 ; Davis *et al.*, 1979). Cependant, ce linéament, qui reflète probablement la géométrie du bassin initial, évoque tout autant des bassins allongés comme celui des Tonga-Kermadec ou des

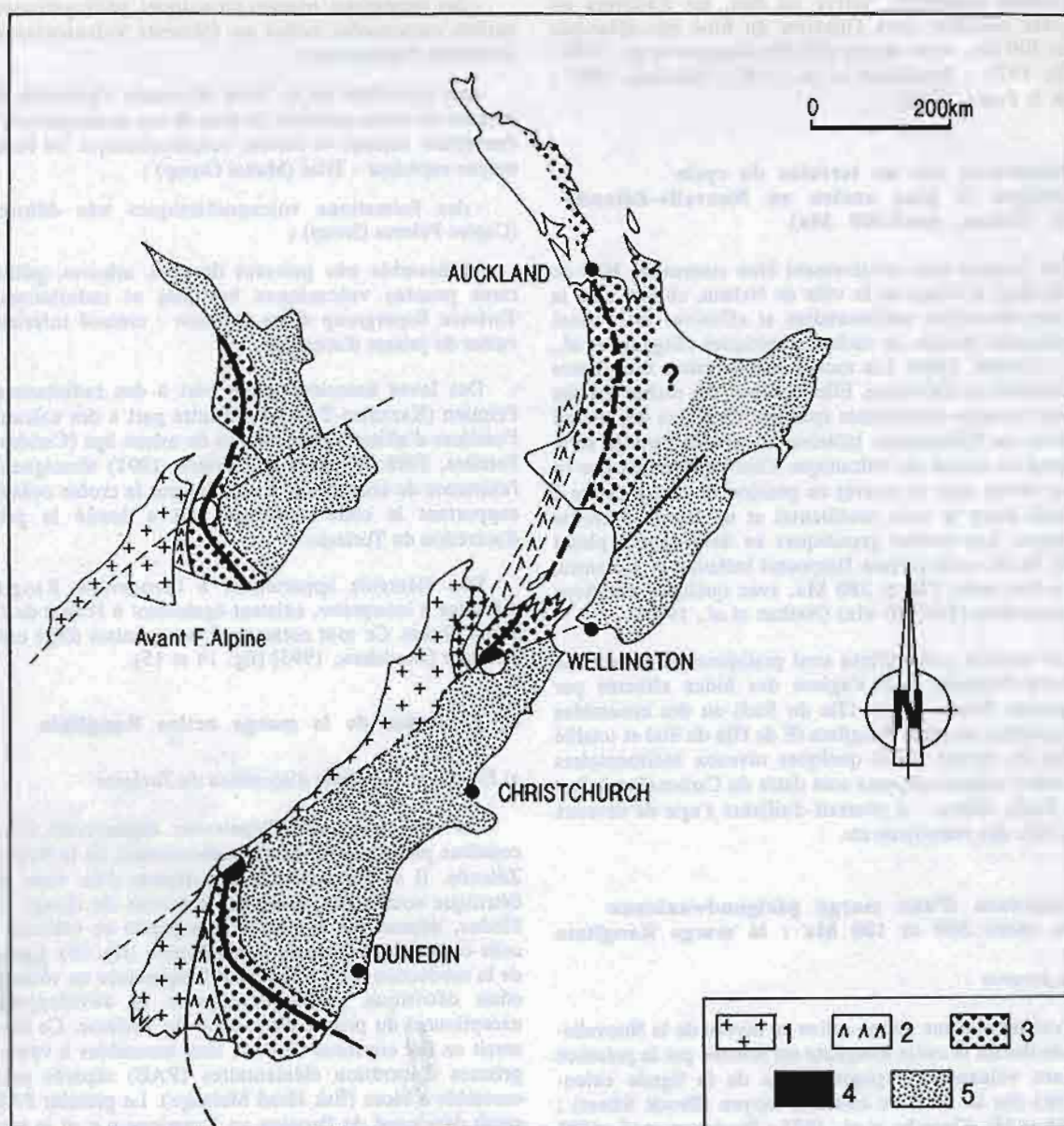


Fig. 14. — Schéma structural des terrains des cycles Tuhua (anté-300 Ma) et Rangitata (300-100 Ma). 1 : blocs continentaux anciens (cycle Tuhua) ; 2 : arc volcanique calco-alkalin débutant au Permien inférieur-moyen (cycle Rangitata) ; 3 : sédiments permo-mésozoïques volcanoclastiques ; 4 : ophiolites (Dun Mountain Ophiolitic Belt) ; 5 : prisme d'accrétion du Torlesse.

Fig. 14. — Structural sketch of the Tuhua (before -300Ma) and Rangitata (-300-100Ma) cycles terranes. 1- older continental blocks (Tuhua), 2- calk-alkaline volcanic arc beginning in Early-Middle Permian times (Rangitata), 3- volcanoclastic Permian-Mesozoic sediments, 4- ophiolites (Dun Mountain Ophiolitic Belt), 5- Torlesse accretionary prism.

Mariannes dont on sait qu'ils sont de type arrière-arc actif puisqu'ils sont situés entre un arc volcanique résiduel et l'arc actif qui borde la fosse. Ce bassin étroit aurait été ensuite soumis à une transpression majeure expliquant l'allure des affleurements ophiolitiques. Ce modèle (Ferrière, 1987) (fig. 15) explique facilement la présence constante de niveaux carbonatés sur l'ensemble des ophiolites (dépôt sur croûte chaude de faible profondeur correspondant à l'ouverture du bassin) alors que cela s'explique plus difficilement dans l'hypothèse d'un simple bassin avant-arc sur une croûte océanique relativement ancienne, puisque plus âgée que l'arc qu'elle supporte.

c) Evolution d'ensemble de la marge active Rangitata et bilan

Bien que l'activité de l'arc volcanique Brook Street soit moins bien connue au Mésozoïque qu'au Permien, différents indices (traces de volcanisme, construction constante du prisme...) permettent de conclure que la subduction a fonctionné de façon quasi-constante du Permien (≈ 300 Ma) au "Crétacé moyen" (≈ 100 Ma).

