

ANNALES
DE LA
SOCIÉTÉ LINNÉENNE
DE LYON

Année 1911

—
(NOUVELLE SÉRIE)
—

TOME CINQUANTE-HUITIÈME

LYON
H. GEORG, LIBRAIRE-ÉDITEUR
36, PASSAGE DE L'HOTEL-DIEU
MÊME MAISON A GENÈVE ET A BALE

—
1911

SUR LES

MOUVEMENTS DE L'ÉCORCE TERRESTRE

ET LEURS CAUSES

PAR

CLAUDE GAILLARD



Plusieurs théories ont été proposées pour expliquer les mouvements de l'écorce terrestre, les déplacements des lignes de rivage et les mouvements de transgression ou de régression des eaux de la mer. Mais la plupart des géologues ont reconnu que ces théories, bien qu'elles renferment, en général, une part de vérité, ne peuvent se concilier avec l'ensemble des faits constatés en étudiant directement la structure de la terre.

Grâce aux travaux de géologues et physiciens éminents, tels que James Hall (1), Lowthian Green (2), Léopold de Buch, Dana (3), Suess (4), Neumayr (5), Sacco (6), Mellard Reade (7), J. Le Conte (8), Heim (9), Geikie (10) à l'étranger, de Saus-

(1) James Hall, *Natural History of New-York. Palæontology*, vol. III, p. 70. Albany. 1859.

(2) Lowthian Green, *Vestiges of the Molten globe*, London, 1873.

(3) Dana, *Manual of Geology*, 2^e édit., p. 748; *Geolog. Results of the Earth's Contraction in conséquence of Cooling (American Journ. of Sc., 2^e série, III, p. 176, 1847).*

(4) Ed. Suess, *Entstehung der Alpen*. Vienne. 1875 ; *La face de la Terre*, Paris, 1897.

(5) Neumayr, *Erdgeschichte*, Leipzig. 1886.

(6) F. Sacco, *Essai sur l'orogénie de la Terre*. Turin, 1895.

(7) Mellard Reade, *The Origin of Mountain ranges*, London, 1886.

(8) J. Le Conte, *Earth Crust movements and their causes (Bull. Géol. Soc. Am., VIII, p. 113, 1897).*

(9) A. Heim, *Der Mechanismus der Gebirgsbildung*, 2 vol. et atlas, Basel, 1878.

(10) Geikie, *Continental elevation and subsidence (Proceed. of the Geol. Soc., LX, p. 80, 1904).*

sure, Elie de Beaumont (1), Hébert, Marcel Bertrand (2), de Lapparent (3), A. Michel-Lévy (4), J. Termier, Lacroix, Barrois, Stanislas Meunier, de Grossouvre (5), Boule, Haug (6), A. Rateau, Kilian, Glangeaud et d'autres en France, grâce également à de multiples observations directes et personnelles, on va voir qu'il est possible actuellement de dégager une formule orogénique mieux en harmonie avec les faits observés.

Par quel mécanisme se produisent les mouvements du sol ?

Les matériaux qui constituent le globe terrestre sont, à l'état fluide, superposés par couches d'égale densité, c'est-à-dire en équilibre stable, les plus lourds au centre, les plus légers à la périphérie. Après la formation de la première croûte, la stabilité de la lithosphère a été rompue partiellement par la contraction (7), la masse centrale ayant diminué de volume en se refroidissant. Cette contraction a produit dans l'enveloppe solide les rides ou plissements dont les terrains anciens, de la région lyonnaise notamment, ont gardé de si nombreuses traces.

L'écorce augmentant d'épaisseur, ses rides prirent un relief plus grand. Les voussoirs convexes ou anticlinaux s'élevèrent

(1) Elie de Beaumont, Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du Globe (*Ann. des Sc. nat.*, XVIII, pp. 5 et 284, 1829; XIX, pp. 5 et 174, 1830).

(2) Marcel Bertrand, Sur la déformation de l'écorce terrestre (*C. R. Ac. Sc.*, CXIV, p. 402, 1892; Essai d'une théorie mécanique de la formation des montagnes (*C. R. Ac. des Sc.*, CXXX, p. 213, 1900).

(3) De Lapparent, Sur la symétrie tétraédrique du globe terrestre (*C. R. Ac. Sc.*, CXXX, p. 614, Paris, 1900).

