

Cinématique de la collision Gondwana-Laurentina entre la Bretagne et la Floride d'après les données du socle submergé

Autor(en): **Lefort, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **70 (1990)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53597>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Cinématique de la collision Gondwana-Laurentia entre la Bretagne et la Floride d'après les données du socle submergé

par Jean-Pierre Lefort¹

Abstract

The geological and geophysical synthesis of the data collected on the North Atlantic shelves, allows to rebuilt the north Gondwanian margin. Onshore data suggest that previously detached Gondwanian fragments collided with Laurentia well before Gondwana itself, leading to pre-Acadian orogens. The Gondwanian collision was diachronic, it first initiated the Acadian orogeny in the North. The closure of the Theic ocean in the west was responsible for intraplate Hercynian deformations between Spain and Canada and for a post-subduction Alleghanian orogeny between New-England and Florida. The detailed mechanisms associated with this collision, can be understood by the study of the basement of the European, African and American shelves.

Keywords: Gondwana, Laurentia, continental collision, basement, Bretagne, Florida.

Résumé

La synthèse des données géologiques et géophysiques connues sous les marges autour de l'Atlantique nord a permis de reconstituer la limite nord-occidentale du Gondwana. Des arguments pris à terre montrent qu'il s'en est détaché des fragments qui sont entrés en collision avec la Laurentia avant le Gondwana lui-même, créant des orogènes anté-Acadiens. La collision Laurentia-Gondwana a été diachronique, elle a d'abord été à l'origine de l'orogénèse acadienne au nord. La fermeture finale de l'océan Theic à l'ouest, a créé des déformations hercyniennes intraplaques entre l'Espagne et le Canada, et une collision post-subduction alleghanienne, entre la Nouvelle-Angleterre et la Floride. Le détail des mécanismes qui ont accompagnés cette collision ne peut être appréhendé que par l'étude du socle submergé au large de l'Europe, de l'Afrique et de l'Amérique du Nord.

1. Introduction

La constitution de la Pangée est liée à une suite d'accrétions qui se sont déroulées entre 980 Ma et 235 Ma pour ce qui est des phénomènes connus. Ce processus commence à être bien cerné sous les marges qui entourent l'Atlantique Nord actuel. Il semble bien qu'au cours de cette période, et contrairement à ce que l'on connaît de l'époque Archéenne, le principe des cycles de Wilson (ouverture/subduction/collision) ait été la règle. C'est évidemment l'histoire précambrienne qui est la moins bien documentée, même si l'on connaît avec précision la géométrie des cicatrices grenvillienne et cadomiennes (ou Panafricaines) qui s'étendent du Labrador à l'Ecosse, selon

l'axe de la Manche ou du sud de l'Irlande au Pays de Galles (Fig. 1). Pour le Paléozoïque, l'histoire des accrétions continentales successives suit une logique simple; d'une part, on sait que la position de la Laurentia a été pratiquement fixe et proche de l'Equateur pendant tout le Paléozoïque, et d'une autre que le Gondwana a suivi une dérive qui l'a fait passer du pôle Sud au Paléozoïque inférieur à l'Equateur au Dévono-Carbonifère. Toute l'histoire des chaînes paléozoïques qui entourent l'Atlantique Nord résulte de fait, soit de la fragmentation du bord nord du Gondwana qui a vu des fragments de socle de taille variable (telles les plaques Armorica, Carolina, Sénégalia ou Iberia) se détacher de l'aire Gondwanienne pour entrer en collision avec la

¹ Laboratoire de Tectonophysique, Institut de Géologie, Campus de Rennes-Beaulieu, F-35042 Rennes, Cédex France.

Laurentia (ZIEGLER, 1988), soit de la collision principale entre Gondwana et Laurussia (LEFORT, 1989). L'objet de cette revue est de montrer comment s'est faite la remontée du Gondwana vers le nord, et de souligner les phénomènes tectoniques qui ont accompagnés la collision majeure entre le Dévonien supérieur au Carbonifère supérieur.

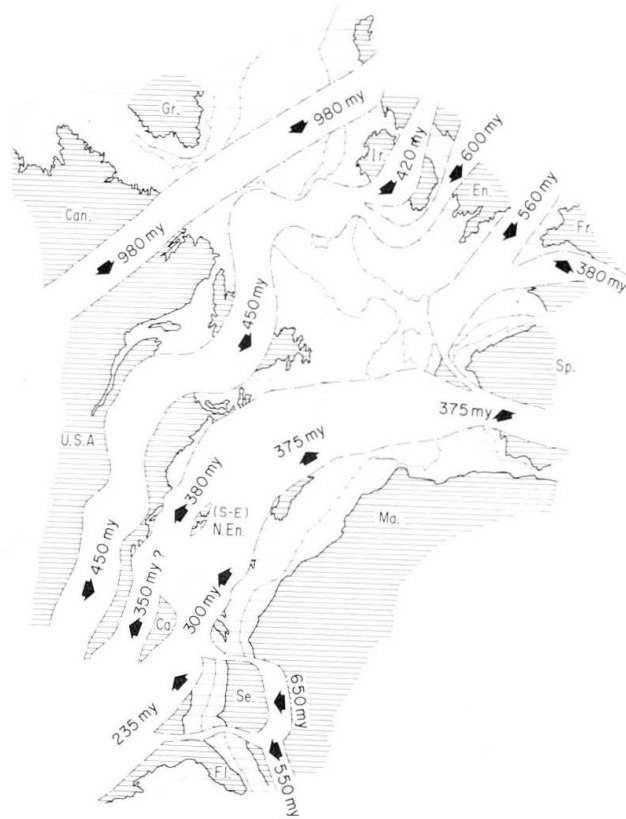


Fig. 1 Les accrétions continentales successives d'âge Protérozoïque et Paléozoïque dans le Domaine Nord-Atlantique.

(La largeur des zones océaniques n'est pas proportionnelle à leurs étendues réelles.)

Ca: microplaques des Carolines; Can: Canada; En: Angleterre; Fl: Floride; Fr: France; Gr: Groenland; Ir: Irlande; Ma: Maroc; N.En: Nouvelle-Angleterre; Sp: Espagne; Se: microplaque sénégalaise; U.S.A.: Etats-Unis d'Amérique.

Les flèches indiquent les sens possibles des subductions, les chiffres, l'âge possible des fermetures océaniques.

On ne reprendra pas ici la littérature consacrée aux déplacements des plaques paléozoïques à l'échelle globale, d'une part parce que la limite nord-ouest du Gondwana, frontière qui nous intéresse ici, n'y est jamais correctement localisée, parce que le socle submergé des marges atlantiques n'y est pas décrit et que ces publications ne se sont pas non plus attachées à traiter la cinématique fine de la collision.

2. La limite nord-occidentale du Gondwana au Paléozoïque

Cette limite, presque entièrement cachée sous les marges ou sous les bassins côtiers, a été établie avec précision grâce au magnétisme, à la gravimétrie et parfois à la sismique réflexion profonde. Le premier segment à avoir été reconnu se situe entre la zone sud portugaise et la région du Cap Cod (situé au sud de Boston) (LEFORT, 1983), il correspond à une énorme anomalie magnétique positive: la «collector anomaly» qui est plus particulièrement développée au Sud du Grand Banc de Terre-Neuve. L'origine du matériel responsable de cette anomalie a été retrouvé à Aracena en Espagne, à Béja au Portugal, dans les Antigonish Highlands en Nouvelle Ecosse, le long de la côte du Maine et au nord de Boston. Il s'agit de matériel d'arc volcanique, de fragments ophiolitoïdes ou de restes de bassins arrière-arcs; de fait, il s'agit des différents témoins d'un édifice de subduction, télescopés les uns contre les autres et réunis dans une bande étroite. Tout ce matériel est d'âge Siluro-Dévonien (Fig. 2).

Le deuxième segment qui se situe entre le Cap Cod et le Nord de la Floride est entièrement caché sous les sédiments de la plaine côtière américaine, il possède les mêmes caractéristiques géophysiques que le segment septentrional, bien que là, la suture soit généralement cryptique. On constate aussi, la zone de la Baie de Chesapeake faisant peut être exception, que le matériel basique associé à la suture a souvent été éjecté lors de la collision et qu'il repose aujourd'hui en position allochtone, parfois à plusieurs dizaines de kilomètres de la cicatrice initiale (LEFORT et al., 1988), sur les sédiments de l'ancienne marge active. Trois profils de sismique réflexion profonde ont recoupé ces édifices, l'un en Baie du Maine (HUTCHINSON et al., 1987), le suivant au sud de la Nouvelle Angleterre (HUTCHINSON et al., 1985) et le dernier dans la Baie de Chesapeake (PRATT et al., 1987); ils suggèrent que la subduction était orientée vers l'ouest, confirmant ainsi la vergence proposée pour la zone Sud portugaise (RIBEIRO et al., 1983). La suture est bordée dans sa partie Nord par des déformations d'âge acadien. Une irrégularité majeure dans le dessin de la cicatrice nord Gondwanienne a été observée sous les sédiments en Baie de Chesapeake (LEFORT, 1984), celle-ci sera discutée plus loin.