Pendant que le prisme d'accrétion du Torlesse se développe et se "continentalise" sous l'effet du

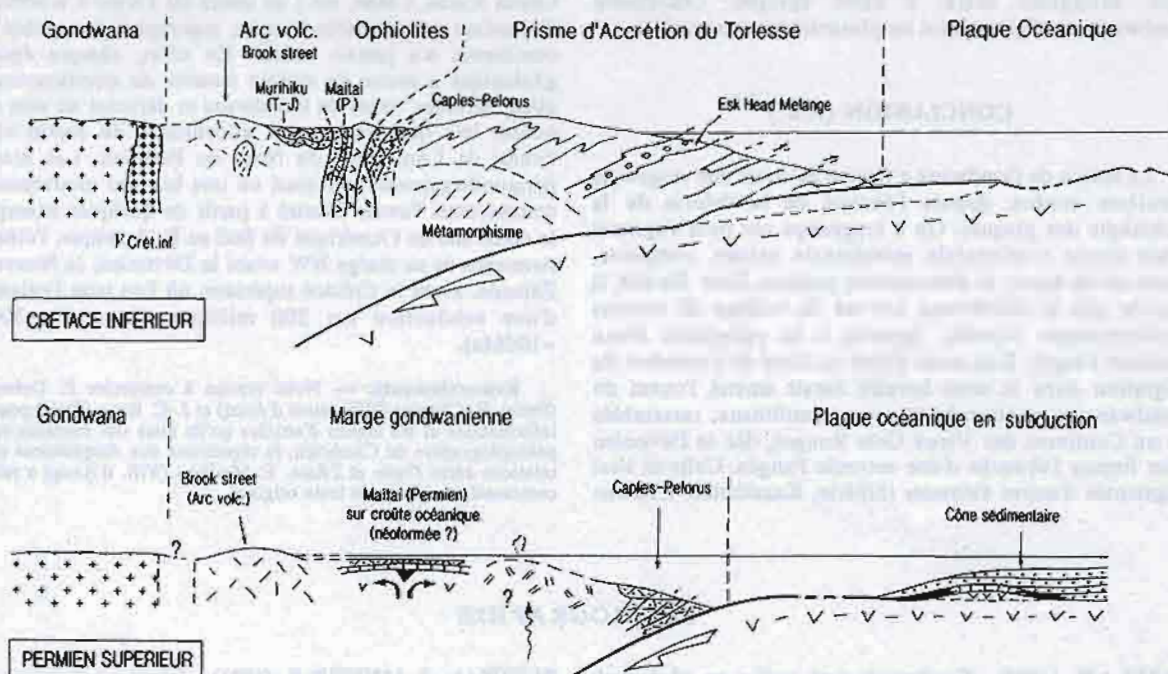


Fig. 15. — Coupes schématiques de la marge périgondwanienne Rangitata au Permien supérieur (avant l'obduction des ophiolites) et au Crétacé inférieur (après l'obduction).

Fig. 15. — Schematic sections of the Rangitata perigondwanian margin in Late Permian (before the obduction of ophiolites) and Early Cretaceous (after obduction) times.

métamorphisme, les ophiolites se mettent en place soit par sous-charriage du prisme (ophiolites d'avant-arc) soit par compression d'un bassin situé entre l'arc résiduel (Brook Street) et un arc actif mineur. Il est à noter que cette compression conduira au contact entre le prisme continentalisé (Torlesse) et le bloc gondwanien plus occidental, en donnant naissance à une collision d'un type particulier (Ferrière, 1987) puisqu'elle met en jeu un prisme d'accrétion. A la suite de cette collision, le bloc gondwanien ancien (Tuhua) sera lui-même affecté par des déformations et du magmatisme acide vers la fin du cycle Rangitata.

L'existence de contacts tectoniques, dont certains pourraient être majeurs, entre les différents ensembles constituant la marge active (notion de "terrane", Bishop *et al.*, 1985) apporte quelques incertitudes quant à la reconstitution de cette marge au Mésozoïque; cependant les grandes lignes de l'interprétation restent valables.

En résumé, le bilan de cette orogénèse bordière pour le bloc continental gondwanien correspond, d'une part, à une adjonction d'éléments marginaux par accrétion frontale ou collage avec décrochements (prisme du Torlesse, ophiolites de la Dun Mountain Belt, voire arc Brook Street), d'autre part, à des intrusions tardives, pour partie granitiques, directement en son sein.

5) La mort de la marge active périgondwanienne

Vers -100 Ma, les traces d'activité de la marge active périgondwanienne disparaissent. Les derniers témoins d'activité de cette marge correspondent :

- aux déformations affectant les terrains d'âge crétacé inférieur au niveau du prisme d'accrétion. Le Crétacé supérieur est plus (au sud) ou moins (au nord) discordant selon les lieux ;

- aux âges des transformations métamorphiques les plus récentes et surtout aux âges des granites les plus occidentaux. Certains de ceux-ci sont datés de 115 Ma (Bradshaw, 1993);

- aux formations volcaniques calco-alcalines du Mont Somers présentes dans la partie orientale de l'île du Sud d'âge 85-98 Ma (Oliver & Keene, 1989). Celles-ci pourraient même constituer un dernier "souvenir" de la marge active au coeur d'une marge devenue inactive (retard possible du volcanisme d'arc).