(4) A. Michel-Lévy, Le Volcanisme (*Revue scient.*, 5^e série, V, p. 577, 1896); Sur la coordination et la répartition des fractures et des effondrements de l'écorce terrestre en relation avec les épanchements volcaniques (*B. S. G. F.*, 3^e série, t. XXVI, p. 105, pl. I, Paris, 1898).

(5) De Grossouvre, Sur les relations entre les transgressions marines et les mouvements du sol (*C. R. Ac. Sc.*, CXVIII, p. 301, février 1894, Paris).

(6) E. Haug, Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et régressions marines (*B. S. G. F.*, 3^e série, t. XXVIII, p. 617, Paris, 1900).

(7) Je veux parler de la diminution du volume, non pas de l'écorce terrestre, comme l'ont entendu quelques auteurs, mais surtout du noyau fluide. On sait que les liquides diminuent de volume bien plus que les solides, en perdant de la chaleur.

peu à peu, appuyés sur les bords des voussoirs concaves ou synclinaux. Les premiers furent soulevés par les pressions tangentielle et verticale au-dessus du niveau des eaux de l'Océan, dans un milieu de faible densité, tandis que les seconds étaient plongés, par les mêmes pressions, au sein d'une masse en fusion de température et de densité très élevées.

Les parties de l'écorce terrestre qui forment les continents et les géosynclinaux sont donc en équilibre instable, au double point de vue statique et thermique. Cet équilibre, que les érosions et la sédimentation tendent à consolider, est rompu cependant par l'action, en profondeur, d'agents physiques puissants. Sous l'influence d'une haute température, les couches internes les plus profondes du géosynclinal perdent peu à peu leur rigidité jusqu'au moment où, n'offrant plus une résistance suffisante à l'énorme pression du continent, il se produit, suivant la ligne des plus grands fonds, une flexion de bas en haut, dans l'axe même du géosynclinal. Plus tard, lorsque l'un des pieds-droits de la voûte continentale a perdu à son tour sa rigidité, il fléchit en formant un pli à sa base, dans la partie qui supporte le plus grand poids et subit le métamorphisme le plus intense. Ce pli est écrasé entre le continent qui s'effondre et le fond du géosynclinal en voie de surélévation.

Au moment où le pli s'effectue, sous la double action de la chaleur et de la pesanteur, il est évident que les couches externes, dont plusieurs ont gardé leur rigidité, au lieu de se plisser, se fracturent, en disloquant les sédiments déposés au-dessus d'elles dans le géosynclinal. Ces plissements accompagnés de fractures paraissent être la cause principale des tremblements de terre ; ils déterminent, dans les formations géologiques au-dessous desquelles ils se produisent, la plupart des phénomènes de failles, de flexures, d'écrasements ou de chevauchements qui ont été constatés dans les recherches relatives à la tectonique.

Lorsque les pieds-droits du voussoir continental ont été suffisamment métamorphosés et plissés, tous les plis, surmontés des sédiments du géosynclinal, s'élèvent peu à peu, en même temps que s'abaisse l'aire continentale. Il est certain que ces

mouvements verticaux, négatifs et positifs, ne sont pas d'égale hauteur dans les deux sens, mais inversement proportionnels au volume des masses en mouvement. Comparé au déplacement positif, le déplacement négatif doit donc être d'autant plus faible que le volume du continent est plus grand par rapport à celui des matériaux soulevés.

Enfin, la nouvelle chaîne de montagnes ayant atteint une hauteur suffisante pour former des pentes rapides sur ses flancs, tous les sédiments qui ont été disloqués par les plis ou les fractures des pieds-droits, tous ces sédiments, augmentés de lambeaux provenant des couches externes de ces mêmes pieds-droits, s'ébranlent et glissent jusqu'à la base, en écrasant et triturant les blocs de faible volume ou de moindre résistance. Telle est, croyons-nous, l'origine tout à la fois de la plupart des « nappes de charriage », dont la présence dans les régions plissées a si vivement attiré l'attention des géologues, et de la masse énorme de matériaux fragmentés qu'on rencontre toujours dans les dépôts constitués immédiatement à la suite d'un mouvement orogénique.

