

ALFRED WEGENER

LA GENÈSE DES CONTINENTS ET DES OCÉANS

THÉORIE DES TRANSLATIONS CONTINENTALES



TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR ARMAND LERNER

PARIS
LIBRAIRIE NIZET ET BASTARD
1937

Janv. 1939.

R. Scribner

**LA GENÈSE DES CONTINENTS
ET DES OCÉANS**

ALFRED WEGENER

LA GENÈSE DES CONTINENTS ET DES OCÉANS

THÉORIE DES TRANSLATIONS CONTINENTALES

NOUVELLE TRADUCTION FRANÇAISE
D'APRÈS LA CINQUIÈME ET DERNIÈRE ÉDITION ALLEMANDE
PAR
ARMAND LERNER

63 figures dans le texte.

PARIS
LIBRAIRIE NIZET ET BASTARD
3bis, Place de la Sorbonne, 3bis
1937

ALFRED WEGENER

LA GÉNÈSE DES CONTINENTS ET DES OcéANS

THEORY OF THE ORIGIN OF CONTINENTS

THEORY OF THE ORIGIN OF CONTINENTS
AND OCEANS

THEORY OF THE ORIGIN OF CONTINENTS

LIBRAIRIE FISCHER ET BASTARD
10, rue de Valenciennes, Lille

ALFRED WEGENER.

ALFRED WEGENER est né à Berlin, le 1^{er} novembre 1880, comme fils cadet du D^r RICHARD WEGENER, prédicateur évangélique, et de sa femme, ANNA, née SCHWARZ. Il fit ses études au lycée de Cologne à Berlin et aux Universités de Heidelberg, Innsbruck et Berlin. Au terme de ses études, il fut nommé astronome à l'« Urania » de Berlin qu'il quitta bientôt pour rejoindre son frère KURT en qualité de second aide technique à l'Observatoire astronomique de Tegel en Prusse. Les deux frères détinrent à l'époque le record mondial de la durée du vol en ballon (52 h 1/2) sur le parcours Berlin-Jutland-Kattegat-Spessart, voyage utilisé pour étudier l'exactitude du collimateur de site, à bord des aéronefs.

En 1906, A. WEGENER partit sur la côte Nord-Est du Groenland avec une expédition nationale danoise qui y séjourna deux ans. C'est à cette occasion qu'il se familiarisa avec la technique des voyages polaires. Les observations publiées par A. Wegener se rapportent principalement à des questions météorologiques. A son retour il passa son examen de docent à l'Université de Marburg, avec comme spécialités l'Astronomie et la Météorologie. Son enseignement fit l'objet des matières contenues dans son Cours, actuellement épuisé, sur la Thermodynamique de l'atmosphère. Ce livre devait être remplacé dans l'intention de l'auteur par celui qui parut en 1935 sous la signature d'ALFRED et KURT WEGENER et ayant pour titre « Vorlesungen über Physik der Atmosphäre ».

En 1912, il entreprit avec J. P. KOCH sa deuxième expédition au Groenland dont le but était le séjour pendant l'hiver au bord oriental de l'inlandsis, ainsi que la traversée du Groenland dans sa partie la plus large. Un vélage extraordinaire, qui eut pour conséquence la débauche des glaces jusqu'au camp, fit presque échouer l'expédition pendant la montée du courant de l'inlandsis. La traversée dura deux mois faisant suite à l'hivernage de 1913 et ce n'est qu'avec beaucoup de peine que l'expédition put atteindre la côte occidentale.

Blessé à deux reprises pendant la grande guerre, il fut affecté au service météorologique des armées. Il fit paraître en 1915 la première édition de son livre « Die Entstehung der Kontinente und Ozeane », où il s'efforçait de faire renouer les liens entre la Géophy-

sique d'une part et la Géographie et la Géologie de l'autre, liens interrompus par la spécialisation de ces différentes branches. Des éditions successives de ce livre furent publiées en 1920, 1922 et 1929. Chacune de ces éditions représente une refonte complète des précédentes par la réunion de documents provenant des critiques, au début opposées, puis favorables aux théories émises. La 3^e édition allemande a été traduite en français par M. F. REICHEL (« La Genèse des Continents et des Océans » Paris, 1925, 163 p. in-8). Cette même édition a été traduite la même année en anglais par J. G. A. SKERL (« The Origin of Continents and Oceans », with a preface by M. JOHN W. EVANS, C.B.E., F.R.S., President of the British Geological Society). En 1924 et 1925 parurent une traduction espagnole par VICENTE INGLADA ORS (« La Génesis de los Continentes y Océanos »), et une traduction russe par MARIH MIRTZINK et G. F. MIRTZINKA. L'ouvrage trouva un complément dans le livre publié en 1924 en collaboration avec W. KÖPPEN et intitulé « Die Klimate der geologischen Vorzeit ».

Après la guerre A. WEGENER fut nommé, ainsi que son frère KURT, chef de section à l'Observatoire maritime de Hambourg et simultanément Professeur extraordinaire de Météorologie à l'Université de Hambourg nouvellement créée. En 1924, A. WEGENER accepta la charge de Professeur ordinaire de Météorologie et Géophysique à l'Université de Graz.

Il avait projeté une nouvelle expédition au Groenland pour 1928 avec J. P. KOCH. La mort de ce dernier fit qu'il organisa une expédition purement allemande. Il trouva un appui chaleureux de la part de la « Deutsche Forschungsgemeinschaft » et fit, pour commencer, un voyage d'été au cours duquel il examina les conditions les plus favorables pour l'ascension de l'inlandsis, le point de départ étant la côte occidentale. L'expédition principale commença en 1930. Un des résultats les plus importants de cette expédition consiste dans la constatation que l'inlandsis groenlandais atteint plus de 1.800 m d'épaisseur.

C'est là qu'il trouva la mort en novembre 1930 sur l'inlandsis.

A. WEGENER était arrivé dès 1928 à la conclusion qu'une nouvelle refonte de son livre pourrait échouer du fait que la littérature concernant le problème des translations continentales est trop vaste et trop spécialisée pour être revue par une seule personne et son désir était de faire paraître de nouvelles éditions identiques à la dernière, dans le cas où le besoin s'en ferait sentir.

KURT WEGENER.

PRÉFACE.

Pour dévoiler les états antérieurs du globe, toutes les sciences s'occupant des problèmes de la terre doivent être mises à contribution et ce n'est que par la réunion de tous les indices fournis par elles que l'on peut obtenir la vérité; mais, cette idée ne paraît toujours pas être suffisamment répandue parmi les chercheurs.

Ainsi, le géologue sud-africain bien connu DU TOIT [78], écrit récemment : « Toutefois, comme nous l'avons déjà fait remarquer, c'est à la *Géologie* qu'incombe *presque exclusivement* la tâche de décider de la probabilité de cette hypothèse (des translations continentales), car les arguments basés sur la répartition des animaux y sont impropres, puisqu'ils peuvent s'expliquer en général, quoiqu'un peu moins parfaitement, à l'aide de la conception orthodoxe qui admet des anciennes larges liaisons continentales, actuellement submergées par les océans ».

Par contre, le paléontologue VON IHERING [122] est catégorique et concis : « Ce n'est pas ma tâche de m'occuper de phénomènes géophysiques ». Il est arrivé à la « conviction que ce n'est que l'*évolution de la vie terrestre* qui permet de saisir les transformations géographiques de jadis ».

Moi aussi, dans un moment de faiblesse, j'avais écrit à propos de la théorie des translations [121] : « Pourtant, je crois que la décision définitive quant à sa validité ne pourra être donnée que par la *Géophysique*, seule science disposant de méthodes exactes en nombre suffisant. Si cette science arrivait à la conclusion que la théorie des translations est fautive, toutes les sciences relatives au globe devraient y renoncer, malgré toutes les confirmations, et on devrait chercher une autre explication de ces données ».

On pourrait citer un grand nombre d'opinions semblables d'après lesquelles chaque chercheur tient sa propre spécialité pour être la plus compétente ou la seule compétente.

Mais, en fait, il est évident que les choses se passent tout autrement. Ce qui est certain, c'est qu'à une époque donnée la terre ne peut avoir eu qu'une face sur laquelle elle ne nous fournit pas de renseignements directs. Nous sommes devant la terre comme un juge devant un accusé refusant toute réponse, et nous avons la tâche de découvrir la vérité à l'aide de *présomptions*. Toutes les preuves que

nous pouvons fournir présentent le caractère trompeur des présomptions. Quel accueil réserverions-nous au juge qui arriverait à sa conclusion en utilisant seulement une partie des indices à sa disposition?

Ce n'est qu'en réunissant les données de *toutes* les sciences qui se rapportent à l'étude du globe que nous pourrions espérer obtenir la « vérité », c'est-à-dire l'image qui systématise de la meilleure façon la totalité des faits connus et qui peut, par conséquent, prétendre être la plus probable. Et, même dans ce cas, nous devons nous attendre à ce qu'elle soit modifiée, à tout moment, par toute nouvelle découverte, quelle que soit la science qui l'ait permise.

C'est cette conviction qui m'a servi de stimulant toutes les fois que mon courage paraissait faiblir pendant la refonte de ce livre. En effet, l'étude de la littérature concernant la théorie des translations qui augmente sans cesse, dans toutes les sciences, dépasse la capacité de travail d'une seule personne; aussi constatera-t-on, malgré la peine qu'on s'est donné de les éviter, de nombreuses et sensibles lacunes dans notre exposé. Si, malgré tout, je suis arrivé à lui donner l'ampleur qu'il atteint, je le dois uniquement aux envois extraordinairement nombreux, provenant d'auteurs de tous les domaines, que je tiens à remercier ici.

Ce livre s'adresse au même degré aux géodèses, géophysiciens, géologues, paléontologues, zoogéographes, phytogéographes et paléoclimatologues. Son but n'est pas uniquement de donner aux chercheurs travaillant dans tous ces domaines un exposé schématique de l'importance et des possibilités de la théorie des translations dans leur propre science, mais avant tout de les orienter dans les applications et confirmations qu'elle a obtenu dans les autres domaines.

Le lecteur trouvera dans le 1^{er} Chapitre tout ce qu'il faut savoir sur l'historique de ce livre qui est en même temps l'historique de la théorie des translations.

Ce n'est que pendant la correction des épreuves que parut la démonstration, à l'aide des mesures de longitudes effectuées en 1927, de la dérive actuelle de l'Amérique du Nord. Le lecteur la trouvera à la fin du volume.

ALFRED WEGENER.

Graz, novembre 1928.

PREMIER CHAPITRE.

REMARQUES PRÉLIMINAIRES HISTORIQUES.

L'historique de la genèse de ce livre n'est pas dépourvu de tout intérêt. La première idée des translations continentales me vint à l'esprit dès 1910. En considérant la carte du globe, je fus subitement frappé de la concordance des côtes de l'Atlantique, mais je ne m'y arrêtai point tout d'abord, parce que j'estimai de pareilles translations invraisemblables. En automne 1911, j'eus connaissance par hasard, en lisant une collection de rapports scientifiques, de conclusions paléontologiques, inconnues jusqu'alors pour moi, admettant l'existence d'une ancienne liaison terrestre entre le Brésil et l'Afrique. Cela m'engagea à faire un examen préalable et sommaire des résultats connexes au problème des translations, tant en Géologie qu'en Paléontologie. J'obtins tout de suite des confirmations assez importantes pour commencer à être convaincu de l'exactitude systématique de la théorie. Je présentai pour la première fois l'idée des translations dans une conférence faite le 6 janvier 1912 à la Société de Géologie de Francfort-sur-le-Main et ayant comme sujet : « La formation des accidents principaux de la croûte terrestre (continents et océans) et ses fondements géophysiques ». Cette conférence fut suivie par une seconde, faite le 10 janvier à la Société pour l'Avancement des Sciences Naturelles de Marbourg, sur « Les translations horizontales des continents ». La même année parurent aussi mes deux premières publications [1, 2] (*). Par la suite, je fus empêché d'approfondir la théorie en raison de ma participation à la traversée du Groenland sous la direction de J. P. KOCH (1912-1913), ainsi que par ma mobilisation pendant la guerre. Je pus cependant utiliser un assez long congé de maladie en 1915 pour donner un exposé un peu plus détaillé, sous le même titre que le présent livre, dans la Collection Vieweg [3]. Lorsqu'à la fin de la guerre, en 1920, une deuxième édition devint nécessaire, l'éditeur eut l'obligeance de consentir à transférer l'ouvrage dans la Collection « Die Wissen-

*) Les numéros entre crochets se rapportent à la bibliographie de la fin du volume.

schaft ». De cette façon une revision très approfondie de l'ouvrage devint possible. La 3^e édition parut dès 1922; elle apportait des améliorations substantielles. Cette édition fut tirée à un nombre exceptionnellement grand d'exemplaires pour me donner la possibilité de consacrer plusieurs années à d'autres problèmes. Elle est aussi complètement épuisée depuis quelque temps et a donné lieu à une série de traductions, notamment à deux traductions russes et à des traductions en anglais, français et suédois. Pour la dernière, parue en 1926, j'avais déjà fait subir quelques modifications par rapport au texte allemand.

L'édition actuelle, la 4^e du texte allemand — et la deuxième édition française — est de nouveau considérablement transformée. Elle est même près de prendre un caractère différent de celui des éditions précédentes. Il est vrai qu'au moment de la rédaction de la 3^e édition, une littérature abondante avait déjà paru sur la question des translations continentales, littérature qui devait être prise en considération. Mais, cette littérature se bornait surtout soit à exprimer l'acceptation ou le rejet de la théorie, soit à rapporter des observations isolées qui devaient appuyer — ou semblaient devoir étayer — la démonstration de l'exactitude ou de la fausseté de la théorie. Depuis 1922, la discussion de cette question n'a pas fait que se développer énormément dans les différentes branches de la science, elle a aussi changé un peu de son caractère, par le fait que la théorie est de plus en plus utilisée comme base de recherches plus étendues. A ceci s'ajoute la récente démonstration rigoureuse de la dérive actuelle du Groenland, démonstration par laquelle la discussion de la question se pose dorénavant, pour beaucoup d'hommes de science, sur une tout autre base. Il en résulte que, tandis que les éditions précédentes constituaient surtout un exposé de la théorie, ainsi que du faisceau de faits qui prouvent son exactitude, l'édition actuelle se présente comme une forme transitoire vers un rapport d'ensemble sur cette nouvelle direction de recherches.

Dès mes premières études sur la question et à plusieurs reprises pendant le développement ultérieur de mes recherches, j'ai trouvé des points de rencontre entre mes idées et celles d'auteurs plus anciens. Déjà en 1857, GREEN [63] parle de « portions de la croûte terrestre naviguant sur le noyau fluide ». Plusieurs auteurs anciens comme LÖFFELHOLZ VON COLBERG [4], KREICHGAUER [5], EVANS et d'autres, admettent déjà une rotation d'ensemble de la croûte terrestre, sans qu'il y ait modification des positions relatives des parties constituantes. H. WETTSTEIN [6] a écrit un livre où apparaissent, à côté de nombreuses absurdités, des indications sur de grands mouvements relatifs horizontaux des continents. Mais, d'après lui, les continents, dont en tout cas il n'examine pas la plate-forme, ne subiraient pas seulement des translations, mais aussi des déformations; ils se déplacent tous vers l'Ouest, entraînés par l'attraction solaire agissant sur les

corps visqueux à la surface de la terre (idée admise aussi par E. H. L. SCHWARZ [7]). Il est aussi d'avis que les bassins océaniques sont des continents affaissés. Il émet, en outre, sur les soi-disant homologues géographiques et sur d'autres problèmes concernant la face de la terre, des idées fantaisistes auxquelles nous ne nous arrêterons pas.

C'est en constatant, comme nous, la concordance des côtes de l'Atlantique Sud que PICKERING [8] a été amené à supposer qu'elles sont les bords d'une fracture élargie, l'Amérique ayant subi une translation égale à la largeur de l'Atlantique. Il n'a pas tenu compte, cependant, du fait que l'on est obligé d'admettre, si l'on tient compte de leur histoire géologique, que ces deux continents étaient effectivement réunis jusqu'au Crétacé. Il relègue leur liaison dans les temps les plus reculés et admet une corrélation entre cette fracture et l'ancien détachement de la masse de la lune de celle de la terre, détachement déjà admis par G. H. DARWIN et dont il croit en voir un vestige dans le bassin du Pacifique.

MANTOVANI [86] a émis dans un court article (illustré de petites cartes) paru en 1909, des idées concernant les translations continentales qui, tout en différant en certains endroits, coïncident par ailleurs remarquablement avec les nôtres, comme par exemple l'ancien groupement des continents du Sud autour de l'Afrique du Sud.

Un correspondant a attiré notre attention sur le fait que COXWORTHY [9] aurait émis, dans un livre paru après 1890, l'hypothèse que les continents actuels ne seraient que le morcellement d'un même bloc ancien. Personnellement nous n'avons pas eu l'occasion de consulter ce livre.

Nous avons constaté aussi une grande analogie avec nos idées dans un travail publié en 1910 par F. B. TAYLOR [10]. L'auteur suppose qu'au Tertiaire certains continents ont subi des déplacements horizontaux assez appréciables qu'il met en relation avec les grandes failles qui s'étaient produites à cette époque. En ce qui concerne la séparation du Groenland d'avec l'Amérique du Nord, il arrive à une représentation pratiquement identique à la nôtre. Pour l'Atlantique, il admet que ce n'est qu'une partie de sa largeur qui serait due à l'écartement des terres américaines, tandis que l'autre partie, celle correspondant à l'Atlantique central, serait due à un effondrement. Cette représentation ne diffère donc que quantitativement de la nôtre et lui est identique en ce qu'il y a d'essentiel et de nouveau. C'est pourquoi les Américains désignent parfois la Théorie des Translations sous le nom de THÉORIE DE TAYLOR-WEGENER. Je suis d'ailleurs arrivé, après lecture de l'article de TAYLOR, à la conviction que ce que cet auteur cherchait, c'était surtout un principe ayant présidé à l'ordonnance des grandes chaînes de montagnes. Il croyait l'avoir trouvé dans la tendance qu'ont les terres à s'écarter du pôle. De cette manière, les déplacements — tels que nous les considérons — de cer-

tains continents, n'auraient joué qu'un rôle secondaire; aussi ne les prouve-t-il que d'une façon très sommaire.

Nous n'avons pris connaissance de tous ces travaux qu'à une époque où nous avions déjà tracé les grands lignes de la théorie des translations et de certains, même beaucoup plus tard. Il n'est certes pas impossible qu'avec le temps on découvre d'autres travaux concernant la théorie des translations ou l'anticipant sur tel ou tel point. Une étude historique de la question n'a pas été faite et nous n'avons pas eu l'intention de l'entreprendre dans l'ouvrage actuel.

CHAPITRE II.

ESSENCE DE LA THÉORIE DES TRANSLATIONS ET SES RAPPORTS AVEC LES HYPOTHÈSES ADMISES A CE JOUR, CONCERNANT LES VARIATIONS DE LA SURFACE DE LA TERRE PENDANT LES ÉPOQUES GÉOLOGIQUES.

C'est un fait curieux — mais caractéristique de l'état actuel, incomplet, de nos connaissances — que l'on arrive à des résultats complètement opposés, en ce qui concerne les circonstances existant aux époques reculées de la terre, suivant que l'on aborde le problème du point de vue biologique ou du point de vue géophysique.

