Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 15 (1933)

Artikel: Contribution à la théorie des dérives continentales
Autor: Mercier, André
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-740587

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CONTRIBUTION
A
LA THÉORIE DES DÉRIVES CONTINENTALES

PAR

André MERCIER

Ancien assistant au Laboratoire de Géologie,
Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Genève.

(Avec 9 figures.)

Introduction [1].

Il a paru, durant ces dernières années, un si grand nombre d'articles concernant la formation et les déformations de la croûte terrestre, qu'il nous a semblé utile de mettre un peu d'ordre critique parmi toutes ces opinions souvent contradictoires. C'est là le but de ce travail: chercher quelles sont les explications qui cadrent présentement le mieux avec les faits observés concernant la croûte terrestre.

Lorsqu'on essaie d'expliquer les phénomènes de la croûte terrestre, on se heurte à une difficulté importante qui n'a pas toujours été reconnue ou tout au moins explicitement exprimée et qui, si on la néglige, peut conduire à des fautes grossières de raisonnement. Il est en effet dangereux de vouloir amener à l'échelle des grandeurs planétaires les données numériques que fournissent les expériences de laboratoire. Il ne faut cepen-

[1] Nous remercions vivement MM. les professeurs L.-W. Collet, P. Mercier, J. Weigle, R. Wavre et G. Tiercy pour le profit que nous avons retiré des discussions que nous avons eues avec eux.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ NEUCHATEL

dant pas conclure que toute expérience faite en laboratoire ne puisse être une reproduction en miniature d'un phénomène de dimensions beaucoup plus considérables. Seule une critique approfondie et souvent difficile peut nous permettre de savoir si l'on peut faire le saut nécessaire du laboratoire à la Terre.

Il faut donc avoir constamment présente à l'esprit cette difficulté et se demander, chaque fois que l'on doit introduire les résultats de laboratoire dans l'explication concernant la croûte terrestre, si l'extrapolation est réellement permise. Nous en donnerons plus loin un exemple typique, en parlant de la viscosité du globe.

Le présent travail indique quels sont les faits géologiques et géophysiques qu'il faut expliquer, et quelles sont les explications qu'on en a données. Nous avons fait la critique de ces explications.

Les ponts continentaux que l'on a imaginés ne résistent pas à une critique sévère, tandis qu'une contraction du noyau terrestre et une dérive des continents sont possibles. Le processus général de la formation de la croûte terrestre serait le suivant: La Terre est fluide. Sa surface s'est solidifiée en une croûte superficielle. Elle s'est allongée et a projeté dans l'espace une portion de sa croûte, donnant ainsi naissance à la Lune. La Lune a été formée à partir de matériaux superficiels légers et son départ a laissé un vide formant l'Océan Pacifique actuel. Le reste de la croûte terrestre s'est fissuré et plissé sous l'action soit de la contraction du noyau, soit plutôt de courants du fluide sous-jacent. Les fissures ont déterminé la séparation de sortes de radeaux de matériaux légers (sial) flottant hydrostatiquement dans un magma fluide (sima). La formation des chaînes de montagnes peut être due à deux causes principalement: une contraction du noyau obligeant la croûte à se rider, ou une rencontre de deux continents en dérive, les plissements résultant de la rencontre de ceux-ci.

La contraction ne peut pas être due à un refroidissement, comme le pensait Lord Kelvin, à cause de la grande quantité de chaleur émise par les substances radioactives de la Terre. Il faut en donner un autre mécanisme. La dérive est possible, car la viscosité de la Terre est relativement faible. Cette viscosité

n'a pas de relation avec la rigidité de la Terre, qui semble être de l'ordre de celle de l'acier. Il existe des forces, d'origines luni-solaire et axifuge, appliquées aux continents; elles peuvent favoriser la dérive de ceux-ci, mais sont insuffisantes pour effectuer le travail de construction des chaînes de montagnes. Il est plus plausible de dire que l'énergie cinétique des continents, due à la vitesse qu'ils prennent en étant entraînés par les courants de sima, ou que les forces de frottement naissant de ces courants, soient l'origine de ce travail considérable. La contraction n'explique pas à elle seule l'ensemble des phénomènes concernant la croûte terrestre, notamment pas les jonctions continentales. Les dérives les expliquent, par le fait que les continents peuvent avoir été en contact; ainsi s'expliquent les correspondances tectoniques et paléontologiques que l'on a reconnues. La dérive rend compte aussi de l'histoire des climats et de la variation, observée depuis quelques années, des distances relatives des lieux géographiques. (Ces variations peuvent consister en oscillations, comme il ressort des travaux de Stoyko (52) [1].)

Faits constatés.

I. — La paléontologie a montré qu'il a dû y avoir des jonctions continentales aujourd'hui disparues. Il y a, de part et d'autre des mers, des faunes et des flores semblables qui n'ont pu traverser les nappes d'eau. Wegener montre par quatre graphiques (2) qu'il faut reconnaître quatre jonctions continentales:

1° Australie-Deccan (sauf au Jurassique et au Quaternaire);
2° Afrique-Brésil (sauf au Crétacé et au Quaternaire);
3° Madagascar-Deccan (sauf au Tertiaire et au Quaternaire);
4° Europe-Amérique du Nord (sauf au Cambrien, au Permien, au Jurassique, au Crétacé).

