



HAL
open science

Une science en crise au milieu du XXe siècle, la géodynamique : des géosynclinaux aux océans disparus

Marcel Lemoine

► To cite this version:

Marcel Lemoine. Une science en crise au milieu du XXe siècle, la géodynamique : des géosynclinaux aux océans disparus. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2006, 3ème série (tome 20), pp.129-165. hal-00906984v2

HAL Id: hal-00906984

<https://hal.science/hal-00906984v2>

Submitted on 4 Dec 2013

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

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

TRAVAUX DU COMITÉ FRANÇAIS D'HISTOIRE DE LA GÉOLOGIE (COFRHIGÉO)

TROISIÈME SÉRIE, t. XX, 2006, n° 7
(séance du 13 décembre 2006)

Marcel LEMOINE

*Une science en crise au milieu du XX^e siècle, la géodynamique :
des géosynclinaux aux océans disparus*

Les problèmes de la paléogéographie sont depuis longtemps au premier plan parmi les préoccupations des géologues. Il faut avouer d'ailleurs qu'il existe peu de questions dans lesquelles l'imagination a joué un rôle aussi prépondérant.

Emile Haug, *Les géosynclinaux et les aires continentales*, 1900.

Résumé. Depuis 1900 jusqu'à la fin des années 1960, on a enseigné, tant en France qu'à l'étranger, que les orogènes dérivait de fosses marines profondes appelées géosynclinaux. Entre 1959 et 1965, Jean Aubouin a clarifié la question en se limitant aux orthogéosynclinaux, subdivisés en eugéosynclinaux avec ophiolites et miogéosynclinaux. Le modèle, basé sur ce que l'on connaissait des Hellénides, comportait une ride géantyclinale séparant ces deux derniers, formant ce que Jean Aubouin a appelé un couple. Ce modèle pouvait, et même devait, être transposé à d'autres orogènes, comme les Alpes occidentales. Parmi les progrès ainsi réalisés, le plus important est la mise en évidence de la polarité géosynclinale. Dans les années 1960-1970, une meilleure connaissance des océans actuels et fossiles, et l'avènement de la tectonique des plaques, ont conduit progressivement à l'abandon du paradigme géosynclinal pour le paradigme des océans flanqués de leurs marges continentales. En 1972 pour les pays anglo-saxons et germaniques et en 1975 pour la France, la conversion était faite, et le concept de géosynclinal ne relevait plus que de l'histoire des sciences de la Terre.

Mots-clés : géosynclinal - eugéosynclinal - miogéosynclinal - géantyclinal - ophiolite - Hellénides - Alpes occidentales - polarité géosynclinale - océan - marge continentale - XX^e siècle.

Abstract. From the beginning of the 20th century until the end of the 1960's, the origin of orogenes was believed and taught as deriving from deep marine troughs called geosynclines. Thanks to Jean Aubouin, two categories were clearly distinguished, especially in France : eugeosynclines with

ophiolites and miogeosynclines. Deriving from the study of the Hellenides mountains, the model comprised an uplift, called geanticline separating both kinds of geosynclines, which formed a « *geosynclinal couple* ». Studying the evolution of this couple, the geosynclinal polarity was clearly demonstrated. Moreover the model could be used in other orogens such as, e. g., the Western Alps. During the 1960-1970's, a better knowledge of present day oceans and the birth of Plate Tectonics progressively led to abandon the geosyncline paradigm, replaced by the ocean-continental margin paradigm. By 1972 in foreign countries, and 1975 in France, the transition was accomplished, so that the geosynclinal model remained only as a part of the history of geosciences.

Key words : geosyncline, eugeosyncline - miogeosyncline - geanticline - ophiolite - Hellenides - western Alps - geosynclinal polarity - ocean - continental margin - 20th century.

1. Des océans et des montagnes : la planète bleue

Des océans et des montagnes

Notre Terre, âgée comme le reste du système solaire de 4 600 millions d'années, fait partie des quatre planètes solides, dites telluriques, qui sont les plus proches du soleil, de Mercure à Mars. Deux d'entre elles, Vénus et la Terre, sont assez massives pour avoir retenu par gravité une atmosphère. Celle de Vénus est brûlante et irrespirable. En revanche, l'atmosphère de notre planète a été originellement riche en gaz carbonique, azote et vapeur d'eau. La vapeur d'eau s'est rapidement condensée pour donner l'eau des océans. Quant au gaz carbonique, à partir de 3 milliards d'années, il a progressivement été en partie piégé dans des calcaires, tandis que de l'oxygène était libéré : la cause en est l'apparition de cyanobactéries (qui ont créé les stromatolites calcaires) et l'assimilation chlorophyllienne.

Premiers continents

Par ailleurs, le refroidissement de la planète a induit de très lents courants de convection dans le manteau, resté solide mais déformable, car un peu visqueux : d'où, par fusion hydratée au niveau des subductions, genèse de roches granitiques et assimilées, et donc naissance progressive des premiers continents.

Ces continents ont commencé à dériver, et sont entrés en collision les uns contre les autres : d'où la surrection, un peu partout sur la planète, de chaînes de montagnes. Chacune d'entre elles est née, a surgi des eaux et a ensuite été progressivement aplanie par l'érosion, cela au cours de cycles orogéniques qui ont duré chacun 150 à 250 millions d'années.

Bref : une planète à la fois océanique et montagneuse.

Expliquer une séquence : d'un creux à un relief

Le but essentiel de la géodynamique est d'expliquer la succession suivante : des « *eaux marines* » à un « *cycle orogénique* ». Autrement dit, le passage d'un creux à un relief :

- d'une dépression allongée (plusieurs centaines ou milliers de kilomètres) et de largeur variable (quelques centaines ou milliers de kilomètres),
- à un relief de dimensions comparables.

Le problème qui s'est longtemps posé a été de savoir quelle était la nature des « *creux* » ou dépressions précédant la surrection des chaînes de montagnes. Les « *creux* » furent d'abord des « *géosynclinaux* ». Puis, dans les années 1960-1970, quand, enfin, on a su quelle était la nature du fond des océans actuels, ce furent des océans et leurs marges continentales.

Bref, de 1900 au milieu du XX^e siècle, deux paradigmes se sont succédé.

2. Une révolution scientifique selon Thomas Kuhn : d'un paradigme à l'autre

Au cours du XX^e siècle, les sciences de la Terre ont vécu une révolution radicale qui a conduit, au cours des années 1960-1970, à l'adoption de la tectonique des plaques, nouveau paradigme dont l'un des corollaires est la dérive des continents, due à l'expansion des océans à partir des dorsales. Ce nouveau paradigme a remplacé dès la fin des années 1960, dans certains pays tout au moins, l'ancien paradigme des géosynclinaux, qui régna jusque vers 1970-1972, et un peu au-delà pour ce qui est de la France.

On peut se demander quand et comment une telle révolution s'est produite, et quelle a été sa durée.

Le modèle de Kuhn : science normale, science en crise

Rappelons d'abord brièvement le modèle proposé par le physicien et épistémologue Thomas Kuhn (1970, 1983). Ce modèle est basé principalement sur des sciences expérimentales comme la physique.

Pour Kuhn, l'état habituel d'une science est gouverné par un paradigme. Par ce terme, nous entendrons la « *conception théorique dominante qui a cours à une certaine époque dans une communauté scientifique* ».

Tant que règne un certain paradigme, on se trouve dans ce que Kuhn appelle une période de science normale, qui n'est pas une période de stagnation, mais bien au contraire de progrès scientifique. Par exemple, ce fut, dans le cas du paradigme

des géosynclinaux, parmi d'autres progrès, la mise en évidence, par Jean Aubouin, de la « *polarité géosynclinale* », comme on le verra plus loin.

Que surviennent des faits nouveaux en contradiction avec le paradigme régnant, on entre dans une période de science en crise. Apparaît alors la nécessité d'un nouveau paradigme. Dès que celui-ci est adopté par l'ensemble de la communauté, on entre dans une nouvelle période de science normale. Et ainsi de suite.

Le modèle de Kuhn est-il compatible avec l'histoire des sciences de la Terre ?

Cela n'est pas certain, et nous allons ici tester ce modèle « *kuhnien* ». Mais on peut d'ores et déjà rappeler que l'on a pu montrer par ailleurs (Lemoine, 2004) que ce n'était pas le cas, s'agissant de la dérive des continents, de Wegener (1912) à la tectonique des plaques (1960-1970).

Le cheminement intellectuel adopté ici : du paradigme géosynclinal à celui des océans

Voilà donc l'idée de base à partir de laquelle nous allons envisager une évolution de la géodynamique, impliquant la succession de deux épisodes.

1) D'abord, naissance de dépressions allongées, qui sont immédiatement remplies par des eaux marines.

2) Puis formation des chaînes de montagnes à l'emplacement de ces dépressions.

Et cela en essayant de nous conformer au modèle de Kuhn. Dans ce cas, trois étapes peuvent être distinguées.

Science normale d'avant 1960 : c'est le paradigme des géosynclinaux qui règne en maître.

Science en crise : vers les années 1950 à 1960, des connaissances nouvelles sur les océans actuels, sur la composition de leur soubassement et sur leur évolution, devinrent accessibles. L'on s'est alors trouvé dans une période de « *science en crise* », et cela même si certains protagonistes n'en étaient pas encore conscients...

Nouvelle période de science normale : il fallut une bonne dizaine d'années, et même un peu plus pour ce qui est de la France, pour que fussent bien connues la nature et l'évolution du fond des océans, et pour que soit accepté par tous (à part quelques rarissimes exceptions) le paradigme de la tectonique des plaques.

Finalement, malgré quelques timides essais vers les années 1960-1965, ce n'est que vers le début des années 1970 que tous ou presque tous furent

convaincus : il fut alors possible de passer au paradigme des océans et marges continentales, désormais considérés comme à l'origine des chaînes de montagnes actuelles et anciennes. Pratiquement, ce sont les deux articles de Dewey et Bird (1970) qui marquent la transition, cela au moins pour les anglophones. Une nouvelle période de science normale se mit alors en place : désormais, les géosynclinaux étaient « *morts et enterrés* » (« *dead and buried* », m'écrivait récemment un collègue anglais).

3. Comment tester un paradigme et son rapport avec la réalité : l'exemple des épicycles de Ptolémée

On voit bien, par l'exemple qui précède, qu'à une certaine époque du développement d'une science, un paradigme, même sans rapport avec la réalité, peut très bien fournir une explication plausible des phénomènes que nous observons : tel est le cas du paradigme des géosynclinaux.

Ne jetons donc pas la pierre à ceux qui, avant que l'on connaisse le fond des océans, prônaient ce paradigme : ils n'avaient rien d'autre qui soit disponible. Et il purent ainsi faire progresser notre connaissance de l'évolution des orogènes (polarité géosynclinale, etc., voir plus loin).

Comment un paradigme peut-il rendre compte des observations que nous pouvons faire sur le terrain ?

Plus concrètement, dans le cas qui nous occupe, comment la structure et l'évolution d'une chaîne de montagnes peuvent-elles s'expliquer :

- soit par le paradigme des géosynclinaux ;
- soit au contraire grâce à celui des océans et de leurs marges continentales.

Quel que soit le paradigme pris en considération, nous lui demandons, dans le cas discuté ici, de décrire une histoire géologique qui conduise à la genèse d'une chaîne de montagnes, en partant de domaines envahis par les eaux marines (océaniques).

Les chaînes de montagnes, tout comme les géosynclinaux ou les océans, sont recouvertes par places d'une pellicule de sédiments, soit continentaux, soit déposés au fond de mers plus ou moins profondes. Cette pellicule repose sur des socles continentaux (granito-gneissiques) ou océaniques (basaltiques : ophiolitiques), qui participent à l'architecture de la chaîne.

Il est alors indispensable de faire attention : un paradigme, comme celui des géosynclinaux, capable de satisfaire notre esprit, n'exprime pas forcément « *la réalité* » : c'est ce que nous apprend l'hypothèse proposée par Claude Ptolémée, (env. 110-160 après J.C.), astronome grec de l'école d'Alexandrie, vers 150 après J.C.

Une explication valable à un certain moment peut très bien ne pas correspondre à la réalité : l'exemple des épicycles de Ptolémée

À l'époque de Ptolémée, et durant plus d'un millénaire, plusieurs questions se posaient et demandaient une explication théorique acceptable. Il fallait d'abord expliquer les relations Terre-Soleil, et donc choisir entre héliocentrisme ou géocentrisme. Que l'on adopte l'un ou l'autre de ces hypothèses, il fallait expliquer aussi les mouvements des planètes. Dans le cas de l'héliocentrisme, les mouvements elliptiques des planètes autour du soleil ont été bien décrits, quelques siècles après Ptolémée, par Copernic et par Kepler. Il n'empêche qu'au début, le paradigme des épicycles restait, là encore, une solution tout à fait « *confortable* » pour l'esprit.

Cas du géocentrisme : comment expliquer le mouvement des planètes ?

Le géocentrisme, qui ne sera remis en question que quatorze siècles après Ptolémée, était hérité d'Aristote, et pour cela, entre autres, considéré, durant plus d'un millénaire, comme un dogme par l'Église catholique : ce qui nous explique les problèmes rencontrés par Galilée.

En fait le géocentrisme explique difficilement le comportement « *aberrant* » des planètes, avec leurs mouvements rétrogrades et leurs variations de luminosité, comportement qui était connu des astronomes depuis plus de 2000 ans.

Une solution (si l'on veut un paradigme) fut proposée par Claude Ptolémée.

Les épicycles de Ptolémée

Ptolémée imagine des combinaisons de mouvements circulaires uniformes : chacune des planètes décrit un petit cercle appelé épicycle. Et le centre de chaque épicycle suit lui-même un mouvement circulaire uniforme autour de la Terre. Bien sûr, dans ce système compliqué, d'une planète à l'autre ces mouvements circulaires n'ont pas les mêmes vitesses. Curieusement, le système de Ptolémée nous montre, circulant autour de la Terre (centre du monde), successivement la Lune (point n'est besoin d'épicycle dans son cas), l'épicycle de Vénus, le Soleil (pas d'épicycle bien sûr), l'épicycle de Mars, puis celui de Jupiter, etc.