Les paléontologues, de même que les biogéographes (zoogéographes et phytogéographes), sont invariablement amenés à la conclusion que la plupart des continents actuellement séparés par de grandes étendues océaniques doivent avoir eu anciennement une liaison continentale, sur laquelle s'est accompli un échange ininterrompu des flores et faunes terrestres. Les paléontologues le déduisent à cause de l'apparition de nombreuses espèces identiques, dont l'existence, à divers endroits, aux époques reculées, est prouvée et dont l'apparition séparée et simultanée, à ces divers endroits, paraît inconcevable. On explique facilement qu'on n'ait pu trouver qu'un pourcentage limité de faunes ou flores fossiles identiques, synchroniques, par le fait que ce n'est qu'une faible part du monde organique ayant vécu à l'époque qui se soit conservé à l'état de fossile et qu'on ait découvert jusqu'à présent. D'autre part, même si la totalité des êtres organiques avait été absolument identique sur deux continents pareils, l'imperfection de nos connaissances actuelles devrait avoir pour conséquence que les découvertes déjà faites ne soient qu'en partie identiques, tandis que la plupart devraient présenter des différences. D'ailleurs, il faut noter aussi que, même si les possibilités d'échange étaient parfaites, les mondes organiques des deux continents auraient pu ne pas être identiques, comme il arrive aujourd'hui entre l'Europe et l'Asie, par exemple, dont faune et flore ne sont aucunement identiques.

On arrive au même résultat par l'étude comparée des mondes animal et végétal *actuels*. Les espèces actuelles sur deux continents

pareils sont en effet différentes, tandis que les ordres et familles sont identiques; et ce qui constitue aujourd'hui genres ou familles, appartenait dans les temps de jadis à une espèce unique. La parenté des faunes et flores terrestres actuelles nous conduit ainsi à la conclusion que ces flores et faunes étaient identiques dans les temps de jadis, et c'est pourquoi elles avaient dû subir des échanges qui ne peuvent être conçus qu'à l'aide d'une large liaison terrestre. Ce n'est qu'après interruption de cette jonction qu'a pu avoir lieu la différenciation en espèces, actuellement existantes. Nous n'exagérons pas en affirmant que toute l'évolution de la vie sur la terre, ainsi que l'affinité des organismes actuels sur les continents éloignés entre eux, doivent rester un problème insoluble pour nous, si nous n'admettons pas l'existence de pareilles anciennes liaisons intercontinentales.

Une seule citation entre de nombreuses autres. DE BEAUFORT [123] écrit : « On pourrait donner beaucoup d'autres exemples d'où il résulte qu'il est impossible d'arriver en Zoogéographie à une explication acceptable de la répartition des faunes, si l'on n'admet pas l'existence d'anciennes liaisons entre des continents actuellement séparés, et, notamment, l'existence non seulement de ponts dont, comme s'exprime MATTHEW, quelques planches se seraient disjointes, mais aussi de liaisons plus larges ayant existé à l'emplacement actuel des océans » (*).

Naturellement, on n'arrive pas à expliquer d'une manière satisfaisante de nombreuses questions de détail. Dans certains cas on a mis sur pied d'anciens ponts sur des bases insuffisantes, ponts que les recherches ultérieures n'ont pas confirmé; dans d'autres, il n'y a même pas unité complète de vue sur les époques de disparition de la liaison ou d'apparition de la séparation actuelle. Mais, pour les plus importantes de ces anciennes jonctions il existe déjà,

*) « Sans doute, il existe aussi des adversaires des ponts continentaux. Il faut mentionner parmi ceux-ci surtout G. PFEFFER. Cet auteur part du fait que certaines formes réparties de nos jours seulement sur les continents du Sud ont été trouvées à l'état fossile sur les continents nordiques. Pour celles-ci il est certain, d'après lui, qu'elles étaient jadis plus ou moins universellement répandues. Cette conclusion n'est pas absolument nécessaire et, encore moins, celle qui admettrait une ancienne aire d'extension universelle, même dans le cas où, actuellement, il y a une répartition partielle dans l'hémisphère Sud, sans que des documents fossiles la confirment dans l'hémisphère Nord. Si donc il veut expliquer toutes les particularités de la répartition exclusivement à l'aide de migrations entre les continents boréaux et leurs ponts méditerranéens, cette hypothèse n'est pas basée sur des arguments solides. » (ARLDT [135]). Il est évident que les parentés dans les continents du Sud peuvent s'expliquer bien plus simplement et plus complètement par de larges liaisons directes que par une dispersion parallèle à partir d'une aire d'extension boréale commune, quoique dans certains cas particuliers les faits puissent s'être passés comme l'admet PFEFFER.

heureusement, un accord complet entre les spécialistes, qu'ils établissent leurs conclusions d'après la répartition géographique des mammifères ou des vers, des plantes ou de toute autre partie du monde organique. ARLDT [11] a dressé d'après les exposés ou cartes de 20 auteurs (*) une sorte de tableau-referendum où il a dénombré l'existence ou la non-existence des différentes liaisons terrestres aux diverses époques géologiques.

Nous avons indiqué graphiquement, dans la fig. 1, le résultat de ce dénombrement pour les quatre plus importantes de ces liaisons. A chaque liaison correspondent trois courbes; un graphique

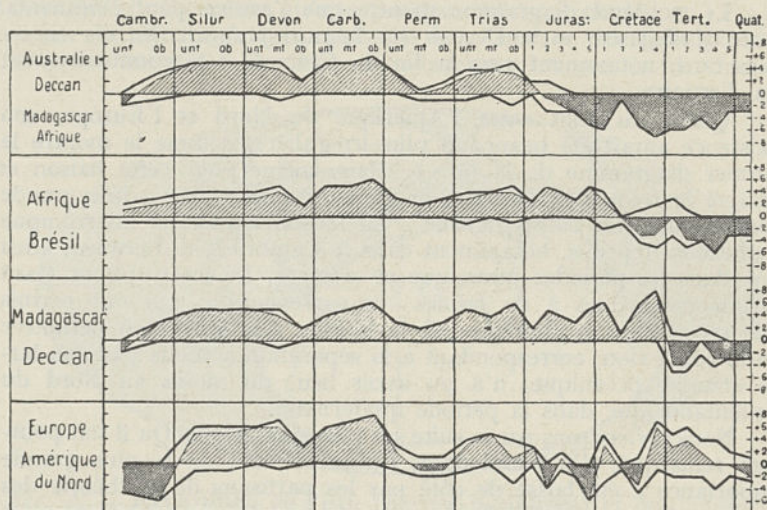


Fig. 1. — Nombre des voix affirmatives (courbe supérieure renforcée) et des voix négatives (courbe inférieure), dans la question de l'existence de quatre ponts continentaux depuis le Cambrien.

La différence (majorité) est marquée par des hachures; hachures plus foncées dans le cas des majorités négatives.
unf = inférieur; ob = supérieur; mi = moyen.

des voix affirmatives (c'est-à-dire en faveur de l'existence de la liaison), un autre pour les voix négatives et un troisième indiquant la différence entre le nombre de voix, donc la majorité, cette dernière

*) ARLDT, BURCKHARDT, DIENER, FRECH, FRITZ, HANDLIRSCH, HAUG, VON IHERING, KARPINSKY, KOKEN, KOSSMAT, KATZER, LAPPARENT, MATTHEW, NEUMAYR, ORTMANN, OSBORN, SCHUCHERT, UHLIG, WILLIS.

délimitant avec l'axe nul une aire hachurée (hachures plus foncées dans le cas des majorités négatives).

Ainsi, le premier diagramme de notre figure montre que la liaison de l'Australie avec l'Inde péninsulaire, Madagascar et l'Afrique (ancien continent de Gondwana) a existé, d'après la majorité des auteurs considérés, depuis la période cambrienne jusqu'au commencement de la période jurassique, époque où elle aurait disparu.

Le deuxième diagramme indique que le pont continental entre l'Amérique du Sud et l'Afrique (l'Archhelenis) aurait disparu, d'après la majorité des auteurs considérés, dans l'intervalle de temps situé entre les Crétacés inférieur et moyen.

Le troisième diagramme montre que l'ancien pont continental entre Madagascar et le Deccan (la Lémurie) aurait disparu encore plus tard, notamment vers la fin du Crétacé et le commencement du Tertiaire.

Quant au pont entre l'Amérique du Nord et l'Europe, son existence aurait été beaucoup plus irrégulière, comme le montre le dernier diagramme de la fig. 1. Mais, même pour cette liaison et malgré la fréquente modification de la situation, il y a une grande concordance des points de vue : La liaison aurait été interrompue à plusieurs reprises, notamment dans le Cambrien, le Permien, ainsi que dans les périodes jurassique et crétacée, les interruptions étant certainement dues à de faibles « transgressions », qui ont permis une reconstitution ultérieure de la liaison. La disparition définitive de la connexion, correspondant à la séparation actuelle par une large étendue océanique, n'a pu avoir lieu, du moins au Nord du Groenland, que dans la période quaternaire.

Nous reviendrons par la suite sur plusieurs détails. Qu'il soit pour tant remarqué, dès maintenant, qu'un élément de la plus grande importance a été laissé de côté par les partisans de la théorie des ponts continentaux : Ces liaisons ne sont pas exigées seulement pour des endroits où existent des mers peu profondes ou de transgression, comme par exemple le détroit de Bering, mais aussi pour les étendues océaniques. Les quatre exemples de la fig. 1 se rapportent à de pareils cas. Ils ont été choisis à dessein parce que c'est à leur occasion qu'interviennent les nouvelles notions de la théorie des translations, comme nous le montrerons par la suite.

On admettait comme évident, jusqu'à ces derniers temps, que les socles continentaux — émergés ou immergés — avaient gardé pendant toute la durée de l'histoire de la terre leurs positions relatives. Il s'ensuit qu'on était conduit, tout naturellement, à admettre l'existence des jonctions terrestres nécessaires sous la forme de continents intermédiaires qui se seraient affaissés, formant le fond des surfaces océaniques actuelles, au moment où les échanges des faunes et flores ont cessé. C'est de cette manière qu'ont pris corps les reconsti-

tutions paléogéographiques bien connues, dont nous donnons un exemple concernant la période carbonifère (fig. 2).

L'hypothèse des continents intermédiaires était la plus naturelle tant qu'on était resté sous l'influence de la théorie de la contraction ou du ridement de la terre, théorie que nous devons examiner d'un peu plus près. Elle prit corps en Europe et fut émise et établie surtout par DANA, A. HEIM et ED. SUSS. Elle domine encore, même à présent, les notions fondamentales dans la plupart des traités européens de géologie. SUSS en donna l'expression la plus concise lorsqu'il écrivait : « C'est à l'écroulement du globe terrestre que nous assistons » [12, T. 1, page 778; (trad. fr. T. 1, page 823)]. De même qu'une pomme, qui en séchant par l'évaporation de l'eau intérieure, présente à sa surface des rides plissées, le globe terrestre, par son refroidissement et par la contraction

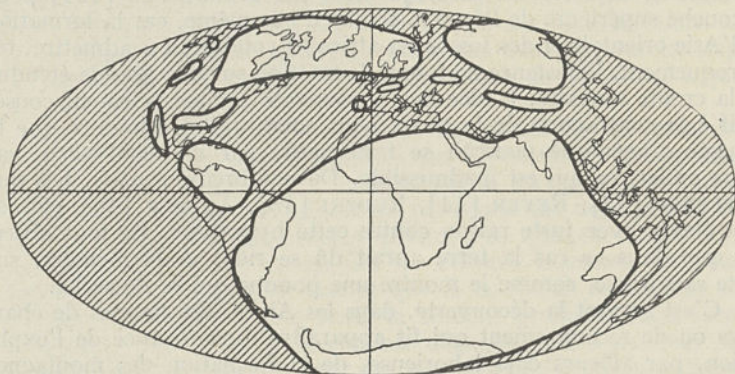


Fig. 2. — Répartition de l'eau (parties hachurées) et des continents au Carbonifère, selon les représentations habituelles.

résultante de son intérieur, a donné naissance aux plissements de son écorce. L'affaissement global de la croûte a pour effet l'existence d'une « poussée de voûte » dans celle-ci, ce qui fait que certaines de ses parties restent sur place sous forme de gradins ou de môles, maintenues en quelque sorte par cette poussée. Par la suite, ces parties peuvent être amenées à s'affaisser plus vite que celles qui n'étaient pas maintenues par la poussée; ce qui était terre ferme devenant fond marin et réciproquement, et ceci un nombre indéterminé de fois. Cette théorie, émise par LYELL, a comme point de départ le fait que l'on peut déceler sur presque tous les continents des sédimentations marines.

On ne peut pas refuser à cette théorie le mérite historique d'avoir constitué pendant longtemps un raccourci suffisant de nos con-

naissances géologiques. Et, en raison de sa longue durée, elle a pu, dans un grand nombre de cas particuliers, servir de base logique à des déductions si justes qu'elle garde quelque charme, même aujourd'hui, à cause de la grande simplicité de ses prémisses et grâce à ses nombreuses applications.

Cependant, depuis l'apparition de l'œuvre de SUESS « La Face de la Terre », qui donne à la Géologie du globe un grandiose exposé du point de vue de la théorie de la contraction, les doutes, quant à l'exactitude de cette notion fondamentale, se sont accumulés de plus en plus. L'idée que toutes les éminences ne seraient qu'apparentes, notamment qu'elles constitueraient pour les parties correspondantes de l'écorce seulement un manque de rapprochement vers le centre de la terre, a été contredite par l'existence d'éminences « absolues » [71]. L'hypothèse d'une poussée de voûte, permanente et universelle, déjà réfutée théoriquement par HERGESSELL [124] pour la couche supérieure de l'écorce, tombe d'elle-même, car la formation de l'Asie orientale et des fossés est-africains conduirait à admettre, réciproquement, l'existence de forces de traction sur une grande étendue de la croûte terrestre. L'idée des plissements comme ridement consécutif à la contraction de la terre, nous conduirait à admettre que la poussée orogénique pourrait se transmettre sur un demi-cercle terrestre entier, ce qui est inadmissible. De nombreux auteurs, tels que AMPFERER [13], REYER [14], RUDZKI [15], ANDRÉE [16], etc., se sont élevés avec juste raison contre cette hypothèse. Ils font observer que dans ce cas la terre aurait dû se rider uniformément, sur toute sa surface, comme le montre une pomme qui se dessèche.

C'est surtout la découverte, dans les Alpes, des nappes de charriage ou de recouvrement qui fit apparaître l'insuffisance de l'explication, par ailleurs déjà laborieuse, de la formation des montagnes comme effet de la contraction. Ces nouvelles conceptions concernant la formation des Alpes et d'autres chaînes de montagnes, introduites par BERTRAND, SCHARDT, LUGEON, etc., conduisent à des transports en masse des plis sur des distances beaucoup plus grandes que celles envisagées par les théories antérieures. HEIM avait conclu d'après celles-ci que les Alpes avaient dû subir une contraction de l'ordre de leur moitié, tandis qu'en prenant pour base de calcul leur constitution à l'aide de nappes, universellement admise aujourd'hui, il trouve que la contraction doit les avoir réduites à une fraction comprise entre $1/8$ et $1/4$ de leurs anciennes dimensions [17]. Comme les Alpes ont une largeur d'environ 150 km, c'est une zone de l'écorce ayant une largeur de 600 à 1.200 km, (5 à 10 degrés de latitude) qui se serait plissée. R. STAUB [18], d'accord avec ARGAND, donne même, dans la plus récente grande synthèse de la formation des Alpes à l'aide des nappes de charriage, des estimations plus larges de la bande ayant contribué aux plissements. Il arrive (page 257) à la conclusion suivante :

« L'orogénèse alpine est l'effet du déplacement vers le Nord du socle africain. Si nous nous imaginons aplanir les accidents alpins en les déroulant sur la région comprise entre la Forêt Noire et l'Afrique, nous obtiendrons — au lieu de l'écartement actuel d'environ 1.800 km — une distance initiale d'environ 3.000 à 3.500 km. Ceci donne pour le rétrécissement de la région alpine, alpine dans le sens large, une valeur de 1.500 km, et c'est d'une distance analogue que l'Afrique doit s'être déplacée par rapport à l'Europe. Nous sommes donc amenés à une véritable translation continentale, de large envergure, du socle africain » (*).

D'autres géologues se sont exprimés d'une manière analogue. Par exemple B. F. HERMANN [106], EDW. HENNIG [19] ou KOSSMAT [21]. Celui-ci insiste sur le fait que « l'explication de la formation des montagnes doit tenir compte de mouvements tangentiels de large envergure, incompatibles avec la théorie de la contraction ». D'ailleurs ARGAND [20] a développé des considérations analogues, comme il l'avait déjà fait, ainsi que STAUB, pour les Alpes, dans une étude très étendue sur la tectonique de l'Asie sur laquelle nous aurons à revenir.

D'autre part, l'hypothèse initiale de la théorie de la contraction, celle concernant le refroidissement de la terre, qui semble si naturelle, a été complètement ébranlée par la découverte du radium. Cet élément, dont la désintégration provoque un dégagement continu de chaleur, peut être trouvé partout, en quantités mesurables, dans toutes les roches accessibles de l'écorce terrestre. Des nombreuses mesures faites, on conclut que si la teneur en radium reste constante à l'intérieur de la terre, la chaleur produite serait incomparablement supérieure à la chaleur dégagée vers l'extérieur dont l'intensité peut être obtenue par des mesures géothermiques, compte tenu de la conductibilité des roches. On est donc porté à admettre que la température du globe croît avec le temps. La faible radioactivité des météorites laisse présumer que la teneur en radium du noyau de la terre est inférieure à celle de son écorce. De cette manière, la conclusion paradoxale du réchauffement continu de la terre

*) Les estimations récentes de la contraction des Alpes sont encore plus grandes. Ainsi STAUB écrit dernièrement [214 et aussi dans 215]: « Supposons donc cette masse alpine, qui présente une douzaine de plissements, déroulée... nous sommes obligés de rapporter beaucoup plus vers le Sud le versant abrupt des Alpes, et la distance initiale entre les terrains ayant donné naissance aux deux versants actuels des Alpes doit avoir été dix ou douze fois leur distance actuelle ». Il ajoute : « La formation d'une chaîne de montagnes est due ici, d'une façon nette et sans doute possible, à des transports indépendants de grosses masses de terre dont la structure et la composition indiquent le caractère continental. Nous sommes ainsi amenés, naturellement et sans contrainte, par la géologie des Alpes et par la théorie des nappes de charriage de SCHARDT, à admettre le principe fondamental de la théorie des translations continentales de WEGENER. »

peut être exclue. Quoi qu'il en soit, on ne peut plus regarder l'état thermique actuel comme une phase du refroidissement progressif de la terre, mais plutôt comme un état d'équilibre entre la production de chaleur due à la radioactivité interne et son émission dans l'espace. Les recherches récentes, que nous aurons à examiner de plus près, arrivent au résultat que la quantité de chaleur produite est moindre que la quantité perdue, au moins sous les socles continentaux, endroits où la température devrait s'accroître avec le temps. Le phénomène contraire a lieu dans les fonds des mers profondes. On arrive ainsi, pour toute la terre, à un équilibre entre les deux quantités de chaleur. En tout cas, il résulte de ces nouvelles conceptions que la théorie de la contraction est complètement amputée de son fondement.