Les territoires de la première jonction représentent le Gondwana oriental, qui a dû se scinder au Jurassique. Ceux de

[1] Voir la bibliographie à la fin de ce mémoire.

la deuxième représentent l'Archhélénis de Suess, soit le Gondwana occidental, qui a dû se scinder au milieu du Crétacé. Ceux de la troisième représentent le Lémurien, qui a dû se scinder entre le Crétacé et le Tertiaire.

Les territoires de la quatrième jonction se sont joints et disjoints d'une façon plus intermittente. L'Europe et l'Amérique du Nord étaient reliées au Silurien, au Dévonien, au Carbonifère, mais pas au Cambrien, au Permien, au Jurassique, ni au Crétacé; tout se passe comme s'il y avait eu, pendant ces dernières périodes, des transgressions marines entres les deux régions. La présence de l'Atlantique signifie qu'au Quaternaire des liaisons ont disparu entre l'Amérique et l'Europe.

D'après Haug (53), il existait au Cambrien une jonction entre l'Europe septentrionale et l'Amérique du Nord, déterminant l'existence de ce qu'il nomme le continent nordatlantique. Ce continent comprend le bouclier canadien, le Groënland, la chaîne huronienne. Au Silurien, ce continent existe toujours. En plus, on reconnaît des jonctions entre le Brésil, l'Afrique, l'Inde, l'Australie. L'ensemble de ces terres forme ce que Haug nomme le continent équatorial. Ces deux continents restent inchangés pendant le Dévonien, ainsi que pendant l'Anthracolithique. On observe, pendant cette dernière période, un minimum d'extension marine, bien que rien ne permette de préciser l'emplacement des grandes fosses océaniques de la fin du Primaire. Avec le Secondaire apparaissent des surfaces continentales encore plus étendues: il existe au Trias un continent nordatlantique et sino-sibérien d'une part, et de l'autre le continent de Gondwana, qui est une extension du continent équatorial et comprend le Brésil, l'Afrique entière, l'Arabie, l'Inde, Madagascar, l'Australie et les Terres du Sud. A cette même époque disparaissent les communications terrestres entre la Méditerranée et les régions boréales, et une partie du continent nordatlantique est envahie par les eaux. Le continent nordatlantique subsiste dans son intégrité au Jurassique, bien que quelques-unes de ses parties soient temporairement immergées. Dès l'Oxfordien, il est séparé du continent sino-sibérien par la formation du géosynclinal ouralien; et la formation du géosynclinal du Mozambique sépare en deux le continent de

Gondwana; il reste ainsi deux jonctions dans les régions équatoriales: les jonctions africo-brésilienne, et australo-indo-malgache. Pendant tout le Jurassique, il existe une communication directe entre la partie sud-américaine du géosynclinal circum-pacifique et le géosynclinal méditerranéen [1]. Au Crétacé, la liaison entre l'Amérique et l'Europe n'est plus aussi complète que précédemment. Il se forme, au Néocrétacé, un golfe entre le bouclier canadien et le Groënland, à la place qu'occupe actuellement la baie de Baffin. Le Sud du continent africo-brésilien (environs du Cap) est touché par l'invasion marine. Mais il persiste toujours une jonction à la hauteur de l'équateur. La portion Est du continent de Gondwana ne subit pas de modification. Il semble qu'il ait existé à cette époque des liaisons réunissant les Iles pacifiques. Haug en déduit l'existence possible d'un continent pacifique ayant persisté au Nummulitique. Durant cette dernière période, il existait en tous cas une liaison africo-brésilienne, mais l'Australie semble individualisée, tandis que Madagascar et l'Inde se raccordent en un archipel indo-malgache. Au Néogène se dessinent les océans arctique, atlantique, indien et pacifique, plus ou moins sous leur forme actuelle; les liaisons jusqu'ici citées font défaut, à l'exception d'une jonction entre l'Amérique du Nord, le Groënland et le Spitzberg, et d'une autre entre l'Arabie et l'Afrique, la Mer Rouge étant encore inexistante.

II. — Les formations géologiques ont une distribution telle que l'on a reconnu des correspondances très marquées entre les côtes Est et Ouest de l'Océan Atlantique. La chaîne calédonienne d'Europe se continue dans la chaîne taconique de l'Amérique du Nord, les Appalaches constituent la suite de la chaîne hercynienne européenne. Les montagnes du Cap sont très analogues à celles des Pampas de l'Argentine, pour ne

[1] Haug admet l'existence d'un géosynclinal bordant le Pacifique, et censé donnant naissance aux plissements d'âge alpin qui se trouvent actuellement sur le contour du Pacifique. Nous pensons que l'idée d'un tel géosynclinal est à rejeter, les plissements en question étant, pour la plupart (Andes, Montagnes Rocheuses), des plissements de fond.

citer que deux faits. Les analogies de ce genre sont visibles à d'autres endroits. On en trouve entre l'Afrique sud-occidentale et Madagascar, Ceylan, l'Inde, l'Australie, les terres du Sud. Ces pays appartiennent au continent hypothétique de Gondwana actuellement démembré. Il existe aussi des correspondances géologiques plus locales de moindre importance, telles que l'analogie de certaines chaînes nord-africaines avec l'Espagne méridionale et Majorque, ou les analogies entre la Corse, l'Ile d'Elbe et les nappes penniques, etc.

