



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Comptes Rendus

Géoscience

Sciences de la Planète

Jacky Ferrière et Michel Faure

**Jean Aubouin et les chaînes de montagnes : des observations aux synthèses.
L'itinéraire scientifique d'un géologue au rayonnement international**

Published online: 30 May 2023

<https://doi.org/10.5802/crgeos.211>

Part of Special Issue: Geodynamics of Continents and Oceans – A tribute to Jean Aubouin

Guest editors: Olivier Fabbri (Université de Franche-Comté, UMR CNRS 6249, Besançon), Michel Faure (Université d'Orléans-BRGM, UMR CNRS 7325, Institut des Sciences de la Terre, Orléans), Laurent Jolivet (Sorbonne Université, IStEP, UMR 7193, Paris) and Sylvie Leroy (Sorbonne Université, CNRS-INSU, IStEP, Paris)



This article is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Les Comptes Rendus. Géoscience — Sciences de la Planète sont membres du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte*

www.centre-mersenne.org

e-ISSN : 1778-7025



Geodynamics of Continents and Oceans – A tribute to Jean Aubouin / *Géodynamique des continents et des océans – Hommage à Jean Aubouin*

Jean Aubouin et les chaînes de montagnes : des observations aux synthèses. L'itinéraire scientifique d'un géologue au rayonnement international

Jean Aubouin and the mountain ranges: from observations to synthesis. The scientific career of a geologist with international influence

Jacky Ferrière^a et Michel Faure^b*,^b

^a Univ. Lille, CNRS, Univ. Littoral Côte d'Opale, UMR 8187, LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, F 59000 Lille, France

^b Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 7327-CNRS/Université d'Orléans/BRGM, 1A Rue de la Férollerie, CEDEX 2, 45071 Orléans, France

Courriels: Jacky.Ferriere@univ-lille.fr (J. Ferrière), michel.faure@univ-orleans.fr (M. Faure)

Résumé. L'itinéraire scientifique de Jean Aubouin s'inscrit sur plusieurs décennies depuis 1950. Différentes périodes s'individualisent, mais la cohérence de la démarche concernant la connaissance des chaînes de montagnes et des processus orogéniques apparaît nettement. Après une période de recherche des grandes règles d'organisation des orogènes, l'émergence de la théorie de la Tectonique des Plaques a conduit Jean Aubouin à se tourner vers les océans. Le retour vers la lithosphère continentale s'est réalisé en partie par l'intermédiaire de ses élèves. Ses nombreuses responsabilités, son élection à l'Académie des Sciences, puis sa présidence, n'ont pas entamé sa volonté de poursuivre ses recherches sur l'orogène.

Abstract. Jean Aubouin's scientific itinerary spans many decades since the 1950s. Several periods can be recognized in this research continuum, but the consistency of the approach to understand mountain ranges and orogenic processes is a striking feature. After an attempt to decipher the main operating rules of orogens, the emergence of Plate Tectonics theory led Jean Aubouin to turn to the Oceans without neglecting the continents, partly carried out by its first and second generation "pupils". His many responsibilities, his election to the Academy of Sciences, then its presidency, never affected his determination to continue his research on orogeny.

* Auteur correspondant.

Mots-clés. Chaînes de montagnes, Géosynclinaux, Tectonique des plaques, Ophiolites, Chaînes téthysiennes, Arcs Ouest-Pacifique, Cordillères Est-Pacifique.

Keywords. Mountain belts, Geosynclines, Plate tectonics, Ophiolites, Tethyan orogens, W-Pacific island arcs, East-Pacific cordilleras.

Published online: 30 May 2023

1. Introduction

Jean Aubouin a marqué lors de la deuxième moitié du 20^e siècle et au-delà la géologie française et internationale par ses travaux et ses engagements pour le rayonnement de la discipline ; mais aussi par l'engagement de plusieurs générations d'élèves stimulés par son enseignement « magistral » aux sens propre et figuré. Aubouin a évolué au cours de cinq décennies d'activité, tant sur le plan de ses idées que sur celui de leur mise en œuvre. Un fait majeur : alors que Aubouin, suite à ses travaux de thèse (1959a) et ceux de la décennie suivante, est en pleine mise au point et publication de ses idées et théories qu'il souhaite unificatrices (cf. son modèle des « Géosynclinaux » paru en français dès 1960 et en anglais en 1965), une théorie nouvelle révolutionnaire et féconde voit progressivement le jour au cours des années soixante, pour aboutir en 1968 à la théorie de la Tectonique des Plaques [Le Pichon, 1968]. La contemporanéité entre ces deux approches sera pour Aubouin source d'un approfondissement de ses interprétations, d'une adaptation et d'une remise en cause de ses idées initiales, mais aussi l'objet de remarques voire de critiques.

Nous proposons un aperçu de son itinéraire scientifique marqué par de nombreux apports à la connaissance des chaînes de montagnes dès les années 1950, puis par son adaptation progressive et finalement rapide, à la théorie de la Tectonique des Plaques. Ce qui frappe en analysant l'évolution des idées de Aubouin, c'est d'abord sa faculté à appréhender de nombreux domaines thématiques et de très nombreux chantiers (chaînes de montagnes du monde entier, domaines terre-mer...), et aussi sa détermination constante à chercher à établir des grandes règles d'organisation et de fonctionnement de ces domaines complexes, en partant sans cesse des observations. Pour illustrer cet itinéraire, certaines avancées scientifiques dues, tout ou partie, aux travaux de Aubouin, seront rapidement évoquées. Il s'agit là de choix non exhaustifs. Les domaines explorés par ses élèves seront, à l'occasion, rappelés succinctement car ils permettent également

de mieux cerner l'évolution scientifique de Aubouin. Cette reconstitution de l'évolution de ses idées correspond à une vision personnelle et donc vraisemblablement orientée ; chacun pourra décoder selon son propre vécu ou selon ses idées.

2. La période initiale (ca. 1951–1960)

2.1. *L'épreuve du feu : la Provence, berceau des premiers travaux*

Le premier travail en autonomie relative et préparatoire à l'Agrégation, réalisé dans le cadre d'un Diplôme d'études supérieures, (DES) en 1951, se fait en Provence, sous la direction de Léon Lutaud. Ce « Maître » très estimé lui inculque des principes majeurs : précision des observations de terrain, rigueur de la démarche scientifique, objectivité géologique provenant de faits lisibles par tous, ce que Aubouin résumait par : « La vérité terrain ». A ce propos, il insistait sur la nécessité de lier l'ensemble des informations : cartographie, stratigraphie, pétrographie, analyse structurale, géochimie, donnant ainsi un cadre pluridisciplinaire à cette « vérité terrain », signe d'une rigueur intellectuelle constante chez ce chercheur qui construira de nombreuses synthèses et modèles théoriques !

La création du Grand Prix Léon-Lutaud de l'Académie des sciences, à l'occasion de son élection à cette institution, démontre l'importance de ce Maître à ses yeux. C'est sur l'analyse de la couverture de la chaîne provençale que Aubouin focalise ses premières recherches. Ce travail et la prise en compte d'autres données le conduisent à préciser la notion de « style de couverture » en Provence : la série sédimentaire mésozoïque est séparée du socle Paléozoïque / Varisque, recouvert d'un tégument permotriasique, solidaire de ce socle, par un décollement principal (D1, Figure 1). Un second décollement (D2) est également présent dans la couverture. C'est donc très tôt dans son cursus, en travaillant dans le secteur de Gonfaron (Var), que Aubouin explicite cette notion de tectonique de couverture.

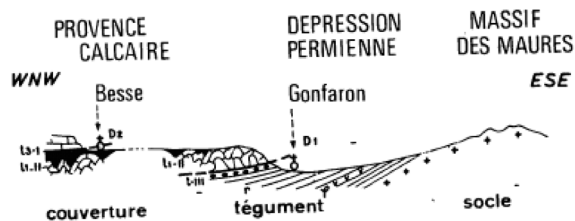


FIGURE 1. Le décollement de couverture à Gonfaron [Aubouin, La Provence, in Debelmas, 1974].

Par ailleurs, Aubouin insiste sur le fait que les derniers niveaux visibles à l’affleurement au cœur de la chaîne désignent le niveau impliqué dans le processus de décollement. Par la suite, il reste attaché à ses premières amours provençales en publiant sur le chevauchement sud-provençal [Aubouin et al., 1967] et les bandes triasiques qui déchirent la couverture [Angelier and Aubouin, 1976].

Le souci de la transmission du savoir par le terrain était essentiel. Dans les années 1960–70, il a dirigé, chaque printemps, une célèbre excursion en Provence-Alpes, qui n’avait rien de touristique, sauf les paysages et le climat. C’était une coupe de la Provence et des Alpes occidentales, pour les étudiants ayant le mieux réussi aux travaux pratiques du certificat de licence à la Sorbonne, qui concernait quelque 800 étudiants à cette époque. A chacune des sessions, Aubouin invitait même un éminent collègue en responsabilité universitaire ou de recherche venant des pays avec lesquels il échangeait : Etats-Unis, Mexique, Venezuela, Serbie, Italie, Autriche, Suisse... C’est dire que la transmission était pour lui essentielle, tout comme le plaisir évident qu’il avait de retrouver... sa Provence.

2.2. *La maturité : la thèse d’Etat dans les Hellénides*

Aubouin part en Grèce du Nord pour étudier une importante partie de la chaîne alpine dans le cadre de sa thèse d’Etat soutenue en 1958. A cette occasion, il découvre dans de bonnes conditions d’affleurement, sinon de logistique, la diversité des éléments constitutifs d’une chaîne majeure du « cycle alpin » ou téthysienne : les Hellénides. Il s’intéresse plus particulièrement aux « Zones Externes » constituées d’unités tectoniques superposées et riches en flyschs ;

mais il est aussi confronté aux ophiolites et de façon plus restreinte aux domaines métamorphiques des « Zones Internes », supposés très anciens (anté-Mésozoïque) à cette époque. Ces domaines d’étude seront à la base de ses premières idées synthétiques concernant l’organisation et la genèse des chaînes de montagnes. Pour Aubouin, il s’agit dans un premier temps, devant la masse de données disparates accumulées au cours des décennies antérieures, d’une remise en ordre nécessaire des concepts relatifs aux chaînes de montagnes, y compris au niveau de leur groupement dans les domaines orogéniques.