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer cet arrêt de la marge active (Bradshaw, 1989 ; Bradshaw *et al.*, 1993 ; Ferrière & Chanier, 1993):

- l'arrivée d'une dorsale océanique dans la zone de subduction, à l'image du secteur californien ;

- l'arrivée d'un plateau volcanique très épais dans la subduction ;

- une modification majeure des pôles de rotation des plaques.

Quoi qu'il en soit, il s'agit là d'une réorganisation majeure du système de plaques dans l'ensemble du secteur concerné. Peu après l'arrêt de la subduction, l'ouverture de la mer de Tasman (90-60 Ma) isole la Nouvelle-Zélande du

bloc australien mais, à cette époque, l'ensemble gondwanien a déjà explosé en plusieurs sous-ensembles.

CONCLUSION (A.B.)

La notion de Gondwana a fluctué au cours des vingt-cinq dernières années, depuis l'énoncé de la théorie de la tectonique des plaques. On a longtemps cru qu'il s'agissait d'une masse continentale méridionale unique, compacte, ayant existé depuis le Précambrien jusqu'au Trias. En fait, il semble que le Gondwana soit né du collage de cratons protérozoïques séparés, répartis à la périphérie d'une première Pangée. Il se serait formé au cours du Cambrien. Sa migration dans le sens horaire aurait amené l'ouest du Gondwana au contact de blocs septentrionaux, rassemblés en un Continent des Vieux Grès Rouges, dès le Dévonien pour former l'ébauche d'une seconde Pangée. Celle-ci s'est augmentée d'autres éléments (Sibérie, Kazakhstan, Extrême

Orient Russe, Chine, etc.) au cours du Permo-Carbonifère. Cependant une véritable Pangée, regroupant l'ensemble des continents n'a jamais existé. En effet, chaque époque géologique a connu un certain nombre de microcontinents et/ou "terrane" issus du Gondwana et dérivant au sein d'un océan, tels que les terrains allochtones du Japon et de l'ouest de l'Amérique du Nord au Permien. Les marges périgondwaniennes ont ainsi eu une histoire mouvementée comme nous l'avons illustré à partir de quelques exemples: la corne sud de l'Amérique du Sud au Paléozoïque, l'élément Armorica de sa marge NW avant le Dévonien, la Nouvelle-Zélande, avant le Crétacé supérieur, où l'on note l'existence d'une subduction sur 200 millions d'années (≈300 à ≈100Ma).

Remerciements. — Nous tenons à remercier F. Debrenne (Paris), R. Cloutier (Villeneuve d'Ascq) et J.-C. Rage (Paris) pour les informations et les copies d'articles qu'ils nous ont fournies sur la paléogéographie du Cambrien, la répartition des Amphibiens et les relations entre l'Inde et l'Asie. F. Meilliez (Vill. d'Ascq) a relu et commenté une partie du texte original.