Il va de soi que ce système fort compliqué ne correspondait nullement à la réalité. Mais il avait à l'époque l'avantage d'offrir une explication satisfaisante du mouvement si surprenant des planètes.

Or le géocentrisme ne sera remis en question que quatorze siècles plus tard, avec Copernic et Kepler. En attendant, il fallut bien adopter le paradigme ptoléméen.

4. Géosynclinal : le concept et le mot

Un souvenir personnel, qui appelle un commentaire

Quand j'étais élève de première à Janson-de-Sailly, en 1939, Mr. Casati, notre excellent professeur de géographie (d'histoire-géo, disait-on alors), nous avait parlé incidemment de géosynclinaux. Je n'avais pas bien compris et, après la classe, je lui ai demandé un complément d'information. Sa réponse fut : « *Un géosynclinal, c'est une grande fosse dans l'écorce terrestre* ». Et moi d'imaginer, visuellement, un énorme fossé béant d'où montaient des fumées brûlantes. Bref, sa définition n'était pas mauvaise, mais il y manquait une précision, pour lui évidente : une « *grande fosse* », bien sûr, mais remplie d'eau, et même d'eau de mer.

Le commentaire : grande fosse ? ou autre chose ?

En fait, étymologiquement, « géo synclinal » évoque un synclinal, c'est-à-dire une gouttière, un creux allongé ; bref, cette « *grande fosse* » qui est en quelque sorte creusée dans la terre (Geos). Une grande fosse, cela signifie en fait un piège à sédiments, qui peuvent être épais et éventuellement marins, parfois de mer profonde.

Mais une telle fosse n'est pas le seul lieu où puisse s'accumuler une grande épaisseur de sédiments : on peut aussi envisager les plateaux continentaux et leurs talus. Citons comme exemple le plateau qui s'étend à partir de l'embouchure du Saint-Laurent, au large de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse. Bref, c'est l'idée du « *géoclinal* » (cf. figure 6) due à Dietz (1963).

Quelques remarques préliminaires

En utilisant deux articles synthétiques de Jean Aubouin (1959, 1961), il est possible de passer en revue, depuis les premiers créateurs du concept puis du mot « *géosynclinal* », l'histoire d'une idée qui persistera plus d'un siècle.

Mais avant d'aller plus loin, plusieurs remarques s'imposent :

À propos des précurseurs : ne pas oublier Élie de Beaumont

Abouin cite d'abord Hall (1859) et Dana (1873), pour lui les précurseurs, et dont le premier, James Hall (1859) « *conçut la notion de géosynclinal encore qu'il n'ait pas créé le mot* » (Aubouin, 1959). Car le mot fut créé par James D. Dana (1873, p. 430), un mot dont l'usage et la célébrité durèrent pratiquement un siècle.

Mais en réalité, l'idée, sans le mot, apparut bien plus tôt, dès 1828. D'après F. Ellenberger (1994, p. 53) c'est à Élie de Beaumont (*Ann. Sci. nat.*, XIV, 1828, p. 126) que l'on doit la première évocation de ce qu'on appellera géosynclinal près d'un demi-siècle plus tard. Ce dernier découvre en effet dans nos Alpes un « *dépôt*

stratifié d'une énorme épaisseur » où les fossiles appartiennent « à des genres pélagiens » (bélemnites, ammonites, etc.).

Il peut ainsi opposer le Lias d'Angleterre et du continent, contenant des fossiles d'animaux vivant dans des eaux marines peu profondes (bivalves, etc.), et le Lias alpin qui « *semble avoir été accumulé au fond d'une mer d'une grande profondeur* ». Notons qu'ici ce sont autant le critère de l'épaisseur des sédiments que celui de leur profondeur de dépôt qui sont pris en compte. Notons aussi, c'est important, que l'on trouve déjà en 1828, chez Élie de Beaumont, cette opposition entre « *géosynclinaux* » et « *aires continentales* », sans bien sûr les nommer. Cette opposition sera prônée par Émile Haug au tout début du xx^e siècle (Haug, 1900).

Se limiter aux « orthogéosynclinaux »

Dans son inventaire, Jean Aubouin passe en revue toutes les variétés que les différents auteurs ont distinguées, depuis Dana (1866) : des « *géosynclinaux* » munis de divers préfixes (ortho-, para-, épieu-, eu-, etc.).

Ce qui le conduisit à éliminer beaucoup de variétés qui ne rentrent pas dans le cadre strict de ce que l'on peut appeler géosynclinaux, bref à se limiter à ceux que tous, à la suite de Hans Stille (1936) et Marshall Kay (1947), appellent des orthogéosynclinaux, et qu'Aubouin appellera tout simplement des « *géosynclinaux* ». Ceux-ci regroupent seulement deux variétés, les eugéosynclinaux, où naissent les ophiolites, et les miogéosynclinaux, sans ophiolites. L'ensemble formant, nous allons le voir, un « *couple géosynclinal* », du moins dans l'acception de Jean Aubouin.

Au départ et à la fin du déroulement de la pensée de Jean Aubouin : une transversale de la Grèce

Manifestement, dès 1959, Jean Aubouin a été guidé dans sa recherche par les observations qu'il avait faites lui-même sur son terrain de thèse en Grèce (Aubouin, 1958) et les tentatives de synthèse qu'il en avait tirées (d'où la rédaction des deux articles de 1959 et 1961). Déjà, la notion de « *couple miogéosynclinal-eugéosynclinal* », qui sera son aboutissement, se trouvait là en filigrane, à une époque où tous les spécialistes des chaînes de montagnes parlaient de géosynclinaux : il lui était possible de chercher et trouver de tels couples, par exemple près de nous, dans les Alpes occidentales, ou encore aux USA, dans le « *géosynclinal cordilléraire* » à la fin du Permien (Colombie britannique et sud-est de l'Alaska), etc.

Bref, Jean Aubouin a seulement recherché d'où venaient le terme et le concept et comment ils avaient évolué dans le temps, d'un auteur à l'autre, avant de se faire sa propre opinion et de la diffuser... j'allais dire l'imposer.

Comme on va le voir, l'intime conviction d'Aubouin est étroitement associée à la nécessaire adoption d'un paradigme particulier sur la genèse des ophiolites. Celui qui fut choisi était dû à Jan H. Brunn (1940, 1952) et à Louis Dubertret (1937, 1952) : l'unique et gigantesque coulée volcanique sous-marine (voir Figure 12).

5. Géosynclinaux et aires continentales

Certes, les anciens comme Hall et Dana voyaient bien une relation entre géosynclinal et chaîne de montagnes plissée. Mais les idées vont rapidement évoluer, et se préciser.

Les anciennes descriptions des débuts du XIX^e siècle, par Hall et par Dana, nous montrent le « *géosynclinal* » rempli d'une épaisse série sédimentaire, marine certes, mais caractérisée par sa faible profondeur de dépôt. Parfois même, ce géosynclinal était localisé près d'un océan actuel. On est là fort loin des idées plus modernes, qui nous sont imposées par la considération des faciès sédimentaires déposés dans les géosynclinaux, comme les calcaires ou marno-calcaires à ammonites, bélemnites et à microfaune pélagique, ou comme les radiolarites.

Déjà, nous avons vu qu'Élie de Beaumont, dès 1828, arrivait à distinguer les sédiments épais et de mer profonde déposés dans ce que l'on n'appelait pas encore les géosynclinaux, et les sédiments moins épais et surtout de mer moins profonde, déposés sur les aires continentales. Cette idée fut reprise et généralisée par Émile Haug, notamment dans son célèbre mémoire intitulé : *Les géosynclinaux et les aires continentales* (1900), ainsi que dans son *Traité de Géologie* (1907-1927).

Les géosynclinaux : de futures chaînes de montagnes

Pour Haug, les « *géosynclinaux* » sont des entités allongées et relativement étroites, remplies de sédiments, devenues ou destinées à devenir des chaînes de montagnes. D'après lui (1900), les géosynclinaux de l'ère secondaire se disposent tout autour des « *aires continentales* », dont il imagine l'existence. Mais les « *continents* » de Haug se superposent, pour certains d'entre eux, à des océans actuels (Figure 1). Mieux, ses continents nord-atlantique et africano-brésilien devaient être séparés par un hypothétique géosynclinal reliant les futures Alpes aux Caraïbes. On note même sur sa carte un bien étonnant « *continent pacifique* ». Bref un système complexe qui, à l'époque, était satisfaisant pour l'esprit, mais totalement étranger à la réalité que nous connaissons maintenant : on songe, là aussi, aux épicycles de Ptolémée !

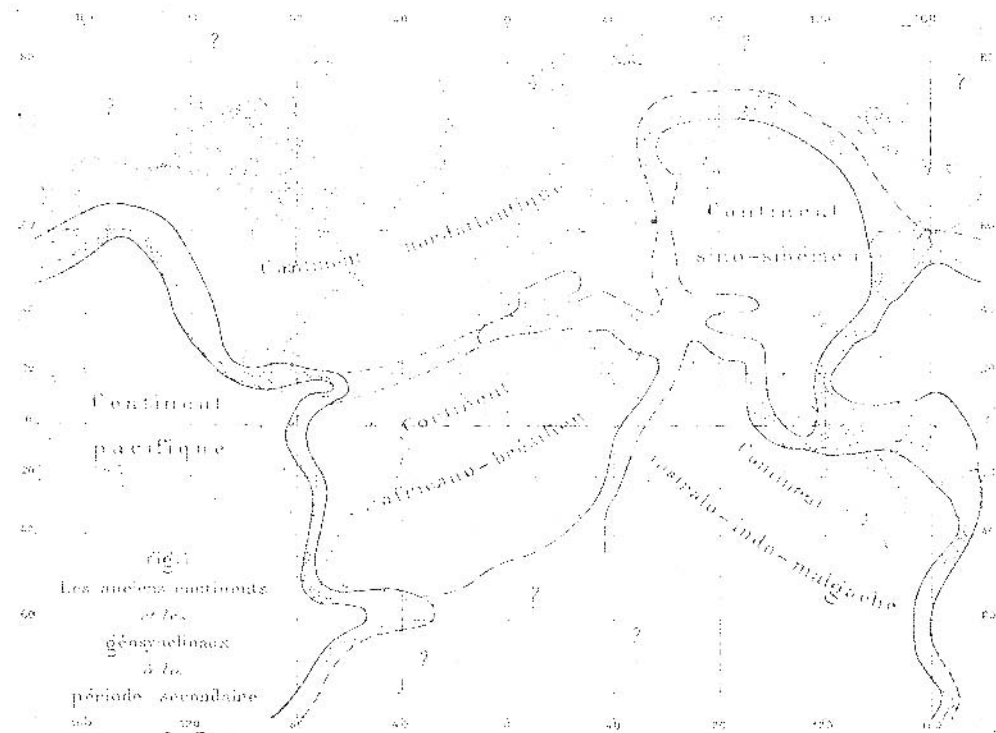


Figure 1. Répartition, durant l'ère Secondaire, des géosynclinaux et des aires continentales, d'après Émile Haug (1900). Nous savons maintenant que beaucoup des aires continentales distinguées par Haug sont en réalité des océans...

6. Les exemples décrits par Aubouin correspondent chaque fois à un « couple »... Pourquoi ?

Dans tous les cas examinés par Aubouin, nous trouvons la notion de « couple ». En simplifiant, il s'agit toujours de deux dépressions allongées, des « géosynclinaux », qui vont se remplir de sédiments. Ces dépressions sont séparées par un « géanticlinal », en relief par rapport à celles-ci.

D'où la question : pourquoi trouve-t-on si souvent de tels couples. Bien plus, il serait intéressant de se demander pourquoi un « couple géosynclinal » comporterait deux fosses de nature différente : le volcanisme générateur d'ophiolites serait dans ce cas exclusivement réservé à l'une de ces fosses, baptisée pour cette raison « eugéosynclinal ». Par convention cet eugéosynclinal serait situé du côté « interne » de la chaîne. Comme on le verra plus loin, cela se justifie parfaitement dans une majorité de cas, et contribue à la mise en évidence, par Jean Aubouin, de ce qu'il a appelé la « polarité géosynclinale ».

L'embryotectonique. – Au début du XX^e siècle, une première explication dans un contexte compressif précoce (se rattachant donc à ce qu'Argand appellera seize ans plus tard « embryotectonique ») apparaît déjà chez Émile Haug (Figure 2). Ce dernier y voit en effet une origine par compression :

« le premier pas dans la formation des plissements sur l'emplacement d'un géosynclinal est la naissance d'un anticlinal ou géanticlinal médian, qui divise le géosynclinal primitif en deux géosynclinaux secondaires » (Haug, 1900, p. 626)

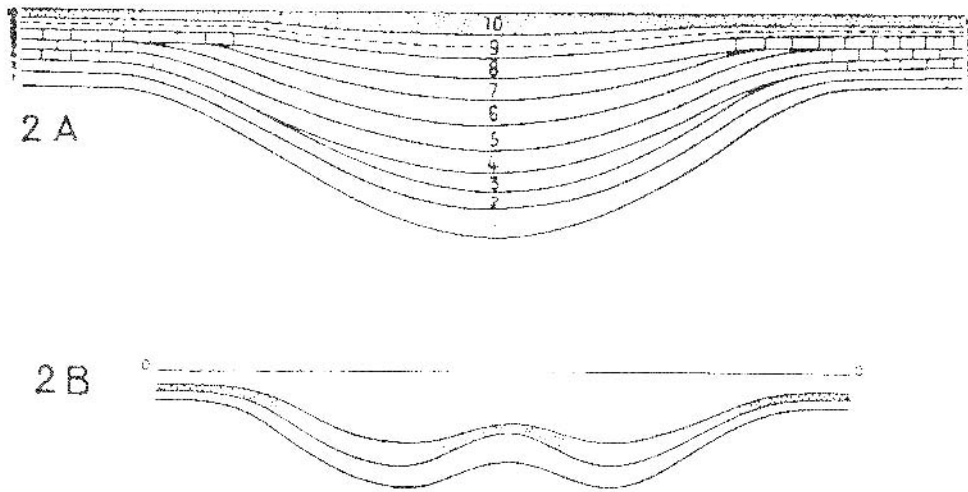


Figure 2. Le géosynclinal dédoublé avec géanticlinal médian, d'après Haug (1900). Pour cet auteur, cela indiquerait une amorce de compression, au début de l'évolution du futur orogène.