L'extension de cette limite vers l'ouest, montre que le système de convergence que l'on peut reconstituer entre la Floride et le Nord du Texas, était caractérisé par une forte composante transcurrent (HORTON et al., 1984), ce mécanisme ne sera pas abordé ici. Le prolongement de la suture

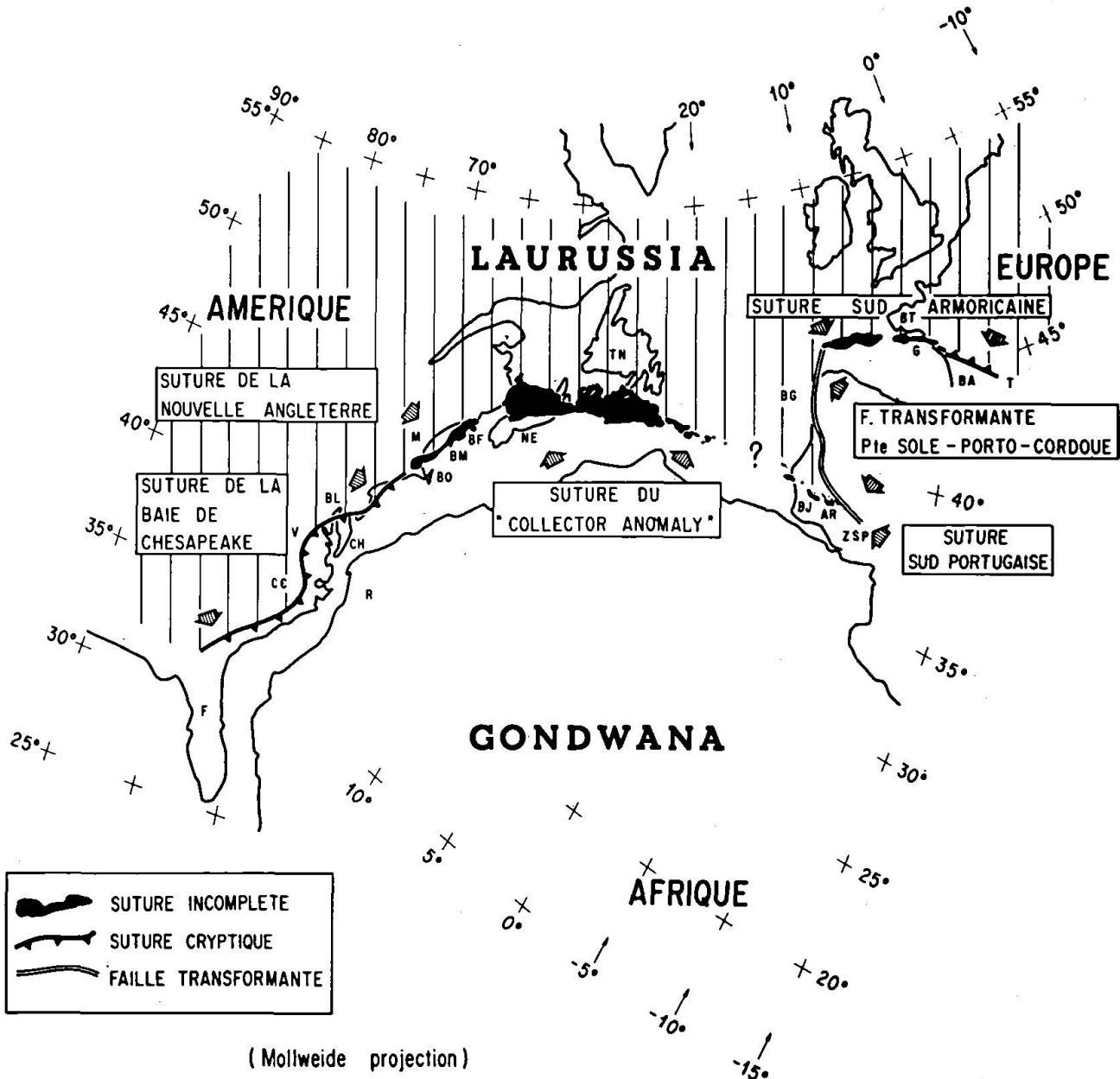


Fig. 2 La limite nord-ouest du continent Gondwanien;

Ar: Aracena; BA: Bassin d'Aquitaine; BF: Baie de Fundy; BG: Banc de Galice; BJ: Beja; BL: Baltimore; BM: Baie du Maine; BO: Boston; BT: Bretagne; CC: Carolines; CH: Baie de Chesapeake; F: Floride; G: Groix; M: Maine; NE: Nouvelle-Ecosse; R: dorsale Reguibat; TN: Terre Neuve; V: Virginie; ZSP: Zone Sud Portugaise.

nord gondwanienne vers l'Est pose de nombreux problèmes, et ceci principalement parce que l'on manque d'informations sous les Cordillères bétiques; de telle façon qu'on ne sait si l'océan Theic qui est à l'origine du matériel basique cartographié en profondeur, s'étendait au sud de la péninsule ibérique ou était relié à l'océan sud-armoricain par une faille transformante majeure, la faille Porto-Badajoz-Cordoue (LEFORT et RIBEIRO, 1980).

3. Les limites de la plaque ibérique au Paléozoïque

Deux solutions ont été proposées pour limiter cette plaque vers le nord. La première, défendue par MATTE et BURG (1981) considère que cette cicatrice suit plus ou moins la zone broyée sud-armoricaine, le long de laquelle des roches basiques et des éclogites (zone de Champtoceaux) ont été trouvées. Toutefois la continuité entre

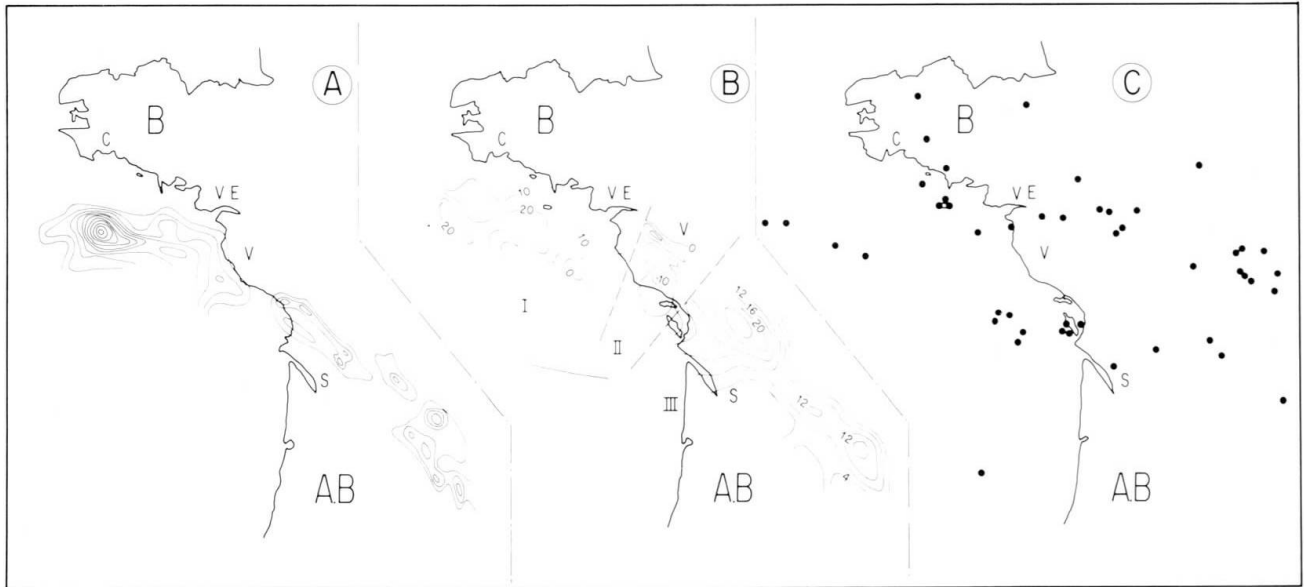


Fig. 3 Les marqueurs géophysiques de la suture sud-armoricaine.

A: Magnétisme; B: Gravimétrie (I: Air libre; II: Bouguer; III: Anomalies de basse fréquence); C: Seismologie.
 AB: Bassin d'Aquitaine; B: Bretagne; C: Concarneau; S: Saintes; V: Vendée; VE: Estuaire de la Vilaine.

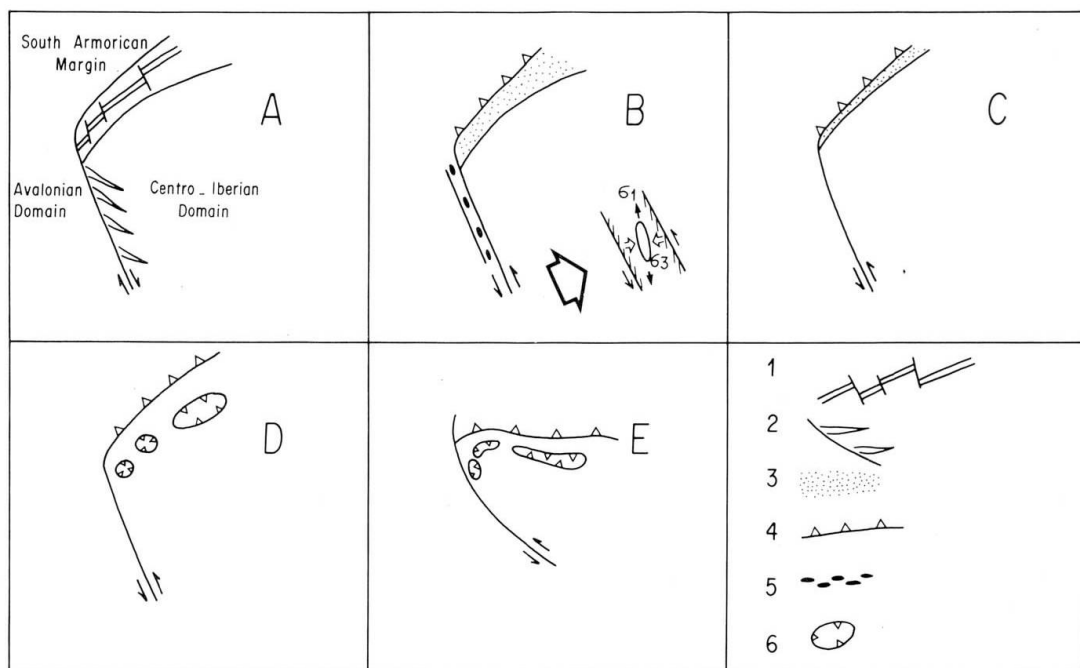


Fig. 4 Evolution de l'Océan sud-armoricain et de la faille Porto-Badajoz-Cordoue au Paléozoïque.

