

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

APPORTS RÉCENTS
A LA
GÉOLOGIE DU GONDWANA

ANNALES

Tome XCVII

1977

4^{me} trimestre

VOLUME SPÉCIAL PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
BOITE POSTALE 36
59650 VILLENEUVE D'ASCQ

SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

Extraits des Statuts

Article 2.

— Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.

— La Société se réunit de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.

— La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel (1).

Article 5.

Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans une de ses séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre au cours de la séance suivante.

Extraits du Règlement Intérieur

§ 7. — Les Annales et leur supplément constituent le compte rendu des séances.

§ 13. — Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un même auteur, ne peut dépasser le total de 10 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. — Les notes et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secrétariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. — Les Mémoires sont publiés par fascicules après décision du Conseil.

Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

Tirages à part

Conformément au paragraphe 14 du Règlement Intérieur (Tome LXXXI, p. 12), les tirages à part sont à la charge des auteurs qui doivent en faire par écrit la déclaration expresse en tête des épreuves du bon à tirer.

Cotisations et Abonnements (à la date du 1^{er}-1-1977)

	QUALITE	COTISATION	ABONNEMENT
FRANCE et BENELUX	Personnes physiques (2)	15,00 F	70,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques	15,00 F	75,00 F

FRANCE et ETRANGER : Abonnement des non-membres : 140,00 F.

Pour tous renseignements et règlements, s'adresser à : Secrétariat S.G.N., Sciences de la Terre,
B.P. 36, 59650 Villeneuve d'Ascq — Tél. 91.92.22 — C.C.P. Lille 5247

ANNALES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entiers aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément. Leur liste figure en fin de fascicule.

Tomes I à LXXXV (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII) 140,00 F.
Tomes LXXXVI et suivants (manque XCI) 155,00 F.

(1) Modification adoptée lors de l'Assemblée Générale du 10 Janvier 1974.

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (40,00 F).

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

APPORTS RÉCENTS
A LA
GÉOLOGIE DU GONDWANA

ANNALES

Tome XCVII

1977

4^{me} trimestre

VOLUME SPÉCIAL PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
BOITE POSTALE 36
59650 VILLENEUVE D'ASCQ

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1977 —

<i>Président d'Honneur</i>	M. G. WATERLOT
<i>Président</i>	M. M. WATERLOT
<i>Premier Vice-Président</i>	M. J.M. CHARLET
<i>Vice-Présidents</i>	M. Ch. DELATTRE M. J.J. FLEURY
<i>Secrétaire</i>	M. J. MANIA
<i>Secrétaire-Adjoint</i>	M. J.P. COLBEAUX
<i>Directeur de la Publication</i> ...	M ^{me} Paule CORSIN
<i>Trésorier</i>	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Archiviste-Bibliothécaire</i>	M. J.L. MANSY
<i>Conseillers</i>	M. l'Abbé HEDDEBAUT M. J. PAQUET M. A. DALINVAL M. J. SOMMÉ M. I. GODFRIAUX M. Cl. DESOBRY

A N N A L E S
D E L A
S O C I É T É G É O L O G I Q U E D U N O R D

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

Secrétariat : **Société Géologique du Nord**
Sciences de la Terre, Boîte Postale 36, 59650 Villeneuve d'Ascq
Tél. 91.92.22 — C.C.P. Lille 52-47

Avant-propos

par Michel WATERLOT
Président pour 1977 de la Société Géologique du Nord

La Société Géologique du Nord fut fondée en 1870 par Jules Gosselet, premier titulaire de la chaire de Géologie de notre Université. Elle a donc franchi, il y a sept ans, le cap de son premier centenaire. En plus de ses activités normales, notre Société a organisé en 1975, sous la présidence de M. le Professeur Jacques Paquet, une séance spécialisée consacrée à l'étude de " La Rupture des Roches et Massifs rocheux " et, en 1976, une autre séance récapitulant les " Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale ", présidée par M. l'Abbé Heddebaut, Professeur aux Facultés Catholiques de Lille. J'ai, cette année, cru souhaitable de faire le point des récents apports francophones à la géologie du Gondwana ; en effet, pour des raisons diverses, les chercheurs de langue française étaient assez peu représentés dans les derniers symposiums de géologie gondwanienne de Canberra en 1973 et de Calcutta en 1977. Il est vraisemblable, pour des raisons économiques évidentes, que le prochain symposium qui aura lieu en Nouvelle-Zélande en 1980 verra, lui aussi, une représentation francophone réduite.

Le Groupe Français d'Etude du Gondwana, présidé par M. Guy Blant, Ingénieur à la S.N.E.A., constituait un excellent cadre à l'organisation de cette journée et nous avons pu réunir une centaine de participants, pour la plupart européens et francophones. Le nombre et la qualité des communications présentées et l'intérêt des discussions ont montré la vitalité du Groupe et l'importance des apports, en notre langue, à l'étude d'un des domaines les plus vastes, chronologiquement et géographiquement, que notre globe ait connu.

Il m'est agréable de remercier, pour terminer cette courte introduction, l'Université des Sciences et Techniques de Lille de son soutien matériel dans la réalisation pratique de cette journée que M. le Vice-Président Salmer a bien voulu inaugurer en nous accueillant dans l'amphithéâtre Gosselet.

Introduction

par Guy BLANT (*)

J'aimerais tout d'abord remercier Monsieur le Président de l'Université pour ses aimables paroles de bienvenue, son accueil et les moyens mis à notre disposition.

Je remercie également Monsieur le Professeur Waterlot qui, en tant que Président de la Société Géologique du Nord, a organisé cette séance spéciale consacrée aux problèmes du Gondwana.

Je vous signale que nous avons reçu des encouragements de M^{me} Edna P. Plumstead, de M. Curt Teichert et de M. Varadan, Directeur du Service Géologique Indien.

Enfin, plusieurs collègues, empêchés, nous ont prié de les excuser ; ce sont MM. Mattauer, Président de la Société Géologique de France, G. Waterlot, Président d'honneur de la Société Géologique du Nord, R. Dars, R. Lavocat, P.F. Burollet.

Permettez-moi maintenant de rappeler rapidement ce qu'est le Groupe Français d'Etude du Gondwana. A la suite du Symposium du Gondwana en Afrique du Sud en 1970, M^{me} E.P. Plumstead avait suggéré que les chercheurs français travaillant sur le Gondwana maintiennent un lien informel entre eux. Depuis, ce Groupe d'Etude se réunit une à deux fois l'an pour écouter un exposé concernant le Gondwana. Il serait cependant heureux que notre Groupe marque de façon plus concrète son existence. Nous en reparlerons à la fin de cette journée.

Nos débats seront introduits par M. et M^{me} Termier qui brosseront une synthèse schématique du Gondwana qui permettra, entre autres, aux assistants peu au courant de l'ensemble gondwanien, de mieux situer les exposés de cette journée particulièrement axés sur les blocs indo-africains du Gondwana et l'évolution de leurs marges septentrionales. Il suffira de citer les communications qui suivront, liées à l'Afrique du Nord, aux limites gondwaniennes en Afghanistan et en zone himalayenne ou traitant des faunes et flores fossiles du craton africano-malgache pour se rendre compte que ces problèmes, les plus étudiés par les écoles françaises, restent au centre des préoccupations des spécialistes du Gondwana.

L'Antarctique ne sera pas absente de cette réunion ; un exposé est consacré aux recherches récentes concernant ce continent, complexe, sous sa carapace de glace.

Un problème se pose encore, auquel plusieurs réponses, plus ou moins satisfaisantes, ont pu être données. Depuis quand peut-on parler du supercontinent du Gondwana ? Son extension maximum a été recherchée par de nombreux chercheurs suivant des méthodes différentes : assemblage par ordinateur suivant certains niveaux des plate-formes continentales (les 500 brasses de Bullard), reconstitution selon les anomalies magnétiques de la croûte océanique, arguments basés sur les analogies de roches métamorphiques ou intrusives, de continuité de bassins sédimentaires, de linéaments tectoniques : quelle que soit la méthode, la forme finale du bloc fondamental est toujours assez semblable, mais quand s'est-elle effectivement fixée pour durer jusqu'au début de la rupture Trias-Jurassique, rupture qui se poursuit actuellement en Mer Rouge et dans le Golfe d'Aden entre autres ?

(*) Président du Groupe Français d'Etude du Gondwana, Ingénieur à la S.N.E.A.

Les recherches se portent maintenant sur le Paléozoïque et le Précambrien, avec le seul support des travaux de paléomagnétisme, et chacun sait combien ces données sont discutables et difficilement exploitables.

Des tentatives sont à signaler, par Briden, Drewry, Smith entre autres (*), reprises par Owen (**). Aux journées géologiques de Rennes, deux interventions ont également traité de ce problème (***). Ces reconstitutions débutent dès la fin du Précambrien où, par la jonction d'un continent formé des cratons d'Afrique occidentale et du Brésil avec les cratons de l'Afrique orientale, se crée la chaîne panafricaine. Dans les reconstitutions citées, le bloc gondwanien ainsi créé se trouve entièrement renversé, avec l'Afrique du Nord au Pôle Sud et la Nouvelle Guinée par 80° Nord, le supercontinent se déplacera peu à peu en direction du Pôle Sud, le dépassera et, au Dévonien inférieur, ce même pôle sera en Argentine et nous retrouverons une position plus classique. Enfin, par la fermeture du Proto Atlantique, l'Amérique du Nord rejoint au Permien l'Afrique occidentale. C'est dans cette même région que débutera très rapidement, dès le Jurassique, le processus d'ouverture de l'Atlantique.

L'éclatement du Gondwana en un certain nombre de plaques est sujet à controverses par partisans et adversaires de la tectonique globale ; nous ne trancherons pas, car la vérité est certainement entre les deux positions : de nombreuses zones, dites océaniques au sens géographique, par suite des grandes profondeurs d'eau comportent probablement des fonds continentaux ainsi qu'il sera exposé tout à l'heure à propos de Madagascar, et j'aimerais rappeler ici l'apport considérable des Instituts de Physique du Globe et, plus particulièrement, des travaux français dans l'Océan indien, apport fécond quant à la compréhension de l'évolution de cet océan et, par conséquent, de ces rivages ex gondwaniens.

Cette masse gondwanienne fut souvent, dès le Trias précisément, l'objet de transgressions marines plus ou moins étendues, transgression en mer étroite sur les futures zones de rifting, puis large transgression lors de la formation des bassins côtiers mésozoïques : est-ce encore un souci gondwanien que de bâtir des hypothèses sur la réalité de transgressions marines réelles représentées par des faciès restreints au cœur du continent africain ou la présence de grands lacs.

Avant de terminer cette introduction en vous priant de m'excuser d'avoir esquissé quelques-unes des questions que je me pose, j'aimerais souligner tout l'intérêt des communications paléontologiques et paléobotaniques que nous entendrons cet après-midi. Ces travaux de base minutieux et attachants concourent à conforter des hypothèses, à argumenter des synthèses. Tout un travail minutieux converge, observation par observation, idée par idée, vers une paléogéographie équilibrée et crédible du Gondwana.

Les communications présentées aujourd'hui, quelle que soit la discipline, fruits de patientes recherches, concourent à cet effort.

(*) J.C. BRIDEN, G.E. DREWRY, A. Gilbert SMITH. — Phanerozoic equal area world maps. *The Journal of Geology*, 1974, Vol. 82.

(**) T.R. OWEN. — *The geological evolution of the British Isles*. Chez Pergamon Express.

(***) R. von der VOO. — Contribution des études paléomagnétiques à la dérive continentale entre l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Afrique durant le Paléozoïque. Résumé seulement. Rennes, 1977.

E. IRVING et P. MOREL a L'HUISSIER. — Déplacements des continents majeurs péri-atlantique du Paléozoïque. Résumé seulement. Rennes, 1977.

Quelques définitions du Gondwana

par Henri TERMIER (*) et Geneviève TERMIER (*)

Sommaire. — La Gondwanie reconstituée, ensemble des continents situés au Sud de la Téthys, eût-elle pendant l'ère Primaire le comportement d'une "plaque" de dimensions gigantesques, différente de la Laurasia, laquelle fut dès l'abord profondément divisée? L'opposition entre ces deux supercontinents est particulièrement marquée dans leurs rives téthysiennes qui se font face (rive varisco-altaïde plissée, rive gondwane épeirogénique). Une importante partie de la plate-forme téthysienne est, en fait, la bordure gondwane. La Téthys elle-même est surtout une zone fracturée envahie de mers épicontinentales. Au Carbonifère, les phases glaciaires gondwanées ont influencé plusieurs fois les faunes de ces mers (Viséen, Sakmarien). La plate-forme téthysienne fissurée a donné naissance, au moins à partir de la limite Carbonifère-Permien, à des fosses (peut-être à des rifts?) aboutissant à des océans allongés en forme de boutonnières et pouvant confluer, tels que le Zagros, l'Indus, puis, orthogonalement, la zone mozambique isolant successivement le bloc Aryana (Alborz, Hazarajat) et la Lémurie (Madagascar, Dekan). Cette modalité évolutive s'accroît à partir du Trias en donnant naissance d'une part à la partie gondwane de l'Eurasie, d'autre part à l'océan Indien (et beaucoup plus tard, à la Méditerranée).

Summary. — The concept of Gondwana was progressively precised from Ed. Suess's works. The mobilistic point of view and the plate theory have recently emphasized the timing and modalities of the Gondwana dislocation, initiated during the Permian times but important only during Jurassic and principally Cretaceous times, contemporaneously with the Indian Ocean opening. However during Upper Proterozoic and the whole Palaeozoic, Gondwana seems to have been a part of a large monoplata, the Pangaea remained flexible on the level of great lineaments which amorce future oceans (for Laurasia: Cordillerian, Protoatlantic, Ural, Labidian; for Gondwana: Mayumbe, Mozambic; and between them, the Tethyan weakness zone). Tethys participates to the northern boundary of Gondwana: the Tethyan platform to the Varisco-Altaid orogen, folded area of the southern boundary of Laurasia. Unlike the classical reconstruction by Dietz and Holden, Tethys was not a large eastern gulf but a sea half-closed by a big continental group (Mu).

The different pieces of Gondwana are still characterized by their structure and by their floras and faunas, relicts and roots of large animal and plant groups.

La notion d'un continent du Gondwana s'est précisée peu à peu dans l'œuvre de Suess (1) entre 1885 et 1901. Cet auteur y inclut finalement l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Arabie, Madagascar, l'Inde, l'Australie et l'Antarctide. Cette définition est celle qu'on lui accorde encore aujourd'hui. L'unité en est schématisée par le fait qu'il s'agit de boucliers antécambriens ayant été couverts de glaciers à la fin du Carbonifère, ensemencés vers la même époque et jusqu'au Jurassique supérieur par des flores caractéristiques, la flore à *Glossopteris* du Permien, celle à *Thinnfeldia* du Jurassique. La notion de Gondwana, liée à celle de "dérive des continents" qui ne lui était pas rattachée

à l'origine, suscita l'intérêt, voire l'enthousiasme, surtout de savants habitant les éléments du puzzle, à savoir des Sud-Africains comme Du Toit (2), qui mit en évidence une structure commune aux éléments les plus méridionaux de l'Amérique du Sud, de l'Afrique du Sud et de l'Australie orientale sous le nom-sigle de "géosynclinal de SAMFRAU", puis King (3), des Sud-Américains comme Guimaraes (4), des Australiens comme Carey (5). Divers biologistes étudiant la répartition des êtres vivants considèrent avec sympathie les théories mobilistes et, avec elles, le Gondwana.

Le succès tardif du mobilisme, par le truchement surtout de la théorie des plaques, a amené à préciser les modalités de la *dislocation* du Gondwana. Celle-ci a débuté au Permien mais ne fut vraiment importante qu'à

(*) Laboratoire de Géologie Structurale, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05. Université Pierre et Marie Curie.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

partir du Jurassique et surtout du Crétacé. En même temps que naissaient l'océan Indien et le Sud de l'océan Atlantique, le Gondwana était fragmenté en plusieurs calottes sphériques de lithosphère continentale (plaques) : l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Antarctide et la plaque Indienne, laquelle comprendrait l'Arabie, le Dekan et l'Australie (6).

Cependant, quelques faits biologiques et paléontologiques n'ont pas laissé d'entraîner le doute.

Piveteau (7) montra que, à la fin du Permien et au Trias, aux ressemblances incontestables entre le peuplement des terres appartenant au continent de Gondwana s'ajoutaient des ressemblances avec des terres supposées laurasiennes, ressemblances mises en évidence par l'histoire des Vertébrés Tétrapodes, en particulier *Lystrosaurus*, Reptile Thérapsidé sud-africain retrouvé dans le Sinkiang (Tarim) par l'expédition Sven Hedin (le même a été identifié depuis en Antarctide, ce qui lui a valu une

grande célébrité). En outre, les zones de Reptiles de la formation du Karroo et celles de la Dvina sont étrangement semblables.

Dalloni (8), notant les affinités des flores permienes gondwane et angarienne, et ayant retrouvé des éléments de cette dernière dans l'Autunien (à Walchia) des Pyrénées, en concluait à l'"inexistence" du continent de Gondwana.

Millot (9) constatait que la faune actuelle de Madagascar, de type africain ancien, n'ayant aucun rapport avec celle de l'Inde, la notion de Lémurie (Madagascar + Dekan), partant celle du Gondwana, était un "mythe". (Les arguments géologiques qui parurent alors concluants à cet auteur, tel le fond basaltique de l'océan Indien au niveau de la crête Carlsberg, passent en faveur du Gondwana dans l'optique du "sea-floor spreading").

Nous avons cherché, dans l'état actuel de nos connaissances, à cerner les limites de l'unité gondwane.

GONDWANA, LAURASIA ET TETHYS : LA PANGEE ET SON HISTOIRE

A la fin de l'Archéen (2,6 milliards d'années), une fragile pellicule de lithosphère continentale, complexe de boucliers soudés entre eux, semble avoir couvert la plus grande partie de la Terre. Elle était limitée par rapport à un océan "Pacifique" dont on peut penser qu'il n'atteignait pas de grandes profondeurs (*), par une bordure active orogénique pérenne. Tectoniquement, cette lithosphère continentale se serait comportée comme une "monoplaque" jusqu'à il y a environ 1 milliard d'années (10) : c'est la Pangée (Wegener 11), laquelle a néanmoins toujours conservé des "articulations" qui la rendaient "flexible" : quatre linéaments qui devinrent plus tard bras de mer ou océans, découpaient en étoile la Laurasia [Cordillérien, Iapetus (Protoatlantique), Oural, Verkhhoiansk (Labidien)]; au moins deux linéaments découpaient le Gondwana (Mayumbe, Mozambique). Laurasia et Gondwana, deux supercontinents

d'égale surface (12), étaient séparés par une zone de faiblesse, la *Téthys*, probablement entre 1,950 et 1,075 milliard d'années (révolution Hudsonienne, 13). Cette aire téthysienne est considérée, soit comme une zone équatoriale cisailée induite par la rotation terrestre, soit comme un golfe océanique largement ouvert sur l'océan Pacifique [c'est-à-dire le schéma classique de Dietz et Holden (14)]. La présence de grands affleurements de tillites archéennes datées de 2 milliards d'années environ (glaciation de Cobalt-Gowganda) suggère que les pôles étaient alors dans des positions comparables à leur position actuelle, la Téthys étant équatoriale. Mais entre 1.000 et 450 millions d'années (de l'Hadrymien à l'Ordovicien supérieur), l'emplacement des pôles s'étant modifié, la Téthys fut à peu près méridienne, l'un des pôles étant proche des Canaries, et un inlandsis s'installa à plusieurs reprises sur l'Afrique occidentale. Quoi qu'on ait pu dire, il ne nous semble pas que la Téthys ait constitué à aucun moment du Paléozoïque un océan large et profond. A l'Ouest, elle était verrouillée au niveau du Maroc (Moghrabia), prolongement de la Mésoeurope attenante à l'Afrique saharienne. A l'Est, elle est

(*) Il nous paraît nécessaire de dissocier les notions de croûte ou lithosphère océanique et de profondeur océanique. Cette dernière ne fut acquise que tardivement et pourrait être due à l'équilibre gravitationnel l'opposant à la lithosphère continentale, une bathygénèse (H. et G. Termier).

pratiquement barrée par un ensemble continental ignoré dans la plupart des reconstitutions, le continent Mu (15) (groupant l'Indonésie, l'Indochine, la Chine et le Sud du Japon et peut-être le Tien-Shan), lequel paraît avoir assuré une liaison pérenne entre l'Asie orientale et l'Australie. Un troisième lien semble avoir relié longtemps Laurasia et Gondwana au niveau du Proche-Orient et de la Turquie. En toute logique, nous pensons donc que, jusqu'à la fin du Paléozoïque, ces trois verrous, et surtout ceux de Moghrabia et de Mu, ont servi de passages aux Vertébrés terrestres, surtout après le resserrement de l'orogénèse varisque. Ainsi, l'Australie et le continent Mu assuraient des migrations vers le Tarim et la Chine, ce qui explique la répartition de *Lystrosaurus* et confirme le schéma de Crawford (16) qui situe le Tarim contre l'Australie occidentale, donc sur la bordure téthysienne du Gondwana. Un autre passage fonctionnait certainement au niveau du continent Eurafricain émergé à l'Ouest à partir de l'orogénèse asturienne : le "couloir" d'Argana au Maroc, riche en Vertébrés triasiques, peut y avoir assuré l'un des chemins.

La Téthys paléozoïque comporte :

1) la *plate-forme téthysienne*, marge du Gondwana septentrional formée de lithosphère continentale très fissurée et qui n'offre qu'exceptionnellement des chaînes plissées, qui est longée au nord par l'orogène varisco-altaïque,

2) l'*orogène varisco-altaïque*, bordure méridionale de la Laurasia, formidable ensemble plissé, rappelant par son évolution et ses richesses minières les chaînes antécambriennes.

Biogéographiquement, ces deux bordures E \leftrightarrow W ont la valeur de chenaux ayant fonctionné pendant une grande partie du Paléozoïque. Sur la plate-forme téthysienne, dès le Cambrien, les faunes marines sont ubiquistes depuis Terre-Neuve jusqu'au Taurus (17) et au-delà (mer à *Redlichia* du Cambrien inférieur), et il s'y joint les faunes venues de l'Arctique par les bras de mer coupant la Laurasia. Au Dévonien supérieur, le trajet de cette bordure gondwane sera suivi par les Poissons Arthrodières (18). Plus loin des zones gondwanes froides, l'orogène varisco-altaïque jouit de climats plus chauds et transporte donc des faunes plus chaudes (au Dévonien moyen, c'est la mer à Calcéoles). A l'Est, le continent Mu

sépare ces deux bordures qui aboutissent à deux chenaux bien distincts entre Chine et Mongolie au Nord-Est ; entre Indonésie et Australie (Géosyncl. Timor - Est-Célèbes et futur détroit de Makassar) au Sud-Est. La séparation des deux bordures vers l'Ouest semble avoir été soit localement océanique, soit des couloirs riftés : Biscaye, Gibraltar, peut-être même au niveau de l'accident sud-atlasien.

Depuis la marge africaine qui donnera la Néoeurope jusqu'à l'Himalaya et à l'Arc Papou, la plate-forme téthysienne s'est trouvée découpée en lanières continentales par de longues fissures, zones "océaniques" souvent étroites, ayant évolué indépendamment au moins depuis le Permien vers une ouverture de brève durée, puis la saturation ; elle a finalement reçu en charriages un abondant matériel océanique mêlé à des dépôts de bordure pour s'accoler ensuite définitivement au Sud de la Laurasia (Dinarides, Taurides, Dekan). En soi, la plate-forme téthysienne semble être demeurée presque anorogénique mais elle a subi toutes les grandes épeirogénèses (acadobretonne au Dévonien, mésocarbone, permo-triasique). Tant qu'elle ne s'est pas retrouvée en position équatoriale, c'est-à-dire jusqu'à la fin du Paléozoïque, elle fut oblique par rapport aux latitudes et a donc présenté *un gradient climatique*, lequel est particulièrement marqué au Carbonifère supérieur, lors de la glaciation gondwane : ainsi, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, l'Himalaya, l'Afghanistan central (et même l'Alborz au Viséen moyen) montrent des intercalations de faunes froides et parfois de tillites, tandis que vers l'Ouest, en Afrique du Nord, la mer est demeurée assez chaude du Dévonien au Permien. Le bloc Aryana (19), qui comprend l'Hazarajat, l'Iran et la Transcaucasie, fit partie de la province froide pendant l'Assélien et le Sakmarien et se trouve poussé dans la zone chaude (mer à Fusulines) à partir de l'Artinskien, ce qui permet d'entrevoir dès cette époque une ouverture du Zagros qui le limite au Sud (ouverture suggérée aussi par le paléomagnétisme (20)). C'est la province himalayenne, sans Fusulines, qui ensemencera la zone mozambique, témoin du début de la dislocation gondwane au Permien supérieur.

A partir du Trias, la Téthys, unité structurale, a coïncidé avec la zone tropico-équatoriale dont la mer chaude, nommée Mésogée par Douvillé (21), est une unité paléogéographique et clima-

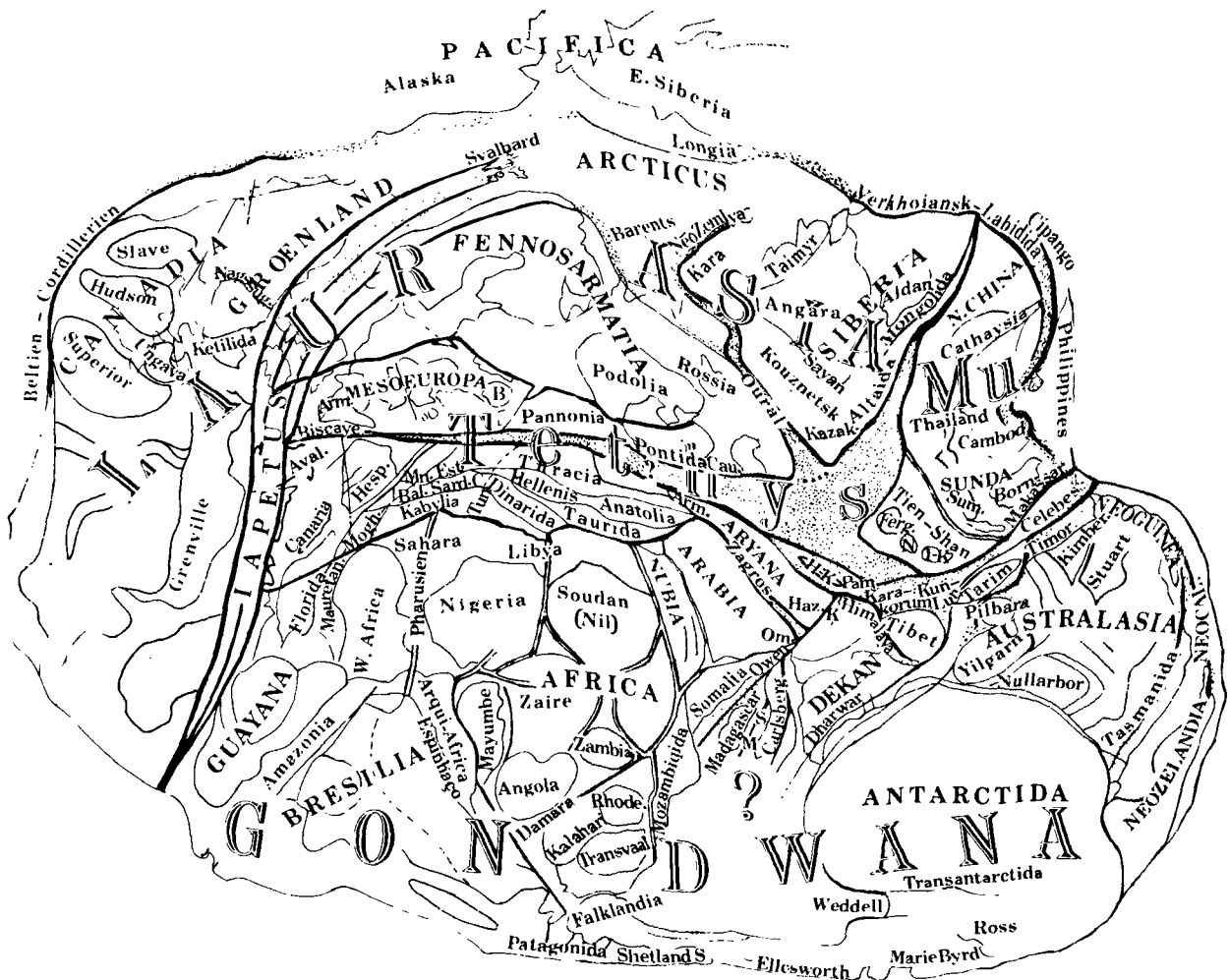


Fig. 1. — Essai de reconstitution schématique de la Pangée au Paléozoïque (surtout supérieur) en tenant compte des assemblages probables des boucliers antécambriens ainsi que des données paléontologiques et paléoclimatiques.

On distingue la Laurasia, découpée en secteurs par quatre linéaments : 1, Belt-Cordillérien. — 2, le Iapetus, qui devient limite au niveau de l'Amérique centrale. — 3, l'Oural, probablement relié au précédent par le Svalbard et le Timan. — 4, le Verkhoïansk, probablement relié au précédent mais aussi à l'orogène Labidien et à l'orogène Beltien-Cordillérien par voie arctique.

Le Gondwana est formé surtout de boucliers anciens aujourd'hui réunis en continents isolés : Guyana-Bresilia, Africa, Antarctica, Australasia, séparés par des linéaments encore peu actifs qui donneront naissance à l'Atlantique Sud (limite Arqui-Africa-Mayumbe) et à l'océan indien [limites Somalia-Madagascar (Owen) - Dekan (Carlsberg) - Antarctica - Australasia].

La Téthys s'allonge depuis le Iapetus (à l'Ouest) jusqu'à la bordure Pacifique (à l'Est) qui sépare Laurasia et Gondwana tout en laissant des passages : Mesoeuropa-Moghrabia à l'Ouest, zone égéenne (entre Pontida et Anatolia) et surtout le continent Mu (flanqué probablement par le Tien-Shan) qui la ferme à l'est en laissant deux passages marins. La Téthys est divisée longitudinalement en : a) une zone septentrionale laurasienne Varisco (Mesoeuropa)-Altaïde, plissée au Carbonifère par l'orogénèse varisque, b) une zone méridionale gondwane, la plate-forme téthysienne, quasiment anorogénique, allant de la presqu'île d'Avalon (Terre-Neuve) et des Canaries jusqu'à Célèbes. La coupure fracturale qui sépare ces deux entités est matérialisée par le linéament de Biscaye (qui ouvrira jusqu'à l'Éocène le golfe de Gascogne) et son prolongement (supposé océanique) vers l'Est.

Les éléments de cette plate-forme nord-gondwane ont été dispersés en fragments séparés par des hiatus, le plus souvent limités, à évolution de type océanique. La majeure partie d'entre eux, auxquels s'adjoindront le Dekan, le Tibet, le Tarim, le Tien-Shan et la partie septentrionale du continent Mu, sera poussée vers le Nord et accolée à la Laurasia ; la Berbérie (Afrique du Nord) seule restera attachée à l'Afrique.

tique. Pendant le Paléozoïque inférieur, la Téthys occidentale butait à l'Ouest sur l'Apétus (Proto-Atlantique) de structure comparable, mais de direction atlantique. Elle confluaient avec lui à l'Ouest des Canaries et de la Floride. Vers l'Est, les données structurales sur le domaine pacifique au Paléozoïque permettent l'évocation de continuités paléobiogéographiques mais les unités téthysiennes et varisques ne s'y retrouvent pas au-delà du continent Mu. On peut dire que la Mésogée de l'ère Secondaire déborde la Téthys, ses faunes toujours chaudes ont fait le tour du monde, présentes dès le Trias dans les Caraïbes et dans l'ouest du Mexique [les faunes d'Ammonites et de Spongiaires y sont identiques à celles du Trias des Alpes méridionales (Dinariques, donc de la plate-forme téthysienne)].

A partir de la dislocation du Gondwana, la Téthys a disparu peu à peu tandis que la Mésogée persistait jusqu'à l'Oligocène et que, structurellement, l'océan Indien prenait sa place.

En conclusion, l'unité du Gondwana est prouvée :

1) d'une façon relative par ses *faunes* et ses *flores terrestres* dont l'originalité, initialement un endémisme climatique à la fin de l'ère

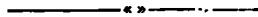
Primaire, fut ensuite transformée par de riches possibilités de migration vers la Laurasia : du Gondwana, dont les grands éléments ont joui d'une stabilité importante, sont partis les Angiospermes (22), les Insectes Holométaboles, les Thérospidés (souches des Mammifères) et les Dinosauriens (souches des Oiseaux). Après sa dislocation, l'immense province gondwana est devenue un refuge de nombreux groupes : entre autres, les Péripates, les Poissons Dipneustes, la plupart des Marsupiaux, de nombreux Mammifères Placentaires, souvent isolés au fur et à mesure des dislocations (Tapirs, Rhinocéros, Eléphantidés, Lémuriens et Singes, etc.), et des Végétaux (*Nothofagus*, Araucariées, etc) (22). Le même caractère de relictés existe dans les mers bordières : le dernier Crossoptérygien, *Latimeria*, et un dernier Spongiaire Sphinctozoaire (23) dans le canal de Mozambique ; la plupart des Monoplacophores actuels, au large de l'Amérique du Sud ;

2) par ses *caractères structuraux* qui l'ont toujours nettement séparé des unités voisines : la quasi absence de chaînes plissées orogéniques sur la plate-forme téthysienne face à la Laurasia ; la présence de zones orogéniques actives en bordure de l'océan Pacifique, comme autour de la Laurasia.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) SUESS Ed. (1885-1901). — *Das Antlitz der Erde*. Ed. française : La face de la Terre. I : 1897 ; II : 1900 ; III : 1902-1918 ; Tables : 1918.
- 2) DU TOIT A.L. (1937). — *Our wandering continents. An hypothesis of continental drifting*. Oliver and Boyd, edit.
- 3) KING L.C. (1950). — *Speculations upon the outline and mode of disruption of Gondwanaland*. *Geol. Mag.*, 87, p. 353-359.
- 4) GUIMARAES Dj. (1951). — *Arqui-Brasil e sua evolução geologica*. *Rept. Est. Un. Brasil, Min. Agr.*, 88.
- 5) CAREY S.W. (1958). — *The tectonic approach to continental drift*. *Cont. Drift. Symp.*, Tasmania, p. 177.
- 5 bis) CAREY S.W. (1970). — *Australia, New Guinea and Melanesia in the current revolution in concepts of the evolution of the Earth*. *Search*, 1, 5, p. 178-189.
- 6) LE PICHON X., FRANCHETEAU J. et BONNIN J. (1973). — *Plate Tectonics*. *Dev. in Geotectonics*, 6, 300 p.
- 7) PIVETEAU J. (1938). — *Un Thérapsidé d'Indochine. Remarques sur la notion de continent de Gondwana*. *Ann. Paléontol.*, 27, (4), p. 139-152.
- 8) DALLONI M. (1948). — *Observations sur la paléogéographie de la fin des temps primaires et la notion de "continent de Gondwana"*. *Rev. Scient.*, 3297, p. 523-526.
- 9) MILLOT J. (1952). — *La faune malgache et le mythe gondwanien*. *Mém. Inst. Scient. Madagascar*, A, (7), 1, 36 p.
- 10) LAMBERT R. St J. (1975). — *Archean thermal regimes, crustal and Upper Mantle temperatures, and a progressive evolutionary model for the Earth*. *The Early History of the Earth*, Windley ed. Wiley, p. 363-373.
- 11) WEGENER A. (1915). — *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.
- 12) DIETZ R.S. et SPROLL W.P. (1966). — *Equal areas of Gondwana and Laurasia (ancient supercontinents)*. *Nature*, 212, p. 1196-1198.
- 13) SUTTON J. (1963). — *Long-term cycles in the evolution of the continents*. *Nature*, 198, p. 731-735.
- 14) DIETZ R.S. et HOLDEN J.C. (1970). — *Reconstruction of Pangaea : break-up and dispersion of continents, Permian to present*. *J. Geophys. Res.*, 75, p. 4939-4956.

- 15) WATERHOUSE J.B. et BONHAM-CARTER G.F. (1975). — Global distribution and character of Permian biomes based on Brachiopod assemblages. *Canad. J. of Earth Sciences*, 12 (7), p. 1085-1146.
- 16) CRAWFORD A.R. (1974). — The Indus suture line, the Himalaya, Tibet and Gondwanaland. *Geol. Mag.*, 111, (5), p. 369-480.
- 17) DEAN W.T. (1972). — The Trilobite Genus *Holasaphus* Matthew, 1895 in the Middle Cambrian Rocks of Nova Scotia and Eastern Turkey. *Canad. Journ. Earth Sci.*, 9, (3), p. 266-279.
- 18) JANVIER Ph. et RITCHIE Al. (1977). — Le genre *Groenlandaspis* Heintz (Pisces, Placoderms, Arthrodira) dans le Dévonien d'Asie. *C.R. Ac. Sc.*, 284, p. 1385-1388.
- 19) TERMIER H. et TERMIER G. (1977). — Palaeogeographic position of Variscids, Tethyan platform and northern Gondwana in Eastern mediterranean area during the Upper Palaeozoic. VI^e Colloque Egéen, Izmir (Turquie).
- 20) KRUMSIEK K. (1976). — Zur Bewegung der Iranisch-Afghanischen Platte (Paläomagnetische Ergebnisse). *Geol. Rundschau*, 65, (3), p. 909-929.
- 21) DOUVILLE H. (1900). — Sur la distribution géographique des Rudistes, des Orbitolines et des Orbitoïdes. La Mésogée. *B.S.G.F.*, (3), 28, p. 205-221.
- 22) AXELROD D.I. (1975). — Plate tectonics and problems of Angiosperm history. *Mem. Mus. Nat. Hist. Nat.*, NS, A, 88, p. 72-86.
- 23) VACELET J. (1977). — Une nouvelle relique du Secondaire : un représentant actuel des Éponges fossiles Sphinctozoaires. *C.R. Ac. Sc.*, 285, p. 509-511.



L'Antarctique et le Gondwana

OU

Synthèse de sept années de recherches géologiques en Antarctique à travers le Symposium de Madison (Août 1977)

par Jacques NOUGIER (*)

Sommaire. — La présente communication a pour objet de faire le point et l'analyse des documents présentés au Symposium de géologie antarctique de Madison (U.S.A.) en Août 1977.

L'Antarctique, pièce maîtresse du Gondwana, est depuis une dizaine d'années l'objet d'études intensives. Elles ont pour but de préciser les corrélations lithologiques, tectoniques, volcanologiques et paléontologiques entre l'Antarctique et les formations équivalentes des continents limitrophes. Un effort particulier a été réalisé dans l'Antarctique de l'Ouest en relation avec l'évolution de la chaîne andine, d'une part, et de la chaîne néo-zélandaise, d'autre part. De nouveaux caractères d'identité ou de divergence, des essais de synthèses paléogéographiques sont analysés dans l'Ouest antarctique, d'après les travaux de Thomson (G.-B.), Cooper et al. (N.Z.), Grindley et Davey (N.Z.), Katz (N.Z.), Dott et al. (U.S.A.), Norton (U.S.A.), Miller (R.F.A.), Ravich (U.R.S.S.). Les corrélations structurales entre l'Antarctique de l'Est et le Sud-Est indien sont précisées par Federov (U.R.S.S.) et Hofman (U.R.S.S.). L'inventaire des faunes d'Echinoïdes (Hotchkiss, U.S.A.), de Vertébrés du Secondaire (Colbert, U.S.A.) et des flores (Rosler, Brésil) est signalé.

Summary. — The purpose of this paper is to summarize the communications submitted in August 1977 at the Madison Symposium on Antarctic Geology and Geophysics.

For about ten years, the Antarctica as a masterpiece of the Gondwana puzzle has been forming the subject of intensive studies. Their object is to precise stratigraphic, petrologic, tectonic, volcanologic and palaeomagnetic correlations between Antarctica and the similar formations of the bordering in connection with the evolution of the Andean and New-Zealand orogens. New characteristics either in identity or in divergence, some attempts of palaeogeographic synthesis are summarized in the western Antarctica from the works by Thomson (G.B.), Cooper and others, Grindley and Davey, Katz (N.Z.), Dott and others, Norton (U.S.A.), Miller (R.F.A.), Ravich and others (U.S.S.R.). Structural correlation between East Antarctica and South-West India are explicated by Fedorov and Hofman (U.S.S.R.). Review of faunas of Echinoids (Hotchkiss, U.S.A.), of Mesozoic Tetrapods (Colbert, U.S.A.) as also of floras (Rosler, Brazil) are pointed out.

L'Antarctique, pièce maîtresse du puzzle du Gondwana, est depuis une quinzaine d'années, l'objet d'études de plus en plus approfondies. Ainsi en 1963, lors du 1^{er} Symposium de géologie antarctique de Capetown, on ne comptait guère qu'une publication sur ce thème ; en 1970 à Oslo, 4 ; en 1977, à Madison, plus de 21, sans compter la centaine de publications significatives présentées à d'autres tribunes.

Le Continent antarctique se subdivise en deux super-provinces, selon Craddock (1977) :

(*) Représentant du C.N.F.R.A. auprès du Groupe de travail de Géologie Antarctique (S.C.A.R.).

Note déposée le 8 Décembre 1977.

— A l'Est, un bouclier continental typique d'âge Précambrien à Primaire, constitué de roches plutoniques et métamorphiques, recouvert localement par des séries sédimentaires horizontales (groupe de Beacon d'âge probable Dévonien) et des séries volcaniques (groupe de Ferrar d'âge Jurassique).

— A l'Ouest, des séries complexes fortement plissées et métamorphisées au cours de trois grandes phases orogéniques :

- l'orogénèse de Ross au Paléozoïque inférieur et située à proximité du bouclier oriental,
- l'orogénèse d'Ellsworth au Jurassique, en position intermédiaire,

- l'orogénèse andine (Crétacé-Eocène) accompagnée d'un volcanisme calco-alcalin, localisée dans la péninsule antarctique et en position externe.

On sait que certaines évidences servent d'arguments à l'entité du Gondwana :

— *le socle de l'Est antarctique est similaire à ceux des blocs continentaux dans l'assemblage de Du Toit : granulites, gneiss et intrusions de granites et charnockites ; une telle disposition se retrouve en Afrique, Inde orientale et Ceylan ;*

— *les séries de Beacon sont semblables aux séries sédimentaires du Paléozoïque et du Mésozoïque du Gondwana. En particulier les tillites des Mts Transantarctiques, découvertes en 1958, sont considérées comme Permo-carbonifères. Sur ces niveaux reposent les séries carbonées à *Glossopteris*. Cette succession coïncide en partie avec celle observée en Australie, aux Indes, Madagascar, Afrique du Sud, Falklands et Amérique du Sud. C'est un argument majeur pour une glaciation fin Paléozoïque sur l'ensemble du Gondwana ;*

— *les faunes paléo et mésozoïques sont similaires dans l'ancien Gondwana, qu'elles soient marines ou terrestres. En particulier les découvertes récentes de Reptiles et d'Amphibiens triasiques des Mts Transantarctiques (*Lystrosaurus* n'a pu migrer que par voie terrestre) ;*

— *les directions structurales du socle dans les montagnes Transantarctiques et dans l'Australie du SE sont actuellement perpendiculaires au rivage mais se poursuivent dans le cas d'un assemblage gondwanien ;*

— *les Monts Ellsworth, discordants sur le socle oriental, sont constitués de matériaux paléozoïques plissés au Jurassique ; ils ont leur prolongement dans la ceinture du Cap et du Sud de la Plata (Argentine) ;*

— *les roches effusives de la série de Ferrar, dans les Mts Transantarctiques, sont comparables en nature et âge avec celles du Brésil, d'Afrique du Sud et de Tasmanie ;*

— *les anomalies magnétiques symétriques de part et d'autre des dorsales circum antarctiques sont enfin des arguments en faveur de l'expansion du fond océanique. Les cartes bathymétriques récentes apportent de nouveaux arguments analogiques.*

La fragmentation du Gondwana, difficile à établir, est la conséquence d'une douzaine de faits que l'on peut résumer ainsi (fig. 1) :

- 1) *Première séparation de l'Ouest Gondwana (Amérique du Sud-Afrique) de la partie Est (Antarctique, Inde, Australie). Valencio (1975) suggère que celle-ci a débuté au Permien, Ravich (1973) pense au Trias, mais d'autres auteurs avancent le Jurassique.*
- 2) *Sur l'Australie du NW s'établit un rift au Jurassique inférieur avec fonctionnement du plancher océanique au Jurassique supérieur.*
- 3) *La séparation Afrique - Amérique du Sud peut être estimée fin Jurassique, début Crétacé.*
- 4) *La séparation Inde - Antarctique aurait eu lieu à la même époque.*
- 5) *La rupture Broken Ridge - Kerguelen se serait produite au Crétacé supérieur vers 90-100 MA.*
- 6) *L'activité des dorsales a migré : Au Crétacé supérieur de la dorsale SE Pacifique, vers l'Ouest indienne au Tertiaire inférieur, puis vers la dorsale de Carlsberg au Néogène. Le système des dorsales actives a évidemment joué un rôle majeur dans la migration de la Nouvelle-Zélande, de l'Australie et de l'Inde au large de l'Antarctique.*
- 7) *Les arguments morphologiques font coïncider le plateau de Nouvelle-Zélande avec l'Ouest Antarctique, la séparation s'étant produite, au vu des anomalies magnétiques, vers 80-85 MA (Falconer, 1973 ; Molnar, 1975 ; Wellman, 1976).*
- 8) *La Nouvelle-Zélande est un microcontinent probablement rattaché à l'Australie avant l'ouverture de la mer de Tasmanie, la scission s'étant produite entre 80 et 60 MA selon Molnar (1975), 85 et 55 MA selon Griffiths (1976).*
- 9) *Un déplacement tangentiel relatif de l'Ouest antarctique par rapport à l'Est est probable selon l'axe des Monts Ellsworth et aurait eu lieu fin Crétacé - début Tertiaire (Molnar, Craddock, 1975).*
- 10) *La rupture Antarctique-Australie peut avoir débuté dès le Jurassique pour s'achever vers 55 MA avec formation d'un nouveau plancher océanique.*

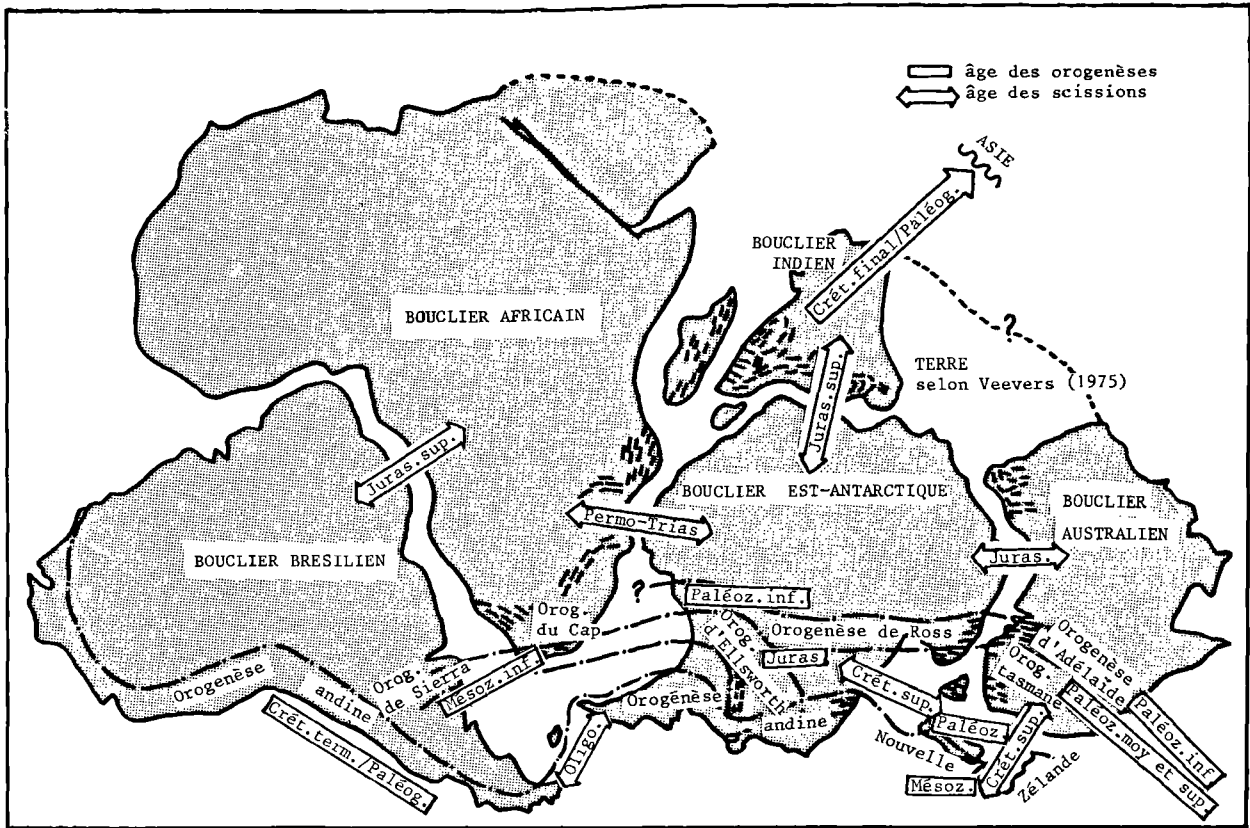


Fig. 1. — Le Gondwana avant sa fragmentation au Mésozoïque inférieur (l'orogénèse andine - Crétacé terminal/ Paléogène a été ajoutée). (D'après Craddock, 1970, 1977).

- 11) *La collision Inde-Asie* est difficile à établir : fin Crétacé selon Ravich (1973), fin Eocène, début Oligocène pour la plupart des auteurs, même Miocène pour Gansser (1973), Verma (1973).
- 12) *La séparation Amérique du Sud - Antarctique* est probablement le dernier événement majeur de la rupture du Gondwana. Si les ressemblances entre les deux provinces semblent évidentes, l'âge de la rupture ne recueille pas l'unanimité des auteurs : le passage de Drake aurait été ouvert fin Oligocène selon Barker (1976), la subduction de la ride chilienne et de la péninsule antarctique étant active depuis le Miocène.

A cette esquisse globale élaborée au cours des toutes dernières années, le Symposium de

Madison a apporté des matériaux nouveaux qui peuvent très brièvement se rapporter ainsi : un effort tout particulier a été porté à l'étude de l'Antarctique occidentale et des relations avec les chaînes andines d'une part et néo-zélandaise d'autre part.

Thomson montre que dans l'Antarctique de l'Ouest, les formations sédimentaires Mésozoïques représentées dans les îles de l'arc du Scotia et la péninsule antarctique, confirment que le Gondwana n'était pas fragmenté au cours de la majeure partie de cette période. L'ouverture de l'Atlantique Sud se serait produite au Néocomien et le partage Afrique-Inde - Antarctique au Crétacé moyen. Les faunes spécifiques triasiques et mieux encore du Jurassique supérieur, militent en faveur d'une faune circum pacifique. Mais à l'Aptien, une partie importante des espèces devient endémi-

que et ce n'est pas avant le Campanien que l'on a des indices sûrs d'échanges faunistiques avec les autres régions du monde.

Cooper et al. proposent d'étroites corrélations géologiques entre la Nouvelle-Zélande de l'Ouest et la Terre de Marie Byrd aux périodes anté-cénozoïques. La scission a eu lieu au Crétacé final, suivant une direction légèrement oblique aux directions structurales majeures. L'histoire des deux régions comprend :

— au Paléozoïque moyen, un cycle orogénique accompagné de métamorphisme et de granitisation ;

— au Mésozoïque, une activité volcanique de type calco-alcalin suivie d'une pénéplénation au Paléogène.

La province géosynclinale de Nouvelle-Zélande orientale qui a fonctionné du Permien au Jurassique trouve son équivalent dans la Terre d'Ellsworth et la Péninsule antarctique. Ces affinités portent sur les faunes et les faciès volcano-détritiques.

Grindley et Davey précisent la reconstitution du secteur Sud-Ouest Pacifique du Gondwana à l'aide de quatre critères indépendants désormais classiques et que je rappelle :

— les anomalies magnétiques marines datées de 85 MA à nos jours et qui fournissent les positions approximatives des trois principales plaques lithosphériques ;

— l'appariement des marges continentales jusqu'à l'isobathe — 2.000 m ;

— l'étude paléomagnétique des formations volcaniques tertiaires permettant de retracer les migrations des pôles de chaque plaque ;

— la continuité des grandes structures géologiques.

Les critères magnétiques semblent fournir les meilleurs résultats. Ceux-ci se résument ainsi :

1° le géosynclinal d'Adélaïde en Australie du Sud ne semble pas se poursuivre dans l'Est Antarctique ;

2° malgré les analogies stratigraphiques évidentes du Paléozoïque inférieur d'Australie orientale, de l'Est Antarctique et de la Nouvelle-Zélande, celles-ci ne peuvent s'aligner

sans interruption dans le schéma de reconstitution daté à 85 MA ;

3° une bande d'anomalies magnétiques recoupe le plateau de Campbell et le SE de la Nouvelle-Zélande ; celle-ci peut fournir un lien avec l'Ouest antarctique dans la mesure où elle est reconnue ;

4° le changement à 90 MA du volcanisme de type calco-alcalin en type alcalin coïncide avec le début de l'expansion océanique et la modification du type de sédimentation.

Katz reprend ces arguments pour affirmer que la séparation Ouest-Antarctique - Nouvelle-Zélande n'a pu s'effectuer par formation de marges passives de type Atlantique. En effet :

— les évolutions orogénique et plutonique anté-scission sont différentes sur chaque bord ;

— tandis qu'un pré-rift typique débute à 30 MA sur la rive de la Nouvelle-Zélande avant sa scission, la rive Antarctique n'est pas l'objet d'un phénomène semblable. Au contraire, sur-
rection et érosion y prédominent ;

— il n'y a pas de remplissages de sédiments postérieurs à l'ouverture sur la marge néo-zélandaise ; par contre, ceux-ci sont très développés sur la marge antarctique ;

— l'ouverture est associée étroitement aux orogénèses, à des intrusions plutoniques et à un métamorphisme de hautes température et pression, ce qui ne correspond à aucun modèle connu.

En conséquence, si cette séparation s'est bien produite, il faut réviser le modèle des anomalies magnétiques. L'évolution tectonique, plus complexe que celle proposée par Cooper, suggère qu'une région de faible étendue — qui deviendra le microcontinent néo-zélandais — s'est séparée d'un bloc plus étendu suivant une ligne préexistante de faiblesse qui correspondait à la séparation réelle entre les provinces tectoniques. Cette séparation en deux temps expliquerait pourquoi l'on ne peut comparer directement la scission de la Nouvelle-Zélande et de l'Antarctique.

Ravich conclut à la grande analogie du socle des géosynclinaux de Ross en Antarctique et d'Adélaïde en Australie : même métamorphisme à faciès amphibolite pour les for-

mations les plus anciennes (1,7 à 2 Milliards), même faciès schistes verts et intrusions granitiques synorogéniques pour les formations plus récentes, mêmes intrusions post-tectoniques vers 450-400 MA. Ceci suggère naturellement la présence d'une même unité géosynclinale Ross-Adélaïde à l'emplacement des Montagnes Transantarctiques et du SE australien. D'un développement de quelque 8.000 km, elle aurait fonctionné du Précambrien au Paléozoïque.

Dott et al. établissent les relations entre l'arc du Scotia et l'extrême Sud des Andes sur les plans de la sédimentation tardi-mésozoïque et de l'évolution tectonique. Ces matériaux, notés dans les Andes et la Géorgie du Sud, traduisent une subsidence importante en bordure de craton tandis que s'édifie une cordillère jeune. Le flysch du Crétacé inférieur se dépose dans un arrière-bassin sur le plancher océanique, tandis que les dépôts du Crétacé terminal et du Tertiaire reposent sur les bords du craton (bassin magellan). La molasse ne se généralise guère qu'à l'Oligocène. Dans ces régions, le volcanisme calco-alkalin est associé à des intrusions dioritiques formant une ceinture paléogène. Son démembrement et la formation de la mer du Scotia se placent à 20-30 MA. La collision entre la future région de la mer du Scotia et l'ancienne triple jonction de la dorsale Est-Pacifique, semble être la cause apparente de ce démembrement et de la fin de la subduction sous les Andes méridionales.

Norton reprend le problème de la scission des Andes et de la péninsule antarctique en la liant à celle, mieux connue, de l'Afrique-Amérique du Sud. L'auteur montre que le passage de Drake s'est ouvert à l'Oligocène, sans qu'il soit nécessaire d'introduire de mouvement majeur entre l'Ouest et l'Est Antarctique depuis le Crétacé inférieur. Avant cette période, les données géophysiques impliquent un *recouvrement de la péninsule antarctique sur l'Amérique du Sud*, ce qui est en accord avec les données de Du Toit par exemple. Ceci signifie donc que la partie septentrionale de la péninsule Antarctique devait être en place au Jurassique, pendant la fracturation précoce du Gondwana.

Miller précise que le substratum de Patagonie est constitué par des matériaux du Paléozoïque inférieur ayant subi plusieurs phases tectoniques, notamment au Paléozoïque supérieur.

En comparant les plissements des séries de la Péninsule antarctique, l'auteur préfère leur attribuer un âge Permien et non Mésozoïque inférieur, comme cela est généralement admis. En accord avec Dott, les différences entre les deux régions s'affirment au cours du Secondaire et du Tertiaire par l'absence de faciès flysch, par la faible intensité des déformations dans la péninsule antarctique et par les directions structurales qui ne sont pas concordantes dans le cadre du concept de la tectonique des plaques.

*
**

En ce qui concerne l'Est Antarctique, plus spécialement étudié par les équipes soviétiques, les travaux comparatifs dans le cadre du Gondwana, sont beaucoup moins fournis.

Federov et al. ont montré des analogies entre la Terre d'Enderby, le Sud-Est indien et Ceylan. Similitude lithologique des formations archéennes à permien, mêmes directions structurales. Le graben de Mahanadi aux Indes est rempli de niveaux à charbon du Permien et l'on pense qu'il se poursuit dans la zone tectonisée de la plate-forme de glace d'Amery et du glacier Lambert où des flores à *Glossopteris* typiquement gondwaniennes ont été découvertes sur le socle cristallin. La similitude se poursuit au niveau des dépressions intracratoniques affectées d'un métamorphisme de faible intensité, le socle ayant subi dans l'entité indo-Antarctique, un métamorphisme à faciès granulite.

Hofmann, se basant d'ailleurs sur ces critères pétrologiques du SE indien et de la Terre d'Enderby, ajoute les caractères morphologiques de l'isobathe — 1.000 m exposés dès 1973 par Smith et Hallam et pousse plus avant l'analogie en signalant l'ajustement des grandes directions structurales faillées du socle, marquées dans les Montagnes du Prince Charles et le bassin de Cuddapah.

*
**

Dans le domaine des recherches thématiques, l'étude des Echinoïdes a été entreprise par Hotchkiss. Les espèces de l'île Noire et du groupe de l'île Ross sont semblables à celles de Patagonie et de la Terre de Feu, ce qui est en accord avec l'existence d'une province weddelienne. Cependant, l'évolution au Tertiaire

de certaines espèces présentes en Australasie et absentes en Antarctique et Amérique du Sud, implique une barrière faunistique entre ces deux provinces.

Les Vertébrés mésozoïques de l'Antarctique sont limités à des Amphibiens, Reptiles et quelques Poissons du Trias inférieur, étudiés par Colbert. Ils sont localisés dans la formation de Beacon dans les Monts Transantarctiques.

Cette faune, dite de Fremouw, est comparable à celle à *Lystrosaurus* d'Afrique du Sud, prouvant la contiguïté des deux continents au Secondaire. Bien que les Vertébrés crétacés soient encore inconnus dans l'Antarctique, on est en droit de supposer que l'on pourrait

découvrir des Dinosauriens et des Marsupiaux en Péninsule Antarctique.

En ce qui concerne les flores permienes étudiées par Rosler sur les boucliers brésilien et antarctique, on identifie 6 groupes à *Glossopteris* ayant leurs correspondances dans ces deux continents, exception faite peut-être pour le deuxième groupe B à caractéristiques post-glaciaires (Permien inférieur) et retrouvé seulement dans le Parana. Les décalages notés entre les groupes antarctiques confortent l'hypothèse selon laquelle les dépôts glaciaires du Permien antarctique se sont produits légèrement plus tardivement que dans les autres régions du Gondwana.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BARKER P.J. et BURRELL J. (1976). — The opening of the Drake Passage. Abstracts. 25th Internat. Geol. Congress, Sydney, p. 881.
- 2) COLBERT E.H. (1977). — Mesozoic Vertebrates of Antarctica. Abstracts. 3th Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 30.
- 3) COOPER R.A., LE MASURIER W.E., SPEDEN I.G., LANDIS C.A. (1977). — Geological history and regional patterns in New Zealand and West Antarctica and their paleotectonic and paleogeographic significance. Abstracts. 3th Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 35.
- 4) CRADDOCK C. (1975). — Tectonic evolution of the Pacific margin of Gondwanaland. In *Gondwana Geology*, éd. K.S. Campbell, ANU Press, Canberra, p. 609-618.
- 5) CRADDOCK C. (1977). — Antarctica and Gondwanaland, review paper. 3th Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, abstracts p. 38.
- 6) DOTT R.H., WINN R.D., SMITH C.H. (1977). — Relationship of late Mesozoic and early Cenozoic sedimentation to the tectonic evolution of the Southernmost Andes and Scotia Arc. Abstracts. 3th Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 45.
- 7) FALCONER R.K. (1973). — Numerical studies of Cretaceous magnetic anomalies in the southwest Pacific Ocean, in *Oceanography of the South Pacific*. N. 2, Comm. UNESCO, Wellington, p. 257-262.
- 8) FEDOROV L.V., RAVICH M.G., HOFMANN J. (1977). — Comparison of the geological structure of southeastern Peninsular India and Sri Lanka with Enderby, Mc Robertson and Princess Elizabeth Lands, East Antarctica. Abstracts. 3th Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 58.
- 9) GANSER A. (1973). — Ideas and problems on Himalayan Geology. Seminar on Geodynamics of the Himalayan region. *Nat. Geophys. Res. Inst.* Hyderabad, p. 97-103.
- 10) GRIFFITHS J.R. (1976). — A plate tectonic model for the southwest Pacific. Abstracts. 25th Internat. Geol. Congress, Sydney, p. 84.
- 11) GRINDLEY G.W., DAVEY F.J. (1977). — Some aspects of the reconstruction of New Zealand, Australia and Antarctica. Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 76.
- 12) HOFMANN J., FEDOROV L.V., RAVICH M.G. (1977). — Similarities in Premesozoic development of East Antarctica (40-80°E) and Peninsular India (Southern and South-Eastern parts). Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 82.
- 13) HOTCHKISS F.C. (1977). — Antarctic fossil Echinoids - review and current research. Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 83.
- 14) KATZ H.R. (1977). — West Antarctica and New Zealand: a geological test of the model of continental split. Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 95.
- 15) MILLER H. (1977). — Geological comparison between the Antarctic Peninsula and Southern South America. Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 114.
- 16) MOLNAR P., TAPPONNIER P. (1975). — Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 189-4201, p. 419-426.
- 17) NORTON I. (1977). — Paleomotion between Africa, South America and Antarctica and implications for the Antarctic Peninsula. Abstracts. 3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics, Madison, p. 116.
- 18) RAVICH M.G. (1973). — Superkontinent iuzhnogo polushar'ia Chelovek i stikhuua, nastol'nyi gidrometeorologicheskii kalendar, p. 201-202.

- 19) RAVICH M.G. (1977). — Comparative characteristics of the basement of the Adelaide (in Australia) and Ross (in Antarctica) geosyncline areas. Abstracts. *3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics*, Madison, p. 122.
- 20) RÖSLER O. (1977). — Provincial affinities and correlation between the Brazilian and Antarctic Gondwanic floras. Abstracts. *3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics*. Madison, p. 130.
- 21) THOMSON M.R. (1977). — Mesozoic palaeogeography of Western Antarctica. Abstracts. *3th Symposium Antarctic Geology and Geophysics*. Madison, p. 146.
- 22) VALENCIO D.A. (1975). — The south American paleomagnetic data and the main episodes of the fragmentation of Gondwanaland. *Phys. of the Earth and Planet. Int.* 9, 3, p. 221-225.
- 23) VERMA R.K. (1973). — Paleomagnetism of India rocks and the birth of the Himalaya. Seminar on Geodynamics of the Himalayan Region. *Nat. Geoph. Res. Inst. Hyderabad*, p. 49-58.
- 24) WELLMAN H.W. (1976). — Seafloor reconstruction for the last 85 millions years and the bending and faulting of the New Zealand regions. Abstracts. *25th International Geol. Congress*, Sydney, p. 106-107.



Un héritage panafricain dans le Gondwana ?

par Jean FABRE (*) et Alexis MOUSSINE-POUCHKINE (*)

Sommaire. — La déformation de la couverture paléozoïque et mésozoïque est cantonnée aux zones dont le socle a été modelé par l'évènement panafricain. Ces déformations sont, pour l'essentiel, déterminées par la réactivation de grandes fractures subméridiennes.

Summary. — Deformation of the Palaeozoic and Mesozoic cover is mainly restricted to zones underlain by panafrican basement and is to a large extent controlled by reactivation of N-S transcurrent shear zones.

Les propos qui suivent n'ont rien d'original : ils ne font appel qu'à des notions bien connues et, hélas, pas à toutes, car l'ignorance de l'auteur est à la mesure du continent que nous étudions. Leur seul but est de susciter, si mes collègues le jugent utile, des discussions, voire des recherches.

Le fait Gondwana est d'abord biologique : c'est un ensemble qui tire son originalité d'une faune et d'une flore particulières pendant un temps relativement court : la deuxième moitié du Paléozoïque et le début du Mésozoïque, et encore s'agit-il essentiellement de sa faune et de sa flore continentales. Le phénomène Gondwana est donc essentiellement l'évolution, l'individualisation d'une partie de la biosphère en un temps donné. Cette évolution est évidemment liée à la nature de ce continent, sa géographie, les conditions climatiques qu'il a imposées à la Vie en fonction de sa taille, son relief, sa position à chaque moment par rapport aux pôles.

Le phénomène Gondwana est donc aussi, et chronologiquement d'abord, un fait crustal. Les rares données paléomagnétiques dont on dispose, comme aussi un provisoire consensus (?) des géologues, suggèrent une association de l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Antarctique et l'Australie, peut-être fort ancienne, du Protérozoïque moyen.

La définition paléontologique, biostratigraphique du Gondwana implique que l'on s'intéresse surtout à la couverture sédimentaire des derniers 400 Ma de l'existence de ce continent

(qui meurt écartelé vers 150-110 Ma), soit au minimum au dernier tiers de sa vie. La couverture paléozoïque et mésozoïque déposée à une extrémité de ce continent — le NW de l'Afrique aujourd'hui — a enregistré les variations climatiques, eustatiques et certains événements tectoniques d'alors. Ce faisant, elle a reflété aussi, par son adaptation à certaines structures de son socle, des événements antérieurs (Black et Girard, 1970). C'est de ces adaptations dont nous allons tenter un bref bilan : en somme chercher dans quelle mesure la préhistoire du Gondwana a influencé son histoire.

Un Protogondwana au Protérozoïque moyen ?

Comme on l'a dit plus haut, l'association qui constituait le Gondwana était fort ancienne. Morel et Irving (1978) la figurent déjà (sous toutes réserves) dans leur reconstitution de 1.250 Ma. Piper et al., étudiant les cratons "éburnéens" et similaires d'Afrique (Kalahari, Congo, ouest africain), considèrent qu'ils occupent aujourd'hui les uns par rapport aux autres une position voisine de celle qui était la leur vers 1.800-1.600 Ma (mais voir aussi Irving et Mc Glynn, 1977).

Au moment où commence l'histoire proprement dite du Gondwana, ces cratons, profondément granitisés mais pas toujours très métamorphiques, sont devenus des panneaux de croûte rigide, probablement froide, passive à l'égard de ce qui va survenir.

Naissance de grandes chaînes au Précambrien supérieur

Ces suggestions du paléomagnétisme sont gênantes, discordantes vis-à-vis de certaines

(*) Centre géologique et géophysique (C. N. R. S.), Montpellier.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

des hypothèses les plus fondées géologiquement, sur les causes et le déroulement de la tectogenèse du cycle "panafricain"; hypothèses qui impliquent dans l'ouest africain un océan vers 800 Ma et sa fermeture vers 600 (Caby, 1970). Aussi accueillerons-nous avec intérêt les données, certes provisoires, d'Irving et Morel : vers 675 Ma, un océan (Atlantic four) se serait ouvert entre Afrique et Amérique du Nord, pour se fermer vers 550 et se rouvrir (Atlantic three) vers 500.

Les vastes panneaux qui portent les traces d'orogénies vers 2.000 Ma et que nous appelons les vieux cratons sont ce qui demeure, ce qui est resté passif durant l'événement panafricain ; tel, par exemple, le craton ouest africain qui apparaît dans le bouclier reguibat au Nord, éburnéen (ou de Léo) au Sud, et dont la couverture, paléozoïque mais aussi protérozoïque, indemne, remplit la synclise de Taoudenni. Nous avons des raisons de penser (*) qu'ils étaient plus grands et que les noyaux incorporés dans la chaîne, mais qui accusent encore des âges radiométriques de l'ordre de 2.000 Ma (travaux de Bertrand, Caby, Latouche au Hoggar) sont des reliques d'un socle comparable à celui de l'Ouest africain, mais plus ou moins remobilisés.

Les chaînes elles-mêmes ont des limites souvent floues : à l'Ouest, les Mauritanides varisques semblent surimposées à une chaîne panafricaine (Chiron, 1973). Une seconde chaîne, médiane, est connue de l'Anti-Atlas au Cap en passant par le Hoggar (chaîne pharusienne), le Togo-Bénin (chaîne dahoméenne), le Congo (chaîne ouest congolienne) et la Namibie. Elle va se raccorder en Afrique australe à l'extrémité Sud du "Mozambique belt" qui s'étend dans l'Est africain, du Mozambique au Soudan et à l'Arabie.

D'autres rameaux traversent l'Amérique du Sud, l'Antarctique et l'Australie. C'est dire que l'ensemble du continent de Gondwana a été marqué par cet événement du Précambrien supérieur.

L'étude détaillée du Nord de la chaîne médiane d'Afrique, de l'Anti-Atlas au bouclier

(*) Par exemple l'existence de témoins d'une couverture de plate-forme d'âge Protérozoïque supérieur (les calcaires à Stromatolites) incorporés dans la chaîne panafricaine et semblables à ce que l'on connaît sur le craton ouest africain (travaux de Bertrand-Sarfati et de Caby).

touareg (Hoggar, Aïr, Adrar des Iforas) suggère un diachronisme au moins dans les dernières phases de l'orogénèse du Nord au Sud comme aussi d'Est en Ouest (Bertrand et Caby, 1977). Changement dans le style aussi : tandis qu'à l'Ouest du Hoggar, le contact chaîne-craton stable est le lieu de grands décrochements longitudinaux, au Sud, de vastes nappes se sont avancées de l'Est sur le craton ouest-africain (bassin du Gourma, de la Volta : travaux de Caby, Moussine, Affaton, Sougy, Trompette, etc.). Au Congo, on aurait un style comparable, mais les unités allochtones seraient charriées vers l'Est sur le craton congolais (Caby, communication orale).

Des roches basiques et ultrabasiques soulignent en plusieurs points (Bouazzer dans l'Anti-Atlas, Timétrine dans l'Adrar des Iforas, Amalaoulaou dans l'Est du Gourma et au Sud du Niger), le contact chaîne-craton qui, par ailleurs, se marque en gravimétrie par un chapelet d'anomalies lourdes (travaux de Bayer, Bourmatte, Lesquer, Ly, Rechenmann). Ceci, plus d'autres observations dans l'Ouest du Hoggar, a fait penser à Caby et certains des auteurs ci-dessus, que cette zone de suture pouvait correspondre à la fermeture d'un ancien océan, une zone de subduction.

A l'intérieur de cette chaîne, comme de toute vraie chaîne, on distingue une succession de phases de déformation pas toujours coaxiales : la nappe du Tassendjanet, témoin de la première phase majeure, chevauche vers le Sud tandis que les déformations qui succèdent ont des axes sensiblement méridiens. Beaucoup plus que les premières, masquées, ce sont les dernières déformations qui donnent au bouclier panafricain la physionomie que nous lui connaissons.

Le magmatisme pré-, syn-, tardi- et post-tectonique est très développé, ce qui évoque plus notre chaîne varisque (hercynienne) que l'alpine. Les granitoïdes tardifs peuvent constituer de vastes batholites complexes (100 à 200 km) en arrière de la zone bordière : par exemple, le contraste est frappant dans l'Adrar des Iforas, entre le Timétrine à ultrabasites et séries flyschoides sans granites et les Iforas *s. str.* à l'Est où un grand batholite complexe s'est créé aux dépens de reliques de socle ancien et de formations panafricaines.

Tous ces traits de la chaîne, trop rapidement esquissés, ne se traduisent guère, ou pas du

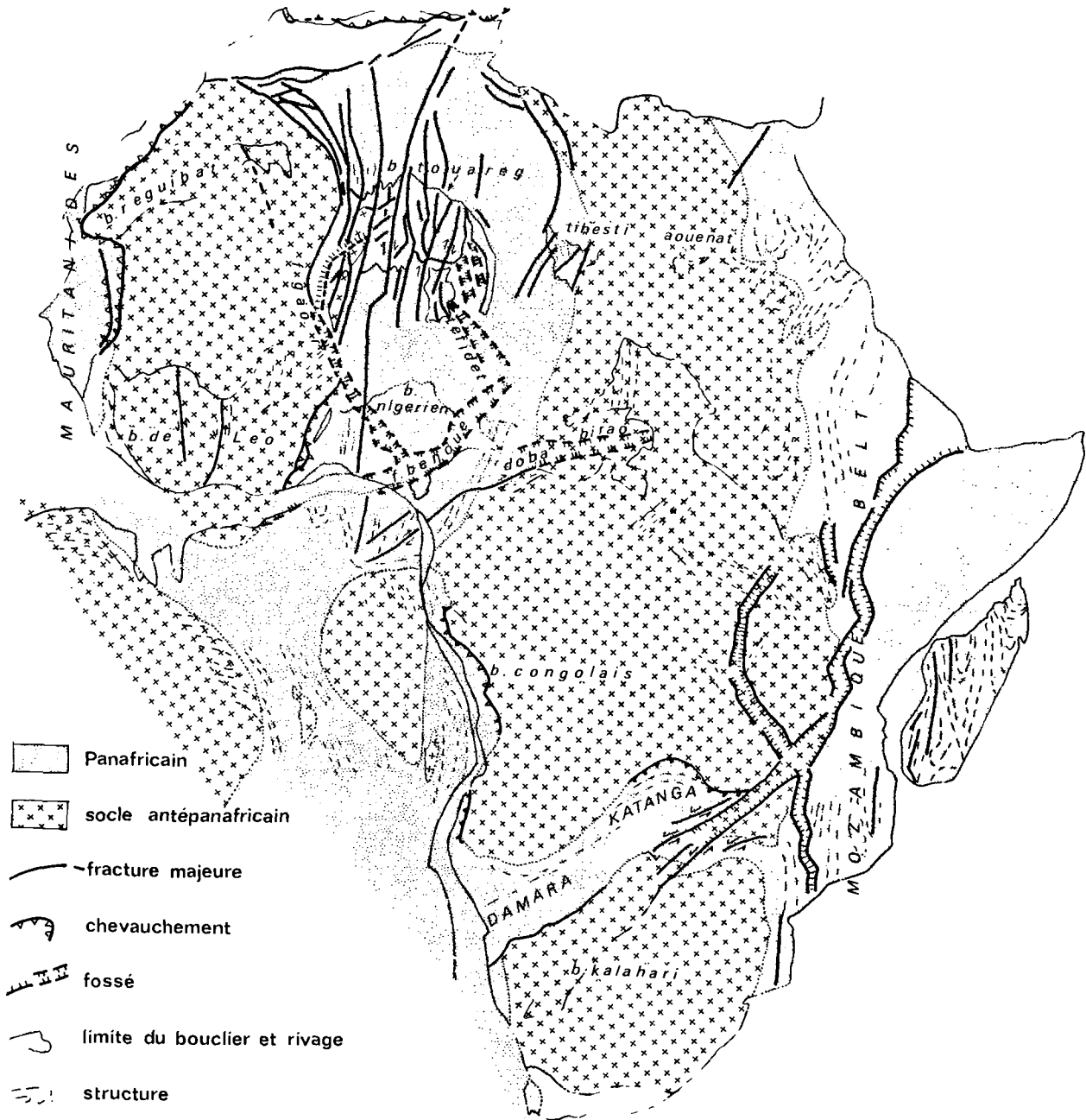


Fig. 1. — Schéma montrant l'extension des chaînes panafricaines en Afrique et NE Brésil.
D'après Caby, modifié d'après des documents inédits ou publiés de Boullier, Leblanc, Vail. Position de Madagascar d'après Razafindrazaka (Thèse de 3^e cycle, Montpellier, 1975).

tout ensuite. Il n'en sera pas de même des grandes zones de fractures, subméridiennes, rectilignes ou onduleuses, qui ont joué à la fin de l'orogénèse en décrochements de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de kilomètres. Sur le terrain, elles se signalent par des bandes de roches très déformées et de vraies mylonites (travaux de Boullier), larges de centaines de mètres à plusieurs kilomètres. On suit certaines de ces fractures sur plusieurs centaines de kilomètres, et même 1.000 à 2.000 km pour certaines. Telle celle de Foug Belrem, dans l'Ouest Hoggar, qui limite à l'Est le bloc de vieux socle granitique In Ouzal (travaux de Lelubre, de Beuf et al.) et se prolonge au Sud par la " faille de l'Adrar " (Karpoff); l'accident de 4° 50 qui borde le môle d'Amguid et qui a été suivi par les travaux pétroliers jusqu'à l'Atlas saharien : il aurait eu, après la mise en place des derniers granites (Taourirts) un jeu dextre de 100 km. A l'inverse, la fracture du 8° 30 E paraît scellée par les derniers granites panafricains (Bertrand et Caby, 1977). Comme on le verra, certains de ces accidents ont une longévité remarquable, comme d'autres similaires dans le monde. Ils ont déterminé, en fin d'orogénèse, des fossés où nous retrouvons aujourd'hui conservées les molasses de phases successives de la chaîne (série de Tiririne, Série Pourprée, Nigritien).

Des fractures NW et NE contribuent à découper le socle en losanges, en poissons qu'il est souvent difficile de raccorder entre eux, et ce d'autant plus qu'une couverture masque les contacts. Ball (travaux en cours) a mis en évidence l'extension de ce système non seulement dans le Hoggar central et oriental, mais aussi au Sud et au Brésil. Par contre, ce système fait défaut dans la bordure occidentale de la chaîne, contre le craton.

On peut aujourd'hui proposer le schéma suivant, d'Ouest en Est :

1) le craton ouest africain, stable, riche en matériel archéen,

2) un miogéosynclinal à sédimentation de marge continentale passive.

3) un sillon à sédimentation de marge active jalonné par des roches basiques et ultra-basiques pré- ou syntectoniques,

4) une croûte continentale donnant des âges voisins de ceux du craton ouest africain, mais de composition originelle différente, et affectée

par l'événement panafricain suivant un mode ensialique.

La chaîne serait le résultat d'une collision continent-continent supprimant un hiatus océanique de largeur jusqu'ici inconnue.

Les grands décrochements subméridiens se situent essentiellement :

— dans la zone 3 et à la limite de 4 au nord du Niger (v. Black et al., 1977) ;

— dans la zone 4, moins nombreux.

Avec la fin de l'orogénèse panafricaine et la pédiplanation des chaînes formées naît à l'aube de l'Ordovicien le continent de Gondwana tel que nous le connaissons en Afrique du NW, avec ses secteurs stables et ses zones mobiles.

Après l'événement panafricain

Sur le vieux craton ouest-africain, les mouvements verticaux sont très faibles : 1.500 à 2.000 m de sédiments dans la synclise de Taoudenni (au Phanérozoïque) large de 1.000 km; les rejeux d'accidents sont faibles ou nuls, incapables en tous cas de déterminer de véritables seuils et bassins. Synclises et antéclises se sont déplacées, semble-t-il, au cours du temps : c'est ce que suggère la paléogéographie du Paléozoïque à l'Ouest ou du Mésozoïque dans le Tchad (Faure).

On sait peu de choses sur les épirogenèses post-tectoniques ou tarditectoniques dans la chaîne : seulement qu'une zone haute (épirogenèse séculaire au sens de Ellenberger) a existé depuis l'Ordovicien au Sud du Hoggar (Beuf et al., 1971). Dans la partie centrale (Volta, par ex.) et méridionale (Damara) de la chaîne, l'orogénèse semble s'être terminée plus tard qu'au Nord, dans l'Anti-Atlas, par ex. Y a-t-il un lien de cause à effet entre les deux phénomènes comme aussi au déclenchement à l'Ordovicien supérieur d'une glaciation avec une calotte centrée au Sud du Hoggar tandis que le pôle, dans l'hypothèse de Irving et Morel (1978, path. Y) se situait peut-être au fond du golfe de Guinée ? Mais la zone ex-panafricaine est surtout caractérisée durant près de 300 Ma, par des réajustements de ce néocraton qui ne se figera presque complètement qu'au Mésozoïque. A partir de l'Ordovicien, la zone de suture

chaîne-craton ouest-africain demeure assez subsidente : dans le Nord la "fontanelle" de l'Ougarta, le Nord du bassin de Tindouf. A l'Est, un panneau de vieux socle resté indemne, le môle In Ouzzal, joue en zone haute (Beuf et al.), de même que des panneaux complexes comme l'Arechchoum-Tefedest (travaux de Vitel) qui constitue le môle d'Amguid, ou encore l'Aïr. Nous ne pouvons, par contre, proposer d'interprétation pour le môle du Tihemboka au NE du Hoggar. Môles ou seuils et bassins sont séparés par des flexures qui se superposent aux grandes fractures méridiennes. Beuf et al. (1971) ont insisté sur ce point. La réactivation des fractures NE et NW tardives complique le système. Ces fractures vont jouer maintenant parfois en distension (Ball).

A l'événement varisque qui crée au Maghreb une vraie chaîne, correspond sur la plate-forme une réactivation des fractures subméridiennes tandis que le craton ouest-africain demeure inerte. Les déformations seront maximum au voisinage de la suture chaîne panafricaine-craton, où le système de grandes "shear zones" panafricaines est le plus dense. Là se situe l'aulacogène de l'Ougarta (Collomb-Donzeau), les déformations en dômes et bassins de l'Ahnet (travaux de Moussine-Pouchkine). Cette tectonique germanotype, décalée dans le temps par rapport aux phases majeures de l'orogénèse varisque maghrebine est littéralement calquée, autant que l'on puisse en juger dans le Nord du Hoggar, sur les structures panafricaines. Par contre, les épirogenèses éphémères (quelques dizaines de Ma) qui affectent le Nord de la plate-forme ne paraissent pas déterminées par des structures panafricaines. Nous ne savons s'il en est de même pour les grands bombements ("séculaires") du Sud du Hoggar qui ont pu jouer un rôle au moment des glaciations.

Après l'événement varisque, la cratonisation de la zone panafricaine semble achevée et le contraste entre sa couverture et celle de l'Ouest s'atténue sans disparaître complètement. Quelques exceptions cependant : certaines des grandes fractures qui prolongent le môle d'Amguid vont rejouer jusqu'au Quaternaire ; on peut se demander si la présence de petits bassins subsidents à la même époque dans l'Ahnet (les "lacs à Cardium" de Conrad) comme le décalage de surfaces dans la Saoura, n'ont pas une origine profonde.

Dislocation

Le vaste continent hérité du Protérozoïque va disparaître au début de l'ère Secondaire. Quels effets peut-on attribuer dans l'Afrique du Nord-Ouest à cette dislocation ? Celle-ci est-elle ou non plus ou moins déterminée par des structures anciennes ?

Les venues basaltiques et doléritiques qui se produisent du Permien supérieur au Lias de l'Atlantique au Nord du Hoggar ne semblent refléter d'une quelconque façon les structures du socle.

Du Golfe de Guinée au Tchad, les fossés de Bénoué et de Doba-Birao sont-ils une création *ex nihilo* de la distension afro-américaine ou, comme le suggère Ball, déterminés par le système de fractures tardi-panafricain NE-NW ; ou enfin l'expression de linéaments panafricains (Wright, 1970) ? Le fossé de Gao-Tilemsi lui, suit au Nord de Gao à peu près la limite craton ouest-africain - chaîne panafricaine, là où les décrochements subméridiens sont bien développés et là seulement. Par contre, au Sud, il s'en écarte vers l'Est, comme si le régime des grandes nappes de Volta avait scellé le contact chaîne-craton.

On remarquera aussi que la côte d'Afrique, du golfe de Guinée au Cap de Bonne Espérance suit grossièrement le tracé de la chaîne et qu'il peut donc avoir été déterminé par des structures précambriennes comme le suggérait Sutton. Il paraît prouvé qu'au Carbonifère une mer baignait les côtes de Namibie et d'Argentine-Brésil du Sud (Martin). Était-ce un océan ou une mer épicontinentale ? L'amorce d'une ouverture ultérieure ?

On ne peut donc dire que les structures panafricaines ont déterminé trait pour trait la déformation de la couverture et la dislocation de cette partie du Gondwana ; mais par contre, lorsque dans la chaîne de grandes fractures étaient demeurées mobiles, elles ont pu, le cas échéant, être réutilisées. Or, il semble bien que ces grandes fractures, jouant souvent en coulissage soient d'un bout à l'autre de l'Afrique un trait majeur de la tectogenèse panafricaine. Ce phénomène pose le problème des zones de faiblesse permanentes de la lithosphère ; et on ne voit pas toujours comment les intégrer dans la conception actuelle de la structure du globe.

Remerciements. — R. Black a bien voulu relire ce manuscrit. Nous le remercions bien vivement de ses remarques et de ses suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BALL E. (1977). — Constance des directions de contrainte dans une vaste zone intracontinentale : la déformation cassante tardipanafricaine du bouclier touareg. 5^e réün. ann. Sc. Terre, Rennes, p. 36.
- 2) BAYER R., BOURMATTE A., CABY R. (1977). — Etude gravimétrique de la limite du craton ouest-africain et de la chaîne panafricaine au Tanezrouft (Algérie). IX^e coll. Afr. geol., Göttingen.
- 3) BERTRAND J.M.L., CABY R. (1977). — Geodynamic evolution of the panafrican orogenic belt : a new interpretation of the Hoggar shield (Algerian Sahara). IX^e coll. Afr. geol., Göttingen (à paraître in *Geologische Rundschau*).
- 4) BERTRAND-SARFATI J., FABRE J., MOUSSINE-POUCHKINE A. (1977). — Géodynamique des aires sédimentaires cratoniques : quelques exemples sahariens. *Bull. centres rech. explor. prod. Elf-Aquitaine*, 1, 1, p. 217-231. Pau.
- 5) BEUF S., BIJU DUVAL B., CHARPAL O. de, ROGNON P., GARIEL O., BENNACEF A. (1971). — Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités. Evolution structurale d'un craton. 464 p., Technip., édit., Paris.
- 6) BLACK R., GIROD M. (1970). — Late palaeozoic to recent igneous activity in west Africa and its relationship to basement structure. In *African magmatism and tectonics*, ch. 9, p. 185 et s. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- 7) BLACK R. et al. (1977). — Outline of the panafrican geology of Adrar des Iforas (rep. Mali). IX^e coll. Afr. geol. Göttingen. A paraître in *Geol. Rundschau*.
- 8) BOURMATTE A. (1977). — Etude gravimétrique du Tanezrouft (Algérie). Thèse 3^e cycle, Montpellier, 137 p., 1 carte.
- 9) CABY R. (1970). — La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) ; sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. Thèse Montpellier. A paraître in *Mém. carte géol. Algérie*, 1978.
- 10) CHIRON J.C. (1973). — Etude géologique de la chaîne des Mauritanides entre le parallèle de Moudjeria et le fleuve Sénégal. Un exemple de ceinture plissée précambrienne reprise à l'Hercynien. Thèse, Lyon, 13 janv. 1973.
- 11) COLLOMB P., DONZEAU M. (1974). — Relations entre Kink bands décamétriques et fractures du socle dans l'Hercynien des Monts d'Ougarta (Sarara occ. Algérie), *Tectonophysics*, 24, n° 3, p. 213-242.
- 12) ELLENBERGER F. (1976). — Epirogenèse et décratonsation. *Mém. B.R.G.M.*, ser. 2, sect. 1, n° 4, p. 357-382.
- 13) FAURE H. (1972). — Paléodynamique du craton africain. *Congr. géol. intern.*, Montréal, sect. 3, p. 44-50.
- 14) FREETH S.J. (1977). — Tectonic activity in West Africa and the Gulf of Guinea since Jurassic times. Do membrane tectonics provide an explanation? IX^e coll. Afr. geol., Göttingen.
- 15) HORNE R.R., (1975). — Transverse fault system in fold belts and oceanic fracture zones. *Nature*, vol. 255, p. 620-621.
- 16) IRVING E. (1977). — Drift of the major continental blocks since the Devonian. *Nature* (sous presse).
- 17) IRVING E., Mc GLYNN J.C. (1977). — Laurentian paleomagnetism 2100 to 1600 my and the supercontinent concept. IX^e coll. Afr. geol. Göttingen.
- 18) KARPOFF R. (1960). — La géologie de l'Adrar des Iforas. *Mém. B.R.G.M.*, Dakar, n° 30.
- 19) LASSERRE M., CANTAGREL J.M. (1977). — Age K/Ar Paléozoïque inférieur de formations de type Mangbaï (N. Cameroun). IX^e coll. Afr. geol. Göttingen.
- 20) LELUBRE M. (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. serv. carte géol. Algérie*, 2^e sér., n° 22.
- 21) LOUIS P. (1970). — Contribution géophysique à la connaissance géologique du bassin du lac Tchad. *Mém. ORSTOM*, n° 42.
- 22) Mc CONNELL R.B. (1974). — Evolution of taphrogenic lineaments in continental platforms. *Geol. Rundschau*, 63, 2, p. 389-430, Stuttgart.
- 23) MARTIN H. (1977). — The relationship of the intracratonic branch of the Damara orogen with the panafrican mobile belt system. IX^e coll. Afr. geol., Göttingen.
- 24) MOREL P., IRVING E. (1978). — Tentative paleocontinental maps for the early Phanerozoic and Proterozoic. *Journ. of geology* (sous presse).
- 25) PIPER J.D.A., BRIDEN J.C., LOMAX K. (1973). — Precambrian Africa and South America as a single continent. *Nature*, 245, p. 244.
- 26) PIPER J.D.A., LOMAX K. (1973). — Paleomagnetism of Precambrian birrimian and tarkwaian rocks of west africa. *Geophys. J. R. astr. soc.*, 34, p. 435-450.
- 27) RECHENMANN J. (1973). — Mesures gravimétriques dans le Tanezrouft oriental (Algérie). *C.R.Z.A.*, ser. géol., n° 17, éd. C.N.R.S., Paris.
- 28) REICHEL T. (1972). — Geologie du Gourma (Afrique occidentale). Un "seuil" et un bassin du Précambrien supérieur. Stratigraphie, tectonique, métamorphisme. *Mém. B.R.G.M.*, n° 53, 213 p. 1 carte h.-t., Paris.
- 29) SUTTON J. (1968). — Development of the continental framework of Atlantic. *Proc. geol. assoc. London*, 79, p. 275-303.
- 30) WRIGHT J.B. (1970). — Controls of mineralization in the older and younger tin fields of Nigeria. *Econ. geology*, 65, p. 945-951.

Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes Implications paléogéographiques

par Michel COLCHEN (*)

Sommaire. — Les caractères gondwaniens et téthysiens sont analysés et discutés pour chacune des grandes unités structurales de l'Himalaya.

Les analogies de faciès et de faunes des séries du Sub, Bas et Haut Himalaya pour le *Carbonifère* et le *Permien* révèlent des conditions paléogéographiques assez semblables avec imbrications des caractères gondwans et téthysiens. Les influences gondwanes se font sentir épisodiquement pendant tout le Mésozoïque dans le Haut Himalaya qui appartient cependant au domaine téthysien épicontinental que l'on peut qualifier de périgondwanien. L'ouverture d'une Téthys océanique au Trias est suggérée (intra ou extra gondwanienne?). Le problème de la limite du continent du Gondwana au Nord de la plaque indienne est de nouveau posé.

Summary. — The gondwanian and tethysian characters of the different himalayan structural units are analysed.

Analogies of the lithofacies and the fauna have been found between the *Carboniferous* and *Permian* series of the Sub, Lesser and Higher Himalayas. These analogies reveal similar paleogeographic conditions with an imbrication of the gondwan and tethysian characters. The Higher Himalaya is a part of the epicontinental tethysian domain. But in these area and during all the Mesozoic some gondwanian influences have appeared from time to time and so the Higher Himalaya can be qualified as a perigondwanian area. The opening of a oceanic Tethys (intra or extra gondwanian?) during Triassic is suggested. The problem of the northern indian limit of the Gondwana continent claims again the attention.

La chaîne himalayenne, arc montagneux à convexité Sud de 2.500 km de long, est subdivisée en quatre unités morphostructurales : le Sub Himalaya, le Bas Himalaya, le Haut ou encore Téthys Himalaya, la zone ou suture de l'Indus. Les formations et séries des Sub et Bas Himalaya, généralement distinguées de celles du Haut Himalaya, appartiendraient à deux domaines paléogéographiques différents. Le Haut Himalaya, caractérisé par des séries marines datées depuis le Cambrien jusqu'à l'Eocène, est rapporté à la Téthys (Téthys Himalaya), le Bas et le Sub Himalaya caractérisés par des sédiments de nature hétérogène dont l'âge est encore controversé, appartiendraient au domaine gondwan. L'Himalaya serait ainsi individualisée à la frontière entre les domaines gondwan et

téthysien. Or, des données nouvelles apportées par les différentes équipes qui étudient cette chaîne, notamment l'équipe française, modifient ce schéma initial.

1. — LES CARACTERES GONDWANS ET TETHYSIENS

On considèrera comme gondwan un ensemble de faits qui rappellent ceux connus sur la péninsule indienne, éléments de l'ancien continent de Gondwana, du Carbonifère au Crétacé inférieur. Il s'agit (cf. Gupta, 1973) de sédiments glacio-marins de type tillite qui peuvent être rapportés aux formations de Talchir du Gondwanien inférieur indien ; de flore à *Gangamopteris*, *Glossopteris* et *Ptilophyllum* ; de charbons dégradés en milieu aérobie, auxquels il convient d'ajouter des manifestations magmatiques de type spilitique interstratifiées dans les séries carbonifères et permienues et dont les faciès sont analogues à ceux des Panjal Volcanics Traps du Cachemire.

(*) Laboratoire de Géologie Historique, Université Pierre et Marie Curie, 4, Place Jussieu, tour 15, 1^{er} ét., 75230 Paris Cedex 05.

R.C.P. 253, Ecologie et Géologie de l'Himalaya central.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

Peuvent être considérés comme les indices d'une sédimentation téthysienne les faits sédimentaires et paléontologiques qui témoignent d'une sédimentation marine. L'éventail chronologique est ici plus vaste puisqu'il peut aller du Précambrien supérieur à l'Eocène. De plus, considérer comme téthysiens les indices d'une sédimentation marine est certainement trop schématique, plusieurs Téthys se sont succédé selon les époques dont les caractéristiques et l'extension n'étaient pas les mêmes.

1°) LES CARACTERES GONDWANS.

Ils ont été reconnus dans les Sub, Bas et Haut Himalaya.

Dans les Sub et Bas Himalaya, on connaît des argiles à galets, parfois striés, interprétés comme des sédiments glacio-marins de type *tillites* ou *tillitoïdes* (formation de Blaini *pro parte* et Agglomeratic Slate), connus en diverses localités du Kumaon, du Népal et de l'Est Himalaya (cf. Blaini and Related Formations, 1975) ; des flores à *Gangamopteris* et des charbons, de type gondwan, interstratifiés à divers horizons dans les séries carbonifères et permienes (Gupta, 1973).

Les formations de Krol et de Tal, souvent rapportées au Trias et au Jurassique, renferment également des niveaux charbonneux lenticulaires de type gondwan, mais leur âge est contesté. Valdiya (1975) qui les considère comme permienes, envisage une lacune de tout le Mésozoïque dans les Sub et Bas Himalaya.

Dans le Haut Himalaya, les influences gondwaniennes se manifestent à diverses périodes :

— Au *Paléozoïque supérieur*, par des *tillites* et *tillitoïdes*, une flore à *Gangamopteris* au Cachemire (Gupta, 1973), des *tillites* et des charbons de type gondwan au Népal (Colchen, 1971), des *tillites*, une flore à *Gangamopteris* et des charbons de type gondwan dans l'Est Himalaya (Acharyya, 1972). On peut également mentionner les roches volcaniques de type *spilite* correspondant aux "Panjal Traps" du Cachemire et leurs équivalents au Népal (Le Fort, 1975).

— Au *Mésozoïque*, par des niveaux à charbon interstratifiés dans le Rhétien et le Lias inférieur et une flore d'affinité gondwanienne

(*Ptilophyllum*) dans des grès à passées charbonneuses du Crétacé inférieur au Népal (Mouterde, 1971 ; Bassoulet et Colchen, 1976).

Dans les séries de la Zone de l'Indus, les caractères gondwans n'ont pas été retrouvés, mais cette région est loin d'avoir été totalement explorée.

Au Karakorum cependant, donc très au Nord de la "suture", Norin (1946) a relevé de nombreuses analogies avec les séries carbonifères et permienes du Cachemire, avec présence de niveaux à galets (cf. *tillitoïde* ?), de schistes rouges et de flores à *Gangamopteris* et *Glossopteris*. Cette constatation a d'importantes répercussions paléogéographiques sur lesquelles nous reviendrons.

2°) LES CARACTERES TETHYSIENS.

Ils ont une extension géographique plus large, intéressent une plus grande période et présentent des caractéristiques différentes selon les régions.

Dans les Sub et Bas Himalaya, on ne connaît de séries marines qu'au *Carbonifère* et au *Permien* [schistes à Fenestelles et Brachiopodes du Kumaon (Ganesan, 1972) et de l'Est Himalaya (Acharyya, 1972)] et à l'*Eocène* [formation de Subathu à Nummulites du Lutétien observée dans l'ensemble du Sub Himalaya, schistes et calcaires à Assilines d'âge Paléocène supérieur et Eocène inférieur de l'Ouest du Népal (Frank et Fuchs, 1970), niveaux à *Cardita f. beaumonti* et Cérithes d'âge Paléocène probable de la région de Tansing au Népal (Remy, 1966)].

Dans le Haut Himalaya, les séries marines, datées depuis le Cambrien (Cachemire) jusqu'à l'Eocène (Nord du Jolmo Lungma), constituent une suite presque continue entrecoupée cependant de quelques lacunes au Carbonifère, au Permien, au Crétacé supérieur et à l'Eocène dans le Kumaon et au Népal (Bassoulet, Mouterde et Colchen, 1977 ; Fuchs, 1957 ; Waterhouse, 1977). Les sédiments sont le plus souvent de type épicontinental néritique, des épisodes pélagiques se manifestent cependant au Silurien, au Dévonien inférieur, au Trias inférieur et au Jurassique supérieur. Ces séries caractéristiques du Haut Himalaya, dénommé encore Tibetan ou Tethys Himalaya, se retrouvent en position allochtone au-dessus des formations

du Bas Himalaya [nappe de Kathmandu au Népal (Bordet, 1959 ; Gupta, 1975 ; Stocklin, 1976)], série de Tang Chu au Buthan (Termier et Gansser, 1974), leur faciès, plus détritiques, sont certainement plus côtiers.

Dans la Zone de l'Indus, les séries marines datées du Permien à l'Eocène, se présentent avec des faciès très différents de ceux de la haute chaîne. Ainsi, au Ladakh, quatre ensembles lithologiques peuvent être distingués (Bassoulet, Colchen, Marcoux et Mascle, 1977) :

— Des calcaires et des radiolarites d'âge Permien et Triasique, associés le plus souvent à des roches vertes serpentinisées, des *pillow lavas* et tout un ensemble de roches magmatiques du cortège ophiolitique, disposées en lentilles discontinues qui peuvent être interprétées comme des lambeaux tectoniques dissociés, éléments d'une plus vaste unité que l'on retrouve en klippe au Sud des monts du Zaskar (klippe de Spongtang de Fuchs, 1977). Ce matériel rappelle celui des blocs exotiques décrits par Heim et Gansser dans la région du Kioagar au Nord du Kumaon (Heim et Gansser, 1939). L'observation de contacts stratigraphiques entre des calcaires à Ammonites du Trias et des *pillow lavas* permet d'attribuer un âge triasique au volcanisme associé géographiquement aux ophiolites et de considérer ces faits comme les témoins d'une ouverture amorcée au Trias.

— Les formations de Lamayuru, flysch argilo-calcaire à Daonelles du Trias moyen (Ladinien moyen probable, Franck et al., 1977) dont les faciès rappellent ceux des "flyschs triasiques" connus plus à l'Ouest (Aubouin et al., 1970 ; Marcoux, 1976).

— Les formations de Nindam (Crétacé inférieur probable), formation essentiellement volcano-sédimentaire (flyschoïde de Dras de Gansser, 1976) qui, latéralement, passent vers l'Ouest aux formations volcaniques de Dras et vers l'Est à des formations argilo-détritiques à épisodes carbonatés.

— La formation de l'Indus (Crétacé supérieur - Eocène), ensemble détritique polygénique de type molasse ou flysch selon les secteurs (Colchen, 1977), qui repose en discordance sur l'ensemble grano-dioritique du Ladakh et qui est constituée d'éléments détritiques provenant en partie de l'érosion de ce massif.

II. — IMPLICATIONS PALEOGEOGRAPHIQUES

L'imbrication des caractères gondwans et téthysiens dans le Haut Himalaya, les analogies constatées entre les séries carbonifères et permienes du Haut Himalaya et du Karakorum, la découverte enfin d'un Trias de type océanique dans la Zone de l'Indus sont les trois données essentielles qui permettent d'envisager de nouvelles hypothèses paléogéographiques.

1) Les relations paléogéographiques entre les différentes unités structurales.

Les caractères gondwans et téthysiens débordent largement vers le Nord et vers le Sud les domaines du Bas et du Haut Himalaya qui leur étaient respectivement attribués. Ces unités structurales n'ont donc pas une signification paléogéographique très stricte.

L'existence d'une barrière paléogéographique entre le Bas et le Haut Himalaya est cependant envisagée par Saxena (1973), Hashimoto et al. (1973), ainsi que par Fuchs (1967 et 1977) ; barrière dont les témoins correspondraient en partie aux formations métamorphiques du soubassement de la haute chaîne ("central cristallin axis" de Saxena, "Himalayan Ridge" de Fuchs). Gansser (1964), Ganesan (1972) et nous-mêmes (Colchen, 1975 ; Bassoulet, Colchen et Mouterde, 1977), contestons cette opinion. Tout en reconnaissant en effet de notables différences entre les formations et séries du Bas et Haut Himalaya, nous sommes plus nuancés quant à l'existence d'une barrière, dans la mesure notamment où les analogies de lithofaciès et de faunes des terrains carbonifères, permienes et éocènes permettent d'envisager, sinon un seul domaine, tout au moins des relations étroites entre Bas et Haut Himalaya. De plus, Le Fort (1975) rapporte le métamorphisme des formations de la Dalle du Tibet dans les Annapurnas et le Manaslu, à la seule orogénèse himalayenne, l'existence d'un vieux socle antécambrien remobilisé au sein de cet ensemble métamorphique n'étant nulle part rigoureusement démontrée.

Les relations paléogéographiques entre le Haut Himalaya et la Zone de l'Indus ne peuvent être envisagées qu'à partir du Permien, et principalement pour le Trias et le Crétacé, les autres systèmes n'étant, soit pas encore reconnus,

soit insuffisamment caractérisés paléontologiquement. Ainsi, le Trias se présentant avec des faciès essentiellement épicontinentaux dans le Haut Himalaya et des faciès flysch et océaniques dans la zone de l'Indus, il faut envisager l'existence à cette époque de deux domaines paléogéographiques distincts. Il est possible cependant qu'ils n'étaient pas très éloignés l'un de l'autre. La présence, à Mulbeck notamment, de blocs de calcaires à Mégalodontidae, dont le volume peut atteindre le km³, interstratifiés dans le flysch triasique à Daonelles de Lamavuru, révèle en effet la proximité d'une aire de sédimentation épicontinentale et d'une zone plus profonde. Par ailleurs, l'actuelle zone de l'Indus, qui comprend des séries de faciès différents (flysch à Daonelles du Trias, blocs calcaires à Mégalodontidae, calcaire à Ammonites du Trias associé à des pillow lavas et des roches vertes du cortège ophiolitique, flysch volcano-sédimentaire d'âge Crétacé inférieur probable) ne devrait pas correspondre à un domaine paléogéographique homogène. Il est vraisemblable que la tectonique tangentielle ait superposé dans cette zone des séries de domaines paléogéographiques différents (Bassoulet, Colchen, Marcoux et Mascle, 1977).

2) Le schéma paléogéographique et son évolution.

La diversité des faciès exprimée dans le temps et dans l'espace témoigne de changements de la paléogéographie qui peuvent s'inscrire dans une évolution comportant plusieurs étapes.

— *Pendant le Paléozoïque antécarbonifère* (fig. 1a), les séries du Haut Himalaya et leurs équivalents latéraux du Bas Himalaya témoignent d'une sédimentation marine essentiellement de plate-forme dans un domaine que nous qualifierons de "Pro-Téthys". Les limites de cette Pro-Téthys sont encore incertaines. Vers le Sud, il est vraisemblable qu'elles ne dépassaient guère la zone actuelle du M.B.T., tout au moins pour la partie népalaise de l'Himalaya. Sa limite Nord est plus hypothétique, voire impossible à tracer actuellement, car le Paléozoïque antécarbonifère n'a pas encore été observé dans la Zone de l'Indus et l'on a peu de renseignements sur les séries de Karakorum et du Tibet.

— *Au Carbonifère et au Permien* (fig. 1b), les caractères gondwans et téthysiens sont alors clairement exprimés. L'extension des premiers dépasse largement l'axe de la haute chaîne et débordait peut-être la future zone de l'Indus jusqu'au Karakorum. Notons cependant l'absence de formations carbonifères dans les séries de l'Indus, seul le Permien est connu avec des faciès de mer franche (calcaire à Fusulines). Les faciès téthysiens se développent dans toute la haute chaîne, mais de façon inégale, le Carbonifère inférieur manque parfois (Waterhouse, 1977), le Carbonifère supérieur et le Permien inférieur ne sont pas connus. Le Permien supérieur, par contre, a une grande extension et repose parfois directement sur le Dévonien. Il faut donc envisager des émergences locales que soulignent les charbons et les plantes, suivies d'une transgression générale du Permien supérieur. Nous proposons d'appeler "Paléo-Téthys" cette mer épicontinentale supra-gondwanienne dont l'extension vers le Sud dépassait largement la zone du M.B.T. pour atteindre la péninsule indienne dans le Rajasthan à l'Ouest et la région d'Umaria à l'Est (in Gupta, 1973). Vers le Nord, étant donné les analogies entre les séries carbonifères et permienues du Cachemire et du Karakorum, on peut situer cette limite au Nord du Karakorum.

— *Du Trias au Crétacé inférieur* (fig. 1c), les caractères gondwans et téthysiens ont été reconnus dans les séries du Haut Himalaya : une incertitude subsiste pour celles du Bas et Sub Himalaya dans la mesure où il nous manque encore des données stratigraphiques fiables pour le Mésozoïque. Nous limiterons donc l'extension vers le Sud de la "Mésotéthys". Au Nord, un événement important s'est produit avec l'ouverture d'une "Téthys océanique" dès le Trias inférieur, peut-être à l'emplacement de la zone de l'Indus. Cette ouverture serait intra-gondwanienne selon notre schéma : elle se poursuivra pendant tout le Mésozoïque jusqu'au Crétacé inférieur inclus.

— *Pendant le Crétacé supérieur et l'Eocène* (fig. 1d), il y a un renversement des tendances dans la mesure où, simultanément, s'amorçait l'ouverture de l'océan Indien occidental (Mc Kenzie et Sclater, 1971 ; Schlich, 1975) et la fermeture de la Téthys océanique avec subduction de la plaque indienne sous celle de l'Asie. Cette "Céno-Téthys" comprendrait un bassin principal situé à l'emplacement de la

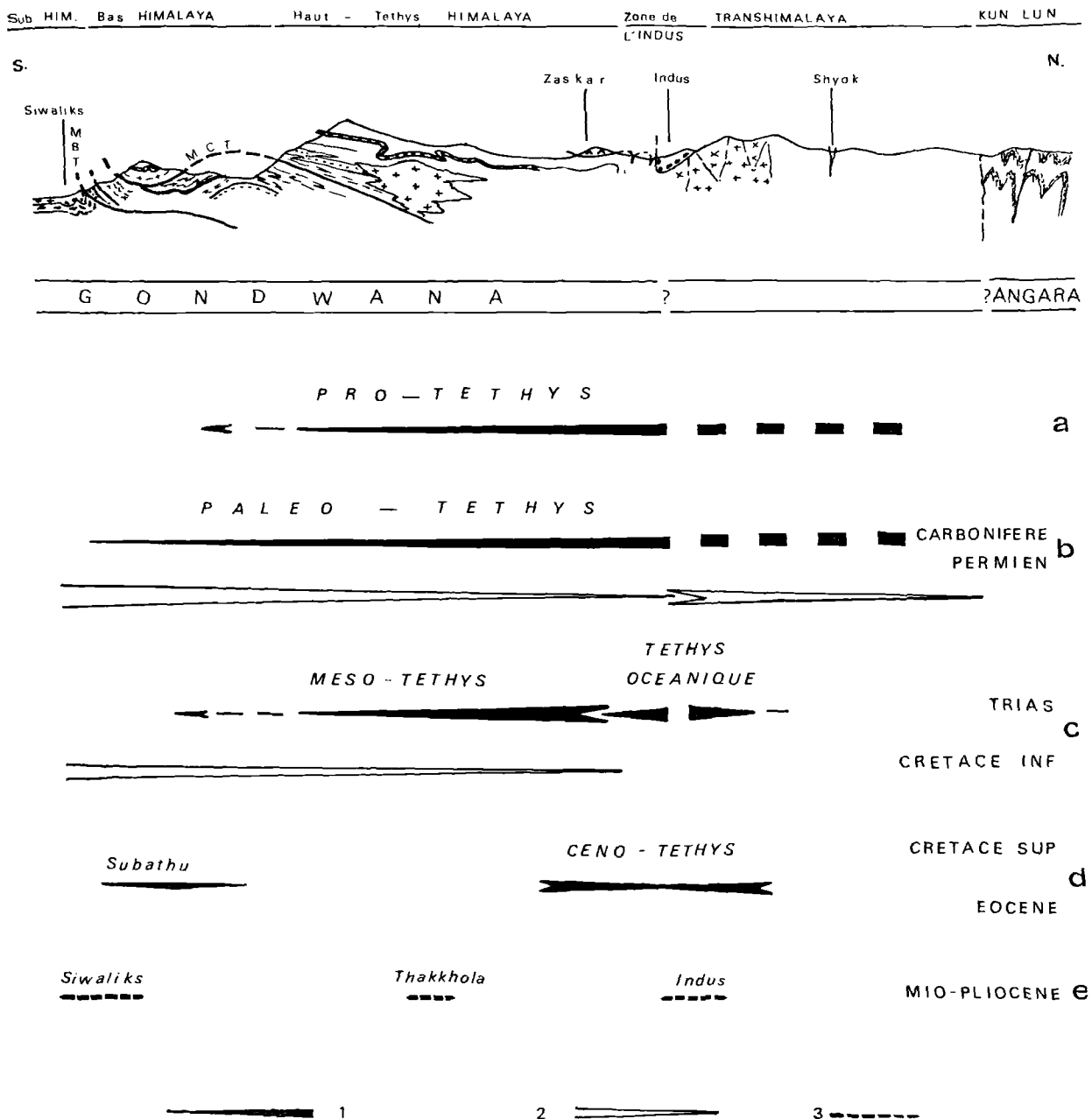


Fig. 1. — Extension des caractères téthysiens (1) et gondwans (2) selon un profil Sud-Nord passant dans la partie occidentale de l'Himalaya. (3) sédiments continentaux post-orogéniques.

suture de l'Indus, caractérisé par une sédimentation détritique et qui se fermait progressivement à mesure que s'accroissait la subduction de la plaque indienne. D'autres petits bassins étaient dispersés sur l'avant-pays himalayen (bassin de Tansing). Un autre s'individualisait à l'emplacement du futur M.B.T. qui apparaît déjà comme une zone de sédimentation préférentielle (bassin de Subathu). L'ensemble granodioritique du Ladakh dont la marge sud est recouverte par les niveaux les plus récents de la formation de l'Indus, peut, selon ce schéma, être considérée comme la manifestation d'un magmatisme corrélatif de la subduction.

— A partir de l'Oligocène (fig. 1e), période durant laquelle les auteurs placent généralement la collision (— 40 MA) entre les plaques indienne et asiatique (Le Fort, 1975), l'Himalaya commence à surgir en tant que relief. L'érosion de ces reliefs alimentera pendant le Miocène et le Pliocène une sédimentation détritique dans les vastes bassins continentaux des Murrees et des Siwalicks au Sud et de l'Indus au Nord et de façon plus modeste dans celui du bassin intra-montagneux de la Thakkhola (Bassoulet et Colchen, 1974).

CONCLUSIONS : GONDWANA ET TETHYS

Des relations étroites existaient donc, au Nord de la péninsule indienne, entre Gondwana et Téthys. Celle-ci, souvent qualifiée de périgondwanienne (Enay, 1972), ne peut être considérée comme un domaine marin homogène et immuable. Il convient en effet de distinguer une *Téthys épicontinentale* supra ou périgondwanienne établie sur la marge indienne du continent de Gondwana, d'une *Téthys océanique*. La première concerne un large domaine englobant les Sub, Bas et Haut Himalaya où elle se manifeste du Paléozoïque (voire même le Précambrien supérieur) à l'Eocène ; elle est caractérisée par une imbrication des éléments gondwans et téthysiens. La seconde ne semble exprimer que dans l'étroite Zone de l'Indus (*) ; elle apparaît à

(*) Il est possible cependant que la bande ophiolitique et les sédiments associés de la vallée de Shyok, située entre 50 et 100 km au Nord de l'Indus, appartiennent également à celle-ci, ce qui élargirait notablement son domaine. En l'absence de données plus précises sur cette région, actuellement inaccessible, nous nous contenterons d'évoquer cette éventualité.

partir du Trias et se manifeste jusqu'au Crétacé supérieur et l'Eocène.

S'il n'y a aucun doute sur l'appartenance au Gondwana du substratum de la Téthys épicontinentale, il convient de discuter encore sur l'extension et la limite de celui-ci au Nord de la péninsule indienne et corrélativement sur le caractère intra ou extra-gondwaniens de la Téthys océanique. En ce qui concerne le premier point, les analogies constatées entre les séries carbonifères et permienes du Cachemire et du Karakorum d'une part, et le fait qu'aucune chaîne hercynienne ne soit décrite dans ces régions, permettent d'avancer l'hypothèse d'un rattachement au Gondwana et ceci jusqu'au Permien, du Transhimalaya du Ladakh et du Karakorum. La Téthys océanique mésozoïque serait ainsi intragondwanienne. Ceci modifie notablement le schéma proposé par Stoneley (1974) qui n'envisage une sédimentation océanique qu'à partir du Crétacé supérieur, ainsi que celui de Dietz et Holden (1970) qui confèrent à la Téthys une très large extension entre les plaques indienne et asiatique. La Téthys océanique intragondwanienne aurait ainsi une situation paléogéographique différente et une extension peut-être plus réduite que celle envisagée par ces auteurs (**).

Soulignons que notre schéma n'intéresse que la partie Nord-Ouest de l'Himalaya et qu'il ne saurait pour l'instant, faute d'informations, être appliqué à l'ensemble de la marge indienne du Gondwana.

Il n'est pas impossible en effet, comme le remarque Mascle (1977), que l'évolution de l'océan téthysien n'ait pas été la même partout et qu'elle soit diachrone d'Est en Ouest. Quoi qu'il en soit, cette ouverture téthysienne intragondwanienne dans la zone de l'Indus, s'accorderait assez bien avec la notion de « cassure téthysienne » invoquée par Argyriadis (1975) et Marcoux, (1976b) pour des régions plus occidentales et avec les nombreux exemples d'ouverture océanique de la fin du Permien et du

(**) Si l'on envisage un taux de 5 cm par an pour l'avancée de la plaque indienne et si l'on considère que les processus de fermeture ont duré du Crétacé supérieur jusqu'à l'Oligocène inférieur, soit pendant environ 70 Millions d'Années, nous obtenons une ouverture maximale de 3.500 km qui correspondrait à l'ampleur de la dérive de la plaque indienne pendant cette période.

début du Trias rappelés récemment par Argiriadis et Lys (1977).

Quant à la limite du Gondwana au Nord de la péninsule indienne, nous pouvons envisager de la situer, pour le secteur Nord-Ouest, entre le Karakorum et le Kun Lun. L'existence d'une chaîne hercynienne au Kun Lun (Desio, 1973) et son absence au Sud du Karakorum, dans le Transhimalaya du Ladakh comme dans l'ensemble du Gondwana, constitue pour l'instant le seul argument qui nous permette de placer cette limite. Le Gondwana aurait ainsi une extension vers le Nord plus grande que celle généralement admise, ce qui s'accorderait par ailleurs avec les conceptions de Janvier (1977) et celles de Crawford (1974), ce dernier

situant cette limite encore plus au Nord, au niveau du Tien Shan.

La suture de l'Indus serait ainsi intragondwanienne, elle ne marquerait plus la limite entre les plaques indienne et asiatique, mais entre deux éléments détachés, puis de nouveau accolés du même continent de Gondwana.

Gondwana et Téthys apparaissent ainsi comme deux notions fluctuantes à travers le temps, notions encore difficiles à cerner avec précision dans l'état actuel des connaissances sur le puzzle de l'Asie himalayenne.

Remerciements. — L'auteur tient à remercier MM. Marcoux et Mascle pour leurs critiques et suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ACHARYYA S.K. (1972). — Report of lower Permian marine fossils from the Rangit Pebble-Slate of Darjeeling foot-hills. *Indian Min.*, vol. 26, n° 1, p. 133-149.
- 2) ARGYRIADIS I. (1975). — Mesogée permienne, chaîne hercynienne et cassure téthysienne. *Bull. Soc. Géol. France*, 7, 17, 1, p. 56-57.
- 3) ARGYRIADIS I. et LYS M. (1977). — Sur l'origine des continents mésozoïques : chaîne ouralienne, cassure téthysienne et cassure ouralo-malgache ; pour l'abandon du mythe de la Pangée. 5^e Réun. Ann. Sci. de la Terre, Rennes p. 13.
- 4) AUBOUIN J. et al. (1970). — Contribution à la Géologie des Hellénides : le Gavrovo, le Pinde et la zone ophiolitique subpélagonienne. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XC, n° 4, p. 277-306.
- 5) BASSOULLET J.P. et COLCHEN M. (1976). — Les caractères gondwaniens des formations tibétaines de l'Himalaya. 4^e Réun. Ann. Sci. de la Terre, Paris, p. 35.
- 6) BASSOULLET J.P. et COLCHEN M. (1974). — Les formations tardi-orogéniques de la Thakkhola, Himalaya du Népal. C.R. 2^e Réun. Ann. Sc. de la Terre, Pont-à-Mousson, p. 34.
- 7) BASSOULLET J.P., COLCHEN M. et MOUTERDE R. (1977). — Esquisse paléogéographique et essai sur l'évolution géodynamique de l'Himalaya. *Mém. h. s. n° 8, Soc. Géol. France*, p. 213-234.
- 8) BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MARCOUX J. et MASCLE G. (1978). — Une transversale de la Zone de l'Indus de Khalsi à Photaksar, Himalaya du Ladakh. C.R. Ac. Sc., sér. D, p. 563-566.
- 9) BLAINI and Related Formations. — *Bull. Indian Geol. Ass., Chandigarh.*, vol. 8, n° 2, (1975).
- 10) BORDET P., CAVET J. et PILLET J. (1959). — Sur l'existence d'une faune d'âge Silurien dans la région de Kathmandu (Himalaya du Népal). C.R. Ac. Sc., Paris, t. 248, p. 1547.
- 11) COLCHEN M. (1971). — Les formations paléozoïques de la Thakkhola. In : Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région de la Thakkhola, chap. IV, Paris, Ed. C.N.R.S., p. 83-117.
- 12) COLCHEN M. (1975). — A propos de la paléogéographie de l'Himalaya. C.R. 3^e Réun. Ann. Sc. de la Terre, Montpellier, p. 105.
- 13) COLCHEN M. (1977). — Sur le flysch et la molasse de l'Indus, Himalaya du Ladakh. C.R. 5^e Réun. Ann. Sc. de la Terre, Rennes, p. 160.
- 14) CRAWFORD A.R. (1974). — The Indian suture line, the Himalaya, Tibet and Gondwanaland. *Geol. Mag.*, III, p. 369-383, 4 fig.
- 15) DESIO A. (1973). — Karakorum Mountains. In : Mesozoic-Cenozoic orogenic Belts. *Geol. Soc. London, Special Publ.*, vol. 4, p. 255-266, 7 fig., 1 tabl.
- 16) DIETZ R.S., HOLDEN J.C. (1970). — Reconstruction of Pangea ; break-up and dispersion of continents, Permian to Present. *Journ. Geoph. Res.*, 75, p. 4939-4956.
- 17) ENAY R. (1972). — Paléobiogéographie des Ammonites du Jurassique terminal (Tithonique/Volgien/Portlandien, s.l.) et mobilité continentale. *Geobio.*, Lyon, n° 5/4, p. 355-407, 12 fig.
- 18) FRANK W. et FUCHS G.R. (1970). — Geological investigations in West Nepal and their significance for the geology of the Himalayas. *Sonder Geol. Rundschau*. Stuttgart, 59/2, p. 552-580, 13 fig., 1 pl.
- 19) FRANK W., GANSSER A. and TROMMSDORFF V. (1977). — Geological observations in the Ladakh Area (Himalayas). A preliminary Report. *Schweiz mineral Petrogr. Mitt.*, 37, 89-113.
- 20) FUCHS G. (1967). — Zum Bau des Himalaya. *Oesterr. Akad. Wissesch. Math. Natur. Kl.*, Wien, 113, p. 1-211, 70 fig., 9 pl. h-t.

- 21) FUCHS G. (1977). — Traverse of Zaskar from the Indus to the valley of Kashmir. A preliminary note. *jb. Geol. Bundesanst.*, Wien (sous presse).
- 22) GANESAN T.M. (1972). — Fenestellid Bryozoa from the Boulder Slates sequence of Garhwal. *Himalayan Geology*, Delhi, vol. 2, p. 431-451.
- 23) GANSSER A. (1964). — Geology of the Himalayas. London, *Interscience Publ.*, 289 p., 145 fig., 95 pl., 4 pl. h-t.
- 24) GANSSER A. (1977). — The great suture zone between Himalaya and Tibet. A preliminary account. Coll. intern. C.N.R.S., Paris, n° 268. *Ecologie et Géologie de l'Himalaya*, vol. *Sciences de la Terre*, p. 181-191.
- 25) GUPTA V.J. (1973). — Indian Paleozoic Stratigraphy. *Hindustan Publ. Co*, Delhi, 207 p., 22 fig.
- 26) GUPTA V.J. (1975). — Upper Devonian Conodonts from Phulchauki-Nepal. *Himalayan Geology*, Delhi, vol. 5, p. 153-167, 2 fig., 1 pl., 1 tabl.
- 27) HASHIMOTO S. et al. (1973). — Geology of the Nepal Himalayas. *Saikong Publishing Co.*, 286 p., Sapporo (Japan).
- 28) HEIM A. et GANSSER A. (1939). — Central Himalaya. Geological observations of the swiss expedition 1936. *Mem. Soc. Helv. Sc. Nat. Zurich*, vol. LXXIII., mém. 1, 245 p., 162 fig., 26 pl., 1 carte.
- 29) JANVIER Ph. (1977). — Les Vertébrés associés au faciès "Vieux Grès Rouges" du Dévonien supérieur des régions gondwaniennes et le problème des relations fauniques intercontinentales au Dévonien. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCVII, p. 373-382 (présent volume).
- 30) LE FORT P. (1975). — A spilitic episode in the Tibetan Upper Paleozoic series of Central Nepal. In: Blaini and Related Formations. *Bull. Indian Geol. Ass.*, Chandigarh, vol. 8, n° 2.
- 31) LE FORT P. (1975). — Himalaya: The collided Range. Present knowledge of the continental arc. *American Journ. Science*, vol. 275-A, p. 1-44, 15 fig.
- 32) MCKENZIE D.P. et SCLATER J.G. (1971). — The evolution of the Indian Ocean since the late Cretaceous. *Roy. Astron. Soc. Geophys. J.*, vol. 25, p. 437-528.
- 33) MARCOUX J. (1976a)). — Les séries triasiques à radiolarites et ophiolites d'Antalya (Turquie): homologues et significations possibles. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), 18, 2, p. 315-316.
- 34) MARCOUX J. (1976b). — La fracturation de la plate-forme scythienne et les stades initiaux du développement de la Téthys alpine en Méditerranée orientale. *4° Réun. Ann. Sc. Terre, Paris*, p. 285.
- 35) MOUTERDE R. (1971). — Les formations mésozoïques de la Thakkhola. In: *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région de la Thakkhola*, chap. V, Paris, Ed. C.N.R.S., p. 119-125.
- 36) NORIN E. (1946). — Geological explorations in western Tibet. *Rep. Sino-Swedish Expedit. 18, Aktiebolaget Thule*, Stockholm, 214 p.
- 37) REMY J.M. (1966). — Sur la stratigraphie et la tectonique des séries affleurant au Sud de la vallée de la Kali Gandaki (Népal Central). *C.R. Ac. Sc.*, Paris, t. 263, p. 1552.
- 38) SAXENA M.N. (1972). — Validity of continental Drift vis-à-vis the Indian Shield and the Himalaya. *Inter. Geol. Congres. Montreal*, Section 3, p. 154-165.
- 39) SCHLICH R. (1975). — Structure et âge de l'Océan Indien occidental. *Mém. h. s. Soc. Géol. France*, n° 6, 102 p., 49 fig., 7 tabl.
- 40) STOCKLIN J., TERMIER G. et BHATTARAI K. (1977). — A propos des roches fossilifères de Chandragiri (Mahabharat, Himalaya du Népal). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XIX, n° 2, p. 367-373.
- 41) STONELEY R. (1974) — Evolution of the continental margins Bounding a former Southern Tethys. In: *The Geology of Continental Margins*. Burck C.A. et Drake C.L. Ed. Berlin Springer-Verlag Publ., p. 889-903, 9 fig.
- 42) TERMIER G. et GANSSER A. (1974). — Les séries dévoniennes du Tang-Chu (Himalaya du Bhoutan). *Eclogae Geol. Helv.*, vol. 67/3, p. 587-596, Bâle.
- 43) VALDIYA K.S. (1975). — Lithology and age of the Tal Formation in Garhwal, and implication on stratigraphic scheme of Krol Belt in Kumaun Himalaya. *Journ. Geol. Soc. India*, vol. 16/2, p. 119-134, 9 fig., 2 tabl.
- 44) WATERHOUSE J.B. (1977). — The Permian rocks and faunas of Dolpo, North-West Nepal. Coll. intern. C.N.R.S., Paris, n° 268, *Ecologie et Géologie de l'Himalaya*, vol. *Sc. de la Terre*, p. 475-496.

« »

L'Afghanistan et le domaine gondwan Différenciation paléogéographique au Permo-Carbonifère

par Christian MONTENAT (*), Daniel VACHARD (*) et Geneviève TERMIER (**)

Sommaire. — Au Carbonifère et au Permien, l'Afghanistan présente trois ensembles régionaux principaux :

- a) une plate-forme téthysienne au Nord (Hindu Kuch et Afghanistan du Nord) ;
- b) une plate-forme périgondwane au Sud (Montagnes Centrales) ;
- c) un domaine intermédiaire plus profond (réduit aujourd'hui aux Monts de Turkman), qui verra l'ouverture d'une zone océanique au Mésozoïque.

La comparaison des caractéristiques lithologiques, biostratigraphiques et paléogéographiques de ces différents domaines fait l'objet de cette étude.

Summary. — During the Carboniferous and the Permian period Afghanistan can be broken down into three main regional units :

- a) a Northern tethysian shelf (Hindu Kush and Northern Afghanistan) ;
- b) a Southern circumgondwan shelf (Central range) ;
- c) a deeper intermediate domain (reduced today into the Turkman mountains) which will become a widely opened oceanic unit during the mesozoic era.

The object of the present paper is to compare the lithological, biostratigraphical and paleogeographical characteristics of these regional units.

Les séries permo-carbonifères d'Afghanistan, reconnues à l'W du méridien de Kabul, principalement entre les 67° et 69° E, se répartissent en trois ensembles qui diffèrent par le contenu stratigraphique et leur histoire paléogéographique. On peut distinguer (fig. 1) :

— au S, le domaine des Montagnes Centrales (Hazarajat notamment), lui-même divisé en deux zones paléogéographiques ;

— au N, le domaine de l'Hindu Kuch, auquel on peut adjoindre les régions de l'Afghanistan septentrional (Khwhan, Band-e Turkestan, etc.) ;

— entre ces deux ensembles vient s'intercaler un troisième domaine, aujourd'hui assez étroit, bien représenté dans la vallée de Turkman, au NNW de Kabul.

On connaît, en outre, des dépôts permien dans le " coin de Kabul ", situé à l'E de la faille d'Argandeh (Mennessier, 1977).

Au cours de ces dernières années, des études ont été consacrées aux séries permo-carbonifères de ces différents secteurs. Nous résumerons leurs caractéristiques essentielles ; après quoi, nous tenterons de replacer chaque domaine dans un cadre paléogéographique général.

A) CARACTERES PRINCIPAUX DES SERIES STRATIGRAPHIQUES

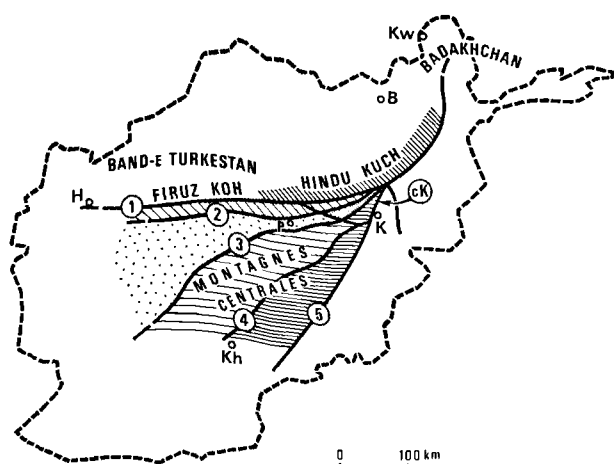
I. — LE CARBONIFERE ET LE PERMIEN DANS LES MONTAGNES CENTRALES

On réservera la désignation de Montagnes Centrales au secteur compris entre les accidents de l'Helmand au NW et de Chaman-Argandeh au SE (fig. 1). Le domaine ainsi délimité présente une réelle unité du point de vue

(*) IGAL, Laboratoire de Géologie, 21, rue d'Assas, 75270 Paris Cedex 06.

(**) Laboratoire de Géologie structurale, Tour 26, Univ. P. et M. Curie, 4, Place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

Note déposée le 8 Décembre 1977.



DOMAINE NORD

Domaine de l'Hindu Kuch

Domaine intermédiaire (appartenance structurale incertaine)

SILLON MEDIAN

Sillon ophiolitique mésozoïque et sa marge continentale

Sillon de Turkman

DOMAINE SUD

Zone de Behsud (série paléozoïque incomplète)

Zone de Tezak-Nawar (série paléozoïque complète)

- ① Accident d'HERAT
- ② Accident de BAND-E BAYAN
- ③ Accident de l'HELMEND
- ④ Accident de KADJAO
- ⑤ Accident d'ARGANDEH
- CK "coin de KABUL"

- B Bangui-Namakab
- H Herat
- K Kabul
- Kh Kandahar
- Kw Khwahan
- P Penjao

Fig. 1. — Représentation schématique de quelques domaines structuraux d'Afghanistan (d'après Wittekindt, 1973 ; Karapetov et al., 1975 ; Slavin, 1976 ; Blaise et al., 1977).

de son histoire géologique. Il est divisé en deux ensembles par l'accident de Kadjao (4, fig. 1) qui sépare :

- au SE, la zone de Tezak-Nawar. La série stratigraphique y est bien représentée, notamment en ce qui concerne les dépôts du Permo-Carbonifère (Blaise, Bordet, Monténat, Desparmet et Marin, 1977) ;
- au NW, la zone de Behsud. Le Permien supérieur y est généralement transgressif sur un substratum ancien non daté, peut-être précambrien.

1) La zone de Tezak-Nawar.

a) Le Carbonifère.

Le Carbonifère succède en continuité aux niveaux du Famennien-Strunien, caractérisés paléontologiquement en quelques endroits (Famennien à *Tornoceras* cf. *crebrisepium* de Spina

Kada ; calcaires à *Eobrachythyris strunianus alatus* de Koh-e Giru)

La succession stratigraphique (fig. 2) est la suivante (*) :

- un ensemble de couches calcaréo-détritiques, daté du Tournaisien (faune de Brachiopodes à *Syringothyris*), équivalent probable des "Syringothyris limestones" du Kashmir ;
- des calcaires noirs à Polypiers et Brachiopodes. Les microfaunes associées indiquent un âge s'échelonnant du Tournaisien terminal (Tn 3c) au Viséen moyen (V 2a) ;
- des calcaires schisteux à Fenestelles, Polypiers, Brachiopodes et Foraminifères, d'âge Viséen moyen (V 2b) et Viséen supérieur (V 3b). Ces couches correspondent peut-être aux "Fenestella shales" du Kashmir (Termier et Termier, 1977b ; Waterhouse et Gupta, 1977).
- Un puissant complexe schisto-quartzitique, dont l'épaisseur peut atteindre le millier de mètres.

• A la partie inférieure, des niveaux *tilloides* sont associés à une faunule de Brachiopodes, de Polypiers, de Bivalves et à des Foraminifères indiquant un âge Viséen supérieur/Serpukhovien inférieur (= base du Namurien) (Termier, Termier et Vachard, 1977). Ces niveaux semblent l'équivalent des "Agglomeratic slates" inférieurs du Kashmir.

• Les termes supérieurs de la série schisto-quartzitique ont livré des faunes d'âge Carbonifère terminal-Permien basal, à cachet typiquement gondwan (Lapparent et Termier, 1970 a et b ; Termier, Lapparent et Marin, 1973 ; Termier, Marin, Desparmet et Lapparent, 1973). Ils peuvent être comparés aux "Agglomeratic slates" supérieurs du Kashmir :

— Gjélien à *Deltopecten michelini*, Bryozoaires et Brachiopodes ;

— Assélien à *Eurydesma mytiloides*, *Conulaires*, *Tomiopsis*, *Cyrtella nagmargensis* (Wardak) et *Eoasianites modestus*, *Cancrinella lyoni* et *Stepanoviella* (Nawar).

— Sakmarien s. str., à *Stepanoviella umariensis* (Nawar) et *Aperispirifer undatus*, *Tomiopsis* et *Martinopsis* (Wardak).

Des couches lenticulaires de charbon à caractère gondwan (Lapparent et Mériaux, 1974) s'intercalent dans l'ensemble Assélo-Sakmarien. Le Bashkiren et le Moscovien n'ont pas été reconnu paléontologiquement. On ne peut cependant exclure leur présence au sein de la série des schistes et quartzites.

b) Le Permien.

Au-dessus du complexe schisto-quartzitique s'est déposé, en continuité, un puissant ensemble carbonaté (calcaire et dolomies) dont l'épaisseur dépasse couramment le millier de mètres. De riches associations d'Algues, de Foraminifères et de macrofaunes ont permis de caracté-

(*) Les attributions stratigraphiques proposées ici, appuyées sur une étude micropaléontologique récente (D. V.), précisent ou modifient sensiblement les datations obtenues antérieurement par l'examen des macrofaunes (Blaise et al., op. cit., 1977).

riser tous les termes du Permien, depuis le Sakmarien terminal - Artinskien basal jusqu'au Murghabien, parfois même jusqu'au Djulfien (Lys et Lapparent, 1971 ; Termier, Termier, Desparmet et Montenat, 1972 ; Termier, Termier, Lapparent et Marin, 1973 ; etc...). Un épisode terrigène comportant parfois des niveaux détritiques grossiers apparaît au Kubergandien. Les biotopes à Coraux coloniaux et à Bivalves de milieux récifaux sont fréquents au Murghabien. Un Trias, également carbonaté et non moins épais, succède au Permien en continuité. La dolomie qui envahit l'ensemble du Trias apparaît en général dès le Djulfien, rendant son identification paléontologique difficile.

2) La zone de Behsud.

A l'intérieur de la zone de Behsud, la succession stratigraphique permo-carbonifère est très incomplète. Le Permien supérieur (Murghabien) y est discordant et transgressif sur un substratum schisto-quartzitique azoïque qui est, peut-être d'âge protérozoïque (*). Au-dessus des quartzites et schistes de base, les premiers niveaux carbonatés ont livré une riche faune de Brachiopodes indiquant le Murghabien supérieur. La série se poursuit par un puissant ensemble carbonaté au sein duquel des horizons à Fusulinoïdes ont permis de dater le Murghabien et le Djulfien.

Le Trias, également calcaréo-dolomitique et très épais, comme dans la zone de Tezak-Nawar, succède en continuité au Permien. On y remarque le développement exceptionnel des faciès lamino-algaires stromatolithiques (région de Ghizao, par exemple) et, à la partie supérieure (Rhétien), la présence de couches à Mégalodontidés.

II. — LE CARBONIFÈRE ET LE PERMIEN DANS L'HINDU KUCH ET L'AFGHANISTAN DU NORD

1) L'Hindu Kuch.

Les études récentes consacrées au Carbonifère et au Permien de l'Hindu Kuch (Bouyx,

(*) Ce substratum a été attribué tantôt au Précambrien récent (de Lapparent et de Lavigne, 1964 ; Desparmet et Montenat, 1972 ; Karapetov, Sonine et Khaïne, 1975), tantôt au Carbonifère (Wittekindt, 1973 ; Blaise, Bordet, Montenat et al., 1977). La première hypothèse (âge protérozoïque) paraît être aujourd'hui la plus vraisemblable.

Lapparent et Termier, 1970 ; Boulin et Lys, 1971 ; Boulin, Bouyx et Lys, 1973 ; Boulin, Bouyx, Lapparent et al., 1975 ; Boulin, Bouyx, Lys et Vachard, 1977, etc...), complétées par des observations inédites (D. V.), permettent de dresser la succession stratigraphique suivante (fig. 2) :

- un complexe détritique de base daté du Serpukhovien supérieur (= "Namurien inférieur"), discordant et transgressif sur le substratum métamorphique de l'Hindu Kuch. Il remanie différents calcaires, d'âge viséen moyen-supérieur et serpukhovien inférieur ;
- une série bashkirienne, apparemment complète, calcaréo-détritique ou calcaire, à tendance récifale, caractérisée par des Algues et microfaunes chaudes à cachet téthysien : *Pseudostaffella*, *Eostaffella*, *Ozawainella*, *Asteroarchaediscus*, etc... ;
- lacune apparente du Moscovien et du Gjélien, non reconnus paléontologiquement jusqu'à présent ;
- l'Assélien et le Sakmarien s. str., carbonatés, reconnus sur le versant N de l'Hindu Kuch, sont caractérisés par des microfaunes à Fusulinoïdes (*Zellia amedaevi*, "*Schubertella*" *giraudi*) ;
- les termes plus récents du Permien, Artinskien supérieur à Murghabien ont pu être datés, grâce à des Goniatites et à des associations de Fusulinoïdes, sur le revers méridional de l'Hindu Kuch (Bouyx, Lapparent et Termier, 1970 ; Lys et Lapparent, 1971 ; Lys, Bouyx et Lapparent, 1973).

2) L'Afghanistan du Nord.

Un schéma d'ensemble est plus difficile à établir pour cette région. On peut signaler (Lys, 1977 ; Leven, 1971) :

- un complexe carbonaté à microfaune, Brachiopodes et Polyptères téthysiens, correspondant au Tournaisien-Viséen ;
- pas de caractérisation paléontologique du Serpukhovien ni du Bashkirien ;
- réapparition au Moscovien de niveaux carbonatés, riches en Fusulinoïdes, Ungdarellidés et Bérésellidés (Khwhan, partie ouest du Band-e Turkestan, partie est du Firouz Koh) ;
- le Gjélien n'est pas connu ;
- le Sakmarien (s. l.) est formé par une série assez puissante de schistes, de grès, de conglomérats et de calcaires à Fusulinoïdes (Khwhan, Bangui-Namakab) ;
- L'Artinskien est peut-être présent à Khwhan. Aucun niveau plus élevé du Permien ne semble avoir été signalé.

III. — LE PALEOZOÏQUE RECENT DE LA VALLEE DE TURKMAN

Les séries paléozoïques de la vallée de Turkman (fig. 2) et leur prolongement occidental, se situent, géographiquement, entre les

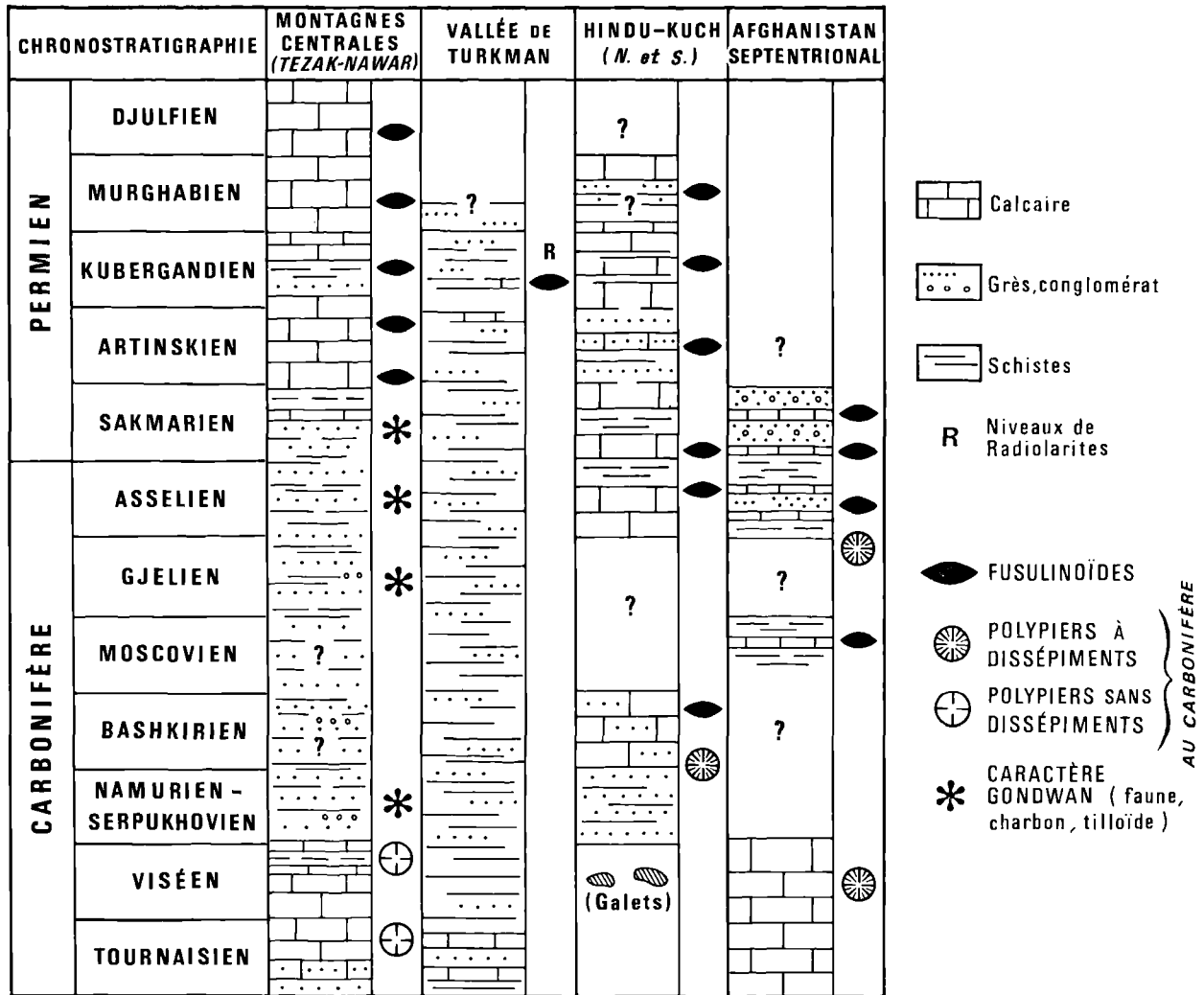


Fig. 2. — Séries stratigraphiques permo-carbonifères des principaux domaines paléogéographiques.

deux régions précédemment évoquées. Elles constituent un vaste domaine essentiellement schisteux, qui s'étend au N des ensembles cristallophylliens de Maydan (Blaise, 1972), partie intégrante des Montagnes Centrales, jusqu'à la zone des accidents du Ghorband et de Turkman, qui le sépare de l'Hindu Kuch.

L'établissement d'une succession stratigraphique précise dans ce secteur est rendu difficile par la rareté des repères fossilifères (Hayden, 1911; Lapparent, 1968; Blaise et Lapparent, 1975). Toutefois, les recherches en cours

apportent de nouvelles précisions sur les caractéristiques de ces séries.

Les séries rapportées au Permo-Carbonifère ("schistes et quartzites" du Haut-Helmand; Blaise et Lapparent, 1975) succèdent au Dévonien supérieur (Frasnien et Famennien) daté dans la région du Col d'Hajigak (Brice, Lapparent et Mistiaen, 1974), et dont on retrouve quelques jalons le long de l'accident de Turkman. Il s'agit d'un puissant ensemble à dominante schisteuse, épais de plusieurs milliers de mètres et comportant des intercalations calcaires

ou calcaréo-gréseuses toujours peu développées, ainsi que des niveaux quartzitiques plus conséquents. Certaines analogies lithologiques et la découverte de plusieurs gisements à grands *Spirophyton* avaient conduit à comparer une partie de cette série au Carbonifère schisto-quartzitique des Montagnes Centrales, où des traces de même type sont mieux localisées stratigraphiquement. Notons encore que, sur certaines cartes géologiques synthétiques de l'Afghanistan, les séries schisteuses de la vallée de Turkman apparaissent comme une série compréhensive d'âge carbonifère à Trias (carte géologique au 1/1.000.000^e, 1972 ; Dronov et al., 1973).

De nouvelles observations effectuées sur le versant S de la vallée de Turkman (SW du village d'Aseq) ont révélé la présence, dans la partie élevée de cet ensemble, de niveaux carbonatés, généralement lenticulaires, dont l'épaisseur n'excède pas quelques mètres. Il s'agit de brèches et de microbrèches, mises en place par gravité au milieu de sédiments terrigènes fins. Elles sont associées vers le haut à de véritables turbidites gréseuses ainsi qu'à des niveaux de radiolarites alternant avec des schistes verts (épaisseur ≤ 100 m).

Les microorganismes observés dans certains niveaux carbonatés : Algues, Néoshwagérinidés et autres Foraminifères, Spongiaires, constituent une association incontestablement permienne (peut-être attribuable au Kubergandien) (Blaise, Boulon, Bouyx, Lys, Termier et Vachard, sous presse). Algues et Foraminifères indiquent des apports venus d'une aire de très faible profondeur, et déposés par gravité dans un milieu plus profond.

IV. — LE PALEOZOIQUE RECENT DU " COIN DE KABUL "

A l'Est de la faille de Chaman-Argandeh, la série du Paléozoïque récent n'est que partiellement représentée dans le secteur du " coin de Kabul " (Mennessier, 1977). Elle ne sera évoquée ici qu'à titre de comparaison. On distingue deux séries permienes, l'une autochtone (série de Tangui Gharou, par exemple) et l'autre associée aux unités allochtones de la Chaîne d'Altimour.

1. Dans la zone de Kabul, le Permien est représenté par des grès et quartzites trans-

gressifs sur un socle protérozoïque, plus ou moins fortement métamorphisé, auxquels succèdent les calcaires de Tangui Gharou, à Fusulinoïdes, Coraux et Brachiopodes. La transgression intervient probablement au Murghabien supérieur.

2. Dans la zone d'Altimour (S de Kabul), la série permienne associée à l'unité allochtone de la " dorsale calcaire " est plus complète bien que son substratum ne soit pas visible. On reconnaît :

- les calcaires de Sangae, dont l'âge est compris entre l'Artinskien à la base et le Murghabien supérieur au sommet ;
- des calcaires ferrugineux et des niveaux terrigènes grossiers (quartzites), appartenant également au Murghabien, d'épaisseur extrêmement variable ;
- les calcaires et dolomies d'Abtchakan sont datés du Murghabien supérieur et du Djulfien (Lys, 1977).

B) REMARQUES SUR LA DISTRIBUTION BIOGEOGRAPHIQUE

I. — LES MONTAGNES CENTRALES : DUALITE DES INFLUENCES GONDWANES ET TETHYSIENNES

1) Zone de Tezak-Nawar.

Au Dinantien, le peuplement des mers occupant le domaine des Montagnes Centrales est le plus souvent cosmopolite. Toutefois, la pauvreté relative des biotopes à Foraminifères et la présence de Polypiers simples sans disséminations (*Rotiphyllum*, *Zaphrentites*), témoignent d'un milieu tempéré chaud, situé un peu en retrait de la mer téthysienne subtropicale (Fontaine, Montenat, Termier et Vachard, 1977).

Dès le Serpukhovien, et jusqu'à l'Assélo-Sakmarien, les caractéristiques faunistiques et sédimentologiques du milieu attestent une communauté d'environnement avec la Gondwanie qui enregistre alors un refroidissement sensible, lié au développement des glaciations permocarbonifères.

Bien que les influences froides se manifestent durant une période assez longue (du Serpukhovien au Sakmarien), elles sont toujours atténuées. On a peu de tillites, et pas de traces d'inlandsis comme on en connaît en Inde, en Afrique du Sud ou en Australie. Ce caractère renforce l'hypothèse d'une position périgondwane des Montagnes Centrales (déjà formulée

par Termier, de Lapparent et Marin, 1973 ; voir également Termier, 1977), c'est-à-dire leur relatif éloignement des régions polaires intra-gondwanées.

A l'Artinskien (voire dès la fin du Sakmarien), le domaine des Montagnes Centrales ne fait plus obstacle à la colonisation téthysienne et reçoit de riches faunes de Fusulinoïdes. Dans le même temps, on enregistre le rétablissement de la sédimentation carbonatée qui se poursuivra sous climat chaud (subtropical à tropical) durant tout le reste du Permien et au Trias.

Toutefois, les macrofaunes (Brachiopodes du Murghabien inférieur de Wardak par exemple) présentent encore des similitudes avec celles de la Salt Range. Ces affinités confirment la position marginale des Montagnes Centrales, sur le bord S de la Téthys.

2) Zone de Behsud.

Jusqu'à présent, aucun dépôt d'âge carbonifère n'a été reconnu dans la zone de Behsud (*). Son appartenance biogéographique durant cette période ne peut donc être définie. On remarquera cependant que les peuplements de Brachiopodes introduits lors de la transgression murghabienne montrent des affinités certaines avec Timor et, dans une moindre mesure, avec la Salt Range. Ces associations conduisent à envisager, comme pour le reste des Montagnes Centrales, une appartenance à la bordure Sud de la Téthys.

On est conduit à une conclusion analogue en ce qui concerne le Permien du "coin de Kabul". Les affinités des faunes, Brachiopodes et Bryozoaires notamment, sont à rechercher surtout avec la Salt Range, Timor et l'Australie occidentale ; ce qui permet de circonscrire, ici aussi, un domaine biogéographique correspondant à la marge sud-téthysienne.

II. — L'HINDU KUCH ET L'AFGHANISTAN DU NORD

Bien différente est la situation de ces deux régions. Outre l'opposition fondamentale avec les Montagnes Centrales, elles montrent entre elles des particularités qui obligent à les traiter séparément.

(*) Si l'on s'en tient à l'hypothèse d'un âge protérozoïque du substratum anté-permien.

1) L'Hindu Kuch - Permanence du courant faunique téthysien.

La simple comparaison des successions stratigraphiques montre qu'il n'y a guère de points communs entre l'Hindu Kuch et les Montagnes Centrales jusqu'au Permien. A partir de l'Artinskien, la diffusion générale des Fusulinoïdes tend à matérialiser une homogénéisation, qui n'est toutefois pas exempte de nuance au niveau spécifique, parfois même au niveau générique.

a) Les indications ponctuelles dont on dispose au sujet du Viséen (galets remaniés dans les niveaux transgressifs serpukhoviens) laissent entrevoir, pour cette époque, des peuplements (Algues et Foraminifères) plus riches et plus diversifiés que dans les Montagnes Centrales. Ils peuvent être comparés à ceux du reste de l'aire téthysienne (Belgique, France, U.R.S.S.) dont ils partageaient sans doute le même climat chaud.

b) Le même environnement téthysien préside au dépôt du Serpukhovien et du Bashkiriien, caractérisés par des faunes chaudes, voire récifales (Polypiers simples à dissélements et même Coraux coloniaux).

c) L'appartenance de l'Hindu Kuch à la Téthys est non moins clairement attestée à l'Assélien et au Sakmarien, caractérisés par des faunes à Fusulinoïdes dont la diffusion n'atteint pas, à ces époques, les eaux plus froides du domaine des Montagnes Centrales.

Une étude comparative des peuplements de microorganismes pour une même période (Assélo-Sakmarien par exemple), fait apparaître des différences climatiques importantes : climat chaud au N, tempéré-froid au S. Si l'on se réfère aux données écologiques et paléo-écologiques, seules bases d'évaluation en l'absence de mesures de paléomagnétisme, ces différences obligent à envisager un écart latitudinal important entre les domaines de l'Hindu Kuch et les Montagnes Centrales.

2) L'Afghanistan du Nord.

Il est, pendant toute la période considérée, baigné par des eaux chaudes subtropicales. Les faunes et microfaunes sont téthysiennes, mais des mélanges s'opèrent avec des peuplements descendus le long du couloir ouralien. Ceci est particulièrement net chez les Fusulinoïdes

(Leven, 1971) et les Polypiers (Fontaine et al., 1977). Ces apports de l'Oural indiquent des échanges avec le bloc eurasiatique.

III. — LE SECTEUR DE LA VALLÉE DE TURKMAN

L'espace qui séparait au Paléozoïque récent les Montagnes Centrales de l'ensemble Hindu Kuch-Afghanistan du Nord, pourrait correspondre au domaine représenté partiellement aujourd'hui par les séries de la vallée de Turkman. La rareté des découvertes paléontologiques ne permet guère de se prononcer sur l'appartenance biogéographique de ce domaine.

L'absence quasi totale de dépôts carbonatés, qui distingue ce secteur des régions adjacentes du N et du S, est vraisemblablement à mettre sur le compte des conditions bathymétriques. C'est d'ailleurs essentiellement ce caractère de dépôt de bassin qui retiendra l'attention à propos de la zone de Turkman (voir le chapitre suivant).

C) CONCLUSION : ESQUISSE PALEO GEOGRAPHIQUE

I. — LES ENSEMBLES PALEO GEOGRAPHIQUES

Les faits exposés permettent d'esquisser, pour la période Permo-Carbonifère (fig. 3), le schéma paléogéographique suivant :

1. *Au Sud*, les Montagnes Centrales appartenaient à un *domaine de plateforme*, sans doute assez complexe, accidenté de paléoreliefs et comportant des aires de subsidence plus ou moins actives (Desparmet et Montenat, 1972). Après l'optimum climatique frasnien, on y enregistre une baisse sensible de la température. Au Carbonifère inférieur, ces régions ont connu un *climat tempéré* qui incite à les placer à l'écart de la zone chaude de la Téthys, sur les marges de la Gondwanie. Ce caractère s'accroît au Carbonifère supérieur. Le domaine des Montagnes Centrales connaît alors le même *climat froid* que les autres régions gondwanes.

On manque encore de témoignages précis concernant l'appartenance des Montagnes Centrales à la Gondwanie pour des périodes plus

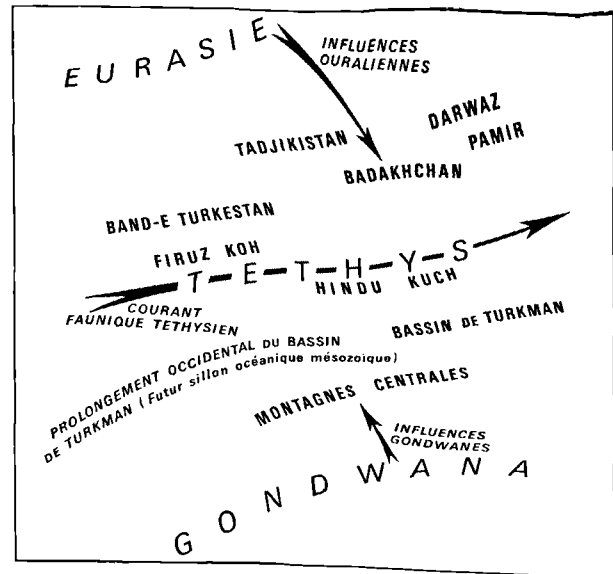


Fig. 3. — Situation des différents domaines paléogéographiques au Permo-Carbonifère.

reculées du Paléozoïque. On notera cependant que l'Eocambrien et le Cambrien inférieur des Montagnes Centrales (Lapparent, 1977) montrent, jusque dans le détail des coupes stratigraphiques, des similitudes remarquables avec les séries de même âge connues en d'autres régions gondwanes (Iran, Salt Range). On peut penser que de telles concordances attestent l'appartenance à une même province paléogéographique, depuis cette lointaine époque.

Quoi qu'il en soit, l'histoire gondwane des Montagnes Centrales s'achève à l'Artinskien, lorsque ces régions s'ouvrent, de manière durable, aux influences de la Téthys.

2. *Au Nord*, l'Hindu Kuch se situait, au Permo-Carbonifère, sur une autre *plateforme*, sans doute assez accidentée, ainsi qu'en témoignent les variations d'âge et de lithologie des séries représentées (Boulin et Bouyx, 1977). D'une manière générale, ce domaine paraît avoir été situé, au moins depuis le Viséen, dans le domaine *téthysien*. Faciès et peuplements diffèrent profondément de ceux observés dans les Montagnes Centrales ; l'opposition entre l'une et l'autre province paléogéographique étant particulièrement nette au Bashkirien et à l'Assélo-Sakmarien.

Une autre différence importante tient au fait que la plate-forme permo-carbonifère de l'Hindu Kuch s'est installée sur un substratum vigoureusement structuré lors d'une phase tectonique paléozoïque (anté-Viséen). En revanche, dans les Montagnes centrales, aucun événement notable ne vient interrompre la sédimentation entre le Cambrien et le Jurassique.

3. Un hiatus séparait, au Permo-Carbonifère, les plateformes de l'Hindu Kuch-Afghanistan septentrional et des Montagnes Centrales (bloc gondwan).

Ce troisième domaine paléogéographique n'est connu aujourd'hui que de manière très partielle, bien que son extension géographique ait été probablement considérable. C'est dans cet espace que nous plaçons les séries de la vallée de Turkman où les dépôts carbonifères et permien sont essentiellement schisto-gréseux. Il s'agit cette fois d'un *domaine de bassin, par opposition aux aires de plateformes adjacentes*.

Les caractéristiques de la sédimentation permettent d'envisager un approfondissement graduel de ce bassin depuis le Carbonifère jusqu'au Permien. Durant cette dernière période, le caractère dynamique du dépôt est bien exprimé : forte subsidence, turbidites, "slump", mise en place de microbrèches calcaires. D'autre part, le développement important des radiolarites indique un milieu de haute mer, pélagique, largement ouvert.

Ces quelques indications donnent une image du domaine marin qui séparait alors l'Hindu Kuch des Montagnes Centrales, mais on ne peut prétendre qu'elles en reflètent toute la physiologie.

II. — REMARQUES SUR LA FRAGMENTATION DE LA MARGE NORD-GONDWANE

La dualité entre histoire gondwan et téthysienne, particulièrement sensible dans les Montagnes Centrales, se retrouve dans l'Elbourz et dans l'Himalaya. L'évolution de ces trois régions semble montrer que tout se passe comme si les connexions paléogéographiques existant au Carbonifère avaient été rompues à partir de l'Artinskien ; d'autres liaisons leur étant alors substituées.

C'est probablement pendant le Permien que l'on peut discerner dans la paléogéographie les premiers indices de la fragmentation du bloc gondwan. On remarque, par exemple que le Kubergandien est souvent mal caractérisé ou se traduit par une lacune, en relation avec l'instabilité du substratum.

Dans les Montagnes Centrales, cette instabilité kubergandienne est particulièrement accusée (apports terrigènes, émergences, ravinements et remaniements ; voir Blaise et al., 1977). Elle précède immédiatement une accélération considérable de la subsidence et la transgression importante du Murghabien qui s'étend sur des régions variées (zone de Behsud, région de Kabul, etc...).

Ce début de fragmentation a pour conséquence probable d'individualiser les régions de Transcaucasie, Iran central, Montagnes Centrales afghanes (et autochtones du "coin de Kabul" ?) qui forment au Permien un ensemble assez homogène, pour lequel on a proposé le terme de "bloc d'Aryana" (Termier et Termier, 1977c). Ses contours correspondent approximativement à la "plaque irano-afghane" définie par Krumsiek (1976), à partir de données paléomagnétiques. Au S de ce bloc s'esquisse, vraisemblablement dès le Permien supérieur, une ouverture océanique au niveau du Zagros, tandis qu'une autre fissure océanique va également se manifester sur son bord N (voir plus loin). Ultérieurement, au cours du Mésozoïque, le bloc d'Aryana ne cessera de s'effriter (bloc du Lout, "coin de Kabul").

III. — EVOLUTION AU COURS DU MESOZOIQUE

L'histoire géologique de ces mêmes régions durant le Mésozoïque permet de mieux comprendre la signification de la différenciation paléogéographique intervenue au cours du Permo-Carbonifère. C'est pourquoi on en signalera ici quelques aspects.

— Au Trias et au Jurassique, les Montagnes Centrales conservent le caractère d'une zone de plateforme, siège d'une sédimentation de faible profondeur, à dominante carbonatée.

— Dans l'Hindu Kuch, le Trias et le Jurassique ne sont connus que sur le revers N de la chaîne (Boulin et Bouyx, 1972). Ils comportent

des sédiments principalement détritiques, marins et continentaux, déposés au cours d'une période caractérisée par une certaine instabilité tectonique (Trias) et par une importante activité volcanique (Trias-Jurassique). La signification de cette évolution tectono-magmatique, très différente de ce que l'on observe à la même époque dans les Montagnes Centrales, a été discutée par Boulin et Bouyx (1976-1977).

— Enfin et surtout l'espace occupé par le bassin de Turkman et ses prolongements occidentaux, acquiert au Mésozoïque (Trias?-Jurassique) les caractères d'une zone de *déchi-rure océanique*, ouverte entre l'Afghanistan septentrional-Hindu Kuch et les Montagnes Centrales (fig. 1). C'est le sillon ophiolitique de Penjao d'orientation NE-SW, dont l'étude est actuellement en cours (*). On peut voir dans le développement des radiolarites associées à des schistes verts, du Permien de Turkman, le pré-

lude à cette histoire océanique. Si tel est bien le cas, c'est dans la différenciation paléogéographique du Paléozoïque récent qu'il faut rechercher la préfiguration de ce trait structural majeur que constitue l'ouverture d'une zone océanique mésozoïque entre les Montagnes Centrales et l'Afghanistan plus septentrional.

— A la fin du Jurassique ou dès le début du Crétacé, la saturation du sillon ophiolitique et les serrages tectoniques qu'elle implique (en particulier au niveau des Monts de Turkman) amène le rapprochement des entités paléogéographiques jusqu'alors distinctes de l'Hindu Kuch et des Montagnes Centrales. Dans l'hypothèse développée ici, la juxtaposition définitive de ces deux domaines paléogéographiques et structuraux serait réalisée, non pas à l'occasion d'une orogénèse anté-viséenne (Boulin et Bouyx, 1976), mais à partir du Crétacé, et plus tardivement encore, à la faveur de coulissements le long des grands systèmes d'accidents d'Hérat et de Chaman-Argandeh.

(*) En collaboration avec MM. Blaise, Bordet et Carbonel; voir également Karapetov et al., 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BLAISE J. (1972). — Etude stratigraphique, pétrographique et tectonique dans les Montagnes de Maydan et de Wardak (Afghanistan central). *Rev. Geogr. Phys. Geol. dyn.*, 2, XIV, p. 357-370.
- 2) BLAISE J., BORDET P., MONTENAT C., DESPARMET R. et MARIN P. (1977). — Recherches géologiques dans les Montagnes Centrales de l'Afghanistan (Hazarajat et sa bordure orientale). *Mém. h.-sér. Soc. Géol. France*, n° 8, p. 117-143.
- 3) BLAISE J., BOULIN J., BOUYX E., LYS M., TERMIER G. et VACHARD D. (1978). — Découverte de Permien dans la "série des schistes et quartzites du Haut-Helmand", dans les Monts de Turkman, en Afghanistan central et incidences paléogéographiques. *C.R. somm. S.G.F.* (à paraître).
- 4) BLAISE J. et LAPPARENT A.F. de (1975). — Données sur le Paléozoïque des Monts de Turkman et de Paghman en Afghanistan. *C.R. somm. S.G.F.*, p. 176-179.
- 5) BOULIN J. et BOUYX E. (1976). — Fragmentation du Gondwana et fermeture de la Téthys en Afghanistan et dans les régions avoisinantes. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 282, p. 1777-1780.
- 6) BOULIN J. et BOUYX E. (1977). — Introduction à la géologie de l'Hindu Kuch occidental. *Livre à la mém. A.F. de Lapparent, Mém. h.-s. Soc. Géol. France*, n° 8, p. 87-105.
- 7) BOULIN J., BOUYX E. et LYS M. (1973). — Découverte de Carbonifère inférieur marin (Viséen et Namurien A) à l'E du col du Shebar, dans le versant méridional de l'Hindu Kuch en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 277, p. 129-132.
- 8) BOULIN J., BOUYX E., LYS M. et SEMENOFF-TIAN-CHANSKY P. (1975). — La transgression du Paléozoïque supérieur sur le versant nord de l'Hindu Kuch occidental en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 281, p. 497-502.
- 9) BOULIN J., BOUYX E., LYS M. et VACHARD D. (1977). — Découverte de Bashkirien dans le Paléozoïque supérieur du versant Sud de l'Hindou Kouch occidental en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 284, p. 891-894.
- 10) BOULIN J. et LYS M., (1971). — Découverte de Carbonifère et de Permien marin à Khinjan sur le versant nord de l'Hindou Kouch, en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 273, p. 555-557.
- 11) BOUYX E., LAPPARENT A.F. de, TERMIER H. et G. (1970). — Découverte de Goniatites dans le Permien inférieur de la Montagne de Bamyan (Hindou Kouch occidental, Afghanistan). *C.R. Ac. Sc., Paris*, 270, p. 1441-1444.
- 12) BRICE D., LAPPARENT A.F. de et MISTIAEN B. (1974). — Le Dévonien supérieur à l'Est d'Hajigak. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCIV, p. 67-69.

- 13) DESPARMET R. et MONTENAT C. (1972). — Les transgressions du Paléozoïque en Hazarajat (Afghanistan central). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, (2), XIV, p. 397-414.
- 14) DRONOV V., KAFARSKY A., DENIKAEV S., SALAH A., SONIN I., CHMYRIOV V. et ABDULLAH J. (1973). — Scheme of stratigraphy of Afghanistan. In *Geology and mineral resources of Afghanistan. Depart. Geol. Surv. Afghan.*, p. 86-96.
- 15) FONTAINE H., MONTENAT C., TERMIER G. et VACHARD D. (1977). — Le Carbonifère en Afghanistan. Problèmes biostratigraphiques et paléogéographiques 5^e Réunion Ann. Sc. Terre, Rennes, 1977, p. 229.
- 16) HAYDEN H.H. (1911). — The geology of Northern Afghanistan. *Mem. Geol. Survey India*, XXXIX, p. 1-97.
- 17) KARAPETOV S., SONIN I. et KHAINE V. (1975). — Quelques particularités fondamentales de l'évolution du segment pamiro-afghan de la zone des plissements alpins en Eurasie. *Vestnik. Moskov. Univ. Geol.*, 3, p. 38-46 (en russe).
- 18) KRUMSIEK KI. (1976). — Zur Bewegung der Iranisch-Afghanischen Platte (Paläomagnetische Ergebnisse). *Geol. Rundsch.*, 65, (3), p. 909-929, 11 textfig.
- 19) LAPPARENT A.F. de (1968). — Reconnaissance géologique de la vallée de Turkman (Afghanistan). *C.R. som. S.G.F.*, p. 69-70.
- 20) LAPPARENT A.F. de (1977). — Sur l'âge éocambrien et cambrien de la "série de Zargaran" en Afghanistan Central. *Mém. h. s. Soc. Géol. France*, n° 8, p. 19-22.
- 21) LAPPARENT A.F. de et LAVIGNE J. de (1964). — Extension de la série de Kotandar dans l'Hazarajat (Afghanistan). *C.R. somm. Soc. Géol. France*, 3, p. 98-99.
- 22) LAPPARENT A.F. de et MERIAUX E. (1974). — Sur un charbon gondwanien d'Afghanistan Central. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCIV, 4, p. 127-131.
- 23) LAPPARENT A.F. de, TERMIER H. et G. (1970a). — Sur la stratigraphie et la paléobiologie de la série permo-carbonifère du Dacht-e Nawar (Province de Ghazni, Afghanistan). *Bull. Soc. géol. France*, (7), XII, p. 565-572.
- 24) LAPPARENT A.F. de, TERMIER H. et G. (1970b). — Découverte de la faune d'Umaria (Permien inférieur de l'Inde) en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 271, p. 381-384.
- 25) LEVEN E. Ja. (1971). — Les gisements permien et les Fusulinidés de l'Afghanistan du Nord. *Notes et Mém. Moyen-Orient*, 12, 35 p., 6 pl.
- 26) LYS M. (1977). — Biostratigraphie du Carbonifère et du Permien d'Afghanistan (Micropaléontologie). *Livre Mém. A.F. de Lapparent, Mém. h. s. Soc. Géol. France*, n° 8, p. 291-308.
- 27) LYS M., BOUYX E. et LAPPARENT A.F. de (1973). — Une coupe du Permien des Hauts de Bulola (Hindou Kouch occidental, Afghanistan). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCIII, p. 219-224.
- 28) LYS M. et LAPPARENT A.F. de (1971). — Les Foraminifères et les microfaciès du Permien de l'Afghanistan Central. *Notes et Mém. Moyen-Orient*, XII, p. 48-166.
- 29) MENNESSIER G. (1977). — Stratigraphie, tectonique et évolution du fossé de Kabul (Afghanistan). *Livre Mém. A.F. de Lapparent, Mém. h. s. Soc. Géol. Fr.*, n° 8, p. 146-168.
- 30) SLAVIN V. (1976). *Tectonique de l'Afghanistan. Nedra, Moscou*, 204 p. (en russe).
- 31) TERMIER H. et G. (1977a). — Position entre Gondwana et Téthys des provinces afghanes au Carbonifère et au Permien. Essai biogéographique. *Livre Mém. A.F. de Lapparent, Mém. h. s. Soc. Géol. Fr.*, n° 8, p. 309-324.
- 32) TERMIER H. et G. (1977b). — Carboniferous and permian account on the paleogeographic reconstruction of the paleozoic Himalaya. *Seminar on Himalaya geology. Dehra Dun* (sous presse).
- 33) TERMIER H. et G. (1977c). — Paleogeographic positions of Variscids, Tethyan platform and Northern Gondwana in Eastern Mediterranean area during the upper Paleozoic. *Aegean colloquium, Izmir* (sous presse).
- 34) TERMIER H. et G., DESPARMET R. et MONTENAT C. (1972). — Les Ammonoïdes du Permien (Kubergandien) de Tezak (Afghanistan Central). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCII, p. 105-115.
- 35) TERMIER H. et G., LAPPARENT A.F. de et MARIN Ph. (1973). — Monographie du Permo-Carbonifère de Wardak (Afghanistan). *Doc. Lab. Géol. Lyon*, h. s., N° 2, 167 p. 38 pl.
- 36) TERMIER H. et G., MARIN Ph., DESPARMET R. et LAPPARENT A.F. de (1973). — Données nouvelles sur la transgression glacio-eustatique permo-carbonifère (Gzhelien-Sakmarien) en Afghanistan Central. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 276, p. 943-947.
- 37) TERMIER G. et H. et VACHARD D. (1977). — Sur l'âge des faunes marines froides corrélatives des glaciations gondwanes du Carbonifère. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 284, p. 2321-2322.
- 38) WATERHOUSE J.B. et GUPTA V.J. (1977). — Brachiopods from the Carboniferous Fenestella shales of Kashmir. *Recent Res. Geol.* (vol. 3), hon. prof. I.C. Pande, p. 145-187.
- 39) WITTEKINDT H. (1973). — Erläuterungen zur Geologischen Karte von Zentral und Süd Afghanistan, 1/5.000.000, Hannover, 100 p.

Orogenèse hercynienne, bordure gondwaniennne et espace téthysien, en Afghanistan

par Jean BOULIN (*) et Emmanuel BOUYX (*)

Sommaire. — L'Hindou Kouch occidental porte les marques très nettes d'une orogenèse éo-hercynienne. Des traces de la suture correspondante jalonnent son versant sud, aux confins septentrionaux des Montagnes centrales d'Afghanistan dont le Paléozoïque supérieur livre des faunes démontrant que le domaine correspondant appartenait alors au pourtour du Gondwana. Dès lors, l'Hindou Kouch occidental et, avec lui sans doute, l'ensemble du Nord afghan apparaissent comme ayant été eux aussi terres gondwaniennes, au moins dès la veille du Permo-Carbonifère. Dans cette perspective, la véritable limite Angara-Gondwana de l'époque, c'est-à-dire la cicatrice de la Téthys du Paléozoïque ancien, semble devoir être recherchée quelque part au-delà du Nord afghan, probablement dans le prolongement occidental du Tien Shan, la suture éo-hercynienne Sud-Hindou Kouch représentant vraisemblablement une branche intra-gondwaniennne de cette Téthys du Paléozoïque ancien.

Le bloc continental composite né de la fermeture de cette branche sud de la Téthys du Paléozoïque ancien était situé, durant le Paléozoïque supérieur, à la bordure méridionale d'une Téthys épicrotonique qui s'étendait alors jusqu'aux confins de l'Angara et séparait celui-ci de terres gondwaniennes méridionales. Puis ce bloc s'est fissuré, à l'aube ou au cours du Trias, donnant notamment lieu à l'apparition du rift aussitôt refermé dont la trace souligne la limite nord de l'Hindou Kouch. Dans le même temps naissait la Téthys mésozoïque, intra-gondwaniennne et à fond océanique que représentent maintenant les prolongements occidentaux de la suture de l'Indus dont la fissure Nord-Hindou Kouch n'est autre qu'une réplique plus ou moins avortée.

L'Afghanistan apparaît, en définitive, comme partie d'un bloc continental d'affinités gondwaniennes soudé à l'Angara depuis la fermeture de la Téthys à fond océanique du Paléozoïque ancien, recouvert ensuite par la Téthys épicrotonique du Paléozoïque récent et séparé enfin des secteurs sud du Gondwana par l'avènement, au Trias, de la Téthys mésozoïque, à fond océanique. Dès lors, les confins septentrionaux du Gondwana nous apparaissent, par rapport à l'Angara, comme ayant subi des déplacements répétés qui ne se peuvent guère concevoir et accepter que si l'on crédite seulement les espaces océaniques téthysiens successifs d'une ampleur relativement modeste.

Summary. — The Western Hindu Kush bears the very distinctive stamps of an eo-hercynian orogenesis. Traces of the corresponding suture lays out his south versant in the northern borders of the central mountains of Afghanistan whose the Upper Paleozoic contains faunas that demonstrates that the corresponding domain belonged then to the periphery of the Gondwanaland. Consequently, the Western Hindu Kush and with him probably the totality of North Afghanistan appears to be also part of Gondwanaland. In that case, the real border between Angaraland and Gondwanaland — i. e. the scar of the lower paleozoic Tethys — seems must be quest somewhere beyond the North of Afghanistan, probably in the western prolongation of the Tien Shan, the eo-hercynian suture of the south of the Hindu Kush representing probably a ramification of this lower paleozoic Tethys into the Gondwanaland.

The composite continental block resulting from the closing of this lower paleozoic Tethys was located, during the Upper Paleozoic, in the southern border of an épicrotonic Tethys that extended to the border of Angaraland and separated this from Gondwanaland. Then this block fissured, at the beginning or during the Trias, giving rise, in particular, to advent of the immediatly reclosed rift whom the marks underlines the Hindu Kush northern border. At the same time, appeared the mesozoic, intra-gondwaniennne and with oceanic crust Tethys that now represents the Indus suture line western prolongations whom the north Hindu Kush rift is an more or less miscarried replicate.

Finally, Afghanistan belongs to a gondwanian continental block linked to Angaraland since the closing of the with oceanic crust lower paleozoic Tethys, then submerged by the epicratonic Tethys of the Upper Paleozoic and lastly separated from the southern part of Gondwanaland by the advent, during the Trias, of with oceanic crust mesozoic Tethys. In that perspective, the northern borders of Gondwanaland seems, with respect to Angaraland to have undergone repeated shiftings who implicates successive with oceanic crust Tethys of relatively short width.

(*) Université P. et M. Curie, 4, Place Jussieu, Paris Cedex 05 et Mission scientifique française en Afghanistan.
Note déposée le 8 Décembre 1977.

La limite Angara-Gondwana a été jusqu'à une époque relativement récente considérée comme représentée en Asie méridionale par la suture de l'Indus, du Belouchistan et du Zagros, fermée lors des collisions du Crétacé supérieur et du Cénozoïque responsables des chaînes alpines de la région. Cette conception est actuellement remise en question et la limite septentrionale du Gondwana recherchée en direction du Nord (Stöcklin, 1974 et 1977 ; Boulin et Bouyx, 1974, 1976 et 1977 ; Ricou, Braud et Brunn, 1977), à la suite de nombre d'observations qui invitent à voir en la suture Indus-Belouchistan-Zagros une suture intra-gondwanaïenne.

Les recherches en cours en Afghanistan, notamment les observations réalisées dans l'Hindou Kouch occidental et dans les Montagnes centrales, fournissent quelques éléments de réponse aux problèmes qui se posent dans cette perspective, à savoir : Où se situe véritablement la bordure gondwanaïenne en Asie méridionale ? A quelle époque s'est fermé l'espace téthysien correspondant ? Les autres espaces marins apparus dans l'histoire de la région ont-ils valeur de Téthys ? Quelles ont été l'ampleur et la nature de l'espace téthysien aux divers moments de son histoire ? Les marques de l'orogénèse hercynienne que porte précisément l'Hindou Kouch occidental constituent-elles un critère de non-appartenance au Gondwana ?

I. — LES TRAITES GEOLOGIQUES ESSENTIELS DE L'HINDOU KOUCH OCCIDENTAL ET DES MONTAGNES CENTRALES

L'Hindou Kouch occidental (fig. 1 et 2), haut de 4.000 à 5.000 m, se dresse entre les plaines du Turkestan et les Montagnes centrales de l'Afghanistan. Il est limité au Nord par les vallées du Surkhab et de l'Andarab ; au Sud-Est et au Sud par celle du Panchir qui le sépare des Montagnes du Nouristan et par celle du Ghorband qui le sépare des Monts de Turkman puis par le bassin de Bamyan qui le sépare du Koh e Baba. Vers le Nord-Est, il se prolonge par les hautes montagnes de l'Hindou Kouch central et oriental, du Pamir et du Karakorum. Vers l'Ouest, par les montagnes et par les plateaux du Hari Rud et de Band e Turkestan, il se raccorde aux plateaux de l'Est iranien.

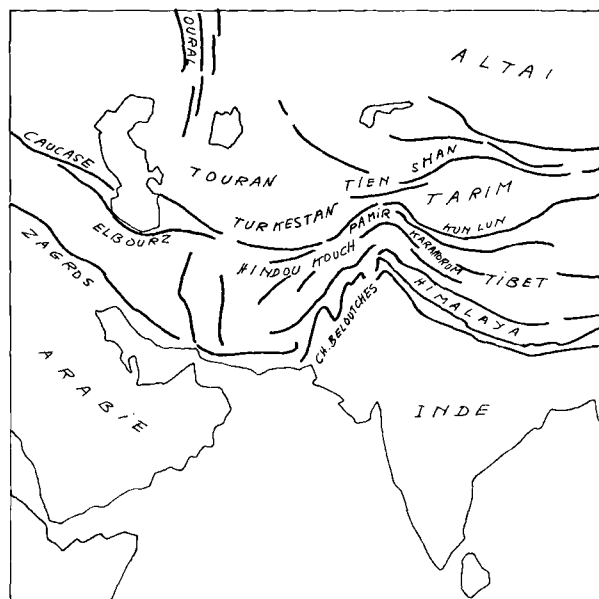


Fig. 1. — La place de l'Hindou Kouch parmi les principaux systèmes montagneux d'Asie méridionale.

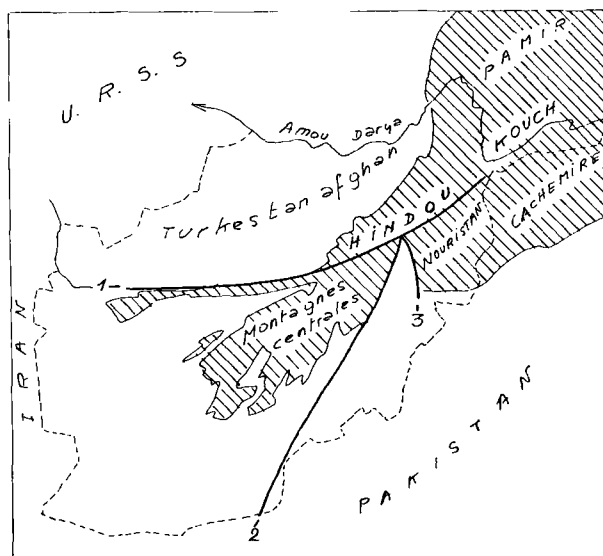


Fig. 2. — La place de l'Hindou Kouch et des Montagnes centrales parmi les principaux ensembles géographiques d'Afghanistan.

Les zones hachurées correspondent aux principaux affleurements des terrains paléozoïques et plus anciens de la région. Les traits forts représentent respectivement : la "faille de Hérat" (1), la faille de Chaman-Arghandi (2) et la faille de Tagao (3).