Mais c'est chez Argand (1916) que l'on voit apparaître un « couple » qui correspond à deux fosses séparées par deux nappes embryonnaires dont l'une serait le « *géanticlinal briançonnais* » (Figure 3). Le même dispositif fut également dessiné par Maurice Gignoux (1950), cela de manière plus élaborée (Figure 4). Dans ces deux cas, les auteurs envisagent un contexte de compression horizontale : il y a « *embryotectonique* » dans la mesure où les futures nappes se dessinent dès la période sédimentaire (ici au Jurassique).



Figure 3. Les nappes penniques au Jurassique, un cas typique d'embryotectonique, conduisant à dessiner un couple. D'après Argand, 1916.

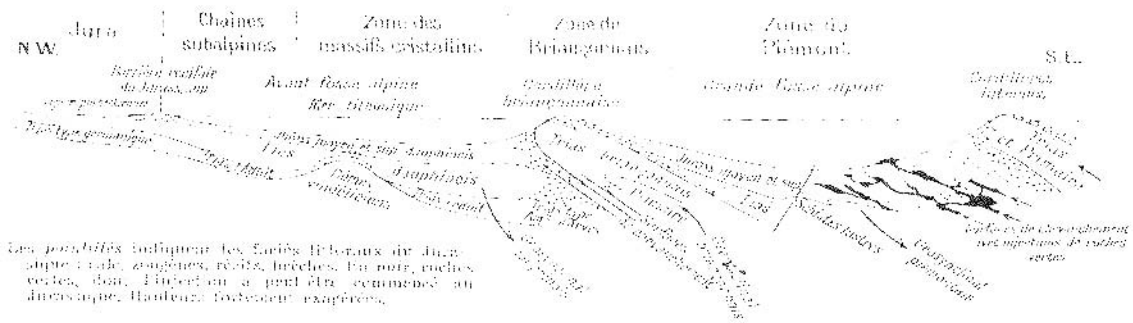


Figure 4. Coupe schématique indiquant l'aspect que devaient avoir les Alpes françaises vers la fin du Jurassique (inspiré de Wilfrid Kilian et Émile Argand). D'après Gignoux (1950, figure 85).

En extension : horsts et grabens. – D'autres auteurs au contraire (ex. : Lemoine 1961, figure 9, à propos des Alpes occidentales) tentent d'expliquer ce couple comme une alternance de deux grabens, dauphinois et piémontais, séparés par un horst (le « *géanticlinal* » Briançonnais). On est alors, au contraire des modèles précédents, dans un contexte tectonique d'extension horizontale (Figure 5). Le graben ou « *géosynclinal* » interne est caractérisé par la mise en place d'ophiolites injectées à la faveur de fissures ouvertes, conformément au modèle de Brunn et Dubertret, ce qui s'accorde mieux avec l'idée d'une extension horizontale qu'avec celle d'une compression, comme chez Argand ou Gignoux.

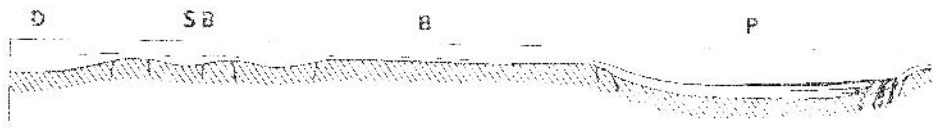


Figure 5. Une coupe des Alpes occidentales au Jurassique, où l'on suggère que les géosynclinaux élémentaires sont des grabens, et que le géanticlinal médian (Briançonnais) est un horst. On est là dans un contexte d'extension horizontale, totalement opposé aux interprétations d'Argand et de Gignoux. D'après Lemoine (1961), qui, à cette époque, continue à parler de géosynclinaux et à admettre la genèse des ophiolites suivant le paradigme Brunn-Dubertret.

Cas du haut-fond de Galice. – De plus, on verra plus loin (Figure 14) qu'entre le continent ibérique et l'océan Atlantique, on dessine toujours le haut-fond de Galice comme un horst, alors qu'il est classiquement comparé au Briançonnais, entre océan et bassin dauphinois.

L'association de deux bassins subsidents constitue le couple. – Comme le montre clairement Aubouin, un « *couple géosynclinal* », c'est l'association de deux bassins subsidents : des dépressions allongées et remplies d'eau de mer. Les sédiments qui s'y déposent sont à la fois épais et de profondeur relativement grande ; bref, ce sont des géosynclinaux. Ces « *géosynclinaux* » élémentaires sont séparés par un domaine non subsident, voire même en relief, une « *ride géanticlinale* ». Cette ride peut émerger par moments ; à d'autres moments elle reçoit des sédiments, qui peuvent être soit de faible profondeur (carbonates de plate-

forme, calcaires récifaux : Gavrovo sur la transversale des Hellénides), soit pélagiques mais d'épaisseur très réduite (Briançonnais sur la transversale des Alpes occidentales). Chacun de ces couples associe donc deux catégories de géosynclinaux : eugéosynclinal avec ophiolites, et miogéosynclinal sans ophiolites, séparés par un miogéanticlinal lui aussi sans ophiolites.

Et s'il n'y a pas de « ride géanticlinale » ? Le cas du « geocline » de Dietz. – Cependant, il semble que le fameux « géanticlinal », défini dans le Hellénides, n'existe pas partout : il peut y avoir des cas où des sédiments de marge continentale, qualifiés de « miogéosynclinaux », occupent le haut de ce que Dietz (1963) appelle un « geocline », et passent directement, au pied du talus, aux sédiments associés aux ophiolites (ces derniers sédiments sont alors océaniques, donc eugéosynclinaux), sans qu'il y ait la moindre trace d'un géanticlinal intermédiaire (cf. Figure 6).

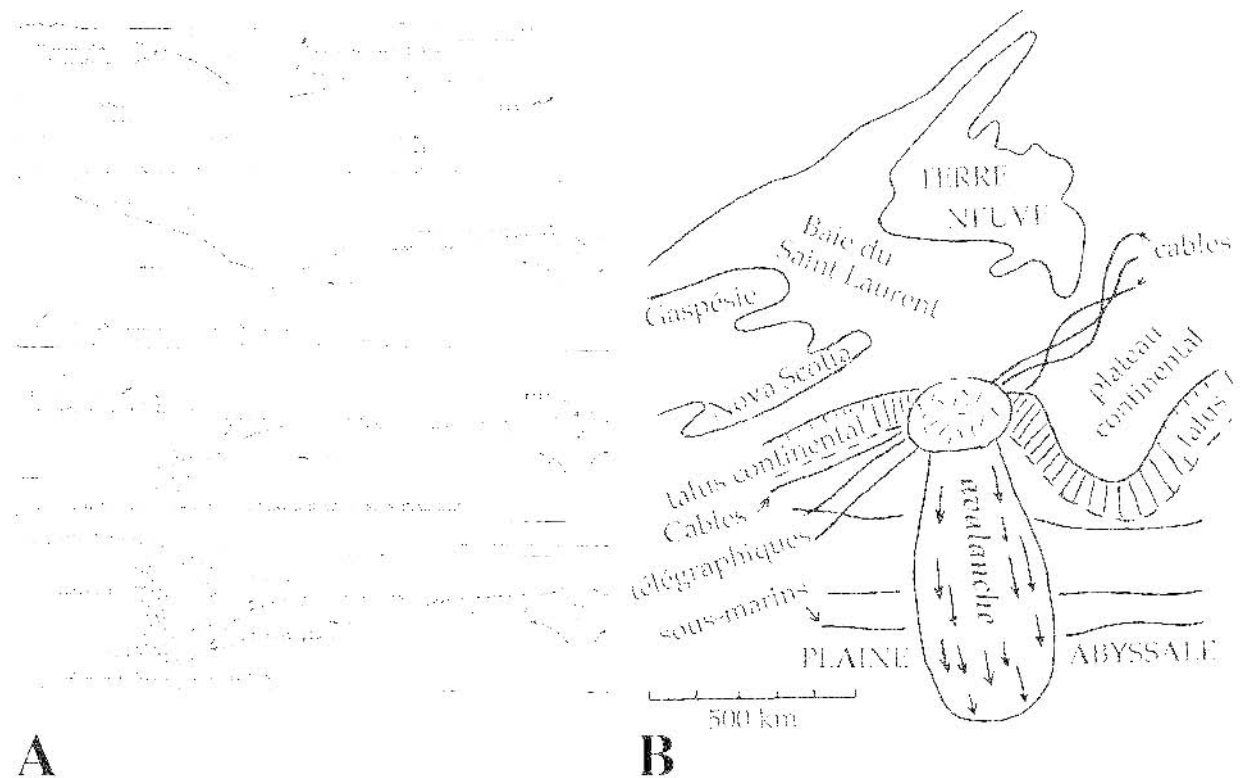


Figure 6. Une tentative de conciliation des paradigmes géosynclinal et océanique. Cette tentative fut proposée (Dietz 1963) durant la période de transition 1960-1970. Elle fut difficilement acceptée, bien que justifiée dans certains cas particuliers (par exemple au large du Canada près de l'embouchure du Saint-Laurent).

A : La figure originale de Dietz. Les deux coupes supérieures montrent comment les accumulations de sédiments sur le « geocline », c'est-à-dire le rebord du continent et le début du fond océanique peuvent être comparées à un « miogéosynclinal » et à un « eugéosynclinal », sans ride intermédiaire.

B : La baie du Saint-Laurent et le plateau continental au large de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve, qui illustrent un cas actuel comparable au « geocline » de Dietz. On a représenté le trajet de l'avalanche sous-marine due au séisme de 1929, dont la vitesse et l'ampleur sont connues

grâce à la rupture des câbles télégraphiques sous-marins. On verra plus loin (Figure 15) une tentative analogue due à Jean Aubouin (1973).

Un « couple », c'est-à-dire deux bassins : comment s'individualisent-ils ?

Nous verrons plus loin qu'en passant au nouveau paradigme, « océan et sa marge continentale passive », l'eugéosynclinal c'est l'océan, bien sûr, et le miogéosynclinal peut correspondre à un élément que l'on pourrait rencontrer dans certains cas favorables : un domaine d'abord peu subsident situé sur la marge continentale passive. C'est ce que l'on appelle un bassin « de bordure », en anglais « rim basin ». Ce dispositif se rencontrerait sur certaines marges continentales passives des océans actuels : en partant de l'océan, se succéderaient un relief parois émergé, qui est l'ancienne « épaule » du rift intra-continental, puis un bassin dit « de bordure » (« rim basin »), enfin la plate-forme continentale (Figure 7).

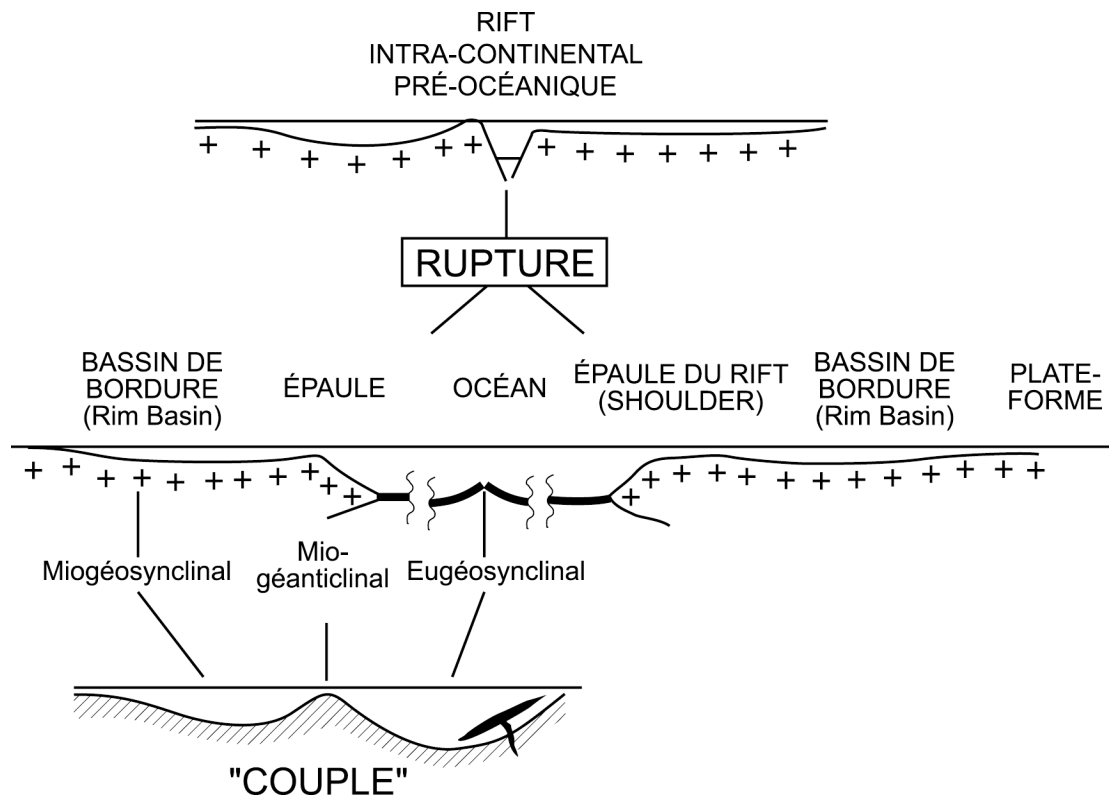


Figure 7. Correspondance entre la nomenclature actuelle (océan et ses marges continentales) et celle liée au paradigme géosynclinal. Si l'eugéosynclinal correspond bien à l'océan actuel, le miogéanticlinal et le miogéosynclinal pourraient correspondre respectivement à une épaule du rift intra-continental et à un bassin de bordure (« rim basin »), à l'origine peu profond. Pour simplifier le dessin, on n'a figuré ni les blocs basculés élémentaires ni les failles normales listriques qui les délimitent.