A – Ordovicien Moyen – ouverture de l'Océan sud-armoricain et début des mouvements dextres le long de la faille PBC.

B – Ordovicien supérieur – Intrusions peralcalines le long de PBC, début des mouvements sinistres et début de fermeture de l'Océan sud-armoricain.

C – Silurien – Jeux sinistres le long de PBC et fermeture de l'Océan.

D – Dévonien – Collision ligérienne au sud du Massif armoricain (orogénèse Acadienne), et formation de klippes de matériel océanique au nord de l'Espagne.

E – Carbonifère – Serrage de la suture armoricaine et déformation des klippes de matériel océanique.

1 – rift; 2 – plis d'entraînement d'âge Sarde; 3 – Domaine océanique; 4 – Zone de subduction; 5 – Matériel peralcalin; 6 – klippes.

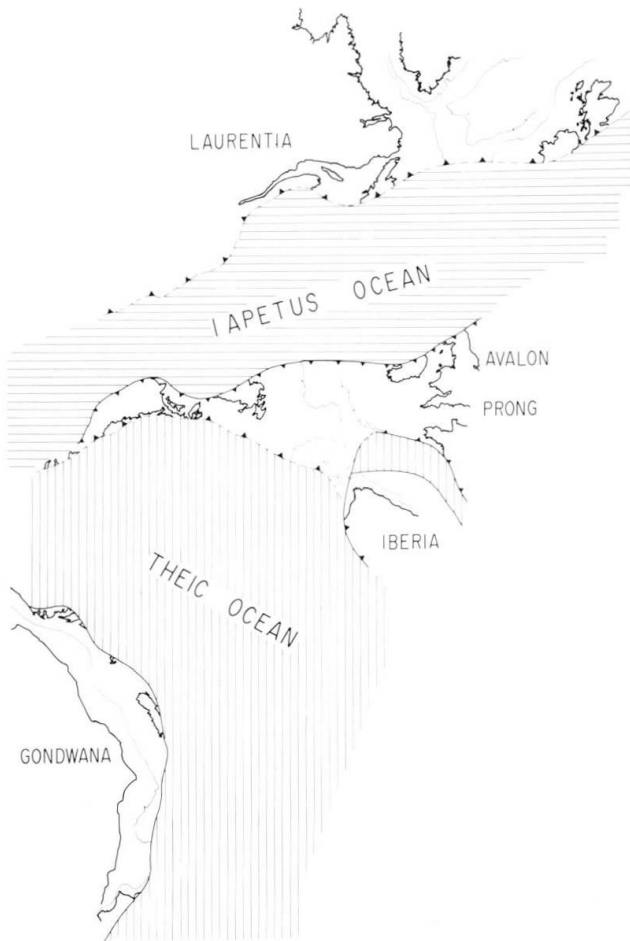


Fig. 5 Disposition approximative des continents Laurentien, Gondwanien et des microplaques intermédiaires au Silurien.

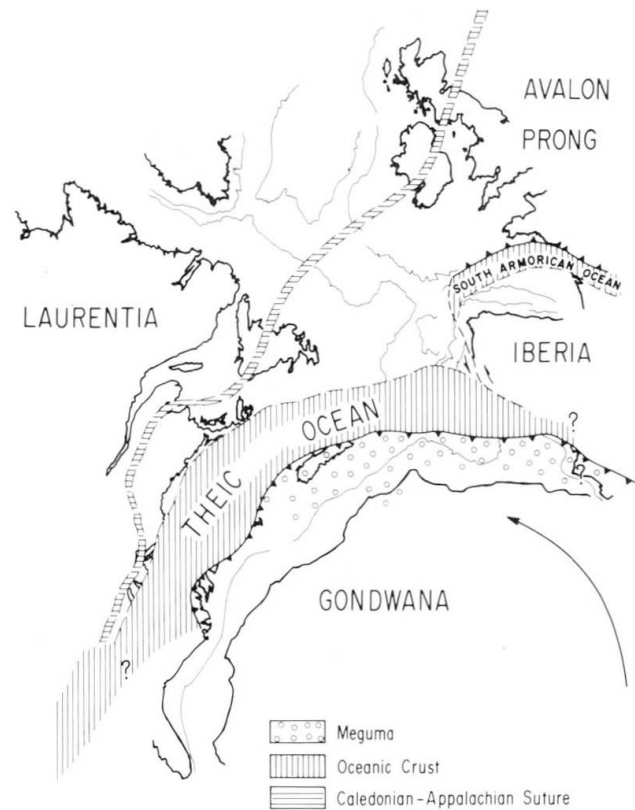


Fig. 6 Disposition approximative des continents Laurentien, Gondwanien et des microplaques intermédiaires au Dévonien moyen (?).

ces affleurements n'est pas nette du point de vue géophysique, c'est pourquoi on a parfois considéré que ces affleurements témoignaient de la fermeture de bassins arrière-arcs d'âge Eo-Hercynien et non de la suture principale (LEFORT et DE POULPIQUET, 1989); celle-ci pourrait en réalité être située à 60 kilomètres au sud de la côte armoricaine, puis entrer à terre sous le bassin d'Aquitaine (LEFORT, 1979). Là, une ceinture continue d'anomalies magnétiques, gravimétriques et un alignement d'épicentres (Fig. 3) montrent l'existence d'une discontinuité crustale majeure, cicatrisée par des roches basiques, inclinée de 70° vers le nord et descendant jusqu'à 25 kilomètres de profondeur (DE POULPIQUET et LEFORT, 1989). Le fort enracinement du matériel responsable des anomalies, exclu que l'on considère celles-ci comme témoignant du front d'une nappe de roches basiques enracinées au niveau de la bande eclogitique connue à terre. Le sens du pendage déduit de la modélisation géophysique est en tous cas compatible avec les arguments géologiques et géochimiques qui suggèrent

que la subduction sud-armoricaine était orientée du sud vers le nord (AUTRAN et COGNÉ, 1980).

De nombreux auteurs s'accordent maintenant à limiter vers l'ouest la plaque ibérique paléozoïque, le long de l'accident Porto-Badajoz-Cordoue (LEFORT et RIBEIRO, 1980; BRUN et BURG, 1982). Il s'agit là, d'une discontinuité majeure qui, à terre, se manifeste en surface par une bande de mylonites parfois large de 5 kilomètres, dérivées de matériaux précambriens et d'intrusions péralkalines d'âge Ordovicien supérieur (LEFORT et RIBEIRO, 1980). L'importance de cet accident est confirmé par le fort gradient gravimétrique qu'elle induit, et par la limite qu'elle représente pour les domaines fauniques (PARIS et ROBARDET, 1977).

Connaissant l'évolution de l'océan sud-armoricain (quel que soit sa localisation réelle) et celle de la faille Porto-Badajoz-Cordoue, il a été possible de proposer un schéma évolutif pour l'ensemble du système ibéro-armoricain; cette reconstitution (LEFORT et RIBEIRO, 1980) implique que la faille Porto-Badajoz-Cordoue représente au-

jourd'hui une faille transformante fossile. Les différentes phases de cette évolution ont été résumées sur la figure 4.

On note principalement que la faille Porto-Badajoz-Cordoue jouait de façon dextre lors de l'ouverture de l'océan sud-armoricain, et qu'elle se comportait comme un accident senestre, lors de sa fermeture.

4. La fermeture de l'Océan Theic au nord-ouest du Gondwana

Cette fermeture est probablement à l'origine de l'orogénèse Acadienne (ZIEGLER, 1982; LEFORT, 1983; VAN DER VOO, 1987).

La figure 5 montre la disposition approximative des continents Laurentien et Gondwanien aux environs du Silurien. On suppose qu'à cette époque, l'Océan Iapetus était encore en partie ouvert (SCOTSE, 1984) et que la dérive de la plaque armoricaine (PERROUD et al., 1984) (encore appelée éperon Avalonien, LEFORT, 1983), suite à sa rupture avec le Gondwana aux environs de l'Ordovicien moyen (NOBLET et LEFORT, 1989), a donné naissance à l'Océan Theic (McKerrow et ZIEGLER, 1972). La plaque armoricaine elle-même possédait semble-t-il une microplaque satellite, la plaque ibérique, séparée d'Armorica par l'Océan sud-armoricain (LEFORT, 1979). Nous n'avons pour cette époque, aucun critère

permettant de deviner la largeur des zones océaniques, ni d'apprécier le lieu des pôles de rotation des plaques lithosphériques.

La figure 6 représente la situation possible des plaques Laurentienne et Gondwanienne, de l'Ibérie et de l'éperon avalonien, un peu avant le Dévonien moyen. A cette époque le Iapetus était fermé (BRIDEN et al., 1988) et la quantité de croûte océanique bordant le Nord-Ouest du Gondwana était faible ou nulle.