Après la formation d'une ou plusieurs chaînes de montagnes et le déplacement positif de toute la région où se sont produits les mouvements orogéniques, l'équilibre isostatique se rétablit lentement. Plus tard, cet équilibre sera de nouveau rompu, par l'action plus ou moins prolongée de la chaleur et de la pesanteur ; les oscillations en sens contraire se reproduiront alors, accompagnées et suivies des mêmes phénomènes de plissements, de fractures, de failles et de charriage que précédemment.

Loin d'être hypothétiques, les divers mouvements qui viennent d'être esquissés d'une manière très brève sont déduits des observations relevées directement dans l'étude du sol. En effet, les déplacements positifs de l'écorce terrestre ont été mis en évidence, en Amérique d'abord, par James Hall, et, depuis, en Asie et en Europe, par différents géologues. Ces observateurs ont constaté que les régions les plus plissées d'une aire continentale sont précisément celles où se trouve la plus forte épaisseur de sédiments marins. Ces faits établissent,

comme les géologues l'ont reconnu, que les mouvements orogéniques se sont effectués suivant l'axe même d'anciens géosynclinaux. Ils prouvent aussi que le déplacement positif s'est produit suivant la ligne de plus forte sédimentation, parce que, suivant cette ligne, la croûte terrestre a été métamorphosée, reprise et allégée du côté interne, par le magma en fusion, beaucoup plus qu'elle n'a été consolidée, surchargée du côté externe par les sédiments.

D'autre part, l'ensemble des observations concernant la répartition des continents et des mers aux diverses époques géologiques a montré « que les mouvements orogéniques ont été accompagnés de mouvements épirogéniques contemporains, mais de sens contraire » (1). Cette conclusion concorde parfaitement, on le voit, avec la formule exposée plus haut. Si les déplacements positifs et négatifs du sol sont mis en évidence par de nombreux faits, d'autres faits, tout aussi probants, établissent que ces déplacements sont dus à l'action dans le même sens de la chaleur et de la pesanteur. /o

En effet, les éruptions volcaniques, le métamorphisme des terrains archéens, l'ascension du granite dans l'axe des chaînes de montagnes anciennes et récentes, les mouvements mêmes de la croûte terrestre, tout prouve, à nos yeux, qu'il existe en profondeur un magma liquide et de température très élevée, sur lequel repose partout la lithosphère. La chaleur interne du globe s'élève graduellement, on le sait, à mesure qu'on s'éloigne de la surface du sol. Les courbes d'égale température, tracées dans la construction de divers tunnels, du Saint-Gothard notamment, ont montré que ces lignes suivent les irrégularités de la montagne, en les atténuant d'autant plus qu'on s'éloigne davantage de la surface. Cette constatation autorise à penser qu'à une grande profondeur, les courbes isogéothermiques, n'étant plus influencées par les irrégularités de la surface, sont sensiblement concentriques. De telle sorte que les parties de l'écorce qui se trouvent plongées à l'intérieur de la courbe de fusion sont reprises de bas en haut et passent de l'état solide

(1) E. Haug, *Traité de géologie. Les phénomènes géologiques*, I, p. 508, 1907. Paris.

à l'état liquide, alors qu'inversement, la cristallisation s'effectue de haut en bas, au-dessous des régions qui forment les massifs continentaux et sont en dehors de la courbe en question.

Ce mécanisme orogénique explique donc, en même temps, comment se sont produits les grands plissements signalés en bordure des chaînes de montagnes, et pourquoi ils ne se rencontrent que dans ces régions : *ces plis se sont formés parallèlement à l'axe d'anciens géosynclinaux, suivant les lignes qui ont été plongées successivement à l'intérieur de la courbe de fusion, où elles ont eu à supporter à la fois le plus grand poids et la plus grande chaleur.*

Tous ces mouvements tendent, semble-t-il, à donner à la croûte terrestre la forme approximativement tétraédrique sur laquelle plusieurs savants, entre autres Lowthian Green (1), Elie de Beaumont (2), Marcel Bertrand (3), de Lapparent (4), Michel Lévy ont appelé l'attention. Le tétraèdre étant la figure géométrique qui unit le plus faible volume à la plus grande surface, la déformation tétraédroïde ne serait autre chose que la résultante des modifications de l'écorce de la sphère en voie de refroidissement.

Différentes théories ont encore été formulées pour expliquer des phénomènes concernant, soit les éruptions volcaniques, soit les irrégularités de la pesanteur à la surface des continents.