III. — Des effets géologiques dûs à la variation du climat accompagnent parfois ces coïncidences. L'histoire des climats devrait pouvoir se rattacher à la géologie par une explication générale, qui tiendrait compte d'étonnants phénomènes tels que la coexistence, à la même époque, de régions tropicales qui nous semblent anormalement froides et d'autres tempérées anormalement chaudes (glaciations et formation de charbon du Permo-carbonifère). L'orogénie superficielle s'est elle-même ressentie de ces variations climatiques et les phénomènes de glyptogénèse encore plus. Notons qu'à l'exception des travaux de Milankovitch (50, 51) on n'a pas encore fourni d'explication astronomique de ces variations du climat, et que cependant ce phénomène a pu être observé dans le cours de l'histoire humaine (Oasis de Kharga, désert de Lybie, etc.).

IV. — Depuis la période glaciaire, la masse de glace accumulée sur l'Europe et sur le Nord de l'Amérique a disparu peu à peu. Il est évident qu'il existe une cause à cette fonte excessive et relativement rapide (10000 ans pour le Postbühl, d'après L.-W. Collet (28)). Quelle que soit cette cause, la fonte des glaces a eu des effets énormes et de première importance. De Geer a montré que la fonte des glaces de l'Inlandsis scandinave a déterminé la surélévation de la Scandinavie, mouvement qui persiste actuellement. Il en est de même pour l'Amérique du Nord. Il calcule qu'il a dû y avoir une épaisseur maximum de 930 m de glace sur la Scandinavie et 1670 m en Amérique. Quelle que soit l'erreur possible de ces données, même si elle était de 50%, ce qui n'est pas le cas, la glace

accumulée à la période glaciaire représentait une masse énorme; et tout semble se passer comme si la disparition de ce poids formidable permettait aux continents libérés de remonter sous l'effet d'une poussée verticale. En tous cas, le mouvement vertical existe et a été mesuré.

V. — D'autres phénomènes qui frappent l'observateur sont les plissements et les cassures. Il est évident que ceux-ci résultent de mouvements superficiels du globe, dont l'ampleur a dû être considérable, ainsi que le suggèrent les données suivantes: si l'on dépliait les nappes formant les Alpes, les sédiments qui les composent occuperaient une largeur beaucoup plus considérable que la largeur actuelle de cette chaîne, largeur comptée des contreforts piémontais aux Préalpes. Heim (17) estime que cette distance serait doublée. Depuis, on a augmenté ce rapport jusqu'à la valeur 8 : 1. Actuellement les Alpes occupent une largeur de 150 km; les nappes, une fois dépliées, occuperaient donc 600 à 1200 km (5 à 10 degrés d'arc). Ces valeurs si imprécises peuvent, à première vue, diminuer le crédit qu'on doit leur accorder. Mais il ne faut pas oublier que ce sont des ordres de grandeur. Cette réduction de largeur constatée pour les Alpes s'est produite pour toutes les chaînes du globe. On estime que la réduction en superficie résultant de ce plissement est de l'ordre de 5 millions de km^2. Cette réduction se répartit sur le cours de l'histoire de la Terre depuis que la croûte s'est solidifiée.

VI. — Si l'on étudie l'orographie des continents, on constate que l'altitude la plus fréquente y est de 100 m au-dessus du niveau de la mer. On constate d'autre part que la profondeur la plus fréquente des océans est de 4700 m. Il semble donc que le premier niveau soit approximativement le niveau normal des continents et le second la profondeur normale des océans.

VII. — L'observation des vitesses de propagation des ondes sismiques révèle l'existence de discontinuités dans la nature de la croûte à mesure que l'on s'enfonce vers l'intérieur du globe. Nous donnons plus loin un tableau indiquant les profon-

deurs de ces niveaux de discontinuité. Ils sont certainement dûs à la superposition de couches différenciées au point de vue minéralogique et chimique.

VIII. — Cette différenciation se révèle aussi par la venue de matériaux en fusion qui font éruption sous diverses formes. Les matériaux continentaux sont formés principalement de silice et d'alumine (sial). Leur densité est environ 2,7. Les matériaux sous-jacents, de densité 3, sont principalement formés de silice et de magnésie (sima). Les fonds marins (en mer profonde), qui sont d'une nature chimique nettement différenciée de celle des continents, appartiennent vraisemblablement à cette seconde catégorie.