On voit bien que, transposés dans la nomenclature « géosynclinale », ces éléments (océan, épaule, rim basin, plate-forme) pourraient s'identifier, respectivement, à un « eugéosynclinal », un « miogéanticlinal », un

« *miogéosynclinal* », enfin à l'aire continentale qui, comme le voyait Haug, est située en bordure du géosynclinal.

Une autre explication a été proposée par Dietz (1963), dans une tentative de conciliation des deux paradigmes, géosynclinal et océanique. Pour cet auteur, bien que la théorie géosynclinale ne soit pas uniformitarienne (actualiste), on pourrait trouver des exemples modernes où s'accumuleraient sur la pente continentale (qu'il appelle « *geocline* ») deux groupes de sédiments (Figure 6). Les uns, en contrebas, liés à la croûte océanique, seraient « *eugéosynclinaux* ». Les autres, directement déposés sur le continent, seraient « *miogéosynclinaux* ». Mais cette tentative, proposée au moment du grand changement des années 1960-1970, qui s'efforçait de résoudre le problème posé par une science en crise, fut mal acceptée, bien que rejoignant une hypothèse plus ancienne (1947) de Marshall Kay (Figure 8) et annonçant une figure publiée ultérieurement par Aubouin (1973 : cf. Figure 15).

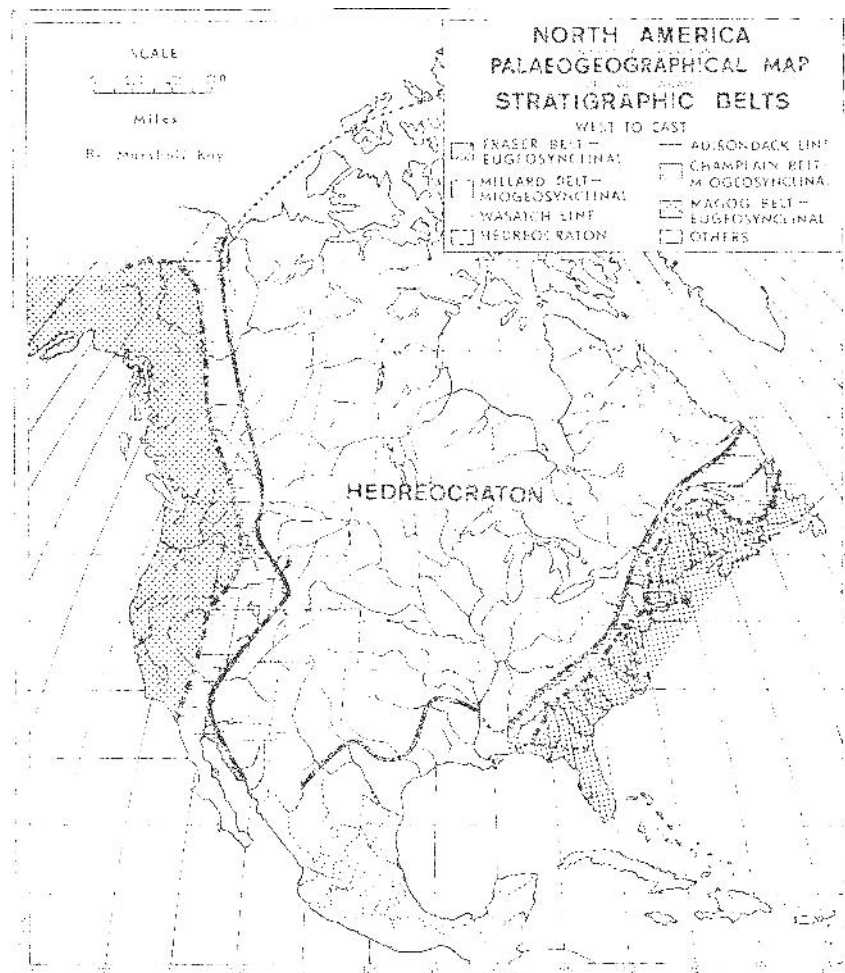


Figure 8. Bien antérieurement à Dietz, la quasi prophétique vision de Marshall Kay (1947) du continent ou craton américain et de ses franges géosynclinales au Paléozoïque : « *miogéosynclinal* » du côté continent et « *eugéosynclinal* » en bordure externe du craton américain, c'est-à-dire du côté de l'océan actuel qui (sauf peut-être du côté du Pacifique) ne correspond pas à un océan existant au Paléozoïque.

Couples, bicouples, etc.

Dans ses publications, et notamment dans son livre de 1965, Jean Aubouin ne cite pas seulement des « couples », comportant chacun deux géosynclinaux (Figure 9), un « eugéosynclinal » et un « miogéosynclinal ». Il parle aussi de « bi-couples », terme qui peut surprendre.

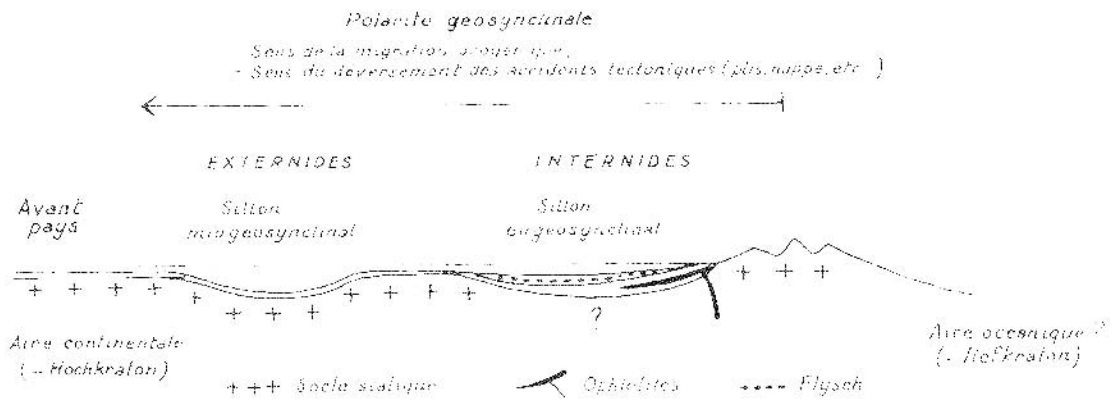


Schéma résumant les caractéristiques principales d'un couple élémentaire sillons engéosynclinal-sillon miogéosynclinal (géosynclinal monoliminaire).

La figure se situe au moment où le Flysch n'a pas encore gagné le sillon miogéosynclinal (effet de barrière en creux du sillon engéosynclinal).

Figure 9. Le schéma ultra classique du « couple géosynclinal » dû à Jean Aubouin, publié dès l'année 1959 et en quelque sorte « immortalisé » dans son ouvrage de 1965. En particulier, on y voit une sorte de « champignon noir » qui représente, compte tenu de l'échelle, la section de l'énorme coulée que l'on supposait être à l'origine des ophiolites, selon les hypothèses de Brunn et de Dubertret (cf. Figure 12).

En réalité, dès lors que nous admettons qu'un couple géosynclinal est à l'origine d'un futur orogène, un « bi-couple » désigne deux futurs orogènes contigus et parallèles. Citons seulement deux exemples (Figures 10 et 11).

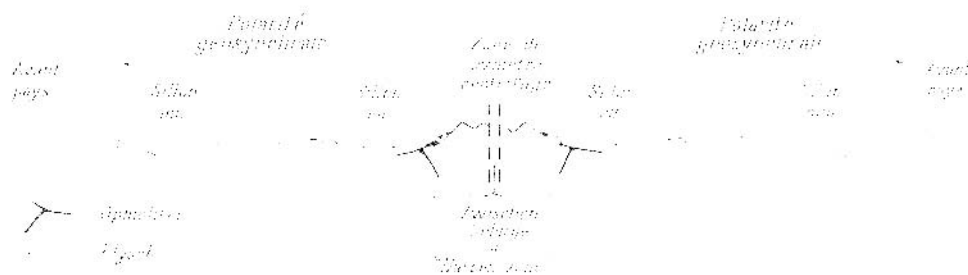


Figure 10. Un exemple de « bicouple » divergent, représenté en utilisant le paradigme géosynclinal. Ce pourrait être, par exemple, le bicouple chaînes Bétiques d'Espagne méridionale - chaînes d'Afrique du Nord : dans ce dernier cas, bien sûr, pas de relief intermédiaire (« *Twischengebirge* » ou « *Narben zone* ») mais un domaine à fond océanique, la mer d'Alboran. (D'après Jean Aubouin, 1965, figure 19, p. 74).

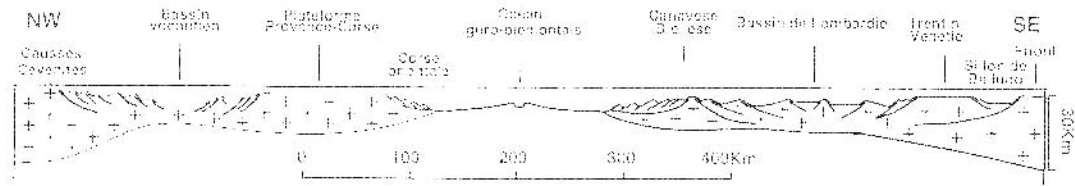


Figure 11. Un exemple de bicouple convergent, représenté en utilisant le paradigme océanique : une coupe au Jurassique supérieur des Causses à la Corse, à la Lombardie et au Frioul. En nomenclature « géosynclinale », l'océan liguro-piémontais, c'est l'eugéosynclinal, de part et d'autre duquel se trouveraient deux miogéosynclinaux, vocontien et de Lombardie.

Les chaînes Bétiques du sud de la péninsule Ibérique ont leur avant-pays (au-delà du miogéosynclinal) situé au nord. Inversement, au sud, de l'autre côté de la mer d'Alboran, les chaînes alpines d'Afrique du Nord ont leur avant-pays au sud, du côté de l'Atlas. L'ensemble de ces deux couples géosynclinaux devenus deux orogènes qui se « tournent le dos », forme un « bi-couple divergent ». Par ailleurs, si nous parcourons successivement l'Apennin puis les Dinarides (ou les Hellénides), alors nous aurons traversé un « bi-couple convergent ».

Et l'on pourra bien sûr, en franchissant plus de deux orogènes, traverser plusieurs bi-couples successifs : sud des Alpes occidentales, Apennin, Dinarides ou Hellénides, Carpathes ou Balkans : voilà quatre couples où l'on peut trouver deux bicouples divergents et un bicouple convergent (Aubouin, 1965, fig. 20, p. 75). Mais de telles considérations apportaient-elles un progrès de nos connaissances ? Il semble que non. Mais, bien évidemment, elles permettaient de mettre de l'ordre dans une organisation parfois confuse.

Pourquoi un couple ? Une notion héritée des Hellénides

Dans l'interprétation de Jean Aubouin (1959, 1961, 1965), on en arrive toujours à la notion de « couple », chaque couple comportant :

- un eugéosynclinal (avec ophiolites et radiolarites)
- et un miogéosynclinal (sans ophiolites),

nécessairement séparés par un miogéanticlinal, en relief, parfois émergé, parfois recevant des sédiments de faible profondeur, ce qui est bien évidemment le cas de la « ride du Gavrovo » entre l'eugéosynclinal du Pinde et le miogéosynclinal ionien. C'est ainsi qu'a été défini, puis immortalisé, si l'on peut dire, le « couple géosynclinal » (Figure 9).

Jean Aubouin a mis en évidence d'autres cas où l'on trouvait bien le couple, avec parfois des nuances. Par exemple, un autre type de « miogéanticlinal », d'abord émergé puis enfoncé en profondeur et recevant alors des sédiments pélagiques peu épais et entrecoupés de lacunes, est celui du Briançonnais dans les Alpes

occidentales, entre « *eugéosynclinal piémontais* » et « *miogéantyclinal dauphinois* ». Mais son histoire est bien différente de celle de la ride du Gavrovo.

Par contre, les tentatives, par certains géologues, d'utiliser les termes « *épaules* » du rift et « *rim basins* », n'ont guère été couronnées de succès.

En définitive, c'est bien la généralisation de la transversale des Hellénides, avec sa « *ride du Gavrovo* » bien individualisée, qui a conduit Jean Aubouin à définir ce qu'il appellera invariablement un « *couple géosynclinal* ». Il semble bien que, pour cet auteur, un géosynclinal ne peut se présenter que sous la forme d'un « *couple* », jamais autrement : deux fosses allongées, séparées par un relief tantôt émergé, tantôt immergé sous une faible profondeur d'eau. Ce qui explique peut-être pourquoi il n'a pas jugé utile de citer Dietz (1963), dans la très longue liste bibliographique de son mémoire fondamental de 1965, car le « *geocline* » de Dietz, d'ailleurs très controversé dans le monde géologique de l'époque, pêche par un grave défaut : l'absence de ride intermédiaire (cf. Figures 6 et 13).

Il reste à examiner comment les différents auteurs vont expliquer la genèse des ophiolites dans la partie « *eugéosynclinal* » d'un couple.

7. Et l'origine des ophiolites ?

Ophiolites : une succession caractéristique

Depuis Franchi (1902), Steinmann (1927) et quelques autres, on sait que les roches basiques et ultrabasiques que l'on rencontre dans des chaînes de montagnes comme les Alpes ou l'Apennin s'organisent en une succession caractéristique. Cette succession comporte, de bas en haut :

- 1) péridotites (plus ou moins serpentinisées) ;
- 2) gabbros ;
- 3) complexe filonien, bien connu à Chypre, en Turquie ou en Oman, mais absent dans les Alpes, en Corse ou dans l'Apennin ;
- 4) basaltes en coussins.

Pour Steinmann, qui avait étudié les ophiolites surtout dans l'Apennin, cette succession est surmontée par des radiolarites : sa « *trilogie* » comprenait donc gabbros, basaltes en coussins et radiolarites. Pour nous, dans les Alpes, la trilogie ophiolitique comporte serpentinites, gabbros et basaltes en coussins.