BIBLIOGRAPHIE

- BAKSI A.K. (1994).- Geochronological studies on whole-rock basalts, Deccan Traps, India: evaluation of the timing of volcanism relative to the K-T boundary. *Earth. Planet. Sci. Letters*, 121 (1/2): 43-56.
- BARRON E.J. (1987).- Global Cretaceous paleogeography - International Geologic Correlation Program Project 191. (in BARRON E.J. ed., *Cretaceous Paleogeography.*) *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 59 (1-3): 207-214.
- BARRON E.J., HARRISON C.G.A., SLOAN J.L. & HAY W.W. (1981).- Paleogeography, 180 million years ago to the present. *Eclogae Geol. Helv.*, 74 (2): 443-470.
- BASSOULLET J.-P., COLCHEN M., GILBERT E., MARCOUX J., MASCLE G., SUTRE E. & VAN HAVER T. (1986).- L'orogène himalayen au Crétacé. (in BUFFETAUT E., JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. organ., *Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est Asiatique: confrontation des données paléontologiques avec les modèles géodynamiques*, Table Ronde Soc. Géol. Fr./C.N.R.S., Paris, 1983). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, N.S., 147 [1984]: 9-20.
- BHATIA S.B., RANA R.S. (1986).- Palaeogeographic implications of the Charophyta and Ostracoda of the Inter-trappean beds of Peninsular India. (in BUFFETAUT E., JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. organ., *Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est Asiatique: confrontation des données paléontologiques avec les modèles géodynamiques*, Table Ronde Soc. Géol. Fr./C.N.R.S., Paris, 1983). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, N.S., 147 [1984]: 29-35.
- BISHOP D.G., BRADSHAW J.D. & LANDIS C.A. (1985).- Provisional terrane map of South Island, New Zealand. (in HOWELL, D.G. ed., *Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region*). Houston, Circum Pacific Council for Minerals and Energy, p. 515-521.
- BLACK R. (1985).- Le Pan-Africain et son influence sur l'évolution géologique au Phanérozoïque. (in BLACK R. ed., *Evolution géologique de l'Afrique - Séminaire de formation Compte-rendu des conférences*). C.I.F.E.G. Publ. Occasion. 1985/4: 115-141.
- BLIECK A. (1982).- Les grandes lignes de la biogéographie des Hétérostracés du Silurien supérieur-Dévonien inférieur dans le domaine nord-atlantique. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 38: 283-316.
- BLIECK A., BRICE D., FEIST R., GUILLOT F., MAJESTEMENJOLAS C. & MEILLIEZ F. (1988).- The Devonian of France and Belgium. (in McMILLAN N.J., EMBRY A.F. & GLASS D.J. eds, *Devonian of the World*, Proc. II Intern. Symp. Devonian System, Calgary, 1987). *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 14, 1: 359-400.
- BLIECK A. & JANVIER P. (1991).- Silurian vertebrates. (in BASSETT M.G., LANE P.D. & EDWARDS D. eds, *The Murchison Symposium*, Proc. Intern. Confer. Silurian System, Keele, 1989). *Palaeontology Spec. Paper* 44: 345-389.
- BLIECK A. & MEILLIEZ F. (1993).- Paléogéographies et biogéographies de l'Europe occidentale au Paléozoïque (compte-rendu Congr. Gr. Fr. Paléoz./Soc. Géol. Fr., Villeneuve d'Ascq, 1992). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, C.R. somm. séances 1992, suppl. 164 (4): 20-21.
- BLUNDELL D., FREEMAN R. & MUELLER S. eds (1992).- A continent revealed: the European Geotraverse. Cambridge Univ. Press, 275 pp., 117 figs, 25 pl.
- BOUCHARDON J.L., SANTALLIER D., BRIAND B., MENOT R.P. & PIBOULE M. (1989).- Eclogites in the French Palaeozoic Orogen: geodynamic significance. (in MATTE P. & ZWART H.J. eds, *Palaeozoic plate tectonics with emphasis on the European Caledonian and Variscan belts*, E.U.G., Strasbourg, 1987). *Tectonophysics*, 169 (4): 317-332.
- BOUCOT A.J. (1985).- Late Silurian-Early Devonian biogeography, provincialism, evolution and extinction. (in CHALONER W.G. & LAWSON J.D. eds, *Evolution and environment in the late Silurian and early Devonian*, Roy. Soc. Discussion Meet., London, 1984). *Phil. Tr. Roy. Soc. London*, B 309 (1138): 323-339.
- BOUCOT A.J. & GRAY J. (1983).- A Paleozoic Pangaea. *Science*, 222 (4624): 571-581.
- BRADSHAW J.D. (1989).- Cretaceous geotectonic patterns in the New Zealand region. *Tectonics*, 8: 803-820.
- BRADSHAW J.D. (1993).- A review of the Median Tectonic Zone: terrane boundaries and terrane amalgamation near the Median Tectonic Line. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 36 (1): 117-125.
- BRADSHAW J.D., ADAMS C.J. & ANDREWS P.B. (1981).- Carboniferous to Cretaceous on the Pacific margin of Gondwana: the Rangitata phase of New Zealand. (in CRESSWELL M.M. & VELLA P. eds, *Gondwana five*). Rotterdam, Balkema, p. 217-221.
- BRADSHAW M.A. & WEBERS G.F. (1988).- The Devonian rocks of Antarctica. (in McMILLAN N.J., EMBRY A.F. & GLASS D.J. eds, *Devonian of the World*, Proc. II Intern. Symp. Devonian System, Calgary, 1987). *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 14, 1: 783-795.
- BRIGGS J.C. (1990).- The historic biogeography of India: isolation or contact? *Syst. Zool.*, 38 (4) [1989]: 322-332.