A propos des éruptions volcaniques, on sait que plusieurs savants, Gay-Lussac, Daubrée, Chamberlin, Julien et bien d'autres, ont attribué à l'eau ou à des vapeurs sous pression la cause principale de ces éruptions. Des recherches très longues, entreprises par M. Albert Brun, sur les émanations gazeuses et les roches de nombreux volcans de l'océan Indien, du Pacifique, de l'Atlantique et de la Méditerranée, il résulte

(1) Lowthian Green, *Vestiges of the molten globe*, London, 1873.

(2) Elie de Beaumont, Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe (*Ann. des Sc. nat.*, XVIII, pp. 5 et 284, 1829; XIX, pp. 5 et 174, 1830).

(3) Marcel Bertrand, Déformation tétraédrique de la terre et déplacement du Pôle (*C. R. Ac. Sc.*, CXXX, p. 449, Paris, 1900).

(4) De Lapparent, Sur la symétrie tétraédrique du globe terrestre (*C. R. Ac. Sc.*, CXXX, p. 614, Paris, 1900).

que « tout ce qui a été écrit à l'égard de la vapeur d'eau, au paroxysme, doit être abandonné. La théorie aqueuse est fautive » (1). M. Brun a constaté que l'exhalaison paroxysmale des volcans est anhydre. L'eau n'a donc aucun effet dans l'ascension des laves. La vapeur qu'on remarque dans certaines éruptions provient de l'évaporation des eaux d'infiltration ou de pluie, qui ne peuvent avoir qu'un rôle accessoire et secondaire dans les éruptions volcaniques et par conséquent aucune action dans les tremblements de terre.

En ce qui concerne les variations de la pesanteur à la surface des continents, quelques astronomes, Bouguer, Laplace, se basant sur les observations du pendule, ont pensé que les montagnes sont creuses en dessous. M. Auguste Rateau proposa une hypothèse « étendant l'idée des vides à l'ensemble des terres qui émergent des eaux, tout en admettant, bien entendu, des irrégularités locales (2) ». Selon M. Rateau, « les continents constitueraient ainsi des sortes de cloches, très aplaties, gonflées et soutenues par des gaz, tandis que le fond des océans reposerait directement sur le globe igné ».

A l'appui de cette hypothèse, l'auteur cite les observations du pendule, qui révèlent l'existence d'une zone de faible densité sous les continents. D'autres observations, publiées par M. Defforges (3), font ressortir des anomalies régulièrement liées à la distribution des terres et des mers : augmentation de la pesanteur près des rivages, d'autant plus grande que la pente est plus forte, diminution à l'intérieur des terres. M. Rateau remarque, en outre, que la présence de ces couches de gaz ferait comprendre pourquoi il ne peut y avoir, à l'intérieur des continents, aucun volcan rejetant des laves.

La formule que je présente explique à la fois et d'une manière satisfaisante l'intensité variable de la pesanteur et l'absence de volcans à l'intérieur des continents. En effet,

(1) A. Brun, *Recherches sur l'exhalaison volcanique*, p. 177, Genève, 1911.

(2) A. Rateau, Hypothèse des cloches sous-continentales (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, p. 370, vol. CXVII, Paris, 1893).

(3) Defforges, Sur la distribution de l'intensité de la pesanteur à la surface du globe (*Comptes rendus Acad. des Sciences*, p. 205, vol. CXVII, Paris, 1893).

d'après cette formule, les continents reposent sur le globe igné de même que le fond des océans, mais, sous les régions les plus saillantes des continents, se trouvent les matériaux les plus légers du noyau liquide. Le pendule doit donc accuser une pesanteur croissante lorsqu'on descend les pentes continentales, en se rapprochant de la mer. Cette constatation est même, croyons-nous, une preuve de plus de l'existence, sous l'écorce terrestre, de matériaux fluides en équilibre stable ou superposés par ordre de leur densité.

M. Rateau pense que la croûte terrestre est, dans son ensemble, en équilibre statique, c'est-à-dire que, « si l'on considère des colonnes verticales, de même section, allant de la surface jusqu'à la nappe de niveau inférieure prise dans le globe liquide, la quantité de matière contenue dans chacune de ces colonnes doit être partout la même. La compensation des 4.000 à 6.000 mètres d'eau que contiennent les océans et des 500 à 600 mètres des terres qui émergent au-dessus, exige alors qu'il y ait au-dessous de ces terres *une zone de faible densité* épaisse de 2 à 4 kilomètres, par exemple ». Cette zone de faible densité existe réellement, comme le constatent les observations du pendule, toutefois, au lieu d'être constituée par des gaz sous pression, elle est formée par les nappes les plus légères du noyau fluide. On doit donc admettre, sous les continents, la présence d'une zone plus épaisse, mais de densité moins faible que celle indiquée par M. Rateau.