Il est essentiellement constitué (fig. 3) par des schistes cristallins et par des marbres dont l'ensemble, déformé et arasé, est surmonté en discordance angulaire par un Paléozoïque récent, ensemble que la présence de niveaux à Radio-laires, de restes d'Encrines et de Lamellibranches a permis d'attribuer à un Paléozoïque ancien (Boulin, 1972 ; Bouyx, 1972 ; Dronov et al., 1973 ; Boulin et Bouyx, 1974, 1977a). Le Paléozoïque récent transgressif débute par un Carbonifère dont la base, détritico-carbonatée, a livré (Boulin et Lys, 1971 ; Boulin, Bouyx et Lys, 1973 ; Boulin, Bouyx, de Lapparent, Lys et Semenoff-Tian-Chansky, 1975) des micro-faunes du Viséen et du Namurien, se poursuit par un Permien inférieur grésocalcaire à Goniatites (Bouyx, de Lapparent, Termier, 1970) et s'achève par un Permien supérieur essentiellement carbonaté et à Fusulines (Hayden, 1911 ; Furon, 1924 ; Lys et de Lapparent, 1971). Bref, l'Hindou Kouch occidental porte les marques très nettes d'une orogénèse éo-hercynienne et diffère en cela des Montagnes centrales d'Afghanistan.

Les Montagnes centrales, en effet, sont pour l'essentiel constituées (Blaise, Desparmet et de Lapparent, 1971 ; Desparmet et Montenat, 1972 ; Blaise, Bordet, Montenat, Desparmet et Marin, 1977) par une série qui débute avec un Cambro-Trémadocien probable et se poursuit sans discordance majeure sinon sans discontinuité jusqu'au Jurassique. Cette série témoigne d'une sédimentation de plateforme plus ou moins subsidente et est entrecoupée de lacunes qui procèdent de régressions et de transgressions successives dont certaines sont, peut-être, des échos atténués des événements éo-hercyniens de l'Hindou Kouch. C'est le Paléozoïque supérieur de certains secteurs de ces Montagnes centrales qui a livré les indices témoignant de l'appartenance au Gondwana d'une partie au moins de l'Afghanistan central. Il s'agit d'indices paléontologiques et climatiques, notamment : de la présence de charbons gondwaniens (de Lapparent et Mériaux, 1974) ; de l'existence d'une lacune méso-Carbonifère considérée comme liée à la glaciation gondwane (de Lapparent et Termier, 1970) ; de l'existence, dans l'Assélien-Sakmarien, des faunes froides ou tempérées caractéristiques de la "mer à Eurydesma" (Termier, 1977) et nettement distinctes des faunes téthysiennes caractéristiques de la "mer à Fusulines" (Termier, 1977) de l'époque. En

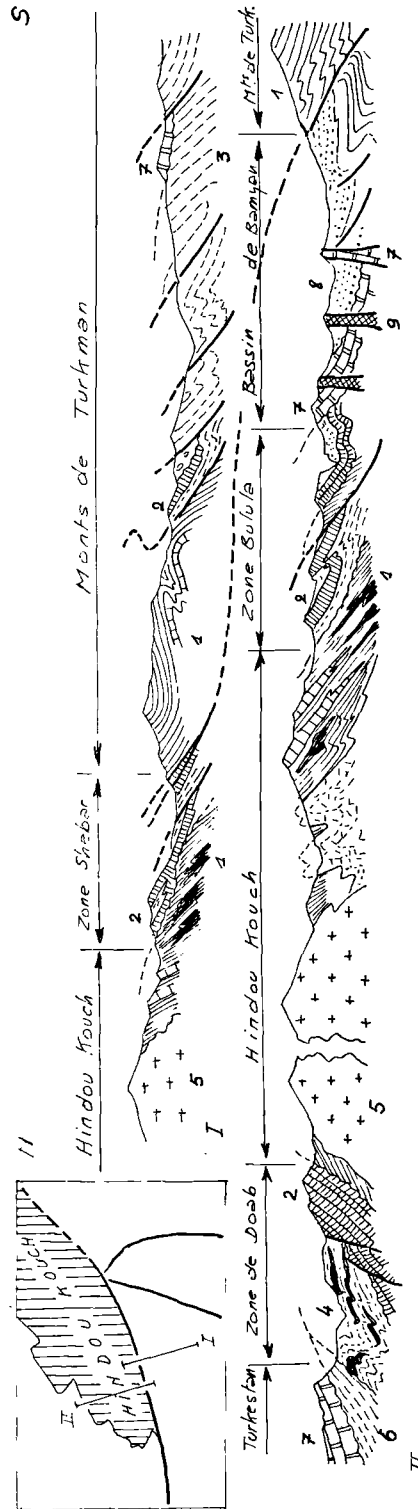


Fig. 3. — Coupe schématique à travers l'Hindou Kouch occidental et ses bordures (sans échelle).
 Légende : 1, terrains d'âge paléozoïque ancien métamorphisés (schistes cristallins, marbres, serpentines, détritico-carbonatées) ; 2, terrains carbonifères et permien de l'Hindou Kouch ; 3, terrains carbonifères et permien de Turkmén ("série des schistes et quartzites du Haut-Heilmend") ; 4, terrains triasiques, à caractère volcano-détritico ; 5, granites de la limite Trias-Jurassique, intrusifs dans la série de l'Hindou Kouch ; 6, terrains jurassiques ; 7, terrains crétacés ; 8, terrains cénozoïques du versant sud (bassin de Bamian) ; 9, dykes andésitiques du bassin de Bamian.

outre, l'ensemble du Paléozoïque de ces Montagnes centrales d'Afghanistan semble assez comparable à celui de nombreux secteurs d'Asie méridionale dont l'appartenance au Gondwana est maintenant bien établie, qu'il s'agisse de celui de la série tibétaine de l'Himalaya (Bassoulet, Colchen et Mouterde, 1977), de celui du Plateau central iranien (Stöcklin, 1968 et 1974) ou encore de celui des Taurides (Brunn et al., 1976), dans les régions égéennes.

Entre Hindou Kouch et les Montagnes centrales, les Monts de Turkman (Blaise et de Lapparent, 1975 ; Boulin et Bouyx, 1977a) constituent un ensemble composite dont la partie nord est faite d'une série métamorphique d'âge paléozoïque ancien identique à celle de l'Hindou Kouch occidental et dont la partie sud est faite d'une série épaisse, essentiellement schisto-gréseuse — la "série des schistes et quartzites du Haut-Helmen" — qui, au Nord, est en contact anormal avec le Paléozoïque ancien mais qui, au Sud-Est, succède sans discordance visible au Paléozoïque inférieur et moyen. Cette série, un temps attribuée au Carbonifère, s'est récemment révélée comme comportant aussi du Permien supérieur (Blaise, Boulin, Bouyx, Lys, Termier et Vachard, 1977). Il s'agit donc en fait de l'équivalent latéral du Permo-Carbonifère détritique et carbonaté discordant sur le Paléozoïque ancien des confins sud de l'Hindou Kouch. Mais, tandis que ce dernier est à faciès néritique, le Permo-Carbonifère des Monts de Turkman-Sud témoigne d'un abaissement progressif, depuis le Carbonifère jusqu'au Permien, du fond marin correspondant et de l'avènement d'un espace marin profond qui, notamment au Kubergandien, a séparé la plateforme submergée qui bordait alors les restes émergés de l'Hindou Kouch éo-hercynien et la plate-forme de faible profondeur qu'étaient alors les secteurs représentés par les Montagnes centrales. Cet espace marin profond existant au Permien supérieur aux confins de l'Hindou Kouch et des Montagnes centrales constitue peut-être la première manifestation dans la région du système de contraintes en extension responsable de la fissuration intra-gondwanienne triasique qui, on va le voir, marque le versant nord de l'Hindou Kouch.

L'ensemble Hindou Kouch - Montagnes centrales a ensuite été déformé, à la limite du Jurassique et du Crétacé. En témoignent notamment : la discordance selon laquelle le Crétacé

inférieur des Montagnes centrales repose sur différents termes de la série cambro-jurassique (de Lapparent, 1962 ; Blaise et al., 1977) ; la discordance qui, dans les Monts de Turkman, sépare le Cénomano-Turonien de la Montagne de Parandaz des schistes et quartzites du Haut-Helmen (de Lapparent et al., 1974) ; celle enfin selon laquelle le Crétacé supérieur de l'extrémité ouest de l'Hindou Kouch repose (Hayden, 1911 ; Furon, 1924 ; de Lapparent et de Lavigne, 1964 ; Bouyx, 1972) tantôt sur le Paléozoïque ancien, tantôt sur le Paléozoïque récent. L'ensemble de ces régions porte donc la marque très nette de phénomènes tecto-orogéniques fini-jurassiques. En outre, le versant nord de l'Hindou Kouch témoigne de l'avènement au Trias de la fissure bientôt refermée que jalonne une série volcano-détritique riche en tufs et en coulées interstratifiées qui présentent localement une texture en pillow-lava et sont à dominante rhyolitique dans les termes inférieurs, andésitique ou basaltique dans les termes plus élevés (Hayden, 1911 ; Weippert, 1964 ; Boulin et Lys, 1971 ; Boulin, 1972, 1974 ; de Lapparent et Bordet, 1963 ; Boulin et Bouyx, 1977a). Cette série est en outre traversée en de nombreux points par des dykes de rhyolites, d'épidiorites et de gabbros. L'ensemble est recouvert en discordance angulaire par un Jurassique. Ce Jurassique — la "série de Saïghan" des auteurs — est essentiellement détritique et continental. Il comporte notamment des niveaux de charbon qui ont livré des plantes d'âge probablement jurassique moyen (Benda, 1964) et comparables à celles du Jurassique d'Iran (Furon et Boureau, 1950). Il peut être considéré comme un équivalent du Jurassique à charbon d'Asie centrale, notamment de la "série de Schemsak" décrite dans l'Elbourz et dans une partie du Plateau central iranien (Stöcklin, 1968). Au-dessus de ce Jurassique, enfin, vient un Crétacé, détritique et continental d'abord, calcaire et marin ensuite (Griesbach, 1886 ; Mennessier, 1962). Ce Crétacé est, on l'a dit, discordant sur son substratum et il passe au Paléocène.

Quant à l'histoire cénozoïque de ces régions, elle est notamment marquée par les plissements oligocènes du versant nord de l'Hindou Kouch, par le volcanisme oligocène puis plus récent de l'extrémité occidentale de celui-ci, par le développement des bassins molassiques intramontagneux qui jalonnent le versant méridional de l'Hindou Kouch et de ceux des montagnes

centrales, par la réalisation enfin de cisaillements multiples et par l'avènement des hauts-reliefs actuels.

II. — LA LIMITE ANGARA-GONDWANA EN AFGHANISTAN

Les diverses questions posées par cette limite peuvent être abordées en considérant successivement : la localisation et l'époque de la fermeture correspondante ; la nature et l'ampleur des espaces téthysiens successifs qui ont marqué l'histoire de ces régions.

1) Localisation de la limite Angara-Gondwana et époque de la fermeture correspondante.

L'Hindou Kouch éo-hercynien nous apparaît s'être organisé en même temps que se réalisait la suture ophiolitique plus ou moins nettement caractérisée que l'on peut reconnaître à sa bordure sud (Boulin et Bouyx, 1976, 1977a et b). Cette bordure est en effet jalonnée par une suite d'affleurements alignés de serpentines et de radiolarites qui se trouvent associées aux schistes cristallins du Paléozoïque ancien, lesquels, localement, comportent aussi du glaucophane. Ces affleurements pourraient représenter sinon la cicatrice elle-même, du moins le témoignage d'une subduction selon laquelle la plaque continentale dont les montagnes centrales représentent un secteur se serait enfoncée sous celle que représente l'Hindou Kouch occidental après que, du fait d'une extension préalable, elles se soient trouvées séparées avec apparition corrélative d'une aire océanique plus ou moins large. Un bloc continental composite est donc né, à la veille du Carbonifère, de ce rapprochement de la plaque continentale représentée par les Montagnes centrales d'Afghanistan et de celle que représente l'Hindou Kouch.

Ce bloc continental composite a été pour partie recouvert par les transgressions Carbonifère-Permien qui, probablement, ont respecté quelques reliefs hérités de l'orogénèse éo-hercynienne tandis que s'est développée, aux bordures de l'Hindou Kouch et dans les Montagnes centrales, la sédimentation détritique ou carbonatée de type épicontinental qui, dans les Montagnes centrales, a fourni les indices bio-climatiques qui ont permis de consi-

dérer qu'à l'époque les secteurs correspondants étaient gondwaniens. Dès lors, l'Hindou Kouch occidental et avec lui sans doute l'ensemble du Nord afghan, solidaires et proches des Montagnes centrales depuis l'orogénèse éo-hercynienne, apparaissent comme ayant, eux aussi, été terres gondwaniennes, et cela au moins dès la veille du Permo-Carbonifère.

Certes, au Namurien et jusqu'à l'Assélo-Sakmarien, seules les Montagnes centrales présentent les signes d'un froid sensible lié au développement de glaciations permo-carbonifères et sont à ce titre gondwaniennes ou plus précisément péri-gondwaniennes, tandis que les secteurs Nord-Hindou Kouch comportent alors des faunes chaudes, notamment des faunes à Fusulinoïdés qui s'y cantonnent et qui témoignent clairement de l'appartenance de ces secteurs à la Téthys de l'époque (Termier, 1977). Mais cette influence du froid gondwanien demeure atténuée dans les Montagnes centrales qui apparaissent de ce fait comme ayant été relativement éloignées des régions polaires intra-gondwaniennes. De plus, dès l'Artinskien voire même dès la fin du Sakmarien, les faunes chaudes à Fusulinoïdés qui s'étaient jusque-là cantonnées aux secteurs Nord-Hindou Kouch colonisent les Montagnes centrales et s'y substituent aux faunes froides qui y régnaient jusque-là. Bien entendu, ces relations climatiques entre le froid gondwanien des Montagnes centrales avant l'Artinskien et le chaud téthysien du Nord-Hindou Kouch à la même époque peut s'expliquer par le relatif éloignement des secteurs correspondants. Elles peuvent s'expliquer aussi par l'existence de la barrière climatique peu étendue mais néanmoins efficace, semble-t-il, qu'ont pu constituer, sur l'emplacement de l'Hindou Kouch, les reliefs alignés hérités de l'orogénèse éo-hercynienne, barrière dont l'effacement progressif par l'érosion explique du même coup la colonisation à l'Artinskien des Montagnes centrales par les faunes téthysiennes. Bref, dans une telle perspective, la véritable limite entre l'Angara et le Gondwana, c'est-à-dire la cicatrice de la Téthys du Paléozoïque ancien, semble devoir être recherchée quelque part au-delà du Nord-afghan. Dans cette même perspective, la suture éo-hercynienne Sud-Hindou Kouch représente vraisemblablement une branche intra-gondwanienne de la Téthys du Paléozoïque ancien (Boulin et Bouyx, 1976 et 1977a), en sorte que l'existence

de manifestations tecto-orogéniques hercyniennes apparaîtrait comme non spécifiquement angarienne.

Cette interprétation, qui fait des temps hercyniens l'époque de la première réunion Angara-Gondwana en Asie méridionale, s'accorde avec ce que l'on sait des régions situées à l'Ouest de l'Afghanistan. Ainsi, l'Elbourz et l'Iran central (Stöcklin, 1968 ; Wolfart, 1967) représentent des secteurs qui, comme l'Afghanistan central, ont appartenu tout au long du Paléozoïque à une plate-forme gondwaniennne dont la péninsule arabe représente d'autres secteurs, plate-forme soumise à une submersion progressive entrecoupée d'interruptions momentanées de nature épirogénique. Cette plate-forme se trouvait au Sud d'une aire océanique refermée à l'Hercynien dont les traces sont actuellement représentées par les ophiolites du Caucase et peut-être aussi par les éléments de croûte océanique dont l'existence est envisagée au plancher de la Caspienne-Sud et que limite au Nord la bordure angarienne. Par conséquent, c'est bien l'orogénèse hercynienne qui apparaît responsable en Iran du rapprochement Angara-Gondwana et de la fermeture corrélative de la Téthys de l'époque. En Turquie, une "Proto-Téthys" paléozoïque (Flügel, 1972) a de même séparé les futures anatolides, gondwaniennes, des futures pontides, angariennes, et serait représentée par le "géosynclinal des Pontides", plissé à l'Hercynien, un Hercynien précoce peut-être, comme en Afghanistan, ainsi qu'en témoigne le métamorphisme hercynien de l'Anatolie du Nord-Ouest, rapporté à une phase précoce de l'orogénèse hercynienne (Fourquin, 1974). De plus, l'analyse du Paléozoïque récent qui s'étendait en Iran et dans les régions égéennes depuis le domaine péri-hercynien eurasiatique jusqu'aux marges de l'Arabie et de l'Afrique démontre l'absence de fonds océaniques à l'époque dans ces secteurs (Argyriadis, 1975) et, en conséquence, que la réunion des blocs eurasiatique et arabo-africain, c'est-à-dire du bloc angarien et du bloc gondwanienn, était effective depuis les temps hercyniens.

Cette interprétation s'accorde enfin avec le fait que les formations jurassiques à dominante continentale et à charbon d'Asie centrale débordent parfois sur des secteurs gondwaniens, comme en Iran, notamment, où la série de Schemsak repose dans l'Elbourz et une partie du Plateau iranien sur un Trias qui succède

lui-même sans discontinuité notable au Paléozoïque gondwanienn, ce qui démontre que la réunion Angara-Gondwana était réalisée dès l'aube du Jurassique, et avec le fait que le Permo-Carbonifère de l'Hindou Kouch est épicontinental, comme l'est celui des Montagnes centrales d'Afghanistan, comme le sont celui de l'Iran et celui des régions égéennes, ce qui démontre que cette réunion était effective dès le Paléozoïque supérieur. Plus généralement, l'interprétation retenue ici s'accorde avec les tendances actuelles selon lesquelles la Pangée du Paléozoïque supérieur est considérée, quels qu'en soient les contours déduits des diverses reconstitutions dont elle est l'objet, non plus comme un super-continent permanent depuis le début des temps géologiques, mais plutôt comme le résultat du rapprochement de diverses masses continentales qui auraient plus ou moins dérivé au cours d'une partie du Paléozoïque et qui se seraient rencontrées puis réunies lors de l'orogénèse hercynienne.

Ainsi, la limite Angara-Gondwana (fig. 4) passe en Iran par le pied Sud du Caucase, par le bassin sud de la Caspienne et par le Kopet Dag. Sur la transversale de l'Afghanistan, elle passerait quelque part au Nord du Nord-afghan. A l'Est de cette transversale, enfin, elle a été située d'abord au niveau de la suture de l'Indus (Gansser, 1964) puis plus ou moins loin au Nord de cette dernière, dans le Karakorum et le Kun Lun (Stöcklin, 1977), voire même dans le Sud T'ien Shan (Crawford, 1974) où une suture ophiolitique apparaît, en relation avec des événements tecto-orogéniques hercyniens (Burtman, 1975). La première de ces hypothèses paraît devoir être écartée car elle va à l'encontre des affinités gondwaniennes qui sont prêtées au Karakorum et à une part du Tibet, au vu de similitudes notées entre leur Permo-Carbonifère et celui du Cachemire, qui est réputé gondwanienn (Nordin, 1946). L'hypothèse Karakorum-Kun Lun est a priori acceptable dans la mesure où l'on admet que l'existence de manifestations hercyniennes exclut l'appartenance gondwaniennne du secteur correspondant car, sur cette transversale, les premières manifestations hercyniennes sûres ne s'observent en direction du Nord qu'à partir du Karakorum-Kun Lun précisément. Mais cette hypothèse conduit à faire passer en Afghanistan la limite recherchée entre Montagnes centrales et Hindou Kouch où, on l'a vu, une suture ancienne est

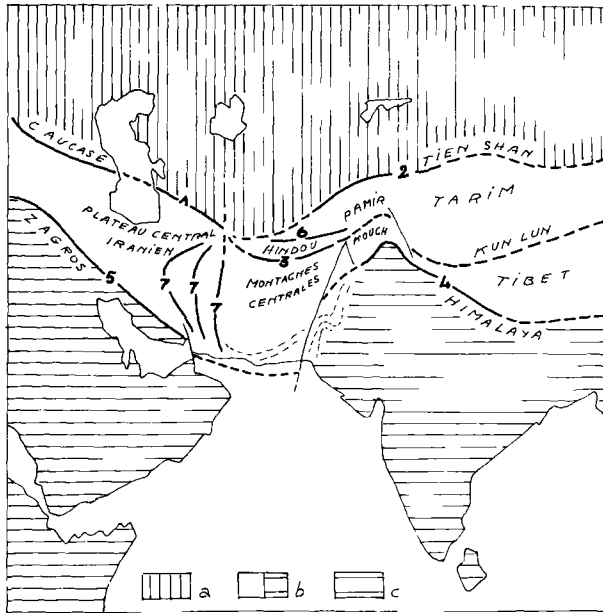


Fig. 4. — Distribution des éléments angariens et gondwaniens d'Afghanistan et des régions avoisinantes et sutures correspondantes.

Légende : 1, suture Nord-Iran. — 2, suture du Tien Shan. — 3, suture Sud-Hindou Kouch. — 4, suture de l'Indus. — 5, suture du Zagros. — 6, cassure Nord-Hindou Kouch. — 7, cassures du plateau central iranien.

a) éléments angariens ; b) ensemble des éléments gondwaniens soudés à l'Angara lors de la fermeture de la Téthys du Paléozoïque ancien ; c) éléments gondwaniens détachés des éléments gondwaniens plus septentrionaux lors de l'ouverture de la Téthys du Mésozoïque puis soudés à nouveau à ces derniers lors de la fermeture de cette dernière. (Comparer avec la fig. 5).

effectivement connue. En effet, l'Hindou Kouch trouve ses prolongements orientaux dans le Pamir méridional puis dans une partie du Karakorum et dans le Kun Lun (Kafarsky et Abdullah, 1974 ; Stöcklin, 1977). Faire passer là cette limite consiste donc à exclure du Gondwana l'Hindou Kouch et le Nord-afghan dont on vient cependant de montrer la probable appartenance à la marge nord du Gondwana. De plus et surtout, des faunes supposées gondwaniennes sont signalées (in Crawford, 1974) à la bordure nord du Tarim, c'est-à-dire aux confins sud du Tien Shan et peuvent être retenues pour repousser jusque-là au moins le domaine d'extension des caractères gondwaniens. Il reste donc l'hypothèse Sud-Tien Shan (Boulin et Bouyx, 1976, 1977 a et b), la seule acceptable, nous semble-

t-il, pour toutes les raisons qui conduisent à exclure les précédentes. Ainsi en vient-on à voir dans la suture du Tien Shan le prolongement oriental de la suture Nord-Iran, c'est-à-dire à faire passer au droit de l'Afghanistan la limite Angara-Gondwana quelque part sous les plaines de l'Amou Daria.

Dans l'interprétation ainsi retenue (fig. 4), on constate bien le caractère intra-gondwanien maintenant admis de la suture de l'Indus et de ses équivalents occidentaux. On constate aussi le caractère intra-gondwanien de la suture Sud-Hindou Kouch et celui de la cassure Nord-Hindou Kouch. Bref, on en vient à constater (Boulin et Bouyx, 1976, 1977 a et b) le développement en Afghanistan et dans les régions avoisinantes d'une fragmentation gondwaniennne d'âge probablement partout triasique génératrice d'une mosaïque de blocs gondwaniens que des espaces marins plus ou moins vastes et plus ou moins achevés d'un cas à l'autre ont séparé puis, au gré de la fermeture de ces espaces marins et d'une dérive vers le Nord, la coalescence ultérieure de ces blocs que l'on trouve maintenant rassemblés au bord sud de l'Angara.

2) Espaces téthysiens successifs. Leur nature, leur ampleur.

Une distinction s'impose d'emblée entre la Téthys du Paléozoïque ancien refermée lors de l'orogénèse hercynienne et dont on vient de montrer que la suture correspondante passe peut-être par le Nord de l'Iran, les plaines de l'Amou Daria et le Tien Shan sud, et la Téthys des auteurs, refermée lors de l'orogénèse alpine et que représente la suture de l'Indus, du Belouchistan et du Zagros, Téthys que l'on peut pour cela dire du Mésozoïque (Boulin et Bouyx, 1976). La première séparait l'Angara du Gondwana. La seconde, on l'a vu, était par contre, intra-gondwaniennne. On peut enfin appeler Téthys encore la mer qui, au Carbonifère et au Permien, s'est déployée sur les restes plus ou moins arasés de l'orogénèse hercynienne, notamment sur la cicatrice liée à cette orogénèse, recouvrant à la fois les secteurs sud de l'Angara et les secteurs nord du Gondwana. une Téthys que l'on peut parfois dire du Paléozoïque récent (Boulin et Bouyx, 1976).

a) La Téthys du Paléozoïque ancien (fig. 5) comportait les domaines épicontinentaux en les-

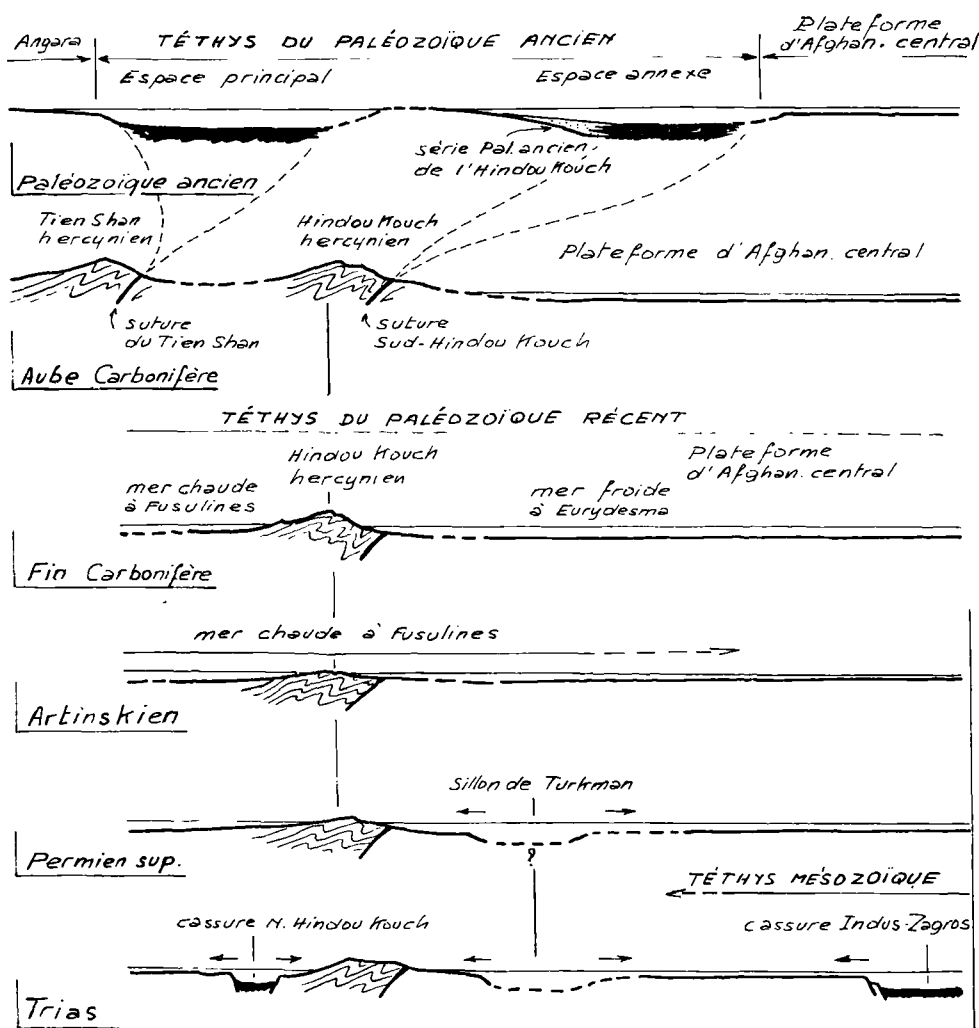


Fig. 5. — Esquisse très schématique montrant ce qu'a pu être, du Paléozoïque ancien au Mésozoïque, la distribution des éléments cratoniques et des espaces océaniques successifs sur la transversale de l'Afghanistan. (Comparer avec la fig. 4).

quelles se sont notamment déposées les séries paléozoïque inférieur et moyen des Montagnes centrales d'Afghanistan, du Plateau iranien et de la péninsule arabe. Elle comportait aussi les espaces à caractère océanique qui séparaient à l'époque ces domaines épicontinentaux des domaines angariens et que représentent notamment les "ophiolites" de la suture Nord-Iran - Tien Shan et celles de la bordure sud de l'Hindou Kouch, en sorte que ces espaces apparaissent comme ayant probablement comporté un espace principal, repré-

senté par la suture Nord-Iran - Tien Shan, et un espace annexe du précédent et greffé sur lui, représenté par la suture Sud-Hindou Kouch, et ces deux espaces comme ayant été séparés l'un de l'autre par un élément cratonique représenté probablement par le Nord-afghan. La série sédimentaire maintenant métamorphosée qui représente le Paléozoïque ancien dans l'Hindou Kouch occidental s'est peut-être au moins pour partie déposée sur la pente continentale selon laquelle l'espace annexe s'articulait à cet élément cratonique.

b) *La Téthys du Paléozoïque récent* (fig. 5) semble, au moins pour l'essentiel, avoir été épïcratonique. Le caractère habituellement épïc continental des sédiments qui s'y sont déposés et qui la représente en témoigne. Elle a cependant comporté au moins un sillon (Blaise, Boulin, Bouyx, Lys, Termier et Vachard, 1977) relativement profond que représente dans les Monts de Turkman la "série des schistes et quartzites du Haut-Helmend" et dont l'avènement, du Carbonifère au Permien, est probablement la première manifestation du système de contraintes en extension dont le développement, au Trias, a notamment donné la fissure Nord-Hindou Kouch. Cette Téthys du Paléozoïque récent, qui a notamment submergé les secteurs touchés par les événements tecto-orogéniques hercyniens, a probablement occupé de très vastes domaines, entre les séries angariennes au Nord et au Sud les secteurs émergés du Gondwana. Elle a comporté les secteurs chauds dans lesquels se sont développées, du Carbonifère au Sakmarien, les faunes chaudes que l'on considère pour opposer, en termes de climat, le Nord-afghan de l'époque et les Montagnes centrales. Ces secteurs chauds constituent la mer à Fusulines de laquelle sont notamment parties les faunes chaudes qui, à l'Artinskien, ont submergé les Montagnes centrales. On peut aussi rattacher à cette Téthys les secteurs froids qui, à l'Assélien-Sakmarien, ont constitué la mer à Eurydesma à laquelle les Montagnes centrales ont alors appartenu.

c) *La Téthys du Mésozoïque* (fig. 5), née de la fission triasique des secteurs nord du Gondwana, dans le prolongement de la "cassure téthysienne" de Méditerranée (Argyriadis, 1975) et qui est essentiellement représentée par la suture de l'Indus et ses équivalents occidentaux, a été, on le sait, un espace océanique à fond simique. A ce titre, elle s'apparente à la Téthys du Paléozoïque ancien et, comme cette dernière, elle a aussi comporté des espaces annexes maintenant représentés notamment par les fissures d'Iran central et par la fissure Nord-Hindou Kouch (fig. 4). Mais, tandis que l'essentiel de cette Téthys du Mésozoïque ne s'est refermé qu'à la fin du Mésozoïque en donnant les chaînes alpines d'Asie méridionale, certains de ses espaces annexes ont eu une existence plus brève, tel celui que représente la cassure Nord-Hindou Kouch, refermée à la veille même du Jurassique (Boulin et Bouyx, 1976, 1977a et b).

Parmi les trois espaces marins que l'on nomme ainsi Téthys, seul le premier, la Téthys du Paléozoïque ancien, est une authentique Téthys, dans la mesure où il a effectivement séparé le Gondwana de l'Angara et où il a comporté un fond simique. La Téthys du Paléozoïque récent a bien, elle aussi, séparé des terres angariennes et des terres gondwaniennes mais, apparaissant essentiellement épïcratonique, elle n'a peut-être pas comporté de fond simique. Quant à la Téthys du Mésozoïque, à fond simique, certes, elle n'est pas une Téthys au sens strict puisqu'elle est intra-gondwanienne. Pour l'appeler Téthys, il faut étendre le contenu du mot en ne considérant plus qu'il doit être réservé comme il l'a d'abord été pour seulement désigner l'espace marin dont le rivage nord devait être angarien et le rivage sud gondwanien.

De plus, admettre dans ces régions l'existence d'une Téthys du Paléozoïque ancien dont la fermeture a été suivie par l'édification de leurs chaînes hercyniennes puis l'avènement d'une Téthys mésozoïque dont la fermeture a été suivie par l'édification de leurs chaînes alpines revient à admettre que, au gré des ouvertures et des fermetures correspondantes, les confins, plus ou moins septentrionaux selon l'époque, du Gondwana ont subi, du Paléozoïque ancien jusqu'à la fin du Mésozoïque, des déplacements répétés et de sens contraires. Ces déplacements ne se peuvent guère concevoir et accepter que si l'on crédite seulement les espaces océaniques téthysiens successifs d'une ampleur relativement modeste, tout au plus de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres, et non de quelques centaines à quelques milliers (Boulin et Bouyx, 1977 b et c), comme cela est classiquement admis pour la Téthys du Mésozoïque. Ainsi en vient-on à admettre que les plaques intermédiaires constitutives de l'Asie méridionale n'ont jamais été très éloignées les unes des autres.

Enfin, dans cette même perspective, la distinction entre Angara et Gondwana, classiquement considérée comme tranchée parce que au moins pour partie fondée sur l'existence d'un espace téthysien relativement ample, perd quelque peu de son relief et devient quelque peu vaine la discussion menée pour situer la véritable position de la limite Angara-Gondwana. Cette distinction apparaît en effet comme

être essentiellement fondée non plus sur l'ampleur de l'espace marin séparant terres angariennes et gondwaniennes mais sur les facteurs climatiques. Certes, l'incidence de tels facteurs climatiques sur la distinction Angara-Gondwana peut être conçue comme la conséquence d'un éloignement important des zones qui paraissent distinctes mais elles se peuvent aussi concevoir (fig. 5) comme procédant du jeu de barrières climatiques plus ou moins efficaces d'une époque à l'autre et cela, en outre, au gré de fluctuations climatiques planétaires. Ainsi, l'invasion à l'Artinskien du versant sud de l'Hindou Kouch puis des Montagnes centrales d'Afghanistan par les faunes de la mer à Fusulines qui se cantonnaient jusque-là au Nord-afghan peut s'expliquer aussi bien par l'effacement, du fait de l'érosion sans doute, de la barrière que constituaient jusque-là, sur l'emplacement de l'Hindou Kouch, les restes émergés de l'orogénèse éo-hercynienne. L'existence d'une telle barrière est en tout cas prouvée par la nature des sédiments déposés à l'époque à son pour-

tour. Bref, la distinction entre Angara et Gondwana dans ces régions, si elle est maintenue, doit être discutée en termes de provinces climatiques plutôt qu'en termes de blocs cratoniques plus ou moins éloignés les uns des autres.

CONCLUSION

Ainsi, sur la transversale de l'Afghanistan, la vraie bordure gondwanienne nous paraît devoir être située au-delà du Nord-afghan et correspondre à la cicatrice de la branche nord d'une Téthys du Paléozoïque ancien refermée, comme la branche sud de celle-ci que représente la suture Sud-Hindou Kouch, lors de l'orogénèse hercynienne. De ce fait, les autres sutures et cassures péri-indiennes successives sont clairement intra-gondwaniennes. Enfin, la distinction Angara-Gondwana semble devoir être elle-même reconsidérée, dans une perspective essentiellement climatique et sur la base d'espaces téthysiens d'ampleur relativement limitée.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ARGYRIADIS I. (1975). — Mésogée permienne, chaîne hercynienne et cassure téthysienne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), XVII, p. 56-67.
- 2) BASSOULLET J.P., COLCHEN M. et MOUTERDE R. (1977). — Esquisse paléogéographique et essai sur l'évolution géodynamique de l'Himalaya. *Mém. h. s. Soc. Géol. Fr.*, n° 8, p. 213-234 (Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent).
- 3) BENDA L. (1964). — Die Jura-Flora aus der Saighan-serie Nord-Afghanistans. *Beih. geil. Jb.*, 70, S 99-152.
- 4) BLAISE J., BORDET P., MONTENAT C., DESPARMET R. et MARIN Ph. (1977). — Recherches géologiques dans les Montagnes centrales de l'Afghanistan (Hazarajat et sa bordure orientale). *Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent*, p. 117-143.
- 5) BLAISE J., BOULIN J., BOUYX E., LYS M., TERMIER G. et VACHARD D. (1977). — Découverte de Permien dans la "série des schistes et quartzites du Haut-Helmend" et incidences paléogéographiques. *C.R. somm. Soc. Géol. Fr.* (sous presse).
- 6) BLAISE J., DESPARMET R. et LAPPARENT A.F. de (1971). — Stratigraphie et structure du Paléozoïque de la région de Wardak, en Afghanistan. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. XIII, p. 420-429.
- 7) BLAISE J. et LAPPARENT A.F. de (1975). — Données sur le Paléozoïque des Monts de Turkman et de Paghman, en Afghanistan. *C.R. somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 176-179.
- 8) BOULIN J. (1972). — L'évolution stratigraphique et structurale de l'Hindou Kouch central, en Afghanistan, d'après la transversale du Salang. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam.*, (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 371-382.
- 9) BOULIN J. (1974). — La bordure Nord de l'Hindou Kouch central et occidental en Afghanistan, du Carbonifère au Crétacé. *2^e Réun. ann. Sc. Terre, Pont-à-Mousson*, p. 77.
- 10) BOULIN J. et BOUYX E. (1974). — L'évolution orogénique de l'Hindou Kouch occidental, en Afghanistan. *Coll. on the Geotectonics of the Kashmir Himalaya - Karakorum - Hindu Kush - Pamir Orogenic Belts, Atti Conv. Lincei, Rome*, 21, p. 193-207.
- 11) BOULIN J. et BOUYX E. (1976). — Fragmentation du Gondwana et fermeture de la Téthys en Afghanistan et dans les régions avoisinantes. *C.R. Ac. Sc.*, t. 282, p. 1777-1780.
- 12) BOULIN J. et BOUYX E. (1977a). — Introduction à la géologie de l'Hindou Kouch occidental. *Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent*, p. 87-105.
- 13) BOULIN J. et BOUYX E. (1977b). — Sutures péri-indiennes successives et structures d'Afghanistan. *C.R. Ac. Sc.*, t. 284, p. 795-798.
- 14) BOULIN J. et BOUYX E. (1977c). — Paléogéographies téthysiennes et Gondwana, en Afghanistan et dans les régions avoisinantes. *5^e Réun. ann. Sc. Terre, Rennes*.

- 15) BOULIN J., BOUYX E., LAPPARENT A.F. de, LYS M. et SEMENOFF-TIAN-CHANSKY P. (1975). — La transgression du Paléozoïque supérieur dans le versant nord de l'Hindou Kouch occidental, en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc.*, t. 281, p. 497-502.
- 16) BOULIN J., BOUYX E. et LYS M. (1973). — Découverte de Carbonifère inférieur marin (Viséen et Namurien A) à l'Est du col du Shebar, dans le versant méridional de l'Hindou Kouch, en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc.*, t. 277, p. 129-132.
- 17) BOULIN J. et LYS M. (1971). — Découverte de Carbonifère et de Permien marins à Khinjan, sur le versant nord de l'Hindou Kouch, en Afghanistan. *C.R. Ac. Sc.*, t. 273, p. 555-557.
- 18) BOUREAU E. et FURON R. (1950). — Note préliminaire sur des végétaux du Lias du Plateau iranien (Perse et Afghanistan). *C.R. somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 22-23.
- 19) BOUYX E. (1972). — Problèmes stratigraphiques et structuraux dans l'Hindou Kouch occidental, au Nord du Bassin de Bamyan. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 383-396.
- 20) BOUYX E., LAPPARENT A.F. de, TERMIER G. et TERMIER H. (1970). — Découverte de Goniatites dans le Permien inférieur de la Montagne de Bamyan (Hindou Kouch occidental, Afghanistan). *C.R. Ac. Sc.*, t. 270, p. 1441-1444.
- 21) BRUNN J.H., ARGYRIADIS I., RICOU L.E., POISSON A., MARCOUX J. et GRACIANSKY P.Ch. de (1976). — Eléments majeurs de liaison entre Taurides et Hellénides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. XVIII, p. 481-497.
- 22) BURTMAN V.S. (1975). — Structural geology of variscan Tien Shan. *Amer. J. Sci.*, vol. 275 A, p. 157-186.
- 23) CRAWFORD A.R. (1974). — The Indus Suture Line, the Himalaya, Tibet and Gondwanaland. *Geol. Mag.*, 111, n° 5, p. 369-381.
- 24) DESPARMET R. et MONTENAT C. (1972). — Les transgressions du Paléozoïque en Hazarajat (Afghanistan central). *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 397-414.
- 25) DRONOV V.I., KAFARSKIY A.Kh., DENIKAEV Sh.Sh., SALAH A.S., SONIN I.I., CHMYRIOV V.M. et ABDULLAH J. (1973). — Scheme of stratigraphy of Afghanistan (a short explanatory note to the geological map of Afghanistan on the scale 1/1.000.000). Geology and mineral resources of Afghanistan. Ed. 1, Kabul.
- 26) FOURQUIN (1975). — L'Anatolie du Nord-Ouest, marge méridionale du continent européen, histoire paléogéographique, tectonique et magmatique durant le Secondaire et le Tertiaire. *B.S.G.F.*, n° 6.
- 27) FLÜGEL (1972). — The development of the proto-Thetys during the paleozoic of Nord East. *N. Jb. Geol. Mh.*, H. 10.
- 28) FURON R. (1924). — Notes préliminaires sur la géologie de l'Est de l'Afghanistan (l'Hindou Kouch, régions nord et sud). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (4), t. XXIV, p. 1-12.
- 29) GANSSER A. (1964). — *Geology of the Himalaya*. London, Interscience Publ. John Wiley and Sons Ltd, 289 p.
- 30) GRIESBACH C.L. (1886). — Field-Notes from Afghanistan. *Rec. Geol. Surv. India*, vol. XIX, part. 4, p. 235-267.
- 31) HAYDEN H.H. (1911). — The geology of Northern Afghanistan. *Mem. Geol. Surv. India*, vol. XXXIX, part. 1, p. 1-97.
- 32) HAYDEN H.H. (1915). — Notes on the geology of Chitral, Gilgit and Pamirs. *Rec. Geol. Surv. India*, vol. 45, p. 271-335.
- 33) KAFARSKIY A.Kh. et ABDULLAH J. (1974). — Tectonics of North-East Afghanistan (Badakhshan, Wakhan, Nurestan) and relationship with the Adjacent Territories. *Atti. Conv. Lincei*, Rome, 21, p. 87-113.
- 34) LAPPARENT A.F. de (1962). — Du Crétacé à Orbitolines en Afghanistan central. *C.R. Ac. Sc.*, t. 255, p. 1311-1313.
- 35) LAPPARENT A.F. de (1972). — Esquisse géologique de l'Afghanistan. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 327-344.
- 36) LAPPARENT A.F. de et MERIAUX E. (1974). — Sur un charbon gondwanien d'Afghanistan central. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCIV, p. 127-131.
- 37) LAPPARENT A.F. de et BORDET P. (1963). — Du volcanisme en Afghanistan central. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. V, p. 214-217.
- 38) LAPPARENT A.F. de et LAVIGNE J. de (1965). — Le Crétacé marin à Saighan et à l'Ouest de l'Hindou Kouch (Afghanistan). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXIV, p. 249-252.
- 39) LAPPARENT A.F. de, PHILIP J., MARIE P. et DUFAURE P. (1974). — La Montagne de Parandaz et les transgressions crétacées en Afghanistan central. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. XVI, p. 311-318.
- 40) LAPPARENT A.F. de, TERMIER H. et TERMIER G. (1970). — Sur la stratigraphie et la paléobiologie de la série permo-carbonifère du Dacht-e-Nawar. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), t. XII, p. 565-572.
- 41) LYS M. (1977). — Biostratigraphie du Carbonifère et du Permien d'Afghanistan (Micropaléontologie). *Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent*, p. 291-308.
- 42) LYS M. et LAPPARENT A.F. de (1971). — Les Foraminifères et les microfaciès du Permien de l'Afghanistan central. *Notes Mém. Moyen-Orient*, t. XII, p. 48-166.
- 43) MENNESSIER G. (1962). — Sur la stratigraphie du Crétacé dans le Turkestan afghan. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXXII, p. 19-25.
- 44) NORIN E. (1946). — Geological explorations in western Tibet. *Rep. Sino-Swedish Expedit.*, 18, Aktiebolaget Thule, Stockholm, 214 p.
- 45) STÖCKLIN J. (1968). — Structural history and tectonics of Iran-a review. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, vol. 52, n° 7, p. 1229-1253.
- 46) STÖCKLIN J. (1974). — Possible ancient Continental Margins in Iran. *In: The geology of Continental Margins*, Springer-Verlag, p. 873-887.

- 47) STOCKLIN J. (1977). — Structural correlation of the alpine ranges between Iran and Central Asia. *Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent*, p. 333-353.
- 48) TERMIER G., TERMIER H. (1974). — Distribution des faunes marines dans le Sud de la Téthys et sur la bordure septentrionale du Gondwana au cours du Paléozoïque supérieur. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. 97, p. 387-446.
- 49) TERMIER H. et TERMIER G. (1977). — Position, entre Gondwana et Téthys, des provinces afghanes au Carbonifère et au Permien. Essai biogéographique. *Livre à la Mémoire de A.F. de Lapparent*, p. 309-324.
- 50) TERMIER H., TERMIER G., LAPPARENT A.F. de et MARIN P. (1973). — Monographie du Permo-Carbonifère de Wardak (Afghanistan). *Doc. Lab. Géol. Lyon*, h. s., n° 2, 167 p.
- 51) WEIPPERT D. (1964). — Zur Geologie des Gebietes Doab-Saighan-Hajar (Nord Afghanistan). *Beih. Geol. Jb.*, H 70, p. 153-183.
- 52) WOLFART R. (1967). — Sur Entwicklung der paläozoischen Tethys in Vorderasien. *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie*, Jahrg. 20, n° 3, p. 168-180.



Les structures du canal de Mozambique Le problème de la ride de Davie

par J. SEGOUFIN (*), L. LECLAIRE (***) et M. CLOCCHIATTI (**)

Sommaire. — Un grand nombre de profils géophysiques récents effectués dans le canal de Mozambique apportent des données nouvelles sur la structure de cette région. La connaissance de son évolution structurale est capitale pour la compréhension de l'histoire de Madagascar et la reconstitution du Gondwana.

Le canal de Mozambique est constitué de quatre unités structurales différentes : le domaine marginal malgache et le bassin des Comores à l'Est, séparés du bassin profond du canal de Mozambique à l'Ouest par la ride de Davie. Effectués dans les bassins des Comores et du canal de Mozambique, les profils sismiques ont montré que les séries sédimentaires sont très épaisses (3 à 4 secondes temps double) et viennent buter contre la ride. Par ailleurs, aucun des profils magnétiques traversant la ride de Davie n'a mis en évidence d'anomalie magnétique remarquable.

Une récente campagne de carottages a montré que sous une faible épaisseur de sédiments pélagiques allant de l'actuel au Crétacé supérieur, se trouvaient des grès arkosiques et des argillites pouvant constituer l'ossature de la ride. Cette dernière série lithologique présente des affinités avec le faciès Karoo.

Summary. — Recent geophysical profiles in the Mozambique Channel yield new informations upon the structure of this area. The structural evolution of the Mozambique Channel is extremely important when looking at the history of Madagascar and the problem of the reconstruction of Gondwanaland.

The Mozambique Channel can be divided into four structural units : to the east, the western marginal plateau of Madagascar with the Comores Basin both separated from the deep sedimentary basin of the Mozambique Channel by the Davie Ridge. Seismic profiles shot in the Comores Basin and in the deep Mozambique Channel Basin have shown the great thickness of the sediment cover (3 to 4s. D.T.) which wedges out against the ridge. The magnetic signature of the Davie Ridge is generally subdued.

New piston cores data on the Davie Ridge have shown that below a thin cover of pelagic sediments, ranging from Late Cretaceous to present, are sandstones and argillites. The Davie Ridge should be mainly built up by this lithological unit.

INTRODUCTION

De 1971 à 1977, le laboratoire de Géophysique Marine de l'Institut de Physique du Globe de Paris a effectué plusieurs campagnes à l'intérieur du canal de Mozambique et dans les bassins avoisinants : campagne GA-4 en 1971 où deux profils concernaient essentiellement le canal, puis trois campagnes effectuées en col-

laboration avec le Comité d'Etudes Pétrolières Marines : GA-6 en 1972, MD-02 en 1973 et MD-07 en 1975. En 1976, la campagne MD-09 organisée par le laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle à laquelle nous participions, faisait une incursion dans la partie Sud du canal. Enfin, tout récemment, en mai 1977, la campagne SU-02 intéressait le canal dans sa moitié Nord et plus particulièrement la ride de Davie.

Aux données recueillies au cours de ces campagnes, il faut ajouter celles des navires étrangers dont nous disposons, notamment celles du CHAIN 99, VEMA 20, GLOMAR CHALLENGER et du T.B. DAVIE.

(*) Laboratoire de Géophysique Marine de l'Institut de Physique du Globe de Paris, 4, Avenue de Neptune, 94100 Saint-Maur-des-Fossés.

(**) Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle, 43, rue Buffon, 75005 Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

LE CANAL DE MOZAMBIQUE

Le canal de Mozambique s'étend entre l'Afrique et Madagascar entre les latitudes 12° S et 26° S et les longitudes moyennes 36° E et 44° E. Il a 420 km de large au niveau de l'étranglement du cap Saint-André et environ 1.000 km dans sa partie la plus large. Sa longueur est d'environ 1.550 km (fig. 1).

Il apparaît constitué de quatre unités structurales différentes : le plateau marginal malgache à l'Est, le bassin des Comores au Nord-Est et au Nord la ride de Davie qui sépare les deux domaines précédents du bassin profond du canal de Mozambique situé à l'Ouest.

Les profils sismiques effectués dans les bassins des Comores et du canal de Mozambique ont montré que les séries sédimentaires sont très épaisses (3 à 4 secondes, temps double) et viennent buter contre la ride de Davie.

L'histoire géologique du canal de Mozambique est importante lorsque l'on aborde le problème de l'évolution de l'océan Indien. Les reconstructions du Gondwana à la fin du Paléozoïque placent Madagascar en trois positions différentes par rapport à l'Afrique :

— Au Nord, adjacent à la côte Est du Kenya et de Tanzanie, avec un mouvement ultérieur vers le Sud et l'Est (Du Toit, 1937 ; Fisher et al., 1968 ; Dietz et Holden, 1970 ; McElhinny, 1970 ; Smith et Hallam, 1970 ; Heirtzler et Burroughs, 1971 ; Laughton et al, 1972 ; Sowerbutts, 1972). Les dernières études paléomagnétiques effectuées sur des roches de Madagascar sont en faveur de cette hypothèse. (Razafindrazaka-Ramoroson, 1975 ; Embleton et McElhinny, 1975 ; McElhinny et Embleton, 1976).

— Au Sud, adjacent à la marge continentale du Mozambique ou du Natal avec une dérive ultérieure vers l'Est et le Nord (Wellington, 1954, 1955 ; Flores, 1970 ; Wright et McCurry, 1970 ; Tarling, 1972 ; Green, 1972). Là encore, il existe en faveur de cette hypothèse des arguments paléomagnétiques (Andriamirado, 1971).

— La troisième solution consiste à laisser Madagascar dans sa position actuelle ; le canal de Mozambique serait alors un graben d'effondrement (Dixey, 1960 ; Pepper et Everhardt, 1963 ; Flower et Strong, 1969 ; Tarling, 1971 ; Blant, 1973 ; Darracot, 1974 ; Förster, 1975).

LA RIDE DE DAVIE

C'est une structure alignée sensiblement Nord-Sud depuis la côte Sud-Ouest de Madagascar jusqu'à la côte Nord-Est du Mozambique qui partage en deux le canal de Mozambique.

Cette structure se traduit par un escarpement d'environ 750 m. Sa topographie du Nord au Sud est extrêmement variée mais tous les profils EW qui la recoupent montrent un escarpement vers l'Ouest et l'absence d'anomalie magnétique significative. Dans la partie Nord, son flanc Ouest est souligné par un alignement Nord-Sud des épicentres des séismes. Sur certains profils (MD2-13) apparaît un dédoublement du socle constituant la ride (fig. 2). Les profils sismiques montrent aussi une différence d'épaisseur sédimentaire de part et d'autre de la ride : environ 1 sTD à l'Est et plus de 2 sTD à l'Ouest, ce qui met en évidence le rôle de barrière joué par cette structure (fig. 2).

La ride de Davie est continue depuis 21° S jusqu'à 14° S où elle semble être relayée par une série d'accidents qui n'appartiennent peut-être pas à la même structure. Plus au Nord, elle n'est plus visible, au Sud de la latitude 21° S on suit difficilement sa trace, peut-être correspond-elle à deux accidents du socle acoustique visibles sur 4 profils sur la marge malgache. Auquel cas elle viendrait se confondre avec la pente continentale Sud-Ouest de Madagascar, très abrupte à ce niveau. Il est à remarquer qu'à cette latitude existe à terre le système de failles de Tuléar dont la direction principale est la même que celle de la ride de Davie.

La nature et l'âge de cette ride sont depuis longtemps controversés. Heirtzler et Burroughs (1971) assimilent cette structure à une faille transformante et admettent que sa direction correspond à celle du mouvement relatif de Madagascar par rapport au continent africain, pour ces auteurs, la dérive Nord-Sud aurait commencé au Tertiaire inférieur et se prolongerait actuellement.

Le forage 242 du Glomar Challenger s'est effectué sur le flanc Est de la ride de Davie. Réalisé par 2.275 m d'eau, il a pénétré 676 m de sédiments allant de l'Holocène à l'Éocène supérieur sans toutefois atteindre le socle. La séquence stratigraphique est constituée essentiellement de sédiments biogéniques. Apparem-

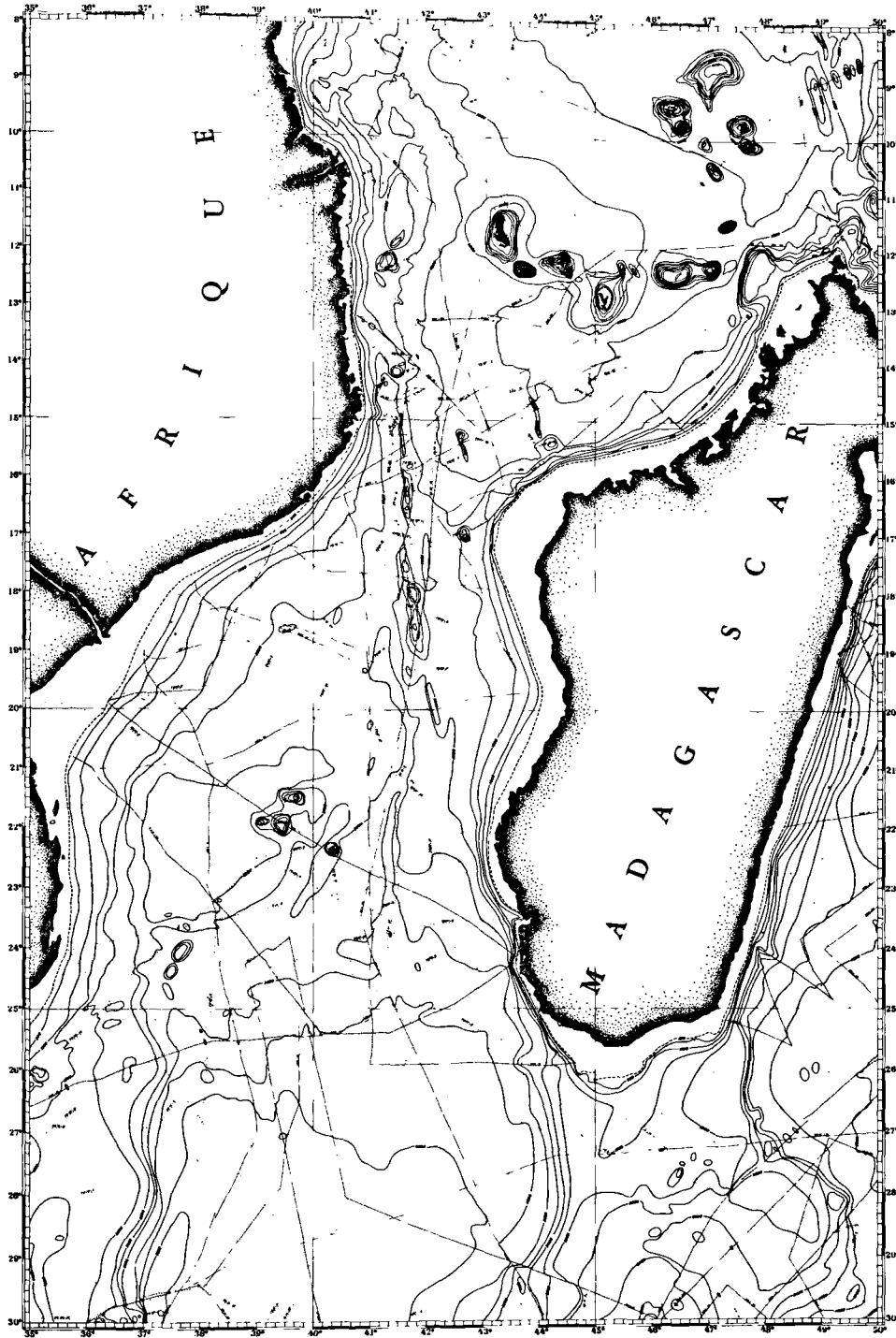


Fig. 1. — Carte bathymétrique du canal de Mozambique.
Intervalle entre chaque courbe : 500 m. - En pointillé : la courbe des 200 m.

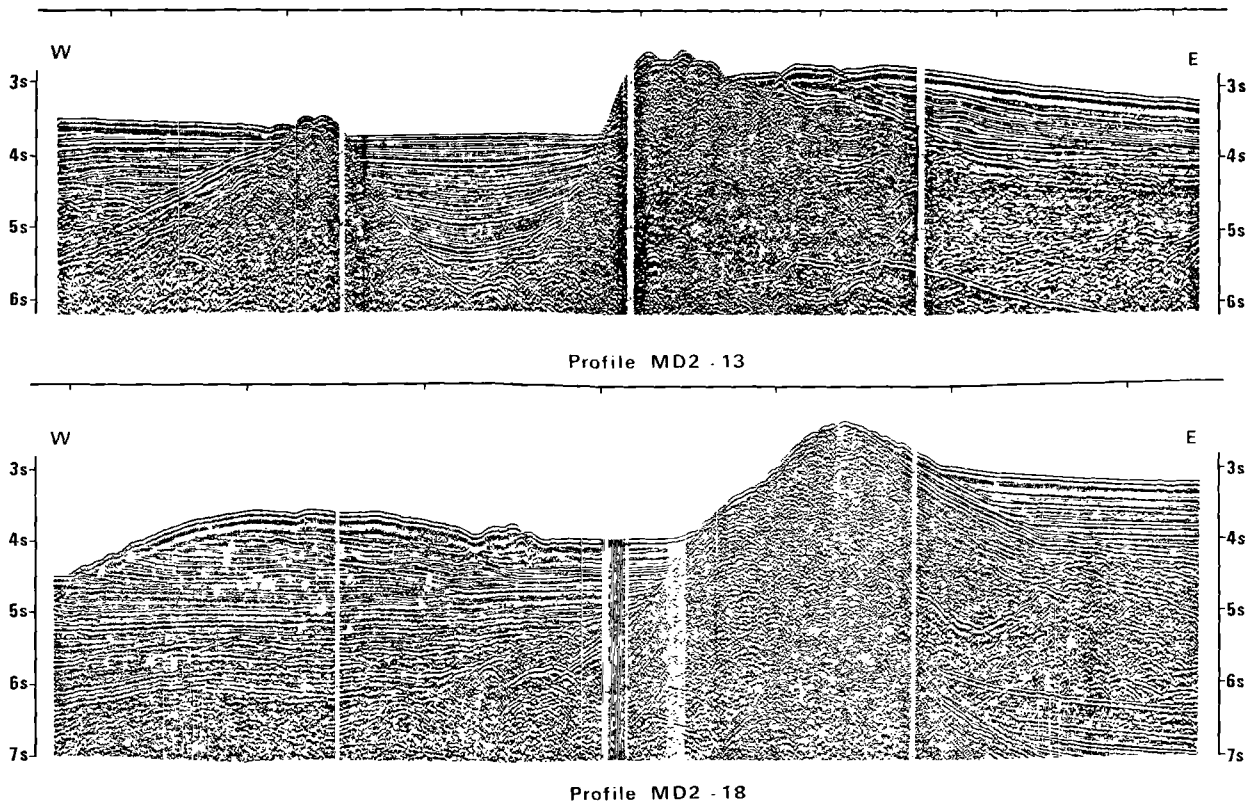


Fig. 2. — Profils de sismique Flexotir effectués sur la ride de Mozambique.

ment, il n'existe aucune lacune de sédimentation. Le site de forage avait été choisi au vu d'un profil "air gun" où le socle acoustique était situé approximativement à 640 m de profondeur. Ce niveau a été atteint par le forage. Les résultats ont montré qu'il correspondait à une compaction plus grande des sédiments. Des profils de sismique Flexotir effectués depuis, ont montré l'existence de réflecteurs plus profonds qui n'ont pas été atteints par le forage (Schlich, 1975).

La campagne SU-2, effectuée en avril 1977, avait pour objectif d'échantillonner par carottage et dragage le socle visible sur les profils sismiques Flexotir, et qui semble venir à l'affleurement sur les flancs Ouest et au sommet de la structure. 31 stations de carottage et un dragage ont été effectués au cours de cette campagne, sur la ride de Davie entre les latitudes 13°46' S et 18°30' S. Les résultats obtenus

ont montré que le sommet de la ride était recouvert d'une carapace polymétallique d'âge indéterminé. Sous cette cuirasse se trouve une couverture de sédiments pélagiques formés de boues calcaires à nanno-fossiles allant du Crétacé supérieur au Pliocène. Sous cette couverture, on trouve une formation plus ancienne, constituée d'argilites grises et de grès verts altérés, certains grès étant silicifiés ou présentant des traces de silicification. Ces grès arkosiques d'origine continentale ou de marge continentale semblent constituer l'ossature de la ride de Davie, et présentent des affinités certaines avec le faciès Karoo (fig. 3).

D'autre part, des changements de faciès observés au sein des dépôts pélagiques laissent supposer d'importants mouvements verticaux ayant affecté cette structure, selon une tectonique de "horst" et de "graben" depuis le Crétacé supérieur jusqu'à l'actuel.

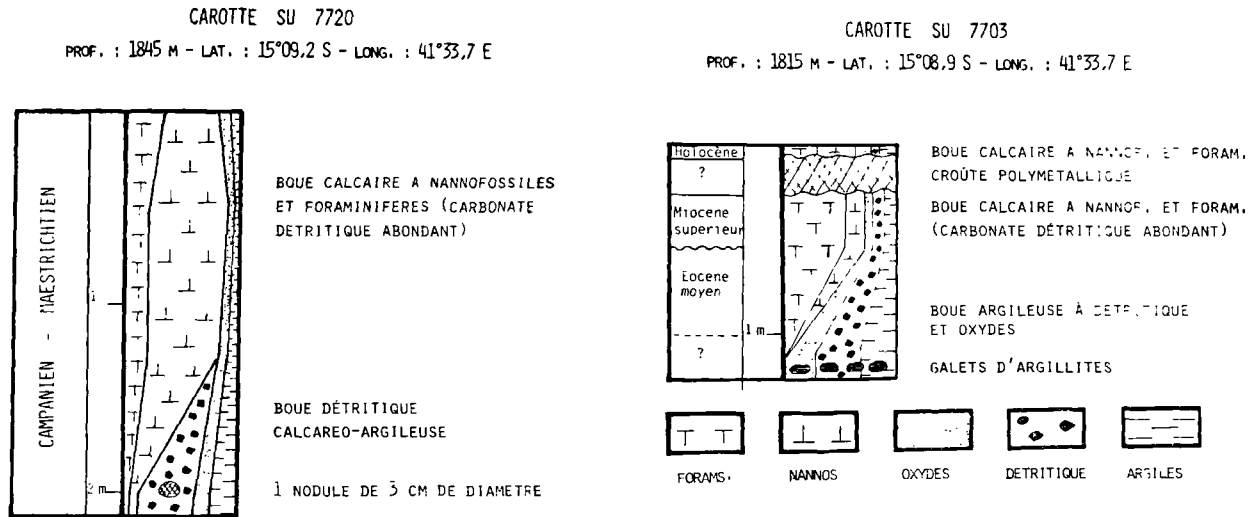


Fig. 3. — Exemples de logs stratigraphiques de carottes prélevées sur la ride de Davie au cours de la mission SU-2.

CONCLUSION

Ces données nouvelles qui montrent que la ride de Davie, située à l'intérieur du canal de Mozambique est constituée de roches tectoni-

sées, posent le problème de l'origine de cette ride, structure qui, en première hypothèse, pourrait être considérée comme un témoin surélevé, tectonisé, du socle africain, ou malgache.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ANDRIAMIRADO C.A.R. (1971). — Recherches paléomagnétiques sur Madagascar. Résultats et interprétations dans le cadre de la dislocation de la partie occidentale du Gondwana. Thèse, Université de Strasbourg.
- 2) BLANT G. (1972). — Structure et paléogéographie du littoral méridional et oriental de l'Afrique in Bassins sédimentaires du littoral africain. *Assoc. African Geological Surveys*.
- 3) DARRACOT B.W. (1974). — On the crustal structure and evolution of Southeastern Africa and the adjacent Indian Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 24, p. 282-290.
- 4) DIETZ R.S. and HOLDEN J.C. (1970). — Reconstruction of Pangaea: Breakup and dispersion of continents, Permian to present. *J. Geophys. Res.*, 75, p. 4939-4950.
- 5) DIXEY F. (1960). — The geology and geomorphology of Madagascar and a comparison with Eastern Africa. *Q. J. Geol. Soc. Lond.*, 116, p. 255-268.
- 6) DU TOIT A.L. (1937). — Our wandering continents. *Oliver and Boyd*, Edinburgh.
- 7) EMBLETON B.J.J. and McELHINNY M.W. (1975). — The paleoposition of Madagascar: Paleomagnetic evidence for the Isalo group. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 27, p. 329-341.
- 8) FISHER R.L., ENGEL C.G. and HILDE T.W.C. (1968). — Basalts dredged from the Amirante Ridge, Western Indian Ocean. *Deep Sea Res.*, 15, p. 521-534.
- 9) FLORES C. (1970). — Suggested origin of the Mozambique Channel. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, 73, p. 1-16.
- 10) FLOWER M.J.F. and STRONG D.F. (1969). — The significance of sandstone inclusions in lavas of the Comores archipelago. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, p. 47-50.
- 11) FORSTER R. (1975). — The geological history of the sedimentary basin of Southern Mozambique and some aspects of the origin of the Mozambique Channel. *Paleogeog., Palaeochim., Palaeoecol.*, 17, p. 267-287.
- 12) GREEN A.G. (1972). — Seafloor spreading in the Mozambique Channel. *Nature*, 236, p. 19-21.
- 13) HEIRTZLER J.R. and BURROUGHS R.H. (1971). — Madagascar's paleoposition: new data from the Mozambique Channel. *Sciences*, 174, p. 488-490.
- 14) LAUGHTON A.S., MATTHEWS D.H. and FISHER R.L. (1972). — The structure of the Indian Ocean, in: Vol. 4, part. 2 of « The Sea ». Ed. Maxwell A.E., Wiley. *Interscience*, p. 543-586.

- 15) McELHINNY M.W. (1970). — Formation of the Indian Ocean. *Nature*, 228, p. 977-979.
- 16) McELHINNY M.W. and EMBLETON B.J.J. (1976). — The palaeoposition of Madagascar: remanence and magnetic properties of late Palaeozoic sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 31, p. 101-112.
- 17) PEPPER J.E. and EVERHART G.M. (1963). — The Indian Ocean: the geology of its bordering lands and the configuration of its floor. *U.S.G.S. Misc. Geol. Invest.* Map 1-380 and text.
- 18) RAZAFINDRAZAKA-RAMOROSON G. (1975). — Paléomagnétisme des formations sédimentaires Permienne de Madagascar; conséquences pour la reconstitution du Gondwana oriental. *Thèse*, Université du Languedoc, Montpellier.
- 19) SCHLICH R. (1975). — Structure et âge de l'Océan Indien occidental. *Mém. h. sér. Soc. Géol. Fr.*, n° 6, 102 p.
- 20) SMITH A.G. and HALLAM A. (1970). — The fit of the Southern continents. *Nature*, 225, p. 139-144.
- 21) SOWERBUTTS W.T.C. (1972). — Rifting in Eastern Africa and the fragmentation of Gondwanaland. *Nature*, 235, p. 435-437.
- 22) TARLING D.H. (1971). — Gondwanaland, palaeomagnetism and continental drift. *Nature*, 229, p. 17-21.
- 23) TARLING D.H. (1972). — Another Gondwanaland. *Nature*, 238, p. 92-93.
- 24) WELLINGTON J.H. (1954). — The significance of the lower Zambes source. *S. African. J. Sci.* February.
- 25) WELLINGTON J.H. (1955). — Southern Africa. A geographical study. Cambridge University Press, Cambridge.
- 26) WRIGHT J.B. and McCURRY P. (1970). — The significance of sandstone inclusions in lavas of the Comores archipelago - a comment. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 8, p. 267-268.



Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb)

par Serge ELM I (*)

Sommaire. — Au cours du Jurassique, la bordure septentrionale du Gondwana subit plusieurs tentatives de dislocation; certaines sont suivies d'une cicatrisation rapide; les régions affectées se réinsèrent rapidement dans le domaine cratonique stable. D'autres tentatives, plus tardives, ont des conséquences plus durables et s'intègrent à l'histoire "océanique" de la Téthys.

Cette évolution s'organise suivant une nette polarité orientée du Sud vers le Nord, c'est-à-dire depuis le futur avant-pays alpin jusqu'au cœur de la chaîne; les principaux caractères sont:

— ouverture et blocage plus précoces des sillons méridionaux (atlasiques);

— les premières arrivées gréseuses, résultat d'un rajeunissement des reliefs sur la bordure africaine, migrent progressivement du Sud vers le Nord;

— le sillon tlemcenien, intermédiaire, se bloque après le sillon atlasique mais avant le sillon tellien externe dans lequel le régime pélagique se maintient pendant toute la fin du Jurassique.

Cette polarité du Sud vers le Nord est aussi sensible dans la tectogenèse atlasique dont les manifestations sont plus précoces près du bâti africain. Elle est compliquée par une vergence d'Est en Ouest depuis le domaine "océanique" de la Téthys orientale.

Summary. — Several attempts of breacking occured during the Jurassic along the northern border of the Gondwana mainland. Some of these dislocations were linked with the opening of the Eastern Tethys; they were followed by a fast closure; the affected regions (atlasic sector *s.l.*, tlemcenian sector) were quickly reinstated within the stable cratonic (gondwanian) realm. This is the intra-gondwanian part of the atlasic story. The phases of closure denoted the existence of an eo-atlasic compression.

Other types of dislocations took place later, it was related to the opening of the Central Atlantic. Then began the alpine story (perigondwanian) of the Western Maghreb.

A North-South cross-section of the african margin in Western Orania (Algeria) shows that the main paleogeographical units had an heterochronous evolution during the Mesozoic. There was an actual polarity (sedimentary, tectonic) from South to North:

— the phases of opening and of subsequent closing were precocious in the southern, atlasic, furrows (High Atlas, Saharian Atlas and their dependences);

— the sandy material appears first in the South and, after, it shifted northward;

— between the northern alpine (tellian) realm and the atlasic (southern) sector, there was the tlemcenian realm which operated like a furrow bounded at the South by the "Hautes Plaines", a resistant block. The opening was later in the external Tell and in the tlemcenian sector than in the atlasic realm. But the closing did not occured at the same time. The tlemcenian realm was reintegrated within a carbonate platform, bording the Gondwana mainland, as soon as the late Jurassic.

Il est classique de faire coïncider la limite septentrionale du Gondwana avec la ligne sud-atlasique. Or, si dans l'Ouest maghrébin (Haut-Atlas), cette dernière correspond localement à une frontière géologique réelle, soulignée par

une flexure connue depuis les premiers travaux de Menchikoff (1934), il n'en est pas toujours de même à l'Est de Figuig où de nombreux auteurs (Busson, 1970; Bassoullet, 1975; entre autres) ont signalé la difficulté de trouver une différence brutale entre Atlas et Sahara au cours de la sédimentogenèse mésozoïque. Tout se passe comme si le passage était relativement graduel, en particulier à hauteur de l'Atlas saharien.

(*) Département des Sciences de la Terre, Université Claude Bernard et Centre de paléontologie stratigraphique associé au C.N.R.S. - Lyon.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

Nous étudierons (fig. 1) une zone correspondant à l'Atlas Saharien, aux Hautes-Plaines oranaises s. str., à l'alignement tlemcenien et à sa bordure tellienne (Tell Oranais, Ouarsenis). Dans cette région, on note que de grands linéaments tectoniques facilitent le déplacement vers le Nord du bâti africain. Ils se répartissent en trois principales directions : NNE (NS à N 30°), WNW (N 70 à N 90°), NW (N 110 à N 140°), que l'on retrouve aussi bien dans les édifices précambriens que paléozoïques. Dans le système maghrébin (Berbérides s. l.), elles s'organisent suivant une mosaïque sensible à toute échelle. Il faut en tenir compte dans toutes les reconstitutions paléogéographiques et paléotectoniques. Ainsi, ces structures compliquent les reconstitutions E-W et masquent les influences sub-méridiennes.

Afin d'étudier le comportement de la marge gondwaniennne, nous nous intéresserons à la partie centrale de l'édifice maghrébin, limitée

latéralement par deux grandes cicatrices. A l'Ouest, il s'agit de l'alignement NNE bordant le Moyen-Atlas à l'Est et qui, vers le Nord, décale de façon senestre le massif de Terni-Mazgout par rapport à son homologue oriental des Beni-Snassène. A l'Est, la limite correspond à la cicatrice WNW que l'on suit depuis la retombée occidentale des Aurès jusqu'au Chenoua en passant par le bord occidental des Monts du Hodna ; c'est la "géosuture" Aurès-Hodna de Guiraud (1973, 1975).

Le vaste ensemble central, ainsi délimité, correspond probablement à un immense coin enfoncé vers le Nord. Les trois directions citées ci-dessus et leurs déviations ont continuellement joué au cours de l'histoire post-pangéenne. Les mouvements synsédimentaires actuellement connus se font surtout selon un faisceau de directions allant de NNE à ENE. Nous analyserons ici surtout l'organisation transversale NS ou NNW-SSE qui, au cours du Jurassique, devait

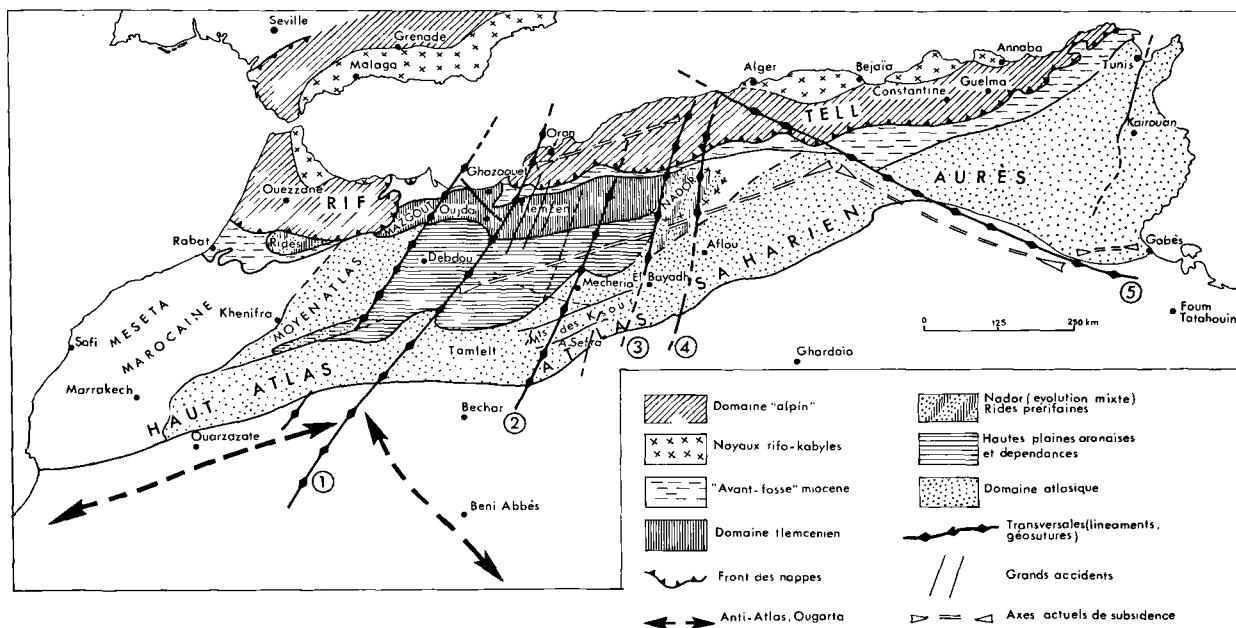


Fig. 1. — Grands traits de la mosaïque atlasique de l'Afrique du NW (Berbérie). Cette carte a pour but de résumer les problèmes évoqués dans le texte. Les grandes transversales correspondent à des sutures du socle hercynien ; en surface leur expression se fait souvent par des directions déviées (failles en échelon ; "Rièdel"). On notera le rôle primordial qu'elles jouent dans la segmentation du domaine atlasique ; cette différenciation s'est probablement affirmée dès le début de la dislocation post-hercynienne. On remarquera aussi la position intermédiaire du domaine tlemcenien qui n'a pas d'équivalent, à l'exception possible des chaînes prébétiques (hors document).

1 : transversale de la Tafna. — 2 : transversale d'Ain-Sefra. — 3 : transversale de Tiarat. — 4 : transversale de Teniet-el-Haad. — 5 : cicatrice Aurès-Hodna.

correspondre à des unités plus franchement orientées E-W qu'actuellement (N 45° à N 70°). Il faut en effet tenir compte des grands décrochements senestres (N 20°) dont les rejets se cumulent (fig. 1) : transversales de la Tafna, d'Ain Sefra-Saida, de Tiaret-El Bayad (= Géryville), de Teniet-el-Haad et leurs satellites. Elles provoquent aussi la segmentation du domaine atlasique en branches de directions différentes : Atlas Saharien SW-NE, chaînons E-W à l'W de Figuig-Beni-Ounif, Haut-Atlas WSW-ENE à l'W de la transversale de la Tafna.

L'histoire de la marge NW du Gondwana va d'abord être dominée par un effritement qui affecte en premier le domaine atlasique pour gagner ensuite progressivement vers le Nord. Mais les sillons latitudinaux qui s'individualisent alors seront rapidement cicatrisés selon la même polarité du Sud vers le Nord.

I. — LES PAROXYSMES DE L'ÉVOLUTION TECTONO-SEDIMENTAIRE

Après les premières phases de distension et d'ouverture au Trias (transgressions limitées du Trias moyen, épanchements basaltiques, intrusions doléritiques), la région subit, pendant le Jurassique et le début du Crétacé, une instabilité générale. On peut y reconnaître des paroxysmes, responsables d'importants changements paléogéographiques (Du Dresnay, 1974, 1975 ; Elmi, 1972 ; Bassoullet, 1973 ; Guardia, 1975).

a) A la fin du Trias ou au début de l'Hettangien, la reprise de la subsidence amène le retour de conditions marines marginales dans le domaine atlasique et ses dépendances (Moyen Atlas, Nador de Tiaret) ; il s'y développe une *plate-forme carbonatée méridionale*. Cette dernière est en liaison probable avec une mer plus ouverte (distension "triasico-liasique" de la Téthys orientale).

b) La limite Sinémurien (inférieur)-Lotharingien marque la fin de rajustements tectoniques qui provoquent l'ouverture d'un étroit sillon pélagique dans les parties les plus subsidentes du domaine atlasique. La *plate-forme carbonatée méridionale* est alors en voie de dislocation.

Ces phases initiales ne sont guère sensibles à l'extérieur du domaine atlasique. Il faut cependant remarquer que des dolérites existent loca-

lement sur le horst de Rhar-Roubane ; mal datées, elles sont recouvertes par les niveaux transgressifs du Carixien et du Domérien ; elles pourraient être une conséquence de l'épisode distensif du Lias inférieur.

c) Au début du Lias moyen, les régions septentrionales jusqu'alors émergées subissent une transgression limitée (Hautes-Plaines oranaises, domaine tlemcenien, et probablement bord méridional du Tell). Il s'y installe une *plate-forme carbonatée septentrionale*.

Il faut donc souligner que la *plate-forme carbonatée* n'est pas de même âge dans toute la Mésogée et que sa dislocation résulte d'extensions hétérochrones.

d) La phase domérienne voit la distension se généraliser. La *plate-forme carbonatée septentrionale* se disloque. La région est soumise à un régime de mer ouverte se différenciant peu à peu en bassin pélagique à l'exception des Hautes-Plaines — émergées au Toarcien — et de quelques îles parsemant les domaines tlemcenien et tellien.

e) La phase aalénienne est caractérisée par des jeux différentiels accusant la ségrégation entre hauts-fonds et zones subsidentes.

f) Au début du Bajocien supérieur, des rajustements tectoniques et paléogéographiques majeurs s'amorcent. Ce sont, d'abord, les premières arrivées gréseuses dans le sillon atlasique, coïncidant avec un enfoncement généralisé dans le domaine tlemcenien. A la fin du Bajocien, les premières manifestations des *compressions éo-atlasiques* sont responsables du comblement de l'Atlas saharien qui retrouve des conditions néritiques.

g) La phase bathonienne (matmatienne) exagère les effets des changements bajociens. La lacune totale du Bathonien supérieur dans le domaine tlemcenien coïncide avec des traces de nette compression dans le Moyen-Atlas (synclinal d'El Mers) et avec l'installation d'un régime épinéritique dans l'Atlas saharien.

Au Callovien, le domaine tlemcenien et le bord méridional du Tell reçoivent les premières décharges gréseuses qui s'organisent en séquences flyschoides (Lucas, 1942 ; Elmi et Benest, 1978).

h) A l'Oxfordien supérieur, (phase "argovienne"), le sillon tlemcenien se cicatrise ; il

s'y installe des conditions paraliques avec la sédimentation molassique des "Grès de Bou Médine". La compression éo-atlasique s'est déplacée vers le Nord ; corrélativement, la distension devient plus active dans le domaine tellien. On peut cependant remarquer que des compressions plus localisées ont pu se manifester auparavant (Djebel-es-Sekika ; Djebel-Kmer).

i) Les compressions atlasiques atteignent le domaine alpin nettement plus tard ; c'est la phase infracrétacée récemment décrite dans les "massifs à schistosité" d'Oranie (Dubel et al., 1977) après sa mise en évidence dans les Babors (Obert, 1974).

II. — LES DIFFERENCIATIONS REGIONALES

Les mouvements tectoniques (flexures, failles, compressions) provoquent l'individualisation de plusieurs unités paléogéographiques aux dépens du bord africain (gondwanien). Ce sont, au N du craton saharien (fig. 1) : le domaine atlasique, les Hautes-Plaines oranaises plus stables, le domaine tlemcenien et le domaine tellien. Chaque unité présente une réelle homogénéité malgré une diversification très poussée (Elmi, 1976). Nous examinerons seulement leur comportement en fonction de la tectonisation de la marge africaine.

a) *Domaine atlasique.*

Probablement dès la fin du Trias (Bassoullet, 1973), il s'y installe (fig. 2) un régime marin d'abord marginal puis de plus en plus ouvert, au moins en ce qui concerne la partie axiale (Aïn-Ouarka, Djebel Chemarikh). Jusqu'au Bajocien, flexuration et tectonique cassante amènent un approfondissement et un élargissement du sillon qui envahit presque toute la largeur de la future chaîne atlasique des Monts des Ksour. Vers le Nord, cet élargissement se fait aux dépens des zones néritiques. Les faciès liés aux pentes sédimentaires se déplacent corrélativement. Par exemple, on assiste à la migration vers le Nord :

— des ravinements et des phénomènes associés [Sinémurien inférieur dans l'axe ; Carixien et Domérien inférieur dans les zones intermédiaires du Djebel Souiga ; Toarcien en bordure de la zone de raccordement aux Hautes-Plaines où se mettent en place des brèches syn-sédimentaires décrites par Bassoullet (1973)] ;

— des faciès grumeleux et des "ammonitico-rosso" apparentés présentant des phénomènes de tri mécanique (passage Carixien-Domérien dans l'axe ; Domérien au Souiga ; du Toarcien au Bajocien inférieur au Djebel Melah de Mécheria) ;

— des faciès à *Cancellolophycus* (généralement pelmicrites à filaments indiquant la partie distale de pentes dans un environnement correspondant au rebord du plateau continental ; Lucas, 1942).

A la limite Bajocien moyen - Bajocien supérieur arrivent les premiers apports gréseux en provenance de reliefs rajeunis puis érodés dont l'emplacement doit être recherché dans le domaine saharien et, aussi, dans les zones hautes situées plus à l'Est, comme le seuil de Tamlelt.

Ce matériel gréseux constitue des bancs compacts affectés à la base, par de rares flute-casts et, au sommet, par des rides de courants (Bassoullet, 1973, Pl.) souvent interférentes ("marques en cuiller", Elmi et Benest, 1978). Il s'agit d'une tentative de sédimentation d'origine, flyschoides, relativement profonde.

Brutalement, à la limite Bajocien-Bathonien, l'installation de faciès néritiques, coralliens et organogènes suit une réorganisation structurale qu'elle souligne. Le sillon atlasique est bloqué, suite à de premières contraintes compressives, contemporaines des déformations anticlinales bien connues dans le Haut Atlas et le Moyen Atlas (Dubar, 1938 ; Du Dresnay, 1974, 1975). Les Monts des Ksour se réintègrent ensuite progressivement au continent en subsistant, au Callovo-Oxfordien, un régime molassique paralique (formation du Djara) alimenté par une progradation deltaïque venant de l'WSW (Baïche et Delfaud, 1976). A la fin du Jurassique (formation d'Aïssa), la région s'inscrit dans un vaste complexe fluviodeltaïque qui se poursuit au début du Crétacé et qui ne sera interrompue que par la transgression cénomano-turonienne.

b) *Domaine tlemcenien.*

L'évolution est semblable à celle que nous venons de retracer pour l'Atlas Saharien occidental, mais elle est très nettement décalée dans le temps par un intervalle que l'on peut estimer entre 10 et 20 millions d'années selon les événements (fig. 2).

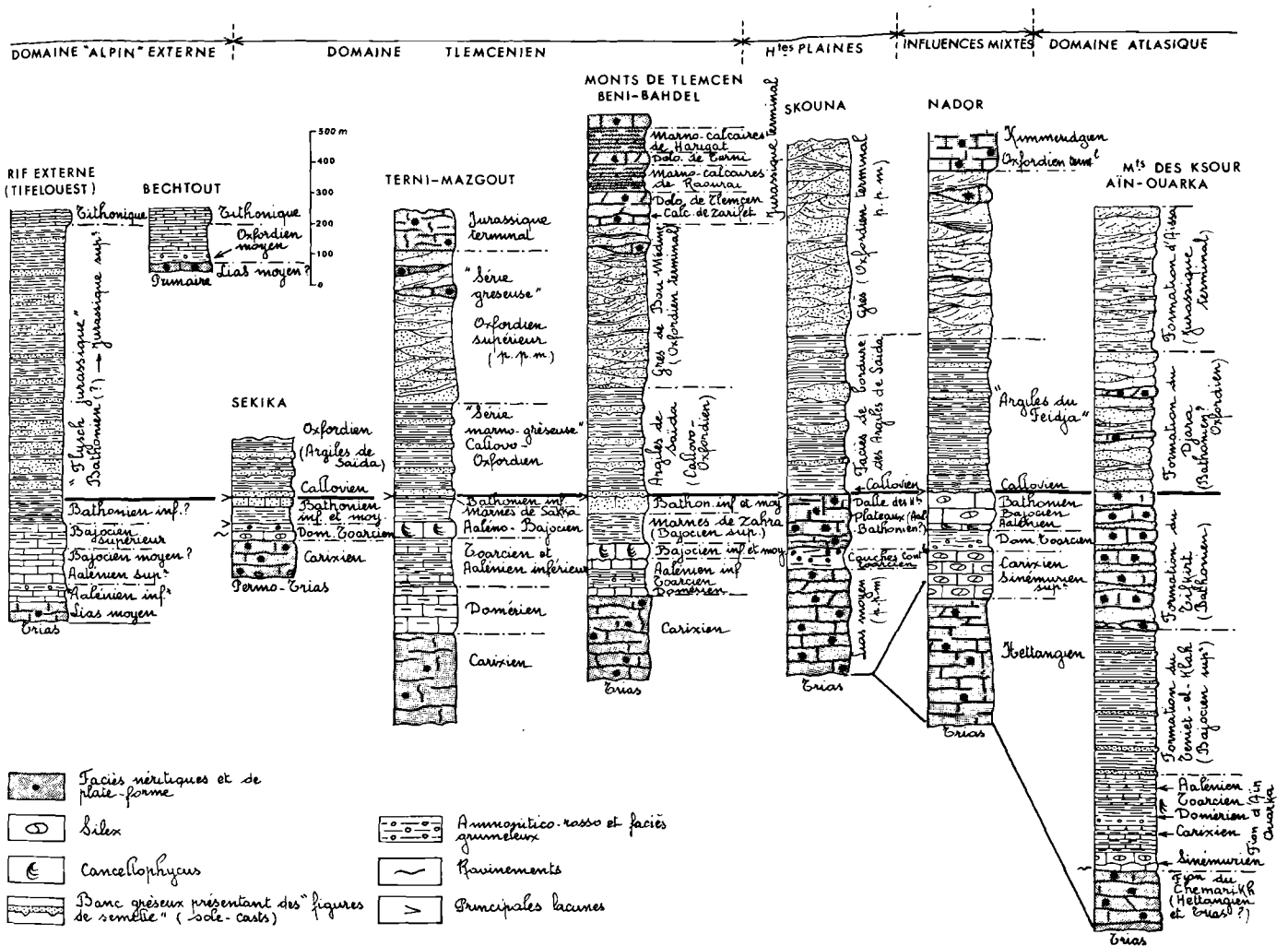


Fig. 2. — Exemples simplifiés de séries stratigraphiques du Jurassique dans les différents secteurs de la marge septentrionale du Gondwana entre les méridiens de Melilla et de Tenès.

Rif externe (d'après Andrieux, 1971) : noter les ammonitico-rosso aaléniens, la sédimentation silto-péltitique (flysch jurassique) et l'absence de dépôts néritiques dans le Jurassique supérieur.

Djebel Bechtout (d'après Lucas, 1952) : les ammonitico-rosso sont tardifs (Oxfordien moyen).

Djebel Sekika (partiellement d'après Guardia, 1975 et des levés de l'auteur) ; série incomplète : noter les ammonitico-rosso tertiens.

Terni-Mazgout (d'après Ennadifi, 1974) : noter l'épisode paralique molassique de la fin de l'Oxfordien.

Beni-Bahdel (d'après Lucas, 1942 ; Benest, 1972 et des levés de l'auteur).

Skouna (d'après des résultats de sondages du BRMA aimablement communiqués par Lucas).

Nador (d'après des levés de l'auteur complétés par des données de 1952, de Lucas, 1952 et de Caratini, 1970). On remarque le caractère mixte de la succession : atlasique jusqu'à l'Aalénien, tlemcenienne ensuite.

Aïn Ouarka (d'après Bassoullet, 1973 ; Douïhasni, 1976 et des levés de l'auteur). Remarque : l'installation précoce du régime de sillon ; la réapparition dès le Bathonien des faciès néritiques et l'installation d'un régime paralique probablement au passage Bathonien-Callovien.