Cet essai d’établissement de modèles d’organisation et de lois d’évolution est fondé principalement sur des analyses du terrain en prenant en compte quelques exemples jugés significatifs, dont les Hellénides évidemment. Les résultats de ses travaux sont synthétisés au sein d’un modèle [Aubouin, 1961] puis dans un livre en anglais *Geosynclines* [Aubouin, 1965]. Dans ces ouvrages, s’appuyant sur l’exemple des chaînes méditerranéennes du cycle alpin, il définit ainsi les « Géosynclinaux » : (i) zones mobiles s’opposant aux zones cratoniques situées en marge ou entre ces zones stables ; (ii) sédimentation caractéristique dans un sillon, ou sur une ride, se terminant par une « période de comblement » avec des faciès détritiques plus homogènes (flyschs) ; (iii) existence d’un magmatisme « simique » (basique, cf. ophiolites) et un magmatisme synorogénique et post-orogénique surtout dans les zones internes. La notion de géosynclinal recouvre un type d’organisation et un type d’évolution caractéristiques.

3. Le modèle des « Géosynclinaux »

3.1. *Caractéristiques du modèle*

Le terme de « Géosynclinal » utilisé par Aubouin correspond à une synthèse complète et nouvelle d’une notion séculaire. James D. Dana [1873] crée le terme dans lequel « synclinal » évoque le caractère subsident des zones considérées et « géo » l’importance à l’échelle du globe de ces structures. Par la suite, différents préfixes seront associés à « géosynclinal » ; c’est par exemple le cas de Stille [1936] qui parle d’orthogéosynclinaux [cf. Aubouin, 1959a, 1961]. Pour Aubouin, le modèle géosynclinal appliqué aux chaînes de montagnes, s’articule autour du couple Mio-géosynclinal du côté externe (avant-pays) et Eu-géosynclinal du côté des zones internes. Chacun de

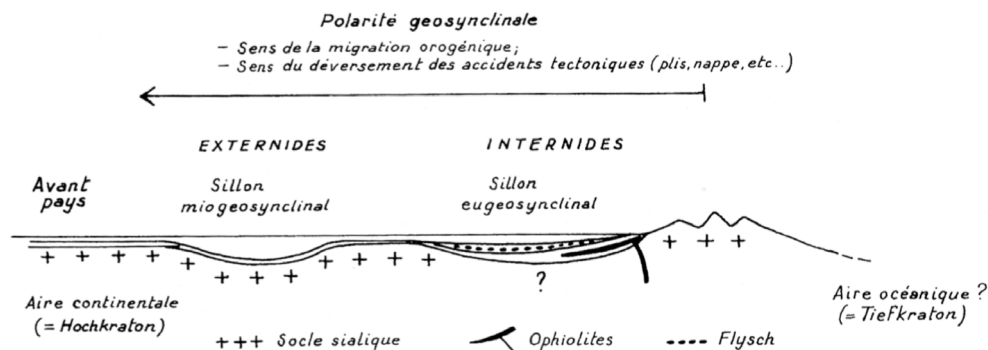


FIGURE 2. Le couple Mio-Eugéosynclinal selon Aubouin [1961].

ces domaines présente un sillon et une ride anticlinale; la ride Mio-géantyclinale sépare les deux sillons. Le sillon Eu-géosynclinal possède des ophiolites sur sa bordure la plus interne (Figure 2).

L'argumentation est fondamentalement tirée de ses travaux sur les Hellénides, complétées par des données provenant d'autres chaînes téthysiennes dont les Alpes. L'étymologie des termes utilisés indique que le sillon Eugéosynclinal (du grec *eu* : bien, vrai) est le bassin majeur, fondamental, contrairement au sillon Mio (du grec *meiôn* : plus petit, moins) situé en bordure du continent d'avant-pays. La ride eugéantyclinale correspondrait à un élément continental rigide d'arrière-pays ; la nature du substratum de l'Eu-géosynclinal n'est pas spécifiée (Figure 2). Les différents éléments sont donc situés entre deux ensembles continentaux. La notion spatiale de géosynclinal est complétée par son évolution temporelle en distinguant différentes périodes.

(1) *la période géosynclinale* avec : (a) *le stade d'individualisation* (en termes actuels, cf. la phase de rifting) ; (b) *le stade d'état* comprenant : (i) la période de calme tectonique dont témoignent notamment les sédiments typiques de bassin dans les sillons (cf. la période d'évolution post-rift de la marge et éventuellement d'océanisation au cœur du bassin) ; (ii) la période de comblement marquée par le développement des flyschs liés aux compressions tectoniques ; (c) *le stade terminal dit de tectonique géosynclinale* ou de tectogenèse (cf. la collision tertiaire pour les Hellénides). La période d'obduction *paléogéosynclinale* ou *paléotectonique* affectant les zones internes (cf. obduction Jurassique en Grèce) sera ajoutée par la suite [Aubouin, 1973]. Cette phase « paléohellénique » de

Grèce a été par la suite nommée « phase éohellénique » [Jacobshagen, 1986].

(2) *la période tardi-géosynclinale* marquée par le développement de bassins molassiques plus ou moins parallèles aux structures majeures (ex : Bassin molassique Mésohellénique, parallèle aux directions NW-SE dites helléniques) ;

(3) *la période post-géosynclinale* marquée par une extension dite à « l'emporte-pièce » qui affecte une grande partie de la chaîne indépendamment des structures antérieures (cf. les extensions récentes).

3.2. Quelques thèmes développés dans le modèle

À l'occasion de l'exposé de son modèle, Aubouin explicite certaines notions tectoniques utilisées dans la mise en œuvre de ce modèle.

3.2.1. Les tectoniques superposées

La succession d'étapes tectoniques caractéristiques (cf. supra) illustre la notion de tectoniques superposées. On doit à Aubouin d'avoir insisté sur l'importance de distinguer des périodes différentes dans la structuration des chaînes alors que souvent, notamment chez de nombreux auteurs anglo-saxons, l'analyse mécanique des déformations prend le pas sur cette distinction de phases de nature et d'âge différents. Cette destruction répétée des domaines paléogéographiques oblige notamment à restreindre les durées d'existence et donc la définition des zones isopiques : c'est le cas avec la prise en compte de la notion d'obduction dans les Hellénides. L'application de ce concept de paléogéographies et tectoniques superposées a vite montré sa pertinence

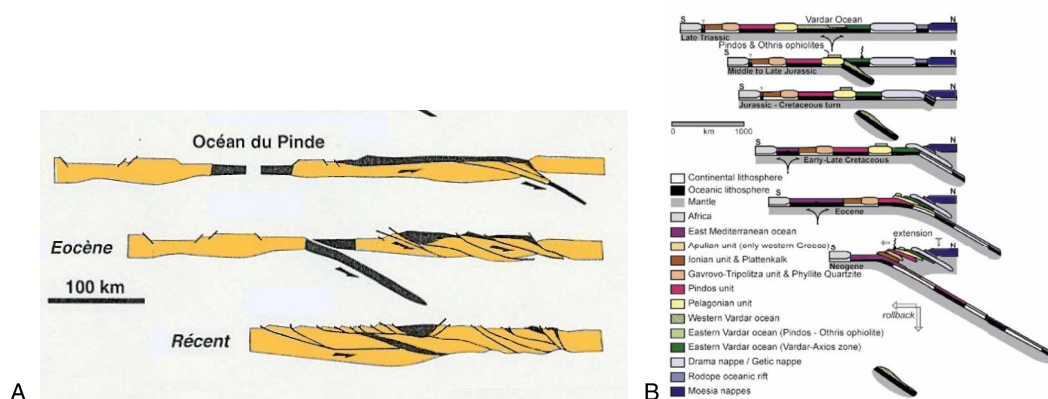


FIGURE 3. Polarité constante de la convergence dans les Hellénides ; (A) selon Bonneau [1982] et (B) selon van Hinsbergen et al. [2005].

et son efficacité lors de l'étude des orogènes [e.g. Ferrière, 1982].

3.2.2. La polarité des processus géologiques

La notion de tectoniques superposées n'est pas seulement définie au plan chronologique, elle doit être aussi précisée dans l'espace, dans la mesure où les phases compressives montrent une polarité marquée, de plus en plus récente vers l'extérieur. Dans les chaînes de montagnes, la simple notion de Zones Internes et Externes suppose une polarité : les structures s'empilent fondamentalement de l'intérieur vers l'extérieur. Aubouin insiste sur cet aspect majeur du développement des chaînes de montagnes. Cela est particulièrement clair dans les Hellénides ou dans les Alpes, s'agissant de phénomènes tels que la tectonique, la sédimentation ou le métamorphisme. Ainsi, dans les Hellénides, les flyschs terminant les séries des zones isopiques juste avant leur tectonisation sont de plus en plus récents en allant de l'intérieur vers l'extérieur : Paléocène-Eocène à l'est, dans les zones Pélagonienne et Pindique, Oligocène dans celle du Gavrovo, Oligocène supérieur-Miocène inférieur dans la Zone Ionienne plus à l'ouest. Ces flyschs se formant principalement à l'avant des zones en voie de tectonisation, cela a permis de conforter l'idée de la progression de « l'onde orogénique compressive » au Tertiaire, de l'intérieur vers l'extérieur (cf. la collision). La définition de la phase paléotectonique (obduction des ophiolites) au Jurassique ne contredit pas véritablement cette « loi » dans la mesure où cette phase n'affecte que les zones les plus

internes, alors que les zones externes subissent leurs premières déformations majeures lors des phases de compression tertiaires. Cette notion de « polarité orogénique » est confortée par les reconstitutions géodynamiques dans le secteur Hellénique-Egéen, [Bonneau, 1982, van Hinsbergen et al., 2005 ; Figure 3].

La notion de « polarité » n'exclut pas qu'une phase donnée, en se déplaçant vers l'extérieur, puisse reprendre les domaines déjà déformés du côté interne. La notion de « tectoniques superposées » rappelle cette évidence. Dans les Hellénides, les zones internes, affectées par l'obduction Jurassique, sont reprises plus ou moins intensément selon les lieux, lors des phases tectoniques tertiaires.

3.2.3. La notion de « phases tectoniques »

Les notions de déformations superposées et de polarité des phénomènes géologiques au sein des chaînes ont conduit Aubouin à préciser la notion de « phase tectonique ». Il insiste sur le fait qu'il faut tenir compte de la polarité orogénique lors des phases tectoniques majeures. Dans le cas contraire on est amené à définir des phases nombreuses à chaque discordance observée en des lieux différents. Ainsi, l'on rapportait au départ une structure significative à une phase précise à laquelle, le plus souvent, la chaîne donnait son nom (ex : phase pyrénéenne, provençale voire alpine). Avec l'évolution des connaissances, cette phase fut considérée comme « phase paroxysmale ». Il apparaît donc plus important de caractériser une catégorie de mouvements tectoniques dont l'âge évolue progressive-

ment, notamment de l'intérieur vers l'extérieur, pour définir une « période de déformation tectonique » donnée.