IX. — Il est un dernier point qu'il est intéressant de relever. Les mesures de la position géographique que l'on a faites il y a plusieurs années en certains endroits ne coïncident pas avec des mesures faites plus récemment aux mêmes endroits. Il revient au même de dire que la distance entre certains points géographiques ne reste pas constante dans le temps. Par exemple, Madagascar n'est pas restée à la même distance de l'Afrique, depuis quelques années en tous cas. Ce phénomène est difficilement observable et nécessite du temps pour être appréciable. Mais, bien que les données qui le concernent soient peu nombreuses, elles sont nettes. C'est là un problème pour le moins intrigant.

On pourrait augmenter l'énumération des faits constatés dans le comportement et la nature des continents. Nous avons choisi les plus importants et verrons dans la suite comment on a tenté de les rattacher entre eux par un mécanisme approprié.

Hypothèses relatives au comportement de la croûte.

Pour expliquer les correspondances paléontologiques et géologiques observées d'un continent à l'autre, on a supposé l'existence, en des temps reculés, de jonctions continentales,

qu'on a nommées ponts continentaux. Il y a deux critiques à faire à leur sujet: on se représente difficilement qu'ils aient pu apparaître et disparaître successivement, et leur effondrement supposé ne respecte pas le principe d'isostasie.

Pour expliquer les mouvements horizontaux et verticaux de la croûte, dont la réalité est indiscutable, on a imaginé que la Terre se contracte dans son noyau, par suite d'une variation de température ou de tout autre phénomène. Le noyau se contractant, la croûte se ride et des montagnes naissent ainsi, par suite de plissements plus ou moins déversés.

Une autre explication consiste à envisager une dérive des continents, considérant ceux-ci comme des radeaux de sial solide et plus ou moins plastique, flottant hydrostatiquement sur un magma fluide sous-jacent, le sima.

On a supposé encore des glissements de calottes terrestres (40) tout comme si l'on tranchait une calotte de la pelure d'un fruit et la faisait glisser un peu sur la surface coupée. Il se formerait ainsi une montagne et une fosse tout à la fois.

Enfin, sous l'action de forces de gravité, de forces axifuges ou d'autres encore, le matériel continental, réuni à l'origine en une calotte au sud du globe, se serait étalé et répandu sur la terre (49 et 41). Ce matériel aurait, en quelque sorte, émigré des régions Sud vers l'équateur et plus au Nord même, et la partie actuellement arctique des continents aurait franchi l'équateur, soumise ainsi, dans le cours des temps, à des influences climatiques variables. De la sorte, les différentes chaînes formées sur une même région n'auraient pas les mêmes caractères climatiques de sédimentation, ce qui semble être effectivement le cas: du Cambrien au Silurien, par exemple, l'Angleterre traversait la zone tempérée australe; c'est alors qu'aurait eu lieu la disposition de l'Old Red Sandstone. Tandis que, plus tard, au Carbonifère, sa position équatoriale expliquerait les dépôts de charbon.

Précisions d'ordre géophysique.

Pour justifier les explications que nous donnerons de la formation de la croûte terrestre, nous serons amené à admettre

un point fondamental: la Terre est *fluide* dans son ensemble et par conséquent *visqueuse.*

Que la Terre soit fluide, cela est très plausible. Un fluide est un corps dépourvu de rigidité. C'est-à-dire que, quelle que soit l'intensité des forces qui tendent à déformer ce corps, et quel que soit le temps pendant lequel elles agissent, ce corps ne reprend pas, lorsque les forces cessent d'agir, la forme qu'il avait auparavant. Dans ces conditions, on pourrait alléguer que tous les corps sont fluides, car il n'y a pas de corps qu'on ne puisse déformer d'une façon permanente. Cependant il y a des corps suffisamment rigides pour qu'on ne puisse observer de déformations permanentes à la suite de petites déformations imprimées à ces corps.

La Terre n'est évidemment pas rigide à ce point. Elle est surtout trop hétérogène pour être vraiment rigide. L'hétérogénéité du globe, sa température probable et ses dimensions en font un tout qui ne peut pas être rigide.

Tout fluide réel est visqueux; c'est-à-dire que sa déformation fait naître des forces de frottement interne. C'est pourquoi nous disons plus haut qu'en admettant la fluidité du globe, nous admettons sa viscosité.

Fluidité du globe.

Plusieurs auteurs ont cru devoir douter de cette fluidité. Des mathématiciens, entre autres Poincaré, se sont occupés de l'aplatissement du globe et s'étonnaient de calculer des valeurs de cet aplatissement ne coïncidant pas avec les valeurs expérimentales. Ces calculs ne sont évidemment que des approximations et l'on conçoit facilement que les valeurs calculées soient peu exactes si l'approximation est peu poussée. Poincaré notamment était frappé par le désaccord qu'il trouvait entre la valeur calculée par une première approximation et celle des valeurs expérimentales qu'il admettait comme la meilleure. Cela lui faisait penser qu'il faudrait rejeter l'hypothèse qu'il avait faite de la fluidité du globe. R. Wavre (7), en admettant la fluidité du globe, calcule l'aplatissement de la Terre avec une méthode plus exacte qu'on ne l'avait fait auparavant.