Il y a d'autres difficultés qui surgissent contre la théorie de la contraction et ses suites logiques. L'idée d'une alternance, indéfiniment répétée, d'immersions marines qui était suggérée par les sédiments marins des aires continentales actuelles, dut être strictement précisée, parce que de l'examen approfondi de ces sédiments il résulte clairement qu'il s'agissait presque sans exception de sédiments néritiques. Certains sédiments qu'on croyait déposés en mer profonde sont en réalité de nature néritique : Ainsi la craie, comme l'a montré CAYEUX. On doit à DACQUÉ [22] un bon aperçu de cette question. On n'admet l'origine abyssale (4 à 5 km de profondeur) que pour très peu de sédiments, tels que les radiolarites des Alpes, pauvres en calcaire, et certaines argiles rouges, rappelant l'argile rouge abyssale, surtout parce que l'eau de mer ne dissout le calcaire qu'aux grandes profondeurs. D'ailleurs, l'espace occupé par ces dépôts abyssaux est tellement restreint par rapport aux aires continentales et à leurs sédiments néritiques, que la théorie des dépôts fossiles marins d'origine exclusivement néritique n'est pas infirmée. Il en résulte une objection contre la théorie de la contraction. Puisque du point de vue géophysique nous devons considérer les mers néritiques comme appartenant aux socles continentaux, la théorie précédente montre que les socles continentaux sont restés tels d'une façon « permanente » et qu'à aucune époque de l'histoire du globe ils n'ont pas pu constituer le fond des mers profondes. Pourrions-nous encore admettre que les fonds abyssaux aient été jadis des aires continentales? Ce qui précède écarte certainement cette conclusion. De plus, nous serions conduits à une contradiction. Si nous reconstituons les continents intermédiaires, comme ceux de la fig. 2, c'est-à-dire si nous remplissons une partie des fonds abyssaux, sans avoir la possibilité d'une compensation par l'affaissement au niveau abyssal des aires continentales, l'espace abyssal restant serait insuffisant pour contenir la masse d'eau du globe. Le déplacement d'eau dû aux continents intermédiaires serait si important que le niveau de l'océan mondial monterait au-dessus de celui de toute l'aire continentale, inondant et les continents

actuels et les continents intermédiaires; mais alors la reconstitution n'atteindrait pas du tout son but qui est de montrer l'existence de jonctions émergées, entre des continents aussi émergés. La reconstitution de la fig. 2 est donc impossible, à moins d'ajouter des hypothèses supplémentaires, qui comme hypothèses ad-hoc sont invraisemblables; par exemple que la quantité totale d'eau à l'époque était inférieure à la quantité actuelle exactement de la quantité nécessaire, ou encore que les fonds abyssaux de jadis étaient de beaucoup plus profonds que les fonds actuels. WILLIS, A. PENCK et d'autres auteurs ont signalé ces difficultés, inhérentes à cette conception.

Parmi les nombreux autres reproches que l'on peut adresser à la théorie de la contraction relevons encore un seul, mais d'importance. La Géophysique est arrivée, surtout par des mesures de l'intensité de la pesanteur, à la conception que l'écorce terrestre flotte en état d'équilibre sur un milieu plus dense et visqueux. On appelle cet état *isostasie*. L'*isostasie* n'est autre chose que l'équilibre de flottaison selon le principe d'Archimède; d'après celui-ci le poids du corps flottant est égal à celui du fluide dont le solide tient la place. L'introduction d'un terme nouveau pour cet état dans le cas de l'écorce terrestre est toutefois nécessaire parce que le fluide dans lequel plonge l'écorce est d'une très forte viscosité, presque unimaginable, les oscillations autour de la position d'équilibre étant exclues dans ce cas. De plus, une fois la position d'équilibre dérangée, par une perturbation quelconque, le retour à cette position est un phénomène lent, nécessitant des milliers d'années. Du point de vue expérimental, ce « fluide » différerait à peine d'un corps « solide ». On doit d'ailleurs se rappeler que l'acier, que nous considérons bien comme corps solide, présente un peu avant sa rupture certaines propriétés fluides caractéristiques.

Une perturbation de l'*isostasie* peut être due, par exemple, à la surcharge de l'écorce terrestre par une calotte glaciaire. Il s'ensuit un enfoncement lent de celle-là qui tend vers une nouvelle position d'équilibre correspondant à la charge. Dès que la glace disparaît, l'écorce tend à reprendre l'ancienne position d'équilibre, ce que démontrent les traces des lignes de rivage formées pendant l'enfoncement et mises à nu par le soulèvement. C'est en considérant les cartes isobases dressées par DE GEER [23], et à l'aide de ces traces, que l'on peut conclure à un enfoncement d'au moins 250 m de la partie centrale de la Scandinavie pendant la dernière glaciation; l'amplitude de l'enfoncement est moindre vers la périphérie de la région et doit avoir été plus appréciable pendant la grande glaciation quaternaire. Nous donnons dans la fig. 3 une carte indiquant l'amplitude des soulèvements post-glaciaires de la Fino-Scandinavie d'après HÖGBOM (reproduite du livre de BORN sur l'*Isostasie* [43]). Le même phénomène a été constaté par DE GEER pour le bouclier canadien. RUDZKI [15] a montré qu'en se basant sur l'*isostasie* on

obtient des valeurs plausibles pour l'épaisseur de l'inlandsis, notamment 950 m pour la Scandinavie et 1.670 m pour l'Amérique du Nord, où le fléchissement de l'écorce atteignit 500 m. A cause de la viscosité du magma sous-jacent, il est évident qu'un assez long intervalle de temps s'écoule entre la cessation de la surcharge et le commencement du mouvement vers la nouvelle position d'équilibre : la plupart des lignes de rivage ne se sont formées qu'après le

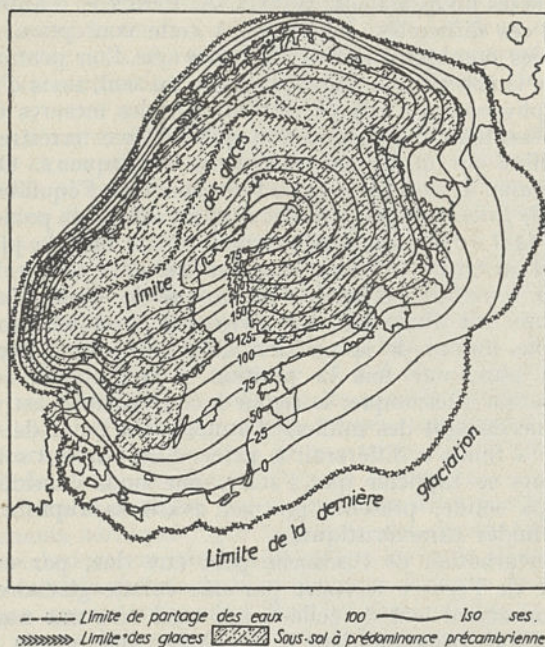


Fig. 3. — Amplitude en m du soulèvement post-glaciaire de la Fîno-Scandinavie, d'après HÖGBOM.

retrait des glaces et avant la remontée du territoire. Les nivellements permettent de constater que la Scandinavie continue à s'élever, de nos jours encore, d'environ un mètre par siècle.

L'accumulation des sédiments peut, elle aussi, avoir comme effet un fléchissement de l'écorce; OSMOND FISHER est le premier à l'avoir reconnu. Tout apport superficiel provoque, avec un certain décalage dans le temps, un abaissement du territoire chargé; il en résulte que l'altitude de la surface reste à peu près invariable. Ainsi, les sédiments peuvent acquérir une puissance de plusieurs kilomètres,

sans que pour cela la sédimentation ait eu lieu ailleurs qu'en eau peu profonde.

Nous aurons l'occasion, plus loin, d'examiner de plus près la théorie de l'Isostasie. Remarquons toutefois — dès maintenant — que, grâce aux confirmations qu'elle a reçues par des observations géophysiques, cette théorie est une des bases de la Géophysique et que son exactitude ne peut plus être mise en doute (*).

Il est évident que ce résultat est en contradiction avec le point de vue de la contraction et ne s'y intègre que très difficilement.

Il paraît surtout impossible, d'après l'isostasie, qu'un continent de l'étendue des continents intermédiaires puisse, sans être surchargé, s'affaisser à la profondeur des abysses ou réciproquement. La théorie de l'isostasie n'est donc pas seulement en contradiction avec la théorie de la contraction, mais aussi avec les ponts continentaux déduits des zones de répartition biologique (**).

C'est à dessein que nous avons examiné d'un peu plus près, dans ce qui précède, les objections contre la théorie de la contraction, car c'est dans une partie des notions ci-dessus qu'a ses origines

*) Des savants américains, comme F. B. TAYLOR [101], par exemple, désignent parfois sous le nom d'Isostasie l'hypothèse de BOWIE sur la formation des géosynclinaux et des montagnes. Le premier soulèvement de la cuvette remplie de sédiments, c'est-à-dire du géosynclinal, se produit, d'après BOWIE, par suite du fait que ses géoïsothermes se trouvant remontées, une dilatation de son volume s'ensuit. Dès que, par cette dilatation, le terrain s'est soulevé, l'érosion commence; une chaîne de montagnes déchiquetées en résulte; le magma sous-jacent supportant une charge amoindrie continue à s'élever. Le soulèvement amène à la fin les géoïsothermes à un niveau trop haut; la masse se refroidit, les géoïsothermes commencent à descendre, il y a contraction et affaissement de la surface : à la place des montagnes apparaît une dépression où une nouvelle sédimentation a lieu. L'affaissement dû à celle-ci se poursuit jusqu'à ce que les géoïsothermes aient atteint une profondeur anormale; alors ils recommencent à s'élever et ainsi de suite à de multiples reprises. Cette conception qui, comme l'a montré entre autres TAYLOR, est inapplicable dans le cas des montagnes à grands plis-failles, se sert sans doute du principe de l'Isostasie mais ne saurait pas être appelée tout simplement Isostasie.

**) Les objections que nous venons d'énumérer contre la théorie de la contraction s'élèvent, en premier lieu, contre l'ancienne forme de cette théorie. Dernièrement, divers auteurs, comme KOBER [24], STILLE [25], NÖLCKE [26], JEFFREYS [102], etc., ont essayé de moderniser la théorie de la contraction, en vue d'échapper aux critiques, soit en lui donnant une portée plus limitée, soit en lui adjoignant des hypothèses nouvelles. Il en est de même de la contraction de R. T. CHAMBERLIN [160], qui envisage la contraction comme conséquence du « réarrangement » des matériaux à l'intérieur du globe, réarrangement dû à l'origine planétaire. On ne saurait dénier une certaine habileté à tous ces essais quant à la poursuite de leurs buts, mais on ne peut pas dire que les critiques aient été réellement réfutées, ou que la théorie ait été suffisamment mise en harmonie avec les observations, notamment avec celles de la Géophysique. Une discussion approfondie de cette nouvelle théorie de la contraction dépasserait d'ailleurs le cadre de notre ouvrage.

une autre théorie, actuellement répandue surtout parmi les géologues américains et connue sous le nom de loi de la permanence. WILLIS [27] l'a résumée dans la formule : « Les grands bassins océaniques sont un trait permanent de la surface de la terre et ont conservé, à quelques petits changements de contour près, l'emplacement qu'ils occupaient lors de l'apparition de l'eau ». En fait, nous sommes déjà arrivés, comme conséquence de la nature néritique des sédiments marins sur les aires continentales, à la conclusion que les socles continentaux doivent avoir gardé leur caractère pendant toute la durée des temps géologiques. Puisque la loi de l'isostasie montre l'impossibilité de concevoir les fonds abyssaux actuels comme provenant de continents intermédiaires, la loi de la permanence peut être complétée en réunissant dans une même loi la permanence des bassins océaniques et celle des socles continentaux. De plus, comme on est parti de l'hypothèse — paraissant évidente — de l'immobilité des positions relatives des socles continentaux, l'énonciation de la loi de la permanence due à WILLIS apparaît comme un corollaire logique de nos données géographiques, si, bien entendu, nous négligeons l'existence d'anciennes jonctions terrestres imposées par la répartition du monde organique. Et alors nous assistons à un spectacle paradoxal; il y a deux théories, s'excluant réciproquement, sur l'aspect ancien de la face de la terre : En Europe presque tous les auteurs admettent des ponts continentaux, en Amérique on admet presque partout la loi de la permanence des bassins océaniques et des socles continentaux.

Ce n'est pas par hasard que la théorie de la permanence a le plus grand nombre de ses adeptes en Amérique. La Géologie ne s'y est développée que tard et, partant, en même temps que la Géophysique, ce qui a eu comme effet qu'elle adopta les résultats de cette science-sœur plus vite et plus complètement qu'on ne l'a fait en Europe. La Géologie américaine n'essaya même pas d'admettre comme hypothèse fondamentale la théorie de la contraction contredite par la Géophysique. Il en fut tout autrement en Europe où la Géologie s'était développée longtemps avant que la Géophysique obtienne ses premiers résultats et où elle était même arrivée à un développement extraordinaire grâce à la théorie de la contraction. On comprend bien qu'il soit difficile à beaucoup de savants européens de se libérer complètement de cette tradition et qu'ils regardent avec quelque méfiance les résultats de la Géophysique.

Mais où donc est la vérité? La terre ne peut avoir eu, à un moment, qu'une seule face. Y avait-il à l'époque des ponts, ou bien les continents étaient-ils séparés comme de nos jours par de larges océans? Il est impossible d'écarter la nécessité de l'existence des anciennes jonctions terrestres, si nous ne voulons pas renoncer complètement à comprendre le développement de la vie sur le globe, et il est également impossible de se dérober aux arguments contraires

à l'existence des continents intermédiaires émis par les partisans de la loi de la permanence. Il n'y a évidemment qu'une issue : Les hypothèses admises comme évidentes doivent être viciées par des erreurs cachées.

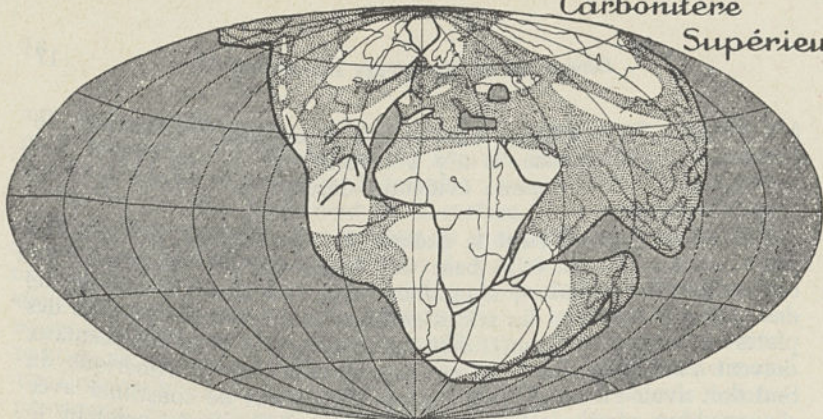
C'est ici qu'intervient la théorie des translations. L'hypothèse fondamentale qui est à la base des lois de la permanence et des continents intermédiaires, notamment celle qui admet l'invariabilité des positions relatives des socles continentaux (abstraction faite des plates-formes qui changent), doit être fausse. Les socles continentaux doivent s'être déplacés l'un par rapport à l'autre. L'Amérique du Sud doit avoir été contiguë à l'Afrique au point de constituer avec elle un bloc continental unique. Ce bloc s'est scindé pendant le Crétacé en deux parties qui se sont écartées dans le cours des temps comme dérivent les tronçons d'un glaçon se brisant dans l'eau. Les contours de ces deux socles sont encore aujourd'hui remarquablement semblables. Ce n'est pas seulement le grand coude saillant rectangulaire que présente la côte brésilienne au Cap San Roque qui est reproduit en sens inverse par le coude rentrant de la côte africaine au Cameroun, mais, pour les régions situées au Sud de ces deux points, à chaque saillie de la côte brésilienne correspond une partie rentrante semblable de la côte africaine, de même qu'à chaque baie du côté brésilien correspond une saillie du côté de l'Afrique. Des mesures faites sur un globe terrestre montrent que leurs ampleurs sont identiques.

Il en fut de même de l'Amérique du Nord qui était jadis contiguë à l'Europe et constituait avec celle-ci et le Groenland une masse continentale, d'un seul tenant — au moins à partir de la hauteur de Terre-Neuve et de l'Irlande, vers le Nord —, qui ne se morcela qu'au Tertiaire ancien — dans le Nord, seulement au Quaternaire — par une fente bifurquant au Groenland, sur quoi les tronçons commencèrent à dériver.

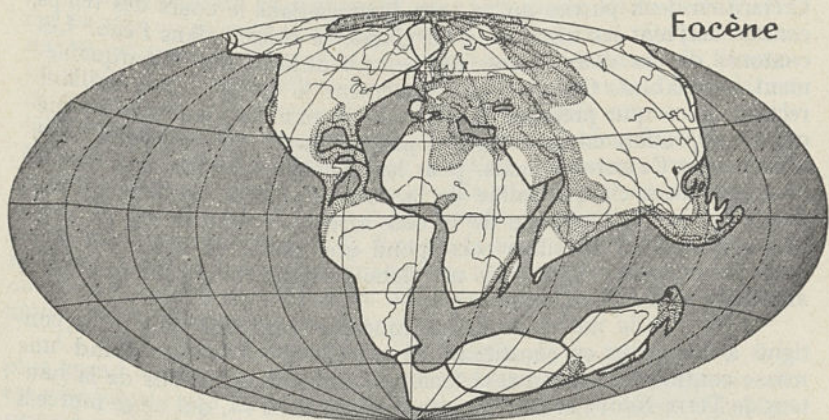
L'Antarctique, l'Australie et l'Inde péninsulaire restèrent jusqu'au commencement du Jurassique à côté de l'Afrique du Sud et constituaient avec celle-ci et l'Amérique du Sud une seule aire continentale — quoique partiellement recouverte par une mer épiconinentale; à partir de cette époque et pendant tout le Jurassique, le Crétacé et le Tertiaire, ce bloc se brisa en tronçons qui dérivèrent dans toutes les directions. Cette évolution est mise en évidence par les cartes reproduites aux fig. 4 et 5 — correspondant au Carbonifère supérieur, à l'Eocène et au Quaternaire inférieur.

Pour l'Inde péninsulaire le phénomène s'est déroulé un peu différemment. Celle-ci fut primitivement reliée au Continent asiatique par un socle oblong, dont en réalité la majeure partie était faiblement immergée. Après qu'elle se fut séparée de l'Australie d'une part (au Jurassique inférieur) et de Madagascar d'autre part (vers la fin du Crétacé et le commencement du Tertiaire, cette étroite

Carbonifère
Supérieur



Eocène



Quaternaire
Ancien

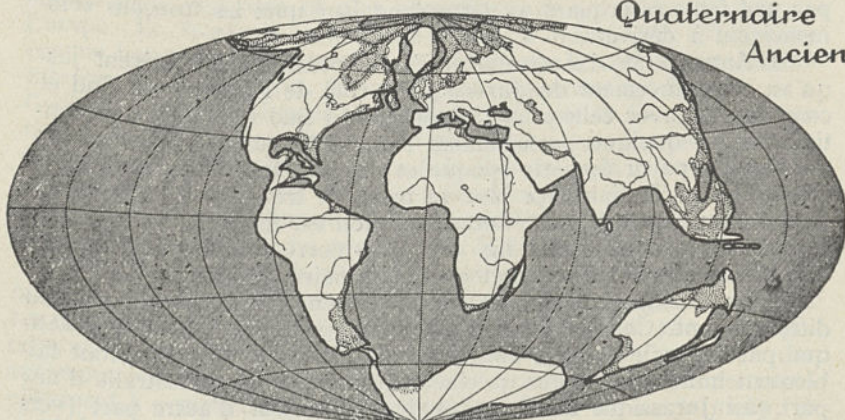
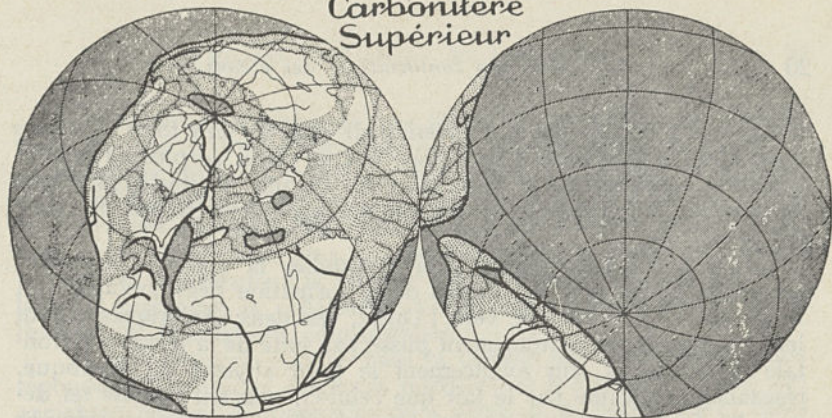


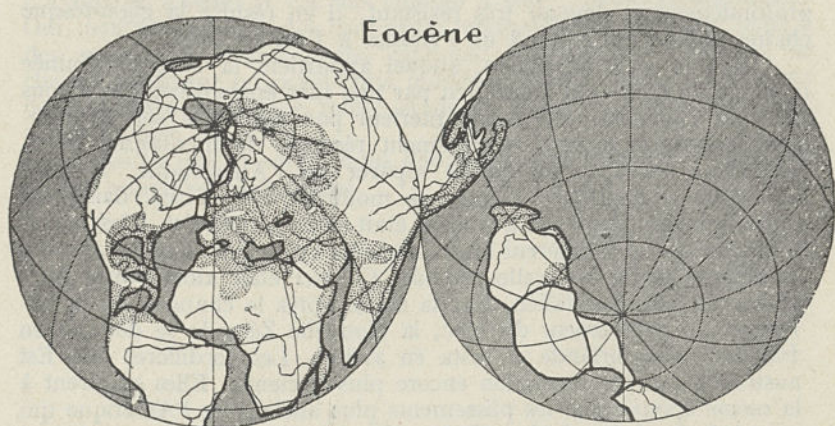
Fig. 4. — Reconstitutions du globe à trois époques géologiques d'après la théorie des translations continentales.