3.3. *Le modèle initial des géosynclinaux confronté à d'autres exemples de chaînes*

Dans une 2^e phase (1960–70), toujours axée autour de la notion de « Géosynclinal », Aubouin étudie d'autres chaînes et confronte son modèle à ses nouvelles observations. Il s'agit de travaux dans des chaînes téthysiennes proches des Hellénides, mais aussi de domaines très différents comme les Andes. Certaines publications concernent de près le terrain, on retiendra notamment les Dinarides en ex-Yougoslavie [Aubouin, 1959a,b, 1960, Aubouin et al., 1964] et les Alpes méridionales [Aubouin, 1963]. D'autres articles, plus synthétiques, concernent les Dinarides Yougoslaves [Aubouin and Brunn, 1960, Aubouin et al., 1970a], les Albanides [Aubouin and Ndojaj, 1964], l'Italie septentrionale versus Dinarides [Aubouin, 1960] et les Andes [Aubouin and Borrello, 1966, 1970]. Dans ces publications, la correspondance entre les structures majeures de ces différentes chaînes et le modèle des géosynclinaux est analysée et argumentée. Dans le cas des Andes les différences sont telles que cette chaîne devient un modèle à part, celui de « chaîne liminaire » [Aubouin and Borrello, 1966]. Les synthèses sur les chaînes de montagnes ont donc commencé assez tôt dans l'itinéraire scientifique de Aubouin. Initialement, elles concernent chacune des chaînes individuellement mais aussi les groupements de chaînes. L'année 1970 (cf. infra) sera celle de parution de plusieurs revues avant le grand tournant de la Tectonique des Plaques. La première publication traite des Dinarides [Aubouin et al., 1970a]. Si la plupart des thèses de son équipe venaient de débiter en ex-Yougoslavie, un aperçu synthétique des Hellénides de Grèce avait déjà été proposé en 1963. Une hypothèse de travail était donc déjà disponible, mais comme il est rappelé dans l'introduction de l'article sur les Dinarides : « une théorie fût-elle séduisante, ne résiste guère à l'épreuve du temps si elle n'est pas fondée sur des observations de terrain nombreuses, précises et bien coordonnées » [Aubouin and Celet, 1970]. Pour les Hellénides, [Aubouin et al., 1970b], les auteurs s'intéressent aux relations entre Hellénides et Dinarides s.s. mais ils ne discutent pas vraiment le problème

des ophiolites, bien que 1970 corresponde également au premier essai d'interprétation des Hellénides impliquant un processus d'obduction à partir d'une lithosphère océanique [Dercourt, 1970].

En ce qui concerne les groupements de chaînes, diverses notions sont établies ou discutées. Ainsi, Aubouin définit des *groupements de chaînes* selon les symétries centrifuges (ex : Bétiques / Rif ; Alpes / Apennins) ou centripètes (Apennins / Dinarides) en tenant compte des polarités de chacune d'elles. Il discute également : (i) la notion de *courbures (oroclines)* pour lesquelles il reconnaît deux types différents selon que la courbure maximum se fait du côté des zones internes (transition Bétiques / Rif) ou du côté des zones externes (transition entre Apennins et Dinarides) ; (ii) le rôle des *coulissements* à l'échelle des chaînes ; ex : le bloc italo-dinarique chevauche les Alpes vers le NNW à la faveur de décrochements majeurs qui seraient situés dans le domaine du Vardar, à l'est, et dans la cicatrice de Sestri-Voltaggio à l'ouest ; (iii) la notion *d'accroissement des continents*, notamment à propos de l'Europe avec des orogènes successifs de plus en plus récents en allant en première approximation du nord vers le sud. Il montre les limites de cette interprétation dans la mesure où des « noyaux » de chaînes anciennes persistent au sein des chaînes plus récentes.

Vers la fin de cette 2^e période, l'arrivée de nouvelles théories concernant l'ouverture des océans [Vine and Matthews, 1964] et surtout la Tectonique des Plaques [Le Pichon, 1968] viendra percuter les discussions autour de ces modèles.

3.4. *Bilan : les géosynclinaux avant la révolution scientifique de la Tectonique des Plaques*

Malgré les critiques, le modèle des Géosynclinaux, généralisé à partir de quelques chaînes surtout périméditerranéennes, reste une clé de lecture globale mettant de l'ordre dans des organisations complexes, surtout à une échelle rarement envisagée à l'époque. Ces résultats établis par une observation rigoureuse sur le terrain et par l'analyse bibliographique approfondie disponible à l'époque peuvent paraître assez évidents aujourd'hui ou décalés par rapport aux données actuelles mais ils sont essentiels dans l'évolution des idées. La présence de ce nouveau « modèle géosynclinal », clairement conçu et exprimé, a en effet permis de confronter les

observations de tout un chacun et de signaler d'une part les aspects positifs et d'autre part les données s'écartant du modèle. Une telle analyse critique était irréalisable face à une accumulation de données disparates, souvent exprimées de façon absconse, et de ce fait, souvent sans perspective féconde. Mais c'était avant la « révolution de 1968 » de la Tectonique des Plaques.

Parfois, la contestation par certains auteurs de ces organisations a permis de faire progresser les idées. D'ailleurs il écrit lui-même « qu'il n'a ni l'ambition ni l'illusion de croire que les idées qu'il a développées soient toutes nouvelles [...] ou définitives » [Aubouin, 1961]. Des écrits ont fait un bilan de ces confrontations historiques [Lemoine, 2006]. De nombreux éléments géologiques sont pris en compte dans le modèle et ses extensions. Ils ont été classés à des fins scientifiques mais aussi didactiques, dans les précis de géologie [Aubouin, 1968, 1975] : synthèses géométriques, (ex : tectoniques étagées ; chaînes continentales ou péricontinentales), chronologiques (ex : tectoniques superposées), phénoménologiques (ex : sédimentation, métamorphisme) ou géographiques (ex : organisation des orogènes successifs). Outre l'intérêt scientifique de cette approche, les étudiants des années 1960–70 ont enfin pu trouver une certaine logique au sein de données éparses souvent enseignées de manière disjointe. Les générations post-tectonique globale connaissent moins ce sentiment d'accumulation de données indépendantes voire obscures ! D'autant plus que ce « Maître » délivrait son enseignement avec enthousiasme, brio et clarté. Cela était d'ailleurs nécessaire et utile comme le faisait remarquer Michel Durand-Delga : « nous sommes, au terme de cet exposé clair, vivant et précis loin de la phraséologie indécise et inutile dont usent certains mentors de la géologie pour aborder les problèmes structuraux à l'échelle des édifices orogéniques » [Aubouin, 1961].

4. La Tectonique des Plaques ... débarque !

4.1. *Les premières interrogations de Jean Aubouin sur son modèle, avant 1968*

Pour Aubouin, les premières interrogations sur son modèle sont légèrement antérieures à la révolution scientifique de la Tectonique des Plaques. Elles sont

toutes liées à des observations de terrain. La première concerne la mise en évidence au sein des Hellénides de la fenêtre de l'Olympe [Godfriaux, 1968] présentant une série de type « externe » dont un flysch Paléogène, au sein de la « ride eugéosynclinale » (la zone Pélagonienne) alors que cette zone était supposée avoir très peu subi les effets de la tectonique majeure du Tertiaire. Une deuxième interrogation viendra de la découverte en ex-Yougoslavie d'un flysch Tithonique–Eocrétaïc [Blanchet, 1966] et de la confirmation de son extension [Charvet, 1967, Blanchet et al., 1969], ce flysch étant le témoin d'une période tectonique précoce (future phase paléotectonique) au cœur de la période géosynclinale, dite de vacuité, supposée sans phases tectoniques majeures. Très vite dans le cadre de la Tectonique des Plaques et de ses conséquences, ce flysch sera corrélié à la phase d'obduction affectant l'ensemble des Dinarides–Hellénides.

4.2. *Les ophiolites et l'obduction : une remise en cause fondamentale*

Les ophiolites sont un élément majeur dans l'impact des nouvelles idées, le processus d'obduction de lithosphère océanique [Coleman, 1971] devenant capital dans toute interprétation des chaînes alpines téthysiennes. Si le modèle de « bulle ophiolitique », adapté de celui de Brunn [1956], est obsolète, un éclairage est nécessaire pour comprendre sa genèse. Le modèle de la « bulle ophiolitique » [Aubouin, 1961] a été établi en grande partie à partir des ophiolites d'Othrys en Grèce. Dès le XIX^e siècle, les ophiolites ont fait l'objet de diverses interprétations qu'il est inutile de détailler ici [cf. références in Juteau, 2003]. Plus récemment, c'est surtout Brunn qui, dès 1940, décrit précisément les ensembles ophiolitiques du nord de la Grèce (Vourinos et Pinde du Nord) [Brunn, 1956]. Cet auteur élabore un modèle de coulée sous-marine géante correspondant à un vaste épanchement alimenté par un pédoncule servant de cheminée d'alimentation (Figure 4A).