Il trouve des valeurs plus proches de l'expérience et donne à l'aplatissement, calculé théoriquement dans l'hypothèse d'une terre fluide, des limites comprenant les données numériques expérimentales proposées par Helmert et par Brown. Wavre conclut: « L'hypothèse de la fluidité du globe terrestre, pris dans son ensemble, est de beaucoup la plus naturelle au point de vue géodésique ».

Ce résultat est important. Depuis longtemps, on s'étonnait de ces divergences flagrantes entre la théorie et l'expérience. La conclusion que l'hypothèse de la fluidité du globe amène à des valeurs théoriques compatibles avec les mesures expérimentales de l'aplatissement confirme beaucoup la validité des remarques qui suivront. Dorénavant, nous considérerons la Terre comme fluide. Ceci admis, voyons alors à nous représenter l'état de cette Terre fluide.

Viscosité du globe.

Certains auteurs prétendent que le coefficient de rigidité calculé pour le sima étant plus grand que celui de l'acier, ce magma ne devrait pas se plier aux mouvements qu'on lui attribue.

Dans une note très intéressante (33) intitulée: « Viscosité du fluide terrestre dans un modèle réduit », Dive remarque qu'il est très fâcheux que de nombreux auteurs aient confondu la rigidité du globe, qui semble être de l'ordre de celle de l'acier, avec sa viscosité. Le coefficient de rigidité se définit comme suit: c'est le facteur de proportionnalité entre l'effort tangentiel qui tend à faire glisser deux surfaces l'une sur l'autre et le déplacement relatif des deux surfaces; tandis que le coefficient de viscosité est un facteur de proportionnalité entre cet effort tangentiel et la vitesse relative des deux surfaces qui glissent l'une sur l'autre. On pourrait dire que la rigidité concerne la déformation des corps, tandis que la viscosité concerne la vitesse de ces déformations. Les coefficients de rigidité et de viscosité sont absolument indépendants l'un de l'autre.

Donnons à titre d'exemple la valeur de certains coefficients de viscosité à la température ordinaire. Soit η ce coefficient,

exprimé en $\frac{\text{dynes-sec.}}{\text{cm}^2}$. Pour l'eau, $\eta = 0{,}01$. Pour l'huile, $\eta = 1{,}0$. Pour la glycérine, $\eta = 15$. Pour la poix, $\eta = 10^{10}$. Pour le verre, $\eta = 10^{18}$.

On a longtemps mis en doute la viscosité possible de la Terre, parce qu'on la confond avec la rigidité. La Terre peut fort bien se comporter comme un bloc rigide; elle l'est probablement dans de certaines limites; la vitesse de propagation des ondes sismiques le prouve (plus les matériaux sont rigides, plus les vitesses de propagation des ondes sont grandes). La cire à cacheter est très rigide quoique visqueuse: si l'on soumet un bâton de cire à cacheter à l'action d'une force grande et soudaine, il se *brise* à cause de sa *rigidité;* par contre, si on le soumet, même à la température ordinaire, à l'action d'une force faible mais persistante, le bâton se *déforme* de par sa *viscosité.* Dive suggère un exemple frappant illustrant la différence qu'il y a entre la viscosité et la rigidité: on a employé pendant la guerre des soubassements de poix pour les canons; lors du départ de l'obus, le canon ne bouge pas, la poix résistant par sa rigidité, parce que la force appliquée est instantanée; mais d'une poussée temporaire de la main, on oriente le canon dans une direction donnée, parce que la viscosité de la poix permet à celle-ci de se plier à des déformations lentes.

Nous sommes obligé ici de faire une remarque sur la théorie des modèles. En effet, pour nous donner une idée de la viscosité de la Terre, il serait commode d'en faire un modèle de dimensions réduites et d'observer comment se comporte ce modèle à nos yeux. Les dimensions de la Terre sont si considérables que nous ne pouvons nous représenter autrement les mouvements de son écorce. Lorsqu'on construit un modèle d'un ensemble de corps solides et fluides en mouvement les uns par rapport aux autres, on ne peut sans autre n'en réduire que les dimensions; Reynolds a montré qu'il doit y avoir une certaine relation entre les dimensions, les vitesses, les densités et les viscosités: Il faut que le rapport du produit des unités de dimension, de vitesse et de densité divisé par le coefficient de viscosité soit le même pour le modèle et pour l'original. Cette théorie trouve son application principalement dans la construction des modèles de