Parties hachurées : zones abyssales, parties en pointillé : mers épicontinentales. Les continents sont en blanc. Le réseau des méridiens et parallèles est arbitraire.

Carbonifère
Supérieur



Eocène



Quaternaire
Ancien

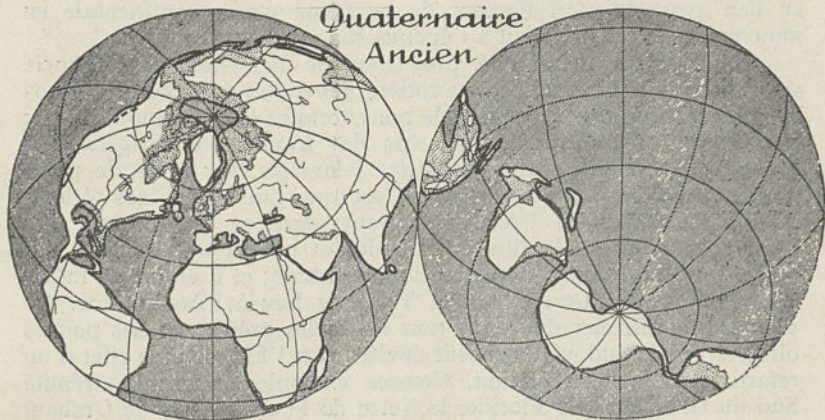


Fig. 5. — Mêmes reconstitutions que dans la fig. 4, dans un autre système de projection.

l'actuelle position des continents et le tracé des fleuves indiqués seulement comme point de repère. La position de l'Afrique est la position actuelle.

jonction eut à subir une compression de plus en plus forte à mesure que l'Inde se rapprochait de l'Asie; elle se plissa de plus en plus et constitue actuellement la base du train de plis le plus gigantesque de la terre, de l'Himalaya et des nombreuses autres chaînes de l'Asie centrale.

Il y a d'autres régions pour lesquelles la dérive des masses continentales est une des causes de la formation des montagnes. A l'occasion de leur dérive vers l'Ouest, les deux Amériques eurent leur bord antérieur extrêmement plissé par suite de la résistance frontale qu'opposa à leur avancement le fond abyssal du Pacifique, résistance explicable par le fait que celui-ci, existant comme tel depuis les époques géologiques les plus reculées, avait pu se refroidir profondément et devenir très résistant. Il en résulta la gigantesque chaîne andine qui s'étend de l'Alaska à l'Antarctique.

Pour le socle australien, auquel appartient la Nouvelle-Guinée (séparée du continent australien par une mer épicontinentale), nous trouvons aussi, sur son bord antérieur par rapport à son déplacement, la chaîne haute, relativement récente, de montagnes de la Nouvelle-Guinée. Avant de se séparer de l'Antarctique, le socle australien se déplaçait, comme le montrent nos cartes, dans une autre direction: Son bord avançant était alors sa côte Est. C'est à cette époque que se formèrent les plissements ayant donné naissance aux montagnes de la Nouvelle-Zélande. Celle-ci était alors partie intégrante du bloc australien. Par la suite, après le changement de direction du mouvement du bloc, la Nouvelle Zélande se détacha en formant une guirlande et resta en arrière. Les cordillères de l'Est australien sont de formation encore plus ancienne. Elles surgirent à la même époque que les plissements plus anciens de l'Amérique qui sont à la base des Andes (Précordillères); tous ces plissements ont eu lieu avant le morcellement de la même masse continentale en mouvement et constituaient à l'époque son bord antérieur.

Nous avons mentionné plus haut le détachement du socle australien de l'ancienne chaîne côtière devenue par la suite la guirlande néo-zélandaise; cet exemple nous conduit à un phénomène qui s'est surtout manifesté dans le cas des translations dirigées vers l'Ouest: En se déplaçant, les socles jalonnent leur route de petits fragments de leur bord postérieur. C'est ainsi que les chaînes côtières du bord oriental de l'Asie s'en sont séparées en formant des guirlandes; que les Antilles — grandes et petites — retardent par rapport au mouvement de l'Amérique Centrale; et il en est de même des Antilles Australes, reliant la Terre de Feu à l'Antarctique. On peut même affirmer que dans tous les socles présentant des pointes dirigées vers le Sud, celles-ci sont déviées vers l'Est, comme effet d'un retard dans leur translation. Comme exemples, citons l'extrémité Sud du Groenland, la Floride, la Terre de Feu, la Terre de Graham et l'Ile de Ceylan en train de se détacher de l'Inde.

On remarquera aisément que toute la conception des translations procède de l'hypothèse que les fonds océaniques et les socles continentaux diffèrent par leur constitution; qu'ils sont en quelque sorte des couches différentes du globe. La plus extérieure de celles-ci, constituée par les socles continentaux, ne recouvre pas — peut-être ne recouvre-t-elle plus — complètement le globe. Les fonds océaniques représentent la surface libre de la couche suivante sur laquelle reposerait la précédente. C'est l'aspect géophysique de la théorie des translations continentales.

Si nous prenons comme base la théorie des translations, nous répondons à toutes les exigences justifiées, tant à celles de la loi des anciennes liaisons continentales qu'à celles de la permanence. Nous n'avons qu'à énoncer ces lois comme il suit : *Ponts continentaux?* Oui, non pas grâce à des continents intermédiaires affaissés, mais à des socles continentaux jadis contigus. *Permanence?* Oui, pas de chaque continent ou océan pris individuellement, mais permanence de la surface océanique totale et de la surface continentale totale prises en bloc.

Dans ce qui va suivre nous donnerons une justification détaillée de ces nouvelles conceptions.

CHAPITRE III.

ARGUMENTS GÉODÉSIQUES.

Nous commençons notre justification en démontrant, à l'aide des déterminations astronomiques répétées des coordonnées géographiques, l'existence de translations continentales actuelles. Nous procédons ainsi parce que c'est grâce à cette méthode que l'on a pu établir récemment, pour la première fois, la dérive actuelle du Groenland, dérive prédite par la théorie des translations et parce que cette bonne confirmation quantitative de la théorie sera probablement considérée, par la plupart des savants, comme sa plus exacte et plus rigoureuse démonstration.

La théorie des translations a une grande supériorité sur toutes les théories ayant des buts analogues; celle de pouvoir être prouvée à l'aide de mesures géodésiques exactes. Du moment que les translations continentales se sont produites au cours des longues périodes géologiques, il est probable qu'elles durent encore. Il s'agit seulement de savoir si ces mouvements sont assez rapides pour qu'on puisse les déceler à l'aide de mesures astronomiques répétées dans un intervalle de temps relativement court.

Pour nous en rendre compte, il faut examiner un peu la question des durées absolues des périodes de temps en géologie. Leur estimation est, comme on le sait, imprécise. Mais cette imprécision ne va pas jusqu'à nous empêcher de résoudre le problème posé.

En étudiant la glaciation alpine, A. PENCK évalue à 50.000 ans la durée du temps écoulé depuis la *dernière* glaciation. STEINMANN l'estime entre 20.000 et 50.000 ans. HEIM, d'après ses recherches en Suisse, et les glaciologues américains ne lui attribuent que 10.000 ans. Par des investigations astronomiques, MILANKOVITCH arrive à situer à 25.000 ans le point culminant du climat de la dernière glaciation (la phase principale de la même glaciation aurait eu lieu il y a déjà 75.000 ans) et à 10.000 ans celui du climat optimum immédiatement suivant (dont l'existence est géologiquement prouvée dans l'Europe du Nord). DE GEER, après dénombrement des strates de limon fin, arrive au résultat que le front du glacier scandinave en retraite doit avoir passé par Schonen (Suède méridionale) il y a 14.000 ans, mais qu'il y a 16.000 ans ce même front était

encore au Mecklembourg. D'après les calculs de MILANKOVITCH, la durée totale de l'ère quaternaire est entre 600.000 et 1.000.000 d'années. Pour notre argumentation la concordance de ces chiffres est tout à fait suffisante.

Pour les périodes antérieures, on a essayé d'obtenir des indications concernant leur durée d'après la puissance des sédiments, compte tenu du temps nécessaire à leur dépôt; ainsi, DACQUÉ [171] et RUDZKI [170], par exemple, sont arrivés à attribuer au Tertiaire une durée de l'ordre de 1 à 10 millions d'années; la durée de l'ère secondaire serait triple et celle de l'ère primaire douze fois environ celle de la précédente.

On arrive à des durées plus grandes, surtout pour les périodes plus anciennes, si l'on utilise les méthodes radioactives pour la détermination de l'âge des minéraux. Ces méthodes jouissent actuellement d'un grand crédit [207]. Elles sont basées sur la désintégration graduelle des atomes de l'uranium et du thore avec émission de rayons α (c'est-à-dire d'atomes d'hélium), la substance se trouvant, après passage par plusieurs états intermédiaires, transformée en plomb.

On distingue trois méthodes de détermination de l'âge basées sur ce principe. La première est celle dite de l'hélium. Elle consiste à déterminer la proportion d'hélium dégagé dont s'est enrichi graduellement le minéral. Cette manière de procéder donne des durées inférieures à celles obtenues par les deux autres méthodes parce que, comme on le croit, une partie de l'hélium s'échappe graduellement. On la considère donc comme de moindre valeur. La seconde méthode consiste à déterminer la proportion de plomb résultant et à en déduire l'âge. La troisième est celle des auréoles paléochromiques; celles-ci sont dues au fait que les atomes d'hélium émis donnent naissance, dans l'entourage immédiat de la substance radioactive, à une petite auréole colorée dont l'étendue croît avec le temps, ce qui permet de déterminer l'âge du minéral.

Ainsi, on a trouvé d'après BORN (*in* GUTENBERG [45]), pour une roche miocène un âge de 6 millions d'années; pour une roche miocène-éocène un âge de 25 millions d'années et pour une autre du Carbonifère supérieur l'âge de 137 millions. Tous ces âges ont été déterminés par la méthode de l'hélium. Les chiffres obtenus par la méthode du plomb sont substantiellement plus grands: en particulier, pour le Carbonifère supérieur 320 millions d'années et, même, pour l'Algonkien, — pour lequel la méthode de l'hélium donne 310 millions —, 1.200 millions d'années. Les valeurs ainsi obtenues sont de beaucoup supérieures à celles déduites par la méthode de la puissance des sédiments (*).

*) Même s'il est indubitable que la durée des périodes géologiques est d'autant plus longue que la période est plus reculée, le point de vue de

Puisque nous n'avons à considérer que les périodes à partir du Tertiaire, époques pour lesquelles les différentes méthodes donnent des indications passablement semblables, nous pouvons nous contenter de ces résultats et prendre comme base de nos recherches les chiffres suivants :

Depuis le début du Tertiaire	il s'est écoulé	20 millions d'années.
»	» de l'Eocène	» 15 » »
»	» de l'Oligocène	» 10 » »
»	» du Miocène	» 6 » »
»	» du Pliocène	» 3 » »
»	» du Quaternaire	» 1 » »
»	la fin de la glaciation	» 10 à 50 mille ans.

A l'aide de ces chiffres et des chemins parcourus, on peut se faire une idée approximative de l'amplitude de la dérive annuelle des continents, en supposant que le mouvement de translation était, et continue d'être, un mouvement uniforme. Cette hypothèse est d'ailleurs presque invérifiable; si l'on ajoute la détermination incertaine de l'âge, dont l'erreur peut atteindre 50 ou même 100 %, ainsi que l'incertitude sur le moment où a eu lieu la séparation, il est clair que les chiffres que nous donnons ci-après ne peuvent servir que comme une indication approximative et l'on ne doit pas s'étonner si, en procédant à des mesures, les résultats obtenus seront, en valeur numérique, tout autres. Pourtant, ce calcul approximatif a sa raison d'être, en ce qu'il attire notre attention sur les endroits où l'on doit s'attendre à pouvoir mesurer la dérive en un temps plus court.

Le tableau de la page ci-contre donne l'accroissement annuel de distance à espérer pour un nombre d'endroits intéressants.

On en déduit que c'est pour la distance séparant le Groenland et l'Europe que nous devons nous attendre à constater un accroissement plus important, de même que pour celles entre l'Islande et l'Europe et entre Madagascar et l'Afrique. Dans le cas du Groenland et de l'Islande, le mouvement étant dirigé de l'Est vers l'Ouest, la détermination des coordonnées géographiques ne nous indiquera qu'un accroissement de la différence des longitudes, celle des latitudes restant la même.

En fait, on a déjà signalé depuis quelque temps cet accroissement de la différence des longitudes entre le Groenland et l'Europe. L'histoire de cette découverte n'est pas dépourvue d'intérêt. Lorsque

DACQUÉ [171] ne me paraît pas injuste, lorsqu'il est d'avis qu'une si longue durée des anciennes périodes est en contradiction avec la puissance des dépôts. C'est ce qui le fait considérer avec quelque méfiance les méthodes radioactives. Mais, pour les périodes géologiques que nous utiliserons par la suite, périodes relativement récentes, cette question ne se pose pas.

	Distance parcourue	Durée approximative du Temps écoulé depuis la séparation	Déplacement annuel
	km	millions d'années	m
Ile Sabine — Ile des Ours	1.070	0,05 à 0,1	entre 21 et 11
Cap Farvel — Ecosse	1.780	0,05 à 0,1	> 36 et 18
Islande — Norvège	920	0,05 à 0,1	> 18 et 9
Terre-Neuve — Irlande	2.410	2 à 4	> 1,2 et 0,6
Buenos-Aires — Ville du Cap	6.220	30	0,2
Madagascar — Afrique	890	0,1	9
Inde péninsulaire — Afrique du Sud	5.550	20	0,3
Tasmanie — Terre de Wilkes	2.890	10	0,3

j'avais esquissé, dans ses premiers éléments, la théorie des translations continentales, les valeurs des longitudes obtenues par la « Danmark Ekspedition » au Nord-Est du Groenland (sous la direction de MYLIUS-ERICHSEN), à laquelle moi-même je pris part, n'étaient pas encore calculées. Je savais que l'on possédait des valeurs de longitudes pour les mêmes régions et que l'on avait relié par une chaîne de triangles l'ancienne station située sur l'île Sabine avec la nôtre située à Danmarkshavn. C'est pourquoi j'écrivis au cartographe de l'expédition, J. P. KOCH, en lui communiquant brièvement mon hypothèse des translations et lui demandant si nos déterminations de longitude différaient des anciennes dans le sens espéré. KOCH chercha les résultats provisoires des calculs et me fit part qu'il y avait, en effet, une différence de l'ordre attendu, en ajoutant toutefois qu'il ne pouvait pas croire que celle-ci puisse être attribuée à une dérive du Groenland. A l'occasion des calculs définitifs, KOCH a examiné les sources possibles d'erreurs, en tenant spécialement compte de cette hypothèse, et arriva à la conclusion que la théorie des translations est effectivement l'explication la plus plausible de la différence constatée [172] : « De ce qui précède, il résulte que les sources d'erreurs, prises séparément ou globalement, ne suffisent pas à expliquer la différence de 1.190 m que l'on constate entre les déterminations de la position de Haystack obtenues par la „Danmark Ekspedition” et la „Germaniaexpedition” (1869-1870). La seule source d'erreurs, que l'on puisse prendre en considération, ne pouvait intervenir qu'à l'occasion de la détermination astronomique des coordonnées géographiques. Mais, pour expliquer l'écart par la position défectueuse de l'observatoire, il faudrait adopter pour l'erreur vraie de la détermination astronomique de la longitude

une valeur de quatre à cinq fois plus grande que son erreur moyenne... »

Puisque la longitude du Nord-Est du Groenland avait été déjà déterminée par SABINE en 1823, nous disposons en tout de trois déterminations. Il est vrai que les mesures les plus anciennes n'avaient pas été faites au même lieu; les observations de SABINE le furent sur la côte Sud de l'île portant son nom et, malheureusement, il règne encore quelques incertitudes, quoique de peu d'importance, sur l'emplacement exact de son lieu d'observation qui n'avait pas été marqué. BÖRGEN et COPELAND firent leurs observations pendant la «Germaniaexpedition» (1870) dans la même région, mais à un lieu situé à quelques centaines de mètres plus à l'Est. Par contre, celles de KOCH furent faites beaucoup plus au Nord, à Danmarkshavn sur la Terre Germania, relié par une chaîne de triangles à l'île Sabine. KOCH rechercha avec soin l'erreur qui pouvait résulter de ce transfert et constata qu'elle était négligeable par rapport aux erreurs de la mesure de la longitude elle-même. Les observations donnent les accroissements suivants de la distance entre le Groenland et l'Europe :

Pour l'intervalle de 1823 à 1870 . . .	420 m ou 9 m par an
» 1870 à 1907 . . .	1.190 m ou 32 m »

Quant aux erreurs moyennes des trois séries d'observations, elles s'élèvent à :

124 m environ	pour l'expédition de 1823,
124 m »	» 1870,
250 m »	» 1907.

D'autre part, BURMEISTER [173] a objecté, avec raison, que dans ce cas, puisqu'il s'agit d'observations lunaires, l'erreur moyenne ne peut pas garantir la réalité du phénomène, comme dans le cas d'autres observations, et cela surtout parce que dans les observations lunaires peuvent intervenir des erreurs systématiques, — n'intervenant pas dans l'erreur moyenne —, et pouvant atteindre ou même dépasser, dans le cas le plus défavorable, le résultat obtenu. De ces observations on pouvait donc seulement conclure qu'elles cadrent parfaitement avec les hypothèses de la théorie des translations et qu'elles peuvent s'expliquer le mieux possible par elle, mais qu'elles n'ont pas encore le caractère d'une justification exacte.

Depuis, le Bureau Danois de mesure du Grade (actuellement Institut Géodésique de Copenhague) a bien voulu se saisir de la question. Pour la trancher, P. F. JENSEN [174] a procédé pendant l'été de 1922 à de nouvelles déterminations de longitude dans l'Ouest du Groenland, cette fois par la méthode plus exacte de la transmission

de l'heure par T. S. F. Des rapports sur ses résultats ont été publiés en allemand par A. WEGENER [175] et STÜCK [176]. JENSEN y a travaillé en deux directions. Il a, en premier lieu, déterminé de nouveau la longitude de la colonie de Godthaab pour comparer, pour ce cas aussi, ses résultats avec ceux des observations antérieures. Celles-ci avaient été faites en partie en 1863 (par FALBE et BLUHME), en partie pendant l'Année Internationale du Pôle en 1882/83 (par RYDER); elles ont été faites évidemment à l'aide d'observations lunaires et présentent les erreurs inhérentes à cette méthode. C'est pourquoi JENSEN les rattache à une autre détermination intermédiaire, faite en 1873, et compare cette dernière à la sienne propre, plus exacte, et exempte, avant tout, de grosses erreurs systématiques. On arrive dans ce cas aussi à un déplace-

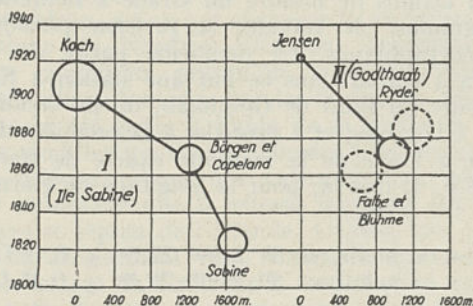


Fig. 6. — Dérive du Groenland, d'après les variations de longitude.

ment du Groenland vers l'Ouest dont l'amplitude est de 980 m pour l'intervalle de temps considéré, ou de 20 m par an.