Aubouin améliore ce modèle en précisant la répartition des différents types de roches au sein de cette « bulle ophiolitique ». Il localise en outre, sur son terrain de thèse, les affleurements significatifs de chaque partie de la « bulle », notamment l'Othrys occidentale (Figure 4D). Si les ophiolites du Vourinos sont particulièrement propices à

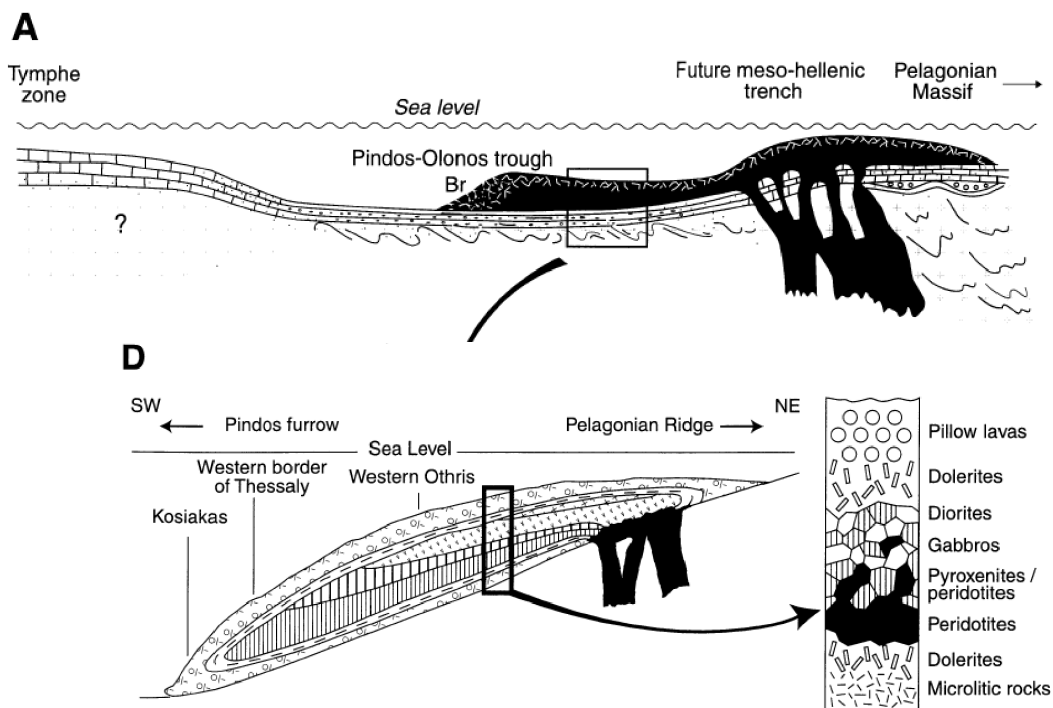


FIGURE 4. Le modèle ophiolitique, (A) selon JH Brunn [1960] ; D selon J Aubouin [1965].

l'étude de la succession des roches magmatiques [Brunn, 1956, Moores, 1969] les ophiolites d'Othrys, issues comme celles du Vourinos, de l'Océan Téthysien Maliaque, sont particulièrement riches en enseignements structuraux [Ferrière, 1982]. Il s'agit notamment de la présence surprenante sous les unités ophiolitiques à péridotites, gabbros, dolérites et pillow-lavas d'une nappe de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de pillow-lavas de type MORB.

A l'époque des travaux de Aubouin sur cet ensemble, du milieu des années 50 au milieu des années 60, cet édifice d'Othrys pouvait ainsi conforter l'idée d'une « bulle magmatique » avec : (i) des niveaux de pillow-lavas au sommet de l'unité ophiolitique principale mais aussi à la base de ces ophiolites et (ii) une sorte de chambre magmatique avec cristallisation fractionnée donnant naissance au cortège dolérites, gabbros et péridotites. Les âges différents des pillow-lavas de part et d'autre de ce complexe ophiolitique [Trias à la base et Jurassique au sommet, âges acquis récemment, Ferrière et al., 2015], l'existence d'un complexe filonien majeur et les structures internes d'une partie des péridotites

(tectonites) s'opposent à cette interprétation de type « bulle ». Si le modèle de la « bulle » a vécu, il faut reconnaître que les ophiolites de Grèce ont été à l'origine de nombreuses avancées s'agissant de la compréhension des ophiolites. Brunn a même été l'un des premiers à établir une relation entre ophiolites et fonds océaniques [1959].

Quoi qu'il en soit, la notion d'obduction de la lithosphère océanique dans un stade précoce de la période « géosynclinale » [Bernoulli and Laubscher, 1972, Dercourt, 1972] a conduit Aubouin à créer une phase « paléotectonique » réduisant de moitié cette période antérieure à la tectonique compressive sur une partie des zones internes helléniques.

4.3. Le modèle des géosynclinaux s'adapte aux données nouvelles

En raison de l'évolution de la connaissance des fonds océaniques [Vine and Matthews, 1964, Wilson, 1965], de l'émergence de la Tectonique des Plaques [Le Pichon, 1968], des interprétations de Dewey and Bird [1970], de la notion d'obduction [Coleman, 1971] et de colloques sur le thème « structure et dynamique

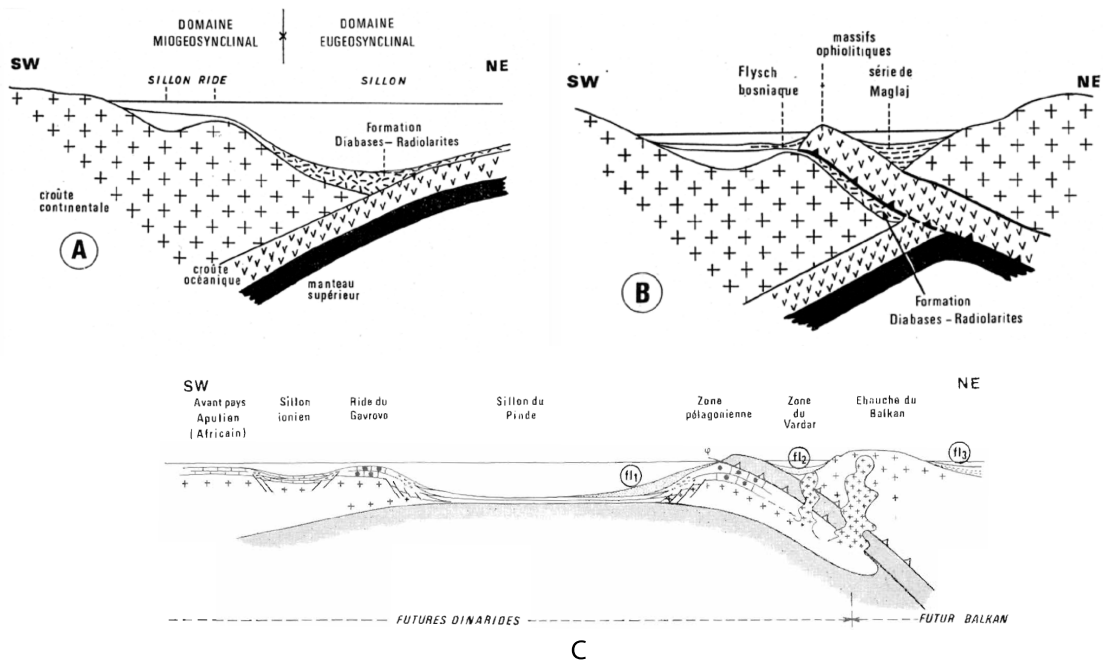


FIGURE 5. Le charriage des ophiolites versus le modèle modifié des géosynclinaux (A et B pour les Dinarides, Aubouin [1973]), en bas (C) plus précisément, pour les Hellénides [Aubouin, 1977a].

de la lithosphère » [Allègre and Mattauer, 1972], Aubouin, convaincu par ses échanges avec X. Le Pichon, adapte ses modèles dès le début des années 1970. La 3^e édition de son *Précis de géologie* [tomes 2 et 3, Aubouin, 1975] valide la Tectonique des Plaques comme « la meilleure à disposition des sciences de la terre » à cette époque. Ainsi, les étudiants et bien d'autres sont presque à jour, surtout s'ils ont eu, en outre, la possibilité de consulter le livre *Plate Tectonics* [Le Pichon et al., 1973].

En 1973, Aubouin résume les adaptations de son modèle sous la forme suivante (Figure 5). Le domaine miogéosynclinal est assimilé au Précontinent (marge continentale passive) : le sillon « Mio » à la zone d'accumulation sédimentaire principale de ce domaine, la ride Mio à un épaulement situé en bordure du rift à l'origine de la croûte océanique. La correspondance entre le sillon eugéosynclinal et le domaine comprenant le glacis, le pied de la pente et la plaine abyssale au sein des océans est établie. Aubouin admet volontiers que les ophiolites sont des morceaux obductés de la lithosphère océanique. Il propose également des schémas d'obduction assez simples où il figure les sédiments détritiques syn-obduction à

l'avant des nappes ainsi que sur les ophiolites à partir des données acquises dans les Dinarides–Hellénides (Figure 5).

Les schémas A et C montrent que le modèle initial du Géosynclinal s'applique correctement à la moitié SW de ces chaînes (Avant-Pays, sillon Mio, ride Mio, sillon Eu). En revanche, la partie NE correspondant à la ride Eugéosynclinale n'est pas un élément continental « inerte » mais un bloc subissant plusieurs périodes orogéniques : ici, l'obduction Jurassique qui sera suivie de la collision Tertiaire affectant l'ensemble représenté sur la figure C. A cette occasion, Aubouin formule deux remarques concernant l'obduction : (i) il faut que, dans les Hellénides, cela soit lié à une phase paléotectonique antérieure (Jurassique) à la tectonique (Tertiaire), qui pour les ophiolites n'est qu'une phase de reprise lors de la collision finale ; (ii) le passage à des nappes ophiolitiques de quelques kilomètres d'épaisseur à partir de plaques lithosphériques épaisses de l'ordre de 100 km pose des problèmes mécaniques qui ne pourront être résolus que par des travaux approfondis. Ce tournant se marque aussi par l'interprétation de certaines structures transverses observées dans

les Dinarides en termes de failles transformantes [Aubouin and Dercourt, 1975]. Par la suite, Aubouin participe également à une tournée Asie-Pacifique qui illustrera « la couronne ophiolitique péri-australienne en termes d'un charriage océanique représentatif des stades précoces de l'évolution alpine » [Aubouin et al., 1977a]. D'un point de vue plus général, suite aux interprétations des chaînes de montagnes dans le cadre de la Tectonique des Plaques [Dewey and Bird, 1970], Aubouin propose une équivalence entre, d'une part, les chaînes liminaires (Andes) et le type « Cordilléraire » et d'autre part entre les chaînes géosynclinales (Alpes, Hellénides) et le type « Méditerranéen » des auteurs précédents.

5. Et la mer a pris l'homme : le retour à la mer vers 1980

Suite à la révolution conceptuelle apportée par la Tectonique des Plaques, l'importance des géosciences marines devient une évidence pour Aubouin qui était déjà acquis à la cause « océanique » puisqu'il a lui-même demandé la création par la Société géologique de France du prix Jacques-Bourcart, ce qui fut fait en 1976. Son intérêt se porte aussi sur les relations « tumultueuses » entre la Téthys et l'Atlantique [Aubouin, 1977b]. Le grand tournant de la Tectonique des Plaques et de la « marche à la mer » est consacré par l'arrivée de X. Le Pichon comme Professeur à l'université Paris VI, en tant que directeur du laboratoire de Géodynamique. Aubouin s'intéresse également de plus en plus au développement des méthodes géophysiques accusées précédemment de donner à terre des résultats « indirects » et donc un peu incertains. Après confrontation, dialogue et échanges d'expérience et de données, surtout avec X. Le Pichon, un engagement vers la « marche à la mer » de Aubouin, et de ses élèves, est à l'ordre du jour.