La naissance des ophiolites : plusieurs paradigmes suivant les étapes de la recherche scientifique et suivant les auteurs

Antérieurement aux années 1960-1970, c'est-à-dire à l'époque où l'on ne parlait que de géosynclinaux, on savait qu'au sein d'un couple eu-mio les ophiolites

ne pouvaient naître, par définition, que dans les eugéosynclinaux. On savait aussi qu'un eugéosynclinal se trouvait dans la partie dite « *interne* » du futur orogène. Pour que le modèle soit complet, il fallait donc également expliquer la genèse des ophiolites.

Deux paradigmes associés étaient donc nécessaires,

- l'un justifiant la notion de « *couple* »,
- l'autre expliquant la mise en place des ophiolites.

Le premier doit répondre à la question : pourquoi deux géosynclinaux associés (ou si l'on veut : un « *couple* ») ? Nous venons d'y répondre : c'est le « *modèle Hellénides* » qui devrait s'appliquer partout – nous disons bien : « *qui devrait* ».

L'autre paradigme doit nous expliquer comment naissent les ophiolites dans la partie « *eu* » du couple.

Dès lors, d'une époque à l'autre, et d'un auteur à l'autre, la genèse des ophiolites a dû être expliquée à l'aide de différents paradigmes. On laissera de côté une interprétation non magmatique ancienne (années 1940), éphémère et peu crédible, qui supposait que les serpentinites (Roubault, à Nancy), ou même l'ensemble des ophiolites (Conti, à Gênes) résultaient du métamorphisme de dolomies.

Le choix entre trois solutions pour la mise en place des ophiolites

En réalité, nous allons devoir choisir entre trois paradigmes capables d'expliquer la mise en place de ces ophiolites. Deux de ces paradigmes (1 et 2 ci-après) concernent uniquement les eugéosynclinaux, et plutôt leur partie interne. Ils sont nés durant une période de « *science normale* » au sens de Kuhn. Le troisième nous fait quitter le paradigme géosynclinal, et entrer dans le nouveau paradigme, celui de l'océan. Autrement dit, après avoir franchi avec succès une courte période de « *science en crise* », on entre alors dans une nouvelle période de « *science normale* », celle que nous vivons encore actuellement.

De 1940 à 1970-1975, la nature du fond des océans était inconnue : tout cela, parce que la plupart des géologues, français notamment, ont ignoré les résultats de Wegener.

À quelques rarissimes exceptions près (ex. : le Suisse Émile Argand), les résultats du météorologue allemand Alfred Wegener étaient soit inconnus, soit refusés par la majorité des géologues et géophysiciens d'alors (voir Lemoine, 2004). On ne « *savait* » donc pas que le fond des océans actuels était constitué de roches basiques, principalement basaltiques, ce qu'à cette époque on appelait du Sima, s'opposant au Sial bien plus léger des continents.

Alors, pour expliquer la présence d'ophiolites (basaltes, gabbros et péridotites plus ou moins serpentinisées) dans les chaînes de montagnes comme les Alpes ou les Hellénides, il fallait inventer un paradigme spécifique qui expliquât la genèse des ophiolites au sein des géosynclinaux. C'est ainsi que, durant la première moitié du XX^e siècle, on s'est obstiné à parler d'eugéosynclinaux plutôt que d'océans (paradigmes 1 et 2 ci-après).

Paradigme 1 : injection à la base d'une nappe embryonnaire (Argand, Gignoux)

Quand, en 1916, Émile Argand cherchait à expliquer la genèse des nappes penniques qu'il avait récemment mises en évidence, il a supposé que, dès le début de l'histoire « *géosynclinale* » (au cours du Jurassique inférieur pour les Alpes), ces nappes étaient déjà esquissées et en cours de progression. Autrement dit, la compression horizontale qui est responsable de la formation des nappes de charriage aurait fonctionné très tôt, dès le début du Jurassique, c'est-à-dire en pleine période géosynclinale, alors que des sédiments s'accumulaient dans des fosses. Déjà, Argand dessine deux fosses séparées par une zone haute qui n'est autre qu'un « *embryon* » de nappe de charriage. Bref, il met en place le concept d'embryotectonique, et, par chance si l'on peut dire, il dessine un « *couple* ».

Les sédiments déposés dans ces fosses sont les futurs « *schistes lustrés* » alpins. Ces schistes lustrés contiennent des intercalations de « *roches vertes* », les « *pietre verdi* » des Italiens, c'est-à-dire des ophiolites. Dans toutes les montagnes alpines qu'Argand a parcourues et cartographiées si minutieusement, ces roches vertes sont aussi métamorphiques que les schistes lustrés. Peut-être peut-on y distinguer gabbros et basaltes, c'est sans grande importance. Dès cette époque, délibérément, Argand (1916) les met en place par injection du magma basique le long de surfaces de chevauchement à la base d'un « *embryon de nappe* », en situation plus interne (cf. Figure 3).

Une trentaine d'années plus tard, Maurice Gignoux (1950, fig. 85) va proposer un schéma comparable, plus complet que celui d'Argand. Sur sa coupe des Alpes occidentales, on voit se succéder du SE au NW, d'abord un « *géosynclinal piémontais* » (ou zone du Piémont, ou « *grande fosse alpine* »), au sein duquel les « *roches vertes* » sont injectées le long de surfaces de chevauchement (cf. Figure 4), ensuite un géanticlinal briançonnais, puis un géosynclinal dauphinois. Autrement dit, ce que Jean Aubouin appelle un « *couple* » comportant eugéosynclinal, miogéanticlinal et miogéosynclinal.

Disons tout de suite que ce premier paradigme ophiolitique est bien cité par Aubouin, mis non retenu en fin de compte. Car cet auteur ne prend pas clairement parti pour tel ou tel contexte tectonique qui puisse être responsable de la naissance du « *couple géosynclinal* » : compression, ou extension horizontale. Par contre, l'évolution du couple vers un orogène se fera bien sûr en compression.

On verra cependant plus loin (cf. Figure 14) que la comparaison avec la transversale du banc de Galice, et l'existence de blocs basculés entre ce banc et le fond océanique, privilégie plutôt l'hypothèse d'une genèse en extension horizontale, du moins pour nous à l'heure actuelle.

En réalité, bien évidemment, ni le modèle d'Argand, ni celui de Gignoux ne conviennent. La mise au point de Jean Aubouin (1965) sera irrévocablement liée à un autre paradigme concernant la genèse des ophiolites, comme on va le voir maintenant.

Paradigme 2 : une énorme coulée sous-marine, très épaisse, avec cristallisation fractionnée et décantation (Brunn et Dubertret)

Dans les années 1940 et au début des années 1950, presque tous les géologues, européens ou américains, ignoraient la nature du fond des océans. Voilà qu'apparaît, pour expliquer la genèse des ophiolites, un paradigme qui nous fait penser aux épicycles ptoléméens... Cette affirmation n'est nullement péjorative, dans la mesure où ce paradigme résout élégamment et du mieux possible les problèmes qui se posaient à l'époque, quand presque tous – sauf les rarissimes partisans de Wegener – ignoraient la nature et l'évolution du fond des océans actuels.

Jean Aubouin, dans sa tentative de « *codifier* » le couple eu-mio-géosynclinal, va en effet utiliser un paradigme dû principalement à Jan H. Brunn qui avait lui-même étudié les ophiolites du Pinde, et à Louis Dubertret, qui avait étudié celles de l'est de la Turquie, du nord de la Syrie et du Liban. Ces deux géologues vont nous proposer une explication très originale (Brunn, 1940, 1952 ; Dubertret, 1937, 1952).

À l'époque, dans les années 1940-1950, on ne « *savait* » pas que les ophiolites pouvaient être d'origine océanique, car (du moins en France), on « *ignorait* » encore l'apport de Wegener. Il fallait pourtant expliquer leur formation, au sein d'un eugéosynclinal : comment imaginer la formation d'une succession ophiolitique si bien visible sur le terrain, que ce soit dans les Alpes ou l'Apennin, en Grèce et même en Turquie, à Chypre et jusqu'en Syrie et au Liban ?

Une énorme coulée volcanique sous-marine. Jan H. Brunn et Louis Dubertret, chacun de son côté, imaginent alors la mise en place, sur le fond du géosynclinal, d'une coulée volcanique sous-marine, faite de magma basique. Cette coulée « géante » aurait été extrêmement épaisse (plusieurs centaines, voire même un ou deux milliers de mètres ; cf. Figure 12) : une sorte d'énorme « *goutte* » allongée et de section lenticulaire qui va se refroidir au contact de l'eau de mer.

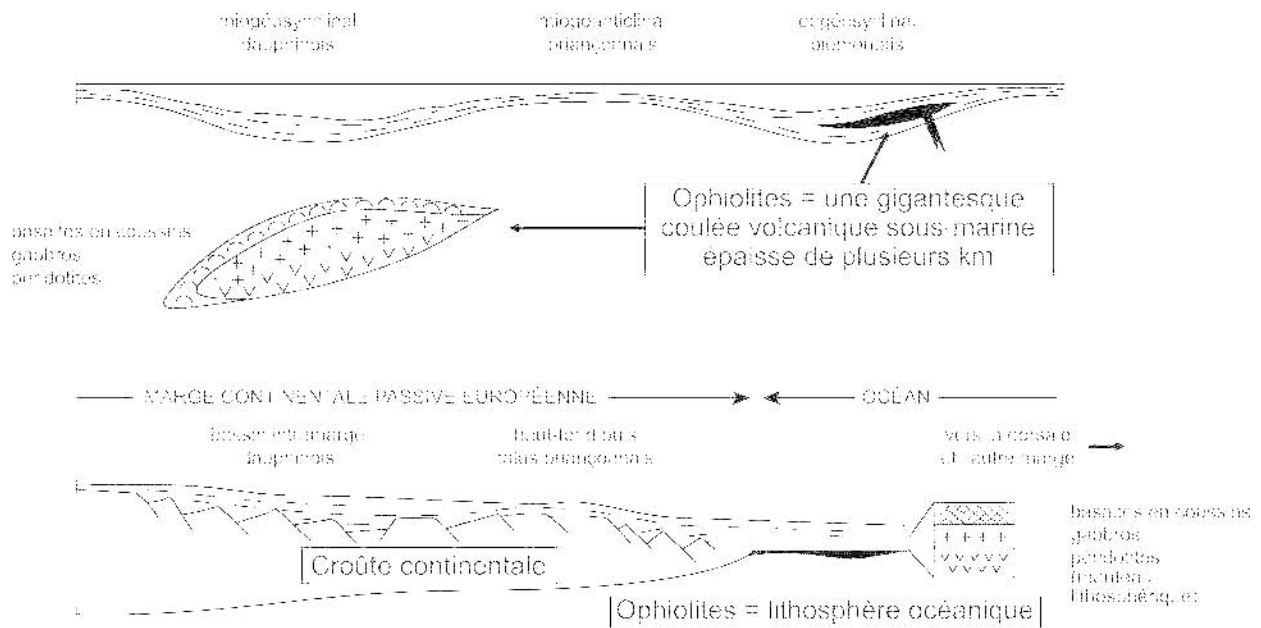


Figure 12. La genèse des ophiolites suivant le paradigme de l'énorme et unique coulée (Brunn et Dubertret), comparé au paradigme admis actuellement (ophiolites = croûte océanique).

Le refroidissement de la coulée géante : carapace de basaltes en coussins ; cristallisation fractionnée avec décantation des premiers minéraux, les plus lourds

Ce refroidissement va avoir deux résultats. Le premier, c'est la formation, rapide, d'une carapace de basaltes en coussins, sur laquelle pourront se déposer des sédiments, par exemple des radiolarites. Le deuxième résultat, c'est un début de cristallisation fractionnée. On sait que dans un tel cas, les minéraux qui cristallisent en premier sont les plus riches en fer et magnésium. Ils sont donc plus lourds, plus denses que le magma encore liquide. Ils vont alors descendre lentement pour s'accumuler, les uns au-dessus des autres : d'abord, tout au fond de la poche, des pyroxènes et des péridotes, plus haut des pyroxènes et des feldspaths.

On voit ainsi comment pourrait se former, de bas en haut, une couche de péridotites, surmontée d'une couche de gabbros, sous la carapace de basaltes en coussins. C'est sur ces basaltes que les premiers sédiments (radiolarites, calcaires pélagiques, etc.) se seraient déposés. Ce processus expliquait donc la formation de la succession ophiolitique que l'on avait vue sur le terrain. On sait en outre que cette succession est, somme toute, comparable à ce que nous savons maintenant de la composition de la croûte océanique (Figure 12).

Dans les descriptions de Brunn et de Dubertret, il n'est pas fait mention du complexe filonien, épais d'environ un kilomètre, intercalé entre gabbros et basaltes, et qui existe bien à Chypre et en Turquie. Ces auteurs y voient simplement une « transition » faite de roches microlitiques, sans représenter la verticalité des filons jointifs vis-à-vis de l'horizontalité des limites entre couches ophiolitiques.

Il va de soi que l'on ne connaît aucun exemple actuel de telles « *coulées géantes* ». Le processus alors proposé était certes satisfaisant pour l'esprit. Mais il était basé, faute de mieux, sur des faits sans existence réelle : voilà qui évoque, une fois encore, les épicycles de Ptolémée.

Il faudra donc chercher ailleurs, ce qui ne sera possible que dans les années 1960-1970, quand tous connaîtront suffisamment bien la nature et l'évolution du fond des océans et de leurs marges continentales, et que le paradigme de la tectonique des plaques sera en train de naître.

Un modèle qui eut pourtant la vie dure

En attendant, la synthèse de Jean Aubouin, tout à fait légitime jusque vers le début, voire le milieu des années 1960, nous montre la genèse des ophiolites au fond d'un eugéosynclinal sous forme de l'énorme coulée, avec son pédoncule sorti du tréfonds de la croûte terrestre. Compte tenu de l'échelle, le dessin d'une coupe verticale nous montre une sorte de champignon, noir en l'occurrence, sur les dessins d'Aubouin (cf. Figure 9).