Deux critères permettent de montrer, mis à part les critères paléomagnétiques de rotation qui ne sont pas irréfutables pour cette époque, que le Gondwana décrivait un mouvement antihoraire lors de sa remontée vers le nord. Le premier critère, qui ne peut être observé que sur la marge Est canadienne, est certainement le meilleur.

Il s'agit de la virgation opposée que l'on note entre les marqueurs magnétiques et gravimétriques d'âge précambrien, qui affectent le grand Banc de Terre-Neuve (HAWORTH et LEFORT, 1979) et les bandes de pyrrhotite qui caractérisent les terrains de faciès meguma de Nouvelle-Ecosse; ces torsions symétriques montrent que la bordure sud du Grand Banc de Terre-Neuve s'est comportée comme une marge transformante dextre au début de la collision entre Gondwana et Laurussia (LEFORT, 1983) (Fig. 7).

Par ailleurs le développement des rifts et des grabens dévono-dinantiens montrant une géomé-

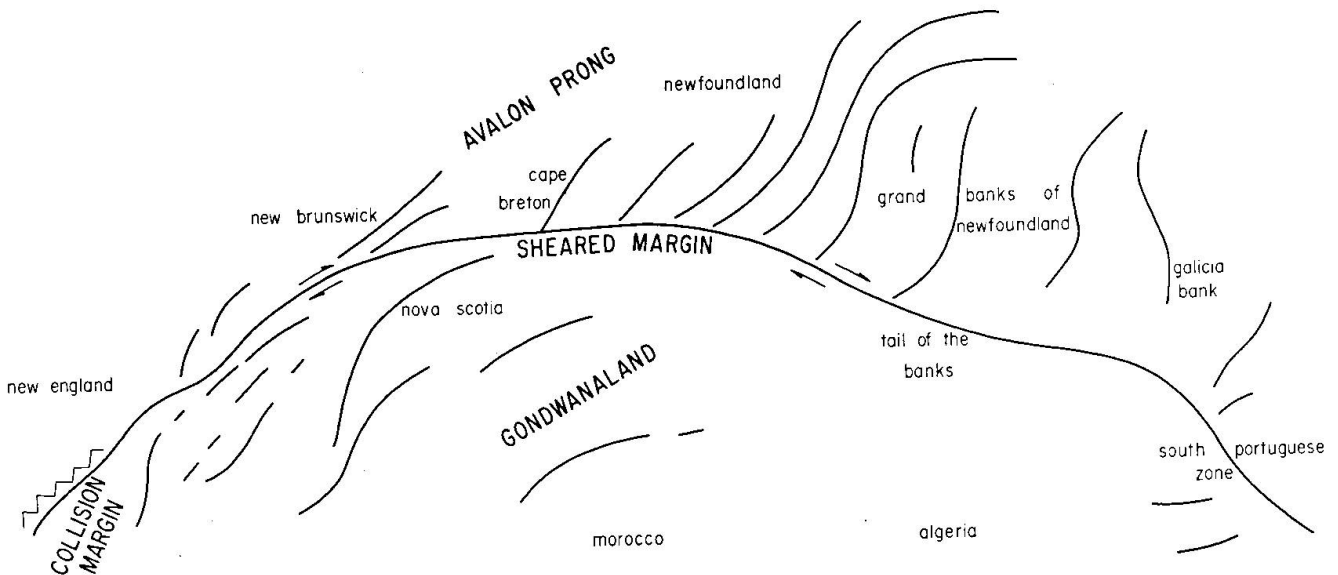


Fig. 7 Schéma de la torsion des marqueurs magnétiques et gravimétriques situés de part et d'autre de la suture nord-ouest du Gondwana. Les marqueurs situés au nord de la marge transformante paléozoïque de Terre-Neuve correspondent à des ceintures basiques d'âge hadrynien (Précambrien supérieur); ceux qui sont situés au sud caractérisent les terrains de faciès Meguma (d'âge Cambro-Ordovicien).

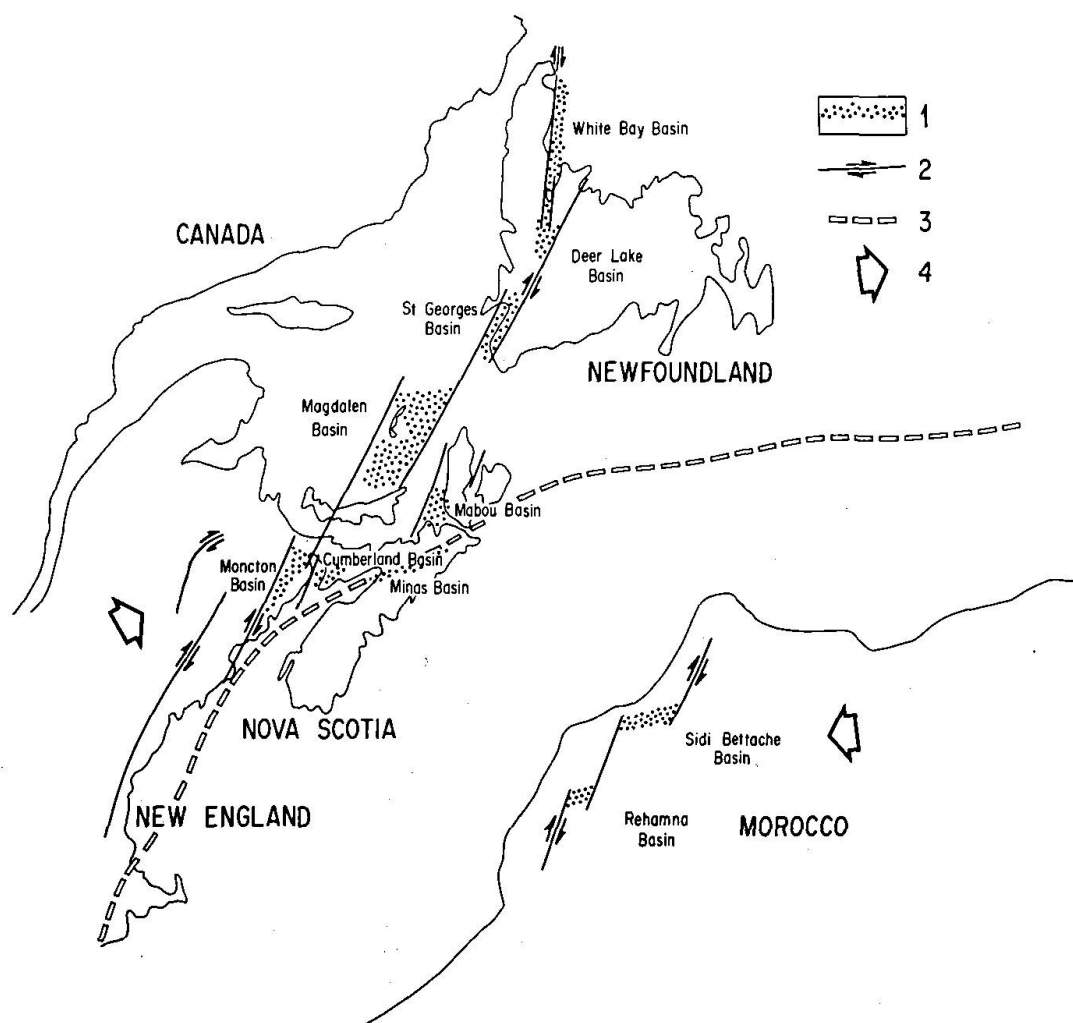


Fig. 8 Développement des bassins dévono-dinantiens en «pull-apart» de part et d'autre de la suture du Gondwana. 1 – Bassins; 2 – Failles transcurrantes; 3 – Limite de plaques; 4 – Direction de raccourcissement.

trie de «pull-apart basin» le long de failles orientées de N 40° à N 50°, de part et d'autre de la suture du Theic (tels les bassins de Sidi Bettache et des Rehamnas au Maroc [PIQUÉ, 1981] ou ceux de White Bay, de Deer Lake, de St Georges, de Magdalen, de Mabou, de Moncton, de Cumberland et de Minas au Canada [BRADLEY, 1982]) (Fig. 8), ainsi que les jeux dextres prouvés le long de ces failles, montrent qu'à cette époque l'ensemble de la région était soumise à des contraintes globales dextrogyres, et donc la rotation antihoraire du Gondwana. Le point essentiel est cependant que la création des structures associées aux compressions obliques du Nord du Gondwana, n'était accompagnée par aucune déformation majeure dans le sud des Appalaches. La collision gondwanienne est de fait franchement diachronique, et tandis que la marge de Terre-Neuve se comportait comme une marge transformante, les marges de Virginie et de Floride Occidentale

étaient probablement encore bordées par de la croûte océanique (HATCHER, 1988).

Les zones à déformation «Taconique et acadienne» localisée, situées au sud de la Nouvelle Angleterre et au niveau des Carolines sont certes elles aussi liées à des phénomènes de collision, mais il ne s'agit pas là encore du résultat de la rencontre avec le Gondwana mais de l'impact de micro-plaques détachées de celui-ci (HORTON et al., 1989; LEFORT, 1989).