- BUFFETAUT E. (1990).- Comment. (in Comments and reply on "Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision"). *Geology*, 18 (2): 186.
- BUFFETAUT E. (1991).- La disparition des dinosaures. *Encyclopædia Universalis, Universalis* 1991: 278-282.
- BURRETT C., LONG J.A. & STAIT B. (1990).- Early-Middle Palaeozoic biogeography of Asian terranes derived from Gondwana. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 163-174.
- CARIDROIT M. & FERRIÈRE J. (1988).- Premières datations précises du Paléozoïque par Radiolaires en Nouvelle-Zélande. Intérêts géologique et paléontologique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 306, II: 321-326.
- CHATTERJEE S. (1986).- The drift of India: a conflict in plate tectonics. (in BUFFETAUT E., JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. organ., *Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est Asiatique: confrontation des données paléontologiques avec les modèles géodynamiques*, Table Ronde Soc. Géol. Fr./C.N.R.S., Paris, 1983). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, N.S., 147 [1984]: 43-48.
- CHATTERJEE S. & HOTTON III N. (1986).- The paleoposition of India. *Jl. Southeast Asian Earth Sci.*, 1 (3): 145-189.
- CLARK R.H., VELLA P. & WATERHOUSE J.B. (1967).- The Permian at Parapara Peak, northwest Nelson. *New Zealand Jl. Geol. Geophys.*, 10: 232-246.
- COCKS L.R.M. & SCOTSESE C.R. (1991).- The global biogeography of the Silurian period. (in BASSETT M.G., LANÉ P.D. & EDWARDS D. eds, *The Murchison Symposium*, Proc. Intern. Confer. Silurian System, Keele, 1989). *Palaeontology Spec. Paper* 44: 109-122.
- Collectif (1988).- *Encyclopædia Universalis. Symposium: les chiffres du monde*. Encycl. Univ. édit., Paris.
- COOMBS D.S., LANDIS C.A., NORRIS R.J., SINTON J.M., BORNS D.J. & CRAW D. (1976).- The Dun Mountain Ophiolite Belt, New Zealand, its tectonic setting, constitution, and origin, with special reference to the southern portion. *Amer. Jl. Sci.*, 276: 561-603.
- COOPER R.A. (1989).- Early Paleozoic terranes of New Zealand. *Jl. Roy. Soc. New Zealand*, 19: 73-112.
- COURJAULT-RADE P., DEBRENNE F. & GANDIN A. (1992).- Palaeogeographic and geodynamic evolution of the Gondwana continental margins during the Cambrian. *Terra Nova*, 4: 657-667.
- COURTILLOT V. (1990a).- Pourquoi les dinosaures ont-ils disparu: une éruption volcanique? *Pour La Science*, 158: 40-48.
- COURTILLOT V. (1990b).- L'activité volcanique à l'origine de l'extinction des espèces? (in *La Terre, de l'observation à la modélisation*). *Le Courrier du CNRS*, 76: 56-57.
- COWIE J.W. & BASSETT M.G. (1989).- International Union of Geological Sciences: 1989 Global Stratigraphical Chart with geochronometric and magnetostratigraphic calibration. *Episodes*, Suppl. 12 (2): 1p.
- CROOK K.A.W. & FEARY D.A. (1982).- Development of New Zealand according to the fore-arc model of crustal evolution. (in PACKHAM G.H. ed., *The evolution of the India-Pacific plate boundaries*). *Tectonophysics*, 87: 65-107.
- DAVIS T.E., JOHNSTON M.R., RANKIN P.C. & STULL R.J. (1980).- The Dun Mountain Ophiolite Belt in east Nelson, New Zealand. *Proc. Intern. Ophiolite Symp.* (Cyprus, 1979), p. 480-496.
- DEBRENNE F. & ZHURAVLEV A. (1992).- Irregular archaeocyaths. Morphology, ontogeny, systematics, biostratigraphy, palaeoecology. *Cah. Paléont.*, CNRS, Paris, 212 pp., 38 pls.
- DE WIT M.J. (1986).- Digitized geological map of Gondwana. *S. Afrk. Tydskr. Wetensk./S. Afrk. Jl. Sci.*, 82 (10): 527.
- DOLLFUS A. (1991).- Evolution des corps planétaires. (in *La mobilité des continents, la tectonique des plaques et l'expansion de la Terre*, 107e Congr. A.F.A.S., Orléans, 1989). *Sciences*, 91 (2-3): 47-59.
- DUELLMAN W.E. & TRUEB L. (1986).- *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, New York, 670 pp.
- DURAND-DASTES F. & FURON R. (1990).- Inde: A. géographie. *Encyclopædia Universalis, Corpus*, 12: 13-24.
- ERDTMANN B.D. (1991).- The post-Cadomian Early Palaeozoic tectonostratigraphy of Germany (attempt at an analytical review). (in Proc. Intern. Meet. Caledonides Midlands Brabant, Brussels, 1989). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 114 (1): 19-43.
- FEISMANTHEL O. (1877-1886).- The fossil flora of the Gondwana System. *Paleont. Indica*. Vols I-IV.
- FERRIÈRE J. (1987).- Nouvelle-Zélande: quelques aspects de la "Tectonique alpine", post-Carbonifère, d'une chaîne péripacifique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, II: 615-618.
- FERRIÈRE J. & CHANIER F. (1993).- La tectonique des plaques à l'épreuve de la réalité: SW Pacifique et Nouvelle-Zélande. *Géochronique*, 45: 14-20.
- FORTEY R.A. & COCKS L.R.M. (1992).- The early Palaeozoic of the North Atlantic region as a test case for the use of fossils in continental reconstruction. *Tectonophysics*, 206: 147-158.
- FORTEY R.A. & MELLISH C.J.T. (1992).- Are some fossils better than others for inferring palaeogeography? The early Ordovician of the north Atlantic region as an example. *Terra Nova*, 4: 210-216.
- GAYET M., RAGE J.-C. & RANA R.S. (1986).- Nouvelles ichthyofaune et herpétofaune de Gitti Khadan, le plus ancien gisement connu du Deccan (Crétacé/Paléocène) à microvertébrés. Implications paléogéographiques. (in BUFFETAUT E., JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. organ., *Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est Asiatique: confrontation des données paléontologiques avec les modèles géodynamiques*, Table Ronde Soc. Géol. Fr./C.N.R.S., Paris, 1983). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, N.S., 147 [1984]: 55-65.
- GIGNOUX M. (1950).- *Géologie stratigraphique*. Masson, Paris, 4^e édition.
- GROENEWALD P.B., GRANTHAM G.H. & WATKEYS M.K. (1991).- Geological evidence for a Proterozoic to Mesozoic link between southeastern Africa and Dronning Maud Land, Antarctica. *Jl. Geol. Soc. London*, 148 (6): 1115-1123.
- HARTENBERGER J.-L. (1982).- Exemples de données géophysiques et paléontologiques antinomiques dans le Tertiaire ancien. (in *Biogéographie et tectonique des plaques*, séance spéc. Soc. Géol. Fr./Assoc. Paléont. Fr., Brest, 1982). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7^e sér., 24 (5-6): 927-933.
- HARTENBERGER J.-L. (1984).- Aspects biogéographiques des études sur les Rongeurs de l'Éocène d'Asie. (in BUFFETAUT E., MAZIN J.-M. & SALMON E. eds, *Actes Symp. Paléont. G. Cuvier*, Montbéliard, 1982): 263-271.
- HOFFMAN P.F. (1991).- Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? *Science*, 252 (5011): 1409-1412.
- JAEGER J.-J., COURTILLOT V. & TAPPONNIER P. (1989).- Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision. *Geology*, 17: 316-319.
- JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. (1990).- Reply. (in Comments and reply on "Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision"). *Geology*, 18 (2): 186-188.
- JANVIER P. & BLIECK A. (1993).- The Silurian-Devonian agnathan biostratigraphy of the Old Red Continent. (in LONG J.A. ed., *Palaeozoic vertebrate biostratigraphy and biogeography*). Belhaven Press, London, 4: 67-86.
- JOHNSTON M.R. (1990).- Geology of the St Arnaud District, Southeast Nelson (Sheet N 29). *New Zealand Geol. Surv. Bull.*, 99: 1-119.