Or il se trouve que 1965 est l'année de la parution, chez Elsevier, de la synthèse de Jean Aubouin, sous forme d'un livre de 335 pages, illustré de 67 figures, qui s'intitule tout simplement « *Geosynclines* ». Bien sûr, cet ouvrage a été écrit au cours des cinq, peut-être même des dix années précédentes. Mais la malchance, si l'on peut dire, fut que sa parution coïncidât avec celle des articles fondateurs de la tectonique des plaques, qui s'appuyaient sur une géologie océanique que l'on commençait à bien connaître : on citera ici seulement, parmi les principaux, ceux de H. Hess (1952, mais des « *preprints* » circulaient dès 1950), de J. Tuzo Wilson (1965), et de Xavier Le Pichon (1968).

Mais le modèle « *Brunn-Dubertret* » a eu la vie dure. En effet, plus tardivement, alors que la géologie océanique moderne et la tectonique des plaques étaient universellement admises, certains ouvrages mentionnaient, à titre de contribution à l'histoire de la géodynamique, le modèle abandonné des géosynclinaux. Pour l'illustrer, ce sont les derniers dessins de Jean Aubouin (1965 notamment) qui servirent d'illustration. C'est pourquoi, dans des ouvrages comme, par exemple, le *Dictionnaire de Géologie* de A. Foucault et J.-F. Raoult (Masson, 1980 et éditions suivantes), ou la *Géologie des marges continentales* de Gilbert Boillot (Masson, 1979 et éditions suivantes), pour illustrer la notion, désormais historique, de géosynclinal, on trouve le très fameux dessin d'Aubouin (cf. Figure 9), qui nous montre deux choses :

- d'une part le « *couple* », avec le géanticlinal médian, hérité du Gavrovo dans les Hellénides ;
- et d'autre part cet étonnant « *champignon noir* », qui représente une coupe de la « *coulée géante* », héritée du modèle Brunn-Dubertret.

Paradigme 3 : L'injection de magma à l'axe d'une dorsale et la genèse de la croûte océanique

C'est entre 1960 et 1970 que ce paradigme prend force de loi. Si l'on se réfère au modèle de Thomas Kuhn, on quitte alors la période de « *science en crise* » pour entrer dans une nouvelle période de « *science normale* ». En effet, dès que l'on a pu montrer que les ophiolites correspondaient à la croûte des océans actuels et que leur genèse se faisait à l'axe des dorsales, on sortait bien évidemment du paradigme des géosynclinaux : on ne parlait plus d'eugéosynclinal, mais d'océan. Curieusement, cela interviendra bien tard, au cours des années 1960, alors que ceux, très rares, qui avaient lu et compris Wegener savaient depuis 1912 ou 1915 que le fond des océans était basaltique, ou mieux « *ophiolitique* » (cf. § 11 ci-après).

8. Quelques progrès et quelques problèmes

Récapitulation

On a donc vu que, durant presque un siècle, de Hall (1859) et Dana (1873) à Aubouin (1959, 1961, 1965) et Dietz (1963), le paradigme géosynclinal a évolué (Figure 13). Mais la pertinente analyse d'Aubouin (1959,1961) a rapidement montré qu'il fallait se limiter aux orthogéosynclinaux, un groupe qui comportait deux variétés, eugéosynclinal (avec ophiolites) et miogéosynclinal.

Par ailleurs, le point de départ de Jean Aubouin était la transversale des Hellénides, où l'on rencontrait un trait essentiel de la paléotopographie géosynclinale : un « *géanticlinal* », le haut fond du Gavrovo, tantôt émergé et tantôt immergé, qui séparait nettement les deux catégories de géosynclinaux. Il en est résulté la notion de couple, dont, peu à peu, Jean Aubouin a fait un modèle que l'on devait, ou aurait dû, retrouver dans toutes les chaînes. Enfin, l'évolution sédimentaire des deux sillons géosynclinaux a permis à cet auteur de mettre en évidence la polarité géosynclinale.

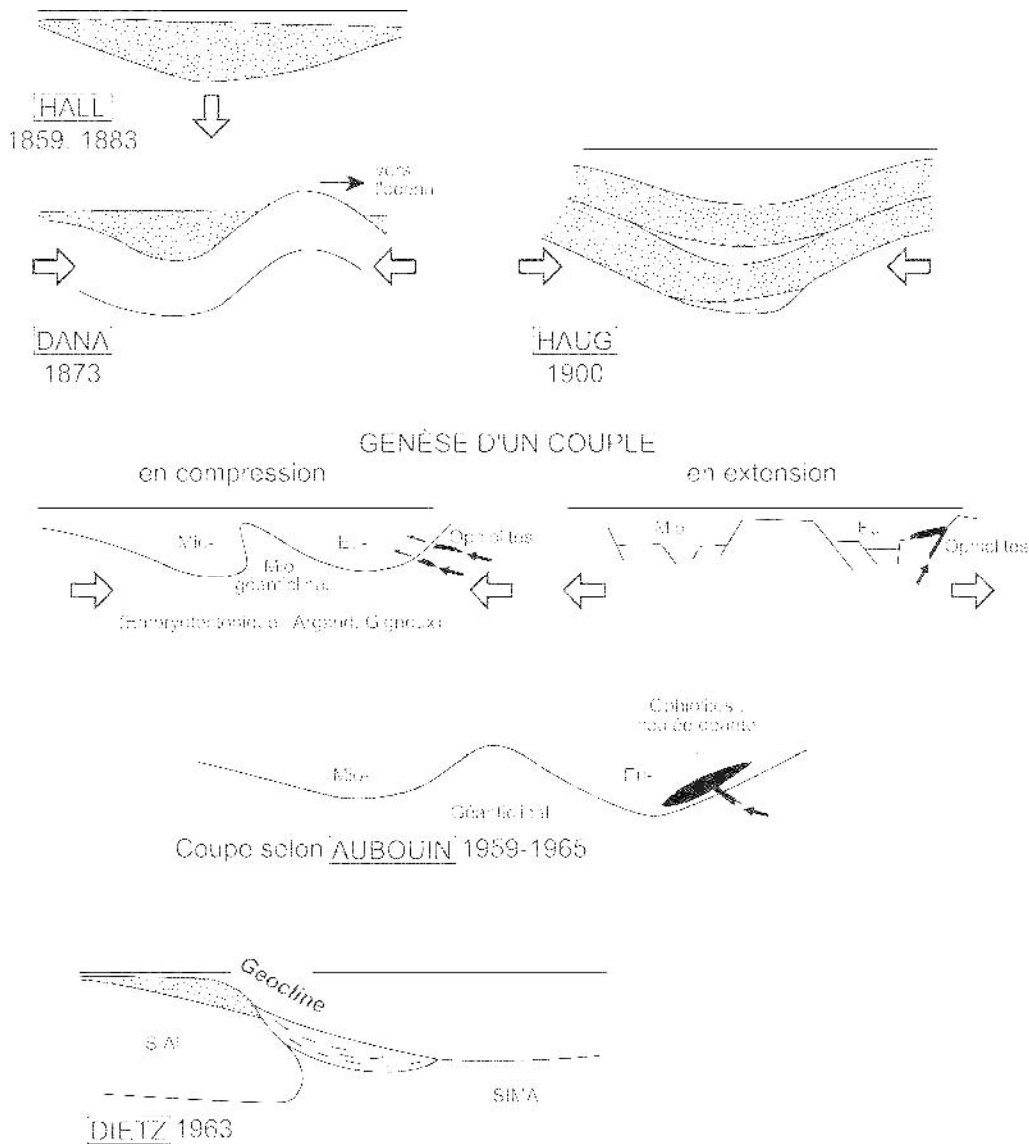


Figure 13. Récapitulation : diverses manières de dessiner des géosynclinaux, de Hall (1859, 1883) et Dana (1873) à Aubouin (1965) et Dietz (1963).

L'histoire sédimentaire d'après Aubouin : une série d'étapes

Jean Aubouin (1959, 1961, 1965) a montré que l'histoire sédimentaire d'un sillon géosynclinal peut se diviser en plusieurs périodes hiérarchisées. Pratiquement, les mêmes subdivisions se rencontrent dans les deux sillons d'un « couple », avec bien sûr un décalage, celles du miogéosynclinal succédant dans le temps à celles de l'eugéosynclinal (cf. Aubouin, 1959, p. 182), ce qui est un des aspects de la « polarité géosynclinale ». Au cours du déroulement du temps, on peut distinguer une série d'étapes :

- 1° Évolution géosynclinale :
 - a) Stade d'individualisation ;
 - b) Stade d'état :
 - Période de vacuité ;

- Période de comblement ;
 - c) Stade terminal (tectogenèse) ;
- 2° Évolution post-géosynclinale.

Ce schéma est initialement hérité de la transversale des Hellénides. Il peut aisément être transposé dans divers autres orogènes, comme celui des Alpes occidentales.

Subsidence, profondeur de dépôt et forme des sillons géosynclinaux

Si nous suivons la classification de Jean Aubouin, nous avons affaire à un couple, constitué de deux « *géosynclinaux* » élémentaires, bref de deux dépressions allongées (si l'on veut, en forme de « *gouttières* ») et séparées par un relief. Ce relief intermédiaire, baptisé géanticlinal, peut, suivant les stades d'évolution du futur orogène, être tantôt émergé ou tantôt immergé. Deux questions préliminaires se posent alors.

Profondeur marine d'un eu- ou d'un miogéosynclinal. – Quelles pouvaient être les profondeurs de ces deux dépressions, au début de l'histoire géosynclinale, c'est-à-dire au stade dit « *d'état* », et même au tout début de ce stade, qui est sa période de vacuité. À cet instant initial, peu ou très peu de sédiments se sont déposés. Tous les dessins de Jean Aubouin nous montrent alors un « *eugéosynclinal* » plus profond que le « *miogéosynclinal* ». Et c'est dans cet eugéosynclinal quasiment vide que vont se déposer des radiolarites, à peu près en même temps que se mettent en place les ophiolites, suivant le schéma de la coulée géante déjà décrite (cf. Figure 12). Or, quelle que soit l'époque, on admettait au début du siècle, et on admet encore maintenant que des radiolarites ou des vases à radiolaires se déposent à grande profondeur, en dessous de la CCD (Carbonates Compensation Depth) : approximativement à partir de 2 000 mètres au Jurassique, de 4 000 mètres actuellement.

Compression ou extension horizontales ? – La deuxième question est le corollaire de la première : le creusement de ces dépressions résulte-t-il d'une compression ou d'une extension transversales au système géosynclinal, c'est-à-dire à la future chaîne de montagnes ? Une compression, comme l'exprime exagérément le modèle de l'embryotectonique d'Argand et de Gignoux (cf. Figures 3 et 4). Ou au contraire une extension, comme exprimé par les Figures 5 et surtout 14. Jean Aubouin ne prend pas clairement parti sur ce point. Ce n'est que plus tard que nous connaissons la primauté de l'extension horizontale, avec blocs basculés et failles normales, caractérisant un rift pré-océanique.

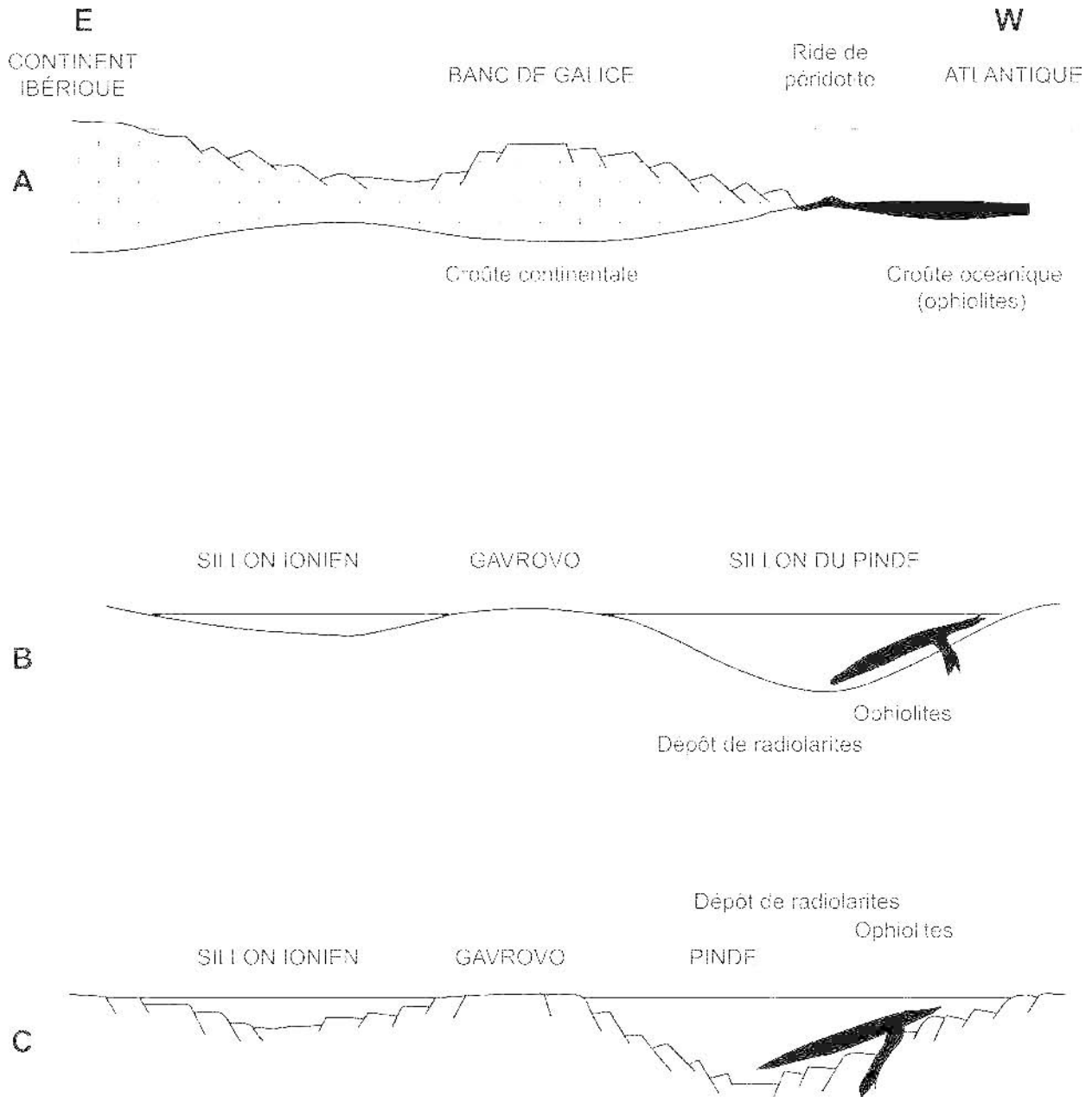


Figure 14. Comparaison de l'ensemble sillon ionien (miogéosynclinal) - haut-fond du Gavrovo (ride miogéanticlinale) - sillon du Pinde à ophiolites (eugéosynclinal) avec la marge actuelle du continent ibérique (bassin - banc de Galice - océan Atlantique).