navires. Dans le cas qui nous occupe, nous désirons nous représenter une terre de dimensions réduites, par exemple de 1,27 m de diamètre, soit un diamètre 10^7 fois plus petit que le diamètre du globe réel. Mais nous imposerons au modèle la condition suivante: la densité doit être répartie exactement de la même façon dans les deux globes, valant environ 10 au centre et environ 3 à la surface, et avoir exactement la même valeur en des points correspondants sur le petit et sur le grand globe. Nous disposons donc ainsi d'un modèle de dimensions réduites mais présentant la même répartition de densités; si l'on diminue dans la même proportion que les dimensions les vitesses du fluide terrestre et des continents qui pourraient dériver, il s'en suit que la viscosité doit être diminuée dans un rapport égal au carré du rapport des dimensions. Pour le modèle supposé de 1,27 m de diamètre, la viscosité doit donc être réduite à une valeur 10^{14} fois plus petite afin que ce modèle représente à tout instant la même distribution de vitesses que le globe réel. Si le fluide terrestre a la viscosité du verre, par exemple, le modèle aurait une viscosité de 10^4, c'est-à-dire une viscosité beaucoup plus petite que celle de la poix. Si la viscosité de la Terre est plus faible, par exemple de l'ordre de grandeur de celle de la poix, la viscosité du modèle devrait être 10^{-4}, soit une viscosité plus petite que celle de l'eau. Notre modèle est conçu de telle manière que les vitesses soient 10^7 fois plus petites que celles du vrai globe, ce qui revient à dire que les mouvements sont dix millions de fois plus lents. Or, dans notre modèle réduit, des continents de 30 km d'épaisseur sur le globe réel seraient représentés par des pellicules de 3 mm d'épaisseur, qui flotteraient dans un fluide relativement peu visqueux. Il est donc parfaitement admissible que des continents dérivent dans le sima qui les soutient.

Rappelons qu'un fluide est soumis aux lois de l'hydrostatique, et qu'alors, la Terre étant suffisamment peu visqueuse, on ne fait pas de proposition extravagante en y faisant flotter des continents, rigides au besoin, d'une épaisseur beaucoup plus faible (environ 200 fois plus faible) que le rayon terrestre et dont la surface supérieure totale peut représenter même la moitié de la surface du globe.

Etant admis qu'à un moment donné la Terre fut constituée

par un magma fluide plus ou moins visqueux, recouvert par une couche en train de se solidifier, plusieurs phénomènes peuvent se passer, à savoir, principalement, une contraction, un déchirement de la croûte (pouvant aller jusqu'à la séparation d'une portion se détachant de la Terre), et des glissements de cette croûte sur son substratum encore fluide.

Contraction.

Lord Kelvin avait étudié la contraction de la Terre. Il s'agissait d'une contraction de l'ensemble de la Terre, spécialement de son noyau. Partant des données numériques dont il disposait concernant la conductibilité, les dilatations et le gradient de la température du globe, il avait trouvé qu'en un million d'années le rayon de celui-ci diminuerait de 40 m, c'est-à-dire une diminution de 6400 km² environ de la surface terrestre. Or, la surface totale actuelle de la Terre est de $4 . \pi . 6400^2$ km². La diminution en question serait donc une diminution de 1/80 000 environ de la surface actuelle. C'était vraisemblable. Mais le calcul de Lord Kelvin est fondé sur l'hypothèse d'une diminution de température de la Terre. Or on sait actuellement que les corps radioactifs émettent assez de chaleur pour compenser le refroidissement envisagé par Lord Kelvin, ce qui élimine une explication très tentante du plissement de l'écorce terrestre. Cela ne veut pas dire que l'idée d'une contraction quelconque soit à rejeter. La contraction par suite de refroidissement est impossible. Mais il se peut fort bien que, à la suite de combinaisons chimiques, qui se font dans le temps à l'intérieur de la Terre, ou de rétablissements d'équilibre entre les matières fluides du noyau, ou de mouvements dûs à des causes quelconques, ou de digestions de portions minérales par le matériel ambiant, ou de tout autre phénomène, la Terre se soit contractée et se contracte encore. A notre connaissance, on n'a pas pensé à faire intervenir ces possibilités. Cependant, sans les rejeter, nous n'envisagerons pas leurs conséquences.

Il y a du reste plusieurs raisons de rejeter l'idée d'une contraction au sens où l'entendait Lord Kelvin. Taylor (3) admet que la contraction est impossible. Van Waterschoot (3) remarque

qu'il aurait fallu, pendant le Tertiaire seulement, une diminution de 190 m du rayon terrestre. Quiring prétend que le noyau du globe ne doit pas se contracter plus que la croûte. Poole (4) est contre l'idée d'un refroidissement produisant une contraction suffisante car, en plus de la radioactivité, la pression tend à maintenir la température des roches à une valeur constante, ce qui suggérerait la possibilité d'une surfusion.

Il est à noter que ce n'est pas la contraction de la croûte qu'il nous faudrait prouver ou réfuter, ce qui nous importe peu, mais celle du noyau. Et les auteurs ne le mettent généralement pas en évidence, quoique sous-entendant la chose en général.