Pour rendre plus clairs les résultats précédents, nous les avons groupés sur la fig. 6. Les rayons des cercles sont égaux, à l'échelle de l'axe des abscisses, aux erreurs moyennes exprimées en mètres; on voit de suite la précision des observations de JENSEN.

Les observations du côté gauche (I) se rapportent à l'Ile Sabine (Nord-Est du Groenland), celles de droite (II) à Godthaab (Groenland-Ouest). Ici, en dehors des données moyennes, obtenues par JENSEN à l'aide des observations antérieures, sont indiquées aussi les valeurs de 1863 et 1882/83. Les écarts de ces observations sont dirigés en sens contraire, mais vu le court intervalle de temps qui les sépare, ils ne peuvent être attribués qu'à un manque de précision des observations. Chacune de ces valeurs, comparée séparément avec la valeur de JENSEN, indique une différence de longitude

accrue. Nous avons donc, en tout, quatre différences de longitude indépendantes :

KOCH — BÖRGEN et COPELAND,
 KOCH — SABINE,
 JENSEN — FALBE et BLUHME,
 JENSEN — RYDER,

qui sont toutes dans le sens donné par la théorie des translations. Si toutes ces comparaisons pèchent par le fait d'avoir pour base, en tout ou en partie, des observations lunaires et, partant, d'être entachées d'erreurs systématiques incontrôlables, ces résultats identiques, auxquels on ne peut pas opposer des résultats contraires, rendent extrêmement improbable une accumulation hasardeuse d'erreurs d'observation maxima.

Le Bureau Danois de mesure du Grade a heureusement incluí dans son programme de travaux la revision périodique de ces coordonnées géographiques. La deuxième partie des travaux de JENSEN consista à établir dans ce but une station à Kornok, dans la partie intérieure du fjord de Godthaab, où les conditions météorologiques sont favorables, et à procéder à la première détermination de sa longitude à l'aide de la méthode exacte de transmission de l'heure par T.S.F. Il trouva, pour la longitude de Kornok en 1922, les valeurs :

à l'aide d'observ. stellaires $3^{\text{h}} 24^{\text{mn}} 22,5^{\text{s}} \pm 0,1^{\text{s}}$ O. de Gr.
 » » solaires $3^{\text{h}} 24^{\text{mn}} 22,5^{\text{s}} \pm 0,1^{\text{s}}$ O. de Gr.

Cette détermination de la longitude de Kornok a été reprise pendant l'été 1927 par le lieutenant SABEL-JÖRGENSEN [209], avec emploi du micromètre impersonnel, qui élimine les erreurs personnelles, ce qui rend possible une exactitude encore plus grande que celle des mesures de JENSEN.

Le résultat, impatientement attendu, fut (*) : Longitude de Kornok en 1927 : $3^{\text{h}} 24^{\text{mn}} 23,405^{\text{s}} \pm 0,008^{\text{s}}$ O. de Gr.

La comparaison avec la détermination de Jensen fait apparaître un accroissement de la différence de longitude avec Greenwich, c'est-à-dire de la distance entre le Groenland et l'Europe, de 0,9 secondes de temps en cinq ans ou d'environ 36 m par an.

Puisque ce résultat est neuf fois plus grand que l'erreur moyenne des observations, et qu'on n'a pas à considérer des sources de grosses erreurs systématiques dans la méthode de transmission de l'heure par T.S.F., il résulte que nous avons obtenu la preuve de la translation

*) Nous remercions vivement le Directeur de l'Institut Géodésique de Copenhague, M. le Professeur NÖRLUND, de nous avoir autorisé à publier ce résultat inédit.

actuelle du Groenland, même si l'on admet, ce qui est extrêmement improbable, que l'erreur personnelle de JENSEN puisse avoir atteint 9/10 de seconde de temps.

Les déterminations de longitude seront refaites dorénavant à Kornok tous les cinq ans, d'après la même méthode impersonnelle. Il sera intéressant d'évaluer encore plus exactement la dérive annuelle et d'établir si le mouvement de translation est uniforme ou subit des variations.

L'étude de la théorie des translations se pose sur une tout autre base grâce à cette démonstration exacte, astronomique, de la dérive continentale, qui confirme quantitativement aussi ses prévisions. Dorénavant, la question de son exactitude fondamentale ne se pose plus, l'intérêt est reporté sur la formulation et l'étude de l'exactitude de ses détails.

Les choses se passent un peu moins favorablement, comme le montre notre tableau, en ce qui concerne la variation de la distance entre l'Amérique du Nord et l'Europe. Toutefois, on est dans de meilleures conditions puisqu'on n'est pas obligé de tenir compte d'observations lunaires, car les anciennes déterminations de longitude avaient été faites à l'aide de la méthode télégraphique. Par contre, la modification de coordonnées à envisager n'est que très petite. Notre tableau indique une valeur de 1 m par année; mais ce chiffre ne représente que la vitesse moyenne depuis le moment où Terre-Neuve se sépara de l'Irlande. Depuis, une modification de la direction du mouvement de l'Amérique doit avoir eu lieu à cause du détachement du Groenland, modification qui persiste probablement à notre époque, le mouvement actuel de l'Amérique du Nord consistant en une dérive de son socle vers le Sud. Le fait résulte des positions relatives actuelles des côtes correspondantes du Labrador et du Groenland Sud-Ouest; elle est aussi confirmée par la direction de la faille produite par le tremblement de terre de San Francisco, de même que par le commencement de refoulement de la presqu'île californienne. Dans ces circonstances, il est très difficile de dire quel est l'accroissement actuel de distance à espérer; en tout cas il doit être inférieur à 1 m par an.

En confrontant les résultats des mesures de longitudes effectuées en 1866, 1870 et 1892 par la méthode du télégraphe, j'avais conclu à un accroissement annuel effectif de distance de 4 m. Mais, selon GALLE [177], ce résultat serait dû à une mauvaise confrontation des mesures. Ces confrontations sont difficiles parce que les mesures antérieures ne se rapportent pas aux mêmes localités d'Amérique et d'Europe. Il fallait donc tenir compte des différences de longitude entre localités à l'intérieur du même continent. Puisque pour ces différences l'on obtient des valeurs un peu différentes suivant le procédé que l'on emploie, une imprécision des résultats est inéluctable. Peu de temps avant la guerre une nouvelle détermination

des différences de longitude avec l'Amérique avait été entreprise, en considération de notre hypothèse; les résultats devaient être contrôlés à l'aide de la T.S.F. Malgré le fait que, par suite de la destruction du câble transatlantique dès le début de la guerre, la détermination a été interrompue prématurément et que, partant, le résultat ne peut pas prétendre avoir toute la précision désirable, il nous semble qu'on peut en déduire que la variation est trop petite pour être constatée dès maintenant. On a trouvé notamment pour la différence de longitude entre Cambridge et Greenwich les chiffres suivants [178] :

en 1872	4 ^h 44 ^{mn} 31,016 ^s ,
1892	4 ^h 44 ^{mn} 31,032 ^s ,
1914	4 ^h 44 ^{mn} 31,039 ^s .

Nous avons laissé de côté la détermination que nous avons obtenue à l'aide des données de 1866, dont la valeur était de 4^h 44^{mn} 30,89^s, considérée comme trop inexacte.

Depuis 1921 on a procédé, à l'aide de la méthode des signaux radiotélégraphiques, à la détermination de la différence de longitude entre l'Europe et l'Amérique du Nord; ces mesures continuent. WANACH [179] a publié une discussion de celles effectuées jusqu'en 1925. Puisqu'il ne s'agit que de mesures se rapportant à un intervalle de 4 ans, il n'est pas étonnant qu'on ne puisse pas mettre clairement en évidence, grâce à ces observations, l'existence d'un accroissement de distance. Pourtant, elles ne parlent pas contre un pareil accroissement; par contre, si on les réunit, il résulte un déplacement annuel de l'Amérique vers l'Ouest dont l'amplitude est de 0,6 m, en tout $\pm 2,4$ m. WANACH conclut : « En attendant, on peut affirmer seulement qu'il est très improbable que la valeur de la translation éventuelle de l'Amérique par rapport à l'Europe puisse dépasser d'une manière appréciable 1 m par an ». L'opinion de BRENNECKE [229] est analogue : « Le matériel obtenu ne parle pas en faveur de translations continentales ayant l'ampleur considérée, mais n'est aucunement en opposition avec cette théorie. La décision est donc à attendre. » Il faut remarquer que depuis l'introduction de la méthode radiotélégraphique, les anciennes déterminations, obtenues à l'aide du câble télégraphique, sont laissées de côté. On justifie cette omission en raison de l'imprécision beaucoup plus grande de ces dernières. Mais il se pourrait que le manque de précision disparaisse par suite du long intervalle pour lequel les déterminations télégraphiques existent, et que cela vaille la peine de comparer les anciennes mesures aux récentes. Ce problème doit être réservé aux géodèses. Nous ne doutons pas qu'il nous sera permis de mesurer, dans un temps pas trop éloigné, la dérive exacte de l'Amérique du Nord par rapport à l'Europe.

On a constaté aussi, récemment, une modification des coordonnées géographiques pour Madagascar. La longitude de l'Observatoire de Tananarive a été déterminée à l'aide des culminations de la lune en 1890 et, après la destruction et reconstruction de l'Observatoire au même endroit, par la méthode radiotélégraphique en 1922 et 1925 [180]. D'après une aimable communication de M. le Professeur CH. MAURAIN, les positions sont les suivantes :

Année	Observateur	Méthode	Long. E. de Gr.
1889-1891	P. COLIN	Culminations lunaires	3h 10 ^{mn} 7 ^s
1922	P. COLIN	T. S. F.	3h 10 ^{mn} 13 ^s
1925	P. POISSON	T. S. F.	3h 10 ^{mn} 12,4 ^s

Ces valeurs indiquent un déplacement annuel de Madagascar par rapport au méridien de Greenwich de l'ordre de 60 à 70 m. Dans notre tableau de la page 25 nous avons trouvé un chiffre sensiblement inférieur pour le déplacement par rapport à l'Afrique. Il en résulterait que l'Afrique du Sud se déplace aussi vers l'Est par rapport à Greenwich, mais on ne peut pas se prononcer utilement sur cette question à l'aide de la théorie des translations en raison de la grande distance séparant les deux dernières régions. Il serait souhaitable que dorénavant l'on observe de près aussi les longitudes de l'Afrique du Sud, pour pouvoir contrôler, de cette manière, la distance entre Madagascar et l'Afrique du Sud qui présente de l'intérêt pour la théorie des translations. Il serait nécessaire aussi de procéder à de bonnes déterminations périodiques des latitudes des deux régions, pour pouvoir suivre numériquement, dans le temps, l'autre composante du mouvement relatif de Madagascar par rapport à l'Afrique. De toute façon, la modification constatée de longitude de Madagascar a lieu. Il faut, bien entendu, remarquer que la première détermination a été faite, dans ce cas également, à l'aide de la lune, ce qui donne lieu à des critiques analogues à celles soulevées à l'occasion des mesures effectuées au Groenland. Mais, le déplacement total, qui atteint dans le cas de Madagascar presque 2 1/2 km, est tellement grand, que l'hypothèse qu'il puisse être attribué seulement à des erreurs d'observation, est tout à fait improbable. Pour Madagascar aussi, on a pris des dispositions afin que les déterminations soient répétées; il faut donc espérer que nous aurons sous peu, de ce côté aussi, des résultats qui ne prêtent pas à critique.

On a établi à l'occasion du Congrès des Géodèses, tenu à Madrid en 1924, et de la Session de 1925 de l'Union Astronomique Internationale, un vaste plan pour l'étude des déplacements continentaux à l'aide de la détermination radiotélégraphique des longitudes.

D'après le plan adopté, des mesures seront faites non seulement en ce qui concerne l'Europe et l'Amérique du Nord, mais aussi à Honolulu et dans l'Asie orientale, l'Australie et l'Indo-Chine. On a exécuté la première série de déterminations de ce plan pendant l'automne 1926; les résultats français viennent d'être résumés par G. FERRIÉ [213]. Il est évident que des modifications éventuelles de longitude n'apparaîtront qu'à l'occasion des déterminations ultérieures. On n'a d'ailleurs tenu compte que très peu, dans l'établissement de ce plan, des régions où, d'après la théorie des translations, on doit espérer trouver des modifications appréciables. Toutefois, l'exemple du Groenland et de Madagascar laissent espérer que le plan des observations sera modifié en conséquence.

En tout cas, on voit que la vérification de la théorie des translations, à l'aide de multiples déterminations répétées de coordonnées géographiques, est en marche et que les premières preuves de son exactitude sont déjà obtenues.

Pour en finir, rappelons les modifications de latitude constatées depuis longtemps dans les observatoires européens et nord-américains.

D'après GÜNTHER [181], A. HALL considérait comme certaines les *diminutions* de latitude suivantes :

Pour Paris 1,3'' en 28 ans; pour Milan 1,51'' en 60 ans; pour Rome 0,17'' en 56 ans; pour Naples 1,21'' en 51 ans; pour Königsberg (Prusse) 0,15'' en 23 ans; pour Greenwich 0,51'' en 18 ans. D'après KOSTINSKY et SOKOLOV, une diminution séculaire a été constatée pour la latitude de Poulkova. A ces diminutions il faut ajouter celle de Washington ayant atteint 0,47'' en 18 ans.

Comme l'on avait découvert que des erreurs systématiques de cet ordre de grandeur pouvaient être dues à des réfractions dans la coupole, on avait été enclin, pendant longtemps, à mettre sur leur compte toutes les diminutions précédentes.

Toutefois, récemment, de nombreuses voix affirment que ces variations traduisent un phénomène réel, surtout après que LAMBERT [182] eût montré que la latitude d'Ukiah en Californie et celles d'autres stations nord-américaines subissent actuellement des variations certaines. Dans un travail récent, LAMBERT [221] dit : « Les stations internationales (du Service des Latitudes) ne sont pas les seules où sont intervenues de surprenantes variations de latitude. La latitude de Rome a varié, selon toute apparence, de 1,45'' depuis 1855. Il serait souhaitable de procéder à une étude systématique de ces anomalies ».

Pourtant, il est surprenant de constater que la variation actuelle de la latitude d'Ukiah a lieu en un sens opposé à celui des modifications indiquées ci-dessus; en réalité, la latitude d'Ukiah croît.

L'explication de ces modifications de la latitude est rendue assez difficile par le fait qu'elles peuvent être l'effet soit des translations

continentales, soit du déplacement du pôle, celui-ci n'entraînant pas nécessairement comme résultat une modification de la différence des longitudes des continents. Comme nous le montrerons avec plus de détails par la suite, on a pu constater, par les mesures du Service International des Latitudes, un déplacement actuel du pôle Nord grâce auquel celui-ci se dirige vers l'Amérique du Nord, d'où un accroissement de la latitude des stations nord-américaines. Pourtant, l'amplitude de ce déplacement est inférieure, d'après les résultats connus, aux accroissements de latitude observés en Amérique du Nord. Si l'on n'arrive donc pas à prouver, par la suite, que l'intensité du mouvement du pôle est plus grande que celle admise à présent, on pourra conclure que l'Amérique du Nord dérive, par rapport au reste de la surface de la terre, vers le Nord, — ce qui serait surprenant, parce

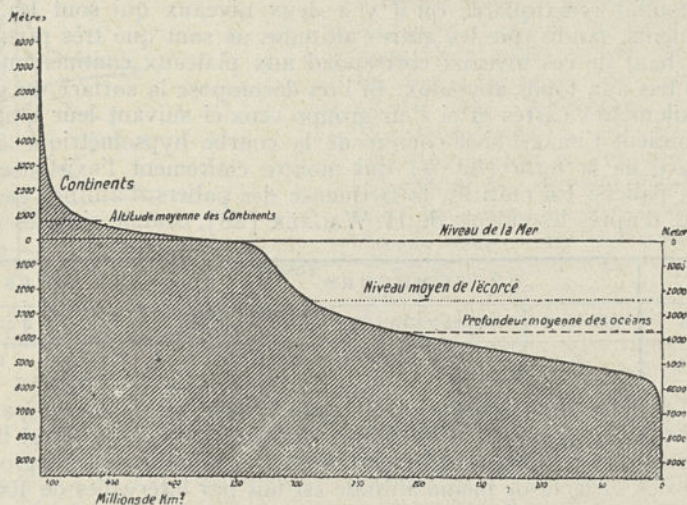


Fig. 7. — Courbe hypsométrique (*) de la surface de la terre, d'après KRÜMMEL.

que certains faits indiqueraient plutôt un déplacement de son socle vers le Sud. L'explication complète de ces questions ne sera possible qu'après une longue suite d'observations nombreuses. Il est d'ailleurs douteux, dans ces circonstances, que l'on puisse jamais donner une explication claire des modifications de coordonnées qui eurent lieu jadis.

*) Nous avons conservé le terme « hypsométrique » de l'édition allemande, malgré le fait qu'on a tendance à employer le terme « hypsographique ». (Note du Traducteur.)

CHAPITRE IV.

ARGUMENTS GÉOPHYSIQUES.

La statistique des altitudes de la croûte terrestre met en lumière le résultat remarquable qu'il y a deux niveaux qui sont les plus fréquents, tandis que les autres altitudes ne sont que très rares. Le plus haut de ces niveaux correspond aux plateaux continentaux, le plus bas aux fonds abyssaux. Si l'on décompose la surface du globe en kilomètres carrés et si l'on groupe ceux-ci suivant leur altitude, on obtient l'image bien connue de la courbe hypsométrique de la surface de la terre (fig. 7) qui montre clairement l'existence des deux paliers. En chiffres, la fréquence des paliers d'altitude se présente, d'après les calculs de H. WAGNER [28], comme ci-après (*) :

km	PROFONDEURS							HAUTEURS			
	plus de 6	5 à 6	4 à 5	3 à 4	2 à 3	1 à 2	0 à 1	0 à 1	1 à 2	2 à 3	3 et plus
%	1,0	16,5	23,3	13,9	4,7	2,9	8,5	21,3	4,7	2,0	1,2

La suite des fréquences est mieux mise en évidence par la courbe de fréquence (fig. 8) due à TRABERT [31] laquelle est basée sur d'anciennes mesures, peu différentes des précédentes. Le groupement des surfaces de même altitude est fait par intervalles de 100 m. ce qui a pour conséquence que les fréquences des pourcentages des différents paliers ne sont que le dixième environ de ceux du tableau. Les deux maxima tombent sur cette répartition à une profondeur d'environ 4.700 m et à une hauteur de 100 m.

On doit remarquer, à propos des chiffres ci-dessus, que le nombre de plus en plus grand de sondages met en évidence la pente abrupte du talus continental séparant le bord du socle continental du fond océanique. On le voit clairement en comparant les anciennes cartes bathymétriques avec celles récemment dressées par GROLL

*) On a pris comme base, pour l'établissement du tableau ci-dessus, les mesures obtenues par KOSSINNA [29]; par contre, les figures se rapportent aux valeurs plus anciennes de KRÜMMEL [30] et TRABERT [31], qui ne diffèrent de celles-là que de très peu.

[32]. Tandis que TRABERT avait trouvé en 1911 pour les surfaces correspondant à l'intervalle de profondeur de 1 à 2 km un pourcentage de 4,0 % de la surface de la terre et pour celui de 2 à 3 km un pourcentage de 6,5 %, nous trouvons chez WAGNER, dont les fréquences ont été obtenues en définitive à l'aide des cartes bathymétriques de GROLL, pour les mêmes paliers, les chiffres de 2,9 et 4,7 % respectivement. Aussi, peut-on bien s'attendre à ce que, grâce aux sondages futurs, l'on voie dans l'avenir les maxima de fréquence s'accuser davantage.