5. La fermeture de l'Océan Theic à l'Ouest du Gondwana et ses conséquences plus au Nord

La fermeture de l'Océan Theic entre le Maroc et la Guinée s'est accompagnée de phénomènes de déformations intraplaques dans les régions nord, là où la collision était déjà achevée; c'est à ces

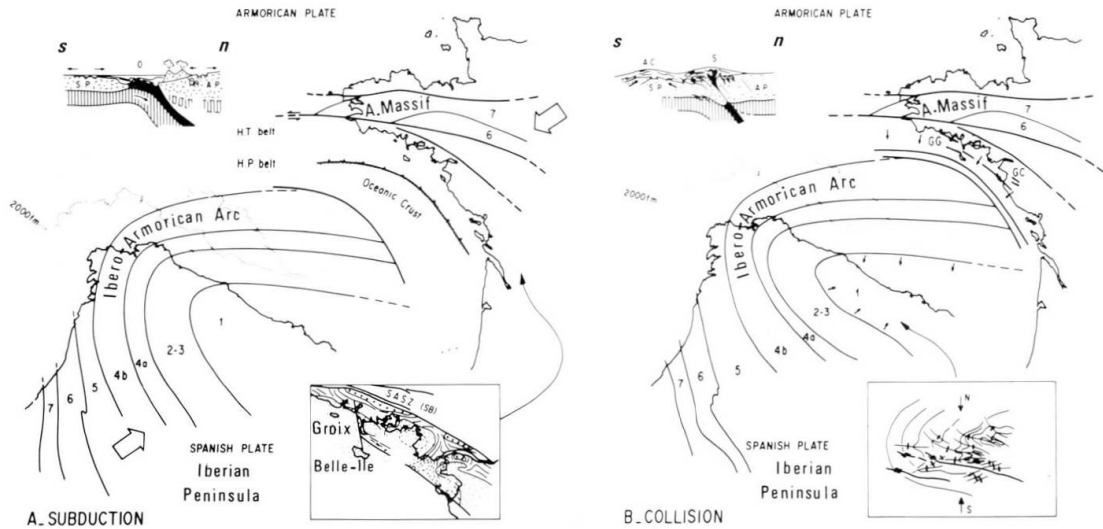


Fig. 9 Le serrage de l'arc ibéro-armoricain.

A – Géométrie approximative de l'arc avant la collision sud-armoricaine (Ligérienne). La vignette montre les déformations liées à la montée des diapirs anatectiques.

B – Serrage de l'arc entre la Bretagne et le Gondwana. La vignette indique le détail de la déformation dans la couverture des Asturies.

déformations intraplaques postérieures aux déformations acadiennes (d'âge Dévonien moyen) connues au Sud de l'Espagne (CHACON et al., 1983) et aux déformations Eo-hercyniennes (d'âge Dévonien moyen à supérieur) connues au Sud de la Bretagne (AUTRAN et COGNÉ, 1980), qu'est liée toute la tectonique carbonifère d'Europe. Les phénomènes les plus importants sont la formation de nappes à vergence sud dans la partie méridionale de la Bretagne; celles-ci décoiffent localement la suture sud-armoricaine (LEFORT et de POULPIQUET, 1989) ainsi qu'on peut l'observer en mer sur le profil sismique ECORS-Gascogne. Le profil ECORS-Nord de la France (CAZES et al., 1988) montre entre le Bassin Parisien et les Ardennes, un déversement opposé qui prouve la réalité de la symétrie de la chaîne hercynienne en France (MATTE et HIRN, 1988).

En Espagne, le régime de déformation est alors tout autre, notamment à cause de l'organisation des structures de son bâti protérozoïque supérieur préexistant. On a en effet pu montrer que l'arc ibéro-armoricain n'était pas primaire mais secondaire; cette structure arquée s'emboîte en effet dans l'arc Hadrymien du Grand Banc de Terre-Neuve, qui, non remobilisé par la suite a gardé sa géométrie précambrienne primitive (LEFORT et HAWORTH, 1979). Ceci a aussi été démontré par le paléomagnétisme (PERROUD, 1980).

L'effet de la tectonique hercynienne se résume donc à un serrage et à un flambage de l'arc ibérique initial entre les blocs Gondwanien et Armoricain (Fig. 9).

La fermeture de la partie résiduelle de l'Océan Theic entre l'Afrique de l'Ouest et le Sud des Appalaches résulte d'une subduction qui plongeait probablement vers l'ouest (SINHA and ZIETZ, 1982; SECOR et al., 1986). La collision avec le Gondwana est à l'origine de nappes de flèche importante (la thin skin tectonics) orientées vers l'ouest (HATCHER, 1972). Le développement de nappes antithétiques par rapport à la subduction supposée, que l'on voit nettement en sismique sous le Piedmont (PRATT et al., 1987; LEFORT et MAX, 1990) s'explique par la réutilisation des structures tectoniques qui étaient déjà à vergence ouest (HATCHER, 1972). Il en est de même en Mauritanie (LECORCHÉ et al., 1983) où la collision gondwanienne est à l'origine de la réutilisation des nappes panafricaines orientées vers l'Est.

La forte irrégularité de la géométrie de la suture déjà évoquée sous la plaine côtière américaine, est liée à un phénomène de poinçonnement. On a pu en effet montrer que le bouclier archéen de la dorsale Reguibat était à l'origine d'une importante avancée de socle africain dans l'Océan Theic; lors de la collision avec la Laurentia cette avancée continentale a embouti les structures tectoniques initiales et déformé le bord de la plaque Laurentienne (LEFORT, 1984), c'est la raison pour laquelle les structures appalachiennes ont une organisation en croissant en Baie de Chesapeake (Fig. 10). Toutes ces déformations se sont développées du Carbonifère moyen au Carbonifère supérieur (et localement jusqu'au Permien inférieur).

La différence essentielle entre la bordure Nord et Ouest du Gondwana réside donc dans le fait que les déformations hercyniennes localisées au Nord, et contemporaines de la structuration Alleghanienne située à l'Ouest, sont liées ici à un régime de déformation intraplaque et là à une collision qui faisait suite à une subduction.

6. Le stade des déformations intraplaques généralisées

La figure 11 montre le stade ultime de la collision gondwanienne. Elle montre qu'il y a continuité parfaite entre les zones à structuration Acadienne (localisée au Sud de la Bretagne, puis entre la

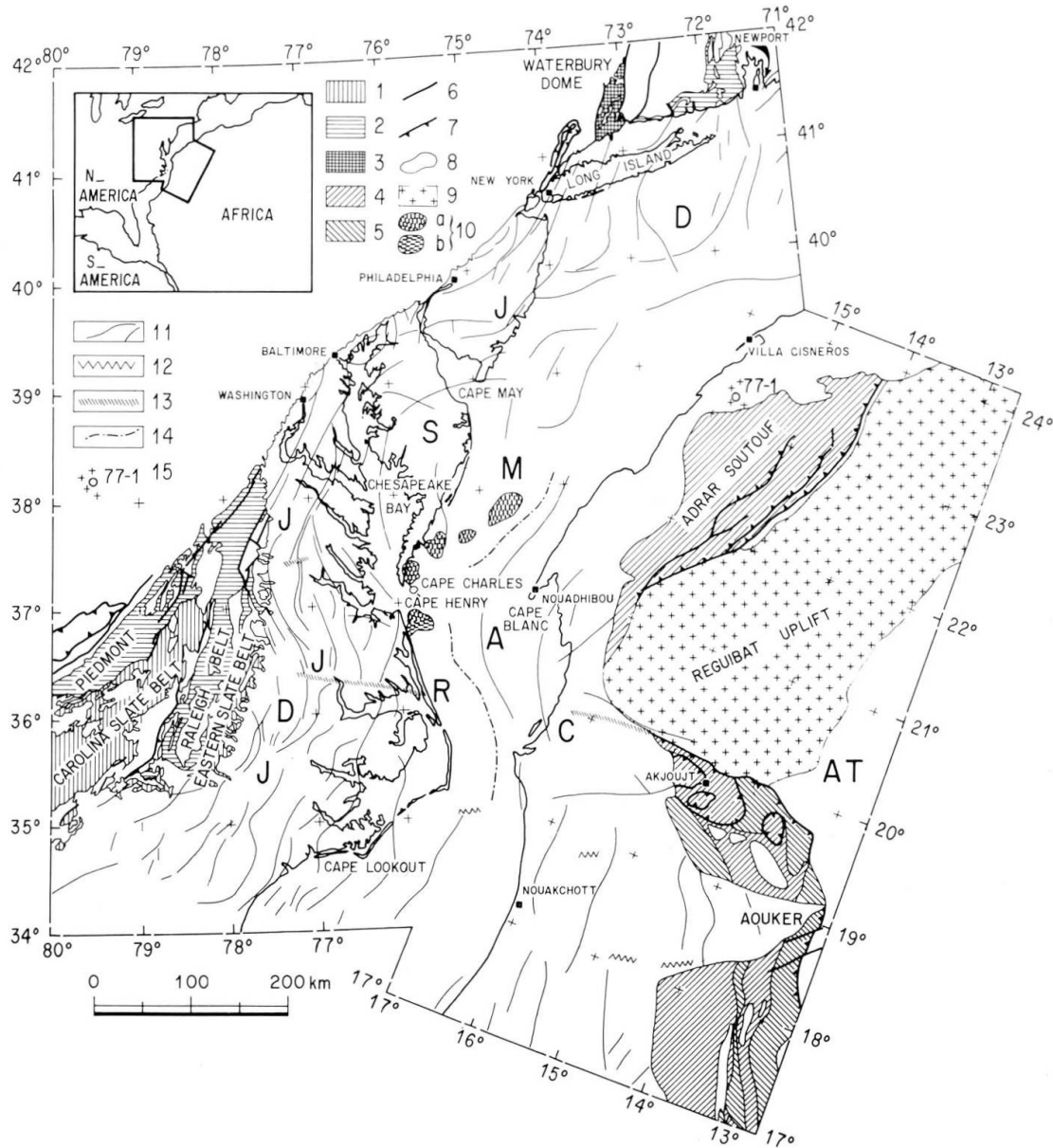


Fig. 10 Géométrie du poinçonnement des Appalaches par la dorsale Reguibat.

