

Court historique de l'étude des orogènes.

Nicolas CARRY

1 Une Terre statique

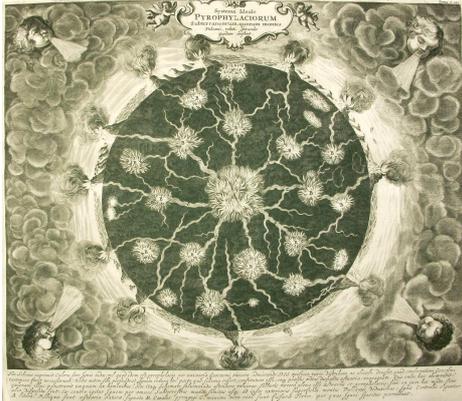


FIG. 1 – Kircher A., 1664 - Mundus subterraneus

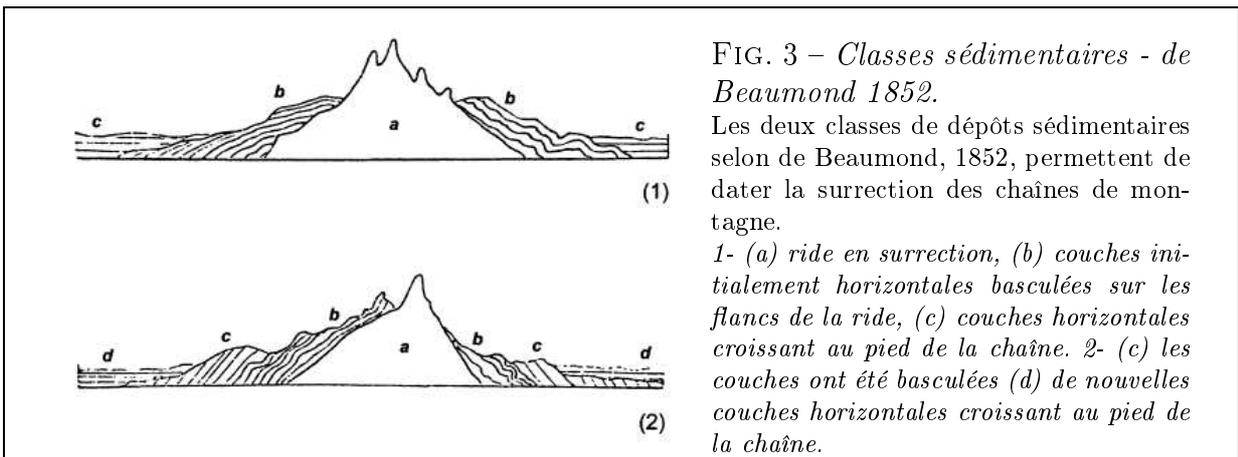
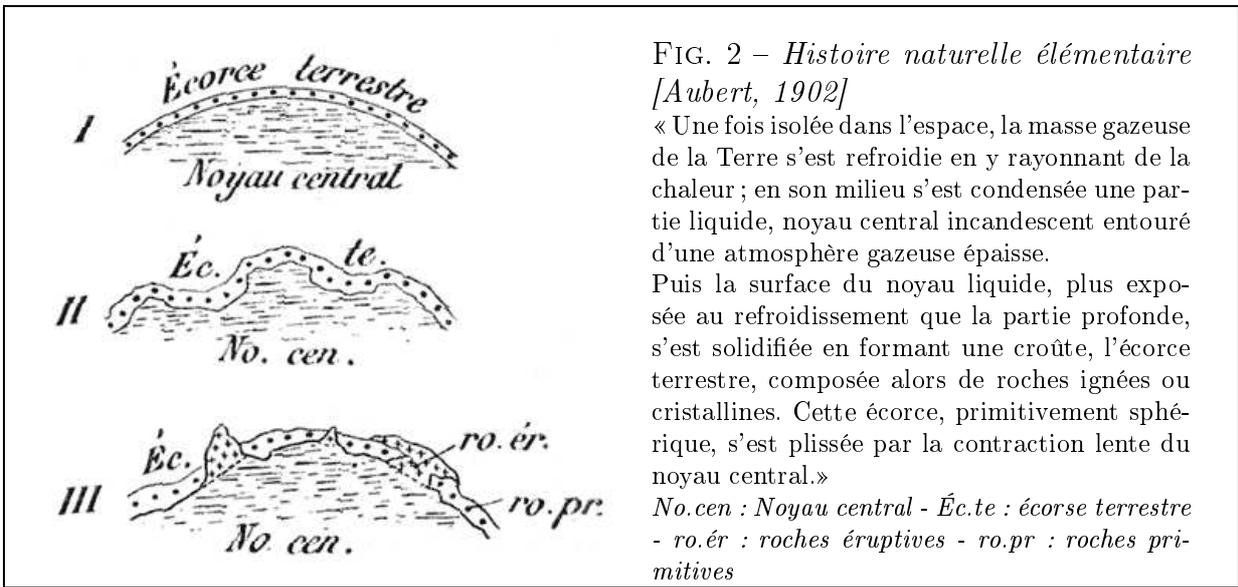
Dès les débuts de la géologie, la question de la formation des montagnes est soulevée. Le terme orogénèse, du grec *oros* (montagne) et du latin *genesis* (naissance), dérive du mot “orogénie” créé par Emile Littré (1868) et désigne la formation d’une chaîne de montagne. Depuis 1907, date à laquelle Emile Haug donne au terme “orogénie” sa terminologie actuelle, le terme orogénèse est utilisé pour décrire l’ensemble de l’histoire d’une chaîne de montagne : origine, formation, surrection, érosion et disparition des reliefs ; la question de la formation ayant été au début du XX^{ème} siècle le centre d’intérêt plus que les questions de l’origine et du devenir des chaînes de montagne.