Coupe A : interprétation actuelle : Ibérie - banc de Galice - océan Atlantique.

Coupe B : du sillon ionien au haut-fond du Gavrovo et au sillon du Pinde, selon le paradigme géosynclinal proposé par Jean Aubouin.

Coupe C : le même, mais avec, comme au large de la Galice, des failles normales expliquant la genèse des sillons et du haut-fond intermédiaire, dans un contexte d'extension horizontale. On notera que, sur cette coupe de Galice, failles normales et blocs basculés sont connus grâce à la sismique : le système est bien en extension horizontale.

**Accumulation de sédiments : nécessairement dans un « creux », un « sillon » ?
Pourquoi pas sur un plateau et un talus ?**

Le mot géosynclinal dérive bien sûr de celui de « *synclinal* » : il évoque une sorte de « *gouttière* » allongée. Car tous les auteurs, à quelques exceptions près (cf. Figure 6), ont instinctivement pensé qu'une accumulation de sédiments, éventuellement à une profondeur notable (plusieurs centaines, voire même quelques milliers de mètres) ne pouvait se faire que dans un bassin « *en creux* », fonctionnant comme un « *piège à sédiments* ». Le géosynclinal étant à l'origine d'un orogène, qui est bien sûr étroit et allongé, on va penser, inévitablement, que ce géosynclinal ne peut être qu'un bassin de dimensions comparables : une « *gouttière* ». Mais est-ce bien vrai dans tous les cas ?

Prenons le cas du miogéosynclinal : généralement, on dessine d'instinct la section d'une gouttière allongée, qui va permettre aux sédiments, déposés à plus ou moins grande profondeur, de s'accumuler. Mais il existe une autre possibilité, qui est connue sur certaines marges continentales abondamment alimentées en sédiments par de grands fleuves.

Au large du Canada et de Terre-Neuve : un « geocline » ?

On peut citer comme exemple le domaine immergé situé au large des côtes du Canada, au débouché du fleuve Saint-Laurent. C'est là que se trouve le plateau continental qui longe au sud-est la Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve (cf. Figure 6). À l'embouchure du fleuve, tout comme sur le plateau continental, s'accumule une grande épaisseur de sédiments apportés par le Saint-Laurent, cours d'eau important qui, avec ses affluents, draine une très grande surface continentale. Si nous retrouvions ces épais sédiments dans un orogène, nous penserions instinctivement au remplissage d'un bassin, que nous appellerions « *miogéosynclinal* ».

Mais, dans ce cas particulier, ne devrions-nous pas plutôt, utilisant la terminologie de Dietz (1963), parler de « *géocline* » (« *geocline* » en anglais) ? La question reste ouverte : miogéosynclinal, ou partie haute d'un géocline, nul ne peut savoir *a priori* comment interpréter une grande accumulation de sédiments sans ophiolites.

De plus, toujours au large du Canada, il y a les sédiments accumulés plus bas, au pied du talus continental : ils sont alors associés à de la croûte océanique : en ferions nous pour autant un « *eugéosynclinal* », qui, selon la nomenclature issue de l'étude des Hellénides, devrait être séparé du miogéosynclinal par une ride de type « *Gavrovo* » ou « *Briançonnais* ». Une telle ride, dans le cas évoqué ici, est inexistante.

On est donc obligé de revenir au « *geocline* » de Dietz.

Géosynclinaux et actualisme : où se cachent les géosynclinaux actuels, s'il y en a ?

Ce n'est pas seulement dans les chaînes alpines méditerranéennes, comme Alpes, Apennins, Dinarides-Hellénides, Carpates-Balkan, que l'on peut trouver un « *couple géosynclinal* ». Jean Aubouin (1965) a montré que le même dispositif peut se retrouver dans la chaîne hercynienne d'Europe moyenne, dans la chaîne calédonienne de Scandinavie, voire même dans les chaînes précambriennes. Cette répétition, continue au cours du temps, d'une même « *histoire géosynclinale* » et du même motif « *couple* » laisserait à penser que de tels événements continueraient à se produire actuellement sur notre Globe. Ce qui revient à poser la question : « *le processus générateur* » des géosynclinaux et de leur évolution est-il un phénomène qui s'accorde avec l'actualisme ? Autrement dit, trouve-t-on actuellement sur Terre, ici ou là, des géosynclinaux en cours de gestation ou d'évolution ?

Déception : la réponse est quasi négative. Il n'y a guère que dans l'arc insulaire qui va de Sumatra à Timor que l'on pourrait voir un éventuel géosynclinal en cours d'évolution (Aubouin, 1955, fig. 61 et 63). Mais cet arc serait à un stade d'évolution très avancée, disons « *tardi-géosynclinal* ». Bref, dans le cas du paradigme géosynclinal, qui régna jusqu'au début des années 1970, on ne trouve pas d'équivalent actuel. Il en est de même pour le paradigme de la gigantesque coulée (Figure 12), qui, elle aussi, n'a aucun équivalent actuel.

Par contre, dès le milieu des années 1970, l'actualisme est vainqueur : océans actuels (ou fossiles) et leurs marges continentales passives et actives, sont légion.

La « polarité géosynclinale »

Les arguments en faveur de cette polarité sont de trois ordres.

Les flyschs et la migration de leurs dépocentres. – Dans le bassin le plus interne (eugéosynclinal du Pinde), au Jurassique et au Crétacé, après la mise en place des ophiolites, se déposent des radiolarites et des sédiments calcaires de mer profonde. Mais les choses vont changer dès le début de l'Éocène. C'est alors que ce bassin va recevoir une accumulation de turbidites, dont les éléments détritiques proviennent d'unités plus internes (zone pélagonienne). Ce premier dépôt de flysch au sein du « *couple* » géosynclinal se voit sur notre figure 9. Mais dans la transversale des Hellénides, le dépôt des flyschs migre progressivement, à l'Oligocène et au début du Miocène, vers l'extérieur de la future chaîne, d'abord sur le géanticlinal médian (Gavrovo), puis dans le miogéosynclinal qui lui fait suite (bassin ionien).

La structuration. – Elle fait suite (cf. Aubouin, 1965, fig. 14) à la migration des flyschs. Dans la zone du Pinde commence vers la fin de l'Éocène une structuration en plis et en écaillés. Cette tectonisation va progresser vers l'ouest, sur la zone du Gavrovo à l'Oligocène, puis, au Miocène moyen dans la zone ionienne. Bref, une

sorte de « *vague structurale* » qui, en arrière des bassins de flyschs, migre vers l'extérieur de la chaîne en cours de formation.

Vergence des plis et chevauchements. – Pour ajouter un caractère supplémentaire à cette migration, la vergence, ou si l'on veut le déversement des plis et écaillés, se fait également en direction de l'extérieur de la chaîne des Hellénides.

On voit ainsi se dessiner nettement une « *polarité géosynclinale* ». Cette polarité se retrouvera dans d'autres chaînes, comme par exemple les Alpes occidentales, du domaine liguro-piémontais à ophiolites à la ride briançonnaise et pour finir au bassin dauphinois.

Dans toutes les chaînes, l'évolution est la même, la polarité résulte d'irréfutables faits d'observation. On peut également remarquer que si l'on passe du paradigme géosynclinal au paradigme océanique, la règle reste inchangée. Une subduction océan/continent devient une collision, c'est-à-dire une subduction continent/continent, « *bloquée* » en raison de la faible densité de la croûte continentale.

Et l'on sait bien que là, des zones internes vers les zones externes, l'âge des flyschs est de plus en plus récent, tout comme l'âge des structurations des différentes zones : par exemple liguro-piémontaise, piémontaise, briançonnaise, subbriançonnaise et dauphinoise dans le cas des Alpes occidentales.

9. La période charnière : 1960-1970- (1980)

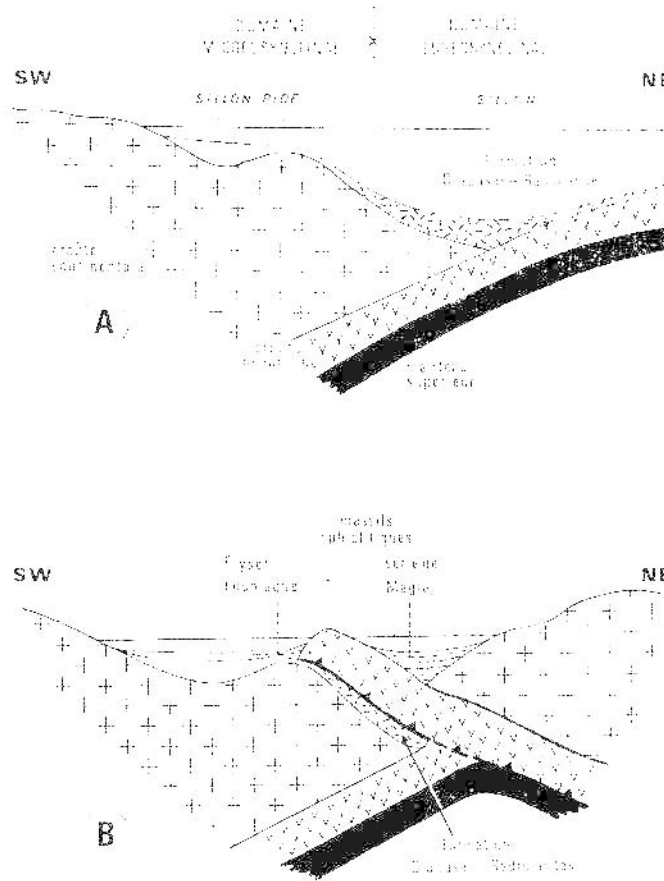
Nous voilà donc arrivés au début des années 1960.

On sait que les trois quarts de la planète sont couverts par des eaux océaniques. Or Wegener avait montré dès 1915 (et même 1912) deux données essentielles : d'une part, les continents dérivent les uns par rapport aux autres ; d'autre part et surtout, le fond des océans est fait de Sima, c'est-à-dire de roches basiques (basaltes, etc.). Mais la communauté des géologues, en France surtout mais aussi à l'étranger, continue à « *croire* » aux géosynclinaux. Les océans sont négligés.

Dans les deux cas, dérive des continents et paradigme océanique pour l'origine des chaînes de montagnes furent pratiquement évidents vers le milieu des années 1960. Et il va falloir encore quelques années, pour que tous, à de rarissimes exceptions près, admettent les données de la géologie océanique et de la tectonique des plaques.

Alors que Trümpy (1960) et Lemoine (1961) parlent encore de géosynclinaux, dix ans après la révolution est effective, de la science en crise on est passé à une

nouvelle période de science normale. Les dernières tentatives de concilier géosynclinaux et océans actuels se font encore jour (Dietz 1963), mais les premières années 1970 sont celles où les géosynclinaux sont « *morts et enterrés* ». Cela au moins dans les pays anglo-saxons ou germaniques. En France, il semble que la transition ait demandé quelques années de plus.



Le sillon géosynclinal et le paléoterrain des massifs tabulaires

Figure 15. Un dessin de Jean Aubouin (1973) qui, quelques années après Dietz, tente lui aussi de concilier les paradigmes géosynclinal et océanique. Mais on voit (coupe A) que l'auteur s'efforce, coûte que coûte, de conserver une ride entre sillon « *mio* » et sillon « *eu* », même s'il n'y a aucun argument dans ce sens.

Par convention, nous dirons que les articles fondamentaux de Dewey et Bird (1970) marquent définitivement le passage du paradigme géosynclinal au paradigme océanique. Cela va avoir plusieurs conséquences, notamment sur ce qu'avaient appris dans les années 1940 à 1970 les enseignants de l'enseignement secondaire en France, confrontés à ce qu'ils devaient enseigner dès 1975 : exemple instructif qui mérite un petit développement.

10. Recyclages nécessaires pour les enseignants du secondaire en France...

Un certain nombre d'enseignants de l'enseignement secondaire des collèges et lycées français, consultés, m'ont confirmé que le paradigme des géosynclinaux avait été enseigné en France, dans les universités (et surtout à Paris), jusqu'au début des années 1970.

Déjà, le très classique manuel de N. Théobald et A. Gama (1959) ne parlait encore, à cette époque que de géosynclinaux.

Et si nous regardons le *Précis de Géologie* de J. Aubouin, R. Brousse et J.-P. Lehman, et plus particulièrement le tome 3 (« *Tectonique, morphologie, le Globe terrestre* »), il est intéressant de comparer les trois éditions successives.

La première édition (1968) ne mentionne que les géosynclinaux, à l'origine des chaînes de montagnes : il reflète ce qui était encore enseigné en France, à l'époque même où paraissaient aux USA les premiers articles sur la géologie océanique et la tectonique des plaques (Hess 1962, Wilson 1965, Le Pichon, 1968).

Ainsi étaient donc formés, à cette époque, durant les années 1960, nos futurs professeurs des lycées et collèges français.

Cependant, si l'on regarde la troisième édition du même ouvrage (1975), on constate que l'on y parlait encore des géosynclinaux, mais que l'on commençait à évoquer aussi la géologie des océans et la tectonique des plaques.