- LALLEMAND S. & MALAVIEILLE J. (1992).- L'érosion profonde des continents. *La Recherche*, 249: 1388-1397.
- LAWVER L.A. & SCOTSESE C.R. (1987).- A revised reconstruction of Gondwanaland. (in MCKENZIE G.D. ed., *Gondwana Six: structure, tectonics, and geophysics*). *Amer. Geophysic. Union, Geophys. Monogr.* 40: 17-23.
- LI Z.-X., POWELL C.McA. & TRENCH A. (1993).- Palaeozoic global reconstructions. (in LONG J.A. ed., *Palaeozoic vertebrate biostratigraphy and biogeography*). Belhaven Press, London, 2: 25-53.
- MASSON P. (1987).- La géologie de Mars. (in DARS R. & MASSON P. organ., *Planétologie, séance spéc. Soc. Géol. Fr.*, Paris, 1985). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8^e sér., 3 (1): 31-41.
- MARTINEZ C. (1980).- Géologie des Andes Boliviennes: structure et évolution de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. *Trav. Doc. ORSTOM*, 119: 352 pp., 120 fig., 12 pl., carte h.t.
- MARTINEZ-CATALAN J.R. (1990).- A non-cylindrical model for the allochthonous terranes in the Hercynian belt of western Europe. (in *Intern. Confer. Palaeozoic Orogens in Central Europe*, IGCP 233, Göttingen-Gießen, 1990). Abstracts: 4 pp.
- MATTAUER M. & MERCIER J.-L. (1990).- Himalayenne (Chaîne). *Encyclopædia Universalis, Corpus*, 11: 422-431.
- MCKERROW W.S., DEWEY J.F. & SCOTSESE C.R. (1991).- The Ordovician and Silurian development of the Iapetus ocean. (in BASSETT M.G., LANE P.D. & EDWARDS D. eds, *The Murchison Symposium*, Proc. Intern. Confer. Silurian System, Keele, 1989). *Palaeontology Spec. Paper* 44: 165-178.
- MCKERROW W.S. & ZIEGLER A.M. (1972).- Palaeozoic oceans. *Nature*, 240 (100): 92-94.
- MEILLIEZ F., avec la collabor. de ANDRE L., BLIECK A., FIELTIZ W., GOFFETTE O., HANCE L., KHATIR A., MANSY J.-L., OVERLAU P. & VERNIERS J. (1992).- Ardenne-Brabant. (in PIQUE A. coord., *Les massifs anciens de France*, T.I: Ardenne-Massif Armorica-Massif Central). *Sci. Géol., Bull.*, 44 (1-2) [1991]: 3-29.
- METCALFE I. (1989).- Carboniferous and Permian palaeogeography of southeast Asia. (in JIN Yugan & LI Chun eds, *Onz. Congr. Intern. Stratigr. Géol. Carbonifère*, Beijing, 1987). C.R., T. 4, Nanjing Univ. Press, p. 245-264.
- MILLER J.D. & KENT D.V. (1988).- Paleomagnetism of the Silurian-Devonian Andreas redbeds: evidence for an Early Devonian supercontinent? *Geology*, 16: 195-198.
- MORZADÉC P., PARIS F., PLUSQUELLEC Y., RACHEBŒUF P. & WEYANT M. (1988).- Devonian stratigraphy and paleogeography of the Armorican Massif (western France). (in McMILLAN N.J., EMBRY A.F. & GLASS D.J. eds, *Devonian of the World*, Proc. II Intern. Symp. Devonian System, Calgary, 1987). *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 14, 1: 401-420.
- NATHAN S., ANDERSON H., COOK R., HERZER R., HOSKINS R., RAINE J. & SMALE D. (1986).- Cretaceous and Cenozoic sedimentary basins of the West Coast Region, South Island, New Zealand. *New Zealand Geol. Surv. Basin Studies*, 1: 1-90.
- NIE Shangyou, ROWLEY D.B. & ZIEGLER A.M. (1990).- Constraints on the locations of Asian microcontinents in Palaeo-Tethys during the Late Palaeozoic. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 397-409.
- NUR A. (1984).- Oceanic plateaus and accreted terranes: the view from western North America. (in CHARVET J. organ., *Tectonique cassante en distension et coulissement*). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 103 (2-3): 377-386.
- NUR A. & BEN-AVRAHAM Z. (1982).- Oceanic plateaus, the fragmentation of continents, and mountain building. *Jl. Geophys. Res.*, 87, B5: 3644-3661.
- OLIVER P.J. & KEENE H.W. (1989).- Carte "Mount Somers". 1/50 000. feuille K 36 AC - K 35 p.p. *New Zealand Geol. Surv. D. S. I. R.*
- OWEN H.G. (1983).- Atlas of continental displacement, 200 million years to the present. Cambridge Earth Sci. Ser., Cambridge Univ. Press, 159 pp., 76 maps.