Quant à l'absence des volcans à l'intérieur des continents, elle s'explique très bien par le fait que la consolidation ou l'épaississement de la lithosphère s'effectue surtout sous les aires continentales, c'est-à-dire sous les régions qui se trouvent à une grande distance en dehors de la courbe de fusion. Il se forme ainsi, au-dessous des parties les plus élevées des continents, une sorte de calotte dont l'épaisseur diminue à mesure que le niveau s'abaisse. La surface de cette calotte se développe constamment, du centre à la circonférence, refoulant de plus en plus les orifices volcaniques dans les régions basses des continents, en bordure des océans.

Enfin, je citerai encore une intéressante étude de M. Loukaschewitsch sur l'origine des continents. Dans ce travail, l'auteur

attribue les oscillations des terres et des mers à diverses causes, mais, avant tout, au mouvement vertical des « prismes terrestres », sous l'influence de surcharges et de décharges « dues principalement, dit-il, à l'activité des eaux transportant sur certains points les matières enlevées ailleurs (1) ». D'après de nombreuses observations, on sait que les mouvements orogéniques se produisent, au contraire, suivant les lignes les plus surchargées des géosynclinaux, c'est-à-dire dans l'axe même des plus grands fonds ou de la plus forte sédimentation. Ces observations démontrent que la surcharge et la décharge de la surface extérieure du globe ne peuvent avoir qu'une action très faible sur les mouvements de l'écorce, et, de plus, que l'activité des agents physiques est beaucoup plus grande sur la face interne que sur la face externe de la croûte.

Les transgressions et régressions marines ont donné lieu également à des interprétations qui ne sont pas justifiées par des faits de constatation directe. D'après de nombreuses observations géologiques, ce sont des phénomènes purement passifs, dépendant des mouvements de l'écorce, de même que les déplacements des lignes de rivage. Dès le début d'un mouvement orogénique, les eaux de la mer envahissent peu à peu l'aire continentale, qui subit un déplacement négatif. En même temps, le niveau des mers ouvertes s'élève sur toute la surface du globe, d'une hauteur correspondant au volume du sol immergé. Pendant la durée des mouvements sous-marins, le niveau des eaux reste stationnaire, puis il s'abaisse lorsque l'aire en voie de surélévation commence à s'exonder. Les déplacements des lignes de rivage, au lieu de provenir exclusivement de mouvements locaux du sol, paraissent donc plutôt attribuables en grande partie à des mouvements négatifs et positifs plus ou moins lointains, ayant déterminé des oscillations générales du niveau de la mer. Dans les cas les plus simples, l'amplitude de ces oscillations est proportionnée au volume des masses immergées ou émergées.

(1) J. Loukaschewitsch, *Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents*, p. 58, Saint-Petersbourg, 1911.

Les grands mouvements orogéniques, toujours accompagnés de changements importants dans la répartition géographique des continents et des mers, modifient profondément la distribution des animaux et des végétaux à la surface du globe. De plus, pendant les mouvements de transgression, ce que la mer gagne en surface, elle le perd en profondeur moyenne. Il en résulte des changements d'altitude, de pression, de température, de climat auxquels sont dus les changements de faune et de flore.

En résumé, la formule que je propose est basée, comme on vient de le voir, non sur des hypothèses, mais sur des observations positives, d'ordre physique, mécanique, géologique et paléontologique. En attendant qu'elle soit précisée ou rectifiée par de nouvelles observations, cette formule explique d'une manière plausible, croyons-nous, les principaux faits établis par les études des sciences naturelles. Les modifications qui se produisent, soit dans l'épaisseur de la croûte terrestre, par métamorphisme ou cristallisation d'anciennes formations remaniées, soit à la surface, par l'adaptation de tous les êtres à de nouvelles conditions d'existence, ces modifications apparaissent comme une sorte de rajeunissement périodique du monde minéral, végétal et animal, intimement lié aux mouvements du sol.