On y lit par exemple que « *le nombre d'arguments en faveur de la Tectonique des Plaques augmente plus que les arguments contraires* », et qu'il est donc raisonnable de considérer que « *la Théorie des Plaques se trouve être la meilleure théorie à disposition des Sciences de la Terre* ». Le virage est donc pris, certes lentement, mais irrévocablement. Dès cette époque (cf. aussi Aubouin 1973), le paradigme des géosynclinaux ne sera plus mentionné, sinon dans le cadre de l'histoire de la géologie.

Ceux d'entre ces enseignants qui avaient entre 20 et 25 ans vers les années 1965-1970 ont pris leur retraite vers les années 1990 à 2000. Il va de soi qu'à cette dernière époque, les programmes de SVT (Sciences de la Vie et de la Terre) de 1^{re} S et Terminale S comportaient une importante proportion de tectonique des plaques et de géologie océanique, et cela depuis plus d'une dizaine d'années. Une « *remise à jour* » était donc absolument nécessaire, et la demande était grande.

C'est alors qu'avec Raymond Cirio, professeur au lycée de Briançon, créateur et animateur du Centre briançonnais de géologie alpine, nous avons pu effectuer ce type de remise à jour, sur le terrain, dans les Alpes françaises entre Briançon et Grenoble.

Pendant plus d'une décennie, des stages, inscrits au « *PAF* » (Plan académique de formation) ou d'universités d'été, financés par le ministère de l'Éducation nationale, se sont déroulés à Briançon, au cœur des Alpes occidentales françaises. Chaque année, une vingtaine d'enseignants des lycées et collèges français participaient à ces stages. La journée était consacrée au terrain, les soirées aux exposés récapitulatifs et aux discussions.

Le but était d'illustrer sur des cas concrets, les programmes de SVT (« *Sciences de la Vie et de la Terre* »). On y montrait les résultats de la tectonique des plaques, les restes des océans disparus (ici l'océan « *alpin* », dans le massif du Chenaillet près de Briançon) et ceux de leurs marges continentales (ici la marge européenne de cet océan, autour de Briançon et entre cette ville et Grenoble).

Deux problèmes essentiels ont été traités successivement : passer des géosynclinaux aux océans et aux marges continentales, puis passer du modèle « *Pacifique* » ou « *Oman* » au modèle « *Atlantique* » ou « *Alpes - Corse - Apennins* »

Au début, donc les premières années, l'une des caractéristiques de ces stages de terrain était le recyclage d'enseignants dont la formation avait eu lieu dans les universités françaises durant les années 1945 à 1965 et jusqu'en 1970. On leur avait en effet enseigné à cette époque que des chaînes de montagnes comme les Alpes naissaient de « *géosynclinaux* », et que les ophiolites étaient issues d'une énorme coulée sous-marine avec cristallisation partielle et décantation des cristaux les plus lourds et les premiers formés. Bref, ils étaient à cent lieues des programmes qu'ils avaient à enseigner !

Au total, plusieurs centaines d'enseignants du secondaire participèrent à ces stages, ce qui leur apporta deux éléments positifs. D'une part, on leur a donné la possibilité de mieux suivre, de mieux comprendre et donc de mieux enseigner le thème principal des programmes de Sciences de la Terre. D'autre part, ils eurent l'occasion de concevoir et réaliser, avec leurs élèves, des circuits sur le terrain permettant d'illustrer le cours théorique avec des exemples concrets.

11. Et pour conclure

Conclure, c'est répondre à deux questions. Premièrement, pourquoi, d'après Aubouin, y a-t-il toujours un « *couple* » ? Deuxièmement, si l'on avait tenu compte, sans attendre un demi-siècle, des résultats de Wegener, concernant surtout la nature basique-ultrabasique du fond des océans, les problèmes se seraient-ils présentés de la même manière ?

Pourquoi toujours un couple géosynclinal ? Le modèle « Hellénides » règne en maître

Si l'on en croit les articles et le livre publiés par Aubouin, les véritables géosynclinaux se présenteraient toujours sous la forme d'un « *couple* ». Ce couple aurait été fait d'un eugéosynclinal et d'un miogéosynclinal, séparés par un haut-fond, appelé géanticlinal. Dans le cas des Hellénides, point de départ de la synthèse de Jean Aubouin, ce seraient l'eugéosynclinal du Pinde séparé du miogéosynclinal ionien par le géanticlinal du Gavrovo. Bref, on nous enseignait, durant les années 1940-1970, que le « *modèle* » des Hellénides devait s'appliquer à tout futur orogène : affirmation qui a fait l'objet de quelques critiques (ex. : Debelmas *et al.*, 1966, 1967)

Et si l'on avait suivi Alfred Wegener ?

C'est dès 1915, et même 1912, que le météorologue Alfred Wegener avait mis en évidence deux points essentiels concernant l'évolution de notre Globe (cf. Lemoine, 2004).

1. Les continents dérivent les uns par rapport aux autres. Wegener l'a clairement montré pour l'Afrique et l'Amérique du Sud, en utilisant un raisonnement pluridisciplinaire. Il y combinait notamment paléontologie (espèces continentales identiques au Paléozoïque de part et d'autre de l'Atlantique Sud) et la géophysique (isostasie, qui interdit d'adopter le « *mythe* » des ponts continentaux).
2. Le fond des océans est fait de ce qu'à l'époque on appelait le Sima, c'est-à-dire une association de roches basiques et ultrabasiques : bref, des ophiolites (basaltes, gabbros, serpentinites)

La dérive. – Mais on sait aussi qu'il a fallu près d'un demi-siècle pour que cette « *théorie des translations continentales* », comme il la nommait, et le fond simique des océans, fussent acceptés par la majorité, pratiquement la totalité, des géophysiciens et des géologues.

Durant ce demi-siècle, les partisans de Wegener se sont comptés sur les doigts d'une main. Rappelons, c'est important, qu'Argand (1924) représentait déjà, avec trente ans d'avance, des subductions océan-continent et des collisions continent-continent, tant du côté de l'Himalaya que de celui des Alpes (cf. Lemoine, 2004, fig. 4). De même, avec 25 ans d'avance, Arthur Holmes dessinait des courants de convection dans le manteau, divergeant à partir de la dorsale d'un océan en expansion (« *new ocean* ») comparable à l'Atlantique (cf. Lemoine, 2004, fig. 3).

Le fond des océans. – Pour notre propos, c'est le deuxième point qui est essentiel. Depuis 1912, à la rigueur 1915, on aurait dû savoir, pour diverses raisons soulignées par Wegener, et au premier chef l'isostasie, que le fond de l'océan était constitué de ce que nous appelons maintenant des ophiolites. Mais cette donnée

incontestable était ignorée des géophysiciens (que certains combattirent vigoureusement, tel Harold Jeffreys, qui refusait l'isostasie) et de la quasi-totalité des géologues.

Parmi ceux-ci, incontestablement, dans les années 1940 à 1960, Jean Aubouin, suivi en cela par Jann Brunn, semblait bien ignorer ce fait.

Et l'on peut même se demander, si dans le cas contraire, il aurait pu considérer les ophiolites du Pinde comme des restes d'un ancien fond océanique, incorporés à la chaîne des Hellénides. Poussant plus loin ses investigations, il n'aurait peut-être pas été amené à écrire ses articles de 1959 et 1961 et son livre de 1965.

Mais on ne peut refaire l'histoire : nous sommes forcés de constater deux choses, *a priori* indépendantes :

- d'une part, en France tout au moins, Wegener fut négligé pendant 50 ans, entre 1915 et 1965 ;
- d'autre part, durant la même période, le « *dogme géosynclinal* » régna sans partage.

Références

ARGAND, E. (1916). Sur l'arc des Alpes occidentales. *Eclogae Geol. Helv.*, **14**, p. 145-191.

ARGAND, E. (1924). La tectonique de l'Asie. *C. R. XII^e Congr. géol. int.*, 1922, Liège, 1924, p. 171-372.

AUBOUIN, J. (1958). Essai sur l'évolution paléogéographique et sur le développement tecto-orogénique d'un système géosynclinal : le secteur grec des Dinarides. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6), **8**, p. 731-748.

AUBOUIN, J. (1959). À propos d'un centenaire : les aventures de la notion de géosynclinal. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, **II**, 3, juillet-septembre 1959, p. 135-188, 27 fig.

AUBOUIN, J. (1961). Propos sur les géosynclinaux. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), **3**, p. 629-702.

AUBOUIN, J. (1965). *Geosynclines*, 335 p., 67 figs., Elsevier.

AUBOUIN, J. (1973). Des tectoniques superposées et de leur signification par rapport aux modèles géophysiques : l'exemple des Dinarides ; paléotectonique, tectonique, tarditectonique, néotectonique. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), **XV**, (5-6), p. 428-455.

AUBOUIN, J., BROUSSE, R. et LEHMANN, J.P. (1968, 1975). *Précis de géologie*. Tome 3 : Tectonique, Morphologie, le Globe terrestre. Dunod éd., Paris. 1^{re} édition 1968 ; 3^e édition, 1975.

BRUNN, J. H. (1940). Conditions de gisement des roches basiques en Macédoine occidentale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **210**, p. 735-736.

- BRUNN, J. H. (1952). Les éruptions ophiolitiques dans le nord-ouest de la Grèce : leurs relations avec l'orogénèse. *C. R. 19^e Congr. Géol. Int. Alger 1952*, 15 (17), p. 19-27.
- DANA, J. D. (1866). Observations on the origin of some of the Earth's structures. *Amer. J. Sci.*, 2, 42, p. 205-211 et p. 252-253.
- DANA, J. D. (1873). On some results on the Earth's contraction from cooling, including a discussion of the origin of mountains and the nature of the Earth's interior. *Amer. J. Sci.*, 3, 5, 6-14, p. 104-115 et p. 161-171.
- DEBELMAS, J., LEMOINE, M. et MATTAUER, M. (1966). Quelques remarques sur le concept de géosynclinal. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, VIII, 2, p. 133-150
- DEBELMAS, J., LEMOINE M. et MATTAUER, M. (1967). Essay-Review: Geosynclines by J. Aubouin. *Amer. J. Sci.*, **265**, p. 292-300.
- DEWEY, J. F. et BIRD, J. (1970). Mountain Belts and the new Global Tectonics. *J. Geophys. Res.*, **75**, p. 2625-2647.
- DEWEY, J. F. et BIRD, J. (1970). Plate tectonics and geosynclines. *Tectonophysics*, **10**, p. 625-638.
- DIETZ, R. S. (1963). Collapsing continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building. *J. Geol.*, **71**, 314-333.
- DUBERTRET, L. (1937). Sur la constitution et la genèse des roches vertes syriennes. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **204**, p. 1663.
- DUBERTRET, L., (1952). Basaltes et roches vertes du Hatay (Turquie), du nord-ouest de la Syrie et du Liban. *C. R. 19^e Congr. Géol. Int. Alger 1952*, 15 (17), p. 29-36.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1828). Notice sur un gisement de végétaux fossiles et de bélemnites, situé à Petit-Cœur, près Moutiers, en Tarentaise. *Ann. Sci. nat.*, **XIV**, p. 113-127.
- ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la Géologie*. Tome 2. Technique et Documentation (Lavoisier). 383 p.
- FRANCHI, S., (1902). Contribuzione allo studio delle roccie a glaucofane e del metamorfismo onde ebbero origine nelle regione liguro-alpine occidentale. *Boll. R. Comitato Geol. It.*, **33**, p. 255-318.
- GIGNOUX, M. (1950). *Géologie stratigraphique*. 4^e éd., Masson, 735 p., 155 fig.
- HALL, J. (1859). Description and figures of the lower Helderberger group and the Oriskany sandstone. Natural History of New-York ; paleontology. *U. S. Geol. Surv., Albany, N. Y.*, **3**, 544 p.
- HALL, J. (1883). Contribution to the geological history of the American continent. *Proc. Amer. Ass. Adv. Sci.*, **31**, p. 29-69.
- HAUG, E. (1900). Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et des régressions marines. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), **XXVIII**, p. 617-711.
- HAUG, E. (1907-1927). *Traité de géologie*. Armand Colin, Paris, 3 vol.

- HESS, H.H. (1962). History of the ocean basins. In : *Petrologic studies, a volume to honor A.F. Buddington*, Geological Society of America, p. 599-620.
- KAY, M. (1947). Geosynclinal nomenclature and the craton. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **31**, p. 1289-1293.
- KUHN, T. (1970, 1983). *La Structure des révolutions scientifiques*. Univ. of Chicago Press, 1970, (Trad. française, Flammarion, Champs, 1983)
- LEMOINE, M. (1961). La marge externe de la fosse piémontaise dans les Alpes occidentales. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, (2), IV, 3, p. 163-180.
- LEMOINE, M. (2004.) De Wegener à la tectonique des plaques : sept fois sept ans de réflexion. *Trav. Com. Fr. Hist. Géol.*, (3), **XVIII**, 6, p. 103-131.
- LE PICHON, X. (1968). Sea-floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.*, **73**, p. 5855-5899.
- STEINMANN, G. (1927). Die ophiolitischen Zonen in den Mediterraneen Kettengebirge. *14th Int. Geol. Congr.*, 2, p. 637-648.
- STILLE, H. (1936). Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung. *25. Jahre Kaiser Wilhelm Gesellschaft*, **2**, p. 77-97.
- THÉOBALD, N. et GAMA, A. (1959). *Stratigraphie*. Doin & Cie, Paris, 385 p.
- TRÜMPY, R. (1960). Paleotectonic evolution of the Central and Western Alps. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **71**, p. 843-907, 14 Fig.
- WEGENER, A. (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Geol. Rundschau*, **3**, (4), p. 276-292.
- WILSON, J.T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, **207**, p. 343-347.

Remerciements à Jean Gaudant qui m'a fourni plusieurs informations notées ci-dessus et à Philippe Taquet qui m'a signalé le texte de Hugh Torrens.

Lors de mon enquête sur l'enseignement des géosynclinaux et la période de transition (1960-1975), de nombreux professeurs de l'enseignement secondaire (SVT), qui avaient suivi les cours de l'université lors des années cruciales 1960-1975, m'ont fourni de précieux témoignages. Je ne puis les citer tous. Ma gratitude à D. et D. Six (les deux Dominique !) à Agnès Sherrer à Elena Salgueiro, et bien sûr à Raymond Cirio.