5.1. La marche à la mer : Jean Aubouin embarque !

Dans les années 1980, Aubouin n'hésite pas à participer à de nombreuses missions océanographiques. Les exemples de missions (1978, 1979, 1982, 1984, 1985) et de publications associées à ces campagnes océanographiques, rappelés ci-dessous, montrent qu'il s'intéresse plus particulièrement à la structure des marges continentales de la Méditerranée et du

Pacifique. En Méditerranée, il s'agit de la bordure nord de la mer Ligure (mission Estocade, 1978) et de la fosse de Crète (Grèce). Les missions autour du Pacifique sont plus nombreuses et réalisées parfois en tant que co-chef de mission mais toujours en tant que participant efficace sur le plan des idées.

On peut citer les missions suivantes :

(i) DSDP Mid-America en 1979 et 1982 concernant les marges actives américaines du Pacifique sur le N.O. Glomar Challenger en tant que co-chef de mission avec R. von Huene (Leg 67 en 1979 et Leg 84 en 1982). Outre des « Initial reports of the Deep Sea Drilling Project » Aubouin participe à diverses publications dont [Aubouin et al., 1979, 1982, Von Huene et al., 1980];

(ii) KAIKO, au Japon en 1984, à bord du N.O. J. Charcot (chef de mission : J. P. Cadet). Le troisième Leg consacré à l'étude de la transition entre les fosses du Japon et des Kouriles sera à l'origine des publications de Cadet et al. (dont Aubouin) en 1985 et 1987 ;

(iii) SEAPSO 5, au niveau de la fosse des Tonga-Kermadec (1985) sur le N.O. Charcot (chef de mission : B. Pontoise) dont l'objectif est l'analyse des effets de la subduction de la ride de Louisville sur la marge active des Tonga-Kermadec. Les publications [Pontoise et al., 1986a,b] (dont Aubouin) sont issues de cette mission.

5.2. Aperçu sur le bilan scientifique lié au « retour à la mer » :

Aubouin cherche à confronter les phénomènes actuels qui gouvernent les marges actives, les observations de terrain et les modèles théoriques élaborés à partir de l'étude des chaînes anciennes. Parmi les résultats du « retour à la mer », on retiendra :

(i) La distinction de différents types de marges actives. L'un des résultats majeurs, qui revient en grande partie à Aubouin, est la mise en évidence de marges actives convergentes en extension sans véritable prisme d'accrétion (Figure 6), en Amérique centrale [Aubouin et al., 1979, 1981, 1982, 1984].

(ii) L'analyse du fonctionnement de certaines marges actives : analyse de la déformation à la fois des objets entrant dans la zone de subduction (volcan, alignements de volcans balayant la marge) et de la portion de marge active sus-jacente : Japon [Cadet et al., 1985, 1987], et Tonga [Pontoise et al., 1986a,b].

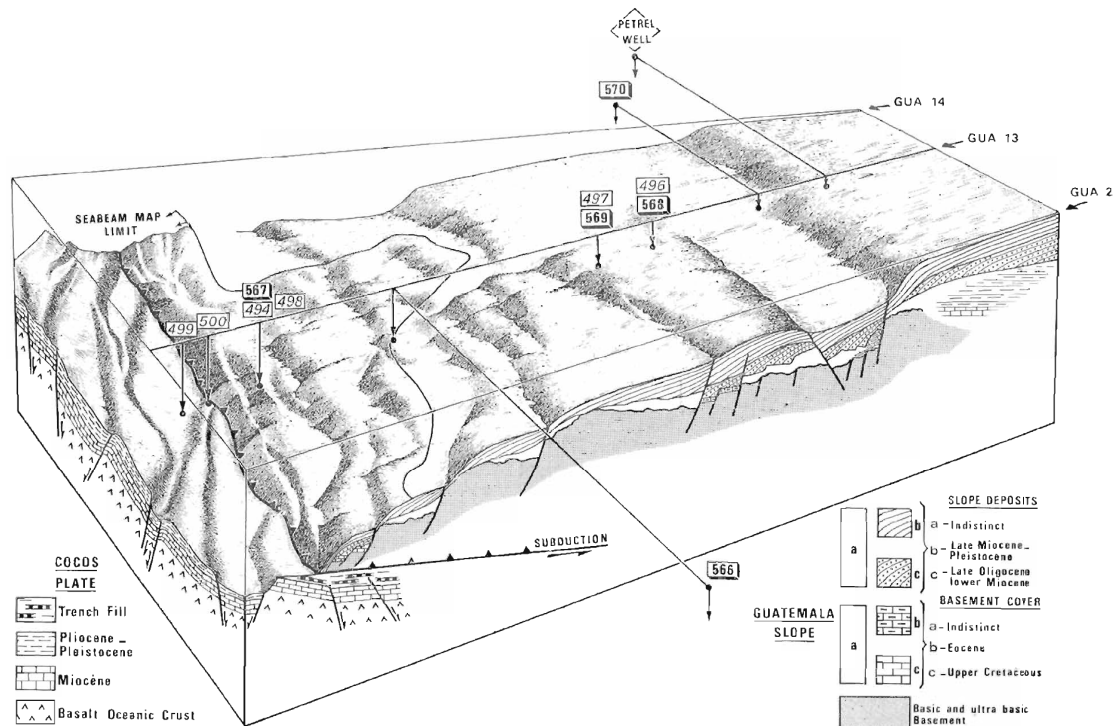


FIGURE 6. Une marge convergente en extension, la marge Pacifique du Guatemala [Aubouin et al., 1984].

(iii) La typologie des subductions en fonction de leur vergence océanique ou continentale dans l'ouest-Pacifique [Aubouin, 1982, 1984b].

Son intérêt pour les géosciences marines, et les conséquences des nouvelles données sur la compréhension des continents, le conduisent à publier un article intitulé : « Des océans aux continents ou à la recherche des océans perdus » dans un volume du bulletin de la Société géologique de France à l'occasion du centenaire de l'ENS Saint-Cloud [Aubouin, 1984a,b]. Pour lui, le renouvellement des modèles tectoniques viendra principalement des océans, ces domaines peu connus qui représentent 70 % de la surface du globe.

Les missions océanographiques le réconcilient totalement avec la géophysique car ces données sont fondamentales en milieu marin. Les observations par submersibles ne concernent que de petites surfaces et les forages océaniques comblent seulement en partie le manque d'échantillons.

Sa participation à la connaissance des océans ne se limite pas à des campagnes personnelles, ou à

celles des membres de son équipe, Aubouin est un fédérateur. Il devient Président du Comité Scientifique IPOD France et participe à la définition des grands objectifs du programme de forages océaniques pour la décennie suivante. Il est aussi participant actif au sein du Comité Scientifique « Submersibles » français.

6. Et pendant ce temps-là, les travaux à terre continuent

La Tectonique des Plaques et le retour à la mer n'occulent pas le travail à terre qui se poursuit pour Aubouin et son équipe dans de nombreuses chaînes autour du globe et souvent à la limite entre terre et mer. Cette notion « d'équipe » aux dimensions majeures « dans l'espace et dans le temps », a souvent frappé la communauté géologique, oscillant entre l'admiration et peut-être l'envie. On citera ici un éminent directeur de l'IFP qui écrit : « l'un des grands mérites de Aubouin est d'avoir su rassembler autour de lui un groupe de jeunes chercheurs dynamiques et de

grand talent poursuivant un même but, animés par un même esprit » [Sallé, 1982]. Il est clair que tout cela n'a pu se réaliser que grâce à la conjonction de plusieurs « compétences » propres à Aubouin : enthousiasme du chercheur, méthode et rigueur scientifiques, sens et goût de la transmission, cordialité et autorité, sans compter le sens des réalités associé à l'acceptation de responsabilités comme celle de Président du 26^e Congrès géologique international de Paris en 1980.

6.1. *La poursuite des travaux dans les chaînes péri-méditerranéennes (Dinarides, Hellénides)*

Plusieurs thèses d'Etat dirigées par Aubouin concernent les Dinarides yougoslaves et les Hellénides. Au début des années 1970, différentes thèses sont déjà en cours : R. Blanchet, J.-P. Cadet, J. Charvet, J. Chorowicz, M. Cousin, J. P. Rampnoux. La synthèse de 1970 [Aubouin et al., 1970a,b] reste au niveau géologique et ne porte pas sur les interprétations en termes de tectonique des Plaques. En revanche, celle-ci est bien présente lors de l'aboutissement des thèses mentionnées, qui se produit principalement entre les années 1970 et 1978.

L'une des premières à voir le jour est celle de Blanchet [1973], la Tectonique des Plaques y est bien présente, X. Le Pichon siège dans le jury. La découverte du flysch bosniaque d'âge Jurassique supérieur-Crétacé inférieur [Blanchet, 1966] est l'un des éléments conduisant Aubouin à distinguer une phase paléotectonique dans son schéma des « géosynclinaux ». Les nappes syn-obduction d'Othrys dans les Hellénides [Ferrière, 1972] achèveront de le convaincre de l'importance de cette période orogénique. C'est à cette époque également que son élève et collègue J. Dercourt applique la Tectonique des Plaques aux Hellénides en considérant que le « sillon » du Pinde est l'océan à l'origine des ophiolites [Dercourt, 1970], il modifiera cette vision en 1972 à la suite de Bernoulli and Laubscher [1972]. Aubouin, P. Celet, J. Dercourt et leurs élèves, aussi bien en Yougoslavie [Charvet, 1978] qu'en Grèce [Bonneau, 1982, Clément, 1984, Ferrière, 1982, Thiébaud, 1982] considèrent que cet océan (Océan Maliaque de Grèce, d'Albanie et d'ex-Yougoslavie) est situé à l'est de la zone Pélagonienne, dans le domaine du Vardar, étudié par Mercier [1968] et Vergely [1984].

La diversification des études de terrain est aussi thématique. J. Angelier, s'intéresse à la « néotectonique » en Grèce en développant un programme de traitement numérique des données de failles [Angelier, 1979]. Il sera par ailleurs un acteur majeur des rapprochements thématiques avec X. Le Pichon, notamment autour de la géodynamique de Taiwan.

6.2. *Diversification des chaînes explorées sur le globe par Jean Aubouin et son équipe*

Pour Aubouin et son équipe élargie, après les chaînes téthysiennes, les chaînes du monde entier font l'objet d'études, notamment les chaînes péripacifiques, les diverses modalités de la subduction étant des processus essentiels pour comprendre les chaînes de montagnes. Ce sont souvent des travaux avec des « élèves » de 1^{re} génération, voire avec les « descendants » de 2^e génération de ces élèves.