Ce désintérêt vis à vis de l’évolution au cours du temps des orogènes provient sans doute de la suprématie, à l’époque, des concepts immobilistes culturellement confortés par les *Ecrits (La Génèse)*. Les premiers scientifiques s’intéressant à l’orogénèse sont nés au XIX^{ème} siècle, époque à laquelle les Sciences Naturelles sont axées dans la perspective des “révolutions terrestres” élaborées par Georges Cuvier. Les “révolutions terrestres” supposent que les bouleversements dans l’évolution du vivant ont été nécessairement provoqués par des transformations de la planète à même de changer la donne écologique globale. La géologie se cantonne à relier les connaissances botaniques et zoologiques avec les observations de strates et de “lignes de démarcations rocheuses”.

En 1785, la théorie de Hutton décrivant l’origine endogène de la dynamique terrestre allant à l’encontre de la vision statique du Neptunisme [Hutton, 1785] reste ignorée ou détractée. La théorie du Neptunisme propose que les montagnes correspondent à des plissements formés lors du refroidissement de la Terre, par analogie avec les rides sur une pomme qui se dessèche (figure 2). A cette époque, quelques scientifiques minoritaires avancent des théories quant à une Terre creuse. Quelques années après Hutton, von Buch met clairement en relation la formation des chaînes de montagnes et les intrusions plutoniques ainsi que le plissement des strates sédimentaires à proximité [Studer, 1851].

Opposé à ce point de vue, Léonce Elie de Beaumont privilégie la théorie du Neptunisme et décrivant avec détails les interactions entre surrection et dépôts sédimentaires (figure 3), conclut que l’évolution de la Terre était marquée par de longues périodes calmes entrecoupées de courtes périodes d’orogénèse chaotiques. De Beaumont décrit donc pour la première fois les discordances angulaires qui sont des contacts géométriques anguleux entre deux couches sédimentaires de nature et d’âges différents.

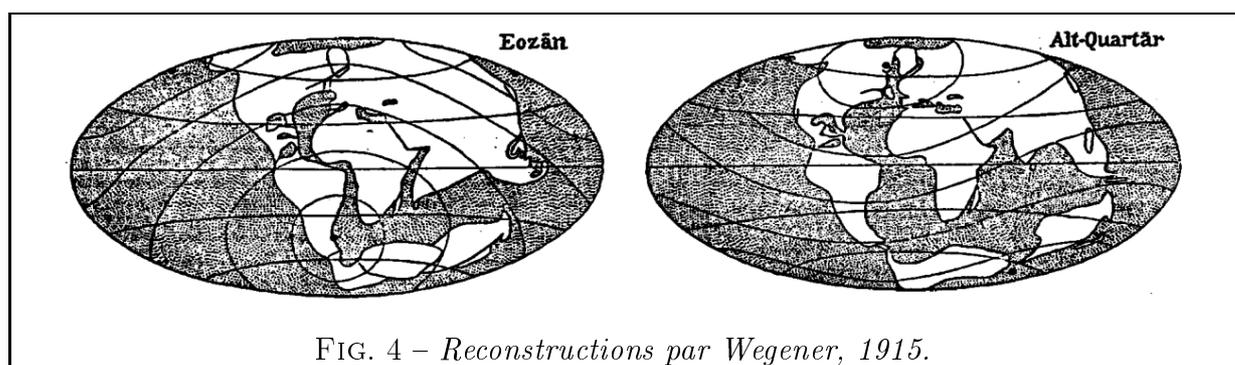
La question du mouvement est donc seule traitée à cette époque, laissant de côté la question de l’âge, n’ayant pas à l’époque de moyen technique pour dater les roches. La datation des orogénèses se cantonne à la théorie de René Descartes qui estime que les montagnes d’un même âge sont



toutes orientées dans la même direction. Cette théorie se base sur l'hypothèse qu'à une époque donnée, la direction de surrection ou d'affaissement est unique pour l'ensemble du globe.