Il n'y a pas, dans toute la Géophysique, de loi plus claire et plus

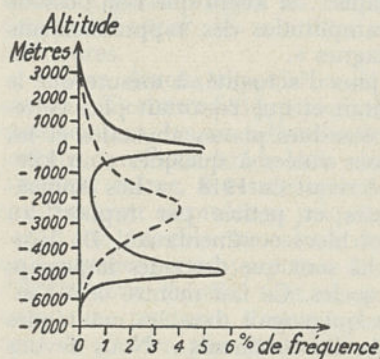


Fig. 8. — Les deux maxima de fréquence altitudinaire.

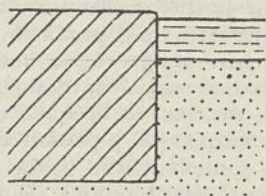


Fig. 9. — Coupe schématique d'un bord continental.

Traits interrompus horizontaux
= Eau.

courbe de fréquence présente deux maxima, son allure au voisinage de ceux-ci étant analogue à celle d'une courbe de GAUSS au voisinage de son maximum. Nous en concluons qu'il doit y avoir eu deux niveaux initiaux de départ et nous sommes conduits, inévitablement, à admettre que les continents et les sols sous-océaniques constituent deux couches distinctes de l'écorce terrestre qui se comportent — en

Il n'y a pas, dans toute la Géophysique, de loi plus claire et plus sûre que celle que nous avons énoncée sur l'existence de deux altitudes privilégiées qui interviennent dans le voisinage l'une de l'autre, l'une sur les aires continentales, l'autre en mer profonde. Cette loi étant bien connue depuis assez longtemps, il est très étonnant qu'on n'en ait presque jamais cherché l'explication. Si, comme l'expliquent d'habitude les géologues, les hauteurs étaient dues à des soulèvements et les profondeurs à des affaissements, à partir d'un niveau initial commun, il serait alors naturel d'admettre que les fréquences soient d'autant plus petites que l'on s'éloigne du niveau initial; elles suivraient la loi de répartition des erreurs de GAUSS, et la courbe de fréquence devrait être une courbe analogue à celle représentée en traits interrompus sur la fig. 8. Elle devrait présenter un seul maximum pour l'altitude correspondant au niveau moyen de la croûte terrestre (c'est-à-dire pour — 2.450 m).

Au lieu de cette forme, la

grossissant un peu notre image — comme des icebergs tabulaires et l'eau qui les baigne. La fig. 9 représente une coupe verticale schématique d'un bord continental, d'après cette nouvelle conception.

Nous avons ainsi obtenu, pour la première fois, une solution plausible du vieux problème des rapports entre les grands bassins océaniques et les aires continentales. A. HEIM [33] avait déjà fait en 1878 une allusion à ce problème lorsqu'il écrivait : « Nous ne devons pas nous attendre à constater un progrès palpable dans la connaissance des relations causales entre les continents et montagnes et leurs formes, avant que l'on ait fait des observations plus précises sur les oscillations continentales de jadis... et avant que l'on possède des données plus précises sur les amplitudes des rapprochements compensés de la plupart des montagnes ».

Le problème devint de plus en plus d'actualité, à mesure que le nombre de sondages marins augmentait et que ressortait plus nettement le contraste entre les grandes étendues planes abyssales et les aires continentales, planes aussi, mais situées à quelques cinq kilomètres plus haut. E. KAYSER [34] écrivait en 1918 : « Les éminences terrestres paraissent insignifiantes et petites par rapport au volume de ces colosses de pierre (les blocs continentaux). De hautes montagnes, comme l'Himalaya, ne sont que des rides imperceptibles à la surface extérieure de ces socles. Ce fait montre déjà l'inconsistance de l'ancienne conception qui voyait dans les montagnes les éléments essentiels de la charpente des continents... Nous devons plutôt admettre, au contraire, que les continents sont les configurations primordiales et déterminantes, les montagnes n'étant que des formations accessoires plus récentes ».

La solution que donne à ce problème la théorie des translations continentales est tellement simple et immédiate, qu'il paraît inconcevable d'admettre qu'on puisse s'y opposer. Malgré cela, quelques adversaires de la théorie des translations ont essayé de donner une autre explication de l'existence des deux maxima de fréquence altitudinaire, mais ils ont échoué. Ainsi, SOERGEL [35] pensait que si l'on partait d'un seul niveau initial, en soulevant une partie et en abaissant une autre, la partie intermédiaire étant rendue de moindre section transversale par un redressement vertical, il devrait alors y avoir deux maxima de fréquence correspondant à la partie soulevée et à la partie abaissée. De même, G. V. et A. V. DOUGLAS [36] pensaient que si la surface initiale avait pris, grâce à un plissement, la forme d'une surface d'ondes sinusoidales, deux maxima de fréquence auraient dû alors apparaître, l'un pour le creux, l'autre pour le ventre de la surface. Ces deux considérations pèchent par la même erreur fondamentale en ce qu'elles confondent le phénomène individuel avec le résultat statistique. En effet, pour celui-ci la forme géométrique individuelle n'a aucune importance. Ce qu'il s'agit de savoir c'est seulement si les différences de niveau d'un nombre infi-

niment grand de soulèvements et d'abaissements — d'après l'expression de SOERGEL — ou de plissements — d'après l'expression des DOUGLAS —, *différences de niveau évidemment variables*, ont réellement deux maxima de fréquence. Il est évident que ce fait ne peut se présenter que si l'on admet l'existence de quelque tendance ayant pour effet de favoriser certains niveaux au détriment des autres. Or ce n'est pas le cas, car la seule règle que nous connaissions en ce qui concerne les soulèvements et les affaissements, est que ceux-ci sont d'autant plus rares qu'ils sont plus grands. Il en résulte que leur fréquence maxima ne peut avoir lieu que dans le voisinage du niveau initial, à partir duquel les fréquences décroissent d'après la loi de GAUSS, et pour les altitudes supérieures, et pour les altitudes inférieures.

Nous devons rappeler aussi que certains auteurs, comme par exemple TRABERT [31], étaient d'avis que les grands bassins océaniques seraient dus au refroidissement plus intense de la couche sous-jacente par l'eau froide des mers profondes. Mais, des calculs de TRABERT même, il résulte que l'on est obligé d'admettre que le refroidissement se prolonge jusqu'au centre de la terre. Comme ce fait paraît inadmissible, les calculs de TRABERT tendent plutôt à infirmer qu'à justifier cette hypothèse. D'autre part, il est facile de voir que, d'après cette théorie, tout ce que l'on peut affirmer c'est qu'il y aurait une tendance à ce que les zones abyssales actuelles deviennent de plus en plus profondes. Comme l'a fait ressortir récemment NANSEN [222], elle n'explique ni le niveau du sol sous-océanique presque le même dans tous les océans, ni l'existence du deuxième maximum de fréquence altitudinaire de la croûte terrestre. En fait, on ne se rapporte plus que très rarement à cette explication, que l'on doit à FAYE, surtout depuis que, grâce à la découverte du radium dans la croûte terrestre, la base de l'examen du problème du maintien de la température de la terre est devenue tout autre.

Il sera évidemment nécessaire de nous garder, dès maintenant, de schématiser à l'excès cette nouvelle façon de concevoir la nature du sol sous-océanique.

Ainsi, nous devons prendre en considération, en pensant à l'image des icebergs tabulaires flottant sur l'eau, que la surface libre de la mer comprise entre plusieurs de ceux-ci peut se couvrir de glace fraîche ou de fragments d'iceberg provenant soit de leurs bords émergés, soit de leurs bases assez profondément immergées. Des circonstances analogues se retrouveront évidemment en certains endroits des fonds océaniques. La plupart des îles sont probablement des fragments de continents dont les bases sont enfouies jusqu'à une cinquantaine de kilomètres au-dessous des océans, comme le prouvent les mesures de l'intensité de la pesanteur. De plus, nous devons tenir compte du fait que les socles continentaux, malgré leur raideur superficielle, sont plastiques vers leur base; là ils peuvent s'étendre

comme une masse de pâte de puissance relativement petite, recouvrant de matériaux d'origine continentale des étendues plus ou moins grandes du fond océanique. C'est surtout le fond de l'Océan Atlantique qui doit apparaître comme recouvert, dans ce sens, d'« impurétés », puisqu'il présente un seuil sur toute sa longueur. Des phénomènes analogues apparaissent aussi dans les autres bassins océaniques qui sont pourvus d'îles et d'éminences sous-marines. Nous reviendrons sur certains détails dans le chapitre concernant le fond des océans.

Il n'est pas inconcevable que, par la suite, le schéma que nous avons ébauché apparaisse aux chercheurs comme une image grossière et que l'expression exacte des conditions réelles entraîne des complications. Ainsi, en étudiant statistiquement les premiers résultats des sondages acoustiques obtenus par des observateurs américains à travers l'Atlantique, nous avons constaté [37], pour cette région, l'existence d'un maximum principal de fréquence altitudinaire pour une profondeur de 5.000 m (donc pour une profondeur plus grande que celle trouvée ci-dessus), ainsi que d'un maximum secondaire pour une profondeur de 4.400 m. Sur l'existence réelle de ce dernier maximum on aura une réponse définitive seulement lorsqu'on aura analysé, de ce point de vue, les sondages par le son, beaucoup plus nombreux, effectués par l'expédition allemande du « Meteor ».

On doit se demander, évidemment, si la conception de la dissemblance fondamentale entre les socles continentaux et le sol sous-océanique ainsi que la théorie des translations horizontales des premiers sont compatibles avec les lois de la Géophysique et si celle-ci permet une confirmation de leur exactitude.

En ce qui concerne la théorie, déjà mentionnée, de l'Isostasie, celle-ci cadre évidemment avec les notions de la théorie des translations, mais on ne doit pas s'attendre à ce qu'elle en permette une justification directe. Nous allons examiner de plus près, dans ce qui suit, les résultats des recherches géophysiques.

La théorie de l'Isostasie que nous devons à PRATT (le nom n'a été introduit qu'en 1892 par DUTTON) est prouvée, du point de vue physique, par les mesures de l'intensité de la pesanteur. Déjà en 1855, PRATT avait constaté que l'Himalaya n'exerce pas sur la direction de la pesanteur l'action à laquelle on devait s'attendre; d'après KOSSMAT, à Kaliana, située dans la plaine du Gange, à 56 milles anglais du pied de la chaîne, la composante Nord de la déviation de la verticale n'est que d'une seconde d'arc, tandis que l'attraction de la montagne aurait dû produire une déviation de 58 secondes; de même à Jalpaiguri la déviation est encore d'une seconde, au lieu d'être de 77 secondes. Cette anomalie fut constatée, par la suite, au voisinage de toutes les chaînes de montagnes où la déviation de la direction de la pesanteur n'a pas l'amplitude à laquelle on devrait s'attendre, si bien que les masses de celles-ci paraissent être compen-

sées, en quelque sorte, par un défaut de masse souterraine comme l'avaient montré les travaux d'AIRY, FAYE, HELMERT, etc., mis au point dans le très clair exposé de KOSSMAT [38]. D'autre part, sur les océans on a pu constater que la pesanteur a presque sa valeur normale, malgré le défaut évident de masse que présentent les bassins océaniques. Les mesures antérieures faites sur des îles avaient donné lieu, il est vrai, à des interprétations différentes. Mais, les doutes ont été écartés depuis que HECKER, suivant la suggestion de MOHN, a entrepris la mesure de l'intensité de la pesanteur à bord de navires en marche à l'aide de la méthode de la lecture simultanée des indications du baromètre à mercure et du thermomètre à ébullition. Récemment, le géodèse hollandais VENING-MEINESZ a même réussi [39] à employer la méthode plus exacte de mesure à l'aide du pendule à bord des sous-marins en plongée. Les résultats obtenus pendant les premières croisières qui ont utilisé cette méthode confirment

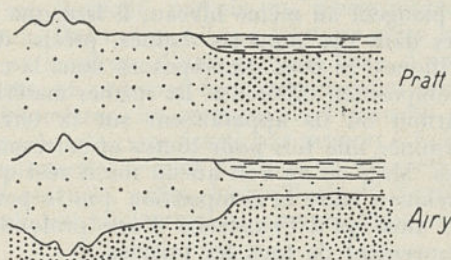


Fig. 10. — L'isostasie, d'après PRATT et AIRY.

pleinement ceux de HECKER, d'après lesquels l'isostasie est vérifiée aussi, dans ses grandes lignes, sur les océans, ce qui revient à admettre que le défaut de masse apparaissant dans les bassins océaniques semble être compensé par quelque excès de masse souterraine.

On a fait, jusqu'à présent, différentes suppositions sur la manière dont on devait concevoir ces excès et défauts de masse souterraine.

PRATT se figurait l'écorce terrestre comme une pâte primitivement d'épaisseur uniforme, qui en levant, en quelque sorte, s'est gonflée en certains endroits donnant naissance aux continents, les parties comprimées formant les zones océaniques. Le poids spécifique de la croûte terrestre serait donc d'autant plus petit que l'endroit correspondant aurait une altitude plus grande. Il y aurait une surface d'équilibre à une profondeur d'environ 120 km, au dessous de laquelle n'existeraient plus des variations horizontales du poids spécifique (Cf. fig. 10). Cette idée fut développée par HELMERT et HAYFORD et adoptée généralement pour l'analyse des observations gravifiques. Son représentant actuel est surtout W. BOWIE

[224] qui l'explique par l'expérience suivante : Il fait flotter sur du mercure un certain nombre de prismes taillés dans des matériaux divers de poids spécifiques différents (cuivre, fer, zinc, pyrite, etc.). Les hauteurs de ces prismes sont choisies de manière à ce qu'ils s'enfoncent tous à la même profondeur. Leurs bases inférieures appartiennent à la surface d'équilibre des pressions et, à cause de leurs poids spécifiques différents, les prismes ne s'élèvent pas uniformément au-dessus du mercure, les plus denses s'élevant le moins, les moins denses le plus. Cette explication de la variation de la pesanteur trouve un certain appui dans le fait que l'on a constaté que le poids spécifique des roches est en général d'autant plus faible que la hauteur au-dessus du niveau de la mer d'où elles proviennent est plus grande. Mais, l'idée que la différence de densité n'existerait que jusqu'à une certaine profondeur, celle de la surface d'équilibre, contient une improbabilité du point de vue physique, comme on peut le voir par l'expérience de BOWIE. En effet, pour que les bases inférieures de ces différents prismes plongent au même niveau, il faut que leurs hauteurs soient entre elles dans des rapports donnés, précis, déterminés par leurs poids spécifiques. Si nous décomposons donc la croûte terrestre en prismes de composition différente, les mêmes matériaux devraient alors avoir, partout où ils apparaissent sur la terre, une même puissance, déterminée une fois pour toutes et correspondant à leurs poids spécifiques. Mais on ne voit aucun motif réel qui fasse croire à une pareille relation entre la composition (ou le poids spécifique) et la puissance, ainsi qu'à l'existence d'une profondeur unique et identique d'enfoncement de tous les prismes.

Certains géodèses, comme SCHWEYDAR [40] et HEISKANEN [41, 42] ont récemment employé, pour expliquer les variations de la pesanteur, une conception émise déjà en 1859 par AIRY, et indiquée aussi sur la fig. 10. HEIM fut certainement le premier à supposer que, sous les chaînes de montagnes, l'écorce de densité moindre est plus épaisse qu'ailleurs, et qu'elle y refoule plus profondément le lourd magma. Au contraire, aux endroits où la surface extérieure de l'écorce est plus profonde, comme dans les bassins océaniques, l'écorce devrait être très mince. D'après cette conception il n'y aurait donc que deux matériaux : Une écorce de petite densité et le magma sous-jacent plus dense. BOWIE met en évidence cette conception par une expérience analogue à la précédente. Cette fois les prismes flottant sur le mercure sont taillés dans la même substance; par conséquent, ils ne s'enfoncent pas uniformément. Le plus long prisme s'enfonce le plus, mais, en même temps, sa base supérieure est celle qui émerge le plus.

On a fait ressortir que la conception d'AIRY convient mieux que celle de PRATT pour expliquer, du point de vue géologique, la forme de la croûte terrestre, surtout en ce qui concerne la formation des grands plis. Cependant elle n'explique pas l'existence des deux

maxima de fréquence altitudinaire, car on ne voit pas pourquoi l'épaisseur de la croûte légère aurait, parmi toutes les valeurs possibles, deux valeurs privilégiées, une grande, — correspondant aux socles continentaux —, et une autre, petite, — correspondant aux bassins océaniques.

L'explication correcte pourrait être trouvée en combinant les deux conceptions : Dans le cas des montagnes on a à faire à des épaissements de l'écorce légère, dans le sens d'AIRY; mais, entre les socles continentaux et le sol sous-océanique il y a une différence de constitution, dans le sens de PRATT.

Le développement actuel de la théorie de l'isostasie se rapporte surtout à la question de l'étendue de son domaine d'application. Pour de vastes surfaces, telles qu'un continent ou un fond océanique entiers, par exemple, l'isostasie doit être admise sans plus. Pour de petits détails, une montagne seule par exemple, la loi n'est plus applicable. De petits accidents pareils peuvent être supportés par le socle grâce à son élasticité, comme une pierre placée sur un glaçon flottant sur l'eau. Dans ce cas il y a isostasie entre le système formé par le glaçon et la pierre d'une part, et l'eau d'autre part. Ainsi, sur les continents, en présence de masses dont les dimensions ont des centaines de kilomètres, les mesures de l'intensité de la pesanteur n'indiquent que de très rares écarts par rapport à la loi de l'isostasie; si elles ont seulement quelques dizaines de kilomètres la compensation n'est que partielle; enfin, lorsqu'il s'agit d'accidents mesurant seulement quelques kilomètres la compensation est généralement absente.

Que l'on se base sur la conception plus ancienne de PRATT ou sur celle d'AIRY et HEISKANEN, la discussion des résultats des mesures de l'intensité de la pesanteur sur les océans, ne laissant subsister aucune trace du défaut évident de masse, nous conduit à la conclusion que le sol sous-océanique doit consister en roches plus denses, plus lourdes que celles dont sont formées les socles continentaux. On ne peut guère voir, par cette voie, si cette densité plus grande est due seulement aux conditions physiques ou si elle est due aussi à une composition différente des deux couches; mais cette dernière éventualité est plus probable, comme on peut le voir par des évaluations ayant à leur base certaines hypothèses plausibles.

La théorie de l'isostasie fournit un critère en ce qui concerne la possibilité de la translation des continents. Nous avons déjà signalé les mouvements isostatiques oscillatoires autour de la position d'équilibre, dont le plus bel exemple est le soulèvement actuel de la Scandinavie dont l'amplitude est d'environ 1 m par siècle. Ce mouvement doit être considéré comme une conséquence de l'allègement de celle-ci grâce à la fusion, il y a plus de 10.000 ans, de la calotte glaciaire qui la recouvrait, surtout parce que l'on constate que le soulèvement actuel le plus intense a lieu là où la glace est disparue le plus tard.