1: Arc volcanique et roches associées; 2: Terrains métamorphisés dans l'amphibolite faciès; 3: Suite volcanique tholéitique ou calco-alcaline; 4: Zone interne des Mauritanides; 5: Zone externe des Mauritanides; 6: Failles; 7: Chevauchements; 8: Granites; 9: Dorsale Reguibat; 10a: Intrusions localisées reconnues par magnétisme; 10b: Intrusions localisées reconnues par gravimétrie; 11: Anomalies gravimétriques positives; 12: anomalies gravimétriques négatives; 13: Discontinuités gravimétriques; 14: Anomalies magnétiques positives; 15: Anomalies magnétiques négatives; 16: Discontinuités magnétiques; 17: Limite possible entre croûte océanique et croûte continentale; 18: Socle atteint par forage.

A: Banc d'Arguin (croûte continentale africaine); AT: zone de nappes carbonifères; C: Fracture transversale sur la plaque africaine; D: Virgation des structures appalachiennes; I: Intrusions basiques; M: Zone d'intrusions circulaires; R: Fracture transversale sur la plaque américaine; S: Zone où du socle africain d'âge archéen semble exister sur la plaque américaine.

région Sud-Portugaise et la région de Boston aux USA) et les zones à structuration proprement Alleghanienne (ou hercynienne tardive). Cette corrélation, clairement établie au niveau de la marge sud-armoricaine et au sud du Grand Banc de Terre-Neuve (LEFORT, 1983), se fait selon des ceintures orogéniques beaucoup plus étroites que celles proposées par ZIEGLER (1988). Le poinçonnement de la dorsale de Reguibat sous la baie de Chesapeake, a certes déformé les contours de la suture de l'Océan Theic, mais peut être aussi ceux de la suture du Iapetus située un peu plus à l'Ouest. Un nouveau profil de sismique réflexion profonde enregistré à l'Ouest de la Virginie (PRATT et al., 1987) peut même être interprété comme montrant une coalescence entre les deux sutures (LEFORT, 1989).

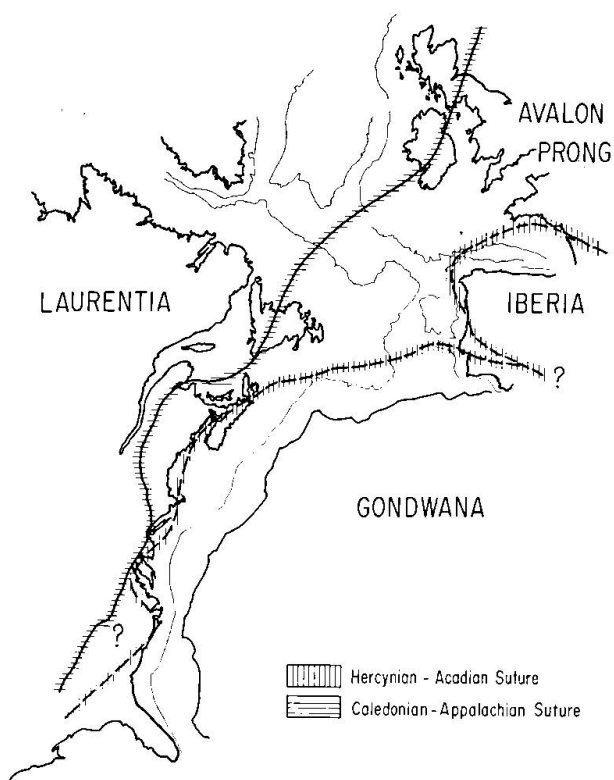


Fig. 11 Stade final de la collision gondwanienne
Hachures verticales: Suture acado-hercynienne
Hachures horizontales: Suture calédono-appalachienne

Après la fermeture de l'Océan Theic entre la zone sud Portugaise et la Floride, les déformations intraplaques on pu se propager dans l'ensemble du domaine Gondwano-Laurentien. Le domaine ainsi affecté, dépassant largement la bordure du Gondwana (et donc les marges de l'Atlantique Nord) nous incorporerons dans notre étude de larges zones émergées. Le fait le plus remarquable concerne le poinçonnement de grande envergure développé par le craton Ouest-

Africain, face à la Laurentia et à la plaque Armorica.

Contrairement à ce que l'on connaît aujourd'hui du poinçonnement entre l'Inde et l'Asie où c'est le bord du continent indien qui a joué le rôle de poinçon (TAPPONNIER et al., 1982), ce n'est pas le bord du Gondwana qui a embouti l'ensemble Américano-Européen, mais la première structure rigide existant à l'intérieur de ce continent: le craton Ouest-Africain (LEFORT et VAN DER VOO, 1981). Ceci peut être montré par la localisation des chaînes paléozoïques de l'Ougarta, de l'Anti-Atlas et des Mauritanides (Fig. 12), mais aussi par les jeux transcurrents symétriques le long de la chaîne Sud Atlasi-que (SASZ, Fig. 12) et de la faille de Zemmours (ZF, Fig. 12). A plus petite échelle ce phénomène de poinçon est plus complexe, puisqu'à la même époque se développaient des cisaillements dextres, à la fois dans l'ancienne plaque Armorica (GAPAIS et LE CORRE, 1989) et dans la Laurentia (GATES et al., 1986). Ceci montre que le phénomène de poinçon que l'on a enregistré au niveau africain, se développait en réalité à l'intérieur d'un bâti qui était affecté par un régime de rotation anti-horaire; le Gondwana, bien qu'alors réuni à la Laurentia et à l'Europe continuait de subir la rotation décrite antérieurement. Il s'agit là du premier cas de poinçon tournant clairement mis en évidence. Ce poinçonnement et cette rotation tardive sont à l'origine de que l'on appelle les mouvements tardi-hercyniens en Europe.

7. L'inversion de la rotation du Gondwana au Permien

Aux environs du milieu Permien la rotation anti-horaire du Gondwana n'est plus perceptible. Il existe au contraire des arguments en faveur d'une rotation inverse; ceux-ci sont connues par exemple au Sud de la Nouvelle Angleterre (WINTSCH et LEFORT, 1984). Ceci a été mis en évidence grâce à l'étude de la hornblende et de la sillimanite, puis de la biotite et des feldspaths et enfin du quartz et des micas, dans des chevauchements proches de la suture du Gondwana. La découverte d'une rotation des linéations de transport dans les nappes au cours de la rétro-morphose, liée à une datation des minéraux marquant ces linéations, prouvent qu'il y a eu une évolution évidente dans le sens de déplacement des nappes (Fig. 13). Ceci pourrait constituer un enregistrement du changement de rotation du Gondwana. Cette inversion du sens de rotation pourrait même avoir débuté dès le Mississippien, puisque des jeux transcurrents senestres posté-