2 Une Terre en évolution - les théories mobilistes

A partir du milieu du XIX^{ème} siècle, des théories opposées aux concepts immobilistes émergent. Sir Charles Lyell (1867) défend l'idée que l'activité souterraine persistante et la gravité sont les forces responsables des mouvements verticaux. Lyell évoque des "pressions latérales importantes" pour expliquer la formation des failles, plis, séries sédimentaires inversées et parle de chevauchements ("sideway thrusts" [Dal Piaz, 2001]). Mais Lyell attribue ces "pressions latérales" à l'expansion précoce par la chaleur de grande quantité de roches solides. Eduard Suess en 1875 marque l'avènement des théories mobilistes en soutenant l'hypothèse de mouvements horizontaux à l'échelle du globe, et abandonne la théorie de Descarte d'uni-direction. Cette hypothèse constitue la base intellectuelle du concept de nappe dans les Alpes [Argand, 1911, 1924] et de la dérive des continents de Wegener (figure 4 - [Wegener, 1915]). Les travaux à travers les Alpes de Hans



Schardt (1898), Maurice Lugeon (1902) et Pierre Tremier (1904) contribuent, à la fin du XIX^{ème} - début du XX^{ème} siècles, à l'acceptation générale des théories mobilistes [Dal Piaz, 2001]. En parallèle, malgré les détracteurs de Wegener, la théorie de la dérive des continents progresse rapidement permettant l'élaboration d'une nouvelle conceptualisation de l'orogénèse grâce aux progrès techniques dans les domaines de la datation, de la sismique et du forage.

Les orogènes sont alors étudiés avec un regard dynamique, cherchant leur origine et leur devenir. Dès 1924, Argand et Staub décrivent les unités Austro-Alpine comme appartenant au continent Africain et étant venues se placer au-dessus du domaine pennique ("promontoire africain" - [Argand, 1924; Staub, 1928]). La compréhension des zones de collision va croissante mais l'ignorance des zones d'expansion océanique (dorsales médio-océaniques) limite l'évolution des concepts relatifs à la tectonique des plaques. Les zones d'expansion océanique ne seront évoquées qu'après la première guerre mondiale [Holmes, 1931; Ampferer, 1941]. L'avant guerre (la seconde) voit apparaître le concept de sous-charriage [Ampferer, 1941] et la notion de subduction est formulée par Amstutz en 1955 alors qu'il travaillait dans les Alpes occidentales [Amstutz, 1955].

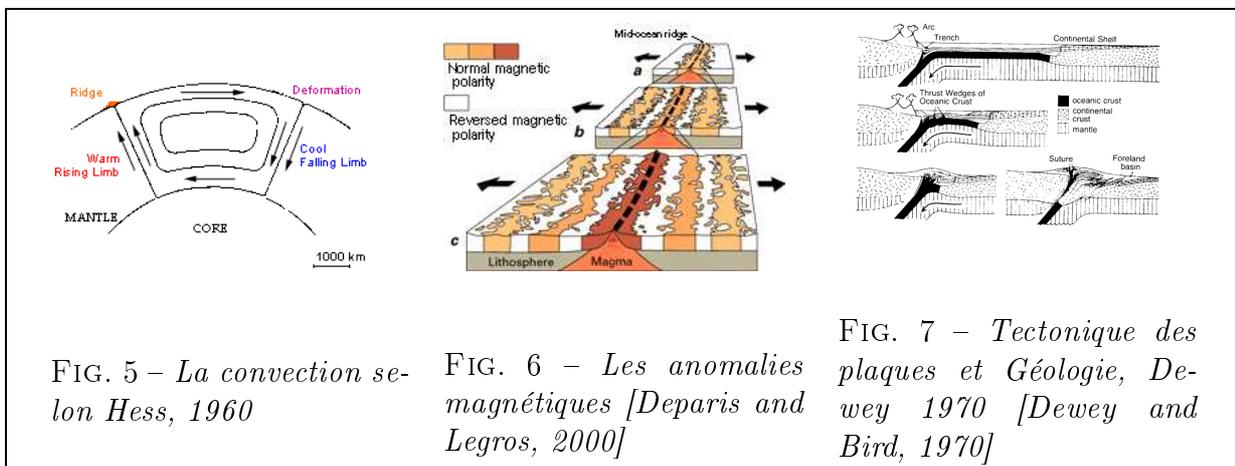
3 Une Terre en continuel mouvement - la théorie de la tectonique des plaques