On le voit très bien sur la carte (fig. 11) dressée par WITTING et reproduite d'après BORN [43]. Ce dernier a montré que pour cette région en soulèvement la pesanteur présente — si l'on se rapporte aux mesures faites, d'ailleurs en nombre insuffisant — un écart en moins (Cf. fig. 12), ce qui doit effectivement avoir lieu si la croûte y est encore au-dessous de sa position d'équilibre. NANSEN [222] a donné une description très détaillée de toutes les cir-

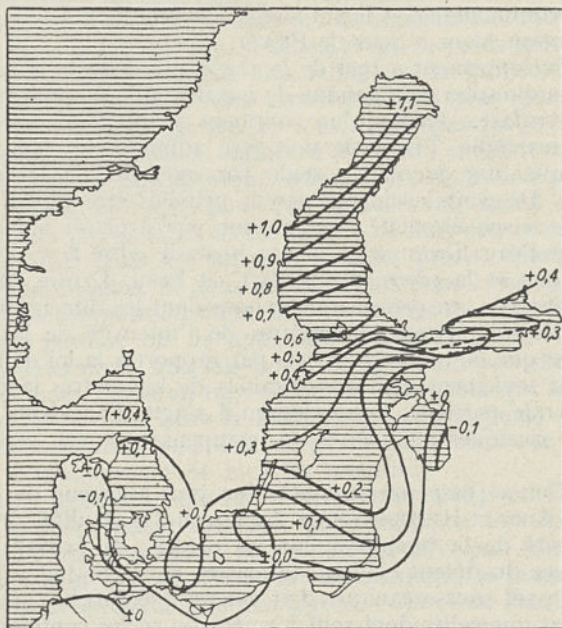


Fig. 11. — Soulèvement actuel de la région baltique compte tenu des nivellements (cm/année), d'après WITTING.

constances se rapportant à ce soulèvement de la Scandinavie; la plus grande dépression mesurait 284 m d'après les traces de rivage sur les côtes de l'Angermanland et était probablement de 300 m à l'intérieur des terres. Ce soulèvement a commencé, à une allure lente, il y a environ 15.000 ans et a atteint son maximum de vitesse, approximativement 0,1 m par an, il y a 7.000 ans. Actuellement, la vitesse décroît. On évalue à 2.300 m l'épaisseur centrale de l'ancienne couche glaciaire. Ces mouvements verticaux de grandes étendues de la croûte terrestre présument évidemment des mouvements d'écoulement dans la base sous-jacente, les matériaux refoulés devant se dis-

perser vers l'extérieur. Ce fait est confirmé par la découverte, faite presque simultanément par BORN, NANSEN, A. PENCK et KÖPPEN (voir pour la bibliographie [43]), que la zone de dépression de l'inlandsis est entourée par une région annulaire dont le soulèvement est moindre, attribuable justement à l'ancien refoulement vers l'extérieur

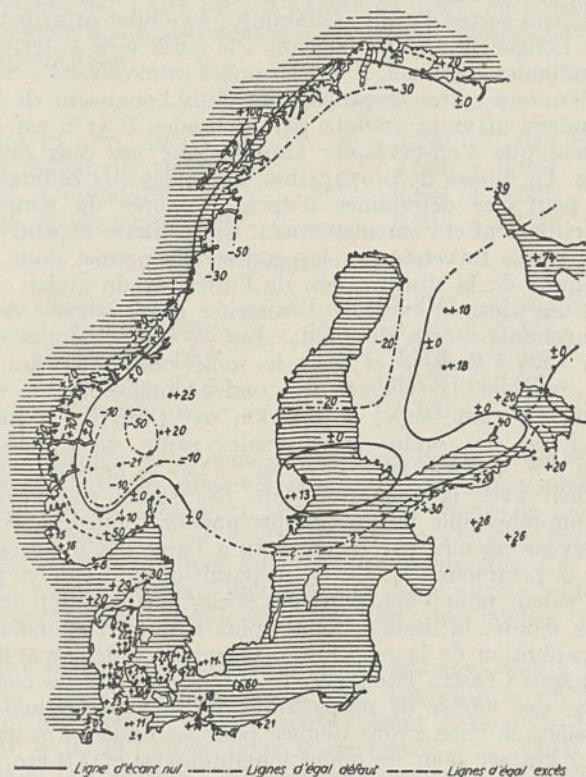


Fig. 12. — Anomalies de la pesanteur en Scandinavie, d'après BORN.

du matériel sous-jacent. De toute façon, l'isostasie se base sur l'idée que le support de la croûte est à un certain degré fluide ou presque liquide. S'il en est ainsi, c'est-à-dire si les socles continentaux flottent réellement dans un fluide, fût-il même très visqueux, il n'y a aucun motif d'admettre qu'ils ne puissent se mouvoir que verticalement, les mouvements horizontaux étant exclus. Ceux-ci sont d'autant plus probables qu'il existe des forces qui s'exercent pendant des durées

comparables à celles des périodes géologiques et qui tendent à les faire se déplacer horizontalement, comme le montrent les transports en masse des plis terrestres.

Les résultats des récentes recherches sismologiques, dont GUTENBERG [44, 45] a donné des aperçus généraux en plusieurs endroits, sont très importants du point de vue de notre problème.

Il y a trois sortes d'ondes sismiques : les ondes principales retardataires « Longae, L » se propageant à la surface de la terre, les ondes longitudinales « Primae, P » et les ondes transversales « Secundae, S », les dernières sortes se propageant dans l'épaisseur de l'écorce. La profondeur maxima atteinte par les ondes P et S est d'autant plus grande que l'observatoire sismologique est plus éloigné de l'épicentre. La vitesse de propagation des ondes aux différentes profondeurs peut être déterminée d'après la durée du temps écoulé entre l'ébranlement et l'enregistrement. Cette vitesse dépend de la nature des terrains traversés par les ondes, elle permet donc de nous rendre compte de la stratification de l'intérieur du globe.

On a mis ainsi en évidence l'existence d'une surface de séparation remarquable, sorte de délit, situé à une profondeur de 50 à 60 km sous l'Eurasie et sous le socle nord-américain, au niveau de laquelle la vitesse des ondes longitudinales saute de $5 \frac{3}{4}$ km/sec (lim. sup.) à 8,0 km/sec (lim. inf.), de même que la vitesse des ondes transversales saute de $3 \frac{1}{3}$ km/sec (lim. sup.) à 4,4 km/sec (lim. inf.). On a généralement identifié ce délit avec la base inférieure des socles continentaux, ce qui est compréhensible puisque sa profondeur coïncide avec l'épaisseur des socles calculée par HEISKANEN à l'aide des mesures de l'intensité de la pesanteur (*). Certes, il paraît qu'on ne doit plus garder cette valeur pour l'épaisseur des socles, mais plutôt une valeur réduite de moitié, la limite obtenue plus haut correspondant à une autre sous-division de la masse sous-jacente. Ce délit manque complètement sous l'Océan Pacifique. Là on trouve, dès les couches superficielles, une vitesse de propagation des ondes sismiques presque égale à celle que nous avons donnée pour les ondes principales, notamment 7 km/sec pour les ondes longitudinales et 3,8 km/sec pour les ondes transversales (tandis que pour les couches superficielles continentales ces vitesses sont respectivement de $5 \frac{3}{4}$ et 3,2 km/sec). On ne peut donner qu'une seule explication de ces résultats, notamment que les couches supérieures, existant jusqu'à 60 km sous les plateaux continentaux, manquent complètement sous le Pacifique.

*) En se basant sur la théorie de PRATT, on a trouvé pour l'épaisseur des socles des valeurs plus grandes (100 à 120 km), tandis que la théorie d'IRY donne une valeur pratiquement égale à celle déduite à l'aide de la méthode sismographique. Ce fait montre la supériorité, d'ailleurs reconnue pour d'autres raisons, de la théorie d'IRY.

Comme il fallait s'y attendre, on constate une différence analogue aussi entre les vitesses de propagation des ondes sismiques superficielles sur les fonds océaniques et à la surface des continents, vitesses qui devraient être les mêmes. Ce résultat peut être considéré comme bien établi, puisqu'il a été obtenu indépendamment par cinq auteurs différents. TAMS [46] a obtenu en 1921, en compulsant un certain nombre d'enregistrements très nets, les vitesses suivantes des ondes superficielles :

		Nombre d'enregis- trements
1. Fonds océaniques.		
Californie, 18 avril 1906	$v = 3,847 \pm 0,045$ km/sec	9
Colombie, 31 janvier 1906	$3,806 \pm 0,046$	» 18
Honduras, 1 juillet 1907	$3,941 \pm 0,022$	» 20
Nicaragua, 30 décembre 1907 . . .	$3,916 \pm 0,029$	» 22
2. Continents.		
Californie, 18 avril 1906	$v = 3,770 \pm 0,104$ km/sec	5
Philippines I, 18 avril 1907	$3,765 \pm 0,045$	» 30
» II, 18 avril 1907	$3,768 \pm 0,054$	» 27
Boukhara, 21 octobre 1907	$3,837 \pm 0,065$	» 19
» 27 octobre 1907	$3,760 \pm 0,069$	» 11

Ainsi, bien que les valeurs de ces deux suites, prises isolément, empiètent en partie les unes sur les autres, leurs moyennes respectives présentent une différence sensible : La vitesse de propagation des ondes superficielles est d'environ 0,1 km/sec plus grande à la surface des fonds océaniques qu'à celle des continents. Ces résultats concordent avec les valeurs théoriques de cette vitesse, obtenues en tenant compte des propriétés physiques des roches éruptives abyssales.

D'autre part, TAMS a essayé d'établir des moyennes à l'aide du plus grand nombre possible de séismes. Les chiffres qu'il obtient ainsi pour les vitesses de propagation sont : Pour le Pacifique $v = 3,897 \pm 0,028$ km/sec pour 38 séismes et $v = 3,801 \pm 0,029$ km/sec pour 45 séismes propagés au-dessus de l'Eurasie et de l'Amérique, soit les mêmes valeurs que plus haut.

ANGENHEISTER [47] a étudié aussi, en 1921, la différence du point de vue sismologique des fonds océaniques et des socles continentaux. Il examina encore les ondes superficielles, à l'aide de données concernant une série de tremblements du Pacifique, mais il fit la discrimination, que n'avait pas faite TAMS, entre les deux sortes d'ondes, les ondes transversales de vibration tangentielle et celles de Rayleigh. Il trouva, d'ailleurs à l'aide d'un petit nombre de données, des écarts bien plus grands encore : « La vitesse des ondes principales est de 21 à 26 % plus grande sous le Pacifique que sous le continent asiatique ». Ajoutons qu'il trouva aussi des différences ca-

ractéristiques pour les autres sortes d'ondes sismiques : « Les durées de propagation des ondes P et S sous le Pacifique à une distance de 6 degrés de l'épicentre (pour une si petite distance ces ondes ne traversent que les couches très voisines de la surface du sol) sont de 13 et de 25 secondes plus courtes que celles nécessaires à la propagation sous le continent européen. Il en résulte, pour les ondes S, une vitesse de propagation de 18 % supérieure sous l'océan... La période des ondes retardataires est plus grande sous le Pacifique que sous l'Asie ». Tous ces écarts concourent à appuyer notre hypothèse que le fond océanique est constitué de matières différentes, notamment plus denses.

En ce qui concerne les ondes superficielles VISSER [48] est arrivé au même résultat. Il trouve :

$$\begin{aligned} v &= 3,70 \text{ km/sec sur les régions continentales,} \\ v &= 3,78 \text{ km/sec } \gg \gg \gg \text{ océaniques.} \end{aligned}$$

De même, à l'occasion du tremblement de terre de Montana du 28 juin 1925, BYERLY [223] a trouvé une différence dans le même sens entre les vitesses de propagation des ondes superficielles.

Enfin, le même résultat a été confirmé par GUTENBERG par une autre voie [44, 45]. Il utilise les ondes transversales de vibration tangentielle, donc des ondes superficielles, qui précèdent de peu les ondes de Rayleigh (desquelles souvent elles ne peuvent pas être distinguées). La vitesse de propagation de ces ondes dépend d'abord de leur longueur ou période, ensuite de l'épaisseur de la couche supérieure de l'écorce terrestre traversée. Puisque les enregistrements permettent de lire non seulement les durées de parcours (donc les vitesses), mais aussi les périodes, on peut déterminer l'épaisseur de la couche superficielle de l'écorce que ces ondes parcourent. Certes, le résultat n'est qu'approximatif, et on a besoin d'un assez grand nombre de lectures, correspondant à différentes périodes d'ondes pour la même région, pour arriver à obtenir l'épaisseur de la couche. Nous reproduisons dans la fig. 13 les résultats de GUTENBERG pour trois cas : a) Eurasie, b) pour une traversée ayant eu lieu en sa plus grande part dans le sol sous-atlantique, c) dans le Pacifique. Les périodes sont indiquées en abscisses, les vitesses en ordonnées. Si les mesures étaient exactes, les points représentatifs devraient être sur une même courbe, dont la position sur le diagramme dépendra de l'épaisseur de la couche. Pour les cas a) et b) trois courbes théoriques pareilles sont tracées sur la figure, correspondant aux couches ayant une épaisseur de 30, 60 et 120 km; pour le cas c) toutes les courbes figurées correspondent à une couche d'épaisseur nulle. GUTENBERG en conclut que les points représentatifs se rapprochent le plus de la courbe correspondant à une épaisseur de 60 km pour l'Eurasie, de celle correspondant à une épaisseur de 30 km pour la traversée où prévaut le

sol sous-atlantique et, enfin, de celle correspondant à une épaisseur nulle dans le cas du Pacifique. La dispersion des points étant grande, le procédé n'est pas très exact, mais GUTENBERG a réexaminé, par la suite, les résultats. Le fait très important que l'on peut en déduire, c'est que, d'après ces recherches aussi, la couche supérieure paraît manquer sous le Pacifique et que pour les traversées comportant un trajet en majeure partie sous l'Atlantique, donc pour un trajet en

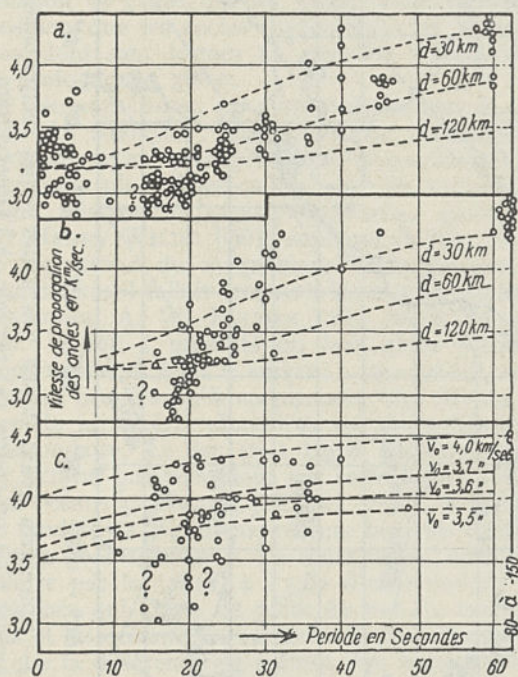


Fig. 13. — Vitesse des ondes transversales (superficielles), d'après GUTENBERG.

partie océanique et en partie continental, l'épaisseur moyenne de la couche est comprise entre 0 et 60 km (*).

Comme nous l'avons mentionné plus haut, ANGENHEISTER a trouvé aussi pour la période des ondes retardataires une valeur plus grande pour le Pacifique que pour le continent asiatique. WELLMANN [49] a étudié la question de plus près. Ses résultats

*) GUTENBERG croit voir, à tort d'après moi, dans le résultat concernant l'Atlantique, une contradiction avec la théorie des translations. Nous en reparlerons dans le chapitre XI.

sont groupés dans la fig. 14. Les épicentres des séismes étudiés sont marqués d'une croix ou d'un cercle plein, suivant que les ondes

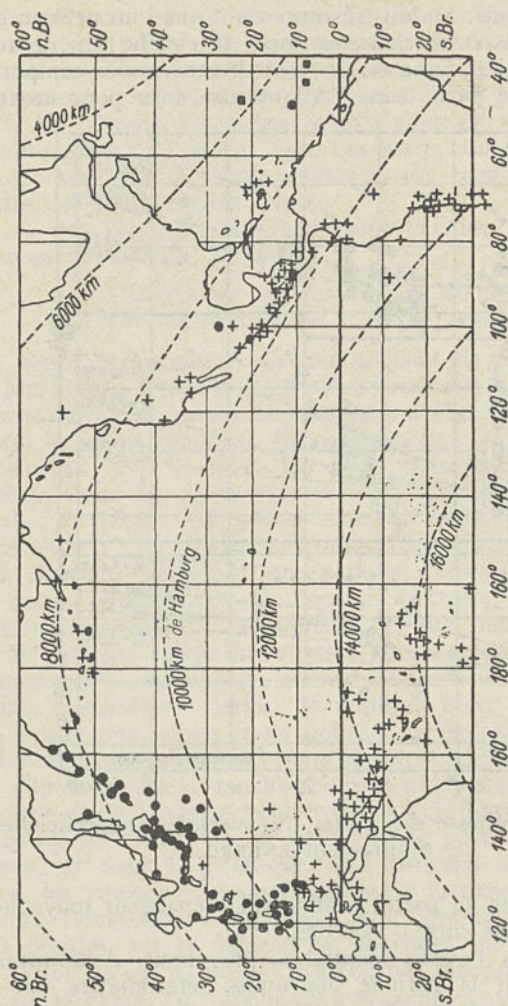


Fig. 14. — Epicentres ayant donné lieu à des ondes retardataires à longue (+) ou courte (●) période, à l'Observatoire de Hambourg, d'après WELLMANN.
n. Br. = lat. N. s. Br. = lat. S.

retardataires, telles qu'elles ont été enregistrées à Hambourg, étaient à longue ou courte période. Les lignes en trait interrompu marquent les lieux des points équidistants de Hambourg. Les trajectoires des ondes devant leur être orthogonales, on voit claire-

ment que les ondes parties des endroits marqués par des croix ont eu tendance à se propager à travers des régions océaniques (Pacifique, Mer du Nord, Atlantique du Nord), tandis que les ondes issues des endroits marqués par des cercles doivent avoir traversé de préférence la surface des régions continentales (l'Asie).

On voit donc que la Sismologie est arrivée, dans son évolution récente, par les voies les plus différentes, indépendantes entre elles, à la confirmation de l'idée que les fonds océaniques ont une tout autre composition que les socles continentaux et, notamment, que les matériaux dont sont formés les premiers correspondent à une couche plus profonde du globe.

Dans le Géomagnétisme, on admet généralement, comme nous fit remarquer A. NIPPOLDT, que les fonds océaniques sont formés de substances ayant une plus forte susceptibilité magnétique, donc probablement plus riches en fer, que les socles continentaux. La discussion relative au « magnétarium », globe magnétique construit par HENRY WILDE [50], souligna ce fait. En effet, pour obtenir une répartition du magnétisme correspondant à celle du magnétisme terrestre, il fallait recouvrir de minces feuilles de fer ses surfaces océaniques. A. W. RÜCKER [51] décrit cet essai comme il suit : « M. WILDE a présenté un bon globe magnétique. Son mode de fonctionnement était le suivant : une sphère uniformément aimantée donnait lieu à un champ primaire; des masses de fer, près de la surface de la sphère, aimantées par induction, produisaient un champ secondaire. Le fer était placé principalement sous les océans... M. WILDE insiste surtout sur cette répartition des masses de fer sur les océans ». RACLOT [52] de même, a confirmé récemment que le modèle de WILDE représente bien les traits principaux de la répartition géomagnétique. De toute façon, on n'a pas encore réussi à déduire par le calcul, à l'aide d'observations géomagnétiques, la différence qui existe du point de vue du magnétisme entre les continents et les océans. La cause est à chercher, probablement, dans le fait que la différence est surtout due à un champ perturbateur plus intense, dont l'origine est inconnue, et qui n'aurait rien à voir avec la répartition des continents, comme il résulte de l'examen de ses grandes variations séculaires. En tout cas, les résultats du géomagnétisme ne s'opposent pas à l'hypothèse de roches sous-océaniques plus riches en fer que les roches continentales. C'est ce que pensent même les spécialistes (comme AD. SCHMIDT) qui ne veulent pas accepter sans réserves la justification expérimentale de WILDE. On admet généralement que, dès l'enveloppe silicatée du globe, la teneur en fer augmente avec la profondeur et que le noyau de la terre consiste surtout en fer. Il en résulte que le sol sous-océanique appartient à une couche plus profonde. D'autre part, le magnétisme cesse en général à la température du rouge, atteinte, si l'on tient compte du degré géothermique moyen, vers les 15 ou

20 km de profondeur. Le magnétisme intense du sol sous-océanique devrait donc se présenter dans les toutes premières couches, ce qui cadre bien avec l'hypothèse admise que dans celles-ci les roches faiblement aimantées manquent.