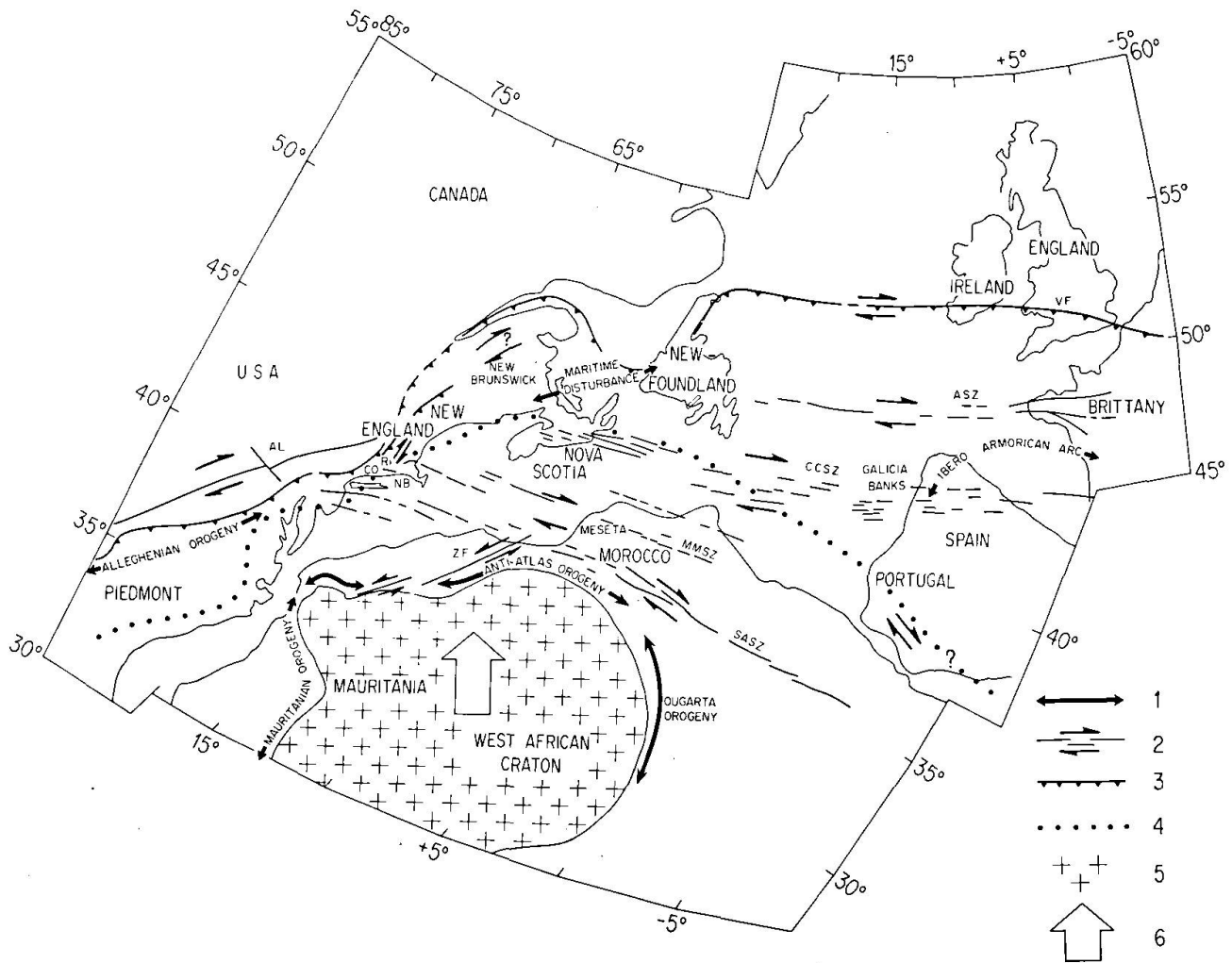


Fig. 12 Le poinçonnement de la Laurentia et de la plaque Armorica par le craton Ouest-Africain.

1: Orogènes paléozoïques; 2: Failles transcurrantes; 3: Chevauchements; 4: Suture du Gondwana; 5: Craton ouest-Africain; 6: Déplacement du craton ouest-Africain.

AL: Chaîne Alleghenienne; ASZ: Ceinture transcurrante armoricaine; CC: Ceinture transcurrante Cobequid-Chebucto; CO: Connecticut; MMSZ: Ceinture transcurrante médio-marocaine; NB: Faille de Nashoba; RI: Rhode Island; SASZ: Ceinture transcurrante sud-Atlasique; VF: Front varisque; ZF: Faille des Zemmours.

rieurs aux cisaillements dextres, ont été enregistrés dans la même région dans le bassin de Narragansett (MOSHER, 1983). Les données paléomagnétiques suggèrent elles aussi un sens de rotation inverse du précédent pour le Permien et le Trias, mais les données ne sont pas inéquivoques.

La preuve la plus claire de ce changement du sens de rotation est d'ordre géodynamique. On sait en effet que la marge sud de la Laurentia était orientée d'Est en Ouest entre la Floride et le Texas (HORTON et al., 1989), or la fermeture océanique entre le Gondwana et la Laurussia au nord du Golfe du Mexique, s'est effectuée à la suite d'une convergence orientée du nord vers le sud (KELLER et al., 1989); ce mouvement implique nécessairement une rotation horaire pour le Gondwana à cette époque.

8. Conclusion

La synthèse des données concernant le socle caché sous les bassins et sous les marges de l'Atlantique a permis de restaurer la continuité qui existait initialement entre les structures paléozoïques aujourd'hui isolées des deux côtes de l'Atlantique nord (LEFORT, 1979). L'une des découvertes les plus importantes concerne la géométrie du bord Nord-Ouest du Gondwana; celui-ci a pu être suivi du Sud de l'Espagne à la Floride. La collision oblique entre Gondwana et Laurussia a d'abord été à l'origine de l'orogénèse acadienne au nord. L'extension de cette collision vers l'ouest implique une explication différente pour la formation des chaînes hercynienne et alleghenienne, l'une peut l'être en terme de déformation

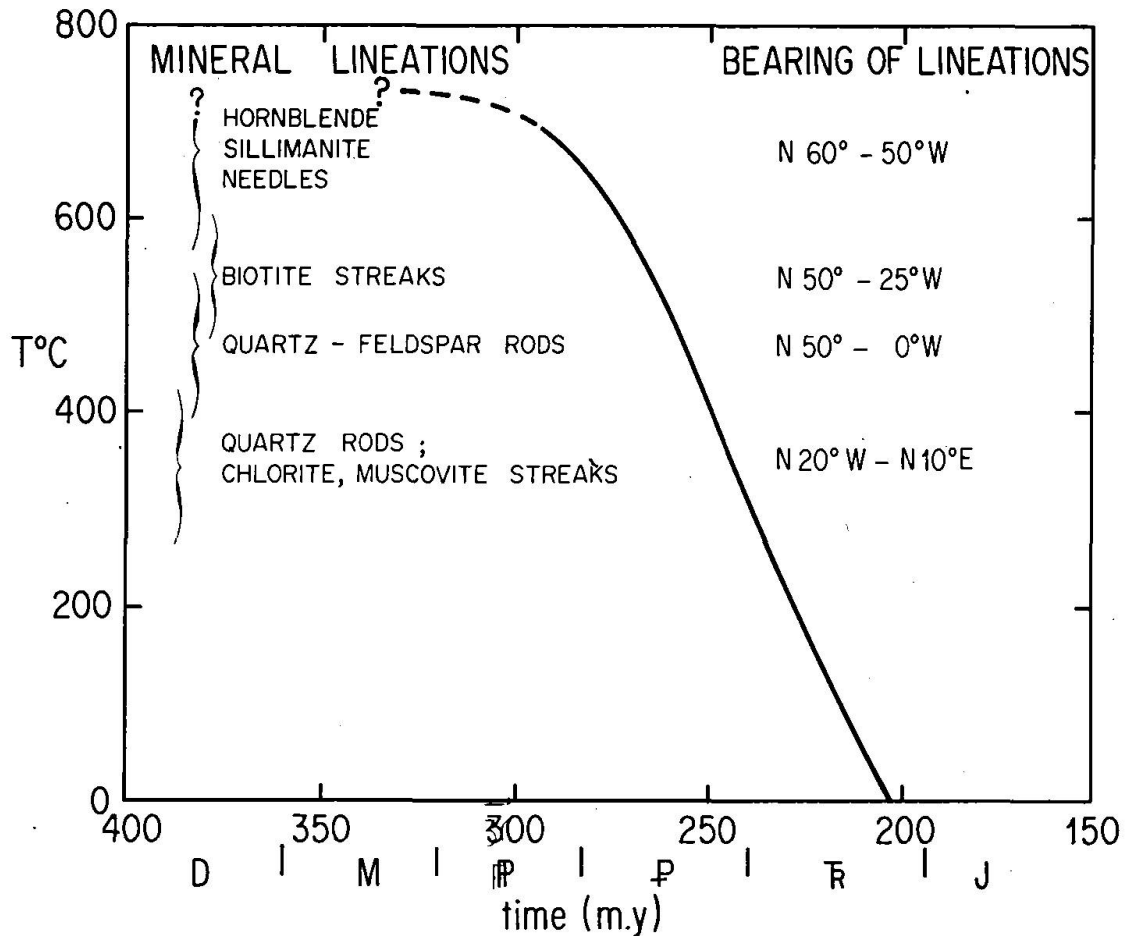


Fig. 13 Rotation des linéations minérales en fonction du temps et de la température au Sud-Est de la Nouvelle-Angleterre.

intraplaque et l'autre en terme de collision. L'histoire tardi-hercynienne et tardi-allegghanienne correspond à un poinçonnement général de la Laurussia et de la plaque Armorica par une structure indéformable interne au Gondwana: le craton Ouest-Africain.

Références

- AUTRAN, A. et COGNÉ, J. (1980): La zone interne de l'orogène varisque dans l'Ouest de la France et sa place dans le développement de la chaîne hercynienne. In: 26^e Congr. Geol. Int. Paris, Colloque C6, BRGM, Mem. 108, p. 90-111.
- BRADLEY, D.C. (1982): Subsidence in late Paleozoic basins in the northern Appalachians. *Tectonics*, 1, 1: 107-123.
- BRIDEN, J.C., KENT, D.V., LAPOINTE, P.L., LIVERMORE, R.A., ROY, J.L., SEGUIN, M.K., SMITH, A.G., VAN DER VOO, R. et WATTS, D.R. (1988): Palaeomagnetic constraints on the evolution of the Caledonian-Appalachian Orogen, HARRIS, A.L. et FETTES, D.J. edit., *Geol. Soc. Sp. Pub.*, 38, p. 35-48.
- BRUN, J.P. et BURG, J.P. (1982): Combined thrusting and wrenching in the Ibero-Armorican arc: a corner effect during continental collision. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 61, p. 319-332.
- CAZES, M., BOIS, CH. et MASCLE, A. (1988): Principales acquisitions scientifiques ou l'intérêt industriel. In: *Etude de la croûte terrestre par sismique profonde*. CAZES, M. et TOREILLES, G., edit., Technip, Paris, p. 223-250.
- CHACON, J., OLIVERA, V., RIBEIRO, A. et OLIVERA, J.T. (1983): La estructura de la zona de Ossa-Morena. In: COMBA, J.A. edit., *Geologia de España*. Public. Inst. Geol. Miner. España, p. 490-503.
- DE POULPIQUET, J. et LEFORT, J.P. (1989): Modelling of structures representing the South Armorican suture. *Tectonophysics*, 165, p. 93-103.
- GAPAIS, D. et LE CORRE, C. (1980): Is the Hercynian belt of Brittany a major shear zone? *Nature*, 288, p. 574-575.
- GATES, A.E, SIMPSON, C. et GLOVER, III L. (1986): Appalachian Carboniferous dextral strike slip faults: an example from Brookneal, Virginia. *Tectonics*, 1, p. 119-133.
- HATCHER, R.D. (1972): Thrusts and nappes in the North American Appalachian Orogen. In: *Thrusts*