En Amérique, il s'agit des chaînes situées en bordure du Pacifique. La chaîne de subduction des Andes du Chili est étudiée par P. Chotin et J.C. Vicente qui participent à la synthèse sur les Andes [Aubouin et al., 1973]. Les extensions vers l'Amérique du Nord, se font principalement avec ses élèves de 1^{re} génération dont les thèses voient le jour entre 1980 et 1990. Il s'agit du Mexique avec M. Tardy et C. Ranguin; des Caraïbes avec B. Mercier de Lépinay et E. Calais ; des Cordillères de Californie avec F. Roure, V. Carayon (Thèse 3^e cycle), Y. Lagabrielle (Directeur R. Blanchet). De nombreux travaux se développeront aussi sous la direction de R. Blanchet au Vénézuéla, avec des chercheurs de 2^e génération : J. F. Stéphan, C. Beck, ou encore aux USA avec M. Sosson. Des publications en commun, la plupart à vocation synthétique, verront le jour : Aubouin et al. [1977b, 1986], Aubouin and Tardy [1980].

Les travaux de l'équipe de Aubouin s'intéressent aussi au domaine Ouest-Pacifique. Ces études principalement réalisées par les élèves de 1^{re} génération venant des Dinarides *s.l.* et leurs « descendants » concernent l'ensemble de la bordure ouest-pacifique de l'Asie à la Nouvelle-Zélande, notamment une partie non négligeable des arcs insulaires de l'Asie. Les thèses s'échelonnent sur la période 1982–1991 : Taiwan : R. Blanchet puis J. Angelier, directeur de nombreuses thèses dont celle d'E. Barrier ; le Japon : Aubouin et J. Charvet directeurs de thèse de M. Faure ; J. P. Cadet directeur de thèse de L. Jolivet

et S. Lallemand ; J. Charvet directeur de thèse de A. Guidi, M. Caridroit et O. Fabbri ; les Philippines : R. Blanchet directeur de thèse de, J. F. Stéphan, et C. Rangin, puis de J.-C. Ringenbach, B. Pelletier et N. Pinet ; la Nouvelle-Zélande : J. Ferrière directeur de thèse de F. Chanier. Les principaux résultats issus de ces travaux, dus pour une partie non négligeable aux « descendants directs » de Aubouin, sont rapportés dans des publications générales cherchant à retrouver des logiques géodynamiques dans le domaine ouest-Pacifique, avec ses subductions actives ou passées, ses arcs insulaires et ses mers marginales [e.g. Aubouin, 1982, 1990].

En conclusion, ces nombreuses études à terre et en mer ont conduit Aubouin à proposer des synthèses géologiques relatives aux divers types de chaînes de montagnes, confirmant en cela son goût pour la clarification des données et des idées, une caractéristique constante chez ce chercheur capable d'embrasser les informations géologiques à toutes les échelles, de la plus petite à celle de la lithosphère, ce que sous-entend d'ailleurs le terme de tectonique « globale ».

6.3. *Jean Aubouin et la typologie des chaînes dans le cadre de la Tectonique des Plaques*

Suite aux modèles théoriques de Dewey and Bird [1970], toutes les interprétations des chaînes de montagnes impliquent des contextes de subduction, d'obduction et de collision. Curieusement, Dewey and Bird [1970] font aussi référence aux géosynclinaux, soit en cherchant des équivalents aux géosynclinaux classiques, soit en créant le terme particulier de *kinogeosynclines*. Dans les chaînes péri-méditerranéennes, notamment dans les Hellénides, la succession subduction-obduction Jurassique-collision Tertiaire est l'objet de nombreuses publications en partie par des membres de l'équipe de Aubouin.

Dans la « ceinture péri-Pacifique », après ses premiers travaux dans les Andes [Aubouin and Borrello, 1966], Aubouin constate que la bordure « andine » de l'Amérique du Sud n'est pas homogène au nord et au sud du domaine central défini antérieurement comme chaîne liminaire [ex : Aubouin, 1984a,b]. Son but est aussi de comparer ces chaînes andines aux chaînes d'Amérique centrale et du Nord [Aubouin et al., 1977b, 1980, Aubouin and

Tardy, 1980, Aubouin, 1984b, Aubouin et al., 1986]. Au sein de la ceinture péri-Pacifique, les différences des contextes géodynamiques actifs entre l'Est et l'Ouest Pacifique sont telles que Aubouin s'intéresse alors à ce dernier domaine : « The west-pacific gradually became an alternative model (versus the Alps and Mediterranean Sea) which grew more useful with each passing day » [Aubouin, 1990].

Aubouin décrit notamment deux types d'orogène partant de la différence du sens de la subduction vers l'océan ou vers le continent, et de leurs structures associées [Aubouin, 1990] : (i) le « type Japonais » qui évoque le type « Californien » avec un déplacement de nappes vers l'Océan principal et (ii) le « type Taiwanais » qui se rapproche du type alpin avec une vergence continentale des structures et charriage sur la marge continentale (Figure 7).

En un mot, quand Aubouin devient Président de l'Académie des Sciences (1991), il a en tête la plupart des contextes géodynamiques et des grands domaines orogéniques du globe, à terre, à la limite terre-mer et même en mer.

7. Conclusion : Jean Aubouin, le professeur, le chercheur et l'homme

Au terme de cet exposé nécessairement incomplet et subjectif, la difficulté de cerner, et donc de transmettre précisément, l'évolution des idées de Aubouin, ou de faire partager toute la dimension et le rayonnement exceptionnel qui s'attachent à une œuvre scientifique imposante, personnelle et en équipe, se fait jour.

7.1. *Des résultats, une équipe, une façon de penser*

L'influence de Aubouin au sein de l'univers géologique s'est développée tant sur le plan scientifique que sur celui de ses nombreuses responsabilités. S'intéresser au futur s'agissant d'un bilan consacré à l'itinéraire de Aubouin, c'est déjà se demander d'une part, ce qui reste au plan scientifique de toute cette activité de recherche foisonnante, créative, rayonnante, réalisée tout au long de sa vie et d'autre part, en quoi son activité scientifique a « fertilisé » la descendance et le champ des connaissances. En fait, ces deux aspects sont liés. Parmi les apports à la connaissance de l'ensemble des chaînes de

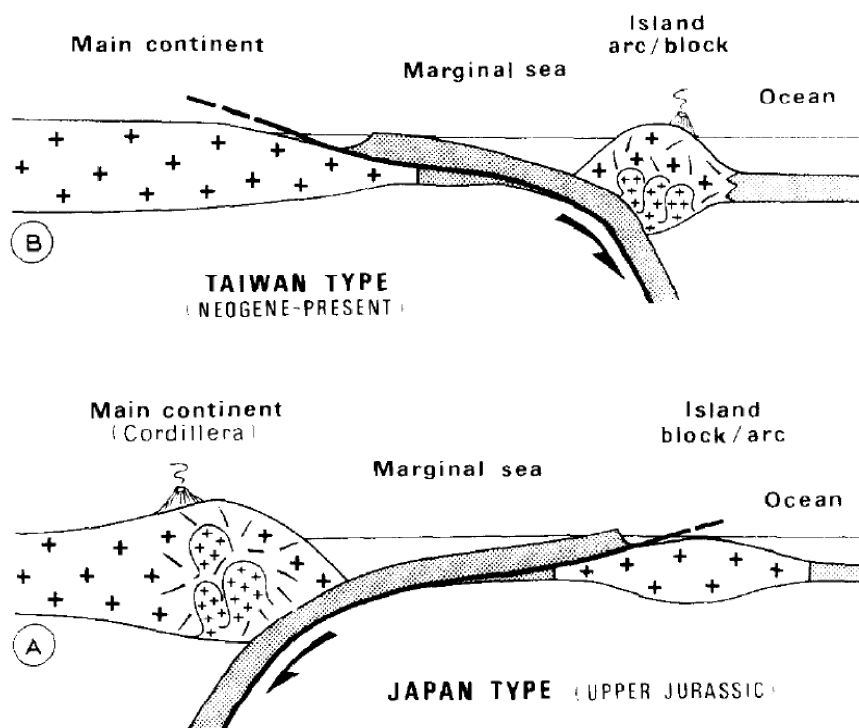


FIGURE 7. Deux modèles d'orogénèse selon Aubouin [1990] ; (A) le « Japan Type » adapté de Charvet and Fabbri [1987] ; (B) le « Taiwan type » adapté de Stéphan et al. [1986].

montagnes du globe, on peut retenir une démarche intellectuelle : observer les faits sur le terrain, donner un sens à ces observations, les assembler pour comprendre l'évolution des éléments étudiés, fournir enfin un cadre conceptuel permettant de comparer les objets d'étude entre eux et de ce fait aboutir à une éventuelle définition, un classement, une typologie de ces principaux objets. Cette démarche de mise en cohérence concerne l'ensemble de son activité de recherche, de ses premiers contacts avec une chaîne téthysienne, les Hellénides, aux chaînes de la ceinture péri-Pacifique américaines puis de l'Ouest-Pacifique, sans oublier de se confronter aux contextes géodynamiques actifs dans l'océan.

Il demeure une « école de pensée », une façon d'appréhender la géologie souvent même de façon inconsciente, dont témoignent les activités de ses nombreux élèves. La réalité est que Aubouin fût, au sens propre, un « Maître » dans le domaine de la recherche mais aussi en suscitant des vocations par son enseignement enthousiaste, un pédagogue exceptionnel, éveillant des interrogations sur des sujets

couvrant toutes échelles de temps et d'espace, y compris celles du globe !

Aubouin en tête, et son « école » de plus en plus diversifiée, ont été à l'origine de travaux nombreux et marquants, y compris dans des pays connus pour leur recherche de haut niveau (ex : Japon, USA...). Les membres de cette « école », souvent encouragés de près ou avec un peu plus de distance selon les circonstances, par le Maître, ont pour la plupart poursuivi des travaux sur les chaînes de montagnes, en créant ou en adaptant les nouvelles voies de recherche, prenant en compte les données analytiques en devenir, microtectoniques, géochimiques, géophysiques, rhéologiques, géodésiques ou encore, les modélisations analogiques et numériques.

Bernard de Chartres, maître du XII^e siècle, disait « Nanos gigantum umeris insidentes » (« Nous sommes des nains juchés sur les épaules de géants ») qui rappelle qu'aussi loin que nous puissions voir et comprendre, ce ne sera toujours que grâce au progrès de ceux qui nous ont précédés. Ce propos semble très adapté au cas qui nous intéresse !