La plate-forme carbonatée de type "interne" s'installe au Carixien mais elle est très rapidement disloquée puisqu'au Domérien les faciès de mer ouverte se généralisent (Atrops et al., 1970).

Au Toarcien, les conditions de plate-forme carbonatée et de plate-forme ferrugineuse coexistent. Le raccord avec les zones subsidentes se fait par des faciès de pente (couches grumeleuses et "ammonitico-rosso" argileux); les *Cancellophycus* abondent à l'articulation entre plateau continental et zones plus profondes.

La phase aalénienne accentue ces différences. Sur les secteurs résistants, les courants amènent du matériel gréseux d'origine rapprochée, ce qui dénote un rajeunissement des reliefs dont certains peuvent alors émerger (Lucas, 1942; Benest, Dubel et Elmi, 1978). Le littoral correspond alors à des côtes abruptes. Ce régime dure jusqu'au Bathonien moyen.

Au Bajocien supérieur s'amorce un enfoncement d'ensemble. Les hauts-fonds commencent l'évolution qui provoque leur ennoyage au Callovien (Lucas, 1942). Ce mouvement est ralenti par les saccades intra-bathonniennes, contemporaines de la cicatrisation du sillon atlasique et qui peuvent être génératrices de compressions localisées.

L'arrivée de matériel gréseux dans le sillon tlemcenien va d'abord donner l'épisode silteux du Bathonien ("Calcaires microgréseux"), puis la sédimentation rythmique, flyschoïde du Callovien-Oxfordien ("Argiles de Saïda"). Près du sommet de ce complexe (Oxfordien inférieur), les conditions bathymétriques sont toujours relativement profondes (posidonomyes, *Cancellophycus*). Immédiatement ensuite (Oxfordien moyen?), les conditions changent et des brèches synsédimentaires annoncent la cicatrisation; cette dernière provoque l'émersion temporaire de larges secteurs et, surtout, le dépôt du complexe paralique ou molassique des "Grès de Bou-Medine" (Oxfordien terminal, début du Kimméridgien). Un tel blocage ne peut se réaliser que par une compression du sillon.

Le domaine tlemcenien constitue alors le front du vaste complexe fluvio-deltaïque qui forme un bourrelet au N du Gondwana et qui a progressé depuis les confins atlaso-sahariens depuis le début du Jurassique moyen. Du fait de sa position marginale, ce domaine sera ensuite le lieu de transgressions limitées venant de la

Téthys mais il montrera tous les caractères d'une bordure épicontinentale de bloc stable cratonisé.

c) *Domaine tellien.*

L'évolution de sa partie externe est difficile à reconstituer en raison de la dislocation alpine et de la rareté des faunes stratigraphiquement significatives (fig. 2). Les études récentes (Andrieux, 1971; Guardia, 1975; Fenet, 1975; Dubel et al., 1976; observations personnelles) et la comparaison avec les secteurs plus orientaux (Ouarsenis, Massifs du Cheliff, Babors) permettent cependant d'établir l'enchaînement des principaux événements. Les domaines les plus subsidents semblent être ceux décrits par Andrieux (1971) dans le Tifelouest (Rif) et par Fenet (1975) dans les monts d'Arzew.

Jusqu'à l'Oxfordien, l'évolution tectono-sédimentaire semble remarquablement parallèle à celle du domaine tlemcenien. Au Lias moyen, la région fait partie de la *plate-forme carbonatée septentrionale* qui se disloque à la fin du Carixien ou au début du Domérien. Les "ammonitico-rosso" et les faciès grumeleux sont connus au Toarcien et à l'Aalénien. Les calcaires à "filaments" (ou à posidonomyes) abondent pendant l'Aalénien-Bajocien. La sédimentation devient ensuite de plus en plus argileuse et les arrivées gréseuses déterminent l'apparition des premiers flyschs (oxfordiens?). Les effets du blocage du sillon tlemcenien sont négligeables et l'environnement marin reste pélagique jusqu'à la fin du Jurassique, avec, probablement, un approfondissement général. Suivant les secteurs, se déposent des flyschs ou des calcaires à Saccocomidés. Sur les pentes, des ammonitico-rosso se développent encore (Oxfordien moyen et supérieur du Bechtout, par exemple). En outre, Fenet (1975) a remarqué que les flyschs débutaient plus tôt dans les secteurs les plus externes, ce qui souligne bien la vergence vers le Nord.

La ségrégation du domaine tellien intervient donc à la fin de l'Oxfordien; le sillon ne subit les premières compressions importantes qu'au cours du Crétacé inférieur (Obert, 1974; Dubel et al., 1977). Au Jurassique terminal, certains hauts-fonds sont rajeunis, ce qui détermine la mise en place de brèches synsédimentaires locales (Tafaraoui: cf. Fenet, 1975) et peut-être même le retour de la sédimentation carbonatée épinéritique (écailles dont le matériel présente des affinités avec les "Dolomies de Tlemcen" dans le Murdjadjo; cf. Elmi et Benest, 1978).

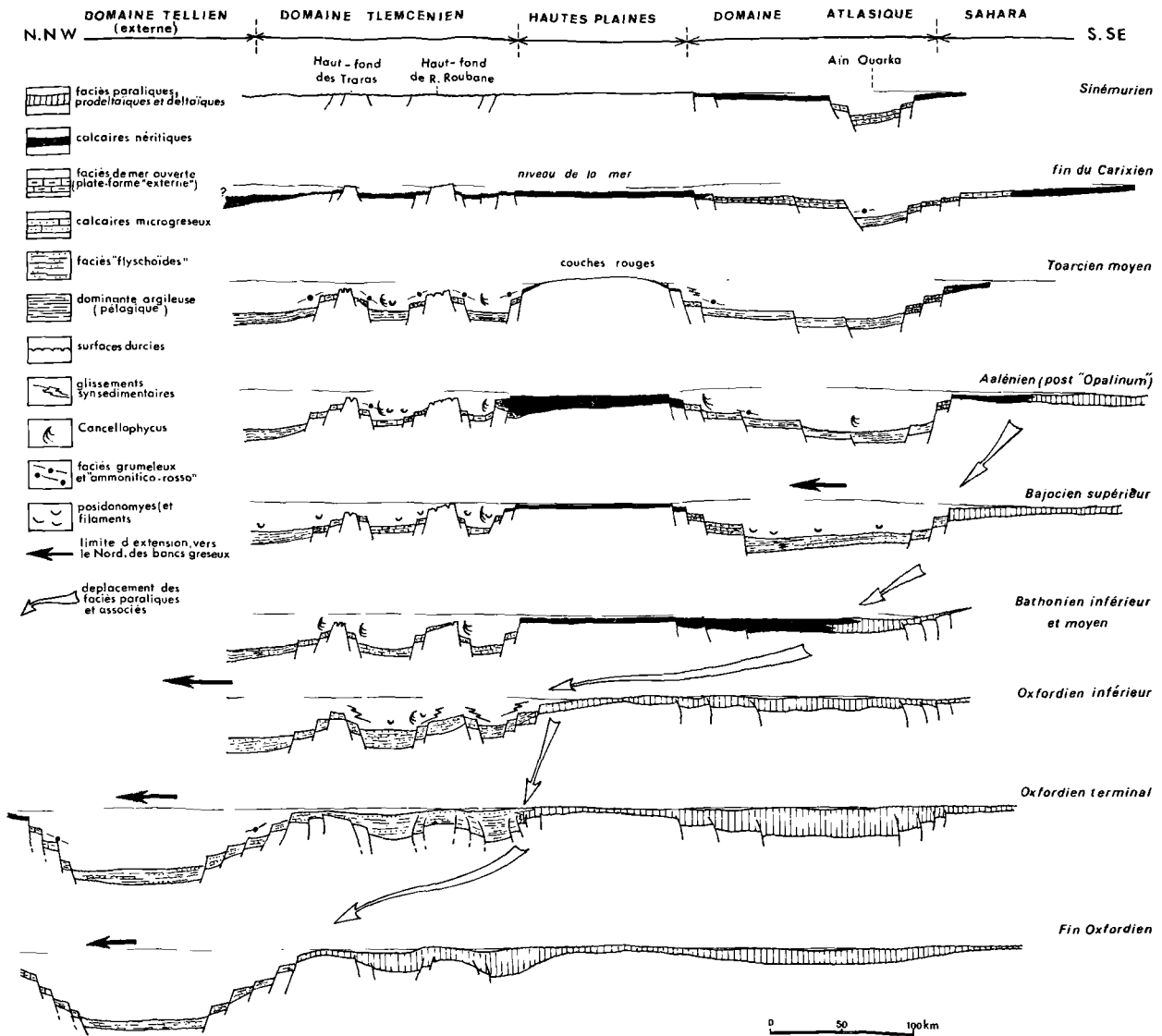


Fig. 3. — Evolution tectonosédimentaire de la bordure gondwanienne entre la Méditerranée (environs de Ghazaouet) et le Sahara (sans échelle verticale).

Le déplacement vers le Nord des grands événements paléogéographiques est évident. A chaque époque ont été utilisées les données bathymétriques et l'épaisseur relative des dépôts. Le schéma de l'Oxfordien inférieur retrace la paléogéographie au moment où le sillon tlemcenien subit l'enfoncement maximal. Pour l'Oxfordien terminal, la première coupe correspond à l'état paléogéographique immédiatement après la phase "argovienne" et avant le développement de la sédimentation paralique qui est tracée sur la deuxième coupe.

On n'a pas tenu compte de la composante horizontale des mouvements.

III. — QUELQUES ELEMENTS DE L'ÉVOLUTION TECTONO-SEDIMENTAIRE DE LA BORDURE GONDWANIENNE ET LA TECTONIQUE EO-ATLASIQUE

L'analyse précédente montre que les diverses bandes bordant le Gondwana subissent une évolution hétérochrone (fig. 3). Les décalages résultent d'une nette polarité, orientée du Sud vers le Nord, et dont les principaux aspects sont :

— ouverture et blocage plus précoces des sillons méridionaux ; l'énorme subsidence centro-atlasique et les premières contraintes compressives expliquent peut-être le développement de minéraux de type "schistes bleus" dans le Trias éruptif de l'axe du sillon (Aïn Ouarka ; Flamand, 1911) ;

— les premières arrivées gréseuses, résultat d'un rajeunissement des reliefs sur la bordure africaine, migrent progressivement du Sud (Bajocien moyen) vers le Nord (Oxfordien) ; elles s'organisent en séquences dont le caractère "flysch" s'accroît dans le même sens ;

— le régime paralique à végétaux est plus précoce et plus durable au Sud (Atlas saharien) qu'au Nord ; il n'atteint pas le domaine tellien ;

— le sillon tlemcenien se bloque après le sillon atlasique.

Le Jurassique a donc vu se mettre en place un véritable système tectonique éo-atlasique sur la bordure gondwaniennne. Ses mécanismes et son âge sont différents de ceux évoqués récemment pour la tectonique éo-cimmérienne (Argyriadis et al., 1976) qui est plus précoce et qui provoque la tectonisation d'une bande périhercynienne avec des compressions sensibles de la Dobrouja à l'Iran Central.

La polarité du Sud vers le Nord est aussi compliquée par une vergence d'Est en Ouest

depuis le domaine "océanique" de la Téthys orientale. On peut remarquer que les zones isopiques dépendant de la bordure africano-gondwaniennne se simplifient apparemment vers l'Est :

— disparition du véritable domaine tlemcenien, remplacé par le secteur préatlasique (Guiraud, 1975) à partir du Hodna ;

— disparition des Hautes-Plaines oranaises qui perdent leur individualité à l'E de la transversale Tiaret - El-Bayad ;

— à l'Est des chaînes maghrebines, on ne retrouve pas de prolongement du véritable domaine atlasique malgré l'évidente parenté avec les sillons de l'Apennin externe (Marche-Ombrie) et de la zone ionienne (Bernouilli, 1969 ; Elmi, sous presse). En Marche-Ombrie, l'évolution est de type atlasique jusqu'au Bajocien inférieur et moyen. Au "Calcare Massiccio" correspondent les masses carbonatées de la formation du Chemarikh ; la "Corniola" a son équivalent dans la formation d'Aïn Ouarka et de ses homologues dans les Atlas marocains et du Djebel Nador. On note l'existence concomitante des Ammonitico rosso et des faciès grumeleux voisins ("Calcare nocciola" du Monte Nerone).

Ce n'est qu'à partir du Bajocien supérieur que l'évolution diverge nettement.

En conclusion, le système orogénique jurassique en Oranie obéit à la conjonction de deux types de dislocations :

— les unes sont en relation avec l'océanisation de la Téthys orientale ; elles n'aboutiront qu'à un effritement provisoire du bord gondwanienn ; c'est la partie intracratonique (intra-gondwaniennne) de l'histoire atlasique ;

— les autres sont en relation avec l'océanisation de l'Atlantique central ; elles amorceront l'histoire alpine (péricratonique) du Maghreb.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ANDRIEUX J. (1971). — La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. *Notes Mém. Serv. géol. Maroc*, Rabat, n° 235, 155 p., 152 fig., Pl. I-II.
- 2) ARGYRIADIS I., BRUNN J.H., FOURQUIN C. et GRACIANSKY P. de (1975). — Aspect de la tectonique éo-cimmérienne en Mésogée. *3^e Réunion. ann. Sci. Terre*, Montpellier, Soc. géol. France, p. 15.
- 3) ATROPS F., DUBEL C., ELMI S. et REVERT J. (1970). — La limite Domérien-Toarcien et l'apparition de la sédimentation marneuse dans le Lias des Monts de Rhar-Roubane (Ouest algérien). *Bull. Soc. Hist. nat. Afrique Nord*, Alger, t. 61, fasc. 3-4, p. 9-18.
- 4) BAICHE A. et DELFAUD J. (1976). — La sédimentation détritico-deltaïque de haut de delta dans le Jurassique de la région de Djenienne (Monts des Ksour, Atlas saharien, Algérie). *4^e Réunion. ann. Sci. Terre. Soc. géol. France*, Paris, p. 27.

- 5) BASSOULLET J.P. (1973). — Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). Thèse, Paris, 2 t., 497 p., 50 fig., Pl. A-I et h.-t. 1-3, 32 pl.
- 6) BENEST M. (1972). — Les formations carbonatées et les grands rythmes du Jurassique supérieur des Monts de Tlemcen (Algérie). C.R. Ac. Sc., Paris, sér. D, t. 275, p. 1469-1471, 2 fig.
- 7) BENEST M., DUBEL C. et ELM I S. (1978). — Modalités de l'apparition de la sédimentation carbonatée de plate-forme interne sur la frange méridionale du domaine tlemcenien pendant l'Aalénien et le Bajocien : Les "Dolomies du Tenouchfi" (Algérie Nord-occidentale). Sous presse, 40 p. dactyl., 10 fig. 6 pl.
- 8) BERNOUILLI (1969). — Redeposited pelagic sediments in the Jurassic of the central mediterranean area. *Ann. Inst. Geol. Publ. Hungarici*, Budapest, vol. LIV, fasc. 2, p. 71-90, 12 fig.
- 9) BUSSON G. (1970). — Le Mésozoïque saharien (2^e partie). Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. *Publ. C. Rech. Zones arides*, Paris, n° 11, 788 p., 152 fig., 70 tabl., 51 pl. h.-t.
- 10) CARATINI C. (1970). — Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. *Publ. Serv. géol. Algérie*, Alger, N. S., n° 40, t. I, 238 p., 84 text.-fig., 18 tabl.; t. II, p. 241-311, text.-fig. 85-107, 3 schémas, VIII pl., 1 pl. h.1t.
- 11) DOUIHASNI M. (1976). — Etude géologique de la région d'Ain Ouarka-Boussemghoun (partie centrale des Monts des Ksour). Analyse structurale. Thèse 3^e cycle, Oran, t. I : Stratigraphie, 120 p., 21 fig. 1 pl.
- 12) DUBAR G. (1938). — Sur la formation de rides à l'Aalénien et au Bajocien dans le Haut-Atlas de Midelt. *Bull. Soc. géol. France*, Paris, t. 206, p. 525-527.
- 13) DUBEL C., GONORD H. et ROLET J. (1977). — A propos de l'âge du métamorphisme dans les massifs côtiers oranais (Algérie). 5^e Réun. ann. Sci. Terre, Rennes, Soc. géol. France, Paris, p. 206.
- 14) DRESNAY R. du (1974). — Relations paléogéographiques entre sillons atlasiques (Haut et Moyen Atlas) et plate-forme des Hauts-Plateaux (Maroc oriental), pendant le Bajocien. *Coll. Jurassique*, Luxembourg, 1967, *Mém. B.R.G.M.*, n° 75, p. 147-161, 5 fig.
- 15) DRESNAY R. du (1975). — Influence de l'héritage structural tardi-hercynien et de la tectonique contemporaine sur la sédimentation jurassique, dans le sillon marin du Haut-Atlas, Maroc. 9^e Congrès intern. Sédim., Nice, thème 4, p. 103-108, 2 fig.
- 16) ELM I S. (1972). — L'instabilité des Monts de Tlemcen et de Rhar-Boubane (Ouest algérien) pendant le Jurassique, interprétation paléogéographique. C.R. somm. Soc. géol. France, n° 5, p. 220-222.
- 17) ELM I S. (1976). — A propos de la différenciation alpine (tellienne) en Oranie. 4^e Réun. ann. Sci. Terre, Paris, Soc. géol. France, Paris, p. 160, 1 fig.
- 18) ELM I S. et BENEST M. (1978). — Les "Argiles de Saïda", faciès flyschoides du Callovo-Oxfordien du sillon tlemcenien (Ouest algérien) ; stratonomie, environnement, interprétation et évolution paléogéographique. Sous presse, Lyon, 48 p., 14 fig., 9 pl.
- 19) ENNADIFI Y. (1974). — Etude géologique du Pré-Rif oriental et de son avant-pays (région comprise entre Mezquitem, Aïn-Zohra et Tizeroutine). *Notes Mém. Serv. géol. Maroc*, Rabat, n° 253, 66 p., 19 fig., 5 pl.
- 20) FENET B. (1975). — Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse nord-maghrébin : les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. Thèse Sciences, Nice, 301 p., 101 fig., Pl. A-D.
- 21) FLAMAND G. (1911). — Recherches géologiques et géographiques sur le Haut-Pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du Sud). Rey, éd., Lyon, 1001 p., 157 fig., 22 cartes, 16 pl.
- 22) GUARDIA P. (1975). — Géodynamique de la marge alpine du continent africain, d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale (relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique). Thèse Sciences, Nice, 289 p., 141 fig., Pl. I-IV.
- 23) GUIRAUD R. (1975). — L'évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, Masson, éd., Paris, vol. XVII, fasc. 4, p. 427-446, 12 fig.
- 24) LUCAS G. (1942). — Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar Rouban et du Sidi el Abed. *Bull. Serv. géol. Algérie*, sér. 2, n° 16, 539 p., 131 fig., XXXIV pl.
- 25) LUCAS G. (1952). — Bordure des Hautes plaines dans l'Algérie occidentale. Primaire. Jurassique. Analyse structurale. XIX^e Congrès géol. intern., Alger. Monographies régionales. 1^{re} série : Algérie, n° 21, p. 57-132, fig. 21-59.
- 26) MENCHIKOFF N. (1934). — Sur le rivage de la Mésogée jurassique dans les confins algéro-marocains. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 198, p. 1617-1619.
- 27) OBERT D. (1974). — Phases tectoniques mésozoïques d'âge antécénomanien dans les Babors (Tell nord-sétifien, Algérie). *Bull. Soc. géol. France* sér. 7, t. XVI, n° 2, p. 171-176, 3 fig.

Maroc et Gondwana

par Jean-Michel DUTUIT (*)

Sommaire. — Les seuls fossiles identifiés à la base de la formation d'Argana sont des Lépospondyles nectridiens du type de ceux que l'on trouve dans l'Autunien de l'Ohio et du Texas (*Diploceraspis*, *Diplocaulus*).

Dans la série moyenne, l'ensemble faunique principal est assimilable à la faune de type C définie par Romer (1969). On retrouve ses éléments en Amérique du Nord, en Europe, à Madagascar, en Inde.

Les liens pouvant exister entre les faunes gondwaniennes marocaines et les faunes contemporaines d'Afrique du Sud et d'Amérique du Sud sont pour le moment mal discernables et probablement ténus.

Summary. — At the basis of the Argana formation only some Nectridian Lepospondyles were identified. They are of *Diploceraspis*- or *Diplocaulus*-type (Ohio or Texas Autunian).

In the middle series the principal faunistic group is assimilable to the type C Romer's fauna (Romer, 1969). One finds its principal elements in North-America, in Europa, in Madagascar, in India.

Presently one sees only with difficulty the binds which can exist between the Gondwanian Moroccan faunas and the South-African and South-American contemporaneous faunas.

I. — Introduction

Depuis une quinzaine d'années, une série de découvertes paléontologiques a eu lieu dans la formation continentale d'Argana. Rappelons qu'il s'agit des plus importants gisements de Vertébrés d'Afrique du Nord. La faune triasique de Stégocéphales, Dipneustes et Reptiles de Zarzaitine-Edjelé, dans le Sud-algérien, est très fragmentaire et mal conservée (Lehman, 1971). On ne connaît dans le Muschelkalk de Tunisie que quelques restes de Placodontes et de Nothosaures (Gorce, 1960).

Au Maroc, les couches rouges fossilifères d'époque gondwaniennes sont situées stratigraphiquement entre le Stéphano-autunien et le Dogger. Si l'on englobe dans les couches gondwaniennes les niveaux à plantes de ce même Stéphano-autunien, nous avons un ensemble géographiquement compact localisé entre les massifs paléozoïques de l'Atlas occidental et les plateaux jurassico-crétacés côtiers.

On peut commencer à envisager quelques corrélations élémentaires des niveaux fossili-

fères à Vertébrés marocains. C'est ce que je ferai ici. Ces schémas sont à coup sûr destinés à être profondément modifiés à l'avenir.

II. — Présentation de la formation d'Argana

La formation d'Argana est une succession de couches pélitiques et plus franchement gréseuses reposant en discordance :

— soit directement sur le Paléozoïque ancien des massifs primaires ;

— soit sur des couches qu'une faune (*Anthracomya calcifera*, *Estheria limbata*, *Candonia elongata*, *Leaia carbonita*) et une flore (*Cordaites*, *Pecopteris*, *Sphenophyllum oblongifolium*, *Walchia*) ont amené à placer dans le Stéphano-autunien.

Tixeront (1973) divise la formation d'Argana en trois séries séparées par deux discordances intraformationnelles. Par commodité, les termes de ces séries seront désignés par leurs indices. Ce sont les suivants :

Série inférieure : t1, t2.

Série moyenne : t3, t4, t5.

Série supérieure : t6, t7, t8.

(*) Institut de Paléontologie, 8, rue de Buffon, 75005 Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

Les découvertes de Vertébrés faites depuis 1962 ont permis de préciser la chronologie relative des différents niveaux :

— Le niveau t3 représente probablement la partie supérieure du Trias moyen, voire même la base du Trias supérieur (présence de Stégocéphales cyclotosauridés).

— Le niveau t5 est Trias supérieur (présence de Phytosaures, de Stégocéphales métoposauridés, d'empreintes de Théropodes et de grands Dicynodontes). Par voie de conséquence, la série supérieure serait également Trias supérieur.

— Le débat existe toujours en ce qui concerne la série inférieure : Trias ou Permien ? La découverte de *Voltzia* à la base de la formation allait dans le sens d'une attribution au Trias de ces niveaux. Le problème a été reposé avec les premiers résultats des fouilles effectuées en 1975 au sommet de la série inférieure de la formation. Les seuls fossiles clairement identifiés dans ces couches sont des Amphibiens Lépospondyles nectridiens découverts très au-dessus des couches dans lesquelles avaient été trouvées des "*Voltzia*", plantes fossiles dont il faudrait probablement revoir l'identification (Dutuit, 1976b). En ce qui concerne les Lépospondyles, il est classiquement admis qu'ils s'éteignent au Permien inférieur en Amérique du Nord.

Si l'étude approfondie de la faune du niveau t2 confirmait que la base de la formation est permienne, il faudrait alors admettre qu'existe une importante lacune entre la série inférieure et la série moyenne, cette dernière appartenant déjà au Trias moyen, voire même supérieur.

III. — Données fauniques

Les faunes de Vertébrés découvertes dans la formation d'Argana sont schématiquement les suivantes :

Terme t2.

- Des lépospondyles nectridiens.
- Peut-être des Captorhinomorphes, cette identification étant livrée sous toute réserve. J'avais d'abord envisagé que ces restes très fragmentaires de mâchoires à plusieurs rangées dentaires aient pu appartenir à des Rhynchocéphales lorsque les "*Voltzia*" de la base de la formation donnaient à penser que nous pouvions être dans le Trias. La présence de Lépospondyles dans ces niveaux m'amène aujourd'hui à en faire plutôt des Captorhinomorphes, en première hypothèse.

- De grands Reptiles sont présents dans la faune, mais ne pourront être identifiés qu'après préparation du matériel.

Terme t4.

Pour la première fois en 1975 un gisement fut découvert dans ce niveau. Les Stégocéphales découverts sont probablement des Cyclotosauridés, fossiles dont le seul intérêt stratigraphique est de situer le niveau t4 assez haut dans le Trias.

Terme t5.

Niveau inférieur :

- Actinoptérygiens et Dipneustes.
- Stégocéphales métoposauridés et almasauridés.
- Reptiles kannémérydés, pseudosuchiens, prosauro-podes et phytosauridés.

Niveau supérieur :

- Stégocéphales métoposauridés.
- Reptiles phytosauridés.

IV. — Commentaires généraux de ces faunes

Deux problèmes doivent être au moins effleurés si l'on ne veut pas tirer des conclusions prématurées de la répartition stratigraphique des différentes faunes.

a) *Les principaux gisements du niveau t5 se regroupent de façon compacte à l'extrémité Nord du couloir d'Argana.* Cette concentration géographique peut s'expliquer de plusieurs façons :

- la nature du relief est différente au Nord du col "Tizi ou Maâchou" et au Sud du col ;
- les méthodes de prospection utilisées ont été sans doute plus intensives au Nord, plus extensives au Sud du col ;
- les difficultés d'exploitation des gisements découverts dans les termes supérieurs du niveau t5 sont considérables au Sud du col, ce qui a amené à privilégier l'exploitation de ceux découverts au Nord ;
- l'importance relative des affleurements des différents niveaux varie au Nord et au Sud du col : On observe par exemple un certain laminage des termes inférieurs du t5 au Sud du col.

b) *On peut observer une faune beaucoup plus variée à la base du niveau t5 que dans les autres niveaux.*

Ce problème est plus intéressant à résoudre que le précédent. Il semblerait bien que cette plus grande fréquence des restes de Verté-

brés dans le t5 ne soit pas seulement apparente, due par exemple à de meilleures conditions de prospection, mais bien réelle. Les explications peuvent être :

— que de meilleures conditions de fossilisation ont régné à cette époque ;

— que les conditions de vie étaient alors plus favorables ;

— qu'il y eût alors épanouissement des groupes sans changement radical de conditions de vie.

Il semble probable que les conditions de fossilisation aient été en effet meilleures lors des dépôts du t5. Les chenaux, les stratifications entrecroisées, sont très abondants dans le t5 (Avertchenko, 1973). La diversité de direction de mise en place des apports terrigènes a dû favoriser la fossilisation des cadavres. De plus, les alternances de sédiments, grès-pélites, sont très fréquentes dans le t5, surtout à la base de ce niveau. On constate empiriquement que cette alternance (qui témoigne dans une certaine mesure d'une variation corrélative des conditions au moins locales de vie) a été favorable à la fossilisation.

Ces quelques considérations ne peuvent que nous inciter à la prudence dans notre estimation des biomasses envisageables pour les différentes séries. Rien ne nous permet d'affirmer par exemple que cette biomasse a été moins abondante durant le t2 que durant le t5.

V. — Corrélations envisageables

Je prendrai comme cadre de comparaison la répartition des faunes triasiques faite par Romer (1969) en trois types A, B, C, s'inscrivant grossièrement dans la chronologie du Trias : Trias inférieur, moyen et supérieur.

a) *Faune du t5*. Cet ensemble se compare aisément au groupe C de Romer et plus précisément à la faune des couches nord-américaines de Newark, Chinle, Dockum, Popo Agie, Chugwater, etc..., faune de milieu principalement marécageux ou fluviale où dominent les Phytosaures et les Métoposaures, mais où l'on trouve aussi des empreintes de pas de Prosauropodes et des grands Kannéméyéridés.

Pour le moment, les grands absents de l'ensemble faunique marocain sont les Thérapsidés évolués, tels que les Tritylodontes et les

Cynodontes terminaux. Il n'est évidemment pas impossible que l'on puisse les y trouver un jour.

Si les affinités majeures sont avec les U.S.A., les Phytosaures et les Métoposaures se retrouvent en Europe (Keuper), en Inde (formation de Maleri), à Madagascar (couches de l'Isalo : Dutuit, note en voie de parution au Bulletin du Muséum).

Par rapport à l'Amérique du Sud, on remarquera d'abord la pauvreté en Thécodontes. Hormis les Phytosaures de la base et du sommet du niveau t5, le seul Thécodonte découvert est un Pseudosuchien de type rausuchidé proche de *Ticinosuchus*, qui s'accorderait mieux dans un contexte de faune de type B. Jusqu'à présent, les affinités sont minces entre la faune de type C marocaine et les faunes contemporaines sud-américaines et sud-africaines.

b) *Faune de type B*. La faune intermédiaire B de Romer serait mal représentée dans la formation d'Argana (ce qui se conçoit si la lacune médio-formationnelle est aussi importante qu'elle le semble). Les éléments de cette faune seraient en quelque sorte télescopés avec ceux de la faune C : présence d'un grand Pseudosuchien et de Dicynodontes géants à la base du t5.

Insistons en passant sur le fait qu'aucun Reptile mammalien évolué n'a été découvert jusqu'à ce jour au Maroc.

c) *Faune du t4*. Réduite pour le moment aux Cyclotosauridés dont nous avons parlé plus haut, elle amènerait a priori à une recherche d'affinités du côté des gisements européens.

d) *Problème de la faune de type A*. A l'heure actuelle, il n'y en a pas trace au Maroc. Rappelons que les faunes du Beaufort supérieur montrent une prédominance des Cynodontes et de certains Kannéméyéridés. En Amérique du Sud, une telle faune englobe aussi des Amphibiens tels que *Chigutisaurus*, *Pelorocephalus*, etc... Il n'y a aucune raison de trouver ce type faunique si la lacune médioformationnelle représente la partie supérieure du Permien et la partie inférieure du Trias.

e) *Faune du t2*. Les Nectridiens découverts en 1975 sont proches de ceux du Texas et de l'Ohio. Il sera intéressant d'étudier les Reptiles associés.

f) *Autres affinités*. Les Cyclotosauridés du niveau t4 pourraient témoigner de relations

continentales avec l'Afrique du Sud dans la mesure où l'on y connaît des Parotosauridés.

Il faudra chercher à l'avenir quels liens de parenté peuvent avoir les Dicynodontes marocains avec ceux de la partie australe du Gondwana.

Almasaurus, un Stégocéphale du t5, présente des caractères génériques assez particuliers. Il combine des traits archaïques de Benthosuchidés (crâne et rachis) à des traits structuraux crâniens plus évolués. Cela peut signifier une influence laurasienne prédominante. Mais la signification de ce fossile est équivoque. On peut tout aussi bien faire dire à *Almasaurus* que les caractères dont il a hérité des Rhinésuchidés signent une influence sud-africaine proche.

VI. — Conclusions

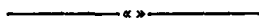
Un travail considérable reste à faire sur les termes t2 et t4 de la formation d'Argana pour seulement débroussailler les problèmes.

La faune de type C du niveau t5, quant à elle, permet de vérifier la grande répartition de ce type faunique à travers le globe.

Ce qui paraît surtout remarquable, c'est que les affinités sont plus grandes entre les territoires "nord-gondwaniens" eux-mêmes (Maroc, Inde, Madagascar), entre ces territoires et des territoires laurasiens (Amérique du Nord ou Europe par exemple), qu'entre les territoires "nord-gondwaniens" et "sud-gondwaniens" (Afrique et Amérique australes). Mais ce ne sont peut-être là qu'apparences provisoires.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) AVERTCHENKO A.J. (1973). — Stratigraphie et méthodologie des études stratigraphiques du Perno-Trias et Trias du Maroc. *Rapport interne du Service de la Carte Géologique du Maroc*, n° H. 64 (non édité).
- 2) BONAPARTE J.F. (1970). — Annotated list of the South American Triassic Tetrapods. *Second Gondwana symposium, South Africa 1970*, p. 665-682, 45 fig. Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria.
- 3) COLBERT E.H. (1969). — Gondwanaland and the Distribution of Triassic Tetrapods. *Gondwana stratigraphy. I.U.G.S. Symposium. Buenos-Aires, 1967*, p. 355-374, 2 fig., Unesco, Paris.
- 4) DUFFAUD F. (1966). — Le bassin du Sud-Ouest marocain. In *Bassins littoraux africains*, T. 1: Littoral Atlantique, p. 5-12, 13 pl., 2 fig. Ass. S.G.A. *Symposium New-Delhi, 1964*.
- 5) DUTUIT J.M. (1976). — Introduction à l'étude paléontologique du Trias continental marocain. Description des premiers Stégocéphales recueillis dans le couloir d'Argana (Atlas occidental). *Mém. M.N.H.N.*, t. XXXVI, 253 p., 104 fig., 4 cartes, 2 tab., 70 pl.
- 6) DUTUIT J.M. (1976). — Où en est la stratigraphie à base paléontologique de la formation rouge d'Argana (Atlas continental)? *C.R. somm. S.G.F.*, fasc. 6, p. 272-273.
- 7) GORCE F. (1960). — Etude de quelques vertébrés du Muschelkalk du Djebel Rehach (Sud Tunisien). *Mém. Soc. géol. Fr.*, n° 88 B, 33 p., 7 fig., 6 pl., 1 pl. texte.
- 8) KONING G. de (1957). — Géologie des Ida-ou-Zal (Maroc). Stratigraphie, pétrographie et tectonique de la partie SW du bloc occidental du Massif ancien du Haut-Atlas. *Univ. Leide*, 209 p., 87 fig.
- 9) LEHMAN J.P. (1971). — Nouveaux Vertébrés fossiles du Trias de la série de Zarzaitine. *Ann. Pal. (Vertébrés)*, t. LVII, fasc. 1, 25 p., 11 fig., 10 pl.
- 10) ROMER A.S. (1969). — The Triassic faunal succession and the Gondwanaland problem. *Gondwana stratigraphy. I.U.G.S. Symposium Buenos-Aires, 1967*, p. 375-400, Unesco, Paris.
- 11) TIXERONT M. (1973). — Lithostratigraphie et minéralisations cuprifères et uranifères stratiformes syngénétiques et familiaires des formations détritiques permotriassiques du couloir d'Argana, Haut-Atlas occidental (Maroc). *Notes Serv. Géol. Maroc*, t. 33, n° 249, p. 147-177, 19 fig., 1 tab.



L'évolution sédimentaire de l'Ethiopie, du Carbonifère au Crétacé

par Jacques BEAUCHAMP (*)

Sommaire. — Au Carbonifère et au début du Permien, des glaciers de montagne recouvrirent la partie occidentale de l'Ethiopie ("Relief éthiopico-soudanais"). Leurs dépôts remaniés constituent la formation *Pré-Adigrat*. Le climat, d'abord frais, devint plus chaud au Permien.

Au Permo-Trias, une phase de fracturation segmenta l'Est de l'Afrique en reliefs et bassins sensiblement orientés NE-SW. L'érosion des reliefs sous climat tropical fournit les matériaux détritiques du faciès molassique des *Grès d'Adigrat*, localement mis en place jusqu'au Jurassique moyen.

Les évaporites des *Strates de l'Abbaï* indiquent le début de la transgression jurassique qui atteignit sa pleine extension avec le dépôt des *Calcaires d'Antalo*. Cependant, quelques grès continentaux continuèrent de se déposer le long des zones émergées. La régression s'amorça à la fin du Jurassique.

Au Crétacé, la quasi-totalité de l'Ethiopie était émergée. Le faciès des *Grès Supérieurs* fut déposé sur les glacis et dans les plaines alluviales en climat tropical.

Summary. — The oldest non-metamorphosed sediments are represented by patches of Upper Carboniferous grey sandstone, interpreted as moraines and fluvio-glacial outwash (*Pre-Adigrat Facies*). The overlying *Adigrat Formation* is a diachronous facies consisting of continental red sandstone grading to deltaic at the top. It is mainly Permo-Triassic, but extends into the Middle Jurassic in some places. Evaporitic *Abbaï Strata* and *Antalo Limestone Facies* indicate the large extent of the Jurassic transgression. The end-Jurassic regression is indicated by a near shore facies at the base of the *Upper Sandstone* which was deposited in a continental environment during the Cretaceous and Eocene, but marine sedimentation persisted in the SE (Ogaden Basin).

Les reconstitutions paléogéographiques qui sont proposées dans cet article s'appuient sur des études de terrain effectuées dans le Bassin du Nil Bleu et sur la bordure septentrionale du Bassin de l'Ogaden (Massif du Chercher). Elles utilisent en outre les résultats des recherches menées principalement par Purcell en Ogaden, Abbate et coll. en Somalie, Beyth, Garland, Hutchinson et Engels dans le Nord de l'Ethiopie.

I. — QUELQUES DONNEES RELATIVES AU SOCLE ANCIEN

Le Socle éthiopien est constitué de roches métamorphosées et plutoniques en majeure partie d'âge précambrien. Dans cette mise au point

(*) Laboratoire de Paléobotanique, Université de Lyon I, bâtiment 741, 69621 Villeurbanne et Sedimentology Research Laboratory, University of Reading (U.K).

Note déposée le 8 Décembre 1977.

récente, Kazmin et Kochemasov (1976) distinguent deux groupes :

— un complexe inférieur pré-riphéen fortement métamorphisé ;

— un complexe supérieur riphéen montrant la conservation du caractère sédimentaire des roches d'origine et traversé de fréquentes intrusions plutoniques dont l'âge varie du Cambrien au Carbonifère.

II. — LES PHENOMENES GLACIAIRES DE LA FIN DU PALEOZOIQUE

1) Les sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires.

De nombreux lambeaux de sédiments détritiques non métamorphisés et sous-jacents à la formation rouge des "*Grès d'Adigrat*" reposent en discordance sur le socle. Ils correspondent, pour la plupart, à des moraines ou des dépôts de lavage de moraine ("*Outwash*").

En Erythrée et en Tigré, les argiles à blocs d'*Edaga Arbi* et les grès fins et clairs

d'Enticho remplissent des paléovallées à fond strié (Arkin et coll., 1971). Le sommet de ces formations est daté du Permien inférieur par des mesures de paléomagnétisme (Shackleton et Lomax, 1974). Il apparaît très vraisemblable que la majeure partie est Carbonifère.

Des niveaux comparables constitués de grès blancs, d'argiles et de conglomérats ont été également observés dans les Alpes Danakiles mais ils n'ont pas été distingués de la formation d'Adigrat sus-jacente.

Dans le Bassin du Nil Bleu, la formation "Pré-Adigrat" est composée de grès fortement chenalisés dont la partie inférieure remplie des paléovallées creusées dans le socle. Elle a fourni une paléoflore mal conservée carbonifère supérieur-permienne. Ces grès gris sont interprétés comme des produits de lessivage de moraines déposés en milieu fluvial et deltaïque sous climat frais. Les niveaux supérieurs présentent des croûtes carbonatées et ferrugineuses témoignant de l'existence d'épisodes plus chauds (Beauchamp et Lemoigne, 1974a, 1974c).

Dans le Bassin de l'Ogaden, un Paléozoïque détritique montrant des influences marines a été rencontré par sondage (Purcell). Il affleure sur la marge septentrionale du bassin (Massif du Chercher) où il est désigné sous le nom de "Strates d'Uaju". Ces grès ont des caractères sédimentologiques voisins de ceux du Bassin du Nil Bleu. Les spores qu'ils renferment sont d'âge carbonifère (Beauchamp et Lemoigne, 1974a). Ils sont affectés localement de plissements qui confirment l'existence de déformations permo-carbonifères.

2) L'emplacement des glaciers carbonifères.

De l'Arabie à l'Afrique australe, nombreux sont les sédiments détritiques associés aux glaciations du Paléozoïque supérieur. Compte tenu de cette étendue géographique, on a généralement parlé d'un immense inlandsis ayant recouvert la moitié Sud de l'Afrique. Meyerhoff et Teichert ont retenu plutôt l'existence de plusieurs centres glaciaires localisés dans les régions élevées et qui ont envoyé des langues glaciaires jusqu'aux rivages marins. Ces glaciers de montagne s'étendaient également en Ethiopie, sur une région élevée située au Nord et à l'Ouest du pays et commodément appelée "Relief Ethiopico-soudanais".

L'âge des phénomènes glaciaires varie suivant les lieux. En Afrique du Sud, la base des Séries de Dwyka est carbonifère (Brown et Lemoigne, 1977). Les dépôts glaciaires et fluvioglaciers éthiopiens sont du même âge dans leur plus grande partie ; leurs niveaux supérieurs sont plutôt permien.

3) L'Ethiopie au Carbonifère et au début du Permien.

Il apparaît donc qu'une zone de relief nord-occidentale fut recouverte par des glaciers de montagne au même titre que l'Afrique australe. Ces glaciers s'écoulèrent dans de profondes vallées incisées dans le socle et accumulèrent des dépôts morainiques. Les moraines des glaciers d'Ethiopie, ou des régions voisines, furent lessivées et leurs constituants furent accumulés localement dans les vallées fluviales ou largement épandus sur une plate-forme continentale (zone de piedmont ou bajada) partiellement envahie par une mer épicontinentale dont les limites étaient floues. Les pulsations glaciaires et les mouvements épeirogéniques rendaient les contours marins encore plus fluctuants et, sur cette surface, l'avancée de langues marines fut fréquente.

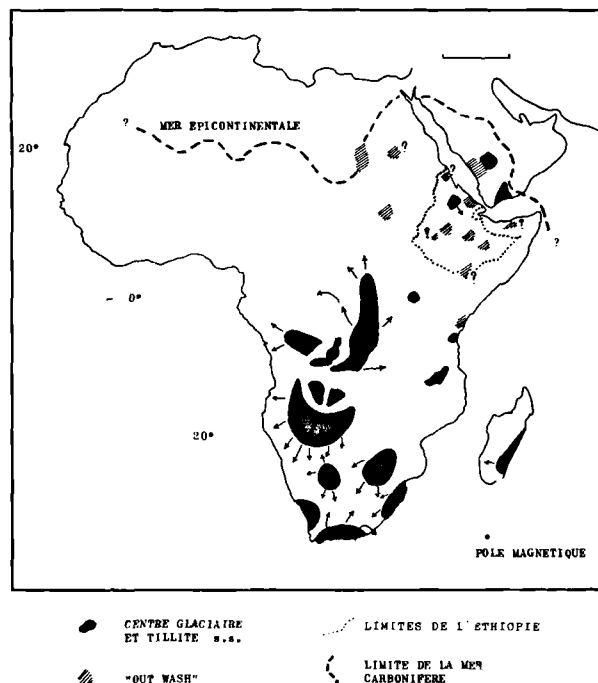


Fig. 1. — Formations glaciaires permo-carbonifères en Afrique.

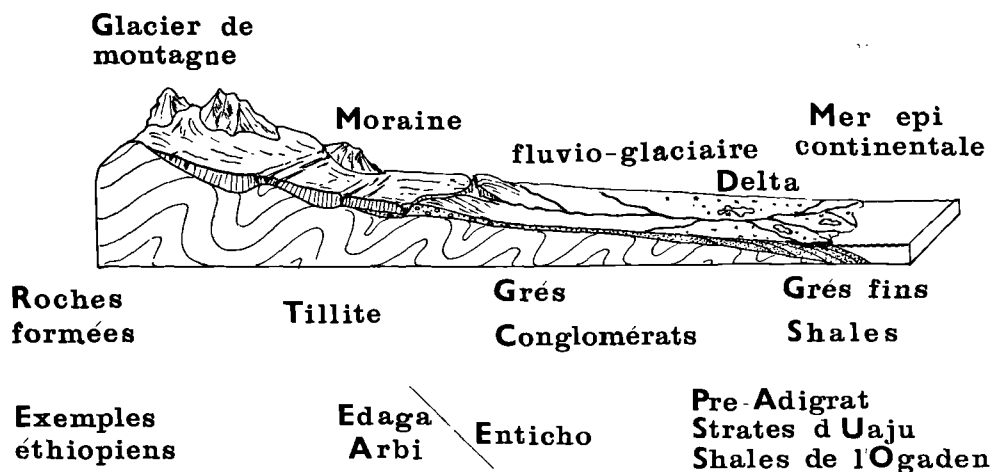


Fig. 2. — Paléogéographie des formations glaciaires d'Éthiopie.

III. — LA PHASE DE FRACTURATION PERMO-TRIASIQUE

1) Les sédiments détritiques permo-triasiques.

A partir du Permien a commencé le dépôt de grès rouges rangés dans la formation des "Grès d'Adigrat". Il faut bien insister sur le fait que cette formation est un faciès diachrone qui a été mis en place localement jusqu'au Jurassique moyen. Ces grès reposent, soit directement sur le socle, soit sur des sédiments Pré-Adigrat. Au sommet, il y a passage progressif à des faciès marins (Beauchamp et Lemoigne, 1974c).

Dans le Bassin du Nil Bleu, les grès sont moyens à grossiers, plus silteux à la base. Leur chenalisation est importante et indique au sommet une pente forte vers le Sud-Est. Leur épaisseur atteint 300 m.

Dans le Massif du Chercher, ils ont dans l'ensemble les mêmes caractères, mais un niveau conglomératique est compris dans la partie inférieure ; leur épaisseur diminue de l'Ouest à l'Est où il n'y a plus que le haut de la formation représenté par quelques dizaines de mètres de grès littoraux. En revanche, dans le centre du Bassin de l'Ogaden, les sondages pétroliers ont révélé leur forte puissance.

Dans le Nord de l'Éthiopie (Tigré, Erythrée, Alpes Danakiles), on retrouve ce même faciès dans lequel ont longtemps été rangés les Grès "Pré-Adigrat".

Des faciès détritiques similaires ont été observés en Arabie et au Yémen (*Série de Kholan, Grès de Minjur*), en Somalie et au Kenya (*Grès de Mansa Guda et de Duruma*).

La formation des "Grès d'Adigrat" a les caractères du faciès molasse. Elle représente l'accumulation sous climat chaud des produits de dégradation de reliefs mis en place ou retouchés au Carbonifère. Les matériaux du Bassin du Nil Bleu, comme ceux du Tigré, sont venus très probablement du Relief Ethiopico-soudanais. L'origine de ceux de l'Ogaden est plus incertaine : elle pourrait être localisée au Nord-Ouest des affleurements actuels. Dans le cadre d'une dérive ultérieure de l'Arabie par rapport au Plateau Ethiope, cette zone élevée hypothétique aurait été située sur le prolongement de la pointe Sud-Ouest du Yémen. Cette même région aurait pu être également une source de matériaux pour les "Grès d'Adigrat" des Alpes Danakiles et pour ceux de la série de Kholan au Yémen.

2) Les grandes unités structurales permo-triasiques.

Dans l'Ogaden, le Sud de la Somalie et le Nord du Kenya, une disposition profonde en horsts et en graben a été révélée par sismique et sondage (Purcell). Un certain nombre d'observations conduit à étendre cette disposition structurale à la plus grande partie de l'Éthiopie :

— Forte épaisseur locale des grès témoignant de phénomènes de subsidence,

- absence de dépôts permo-triasiques en d'autres points où les couches jurassiques reposent directement sur le socle,
- accroissement de la compétence des paléocourants et stabilisation de leur direction au cours du temps (Bassin du Nil Bleu),
- linéaments NE-SW dans le socle ancien qui paraissent antérieurs aux fracturations coénozoïques (visibles sur cliché LANDSAT dans le Bassin du Nil Bleu),
- intercalations basaltiques dans les "Grès d'Adigrat" du Nord de la Somalie associée à des cassures contemporaines du dépôt.

Compte tenu de la répartition actuelle des faciès gréseux attribués au Permo-trias et rencontrés en affleurements et par sondages, de

leur épaisseur, de leur composition minéralogique et la direction de leurs paléocourants, la disposition de la fig. 5 peut-être ainsi proposée. Les aires d'érosion étaient au nombre de trois : le Relief Ethiopico-soudanais, le Relief du Harar-Yémen et celui du Bur Acaba. Ces reliefs furent des sources de matériaux détritiques pour le Bassin du Tigré-Nil Bleu, le Bassin de l'Ogaden-Nord Kenya et le Bassin côtier Somali. Le domaine marin franc se serait situé au Nord, sur l'Arabie, et au Sud, sur la Tanzanie, où des couches marines permo-triasiques sont connues.

IV. — LA TRANSGRESSION JURASSIQUE

1) Les faciès évaporitiques.

Des couches gypseuses existent dans le Bassin du Nil Bleu et celui de l'Ogaden. Geukens en a signalé également au Yémen. Ces dépôts ont été mis en place en milieu marin subsident peu profond au Lias, peut-être même dès la fin du Trias dans le Bassin du Nil Bleu où ils portent le nom de "Strates de l'Abbaï" (Beauchamp et Lemoigne, 1974b). D'autre part, la sédimentation des Grès d'Adigrat s'est poursuivie contemporanément sur les marges des reliefs, en particulier entre les bassins du Tigré-Nil Bleu et de l'Ogaden (versant Sud du Chercher). On en conclut qu'au Trias, il y eut une avancée marine double : une transgression vint du Nord-Est (Arabie), une autre du Sud-Est (Océan Indien actuel).

2) Les faciès calcaires.

Les calcaires datés du Jurassique sont bien répandus en Ethiopie et en Somalie. Ce sont des faciès néritiques dont la stratigraphie, la sédimentologie et la paléofaune ont été étudiées en particulier par Greitzer, Getaneh Assefa, Abbate, Ficcarelli, Pirini-Radrizzani. La dénomination de "Calcaires d'Antalo" est employée dans les Bassins du Nil Bleu, du Tigré et sur la bordure Nord de l'Ogaden, celle de "Formation d'Hamanlei" dans le centre de l'Ogaden, celles enfin de "Formation de Ganale" et "Formation de Dawa" dans le Sud de l'Ethiopie. D'autres noms locaux sont utilisés en Somalie, en Arabie et au Yémen.

Les observations de terrain montrent que des grès littoraux, rattachés au faciès "Grès d'Adigrat", existaient encore au Jurassique moyen, notamment entre les bassins du Tigré-Nil Bleu

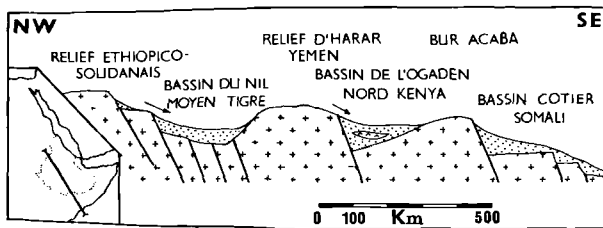


Fig. 3. — Evolution hypothétique du Bassin moyen du Nil Bleu au Permien et au Trias.

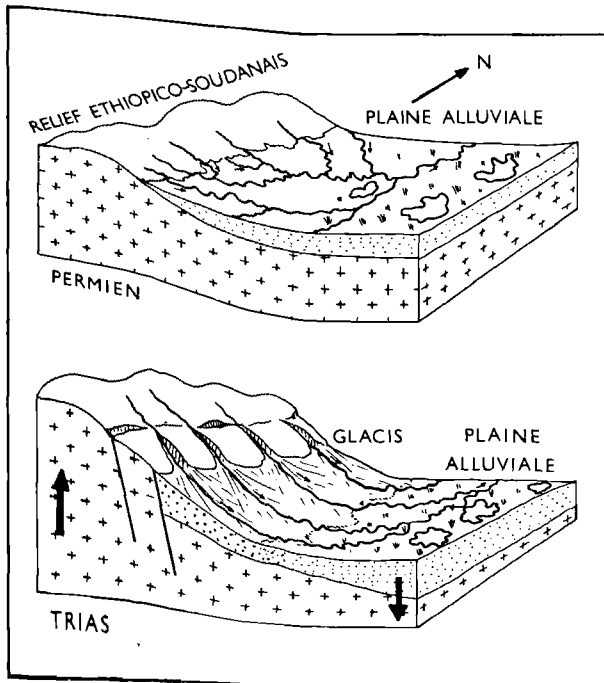


Fig. 4. — Structure présumée de l'Afrique Orientale au Permo-Trias.

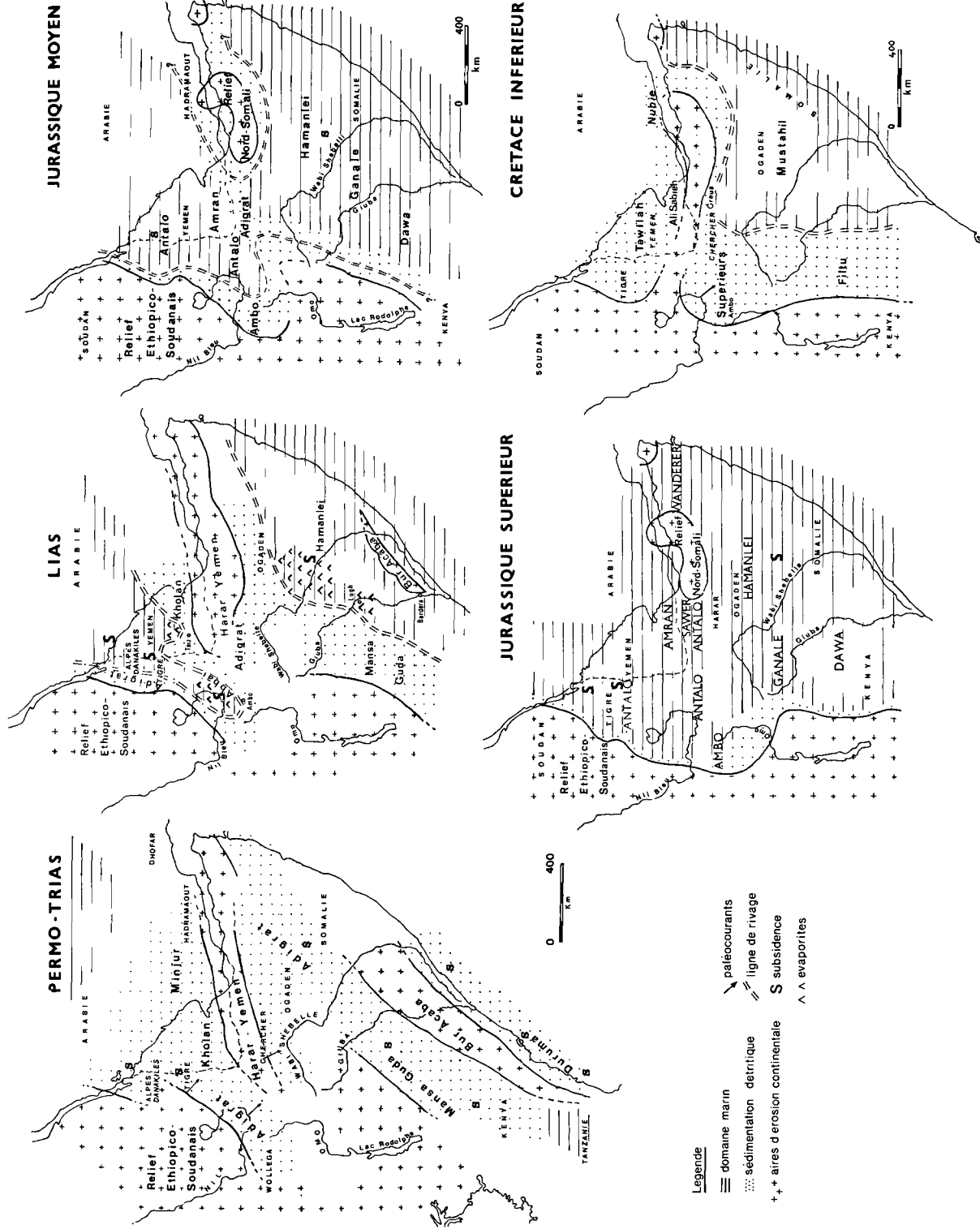


Fig. 5. — Evolution paléogéographique de l'Éthiopie, depuis le Permo-Trias jusqu'au Crétacé.

et de l'Ogaden. En revanche, au Jurassique supérieur, la sédimentation gréseuse fut restreinte à une mince frange le long du Relief Ethiopico-soudanais et de son prolongement méridional. La subsidence fut importante dans les bassins. Au Jurassique moyen, le domaine marin septentrional (Arabie) était donc encore séparé du domaine méridional (Ogaden). La généralisation de la transgression les réunit au Jurassique supérieur. Néanmoins, une zone émergée subsista au Nord de la Somalie.

V. — LA REGRESSION FINI-JURASSIQUE ET LA SEDIMENTATION CRETACEE

1) La formation des " Grès supérieurs ".

Dans le Bassin du Tigré et celui de l'Ogaden, le faciès calcaire est surmonté par un niveau de shales et d'évaporites (*Formations d'Agula, de Warandab, de Daghani*) qui sont des indices de régression au Jurassique terminal. Au-dessus de ces shales, ou de calcaires dans les autres régions, viennent des grès littoraux d'abord, continentaux ensuite : la formation des " Grès supérieurs ".

Les Grès supérieurs ont été étudiés en particulier dans le Bassin du Nil Bleu, le Nord de l'Ogaden et le Tigré (Beauchamp et Lemoigne, 1974c ; Shumboro, 1968). L'appellation de " Grès de l'Amba Aradam " a également été proposée. Leurs caractères sédimentologiques sont très voisins de ceux de la formation d'Adigrat. Il s'agit, pour la plus grande partie, d'un faciès molassique déposé sous climat tropical. Seule la base présente des influences marines (horizons gypseux ou dolomitiques) ; elle peut être légèrement discordante sur les calcaires.

Les couches inférieures sont datées paléobotaniquement du Jurassique terminal dans le Chercher et le Bassin du Nil Bleu. Elles sont plus récentes (Crétacé inférieur) dans le centre de l'Ogaden ; on y observe en particulier le passage latéral du faciès gréseux à l'Ouest au

faciès calcaire marin à l'Est (" Calcaires de Mustahil "). Le sommet de la formation gréseuse est daté Crétacé supérieur à Eocène selon les lieux.

Les grès de *Tawilah* au Yémen, ceux de *Nubie* au Sud-Yémen, d'*Ali Sabieh* à Djibouti, du *Mont Filtu* au Sud de l'Ethiopie, sont comparables à la formation des Grès supérieurs.

2) La remontée de la Corne de l'Afrique.

La mer se retira progressivement à la fin du Jurassique. Le lent mouvement de surrection continentale fut accompagné localement de fractures et de déformations plus accentuées qui entraînèrent la discordance des Grès supérieurs sur les couches calcaires. Les dépôts gréseux furent d'abord des grès de plages et de deltas puis des grès de plaines alluviales et de glacis continentaux.

Au Crétacé inférieur, la sédimentation gréseuse était généralisée sur les pourtours de l'Ogaden et dans les bassins du Tigré et du Nil Bleu ; cependant, compte tenu des directions de paléocourants, ces deux derniers bassins étaient séparés l'un de l'autre. Les zones de relief étaient les mêmes que celles du Jurassique mais elles subirent un constant rajeunissement du fait du mouvement ascendant général. Le Relief Ethiopico-soudanais fournit les principaux matériaux détritiques. Une crête le reliait au Relief Yémen-Nord Somalie. Le domaine marin était situé au Sud dans le centre de l'Ogaden. Au Nord-Est, il s'étendait sur l'Arabie orientale et sur le Golfe persique.

Au Crétacé supérieur, les conditions de sédimentation devinrent plus nuancées : selon la topographie des lieux, le dépôt de grès se poursuivait ou s'arrêta. La mer se retira presque complètement de l'Ogaden ; la sédimentation marine fut alors cantonnée sur les côtes de l'Océan Indien actuel.

Je remercie vivement Monsieur P.G. PURCELL (White-stone Petroleum Inc.), qui a mis à ma disposition les conclusions inédites de ses recherches dans l'Ogaden.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ABBATE E., FICCARELLI G., PIRINI RADRIZZANI C., SALVIETTI A., TORRE D., TURI A. (1974). — Jurassic sequences from the Somali coast of the Gulf of Aden. *Riv. Ital. Pal.*, Milano, 80, p. 409-418, 10 pl.
- 2) ARKIN Y., BEYTH M., DOW D.B., LEVITTE D., TEMESGEN H., TSEGAYE H. (1971). — Geological map of Mekele sheet, area ND 37-11, Tigre province. *Geol. Surv. Eth.*, Min. Mines, Addis Abeba.
- 3) BEAUCHAMP J. (1977). — La série sédimentaire en Ethiopie centrale et orientale. *Thèse Univ.*, Lyon I, 419 p., 81 fig., 34 tabl., 21 pl.
- 4) BEAUCHAMP J. et LEMOIGNE Y. (1974a). — Sur la présence de terrains paléozoïques en Ethiopie. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 278, D, p. 29-32, 2 fig.
- 5) BEAUCHAMP J. et LEMOIGNE Y. (1974b). — Présence d'un bassin de subsidence en Ethiopie centrale pendant le Jurassique. Essai de reconstitution paléogéographique de l'Ethiopie durant le Jurassique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, Paris, 7, 16, p. 563-569, 3 fig.
- 6) BEAUCHAMP J. et LEMOIGNE Y. (1974c). — Comparative study of arenaceous facies in Central and Eastern Ethiopia (Shoa and Harar province). *Boll. Soc. Geol. It.*, Roma, 93, p. 893-900, 2 fig.
- 7) BEYDOUN Z.R. (1966). — Geology of the Arabian peninsula. Eastern Aden protectorate and part of Dhofar. *Geol. Surv. prof. pap.*, Washington, 560 H, 49 p., 6 pl.
- 8) BEYTH M. (1972). — Paleozoic-Mesozoic sedimentary basin of Mekele outlier, Northern Ethiopia. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, 56, (12), p. 2426-2439, 7 fig.
- 9) BLANT G. (1973). — Structure et paléogéographie du littoral méridional et oriental de l'Afrique. *Symp. Bass. sédim. litt. afr.*, Ass. Serv. Géol. Afr., Paris, 2^e part., p. 193-233, 11 pl.
- 10) BROWN J. et LEMOIGNE Y. (1977). — Présence du genre *Eskdalia* à la base des Dwyka Series dans l'état d'Orange et datation du début du grand cycle glaciaire post-silurien en Afrique du Sud. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 284, D, p. 1509-1511.
- 11) BRUNI P. et FAZZUOLI M. (1977). — Sedimentological observation on Jurassic and Cretaceous sequences from Northern Somalia. Preliminary paper. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, Roma (sous presse).
- 12) CANUTI P. et PIRINI RADRIZZANI C. (1973). — Microfacies from the upper portion of the Antalo limestones (Blue Nile sequence, Ethiopia). *Rev. Esp. Micropal.* Madrid.
- 13) FICCARELLI G. (1968). — Fossili giuresi della serie sedimentare del Nilo Azzuro. *Riv. Ital. Paleont.*, Milano, 74, 1, p. 23-50, 5 pl.
- 14) FICCARELLI G., PIRINI RADRIZZANI C., TURI A. (1975). — Analyses of the microfacies of Antalo limestones in the Dire Dawa area, Ethiopia. *Boll. Soc. Geol. It.*, Roma, 94, p. 759-770, 5 fig.
- 15) GARLAND C.R. (1972). — Geology of sheet ND 37-7, Dallol and Adigrat area, Tigre province. *Rep. Geol. Surv. Ethiopia*, Min. Mines, Addis-Abeba, 120 p., 23 fig.
- 16) GETANEH ASSEFA (1975). — The stratigraphy and Sedimentology of the Upper Blue Nile Basin. *Ph. D. Geology*, Univ. Minnesota, Minneapolis.
- 17) GEUKENS F. (1966). — Geology of the Arabian Peninsula: Yemen. *Geol. Surv. prof. pap.*, Washington, 560 B, 23 p., 17 fig.
- 18) GREITZER Y. (1970). — Stratigraphy, Hydrogeology and Jurassic Ammonites of the Harar and Diredawa area, Ethiopia. *Thesis*, Hebrew Univ., Tel Aviv, 213 p., 22 pl., 6 tab.
- 19) HUTCHINSON R.W. et ENGELS G.C. (1972). — Tectonic evolution in the Southern Red Sea, and its possible significance to older rifted continental margins. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Washington, 83, p. 2989-3002, 6 fig.
- 20) KAZMIN V. (1975). — Explanation of the geological map of Ethiopia. *Geol. Surv. Ethiopia*, Min. Mines, Addis Abeba, 14 p.
- 21) KAZMIN V. et KOCHMASOV G.G. (1976). — Relation of Ethiopian mineral deposits to structure and magmatic complex. *Geol. Soc. Afr.*, 3rd conf. Afric. Geol., Khartoum, abstract.
- 22) MEYERHOFF A.A. et TEICHERT C. (1971). — Continental Drift, III: Late Paleozoic glacial centers, and Devonian-Eocene coal distribution. *J. Geol.*, Chicago, 79, p. 285-321, 14 fig.
- 23) PURCELL P.G. (1976). — Pre-Drift Sedimentation on Rifted Continental Margins. *Geol. Soc. Afr.*, 3rd conf. Afric. Geol. Khartoum, 10 p., 6 fig.
- 24) SHACKLETON R.M. et LOMAX K. (1974). — Paleomagnetic evidence for the permian age of tillites in Ethiopia. *Inst. Afr. Geol. ann. rep.*, Univ. Leeds, 18, p. 13.
- 25) SHUMBORO M.M. (1968). — The Amba Aradam formation (formerly the Upper Sandstone). *Rep. Mobil Petrol. Ethiopia*, Addis Abeba.

Niger et Gondwana

par Philippe TAQUET (*)

Sommaire. — Des découvertes récentes de faunes de vertébrés continentaux au Niger (Afrique) ont permis de dater le Permien supérieur, le Trias inférieur, l'Aptien et le Sénonien inférieur dans ce pays. Ces découvertes rendent possibles quelques comparaisons avec les faunes correspondantes des autres régions du Gondwana ainsi qu'avec les faunes de la Laurasia.

Summary. — Recent discoveries of continental vertebrate faunas in Niger (Africa) have allowed to date the upper Permian, the lower Trias, the Aptian and the lower Senonian in this country. With these discoveries some comparisons can possibly be done with correspondent faunas of other parts of the Gondwana and also with faunas of the Laurasia.

Les recherches paléontologiques effectuées au Niger de 1965 à 1973 ont permis de découvrir plusieurs faunes intéressantes de Vertébrés dont l'étude rend possible des corrélations entre les faunes de ce pays et celles des continents voisins.

Le Niger, grâce à une longue succession de dépôts continentaux, offre en effet la possibilité d'étudier dans un espace relativement restreint toute une série de faunes de Vertébrés : 26 gisements sont répartis dans 15 niveaux différents s'échelonnant du Permien supérieur au Paléocène. Ces Vertébrés ont permis de dater plusieurs niveaux du Continental Intercalaire : Permien terminal, Trias inférieur, Aptien, Albien et du Continental Terminal : Sénonien inférieur.

Passons brièvement en revue les espèces trouvées au Niger susceptibles, dans l'état actuel de nos recherches, d'apporter des informations intéressantes sur la paléogéographie du Gondwana, puis sur sa fragmentation au cours du Mésozoïque.

1) Permien supérieur

En 1966, nous avons eu la surprise et la chance de trouver une faune de Vertébrés du Permien supérieur dans un gisement situé au

(*) Institut de Paléontologie, 8, rue de Buffon, 75005 Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

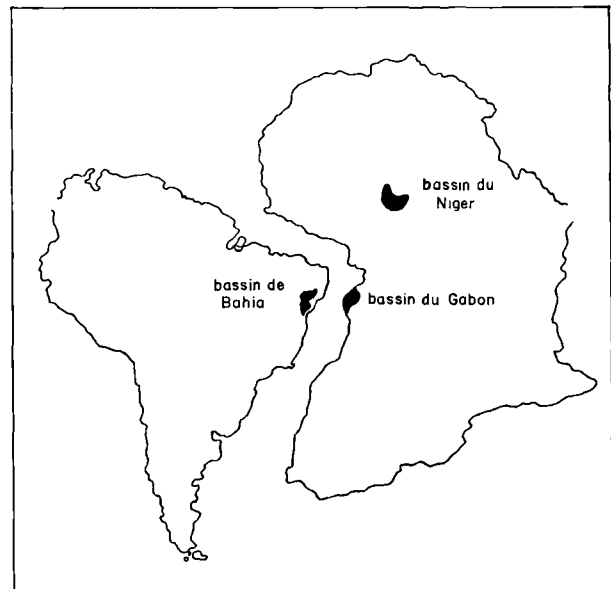


Fig. 1. — Carte montrant les trois bassins de Bahia (Recôncavo), du Gabon et du Tégama (Niger). On voit que les fossés de Bahia et du Gabon viennent au contact l'un de l'autre lorsque l'Amérique du Sud et l'Afrique sont replacées dans la position qu'elles occupaient au début du Crétacé.

Nord de Tchimozenog (175 km au N-NW de la ville d'Agadès) dans la formation de Moradi (Taquet, 1969).

Ce gisement se place stratigraphiquement dans la partie supérieure du Permien supérieur

et il est de même âge que la formation de Russie définie comme le complexe à Paréiasaures de la Dvina du Nord (Efremov et Vjushkov, 1955). Ce complexe est la 4^e et dernière zone du Permien supérieur russe et correspond au Tatarien (étage marin). Avec l'Afrique du sud, la formation de Moradi au Niger doit correspondre à la dernière zone du Permien supérieur qui est la zone à *Cistecephalus*.

La faune comprend un Captorhinomorphe : *Moradisaurus grandis* Taquet, 1969, qui est un Reptile Cotylosaurien. Les Cotylosauriens sont des Reptiles primitifs dont le crâne ne possède pas de fosses temporales ; on considère aujourd'hui que les Captorhinomorphes donnent naissance à tous les autres groupes de Reptiles. Cette faune comprend d'autre part un Paréiasaurien (Reptile Cotylosaurien), et probablement un Anomodonté (Reptile mammalien) et un Amphibien labyrinthodonte.

Le Captorhinomorphe du Niger se rapproche par son anatomie crânienne, en particulier par le nombre élevé de ses rangées dentaires à chaque branche du maxillaire et de la mandibule, des formes américaines et russes telles que *Rothia*, *Kahneria* et *Gecatogomphius*. Ces trois genres sont des Captorhinidés localisés dans l'hémisphère nord et ne se trouvent que dans des terrains du Permien supérieur. En outre, ce Captorhinomorphe africain est d'une taille beaucoup plus grande et le nombre de ses rangées dentaires au maxillaire et à la mandibule est beaucoup plus élevé que chez ces formes citées précédemment. Il constitue pour ces raisons notamment un genre nouveau, plus spécialisé sur le plan anatomique que les genres américains et russes du Permien supérieur. Les Captorhinidés présentent en effet tout au long du Permien une tendance à un accroissement de taille, d'une part, et à un accroissement du nombre de rangées dentaires, d'autre part. *Rothia*, *Kahneria* et *Gecatogomphius* constituaient jusqu'alors les derniers représentants connus de ces Captorhinidés.

Une conséquence de la découverte de ces Captorhinomorphes au Niger est la très grande probabilité de relations étroites de l'Afrique avec l'hémisphère Nord au Permien terminal, en particulier avec la Russie. Ces relations ont permis, semble-t-il, la migration des Captorhinomorphes du Nord vers le Sud et en l'absence de découverte, jusqu'à présent, de Captorhinomorphe dans le reste de l'Afrique, il est

possible de penser que cette migration n'a pas atteint le sud du Continent africain. Ceci expliquerait l'absence de ces Captorhinomorphes en Afrique du Sud si ces derniers ont pour origine l'hémisphère nord pendant le Permien inférieur (Amérique du Nord et Russie).

On pensait que le peuplement des Captorhinomorphes était restreint à l'hémisphère nord pour des raisons climatiques. Nous avons ici un exemple de peuplement au cours du Permien, du Nord vers le Sud et un bon exemple de migration d'une faune typiquement laurasienne vers le Gondwana.

Depuis cette découverte au Niger, un autre représentant des Captorhinomorphes a été découvert dans le Gondwana : Kutty (1972) a signalé la présence d'un Captorhinomorphe de petite taille dans les terrains gondwaniens (Permien supérieur) de la vallée de Pranhita Godavari (Plateau du Deccan).

Cette dernière découverte montre qu'il faut toujours garder une certaine prudence vis-à-vis de l'absence de peuplement d'un continent par un groupe fossile. Cette absence pouvant tout simplement être due à l'absence de recherches paléontologiques.

Par contre, dans des régions où des recherches ont été effectuées depuis très longtemps, comme par exemple en Afrique du Sud, l'absence de Captorhinomorphes a plus de valeur et peut être utilisée comme un argument valable dans l'histoire du peuplement des continents considérés.

2) Trias inférieur.

A Aodelbi, localité située sur le bord Sud de l'Anou Makarène, ont été trouvés les restes d'une piste laissée par le passage d'un Vertébré (Ginsburg, etc., 1968). Cette piste se place juste au-dessus du conglomérat de base des grès du Teloua, eux-mêmes surmontant la formation de Moradi à Captorhinomorphes.

La bonne conservation et l'allure caractéristique des empreintes nous permettent d'identifier cette piste à celle de *Chirotherium*. Les empreintes de *Chirotherium* sont connues depuis fort longtemps dans les terrains du Trias inférieur et moyen d'Amérique du Nord et d'Europe. Les empreintes du Niger sont de plus d'un type primitif : l'empreinte du pied est allongée et possède un doigt 4 prédominant ; ce type se

localise dans les couches du Trias inférieur (Peabody, 1948). Il est donc logique d'admettre pour la base de ces grès du Teloua un âge triasique ancien.

C'est la première fois que des empreintes de *Chirotherium* sont signalées sur le continent africain, mais cette découverte n'est pas trop surprenante dans la mesure où l'on sait par la connaissance de l'ensemble de la faune de Vertébrés du Trias, qu'à cette époque, les différentes familles de Reptiles ont une très vaste répartition.

3) Crétacé inférieur

Le gisement de Gadoufaoua, situé à 170 km à l'est de la ville d'Agadès, a livré une importante faune comprenant une espèce de Coelacanthidé, deux espèces de Dipneustes, une espèce d'Amphibien, trois espèces de Crocodiliens et sept espèces de Dinosauriens.

A l'Aptien, âge du gisement de Gadoufaoua, la faune de Reptiles évolue, semble-t-il, parallèlement à celle de l'Europe. Les mêmes familles sont présentes de part et d'autre de la Mésogée ; c'est le cas pour les Crocodiliens (famille des Pholidosauridés) et pour les Dinosauriens (Iguanodontidés). En l'état actuel des découvertes, il n'y a pas de genres, ni d'espèces communes à ces deux régions.

Par contre, nous avons pu retrouver (Buffetaut et Taquet, 1977) le genre *Sarcosuchus* (Crocodilien géant de la famille des Pholidosauridés), présent dans les sédiments du bassin du Tégama (gisement de Gadoufaoua - Niger) et également dans les sédiments du bassin de Bahia (Aptien du Brésil).

La mise en évidence de *Sarcosuchus* dans le bassin de Bahia vient s'ajouter à une série d'observations paléontologiques indiquant des ressemblances notables entre la faune du Crétacé inférieur de Bahia, et celle à peu près contemporaine, de certaines régions d'Afrique. Sur la côte du Gabon, en particulier, se trouve un bassin sédimentaire qui a livré des restes de poissons très semblables à ceux rencontrés dans le Bassin de Bahia (Patterson, 1975). La faune ichthyologique aptienne du bassin du Tégama est très proche à la fois de celle de Bahia avec, en particulier, le coelacanthé *Mawsonia* (Wenz, 1975) et de celle de la série de Cocobeach, au Gabon.

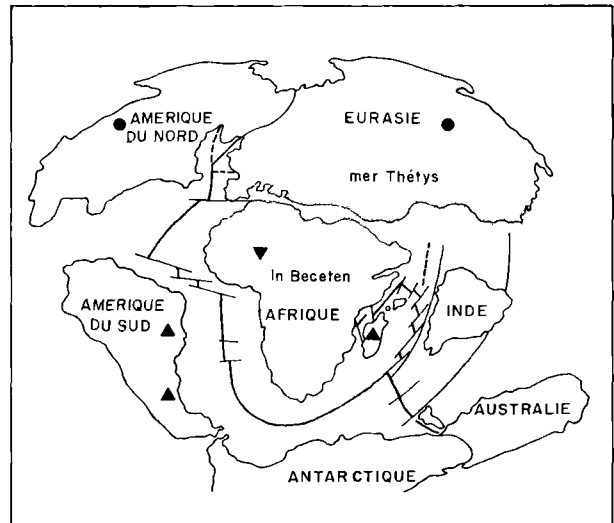


Fig. 2. — Carte paléogéographique du monde au Crétacé supérieur (d'après Dietz et Holden). Les gisements situés de part et d'autre de la Téthys, sorte de mer Méditerranée très étendue, possèdent des faunes différentes. Ceux du Nord (●) se distinguent nettement de celui d'In Beceten (▼), tandis que ceux du Sud (▲) s'en rapprochent singulièrement.

Sarcosuchus est cependant le premier grand Vertébré à avoir été retrouvé dans des sédiments du Crétacé de part et d'autre de l'Atlantique. La présence du Crocodilien géant *Sarcosuchus* dans le Crétacé inférieur du Brésil (il s'agit peut-être de la même espèce, mais le matériel brésilien, moins complet que celui du Niger, ne permet pas de se prononcer), et du Niger, est une preuve supplémentaire de l'existence d'une communauté faunique continentale africano-sud-américaine avant l'ouverture de l'Atlantique sud.

Les données géophysiques et paléontologiques actuelles permettent de penser que la séparation finale entre l'Afrique et l'Amérique du Sud eut lieu un peu après le début du Crétacé supérieur, il y a un peu moins de 100 millions d'années et ces données s'accordent bien avec ces nouvelles découvertes.

4) Crétacé supérieur

L'étude de la faune du gisement d'In Beceten, situé au Nord-Est de la ville de Tahoua, et découvert par Greigert (1966) permet d'apporter pour la première fois pour le Crétacé supé-

rieur, des éléments de comparaison avec les faunes continentales sensiblement de même âge d'Amérique du sud et de Madagascar.

In Beceten a livré en effet une faune abondante et variée du Sénonien inférieur. Cette faune est en cours d'étude ; elle se compose de Poissons, de Batraciens, de Reptiles. Parmi les Poissons, étudiés par Wenz, la découverte de *Protopterus* recule au Sénonien inférieur la date d'apparition du seul genre de Dipneuste (poisson à poumon) encore présent aujourd'hui en Afrique, et qui n'était connu jusqu'ici que depuis l'Oligocène inférieur. Les Batraciens examinés par Vergnaud Grazzini comprennent un spécimen qui pourrait être le plus ancien représentant connu de la famille des Ranidés (grenouilles vraies) et deux Pipidés. Les *Pipas* actuels sont des crapauds de forme aplatie vivant en Amérique du Sud et qui incubent leurs œufs logés dans la peau du dos. L'un des Pipidés du gisement d'In Beceten présente des affinités avec les *Xenopus* trouvés dans les terrains plus récents du Brésil (Paléocène) et du Maroc (Miocène). Les Squamates, étudiés par Rage, comprennent notamment un Boïdé du genre *Madtsoia*. Deux espèces de *Madtsoia* étaient déjà connues : l'une du Paléocène-Eocène de Patagonie, l'autre du Sénonien de Madagascar. Les Chéloniens étudiés par de Broin appartiennent à une famille connue aussi bien en Amérique du Sud qu'à Madagascar (Pélo-médusidés). L'une d'elles est directement apparentée au genre *Erymnochelys*, qui vit actuellement à Madagascar. Les Crocodiliens, étudiés par Buffetaut, appartiennent d'une part au genre *Libycosuchus*, forme de petite taille au museau très court, déjà connue dans le Cénomaniens du Sahara et qui est peut-être apparentée de loin à une famille du Crétacé d'Amérique du Sud, les Notosuchidés. Ils appartiennent d'autre part à un autre genre *Trematochamosa*, placé dans une nouvelle famille qui paraît être africaine et aussi probablement malgache.

Sans anticiper sur les résultats de cette étude, on peut dire que cette faune du Sénonien

du Niger présente de réelles affinités avec celles de même âge d'Amérique du Sud et de Madagascar. On peut en déduire que ces trois régions ont été réunies pendant une certaine période. L'étaient-elles encore au Sénonien inférieur ? Cela paraît difficilement admissible, car il ne semble pas que l'on puisse identifier à l'intérieur de chaque famille représentée des espèces communes à ces trois plaques continentales. Qui plus est, certaines formes paraissent être propres à l'Afrique.

Conclusion

Les paléontologues n'ont encore à leur disposition que trop peu d'éléments et la découverte de nouvelles faunes reste nécessaire.

Les quelques récoltes récentes faites au Niger, confirment la valeur des indications fournies par les faunes de Vertébrés terrestres pour la datation des formations continentales. De même, ces faunes permettent des corrélations stratigraphiques, parfois à grande distance entre ces différentes formations continentales ; par exemple, un seul plateau dentaire de Captorhinomorphe, par sa forme et par le nombre de ses rangées dentaires peut suffire à donner un âge précis à la formation dans laquelle il a été trouvé.

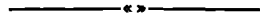
D'autre part, l'étude de la répartition de ces faunes, mais aussi l'étude de leur migration au cours du temps permettent, tout en utilisant prudemment les indications fournies, de mieux connaître les connexions existant entre Laurasia et Gondwana (cas des Captorhinomorphes du Niger) ou entre les différents éléments du Gondwana (Crocodilien géant de l'Aptien du Niger et du Brésil).

Ainsi, les études géophysiques du fond des océans sont complétées utilement par les études paléontologiques à la surface des plaques continentales. Toutes sont nécessaires pour mieux rendre compte de l'histoire de la Laurasia, du Gondwana et, par suite, de l'histoire de notre planète.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BROIN F. de, BUFFETAUT E., KOENIGUER J.C., RAGE J.C., RUSSELL D., TAQUET P., VERGNAUD-GRAZZINI C. et WENZ S. (1974). — La faune de Vertébrés continentaux du gisement d'In Beceten (Sénonien du Niger). *C.R. Ac. Sc.*, t. 279, p. 469-472.
- 2) BUFFETAUT E. et TAQUET P. (1977). — The giant crocodilian *Sarcosuchus* in the early Cretaceous of Brazil and Niger. *Paleontology*, vol. 20, part. 1, p. 203-208, 1 fig., 1 pl.
- 3) EFREMOV J.A. et VJUSHKOV R.P. (1955). — Catalogue of localities of Permian and Triassic terrestrial Vertebrates in the territories of the U.S.S.R. *Tr. Paleont. Inst. Acad. Sci. U.S.S.R.*, 46, 185 p.
- 4) GINSBURG L., LAPPARENT A.F. de et TAQUET P. (1968). — Piste de *Chirotherium* dans le Trias du Niger. *C.R. Ac. Sc.*, t. 266, p. 2056-2058, 3 fig.
- 5) GREIGERT J. (1966). — Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des lullemeden (Afrique Occidentale). *Rep. du Niger, Dir. Mines et Geol.*, Publ. n° 2, Ed. B.R.G.M., Paris, p. 1-234, 82 pl. et fig.
- 6) KUTTY T.S. (1972). — Permian Reptilian fauna from India. *Nature*, vol. 237, n° 5356, p. 462-463, 2 fig.
- 7) PATTERSON C. (1975). — The distribution of Mesozoic freshwater fishes. *Mem. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, 88, p. 156-174, 7 fig.
- 8) PEABODY F.E. (1948). — Reptile and Amphibian trackways from the lower triassic Moenkopi formation of Arizona and Utah. *Univ. California Publ. geol. Sci.*, t. 27, n° 48, p. 295-468, 40 fig., Pl. 29-45.
- 9) TAQUET P. (1969). — Première découverte en Afrique d'un Reptile Captorhinomorphe (Cotylosaurien). *C.R. Ac. Sc.*, t. 268, p. 779-781, 1 fig.
- 10) TAQUET P. (1972). — Un exemple de datation et de corrélation stratigraphique basé sur les Captorhinomorphes (Reptiles Cotylosauriens), *Mém. B.R.G.M.*, n° 77, p. 407-409.
- 11) TAQUET P. (1976). — Géologie et Paléontologie du gisement de Gadoufaoua (Aptien du Niger). *Cahiers de Paléontologie*, Ed. C.N.R.S., p. 1-191, 74 fig., 24 pl.
- 12) WENZ S. (1975). — Un nouveau Coelacanthidé du Crétacé inférieur du Niger. Remarques sur la fusion des os dermiques. *Colloque Int. C.N.R.S.*, n° 218, p. 175-190, 6 fig., 5 pl.



Les Reptiles Thérapsides dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde

par B. BATAIL (*)

Sommaire. — Les faunes à Thérapsides permettent l'établissement d'une chronologie relative des formations continentales à Tétrapodes d'âge Stormberg (Trias moyen et supérieur). Les caractères principaux de ces faunes sont mis en évidence, et les corrélations stratigraphiques proposées par les divers auteurs sont discutées.

Summary. — The Therapsid faunas enable us to establish a chronology of Tetrapod-bearing continental formations of Stormberg age (Middle and Upper Triassic). The main characters of these faunas are pointed out, and the stratigraphic correlations given by the various authors are discussed.

Les Vertébrés jouent un rôle important dans l'établissement de la stratigraphie des formations continentales permo-triasiques. Rappelons que le groupe sud-africain de Beaufort est subdivisé en zones biostratigraphiques caractérisées chacune par la présence d'un genre de Tétrapode (Broom, 1906 ; Watson, 1914 ; Kitching, 1970) et que, sur un principe analogue, Efremov (1937) a établi une échelle stratigraphique des formations continentales permo-triasiques de Russie. Une approche plus moderne consiste à définir une zone non plus seulement par la présence d'un genre caractéristique, mais par l'association faunistique qu'elle contient (Kalandadze, Očev, Tatarinov, Čudinov, Siškin, 1968 ; Kitching, 1977).

Certains auteurs (Anderson et Anderson, 1970 ; Anderson, 1973), tentent actuellement d'intégrer toutes les données biostratigraphiques disponibles pour le Permien et le Trias, de manière à établir un vaste système de corrélations. D'autres (Colbert, 1963, 1969 ; Cox, 1973, 1974 ; Romer, 1969a, 1970a ; Kalandadze, 1974) se sont intéressés à la répartition des Vertébrés Tétrapodes pour en tirer des conclusions d'ordre paléobiogéographique.

L'objet du présent article est plus limité, et strictement stratigraphique : il s'agit de voir

si les Thérapsides (Reptiles mammaliens), largement utilisés dans les corrélations entre formations continentales d'âge Permien supérieur ou Trias inférieur (Batail, 1972), peuvent encore fournir des renseignements stratigraphiques au Trias moyen et supérieur, c'est-à-dire pendant la durée de dépôt du Stormberg sud-africain.

LE GROUPE DE STORMBERG (Afrique du Sud et Lesotho)

Le Stormberg fait suite au Beaufort et comprend trois termes sédimentaires : le Molteno, qui correspondrait au Trias moyen, les Couches Rouges (Red Beds) et le Grès à Cavernes (Cave Sandstone), qui représenteraient le Trias supérieur. L'ensemble est surmonté par les épaisses laves du Drakensberg.

Du Molteno n'ont été décrits que deux Thérapsides, découverts l'un et l'autre au Lesotho. Il s'agit de deux Cynodontes. Le premier d'entre eux, considéré par Stockley (1947) comme provenant de la base de la formation, est un Cynognathidé appartenant à une espèce connue dans le Beaufort supérieur (zone à *Cynognathus*). Le deuxième, qui proviendrait du sommet du Molteno, est un gros Cynodonte gomphodonte appartenant à la famille des Traversodontidés, *Scalenodontoides*, décrit par Crompton et Ellenberger (1957). Cependant, selon Turner (1972), le Cynognathidé devrait

(*) Institut de Paléontologie, Muséum national d'Histoire naturelle, 8, rue de Buffon, 75005 Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

être attribué au Beaufort supérieur (zone à *Cynognathus*) et le Traversodontidé, à la base des Red Beds. Dans cette hypothèse, la formation de Molteno ne contiendrait aucun Thérapside.

Les Red Beds, du Trias supérieur, contiennent une faune relativement abondante (Haughton, 1924 ; Haughton et Brink, 1954). Les Thérapside comportent des Tritylodontidés, *Tritylodon* et *Likhoelia*, ainsi que deux genres mal connus de Cynodontes, *Tritheledon* et *Pachygenelus* qui, selon Hopson et Kitching (1972), constitueraient la famille des Tritheledontidés. A ces Thérapside très évolués sont associés de nombreux Reptiles Diapsides, représentés surtout par des Dinosaures primitifs.

La faune du Cave Sandstone, appauvrie par rapport à celle des Red Beds, n'en est pas profondément différente. Les Thérapside y sont représentés par un Tritylodontidé de grande taille, *Tritylodon*, et par le genre *Diarthrognathus* qui, selon Hopson et Kitching (1972), pourrait être synonyme de *Pachygenelus*.

Comme on le voit, les faunes de Thérapside du Stormberg proprement dit sont relativement pauvres. Mais on connaît en Afrique plusieurs formations continentales d'âge Stormberg qui nous permettent de compléter notre tableau de succession des faunes.

1) Les formations à Thérapside d'âge Stormberg en Afrique.

La formation de Manda (Sud-ouest de la Tanzanie) a livré une faune plus évoluée dans l'ensemble que la faune du Beaufort terminal, puisqu'elle comporte des Cynodontes gomphodontes de la famille des Traversodontidés, *Scalenodon* et *Therapsodon*. Cependant, on retrouve dans la formation de Manda un représentant primitif des gros Dicynodontes du Trias, le Shansiodontidé *Tetragonias*, un Kannemeyériidé déjà connu dans la zone à *Cynognathus*, *Kannemeyeria simocephalus*, et un Cynodonte Trirachodontidé proche de *Trirachodon* de la zone à *Cynognathus*, *Cricodon*. Si donc on admet que la zone à *Cynognathus* représente la fin du Trias inférieur, la formation de Manda se situe près de la base du Trias moyen (Crompton, 1955 ; Cruickshank, 1967 ; Chernin et Cruickshank, 1970).

La formation de Ntawere (Nord-est de la Zambie) a fourni une faune assez voisine de

celle de la formation de Manda. Les éléments évolués de cette faune comportent des Dicynodontes, représentés par les Stahleckeriidés primitifs *Zambiasaurus*, *Sangusaurus*, *Dolichuranus* et *Rechnisaurus* (Cox, 1969 ; Crozier, 1970 ; Keyser, 1973), et un Cynodonte Traversodontidé, *Luangwa*, voisin du genre *Scalenodon* de la formation de Manda (Brink, 1963). Néanmoins, on retrouve aussi dans la formation de Ntawere des Cynodontes qui rappellent le Beaufort terminal : une espèce particulière du Diadémodontidé *Diademodon*, des dents de Cynognathidés et un Trirachodontidé. La formation de Ntawere peut donc être considérée comme sensiblement synchrone de la formation de Manda (Drysdall et Kitching, 1963). Elle se situerait, elle aussi, à un niveau peu élevé du Trias moyen.