- PARIS F. & ROBARDET M. (1990).- Early Palaeozoic palaeobiogeography of the Variscan regions. (in MATTE P. ed., *Terranes in the Variscan belt of Europe and circum-Atlantic Palaeozoic Orogens*, IGCP 233, Montpellier, 1988). *Tectonophysics*, 177 (1-3): 193-213.
- PATRIAT P., SEGOUFIN J., SCHLICH R., GOSLIN J., AUZENDE J.-M., BEUZART P., BONNIN J. & OLIVET J.-L. (1982).- Les mouvements relatifs de l'Inde, de l'Afrique et de l'Eurasie. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7^e sér., 24 (2): 363-373.
- PATTERSON C. & OWEN H.G. (1991).- Indian isolation or contact? A response to Briggs. *Syst. Zool.*, 40 (1): 96-100.
- PELTZER G., GILLET P. & TAPPONNIER P. (1984).- Formation des failles dans un matériau modèle: la plasticine. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7^e sér., 26 (1): 161-168.
- PICKERING K.T., BASSETT M.G. & SIVETER D.J. (1988).- Late Ordovician-Early Silurian destruction of the Iapetus ocean: Newfoundland, British Isles, and Scandinavia - a discussion. *Tr. Roy. Soc. Edinburgh*, 79: 361-382.
- PINOT J.-P. (1990).- Indien (Océan). *Encyclopædia Universalis, Corpus*, 12: 144-152.
- PIPER J.D.A. (1976).- Palaeomagnetic evidence for a Proterozoic super-continent. (in SUTTON J., SHACKLETON R.M. & BRIDEN J.C., A discussion on global tectonics in Proterozoic times). *Phil. Tr. Roy. Soc. London*, A, 280 (1298): 469-490.
- PIPER J.D.A. (1982).- The Precambrian palaeomagnetic record: the case for the Proterozoic supercontinent. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59 (1): 61-89.
- PIQUE A. (1992).- Les massifs anciens de France, segments de la chaîne varisque d'Europe occidentale. (in PIQUE A. coord., *Les massifs anciens de France*. II: Vosges, Alpes, Provence, Corse, Pyrénées). *Sci. Géol., Bull.*, 44 (3-4) [1991]: 371-385.
- POUCHEPADASS J. & HURTIG C. (1990).- Inde: B. Histoire. *Encyclopædia Universalis, Corpus*, 12: 24-40.
- PRASAD G.V.R. & RAGE J.-C. (1991).- A discoglossid frog in the latest Cretaceous (Maastrichtian) of India. Further evidence for a terrestrial route between India and Laurasia in the latest Cretaceous. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 313, II: 273-278.
- QUENARDEL J.-M., PIQUE A., SANTALLIER D., ROLET J. & BOGDANOFF S. (1990).- The French Palaeozoic terrane complexes. (in *Palaeozoic Orogens in Central Europe*, Intern. Confer. IGCP 233, Göttingen-Gießen, 1990). Abstracts: 4 pp.
- QUENARDEL J.-M., SANTALLIER D., BURG J.-P., BRIL H., CATHELINEAU M. & MARIGNAC C. (1992).- Le Massif Central. (in PIQUE A. coord., *Les massifs anciens de France*. I: Ardenne, Massif Armorica-Massif Central). *Sci. Géol., Bull.*, 44 (1-2) [1991]: 105-206.
- RAGE J.-C. (1992).- L'Inde et l'Asie: les deux blocs se touchaient déjà il y a 65 millions d'années. *Pour La Science*, 179: 18.
- RAMOS V.A. (1988).- Late Proterozoic-Early Palaeozoic of South America - a collisional history. *Episodes*, 11 (3): 168-174.
- RICOU L.E., BESSE J., MARCOUX J. & PATRIAT P. (1990).- Une reconstruction du Gondwana révisée à partir de données pluridisciplinaires. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 311, II: 463-469.
- RITCHIE A., WANG Shitao, YOUNG G.C. & ZHANG Guorui (1992).- The Simolepidae, a family of antiarctichis (placoderm fishes) from the Devonian of South China and Eastern Australia. *Rec. Austral. Mus.*, 44: 319-370.
- ROBARDET M., BLAISE J., BOUYX E., GOURVENNEC R., LARDEUX H., LE HERISSE A., LE MENN J., MELOU M., PARIS F., PLUSQUELLEC Y., PONCET J., REGNAULT S., RIOULT M. & WEYANT M. (1993).- Paléogéographie de l'Europe occidentale de l'Ordovicien au Dévonien. (in BLIECK A. & MEILLIEZ F. organ., *Paléogéographies et biogéographies de l'Europe occidentale au Paléozoïque*, séance spéc. Gr. Fr. Paléoz./Soc. Géol. Fr., Villeneuve d'Ascq, 1992). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 164 (5): 683-695.