A la fin des années 1950, une synthèse de l'ensemble des études géologiques (tectonique, pétrographique, sédimentologiques, paléontologiques,...) met en évidence de nombreuses contradictions dans les phénomènes observés et les différentes théories admises à cette époque. Un modèle capable d'expliquer l'ensemble des découvertes s'avère nécessaire.

En 1960, Harry Hammond Hess, reprenant le modèle de Arthur Holmes [Holmes, 1931], affirme que le manteau terrestre est animé de mouvements de convection (figure 5). Hess propose que les dorsales médio-océaniques correspondent aux courants ascendants et les fosses aux courants descendants, la croûte océanique, continuellement recyclée, est ainsi animée de mouvements horizontaux et constitue une sorte de tapis roulant qui entraîne les continents passifs. Cette théorie est aussitôt reprise par Robert Dietz en 1961 qui introduit le terme d'expansion océanique ("sea floor spreading" - [Deparis and Legros, 2000]).

Dès 1963, l'analyse par Lawrence Morley, Fred Vine et Drumond Matthews des anomalies magnétiques découvertes sur le plancher océanique conforte les idées de Hess et Dietz (figure 6). Les anomalies magnétiques, découvertes car elles perturbaient les boussoles des sous-marins, constituent des bandes parallèles et symétriques aux dorsales et dont les minéraux riches en fer indiquent alternativement des orientations normale ou inverse du champ magnétique actuel. Lors de la formation de croûte océanique au niveau des dorsales, les minéraux riches en fer s'alignent dans le champ magnétique terrestre présent lors de leur refroidissement. L'expansion océanique est alors prouvée, d'autant plus qu'en 1966, Lynn Sykes montrent que les séismes situés le long des dorsales sont associés à un mouvement d'ouverture (étude du mécanisme au foyer - [Deparis and Legros, 2000]).

En 1954, Beno Gutenberg et Charles Francis Richter établissent une carte mondiale de la ré-



partition des séismes qui confirme une observation déjà formulée à la fin du XIX^{ème} : les chaînes de montagnes et les volcans sont répartis suivant des bandes étroites et les séismes sont confinés dans ces zones ainsi qu'aux niveau des dorsales. De plus, excepté au niveau des fosses océaniques, les séismes ne se produisent jamais à une profondeur supérieures à 100 km, déterminant ainsi une partie superficielle rigide (dans laquelle les séismes peuvent se produire) appelée lithosphère, surmontant l'asthénosphère, partie ductile. Se basant sur les travaux de Wadati (1930) et Benioff (1955), Jack Olivier et Bryan Isacks en 1967 interprètent les séismes observés à grande profondeur (plus de 100 km) au niveau des fosses comme la marque de la disparition de la lithosphère océanique. Appelées aujourd'hui zones de subduction, ces zones d'enfouissement sont nécessaires

à la théorie d'expansion océanique afin d'éviter de supposer l'expansion de la Terre [Deparis and Legros, 2000].

Tous les éléments sont alors en place pour permettre l'avènement de la théorie de la tectonique des plaques fondée sur l'hypothèse de l'expansion océanique et la localisation de l'activité tectonique au niveau de la lithosphère et le long de "ceintures étroites". En 1967 Jason Morgan, synthétisant les différentes approches, développe la première hypothèse "plaquiste" qui propose que la lithosphère terrestre soit découpée en une série de "blocs" qui se déplacent les uns par rapport aux autres. De façon indépendante, Dan Mc Kenzie et Robert Parker formulent une hypothèse similaire et invente le terme de "plaque" [Deparis and Legros, 2000]. En 1968, Xavier Le Pichon utilise ces hypothèses pour retracer depuis 120 Ma le mouvement de six plaques tectoniques recouvrant la surface du globe [Le Pichon, 1968]. La même année, Bryan Isaks, Jack Oliver et Lynn Sykes formulent une nouvelle théorie de tectonique globale que Vine et Hess appellent "tectonique des plaques".