La formation d'Omingonde (Sud-ouest africain = Namibie) a livré une faune, décrite par Keyser (1973), qui présente des caractères intermédiaires entre la faune de la zone à *Cynognathus* et celles des formations de Manda et de Ntawere. Les éléments fauniques qui évoquent la zone à *Cynognathus* sont les plus nombreux : on trouve en effet le Dicynodonte Kannemeyériidé *Kannemeyeria simocephalus* (présent aussi, il est vrai, dans la formation de Manda), un Bauriamorphe, et, parmi les Cynodontes, le Diadémodontidé *Diademodon tetragonus*, un Cynognathidé, et un spécimen rapporté au genre *Trirachodon*. La faune de la formation d'Omingonde comporte en outre un Shansiodontidé nouveau, *Rhopalorhinus*. Deux formes seulement confèrent à cette faune un cachet plus moderne : un Stahleckeriidé du genre *Dolichuranus*, et un Diadémodontidé nouveau, *Titanogomphodon*, qu'on peut considérer, en raison de ses grandes dimensions, comme un représentant tardif de la famille. On peut donc admettre que la formation d'Omingonde est légèrement plus ancienne que les formations de Manda et de Ntawere ; elle pourrait représenter la base du Trias moyen.

Il n'existe en Afrique qu'une seule autre formation continentale d'âge Stormberg ayant livré des Thérapside. Il s'agit des "grès et argiles de l'Assif Irohalène", de l'Atlas occidental marocain, où Dutuit a découvert de gros Dicynodontes tardifs (Dutuit, 1965). Cette formation appartient incontestablement, par l'ensemble de ses caractères fauniques, au Trias supérieur. Elle est cependant certainement plus

ancienne que les Red Beds sud-africains car, partout dans le Monde, comme nous le verrons, les Dicynodontes s'éteignent avant l'apparition des Tritylodontidés.

2) Les formations à Thérapsides d'âge Stormberg dans les autres régions gondwaniennes.

a) L'Inde.

Dans les vallées du fleuve Godavari et de son affluent la Pranhita (Deccan oriental) a été définie une formation continentale, la formation de Yerrapalli, qui a fourni de nombreux restes de Tétrapodes (Jain, Robinson, Roy-Chowdhury, 1964 ; Ghosh, Mitra, 1970 ; Kutty, Roy-Chowdhury, 1970 ; Roy-Chowdhury, 1970). Les Thérapsides comprennent deux Dicynodontes, le Kanneméyériidé *Wadiasaurus*, proche semble-t-il de *Sangusaurus* de la formation de Ntawere, et un Stahleckeriidé, *Rechnisaurus*, genre représenté par la même espèce dans la formation de Ntawere (Crozier, 1970). En outre, la formation de Yerrapalli a livré des dents de Trirachodontidés, famille également connue dans la formation de Ntawere. Les faunes de Thérapsides des formations de Yerrapalli et de Ntawere sont donc remarquablement voisines, ce qui permet de conclure au synchronisme des deux formations.

b) L'Amérique du Sud.

Les formations continentales à Thérapsides sont nombreuses en Amérique du Sud. Certaines d'entre elles (formation de Puesto Viejo et du Rio Mendoza, Argentine) peuvent être mises en corrélation avec le Beaufort terminal (Bonaparte, 1969, 1970, 1972). D'autres, plus récentes, sont d'âge Stormberg.

En Argentine, toutes les formations continentales d'âge Stormberg sont situées dans un même bassin, le bassin d'Ischigualasto-Villa Union (provinces de San Juan et de La Rioja). Elles comprennent, dans l'ordre stratigraphique, les formations de Chañares, de Los Rastros, d'Ischigualasto et de Los Colorados (Bonaparte, 1966 ; Romer, Jensen, 1966 ; Romer, 1971).

La formation de Chañares a fourni une faune extrêmement abondante et très bien conservée, étudiée surtout par Romer. Les Thérapsides comportent des Dicynodontes Stahleckeriidés appartenant à deux genres, *Chanaria* et *Dinodontosaurus*, ce dernier représenté par deux espèces (Cox, 1968). La faune de Cynodontes, très

variée, est constituée par des Traversodontidés des genres *Massetognathus*, représenté par trois espèces, et *Megagomphodon* (Romer, 1967, 1972), et par des formes carnivores appartenant aux familles strictement sud-américaines des Chiniquodontidés et des Probainognathidés. Les Chiniquodontidés comprennent le genre *Probelesodon*, représenté par deux espèces, quelques spécimens attribués au genre *Chiniquodon*, et les Probainognathidés, le genre *Probainognathus* (Romer, 1969b, 1970b, 1973 ; Bonaparte, 1970).

A la différence de la formation de Manda, la formation de Chañares ne comporte aucun élément faunique déjà connu au Trias inférieur. D'autre part, à en juger par leurs caractères dentaires, les Traversodontidés de la formation de Chañares sont légèrement plus évolués que ceux de la formation de Manda (Cox, 1968). La formation de Chañares est donc, semble-t-il, un peu postérieure à la formation de Manda, et représenterait un niveau légèrement plus élevé dans le Trias moyen.

La formation de Los Rastros, qui succède en concordance à la formation de Chañares (Romer, Jensen, 1966), n'a pas livré de fossiles.

La formation d'Ischigualasto, qui fait suite à la formation de Los Rastros, a, au contraire, livré une faune abondante où les Thérapsides sont représentés par des restes fragmentaires attribués au Chiniquodontidé *Chiniquodon*, par de grands Traversodontidés évolués, *Proexaeretodon*, *Exaeretodon* (deux espèces) et *Ischignathus* (Bonaparte, 1970).

La formation de Los Colorados est concordante sur la formation d'Ischigualasto (Bonaparte, 1966). Elle a fourni une faune plus pauvre comprenant seulement deux Thérapsides, le Kanneméyériidé *Jachalera*, découvert à la base de la formation, et un Tritylodontidé représenté par un matériel fragmentaire, découvert au sommet de la formation (Bonaparte, 1970).

On ne connaît au Brésil qu'une seule formation continentale à Thérapsides, la formation de Santa Maria, qui a fait l'objet de travaux importants de Huene (1942), puis de Barberena (1974). La faune de la formation de Santa Maria est très voisine de celle de la formation de Chañares, mais annonce, par quelques-uns de ses éléments, la formation d'Ischigualasto. Les Chiniquodontidés sont représentés par les genres *Chiniquodon* et *Belesodon*. Les Traversodonti-

dés comportent une espèce nouvelle de *Masseognathus* — genre connu dans la formation de Chañares —, une espèce nouvelle d'*Exaeretodon* — genre connu dans la formation d'Ischigualasto — (Barberena, 1974), ainsi que les genres *Traversodon* et *Gomphodontosuchus*. Les Kanneméyéridés sont représentés par le genre *Barysoma*, et les Stahleckeriidés par *Stahleckeria* et par une espèce du genre *Dinodontosaurus* qui, selon Cox (1965), serait un peu plus évoluée que les espèces du même genre connues dans la formation de Chañares. La faune de la formation de Santa Maria présente donc des caractères intermédiaires entre les faunes des formations de Chañares et d'Ischigualasto. La formation de Santa Maria représenterait un équivalent stratigraphique de la formation de Los Rastros (Romer, 1970a) ; selon Barberena (1974), elle ferait transition entre le Trias moyen et le Trias supérieur.

L'Amérique du Sud offre donc une séquence de formations à Thérapsides sans coupure stratigraphique majeure, qui prend en quelque sorte le relais des formations africaines à Thérapsides de la partie inférieure du Trias moyen.

3) Les formations à Thérapsides d'âge Stormberg hors du Gondwana.

a) La Chine.

On connaît en Chine des faunes à Kanneméyéridés dans deux provinces, le Sinkiang (Sun Ai-Lin, 1972, 1973) et le Shansi (Sun Ai-Lin, 1960). Il s'agit, dans l'une et l'autre faunes, de Kanneméyéridés primitifs. Dans le Shansi, ils sont associés au Shansiodontidé *Shansiodon*, représenté par deux espèces (Yeh Hsiang-K'uei, 1959), et à deux Cynodontes : *Sinognathus*, considéré par Young (1959) comme un Galésauridé rappelant des formes de Beaufort, et par Hopson et Kitching (1972) comme un Trirachodontidé ; et un Diadémodontidé connu par un matériel fragmentaire, *Ordosiodon* (Young, 1961). Le caractère peu évolué des Kanneméyéridés, associés éventuellement à des Cynodontes qui semblent présenter surtout des affinités avec les formes du Beaufort, suggère que les faunes du Sinkiang et du Shansi sont d'âge Beaufort terminal plutôt que Stormberg inférieur.

Young (1974b) a décrit un Traversodontidé nouveau, *Traversodontoides*, découvert dans le Honan. Les caractères de ce fossile ne le placent pas parmi les représentants les plus évo-

lués de la famille, ce qui implique que la couche d'où provient ce fossile appartient très vraisemblablement au Trias moyen ; l'absence d'association faunique connue ne permet pas, cependant, de lui assigner un niveau plus précis.

Enfin, le membre inférieur de la formation de Lufeng (province du Yunnan) a livré une faune abondante où les Thérapsides ne sont plus représentés que par des Tritylodontidés. Une certaine ressemblance avec les faunes des Red Beds et du Cave Sandstone tendrait à faire attribuer à la formation de Lufeng un âge Trias supérieur. Cependant, les Tritylodontidés survivent, en Europe occidentale, bien au-delà du Trias supérieur (Ginsburg, 1962), et il n'y a d'autre part aucun genre de Tritylodontidés commun à l'Afrique du Sud et à la Chine, où cette famille est représentée par *Bienotherium*, *Lufengia* et *Yunnania*. La découverte récente d'une espèce nouvelle du Yunnan rapportée par Young (1974a) au genre liasique européen *Oligokyphus* apporte un élément nouveau : la faune de Lufeng serait plus récente que celle du Cave Sandstone, ce qui s'accorderait avec le caractère évolué de *Yunnania* par rapport aux Tritylodontidés sud-africains (Cui Guihai, 1976).

b) L'U.R.S.S.

La faune à *Eryosuchus*, qui occupe un niveau intermédiaire entre les zones VI et VII d'Efmov, a livré de nombreux Thérapsides provenant de quatre gisements tous situés dans la province d'Orenbourg (Préourel du Sud) et rapportés à la formation de Donguz (Kalandadze, Očev, Tatarinov, Čudinov, Šiškin, 1968). Les Dicyodontes sont représentés par les Kanneméyéridés peu évolués *Uralokannemeyeria*, *Rhadiodromus*, *Rabidosaurus*, et par le Shansiodontidé *Rhinodicynodon* (Danilov, 1971 ; Kalandadze, 1970). Les Thériodontes comprennent des Bauriamorphes, *Nothogomphodon* et *Dongusaurus*, et des Cynodontes Traversodontidés, *Antecosuchus* et une nouvelle espèce du genre *Scalenodon*, *Scalenodon boreus* (Tatarinov, 1973, 1974). La composition de cette faune rappelle celle de la formation d'Omingonde par l'association de Kanneméyéridés peu évolués, d'un Shansiodontidé et de Bauriamorphes ; elle se rapproche de celle de la formation de Manda par la présence de Traversodontidés, *Scalenodon* en particulier. La formation de Donguz, attribuée sans autre précision au Trias moyen par les auteurs soviétiques, doit donc être con-

siderée comme occupant un niveau stratigraphique situé très bas dans le Trias moyen, qu'elle soit l'équivalent de la formation d'Omingonde ou de la formation de Manda.

La faune à *Mastodonsaurus* (zone VII d'Efre-mov) provient de la même région que la faune à *Eryosuchus*. Elle correspondrait au sommet du Trias moyen et à la base du Trias supérieur. Les Thérap-sides y sont représentés par des Dicynodontes et par de rares Thériodontes (Kalandadze, Očev, Tatarinov, Čudinov, Šiškin, 1968); cependant, un seul d'entre eux a été décrit jusqu'à présent, le Kannemériidé *Elephantosaurus*, connu par un matériel très incomplet (V'juškov, 1969).

c) Les Etats-Unis.

On ne connaît aux Etats-Unis que quelques rares Thérap-sides tardifs.

Le plateau du Colorado offre une succession de formations continentales du Trias supérieur, dont la plus basse — formation de Chinle — et la plus élevée — formation de Kayenta — ont fourni, dans l'Arizona, des faunes à Thérap-sides.

La formation de Chinle n'a livré qu'un seul Thérapside, *Placerias*, connu par un nombre considérable de restes fragmentaires; cette forme, décrite par Camp et Welles (1956), a été reconstituée plus récemment par Cox (1965). Il s'agit d'un Kannemériidé géant, qui apparaît comme l'une des formes terminales de la famille. Les couches à *Placerias* de la partie inférieure de la formation de Chinle pourraient donc être sensiblement synchrones des grès et argiles de l'Assif Irohalène (Atlas occidental marocain), et de la base de la formation argentine de Los Colorados.

Le sommet de la formation de Kayenta contiendrait de grands Tritylodontidés qui, selon Gregory (1957), rappelleraient *Bienotherium*, de la formation chinoise de Lufeng, mais aussi *Tritylodon*, des Red Beds sud-africains. La grande taille de ces formes, malheureusement inédites, pourrait évoquer *Tritylodontoideus*, genre du Cave Sandstone sud-africain décrit par Fourie (1962), plutôt que *Tritylodon* des Red Beds. Quant au genre *Bienotherium*, nous avons vu qu'il appartient à une faune vraisemblablement plus récente que celle des Red Beds. Quelle que soit l'hypothèse retenue en ce qui concerne les affinités des Tritylodontidés de la formation

de Kayenta, il semble donc bien que celle-ci soit d'un âge postérieur aux Red Beds.

Des couches de Popo Agie (Wyoming) ont été décrits deux genres de Dicynodontes, *Brachybrachium* et *Eubrachiosaurus*. Ces formes, représentées par un matériel très incomplet, sont peut-être apparentées à *Placerias* de la formation de Chinle.

Enfin, dans le groupe de Newark, la formation de Cumrock (Caroline du Nord) a fourni deux genres très incomplètement connus, *Dromatherium* et *Microconodon*, qui sont soit des Cynodontes très spécialisés, soit des Mammifères primitifs (Hopson et Kitching, 1972). Ces formes appartiennent sans aucun doute au Trias supérieur, mais elles présentent des caractères trop spécialisés pour pouvoir être comparées aux représentants d'une quelconque autre faune à Thérap-sides.

CONCLUSIONS

On a pu mettre en évidence une série de formations continentales à Vertébrés qui se relaient dans le temps sans hiatus stratigraphique majeur pendant toute la durée du dépôt du Stormberg sédimentaire sud-africain. Les caractères principaux des associations successives de Thérap-sides peuvent être schématiquement résumés comme suit :

Complexe I (base du Trias moyen ?)

- Derniers Bauriamorphes.
- Cynodontes : rares Cynognathidés et Diadémodontidés ; Trirachodontidés.
- Dicynodontes : genre *Kannemeyeria* ; Shansiodontidés ; premiers *Stahleckeriidés*.

Exemple : formation d'Omingonde, Sud-Ouest africain.

Complexe II

- Cynodontes : tout derniers Diadémodontidés, Cynognathidés et Trirachodontidés ; Traversodontidés ; *Scalenodon* et genres voisins.
- Dicynodontes : derniers représentants du genre *Kannemeyeria*, derniers Shansiodontidés, *Stahleckeriidés* primitifs.

Exemples : formation de Manda, Tanzanie ; formation de Ntawere, Zambie.

Complexe III

- Cynodontes : Traversodontidés : *Massetognathus* et genres voisins ; premiers Chiniquodontidés ; Probainognathidés.
- Dicynodontes : *Stahleckeriidés* et Kannemériidés.

Exemple : formation de Chañares, Argentine.

Complexe IV (fin du Trias moyen ?)

- Cynodontes : Traversodontidés proches de ceux du complexe précédent, auxquels s'ajoutent de nouvelles formes de grande taille, dont le genre *Exaeretodon* ; Chiniquodontidés.
- Dicyodontes : Kannemeyeriidés ; derniers Stahleckeriidés.

Exemple : formation de Santa Maria, Brésil.

Complexe V (base du Trias supérieur ?)

- Cynodontes : derniers Traversodontidés : *Exaeretodon* et genres voisins ; derniers Chiniquodontidés.
- Dicyodontes : rares Kannemeyeriidés.

Exemple : formation d'Ischigualasto, Argentine.

Complexe VI

- Cynodontes ?
- Dicyodontes : derniers Kannemeyeriidés.

Exemples : base de la formation de Los Colorados, Argentine ; formation de Chinle, Etats-Unis.

Complexe VII

- Cynodontes : Tritheledontidés ; premiers Tritylodontidés : *Tritylodon* et formes voisines.

Exemple : Red Beds, Afrique du Sud et Lesotho.

Complexe VIII (fin du Trias supérieur ?)

- Cynodontes : un Tritheledontidé (?), *Diarthrognathus* ; Tritylodontidés proches de *Tritylodon*, mais de plus grandes dimensions.

Exemple : Cave Sandstone, Afrique du Sud et Lesotho.

Complexe IX (base du Jurassique ?)

- Cynodontes : Tritylodontidés : *Bienotherium* et genres voisins ; apparition du genre *Oligokyphus*.

Exemple : formation de Lufeng, Chine.

Certaines faunes peuvent présenter des caractères intermédiaires entre les complexes définis ci-dessus, telle la faune russe de la formation de Donguz, qui se rattache au complexe I par ses Bauriamorphes, et au complexe II par la présence d'une espèce rapportée au genre *Scalenodon*.

Si, pour l'essentiel, deux complexes successifs se relaient dans le temps, un chevauche-

ment partiel ne doit pas nécessairement être exclu (un tel chevauchement est possible, notamment, entre les complexes III et IV, peu différents l'un de l'autre).

On constate que les faunes de Thérapside s'appauvrissent nettement à partir du Trias supérieur. Or, les corrélations les plus sûres sont bien évidemment celles qui s'appuient sur les associations fauniques les plus riches. Aussi, à partir du Trias supérieur, ce sont souvent les Reptiles Diapsides, plus abondants et plus variés que les Thérapside, qui fournissent les renseignements stratigraphiques les plus précis.

On remarquera qu'aucun groupe de Thérapside n'est strictement cantonné dans le Gondwana (Lehman, 1961), ce qui confirme l'existence au Trias de voies de passage terrestre entre Gondwana et Laurasia. En revanche, ceci ne signifie nullement que tous les groupes soient répartis de manière uniforme sur l'ensemble du Globe : on notera, par exemple, que l'énorme majorité des espèces de Cynodontes provient de régions gondwaniennes. Il ne faut donc pas s'étonner si deux faunes très distantes, mais considérées comme synchrones en raison d'étroites parentés entre certains de leurs éléments fauniques, présentent par ailleurs des proportions tout à fait différentes entre les nombres de représentants des divers groupes. A ce facteur géographique s'ajoute un facteur écologique qui peut expliquer lui aussi des différences de compositions entre faunes synchrones.

Enfin, il faut reconnaître que, si on parvient effectivement à établir une chronologie cohérente des formations continentales à Thérapside ainsi que des corrélations relativement satisfaisantes de ces formations entre elles, la question des corrélations entre ces formations et les étages marins de l'échelle stratigraphique internationale est en revanche loin d'être résolue.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ANDERSON H.M., ANDERSON J.M. (1970). — A Preliminary review of the biostratigraphy of the Uppermost Permian, Triassic and Lowermost Jurassic of Gondwanaland. *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. 13 (suppl.), p. 1-22.
- 2) ANDERSON J.M. (1973). — The biostratigraphy of the Permian and Triassic. *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. 16, p. 59-83.
- 3) BARBERENA M.C. (1974). — Contribuição ao conhecimento dos Cinodontes gonfodontes (Cynodontia, Tritylodontoidea) do Brasil. Ministério de Educação e Cultura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 194 p.
- 4) BATTAIL B. (1972). — Les Reptiles Thérapside dans la stratigraphie du Permo-Trias continental : la série de Beaufort (Afrique du Sud) et ses équivalents dans le monde. *Mém. B.R.G.M.*, n° 77, p. 357-369.

- 5) BONAPARTE J.F. (1966). — Chronological survey of the Tetrapod-bearing Triassic of Argentina. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 251, 13 p.
- 6) BONAPARTE J.F. (1969). — *Cynognathus minor* n. sp. (Therapsida - Cynodonta), nueva evidencia de la vinculación faunística afro-sudamericana a principios del Triásico. *Gondwana stratigraphy; I.U.G.S. Symposium*, Buenos-Aires, 1-15 October 1967; Unesco, Paris 1969, p. 273-281.
- 7) BONAPARTE J.F. (1970). — Annotated list of the south American Triassic Tetrapods. *I.U.G.S. 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 665-682.
- 8) BONAPARTE J.F. (1972). — *Cromptodon mamiferoides* gen. et sp. nov., Galesauridae de la formación Rio Mendoza, Mendoza, Argentina (Therapsida - Cynodontia). *Ameghiniana*, vol. IX, n° 4, p. 343-363.
- 9) BRINK A.S. (1963). — Two Cynodonts from the Ntawere formation in the Luangwa valley of Northern Rhodesia. *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. VIII, p. 77-96.
- 10) BROOM R. (1906). — The Permian and Triassic faunas of South Africa. *Geol. Mag. G.B.*, decade 5, vol. 3, p. 29-30.
- 11) CAMP C.L., WELLES S.P. (1956). — Triassic dicynodont reptiles. Part. I. The North American genus *Placerias*. *Mem. Univ. Calif.*, vol. 13, p. 255-304.
- 12) CHERNIN S., CRUICKSHANK A.R.I. (1970). — A capitosaurid amphibian from the Upper Luangwa Valley, Zambia. *I.U.G.S. 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 649-652.
- 13) COLBERT E.H. (1963). — Relationships of the Triassic reptilian faunas of Brazil and South Africa. *South Afr. J. Sci.*, vol. 59, p. 248-253.
- 14) COLBERT E.H. (1969). — Gondwanaland and the distribution of Triassic tetrapods. *Gondwana stratigraphy, I.U.G.S. Symposium*, Buenos Aires, 1-15 October 1967; Unesco, Paris 1969, p. 355-374.
- 15) COX C.B. (1965). — New Triassic dicynodonts from South America, their origins and relationships. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, (B), vol. 248, p. 457-516.
- 16) COX C.B. (1968). — The Chañares (Argentina) Triassic reptile fauna. IV. The dicynodont fauna. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 295, 27 p.
- 17) COX C.B. (1969). — Two new dicynodonts from the Triassic Ntawere formation, Zambia. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist.*, Geol., vol. 17, n° 6, p. 255-294.
- 18) COX C.B. (1973). — Triassic Tetrapods. In *Atlas of Palaeobiogeography*, sous la direction de A. Hallam, Elsevier, Amsterdam, London, New-York, 1973, p. 213-223.
- 19) COX C.B. (1974). — Vertebrate palaeodistributional patterns and continental drift. *Journ. Biogeogr.*, vol. 1, p. 75-94.
- 20) CROMPTON A.W. (1955). — On some Triassic Cynodonts from Tanganyika. *Proc. Zool. Soc. London*, vol. 125, p. 617-669.
- 21) CROMPTON A.W., ELLENBERGER F. (1957). — On a new Cynodont from the Molteno Beds and the origin of Tritylodontids. *Ann. S. Afr. Mus.*, Le Cap, vol. 44, p. 1-13.
- 22) CROZIER E.A. (1971). — Preliminary report on two triassic Dicynodonts from Zambia. *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. 13 (1970), p. 39-45.
- 23) CRUICKSHANK A.R.I. (1967). — A new dicynodont genus from the Manda Formation of Tanzania (Tanganyika). *J. Zool.*, Londres, vol. 153, p. 163-208.
- 24) CUI GUIHAI (1967). — *Yunnania*, a New Tritylodont Genus from Lufeng, Yunnan. *Vert. Palasiatica*, Pékin, vol. XIV, n° 2, p. 85-90 (en chinois, résumé anglais).
- 25) DANILOV A.I. (1971). — Novyj dicynodont iz srednego triasa južnogo Priural'ja (Un cynodonte nouveau du Trias moyen du Préourel du Sud). *Palaeont. Zhurn.*, Moscou, 1971, n° 2, p. 132-135 (en russe).
- 26) DRYSDALL A.R., KITCHING J.W. (1963). — A re-examination of the Karroo succession and fossil localities of part of the upper Luangwa valley. *Mem. Geol. Surv. N. Rhodesia*, Lusaka, n° 1, 62 p.
- 27) DUTUIT J.M. (1965). — Découverte de Dicynodontes (Reptiles Thérapside) dans le Trias du couloir d'Argana (Atlas occidental marocain). *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 260, p. 3447-3448.
- 28) EFREMOV I.A. (1937). — O stratigrafičeskom pogradsdelenii kontinental'noj permi i triasa SSSR po faune nazemnykh pozvonočnykh (Sur la subdivision stratigraphique du Permien et du Trias continentaux d'U.R.S.S. d'après la faune de Vertébrés terrestres). *Dokl. (C.R.) Acad. Sc. U.R.S.S.*, vol. 16, p. 121-126.
- 29) FOURIE S. (1962). — Notes on a New Tritylodontid from the Cave Sandstone of South Africa. *Navors. Nasion. Mus.*, Bloemfontein, vol. 2, fasc 1, p. 7-19.
- 30) GHOSH P.K., MITRA N.D. (1970). — A review of recent progress in the studies of the Gondwanas of India. *I.U.G.S. 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 29-36, Pl. I-XXII.
- 31) GINSBURG L. (1962). — *Likhoelia ellenbergeri*, Tritylodonte du Trias supérieur du Basutoland. *Ann. Paléont.*, Paris, vol. 48, p. 179-194.
- 32) GREGORY J.T. (1957). — Significance of Fossil Vertebrates for Correlation of Late Triassic Continental Deposits of North America. *Congr. Géol. Intern.*, XX^e Session, Mexico 1956, Secc. II, El Mesozoic del Hemisferio occidental y sus correlaciones mundiales, p. 7-25.
- 33) HAUGHTON S.H. (1924). — The fauna and stratigraphy of the Stormberg Series. *Ann. South Afr. Mus.*, Le Cap, vol. 12 (1913-1924), p. 323-497.
- 34) HAUGHTON S.H., BRINK A.S. (1954). — A bibliographical list of Reptile from the Karroo Beds of South Africa. *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. II, 187 p.
- 35) HOPSON J.A., KITCHING J.W. (1972). — A revised classification of Cynodonts (Reptilia, Therapsida). *Palaeont. afr.*, Johannesburg, vol. 14, p. 71-85.
- 36) HUENE F. von (1942). — Die fossilen Reptilien des Südamerikanischen Gondwanalandes. *C.H. Beck*, Munich, 1935-1942, 332 p.
- 37) JAIN S.L., ROBINSON P.L., ROY CHOWDHURY T.K. (1964). — A new vertebrate fauna from the Triassic of the Deccan, India. *Quart. Journ. Geol. Soc. London*, vol. 120, p. 115-124.

- 38) KALANDADZE N.N. (1970). — Novye triasovye kanne-mejeridy Južnogo Priural'ja (Nouveaux Kannemériidés triasiques du Préoural du Sud). Dans le recueil « Materialy po evolucii nazemnykh pozvonočnykh » (Matériaux sur l'évolution des Vertébrés terrestres). Edit. « Nauka », Moscou 1970, p. 51-57 (en russe).
- 39) KALANDADZE N.N. (1974). — O mežkontinental'nykh svjazakh faun tetrapod v triasovom periode (Sur les relations intercontinentales des faunes de Tétrapodes à l'époque triasique). *Paleont. Žurn.*, Moscou, 1974, n° 3, p. 75-86.
- 40) KALANDADZE N.N., OČEV V.G., TATARINOV L.P., ČUDINOV P.K., SISKIN M.A. (1968). — Katalog permskikh i triasovykh tetrapod SSSR (Catalogue des Tétrapodes permien et triasiques d'U.R.S.S.). Dans le recueil « Verkhnepaleozojskie i mezozojskie zemnovodnye i presmykajuščiesja SSSR » (Amphibiens et Reptiles du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque de l'U.R.S.S.). Edit. « Nauka », Moscou 1968, p. 72-91.
- 41) KEYSER A.W. (1973). — A new Triassic vertebrate fauna from South West Africa. *Paleont. afr.*, Johannesburg 1973, vol. 16, p. 1-15.
- 42) KITCHING J.W. (1970). — A Short Review of the Beaufort Zoning in South Africa. *I.U.G.S., 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 309-312.
- 43) KITCHING J.W. (1977). — The Distribution of the Karroo Vertebrate Fauna. *Mem. Bernard Price Inst. f. Paleont. Res.*, Johannesburg, n° 1, 131 p.
- 44) KUTTY T.S., ROY CHOWDHURY T. (1970). — The Gondwana sequence of the Pranhita-Godavari valley, India, and its Vertebrate fauna. *I.U.G.S., 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 303-308.
- 45) LEHMAN J.P. (1961). — Répartition des Thérapside. In Piveteau J., *Traité de Paléontologie*, Masson, éd., Paris, vol. VI, 1, 59-69.
- 46) ROMER A.S. (1967). — The Chañares (Argentina) Triassic reptile fauna. III. Two new Gomphodonts, *Massetognathus pascuali* and *M. teruggii* *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 264, 25 p.
- 47) ROMER A.S. (1969a). — The triassic faunal succession and the Gondwanaland problem. *Gondwana stratigraphy, I.U.G.S. Symposium*, Buenos Aires 1-15 October, Unesco, Paris 1969, p. 375-400.
- 48) ROMER A.S. (1969b). — The Chañares (Argentina) Triassic reptile fauna. V. A new Chiniquodontid Cynodont, *Probelesodon lewisi*. — Cynodont ancestry, *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 333, 24 p.
- 49) ROMER A.S. (1970a). — Tetrapod vertebrate and Gondwanaland. *I.U.G.S. 2nd Gondwana Symposium*, South Africa 1970, p. 111-124.
- 50) ROMER A.S. (1970b). — The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. VI. A Chiniquodontid cynodont with an incipient squamosal-dentary jaw articulation. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 344, 18 p.
- 51) ROMER A.S. (1971). — The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. IX. The Chañares formation. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 377, 8 p.
- 52) ROMER A.S. (1972). — The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. XVII. The Chañares Gomphodonts. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 396, 9 p.
- 53) ROMER A.S. (1973). — The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. XVIII. *Probelesodon minor*, a new species of carnivorous cynodont; family Probainognathidae nov. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 401, 13 p.
- 54) ROMER A.S., JENSEN J.A. (1966). — The Chañares (Argentina) triassic reptile fauna. II. Sketch of the geology of the Rio Chañares - Rio Gualo region. *Breviora*, Cambridge (Mass.), n° 252, 20 p.
- 55) ROY CHOWDHURY T. (1970). — Two new dicynodonts from the triassic Yerrapalli Formation of central India. *Palaeontology*, Londres, vol. 13, fasc. 1, p. 132-144.
- 56) STOCKLEY G.M. (1947). — Report on the geology of Basutoland. Morija printing works, Morija (Lesotho), 1947, 114 p.
- 57) SUN AI-LIN (1960). — On a New Genus of Kannemeyeriids from Ningwu, Shansi. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. IV, n° 2, p. 67-81.
- 58) SUN AI-LIN (1972). — Permo-Triassic Reptiles of Sinkiang. *Scientia sinica (Notes)*, vol. XVI, n° 1, p. 152-156.
- 59) SUN AI-LIN (1973). — Permo-Triassic dicynodonts from Turfan, Sinkiang. *Mem. Inst. Vert. Paleont. Paleanthr. Acad. sin.*, Pékin, n° 10, p. 53-68 (en chinois).
- 60) TATARINOV L.P. (1973). — Cinodonty gondvanskogo oblika v snednem triase SSSR (Cynodontes d'aspect gondwanien dans le Trias moyen d'U.R.S.S.). *Paleont. Žurn.*, Moscou 1973, n° 2, p. 83-89 (en russe).
- 61) TATARINOV L.P. (1974). — Teriodonty SSSR (Les Thériodontes d'U.R.S.S.). *Trudy (Travaux) paleont. inst. Akad. nauk SSSR*. Moscou, vol 143, 252 p. (en russe).
- 62) TURNER B.R. (1972). — Revision of the stratigraphic position of cynodonts from the upper part of the Karroo (Gondwana) System in Lesotho. *Geol. Mag.*, Cambridge Univ. Press, Oxford, G.B., vol. 109, n° 4, p. 349-360.
- 63) V'JUŠKOV B.P. (1969). — Novye dicinodonty iz triasa Južnogo Priural'ja (Dicynodontes nouveaux du Trias du Préoural du Sud). *Paleont. Žurn.*, Moscou 1969, n° 2, p. 99-106 (en russe).
- 64) WATSON D.M.S. (1914). — The zones of the Beaufort Beds of the Karroo system in South Africa. *Geol. Mag.*, G.B., decade 6, vol. 1, p. 203.
- 65) YEH HSIANG-K'UEI (1959). — New Dicynodont from *Sinokannemeyeria*-Fauna from Shansi. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. III, n° 4, p. 187-204.
- 66) YOUNG C.C. (1959). — Note on the First Cynodont from the *Sinokannemeyeria*-Faunas in Shansi, China. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. III, n° 3, p. 124-132.
- 67) YOUNG C.C. (1961). — On a new Cynodont from NW Shansi. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. V, n° 2, p. 109-114 (en chinois, résumé anglais).
- 68) YOUNG C.C. (1974a). — New materials of Therapsida from Lufeng, Yunnan. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. XII, n° 2, p. 111-116 (en chinois).
- 69) YOUNG C.C. (1974b). — A New Genus of Traversodontidae in Jiyuan, Honan. *Vert. Palasiat.*, Pékin, vol. XII, n° 3, p. 203-211 (en chinois).

Découverte d'une ichthyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay Rapports avec les faunes ichthyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana

par Laurence BELTAN (*)

(Planches LVIII à LX)

Sommaire. — Les Paléoniscidés étudiés ont été trouvés en Uruguay dans la Formation-Itararé du Nord-Est (Carbonifère supérieur). C'est la première fois que des Poissons sont découverts dans ces couches. Cette ichthyofaune, comprenant cinq nouveaux genres et espèces, et trois nouvelles espèces, est rattachée sur le plan de la famille aux ichthyofaunes de la fin du Paléozoïque du Gondwana.

Summary. — The Paleoniscids studied have been found in the Itararé-Formation of Northeast Uruguay (Upper Carboniferous). This is the first occurrence of Fishes in these beds. This ichthyofauna, including five new genera and species and also three new species, is related to the late Paleozoic ichthyofaunas of the Gondwanaland, on the family level.

Les sédiments gondwaniens sont connus en Amérique du Sud, en particulier au Brésil, en Uruguay, au Paraguay et en Argentine. Parmi ces dépôts en général continentaux, avec des sédiments glaciaires, et des intercalations marines, il est fait mention du Système Santa Catarina, comprenant entre autres, la Formation-Itararé, considérée comme étant du Carbonifère supérieur.

Cette Formation-Itararé est présente en Uruguay, dans le Nord-Est où elle est traversée par le Rio Negro. Ces sédiments ont livré, outre des nodules contenant des poissons, des coniatites, des éponges, des radiolaires indiquant une origine marine.

Les poissons examinés ne sont pas nombreux. Ils appartiennent à un seul ordre : celui des Paléonisciformes. On relève cinq nouveaux genres et espèces, et trois nouvelles espèces insérés dans des familles connues dans d'autres gisements.

(*) Institut de Paléontologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

I. — ETUDE PALEONTOLOGIQUE

Famille ACROLEPIDAE

MESONICHTHYS ANTIPODEUS n. sp.

(Pl. LVIII, fig. 3)

Principaux caractères : Maximum de la hauteur de la tête environ les 2/3 de sa longueur, appareil operculaire compris. Museau arrondi. Narine antérieure haut placée. Suture fronto-pariétale digitée. Os infraorbitaire et suborbitaire très larges. Suspensorium modérément oblique. Antéoperculaire plus large que chez *M. aitkeni*. Opercule ayant une fois et demie la hauteur du subopercule. Principaux lépidotriches de la nageoire pectorale inarticulés.

GONDWANICHTHYS MAXIMUS n. g. n. sp.

(Pl. LVIII, fig. 2)

Principaux caractères : Espèce caractérisée par les grandes dimensions de ses composants : postrostral, frontal, pariétal. Museau arrondi ; nombreux extrascapulaires de forme irrégulière. Suspensorium modérément incliné. Opercule et

sousopercule de forme rectangulaire ayant à peu près la même extension, et dépourvus d'ornementation. Partie supérieure du maxillaire et partie inférieure de la mandibule lisses, des stries verticales ailleurs. Principaux lépidotriches de la nageoire pectorale non segmentés. Ecailles aussi hautes que larges, légèrement recouvrantes, garnies de stries partant des denticulations postérieures.

CARBONILEPIS URUGUAYENSIS n. g. n. sp.
(Pl. LVIII, fig. 1)

Principaux caractères : Museau légèrement prononcé. Orbite située très avant. Nombreux extrascapulaires. Suspensorium modérément incliné. Espace antéoperculaire divisé dans le plan vertical en 4 ou 5 petits os de forme trapézoïdale. Mandibule et maxillaire longs et étroits. Une ou deux écailles cleithrales. Ecailles ornées de rides d'émail parallèles et denses. Base de la nageoire anale très grande.

Famille ELONICHTHYIDAE

ELONICHTHYS MACROPERCULARIS n. sp.
(Pl. LX, fig. 1)

Principaux caractères : Postrostral presque ovoïde. Museau très prononcé. Mandibule très allongée et étroite. Environ 15 rayons branchiostèges. Nageoires pectorales très développées. Opercule haut et large. Ecailles ventrales plus hautes que larges montrant une ride diagonale d'où partent des stries. Les autres écailles avec une ornementation très dense.

Famille RHADINICHTHYIDAE

RHADINICHTHYS RIONIGER n. sp.
(Pl. LVIII, fig. 4)

Principaux caractères : Rostre bien prononcé. Suspensorium très oblique. Maxillaire et mandibule très robustes. Opercule allongé. Subopercule rectangulaire avec le bord postérieur convexe vers l'arrière. Antéopercule absent. Suture fronto-pariétale digitée. Dermoptérotique en contact avec le nasal. Probablement quatre larges extrascapulaires. Large posttemporal de forme triangulaire. Présence d'un os spiraculaire. Ecailles rhombiques dentelées postérieu-

rement, ornées de rides parallèles. Lépidotriches de la nageoire pectorale non articulés.

Famille PYGOPTERIDAE

ITARARICHTHYS MICROPHTHALMUS
n. g. n. sp.
(Pl. LIX, fig. 1)

Principaux caractères : Crâne pourvu d'un rostre très marqué. Orbite petite munie d'un anneau sclérotique, placée très en avant. Suspensorium très incliné. Antéopercule absent. Opercule plus étroit que le sousopercule trapézoïdal, et haut. Mandibule et maxillaire puissants. Bouche large. Longueur du postrostral contenue trois fois dans la longueur totale du toit crânien. Frontal et dermoptérotique bien développés. Pariétal large. Extrascapulaires nombreux et larges. Posttemporal étroit. Ecailles rhombiques légèrement recouvrantes.

Famille AMBLYPTERIDAE

DAPHNAECHELUS FORMOSUS n. g. n. sp.
(Pl. LIX, fig. 2)

Principaux caractères : Crâne aussi haut que long. Rostre inexistant, ou peu développé. Orbite grande placée antérieurement. Opercule quelque peu plus haut que le subopercule. Antéopercule triangulaire et petit. Bouche peu fendue. Os du toit crânien développés. Suture frontale irrégulière. Longueur totale du toit crânien plus de deux fois la longueur du postrostral. Pariétaux petits triangulaires. Nombreux extrascapulaires de forme irrégulière. Ecailles rhombiques dont les rides forment un beau dessin ayant suggéré le nom spécifique.

THOLONOSTEON SANTACATARINAE
n. g. n. sp.
(Pl. LX, fig. 2, 3, 4)

Principaux caractères : Ce spécimen vient du Permo-Carbonifère de l'Etat de Santa Catarina (Brésil). Profil dorsal très arqué. Nageoires pectorales très développées avec environ 36 rayons. Nageoires pelviennes à base très large. Nageoire anale très haute avec environ 30 lépidotriches. Nageoire dorsale triangulaire avec une base plus large que la hauteur, s'élevant

au milieu du corps, composée environ de 25 rayons et montrant de petites épines le long de son bord antérieur. La nageoire caudale hétérocerque profondément fourchue, presque équiloclée avec 68 rayons articulés sur toute leur longueur. Présence de 20 fulcres sur le lobe épichordal (les 3 premiers étant très larges). Présence de cinq écailles faitières en avant de la nageoire dorsale, la deuxième en avant étant très importante. Corps entièrement recouvert de grandes et minces écailles rhomboïdales, sans ganoïne, montrant de délicates côtes longitudinales. Les écailles sont généralement équilatérales. Présence au-dessus des nageoires pectorales de 8 rangées verticales d'écailles plus hautes que longues.

Le Carbonifère était l'époque de la plus grande abondance de Paléonisciformes très variés, connus dans l'Hémisphère Nord (Grande-Bretagne, Ecosse, Groenland, Allemagne, Amérique du Nord, Afrique du Nord), ainsi qu'en Afrique du Sud, Australie. La présence d'une ichthyofaune dans le Nord-Est d'Uruguay étend l'aire paléogéographique de cet Ordre et par suite augmente la connaissance de celui-ci en Amérique du Sud. En effet, excepté le genre *Tholonotus braziliensis* venant des sédiments gondwaniens du Brésil, on ne connaissait que des fragments référés aux genres *Acrolepis* et *Elonichthys*.

II. — RAPPORTS AVEC D'AUTRES ICHTYOFAUNES GONDWANIENNES CONTEMPORAINES

La faune ichthyologique d'Uruguay comprend de nombreux genres endémiques. Néanmoins, une parenté peut être établie entre elle et celles des autres provinces, constituant le Gondwana pendant le Paléozoïque.

a) Inde Péninsulaire.

Les séries karharbaris, Permien inférieur, ont livré à côté de *Gangamopteris*, *Actinodon*, *Archaeosaurus*, quelques Amblyptéridae. En effet, dans ces assises a été identifié le genre *Amblypterus* (*A. kashmiriensis*, *A. species*). Cette famille est présente dans la Formation-Itararé par les genres *Daphnaechelus* et *Tholosteon*.

b) Australie.

La faune de Poissons du Permien inférieur se trouve dans des couches non-marines du

District de Mansfield (Victoria). Cette ichthyofaune comprend : des Acanthodiens, Dipneustes, Crossoptérygiens et Actinoptérygiens. Parmi les représentants de cette dernière classe, deux espèces d'*Elonichthys* ont été décrites. *Elonichthys sweeti* et *E. gibbus*. Plus tard, pendant la période permienne, ce genre référé à l'espèce *E. davidi* est présent dans le Newcastle coal Measures, New South Wales. Pendant l'époque paléozoïque, il y a une petite indication de jonction entre l'Australie, l'Afrique et l'Amérique du Sud. Les similitudes faunistiques sont établies avec l'hémisphère Nord en se basant sur les vertébrés, et le genre *Elonichthys* semble être cosmopolite.

c) Afrique du Sud.

Parmi les provinces constituant le "Gondwana", les plus importantes sont l'Afrique du Sud et l'Amérique du Sud en ce qui concerne les ichthyofaunes à la fin du Paléozoïque.

Parmi les restes de Poissons, des séries supérieures de Witteberg d'Afrique du Sud (Carbonifère inférieur), on note la présence de la famille des Rhadinichthyidae avec trois espèces *Mentzichthys jubbi*, *M. maraisi*, *M. theroni*. En Uruguay, cette famille est maintenant connue dans le Carbonifère supérieur avec le genre *Rhadinichthys*, *R. rioniger*. Les séries de Dwyka, Carbonifère supérieur (Afrique du Sud), ont livré la famille des Elonichthyidae avec l'espèce *Namaichthys schroederi*. Quelques fragments venant des séries de Dwyka, représentant *Rhadinichthys* (?), *Elonichthys* (?) ont été aussi trouvés. Ce dernier genre est aussi présent dans les séries d'Ecce (Permien). En Amérique du Sud, la Formation-Itararé d'Uruguay a livré la famille Elonichthyidae avec l'espèce *Elonichthys macropocularis*.

Les récentes données paléontologiques et géotectoniques suggèrent que les deux continents étaient déjà séparés par des chenaux permo-carbonifères. En effet, la Formation-Itararé (Amérique du Sud) et les argiles schisteuses de Dwyka (Afrique du Sud) étaient principalement des couches marines.

Il a été noté que les goniatites venant du Nord-Est d'Uruguay appartiennent au même genre connu dans les couches de Dwyka. En ce qui concerne les Poissons examinés plus haut et venant de la même formation, les parentés s'établissent sur le plan de la famille.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ALDINGER H. (1937). — Permische Ganoid-fisches aus Ostgrönland. *Medd. om Gröland*, vol. 102, n° 3, 105 fig., 44 pl.
- 2) CLOSS D. (1967). — Goniatiten mit Radula und Kieferapparat in der Itararé-Formation von Uruguay. *Paläont. Zeitschr.*, Bd 41, p. 19-37, Pls. 1-3.
- 3) DUNKLE D.H. and SCHAEFFER B. (1956). — Preliminary description of a Paleoniscid Fish from the late paleozoic of Brazil. *Bol. da Fac. Filos. Cienc. Let. da Univ. Sao Paulo*, n° 193, Geol. n° 13, p. 5-22, 5 fig.
- 4) GARDINER B.G. (1962). — *Namaichthys schroederi* Gürich and other paleozoic fishes from South Africa. *Paleontology*, London, Vol. 5, part. 1, p. 9-21, Pl. 6.
- 5) GARDINER B.G. (1963). — Certain Palaeoniscoid fishes and the evolution of the snout in Actinopterygians. *Bull. of the Brit. Mus. (N.H.)*, Geol., vol. 8, n° 6, London.
- 6) GARDINER B.G. (1967). — Further notes on Paleoniscoid fishes, with a classification of the Chondrostei. *Bull. of the Brit. Mus. (N.H.)*, Geol., vol. 14, n° 5, London.
- 7) GARDINER B.G. (1969). — New Palaeoniscoid fish from the Witteberg series of South Africa. *Zool. J. Linn. Soc.*, 48, p. 423-452, 2 pl., 18 fig.
- 8) GHOSH P.K., MITRA N.D. (1970). — A review of the recent progress in the studies of the Gondwanas of India. *Proceedings and papers. Second Gondwana symposium*, South Africa.
- 9) GONI J.C. et HOFFSTETTER R. (1964). — *Lexique stratigraphique international*, Amérique Latine, vol. 5, Fasc. 9a, Uruguay.
- 10) GUIMARAES D. (1964). — Geologia do Brasil. Ed. *Divisao de Fomento da produção Mineral. Mem. n° 1*, Rio de Janeiro, Brasil.
- 11) HILLS E.S. (1958). — A brief review of Australian fossil vertebrates, in Westoll T.S. (Editor). *Studies on fossil vertebrates*, 86-107, London.
- 12) HUSSAKOF L. (1930). — Alguns restos de peixes do permiano e do triassico do Brazil. *Bol. do Serv. Geol. Min. do Brasil*, 49.
- 13) JUBB R.A. and GARDINER B.G. (1975). — A preliminary catalogue of identifiable Fossil fish material from Southern Africa. *Ann. S. Afr. Mus.*, 67, (11), p. 381-440, 32 fig.
- 14) KLING S.A., REIF W.E. (1969). — The paleozoic history of Amphidic and Hemidisc sponges: New evidence from the Carboniferous of Uruguay. *Jour. of Pal.*, V. 43, n° 6, p. 1429-1434, Plate 76, 1 text.-fig.
- 15) LOCZY L. de (1971). — Gondwana problems in the light of recent paleontologic and tectonic recognitions. *An. Acad. Brasil Cienc.*, Simp. Bras. de Pal., 43, supp.
- 16) MOY-THOMAS J.A. and BRADLEY DYNE M.B. (1938). — Actinopterygian Fishes from the Lower Carboniferous of Glencartholm, Eskdale, Dumfriesshire. *Trans. R. Soc. Edinb.*, 59, p. 437-480, 2 pl.
- 17) SCHAEFFER B. (1973). — Interrelationships of Chondrosteans. - In *Interrelationships of Fishes*. Supp, n° 1 to the *Zoo. Jour. of Linn. Soc.*, vol. 53, p. 207-226.
- 18) TEICHERT C. (1952). — Symposium sur les séries de Gondwana. *XIX° Congrès géologique international*, Alger.
- 19) TRAQUAIR R.H. (1877c). — The ganoid fishes of the British Carboniferous formations. Part. 1, Paleoniscidae. *Palaeontogr. Soc. (Monogr.)*, London, 31, p. 1-60, Pl. 1-7.
- 20) TRAQUAIR R.H. (1901). — The ganoid fishes of the British Carboniferous formations. Part. 1, Paleoniscidae. *Palaeontogr. Soc. (Monogr.)*, London, 31, p. 61-87, Pl. 8-18.
- 21) TRAQUAIR R.H. (1907). — The ganoid fishes of the British Carboniferous formations. Part. 1, Paleoniscidae. *Palaeontogr. Soc. (Monogr.)*, London, 31, p. 88-106, Pl. 19-23.
- 22) WATSON D.M.S. (1925). — The structure of certain Paleoniscid and the relationships of that group with other bony Fish. *Proceeding of the Zoological Society of London*, p. 815-870, 30 fig., 2 pl.
- 23) WOODWARD A.S. (1905). — Permocarboniferous Plants and Vertebrates from Kashmir. *Mem. Geol. Surv. of India. Pal. Ind.*, New Ser., vol. 11, Mem. n° 2.
- 24) WOODWARD A.S. (1906). — On a carboniferous fish fauna from the Mansfield district (Victoria), Australia. *Mem. Nat. Mus.*, Melbourne, n° 1.
- 25) WOODWARD A.S. (1940). — A Paleoniscid Fish (*Elonichthys davidi*) from the Newcastle Coal Measures, New South-Wales. *Ann. Mag. nat. hist.*, ser. 11-6, p. 462-464.

* * *

EXPLICATION DES PLANCHES

Abréviations utilisées : **Ang** : angulaire ; **Aop** : antéopercule ; **ap** : pit line antérieure ; **Cla** : clavicule ; **Cl** : cleithrum ; **Den** : dentaire ; **Dpt** : dermoptérotique ; **Dps** : dermosphénotique ; **Exsc** : extrascapulaire ; **Exsc l** : extrascapulaire latéral ; **Exsc m** : extrascapulaire médian ; **Fr** : frontal ; **Gu** : plaque gulaire ; **gu.p** : pit line gulaire ; **hp** : pit line horizontale ; **Inf** : infraorbitaire ; **mp** : pit line médiane ; **Mx** : maxillaire ; **Na** : nasal ; **na₁** : narine antérieure ; **na₂** : narine postérieure ; **Op** : opercule ; **Pa** : pariétal ; **Pcl** : postcleithrum ; **Pop** : préopercule ; **pop.c** : canal sensoriel du préopercule ; **Post spi** : postspiraculaire ; **pp** : pit line postérieure ; **Pt** : Posttemporal ; **Ptr** : postrostral ; **Rbr** : rayons branchiostéges ; **Rpmx** : rostro-prémaxillaire ; **Rpmx.ant** : rostro-prémaxillaire antorbitaire ; **Sbo** : suborbitaire ; **Scl** : supracleithrum ; **So** : supraorbitaire ; **Sop** : sousopercule ; **vp** : pit line verticale.

Planche LVIII

- Fig. 1. — *Carbonifepis uruguayensis* n. g., n. sp.
Crâne en vue latérale. Gr. = 1/2.
- Fig. 2. — *Gondwanichthys maximus* n. g., n. sp.
Tête en vue latérale et fragment du tronc. Gr. = 1/2.
- Fig. 3. — *Mesonichthys antipodeus* n. sp.
Toit crânien et face latérale du crâne. Gr. = 2.

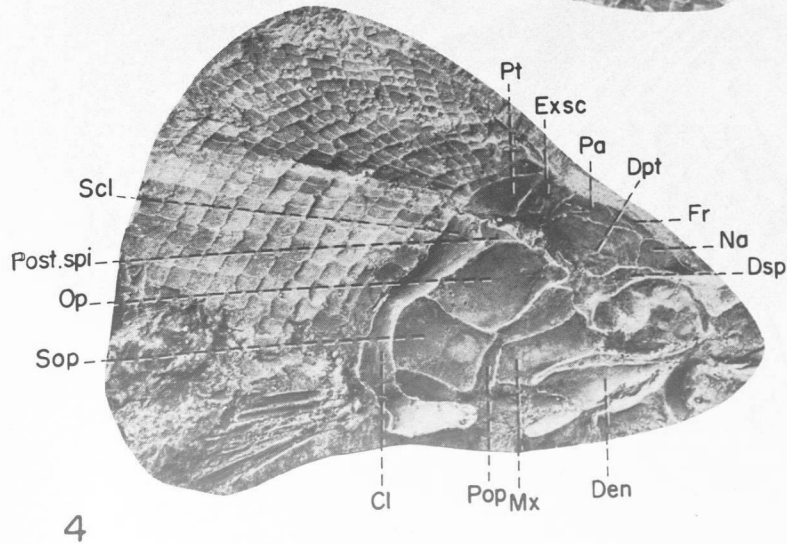
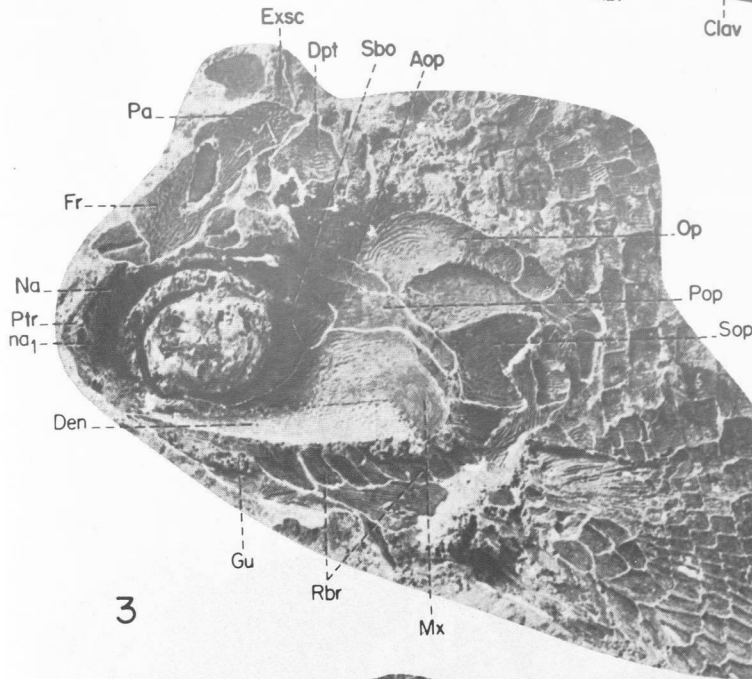
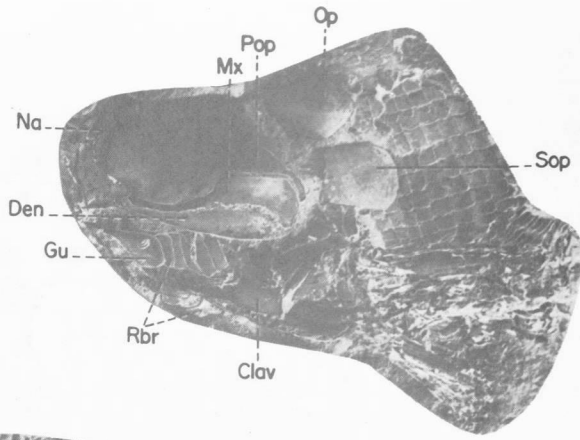
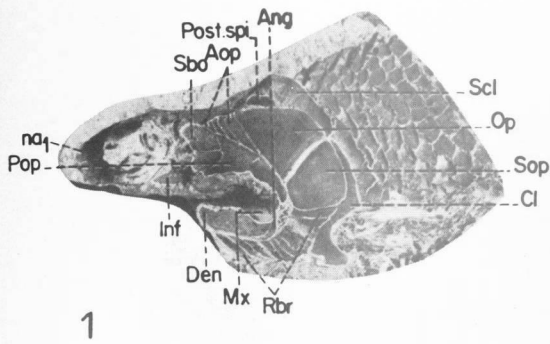
- Fig. 4. — *Rhadinichthys rioniger* n. sp.
Toit crânien, joue, partie antérieure du corps.
Gr. = 2/3.

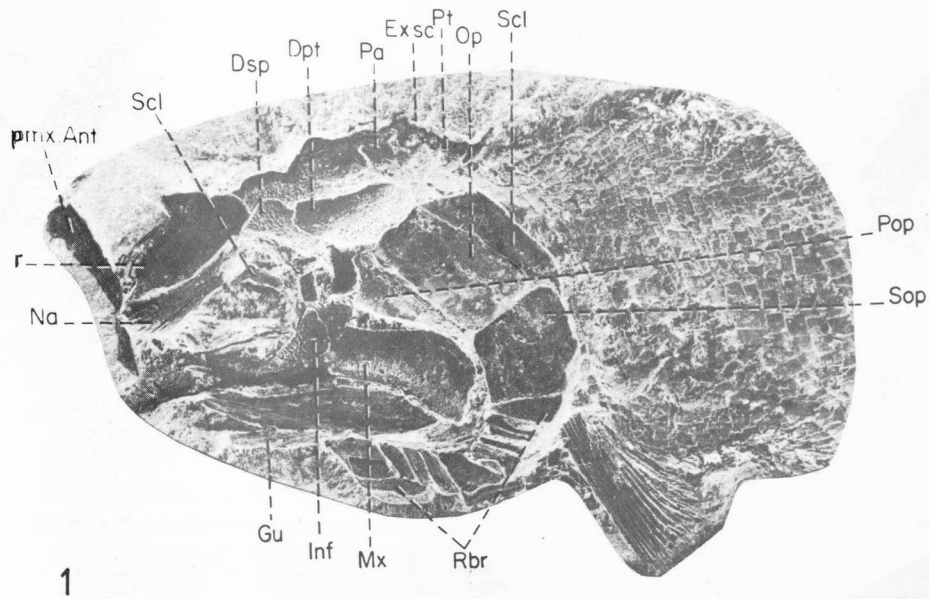
Planche LIX

- Fig. 1. — *Itarichthys microphthalmus* n. g., n. sp.
Toit crânien, joue, partie antérieure du corps.
Gr. nat.
- Fig. 2. — *Daphnaechelus formosus* n. g., n. sp.
Toit crânien, joue, partie antérieure du corps.
Gr. = 2.

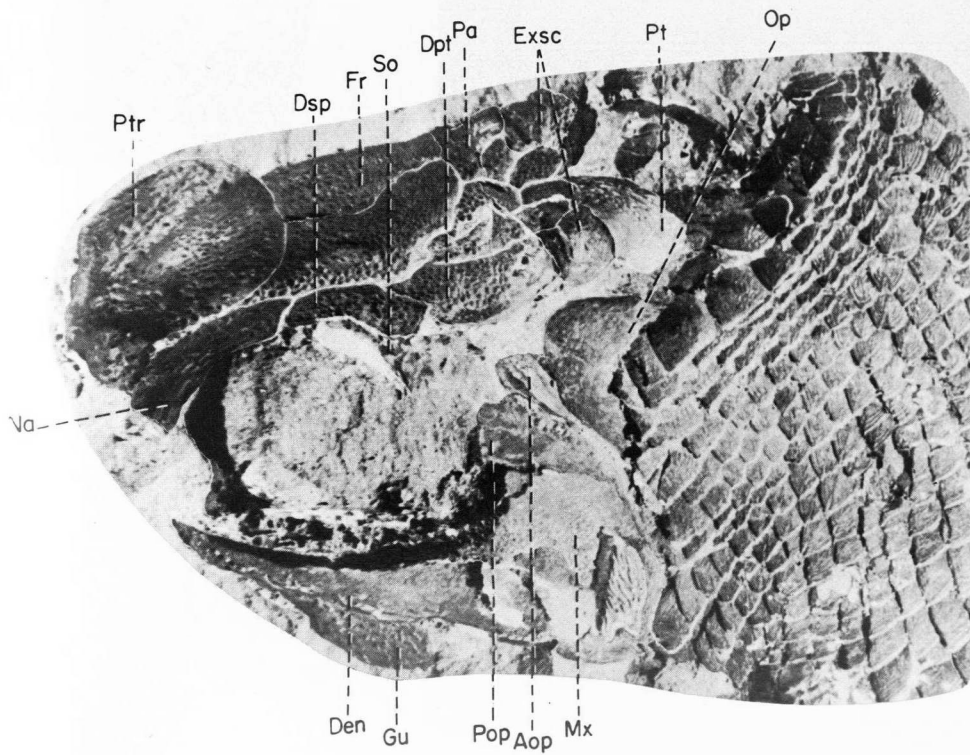
Planche LX

- Fig. 1. — *Elonichthys macropercularis* n. sp.
Crâne en vue ventrale ; partie antérieure du corps.
Gr. nat.
- Fig. 2. — *Tholonosteon santacatarinae* n. g., n. sp.
Vue générale du corps. Gr. = 1/7.
- Fig. 3. — Partie postérieure du tronc avec la nageoire caudale. Gr. = 2/7. Même spécimen que la fig. 2.
- Fig. 4. — Région moyenne du tronc. Gr. = 2/7. Même spécimen que la fig. 2.

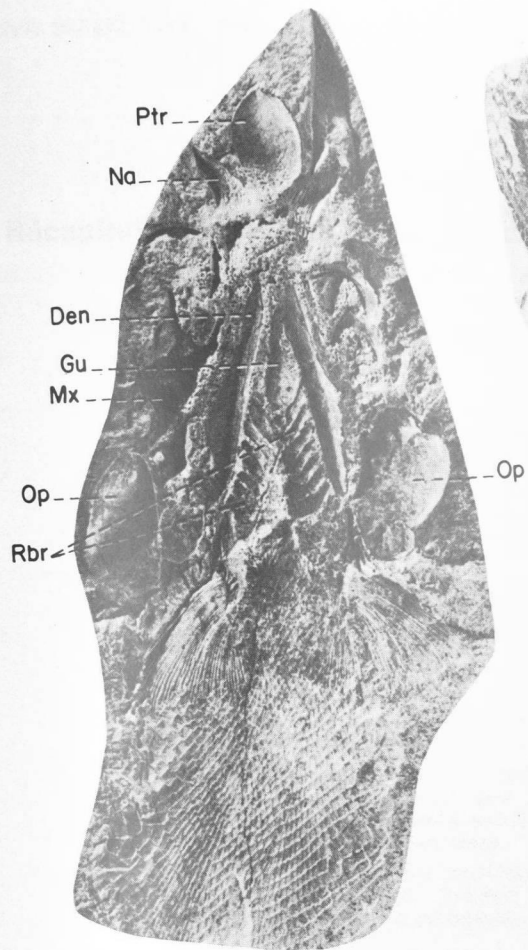




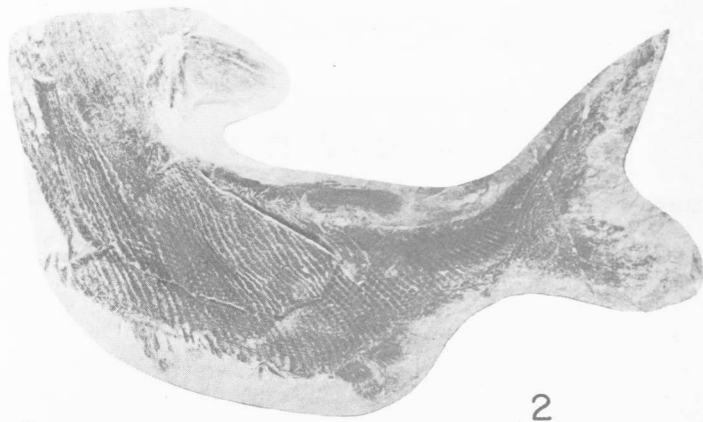
1



2



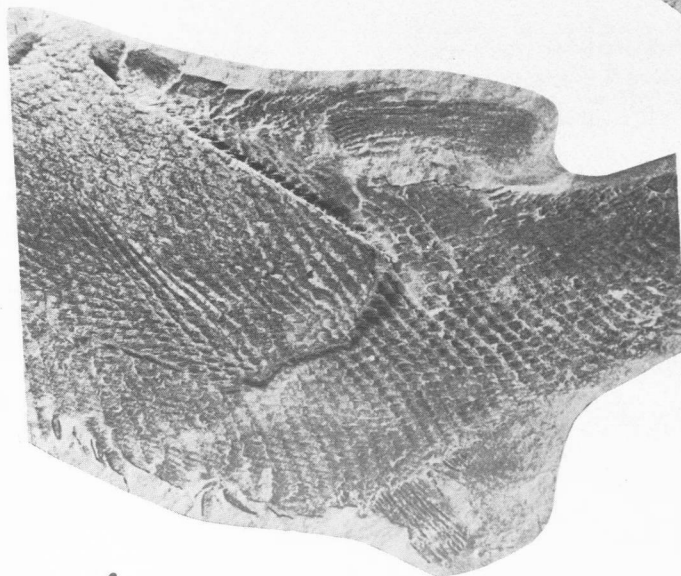
1



2



3



4

Apports récents à la Géologie du Gondwana Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles)

par Laurence BELTAN (*) et Jean-Michel DUTUIT (*)

Sommaire. — Dans l'article suivant, les auteurs dressent un bilan succinct des faunes déjà découvertes dans le Permien et le Trias malgaches.

Bien que l'ichtyofaune malgache présente des affinités avec celles des continents issus du Gondwana, il est indéniable qu'elle offre une similitude très nette avec les ichtyofaunes de la Colombie britannique, du Groenland et du Spitzberg. Ce fait semble démontrer une communication Nord-Sud à travers la Téthys et la mer ouralienne.

En ce qui concerne les Amphibiens et les Reptiles, les affinités avec l'Afrique australe sont aujourd'hui pratiquement réduites aux faunes permienne. Les faunes triasiques montrent beaucoup de parentés avec celles de territoires laurasien tels que la Russie ou avec les territoires "nord-gondwaniens" (Maroc, Inde).

Summary. — In the following paper, the authors give succinct occurrences of faunas already found in the Permian and Triassic of Madagascar.

Although the ichthyofauna is closed to those from Gondwanaland, it is obvious that it offers a striking resemblance with the ichthyofaunas from British Columbia, Greenland, and Spitzbergen. This evidence seems to demonstrate a North-South connection throughout the Tethys, and the Uralian Seas.

Relating to Stegocephalia and Reptiles, the relationships with austral Africa are now reduced to permian faunas. Triassic faunas show many close relationships with those of Laurasian components such as Russia, or northern Gondwanaland (Morocco, Peninsular India).

1. — RAPPEL DES FORMATIONS GEOLOGIQUES ANTE-JURASSIQUES MALGACHES

Schématiquement, Madagascar est constituée en majeure partie par un socle cristallin d'âge Primaire sur la marge occidentale duquel sont plaqués par bandes Nord-Sud des affleurements sédimentaires allant du Carbonifère au Quaternaire (cf. Besairie et Furon, 1946, 1959).

A l'image de l'Afrique du Sud, on distingue à Madagascar un "Karoo" qui englobe :

- La formation de la *Sakoa inférieure*. Elle débute par des tillites et des schistes (Carbonifère supérieur). Viennent ensuite des grès avec intercalations carbonneuses à *Gangamopteris*.

- Formation de la *Sakoa supérieure* : grès et argiles rouges à bois et *Glossopteris*.

- Couches marines à *Productus* et *Spirifer* s'étendant de l'extrême Nord à l'extrême Sud et marquant la première séparation de l'Afrique et de Madagascar au Permien inférieur.

- Formation de la *Sakamena* :

- *inférieure*. Reposant en discordance sur les couches antérieures, elle correspond à la partie supérieure du Permien et à la base du Trias. Au conglomérat de base et à un petit niveau marin fait suite une épaisse série continentale riche en plantes (*Pecopteris*, *Lepidopteris*, *Glossopteris*) correspondant à la série du Beaufort en Afrique du Sud. Ces couches à plantes sont surmontées par des niveaux à Reptiles (Piveteau, 1926) ;

- *moyenne*. Des argilithes et des marnolithes riches en Poissons marquent l'extension du canal du Mozambique au Trias inférieur ;

- *supérieure*. Essentiellement des grès psammitiques.

- Formation de l'*Isalo* : commençant au Trias supérieur (couches à Phytosaures et Stégocéphales métoposaures), elle s'achève au Bajocien-Bathonien.

(*) Institut de Paléontologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

II. — FAUNES DE POISSONS

a) Les gisements.

On distingue à Madagascar deux gisements de Poissons d'âge triasique. L'un se situe au Nord-Ouest, l'autre au Sud-Ouest.

1° *Gisement du Nord-Ouest.*

Les formations fossilifères affleurent au Sud de Diégo-Suarez sur près de 100 km (en particulier dans les régions d'Ambilobe et d'Ankitokazo). Ces couches ont été prospectées entre autres par Besairie (1957), White (1933), Beltan (1968). Elles ont livré des Ammonites, des Poissons, des Stégocéphales et un Reptile rangé dans les Eosuchiens par Lehman (1966).

Les Poissons sont bien conservés, contenus dans des nodules en relief négatif (l'os a disparu). Ils ont été étudiés en détail sur les plans exosquelettique (Lehman, 1952), et endosquelettique (Beltan, 1968). Les ordres suivants ont pu être révélés : Paléonisciformes, Saurichthiiformes, Perléidiformes, Pholidopleuriformes, Parasémionotiformes, Coelacanthiformes, Dipneustes.

2° *Gisement du Sud-Ouest.*

La Sakamena moyenne a été prospectée entre autres par Besairie (1946), Tortochaux (1951), Germain (1954). Les gisements fossilifères sont situés entre les localités de Beroroha et Mandronarivo ainsi qu'un peu au Nord de cette localité. Beroroha se trouve à 250 km au Nord-Est de Tuléar. Ces horizons fossilifères sont moins riches en Poissons que les gisements du Nord. Les Poissons sont contenus dans des nodules et montrent un relief positif, l'os étant présent.

Cette faune a été étudiée par Lehman et al. (1959). Les principaux ordres révélés sont : Bobasatraniiiformes, Redfieldiiformes, Pholidopleuriformes, Saurichthiiformes, Parasémionotiformes, Dipneustes, Elasmobranches.

Par rapport au gisement du Nord, on note principalement l'absence de Coelacanthiformes et la présence d'Elasmobranches.

L'étude des Actinoptérygiens a montré la rapide évolution qui s'est opérée au début du Trias, surtout en ce qui concerne l'exosquelette, et on peut de ce fait évoquer trois structures : la structure chondrostéenne (A) (ordre des Paléonisciformes, par ex.), la structure subholo-

stéenne (B) (ordre des Perléidiformes, par ex.), la structure holostéenne (C) (ordre des Parasémionotiformes).

b) Affinités de cette ichthyofaune avec celles d'autres provinces du Gondwana.

1° *Amérique du Sud.*

Dans les formations triasiques d'eau douce de Cacheuta dans le Nord de l'Argentine a été décrit un Perléidiformes (structure B), *Mendocinichthys* Whitley, 1953 (*Mendocinia* Bordas, 1944) ; Schaeffer, 1956.

2° *Angola.*

Dans les couches triasiques du Karroo de l'Angola, surtout continental, de nombreux poissons ont été examinés. Ils appartiennent aux trois structures avec prédominance de la structure C (Semionotiformes). On note aussi la présence d'Elasmobranches et de Dipneustes. Il est à remarquer que les Elasmobranches sont en général marins ; de plus, les Dipneustes malgaches sont marins, tandis que ceux de l'Angola sont d'eau douce (Lehman et al., 1959).

3° *Afrique du Sud.*

On constate que les Actinoptérygiens prolifèrent depuis le Carbonifère inférieur (Série de Witteberg) et au Carbonifère supérieur (Séries de Dwyka) (*).

Les structures A, B, C sont en pleine expansion jusqu'au Trias supérieur (Paléonisciformes, Redfieldiiformes, Semionotiformes). Les Coelacanthiformes se développent dans les séries d'Ecce (Permien inférieur) et du Beaufort moyen (Permien supérieur). Les Dipneustes sont présents dans les séries du Beaufort supérieur, de même que les Elasmobranches (Trias inférieur) (Jubb-Gardiner, 1975). Cet ensemble se rapproche beaucoup du gisement malgache du Sud-Ouest.

4° *Australie.*

A l'Est, dans les Nouvelles Galles du Sud en particulier, les poissons sont en pleine expansion au Mésozoïque. Les Sélaciens et les Dipneustes prolifèrent du Trias inférieur au Trias supérieur. Pour les Actinoptérygiens, les structures A, B, C sont observées (Paléonisciformes, Pholidopleuriformes, Pholidophoriformes).

(*) Voir L. Beltan, p. 351 : « Faune ichthyologique d'Uruguay au Carbonifère supérieur ».

mes). Il n'y a pas de Coelacanthiformes (Hills, 1958).

D'une façon générale, on observe dans les différentes provinces du Gondwana examinées une grande diversité de groupes de Poissons avec prédominance de l'un ou de l'autre.

Les ordres et familles sont très souvent identiques ; mais l'identité des genres est très rare, ceux-ci sont comparables, par exemple : *Macroaethes* (Australie) avec *Australosomus* (Madagascar) de la famille des Pholidopleuridae.

Néanmoins, on constate que ces différents ensembles ichtyofauniques d'Actinoptérygiens convergent vers la structure holostéenne.

c) **Bipolarité de l'ichtyofaune malgache.**

Les formations marines du Trias inférieur de l'Ouest du Spitsberg et de l'Est du Groenland ont livré entre autres des Poissons présentant une remarquable similitude avec ceux de Madagascar (Stensiö, 1921, 1925, 1932 ; Nielsen, 1942, 1949). Cette quasi-identité des faunes (les différences n'étant que d'ordre spécifique) a fait penser aux Paléontologistes que les deux provinces géologiques arctique et australe étaient en communication au début du Trias.

Le canal Mozambique était ouvert et atteignait la Téthys ; puis par le Népal, la Turquie et la mer ouralienne, le Groenland-Spitsberg, d'une part, et Madagascar, d'autre part, étaient en communication. Ceci semble corroboré par le fait que les ammonites himalayennes offrent une quasi-identité avec celles de Madagascar. En outre, un *Saurichthys* a été récemment récolté par Colchen (*) dans les couches du Trias moyen (Ladinien) du NE de l'Annapurna (Népal). De plus, un autre *Saurichthys* a été récemment recueilli par Janvier (*) dans le Ladinien de Turquie. Ces deux nouveaux *Saurichthys* constituent d'excellents jalons entre les ichtyofaunes des deux provinces géologiques en question.

Il y a lieu de signaler la présence au début du Trias d'un gisement marin riche en Poissons, en Colombie britannique (Schaeffer et Mangus, 1976). Presque tous les genres qui y sont signalés et décrits sont présents à Madagascar et au Groenland-Spitsberg, nul doute que cette dernière région ait été en relation avec la Colombie britannique par le Nord de la Laurasia.

(*) Découvertes aimablement communiquées ; ce dont je les remercie.

d) **Remarque.**

D'une façon générale, ce bref aperçu rend compte des affinités existant entre les ichtyofaunes de Madagascar et celles de continents de l'Hémisphère Sud au début du Trias. Ces ressemblances sont indéniables ; mais on ne peut contester les affinités nord-gondwaniennes de La Grande Ile et par conséquent des infiltrations à travers la Téthys.

III. — FAUNES D'AMPHIBIENS

Nous passerons rapidement en revue les groupes d'Amphibiens actuellement connus à Madagascar dans le Permien, dans le Trias inférieur et supérieur.

1° *Permien.*

Le seul Stégocéphale connu dans ce niveau a été attribué par Piveteau (1926) au genre *Rhinesuchus senekalensis*, plus tard assimilé par Romer (1947) au genre *Uranocentrodon*. Il s'agit d'une hémimandibule incomplète et notre avis est qu'il vaut mieux placer ce fossile dans les Rachitomes sans aller plus loin dans l'attribution taxonomique tout en soulignant les ressemblances de cette pièce avec les Rhinésuchidés. Ces ressemblances dénotent des affinités entre Madagascar et l'Afrique du Sud au Permien.

2° *Trias inférieur.*

Deux groupes sont représentés dans ce niveau :

— Proanoures : *Protobatrachus*. N'étant encore connu qu'à Madagascar, il ne permet aucune comparaison.

— Stégocéphales. Un certain nombre de Stégocéphales provenant de l'Eotrias malgache ont été décrits par Lehman (1961 et 1966). Trois groupes principaux y sont représentés : les Rhinésuchidés, les Capitosauroidés, les Trématosauridés. Un Brachiopodé indéterminé figure aussi dans cette faune, mais il est très fragmentaire et, à notre avis, son étude n'autorise aucune conclusion certaine quant à ses affinités. De la même façon, il est difficile de se servir de *Mahavisaurus dentatus* Lehman (1966) dans la mesure où l'auteur lui-même maintient l'interrogation sur son appartenance, appartenance qui a d'ailleurs été discutée par

Cosgriff et Garbutt (1972) (voir aussi la réponse de Lehman, 1974).

Il est évident qu'une appartenance non discutée aux Rhinésuchidés de la pièce attribuée par Piveteau à *Rhinesuchus senekalensis* et de *Mahavisaurus* aurait amené à établir des parallèles avec la faune contemporaine de Stégocéphales d'Afrique australe.

Enfin, *Deltasaurus whitei* Swinton (1956, p. 60-64) est trop mal conservé pour permettre une attribution fiable aux Lydekkérinidés, d'autant plus que l'iconographie de l'article de Swinton n'inclut qu'une reconstitution et aucune photo ou dessin d'après nature. Ce fossile n'autorise donc aucune conclusion paléobiogéographique.

Il nous reste au Trias inférieur malgache deux groupes bien identifiés sur la foi d'un matériel suffisant : il s'agit des Benthosuchidés et des Trématosaures (Lehman, 1961 et 1966). Nous sommes de fait conduits à une des conclusions de Lehman (1961) : « ...à part *Wetlugasaurus* qui serait présent en Afrique du Sud, selon Watson (1942), il n'existe pas de genres communs à Madagascar et à l'Afrique du Sud... *Benthosuchus* et *Wetlugasaurus* sont par contre connus en U.R.S.S... »

L'intérêt essentiel de la découverte des Trématosaures est avant tout de montrer des affinités boréales (les Trématosaures sont connus au Spitsberg et au Groenland). Rappelons qu'un constat semblable a été fait plus haut à propos de la faune ichtyologique. Les Trématosaures sont considérés comme des Amphibiens marins. Leur découverte s'intègre donc à l'ensemble de preuves de l'ouverture du canal du Mozambique dès la Sakama inférieure (niveau inférieur du Trias inférieur).

3° Trias supérieur.

Dutuit a décrit récemment (note en voie de parution au Bulletin du Muséum) des restes de Stégocéphales métoposauridés et de Phytosaures provenant de la région de Folakara (angle nord-ouest du trapèze malgache). Cette faune, bien que restreinte, montre des analogies avec les faunes de type C triasiques telles que les caractérise Romer (1969). Les affinités de ce type faunique sont les suivantes :

— Amérique du Nord (couches de Newark, Dockum, Popo Agie, etc...),

- Europe occidentale,
- Maroc,
- Inde.

Ces fossiles sont les témoins d'un mode de dépôt continental à l'Isalo I.

L'homogénéité des faunes de Métoposauridés à travers le globe pose à notre avis certains problèmes : les Métoposauridés étaient des animaux continentaux que l'on trouve localisés au Trias supérieur. Leurs possibilités de déplacement sur terre ferme étaient excessivement faibles. Il faut donc imaginer qu'à "l'individualisation" du groupe, les communications étaient aisées entre les différents territoires sur lesquels on trouve aujourd'hui ces fossiles. A défaut de communications franches, il faut supposer l'existence de seuils ou de ponts aisément franchissables.

Ajoutons enfin que cette faune encore élémentaire du Trias supérieur ne montre aucune affinité avec celles d'Afrique du Sud.

IV. — FAUNES DE REPTILES

On trouve des reptiles dans trois niveaux :

1° Permien supérieur (Piveteau, 1926) : *Hovasaurus* et *Tangasaurus* (ces fossiles ont été placés par Piveteau dans les Eosuchiens), *Barasaurus besairei* (ce fossile serait un Cotylosaurien procolophonidé).

2° Trias inférieur (Eotrias) : Il existerait dans ce niveau un Reptile indéterminable génériquement que Lehman (1966) a placé également dans les Eosuchiens.

L'intérêt de ces genres est de mettre en évidence des affinités australes : la famille des Tangasauridés a été fondée sur un spécimen trouvé au Tanganyika. Les Prolacertidés et les Younginidés sont des familles trouvées dans le Permien supérieur d'Afrique australe.

Mais il nous apparaît un peu aventureux de baser actuellement des conclusions sur ces faunes reptiliennes. A notre connaissance, Carroll en approfondit actuellement l'étude, et ses travaux sont déjà trop riches de promesses pour que nous ne les attendions pas avec patience.

3° Trias supérieur. Nous avons rappelé plus haut l'existence à ce niveau de Phytosaures. Güth (1963) et Westphal (1970) avaient décrit

des écailles dermiques de Phytosaures. Dans la note en cours de parution de Dutuit sont décrits deux fragments de mâchoires appartenant à un grand Phytosaure. Leur description et celle des restes de Métoposauridés dont il a déjà été question ne font que confirmer un fait que nous pouvions pressentir : l'existence probable à Madagascar d'une faune continentale du Trias supérieur dont presque tout reste certainement à découvrir.

Dans le même ordre d'idées, il nous apparaît assez vain de vouloir tirer un enseignement quelconque du fait qu'aucun Thérapside clairement identifié provenant de Madagascar n'ait été décrit jusqu'à ce jour. En Paléontologie, davantage que dans aucune autre science d'observation, on ne peut rien conclure de l'absence d'un être vivant dans le milieu où l'on espérait le trouver, sinon qu'on l'a mal cherché.

V. — CONCLUSION GENERALE

Des maigres connaissances que nous avons de la Paléontologie des Vertébrés malgaches du Permien et du Trias (exception faite peut-être de la faune ichtyologique), trois idées essentielles peuvent être dégagées.

— Il semblerait que des affinités australes dussent encore être prises en considération au Permien.

— Dès le Trias inférieur paraissent prédominer de plus en plus les affinités "nord-gondwaniennes" (ce terme impropre désignant ici l'Inde, l'Australie et le Nord de l'Afrique actuelle) et les affinités laurasiennes.

— Les quelques fossiles du Trias supérieur actuellement connus ne révèlent aucune affinité australe.

BIBLIOGRAPHIE (*)

OUVRAGES GENERAUX

- 1) Second Gondwana Symposium South Africa. (1970). — Proceedings and papers. *Conc. Scien. and Ind. Res. Scientia*. Pretoria, South-Africa.
- 2) FURON R. (1959). — La paléogéographie, essai sur l'évolution des continents et des Océans. 2^e édition, Payot, Paris.
- 3) McELHINNY M.W. (1970). — Formation of the Indian Ocean. *Nature*, vol. 228, December 5, p. 977-979.

POISSONS

- 4) BELTAN L. (1968). — La faune ichtyologique de l'Eotrias de N.W de Madagascar : Le neurocrâne. *Cahiers de Paléontologie*, CNRS (Edit.), 45 fig., 50 pl., Paris.
- 5) BESAIRIE H. (1946). — La géologie de Madagascar en 1946. *Ann. Geol. Serv. Mines*, Madagascar, t. XII.
- 6) BESAIRIE H. (1957). — Carte géologique de Madagascar Ambilobe, 331, 2^e édition.
- 7) HILLS E.S. (1958). — A brief review of Australian fossil Vertebrates in Westoll T.S. (Editor). *Studies on fossil vertebrates*, p. 86-107, London.
- 8) JUBB R.A. and GARDINER B.G. (1975). — A preliminary catalogue of identifiable fossil Fish material from Southern Africa. *Ann. S. Afr. Mus.*, 67, (11), p. 381-440, 32 fig. Cape Town.

- 9) LEHMAN J.P. (1952). — Etude complémentaire des Poissons de l'Eotrias de Madagascar. *Kungl. Sv. vet. Akad. Handl.*, série 3, vol. 24, Stockholm.
- 10) LEHMAN J.P. et al. (1959). — Paléontologie de Madagascar. XXVIII : Les Poissons de la Sakamena moyenne. *Ann. Pal. Paris*, vol. 45.
- 11) NIELSEN E. (1942). — Studies on Triassic Fishes from East Groenland I. *Glaucolepis and Boreosomus*. *Paleozool. Groenl.*, 1, Copenhagen.
- 12) NIELSEN E. (1949). — Studies on Triassic Fishes from East Groenland II. *Australosomus and Birgeria*. *Ibid.* 2, Copenhagen.
- 13) SCHAEFFER B. (1955). — *Mendocinia*, a subholostean fish from the Triassic of Argentina. *Ann. Mus. Nov.*, n° 1737, New-York.
- 14) SCHAEFFER B. and MANGUS M. (1976). — An early Triassic Fish assemblage from British Columbia. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, vol. 156, Art. 5, New-York.
- 15) STENSIO E. (1921). — Triassic Fishes from Spitzbergen. Part. 1. Vienne.
- 16) STENSIO E. (1932). — Triassic Fishes from East Greenland. *Medd. om Grønland*, vol. 83, n° 3, Copenhagen.
- 17) TEIXEIRA C. (1954). — Sur un Ceratodontidé du Karroo de l'Angola. *Acad. Ci. Lisboa. Memorias* (Classe de Ciencias T. 7), Lisboa.

TETRAPODES

- 18) COLBERT E.H. (1975). — Early Triassic Tetrapods and Gondwanaland. In « Biogéographie et liaisons intercontinentales au cours du Mésozoïque ». *Mém. M.N.H.N.*, t. LXXXVIII, p. 202-211, Paris.

(*) Le thème de cet article étant surtout une récapitulation, il ne peut être question de citer tous les travaux relatifs aux questions abordées. De ce fait, la bibliographie citée a été réduite à l'essentiel.

- 19) COSGRIFF J.W., GARBUTT N.K. (1972). — *Erythrobatrachus noonkanbahensis*, a Trematosaurid species from the Blina Shale. *Jour. Roy. Soc. West. Australia*, vol. 55, part. I, p. 5-18, 7 fig. 1 tabl.
- 20) COSGRIFF J.W. (1974). — Lower Triassic Temnospondyli of Tasmania. *Geol. Soc. Am.*, special paper, 149, 134 p., 58 fig.
- 21) GUTH C. (1963). — Au sujet de restes de Reptiles de Madagascar. *C.R. Ac. Sc.*, t. 256, p. 2661-2663, 1 pl.
- 22) LEHMAN J.P. (1961). — Les Stégocéphales du Trias de Madagascar. *Ann. Paleont.*, t. XLVII, p. 111-154, Paris, 22 fig., 19 pl.
- 23) LEHMAN J.P. (1966). — Nouveaux Stégocéphales de Madagascar. *Ann. Paleont.*, t. LII, p. 117-139, 9 fig., 8 pl.
- 24) LEHMAN J.P. (1974). — A propos des Trématosaures de Madagascar. *C.R. somm. S.G.F.*, p. 166-167.
- 25) PIVETEAU J. (1926). — Amphibiens et Reptiles permien. *Ann. Paléont.* t. XV, p. 55-179, 32 fig., 12 pl.
- 26) PIVETEAU J. (1937). — Un Amphibien du Trias inférieur. *Ann. Paleont.*, t. XXVI, p. 135-178, 30 fig., 2 pl.
- 27) PIVETEAU J. (1955). — Existence d'un Reptile du groupe des Procolophonidés à Madagascar. Conséquences stratigraphiques et paléontologiques. *C.R. Ac. Sc.*, 241, p. 1325-1327, 1 fig.
- 28) ROMER A.S. (1969). — The Triassic faunal succession and the Gondwanaland problem. *Gondwana stratigraphy. IUGS Symposium*, Buenos-Aires, 1967, p. 375-400, Unesco, Paris.
- 29) SWINTON W.E. (1956). — A neorachitinous amphibian from Madagascar. *Annals Mag. Nat. Hist.*, sér. 12, v. 9, n° 97, p. 60-64, 1 fig.
- 30) WESTPHAL F. (1970). — Phytosaurier-Hautplatten aus der Trias von Madagaskar, ein Beitrag zur Gondwana-Paläogeographie. *N. Jb. Geol Paläont. Mh.*, H. 10, p. 632-638, 1 fig.

————— « » —————

A propos de nouveau matériel de Thélodontes (Vertébrés Agnathes) d'Iran et de Thaïlande : aperçu sur la répartition géographique et stratigraphique des Agnathes des « régions gondwaniennes » au Paléozoïque moyen

par Alain BLIECK (*) et Daniel GOUJET (*)
(Planche LXI)

Sommaire. — La première partie décrit une nouvelle coupe dans le Dévonien de la Région de Kerman, en Iran ; cette coupe a livré plusieurs niveaux à Vertébrés dont le plus ancien renferme le Thélodonte, *Turinia hutkensis* nov. sp. La deuxième partie présente une écaille de Thélodonte indéterminable, provenant du Dévonien du NW de la Thaïlande. Dans la troisième partie, après avoir passé en revue les sept gisements à Agnathes des régions gondwaniennes actuellement connus, les auteurs discutent des problèmes de biostratigraphie et de paléogéographie que posent ces gisements ; l'hypothèse de l'origine laurasienne (nord-atlantique) des Hétérostracés et de l'origine angarienne des Thélodontes du Gondwana est avancée.

Summary. — In the first part, we describe a new section in the Devonian of the Kerman Region in Iran. This section gave us several fossiliferous horizons with vertebrates : *Turinia hutkensis* nov. sp. is a species of Thelodont occurring in the oldest one. In the second part, a scale of Thelodonti indet. is presented from the Devonian of northwestern Thailand. The third part checks a list of the seven known localities of Gondwanaland with jawless vertebrates ; then, we discuss on the biostratigraphical and palaeogeographical problems shown up by these localities and we put forward the hypothesis of a north-atlantic origin for the Heterostracans and an angarian origin for the Thelodonts of Gondwanaland.

Au cours de ces cinq dernières années, des missions géologiques conduites par de Lapparent en 1972-1973 puis par Janvier en 1976-1977 ont permis de récolter de nombreux Vertébrés fossiles dans le Paléozoïque moyen du Proche-Orient à l'Extrême-Orient. Le matériel décrit ci-dessous provient des prospections de 1976 : il s'agit des premiers Thélodontes découverts à ce jour en Iran (***) et en Thaïlande (****).

I. — LES THELODONTES DE HUTK (Région de Kerman, Iran)

1) Stratigraphie.

La fig. 1 donne l'emplacement du gisement de Hutk : il est situé sur le territoire du village,

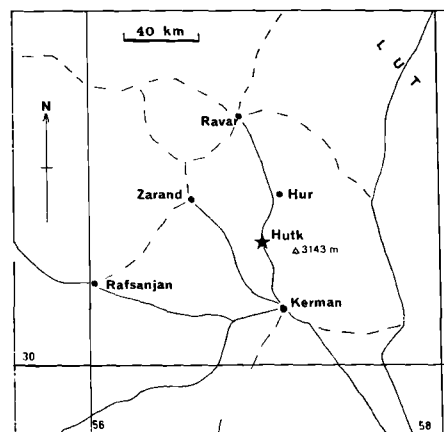


Fig. 1. — Situation du gisement de Hutk (Région de Kerman, Iran).
----- frontières, — routes, - - - pistes

(*) L.A. 12 du C.N.R.S. et Institut de Paléontologie du Muséum, 8, rue de Buffon, 75005 Paris.

(**) Mission C.N.R.S. et Département de l'Environnement d'Iran.

(***) Mission en collaboration avec l'Université de Chiang-Maï (Thaïlande).

Note déposée le 8 Décembre 1977.

à 35 km au NW de Kerman, le long de la route de Ravar. On y observe une coupe (fig. 2) (****)

(****) Cette coupe a été levée en novembre 1973 par A. de Lapparent et nous a été aimablement communiquée par P. Janvier.