- ROBARDET M., PARIS F. & RACHEBŒUF P.R. (1990).- Palaeogeographic evolution of southwestern Europe during Early Palaeozoic times. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 411-419.
- ROSS J.R.P. & ROSS C.A. (1990).- Late Palaeozoic bryozoan biogeography. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 353-362.
- SAHNI A., KUMAR K., HARTENBERGER J.-L., JAEGER J.-J., RAGE J.-C., SUDRE J. & VIANEY-LIAUD M. (1982).- Microvertébrés nouveaux des Trapps du Deccan (Inde): mise en évidence d'une voie de communication terrestre probable entre la Laurasia et l'Inde à la limite Crétacé-Tertiaire. (in *Biogéographie et tectonique des plaques*, séance spéc. Soc. Géol. Fr./Assoc. Paléont. Fr., Brest, 1982). *Bull. Soc. Géol. Fr.* 7^e sér., 24 (5-6): 1093-1099.
- SAHNI A., RANA R.S. & PRASAD G.V.R. (1987).- New evidence for paleobiogeographic intercontinental Gondwana relationships based on Late Cretaceous-Earliest Paleocene coastal faunas from Peninsular India. (in MCKENZIE G.D. ed., *Gondwana Six: stratigraphy, sedimentology, and paleontology*, Proc. VI Intern. Gondwana Symp., Columbus, Ohio, 1985). *Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr.*, 41: 207-218.
- SCOTSESE C.R. & MCKERROW W.S. (1990).- Revised world maps and introduction. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 1-21.
- SCOTSESE C.R. & MCKERROW W.S. (1991).- Ordovician plate tectonic reconstructions. (in BARNES C.R. & WILLIAMS S.H. eds, *Advances in Ordovician geology*, Proc. V Intern. Symp. Ordovician System, St John's, Newfoundland, 1988). *Geol. Surv. Can., Paper* 90-9: 271-282.
- SENGÖR A.M.C. & HSÜ K.J. (1986).- The Cimmerides of Eastern Asia: history of the eastern end of Palaeo-Tethys. (in BUFFETAUT E., JAEGER J.-J. & RAGE J.-C. organ., *Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est Asiatique: confrontation des données paléontologiques avec les modèles géodynamiques*, Table Ronde Soc. Géol. Fr./C.N.R.S., Paris, 1983). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, N.S., 147 [1984]: 139-167.
- SOPER N.J., STRACHAN R.A., HOLDSWORTH R.E., GAYER R.A. & GREILING R.O. (1992).- Sinistral transpression and the Silurian closure of Iapetus. *Jl. Geol. Soc. London*, 149: 871-880.
- SPÖRLI K.B. (1978).- Mesozoic tectonics, North Island, New Zealand. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 89: 415-425.
- SUGGATE R.P., STEVENS G.R. & TE PUNGA M.T. (1978).- *Geology of New Zealand*. Wellington, Government Printer. 2 vols, 820 pp.
- TALENT J.A., GRATSIANOVA R.T. & YOLKIN E.A. (1987).- Prototethys: fact or phantom? Palaeobiogeography in relation to the crustal mosaic for the Asia-Australia hemisphere in Devonian-Early Carboniferous times. (in MCKENZIE K.G. ed., *Shallow Tethys 2*). Balkema, Rotterdam, p. 87-111.
- TAPPONNIER P., PELTZER G., LE DAIN A.Y., ARMIJO R. & COBBOLD P. (1982).- Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10 (12): 611-616.
- THEWISSEN J.G.M. (1990).- Comment. (in Comments and reply on "Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision"). *Geology*, 18 (2): 185.
- THOMAS P.G. & MASSON P. (1987).- Géologie de Mercure. (in DARS R. & MASSON P. organ., *Planétologie*, séance spéc. Soc. Géol. Fr., Paris, 1985). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8^e sér., 3 (1): 87-94.
- TRENCH A. & TORSVIK T.H. (1992).- The closure of the Iapetus ocean and Tornquist sea: new palaeomagnetic constraints. *Jl. Geol. Soc. London*, 149: 867-870.
- TRIPATHI C. & SINGH G. (1987).- Gondwana and associated rocks of the Himalaya and their significance. (in MCKENZIE G.D. ed., *Gondwana Six: stratigraphy, sedimentology, and paleontology*, Proc. VI Intern. Gondwana Symp., Columbus, Ohio, 1985). *Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr.*, 41: 195-205.
- VACHARD D. (1980). Téthys et Gondwana au Paléozoïque supérieur: les données afghanes. *Biostratigraphie, micropaléontologie, paléogéographie. Doc. Trav. I.G.A.L.*, 2: 463 pp., 75 fig., 50 tabl., 35 pl.
- VACHARD D. & FERRIÈRE J. (1991).- Une association à *Yabeina* (Foraminifère fusulinoïde) dans le Midien (Permien supérieur) de la région de Whangaroa (Baie d'Orua, Nouvelle-Zélande). *Rev. Micropaléontologie*, 34 (3): 201-230.
- VAN DER VOO R. (1988).- Paleozoic paleogeography of North America, Gondwana, and intervening displaced terranes: comparisons of paleomagnetism with paleoclimatology and biogeographical patterns. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 100: 311-324.
- VANNIER J.M.C., SIVETER D.J. & SCHALLREUTER R.E.L. (1989).- The composition and palaeogeographical significance of the Ordovician ostracode faunas of Southern Britain, Baltoscandia, and Ibero-Armorica. *Palaeontology*, 32 (1): 163-222.
- VICKERS-RICH P. & RICH T.H. (1993).- Wildlife of Gondwana. The 500-million-year history of vertebrate animals from the ancient southern supercontinent. Reed publ., Australia, 276 pp., 424 figs.
- WATERLOT M. (1985).- La fragmentation du Gondwana. (in BLACK R. ed., *Evolution géologique de l'Afrique - Séminaire de formation. Compte-rendu des conférences*). C.I.F.E.G. Publ. Occasion. 1985/4: 249-263.
- WATERLOT M. & BLIECK A. (1989).- Gondwana. *Encyclopædia Universalis, Corpus*, 10: 570-576.
- WEGENER A. (1915).- Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. *Sammlung Vieweg, Braunschweig*, 23: 94 pp.
- YOUNG G.C. (1987).- Devonian palaeontological data and the Armorica problem. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 60: 283-304.
- YOUNG G.C. (1990).- Devonian vertebrate distribution patterns and cladistic analysis of palaeogeographic hypotheses. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 243-255.
- YOUNG G.C. (1993a).- Middle Palaeozoic macrovertebrate biostratigraphy of eastern Gondwana. (in LONG J.A. ed., *Palaeozoic vertebrate biostratigraphy and biogeography*). Belhaven Press, London, 9: 208-251.
- YOUNG G.C. (1993b).- Vertebrate faunal provinces in the Middle Palaeozoic. (in LONG J.A. ed., *Palaeozoic vertebrate biostratigraphy and biogeography*). Belhaven Press, London, 12: 293-323.
- ZIEGLER A.M. (1990).- Phytogeographic patterns and continental configurations during the Permian Period. (in MCKERROW W.S. & SCOTSESE C.R. eds, *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Symp. Oxford, 1988). *Geol. Soc. London, Mem.* 12: 363-379.
- ZIEGLER P.A. (1988).- Laurussia - the Old Red Continent. (in McMILLAN N.J., EMBRY A.F. & GLASS D.J. eds, *Devonian of the World*, Proc. II Intern. Symp. Devonian System, Calgary, 1987). *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 14, 1: 15-48.
- ZONENSHAIN L.P., KUZMIN M.I. & KONONOV M.V. (1985).- Absolute reconstructions of the Paleozoic oceans. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 74 (1): 103-116.