7.2. Pourquoi ce succès ?

La réalisation de cette œuvre d'ampleur a été rendue possible du fait des qualités propres à Aubouin. C'est d'abord la *passion* pour son sujet, les chaînes de montagnes, auxquelles il a consacré toute sa carrière voire sa vie. Ce qui émerge ensuite c'est un sentiment de *cohérence* ; malgré le grand nombre et la diversité des chaînes analysées au cours de son activité, l'itinéraire suivi reste cohérent, logique du premier travail en Provence aux travaux ultimes. Cette cohérence dans la démarche scientifique à long terme suppose des qualités particulières : (i) des compétences initiales construites dans un cursus universitaire sans faille ; une faculté exceptionnelle à intégrer l'ensemble des données acquises au cours des nombreuses décennies d'activité ; (ii) méthode et rigueur scientifiques : des observations précises des faits ; un esprit analytique capable de donner du sens à ces observations et un esprit synthétique capable de les assembler dans des modèles clairs et donc accessibles à l'analyse par la communauté des chercheurs.

Une telle implication ne peut pas se faire sans quelques critiques plus ou moins objectives. La première a concerné le modèle des géosynclinaux paru en anglais en 1965 (mais dont la conception était antérieure) alors que l'expansion des océans et la Tectonique des Plaques (1968) étaient en gestation. L'avenir a montré que Aubouin a su s'adapter et adapter son modèle aux nouvelles idées. Ajoutons que beaucoup d'universitaires ont enseigné le modèle initial et sont restés ainsi un certain temps, sans considérer les évolutions proposées par Aubouin lui-même. Il ne s'est pas précipité pour modifier son modèle (ce fut fait en 1971 et surtout en 1973). Il a préféré, comme souvent, prendre un peu de recul pour analyser les conséquences de ces théories nouvelles sur ses interprétations antérieures, qui, c'est vrai, lui tenaient certainement à cœur. Une question se pose, peut-être de façon encore plus pressante actuellement, en science, le doute, le débat et la prudence ne sont-ils pas, aussi, une qualité ? D'autant plus que l'urgence géologique est parfois à une échelle de temps à nulle autre pareille !

Parmi les autres critiques scientifiques, il peut y avoir celle d'avoir privilégié certaines disciplines d'observation dites traditionnelles : cartographie, stratigraphie, méso et macro-tectonique, au détri-

ment d'autres méthodes comme les analyses des domaines métamorphiques ou la modélisation. Il s'agissait d'abord d'analyser les objets d'étude à une échelle supposée significative, celle des chaînes de montagnes. La « microtectonique » est venue très peu de temps après, surtout lorsqu'elle a démontré son intérêt et sa fiabilité, tant pour l'analyse des failles récentes, que pour celle des domaines métamorphiques. Il en a été de même pour des disciplines nouvelles comme la télédétection.

Là aussi, une telle équipe n'est pas le résultat du hasard. Les compétences, les qualités d'enseignant, l'enthousiasme, le souci de précision et de clarté, les illustrations remarquables, le goût du contact, une bonhomie certaine doublée d'une autorité sous-jacente, tout cela a donné envie à de nombreux jeunes chercheurs de poursuivre avec ce mentor. Une petite anecdote à propos de l'enseignant. Pendant les événements de 1968, certains étudiants en DES de Tectonique à Paris, ont élaboré une nouvelle organisation et un nouveau contenu pour le futur cursus. Aubouin était l'un des seuls enseignants à émerger sans critiques particulières, et même avec les félicitations des évaluateurs.

Ces compétences et son côté fédérateur ont également été appréciés dans la communauté géologique qui lui a confié de nombreuses responsabilités qu'il ne rejetait pas, que ce soit dans les instances nationales ou internationales : 26^e Congrès géologique international de Paris en 1980, Société géologique de France, Comité de la Carte Géologique du Monde, UNESCO, DSDP. Aubouin a aussi eu le souci constant d'établir des partenariats entre chercheurs de son équipe et ceux des organismes à finalité appliquée tels que le BRGM, le CNEXO (IFREMER), l'IFP, l'industrie pétrolière et minière. Enfin, son activité intense à l'Académie des sciences depuis 1978, a été marquée par une présence active et forte, avec la présidence de cette institution de 1989 à 1991 et celle de l'Institut de France en 1989 : une grande satisfaction et un immense honneur pour cet universitaire d'origine très modeste.

L'originalité et la force du parcours de Aubouin résident dans la quantité et la qualité des résultats scientifiques concernant de très nombreuses chaînes du globe, mais aussi dans sa personnalité exceptionnelle de chercheur, d'enseignant et... d'Homme, tout simplement.

Conflit d'intérêt

Les auteurs n'ont aucun conflit d'intérêt à déclarer.

Remerciements

Cet essai a profité de discussions auprès de nombreux collègues. Nous remercions plus particulièrement René Blanchet pour sa connaissance approfondie du parcours de Jean Aubouin et pour ses conseils avisés.

Références

- Allègre, C. and Mattauer, M. (1972). *Structure et dynamique de la lithosphère*. Hermann Ed, Paris. (Actes du Colloque de 1970).
- Angelier, J. (1979). Néotectonique de l'Arc Egéen. *Soc. Geol. Nord Publ.*, 3, 1–417.
- Angelier, J. and Aubouin, J. (1976). Contribution à l'étude géologique des bandes triasiques provençales de Barjols (Var) au bas Verdon. *Bull. BRGM*, 2, 187–217.
- Aubouin, J. (1959a). Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale : les confins de l'Épire et de la Thessalie. Thèse Paris, 1958. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 10, 1–48.
- Aubouin, J. (1959b). Sur la géologie de la zone littorale du Montenegro : les bouches de Kotor (Yougoslavie). Comparaison avec les séries helléniques correspondantes. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-I(8), 833–840.
- Aubouin, J. (1960). Essai sur l'ensemble italo-dinarique et ses rapports avec l'arc alpin. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-II, 487–526.
- Aubouin, J. (1961). Propos sur les géosynclinaux. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-III, 629–693.
- Aubouin, J. (1963). Essai sur la paléogéographie post-triasique et l'évolution secondaire et tertiaire du versant sud des Alpes orientales (Alpes méridionales, Lombardie et Vénétie, Slovénie occidentale, Yougoslavie). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-V(5), 730–766.
- Aubouin, J. (1965). Geosynclines. In *Developments in Geotectonics*, pages 1–335. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Aubouin, J. (1968). In Aubouin, J., Brousse, R., and Lehman, J. P., editors, *Précis de Géologie*, volume 3. Dunod, Paris.
- 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.*, S7-V(5–6), 428–460.
- Aubouin, J. (1975). In Aubouin, J., Brousse, R., and Lehman, J. P., editors, *Précis de Géologie*, volume 3. Dunod, Paris, 3^{ème} édition.
- Aubouin, J. (1977a). Méditerranée orientale et Méditerranée occidentale : esquisse d'une comparaison du cadre alpin. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XIX, 421–435.
- Aubouin, J. (1977b). Téthys, Atlantique et Pacifique : Regard Tectonique. Adresse présidentielle. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 4, 170–180.
- Aubouin, J. (1982). The middle America trench as an example of a subduction zone? *Tectonophysics*, 86, 113–132.
- Aubouin, J. (1984a). Des Océans aux Continents ou « à la recherche des océans perdus ». *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XXVI(3), 333–344.
- Aubouin, J. (1984b). Des marges continentales aux chaînes plissées. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XXVI, 504–516.
- Aubouin, J. (1990). The west Pacific geodynamic model. *Tectonophysics*, 183, 1–7.
- Aubouin, J., Blanchet, R., Cadet, J. P., Celet, P., Charvet, J., Chorowicz, J., Cousin, M., and Rampnoux, J. P. (1970a). Essai sur la géologie des Dinarides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XII, 1060–1093.
- Aubouin, J., Blanchet, R., Carfantan, J. C., Stéphan, J. E., and Tardy, M. (1977b). Des Caraïbes aux Cordillères sud et nord-américaines. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sér. D*, 284, 1749–1752.
- Aubouin, J., Blanchet, R., and Rangin, C. (1980). Compte-rendu de la réunion extraordinaire de la Société Géologique de France en Californie. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XXII(4), 513–553.
- Aubouin, J., Blanchet, R., Roure, J. E., and Tardy, M. (1986). Traits généraux des cordillères de l'ouest des Etats-Unis. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8(5), 741–754.
- Aubouin, J., Bonneau, M., Celet, P., Charvet, J., Clément, B., Degardin, J. M., Dercourt, J., Ferrière, J., Fleury, J. J., Guernet, C., Maillot, H., Mania, J., Mansy, J. L., Terry, J., Thiébault, F., Tsoflias, P., and Verriez, J. J. (1970b). Données nouvelles sur la géologie des Hellénides; le Gavrovo, le Pinde et la zone ophiolitique subpélagonienne. *Ann. Soc. Géol. Nord t. XC, Fasc.*, 4, 277–306.
- Aubouin, J. and Borrello, A. V. (1966). Chaînes an-