La croûte terrestre s'est plissée. On peut se demander quelle est l'ampleur de ce plissement. Voyons spécialement quelle est la réduction actuelle des plissements du type alpin. Jeffreys admet une réduction en superficie de 1,7 millions de km². Mais en vertu de phénomènes dont on n'avait pas tenu compte (par exemple des chevauchements importants à Sumatra, des plissements reconnus plus intenses dans les Alpes et dans les Montagnes Rocheuses) il faut considérablement augmenter cette valeur. Admettant avec Holmes le chiffre de 200 millions d'années pour la durée des formations alpines (cette estimation étant plutôt trop grande), la réduction de la surface terrestre par contraction du noyau, suivant Kelvin, pendant cette période, serait de 1,25 millions de km². Or la longueur totale des chaînes alpines qui bordent la Laurasie et les restes de Gondwana est environ 70 000 km. Si le rétrécissement des terrains lors de la formation de ces chaînes n'était que de 50 km en moyenne, la réduction de la surface vaudrait 3,5 millions de km². La réduction moyenne due à la contraction étant de 1,25 millions de km², se trouve être environ 3 fois plus petite. Le rétrécissement est, comme nous l'avons indiqué, probablement plus grand que 50 km, et Holmes en conclut que la contraction, si elle existait comme l'entend Lord Kelvin, est incapable d'avoir formé les plissements du type alpin à elle seule, cela d'autant plus que le taux de la réduction de la surface doit être grand au commencement du refroidissement et doit diminuer considérablement dans le temps, et que les plissements alpins sont les derniers qui aient apparu.

Holmes met en évidence le fait que la chaleur provenant du noyau fluide apportée aux continents se propage dans le noyau par convection. Cela signifie qu'il doit y avoir des *courants* de convection dans le sima, courants que nous appellerons intra-telluriques, et qui peuvent expliquer l'existence de la dérive des continents.

On sait que dans les limites de nos moyens, la radioactivité est invariable. Pour que les réserves actuelles de substances radioactives disparaissent, il faudrait plus de 10^{10} années, qui, ajoutées aux années qui les ont précédées, représentent une période immense. « La conductibilité des roches sialiques, ainsi que le dit van Waterschoot (3), est de 0,004 calories par cm^2 par seconde, par gradient unité de 1^0 C/cm. Le basalte possède à peu près la même conductibilité. Donc, avec un gradient de 3,5° pour 100 m, une colonne en granite de 20 milles anglais de hauteur et de 1 cm^2 de section transmettrait à la surface $2{,}45 \cdot 10^{-6}$ calories par seconde. La quantité moyenne d'énergie mise en liberté dans la colonne elle-même (d'après les données de Rayleigh) se monte à $2{,}48 \cdot 10^{-6}$. Par conséquent, l'émission de chaleur au travers d'une colonne de 31 km compenserait à peu près la quantité de chaleur émise par la même colonne; donc (toujours en se basant sur les données de Rayleigh) une croûte de sial de 31 km ne laisse pas s'échapper à la surface la chaleur mise en liberté dans le sima sous-jacent. Si l'épaisseur de la croûte est plus grande que 31 km, toute la chaleur mise en liberté par l'épaisseur en excès ne peut que s'accumuler vers le bas.

Par conséquent, la chaleur mise en liberté dans le sima sous les continents s'accumule, ne pouvant aller nulle part.

On voit que toute la chaleur nécessaire à conserver le sima en état de fusion ou au besoin à l'y amener est à notre disposition. Et nous sommes loin de l'état de refroidissement que Kelvin avait cru démontrer.

Formation de la Lune et de l'Océan Pacifique.

Après les arguments qui viennent d'être avancés, on peut admettre que les continents ne se sont pas nécessairement

formés en relief par un bombement de l'écorce dû à la contraction, mais que les mers se sont formées entre les continents restés comme épaves à la suite d'une fracture de la croûte et, au besoin, du départ dans l'espace d'une portion de cette croûte. Nous entendons par là que la Lune aurait été formée aux dépens de la Terre, laissant un creux que nous nommons Océan Pacifique sous sa forme actuelle. Cette hypothèse est due à G. H. Darwin. D'après une seconde hypothèse due à Snider (31), le restant de la croûte se serait disloqué, donnant ainsi naissance à ces épaves flottantes, les continents. L'exposé de la théorie de la formation de la Lune à partir de la Terre n'a pas sa place ici. Nous renvoyons le lecteur à l'exposé de Jeffreys (6). Nous indiquons brièvement comment cette formation se serait faite: la Terre, faiblement distordue, a pris, sous l'action répétée des marées semi-diurnes solaires, une forme allongée perpendiculairement à son axe de rotation. Son noyau, dense, serait resté concentré à l'intérieur. Mais la couche extérieure, fortement allongée, devenue instable, se serait scindée en deux parties, l'une formant le globe actuel; l'autre, composée uniquement de matériaux superficiels légers, serait la Lune. Ainsi serait née cette dernière, projetée dans l'espace. Cette suppression de matériaux superficiels aurait laissé sur la Terre une large cicatrice, que nous nommons Océan Pacifique, sous sa forme actuelle.