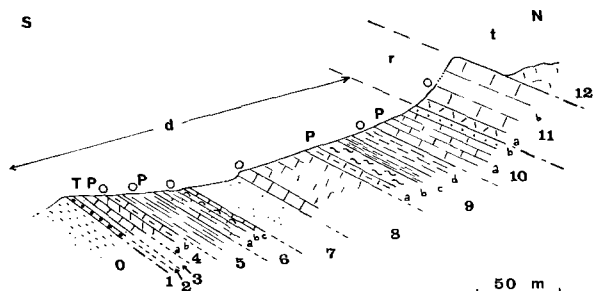


Fig. 2. — Coupe stratigraphique de Hutk (Région de Kerman, Iran).

T, niveau à Thélodontes ; P, autres niveaux ayant livré des restes de Vertébrés ; o, niveaux à Invertébrés ; d, Dévonien ; r, Permien ; t, Trias. (Pour les numéros, voir le détail dans le texte).

N. B. - L'épaisseur de la série permienne n'est pas respectée.

allant du Dévonien au Trias. La stratigraphie détaillée des différents horizons avec leur corrélation faunique est la suivante :

DEVONIEN (170 m) :

0. Grès blancs se terminant par une surface ferrugineuse.
1. Conglomérat transgressif à galets de quartz et de grès rose (0,10 m).
2. Grès gris clair en fines plaquettes, à restes de Végétaux, de Crinoïdes et de Vertébrés (Thélodontes, Acanthodermes, Actinoptérygiens) (0,30 m).
3. Dolomie dure à dents de Dioneustes et plaques d'Arthrodières (2 m).
4. a) Calcaire lumachellique et marnes à Brachiopodes (10 m) ; b) marnes et schistes noirs charbonneux (2 m).
5. Calcaires à nombreux Brachiopodes, marnes à nodules calcaires blancs, puis alternance de calcaires à plaques d'Arthrodières et de marnes à nombreux Brachiopodes (15 m).
6. a) Alternance de calcaires et marnes à petits Brachiopodes et Tentaculites ; b) calcaire à nombreux *Hexagonaria*, Crinoïdes et gros Orthocères ; c) calcaire noir, dur (15 m).
7. Grès rouge et dolomie jaunâtre (30 m).
8. Calcaire noir, dur à la base, à Brachiopodes (40 m).
9. a) Calcaires et marnes avec deux horizons phosphatés bleutés à restes de Poissons ; b) calcaires, marnes et grès ; c) schistes noirs charbonneux ; d) marnes et calcaires à gros Brachiopodes (30 m).
10. a) Calcaire avec quelques bancs gréseux et marnes, ayant livré une dent de Dipneuste ; b) grès blanc visible de loin (20 m).

PERMIEN (210 m) :

11. a) Dolomie jaunâtre (10 m) ; b) calcaires noirs, par endroits crinoïdiques, avec des Algues (200 m).

TRIAS :

12. Dolomie claire.

Les Thélodontes ont été extraits par attaque acide d'un bloc du niveau 2.

2) Paléontologie.

Classe THELODONTI

Ordre THELODONTIDA

Famille TURINIIDAE Obruchev, 1964

Genre *TURINIA* Traquair, 1896

TURINIA HUTKENSIS nov. sp.

(Pl. LXI, fig. 1 à 14)

Derivatio nominis : du nom de la localité de Hutk, Région de Kerman, Iran Central.

Holotype : écaille du tronc (Pl. LXI, fig. 5 et 6). Ce matériel appartient au Musée d'Histoire Naturelle de Téhéran et est temporairement en dépôt au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris sous le numéro HTK 1.

Locus typicus : coupe située à la sortie Nord du village de Hutk (fig. 2).

Stratum typicum : le banc 2 de la coupe précédente, banc de grès gris clair.

Autre matériel : une vingtaine d'écailles de la tête, des flancs et de la zone de transition. L'ensemble est répertorié en un lot (numéros HTK 2-18) au Muséum de Paris.

Description et comparaison.

Si l'on se reporte à l'ouvrage de Talimaa (1976), il ne fait aucun doute que les écailles de Hutk doivent être rapportées au genre *Turinia*. Ce genre est surtout connu par l'espèce *T. pagei* (Powrie, 1870), répandue dans tout le Dittonien d'Europe (Gross, 1967 ; Turner, 1973) ; il comprend deux autres espèces, *T. australiensis* Gross, 1971 et *T. polita* Talimaa, 1976 (voir aussi Talimaa, sous presse). Il est caractérisé par des écailles simples avec une couronne haute et une base importante, qui présente un éperon antérieur la prolongeant parfois sur une grande longueur. *Turinia* offre en outre certaines particularités histologiques dont nous ne tiendrons pas compte ici parce que les écailles de Hutk, toutes recristallisées et épigénisées, n'ont pas pu être étudiées de ce point de vue.

La base des écailles de *T. hutkensis* nov. sp. est caractéristique du genre ; elle présente en particulier un étalement latéral et le prolongement antérieur parfois hypertrophique évoqué ci-dessus (Pl. LXI, fig. 5). Sur la plupart des écailles, que ce soit celles de la tête (Pl. LXI, fig. 12 à 14), des flancs (Pl. LXI, fig. 1 à 8 et 10) ou de la zone de transition (Pl. LXI, fig. 9 et 11), la cavité pulpaire est pratiquement comblée et ne s'ouvre que par un pore très petit (Pl. LXI, p, fig. 14). Cela indiquerait un stade ontogénique avancé de l'écaille donc des individus assez âgés (Gross, 1967 ; Talimaa, 1976).

L'obliquité des sillons latéraux de la couronne permet de définir la position de l'écaille sur le corps de l'animal. Comme dans les autres espèces de *Turinia* (Gross, 1967 ; Turner, 1973), les écailles de la tête sont à couronne subcirculaire, à bord régulièrement crénelé par des sillons majeurs (Pl. LXI, sm, fig. 14) ; les écailles de transition ont un contour en feuille de chêne et les écailles du tronc ont une couronne lancéolée.

Turinia hutkensis nov. sp. peut être distingué des autres espèces de *Turinia* par le détail de la morphologie de la couronne des écailles. Les caractères de diagnose que nous retenons sont : 1) la couronne des écailles des flancs est beaucoup moins allongée que celle des autres espèces et présente une forme plus "en goutte" ; 2) la couronne est toujours fortement bombée dans la région centrale, alors qu'elle est plutôt plane dans les autres espèces (cf. *T. pagei*, Gross, 1967, Pl. 7, fig. 1-10 ; Turner, 1973, fig. 7g, fig. 8a-b et e-g et Pl. 2 ; "*Thelodus* cf. *scoticus*". Karataiute-Talimaa, 1964 ; *T. australiensis*, Gross, 1971, fig. 1 et Pl. 12, fig. 1-7). Les sillons majeurs (Pl. LXI, sm, fig. 10 et 14) sont accompagnés de sillons intermédiaires (Pl. LXI, si, fig. 10 et 14) plus courts et moins profonds qui définissent des secteurs longitudinaux même dans la région centrale de la couronne. Sur les écailles de la tête, les sillons intermédiaires sont également présents et forment une dépression verticale au centre des rides épaisses séparant les sillons majeurs.

II. — LE THELODONTE DU GISEMENT AU NORD DE MAE-SARIANG (Région de Chiang-Maï, Thaïlande)

Le gisement est situé dans une carrière à 20 km au Nord de Mae-Sariang, 125 km au SW

de Chiang-Maï, le long de la route de Mae-Hong-Son (fig. 3). Il s'agit d'une lentille de grès calcaire interstratifié dans un calcaire cristallin massif, considéré jusqu'à présent comme Siluro-Dévonien (Baum et al., 1969, p. 9).

Une attaque acide de ce sédiment a livré deux écailles. L'une peut être rapportée à un Acanthodien de type "*Nostolepis*". L'autre est un fragment assez important d'une écaille des flancs d'un Thélodonte. Ce fragment comporte une bonne partie de la base avec le pore de la cavité pulpaire ; en revanche, la couronne est très incomplète mais permet de suivre le prolongement interne de cette cavité. Si l'attribution aux Thélodonti ne fait pas de doute, il est impossible de rapporter un tel fragment à un taxon quelconque du groupe. Le cortège d'Invertébrés comprend des Brachiopodes Inarticulés et des fragments d'Arthropodes (?).

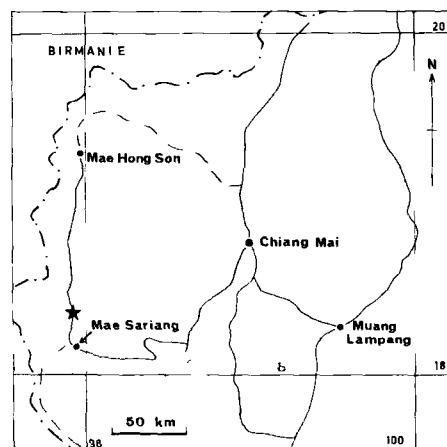


Fig. 3. — Situation du gisement au Nord de Mae-Sariang (Région de Chiang-Maï, Thaïlande).

----- frontières, — routes, - - - pistes

III. — LES AGNATHES DES REGIONS GONDWANIENNES

1) Gisements anciens et nouveaux.

Jusqu'à une date récente, on ne connaissait pour tout le Gondwana que quatre gisements Siluro-Dévonien ayant livré des Agnathes.

Mutvei (1956) signale dans la région de la Saoura, en Algérie, (1, fig. 4), des "fragments de Ptéraspides" associés à des Acanthodien

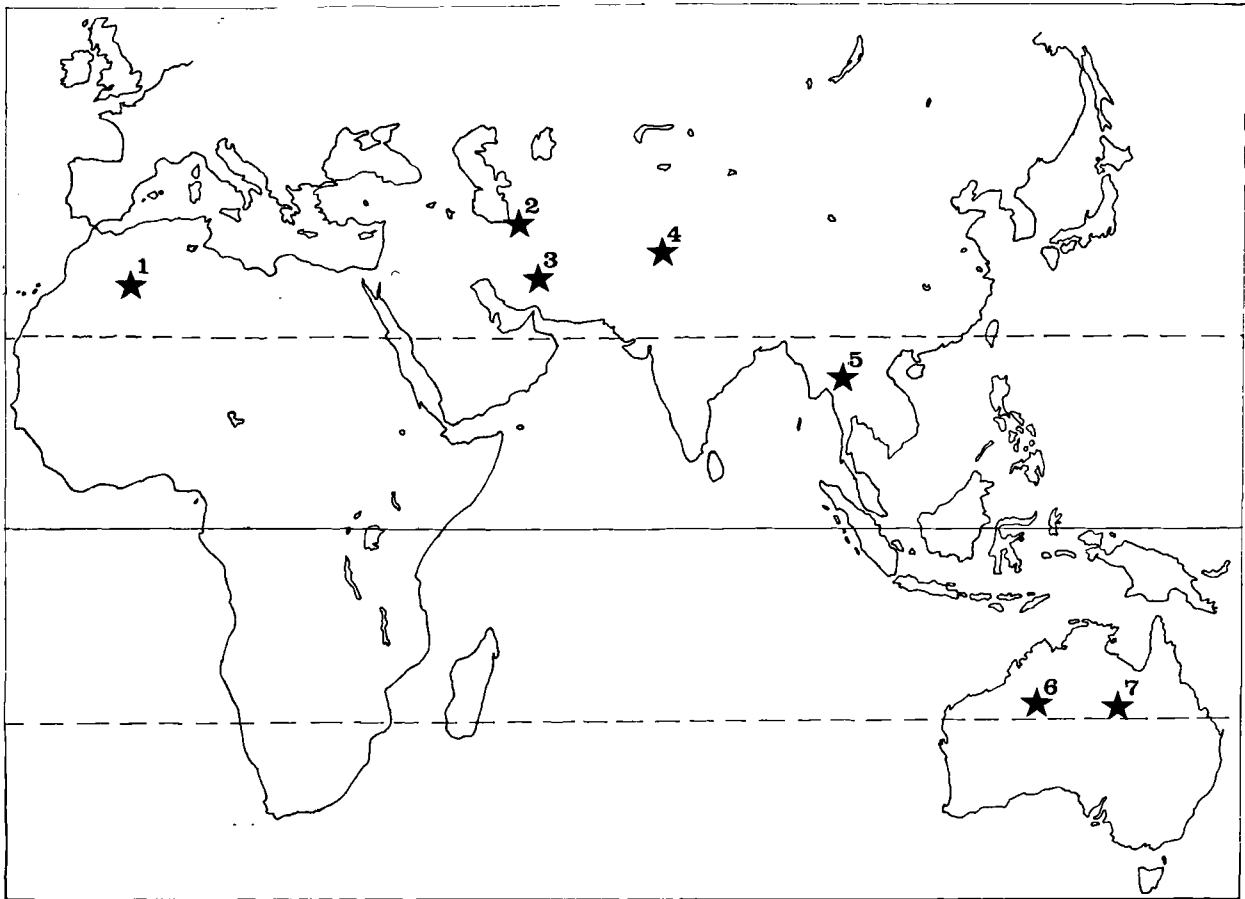


Fig. 4. — Carte de répartition des gisements Paléozoïque moyen du Gondwana ayant livré des Vertébrés Agnathes. 1, Algérie (région de la Saoura). — 2, Iran (Alborz oriental). — 3, Iran (région de Kerman). — 4, Inde (Cachemire). 5, Thaïlande (région de Chiang-Maï). — 6, Australie (Wilson Cliffs). — 7, Australie (Toomba Ranges).

et de nombreux "Invertébrés nettement marins" (Conodontes, Ostracodes, Nautiloïdes, Lamelli-branches, Gastéropodes, Hyolithidés, etc...) provenant de calcaires considérés comme Wenlockien supérieur à Ludlowien. Le Dr Mutvei nous a aimablement envoyé son matériel ; les restes de Vertébrés comportent des Heterostraci indet. et de nombreuses écailles d'Acanthodiens dont certaines peuvent être rapportées provisoirement à *Machaeracanthus*. La présence de ce genre dans ces niveaux d'Algérie suggère un âge plus jeune, à savoir Dévonien inférieur.

Gupta et Turner (1973) figurent une tessère évoquant celles de *Tesseraspis*, associée à des Acanthodiens et des Conodontes et signalent des restes de *Cyathaspides* (?); ces fossiles

proviennent du District d'Anantnag, au Cachemire (4, fig. 4), d'un niveau qui serait Dévonien inférieur. Gross (1971) décrit et figure *Turinia australiensis*, associé à des Acanthodiens gen. et sp. indet., extraits d'un bloc provenant d'un sondage profond dans les Wilson Cliffs d'Australie (6, fig. 4); l'âge de ce matériel est douteux puisqu'il accompagne des microfossiles végétaux permien. Il s'agirait ici soit de matériel remanié, soit d'une contamination en cours de forage. Enfin, Johnstone et al. (1967) signalent, dans les Toomba Ranges d'Australie (7, fig. 4), des écailles de Thélodontes, associées à des Ostracodes et un Crustacé. Ces fossiles proviennent des "Cravens Peak Beds", ainsi datés du Silurien supérieur-Dévonien infé-

rieur ; Jones (cité dans Turner, 1973, p. 573) attribue les Thélodontes à *Turinia pagei*, fossile caractéristique du Dittonien européen : cette espèce a été retrouvée en Grande-Bretagne (Turner, 1973), au Spitsberg (Ørvig, 1969 ; Goujet et Blicek, 1977), dans les blocs erratiques d'Allemagne du Nord (Gross, 1947, 1967), dans les Pays Baltes (Karatajute-Talimaa et Narbutas, 1973) et en Podolie (Obruchev et Karatajute-Talimaa, 1967).

Jusqu'en 1973 donc, les gisements à Agnathes du Gondwana étaient épars (1, 4, 6 et 7, fig. 4) et leur âge peu précis. Les découvertes de ces dernières années apportent quelques éléments supplémentaires comblant en partie les lacunes dans la répartition géographique de ces faunes.

En 1976, une coupe dans le NE de l'Iran (Alborz oriental), localité de Khoch-Ailagh (2, fig. 4), déjà connue pour ses faunes d'Invertébrés et datée du Dévonien inférieur au Famennien (Brice et al., 1973), a livré quelques écailles de Thélodontes actuellement en cours d'étude par Turner (Newcastle-upon-Tyne) ; les fragments proviennent d'un niveau calcaire situé entre les horizons 5 et 6 de la série inférieure (Brice et al., 1973, p. 178).

Enfin, nous avons vu ci-dessus que : a) le niveau 2 de la coupe de Hutk (fig 2 ; et 3, fig 4) a livré *Turinia hutkensis* nov. sp., des restes indéterminables de Placodermes, des écailles d'Acanthodiens et d'Actinoptérygiens (cf. "*Moythomasia*"), des Crinoïdes et des Végétaux ; b) le gisement au Nord de Mae-Sariang (5, fig. 4) contient un Thélodonte, des restes d'Acanthodiens, de Brachiopodes et d'Arthropodes.

2) Problèmes de biostratigraphie.

A Hutk, les éléments utiles pour les corrélations dont nous disposons actuellement sont fournis par les Actinoptérygiens et les Thélodontes. Les restes de Placodermes et de Végétaux sont en trop mauvais état pour être utilisables. La première apparition des Actinoptérygiens (cf. "*Moythomasia*") était classiquement considérée comme Dévonien moyen ; mais Mark-Kurik (1974) a décrit des écailles d'Actinoptérygiens indéniables dans le Gédinnien inférieur de l'île Kotelny (Arctique soviétique), ce qui repousse dans le temps la limite inférieure possible pour le niveau 2 de Hutk. En ce qui concerne les Thélodontes, les plus récents actuellement connus ont été découverts dans

des couches d'âge eifélien (Ørvig, 1969 ; Turner, 1973). Le dernier représentant du genre *Turinia* (auquel est rapportée l'espèce de Hutk) dont la position stratigraphique soit connue est *T. pagei* du Dittonien européen. D'autre part, des Thélodontes rapportés à ce même genre ont été signalés dans la base de la division faunique de Kapp Kjeldsen (Formation de Wood Bay, Spitsberg) considérée comme l'équivalent du Siegénien inférieur sans argument tangible ; l'un de nous (D. G.) confirme que *Turinia* est effectivement présent dans cette formation et est représenté par une espèce différente de *T. pagei*. Cela fixerait la limite supérieure pour le niveau 2 de Hutk au Siegénien inférieur possible. Quant aux Acanthodiens, ils n'apportent pas d'argument complémentaire dans la mesure où la répartition verticale des formes dévoniennes n'a pas encore fait l'objet d'une étude détaillée. Dans ces conditions, le niveau 2 de Hutk serait alors Gédinnien ou Siegénien d'après ses Vertébrés.

A Khoch-Ailagh, le niveau à Thélodontes serait infra-Eifélien d'après les faunes d'Invertébrés sus-jacentes (Brice et al., 1973). En Australie, les niveaux des Cravens Peak Beds ayant livré *T. pagei* seraient Dittonien, c'est-à-dire Gédinnien supérieur-Siegénien inférieur.

Autrement dit, si les derniers *Turinia* du Gondwana sont contemporains de ceux de la Laurasia, le niveau 2 de Hutk serait au plus Siegénien inférieur. Mais *T. hutkensis* qui se distingue nettement de *T. pagei* pourrait être plus récent et représenter un stade évolutif plus avancé au sein des Turiniidés. Auquel cas, le niveau de Hutk serait Siegénien, voire Emsien. Il n'y a ici aucune contradiction avec les informations préliminaires sur l'âge des Crinoïdes du gisement dont "quelques articles à canal axial bilobé ou réniforme" correspondent à des entroques présents dans des "terrains d'âge dévonien inférieur (Siegénien à Emsien supérieur)" (Le Menn, comm. pers.).

En ce qui concerne le gisement des Wilson Cliffs d'Australie (Gross, 1971 et 6, fig. 4), on a vu que son âge est sujet à caution. Quant au gisement de Thaïlande, l'état très fragmentaire des restes de Thélodontes ne permet pas de lui donner un âge précis ; l'assemblage Thélodontes-Acanthodiens étant jusqu'ici plus fréquemment rencontré dans le Dévonien inférieur, nous retiendrons cette solution comme hypothèse de travail.

Enfin, en ce qui concerne les Hétérostracés, les trop rares spécimens d'Algérie et du Cachemire (1 et 4, fig. 4) ne permettent pas encore de discuter de leur valeur biostratigraphique pour le Gondwana.

3) Problèmes de paléobiogéographie.

Au Dévonien inférieur, on peut envisager quatre grandes provinces fauniques pour les Hétérostracés et les Thélodontes. La province nord-atlantique (Laurasia, fig. 5), où certains auteurs distinguent des sous-unités (Dineley, 1973), est caractérisée par l'association de ces deux groupes dans tous les gisements connus. La province sibérienne (Angara, fig. 5) se distingue par ses Hétérostracés Amphiaspidiformes (Novitskaya, 1971 ; Mark-Kurik, 1974) et n'a livré jusqu'à présent que deux gisements à Thélodontes, l'un à Severnaya Zemlya, l'autre en R.S.S. de Tuva (Talimaa, 1976 et sous presse) (*). La province gondwaniennne est représentée maintenant par sept localités ayant fourni soit des fragments d'Hétérostracés (1 et 4, fig. 4 et 5), soit des écailles de Thélodontes (2, 3, 5-7, fig. 4 et 5) (**). Quant à la province chinoise (Cathaysia, fig. 5), elle n'a encore livré aucun de ces Vertébrés au Dévonien.

Dès lors, il semble que l'on puisse envisager deux centres de dispersion, l'un pour les Hétérostracés, l'autre pour les Thélodontes, entre l'Ordovicien et le Dévonien. En effet, les plus anciens Hétérostracés connus, *Astraspis*, *Eriptychius* et *Pycnaspis* sont de l'Ordovicien d'Amérique du Nord (Ørviq, 1958 ; Denison, 1967 ; Lehtola, 1973) ; on les trouve ensuite dans le Siluro-Dévonien de la Laurasia, le Dévonien de l'Angara et du Gondwana. Nous supposons donc une origine laurasienne pour les Hétérostracés sibériens et gondwaniens (fig. 6). Un premier groupe d'Hétérostracés aurait émigré vers l'Angara pour donner les Amphiaspidiformes si caractéristiques du Dévonien inférieur du

(*) Ce dernier gisement est porté sur la fig. 5 avec un " ? " : il est d'âge Downtonien et nous attendons des données complémentaires avant de le ranger de façon définitive dans le Dévonien inférieur.

(**) Le gisement n° 1 de la fig. 5 est marqué " ? " à cause de son âge encore imprécis, Silurien supérieur ou Dévonien inférieur (pour la discussion, voir ci-dessus, p. 366). Quant aux gisements n°s 4 et 5, leur emplacement sur la reconstitution paléogéographique que nous utilisons porte à discussion dans la mesure où le Cachemire et la Thaïlande n'y sont pas indiqués.

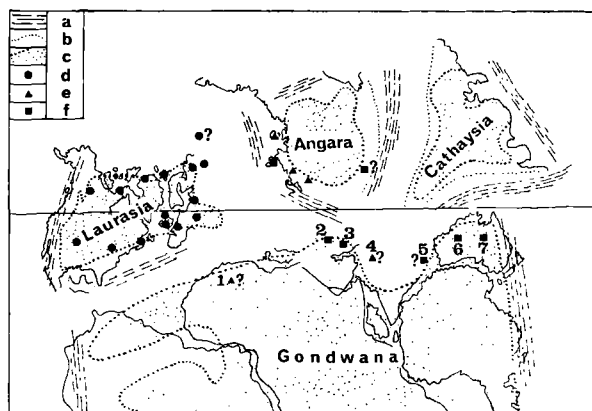


Fig. 5. — Répartition des Hétérostracés et des Thélodontes au Dévonien inférieur d'après les gisements connus.

a, domaine océanique (" eugéosynclinaux ") ; b, limite du plateau continental (cote — 200 m) ; c, continents (à propos de la Laurasia et du Gondwana, voir le texte, p. 369) ; d, faunes à Hétérostracés et Thélodontes (Laurasia) ; e, faunes à Hétérostracés (Gondwana et Angara) ; f, faunes à Thélodontes (Gondwana et Angara) ; 1-7, mêmes numéros que fig. 4 (reconstitution paléogéographique d'après Smith, Briden et Drewry, 1973 ; Seyfert et Sirkin, 1973).

NW de la plate-forme sibérienne. D'autres migrants auraient atteint le Gondwana dès le Dévonien inférieur et ne semblent pas, d'après les données actuelles, avoir dépassé l'Inde (1 et 4, fig. 5). Par ailleurs, on connaît actuellement un gisement supposé d'âge silurien supérieur dans la région de Nanking, en Chine, avec un Hétérostracé, *Kiangsuaspis nankingensis* P'an, 1962. L'origine de cette branche chinoise est problématique : on peut envisager des passages avant le Silurien supérieur entre Angara et Cathaysia ou Laurasia et Cathaysia. Les quelques éléments de comparaison dont nous disposons actuellement nous font retenir la seconde hypothèse (fig. 6). En effet, l'ornementation de *Kiangsuaspis* (P'an, 1962, Pl. I) évoque, par ses deux types de rides de dentine longitudinales, celle de *Cyathaspis banksi* du Silurien terminal-Dévonien basal d'Angleterre (Kiaer, 1932, Pl. VIII ; Denison, 1964, fig. 110) ; elle rappelle aussi, par son réseau de fines rides associées à de petits tubercules, celle de *Ctenaspis cancellata* Kiaer, 1930, récolté dans le Dévonien inférieur du Spitsberg. D'autres représentants de ces genres *Cyathaspis* et *Ctenaspis*, sont pour l'heure inconnus en Angara alors qu'ils sont nombreux dans le Siluro-Dévonien de la Laurasia.

Quant aux Thélodontes, les plus anciens que nous connaissions actuellement ont été récoltés dans des couches d'âge Llandovery dans la synclise de la Toungouska et en R.S.S. de Tuva (Talimaa, 1976 et sous presse), ainsi qu'en Angleterre (Aldridge et Turner, 1975). On les connaît ensuite dans le Siluro-Dévonien de l'Angara, de la Laurasia et le Dévonien de Gondwana. Autrement dit, on peut envisager comme centre de dispersion des Thélodontes soit la Laurasia, soit l'Angara ; cependant, leur répartition paléogéographique pour le Gondwana au Dévonien inférieur (fig. 5) nous incline à opter pour la deuxième hypothèse (fig. 6) : les Thélodontes n'auraient pas dépassé l'Iran dans leur migration le long des côtes gondwaniennes. Enfin, à l'heure actuelle, aucun Thélodonte n'a été signalé en Chine.

4) Quelques réflexions d'ordre paléoécologique.

Ces hypothèses sur les migrations des Hétérostracés et des Thélodontes, fondées sur leur vaste répartition au Dévonien inférieur, notamment en ce qui concerne *T. pagei*, posent une fois de plus le problème de leur milieu.

La fig. 5 montre que la plupart des faunes considérées sont sur le pourtour supposé des masses continentales de l'époque. D'autre part, dans de nombreux cas, elles renferment des Invertébrés considérés comme marins ; le dernier exemple de ce type est fourni par le niveau 2 de la coupe de Hutk qui a livré des Crinoïdes. Or, "de manière générale, les Crinoïdes paléozoïques sont des formes strictement marines pouvant peupler des milieux assez proches du littoral" (Le Menn, comm. pers.). L'argument n'est certes pas décisif, il ne fait que s'ajouter à la liste des faunes à Invertébrés marins et Vertébrés du Siluro-Dévonien. Nous supposons donc qu'Hétérostracés et Thélodontes habitaient la zone littorale et migraient le long des côtes.

Dans le cadre de cette hypothèse, nous sommes amenés à considérer la reconstitution paléogéographique de la fig. 5 d'un œil critique : il y a contradiction entre, d'une part, Laurasia-Gondwana et, d'autre part, Angara. Pour les deux premières masses continentales, les régions ayant fourni des Agnathes sont considérées comme "continentales" (Dineley, 1973 ; Turner, 1973) ; pour l'Angara, les niveaux à Agnathes seraient marins (Mark-Kurik, 1974). Il nous semble que l'hypothèse d'un milieu aqua-

tique ouvert, c'est-à-dire marin, est plus économique que celle de milieux aquatiques fermés, dits continentaux, qui supposent, par exemple, l'existence d'un stade larvaire marin pour expliquer la vaste répartition d'adultes dulçaquicoles (Turner, 1973).

Cependant, le passage par ces Vertébrés d'une masse continentale à l'autre n'est pas résolu pour autant. Deux modèles sont possibles : le premier exige la traversée des domaines océaniques qui séparent les continents par des animaux dont on estime généralement qu'ils ne sont pas adaptés, du moins à leur stade adulte, à des conditions de vie nectonique ; dans le second cas, si l'on suppose qu'Hétérostracés et Thélodontes sont benthiques et inféodés à des milieux côtiers, il faut que les espaces intercontinentaux aient été suffisamment restreints pour que la dispersion mondiale se fit.

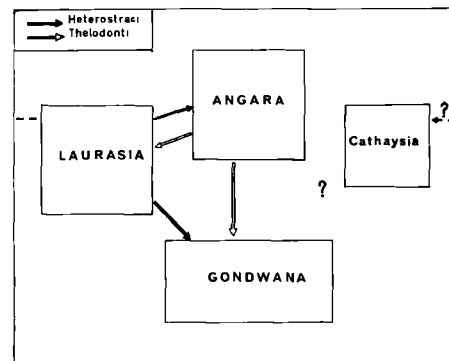


Fig. 6. — Hypothèses sur la dispersion des Hétérostracés et des Thélodontes entre l'Ordovicien et le Dévonien.

CONCLUSIONS

Notre connaissance des Agnathes gondwaniens est encore très fragmentaire : quatre gisements avaient livré soit des Hétérostracés (Algérie, Cachemire), soit des Thélodontes (Australie) ; trois nouveaux gisements (Iran et Thaïlande) ont livré des Thélodontes. Néanmoins, la comparaison avec les régions déjà connues (gisements de la Laurasia et de l'Angara) permet de proposer pour les Hétérostracés une origine laurasienne, pour les Thélodontes une origine angarienne. Le problème de la province chinoise reste ouvert par manque de données. La valeur biostratigraphique de ces

formes, si elle a été démontrée pour des séries-types comme celle de Grande-Bretagne, demande à être confirmée pour le Gondwana où le niveau 2 de la coupe de Hutk, en Iran, serait Siegénien ou Emsien.

Remerciements. — Nous tenons à remercier ici Janvier (Paris), qui nous a fourni le matériel d'Iran et de Thaïlande ; Mutvei (Stockholm), qui nous a envoyé le matériel d'Algérie ; Le Menn (Brest), qui a examiné les Crinoïdes de Hutk ; Laroche pour les clichés au M.E.B. ; Serrette, pour les photographies.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ALDRIDGE R.J. et TURNER S. (1975). — Britain's oldest agnathans. *Geol. Mag.*, 112, 4, p. 419-420. Cambridge.
- 2) BAUM F., von BRAUN E., HAHN L., HESS A., KOCH K.E., KRUSE G., QUARCH H. et SIEBENHÜNER M. (1970). — On the geology of northern Thailand. *Beih. Geol. Jb.*, 102, 23 p. Hanover
- 3) BRICE D., LAFUSTE J., de LAPPARENT A.F., PILLET J. et YASSINI I. (1973). — Etude de deux gisements paléozoïques (Silurien et Dévonien) de l'Elbourz oriental (Iran). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XCIII, 3, p. 177-218, Lille.
- 4) DENISON R.H. (1964). — The Cyathaspididae, a family of Silurian and Devonian jawless vertebrates. *Fieldiana Geol.*, 13, 5, p. 311-473. Chicago.
- 5) DENISON R.H. (1967). — Ordovician vertebrates from western United States. *Fieldiana Geol.*, 16, 6, p. 131-192. Chicago.
- 6) DINELEY D.L. (1973). — The Fortunes of the early vertebrates. *Geology*, 5, p. 2-20. Cardiff.
- 7) GOUJET D. et BLIECK A. (1977). — La faune de Vertébrés de l'horizon "Vogti" (Groupe de Red Bay, Spitsberg). Comparaison avec les autres faunes ichtyologiques du Dévonien inférieur européen. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 284, 16, D, p. 1513-1515.
- 8) GROSS W. (1947). — Die Agnathen und Acanthodier des Obersilurischen Beyrichienkalks. *Palaeontographica*, 96, A, p. 91-158. Stuttgart.
- 9) GROSS W. (1967). — Über Thelodontier Schuppen. *Palaeontographica*, 127, A, 67 p., Stuttgart.
- 10) GROSS W. (1971). — Unterdevonische Thelodontier- und Acanthodier-Schuppen aus Westaustralien. *Paläont. Z.*, 45, 314, p. 97-106. Stuttgart.
- 11) GUPTA V.J. et TURNER S. (1973). — Oldest Indian Fish. *Geol. Mag.*, 110, 5, p. 483-484. Cambridge.
- 12) JOHNSTONE M.H., JONES P.J., KOOP W.J., ROBERTS J., GILBERT-TOMLINSON J., VEEVERS J.J. et WELLS A.T. (1967). — Devonian of Western and Central Australia. In *Intern. Symp. Devon. System*, 1, p. 599-612, Oswald D.H. edit., Calgary.
- 13) KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (1964). — Data on the Stratigraphy of the Lower Devonian of the southern Prebaltic. In *Questions of Stratigr. and Paleogeogr. of the Devonian Baltics*, *State Geol. Commit. U.S.S.R., Geol. Institut. Vilnius*, p. 21-39 (en russe).
- 14) KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (1976). — Les Thélodontes du Silurien et du Dévonien de l'U.R.S.S. et du Spitsberg. Etude systématique et biostratigraphique. Résumé *Thèse Doctorat Sc. Géol. Minéral.*, 43 p. Moscou (en russe).
- 15) KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (sous presse). — Les Thélodontes du Silurien et du Dévonien de l'U.R.S.S. et du Spitsberg. Etude systématique et biostratigraphique. Moscou (en russe).
- 16) KARATAJUTE-TALIMAA V.N. et NARBUTAS V.V. (1973). — Le Dévonien inférieur des Pays Baltes. In *La Stratigraphie du Dévonien inférieur. Trav. 3^e Symp. Intern. Limite Silur. Dévon. et Stratigr. Dévon. inf. et moy.*, II, p. 132-136, Nauka edit., Leningrad (en russe, résumé en anglais).
- 17) KIAER J. (1930). — *Ctenaspis*, a new genus of cyathaspidian fishes. A preliminary report. *Skr. Svalb. Ishavet*, 33, 7 p., Oslo.
- 18) KIAER J. (1932). — The Downtonian and Devonian Vertebrates of Spitsbergen. IV, Suborder Cyathaspidia. *Skr. Svalb. Ishavet*, 52, 26 p. Oslo.
- 19) LEHTOLA K.A. (1973). — Ordovician Vertebrates from Ontario. *Contrib. Mus. Paleontol. Univ. Michigan*, 24, 4, p. 23-30, Ann Arbor.
- 20) MARK-KURIK E. (1974). — Discovery of new Devonian fish localities in the Soviet Arctic. *Eesti NSV Tead. Akad. Toimet.*, 23, K. *Geol.*, 4, p. 332-335, Tallinn.
- 21) MUTVEI H. (1956). — Découverte d'une riche microfaune dans le calcaire silurien de la région de la Saoura (Sahara du Nord). *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 243, p. 1653-1654.
- 22) NOVITSKAYA L. (1971). — Les Amphiaspides (Heterostraci) du Dévonien de la Sibérie. *Cahiers Paléont.*, 130 p., Paris.
- 23) OBRUCHEV D.V. (1964). — Subclass Thelodonti (Coelolepides). In *Fundamentals of Paleontology*, Orlov J.A., edit., 1, A, 11, p. 39-44, Moscow (en russe).
- 24) OBRUCHEV D.V. et KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (1967). — Vertebrate faunas and correlation of the Ludlowian-Lower Devonian in eastern Europe. *J. Linn. Soc. London (Zool.)*, 47, 311, p. 5-14.
- 25) ØRVIG T. (1958). — *Pycnaspis splendens*, new genus, new species, a new Ostracoderm from the Upper Ordovician of North America. *Proc. U.S. Nation. Mus.*, 108, 3391, 23 p., Washington.

- 26) ØRVIG T. (1969). — Vertebrates of the Wood Bay Group and the position of the Emsian-Eifelian boundary in the Devonian of Vestspitsbergen. *Lethaia*, 2, 3/4, p. 273-328, Oslo.
- 27) P'AN K. (1962). — A new Silurian fish from Nanking, China. *Acta Palaeont. Sinica*, 10, 3, p. 402-408, Peking (en chinois, résumé en anglais).
- 28) POWRIE J. (1870). — On the earliest known vestiges of vertebrate life; being a description of the fish remains of the Old Red Sandstone of Forfarshire. *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, 1, p. 284-301.
- 29) TALIMAA V.N. — Voir KARATAJUTE-TALIMAA V.N.
- 30) TRAQUAIR R.H. (1896). — The Extinct Vertebrate Animals of the Moray Firth Area. In *Vertebrate fauna of the Moray Basin*, vol. II. Brown et Buckley, edit., Edinburgh.
- 31) TURNER S. (1973). — Siluro-Devonian thelodonts from the Welsh Borderland. *J. Geol. Soc.*, 129, 6, p. 557-584, London.

* * *

EXPLICATION DE LA PLANCHE LXI

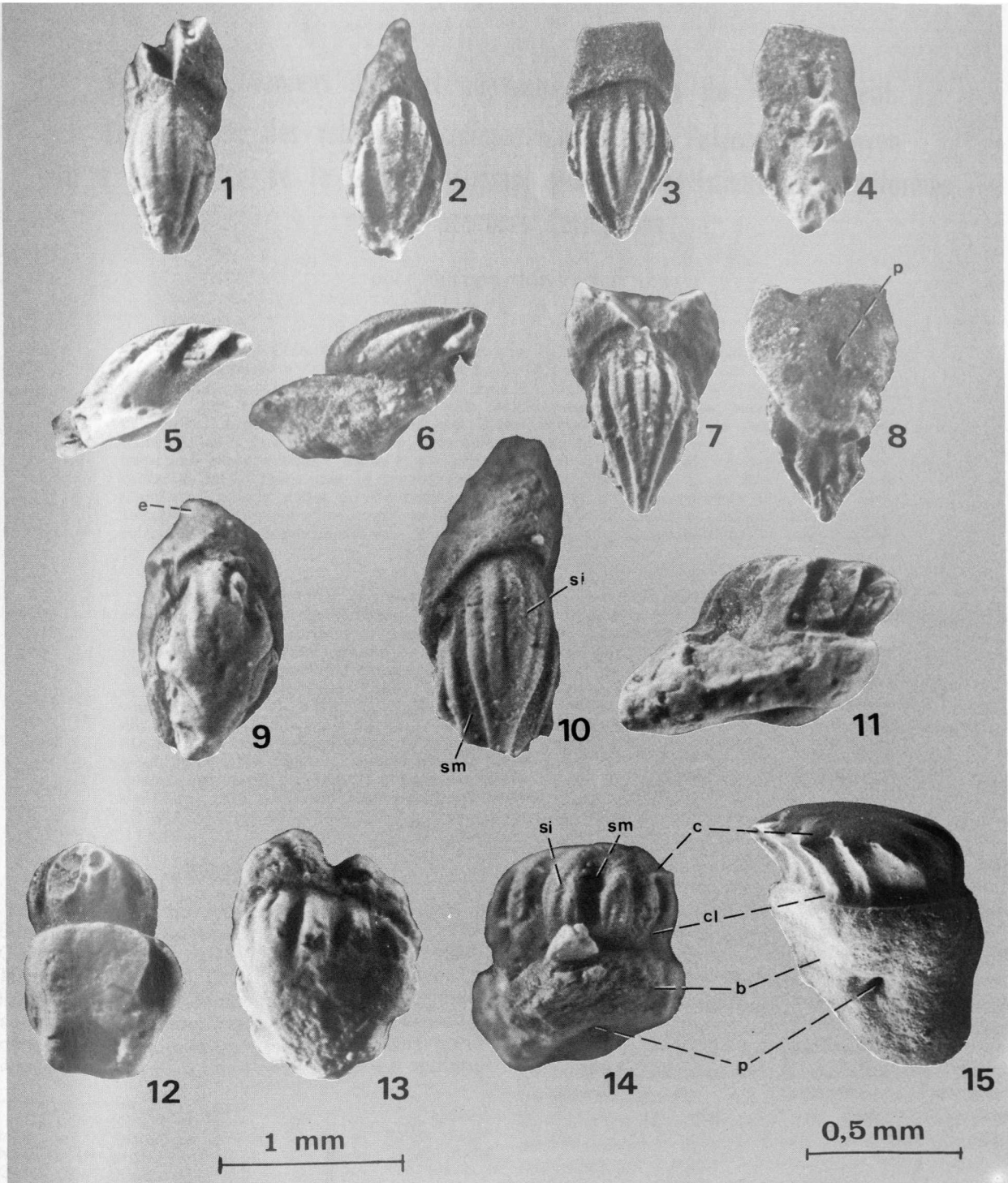
Fig. 1-14. — *Turinia hutkensis* nov. sp., Hutk (Iran central). Fig. 15. — *Turinia pagei*, Spitsberg (Groupe de Red Bay, horizon "Vogti"). Gr. = 50. (Cl. Laroche).
Gr. = 30. (Cl. Serrette).

b, base ; **c**, couronne ; **cl**, collet ; **e**, éperon antérieur de la base ; **p**, pore de la cavité pulpaire ; **sm**, sillon majeur ; **si**, sillon intermédiaire.

1 et 2, HTK 2, écaille du tronc, vues coronale et latérale gauche. — 3 et 4, HTK 3, écaille du tronc, vues coronale et latérale gauche. — 5 et 6, HTK 1 (holotype), écaille du tronc, vues coronale et basale (base incomplète). — 7 et 8, HTK 4, écaille du tronc, vues coronale et basale. — 9, HTK 5, écaille de transition, vue coronale. — 10, HTK 6, écaille du tronc, vue coronale. — 11, HTK 5, écaille de transition, vue latérale gauche (même écaille que fig. 9). — 12, HTK 8, écaille céphalique, vue latérale. — 13 et 14, HTK 9, écaille céphalique, vues coronale et latérale. — 15, écaille de transition, vue latérale droite.

* * *





Vertébrés dévoniens de deux nouveaux gisements du Moyen-Orient. Le problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen vu à la lumière de la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiformes et des premiers Tétrapodes

par Philippe JANVIER (*)

Sommaire. — Deux gisements nouveaux, l'un dans le Dévonien moyen du Nord-Est de l'Iran, l'autre dans le Dévonien supérieur du Sud-Ouest de la Turquie, ont livré des faunes de poissons associées à des végétaux dans un faciès détritique de type "Vieux Grès Rouges" qui est ici interprété comme un faciès marin très côtier ou, plus probablement, estuarien. La présence de Rhipidistiens Ostéolépiformes de la famille des Ostéolépides dans ces deux gisements confirme le caractère ubiquiste de cette famille, par opposition au caractère essentiellement laurasiatique des Eusthenopteridés en majorité dulçaquicoles. En outre, il est suggéré que la première radiation des Tétrapodes a pu avoir lieu sur le Gondwana dès le début du Dévonien moyen, à partir d'Ostéolépiformes ancestraux. Les Tétrapodes n'auraient alors envahi la Laurasia qu'à la fin du Dévonien, consécutivement aux refroidissements gondwaniens et à la raréfaction des Eusthenopteridés dans les eaux douces de la Laurasia.

Summary. — Rich fish faunal assemblages, associated with plants in "Old Red Sandstone facies" have recently been discovered in the Middle Devonian of North-Eastern Iran and in the Upper Devonian of South-Western Turkey. These two localities are thought to represent shallow water, marine or estuarine deposits, indicating the vicinity of the coast. The presence of osteolepid osteolepiforms in both localities confirms the ubiquitous habitat of this family of rhipidistian fishes, in contradistinction to the mainly Laurasiatic and fresh-water habitat of the Eusthenopteridae. Furthermore, as recently suggested by Panchen, the early radiation of the main tetrapod stem may have occurred in Gondwanaland in the early Middle Devonian, after derivation from marine ancestral osteolepiforms. The tetrapods would, thus, have invaded Laurasia later, at the very end of the Devonian, as a consequence of the northwardly progressing gondwanian glaciation and to the rarefaction of the Eusthenopteridae in the Laurasian fresh-water environment.

Introduction

La récente découverte de Vertébrés dans le Dévonien du Moyen-Orient (Schultze, 1973 ; Golshani et al., 1973 ; Janvier, 1974, 1977 ; Janvier et Marcoux, 1976, 1977 ; Janvier et Ritchie, 1977) est venue compléter nos connaissances sur la paléobiogéographie de ce groupe dans le Paléozoïque moyen des régions gondwaniennes. Bien que l'ensemble du matériel

extrait de ces gisements nouveaux soit loin d'être étudié, nous apportons ici quelques nouvelles données sur les faunes de poissons découvertes l'an dernier dans les faciès détritiques du Dévonien moyen et supérieur de l'Alborz oriental et du Taurus lycien occidental. Nous donnerons également une description préliminaire de quelques restes de Rhipidistiens ostéolépiformes de ces gisements, en envisageant quelques aspects de la répartition paléogéographique de ces poissons au Dévonien et du problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen, à la lumière des données récentes concernant la répartition paléogéographique des premiers Tétrapodes.

(*) Laboratoire associé n° 12 du C.N.R.S. et Laboratoire de Paléontologie des Vertébrés et Paléontologie humaine, Université Paris VI, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05 (France).

Note déposée le 8 Décembre 1977.

I. — Le gisement de l'Armutgözlek Tepe (Province d'Antalya, Turquie)

Les premiers restes de poissons de ce gisement furent découverts en 1973 par Marcoux (Orsay), dans une série de grès rouges appartenant à la nappe supérieure d'Antalya (unité du Tatali Dag) et située au lieu-dit " Armutgözlek Tepe ", à une trentaine de kilomètres au Sud-Ouest d'Antalya (Janvier et Marcoux, 1977). Nous y avons reconnu la présence d'Arthrodirés, d'Antiarches, d'Acanthodiens, de Dipneustes et d'Ostéolépiformes, soit une faune qui, associée à un faciès " Vieux Grès Rouges " typique, apparaissait comme très voisine de celle que l'on rencontre, par exemple, dans le Dévonien moyen et supérieur du Groenland oriental. Nous avons attribué ce gisement au Frasnien, sous réserve de modifications ultérieures. Selon Ritchie (comm. pers., 1976), certains caractères de l'Arthrodire dolichothoracide *Groenlandaspis seni* Janvier et Ritchie, de ce gisement, indiqueraient un âge légèrement plus ancien, peut-être dévonien moyen. En Octobre 1977, nous y avons récolté, avec Marcoux, un matériel relativement abondant qui permet d'en compléter la liste faunique. Celle-ci compte désormais les formes suivantes :

Elasmobranchii : "*Cladodus*" sp.

Arthrodira : *Holonema* sp.

Groenlandaspis seni

Antiarchi : *Bothriolepis* cf. *canadensis* (Witheaves)

Ptyctodonti : ? *Ptyctodus* sp.

Acanthodii : Ischnacanthiforme gen. et sp. indét.

Dipnoi : Dipteridae aff. *Rhinodipterus*

Crossopterygii : Osteolepidae gen. et sp. indét.

Le milieu de dépôt des grès au sein desquels se trouve le gisement était incontestablement marin, mais très côtier, comme en témoignent les importants niveaux à tigelites mis en évidence en Octobre 1977, ainsi que les nombreux restes de végétaux continentaux (? *Lepidosigillaria*) qui accompagnent les Vertébrés. Les tigelites de ce gisement sont incontestablement d'origine végétale car elles sont limitées basalement par un niveau à traces horizontales radiaires qui semblent avoir été laissées par des racines ou des rhizomes. De plus, de grandes dalles bien dégagées montrent clairement que les tubes sont d'autant plus espacés que leur diamètre est plus important, ce qui semblerait indiquer que la densité de cette végétation par unité de surface diminuait au fur et à

mesure que les plantes croissaient. En attendant de futures études sédimentologiques de ce gisement, nous pouvons provisoirement considérer qu'il s'agissait d'une embouchure de cours d'eau, largement influencée par le milieu marin proche. La présence de restes d'Elasmobranches, de l'Arthrodire *Holonema* et, dans une certaine mesure d'Osteolepides, indique une ouverture certaine sur le milieu marin. En revanche, les genres *Groenlandaspis* et, surtout, *Bothriolepis* seraient plutôt considérés comme dulçaquicoles, quoique parfois présents dans des gisements marins.

Bien qu'appartenant à une nappe venue du Nord (Brunn et al., 1970), les grès dévonien de l'Armutgözlek Tepe sont certainement d'origine gondwanienne ou, tout au plus, auraient été déposés sur les hauts-fonds qui unissaient le Gondwana à la Laurasia au niveau de l'Europe centrale. Leur faune de Vertébrés appartient au même type que celle rencontrée dans les faciès identiques en Amérique du Nord, en Europe du Nord, dans les pays Baltes, ainsi qu'en Australie et en Antarctique. La plupart des composants de cette faune pouvaient migrer par voie marine en suivant les bordures continentales ou les arcs insulaires et ont dû essaimer rapidement dans toutes les mers dépendantes de la Téthys ou situées dans la zone intertropicale dévonienne.

L'une des formes les plus intéressantes de la faune de l'Armutgözlek Tepe est un Osteolepidae de dimensions relativement grandes et qui, par certains caractères tels que la position très ventrale de ses narines externes, est assez proche du genre *Gyroptychius* du Dévonien moyen du Groenland, d'Ecosse, de Norvège et d'Union Soviétique. Nous en avons déjà décrit la ceinture pectorale (Janvier et Marcoux, 1976), mais ce n'est qu'au cours des dernières fouilles que nous avons pu découvrir quelques éléments de la tête de cet animal (fig. 1 A). L'anatomie interne du museau en est observable sur un spécimen dégagé par l'érosion (fig. 1 B, C) et l'on peut constater que la fosse pré-nasale du plafond buccal est extrêmement large, par comparaison avec celle, par exemple, d'*Eusthenopteron* (Jarvik, 1942) et ressemblerait plutôt à celle signalée chez *Thursius* sp. (Vorobjeva, 1975), *Glyptopomus* (Jarvik, 1950), *Thursius* ? (Jarvik, 1942) ou même *Megalichthys* (Jarvik, 1966). Du fait de la largeur du museau, les cavités nasales et les canaux pour les nerfs

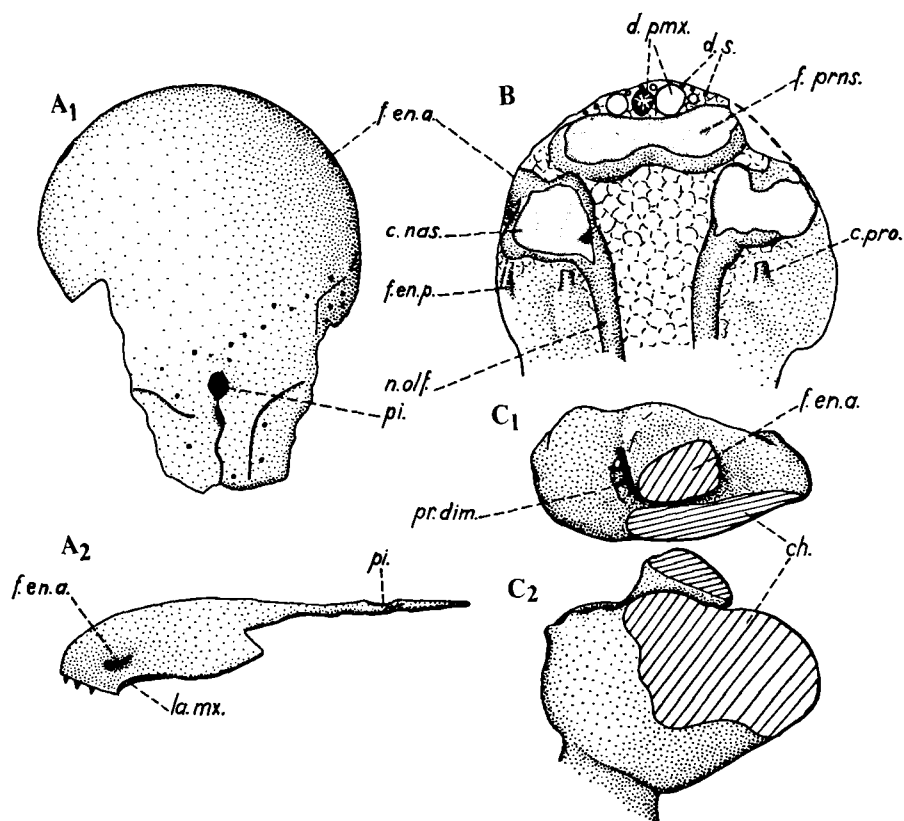


Fig 1. — A-C: *Osteolepidae* gen. et sp. indéterminés, Dévonien supérieur (? Frasnien), Armutgözlük Tepe, Province d'Antalya, Turquie.

A: Bouclier fronto-ethmoïdien en vue dorsale (A₁) et latérale (A₂).

B: Partie fronto-ethmoïdienne de l'endocrâne, partiellement dégagée, en vue dorsale.

C: Moulage naturel interne de la cavité nasale gauche du spécimen figuré en B, vue antéro-latérale (C₁) et ventrale (C₂).

A et B: Gr. = 1,5; C: Gr. = 5.

ch., choane; c.nas., cavité nasale; c.pro., canal pour le nerf profond; d.pmx., grosses dents à dentine plissée, portées par le prémaxillaire ou l'intermaxillaire; d.s., petites dents à structure simple; f.en.a., fenêtre endonarinale antérieure; f.en.p., fenêtre endonarinale postérieure; f.pns., fosse prénasale; la.mx., encoche lacrymo-maxillaire; n.olf., canal pour le tractus olfactif; pi., foramen pinéal; pr.dim., emplacement du processus dermintermedius et de la lamina nariochoanalis.

olfactifs qui leur font suite postérieurement sont beaucoup plus écartés que chez *Eusthenopteron*, mais leurs caractères généraux sont les mêmes. Les choanes s'ouvraient toutefois plus largement dans la cavité buccale que chez ce genre. L'étude ultérieure du matériel après sa préparation permettra de préciser les rapports de cette forme de Turquie avec les autres *Osteolepidae* connus.

II. — Le gisement de Khush-Yeilagh (Province de Mazanderan, Iran)

C'est en mai 1976 que nous avons découvert, avec Martin, dans la célèbre coupe de Khush-Yeilagh, entre Shahrud et Shahpahsand, un niveau de grès arkhosique renfermant une importante faune de poissons d'âge probablement eifélien et dont l'étude est actuellement

en cours. Les fouilles effectuées en mai 1977 avec Blicek, nous permettent de donner ici la liste faunique provisoire suivante :

- Arthrodira : *Groenlandaspis* sp.
 Dolicho thoraci gen. et sp. indéterminé.
 Coccosteomorphi gen. et sp. indéterminé.
 ? *Leptosteus* sp.
Holonema sp.
 Pachyosteomorphi gen. et sp. indéterminé.
- Antiarchi : ? Bothriolepidae gen. et sp. indéterminé. (aff. *Wudinolepis*)
- Ptyctodonti : *Ptyctodus* sp.
 ? *Rhamphodopsis* sp.
- Dipnoi : Dipteridae aff. *Rhinodipterus*
- Crossopterygii : *Onychodus* sp.
 Osteolepidae gen. et sp. indéterminé.
Holoptychius sp.
- Acanthodii : *Gyracanthus* sp.
 Ischnacanthiforme gen. et sp. indéterminé.

Cette liste sera complétée ultérieurement, surtout en ce qui concerne les Placodermes qui constituent l'élément dominant de cette faune.

Le milieu de genèse de ce gisement devrait être, comme pour le précédent, marin, extrêmement côtier. Du reste, nous y avons découvert plusieurs niveaux à végétaux. La présence de formes telles que *Holonema* ou *Onychodus* indique une forte influence marine, tandis que les Antiarches ou les Groenlandaspididés sont, comme pour le gisement de Turquie, des indicateurs de faible salinité ou d'apports continentaux.

Dans l'ensemble, cette faune, quoique comptant des genres connus dans d'autres régions du globe, nous semble plus nettement individualisée que ne l'est celle de Turquie. Ceci est peut-être dû au fait que l'on ne connaît que peu de gisements eiféliens aussi riches dans le monde, mais cela peut aussi être la conséquence d'une position géographique particulière au Dévonien. Ainsi, le petit Antiarche que l'on y trouve présente-t-il d'étroites ressemblances avec un genre connu dans le Dévonien moyen du Yunnan, en Chine. Dans l'état actuel de nos connaissances sur cette faune, nous pouvons affirmer qu'elle comprend un important "fond" laurasiatico-gondwanien, mais a dû incorporer des éléments venus d'autres provinces fauniques.

La présence d'un Osteolepidae dans cette faune nous est indiquée principalement par un petit cleithrum gauche, auquel est encore attaché le scapulo-coracoïde (fig. 2). Ce dernier a la forme triradiée caractéristique des Ostéolépi-

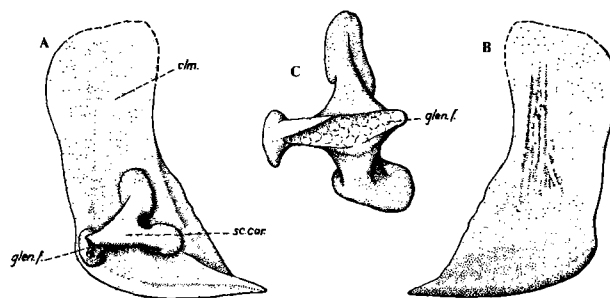


Fig. 2. — A-C : Osteolepidae gen. et sp. indéterminé, Dévonien moyen (? Eifélien), Col de Khush-Yeilagh, province du Mazanderan, Alborz oriental, Iran.

A, B : Cleithrum gauche en vue mésiale (A) et latérale (B).
 C : Scapulo-coracoïde en vue postéro-ventrale.

A et B : Gr. = 1,5 ; C : Gr. = 3.

clm., cleithrum ; glen.f., fosse glénoïde ; sc.cor., scapulo-coracoïde.

formes (Jarvik, 1972), mais il surprend par l'étirement transversal de sa fosse glénoïde (fig. 2 C). La surface externe du cleithrum est pratiquement lisse dans sa partie postérieure et ornée seulement de quelques rides verticales dans sa partie antérieure. Bien que l'os soit mal conservé, il semble qu'il ait été couvert de cosmine. L'empreinte de la face interne d'un dentaire, que nous rapportons à cette même forme, est également assez semblable au dentaire des Osteolepidae du Dévonien moyen d'Europe.

III. — Remarques sur la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiiformes et des Tétrapodes dévoniens

On peut actuellement considérer comme certain que les Vertébrés tétrapodes sont issus de poissons Rhipidistiens ostéolépiiformes ou, du moins, représentent un groupe frère de ces derniers (Schultze, 1977). Nous n'entrerons pas ici dans le détail des controverses qui agitent actuellement les spécialistes de cet important problème de l'évolution des Vertébrés, notamment au sujet de l'origine monophylétique ou polyphylétique des Tétrapodes (Jarvik, 1942, 1964, 1972 ; Romer, 1955 ; Thomson, 1964, 1966, 1968 ; Miles, 1975 ; Schultze, 1970, 1977), bien qu'il nous paraisse infiniment probable que, outre un important stock monophylétique de Tétrapodes, il ait existé quelques lignées de

faible importance qui, issues de groupes différents de Rhipidistiens, ont évolué parallèlement à celui-ci. Notons simplement que les Urodèles actuels qui, par divers caractères, diffèrent notablement des Anoures, voire de tous les autres Tétrapodes, présentent certaines ressemblances anatomiques avec un groupe de poissons choanates apparemment assez proche des Ostéolépiformes : les Porolépiformes, qui diffèrent cependant de ces derniers par des caractères considérés comme fondamentaux par Jarvik (1972) et Bjerring (1977).

Thomson (1967), pour sa part, rejette l'hypothèse d'une origine séparée des Urodèles à partir des Porolépiformes, mais il propose une divergence immédiate entre les deux principaux groupes d'Amphibiens carbonifères : les Lépospondyles et les Labyrinthodontes, dès les premiers stades du passage Rhipidistien-Tétrapodes. Pour Panchen (1972), ce sont les lignées conduisant respectivement aux Amphibiens labyrinthodontes et aux Reptiles captorhinomorphes qui ont divergé très tôt, dès le stade "protétrapode", une idée exprimée, chez Jarvik (1972) par l'hypothèse d'une divergence de ces deux groupes dès le stade ostéolépiforme.

Les seuls Tétrapodes dévoniens connus sont *Ichthyostega*, *Ichthyostegopsis* et *Acanthostega*, des formations de type "Vieux Grès Rouges" d'âge famennien supérieur de la Côte Est du Groenland (Säve-Söderbergh, 1934 ; Jarvik, 1948). Dès cette époque, ils constituent un groupe très spécialisé à certains égards. Ils doivent être exclus de l'origine des Labyrinthodontes et ne constituent qu'un groupe frère de ces derniers : les *Ichthyostegalia*. Ceci laisse supposer qu'une longue et complexe évolution des premiers Tétrapodes s'est déroulée entre l'apparition de leurs caractères dérivés propres et le Famennien supérieur. Enfin, dans les séries de Genoa (Victoria, Australie), Warren et Wakefield (1972) ont décrit deux pistes de Tétrapodes pentadactyles indubitables, mais dont l'âge n'est rapporté qu'avec doute au Frasnien (fig. 4). Selon ces auteurs, les couches de grès qui ont livré ces traces sont datées par des tiges de Sphénopsides et des frondes d'*Archaeopteris howittii*, considérées comme caractéristiques du Dévonien supérieur. Si ces traces ont réellement l'âge qui leur est assigné, elles représentent alors les plus anciens témoignages de l'existence de Tétrapodes que l'on connaisse au monde.

Les Rhipidistiens ostéolépiformes sont connus dès le Dévonien moyen avec la famille des *Osteolepidae*, caractérisée notamment par l'aspect trapu de la partie antérieure de leur toit crânien et par un revêtement d'un tissu dur particulier, la cosmine, qui couvre tous les os dermiques. La présence d'*Osteolepidae* dans le Dévonien inférieur de Chine (Yunnan) est encore incertaine (Chang, comm. inédite, 1962), néanmoins, on en connaît dès l'Eifélien dans le gisement de Khush-Yeilagh en Iran (v. chap. II). La famille des *Eusthenopteridae* (*sensu* Thomson, 1976 = famille des *Rhizodontidae sensu* Lehman, 1966) apparaît plus tardivement, le genre le plus ancien, *Tristichopterus*, étant givétien, tous les autres, dévoniens supérieur. Les familles des *Rhizodontidae* (*sensu* Thomson, 1976) et *Rhizodopsidae* sont principalement carbonifères.

Plusieurs auteurs ont tenté de rechercher dans quelle famille d'Ostéolépiformes on pouvait enraciner les Tétrapodes et, plus particulièrement, les Labyrinthodontes (Thomson, 1968 ; Vorobjeva, 1975). C'est là une tâche extrêmement difficile et hasardeuse dans la mesure où les premiers Ostéolépiformes ont dû présenter très tôt une évolution "en mosaïque" donnant naissance à des phénomènes de convergence. Pour Thomson, c'est dans les *Eusthenopteridae* qu'il faut peut-être rechercher l'origine des Tétrapodes, en raison de la similitude qui existe entre le toit crânien de *Hyneria* (*Rhizodontidae*, 1968 ; *Eusthenopteridae*, 1976) et celui des *Ichthyostegalia*. En revanche, Vorobjeva (1973) a fait remarquer certaines ressemblances surprenantes entre les os dermiques de la tête de *Panderichthys* (l'un des rares *Osteolepidae* dépourvus de cosmine selon Thomson, 1969) du Dévonien supérieur des pays baltes et ceux des Labyrinthodontes. Cet auteur a également souligné la présence de nombreux caractères de Tétrapodes chez l'*Osteolepidae* *Gyroptichius*. Enfin, Schultze (1970), a signalé un fait très significatif concernant la structure des dents des Rhipidistiens et des Labyrinthodontes. En effet, si la structure plissée ("plicidentine") des dents est une incontestable synapomorphie de ces deux groupes, elle peut présenter des variations appréciables selon les familles considérées. Ainsi, chez les *Eusthenopteridae*, l'os qui rattache la dent à son support (os dermique des mâchoires) pénètre profondément entre les replis de la plicidentine ; en revanche, chez

Panderichthys, *Gyroptychius* (Vorobjeva, 1975) ainsi que, probablement, chez beaucoup d'autres Osteolepidae, les replis de la dentine sont jointifs et l'os ne pénètre pas entre eux, tout comme c'est le cas chez *Ichthyostega* et les Labyrinthodontes. Le fait que cette structure est également celle que l'on rencontre chez les Porolépiformes tendrait à prouver qu'il s'agit d'un caractère plésiomorphe. Ainsi, en ce qui concerne la structure des dents, les Labyrinthodontes ne peuvent être issus des Eusthenopteridae tels que nous les connaissons.

Si les pistes de Tétrapodes d'Australie sont bien frasnienne, il faut supposer que la dichotomie entre Ostéolépiformes et Tétrapodes a dû avoir lieu bien avant cette époque et, à notre avis, très tôt au cours du Dévonien moyen. De ce fait, il est fort probable que l'apparition des Tétrapodes est antérieure à celle des Eusthenopteridae. Tout au plus pourrait-on supposer une origine commune à ces deux groupes. Ces deux cas sont illustrés par la fig. 3. La cosmine est ici considérée comme un caractère dérivé commun aux Porolépiformes et aux Ostéolépiformes et sa disparition pourrait être, chez les Ostéolépiformes et les Tétrapodes, soit une convergence (fig. 3 A), soit une synapomorphie (fig. 3 B) des Eusthenopteridae et des Tétrapodes. Dans cette optique, le Rhipidistien ancêtre des Tétrapodes aurait obligatoirement été pourvu de cosmine dans le cas A, ou en aurait été dépourvu dans le cas B. En réalité, le cas A est fort probablement le plus plausible dans la mesure où la régression de la cosmine est un phénomène qui apparaît non seulement chez certains Osteolepidae (*Panderichthys*, *Glyptopomus*), mais également chez les Porolépiformes (*Glyptolepis*, *Holoptychius*) et les Dipneustes.

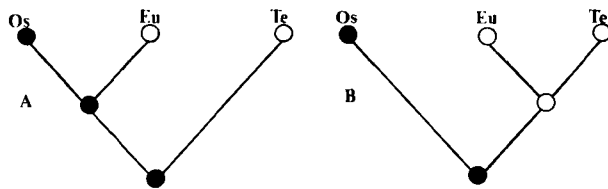


Fig. 3. — Deux illustrations des relations phylétiques les plus probables entre Osteolepidae (Os.), Eusthenopteridae (Eu.) et Tétrapodes (Te.). Les plots noirs indiquent les formes pourvues de cosmine, les cercles, les formes dépourvues de cosmine. C'est le cas A qui est choisi dans le présent article.

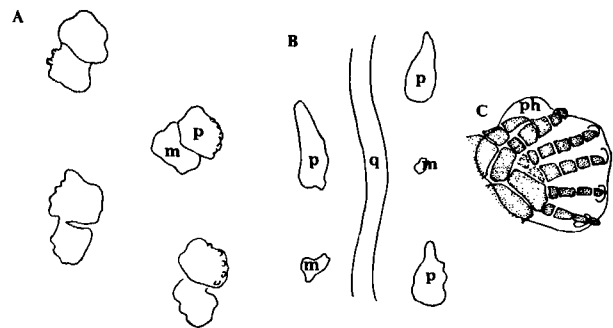


Fig. 4. — A-C, Pistes de Tétrapode indéterminé, Dévonien supérieur (? Frasnien), Genoa series, Victoria, Australie (d'après Warren et Wakefield, 1972).

- A : piste montrant l'empreinte des cinq doigts et la superposition des traces des "mains" (m) et des "pieds" (p).
 B : piste montrant nettement la trace de la queue (q).
 C : Essai de superposition du squelette du pied d'*Ichthyostega* (d'après Jarvik, 1952, légèrement modifié quant à la dimension et à la disposition des doigts) et de l'une des empreintes de "pied" de la piste A d'Australie. Noter le lobe antérieur qui, sur ces empreintes, pourrait correspondre à la trace du préhallux (ph).
 A et B : Gr. = 1/5 ; C : Gr. = 1/3.

Thomson (1975, 1976) a suggéré que la cosmine était un caractère lié à la vie en milieu aquatique saumâtre, tandis que la perte de ce tissu était concomitante, chez les Rhipidistiens, avec la conquête du milieu lacustre ou fluviatile, comme le montre l'exemple des Eusthenopteridae, qui sont presque tous associés à des faciès de bassins continentaux. L'absence de cosmine chez *Panderichthys* serait aussi liée au mode de vie fluviatile (Lyarskaya, 1972). Cette valeur d'indicateur de salinité que Thomson attribue à la cosmine nous semble corroborée par la répartition des Ostéolépiformes. En effet, les Osteolepidae pourvus de cosmine (principalement *Osteolepis*, *Gyroptychius*, *Latvius*, *Thursius*) sont pratiquement connus dans le monde entier, surtout dans les régions qui, au Dévonien moyen ou supérieur, étaient en relation avec la Téthys, mais presque toujours dans des faciès détritiques côtiers de type "Vieux Grès Rouges". On ne les trouve pratiquement jamais dans les faciès typiquement marins à Bryozoaires et Brachiopodes où, pourtant, abondent des Dipneustes pourvus de cosmine. Il semble donc que cette famille d'Ostéolépiformes affectionnait plus particulièrement les milieux estuariens, du type de celui du gisement de l'Armutgözlek Tepe (v. chap. I). Le gisement

de Gogo (Australie du NW) est à cet égard une exception car on y connaît des Osteolepidae dans un milieu inter-récifal typique (Gardiner et Miles, 1975). Jusqu'à ce jour, on a signalé des Osteolepidae à cosmique en Colombie Britannique (Jessen, 1968), en Terre d'Ellesmere (Kiaer, 1915), au Nouveau-Brunswick (Greiner, 1977), au Colorado (Denison, 1951), dans le NE des Etats-Unis (Thomson, 1976, i.a.), au Groenland (Jarvik, 1950), en Norvège (Jarvik, 1948, 1950), en Allemagne (Jessen, 1973), en Union Soviétique (pays baltes, bassin de Moscou, bassin de Minousinsk, Nouvelle-Zemble, Yakoutie ; Obrouchev, 1951 ; Vorobjeva, 1971, 1975), en Turquie (Janvier et Marcoux, 1977), en Iran, en Inde (Gupta et Denison, 1966), en Australie (Gardiner et Miles, 1975) et en Antarctique (Thomson, 1969) (fig. 5).

Les Eusthenopteridae, en revanche, ne sont guère connus dans les régions nord-atlantiques (Laurasie au sens restreint), à l'exception d'une découverte récente dans le Famennien

du Maroc (Lehman, 1977). On les a signalé en Amérique du Nord (Denison, 1951 ; Thomson, 1968), au Canada, en Ecosse, au Groenland, dans les pays baltes et le bassin de Moscou. Leur présence en Sibérie avec le genre *Thaumatolepis* est encore douteuse (fig. 5). Ces formes sont presque partout connues dans des faciès considérés comme continentaux ou d'eau douce (fluviale et lacustre, sauf au Maroc où il s'agit de Famennien marin très côtier). La communauté faunique entre le Famennien du Maroc et celui du bassin de New-York est incontestable et elle indique que, pour les poissons euryhalins ou dulçaquicoles, le passage de Laurasie en Gondwanie était aisé à la fin du Dévonien. Toutefois, aucun reste d'Eusthenopteridae n'a, jusqu'à présent, été découvert ailleurs dans les régions gondwanienne, tant au Moyen-Orient qu'en Australie.

Ce tableau de la biogéographie des Ostéolépidiformes n'est que provisoire et la restriction des Eusthenopteridae aux régions nord-atlantiques n'est peut-être qu'une illusion due au fait que les faciès lacustres du Dévonien sont relativement peu fossilifères dans les régions gondwaniennes. Néanmoins, nous pouvons, à la suite de Panchen (1977), tenter une interprétation de ces faits dans le cadre du problème de l'origine et de l'évolution des premiers Tétrapodes.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semblerait y avoir une première radiation des Osteolepidae marins dès la fin du Dévonien inférieur ou au tout début du Dévonien moyen, mais dont le centre nous est inconnu. Elle serait suivie, à la fin du Dévonien moyen, par une seconde radiation, celle des Eusthenopteridae dulçaquicoles, dont le centre d'origine est fort probablement nord-atlantique. Ainsi, lorsque les seuls Tétrapodes dévoniens connus étaient les Ichthyostegalia du Groenland, l'enracinement de ces derniers dans une souche d'Eusthenopteridae ancestraux paraissait satisfaisant, tant sur le plan stratigraphique que sur le plan paleobiogéographique. Comme l'a souligné Panchen (1977), la découverte de pistes de Tétrapodes dans la base du Dévonien supérieur d'Australie modifie totalement cette conception, d'autant plus qu'aucun autre reste de Tétrapode n'est connu dans les régions gondwaniennes avant le Permien. En outre, il faut aussi noter le fait que les gisements laurasiatiques de Dévonien non marin n'ont jamais livré le moindre reste de Tétrapode anté-Famennien.

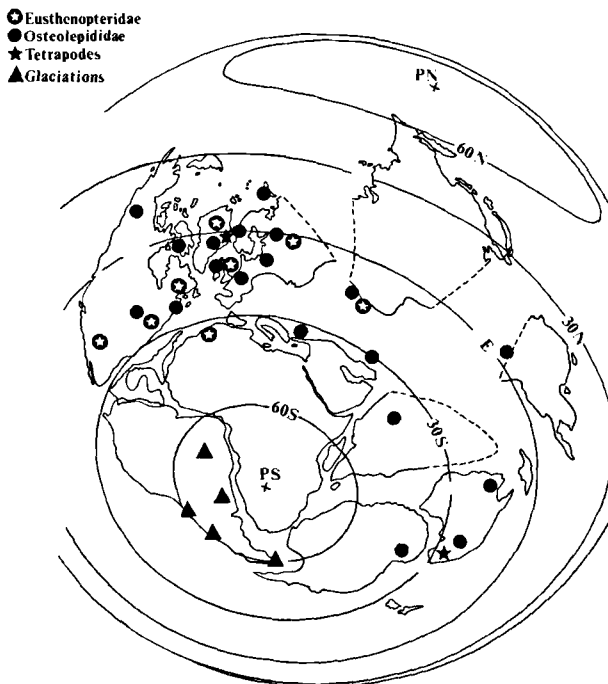


Fig. 5. — Répartition paléogéographique des Osteolepidae, Eusthenopteridae et Tétrapodes au Dévonien moyen et supérieur. Fond cartographique inspiré de Seyfert et Sirkin (1973) mais modifié quant à la position de l'Inde, de la Sibérie et de la Chine.

Compte tenu de ces faits, nous proposons ici, à titre d'hypothèse, l'interprétation paléobiogéographique suivante de l'origine des Tétrapodes (fig. 6) :

1°) Les Tétrapodes se séparent d'Ostéolépiformes ancestraux (hypothétiques) à la fin du Dévonien inférieur ou au début du Dévonien moyen, leur centre de radiation étant la partie intertropicale du Gondwana dont ils envahissent les milieux lacustres et fluviaux (fig. 6 A, B).

2°) Un peu plus tard, vers la fin du Dévonien moyen, les Eusthenopteridae se développent dans les eaux douces des régions nord-atlanti-

ques et, peut-être, de l'Angara méridional (fig. 6 C).

3°) A partir du Famennien, les Eusthenopteridae se raréfient et les Tétrapodes, mieux adaptés à la vie terrestre migrent vers les régions nord-atlantiques en passant probablement par les voies émergées de l'Europe Centrale. Cette migration des Tétrapodes n'aurait pas seulement pour cause la "libération" de niches écologiques dans les milieux continentaux de la Laurasia, mais aussi le refroidissement progressif du Gondwana et l'approche des glaciations carbonifères (fig. 6 D, E).

4°) Enfin, au Carbonifère, la Laurasia se trouve sur l'équateur et d'importantes faunes de Tétrapodes s'y développent, tandis que le Gondwana a été pratiquement déserté par les Vertébrés terrestres qui ne l'envahiront à nouveau qu'au Permien (fig. 6 F).

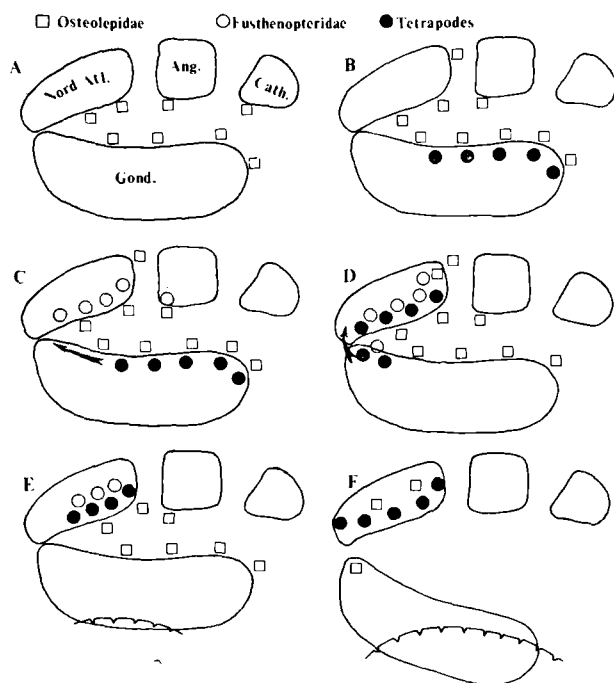


Fig. 6. — Essai de reconstitution de la répartition et des migrations des Osteolepidae, Eusthenopteridae et Tétrapodes au cours du Dévonien et du Carbonifère.

- A : Fin du Dévonien inférieur et début du Dévonien moyen (en partie hypothétique).
- B : Fin du Dévonien moyen.
- C : Début du Dévonien supérieur.
- D : Milieu du Dévonien supérieur.
- E : Fin du Dévonien supérieur.
- F : Carbonifère et Permien.

Conclusions

La découverte d'Osteolepidae dans le Dévonien moyen et supérieur de Turquie et d'Iran confirme le caractère cosmopolite et probablement marin de cette famille de Rhipidistiens ostéolépiformes. En revanche, les Eusthenopteridae semblent liés aux faciès continentaux (lacustres et fluviaux) de la Laurasia, à l'exception d'un spécimen découvert dans le Famennien marin du Maroc. Si, comme il est vraisemblable, l'apparition des Tétrapodes est antérieure à celle des Eusthenopteridae, ceux-ci ont dû avoir pour ancêtres des Ostéolépiformes marins, à l'origine, pourvus de cosmopolite et à très vaste répartition géographique, par conséquent, des formes assez voisines des Ostéolépidae du Dévonien moyen et vivant dans les régions intertropicales dévoniennes. L'hypothèse proposée ici, selon laquelle les Tétrapodes seraient peut-être originaires des régions gondwaniennes est fondée sur deux faits : le premier étant que les plus anciennes traces de Tétrapodes connues ont été découvertes en Australie (un fait qui n'a peut-être qu'une bien faible valeur) ; le second étant l'inévitable concurrence écologique imposée par les Eusthenopteridae dans les eaux douces de Laurasia. Selon cette hypothèse, les Tétrapodes ne seraient passés en Laurasia que plus tard, sous la pression conjointe des refroidissements gondwaniens et de la raréfaction des Eusthenopteridae.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BJERRING H. (1977). — A contribution to structural analysis of the head of craniate animals. *Zool. Scripta*, 6, p. 127-183.
- 2) BRUNN J., GRACIANSKY P.C. de, GUTNIC M., JUTEAU T., LEFEVRE R., MARCOUX J., MONOD O., POISSON A. (1970). — Structures majeures et corrélations stratigraphiques dans les Taurides occidentales. *Bull. Soc. géol. France*, 7, (12), p. 515-556.
- 3) CHANG M.M. (1966). — Notes on some Vertebrates from the Lower Devonian of Yunnan, China. Prétirage de *Coll. int. C.N.R.S.*, 163 (non publié).
- 4) DENISON R.H. (1951). — Late Devonian fresh water fishes from the western United States. *Fieldiana (Geology)*, 11, (5), p. 221-261.
- 5) GARDINER et MILES (1975). — Devonian fishes of the Gogo formation, Western Australia. *Coll. int. C.N.R.S.*, 218, p. 73-80.
- 6) GOLSHANI F., JANVIER Ph., BRICE D., LAPPARENT A.F. de (1973). — Sur la paléogéographie et la paléobiologie du Dévonien dans la région de Kerman en Iran. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 276 (D), p. 697-700.
- 7) GREINER H. (1977). — *Grossopterygian fauna from the Albert formation, New Brunswick, Canada, and its stratigraphic-paleoecologic significance*. *Jl. Paleont.*, 51, (1), p. 44-56.
- 7 bis) GUPTA V.J. et DENISON R.H. (1966). — Devonian fishes from Kashmir, India. *Nature*, 5045, p. 177-178.
- 8) JANVIER Ph. (1974). — Preliminary report on Late Devonian fishes from Central Iran. *Geol. Surv. Iran Reports*, 31, p. 5-35.
- 9) JANVIER Ph. (1977). — Les Poissons dévoniens de l'Iran central et de l'Afghanistan. *Mém. h. sér. Soc. géol. France*, 8, p. 277-289.
- 10) JANVIER Ph. et MARCOUX J. (1976). — Remarques sur la ceinture scapulaire d'un poisson choanate ostéolépiforme des grès rouges de l'Armutgözlek Tepe (Taurus Lycien oriental, Turquie). *C.R. Ac. Sc., Paris*, 283, (D), p. 619-622.
- 11) JANVIER Ph. et MARCOUX J. (1977). — Les grès rouges de l'Armutgözlek Tepe : leur faune de poissons (Antiarches, Arthrodires et Crossopterygiens) d'âge dévonien supérieur (Nappes d'Antalya, Taurides occidentales, Turquie). *Geologie Méditerranéenne*, 4, (3), p. 183-188.
- 12) JANVIER Ph. et RITCHIE A. (1977). — Le genre *Groenlandaspis* Heintz (Pisces, Placodermi, Arthrodira) dans le Dévonien d'Asie. *C.R. Ac. Sc., Paris*, 284, p. 1385-1388.
- 13) JARVIK E. (1942). — On the structure of the snout of Crossopterygians and Lower Gnathostomes in general. *Zool. Bidrag. Uppsala*, 21, p. 237-652.
- 14) JARVIK E. (1948a). — On the morphology and taxonomy of the Middle Devonian osteolepid fishes of Scotland. *Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl.*, 25, (1), p. 5-301.
- 15) JARVIK E. (1948b). — On the Middle Devonian Crossopterygians from the Hornelen Field in Western Norway. *Universitetet i Bergen, arbok 1948*, 8, p. 5-46.
- 16) JARVIK E. (1950). — Middle Devonian Vertebrates from Canning Land and Wegeners Halvö (East Greenland), Part II : Crossopterygii. *Medd. om Grønland*, 96, (4), p. 5-132.
- 17) JARVIK E. (1952). — On the fish-like tail in the ichthyostegid stegocephalians. *Medd. om Grønland*, 114, p. 1-90.
- 18) JARVIK E. (1964). — Specialization in early vertebrates. *Ann. Soc. Roy. Zoologique Belg.*, 94, (1), p. 11-95.
- 19) JARVIK E. (1966). — Remarks on the structure of the snout in *Megolichthys* and certain other rhipidistid crossopterygians. *Arkiv. f. Zool.*, 19, (2), p. 41-98.
- 20) JARVIK E. (1972). — Middle and Upper Devonian porolepiformes from East Greenland with special reference to *Glyptolepis groenlandica* n. sp. *Medd om Grønland*, 187 (2), p. 9-306.
- 21) JESSEN H. (1968). — A Devonian osteolepid fish from British Columbia. *Geol. Surv. Canada Bull.*, 165, p. 67-70.
- 22) JESSEN H. (1973). — Weitere Fischreste aus dem oberen Plattenkalk der Bergisch-Gladbach paffrather Mulde (Oberdevon, Eheinisches Schiefergebirge). *Palaeontographica*, 143, (A), p. 159-187.
- 23) KIAER J. (1915). — Upper Devonian fish remains from Ellesmere Land with remarks on *Drepanaspis*. *Second Norwegian Arctic Exped. Fram*, 33.
- 24) LEHMAN J.P. (1966). — Crossopterygii, in *Traité de Paléontologie* (J. Piveteau, édit.), 4, (3), p. 301-412, Masson, Paris.
- 25) LEMAN J.P. (1977). — Sur la présence d'un Ostéolépiforme dans le Dévonien supérieur du Tafilalet. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 285, (D), p. 151-153.
- 26) LYARSKAYA L. (1972). — A classification of Devonian vertebrate localities of Latvia. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised*, 21, p. 259-268.
- 27) MILES R.S. (1975). — The relationships of the Dipnoi. *Coll. int. C.N.R.S.*, 218, p. 133-148.
- 28) OBROUCHEV D.V. (1951). — Devonskie ribi Minousinskogo kraya (Poissons dévoniens de la région de Minousinsk). *Trudy Paleont. Instit. Akad. Nauk. SSSR*, 8, (4), p. 23-48.
- 29) PANCHEN A.L. (1972). — The interrelationships of the earliest tetrapods. In *Studies in vertebrate evolution* (K.A. Joysey et T.S. Kemp, édit.), p. 65-87, Oliver et Boyd, Edinburgh.
- 30) PANCHEN A.L. (1977). — Geographical and ecological distribution of the earliest tetrapods. In *Major patterns in vertebrate evolution* (M.K. Hecht, P.C. Goody et B.M. Hecht, édit.). *Nato advanced study institutes series*, ser. A, 14, p. 723-738.
- 31) ROMER A.S. (1955). — Herpetichthyes, Amphibiodei, Choanichthyes or Sarcopterygii ?, *Nature, Lond.*, 176, p. 126-127.

- 32) SAVE-SODERBERGH G. (1934). — Further contributions to the Devonian stratigraphy of East Greenland. *Medd. om Grønland*, 96, (2), p. 5-74.
- 33) SCHULTZE H.P. (1970). — Folded teeth and the monophyletic origin of Tetrapods. *Amer Mus. Novitates*, 2408, p. 1-10.
- 34) SCHULTZE H.P. (1973). — Large Upper Devonian Arthroires from Iran. *Fieldiana (geol.)*, 23, (5), p. 53-78.
- 35) SCHULTZE H.P. (1977). — The origin of the Tetrapod limb within the rhipidistian fishes, in Major patterns in vertebrate evolution (M.K. Hecht, P.C. Goody et B.M. Hecht, édit), *Nato advanced study institutes series*, ser. A, 14, p. 541-544.
- 36) SEYFERT C.K. et SIRKIN L.A. (1973). — Earth history and plate tectonics. Harper et Row, New-York.
- 37) THOMSON K.S. (1964). — The comparative anatomy of the snout in rhipidistian fishes. *Bull. Mus. Comp. Zool. Harv.*, 131, p. 343-357.
- 38) THOMSON K.S. (1966). — The evolution of the Tetrapod middle ear in the rhipidistian-amphibian transition. *Amer. Zool.*, 6, p. 379-397.
- 39) THOMSON K.S. (1968). — A new Devonian fish (Crossopterygii, Rhipidistia) considered in relation to the origin of the Amphibia. *Postilla*, 124, p. 1-13.
- 40) THOMSON K.S. (1969). — The biology of the lobe-finned fishes. *Biol. Rev.*, 44, p. 91-154.
- 41) THOMSON K.S. (1975). — The biology of cosmine. *Bull. Peabody Mus.*, 40, p. 1-57.
- 42) THOMSON K.S. (1976). — The faunal relationships of rhipidistian fishes (Crossopterygii) from the Catskill (Upper Devonian) of Pennsylvania. *Il. Paleont.*, 50, (6), p. 1203-1208.
- 43) VOROBYEVA E. (1971). — On the evolution of rhipidistian fishes. *Paleont. Zh.*, 3, p. 5-12.
- 44) VOROBYEVA E. (1973). — Einige Besonderheiten im Schädelbau von *Panderichthys rhombolepis* (Gross) (Pisces, Crossopterygii). *Palaeontographica*.
- 45) VOROBYEVA E. (1975). — Some peculiarities in evolution of the rhipidistian fishes. *Coll. intern. C.N.R.S.*, 218, p. 224-230.
- 46) WARREN J.W. et WAKEFIELD N.A. (1972). — Trackways of Tetrapod vertebrates from the Upper Devonian of Victoria, Australia. *Nature*, 238 (5365), p. 469-470.

Sur l'individualité de la province paléofloristique gondwanienne

par Yves LEMOIGNE (*)

Sommaire. — Après une revue très générale de nos connaissances sur la composition des flores en Gondwana : avant le Dévonien, au Dévonien, au Carbonifère, au Permien, au Trias, au Jurassique et Crétacé inférieur, et après le Crétacé inférieur, l'auteur compare les flores du Gondwana avec les flores des autres provinces durant les intervalles de temps correspondants. Suit une discussion, d'une part sur les limites dans le temps et dans l'espace de la province floristique gondwanienne dont la distinction a été déterminée essentiellement par des facteurs climatiques ; d'autre part, sur les variations de la composition de la flore gondwanienne ; un essai d'explications sur les modalités de l'apparition des Glossoptéridacées est aussi proposé. En conclusion, est soulignée la relation entre milieu, flore et faune.

Summary. — After a general review on our knowledge about the composition of the floras in Gondwanaland : before the Devonian, during the Devonian, during the Carboniferous, during the Permian, during the Triassic, during the Jurassic and the Lower Cretaceous, and after the Lower Cretaceous, the author gives a comparison between the floras in Gondwanaland and the floras in other palaeofloristic provinces during the same times. Consequently to this comparison, is given a discussion, on the one hand, about the bounds in the geological times and in the geographical space of the floristic gondwanaland province, the distinction of this one was in relation with the climatic conditions, on the other hand, about the variations of the gondwanaland flora ; an explanation of the appearance of the Glossopteridales is proposed. In conclusion, is putting emphasis on the relation between mineral surroundings, flora and fauna.

I. — HISTORIQUE

Lorsqu'a débuté, il y a environ un siècle et demi, l'étude des plantes fossiles, et plus particulièrement de celles rencontrées dans les dépôts houillers, les paléobotanistes ont souligné la constance de composition que présentait à leurs yeux, d'un point à l'autre du globe, la flore de ces dépôts. On constatait sans doute, à mesure qu'on pénétrait plus avant dans la connaissance de la flore de l'ère primaire, que cette flore s'était peu à peu modifiée, et que les plantes de l'époque permienne, par exemple, n'étaient plus les mêmes que celles des premiers temps de l'époque houillère ; mais on reconnaissait en même temps, sur tous les points où la série géologique était suffisamment complète, que partout les modifications avaient été les mêmes et s'étaient succédé dans le même

ordre, si bien qu'il ne semblait pas douteux que, pendant toute la durée des temps primaires, les différentes régions émergées de notre globe eussent été à chaque époque semblables les unes aux autres par la composition de leur flore.

Celle flore, envisagée dans son ensemble, possédait d'ailleurs en propre, certains types reconnaissables, qui ne permettaient de la confondre avec aucune autre : de nombreuses Lycopodiniées arborescentes (Lépidodendrées et Sigillariées) ; des Equisétiniées de très grande taille, à feuilles libres ou à peine soudées à leur base, tantôt dressées, comme les *Asterophyllites*, tantôt étalées dans le plan des rameaux, comme les *Annularia* ; quantité de "Fougères" à frondes souvent de très grande taille, tripinnées ou quadripinnées, se répartissant en un grand nombre de genres.

Dès le début des recherches, cependant, certains dépôts réputés houillers, tels que ceux de la Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, avaient fourni à Brongniart des formes différentes, à savoir des Equisétiniées à feuilles soudées sur une partie de leur longueur, en une gaine

(*) Laboratoire de Paléobotanique, Université Claude Bernard, Lyon I, 43, Boulevard du 11 Novembre 1918, F. 69621 Villeurbanne et Centre de Paléontologie stratigraphique et Paléoécologie de l'Université Claude Bernard, associé au C.N.R.S. (LA 11).