- dines et chaînes alpines : regard sur la géologie de la Cordillère des Andes au parallèle de l'Argentine moyenne. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-VIII, 1050–1070.
- Aubouin, J. and Borrello, A. V. (1970). Regard sur la géologie de la Cordillère des Andes : relais paléogéographiques et cycles orogéniques superposés; le Nord Argentin. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XII(2), 246–260.
- Aubouin, J., Borrello, A. V., Cecioni, G., Charrier, R., Chotin, P., Frutos, R., Thiele, R., and Vicente, J. C. (1973). Esquisse paléogéographique et structurale des Andes méridionales. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, 11–72.
- Aubouin, J., Bourgois, J., and Azéma, J. (1984). A new type of active margin : the convergent-extensional margin, as exemplified by the Middle America Trench off Guatemala. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67, 211–218.
- Aubouin, J. and Brunn, J. H. (1960). Introduction à la séance sur la géologie des Dinarides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-II(4), 363–365.
- Aubouin, J., Cadet, J. P., Dubar, G., Marie, P., and Rampnoux, J. P. (1964). A propos de l'âge de la série ophiolitique dans les Dinarides yougoslaves : la coupe de Mihalovici aux confins de la Serbie et du Montenegro (region de Plevja, Yougoslavie). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-VI, 107–112.
- Aubouin, J. and Celet, P. (1970). Introduction à la synthèse sur les Dinarides in Aubouin et al., 1970. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XII, 1060–1093.
- Aubouin, J., Chorowicz, J., Fossé, M., and Wettel, C. (1967). Sur le chevauchement sud-Provençal : le nœud de Pichauris, Peypin, Auriol. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-IX, 376–390.
- Aubouin, J. and Dercourt, J. (1975). Les transversales dinariques dérivent-elles de paléo-failles transversales. *C. R. Acad. Sci. Paris Sér. D*, 281, 347–350.
- Aubouin, J., Mattauer, M., and Allègre, C. (1977a). La couronne ophiolitique périaustralienne : un charriage océanique représentatif des stades précoces de l'évolution alpine. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sér. D*, 285, 953–956.
- Aubouin, J. and Ndojaj, I. (1964). Regard sur la géologie de l'Albanie et sa place dans la géologie des Dinarides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-VI, 593–625.
- Aubouin, J., Stéphan, J. E., Renard, V., Roump, J., and Lonsdale, P. (1981). Subduction of the Cocos plate in the mid America trench. *Nature (IPOD)*, 294(5837), 146–150.
- Aubouin, J. and Tardy, M. (1980). L'Amérique alpine : le domaine caraïbe et ses liaisons avec les Cordillères nord et sud-américaines. In *26^{ème} Congrès Géologique International, Paris*, volume 115 of *Mémoire BRGM*, pages 14–17.
- Aubouin, J., von Huene, R., Azéma, J., Coulbourn, W. T., Cowan, D. S., Curlale, J. A., Dengo, C. A., Faas, R. W., Harrison, W., Hesse, R., Ladd, J. W., Muzilev, N., Shiki, T., Thompson, P. R., and Westberg, J. (1979). Premiers résultats des forages profonds dans le Pacifique au niveau de la fosse du Guatemala (fosse d'Amérique Centrale) (leg 67 du "Deep Sea Drilling Project" mai-juin 1979). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 289, 1215–1220.
- Aubouin, J., von Huene, R., Baltuck, M., Arnott, R., Bourgois, J., Filewicz, M., Helm, K., Kvenvolden, K., Lienert, B., McDonald, T., McDougall, K., Ogawa, Y., Taylor, E., and Winsborough, B. (1982). Leg 84 en 1982 of the Deep Sea Drilling Project subduction without accretion : middle America trench off Guatemala. *Nature*, 297, 458–460.
- Bernoulli, D. and Laubscher, H. (1972). The palinspastic problem of the Hellénides. *Eclogae Geol. Helv.*, 65, 107–118.
- Blanchet, R. (1966). Sur l'âge Tithonique-Eocrétacé d'un flysch des Dinarides internes en Bosnie : le flysch de Vranduk (Yougoslavie). *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, pages 401–403.
- Blanchet, R. (1973). Contribution à l'étude des Dinarides. Un profil en Yougoslavie : de la Dalmatie moyenne au Bassin Pannonique. Thèse Sci. Paris, Université Paris, 2 vol., 1 carte géol. 1/200 000, 1–359.
- Blanchet, R., Cadet, J.-P., Charvet, J., and Rampnoux, J.-P. (1969). Sur l'existence d'un important domaine de flysch tithonique-crétacé inférieur en Yougoslavie : l'unité du flysch bosniaque. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-XI, 871–880.
- Bonneau, M. (1982). Evolution géodynamique de l'Arc égéen depuis le Jurassique supérieur jusqu'au Miocène. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-24, 229–242.
- Brunn, J. H. (1956). Contribution à l'étude du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale. *Ann. Géol. Pays Hell.*, 7, 1–358.
- Brunn, J. H. (1959). La dorsale médio-Atlantique et les épanchements ophiolitiques. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 7, 234–235.
- Brunn, J. H. (1960). Les zones helléniques internes et leur extension. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S7-II, 470–486.

- Cadet, J.-P., Kobayashi, K., Aubouin, J., Boulègue, J., Deplus, C., Dubois, J., Von Huene, R., Jolivet, L., Kanazawa, T., Kasahara, J., Koizumi, K., Lallemand, S., Nakamura, Y., Pautot, G., Suyehiro, K., Tani, S., Tokuyama, H., and Yamazaki, T. (1987). The Japan Trench and its juncture with the Kuril trench : cruise results of the Kaiko project, leg 3. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 83, 267–284.
- Cadet, J.-P., Kobayashi, K., Aubouin, J., Boulègue, J., Dubois, J., Von Huene, R., Jolivet, L., Kanazawa, T., Kasahara, J., Koizumi, K., Lallemand, S., Nakamura, Y., Pautot, G., Suyehiro, K., Tani, S., Tokuyama, H., and Yamazaki, T. (1985). De la fosse du Japon à la fosse des Kouriles : Premiers résultats de la campagne océanographique franco-japonaise Kaiko (Leg III). *C. R. Acad. Sci., Ser. II*, 301, 287–296.
- Charvet, J. (1967). Sur un jalon de flysch Tithonique-Eocrétacé au Nord de Sarajevo (Bosnie). *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 8, 371–373.
- Charvet, J. (1978). *Essai sur un orogène alpin. Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)*, volume 2. Soc. Geol. Nord Publ. 21 pl.
- Charvet, J. and Fabbri, O. (1987). Vue générale sur l'orogénèse Shimanto et l'évolution tertiaire du Japon sud-ouest. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, S6-III, 1171–1188.
- Clément, B. (1984). Evolution géodynamique d'un secteur des Hellénides internes : l'Attique-Béotie (Grèce continentale). Thèse Univ. Lille, p. 1–521.
- Coleman, R. G. (1971). Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges. *J. Geophys. Res.*, 76, 1212–1222.
- Dana, 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. *Am. J. Sci.*, 3(5), 6–14, 104–115, and 161–171.
- Debelmas, J. (1974). *Géologie de la France. Les chaînes plissées du Cycle Alpin et leur Avant-Pays*, volume II. Doin éditeurs, Paris.
- Dercourt, J. (1970). L'expansion océanique actuelle et fossile : ses implications géotectoniques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XII, 261–317.
- Dercourt, J. (1972). The Canadian Cordillera, the Hellénides and the seafloor spreading theory. *Can. J. Earth Sci.*, 9, 709–743.
- Dewey, J. F. and Bird, J. M. (1970). Mountain belts and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, 75, 2625–2647.
- Ferrière, J. (1972). Sur l'importance des déplacements tangentiels en Othrys centrale au NE d'Anavra (Grèce). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 274, 174–176.
- Ferrière, J. (1982). *Paléogéographies et tectoniques superposées dans les Hellénides internes au niveau de l'Othrys et du Pelion (Grèce)*, volume 8. Soc. Geol. Nord Publ.
- Ferrière, J., Chanier, F., Baumgartner, P. O., Caridroit, M., Bout-Roumazeilles, V., Graveleau, F., Danelian, T., and Ventalon, S. (2015). The evolution of the Triassic–Jurassic oceanic lithosphere : insights from the supra-ophiolitic series of Othris (continental Greece). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 186(6), 71–84.
- Godfriaux, I. (1968). Etude géologique de l'Olympe (Grèce). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 19, 1–282.
- Jacobshagen, V. (1986). *Geologie von Griechenland*. Gebru der Borntraeger, Berlin.
- Juteau, T. (2003). Identification of a mantle unit in ophiolites : A major step in the evolution of the ophiolite concept. In Dilek, Y. and Newcomb, S., editors, *Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought*, volume 373, pages 31–53. Geological Society of America Special Publication.
- Le Pichon, X. (1968). Sea-floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.*, 73, 3661–3697.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., and Bonin, J. (1973). In *Plate Tectonics*, page 300. Elsevier, Amsterdam.
- Lemoine, M. (2006). Une science en crise au milieu du XXème siècle, la géodynamique : des géosynclinaux aux océans disparus. *Travaux du Comité français d'histoire de la Géologie*, 20, 129–165. 3ème série.
- Mercier, J.-L. (1968). Etude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine Centrale (Grèce). Thèse Université de Paris. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 20, 1–792.
- Moore, E. M. (1969). Petrology and structure of the Vourinos ophiolite complex of northern Greece : Boulder, Colorado. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 118, 1–74.
- Pontoise, B., Baudry, N., Diament, M., Aubouin, J., Blanchet, R., Butscher, J., Chotin, P., Dupont, J., Eisen, J. P., Ferrière, J., Herzer, R., Lapouille, A., Louat, R., d'Ozouville, L., Pelletier, B., Sokai, S., and Stevenson, A. (1986a). Levés SEABEAM dans l'archipel des îles australes : confirmation d'une nouvelle méthode de localisation de monts sous-marins ba-

- sée sur l'analyse des données SEASAT. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303(II), 563–568.
- Pontoise, B., Pelletier, B., Aubouin, J., Baudry, N., Blanchet, R., Butscher, J., Chotin, P., Diament, M., Dupont, J., Eissen, J. P., Ferrière, J., Herzer, R., Lapouille, A., Louat, R., d'Ozouville, L., Soakai, S., and Stevenson, A. (1986b). La subduction de la ride de Louisville le long de la fosse des Tonga : premiers résultats de la campagne SEAPSO (Leg V). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 303(II), 911–918.
- Sallé, C. (1982). Election du Professeur Jean Aubouin à l'Académie des Sciences. In *Fondation d'un grand prix de Géologie Prix Léon Lutaud*, pages 11–14. Gauthier-Villars, Paris.
- Stéphan, J. F., Blanchet, R., Pelletier, B., Letouzey, J., and Muller, C. (1986). Geodynamic evolution of the Taiwan-Luzon-Mindoro belt since the late Eocene. *Tectonophysics*, 125, 245–268.
- Stille, H. (1936). Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung. In Hartmann, M., editor, *25 Jahre Kaiser Wilhelm Gesellschaft zur Forderung der Wissenschaften*, volume 2, pages 77–97. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Thiébaud, F. (1982). Evolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional (Grèce). *Soc. Géol. Nord*, 6, 1–574.
- van Hinsbergen, D. J. J., Hafkenscheid, E., Spakman, W., Meulenkamp, J. E., and Wortel, M. J. R. (2005). Nappe stacking resulting from subduction of oceanic and continental lithosphere below Greece. *Geology*, 33, 325–328.
- Vergely, P. (1984). Tectonique des ophiolites dans les Hellénides internes. Conséquences sur l'évolution des régions téthysiennes occidentales. Thèse Université Paris sud Orsay, p. 1–411.
- Vine, F. J. and Matthews, D. H. (1964). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 201, 591–592.
- Von Huene, R., Aubouin, J., Azéma, J., Blackinton, G., Carter, J., Coulbourn, W. T., Cowan, D. S., Curiale, J. A., Dengo, C. A., Faas, R. W., Harrison, W., Hesse, R., Hussong, D. M., Ladd, J. W., Muzilev, M., Shiki, T., Thompson, P. R., and Westberg, J. (1980). DSDP mid-America trench transect off Guatemala. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91, 421–432.
- Wilson, J. T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207, 343–347.