Cette hypothèse de la formation de la Lune est très audacieuse. Elle nécessite malheureusement trop de suppositions pour satisfaire une logique mathématique rigoureuse. En tous cas, cette formation ne peut avoir eu lieu que dans des temps extrêmement reculés, antérieurs à toute époque géologique. Il est impossible qu'elle ait eu lieu depuis l'ère primaire, et l'idée de certains géologues la plaçant à une époque récente est insoutenable. La Lune n'a pu se détacher de la Terre que si celle-ci était encore très fluide, et la rupture causée par son départ aurait été vraisemblablement suivie d'un brassage très complet du fluide terrestre. Enfin, la probabilité pour que les circonstances nécessaires à la formation telle que nous venons de la décrire soient réalisées est extrêmement faible.

Il est tout aussi plausible de supposer un amassement général de la croûte qui se formait lors du refroidissement superficiel

du globe, et qu'à partir de ce grand radeau se soient produits, soit un épanchement (Fliesstheorie de Gutenberg (49)), soit une dérive de continents comme le proposait Snider dès 1858.

Que la Lune ait été projetée dans l'espace par la Terre ou non, cette dernière a repris ou gardé la forme d'un globe plus ou moins sphérique ayant à peu près la forme actuelle, mis à part le fait que l'écorce aurait une configuration différente. C'est comme si, d'une orange, on avait ôté une portion de pelure, produisant ainsi une cuvette pacifique en miniature. Le reste de la pelure, écorce durcie et flottant sur un magma fluide sous-jacent, pouvait se fissurer et des épaves pouvaient se mettre en mouvement de dérive.

Une dérive des continents nécessite des forces de translation. C'est sur ce sujet que nous allons nous arrêter.

Forces de translation.

Une question essentielle soulevée déjà par Chamberlin et Schuchert (3), est de savoir en raison de quel moteur les continents se meuvent.

On a beaucoup parlé d'une force qui tendrait à rapprocher un continent de l'équateur. Wavre (29) et Berner (30) en ont donné la grandeur; ils la trouvent égale à 1/750 000 du poids du continent. De nombreux auteurs se sont occupés de cette force (Schiaparelli, Schweydar, Epstein, Lambert, Köppen). Leurs travaux reviennent à dire que l'intensité en est très faible, étant donné le travail qu'elle devrait fournir pour effectuer ce qu'on lui a attribué quelquefois. Berner a donné l'ordre de grandeur d'une force d'origine luni-solaire. Elle est 50 000 fois plus petite que la précédente. De telles forces sont très faibles. Peut-être y en a-t-il d'autres encore non démasquées, mais dont l'intensité est probablement très faible aussi, puisqu'elles sont encore inconnues. L'ensemble de toutes ces forces ne peut servir à vaincre la viscosité du magma sous-jacent et de plus à produire les chevauchements et les plissements énormes que l'on constate dans la nature.

Dive (32) a démontré, dans l'hypothèse d'un fluide parfait, la possibilité de l'existence de mouvements internes de ce fluide,

les couches les plus internes ayant une vitesse de rotation plus grande que les couches externes. Il pourrait en être de même pour un fluide réel, les mouvements étant alors amortis par les frottements. Le magma peut entraîner dans son mouvement les continents qui flottent sur lui, et ceux-ci, en vertu de l'énergie cinétique qu'ils possèdent alors, peuvent fournir le travail qui a construit les montagnes. Dive a relevé l'importance et l'influence d'un faible courant vers l'Est à une profondeur atteignant la base des socles continentaux. Comme le relève à ce sujet Wavre (7): « La viscosité (du magma sous-jacent) est évidemment la plus grande inconnue du problème. Les questions qui s'y rattachent sont fort complexes et l'on est mal renseigné... Un raisonnement de Helmholtz permet de dire: Les effets de la viscosité seront d'autant plus lents à se manifester que les dimensions du fluide seront considérables ». Or si nous nous rappelons le raisonnement tenu au sujet du modèle réduit de la Terre, celle-ci paraîtrait à un démon gigantesque pouvant la tenir entre ses doigts comme nous paraîtrait, à nous, une sphère très peu visqueuse.

Il semble donc bien que l'hypothèse d'un flottage de continents soit possible. Aussi l'admettrons-nous comme une réalité dorénavant. En plus, comme conclut Taylor dans ses considérations sur les forces de translation et leur réalité dans le temps (3), non seulement les Continents ont dérivé, mais ils dérivent encore (52).

Wegener (2) prétend qu'un coup d'œil sur la carte du monde suffit à faire voir un mouvement vers l'Ouest. C'est très discutable. Mais cela suggère qu'il peut y avoir une orientation générale des forces de translation. Il doit en être ainsi momentanément, si l'on considère les plissements comme résultant des mouvements des masses contientales, et cela est très plausible. La dérive, la rencontre des continents, le plissement, les tremblements de terre, les phénomènes volcaniques, les transgressions et régressions et les déplacements possibles des pôles sont intimément liés entre eux, à l'origine. Leur développement commun, dans des périodes déterminées de l'histoire de la Terre, le montre. L'avenir révélera ce qui est la cause et ce qui est l'effet. *(à suivre)*