- and nappes Tectonics, McCLAY, K.R. et PRICE, N.J. edit, Geol. Soc., Sp. Pub., 8, p. 491-500.
- HATCHER, R.D. (1988): The third synthesis: Wenlock to Mid-Devonian. In: *The Caledonian-Appalachian orogen*. Geol. Soc. Sp. Pub., HARRIS, A.L. et FETTES, D.J. edit., p. 499-514.
- HAWORTH, R.T. et LEFORT, J.P. (1979): Geophysical evidence for the extent of the Avalon zone in Atlantic Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 16, p. 552-567.
- HORTON, J.W., ZIETS, I. et NEARTHY, T.L. (1984): Truncation of the Appalachian piedmont beneath the Coastal Plain of Alabama. Evidence from new magnetic data. *Geology* 12, 51-55.
- HORTON, J.W., DRAKE, A.A. et RANKIN, D.W. (1989): Tectonostratigraphic terranes and their Paleozoic boundaries in the Central and Southern Appalachians. In: *Terranes in the Circum-Atlantic Paleozoic orogens*. DALLMEYER, R.D. ed., Geol. Soc. Am., sp. Pap., p. 213-246.
- HUTCHINSON, J.R., KLITGORD, K.D. et DETRICK, R.S. (1985): Block island fault: a Paleozoic crustal boundary on the Long island platform. *Geology*, 13, p. 875-879.
- HUTCHINSON, D.R., KLITGORD, K.D. et TREHU, A.M. (1987): Structure of the Lower crust beneath the Gulf of Maine. *ASTRON R. Soc. Geophys. J.*, 89, p. 189-194.
- KELLER, G.R., BRAILE, L.W., McMECHAN, G.A., THOMAS, W.A., HARDER, S.H., CHANG, W.F. et JARDINE, W.G. (1989): Paleozoic continent-ocean transition in the Ouachita Mountain imaged from PASSCAL wide-angle seismic reflection-refraction data. *Geology*, 17, p. 119-123.
- LECORCHÉ, J.P., ROUSSEL, J., SOUGY, J. et GUETAT, Z. (1983): An interpretation of the geology of the Mauritanides orogenic belt (West Africa) in the light of Geophysical data. In: HATCHER, R.D., WILLIAMS, M. et ZIETZ, I. edits. *Contribution to the tectonics and geophysics of mountain Chains*. Geol. Soc. Am., Mem. 158, p. 131-147.
- LEFORT, J.P. (1979): Iberian Armorican arc and Hercynian orogeny in Western Europe. *Geology*, 7, p. 384-388.
- LEFORT, J.P. (1983): A new geophysical criterion to correlate the Acadian and Hercynian orogenies of Western Europe and Eastern America. In: HATCHER, R.D., WILLIAMS, H. et ZIETZ, H. edit., *contribution to the tectonics and geophysics of mountain chains*. Geol. Soc. Am., Memoire 158, p. 3-18.
- LEFORT, J.P. (1984): Mise en évidence d'une virgation carbonifère induite par la dorsale Reguibat (Mauritanie) dans les Appalaches du Sud (USA). *Arguments géophysiques*. Bull. Soc. Géol. France, XXVI, p. 1293-1303.
- LEFORT, J.P. (1989): Basement correlation across the North Atlantic. Springer Verlag edit., 148 p.
- LEFORT, J.P. et HAWORTH, R.T. (1979): The age and origin of the deepest correlative structures recognized of Canada and Europe. *Tectonophysics*, 59, p. 139-150.
- LEFORT, J.P. et MAX, M.D. (1990): Is there an Archean crust beneath Chesapeake Bay? *Tectonics* (sous presse).
- LEFORT, J.P., MAX, M.D. et ROUSSEL, J. (1988): The North-West boundary of Gondwanaland and its relationship with two older satellite sutures. In: FETTES, D.J. et HARRIS, A.L. edit., *Synthesis of the Caledonian rocks of Britain*. Geol. Soc. Sp. Pub., 38, 49-60.
- LEFORT, J.P. et DE POULPIQUET, J. (1989): Correlation entre les profils de sismique réflexion profonde ECORS Gascogne et ECORS-Nord de la France, au travers de la suture Sud-Armoricaine. *Bull. Soc. Geol. France*, 8, VI, 2, p. 321-330..
- LEFORT, J.P. et RIBEIRO, A. (1980): La faille Porto-Badajoz-Cordoue a-t-elle contrôlé l'évolution de l'Océan Paléozoïque Sud-Armoricain? *Bull. Soc. Geol. France*, XXII, p. 455-462.
- LEFORT, J.P. et VAN DER VOO, R. (1981): A kinematic model for the collision and complete suturing between Gondwanaland and Laurussia in the Carboniferous. *J. Geol.*, 85, p. 65-75.
- MATTE, Ph. et BURG, J.P. (1981): Sutures, thrusts and nappes in the variscan Arc of Western Europe: plate tectonic implications. *Geol. Soc. Sp. Pub.*, McCLAY, K.R. et PRICE, N.J. edit, p. 353-358.
- MATTE, Ph. et HIRN, A. (1988): Généralités sur la chaîne varisque d'Europe, coupe complète de la chaîne sous l'Ouest de la France. In: *Etude de la croûte terrestre par sismique profonde*. CAZES, M. et TOREILLES, G., édit., Technip., Paris, p. 197-222.
- McKERROW, W.S.H. et ZIEGLER, A.M. (1972): Paleozoic Oceans. *Nature. Phys. Sci.*, 240, p. 92-94.
- MOSHER, S. (1983): Kinematic history of the Narragansett basin, Massachusetts and Rhode Island: constraints on late Paleozoic plate reconstructions. *Tectonics*, 2, 4, p. 327-344.
- NOBLET, Ch. et LEFORT, J.P. (1990): Sedimentological evidence for an incomplete separation between Armorica and Gondwana during Arenig time. *Geology*, 18, p. 303-306.
- PARIS, F. et ROBARDET, M. (1977): Paléogéographie et relations ibéro-armoricaines au Paléozoïque anté-carbonifère. *Bull. Soc. Geol. France*, XIX, p. 1121-1126.
- PERROUD, H., VAN DER VOO, R. et BONHOMMET, N. (1984): Paleozoic evolution of the Armorican plate on the basis of paleomagnetic data. *Geology*, 12, p. 579-582.
- PERROUD, H. (1980): Contribution à l'étude paléomagnétique de l'arc ibéro-armoricain. Thèse de 3^e cycle, Université de Rennes.
- PIQUÉ, A. (1981) Un segment de chaîne intracontinentale: la Meseta marocaine nord-occidentale. Influence de fractures du socle Précambrien par la sédimentation et la déformation de la couverture paléozoïque. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, XXIII, 1, p. 3-10.
- PRATT, T.L., CORUH, C. et COSTAIN, J.K. (1987): Lower crustal reflection in Central Virginia, U.S.A., *Astr. Soc., Geophys. J.*, 89, p. 63-170.
- RIBERO, A., OLIVIERA, J.T. et BRANDO DA SILVA, J. (1983): La estructura de la Zona sur Portuguesa. In: COMBA, J.A. (edit.), *Geologia de España*. Publ. Inst. Geol. Minero, España, p. 504-512.
- SCOTESE, C. (1984): Paleozoic paleomagnetism and the assembly of Pangea. in: *Plate reconstruction from Paleozoic paleomagnetism*. VAN DER VOO, R., SCOTESE, C.R. et BONHOMMET, N., edit, p. 1-10.
- SECOR, D.T., SNOKE, A.W. et DALLMEYER, R.D. (1986): Character of the Alleghanian orogeny in the southern Appalachians: Part. III, Regional tectonic relations. *Bull. Soc. Geol. Am.*, 97, p. 1345-1353.
- SINHA, A.K. et ZIETZ, I. (1982): Geophysical and geochemical evidence for Hercynian magmatic arc, Maryland to Georgia. *Geology*, 10, p. 593-596.
- TAPPONNIER, P., PELTZER, G., LE DAIN, Y., ARMIGO, R. et COBBOLD, P. (1982): Propagating extrusion tectonics in Asia: New insight from simple experiment with plasticine. *Geology*, 10, p. 611-616.
- VAN DER VOO, R. (1987): Paleozoic Paleogeography of North America, Gondwana and intervening dis-

- placed Terranes: comparison of paleomagnetism with paleoclimatology and biogeographical Patterns. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100, p. 311-324.
- WINTSCH, R.P. et LEFORT, J.P. (1984): A clockwise rotation of variscan strain orientation in SE New-England. In: HUTTON, D.W. et SANDERSON, D.J., edit., *Variscan Tectonics of the North Atlantic Region*. *Geol. Soc., Sp. Pub.*, 14, p. 245-252.
- ZIEGLER, P.A. (1982): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Shell inter. Pet. Maa. edit., 130 p.
- ZIEGLER, P.A. (1988): Laurussia – The old red continent. In: *Devonian of the world*. Vol. 1, McMillan, N.J. EMBRY, A.F. et GLASS, D.J. edit., *Can. Soc. Pet. Geol.*, p. 15-48.

Manuscrit reçu le 28 septembre 1989; manuscrit révisé accepté le 24 novembre 1989.