Si la théorie de la tectonique des plaques fut rapidement admise par les géophysiciens, elle se heurta à la communauté des géologues qui posèrent le problème de son application aux continents. En 1970, John Dewey et John Bird se basant sur les anciens concepts en définirent de nouveau compatibles avec la théorie de la tectonique des plaques (figure 7 - [Dewey and Bird, 1970]). Définissant les marges continentales passives et actives, les chaînes de collision, Dewey et Bird affirmaient que les montagnes anciennes, anciennes collisions, étaient les témoins d'océans disparus montrant ainsi l'intérêt géologique de la théorie de la tectonique des plaques, schéma global permettant de réinterpréter l'ensemble des processus géologiques.

4 Une nouvelle approche des orogènes

La théorie de la tectonique des plaques fait donc des orogènes des zones de convergence de plaque tectoniques. Les chaînes de montagnes sont depuis les années 1970 réinterprétées comme telles et de nouvelles questions ont émergé. Les mesures thermobarométriques¹ ont montré la présence au sein des orogènes de roches ayant été enfouies à grande profondeur (plus de 30 km pour la Haute Pression et plus de 100 km pour l'Ultra-Haute Pression) et se trouvant actuellement en altitude. La question de l'enfouissement des roches océanique à rapidement trouvé une réponse et la présence d'ancienne subduction à l'emplacement actuel de chaîne de collision fait l'unanimité. En revanche les questions de l'enfouissement à grande profondeur de roches continentales, et surtout de l'exhumation des roches (océaniques et continentales) depuis une grande profondeur restent débattues et ne trouvent pas actuellement de réponse faisant consensus.

¹**mesures thermobarométriques** : estimation de la pression et de la température subies par une roche au cours de son histoire. Ces mesures se font soit grâce à l'étude des assemblages de minéraux constituant la roche, certains étant caractéristiques d'une pression ou d'une température; soit grâce à la composition chimique des minéraux. Une roche peut présenter différents assemblages vestiges de plusieurs conditions pression, température et délivre ainsi son parcours à la surface ou dans le globe terrestre.

Références

- Ampferer, O. (1941). Gedanken uber das bewegungsbild des atlantischen raumes. *Sitz. Akad. Wiss. Wien*, 150 :19–35.
- Amstutz, A. (1955). Subductions successives dans l'ossola. *Compte Rendu à l'Académie des Sciences*, 241 :967–969.
- Argand, E. (1911). Les nappes de recouvrement des alpes pennines et leurs prolongements structuraux. *Beitrage zur Geologischen Karte der Schweiz*, 31 :1–26.
- Argand, E. (1924). Des alpes et de l'afrigue. *Bulletin de la Société Vaudoise de Science Naturelles*, 55 :233–236.
- Aubert, A. (1902). Histoire naturelle élémentaire, 17 édition, à l'usage des élèves. *André, Paris*, page 381 pages.
- Dal Piaz, G. (2001). History of tectonic interpretations of the Alps. *journal of Geodynamics*, 32 :99–114.
- Deparis, V. and Legros, H. (2000). Voyage à l'intérieur de la terre. de la géographie antique à la géophysique actuelle. une histoire des idées. *Paris, CNRS Editions*.
- Dewey, J. and Bird, . (1970). Mountain belts and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 75 :2625–2647.
- Holmes, A. (1931). Radioactivity and earth movements. *Trans. Geological Society Glasgow*, 18 :559–606.
- Hutton, J. (1785). Abstract of a dissertation read in the royal society of einburgh, upon the seventh of march, and fourth of april, mdcclxxxv, concerning the system of the earth, its duration and stability. *Royal Society of Einburgh*, page 30 pages.
- Le Pichon, X. (1968). Sea floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, 73 :3661–3697.
- Staub, R. (1928). Der bewegungsmechanismus der erde. *Borntrager, Berlin*, page 270 pages.
- Studer, B. (1851). Geologie der schweiz. *Stampfli - Bern-Zurich*, page 485 pages.
- Wegener, A. (1915). La genese des continents et des oceans. *Librairie Nizet et Bastard*, page 163 p.

Table des matières

1	Une Terre statique	1
2	Une Terre en évolution - les théories mobilistes	3
3	Une Terre en continuel mouvement - la théorie de la tectonique des plaques	4
4	Une nouvelle approche des orogénèses	5

Table des figures

1	1
2	<i>Histoire naturelle élémentaire [Aubert, 1902]</i>	2
3	<i>Classes sédimentaires - de Beaumont 1852.</i>	2
4	<i>Reconstructions par Wegener, 1915.</i>	3
5	<i>La convection selon Hess, 1960</i>	4
6	<i>Les anomalies magnétiques [Deparis and Legros, 2000]</i>	4
7	<i>Tectonique des plaques et Géologie, Dewey 1970 [Dewey and Bird, 1970]</i>	4