Note déposée le 8 Décembre 1977.

plus ou moins semblable à celles de nos Prêles, pour lesquelles il avait créé le genre *Phyllothea*, et des "Fougères" à frondes simples, entières, à nervures anastomosées en réseau, auxquelles il avait donné le nom générique de *Glossopteris*; mais des feuilles presque semblables à ces dernières par la forme et par la nervation avaient été rencontrées dans le Jurassique de l'Europe, et Brongniart qui les avait rangées dans ce même genre *Glossopteris*, faisait observer que la flore des couches de charbon d'Australie, si peu connue qu'elle fût encore, semblait offrir beaucoup plus d'affinités avec la flore jurassique qu'avec la flore houillère.

Les paléobotanistes qui se sont occupés après Brongniart de la flore fossile de la Nouvelle-Galles du Sud avaient été encore plus frappés de ces affinités et n'avaient pas hésité à la considérer comme jurassique, il en avait été de même pour la flore des couches charbonneuses de l'Inde à *Glossopteris* et à *Phyllothea*, et la découverte de *Phyllothea* dans le Jurassique européen était venue fournir un argument de plus à l'appui de ce classement.

Il est vrai que, par contre, on avait été amené à séparer des "vrais *Glossopteris*" les feuilles à nervation anastomosée trouvées dans les dépôts secondaires de l'Europe, ayant reconnu en elles, au lieu de frondes simples, des folioles détachées de feuilles quadrifoliées et qu'on en faisait désormais un genre à part, sous le nom de *Sagenopteris*; l'affinité signalée par Brongniart devenait ainsi quelque peu contestable. Mais, ainsi que l'a noté Zeiller :

« Le principe de l'uniformité de la flore paléozoïque sur toute l'étendue du globe semblait avoir reçu une confirmation nouvelle par la découverte, en Australie même, dans des couches, les unes dévoniennes, les autres carbonifères, de plantes respectivement identiques, non seulement comme genres mais comme espèces, à celles qu'on reconnaissait en Europe pour les plus caractéristiques, et de la flore dévonnaise, et de la flore carbonifère inférieure. Aussi, malgré les arguments stratigraphiques mis en avant par les géologues locaux, les paléobotanistes étaient-ils unanimes, tout au moins en Europe, à rapporter à la période Secondaire ces couches à *Glossopteris* et à *Phyllothea* de l'Australie et de l'Inde, ainsi que celles de l'Afrique australe dans lesquelles avait été observée la même flore ».

L'étude plus précise et plus détaillée de cette flore à *Glossopteris* et des couches qui la renferment devait conduire à modifier complètement les idées. Parmi les travaux importants anciens, il nous faut citer en première ligne les travaux de Clarke, qui ont mis hors de doute l'intercalation sans accident, au milieu de la

série Carbonifère à fossiles marins de la Nouvelle-Galles du Sud, de couches de charbon renfermant précisément les types caractéristiques de cette flore : *Glossopteris* et *Phyllothea*. En outre, dans ces mêmes couches et à côté de ces formes typiques, Feistmantel a reconnu la présence d'un *Annularia* similaire aux espèces de la flore houillère d'Europe et d'Amérique, établissant ainsi un lien entre celle-ci et la flore si particulière qu'on avait seule observée jusqu'alors dans les dépôts charbonneux d'Australie. D'autre part, les études géologiques entreprises notamment par Oldham, Blanford et Wilkinson, ont permis de raccorder stratigraphiquement, au moins à grands traits, les couches à végétaux fossiles de l'Inde avec celles de l'Australie et du Sud de l'Afrique; de son côté, Feistmantel, en étudiant en détail la flore de ces couches et les variations qu'elle présente d'un niveau à l'autre, fournissait de précieux éléments pour ce raccordement, en même temps qu'il faisait ressortir :

« les affinités que possèdent, avec certaines espèces de la flore triasique de l'Europe, quelques-uns des types qui se trouvent, dans les formations indiennes, associées aux *Glossopteris* et aux *Phyllothea* ».

Par ailleurs, Zeiller a montré :

« comment la constitution de la flore des couches de charbon du Tonkin, formée d'un mélange de types spécifiques de la flore rhétienne de l'Europe et de la flore fossile indienne, venait à l'appui de l'attribution au Trias de la portion la plus élevée des couches à *Glossopteris* de l'Inde »

et Zeiller a conclu à cette occasion, en s'appuyant sur les résultats fournis par l'étude de la flore fossile de la région sud-asiatique, australienne et australo-africaine,

« qu'il avait dû y avoir sur le globe, vers la fin de la période primaire et au début de la période secondaire, deux grandes provinces botaniques bien distinctes, entre lesquelles le sud de l'Asie semblait avoir formé un trait d'union, tout au moins à l'époque triasique et rhétienne ».

En 1937, Dutoit, se basant sur l'étude des paléoflores, avait suggéré l'existence au Permo-Carbonifère, de deux continents séparés par la Téthys : au Sud, le continent du Gondwana (*) et au Nord, la Laurasia. Aujourd'hui, la majorité des Paléobotanistes admet comme vraisemblable, l'existence au Permo-Carbonifère, d'un

(*) Le terme "Gondwana" fut employé pour la première fois en 1872 par Medlicott, dans un rapport non publié relatif au bassin de Satpura; il fut repris par Blanford et Feistmantel en 1876, puis par Suess en 1885.

continent unique, la Pangée, mais avec la distinction de quatre provinces floristiques :

— l'Euramérie, qui comprenait l'Amérique du Nord (hormis la côte Ouest ?) (*) et centrale, l'extrême nord de l'Amérique du Sud (Colombie, Vénézuéla et Guyanes ?), l'Europe, le nord de l'Afrique, le Moyen-Orient, le Groenland et le Spitzberg ;

— la Cathaysie, qui s'étendait depuis une limite septentrionale comprise entre Kaishantun et Vladivostok, jusqu'à Sumatra ;

— l'Angara, qui englobait la Sibérie, la Mongolie, l'Ouest du Turkestan et la partie européenne de la Russie (à l'Ouest de l'Oural) ;

— le Gondwana, ensemble géographique unitaire qui comprenait toute l'Amérique du Sud (les flores paléozoïques de Colombie, du Vénézuéla et des Guyanes n'étant pas connues, nous ne pouvons préciser à quelle province elles appartenaient), le sud et la partie centrale de l'Afrique, Madagascar, l'Antarctique, l'Australie et l'Inde.

De nombreux paléobotanistes ont souligné la différence qui existait entre la flore du Gondwana et la flore de l'ensemble des " provinces nordiques " (Laurasie), certains allant jusqu'à envisager deux fonds paléofloristiques radicalement distincts. Beaucoup d'entre eux se sont interrogés sur le ou les facteurs qui ont déterminé une différence apparemment aussi frappée entre ces flores, notamment au Permo-Carbo-nifère.

Dès 1929, Walton avait remarqué la présence " d'éléments nordiques " dans la " flore à *Glossop-teris* " du Gondwana. Ces dernières années, l'existence de " flores mixtes " est signalée en différentes régions du Gondwana :

— en Afrique du Sud par Le Roux (1949, 1976), Teixeira (1950), Plumstead (1961, 1966), Lacey et Huard-Moine (1966), Plumstead (1969) ;

— En Amérique du Sud : Archangelsky (1958), Archangelsky et De La Sota (1960) ont fait état de la présence d'éléments " nordiques " dans la flore gondwanienne de Santa-Cruz ; Arrondo (1972) a fourni une liste compréhensive

(*) Des affinités ont été mises en évidence entre les flores de Cathaysie et celles du Sud-Ouest des Etats-Unis ; y avait-il des connexions continentales (Melville, 1966) ? ou s'agissait-il d'une évolution de flores s'épanouissant dans des contrées séparées, mais à conditions écologiques similaires (Vozenin-Serra, 1977) ?

de plantes provenant de la formation de " Golan-drina " en Argentine, avec un grand nombre d'éléments nordiques.

Similairement, en différents endroits de la province euramérienne, la présence d'éléments gondwaniens a été mentionnée.

Aujourd'hui, se trouve donc posé un certain nombre de questions sur l'individualité d'une province paléofloristique gondwanienne :

— Quelle a été la composition des paléoflores en Gondwana au cours des temps géologiques ?

— Ces paléoflores différaient-elles fondamentalement des paléoflores des autres régions du globe ?

— S'il y a eu effectivement des différences, en quoi consistaient-elles et peut-on les expliquer ?

— S'il y a eu individualisation d'une province paléofloristique gondwanienne, quand a commencé et s'est achevée cette individualisation ?

Pour essayer de répondre à ces questions, nous envisagerons successivement l'état de nos connaissances sur les paléoflores du Gondwana, puis nous comparerons celles-ci avec les paléoflores correspondantes des autres provinces ; enfin, dans le cadre d'une " discussion ", nous exposerons notre point de vue, d'une part, sur les limites dans le temps et dans l'espace de la province floristique gondwanienne, d'autre part, sur les variations de la composition de la flore gondwanienne.

II. — ETAT DE NOS CONNAISSANCES SUR LES PALEOFLORES DU GONDWANA

A) Les flores anté-dévonniennes.

Nous avons peu de documents paléobotaniques pour les temps anté-dévonniens en Gondwana, il s'agit essentiellement de quelques microflores et de formations à stromatolithes d'âge Précambrien. Nous ne connaissons pas de restes végétaux pour le Cambrien, l'Ordovicien et le Silurien.

1° Microflores précambriennes.

Les restes végétaux les plus anciens qui nous soient connus aujourd'hui, proviennent du Gondwana, plus précisément du *Swartkoppie chert horizon* du groupe d'Onderwacht (Est du

Transvaal), qui est la partie la plus basse du système archéen du Swaziland et datée de — 3.350 millions d'années (entre — 3.350 et — 3.400 MA). Il s'agit de corpuscules ovoïdes (*Ramsaysphaera ramses* Pflug, 1976) de 0,5-5 mm, généralement en groupements coloniaux, qui présentent une structure organique conservée dans les trois dimensions. Selon Pflug, ces organismes auraient vécu en mer calme, auraient été hétérotrophes avec peut-être aussi une photo-autotrophie primitive.

D'autres microflore précambriennes constituées, semble-t-il, par des Bactéries, des Cyanophytes et des Algues, ont été décrites en diverses régions du Gondwana :

— la microflore de Fig-Tree (Afrique du Sud, province du Swaziland), datée de — 3.100 MA et décrite par Barghoorn et Schopf (1966), puis par Pflug (1967) ;

— la microflore de Bulawayo en Rhodésie, datée de — 2.800 millions d'années, décrite par Oberlies et Prashnowsky en 1968 ;

— la microflore des quartzites de Southern Cross, en Australie, datée de — 2.600 MA ;

— la microflore du Witwatersrand en Afrique du Sud, datée de — 2.200 MA ;

— la microflore du Birrimien en Côte d'Ivoire, datée de — 2.000 MA ;

— dans les "Bitter Springs", en Australie centrale, dans les roches datées de — 1.000 MA, Schopf (1968), puis Schopf et Blasic (1977), ont décrit une microflore où les Protocaryotes abondent mais auxquels seraient associées des Algues vertes (type Chlorococcales), des Algues brunes (type Pyrrhophycophytes) et, probablement, des Champignons.

De semblables microflore ont été décrites en d'autres régions, par exemple en Mauritanie (décrites par Boureau), aux États-Unis (microflore de la formation ferrifère de Soudan dans l'Etat du Minnesota), au Canada (microflore de Gunflint en Ontario) et en U.R.S.S. (microflore décrites par Schopf et al. en Sibérie et en Moyen-Orient soviétique). Parmi les éléments décrits dans la "Gunflint Iron Formation" du Canada, les *Eosphaera tyleri* Barghoorn sont tout à fait similaires aux *Eovolvox Silesiensis* Kaźmierczak décrits dans l'Ordovicien de Pologne. Il s'agirait de Volvocales (Algues vertes coenobiales), ce qui impliquerait donc l'existence d'Eucaryotes il y a au moins deux milliards d'années.

2° Les Stromatolithes.

Ces formations résultent de l'activité photosynthétique de Cyanophytes et de Bactéries mucilagineuses qui retenant entre les mailles de leurs masses pseudo-coloniales des précipitations de carbonate de calcium ou d'autres particules sédimentaires. Il ne s'agit donc pas de vrais fossiles, mais de "traces d'activité biologique végétale". Les plus anciens connus proviennent de la formation de Bulawayo, en Rhodésie, et sont datés de — 2.650 MA. Les stromatolithes semblent avoir eu leur apogée entre — 1.700 et — 1.600 MA (il s'en forme encore de nos jours aux Bahamas et en Australie).

B) La flore au Dévonien.

D'un point de vue général, les documents paléobotaniques pour toutes les régions du globe sont beaucoup plus nombreux, bien qu'insuffisants, pour le Dévonien que pour les temps antédévoniens, non pas à cause d'une évolution brusque de la flore mais parce que les conditions de fossilisation, notamment en milieu continental, semblent avoir été plus favorables au Dévonien.

La flore continentale dévonienne en Gondwana (Tableau I et annexe 1), du moins d'après la connaissance que nous en avons, paraît avoir été composée essentiellement de :

1° *Bryophytes* : dans les collections du "Bernard Price Institute for Palaeontology" de Johannesburg (Afrique du Sud), nous avons reconnu la présence du genre *Scido-*

1) AMERIQUE DU SUD	. Brésil : <i>Haplostigma</i> (<i>H. irregulare</i>), <i>Archaeosigillaria</i> , <i>Protoclepidodendron</i> , <i>Palaeostigma</i> , <i>Psilophyton</i> , <i>Spongiophyton</i> (Algue ?).
	. Argentine : <i>Dawsonites</i> , <i>Cyclostigma</i> , <i>Pseudobornia</i> .
2) AFRIQUE DU SUD	<i>Scidophytopsis</i> , <i>Drepanophycus</i> (<i>D. swarzi</i>), <i>Haplostigma</i> (<i>H. irregulare</i>), <i>Archaeopteris</i> , <i>Duroitia</i> , <i>Leptophloeum</i> (<i>L. australe</i>), <i>Archaeosigillaria</i> (<i>A. caespitosum</i>), <i>Protoclepidodendron</i> , <i>Cyclostigma</i> , <i>Palaeostigma</i> (<i>P. sewardi</i>).
3) Iles FALKLAND	<i>Haplostigma</i> .
4) AUSTRALIE	<i>Haplostigma</i> , <i>Hostimella</i> , <i>Leptophloeum</i> (<i>L. australe</i>), <i>Rhacopteris</i> .
5) INDE	Dans la province de SPITI (nord-ouest de l'Himalaya) : restes fragmentaires de <i>Psilophytales</i> .

Tableau I. — Principaux genres de la flore dévonienne en Gondwana.

phytopsis (bien connu en Ukraine); par ailleurs, *Sporogonites chapmanii* a été décrit dans la partie terminale du Dévonien inférieur d'Australie.

2° Ptéridophytes nombreuses et variées :

- des Psilophytes : en Inde, en Afrique du Sud (où elles sont associées à des invertébrés marins d'âge Dévonien inférieur);
- des Lycophytes, dont les genres : *Drepanophycus*, *Protolpidodendron*, *Archaeosigillaria*, *Leptophloeum*, *Haplostigma*;
- des Sphénophytes, avec le genre *Calamophyton*.

3° Préspermaphytes : représentées par le genre *Archaeopteris* (dont le bois a été décrit sous le nom de *Callixylon*) avec *A. obtusa* (= *Psymphyllum obtusa*) et *A. howitti* décrits en Australie, et par des Cordaitales. Les *Archaeopteris* étaient des arbres pour la plupart à tronc ligneux robuste, d'un mètre, parfois plus, de diamètre; ils constituaient, sans doute, de vastes forêts.

Des spécialistes des "flores nordiques" (Laurasie) ont cru pouvoir distinguer des provinces floristiques au Dévonien, ainsi :

— au Dévonien inférieur, en Russie, d'après Petrosayan, la répartition de formes endémiques conduirait à distinguer une région européenne, la région du Kazakhstan et la région de Tunguska (?);

— au Dévonien moyen, les Lépidophytales étaient présentes au Spitzberg, en Ukraine (bassin du Donetz), au Kazakhstan, en Chine, en Amérique du Nord, en Europe occidentale et en Afrique (nord, centrale et sud); elles semblent, par contre, avoir été absentes en Sibérie, ce qui conduirait à distinguer pour les continents actuellement en hémisphère boréal (hormis l'Inde), trois provinces floristiques : celle de l'Angara (Sibérie), celle du Kazakhstan et celle formée par l'ensemble des autres terres émergées;

— au Dévonien supérieur, la distinction de provinces n'est plus apparente et il semble s'être établi une certaine uniformité dans la répartition de la flore (en Sibérie, les genres *Jenisseiphyton* et *Pseudolepidodendropsis* sont considérés comme des Lépidophytales; par ailleurs, les spectres palynologiques de l'extrême nord-est de la Sibérie sont similaires à ceux de l'Allemagne) (*).

L'étude, actuellement en cours, de nombreux échantillons avec structures conservées en provenance du Kazakhstan (Iurina et Lemoigne) permet de préciser qu'au Dévonien supérieur, la flore de cette "province" comprenait, en plus

de Psilophytales (**) et de Lépidophytales, de nombreux *Archaeopteris* (bois décrit sous le nom de *Callixylon*) et de nombreuses formes filicoïdes réferables pour un certain nombre d'entre elles aux genres *Xenocladia* et *Cladoxylon*. Parmi les *Archaeopteris*, l'une des espèces, représentée par la structure ligneuse *Callixylon newberryi*, jusqu'alors considérée comme endémique de l'Ouest des U.S.A., était fréquente dans la flore du Kazakhstan. Au Dévonien supérieur, la flore du Kazakhstan avait beaucoup d'éléments communs avec les flores des autres régions et l'individualité de cette province nous paraît très discutable.

Aujourd'hui, dans l'état actuel de nos connaissances, il semble que la flore continentale au Dévonien aurait été relativement uniforme sur toutes les terres émergées (lesquelles constituaient un ensemble unitaire : la Pangée). Il s'agissait d'une flore à Bryophytes, Ptéridophytes et Préspermaphytes. D'après des études anatomiques, nous pensons que la strate arborescente était essentiellement constituée :

— dans les régions humides marécageuses, par des Lépidophytales,

— dans les régions non marécageuses, par des Préspermaphytes (*Archaeopteris*, *Cordaitales*) avec, probablement, en sous-bois des Lycopodiales (et des Fougères?).

Cette apparente uniformité de la flore au Dévonien fait question. Ne pourrait-on pas l'expliquer par l'absence de saisons et de climats ?

Les nombreux fragments de troncs d'*Archaeopteris* (*Callixylon*) montrent tous une zonation bien marquée et, de plus, la largeur des zones est très variable (amplitude des variations mesurées sur un échantillon du Kazakhstan : entre 1 et 10 mm), ce qui peut être considéré comme un indice de l'existence de saisons.

L'absence de climats nous paraît douteuse. Certes, des auteurs ont cru pouvoir affirmer qu'au Paléozoïque, donc a fortiori au Dévonien, l'atmosphère terrestre était plus pauvre en O₂ qu'aujourd'hui parce que les plantes commençaient seulement à sortir de l'eau et la quantité

(*) Les observations relatives à la faune sont aussi concordantes.

(**) Il est curieux que le genre *Rhynia* soit actuellement connu seulement dans le célèbre gisement dévonien de Rhynie en Ecosse (où le processus de formation du chert à plantes paraît avoir été particulier). Ce fait devrait nous inciter à une certaine prudence lors des essais de reconstitution des paléoflores.

de rayons ultra-violetes solaires aurait été plus forte au sol à cause de la faible teneur de l'atmosphère en O₃ d'où un climat qui aurait été uniforme. Or, l'analyse des composés sulfurés de divers dépôts antécambriens a conduit à admettre que l'atmosphère contenait de l'oxygène il y a, au moins, — 2,5 MA. Comment comprendre l'existence de Volvocales au Précambrien en l'absence d'oxygène atmosphérique ? Par ailleurs, des minéralogistes russes ayant analysé des inclusions gazeuses dans certains cristaux d'âge cambrien, auraient constaté que la composition de l'atmosphère au Cambrien ne différait guère de l'atmosphère actuelle. D'autre part, la transmigration (début de la conquête par les végétaux du milieu continental aérien à partir du milieu marin) s'est vraisemblablement effectuée avant l'ère Primaire : des Algues eucaryotes ont été décrites dans des terrains datés d'au moins — 2,5 MA ; Lejal-Nicol (1975) a décrit dans le Dévonien inférieur (?) de Libye une flore à Lépidophytales diversifiées ; les *Archaeopteris*, connus à partir du Dévonien moyen, étaient des arbres de grande taille ; de même, nombre de Lépidophytales étaient grandes. La flore dévonienne n'était pas, loin s'en faut, une "flore continentale primitive" ! Il importe de considérer aussi :

— l'importance de la surface de la "plaque continentale" qui était, semble-t-il, unique à l'époque (la Pangée des auteurs) ;

— l'existence de grandes glaciations au Silurien et au Carbonifère qui ont "encadré" la période dévonienne. Enfin, il nous faut souligner combien cette notion de "flore uniforme" est bien relative. En effet, si elle paraît valable pour les grands taxa, jusqu'au niveau des genres, les données demeurent imprécises au niveau des espèces et, parfois même des genres (une étude comparée des espèces s'impose). Les données phytogéographiques actuelles résultent du jeu d'une concurrence au cours des temps géologiques entre des groupes dont les plus représentatifs n'étaient pas différenciés (et donc pas diversifiés) au Dévonien. Des climats existaient vraisemblablement au Dévonien mais leur "empreinte" sur la répartition de la flore, sous la forme de provinces floristiques distinctes, ne nous est pas apparente. Il ne nous est pas, en pratique, possible de préciser s'il y avait des provinces floristiques distinctes au Dévonien ; les recherches doivent être poursuivies pour élucider cette question.

C) La flore au Carbonifère.

En Gondwana, un cycle glaciaire important a débuté au Carbonifère inférieur (Brown et Lemoigne, 1977) et se serait achevé au cours du Carbonifère supérieur sans que nous puissions préciser (fin du Westphalien ? au cours du Stéphanien ? peut-être même au début du Permien ?) (*).

Au début du Carbonifère, la flore paraît avoir eu la même composition générale que celle de l'Euramérie : dans la base des puissants dépôts glaciaires (tillites) de l'Etat d'Orange (Afrique du Sud), un niveau interstratifié à plantes (phase interglaciaire vraisemblablement chaude) a livré une empreinte d'*Eskdalia*, genre connu jusqu'à ces dernières années dans le Carbonifère inférieur d'Angleterre mais dont la présence vient d'être établie aussi en Sibérie à la même époque (Meyen) (**). Par ailleurs, Rao a publié une révision des Lycophytes "prégondwaniennes" dans laquelle il a conclu que neuf des Lycophytes étaient presque identiques à celles de "l'hémisphère nord".

Le refroidissement général qui a conduit à l'apparition des glaciers a dû modifier la composition de cette flore qui "faisait suite" à la flore dévonienne thermophile. Les documents paléobotaniques manquent pour permettre d'apprécier ces modifications. Vraisemblablement, l'accentuation du rafraîchissement, puis du froid, a dû provoquer l'élimination de formes selon leur degré de sensibilité au froid (comme nous le constatons en Europe au cours du Pliocène avec les Angiospermes).

Durant une grande partie du Carbonifère, les glaciers ont sévi, détruisant toute la végétation sur de grandes surfaces et les endroits non recouverts par les glaces, de même que les zones périglaciaires, devaient avoir une flore très pauvre en genres et en espèces.

Après le retrait général des glaciers (fin du Westphalien ? Stéphanien ?), nous constatons l'installation d'une flore à "Glossoptéridacées" remarquable par l'abondance des Glossoptéridacées avec les genres *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Palaeovittaria*, *Rhabdotaenia* et *Rubidgea*.

(*) L'imprécision porte sur environ 20 millions d'années ! Nous pensons que ce cycle glaciaire se serait achevé au Stéphanien.

(**) Les empreintes décrites sous l'appellation générique *Porodendron* sont, en fait, des *Eskdalia*.

par la rareté des Lépidophytales (représentées par les genres *Cyclodendron* et *Lycopodiopsis*, considérés comme particuliers au Gondwana), et par l'absence de " Cordaites à grandes feuilles ", lesquelles paraissent avoir été remplacées par les *Noeggerathiopsis* (ayant l'aspect de " Cordaites à petites feuilles ").

Contrairement à ce que laisse supposer la littérature paléobotanique récente, les genres *Cyclodendron* et *Lycopodiopsis* étaient bien distincts. Lors de notre révision des collections paléobotaniques de *Bernard Price Institute* à Johannesburg, nous avons observé sur plusieurs contre-empreintes de tiges de *Cyclodendron*, à la partie supérieure des cicatrices foliaires, une petite cavité qui pourrait correspondre à une trace de ligule. Les *Cyclodendron* et les *Lycopodiopsis* étaient des formes arborescentes qui croissaient, probablement, dans des milieux non marécageux et, surtout, relativement frais, c'est-à-dire dans des conditions de végétation différentes de celles auxquelles étaient adaptées les Lépidophytales d'Euramérie.

Les études palynologiques des dépôts marins du Carbonifère inférieur d'Australie ont révélé :

- au début du Carbonifère inférieur (Tournaisien inférieur) la présence de spores de Lépidophytales (genre caractéristique : *Hymenozonotriletes*) ;
- puis (Tournaisien moyen et supérieur + Viséen), la présence de nombreuses spores endémiques ; cet " endémisme " était sans doute en relation avec la glaciation.

A ces dépôts marins font suite des dépôts d'âge indéterminé, mais qui ont livré une flore à *Pseudo-Rhacopteris* ; puis des dépôts avec flore à *Glossopteris* et *Gangamopteris* considérés d'âge Permien.

En Amérique du Sud, d'après Frenguelli (1952), " la flore à *Glossopteris* et *Gangamopteris* " aurait été précédée par une flore de transition à *Gangamopteris* (rares), *Noeggerathiopsis*, *Anisopteris* et *Botrychiopsis* (= *Gondwanidium*). Bodenbender a, en effet, distingué dans le complexe " *Terreno de Paganzo* ", la succession de niveaux suivants, de bas en haut :

1. *Guandacol beds* : avec flore à *Dawsonites* et *Cyclostigma* ;
2. *Corta beds* : avec flore à *Leptophloeum australe* ;
3. *Tupe beds* : avec flore à *Rhacopteris ovata* ;
4. *Arroyo Salamanca beds* : avec flore à *Neuropteris* et *Sphenopteris* ;

5. *Agua Colorado beds* : avec flore mixte, comprenant des éléments cosmopolites de la flore Carbonifère et les premiers (?) éléments de la " flore gondwanienne " tels les genres *Noeggerathiopsis*, *Botrychiopsis* et, dans la partie supérieure du niveau : *Gangamopteris* ;
6. *Patquia beds* : avec flore gondwanienne typique à *Glossopteris* et *Gangamopteris*.

Les niveaux 1 et 2 sont d'âge Dévonien ; le niveau 3, d'âge Carbonifère inférieur ; le niveau 4 pourrait être, aussi, d'âge Carbonifère inférieur (Namurien) ou Westphalien (?) ; le niveau 5, de transition, pourrait être d'âge Stéphanien ou (et ?) Permien inférieur ; le niveau 6 serait d'âge Permien ou Permo-Triasique.

D) La flore au Permien.

En Gondwana, la " flore à Glossoptéridacées ", qui s'était mise en place après le retrait général des glaciers, s'est maintenue durant le Permien. On note, toutefois, durant cette période, un accroissement de la taille des feuilles des *Gangamopteris*, ce qui a été interprété comme l'indice d'un net accroissement de la température. L'étude des flores permienues d'Afrique du Sud et de l'Inde, nous a amené à constater le grand développement des limbes foliaires [par exemple, chez les *Gangamopteris*, chez les formes filicoïdes telles les *Botrychiopsis* (= *Gondwanidium*), les *Asterotheca*...], ce qui, à notre avis, est l'indice d'un climat humide et chaud.

La composition de la flore durant le Permien dans les principales régions du Gondwana est précisée dans le Tableau II. D'un point de vue général, cette flore était remarquable par l'abondance des *Glossopteridaceae*, par la faible importance des Lépidophytales (*), par la relative abondance des *Pecopteris* et *Sphenopteris*, mais absence des genres *Alethopteris* et *Neuropteris*, par la présence de Ginkgophytes (assez abondantes en Afrique du Sud), de Cycadales et des *Noegerrathiopsis* ; les Conifères sont peu nombreuses (genres *Walkomiella* et *Paranocladus*).

En Inde, l'étude des spores dispersées a permis les observations suivantes : la microflore du Carbonifère supérieur (Talchir series) montre une prédominance des spores monosaccates et la présence de spores trilètes et de spores bisaccates (genres caractéristiques : *Parasaccites*, *Virkkipollenites*, *Plicatipollenites*, *Quadriskipollenites*).

(*) En Afrique du Sud, les spores à affinités Lépidophytales se limitent à deux genres.

Régions Genres	AMÉRIQUE du SUD	AUSTRALIE	AFRIQUE du SUD	INDE	ANTARCTIQUE
Reinschia		+			
Lycopodiopsis	+	+	+	+	
Cyclodendron		+	+	+	
Equisetites	+				
Phyllothea	+	+	+	+	+
Schisoneura	+	+	+	+	
Asterophyllites	+				+
Annularia	+	+			
Sphenophyllum	+	+	+	+	
Calamites	+	+		+	
Barakaria	+	+		+	
Actinopteris	+	+		+	
Pecopteris	+		+	+	
Sphenopteris	+	+	+	+	
Tiotea	+				
Osmundites	+				
Psaronius	+				
Cladophlebis		+		+	
Merianopteris	+			+	
Chansitheca	+		+		
Gangamopteris	+	+	+	+	+
Glossopteris	+	+	+	+	+
Palaeovittaria	+		+	+	+
Noeggerathiopsis	+	+	+	+	
Cordaicarpus	+	+	+	+	+
Baiera		+	+	+	
Ginkgoiphyton			+	+	
Ginkgoites			+		
Rhipidopsis	+			+	
Botrychiopsis	+	+	+	+	
Taeniopteris	+		+	+	
Chiropteris	+				
Rhombophyllum	+				
Psygmophyllum	+	+	+	+	
Rhacopteris	+				
Sphenozamites?	+				
Paranocladus	+				
Walkmiella		+	+	+	
Buriadia	+				
Dadoxylon	+	+	+	+	+

Tableau II. — Principaux genres de la flore permienne en Gondwana.

tes). Au cours du Permien inférieur (*Karharparbari series*), les monosaccates régressent tandis que s'accroît le pourcentage des trilètes et des bisaccates (genre caractéristique : *Sulcatisporites*). Au Permien moyen (*Barakar series*), les spores trilètes dominent et les spores bisaccates sont nombreuses (genres caractéristiques : *Microbaculispora*, *Indotriradites* et *Sulcatisporites*). Au permien supérieur (*Barren Measures*), les spores bisaccates atteignent leur maximum (genre remarquable : *Densipollenites*) et les formes "striate bisaccates" sont abondantes. Dans les *Raniganj series*, les spores trilètes et les spores striate bisaccates sont en pourcentages pratiquement égaux (genres caractéristiques : *Indospora* et *Thymospora*).

A la fin du Permien, on observe le déclin des Lépidophytales, des *Gangamopteris* (qui ont complètement disparu à la fin du Permien en Inde et en Australie), des *Palaeovittaria* et des *Rudbigea*.

E) La flore au Trias.

Les dépôts triasiques continentaux sont, en général, bien développés dans les différentes régions du Gondwana. A la fin du Permien et au début du Trias, on note un changement dans la composition de la flore, changement probablement lié à une évolution des données climatiques (accroissement de la température et, peut-être aussi, baisse du degré hygrosopique). Le Tableau III donne la liste des principaux genres composant la flore gondwanienne au Trias.

Régions Genres	AMÉRIQUE du SUD	AUSTRALIE	AFRIQUE du SUD	INDE	ANTARCTIQUE
Neocalamites	+	+	+	+	+
Phyllothea	+	+	+		
Equisetites	+				
Cladophlebis	+	+	+	+	+
Sphenopteris	+	+	+		
Asterothea	+			+	
Dictyophyllum	+	+			+
Hausmannia	+	+			+
Todites	+	+			+
Coniopteris	+	+			
Diplasiophyllum	+	+	+	+	
Dicroidium	+	+	+	+	
Pteruchus	+	+	+		
Johnstonia	+	+	+		
Lepidopteris			+		
Antevsia	+		+	+	+
Peltaspermum			+	+	+
Umkomasia	+	+	+		
Pachypteris		+	+		
Stenopteris		+	+		+
Rhexoxylon	+	+	+		+
Pseudocatenis	+	+	+		+
Ctenis	+	+	+		+
Baiera	+	+	+		+
Phoenicopsis?	+	+	+		+
Czekanowskia?	+	+	+		+
Ginkgoites	+	+	+		+
Densiophyllum	+				+
Elatocladus	+	+			+
Podozamites	+	+			+
Cyadocarpidium	+	+			+
Araucarites	+			+	+
Pterophyllum	+	+	+	+	+
Anozamites	+				+
Williamsonia	+	+			+
Taeniopteris	+	+	+	+	+
Noeggerathiopsis	+			+	+
Milesonia	+	+	+		+
Yabeiella	+	+	+		+
Linguifolium	+	+			+
Glossopteris			+	+	+
Chiropteris			+		+
Hepaticites			+		
Muscites	+		+		+

Tableau III. — Principaux genres de la flore triasique en Gondwana.

Remarques :

- Les genres *Antevsia* et *Peltaspermum* correspondent à des appareils reproducteurs de Peltaspermacées dont les feuillages ont été décrits sous le nom de *Lepidopteris*.
- *Doratophyllum* a une morphologie semblable à celle des *Taeniopteris*.
- Les *Yabeiella* ressemblent aux *Taeniopteris*, mais ils s'en distinguent par la présence d'une nervure longeant le bord du limbe.
- Les bois décrits sous le nom de *Rhexoxylon* sont considérés comme des axes de *Dicroidium*.

On peut noter :

— la disparition des *Glossopteridaceae*, hormis le genre *Glossopteris*, qui demeure abondant (sauf en Afrique du Sud où le genre s'est raréfié), des Lépidophytales et *Astherothecaceae* (ordre des Marattiales) ;

— le déclin des Sphénophytes ;

— le grand développement des Ginkgophytes, des Cycadales et des Bennettiales ;

— l'apparition et le rapide développement des *Corystospermaceae* (incluant le genre *Dicroidium*).

Les *Dicroidium* étaient si abondants au Trias en Gondwana que les Paléobotanistes dénomment "flore à *Dicroidium*" la flore gondwaniennienne triasique. Ceux-ci sont connus par des empreintes de frondes dichotomes ressemblant beaucoup aux *Pachypteris* (= *Thinnfeldia*) caractéristiques de la flore jurassique euramérienne. Anderson, du *Bernard Price Institute* de Johannesburg, a pu, récemment, mettre en évidence le grand polymorphisme des *Dicroidium* (certaines formes pourraient correspondre à des hybrides) ; polymorphisme que l'on observe aussi chez certains *Pachypteris*. De nombreux bois silicifiés à structure de type araucarien ont été trouvés dans des dépôts triasiques d'Afrique du Sud. En Inde, les spectres sporo-polliniques montrent pour le Trias inférieur (Lower Panchet) une profusion de spores trilètes et de pollens de Gymnospermes, puis au cours du Trias, on note une raréfaction des spores trilètes et la dominance de différentes sortes de pollens de Gymnospermes (genres caractéristiques : *Nidipollenites*, *Satsangisaccites*, *Weylandites*...).

D'un point de vue général, on peut considérer la flore triasique gondwaniennienne comme une flore de transition. Elle est, en effet, composée par un mélange d'éléments de la flore Permo-Carbonifère (tels les genres *Glossopteris*, *Taeniopteris*, *Baiera*...), d'éléments qui seront caractéristiques de la flore jurassique (tels les genres *Néocalamites*, *Cladophlebis*, *Marratiopsis*...) et d'éléments qui seront spécifiques au Trias (le genre *Dicroidium* se maintiendra au Jurassique en Inde). Toutefois, les affinités sont beaucoup plus grandes avec la flore jurassique qu'avec la flore du Permo-Carbonifère.

F) La flore au Jurassique et Crétacé inférieur.

Si la flore au Jurassique et Crétacé inférieur a été bien étudiée en Inde, par contre elle est insuffisamment connue dans les autres régions du Gondwana (là aussi, un gros travail de recherche reste à faire). Toutefois, l'on peut dire qu'au Jurassique et Crétacé inférieur, le climat est devenu chaud et plus sec en Gondwana.

1) En Inde.

Une riche flore Jurassique-Crétacé inférieur a été décrite dans les Rajmahal hills (province du Bihar), sur la côte Est et dans divers bassins : de Saptura et South-Rewa (Madhya Pradesh), de Pranhita-Godavari (Andhra et Maharashtra...)

Il s'agit d'une flore à Ptéridophytes, Cycadophytes, Ginkgophytes et Conifères ; le groupe des *Pentoxyleae* est caractéristique.

1. *Ptéridophytes*, avec les genres : *Marattiopsis*, *Todites*, *Gleichenia*, *Hausmania*, *Lycopodites*, *Equisetites*, *Neocalamites*.
2. *Cycadophytes*, avec les genres : *Ptilophyllum*, *Pachypteris*, *Taeniopteris*, *Nilssonia*, *Pentoxylon*, *Carnoconites*, *Otozamites*, *Dictyozamites*, *Weltrichia*, *Williamsonia* (les grandes frondes de Cycadophytes sont abondantes).
3. *Ginkgophytes*, avec les genres : *Baiera* et *Ginkgoites*.
4. *Conifères*, avec les genres : *Desmiophyllum*, *Elatocladus*, *Brachyphyllum*, *Pagiophyllum*, *Athrotaxites*, *Torreyites*, *Taxites*, *Araucarites*.

Au cours du Crétacé, les Conifères, pourtant nombreuses et variées au Jurassique, disparaissent, sauf quelques Podocarpacees.

Les données palynologiques confirment les résultats des études de la macroflore, en effet :

— au Jurassique inférieur, la microflore comprend un bon pourcentage de formes trilètes, quelques pollens monocarpates et des pollens du genre *Classopollis* ;

— au Jurassique moyen et supérieur, les pollens de Conifères dominant (genres *Araucariacites* et *Callialasporites*) ; on observe également des spores à affinités ptéridophytiques ;

— au Crétacé inférieur, réduction du pourcentage des pollens du genre *Araucariacites* qui sont "remplacés" par des spores trilètes de Cyathéacées et de Schizéacées (genres caractéristiques : *Cicatricosisporites*, *Polycingulatisporites*, *Ceratosporites*).

Des paléobotanistes indiens ont proposé pour la période Jurassique-Crétacé inférieur, la dis-

inction d'une " zone à *Ptilophyllum* " subdivisée en trois subzones :

— (Jurassique inférieur) subzone à *Dictyozamites-Pterophyllum* ;

— (Jurassique moyen et supérieur) subzone à *Pagiophyllum-Brachyphyllum* ;

— (Crétacé inférieur) subzone à *Weichselia-Onychiopsis*.

Mais le genre *Ptilophyllum* n'est caractéristique, ni de l'Inde, ni du Gondwana.

2) En Australie.

Dès le début du Jurassique s'installe une flore riche en Cycadophytes et Conifères, qui s'est maintenue jusqu'au Crétacé supérieur. Les principaux genres de cette flore étaient : *Taeniopteris* (espèce caractéristique : *T. spatula*), *Brachyphyllum* (Conifère araucarienne), *Elatocladus* (Podocarpacee), *Podozamites*, *Cladophlebis*, *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Aspleniopteris*, *Ptilophyllum*, *Palissya*, *Phyllopteris*, *Linguifolium*, *Ginkgo*. Il faut noter aussi l'abondance des *Sagenopteris* (feuillages de Caytoniales).

3) En Antarctique.

La flore jurassique est caractérisée par l'abondance des Cycadophytes (genre caractéristique : *Otozamites*) et des Conifères (genres *Brachyphyllum*, *Pagiophyllum*, *Elatocladus*).

4) En Afrique du Sud et Centrale.

En Afrique du Sud, pas de flore jurassique connue. Il est à noter qu'au début du Jurassique inférieur et au Jurassique supérieur, il y a eu d'importants épanchements volcaniques doléritiques.

Au Nigéria, au Niger et en Ethiopie, nous avons collecté de nombreux bois silicifiés à structure de type araucarien, nous avons également trouvé des fragments de rameaux de *Brachyphyllum* et de *Pagiophyllum*. Les Conifères semblent avoir constitué de vastes forêts dans les régions gondwaniennes mais aussi nordiques de l'Afrique.

La flore du Crétacé inférieur était riche en Conifères (genres *Brachyphyllum*, *Pagiophyllum*, *Araucarites*, *Taxites*) et en Cycadophytes (genres *Zamites*, *Pterophyllum*, *Pseudoctenis*, *Nilssonia*, *Cycadolepis*, *Bucklandia*, *Benstedia*, *Otozamites*, *Dictyozamites*). Les Ginkgophytes paraissent avoir disparu (alors qu'elles subsistent en Euramérie).

5) En Amérique du Sud.

La flore du Jurassique est mal connue.

a) En Argentine, Archangelsky (1963, 1965, 1966 et 1972) a décrit à Tico (province de Santa-Cruz) une flore d'âge Jurassique supérieur-Crétacé inférieur composée de :

1. Conifères : genre *Brachyphyllum* (*B. brettii*, *B. mucronatum*, *B. irregulare*, *B. mirandai*), genre *Araucarites* (*A. minimus*, *A. baqueroensis*) genres *trisocladus* et *Apterocladus* (référés à la famille des Podocarpacees).
2. Ginkgophytes : genre *Ginkgoites* (*G. tigrensis*, *G. ticoensis*).
3. Bennettiales : genre *Dictyozamites* (*D. minusculus*, *D. latifolius*, *D. areolatus*), genre *Otozamites* (*O. parvauriculata*, *O. waltonii*), genre *Zamites* (*Z. decurrens*, *Z. grandis*), genre *Ptilophyllum* (*P. trichomatosum*).
4. Formes filicoïdes : genre *Ticoa*, genre *Rufloflinia*, genre *Mesodescolea*, genre *Mesosingeria*, genre *Ktalenia*, genre *Almargemia* (*A. incrassata*) et genre *Pachypteris* (*P. elegans*).

b) En Patagonie, une flore d'âge Crétacé inférieur a été décrite par Berry (1924), elle comporte plus de 70 espèces différentes avec de nombreuses Araucariacées et Podocarpacees.

Des flores du Crétacé inférieur ont été également décrites au Pérou, en Colombie (*) et au Vénézuéla, elles sont composées de Conifères et de Cycadophytes (avec le genre caractéristique *Weichselia*).

G) La flore Post-Crétacé inférieur.

Les paléoflores du Crétacé supérieur et du Tertiaire en Gondwana sont encore incomplètement étudiées. Ce sont celles de l'Inde qui sont actuellement les mieux connues. Toutefois, d'un point de vue général, on peut dire qu'à partir de la fin du Crétacé, on constate un très grand changement dans la composition de la flore en Gondwana : l'apparition relativement brusque des Angiospermes (nombreuses et diverses), le déclin rapide des Cycadophytes et la quasi-disparition des Conifères (sauf du genre *Podocarpus*) en Inde et en Afrique ; en Australie, l'isolement géographique et aussi les conditions climatiques ont permis le maintien de Conifères variées (**). Au cours du Tertiaire et

(*) Nous étudions actuellement une flore du " Jurassique supérieur-Crétacé inférieur " de Colombie, celle-ci se révèle riche en Bennettiales.

(**) Les Conifères et un certain nombre d'Angiospermes de la flore actuelle en Afrique du Sud sont originaires d'Australie, elles ont été récemment introduites par l'homme.

du Quaternaire, cette flore d'Angiospermes a plus ou moins varié. Ainsi, on distingue en Inde au moins trois flores successives (bien que les variations aient été progressives) :

— au Crétacé supérieur et Eocène inférieur : la flore d'Angiospermes est remarquable par sa richesse en Palmiers et la présence d'Azolacées et de Marsilleacées ;

— au Miocène-Pliocène inférieur : les Légumineuses deviennent plus nombreuses ;

— au Pliocène moyen et supérieur : la plupart des Dicotylédones sont à petites feuilles, ce qui indiquerait un climat relativement sec.

La comparaison des flores tertiaires (à Angiospermes) d'Afrique et de l'Inde révèle beaucoup de familles et de genres communs mais une variété beaucoup plus grande des Légumineuses en Afrique.

Au Tertiaire, le continent du "Gondwana" était "éclaté" : l'Amérique du Sud, l'Australie et l'Inde ont "dérivé", se sont donc trouvées plus ou moins isolées et ont connu, au cours de leur dérive, des variations climatiques. De plus, l'érection de grandes chaînes montagneuses en Amérique du Sud, l'érection de l'Himalaya qui a constitué une barrière entre l'Inde et l'Asie, ont eu des influences sur les données climatiques et par elles sur la composition des flores. Seules des études nombreuses et approfondies des flores du Crétacé supérieur et du Tertiaire permettront de préciser les variations des flores dans les différentes régions qui ont constitué le Gondwana.

III. — COMPARAISON DES FLORES DU GONDWANA AVEC LES FLORES DES AUTRES PROVINCES

Ainsi que nous l'avons mentionné précédemment, la flore au Dévonien paraît avoir eu une répartition uniforme sur toutes les terres émergées qui devaient d'ailleurs constituer un ensemble unitaire : la Pangée. Ce n'est, semble-t-il, qu'à partir du Carbonifère inférieur que la province gondwanienne se serait individualisée, de même que trois autres provinces : l'Euramérie, la Cathaysie et l'Angara.

Compte tenu des positions fluctuantes des frontières, la distinction de ces quatre provinces ne sera valable que jusqu'au Jurassique où l'individualité de la province floristique gondwanienne s'est complètement estompée.

A) Au Carbonifère (*).

1) En Euramérie.

Le climat, malgré des variations, est demeuré dans son ensemble chaud et humide (***) et la "flore à Lépidophytales" dévonienne s'est "poursuivie" tout en exprimant un ensemble de potentialités évolutives. Cette flore était caractérisée par les genres :

Lepidodendron, *Sigillaria*, *Bothrodendron*, *Ulodendron*, *Calamites*, *Sphenophyllum*, *Asterotheca* (*Pecopteris*), *Neuropteris*, *Mariopteris*, *Alethopteris*, *Cordaites* et *Primofilicinae*.

Ces genres correspondent à des plantes qui croissaient en milieu humide ou marécageux (flore houillère) et nous ne savons pas quelle était la composition de la flore en dehors de ces milieux. Scott (1974) a quelque peu surpris en établissant la présence de *Lebachiaceae* (un seul spécimen) dès le Westphalien B en Angleterre.

2) En Angara.

A côté d'éléments connus en Euramérie on note la présence d'éléments considérés comme endémiques, tels les genres *Angarodendron*, *Angaridium*, *Paragondwanidium*, *Angaropteridium*. Les Lépidophytales étaient rares et considérées comme aligulées. Meyen (1972 et 1976) a réétudié les Lépidophytales de Sibérie et il a démontré que celles-ci (genre *Tomiodendron*, *Ursodendron*, *Angarodendron*) étaient ligulées et avaient un aérénchyme infrafoliaire homologue des parichnos. Par ailleurs, Durante (1976) vient de fournir un nouvel inventaire paléobotanique du Permo-Carbonifère de Mongolie, elle a pu reconnaître la présence des genres :

Annularia, *Tomiodendron*, *Angarophloios*, *Ursodendron*, *Lophiodendron*, *Angarodendron*, *Lepidodendropsis*, *Cladophlebis*, *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Angaropteridium*, *Racophyton*, *Chacassopteris*, *Callipteris*, *Comia*, *Ruffloria*, *Cordaites*, *Tychopteris*, *Glottophyllum* et *Zamiopteris*.

(*) Dans ce paragraphe, les flores sont envisagées d'un point de vue global, nous ne détaillons pas les diverses flores selon la succession des niveaux stratigraphiques. Ainsi, nous aurions pu préciser qu'en Euramérie, au Carbonifère inférieur :

- les genres *Alethopteris* et *Neuropteris* (formes imparipennées) paraissent avoir été absents ;
- les Lycopsides, abondantes au Tournaisien, semblent avoir été rares au Viséen et au Namurien A (alors que les feuillages sphénoptéridiens étaient abondants : différence dans la composition des flores ou différence dans les conditions de fossilisation ?).

(**) L'érection de la chaîne hercynienne a permis l'installation de lacs, non seulement par le jeu de la tectonique, mais aussi en favorisant les précipitations.

3) En Cathaysie.

La flore comprenait aussi, à côté d'éléments connus en Euramérie, des formes apparemment endémiques, tels les genres *Tingia*, *Kaipingia* et *Conchophyllum*.

Dans une étude intitulée " *Four localities with late Paleozoic plants in Chinese provinces Kansu and Kokonor* ", Bohlin (1976) nous fournit un nouvel inventaire paléobotanique représentatif, bien qu'incomplet, pour le Carbonifère supérieur et le Permien de Cathaysie ; les genres représentés étaient :

Asolanus, *Sphenophyllum*, *Schizoneura*, *Annularia*, *Phyllothea*, *Conchophyllum*, *Tingia*, *Plagiozamites*, *Corynepteris*, *Nemejcopteris*, *Pecopteris*, *Stockmansia*, *Neuropteris*, *Cardiopteris*, *Mariopteris*, *Cladophlebis*, *Sphenopteris*, *Rhodea*, *Crossothea*, *Linopteris* cf. *Glossopteris*, *Tainiopteris*, *Cordaites*, *Nephropsis*, *Dicranophyllum*, *Angaridium* et aussi des Conifères.

Il apparaît qu'un certain nombre de genres étaient communs avec l'Euramérie : *Rhodea*, *Pecopteris*, *Neuropteris*, *Cardiopteris*, *Linopteris*, *Sphenopteris*, *Annularia* (feuillage de *Calamites*), *Schizoneura*, *Cordaites* ; plusieurs genres étaient communs avec l'Angara : *Angaridium*, *Annularia*, *Cladophlebis*, *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Cordaites*. La présence des genres *Nephropsis* et *Plagiozamites* était singulière.

B) Au Permien.

1) En Euramérie.

Au cours du Permien, des modifications des conditions climatiques ont provoqué des changements dans la composition de la flore. En effet, d'après les inventaires paléobotaniques, nous constatons le déclin puis, à la fin de la période, la disparition des Lépidophytales arborescentes, des Eu-*Calamites* et des Sphénophyllales ; par contre, les Conifères " primitives " (genres *Lebachia* et *Ernestiodendron*) se sont développées tandis que les *Neo-Calamites* " apparaissaient " ; le genre *Callipteris* était aussi caractéristique de la flore permienne de cette province.

Ce changement dans la composition de la flore, en particulier au niveau de la strate arborescente, pourrait s'expliquer, compte tenu des données anatomiques, par l'évolution des données climatiques vers un climat sec et chaud (semi aride ?). La disparition des milieux marécageux a entraîné la disparition des Lépidophytales arborescentes et des *Calamites* qui leur étaient étroitement adaptées ; la modifi-

cation des conditions physiques (milieu minéral) a entraîné une modification de la flore ; les plantes les plus étroitement adaptées ont été, naturellement, les plus sensibles au changement des conditions du milieu minéral. Au Permien, la province euramérienne paraît s'être subdivisée en une province atlantique et une province nord-américaine, cette dernière ayant constitué un complexe de sous-provinces.

Si la présence " d'éléments nordiques " a été mise en évidence en diverses régions du Gondwana, inversement, la présence de types gondwaniens a été signalée en plusieurs endroits de l'Euramérie :

— dans le Permien de la Cordillère ibérique, par Sopena, Doubinger et Virgili (1975),

— en Anatolie, par Wagner (1962),

— dans l'Autuno-Stéphanien d'Espagne, par Doubinger et Broutin (1976) ; ces auteurs viennent de mettre en évidence, dans le bassin houiller de Guadalcanal, deux associations de spores et de grains de pollen ; celle de Cantera de Ladrillos présente les caractères des microflores du Stéphanien terminal, celle de Charco de la Sal, où prédominent le genre *Potoniopsis* et des pollens bisaccates striés, est nettement autunienne, or dans ces deux associations, il est remarquable de noter la présence de formes particulières pouvant être rapportées à des genres connus seulement, jusqu'à présent, dans les flores gondwaniennes ou cathaysiennes. L'étude des macroflores de ce bassin (Broutin) avait déjà fait ressortir l'existence d'espèces inhabituelles pour ces niveaux en Europe occidentale, telles les formes du type *Lobatannularia* de la flore cathaysienne, *Koretrophyllites* de l'Angara, *Phyllothea* du Gondwana et de l'Angara.

La flore du Gondwana se différenciait de celle de l'Euramérie (et même de celle de la Laurasia) par (Tableau IV) :

— l'absence de *Calamites* arborescentes, des *Neuropteris*, des *Alethopteris*, des *Cordaites* et des Conifères (?),

— la rareté des Lycopsides, des Fougères et des Ptéridospermales.

2) En Angara.

La distinction entre flore du Carbonifère supérieur et flore du Permien (dite " flore à *Ruffloria-Tchernovia* ") n'est pas précise ; toutefois, le fait remarquable est la présence, dès le Permien supérieur, de Cycadophytes qui ne seront connus en Europe occidentale qu'au Jurassique,

Provinces	ANGARA	GONDWANA	CATHAYSIE	EURAMERIE
Genres				
Phyllothea	+	+	+	+
Schizoneura	+	+		
Annularia	+		+	
Paracalamites	+	+		
Sphenophyllum	+	+	+	+
Cyclodendron		+		
Lycopodiopsis		+		
Sphenopteris	+	+	+	+
Pecopteris	+	+	+	
Callipteris	+			+
Supaia	+?			+
Neuropteris	+		+	
Mixoneura	+			+
Botrychiopsis		+	+	
Paragondwanidium	+			
Taeniopteris	+		+	+
Chiropteris	+	+	+	
Baiera	+		+	
Rhipidopsis	+	+	+	
Walchia	+?		+	+
Ullmannia	+?			+
Lebachia				+
Rhabdocarpus	+			+
Samaropsis	+	+	+	+

Tableau IV. — Comparaison des flores des 4 provinces floristiques majeures au Permien.

ce qui impliquera une extension géographique d'Est en Ouest.

Au Permien, le climat en Angara semble avoir été plus frais, et peut-être aussi plus humide, qu'en Euramérie. Des spécialistes estiment pouvoir distinguer au Permien inférieur une province particulière, celle de l'Oural-Kazakhstan (ou Est-européenne), en se basant sur la présence d'éléments qui seront caractéristiques de la flore mésozoïque : des Ginkgophytes, des Conifères du type *Brachyphyllum* et *Pagiophyllum*, des Peltaspermacées, des *Stachypteris* et des *Stenopteris*.

Récemment, Meyen (1977) a repris et défendu l'idée d'un parallélisme dans le développement des flores du Gondwana et de l'Angara, concluant que la "flore à *Glossopteris* et *Gangamopteris*" du Gondwana et la "flore à *Ruffloria-Tchernovia*" de l'Angara étaient fondamentalement différentes (au moins au niveau des familles).

Les relations entre les flores paléozoïques de l'Angara et du Gondwana ont été analysées, pour la première fois par Feistmantel et Schmal-

hausen, il y a environ un siècle. Un peu plus tard, Zalesky affirmait que ces deux flores étaient apparentées. Ensuite, l'étude comparée des genres considérés comme communs aux deux flores conduisait à ne reconnaître que quelques rares genres - formes comme communs et à admettre une grande différence entre les flores du Gondwana et de l'Angara, idée récemment confirmée par Surange, Pant, Maheshwari. Des études palynologiques ont révélé beaucoup de genres de miospores dans les séquences sédimentaires du Gondwana et de l'Angara, cette unité des spectres palynologiques est en contradiction avec les déductions basées sur l'étude des macrofossiles. Selon Meyen, l'analyse de ces genres de miospores communs conduit à la conviction d'un parallélisme dans les données morphologiques plutôt qu'à des affinités naturelles ce qui serait en accord avec des considérations phytogéographiques et stratigraphiques). Cette distinction entre les flores de l'Angara et du Gondwana, toujours selon Meyen, apparaîtrait dès le Carbonifère inférieur, peut-être même au Tournaisien.

3) En Cathaysie.

Grâce à la grande stabilité des conditions climatiques en Cathaysie, la flore carbonifère s'y est maintenue avec toutefois "l'apparition" de plantes particulières à frondes simples dont les plus significatives sont les Gigantopteridées. La distinction entre flore euramérienne et flore cathaysienne s'est accentuée durant le Permien, toutefois cette dernière comportait des éléments connus en Euramérie et inversement la présence d'espèces cathaysiennes (*Lobatannularia*, *Gigantopteris*...) a été signalée en Iraq, en Turquie et en Espagne.

Parmi les genres particuliers à la Cathaysie, nous signalerons les genres *Tingia*, *Emplectopteris* et *Cathaysiopteris*, ainsi que des genres qui seront typiques de la flore du Mésozoïque : *Taeniopteris*, *Cladophlebis*, *Baiera* et *Ginkgoites* ; les Conifères semblent avoir été rares.

En ce qui concerne les relations entre la Cathaysie et le Gondwana, nous mentionnerons la présence, au Permien supérieur-Trias, de Glossopteridacées à Bornéo, en Thaïlande, au Nord-Vietnam, au Yunnan, au Shansi central et en Corée, mais ces éléments n'ont joué qu'un faible rôle dans la végétation cathaysienne. Selon Vozenin-Serra (1977) :

« Au Paléozoïque supérieur, la Cathaysie apparaît comme un territoire de liaison entre la Laurasie et la Gond-

wanie et comme un lieu d'interpénétration floristique... Les interrelations reconnues à des époques bien déterminées, entre les provinces floristiques du Paléozoïque militent en faveur d'une individualité de la "plaque continentale chinoise" qui devait se situer au Carbonifère supérieur - Permien inférieur à une latitude plus basse, à proximité des terres australes, permettant des migrations par la Nouvelle-Guinée vers le Sud gondwanien où des espèces d'affinité cathaysienne ont été signalées à maintes reprises. Durant les mouvements du permien moyen, cette "plaque chinoise" aurait dérivé et serait venue buter contre l'Asie selon une limite tectonique qui passerait entre Vladivostok et Kaishantun mais qui reste à découvrir. Elle a dû introduire quelques éléments gondwaniens qui ont pénétré jusqu'en Angaride. La flore cathaysienne, en plein essor, a pu alors s'étendre le long de la ceinture équatoriale avant de décliner, bien que l'on ne doive pas exclure, dans cette ceinture équatoriale, la possibilité d'une évolution parallèle d'un certain nombre de genres issus séparément du stock carbonifère. La flore angaridienne, jusque-là distincte, est aussi venue se combiner à la flore cathaysienne supérieure ».

C) Au Trias.

Des changements climatiques ont induit dans toutes les provinces des modifications dans la composition des flores. En Gondwana, si les éléments caractéristiques de la flore Permo-Carbonifère, les Glossopteridacées disparaissent, hormis les *Glossopteris* (vraisemblablement adaptés à des milieux relativement secs), l'apparition des *Pentoxyleae*, des *Corystospermaceae* et du genre *Dicroidium* maintient l'individualité de la province gondwanienne par rapport aux autres provinces. Toutefois, le "parallélisme" entre les genres *Dicroidium* (caractéristique du Gondwana) et *Pachypteris* (caractéristique de l'Euramérie) est à noter.

Au Trias, les éléments communs au Gondwana et aux autres provinces paraissent devenir plus nombreux, sans doute en relation avec les données climatiques plus chaudes et plus sèches en Gondwana et donc plus proches de celles des autres provinces. Des Cycadophytes sont présentes en Gondwana (Afrique du Sud) au Trias, alors qu'elles sont absentes en Euramérie, mais en Angara et en Cathaysie, elles étaient présentes dès le Permien, ce qui implique des extensions géographiques de l'Est vers l'Ouest, d'abord en Gondwana puis, plus tard, en Euramérie.

D) Au Jurassique et Crétacé inférieur.

En Gondwana, la flore était dominée par les Conifères et les Cycadophytes, comme en Euramérie et en Cathaysie, mais des différences existaient avec les flores de ces deux provinces.

Ainsi, en Euramérie, les Conifères étaient représentés par des Taxodiacees, des Podocarpacees et quelques Araucariacees (genre *Brachyphyllum*), tandis qu'en Gondwana (flores de l'Inde et de l'Amérique du Sud), il y avait beaucoup d'Araucariacees et des genres de Podocarpacees non connus en Euramérie ; par ailleurs, les Caytoniales communes en Euramérie paraissent avoir été absentes en Gondwana.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il semble qu'au Jurassique inférieur la flore de l'Inde se différencie de celles des autres provinces mais aussi de celles des autres régions du Gondwana dont les flores paraissent avoir été peu différentes de celle de l'Euramérie.

L'individualité d'une province floristique indienne, comme d'ailleurs l'individualité d'une province floristique australienne (encore existante aujourd'hui), au Jurassique - Crétacé inférieur, peut s'expliquer par un isolement géographique. Après le Trias, l'unité géographique et floristique d'une province gondwanienne a cessé (l'évolution des données climatiques a été fondamentale).

E) Au Crétacé supérieur et Tertiaire.

L' "éclatement" du continent du Gondwana est achevé : l'Australie et l'Inde ont dérivé vers l'Est, l'Amérique du Sud vers l'Ouest. L'érection du massif himalayen qui sépare l'Inde de l'Asie, de massifs montagneux en Amérique du Sud et aussi en Europe, entraîne de grandes modifications climatiques. Sur tous les continents on observe, au cours du Crétacé supérieur, une véritable "invasion" des Angiospermes et le grand déclin des Gymnospermes (notamment des Cycadales et Conifères). Les différences dans la composition des flores ne permettent plus la distinction des quatre grandes provinces floristiques : Angara, Cathaysie, Gondwana et Euramérie, bien que cette dernière ait quelque peu subsisté.

IV. — DISCUSSION

A) Limites, dans le temps et dans l'espace, de la province floristique gondwanienne.

1) Limites dans le temps.

L'étude des paléoflores du Gondwana et leur comparaison avec celles des autres régions nous amènent à constater que l'individualisation

de la province paléofloristique gondwanienne a commencé avec le refroidissement qui a précédé le grand cycle glaciaire carbonifère, c'est-à-dire au Carbonifère inférieur, et s'est estompée à la fin du Trias, sauf en Inde où, probablement à cause d'un certain isolement géographique, elle s'est maintenue jusqu'au milieu du Jurassique. Cette province gondwanienne a été caractérisée d'abord par une "flore à Glossoptéridacées" au Paléozoïque, puis par une "flore à *Dicroidium*" au début du Mésozoïque.

2) Limites géographiques.

Sur la fig. 1 sont indiquées les limites de la province gondwanienne proposées par Plumstead et Archangelsky (1) et par Chaloner et Meyen (2).

Ces limites sont très discutables, en effet :

— Des études en cours conduisent à reconnaître, au Trias et au Jurassique, une flore à affinités euramérienne au Népal et typiquement gondwanienne en Inde.

— En Ethiopie, nous avons observé dans des sédiments d'âge paléozoïque supérieur, une empreinte de type *Sigillaria* (*) et une empreinte foliaire de type *Cordaites* ; certes, ces empreintes sont mal conservées et doivent être considérées avec circonspection ; de plus, on ne peut affirmer qu'elles proviennent de la flore environnante de l'époque ; peut-être ont-elles subi un long transport avant leur dépôt (elles pourraient venir du Soudan) ? Par ailleurs, au terme d'une étude de « La série sédimentaire en Ethiopie centrale et orientale » effectuée sous notre direction, Beauchamp a conclu « qu'une zone d'altitude élevée s'étendait dans l'ouest éthiopien, elle fut couverte par des glaciers de montagne au même titre que l'Afrique centrale et australe. Ces glaciers incisèrent le socle de profondes vallées et accumulèrent des dépôts morainiques. Les moraines des glaciers

(*) En Afrique du Sud, nous venons, avec Brown, de découvrir des empreintes de tiges de Lycopsides à "aspect cannelé".



Fig. 1. — Limite "nord" de la province paléofloristique gondwanienne.
(1) : d'après Plumstead et Archangelsky ; (2) : d'après Chaloner et Meyen.

d'Éthiopie ou de régions voisines furent lessivées et leurs constituants furent, soit accumulés localement dans les vallées fluviales, soit largement épandus sur une plate-forme continentale " zone de piedmont ou bahada " partiellement et sporadiquement envahie par la mer épicontinentale » (Thèse non publiée, 1977, p. 301). Dans les pays voisins de l'Éthiopie (Somalie, Kenya, Tanzanie, Ouganda, Soudan, Égypte, Arabie), le socle précambrien métamorphique est recouvert également en certains endroits par des sédiments détritiques continentaux anciens. Certains sont plissés, légèrement métamorphisés et représentent le Précambrien et (ou) le Paléozoïque. D'autres non métamorphisés, plissés ou non, ont été interprétés comme des dépôts glaciaires ou fluvio-glaciaires (?) d'âge carbonifère et permien. L'origine glaciaire ou fluvio-glaciaire des dépôts au Soudan, en Égypte et en Arabie doit être, à notre avis, confirmée.

— En Arabie, l'étude de quatre échantillons collectés dans la " *Khuff Formation* " à Unayzah (sud de l'Arabie), considérée d'âge permien, avec des empreintes de feuillages, a permis de reconnaître des formes pécoptéridiennes ; si l'absence de Glossoptéridacées est remarquable, nous ne pouvons pas cependant, faute d'éléments caractéristiques, conclure à la nature euramérienne de cette flore.

— Kar et Jain (1975) ont établi en Libye les spectres sporo-polléniques des niveaux s'étaguant du Carbonifère inférieur au Trias et ils en ont déduit que la Libye a dû faire partie de la province du Gondwana. En effet, selon ces palynologistes : durant le Carbonifère, les microspores en Libye étaient plus ou moins similaires à ceux d'Europe et du Gondwana, mais au Permien moyen et au Trias moyen, les spectres avaient plus d'affinités avec ceux du Gondwana qu'avec ceux d'Europe. D'autres auteurs comme Lejal-Nicol intègrent aussi la Libye dans le Gondwana.

— De récents travaux de géologues pétroliers français ont permis de constater que la flore carbonifère du nord du Niger est typiquement euramérienne et qu'elle est dépourvue d'éléments gondwaniens (ces derniers dominent dans les flores carbonifères de l'Ouganda, du Zaïre et du Congo).

A notre point de vue, la limite entre province gondwanienne et euramérienne en Afrique

orientale et en Arabie ne peut encore être précisée. Des recherches de paléoflores permio-carbonifères s'avèrent nécessaires en Érythrée, au Soudan, en Égypte et en Arabie. La thèse soutenue par certains auteurs, d'une séparation entre Gondwana et Euramérie, par la Téthys, ne nous semble pas satisfaisante.

La distinction de la province floristique gondwanienne a été déterminée essentiellement par des facteurs climatiques directement liés au grand cycle glaciaire carbonifère. Au Jurassique, " l'influence " glaciaire a complètement cessé, suite à un " éclatement " le continent du Gondwana s'est trouvé divisé en " plaques " qui ont dérivé et qui, au cours de leur dérive, ont subi des variations climatiques.

D) Considérations sur les variations de la composition de la flore gondwanienne.

Des paléobotanistes, influencés sans doute par les données de la Géologie, ont estimé pouvoir considérer la " flore à Glossoptéridacées " comme ayant été fondamentalement différente des flores des autres régions et en particulier de celle de l'Euramérie. Ils se sont efforcés de modifier les appellations génériques estimant qu'il y avait de grandes différences entre les éléments du Gondwana et ceux d'Euramérie pris comme référence initiale. Sans doute, est-il opportun de souligner ici combien la plupart des paléobotanistes sont très spécialisés, leurs travaux se circonscrivant à une étude plus ou moins approfondie d'une aire géographique restreinte et pour un intervalle de temps limité. Il en est résulté un sens aigu de l'analyse, au demeurant nécessaire et louable, mais aussi, souvent, une fâcheuse tendance à particulariser l'aire géographique objet de leur attention et à la considérer comme une province floristique particulière.

En fait, l'existence de " flores mixtes " et la meilleure connaissance (encore très partielle) des paléoflores incitent à penser qu'au Permio-Carbonifère, la distinction entre les différentes provinces floristiques et, en particulier, entre la " flore à Lépidophytales " de l'Euramérie et la " flore à Glossoptéridacées " du Gondwana n'était pas aussi frappée que d'aucuns l'ont dit, il y avait beaucoup de familles et de genres communs mais l'on a surtout remarqué les différences, lesquelles ont concerné la strate arborescente. En effet, ce sont les Glossoptéridacées, composantes de la strate arborescente,

qui étaient les éléments les plus caractéristiques de la flore du Gondwana au Carbonifère supérieur et Permien. On ne peut nullement considérer l'ensemble des "flores nordiques" et la "flore du Gondwana" comme deux flores fondamentalement distinctes, toutes précédant de la même "flore à Ptéridophytes et Préspermaphytes" connue au Dévonien et au début du Carbonifère :

— En Euramérie, les données climatiques durant le Carbonifère et le Permien inférieur ont varié lentement, dans des limites supportables par les plantes en place, de sorte que la flore dévonienne s'est "continuée" tout en exprimant avec le temps ses potentialités évolutives et des variantes d'adaptation à un climat devenu très humide avec développement de milieux marécageux importants. Il est à noter qu'une accentuation de l'humidité est beaucoup plus favorable aux plantes, en conditions de température chaude, qu'une diminution de l'humidité ; par ailleurs, les plantes (surtout les formes arborescentes) s'adaptent difficilement aux températures froides. Au cours du Permien supérieur, le climat devenant plus sec, les milieux marécageux ont disparu et avec eux les Lépidophytales qui leur étaient étroitement adaptées ; cette évolution climatique a été, par contre, favorable à l'extension des Gymnospermes spermaphytes du groupe des Coniférophytes dont la présence semble être attestée dès le Westphalien B en Angleterre (en 1961, Neves a trouvé dans le Namurien C d'Angleterre, des pollens bisaccates du type *Pityosporites-Vesicispora* qu'il présume appartenir à des plantes parentes des Conifères).

— En Angara, dès le Carbonifère supérieur au moins, le climat est devenu plus frais (tempéré chaud), ce qui a provoqué la disparition progressive des Lépidophytales.

— En Cathaysie, les Lépidophytales étaient aussi plus rares dès le Carbonifère supérieur, sans doute à cause d'un climat devenu plus sec ou plus frais. Il est à noter qu'au Carbonifère supérieur et Permien, cette province paraît avoir été un lieu d'interpénétrations floristiques, un territoire de liaison entre la Laurasie et le Gondwana.

— En Gondwana, le grand cycle glaciaire qui a sévi durant le Carbonifère a provoqué l'élimination des éléments sensibles au froid, et même, sur de vastes aires, la disparition

totale de la flore. Avec le retrait général et définitif des glaciers (compte tenu, naturellement, de périodes interglaciaires qui ont pu être chaudes mais dont on ne connaît aucun reste de plantes), la flore a reconquis progressivement les terrains libérés à partir d'aires refuges (ou aires reliques) et, surtout, des régions nordiques de l'Afrique qui faisaient partie de la province floristique euramérienne. Mais le climat beaucoup moins chaud qu'en Euramérie n'a pas permis la réinstallation d'un certain nombre d'espèces et de genres telles les Lépidophytales arborescentes caractéristiques de la flore euramérienne, seules les formes comme les *Lycopodiopsis* et les *Cyclodendrons* susceptibles de s'adapter ont pu se développer.

Si le contraste entre la flore du Gondwana et la "flore nordique" a été apparent (*) au niveau de la strate arborescente, par contre, au niveau des strates semi-arborescentes et herbacées, il s'agissait surtout de variantes à partir d'un même fond paléofloristique. En Gondwana, les Glossoptéridacées ont remplacé les Lépidophytales. Ce changement dans la composition de la flore illustre, à notre avis, le principe fondamental suivant : lorsque les conditions écologiques sont stables, la composition générale de la flore — compte tenu des variations évolutives et des variations de spéciation — demeure aussi stable ; par contre, si les conditions écologiques, en particulier climatiques (**) viennent à changer fortement, selon des valeurs supérieures à des capacités de résistance et d'adaptation des plantes, les climax sont remis en cause et l'on observe alors des changements dans la composition générale de la flore.

Si la disparition des Lépidophytales peut s'expliquer par une température pas assez chaude en Gondwana (aussi par l'absence de milieux marécageux à air ambiant humide ?) et peut-être aussi par le jeu d'une concurrence avec un groupe plus évolué, comment expliquer

(*) L'abondance des feuilles à Glossoptéridacées par rapport aux autres restes végétaux dans les gisements gondwaniens n'a qu'une valeur relative dans la mesure où les formes arborescentes fournissent quantitativement une plus grande masse de matériau susceptible d'être fossilisé que les formes herbacées ou semi-arborescentes.

(**) Les paléobotanistes négligent de considérer aussi les données pédologiques, la nature des sols a une grande importance pour la physiologie des plantes ; à la fin du Secondaire, l'apparition de sols calcaires a dû avoir une incidence sur la composition des flores.

l'apparition en apparence brusque des Glossoptéridacées (*) ? Deux *essais d'explication* au moins nous semblent pouvoir être envisagés :

1) Les Glossoptéridacées se seraient phylogénétiquement différenciées à partir d'éléments de la flore en place, c'est-à-dire d'éléments nordiques revenus occuper les territoires libérés par le retrait des glaciers (et aussi, vraisemblablement, à partir d'éléments des aires refuges), soit par le fait de mutations, soit par une brusque accélération de l'évolution des formes ancestrales (de type ptéridophytique ? Proto-glossoptéridacées ?)

Une telle interprétation rendrait acceptable l'idée d'évolutions parallèles de flores (**) s'épanouissant dans des contrées séparées mais à conditions écologiques similaires et permettrait de comprendre l'existence de biocénoses à Glossoptéridacées hors du Gondwana.

2) L'apparition des Glossoptéridacées en Gondwana pourrait être due à une extension géographique favorisée par une grande perturbation des données écologiques. Ne peut-on, en effet, envisager un processus similaire à celui que nous avons proposé (Lemoigne, 1975) pour essayer d'expliquer l'apparition relativement brusque des Angiospermes au Crétacé :

— durant une première phase, ou phase de caractérisation évolutive du groupe, en une aire géographique restreinte, les Glossoptéridacées se seraient différenciées (soit par le jeu de mutations, soit progressivement à partir d'une souche ancestrale de type algale, ou à partir de formes ancestrales de type ptéridophytique ?) pendant une durée plus ou moins longue. Parvenu à son optimum évolutif, le groupe aurait

commencé à se diversifier et serait devenu compétitif. Il est à noter que les conditions optimales pour les fonctions physiologiques sont telles que les plantes en cours de caractérisation évolutive ont vraisemblablement dû croître sur une aire soumise à un climat assez chaud et humide (peut-être un climat de type tempéré chaud ?) ;

— au cours d'une seconde phase, ou phase d'essaimage, ou phase d'irradiation primaire : à partir de "l'aire berceau", progressivement, discrètement, il y aurait eu extension géographique par occupation "d'aires ponctuelles" (aires relais) constituant autant de petits écosystèmes, de petites biocénoses ;

— lors d'une troisième phase, ou phase d'occupation active, ou phase d'irradiation secondaire, il y aurait eu diffusion rapide en "taches d'huile" à partir des aires ponctuelles. Cette diffusion aurait fait jouer une concurrence entre les éléments en place et les éléments nouveaux plus évolués. En ce qui concerne les Glossoptéridacées, cette troisième phase a été particulièrement favorisée par le cycle des glaciations du Carbonifère en Gondwana, tandis que la phase précédente a peut-être été télescopée ;

— dans une quatrième phase, ou phase d'adaptations spécifiques, il y aurait eu expression d'une spéciation active.

La présence de Glossoptéridacées hors du Gondwana pourrait s'expliquer par l'installation de microbiocénoses relevant, soit du processus général (seconde phase), soit d'une conjonction du processus général et de conditions écologiques locales particulièrement favorables.

Nous remarquerons que selon un tel processus d'extension, l'existence d'une flore à Glossoptéridacées en Inde n'implique pas obligatoirement un rattachement préalable de ce sous-continent à l'Afrique ou, plus précisément, nous dirons que *la seule considération* des paléoflores ne peut constituer un argument suffisant pour conclure à une "migration" (ou dérive) du sous-continent indien (ce qui, certes, ne signifie pas que nous n'acceptons pas la possibilité d'une dérive de l'Inde).

Nous pouvons nous demander pourquoi, à partir du Stéphanien supérieur, nous observons en Euramérie le développement du groupe des Coniférophytes (Gymnospermes spermaphytes) et non pas celui des Glossoptéridacées (Gymno-

(*) Cette notion d'apparition relativement brusque prête à discussion dans la mesure où nous ne savons pas quand la flore à Glossoptéridacées est apparue dans les différentes parties du Gondwana ; il subsiste une très grande marge dans les appréciations chronologiques et dans les corrélations stratigraphiques.

(**) Seward, puis Sahni, ont estimé que là où des classes et des ordres paléozoïques similaires apparaissent à la fois en Laurasie et en Gondwana, il se peut qu'ils aient eu des développements parallèles sans qu'il soit nécessaire d'évoquer des migrations. Les similitudes de classes apparaissant plus ou moins contemporanément dans plusieurs aires à la fois peuvent être expliquées, selon ces auteurs, par la possibilité qu'elles avaient de dériver du même stock ancestral d'origine algale, leurs développements se poursuivant indépendamment.

A notre avis, si une telle explication est plausible, d'autres explications peuvent être envisagées.

spermes préspermaphytes) et inversement, pour-quoi, en Gondwana, les Coniférophytes n'ont-ils pas concurrencé les Glossoptéridacées ?

Nous manquons, malheureusement, de données d'ordre chronologique dans la mesure où nous ignorons encore quand a eu lieu la fin du cycle glaciaire en Gondwana. En Euramérie, des Coniférophytes de type *Lebachiaceae* étaient présentes en Angleterre dès le Westphalien B (peut-être même dès le Namurien C ?) S'agissait-il, avant le Stéphanien, de leur phase d'essaimage (ou phase d'irradiation primaire) ? Ou bien constituaient-elles déjà des forêts en des milieux secs, plus ou moins éloignés des milieux marécageux houillers seuls favorables à leur éventuelle fossilisation ? Ou bien, encore, étaient-elles éparses et peu nombreuses dans la flore du Westphalien (mais distante des marécages houillers) ? Au Cours du permien, le changement des conditions climatiques a permis la phase d'occupation active. En Gondwana, cette phase paraît avoir été plus lente sans doute à cause de la fraîcheur de la température qui a rendu le jeu de la concurrence entre Coniférophytes (Spermaphytes gymnospermes) et Glossoptéridacées (Préspermaphytes) plus favorables à ces dernières. On peut, en effet, envisager ceci : aujourd'hui, la distribution des Conifères et des Angiospermes est le résultat d'un " rapport de forces " entre Conifères et Angiospermes où le paramètre températures a joué un rôle important. Cette concurrence a été active, semble-t-il, à partir du milieu du Crétacé où l'on voit " apparaître " assez brusquement les Angiospermes abondantes et diversifiées. Au fur et à mesure de l'écoulement du temps, les angiospermes se sont adaptées aux divers milieux. Aujourd'hui, elles ont concurrencé les Conifères dans les zones chaudes d'où elles les ont presque toutes éliminées et dans les zones tempérées. Dans les zones froides (zones climatiques et leurs équivalents en altitude dans les zones tempérées), les Conifères subsistent car elles sont encore mieux adaptées au froid que les Angiospermes malgré un niveau inférieur dans l'évolution (il importe dans ces considérations de bien distinguer différenciation évolutive et diversification à un niveau évolutif donné). Il est vraisemblable que l'adaptation des Angiospermes au froid se poursuivant, celles-ci élimineront progressivement les Conifères (lesquelles subsisteront peut-être çà et là, formant de petites biocénoses).

Similairement, on peut concevoir qu'en Gondwana, malgré leur niveau inférieur dans l'évolution par rapport aux Conifères mais de différenciation plus ancienne, les Glossoptéridacées étaient plus aptes à s'adapter aux températures froides puis fraîches qui ont régné après le retrait définitif des glaces.

Un autre exemple d'extension géographique nous est fourni par les Cycadophytes dont la présence s'observe dès le Permien supérieur en Angara et en Cathaysie, alors que ces formes apparaîtront en Europe occidentale seulement à la fin du Trias ou au Jurassique, ce qui implique une extension d'Est en Ouest.

Durant le Trias, le changement dans la composition de la flore, caractérisé par le déclin des Glossoptéridacées et " l'apparition " des *Dicroidium*, de Cycadales et de Ginkgo-phytes s'explique par un net réchauffement du climat qui devient vraisemblablement, aussi, plus sec ; ce qui perturbe les climax établis et favorise le jeu de la concurrence (compte tenu que l'adaptation à l'humidité en milieu continental aérien est une adaptation secondaire par rapport à une adaptation à un faible ou bas degré hygrosopique).

A la fin du Trias et durant le Jurassique, le climat, en Gondwana, continuant à se réchauffer, se rapproche de celui qui régnait en Euramérie et l'on voit précisément les compositions des flores gondwaniennes et euramériennes devenir aussi similaires. L'individualité de la province paléofloristique gondwaniennne s'estompe et disparaît dès le début du Jurassique, sauf en Inde où elle persiste, sans doute à cause d'un certain isolement géographique, jusqu'au milieu du Jurassique.

Si, en Euramérie, le facteur humidité semble avoir été prépondérant dans le changement de la composition de la flore, en Gondwana c'est le facteur température qui paraît avoir été primordial. L'individualité de la province paléofloristique a été directement liée au grand cycle glaciaire carbonifère.

CONCLUSION

Pour conclure notre étude sur l'individualité de la province paléofloristique gondwaniennne, nous soulignerons la relation entre milieu, flore et faune. En effet, au cours des temps géologiques, nous constatons, d'un point de vue très

général (*), que les modifications des données physiques du milieu ont entraîné des changements dans la composition de la flore (où, compte tenu de l'Evolution, le principe de la concurrence-sélection se trouve mis en jeu à la suite de la remise en cause des adaptations acquises), lesquels, par voie de conséquence, ont déterminé des modifications dans la composition et la répartition de la faune.

Un bel exemple de cette réaction en chaîne "milieu minéral → flore → faune" nous est fourni au Crétacé : les grandes perturbations dans les données physiques, dues à l'éclatement du continent du Gondwana et au réchauffement général, ont provoqué le déclin des Pré-spermaphytes et des Coniférophytes, ont favorisé l'extension et la dominance des Angiospermes. Or, l'on constate, parallèlement, le déclin puis la disparition des grands reptiles devenus incapables d'assurer le régime alimentaire auquel ils étaient adaptés, et le grand développement du groupe des Mammifères dont

le régime alimentaire, du moins pour les formes herbivores et omnivores, était basé sur les Angiospermes.

Enfin, du point de vue écologique, il apparaît que parmi les paramètres qui conditionnent l'état de la répartition des plantes à une époque donnée, le "paramètre historique" doit être pris en considération : il correspond au jeu de la concurrence-sélection sous l'action des modifications des conditions du milieu terrestre (influences intersidérales ?) qui se révèlent avoir été très fluctuantes au cours des temps géologiques.

(*) Nous n'ignorons certes pas qu'il y a de multiples interactions, par exemple : une modification de la flore entraîne des conséquences d'ordre pédologique et parfois aussi, d'ordre climatique, mais notre schéma demeure valable pour l'ensemble des temps géologiques ; par ailleurs, l'"homme socialisé", tel que nous le connaissons aujourd'hui, a acquis un pouvoir d'action considérable sur cette "réaction en chaîne", il a la capacité de détruire complètement les équilibres au sein de la Biosphère !

BIBLIOGRAPHIE

- 1) ANTHOINE R. et DUBOIS J. (1922). — Les grandes lignes de la géologie du bassin du Zambèze dans l'est africain portugais. *C.R. 13^e Ses. Congr. Géol. Int.*, 2, p. 751-769, 4 fig., Bruxelles.
- 2) ARBER E.A.N. (1905). — Catalogue of the Fossil Plants of the *Glossopteris* Flora in the Department of Geology, British Museum (Natural History) LXXXV + 255 p., 8 pl. *British Museum (Nat. Hist.)* Londres.
- 3) ARCHANGELSKY S. (1958). — Estudio geológico y paleontológico del Bajo de la Leona (Santa Cruz). *Acta Geol. Lilbana*, 2, p. 5-133, Tucuman.
- 4) ARCHANGELSKY S. (1963). — A new mesozoic flora from Tico, Santa Cruz Province, Argentina. *Bull. of the British Museum (Natural History) Geology*, vol. 8, n° 2, p. 45-92, 12 pl., Londres.
- 5) ARCHANGELSKY S. (1965). — Fossil Ginkgoales from the Tico Flora, Santa Cruz province, Argentina. *Bull. of British Museum (Natural History) Geology*, vol. 10, n° 5, p. 119-137, 5 pl., Londres.
- 6) ARCHANGELSKY S. (1965). — Taofloras paleozoicas e mesozoicas de Argentina (Análisis de sus componentes y vinculaciones con otras taofloras coetáneas extraargentinas). *Bol. Soc. Argentina de Botánica*, vol. X, 4, p. 247-291.
- 7) ARCHANGELSKY S. (1966). — New *Gymnosperms* from the Tico Flora Santa Cruz Province, Argentina. *Bull. of British Museum (Natural History) Geology*, vol. 13, n° 5, p. 259-295, 8 pl.
- 8) ARCHANGELSKY S. (1967). — Estudio de la Formación Baquero, Cretacio inferior de Santa Cruz, Argentina. *Rev. Mus. La Plata*, n. s., Pal., 5, p. 65-171.
- 9) ARCHANGELSKY S. (1968). — Palaeobotany and malynology in south america : a historical review. *Rev. Palaeobot.:n. Palynol.*, 7, p. 249-266.
- 10) ARCHANGELSKY S. (1968). — Studies on Triassic fossil Plants from Argentina. IV. The leaf genus *Dicroidium* and its possible relation to *Rhexoxylon* Stems. *Palaeontology*, vol. 11, part. IV, p. 500-512, Pl. 97-98.
- 11) ARCHANGELSKY S. et BALDONI A. (1972). — Revision de las Bennettitales de la formación baquero (Cretacio inferior) provincia de Santa Cruz. I. Hojas. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie)*, Sect. Paleontologia, T. VII, n° 44, p. 195-265.
- 12) BERRY E.N. (1924). — Mesozoic Plants from Patagonia. *Amer. J. Sci., Connecticut*, 7, p. 473-482.
- 13) BODNBENDER W. (1896). — Beobachtung über Devon und Gondwana-Schichten in der Argentinischen Republik. *Z. deutsch. Geol. Ges.*, 48, p. 743-772.
- 14) BRONGNIART A. (1828). — *Prodrome d'une histoire des végétaux fossiles*. F.G. Levrault, 223 p., Paris.
- 15) BRONGNIART A. (1830). — *Histoire des végétaux fossiles*. G. Dufour et Ed. D'Ocagne, 1, p. 223-277, Paris.
- 16) BUNBURY C. (1861). — Notes on a collection of fossil plants from Nagpur, Central India. *Quart J. Geol. Soc.*, 17, p. 325-346, Pl. 8-12, Londres.
- 17) BROWN J. et LEMOIGNE Y. (1977). — Présence du genre *Eskdalla* à la base des Droyka Series dans l'Etat d'Orange et datation du grand cycle glaciaire postilurien en Afrique du Sud. *C.R. Ac. Sc., Paris*, t. 284, sér. D, p. 1509-1511.
- 18) CARRUTHERS W. (1869). — On the Plant Remains from the Brazilian Coal Bedo, with Remarks on the genus *Flemingites*. *Geol. Mag.*, Londres, 6, p. 151-156.
- 19) CHALONER W.G. et MEYEN S.V. (1973). — Carboniferous and Permian Floras of the Northern Continents in *Atlas of Palaeobiogeography*, p. 169-186. Elsevier Scientific Publishing Company, New-York.
- 20) CLOSS D. (1967). — Intercalations of goniatites in the gondwanic glacial beds of Uruguay. I. *Sympos. Intern. Stratigr. Paleontol. Gondwana*, res. tab., Mar Del Plata, p. 9-10.
- 21) DANA J.D. (1849). — In Wilkes United States exploring expedition. 10 (Geology) Text et Atlas. Philadelphie.
- 22) DOBRUSKINA I.A. (1966). — On the occurrence of gigantopterid on the USSR territory. *Doklady Akad. Nauk USSR*, 171, n° 5, p. 1-187.
- 23) DOLIANITI E. (1953). — A Flora de Gondwana Inferior em Santa Catarina. I. O género *Glossopteris*. *Not. Prelim. Estudos, DNPM*, 60, p. 1-7, Rio-de-Janeiro.

- 24) DOLIANITI E. (1954). — A flora de Gondwana Inferior em Santa Catarina. V. O género *Gangamopteris*. Not. Prelim. Estudos, DNPM, 89, p. 1-12, 3 pl., Rio-de-Janeiro.
- 25) DOUBINGER J. et BROUTIN J. (1976). — Premières études palynologiques dans le bassin autuno-stéphanien de Guadalcanal (Nord de la Province de Séville, Espagne du Sud). *Bull. Soc. géol. France*, (7), t. XVIII, n° 4, p. 1033-1040, Paris.
- 26) DUTOIT A.L. (1932). — Some Fossil Plants from the Gondwana Beds of Uganda. *Ann. S. African Mus.*, 28, p. 395-406.
- 27) DUTOIT A.L. (1939). — The flora of the Karroo System and its affinities. *Geology of South Africa*. Londres.
- 28) EDWARDS W.N. (1952). — *Lycopodiopsis*, a southern hemisphere Lepidophyte. *Palaeobotanist*, 1, p. 159-164.
- 29) FEISTMANTEL O. (1876). — Notes on the age of some fossil floras in India. *Rec. Geol. Surv. of India*, 9, (3), p. 73-74, Calcutta.
- 30) FEISTMANTEL O. (1876). — Jurassic (Golitic) Flora of Kach. *Pal. Indica, Calcutta*, (11), 1, p. 1-80, Pl. 1-12.
- 31) FEISTMANTEL O. (1877). — Flora of the Jabalpur Group (Upper Gondwana) in the Son-Narbada Region. *Pal. Indica, Calcutta*, (11), 2, p. 1-25, Pl. 1-14.
- 32) FEISTMANTEL O. (1879). — Fossil flora of the Gondwana System. I. The flora of the Talchir, Karharbari beds. *Mem. Geol. Surv. India, Palaeontologia Indica*, ser. 12-3 (1), p. 1-64, 31 pl., Calcutta.
- 33) FEISTMANTEL O. (1879). — Outhiers of the Madras Coast Pal. Indica. *Calcutta*, (11), 1, 4.
- 34) FEISTMANTEL O. (1831). — Fossil flora of the Gondwana System. II. The flora of the Damuda and Panchet Divisions. *Mem. Geol. Surv. India, Palaeontologia Indica*, ser. 12-3. (2.3), p. 1-149, 47 pl. Calcutta.
- 35) FEISTMANTEL O. (1882). — Fossil flora of the Gondwana System. The fossil flora of South Rewah Gondwana Basin. *Mem. Geol. Surv. India, Palaeontologia Indica*, ser. 12-4, (1), p. 1-52, 21 pl. Calcutta.
- 36) FERUGLIO E. (1951). — Piante del Mesozoico della Patagonia. *Publ. Ist. Geog. Unio. Torino*, 1, p. 35-80, 3 pl.
- 37) FOORD A.H. (1890). — Description of Fossils from the Kimberley District, Western Australia. *Geol. Mag.*, London, (3), 7, p. 98-106.
- 38) FRENGUELLI J. (1944). — Apuntes acerca del Paleozoico Superior del Noroeste Argentina. *Rev. Mus. La Plata, (N.s. Geol.)*, 2, p. 213-265.
- 39) FRENGUELLI J. (1949). — Addenda a la Flora del Gondwana Superior en la Argentina. I. *Physis.*, Buenos-Aires, 20, p. 139-146, 2 pl.
- 40) FRENGUELLI J. (1952). — The lower Gondwana in Argentina. *The Paleobotanist*, 1, p. 183-188.
- 41) HEG O.A. et BOSE M.N. (1960). — The *Glossopteris* flora of the Belgian Congo with a note on some fossil plants from the Zambesi Basin (Mozambique). *Ann. Mus. Roy. Congo Belge, Sci. Geol.*, 32, p. 1-109, 18 fig., 35 pl., Tervuren.
- 42) JONGMANS W.J. (1954). — The Carboniferous flora of Peru. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.)*, Geol., 2, n° 5, p. 191-223.
- 43) KAR R.K. et JAIN K.P. (1975). — Libya a probable part of Gondwanaland. *Geophytology*, 5, (1), p. 72-80, Lucknow (Inde).
- 44) KRAUSEL R. (1928). — Fossile Pflanzenreste aus der Karroformation von Deutsch-Südwest afrika. *Beitr. Geol. Erforsch deutsch Sch. Geb.*, Berlin, 20, p. 17-54.
- 45) KURTZ F. (1921). — Atlas del las Plantas fósiles de la Republica Argentina. *Actas Acad. Nac. Cienc. Cordoba*, 7, p. 133-153, 27 pl., Buenos-Aires.
- 46) LUNDQUIST G. (1919). — Fossile Pflanzen der *Glossopteris*. Flora aus Brasilien. *K. Svensk. Vet. Akad. Handl.*, Stockholm, 60, (3), p. 1-36.
- 47) MAAK R. (1947). — *Lycopodiopsis derbyi* Renault. Documento da Idade Paleozoica das Camadas Tereziña do Brasil Meridional. *Arq. Biol. Tecnol. Parana*, 2, p. 159-207.
- 48) MAHESHWARI H.K. (1964). — Studies in the *Glossopteris* flora of India 22. One some species of the genus *Glossopteris* from the Raniganj Coalfield. Bengal. *The Palaeobotanist*, 13, (2), p. 129-143, 13 fig., 3 pl. Lucknow.
- 49) MAHESHWARI H.K. et PRAKASH G. (1964). — Studies in the *Glossopteris* flora, of India 21. Plant Megafossil from the Lower Gondwana exposures along Bansloi River in Raimahal Hills Bihar. *The Palaeobotanist*, 13 (2), p. 115-128, 11 fig., 3 pl. Lucknow.
- 50) MAITHY P.K. (1964). — Studies in the *Glossopteris* flora of India 26. *Glossopteridales* from the Karharbari beds, Giridih Coalfield, India. *The Palaeobotanist*, 13, (3), p. 248-263, 7 fig., 5 pl. Lucknow.
- 51) MEYEN S.V. (1967). — New data on relationship between Angara and Gondwana Late Paleozoic floras. I. *Sympos. Intern. Estratigr. Paleontol. Gondwana*, res. trab., Mar Del Plata, 13-14.
- 52) MEYEN S.V. (1969). — New data on relationship between Angara and Gondwana late paleozoic floras Gondwana stratigraphy. *U.U.G.S. Symposium*, Buenos-Aires, Oct. 1967. UNESCO.
- 53) MEYEN S.V. (1970). — On the origin and relationship of the main Carboniferous and Permian floras and their bearing on general Paleogeography of this period of time Prov. et Pap. 2^a Gondwana Symposium, South Africa. Council for scient. and Indust. Res, Scientia, p. 551-555. Pretoria.
- 54) MEYEN S.V. (1977). — Relation of Angara and Gondwana Floras : a century of controversies. 4^o Congr. Int. sur le Gondwana, Janvier 1977, Calcutta.
- 55) MILLAY M.A. et EGGERT D.A. (1970). — *Idantheklon* gen. n., a synangiate pollen organ with saccate pollen from the Middle Pennsylvanian Of Illinois. *Amer. J. Bot.*, 57, (1), p. 50-61.
- 56) MILLAY M.A. et TAYLOR T.N. (1974). — Morphological studies of Paleozoic saccate pollen. *Palaeontographica*, B., Bd 147, Fief 4-6, p. 75-99.
- 57) PANT D.D. (1958). The structure of some leaves and fructifications of the *Glossopteris* flora of Tanganyika. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, 3, (4), p. 127-175, 21 fig., Pl. 18-21. Londres.
- 58) PANT D.D. et SINGH K.B. (1968). — On the genus *Gangamopteris* Mc Coy. *Palaeontographica*, B. 124 (4-6), p. 83-101, 6 fig., Pl. 27-32, 1 tab. Stuttgart.
- 59) PLUMSTEAD E.P. (1962). — Fossil floras of Antarctica in Trans-Antarctic Expedition 1955-1958. *Scientific Reports*, n° 9, p. 1-154, 2 fig., 28 pl., 3 cartes, 6 tab. Londres.
- 60) RAO H.S. (1940). — On the Anatomy of *Lycopodiopsis derbyi* Renault with remarks on the Southern Paleozoic Lycopods. *Proc. Ind. Acad. Sci.*, (B), 11, p. 197-217.
- 61) READ C.B. (1941). — Plantas Fósseis do Neo Paleozoico do Parana e Santa Catarina. *Mon. Dio. Geol. Min. Misistr. Agric, Rio-de-Janeiro*, 12, p. 1-102, 8 pl. Rio-de-Janeiro.
- 62) REAL F. (1966). — Geologia da bacia do Rio Zambeze (Moçambique). *Jun. Ino. Ultr.*, Lisboa.
- 63) RIGBY J.F. (1966). — The Lower Gondwana floras of the Perth and Collie basins, Western Australia. *Palaeontographica*, B, 118, (4-6), p. 113-152, 1 fig., 7 pl., Stuttgart.
- 64) RIGBY J.F. (1969). — Permian Sphenopsids from Antarctic. *Prof. Pap., U.S. Geol. Surv.*, 613 F, p. F1-F13, 3 pl., 2 tab., Washington.
- 65) RENAULT B. (1890). — Notice sur une Lycopodiacee arborescente du terrain houiller du Brésil. *Bull. Soc. Hist. Nat. Autun*, 3, p. 109-124.
- 66) SAHNI B. (1926). — The southern fossil floras a study in the plant geography of the past. *Proc. 13th Ind. Sci. Congr.*, p. 229-254, Bombay.
- 67) SCHIMPER W.P. (1869-1874). — *Traité de Paléontologie végétale*. Vol. I-III, 738 + 966 + 896 p. et Atlas, 110 pl. Ed. Bailliere, Paris.
- 68) SCOTT A. (1974). — The earliest Conifer. *Nature*, vol. 251, n° 5477, p. 707-708.
- 69) SEN J. (1955). — On some fructifications borne on *Glossopteris* leaves. *Bot. Notiser*, 108 (2), p. 244-252. Kjøbenhavn.
- 70) SEWARD A.C. (1896). — Note on some fossil plants from South Africa. *Rept. Bris. Ass. Ado. Sci.*, 1896, p. 807.
- 71) SEWARD A.C. (1897). — On the Association of *Sigillaria* and *Glossopteris* in South Africa. *Quart. J. Geol. Soc.*, Londres, 53, (24), p. 315-340, 3 fig., Pl. 21-24. Londres.

- 72) SEWARD A.C. (1903). — Fossil floras of Cape Colony. *Ann. S. African Mus.*, 4, (1), p. 1-122, 8 fig., 14 pl., Cape Town.
- 73) SEWARD A.C. (1931). — Some Late Palaeozoic Plants from the Belgian Congo *Bull. Cl. Sci. Acad. Roy. Belgique*, (5), 17, p. 532-543.
- 74) SEWARD A.C. et LESLIE T.N. (1908). — Permo-Carboniferous Plants from Vereeniging (Transvaal). *Quart. J. Geol. Soc. Londres*, 64, p. 109-126.
- 75) SRIVASTAVA P.N. (1956). — Studies in the *Glossopteris* flora of India. 4. *Glossopteris*, *Gangamopteris* and *Palaeovittaria* from the Raniganj Coalfield. *The Palaeobotanist*, 5, (1), p. 1-45, 43 fig., 14 pl., Lucknow.
- 76) SZAJNOCHAL L. (1891). — Uber einige carbone Pflanzenreste aus der Argentinischen Republik. *S.B. Akad. Wiss. Wien.*, 100, (1), p. 203-213.
- 77) TEICHERT C. (1941). — Upper Paleozoic of Western Australia : Correlation and Palaeogeography. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 25, p. 371-415.
- 78) TEICHERT C. (1947). — Stratigraphy of Western Australia. *J. Proc. R. Soc. N.S. Wales*, 80, p. 81-142.
- 79) TEIXEIRA C. (1947). — Contribuição para o conhecimento geológico do Karroo da África Portuguesa. I. Sobre a flora fóssil do Karroo da região de Tete (Moçambique). *Ann. Jun. Inv. Colon.*, 2, (2), p. 7-28, 16 pl., Lisboa.
- 80) TEIXEIRA C. (1952). — La flore fossile du Karroo de la Zambésie et la notion de continent de Gondwana. 3^e Congr. Avancé ét. strat. et Geol. Carb., Heerlen, Juin 1951, p. 627-629.
- 81) VAJRAMEIEV V.A. (1964). — Jurassic and Early Cretaceous Floras of Eurasia and the Paleofloristic Provinces of this period. *Trans. Geol. Inst. Ac. Sc. URSS*, 102, p. 1-263.
- 82) WADE A. (1937). — The geological Succession in the west Kimberley District of Western Australia. *Austr. N.Z. Ass. Ado. Sci.*, 23, p. 93-96.
- 83) WAGNER R.H. (1962). — On a mixed Cathaysia and Gondwana flora from SE. Anatolia (Turkey). *C.R. 4^e Congr. avanc. étud. Strat. géol. carbonifère*, Heerlen, 1958, 3, p. 745-752.
- 84) WALKOM A.B. (1921). — On *Nummulospermum* gen. nov. the probable megasporangium of *Glossopteris*. *Quart. J. Geol. Soc.*, 77, (4), p. 289-296, 1 fig., Pl. 21, Londres.
- 85) WALTON J. (1929). — The fossil flora of the Karroo System in The Wankie District. Southern Rhodesia. *S. Rhodesia Geol. Surv. Bull.*, 15, p. 1-83.
- 86) WHITE D. (1905). — Flora of the Brazilian coal measures. *Sciences*, 21, p. 700, New-York.
- 87) WHITE D. (1908). — Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil. In White J.C. *Commisao estudos das Minas de Carvao de Pedra do Brazil*, Rio-de-Janeiro, p. 337-617.
- 88) ZEILLER M.R. et LAPIERRE C. (1883). — Note sur la flore du bassin houiller de Tete (Région du Zambéze). *Ann. Mines Carbur.*, sér. 8, (4), p. 594-598, Paris.
- 89) ZEILLER M.R. (1896). — Etude sur quelques plantes fossiles, en particulier *Vertebraria* et *Glossopteris*, des environs de Johannesburg (Transvaal). *Bull. Soc. Géol. France*, sér. 3, 24, (1), p. 349-378, 17 fig., Pl. 15-18, Paris.
- 90) ZEILLER M.R. (1896). — Note sur la Flore fossile des Gisements houillers de Rio Grande do Sul (Brésil méridional). *Bull. Soc. Géol. France*, (3), 23, p. 601-629.
- 91) ZEILLER R. (1897). — Les provinces botaniques de la fin des temps primaires. *Revue Générale des Sciences*, p. 5-10.

ANNEXE N° 1. — FLORES FOSSILES DE L'ANTARCTIQUE
(d'après Plumstead ; résultats de l'Expédition Trans-Antarctique 1955-1958)

Dévonien inférieur et moyen :

Haplostigma irregulare Scharz.
Protolepidodendron lineare Walkom.

Permo-Carbonifère :

Gangamopteris angustifolia Mc Coy ; *Gang. obovata* Carruthers var. *attenuata* Feistmantel ; *Gang. hughesi* Feistmantel ; *Gang. cf. flexuosa* Srivastava ; *Gang. stephensoni* Plumstead.
Palaeovittaria sp.
Glossopteris indica Schimper ; *Gl. communis* Feistmantel ; *Gl. damudica* Feistmantel ; *Gl. angustifolia* Brongniart ; *Gl. orbicularis* Feistmantel ; *Gl. spathulato-cordata* Feistmantel ; *Gl. decipiens* Feistmantel ; *Gl. ampla* Dana ; *Gl. cf. G. conspicua* Feistmantel ; *Gl. formosa* Feistmantel ; *Gl. stricta* Bunbury ; *Gl. cf. G. longicaulis* Feistmantel ; *Gl. browniana* Brongniart ; *Gl. fuchsii* Plumstead ; *Gl. parallela* Feistmantel ; *Gl. cf. G. cordata* Dana ; *Gl. antarctica* Plumstead.

Cordaicarpus sp. ;
Annularia sp. ;
Phyllothea Brongniart ;
des bois zonés.

Trias :

Dicroidium odontopteroides (Morris) Gothan ;
Zamites sp. ;
Williamsonia sp. ;
Nilssonia sp. ;
Schizoneura sp. ;
Neocalamites sp.

Jurassique :

Otozamites antarcticus Plumstead ;
Brachyphyllum cf. *B. expansum* Sternberg ;
Pagiophyllum cf. *P. peregrinum* Lindley et Hutton ;
Elatocladus cf. *E. heterophylla* Halle.

ANNEXE N° 2. — FLORE A GLOSSOPTERIS DU CONGO (ex Congo Belge) (d'après Høeg)

Phyllothea australis Brongniart ;
Schizoneura sp. ;
Cyclodendron leslii (Seward) Kräusel ;
Gangamopteris cyclopteroides Feistmantel ; *Gang. sp.* ;
Glossopteris indica Schimper ; *Gl. jamottei* Høeg et Bose ;
Gl. browniana Brongniart ; *Gl. sp.* ;
Palaeovittaria sp. ;
Noeggerathiopsis hislopi (Bunb.) Feistmantel ;
Ginkgophyton sp. ;
Baiera plumosa Høeg et Bose ;
Ginkgoites cambieri Høeg et Bose ;
Walkomiella fragilis Høeg et Bose ;

Samaropsis sp. ;
Cordaitocarpus sp.

Remarques : La "flore à *Glossopteris*" du Congo (ex Congo Belge) comprend deux ensembles :

- 1) Dans la région de Walikale, une flore où domine *Gangamopteris cyclopteroides* et sans *Glossopteris* ;
- 2) dans la région de Greinerville, où *Glossopteris indica* et *Phyllothea australis* sont abondants.

Entre ces deux ensembles floristiques, on observe une flore mixte.

Quelques remarques concernant les mégaspores du Gondwana

par P. PIERART (*)

Sommaire. — Les mégaspores gondwaniennes du Carbonifère et du Permien présentent des extensions géographiques et stratigraphiques très variables.

Les formes apparentées à *Duosporites congoensis*, *D. tenuis* et *Sublagenicula brasiliensis* apparaissent dès le Carbonifère et caractérisent une très grande aire gondwaniennne y compris le nord de l'Afrique.

D'autres espèces gondwaniennes sont plus ou moins endémiques et présentent des extensions stratigraphiques limitées. C'est le cas par exemple de *Proximalicirculata katangaensis* au Zaïre ou de certaines espèces de *Jhariatrilletes* et de *Singhisporites* en Inde.

Summary. — The geographical areas and stratigraphical extensions of the Gondwana Megaspores are variable.

The different forms related to *Duosporites congoensis*, to *D. tenuis* and to *Sublagenicula brasiliensis* appear as soon as Carboniferous and characterize a very large gondwanian area including North Africa.

Other gondwanian species are more or less endemic and present limited stratigraphic areas (for example, *Proximalicirculata katangaensis* in Zaïre or some other species of *Jhariatrilletes* and *Singhisporites* in India).

1) Introduction.

Les mégaspores sont relativement bien représentés dans le Gondwana inférieur malgré la pauvreté des *Lepidodendridae* (*Lepidodendrales* et *Lepidocarpaceles*). La stratigraphie de ces mégaspores est particulièrement mal connue car on les extrait généralement à partir des charbons peu évolués. Il faut toutefois signaler les découvertes des chercheurs indiens qui signalent 12 genres (comprenant 33 espèces) répartis parmi les étages du Gondwana inférieur (Bharadwaj et Tiwari, 1970 ; Lele et Chandra, 1974). Les genres *Talchirella*, *Biharisporites* et *Duosporites*, très proches l'un de l'autre, sont bien représentés dans les étages Karharbari et Barakar, tandis que les genres *Jhariatrilletes* et *Singhisporites* se rencontrent plus haut à partir du Barakar supérieur.

La découverte de mégaspores gondwaniennes dans le Carbonifère d'Argentine (Spinner, 1969) ainsi que dans le Carbonifère inférieur d'Agadès (Lachkar, 1978) nous a incité à re-

chercher des espèces gondwaniennes dans le Carbonifère inférieur d'Égypte et du Tchad afin de préciser l'extension géographique et stratigraphique des espèces gondwaniennes.

2) Le groupe de *Duosporites congoensis* Hoeg, Bose et Manum.

L'espèce est bien caractérisée et connue du Zaïre, du Brésil, de l'Inde, du Niger (?), du Tchad (?) et de l'Australie (?). Certaines espèces du Tchad et d'Afrique du Sud, décrites par Dijkstra (1971), mériteraient d'être étudiées en lumière transmise afin de vérifier leur position taxonomique vis-à-vis de *Duosporites congoensis*. Nous pensons spécialement à *Triletes tchadiensis* Dijkstra et *Triletes irregularis* Dijkstra. *Triletes tchadiensis* est signalé au Tchad et au Niger. Lachkar considère cette espèce comme un *Pseudovalvisisporites*. La dépression annulaire entre les aires de contact et l'équateur renforce l'impression d'individus proches de *Duosporites congoensis*. Quant à *Triletes irregularis* Dijkstra et *T. subnitens* d'Afrique du Sud, proches l'un de l'autre, ils sont également voisins de *T. tchadiensis* et, par conséquent, de *D. congoensis*.

(*) Université de Mons.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

Lachkar signale également pour le bassin d'Agadès *Pseudovalvisporites agadesensis*, *P. robustus* et *P. perversus*, également très proches de *tchadiensis* et donc de *congoensis*.

3) Le complexe *Sublagenicula brasiliensis* (Dijkstra) groupe C.I.M.P.

Le type a été décrit en 1955 par Dijkstra. L'espèce, assez variable, possède une paroi épaissie et une fine ornementation constituée d'éléments plus ou moins allongés, variant généralement de 5 à 20 μ de haut et de 5 à 10 μ de large. La *subgula* varie fortement. L'espèce existe en Afrique (Piérart, 1959). *Lagenoisporites nudus*, signalé par Yahsiman et Ergönul (1959) à Hazru en Anatolie, appartient probablement à ce taxon. De façon générale, cette espèce gondwanienne est considérée comme permienne et carboniférienne (Spinner, 1969 ; Lachkar, 1978).

Le *Dijkstraea brasiliensis* (Dijkstra) Pant et Srivastava, des schistes noirs de la Lukuga (Zaïre), appartient bien à l'espèce décrite par Dijkstra. Plusieurs espèces du Tchad provenant en principe du Carbonifère inférieur, semblent devoir être incluses dans l'espèce *brasiliensis*.

La première est *Triletes mutabilis* (Dijkstra, 1956) d'abord décrite sur du matériel égyptien et ensuite en provenance du Tchad (Dijkstra, 1971) et du Niger (Lachkar, 1978).

Triletes bulbatus, représentée par deux formes, semble également se rattacher à *brasiliensis*. Au point de vue nomenclatural, nous devons nommer les formes *bulbata* (= *glabra*) et *spinulata* qui seraient synonymes des formes lisses et plus ou moins granuleuses de *brasiliensis*.

Triletes compactus Dijkstra et *Triletes dulcis* Dijkstra nous semblent constituer des petites formes du groupe *brasiliensis*, de même que *Triletes turnau* Dijkstra et *Triletes brachytrachelos* Dijkstra d'Afrique du Sud.

Enfin *Gulatriletes barakarensis* Bharadwaj et Tiwari, malgré des épines de 25 à 80 μ de long et son corps interne, nous semble également constituer une variété ou une espèce proche de *Sublagenicula brasiliensis*.

En conclusion, sept formes très proches l'une de l'autre, si pas identiques, font partie de ce groupe homogène qui nous semble caractériser une bonne partie du Gondwana inférieur (com-

prenant du Carbonifère inférieur au Tchad, au Niger et en Egypte, du Carbonifère en Argentine, l'étage Barakar en Inde, le Permien inférieur de l'Australie du Sud (?) ainsi que le Permien d'Anatolie).

Ces vues confirment l'opinion de Kar et Jain (1975) concernant l'extension géographique de certains éléments floristiques du Gondwana africain vers le nord.

4) Le groupe de *Duosporites tenuis* (Dijkstra) Piérart.

Duosporites tenuis est connu du Gondwana inférieur du Brésil (plusieurs localités) et du Zaïre. Spinner (1969) signale cette espèce dans le Carbonifère de l'ouest de l'Argentine dans la province de La Rioja (Sierra de Maz). Elle appartient à la zone Tupe qui correspond à la base du Carbonifère supérieur. *Triletes plicatus* Dijkstra, du Carbonifère inférieur d'Egypte et du Tchad, *Hexalaesuraesporites sinuosus* Lachkar, du bassin houiller viséen d'Agadès (Niger), sont vraisemblablement identiques à *Duosporites tenuis*. Ce groupe de formes apparentées, qui représente peut-être une seule espèce, serait donc également caractéristique du Carbonifère inférieur d'Egypte et du Tchad, du bassin houiller viséen d'Agadès, de la base du Carbonifère supérieur d'Argentine et du Gondwana inférieur du Zaïre et du Brésil.

5) Caractères de la microflore du Nord de l'Afrique.

Les mégaspores du Carbonifère inférieur d'Egypte pourraient comprendre deux ou trois espèces d'origine gondwanienne : *Triletes plicatus*, *Triletes mutabilis* et *Triletes glutiferus*. Cette dernière espèce pourrait appartenir à *Setosisporites furcatus*, par ailleurs signalée par Lachkar au Niger. Cet ensemble égyptien pourrait donc comprendre 19 % d'espèces gondwaniennes. Pour le Tchad, nous notons environ quatre espèces gondwaniennes pour un total ramené à 19 espèces, soit 21 %.

Enfin, le bassin d'Agadès pourrait comprendre 4 à 5 espèces gondwaniennes pour un ensemble ramené à 10 espèces, soit 50 %. Il semble donc que le cachet gondwanien va en augmentant du nord vers le sud pour atteindre un pourcentage important au niveau du Niger. Rappelons que pour le Gabon, Jardine

(1974) note pour le Permien inférieur (?) une influence gondwanienne marquée, tandis que le Permien supérieur est influencé par l'élément européen.

Conclusion.

La stratigraphie des mégaspores gondwaniennes commence à peine à être connue. Au Shaba, l'Assise à couches de houille de la Luena, qui se situerait entre l'Assise des schistes noirs de Walikale et l'Assise des schistes noirs de la Lukuga, s'apparente beaucoup aux gisements du Rio Grande do Sul du Brésil et se différencie de l'Assise à couches de houille du Tanganyika caractérisée par *Proximalicirculata katangaensis* et *Lagenosporites micropapillatus* (Piérart, 1975 ; 1978, sous presse). D'une façon générale, il existe une région d'Afrique centrale et du Brésil très homogène au niveau du Gondwana inférieur dont certains éléments existent déjà au Carbonifère (inférieur et base du supérieur). L'influence gondwanienne diminue de façon très sensible dans le nord de l'Afrique. Il semble raisonnable d'admettre que le Gondwana inférieur appartient

pour une part importante au Carbonifère quand on considère les espèces à cachet gondwanien signalées à la fois dans le Carbonifère inférieur du nord de l'Afrique et le Gondwana inférieur du centre et du sud de l'Afrique. Cette idée avait déjà été suggérée par Spinner pour l'Argentine (1969). L'Inde semble en outre caractérisée par un ensemble d'espèces plus ou moins endémiques qui se répartissent en deux zones biostratigraphiques de l'étage Talchir. L'Australie a fourni jusqu'ici très peu de mégaspores parmi lesquelles certaines espèces sont à large distribution gondwanienne.

Enfin, rappelons que l'on trouve à Hazru, sur la plaque turque, quelques éléments gondwaniens (*Biharisporites spinosus*, *Sublagenicula brasiliensis*) qui semblent prolonger vers le nord les caractères gondwaniens du nord de l'Afrique.

Des recherches ultérieures devront confirmer cette hypothèse de la nature gondwanienne de certaines espèces de mégaspores du Carbonifère inférieur de l'Afrique. Il est toutefois acquis, grâce aux recherches de Lachkar, que le bassin d'Agadès possède déjà un cachet nettement gondwanien.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BHARADWAJ D.C. and TIWARI R.S. (1970). — Lower Gondwana megaspores. A monograph. *Palaeontographica*, B. 129, Abt. B, p. 1-65.
- 2) BOSE M.N. et KAR R.K. (1967). — Mégaspores de l'Assise des schistes noirs de la Lukuga. *Ann. Mus. R. Afr. centr.*, (Sc. Géol.), 54, p. 104-110, 1 pl.
- 3) DIJKSTRA S.J. (1955). — Some Brazilian megaspores Lower Permian in age, and their comparison with Lower Gondwana spores from India. *Meded. geol. sticht.*, 9, p. 5-10, 4 pl.
- 4) DIJKSTRA S.J. (1956). — Lower Carboniferous Megaspores. *Meded. geol. sticht.*, 10, p. 5-18, Pl. 1-11
- 5) DIJKSTRA S.J. (1971). — The megaspores of boring Tchad. *Meded. geol. dienst.*, 22, p. 25-35, Pl. 1-9.
- 6) DIJKSTRA S.J. (1972). — Some megaspores from South Africa and Australia. *Palaeont. afr.*, 14, p. 1-13, Pl. 1-6.
- 7) JARDINE S. (1974). — Microflores des formations attribuées au Karoo. *Rev. of Palaeobot. and Palynology*, 17, p. 75-112, Pl. I-X.
- 8) KAR R.K. and JAIN K.P. (1975). — Libya. A probable part of Gondwanaland. *Geophytology*, 5, 1, p. 72-80.
- 9) CAUDURO A.D. et ZINGANO A.G. (1965). — Megaspores en Argilité Silicifié de São Sepé, Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 37, 2, p. 273-282, Pl. 1-3.
- 10) LELE K.M. and ANIL CHANDRA (1974). — Studies in the Talchir flora of India. 9. Megaspores from the Talchir formation in the Johilla coalfield, M.P., India. *The Palaeobotanist*, 21, 2, p. 238-247, Pl. 1-2.
- 11) PANT D.D. et SRIVASTAVA G.K. (1961). — Structural studies on Lower Gondwana Megaspores. Part. I. Specimens from Talchir coalfield, India. *Palaeontographica*, B. 109, Abt. B, p. 45-61, Pl. 30-31.
- 12) PANT D.D. et SRIVASTAVA G.K. (1962). — Structural studies on Lower Gondwana Megaspores. Part. 2. Specimens from Brazil and Mhukuru Coalfield, Tanganyika. *Palaeontographica*, B. 111, Abt. B, p. 96-111, Pl. 16-19.
- 13) PIERART P. (1959). — Contribution à l'étude des spores et pollen de la flore à *Glossopteris* contenus dans les charbons de la Luena (Katanga). *Mem. Acad. r. Sc. Col., Cl. Sc. Nat., Med.*, 8, p. 1-80, Pl. 1-10.
- 14) PIERART P. (1975). — Systématique, distribution stratigraphique et géographique des mégaspores du Carbonifère et du Permien. *Septième Congr. Int. de Stratigraphie et de Géol. Carb.*, B. IV, p. 93-102, Pl. 1-3.
- 15) PIERART P. et DIJKSTRA S.J. (1961). — Etude comparée des mégaspores permienues du Brésil et du Katanga. *C.R. Congr. Av. Etud. Strat. Carb.*, Heerlen, V. 2, p. 541-544, Pl. 7.
- 16) PIERART P. (). — Some microfloral Taphocoenoses from the Lower Gondwana of Zaire (Assise à couches de houille de la Luena). *Troisième Congr. du Gondwana* (sous presse).
- 17) SPINNER E. (1969). — Preliminary study of the megaspores from the Tupe formation, Quebrada del Tupe, La Rioja, Argentina. *Pollen et Spores*, XI, 3, p. 669-685, Pl. 1-3.
- 18) TRINDADE N.M. (1960). — O Gênero *Treileites* no Gondwana Brasileiro. Ministerio da Agricultura, *Divisão de Geologia e Mineralogia*, 114, p. 1-17, Pl. 1-4.

Paléoxylologie du Gondwana africain Découverte de bois fossiles à épaississements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache

par J. MARGUERIER (*)

(Planche LXII)

Sommaire. — Des bois fossiles à épaississements spiralés sont signalés pour la première fois dans les formations du Karroo de Madagascar (Groupe de la Sakamena). Quelques remarques d'ordre taxinomique, phylogénique et plus particulièrement stratigraphique et paléogéographique sont précisées ainsi que des considérations sur la flore de la Sakamena. La présence de ces bois permet d'établir des corrélations avec les flores des formations gondwaniennes contemporaines. Ce type de bois qui n'a pas de correspondant dans la Province euraméricaine, peut être considéré comme un fossile caractéristique de la flore gondwanienne.

Summary. — Fossil woods with spiral thickenings are discovered for the first time in the Karroo formations in Madagascar (Sakamena Group). Taxinomial, phylogenical and more particularly stratigraphical and paleogeographical remarks are specified. Some regards on the Sakamena Flora are mentioned. The occurrence of this fossil woods enables us to draw correlations with other Gondwanian fossil Floras. This type of fossil wood, without any analogy within the euramerican Province, can be regarded as a characteristic fossil of the Gondwanaland.

Dans le cadre d'un travail consacré à la Paléoxylologie du Karroo malgache, il nous a paru intéressant d'étudier quelques structures fossiles signalées pour la première fois dans les formations de la Sakamena malgache. La macroflore et la microflore ont fait l'objet de plusieurs études (1, 2, 10) ; il en est de même pour les recherches concernant les Vertébrés fossiles représentés essentiellement par des Poissons, Amphibiens et Reptiles. Par contre, les bois fossiles sont peu abondants, souvent indéterminables et les renseignements d'ordre paléoxylologique sont limités (8).

Les couches de la Sakamena, transgressives et discordantes sur celles de la Sakoa, s'allongent du Sud-Ouest jusqu'à l'éperon cristallin du Cap St-André, présentent un faciès continental et quelques intercalations marines. Les dépôts de la Sakamena peuvent atteindre une épaisseur considérable (4.000 m - sondage sur Onilahy). Ils ont débuté au Permien supérieur et se sont poursuivis jusqu'à la fin du Trias inférieur. Les bois fossiles ont été récoltés par M. Tortochaux,

au cours de prospections effectuées en 1948 par la Société des Pétroles de Madagascar. Trois échantillons (nos 2601, 2596 et 5185 de la Collection du Laboratoire de Paléobotanique de l'Université de Paris VI) proviennent des niveaux supérieurs schisto-argileux de la Sakamena moyenne au Sud de la région de Ranohira (X : 332,5 - Y : 283,0) ; X et Y sont les coordonnées rectangulaires de la carte géologique de reconnaissance de Madagascar au 1/200.000, feuille de Morondava n° 2. Les éléments du conglomérat de base de la Sakamena inférieure ont fourni deux autres spécimens (nos 5117 et 5123).

Une étude anatomique exhaustive de ces structures fera l'objet d'un travail ultérieur ; nous indiquons seulement dans cette note les caractères anatomiques essentiels et significatifs des échantillons malgaches que l'on retrouve dans la plupart des espèces affines des flores contemporaines gondwaniennes (6, 7, 11, 12) :

- Bois homoxylés, pycnoxylés, dépourvus de parenchyme ligneux vertical et de canaux sécréteurs.
- Bois primaire centripète généralement peu développé et difficile à observer (genre *Taxopitys*).
- Zones d'accroissement peu marquées, à bois final réduit.

(*) Université Pierre et Marie Curie, 75005 Paris.

Note déposée le 8 Décembre 1977.

- Fibres trachéides à ponctuations radiales unisériées (Pl. LXII, fig. 1) ou bisériées alternes, rarement opposées, à tendance nettement araucarienne dans le genre *Parataxopitys*. Ponctuations tangentielles généralement absentes. Présence d'éléments spiralés simples ou bifurqués, horizontaux ou obliques, plus faciles à observer en microscopie électronique à balayage (Pl. LXII, fig. 1 et 4).
- Rayons ligneux de hauteur moyenne à cellules larges et hautes.
- Ponctuations de champs généralement au nombre de 1 à 4, fréquemment disposées sur deux rangées horizontale, de type podocarpoïde et cupressoïde (Pl. LXII, fig. 2 et 3).
- Présence de traces foliaires dans les échantillons de la Sakamena moyenne, disposées fréquemment en lignes et souvent groupées par deux (Pl. LXII, fig. 5).

Ce type de structure à éléments spiralés présente des affinités indéniables avec des bois fossiles rencontrés dans les formations gondwaniennes suivantes (fig. 1) :

1) Amérique du Sud.

Parataxopitys americana (Milanez et Dolianiti) Kräusel et Dolianiti, 1958. Couches d'Irati (Horizon à *Mesosaurus*), Brésil : Etat de Sao-Paulo, près de Rio Claro.

Taxopitys alves-pintoi Kräusel et Dolianiti, 1958. Couches d'Irati ?, Brésil : Etat de Sao-Paulo, Tatui.

Prototaxoxylon brasilianum Kräusel et Dolianiti, 1958. Estrada nova, Brésil : Etat de Sao-Paulo, Piracicaba.

2) Afrique.

Taxopitys africana Kräusel et Range, 1928. Probablement Beaufort supérieur, Sud-Ouest africain : Doroskrater, Kaokofeld.

Prototaxoxylon africanum (Walton) Kräusel et Dolianiti, 1958. Age inconnu, République Sud-Africaine ; Harmsfontein.

Même type de bois que précédemment signalé par Arber en 1900. Couches d'Ecça ? République Sud-Africaine : Intombi Camp, près de Ladysmith.

Bois à éléments spiralés signalés par Lacey et Smith en 1970. Upper Grit formation : Zambie.

3) Indes.

Prototaxoxylon indicum (Mehta) Prakash et Srivastava, 1961. Carboniferous Shales of Singrauli Coalfield ?, District de Mirzapur, Uttar Pradesh.

Prototaxoxylon intertrappeum Prakash et Srivastava, 1961. Deccan intertrappean series ?, District de Sitapuri, Dhar Madhya Pradesh.

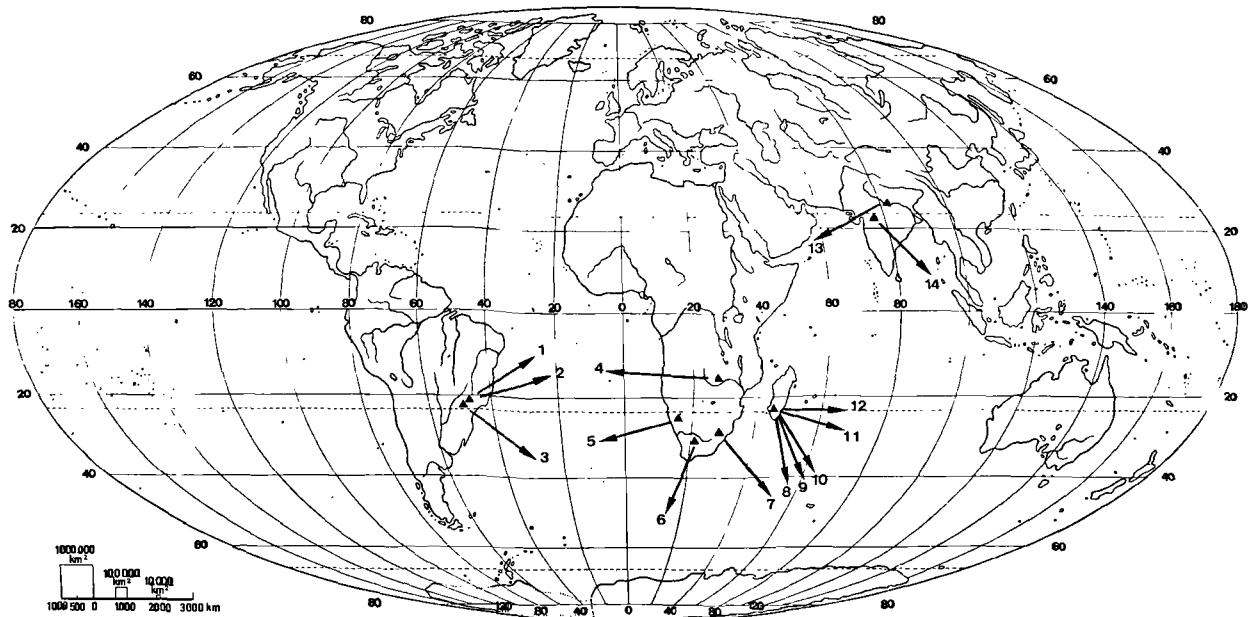


Fig. 1. — Répartition géographique des bois fossiles à éléments spiralés de la Province gondwanienne. 1, *Parataxopitys americana*. — 2, *Prototaxoxylon brasilianum*. — 3, *Taxopitys alves-pintoi*. — 4, Bois fossile de Zambie. — 5, *Taxopitys africana*. — 6 et 7, *Prototaxoxylon africanum*. — 8, 9 et 10, N^{os} 2601, 2596, 5185 de la Sakamena moyenne. — 11 et 12, N^{os} 5117 et 5123 de la Sakamena inférieure. — 13, *Prototaxoxylon intertrappeum* Prakash. — 14, *Prototaxoxylon indicum*.

Nous formulons quelques réserves d'ordre taxinomique pour cette dernière espèce.

Il convient de remarquer dans cette liste le nombre restreint d'espèces décrites et leur absence dans les flores gondwaniennes de l'Antarctique et de l'Australie. Ces faits sont probablement inhérents aux recherches paléoxylologiques encore peu avancées dans ces régions, à des conditions moins favorables de fossilisation...

Les précédentes données nous suggèrent quelques remarques d'ordre taxinomique, phylogénique et plus particulièrement paléogéographique et stratigraphique.

La présence d'éléments spiralés est un critère taxinomique qui permet d'évoquer des formes ancestrales de Taxacées, la présence de traces foliaires groupées souvent par deux, assez rapprochées, plaide en faveur d'une appartenance aux Coniférophytes sans toutefois exclure définitivement les Cordaitophytes. Ces structures s'éloignent des bois à spirales du Mésozoïque. Une certaine confusion règne dans la terminologie puisque l'on réunit sous le même vocable des structures gondwaniennes et mésozoïques d'Europe (3). Aussi, les échantillons malgaches n'ont pas été définis pour l'instant d'une manière spécifique ; une discussion concernant leur nomenclature fera l'objet d'un prochain travail.

On pense généralement que les structures fossiles ne sont pas susceptibles de donner des indications valables d'ordre stratigraphique. Il semble que l'on puisse leur accorder une certaine valeur au même titre que pour le genre de forme *Australoxylon* (9). Leur extension stratigraphique est limitée, elles apparaissent au Permien moyen et supérieur (quelques-unes sont signalées dans les couches de l'Écca, mais de manière hypothétique), se diversifient au Trias inférieur et ne sont pratiquement plus rencontrées dans des niveaux plus récents. En raison de leur répartition verticale bien définie et de leur structure anatomique particulière qui n'a pas de correspondant dans la Province euraméricaine, il est possible de les considérer comme des fossiles caractéristiques de la Flore gondwanienne.

Le genre de forme *Platyspiroxylon* Greguss, 1961, à épaisissements spiralés, de la Province

euraméricaine, ne présente pas d'analogie avec ces structures. La comparaison est plus délicate avec les rares bois fossiles à spirales de la Province angarienne où la macroflore peut présenter un caractère mixte.

La seule présence de ces bois fossiles confirme des corrélations entre la flore de la Sakamena et celle d'autres formations gondwaniennes contemporaines : flore du Beaufort, de la République Sud-Africaine, de l'Estrada nova du Brésil, des Damuda series aux Indes. Les affinités très marquées entre les structures malgaches et celles de la République Sud-Africaine impliquent des communications temporaires entre ces deux domaines.

Les études paléoxylologiques encore limitées et les travaux plus complets de Zeiller et Carpentier (2) concernant la macroflore, nous permettent de formuler quelques réflexions très générales sur la flore de la Sakamena : la Sakamena inférieure et supérieure est livrée de nombreux végétaux fossiles typiquement gondwaniens (genres *Glossopteris*, *Schizoneura*, *Noeggerathiopsis* - bois s'apparentant au genre *Australoxylon* (*) et quelques plantes fossiles à tendance permo-triasique (genres *Thinnfeldia*, *Voltzia*, bois à éléments spiralés). La Sakamena supérieure est au contraire marquée par la prédominance de structures de type *Dadoxylon* (*Araucarioxylon*) (8) qui évoquent les plantes triasiques d'Europe. Un changement floristique semble donc intervenir à partir de la Sakamena supérieure.

À la fin du Trias, la notion de flore spéciale gondwanienne s'estomperait. Les problèmes de corrélations sont toujours délicats, mais on peut estimer que les flores de la Sakamena inférieure et moyenne correspondent à celles du Beaufort inférieur et en partie du Beaufort moyen de la République Sud-Africaine, soit à une période allant du Permien supérieur à la base du Trias inférieur. L'époque charnière de la flore gondwanienne se situe au Permien supérieur - Trias inférieur ; les études paléobotaniques de cette période se doivent d'être rigoureuses car on a tendance à parler trop facilement d'interpénétrations d'éléments d'autres provinces floristiques (sans toutefois exclure cette réalité),

(*) Travail qui paraîtra ultérieurement.

alors que très souvent, il s'agit de convergence de forme.

Il faut souhaiter que de nouvelles recherches apportent des renseignements complémentaires et corroborent les hypothèses avancées.

Remerciements. — Nous adressons nos remerciements à M^{me} Grand-Pierre pour la réalisation des lames minces et à M^{me} Taugourdeau, Maître-Assistante au Laboratoire de Micropaléontologie de l'Université Pierre et Marie Curie, qui nous a permis d'effectuer des observations en microscopie électronique à balayage.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BESAIRIE H. et COLLIGNON M. (1960). — *Lexique stratigraphique International*, Vol. IV, fasc. 11, Madagascar, (supplément), 190 p., 8 fig., Paris.
- 2) BOUREAU E. (1953). — Contribution à l'étude du peuplement de Madagascar: Paléophytogéographie de Madagascar. *Mém. Soc. Biogéogr.*, Nouvelle sér: I, p. 213-232, Paris.
- 3) FAKHR M. et MARGUERIER J. (1977). — *Prototaxoxylon ferziense* n. sp., bois fossile du Jurassique moyen de l'Iran. 8 p., fig. 20 bis, Pl. LI. In FAKHR M. (1977): Contribution à l'étude de la Flore fossile du Jurassique de l'Iran. Thèse de Docteur ès Sciences Naturelles, 284 p., Paris.
- 4) GIRAUD B. et MARGUERIER J. (1971). — Application des techniques de coloration des bois actuels aux plans ligneux fossiles. C.R. 96^e Congr. Nat. Soc. Sav., Toulouse, 6, p. 263-265, 1 pl., Paris.
- 5) GREGUSS P. (1961). — Permische Fossile Hölzer aus Ungarn. *Palaeontographica* (B), 109, (5-6), p. 131-146, Pl. LII-LXII, Stuttgart.
- 6) KRAUSEL R. et RANGE P. (1928). — Beiträge zur Kenntnis der Karruformation Deutsch-Südwest-Afrikas. *Beitr. geol. Erforscht. dt. Schutzgeb.*, 20, 55 p., 18 fig., 11 pl., 1 carte, Berlin.
- 7) KRAUSEL R. et DOLIANITI E. (1958). — Gymnospermenhölzer aus den Paläozoikum Brasiliens. *Palaeontographica* (B), 104 B, 4-6, p. 115-137, 7 fig., 11 pl., 7 tabl., Stuttgart.
- 8) MARGUERIER J. (1972). — Paléoxylologie du Karroo malgache: étude d'un bois fossile de la Sakamena (District de Mahabo), *Dadoxylon (Araucarioxylon) malaimbandense* n. sp. C.R. 97^e Congr. Nat. Soc. Sav., Nantes, 4, p. 87-106, 4 fig., 5 pl., Paris.
- 9) MARGUERIER J. (1973). — Paléoxylologie du Gondwana africain: étude et affinités du genre *Australoxylon*. *Palaeontologia africana*, 16, p. 37-58, 7 fig., 6 pl., 2 tabl., Johannesburg.
- 10) RAKOTOARIVELO H.J. (1970). — Palynostratigraphie comparée du Bassin houiller Gondwanien de la Sakoa-Sakamena, Madagascar. Thèse de Docteur ès Sciences Naturelles, t. I, 404 p., Paris.
- 11) PRAKASH H. et SRIVASTAVA S.K. (1961). — On a Gymnospermous fossil wood from Sitapuri, District Dhar in Madhya Pradesh. *The Palaeobotanist*, 10, (1-2), p. 10-17, 16 fig., 1 pl., 1 tabl., Lucknow.
- 12) WALTON J. (1925). — On some South African Fossil Woods. *Ann. S. Afr. Mus.*, 22, p. 1-26, Pl. I-III, Capetown.

EXPLICATION DE LA PLANCHE LXII

Fig. 1. — Echantillon n° 5123 (Sakamena inférieure).

Section radiale: ponctuations radiales unisériées circulaires contiguës et éléments spiralés (moulage interne).

Fig. 2. — Echantillon n° 5177 (Sakamena inférieure).

Section radiale: ponctuation de champs de type podocarpöide.

Fig. 3. — Echantillon n° 5117 (Sakamena inférieure).

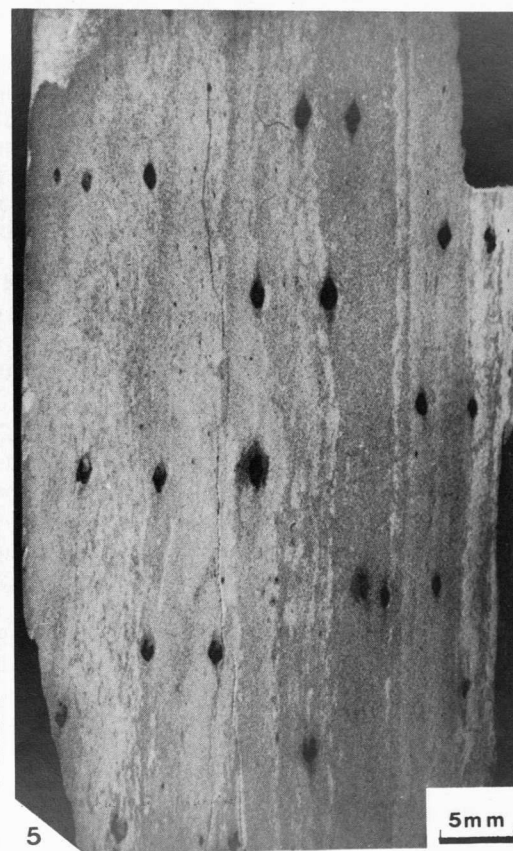
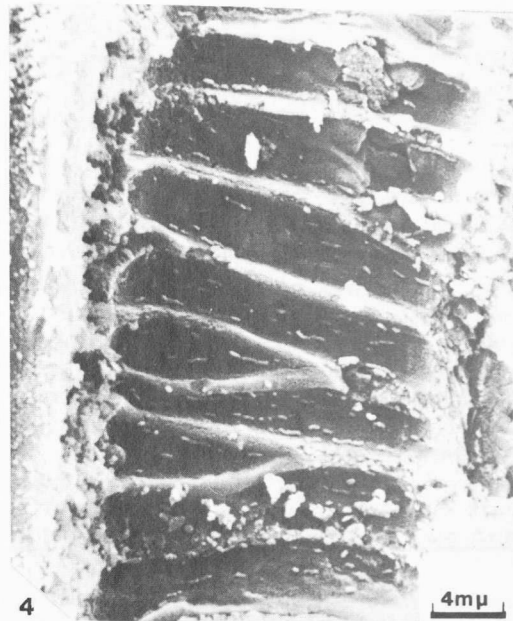
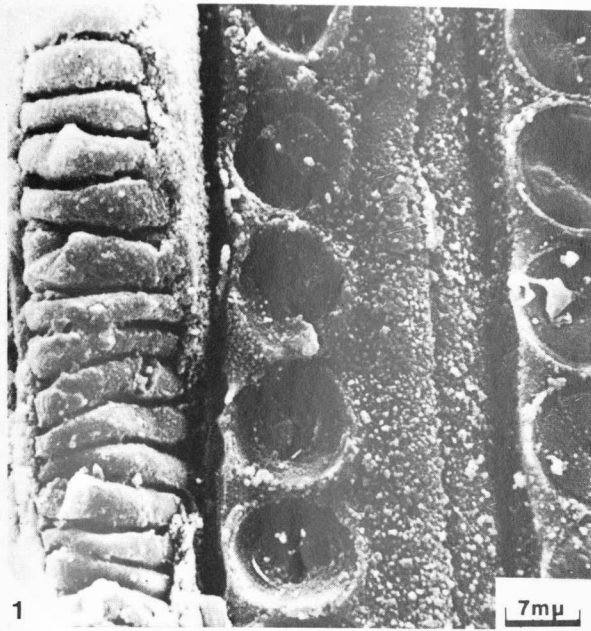
Section radiale: champs de croisement.

Fig. 4. — Echantillon n° 5123 (Sakamena inférieure).

Section radiale: éléments spiralés horizontaux, parfois bifurqués.

Fig. 5. — Echantillon n° 5185 (Sakamena moyenne).

Plan tangentiel: traces foliaires disposées souvent par paire et suivant une ligne horizontale.



Conclusions

par Guy BLANT

En concluant cette réunion, je me contenterai de quelques remarques peut-être hérétiques, qui, en tant que non spécialiste, m'ont été suggérées par les exposés de la journée.

Trois communications sur les marges téthysiennes du Gondwana ont fait apparaître les difficultés à définir les limites septentrionales du supercontinent. Les études portent sur des zones alternativement de tension et de compression où la recherche de fils directeurs stratigraphiques ou tectoniques, au travers d'orogénies successives, de sutures, s'obligeant l'une l'autre, n'est pas facile. Parmi les diverses mers épicontinentales ou océaniques qui s'établissent successivement, je recherche la Téthys de mes cours de géologie ! Heureusement que l'existence de l'Angara n'est pas contestée sinon la Téthys se retrouverait bientôt en Océan Arctique. Cet espace maritime fluctuant, sans cesse renaissant, la Téthys de la reconquête d'Aubouin (*), Téthys et/ou Mésogée, correspond en fait à une zone de fragilité quasi permanente marquant la région d'affrontement entre Gondwana et Laurasia-Angara, dont la dynamique reste complexe.

Cet après-midi, la paléobotanique et la paléontologie ont fait l'objet de communications fort intéressantes ; je ne saurais me permettre de remarques sur les corrélations établies, mais je veux seulement dire combien la prudence adoptée me paraît louable.

Il a été parlé de " similitude d'assemblages fauniques ", de " parenté ou comparabilité sur le plan de la famille ". Ces corrélations au niveau des genres ou familles d'espèces liées à des climats ou des biotopes bien définis doivent être abordées avec circonspection. Le Gondwana ne fut que partiellement terre de migration : déserts torrides ou glacés, mers épicontinentales ou sillons profonds à sédiments détritiques ont dressé au cours des temps des barrières pour les faunes et flores continentales et littorales ; les dérives ont séparé des groupes qui ensuite évoluèrent plus ou moins parallèlement. Il est regrettable que l'extinction de ces faunes dispersées ne permette pas de suivre plus longuement l'évolution des affinités. La faune australienne actuelle ne serait-elle pas moins dissemblable fossile que vivante ? et à quel niveau ? En conclusion de deux exposés (Blieck-Gouget et Janvier) ont été présentées des mosaïques de terres et de mers expliquant les migrations de Vertébrés paléozoïques. Ces schémas sont plaisants, mais sont-ils compatibles les uns avec les autres ?

Il serait heureux que, dans le cadre du Groupe d'Etude, un essai soit tenté pour réunir sur une reconstruction du Gondwana, discutée et admise par ce Groupe, les corrélations de toutes les disciplines afin de conforter leur crédibilité.

Je ne saurais terminer sans tout d'abord remercier M. M. Waterlot pour la parfaite organisation de cette réunion spéciale de la Société Géologique du Nord consacrée au Gondwana. Nous lui sommes redevables du succès de cette journée. Je remercie également MM. J. Mania et J.P. Colbeaux, Secrétaires de la S.G.N., pour leur collaboration, M^{me} P. Corsin, Déléguée aux publications, M. J.M. Dégardin pour sa participation, ainsi que le personnel technique de l'U.E.R. et de l'Université.

Je terminerai en émettant un vœu : qu'une séance identique puisse être à nouveau organisée dans quelques années, dans le cadre de la Société Géologique de France, par exemple.

(*) J. AUBOUIN, R. BLANCHET, J.F. STEPHAN, M. TARDY. — Téthys (Mésogée) et Atlantique : données de la Géologie. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 285, Série D, p. 1025-1028, 24-10-1977.

TABLE DES MATIÈRES

1977

TABLE DES MATIERES

Activité de la Société

Elections pour le renouvellement du Conseil d'Administration, p. 98.

Elections de nouveaux membres, p. 97, 99, 101, 161, 162 et 163.

Séances ordinaires de la Société : 2 décembre 1976, p. 97 ; 6 janvier 1977, p. 99 ; 10 février 1977, p. 99 ; 3 mars 1977, p. 161 ; 14 avril 1977, p. 162 ; 12 mai 1977, p. 162 ; 9 juin 1977, p. 162 ; 3 novembre 1977, p. 163 ; 8 décembre 1977, p. 255.

Assemblées générales : 6 juin 1977, p. 98 ; 14 avril 1977, p. 161 ; 12 mai 1977, p. 162.

Discours

M. C. HEDDEBAUT, p. 99.

M. M. WATERLOT, p. 100.

Stratigraphie

S. BAUDELLOT et G. BESSIÈRE. — Données palynostratigraphiques sur le Paléozoïque inférieur du Massif de Mouthoumet (Hautes Corbières, Aude), p. 21.

M. COEN-AUBERT. — Distribution stratigraphique des Rugueux massifs du Givétien et du Frasnien de la Belgique, p. 49.

A. BONTE. — La tranchée du Vert Mont à Réty (Pas-de-Calais). Essai critique sur le Crétacé inférieur du Boulonnais, p. 131.

R. ARDAENS. — A propos de la stratigraphie et de l'hydrogéologie de la vallée de la Bar (Ardennes, France), p. 223.

E. WIGNIOLLE. — Données nouvelles sur la géologie du massif de l'Iti (Grèce continentale), p. 239.

M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.

J.M. DUTUIT. — Maroc et Gondwana, p. 325.

J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Éthiopie, p. 329.

B. BATAIL. — Les Reptiles Thérapsides dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde, p. 343.

Paléontologie

- P. BULTYNCK. — Conodontes de la série de Liévin (Siluro-Dévonien) de l'Artois (Nord de la France), p. 11.
- S. BAUDELLOT et G. BESSIÈRE. — Données palynostratigraphiques sur le Paléozoïque inférieur du Massif de Mouthoumet (Hautes Corbières, Aude), p. 21.
- J. GODEFROID. — Le genre *Paraspirifer* Wedekind, 1926 (Spiriferida-Brachiopode) dans l'Emsien et le Couvinien de la Belgique, p. 27.
- J. JOSEPH et H.H. TSIEN. — *Rugosa* du Couvinien et du Givétien des Pyrénées Béarnaises. Affinités avec les faunes d'Europe occidentale, p. 45.
- M. COEN-AUBERT. — Distribution stratigraphique des Rugueux massifs du Givétien et du Frasnien de la Belgique, p. 49.
- H.H. TSIEN. — L'activité récifale au cours du Dévonien moyen et du Frasnien en Europe occidentale et ses particularités en Belgique, p. 57.
- P. SARTENAER. — Un nouveau genre de Rhynchonellidé de la fin du Frasnien, p. 67.
- M.F. PERRET. — Données récentes de la micropaléontologie dans l'étude du Carbonifère marin des Pyrénées, p. 77.
- R. BOURROUILH et M. LYS. — Sédimentologie et micropaléontologie d'olistostromes et coulées boueuses du Carbonifère des zones internes bético-kabylo-rifaines (Méditerranée occidentale), p. 87.
- M. LYS et P. LÉBOULENGER. — Témoins micropaléontologiques du Carbonifère moyen (Moscovien) de l'île de Rhodes (Grèce), p. 103.
- J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU. — Le groupe paléogène de Kerghana (Afghanistan du SW). Implications paléogéographique et structurale, p. 107.
- A. BLIECK. — A propos d'*Althaspis vimiensis* White (Vertébrés, Agnathes, Hétérostracés) du Dévonien inférieur de Vimy-Fresnoy (France, P.-de-C.). Essai sur la répartition géographique et stratigraphique du genre *Althaspis*, p. 115.
- Y. PLUSQUELLEC and I. TCHUDINOVA. — The microstructure of *Parastriatopora* Sokolov, 1949 (Siluro-Devonian Tabulata), p. 127.
- R. ARDAENS. — A propos de la stratigraphie et de l'hydrogéologie de la vallée de la Bar (Ardennes, France), p. 223.
- J.M. DUTUIT. — Maroc et Gondwana, p. 325.
- Ph. TAQUET. — Niger et Gondwana, p. 337.
- B. BATAIL. — Les Reptiles Thérapsides dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde, p. 343.
- L. BELTAN. — Découverte d'une ichtyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay ; rapports avec les faunes ichtyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana, p. 351.
- L. BELTAN et J.M. DUTUIT. — Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles), p. 357.
- A. BLIECK et D. GOUJET. — A propos de nouveau matériel de Thélodontes (Vertébrés, Agnathes) d'Iran et de Thaïlande : aperçu sur la répartition géographique et stratigraphique des Agnathes des "régions gondwaniennes" au Paléozoïque moyen, p. 363.

- Ph. JANVIER. — Les Vertébrés dévoniens de deux nouveaux gisements du Moyen-Orient et le problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen, vu à la lumière de la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiformes et des premiers Tétrapodes, p. 373.
- Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique du Gondwana, p. 383.
- P. PIERART. — Quelques remarques concernant les mégaspores du Gondwana, p. 405.
- J. MARGUERIER. — Paléoxylogie du Gondwana africain : découverte de bois fossiles à épaississements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache, p. 409.

Tectonique

- J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU. — Le groupe paléogène de Kerghana (Afghanistan du SW). Implications paléogéographique et structurale, p. 107.
- P. DE WEVER. — Mise en évidence d'importants affleurements de roches éruptives à la base de la nappe du Pinde-Olonos, au sein de la "Formation à Blocs" (Péloponnèse, Grèce), p. 123.
- J.P. COLBEAUX, A. BEUGNIES, Ch. DUPUIS, F. ROBASZYNSKI et J. SOMMÉ. — Tectonique de Blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France, p. 191.
- E. WIGNIOLLE. — Données nouvelles sur la géologie du massif de l'Iti (Grèce continentale), p. 239.
- H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana, p. 259.
- J. NOUGIER. — L'Antarctique et le Gondwana, p. 265.
- J. FABRE et A. MOUSSINE-POUCHKINE. — Un héritage panafricain dans le Gondwana ? p. 273.
- M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.
- C. MONTENAT, D. VACHARD et G. TERMIER. — L'Afghanistan et le domaine gondwan ; différenciation paléogéographique au Permo-Carbonifère, p. 287.
- J. BOULIN et E. BOUYX. — Orogenèse hercynienne, bordure gondwaniennne et espace téthysien en Afghanistan, p. 297.
- J. SEGOUFIN, L. LECLAIRE et M. CLOCCHIATTI. — Les structures du canal de Mozambique. Le problème de la ride de Davie, p. 309.
- S. ELMI. — Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb), p. 315.
- J.M. DUTUIT. — Maroc et Gondwana, p. 325.
- J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Ethiopie, p. 329.

Pétrographie et Minéralogie

- B. DUTHOIT, R. HAZEBROUCK et J. PAQUET. — Comportement de craies sous contraintes isotropes (0 à 800 bars), p. 143.
- J.P. HENRY et J. PAQUET. — Rôle de l'environnement sur la forabilité de calcaires viséens du Boulonnais, p. 153.

- J.M. CHARLET. — Le métamorphisme au contact des granitoïdes entre les vallées de l'Esera et de la Noguera Ribagorzana (Pyrénées centrales espagnoles), p. 165.
- L. COUREL, K. SAMRETH, F.K. SEDDOH et P. VETTER. — Biotite altérée transformée en muscovite au cours de la diagenèse. Cas des grès et silts du bassin houiller de Blanzey-Montceau (Saône-et-Loire, France), p. 235.

Sédimentologie

- R. BOURROUILH et M. LYS. — Sédimentologie et micropaléontologie d'olistostromes et coulées boueuses du Carbonifère des zones internes bético-kabylo-rifaines (Méditerranée occidentale), p. 87.
- J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Ethiopie, p. 329.

Géochronologie

- E. ELEWAUT et F. ROBASZINSKI. — Datations par la méthode K/Ar de glauconies crétacées du Nord de la France et de Belgique, p. 179.

Hydrogéologie

- R. ARDAENS. — A propos de la stratigraphie et de l'hydrogéologie de la vallée de la Bar (Ardennes, France), p. 223.

Primaire

- P. BULTYNCK. — Conodontes de la série de Liévin (Siluro-Dévonien) de l'Artois (Nord de la France), p. 11.
- S. BAUDELLOT et G. BESSIÈRE. — Données palynostratigraphiques sur le Paléozoïque inférieur du Massif de Mouthoumet (Hautes Corbières, Aude), p. 21.
- J. GODEFROID. — Le genre *Paraspirifer* Wedekind, 1926 (Spiriferida-Brachiopode) dans l'Emsien et le Couvinien de la Belgique, p. 27.
- J. JOSEPH et H.H. TSIEN. — *Rugosa* du Couvinien et du Givétien des Pyrénées Béarnaises. Affinités avec les faunes d'Europe occidentale, p. 45.
- M. COEN-AUBERT. — Distribution stratigraphique des Rugueux massifs du Givétien et du Frasnien de la Belgique, p. 49.
- H.H. TSIEN. — L'activité récifale au cours du Dévonien moyen et du Frasnien en Europe occidentale et ses particularités en Belgique, p. 57.
- P. SARTENAER. — Un nouveau genre de Rhynchonellidé de la fin du Frasnien, p. 67.
- M.F. PERRET. — Données récentes de la micropaléontologie dans l'étude du Carbonifère marin des Pyrénées, p. 77.
- R. BOURROUILH et M. LYS. — Sédimentologie et micropaléontologie d'olistostromes et coulées boueuses du Carbonifère des zones internes bético-kabylo-rifaines (Méditerranée occidentale), p. 87.

- M. LYS et P. LÉBOULENGER. — Témoins micropaléontologiques du Carbonifère moyen (Moscovien) de l'île de Rhodes (Grèce), p. 103.
- A. BLIECK. — A propos d'*Althaspis vimiensis* White (Vertébrés, Agnathes, Hétérostracés) du Dévonien inférieur de Vimy-Fresnoy (France, P.-de-C.). Essai sur la répartition géographique et stratigraphique du genre *Althaspis*, p. 115.
- Y. PLUSQUELLEC and I. TCHUDINOVA. — The microstructure of *Parastriatopora* Sokolov, 1949 (Siluro-Devonian Tabulata), p. 127.
- J.P. HENRY et J. PAQUET. — Rôle de l'environnement sur la forabilité des calcaires viséens du Boulonnais, p. 153.
- J.M. CHARLET. — Le métamorphisme au contact des granitoïdes entre les vallées de l'Esera et de la Noguera Ribagorzana (Pyrénées centrales espagnoles), p. 165.
- J.P. COLBEAUX, A. BEUGNIES, Ch. DUPUIS, F. ROBASZYNSKI et J. SOMMÉ. — Tectonique de Blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France, p. 191.
- L. COUREL, K. SAMRETH, F.K. SEDDOH et P. VETTER. — Biotite altérée transformée en muscovite au cours de la diagenèse. Cas des grès et silts du bassin houiller de Blanzy-Montceau (Saône-et-Loire, France), p. 235.
- H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana, p. 259.
- M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.
- C. MONTENAT, D. VACHARD et G. TERMIER. — L'Afghanistan et le domaine gondwan ; différenciation paléogéographique au Permo-Carbonifère, p. 287.
- J. BOULIN et E. BOUYX. — Orogenèse hercynienne, bordure gondwaniennne et espace téthysien en Afghanistan, p. 297.
- J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Ethiopie, p. 329.
- Ph. TAQUET. — Niger et Gondwana, p. 337.
- L. BELTAN. — Découverte d'une ichtyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay ; rapports avec les faunes ichtyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana, p. 351.
- L. BELTAN et J.M. DUTUIT. — Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles), p. 357.
- A. BLIECK et D. GOUJET. — A propos de nouveau matériel de Thélodontes (Vertébrés, Agnathes) d'Iran et de Thaïlande : aperçu sur la répartition géographique et stratigraphique des Agnathes des "régions gondwaniennes" au Paléozoïque moyen, p. 363.
- Ph. JANVIER. — Les Vertébrés dévoniens de deux nouveaux gisements du Moyen-Orient et le problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen, vu à la lumière de la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiformes et des premiers Tétrapodes, p. 373.
- Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique du Gondwana, p. 383.
- P. PIERART. — Quelques remarques concernant les mégaspores du Gondwana, p. 405.
- J. MARGUERIER. — Paléoxy!ologie du Gondwana africain : découverte de bois fossiles à épaississements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache, p. 409.

Secondaire

- P. DE WEVER. — Mise en évidence d'importants affleurements de roches éruptives à la base de la nappe du Pinde-Olonos, au sein de la "Formation à Blocs" (Péloponnèse, Grèce), p. 123.
- A. BONTE. — La tranchée du Vert Mont à Réty (Pas-de-Calais). Essai critique sur le Crétacé inférieur du Boulonnais, p. 131.
- B. DUTHOIT, R. HAZEBROUCK et J. PAQUET. — Comportement de craies sous contraintes isotropes (0 à 800 bars), p. 143.
- E. ELEWAUT et F. ROBASZINSKI. — Datations par la méthode K/Ar de glauconies crétacées du Nord de la France et de Belgique, p. 179.
- J.P. COLBEAUX, A. BEUGNIES, Ch. DUPUIS, F. ROBASZYNSKI et J. SOMMÉ. — Tectonique de Blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France, p. 191.
- R. ARDAENS. — A propos de la stratigraphie et de l'hydrogéologie de la vallée de la Bar (Ardennes, France), p. 223.
- E. WIGNIOLLE. — Données nouvelles sur la géologie du massif de l'Iti (Grèce continentale), p. 239.
- H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana, p. 259.
- M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.
- S. ELMI. — Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb), p. 315.
- J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Ethiopie, p. 329.
- Ph. TAQUET. — Niger et Gondwana, p. 337.
- B. BATAIL. — Les Reptiles Thérapsides dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde, p. 343.
- L. BELTAN et J.M. DUTUIT. — Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles), p. 357.
- Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique du Gondwana, p. 383.
- J. MARQUERIER. — Paléoxylologie du Gondwana africain : découverte de bois fossiles à épaississements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache, p. 409.

Tertiaire

- J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU. — Le groupe paléogène de Kerghana (Afghanistan du SW). Implications paléogéographique et structurale, p. 107.
- J.P. COLBEAUX, A. BEUGNIES, Ch. DUPUIS, F. ROBASZYNSKI et J. SOMMÉ. — Tectonique de Blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France, p. 191.
- E. WIGNIOLLE. — Données nouvelles sur la géologie du massif de l'Iti (Grèce continentale), p. 239.
- H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana, p. 259.
- M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.
- Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique du Gondwana, p. 383.

————— « » —————

TABLE DES PLANCHES

- Pl. XXXIX et XL. — Conodontes de la Série de Liévin (Siluro-Dévonien) de l'Artois (note de P. BULTYNCK, p. 20).
- Pl. XLI. — Acritarches du Paléozoïque inférieur du Massif de Mouthoumet (note de S. BAU-DELOT et G. BESSIERE, p. 26).
- Pl. XLII à XLVIII. — *Paraspirifer* de l'Emsien et du Couvinien (note de J. GODEFROID, p. 44).
- Pl. XLIX. — Activité récifale au Dévonien moyen et au Frasnien en Europe occidentale (note de H.H. TSIEN, p. 66).
- Pl. L. — *Pammegetherhynchus* : Rhynchonellidé de la fin du Frasnien (note de P. SARTENAER, p. 76).
- Pl. LI. — Conodontes du Carbonifère des Pyrénées (note de M.F. PERRET, p. 86).
- Pl. LII. — Microfaune du Moscovien de l'île de Rhodes (note de M. LYS et P. LÉBOULENGER, p. 106).
- Pl. LIII. — Associations faunistiques du Paléogène de Kerghana (note de J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU, p. 114).
- Pl. LIV. — *Althaspis vimiensis* : Agnathe du Dévonien inférieur de Vimy-Fresnoy (note de A. BLIECK, p. 122).
- Pl. LV. — Microstructure des planchers et de la muraille chez le genre *Parastriatopora* (note de Y. PLUSQUELLEC et I. TCHUDINOVA, p. 130).
- Pl. LVI. — Ammonites de l'Oxfordien moyen de Sy (note de R. ARDAENS, p. 234).
- Pl. LVII. — Muscovitisation de cristaux altérés de biotite et néogenèse de muscovite (note de L. COUREL, K. SAMRETH, F.K. SEDDOH et P. VETTER, p. 238).
- Pl. LVIII à LX. — Ichtyofaune du Carbonifère supérieur d'Uruguay (note de L. BELTAN, p. 355).
- Pl. LXI. — Thélodontes d'Iran et de Thaïlande (note de A. BLIECK et D. GOUJET, p. 372).
- Pl. LXII. — (Note de J. MARGUERIER, p. 412).

« »

TABLE ALPHABETIQUE DES AUTEURS

- R. ARDAENS. — A propos de la stratigraphie et de l'hydrogéologie de la vallée de la Bar (Ardennes, France), p. 223.
- B. BATAIL. — Les Reptiles Thérapsides dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde, p. 343.
- S. BAUDELLOT et G. BESSIÈRE. — Données palynostratigraphiques sur le Paléozoïque inférieur du Massif de Mouthoumet (Hautes Corbières, Aude), p. 21.
- J. BEAUCHAMP. — Evolution sédimentaire de l'Éthiopie, p. 329.
- L. BELTAN. — Découverte d'une ichtyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay ; rapports avec les faunes ichtyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana, p. 351.
- L. BELTAN et J.M. DUTUIT. — Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles), p. 357.
- G. BESSIÈRE. — Voir S. BAUDELLOT et G. BESSIÈRE, p. 21.
- A. BEUGNIES. — Voir J.P. COLBEAUX et coll., p. 191.
- A. BLIECK. — A propos d'*Althaspis vimiensis* White (Vertébrés, Agnathes, Hétérostracés) du Dévonien inférieur de Vimy-Fresnoy (France, P.-de-C.). Essai sur la répartition géographique et stratigraphique du genre *Althaspis*, p. 115.
- A. BLIECK et D. GOUJET. — A propos de nouveau matériel de Thélodontes (Vertébrés, Agnathes) d'Iran et de Thaïlande : aperçu sur la répartition géographique et stratigraphique des Agnathes des "régions gondwaniennes" au Paléozoïque moyen, p. 363.
- A. BLONDEAU. — Voir J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU, p. 107.
- A. BONTE. — La tranchée du Vert Mont à Réty (Pas-de-Calais). Essai critique sur le Crétacé inférieur du Boulonnais, p. 131.
- J. BOULIN et E. BOUYX. — Orogenèse hercynienne, bordure gondwanienne et espace téthysien en Afghanistan, p. 297.
- R. BOURROUILH et M. LYS. — Sédimentologie et micropaléontologie d'olistostromes et coulées boueuses du Carbonifère des zones internes bético-kabylo-rifaines (Méditerranée occidentale), p. 87.
- E. BOUYX. — Voir J. BOULIN et E. BOUYX, p. 297.
- P. BULTYNCK. — Conodontes de la série de Liévin (Siluro-Dévonien) de l'Artois (Nord de la France), p. 11.
- J.P. CARBONNEL et A. BLONDEAU. — Le groupe paléogène de Kerghana (Afghanistan du SW). Implications paléogéographique et structurale, p. 107.
- J.M. CHARLET. — Le métamorphisme au contact des granitoïdes entre les vallées de l'Esera et de la Noguera Ribagorzana (Pyrénées centrales espagnoles), p. 165.
- M. CLOCCHIATTI. — Voir J. SEGOUFIN et coll., p. 309.

- M. COEN-AUBERT. — Distribution stratigraphique des Rugueux massifs du Givétien et du Frasnien de la Belgique, p. 49.
- J.P. COLBEAUX, A. BEUGNIES, Ch. DUPUIS, F. ROBASZYNSKI et J. SOMMÉ. — Tectonique de Blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France, p. 191.
- M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes ; implications paléogéographiques, p. 279.
- L. COUREL, K. SAMRETH, F.K. SEDDOH et P. VETTER. — Biotite altérée transformée en muscovite au cours de la diagenèse. Cas des grès et silts du bassin houiller de Blanzay-Montceau (Saône-et-Loire, France), p. 235.
- P. DE WEVER. — Mise en évidence d'importants affleurements de roches éruptives à la base de la nappe du Pinde-Olonos, au sein de la "Formation à Blocs" (Péloponnèse, Grèce), p. 123.
- Ch. DUPUIS. — Voir J.P. COLBEAUX et coll., p. 191.
- B. DUTHOIT, R. HAZEBROUCK et J. PAQUET. — Comportement de craies sous contraintes isotropes (0 à 800 bars), p. 143.
- J.M. DUTUIT. — Maroc et Gondwana, p. 325.
- J.M. DUTUIT. — Voir L. BELTAN et J.M. DUTUIT, p. 357.
- E. ELEWAUT et F. ROBASZYNSKI. — Datations par la méthode K/Ar de glauconies crétacées du Nord de la France et de Belgique, p. 179.
- S. ELMI. — Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb), p. 315.
- J. FABRE et A. MOUSSINE-POUCHKINE. — Un héritage panafricain dans le Gondwana ? p. 273.
- J. GODEFROID. — Le genre *Paraspirifer* Wedekind, 1926 (Spiriferida-Brachiopode) dans l'Émsien et le Couvinien de la Belgique, p. 27.
- D. GOUJET. — Voir A. BLIECK et D. GOUJET, p. 363.
- R. HAZEBROUCK. — Voir B. DUTHOIT et coll., p. 143.
- J.P. HENRY et J. PAQUET. — Rôle de l'environnement sur la forabilité de calcaires viséens du Boulonnais, p. 153.
- Ph. JANVIER. — Les Vertébrés dévoniens de deux nouveaux gisements du Moyen-Orient et le problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen, vu à la lumière de la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiformes et des premiers Tétrapodes, p. 373.
- J. JOSEPH et H.H. TSIEN. — *Rugosa* du Couvinien et du Givétien des Pyrénées Béarnaises. Affinités avec les faunes d'Europe occidentale, p. 45.
- P. LÉBOULENGER. — Voir M. LYS et P. LÉBOULENGER, p. 103.
- L. LECLAIRE. — Voir J. SEGOUFIN et coll., p. 309.
- Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique du Gondwana, p. 383.
- M. LYS. — Voir R. BOURROUILH et M. LYS, p. 87.
- M. LYS et P. LÉBOULENGER. — Témoins micropaléontologiques du Carbonifère moyen (Moscovien) de l'île de Rhodes (Grèce), p. 103.

- J. MARGUERIER. — Paléoxylologie du Gondwana africain : découverte de bois fossiles à épaississements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache, p. 409.
- C. MONTENAT, D. VACHARD et G. TERMIER. — L'Afghanistan et le domaine gondwan ; différenciation paléogéographique au Permo-Carbonifère, p. 287.
- A. MOUSSINE-POUCHKINE. — Voir J. FABRE et A. MOUSSINE-POUCHKINE, p. 273.
- J. NOUGIER. — L'Antarctique et le Gondwana, p. 265.
- J. PAQUET. — Voir B. DUTHOIT et coll., p. 143.
- J. PAQUET. — Voir J.P. HENRY et J. PAQUET, p. 153.
- M.F. PERRET. — Données récentes de la micropaléontologie dans l'étude du Carbonifère marin des Pyrénées, p. 77.
- P. PIERART. — Quelques remarques concernant les mégaspores du Gondwana, p. 405.
- Y. PLUSQUELLEC and I. TCHUDINOVA. — The microstructure of *Parastriatopora* Sokolov, 1949 (Siluro-Devonian Tabulata), p. 127.
- F. ROBASZINSKI. — Voir E. ELEWAUT et F. ROBASZINSKI, p. 179.
- F. ROBASZINSKI. — Voir J.P. COLBEAUX et coll., p. 191.
- K. SAMRETH. — Voir L. COUREL et coll., p. 235.
- P. SARTENAER. — Un nouveau genre de Rhynchonellidé de la fin du Frasnien, p. 67.
- F.K. SEDDOH. — Voir L. COUREL et coll., p. 235.
- J. SEGOUFIN, L. LECLAIRE et M. CLOCCHIATTI. — Les structures du canal de Mozambique. Le problème de la ride de Davie, p. 309.
- J. SOMMÉ. — Voir J.P. COLBEAUX et coll., p. 191.
- Ph. TAQUET. — Niger et Gondwana, p. 337.
- I. TCHUDINOVA. — Voir Y. PLUSQUELLEC et I. TCHUDINOVA, p. 127.
- G. TERMIER. — Voir H. TERMIER et G. TERMIER, p. 259.
- G. TERMIER. — Voir Ch. MONTENAT et coll., p. 287.
- H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana, p. 259.
- H.H. TSIEN. — Voir J. JOSEPH et H.H. TSIEN, p. 45.
- H.H. TSIEN. — L'activité récifale au cours du Dévonien moyen et du Frasnien en Europe occidentale et ses particularités en Belgique, p. 57.
- D. VACHARD. — Voir Ch. MONTENAT et coll., p. 287.
- P. VETTER. — Voir L. COUREL et coll., p. 235.
- E. WIGNIOLLE. — Données nouvelles sur la géologie du massif de l'Ili (Grèce continentale), p. 239.

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Liste des fascicules disponibles en vente séparée jusqu'à épuisement du stock (*)

			Le fascicule
Tome IX	(1881-82)	fascicules 1, 2, 4 et 5	36,00 F.
Tome XI	(1883-84)	fascicules 1, 4	48,00 F.
Tome XIII	(1885-86)	fascicules (1-2), 3, 4, 6	36,00 F.
Tome XIV	(1886-87)	fascicules 1, (2-3), 4	48,00 F.
Tome XV	(1887-88)	fascicules 1, 2, (5-6)	48,00 F.
Tome XVI	(1888-89)	fascicules 1, 5, 6	36,00 F.
Tome XVII	(1889-90)	fascicules 4, 5, 6	36,00 F.
Tome XVIII	(1890)	fascicule 3	48,00 F.
Tome XIX	(1891)	fascicules 2, (3-4), (5-6)	48,00 F.
Tome XXII	(1894)	fascicule 3	48,00 F.
Tome XXIII	(1895)	fascicules 1, 4	48,00 F.
Tome XXVI	(1897)	fascicules 1, 2, 4	48,00 F.
Tome XXVII	(1898)	fascicules 3, 4	48,00 F.
Tome XXVIII	(1899)	fascicules 1, 3, 4	48,00 F.
Tome XXIX	(1900)	fascicules 2, 4	48,00 F.
Tome XXX	(1901)	fascicules 1, 2, 3, 5	36,00 F.
Tome XXXI	(1902)	fascicules 1, 3, 4	48,00 F.
Tome XXXII	(1903)	fascicules 1, 2, 4	48,00 F.
Tome XXXIII	(1904)	fascicules 2, 3	48,00 F.
Tome XXXIV	(1905)	fascicules 1, 2, 4	48,00 F.
Tome XXXV	(1906)	fascicule 4	48,00 F.
Tome XXXVI	(1907)	fascicule 4	48,00 F.
Tome XXXVII	(1908)	fascicules 2, 3, 4	48,00 F.
Tome XXXVIII	(1909)	fascicules 2, 3, 4	48,00 F.
Tome XL	(1911)	fascicules 3, 4	48,00 F.
Tome XLI	(1912)	fascicules 1, 2, 4	48,00 F.
Tome XLII	(1913)	fascicules 3, 4	48,00 F.
Tome XLIII	(1914)	fascicules 2, (3-4)	56,00 F.
Tome XLV	(1920)	fascicule 2	48,00 F.
Tome XLIX	(1924)	fascicules 1, 3	56,00 F.
Tome L	(1925)	fascicule 2	86,00 F.
Tome LI	(1926)	fascicules 2, 3, 4	48,00 F.

(*) Les Annales de la Société géologique du Nord sont normalement en vente par tomes entiers (voir tarif couverture). Cependant, un certain nombre de fascicules sont actuellement disponibles et seuls vendus séparément. Selon la décision du Conseil du 11 avril 1974, leur prix varie en fonction de celui du volume complet.

			Le fascicule
			—
Tome LII	(1927)	..... fascicule 1	72,00 F.
Tome LIII	(1928)	..... fascicule 2	48,00 F.
Tome LIX	(1934)	..... fascicules 2, 3	56,00 F.
Tome LX	(1935)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXI	(1936)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXII	(1937)	..... fascicule 1	86,00 F.
Tome LXIII	(1938)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXIV	(1939)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXVI	(1946)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXXVII	(1947)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXXVIII	(1948)	..... fascicules 1, 3	56,00 F.
Tome LXIX	(1949)	..... fascicule 2	86,00 F.
Tome LXXI	(1951)	..... fascicules 2, 3	56,00 F.
Tome LXXIV	(1954)	..... fascicules 1, 3	56,00 F.
Tome LXXV	(1955)	..... fascicules 2, 3	56,00 F.
Tome LXXVI	(1956)	..... fascicules 1, 2	56,00 F.
Tome LXXVIII	(1958)	..... fascicules 2, 3	56,00 F.
Tome LXXIX	(1959)	..... fascicules 1, 2	56,00 F.
Tome LXXX	(1960)	..... fascicules 2, 4	48,00 F.
Tome LXXXI	(1961)	..... fascicules 1, 2	56,00 F.
Tome LXXXII	(1962)	..... fascicules 2, 3, 4	48,00 F.
Tome LXXXIII	(1963)	..... fascicules 2, 3, 4	48,00 F.
Tome LXXXIV	(1964)	..... fascicules 2, 3, 4	48,00 F.
Tome LXXXV	(1965)	..... fascicules 3, 4	48,00 F.
Tome LXXXVI	(1966)	..... fascicules 1, 2, 3	54,00 F.
Tome LXXXVII	(1967)	..... fascicules 1, 2, 3	54,00 F.
Tome LXXXVIII	(1968)	..... fascicules 1, 2, 4	54,00 F.
Tome LXXXIX	(1969)	..... fascicules 1, 2, 4	54,00 F.
Tome XC	(1970)	..... fascicules 2, 3, 4	54,00 F.
Tome XCI	(1971)	..... fascicule 4	54,00 F.
Tome XCII	(1972)	..... fascicules 1, 2, 3	54,00 F.

FASCICULES SPECIAUX

Fascicule « Géologie du Nord de la France » (Tome LXXXIX, fascicule 1)	55,00 F.
Fascicule « Centenaire de la S.G.N. » (Tome XC, fascicule 4)	80,00 F.
Fascicule « Rupture des roches et massifs rocheux » (Tome XCV, fascicule 3)	55,00 F.
Fascicule « Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale » (Tome XCVI, fascicule 4 et Tome XCVII, fascicule 1)	200,00 F.

Étude géologique des Dinarides le long de la structure transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)

par Jean CHOROWICZ

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

PUBLICATION N° 1

331 pages avec nombreuses figures
10 planches photographiques hors-texte
1 carte géologique au 1/200.000

PRIX DE VENTE : **130,00 F.**

au siège de la S.G.N., B.P. 36, 59650 Villeneuve d'Ascq

Cette importante contribution intéresse un secteur des Dinarides externes compris entre l'Adriatique et le Bassin Pannonique du méridien de Split.

Après un aperçu historique bibliographique, la deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à une description stratigraphique très complète accompagnée de profils et tableaux synthétiques.

Le troisième chapitre, consacré à la tectonique, met en évidence le rôle tectonique de la structure transversale et comporte une abondante illustration.

Enfin, la dernière partie du travail retrace l'évolution paléogéographique et replace la ligne structurale Split-Karlovac dans un contexte de tectonique globale permettant de proposer une interprétation originale des rapports entre les éléments du système alpino-carpatho-dinarique.

MEMOIRES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

Tome I :	
Mémoire N° 1. - Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.	280,00 F.
Mémoire N° 2. - P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pensylvanie</i> , 1882, 178 p.	210,00 F.
Mémoire N° 3. - R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.	30,00 F.
Tome II. — Ch. BARROIS, Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice, 1882	épuisé
Tome III. — Ch. BARROIS, Faune du Calcaire d'Erbray, 1889	épuisé
Tome IV :	
Mémoire N° 1. - J. GOSSELET, <i>Etude sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.	75,00 F.
Mémoire N° 2. - L. CAYEUX, <i>Etude micrographique des terrains sédimentaires</i> , 590 p., 10 pl.	épuisé
Tome V. — M. LERICHE, Etude des Poissons fossiles du Nord de la France et régions voisines, 1906 ..	épuisé
Tome VI :	
Mémoire N° 1. - P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.	72,00 F.
Mémoire N° 2. - J. GOSSELET, Ch. BARROIS, M. LERICHE, A. CREPIN, P. PRUVOST, G. DUBOIS, <i>Faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. (Fasc. 1 épuisé). Fasc. 2	280,00 F.
Mémoire N° 3. - V. COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.	130,00 F.
Tome VII :	
Mémoire N° 1. - P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.	85,00 F.
Mémoire N° 2. - A. CARPENTIER, <i>Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France</i> , 1913	épuisé
Tome VIII :	
Mémoire N° 1. - G. DUBOIS, <i>Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France</i> , 1923	épuisé
Mémoire N° 2. - Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria. Observations géologiques et hydrologiques sur le plateau et la falaise au Sud de Boulogne-sur-Mer</i> , 1929, 50 p., 5 pl.	100,00 F.
Tome IX :	
Mémoire N° 1. - G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.	360,00 F.
Mémoire N° 2. - Dom Grégoire FOURNIER et P. PRUVOST, <i>Description des poissons élasmobranchés du marbre noir de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl.	80,00 F.
Tome X :	
Mémoire N° 1 - A. CARPENTIER, <i>La flore wealdienne de Féron-Glageon (Nord)</i> , 1927	épuisé
Mémoire N° 2. - J.W. LAVERDIERE, <i>Contribution à l'étude des terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.	150,00 F.
Tome XI. — A. DUPARQUE, Structure microscopique des charbons du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, 1934	épuisé
Tome XII. — D. LE MAITRE, Etude sur la Faune des Calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis, 1934, 268 p., 18 pl.	280 00 F.
Tome XIII. — P. BRICHE, P. DANZE-CORSIN et J.P. LAVEINE, Flore infraliasique du Boulonnais (Macro- et Microflore), 1963, 145 p., 11 pl.	210,00 F.
Tome XIV. — G. WATERLOT, Les Gigantotrachés du Siluro-Dévonien de Liévin, 1966, 23 p., 5 pl.	70,00 F.

ESQUISSE GEOLOGIQUE DU NORD DE LA FRANCE

par J. GOSSELET

Fascicule I (Terrains primaires), Fascicule II (Terrains secondaires), Fascicule III (Terrains tertiaires)	épuisés
Fascicule IV (Terrains quaternaires)	24,00 F.
<hr/>	
<i>Carte géologique du Département du Nord au 1/320 000°</i> (par J. GOSSELET, M. LERICHE, H. DOUXAMI)	35,00 F.
<hr/>	
<i>Ecorché géologique infra-mésozoïque</i> (extrait de « Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France », présentée par C.F.P. (M.), COPESEP et S.N.P.A.)	35,00 F.

SERIE DOCUMENTATION (Pochettes de 6 Diapositives avec notice)

Série I. — Paysages du Nord de la France au cours des temps géologiques	25,00 F.
Série II. — Aperçu sur les microfaciès de la craie	25,00 F.
Série III. — Les Nannofossiles calcaires de la craie	25,00 F.
Série IV. — Pétrographie des Houilles	25,00 F.
Série V. — La flore houillère. 1° Les plantes à feuilles de Fougères	25,00 F.
Série VI. — Les étapes de la Préhistoire	25,00 F.

Les membres bénéficient d'un réduction de 20 % sur un exemplaire de chacune de ces publications.
Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.

SOMMAIRE

Tome XCVII

4^{me} trimestre

M. WATERLOT. — Avant-propos	255
G. BLANT. — Introduction	257
H. TERMIER et G. TERMIER. — Quelques définitions du Gondwana	259
J. NOUGIER. — L'Antarctique et le Gondwana ou Synthèse de sept années de recherches géologiques en Antarctique à travers le Symposium de Madison (Août 1977).	265
J. FABRE et A. MOUSSINE-POUCHKINE. — Un héritage panafricain dans le Gondwana ?	273
M. COLCHEN. — Les caractères gondwaniens et téthysiens des séries himalayennes. Implications paléogéographiques	279
C. MONTENAT, D. VACHARD et G. TERMIER. — L'Afghanistan et le domaine gondwan. Différenciation paléogéographique au Permo-Carbonifère	287
J. BOULIN et E. BOUYX. — Orogenèse hercynienne, bordure gondwaniennne et espace téthysien en Afghanistan	297
J. SEGOUFIN, L. LECLAIRE et M. CLOCCHIATTI. — Les structures du canal de Mozambique. Le problème de la ride de Davie	309
S. ELMI. — Polarité tectono-sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb)	315
J.M. DUTUIT. — Maroc et Gondwana	325
J. BEAUCHAMP. — L'évolution sédimentaire de l'Ethiopie, du Carbonifère au Crétacé	329
P. TAQUET. — Niger et Gondwana	337
B. BATAIL. — Les Reptiles Thérapside dans la stratigraphie du Trias continental : les faunes d'âge Stormberg en Afrique et leurs équivalents dans le monde	343
L. BELTAN. — Découverte d'une ichthyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay. Rapports avec les faunes ichtyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana	351
L. BELTAN et J.M. DUTUIT. — Apports récents à la Géologie du Gondwana. Récapitulation des affinités gondwaniennes anté-jurassiques de Madagascar (Poissons, Amphibiens, Reptiles)	357
A. BLIECK et D. GOUJET. — A propos de nouveau matériel de Thélodontes (Vertébrés Agnathes) d'Iran et de Thaïlande : aperçu sur la répartition géographique et stratigraphique des Agnathes des « régions gondwaniennes » au Paléozoïque moyen	363
P. JANVIER. — Vertébrés dévoniens de deux nouveaux gisements du Moyen-Orient. Le problème des relations intercontinentales au Paléozoïque moyen vu à la lumière de la paléobiogéographie des Rhipidistiens ostéolépiformes et des premiers Tétrapodes.	373
Y. LEMOIGNE. — Sur l'individualité de la province paléofloristique gondwaniennne	383
P. PIERART. — Quelques remarques concernant les mégaspores du Gondwana	405
J. MARGUERIER. — Paléoxylologie du Gondwana africain. Découverte de bois fossiles à épaissements spiralés dans la flore de la Sakamena malgache	409
G. BLANT. — Conclusions	413