Nous sommes bien près de nous demander si l'on ne peut pas obtenir directement du sol sous-océanique quelques échantillons de pareilles roches. Cependant il sera impossible, longtemps encore, de les arracher du sol et de les amener à la surface à l'aide de la drague ou par tout autre moyen. Il est pourtant intéressant de remarquer que la plupart des fragments détachés ramenés à la surface à l'aide de dragages sont, d'après KRÜMMEL [30], d'origine volcanique : « Les tunites prédominent ... puis on rencontre des fragments de sanidine, de plagioclase, de hornblende, de magnétite, de verre volcanique avec son produit de désagrégation la pélagonite, ainsi que des morceaux de lave, d'argile andésitique, etc. ». Les roches volcaniques se distinguent, en effet, par leur forte densité, par leur teneur en fer plus élevée et on les considère en général comme provenant des grandes profondeurs. SUESS a nommé « sima » tout ce groupe de roches basiques, dont le basalte est le principal représentant, d'après les premières lettres de leurs composants essentiels : silicium et magnésium. Par contre, il appelle « sal » le groupe des roches riches en silicium et en aluminium, dont les principaux représentants, le gneiss et le granite, forment le sous-sol des continents (*). Suivant une suggestion de PFEFFER, j'emploierai de préférence le mot « sial », afin d'éviter la confusion possible du mot « sal » avec le même terme latin signifiant sel. Le lecteur aura probablement déjà conclu, de ce qui précède, que les roches du groupe du sima, — que nous ne connaissons, certes, à la surface du sial des socles continentaux, que comme roches éruptives, — n'y figurent que comme des matériaux intrusifs. Leur vraie place est sous les socles continentaux et elles forment en même temps, probablement, le sol sous-océanique. D'ailleurs, le basalte a, paraît-il, les propriétés que nous exigeons du sol sous-océanique.

Entre temps, la question de la composition des différentes couches du globe a donné lieu, ces dernières années, à un grand nombre de travaux. Ces recherches sont faites en partant de données pétrographiques et géochimiques et en utilisant aussi la théorie des ondes sismiques. L'étude de la question se poursuit, les savants n'étant pas encore arrivés à un point de vue identique. Nous nous bornerons donc, sans prendre parti, à donner un court aperçu des résultats qui sont, en partie, vraiment divergents.

*) Cette classification remonte à ROBERT BUNSEN, qui divisait les roches non sédimentaires en roches « trachytiques normales » (riches en acide silicique) et « pyroxénitiques normales » (basiques). SUESS leur donna, toutefois, des noms plus commodes.

Les premières études partaient de l'hypothèse qu'il suffirait d'admettre l'existence, sous la couche continentale de sial, dont la composition est bien connue (matériaux de la nature du gneiss et du granite), d'une couche de sima se prolongeant jusqu'à 1.200 km de profondeur. Ces deux couches formeraient l'enveloppe du globe. Sous celle-ci il y aurait une couche intermédiaire, d'une épaisseur de 1.700 km, après laquelle viendrait le noyau où le ferro-nickel prédomine. La couche intermédiaire serait formée soit de mésosidérite (pallasite), pour suivre l'analogie de la disposition des matériaux des météorites; soit de pyrite et autres minerais ou scories, pour tenir compte de la pratique minière. Qu'en fait ces couches sont les plus importantes du globe, personne n'en doute. Mais, ce que l'on doit se demander, c'est si la couche de sima est homogène ou si elle doit, à son tour, être subdivisée. Les réponses données à cette question varient d'un auteur à l'autre. V. M. GOLDSCHMIDT considère comme roche prédominante du sial l'éclotite, WILLIAMSON et ADAMS la péridotite ou la pyroxénite, d'autres auteurs la dunite. De toute façon, la partie prépondérante du sima doit être très basique, même « ultrabasique », plus basique que le basalte, ce dernier pouvant intervenir tout au plus dans la partie la plus extérieure du sima. De nombreux articles, et même des livres de JEFFREYS [53], DALY [54], S. MOHOROVICIC [55], JOLY [56], HOLMES [57], POOLE [58], GUTENBERG [59], NANSEN [222], etc., ont traité ces questions. Le livre de DALY (*Our mobile Earth*, Londres, 1926) les traite entièrement du point de vue des translations continentales; celui de JOLY (*The surface history of the earth*, Oxford, 1925) se prononce contre notre théorie, mais en réalité apporte, en examinant la chaleur d'origine radioactive, de nouveaux et importants arguments en sa faveur.

Il y a unanimité chez tous les auteurs pour admettre que la première roche à intervenir sous le granite des socles continentaux doit être le basalte. Mais, la profondeur de la limite de séparation de ces deux sortes de roches n'est plus identifiée par la plupart des auteurs avec le grand délit déduit à l'aide de la sismologie et situé à 60 km de profondeur. On admet plutôt une surface de séparation située à une profondeur de 30 à 40 km seulement, surface décelée aussi à l'aide de la sismologie et dont les effets sont moindres que ceux de la surface située à 60 km. Cette hypothèse est admise surtout parce qu'une couche de granite de 60 km de puissance contiendrait trop de radium et produirait, par conséquent, trop de chaleur. Les matières ultrabasiqes (dunite, etc.) commenceraient dans ce cas à 60 km de profondeur. MOHOROVICIC insiste sur le fait que la surface de séparation située à 60 km de profondeur est à la même distance du centre de la terre et sous les montagnes, et sous les plaines. Ce qui varierait d'un cas à l'autre ce serait la profondeur de la surface de séparation entre le granite et le basalte. Dans ces conditions, on

peut se poser la question s'il n'est pas préférable de considérer comme limite inférieure des socles continentaux la limite du granite, située entre 30 et 40 km de profondeur, à la place de la limite précédemment admise de 60 km. Il resterait à voir comment se comporte la dernière surface de séparation sous les océans. GUTENBERG admet que le délit situé à 60 km de profondeur forme la surface du fond du Pacifique, le sol de celui-ci devant être en roches ultrabasiques (dunite); MOHOROVICIC, par contre, croit que le sol océanique est en basalte.

On devra attendre le développement ultérieur de ces recherches pour avoir une opinion définitive sur cette question. Ce qui est probable c'est que, par la multiplication des subdivisions des couches, de grosses complications résultent aussi en ce qui concerne la nature du sol océanique, complications entrevues déjà (page 37) à l'occasion d'autres considérations.

Mais, quel que soit le développement ultérieur de ces manières de voir, un point reste acquis. C'est qu'elles procèdent du point de vue de notre théorie, en ce qu'on n'essaie même plus de douter de la différence fondamentale qu'il y a entre les fonds océaniques et les continents, et il importe peu à la théorie des translations que les premiers soient en basalte ou partiellement déjà en dunite. De toute façon les fonds océaniques (de petits restes exceptés) n'ont pas l'enveloppe granitique des socles continentaux.

Il n'est pas rare qu'on élève contre la théorie des translations l'objection suivante : La terre est aussi rigide que l'acier, donc les continents ne peuvent pas se déplacer. En fait, par des procédés sismologiques et par l'observation des oscillations des pôles et des marées terrestres, on est arrivé à la même valeur moyenne pour le module d'élasticité de structure ou rigidité de la terre qui serait de $2 \cdot 10^{12}$ g/cm . sec² ou, si l'on veut distinguer dans le globe une enveloppe rocheuse de 1.200 km de profondeur et un noyau minéral et métallique, les coefficients respectifs seraient $7 \cdot 10^{11}$ et $3 \cdot 10^{12}$. Comme la valeur du même coefficient est de $8 \cdot 10^{11}$ pour l'acier à froid, on peut vraiment dire que la terre a la rigidité de l'acier. Mais, que peut-on en déduire? En ce qui concerne notre théorie, rien, parce que la vitesse avec laquelle se meut un continent sous l'action d'une force donnée ne dépend pas en somme de la rigidité du sima, mais d'une autre constante, indépendante de celle-ci, notamment du « frottement intérieur », c'est à dire de la « viscosité », ou de son inverse la « fluidité ». La viscosité s'exprime en poises et a la dimension g/cm . sec et, malheureusement, on ne peut pas passer avec exactitude de la valeur de la rigidité à celle de la viscosité, chacune de ces valeurs devant être obtenue indépendamment. D'ailleurs, la mesure de la viscosité des corps dits solides est extrêmement difficile. Même dans le laboratoire, où l'on emploie la méthode des vibrations élastiques amorties, ou la mesure de la vitesse de défor-

mation à la flexion ou à la torsion, ou encore la méthode de l'évaluation du temps de relaxation, on n'a pu obtenir des valeurs de la viscosité que pour très peu de substances. Quant à la valeur du coefficient de viscosité de la terre, on n'a presque aucun espoir de l'avoir. Plusieurs auteurs ont bien essayé récemment d'évaluer ce coefficient de viscosité soit pour toute la terre, soit pour certaines couches seulement. Mais, les résultats sont tellement divergents, qu'ils ne font que confirmer notre ignorance totale au sujet de sa valeur.

Tout ce que l'on peut affirmer avec certitude, c'est que la terre se comporte par rapport aux forces périodiques de courte période, comme les ondes sismiques par exemple, comme un corps solide, élastique; dans ce cas la fluidité n'intervient pas. Par contre, par rapport à des forces de longue durée, s'exerçant indéfiniment, le long des périodes géologiques, la terre se comporte comme un fluide, comme il résulte, par exemple, de son aplatissement qui correspond exactement à la durée de sa rotation. Mais, si l'on voulait savoir à partir de quelle limite des durées les déformations deviennent fluides après avoir été élastiques, il faudrait justement connaître le coefficient de viscosité.

G. H. DARWIN avait admis, à l'occasion de ses recherches sur le détachement de la lune, que les phénomènes journaliers des marées donneraient lieu à des phénomènes d'écoulement. Cette hypothèse a été adoptée par de nombreux auteurs. Dans une récente étude, PREY [60] montre, en partant de l'hypothèse de DARWIN, qu'on n'arrive pas à la conclusion que la croûte terrestre présente actuellement une dérive sensible vers l'Ouest à cause du frottement des marées. Mais, d'après PREY, de grands déplacements de l'écorce eurent lieu, il y a 50 à 60 millions d'années, à l'époque où la terre peut avoir eu le coefficient de viscosité relativement petit de 10^{13} environ (égal à la viscosité des glaciers). Depuis, le coefficient de viscosité doit s'être accru dans de telles proportions qu'actuellement tout mouvement est exclu. Certes, nous devons prendre en considération le fait que DARWIN ne pouvait pas tenir compte de la teneur en radium de l'écorce terrestre, mais PREY, malgré la connaissance du radium, admet dans ses calculs un refroidissement progressif du globe. De toute façon, de nos connaissances actuelles sur les quantités existantes de radium et d'après les données géologiques, il paraît très douteux que, pendant la durée des temps géologiques, beaucoup plus longue que les durées mises en avant par PREY, le coefficient de viscosité du globe ait pu subir, de petites oscillations exceptées, de sensibles variations systématiques.

Des géologues avaient souvent admis l'existence d'une couche de magma sous la croûte solide. Ainsi, WIECHERT a cru pouvoir expliquer, à l'aide d'une couche pareille, relativement assez fluide, certaines particularités des sismogrammes. SCHWEYDAR [61] s'élève contre cette hypothèse en s'appuyant sur la durée, mesurable, des

marées terrestres. Si, en effet, la fluidité des masses intervenait dans leurs durées, alors celles-ci devraient subir des retards dus à l'attraction du soleil et de la lune. Comme de pareils retards ne ressortissent pas des observations, il résulte que l'intensité des marées terrestres doit être conditionnée seulement par l'élasticité et ne dépend pas de la fluidité. La limite supérieure des erreurs d'observation permet au moins d'obtenir une limite du coefficient de viscosité qui est d'ailleurs fonction de l'épaisseur de la couche considérée. Des épaisseurs différentes donnent lieu à des coefficients différents, car une couche mince moins visqueuse donne lieu à des déplacements égaux à ceux d'une couche plus épaisse mais plus visqueuse. Ainsi, SCHWEYDAR trouve que le coefficient de viscosité doit être plus grand que 10^9 s'il s'agit d'une couche dont la puissance n'est que de 100 km; par contre, pour une couche de 600 km d'épaisseur il est plus grand que 10^{13} ou même que 10^{14} . De toute façon, il est essentiel de remarquer que dans ces calculs on part de l'hypothèse que la couche est à un seul tenant et qu'elle enveloppe toute la terre. Des parties plus petites et isolées de la terre pourraient être sensiblement plus fluides.

Dans son étude de 1919 concernant le mouvement des pôles, SCHWEYDAR [62] a essayé de nouveau d'obtenir la viscosité du globe. Il s'y est posé le problème de trouver les oscillations des pôles lorsqu'on connaît la viscosité du globe. Les calculs sont faits en supposant le coefficient de viscosité de la terre égal à 10^{11} , 10^{14} , 10^{16} , 10^{18} . Il trouva que pour les deux premières valeurs il ne pourrait y avoir qu'un mouvement dont la période serait de 80 ans. Ce n'est que pour les grandes valeurs du coefficient qu'apparaissent des périodes courtes, comparables à celle qui existe réellement, et ayant les valeurs de 470 à 370 jours respectivement. Naturellement, ici aussi, le résultat dépend de l'épaisseur que l'on assigne à la couche visqueuse. Si l'on considère la terre uniformément visqueuse, la petite période n'apparaît que pour un coefficient égal à 10^{18} . Par contre, elle apparaît pour un coefficient égal à 10^{13} si l'on admet que ce n'est que la couche située entre 120 et 600 km de profondeur qui est visqueuse. Les calculs n'ont pu être faits qu'en supposant la couche uniformément répartie et à la même profondeur de la terre. Il s'ensuit que le résultat ne peut être considéré que comme une première indication. A une autre occasion, le même auteur a utilisé la valeur 10^{19} pour le coefficient, en admettant que ce serait seulement la couche située entre 100 et 1.600 km qui soit fluide.

SCHWEYDAR est un protagoniste des grandes valeurs de la viscosité. Pourtant, il arrive à la conclusion suivante : « On peut considérer quand-même comme possible un mouvement des continents vers l'équateur comme effet de la force de répulsion du pôle » [40]. Nous dirons par la suite ce qu'il faut penser de cette force de répulsion et des calculs ayant donné lieu à la conclusion précédente.

A notre connaissance, les plus grandes valeurs du coefficient de viscosité admises à ce jour, sont celles de JEFFREYS [53]. Il adopte pour valeur minima à l'intérieur de la couche le coefficient 10^{21} .

D'autre part, certains auteurs ont admis récemment des valeurs étonnamment *petites* pour le coefficient de viscosité, même s'ils ne les ont utilisées que pour une couche relativement mince. Ainsi, MEYERMANN [64, 65] part des perturbations dans la durée de la rotation de la terre, variations établies récemment par des observations astronomiques : « En 1700, par exemple, chaque point de la surface du globe se trouvait à environ 15 secondes plus à l'Est, en 1800 à une distance analogue plus à l'Ouest, en 1900 à 10 secondes plus à l'Est et en 1924 à plus de 20 secondes plus à l'Ouest que la position qu'il devait occuper si la terre tournait uniformément autour de son axe. Puisqu'il est exclu que la terre dans son ensemble ait ces oscillations, je vois dans ces mouvements une démonstration du fait que la croûte dérive vers l'Ouest par rapport au noyau terrestre... A mesure que le frottement croît, la dérive vers l'Ouest décroît... Lorsque, inversement, la valeur du frottement décroît, la surface extérieure du globe a un mouvement relatif vers l'Ouest par rapport au mouvement absolu de la terre ». Il y aurait dans la variation du géomagnétisme et l'oscillation des durées du jour une période de 270 ans; MEYERMANN en conclut l'existence d'un mouvement de rotation relative de la croûte, par rapport au globe, qui s'achèverait dans l'intervalle étonnamment court de 270 ans. En acceptant ce résultat et en admettant que la couche fluide soit limitée à une épaisseur de 10 km, il arrive à obtenir, pour l'intérieur de cette couche, un coefficient de frottement de 10^3 seulement (21 fois le coefficient correspondant de la glycérine à 0°). Mais, il resterait à voir si son explication peut s'appliquer aux phénomènes réels. Sous ce rapport, nous devons signaler un travail de SCHULER [66], qui est important en ce qu'on y montre, en appliquant le théorème de la conservation du moment de la quantité de mouvement, qu'à un accroissement de l'épaisseur de la calotte glaciaire polaire et à cause du rapprochement des masses de l'axe de rotation, il correspondrait une accélération du mouvement de rotation de la terre. Inversement, un ralentissement du mouvement de rotation résulterait lorsque les masses de glace fondent et qu'il y a un déplacement en masse vers l'équateur, c'est-à-dire un éloignement de l'axe.

La question de la viscosité des couches situées sous les socles continentaux est étroitement liée à celle de savoir si les températures de ces couches dépassent ou non leurs points de fusion. Malgré qu'il paraisse probable que le magma en état de fusion puisse avoir sous une très haute pression une très grande viscosité aussi, donc qu'elle se comporte comme un solide — les phénomènes à de pareilles pressions nous sont inconnus, — tous les auteurs qui admettent l'existence d'une couche à l'état de liquide en fusion, inclinent à admettre que

la viscosité de cette couche est assez petite pour permettre de grands déplacements et même des courants. C'est surtout en ce qui concerne cette dernière question que la considération de la radioactivité nous ouvre de nouveaux horizons.

Dans la fig. 15 est reproduit, d'après VON WOLFF, un diagramme indiquant l'allure de la température dans les premiers 120 kilomètres de l'écorce terrestre. Les courbes *a* à *e* correspondent à différentes hypothèses sur la teneur en radium de la croûte. Les courbes *S* et *A* sont des courbes de fusion. Les courbes de fusion dépendent des matériaux dont serait formée l'écorce. *S* est le lieu des minima absolus des températures de fusion aux différentes profondeurs. Si l'on examine les courbures des courbes de température et l'allure des

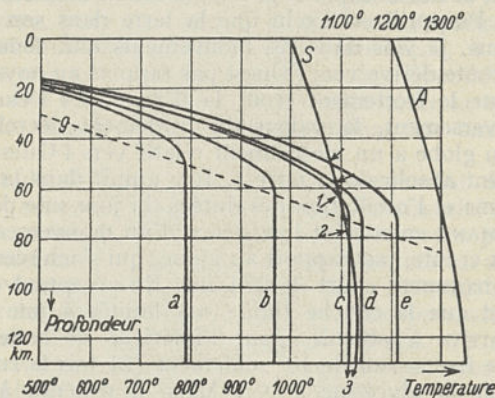


Fig. 15. — Allure de la température *a* à *e* et températures de fusion *S* et *A* jusqu'à 120 km de profondeur, d'après VON WOLFF.

courbes de fusion, on constate qu'il y a une région optima pour la fusion, ce qui rend possible l'existence d'une couche en état de fusion encadrée entre deux couches cristallines.

On peut se demander si la Sismologie ne pourrait pas donner la solution de cette question. Malheureusement, ce n'est pas le cas; elle le pourrait si l'état de fusion était identique à celui de fluide peu visqueux, car dans un milieu très fluide les ondes transversales, comme les ondes *S*, ne peuvent pas se propager. Mais, on admet généralement qu'une substance dont la température dépasse le point de fusion, donc à l'état de fusion, est dans un état amorphe vitreux, donc « solide ». La sismologie nous fournit toutefois une petite indication. On peut, notamment, montrer que, sous certaines hypothèses qui sont très vraisemblables, quant à l'épaisseur de la

substance, sa résistance élastique aux déformations, qui est en général une fonction croissante de la profondeur, subit vers 70 km de profondeur un arrêt de sa croissance, peut-être même décroît-elle. Ce fait est interprété, par GUTENBERG [104] par exemple, en disant qu'il est probable qu'à cette profondeur l'état cristallin fait place à l'état amorphe vitreux. Et, si ce dernier est à considérer comme solide aussi en ce qui concerne l'action des forces de courte durée des ondes sismiques, il n'est pas improbable qu'il présente un important degré de fluidité en ce qui concerne l'action des forces de longue durée, agissant pendant les âges géologiques.

Certains faits géologiques doivent être pris en considération avec ce qui précède. Les extraordinaires grandes « fusions de granite », telles que celles de l'Afrique du Sud décrites par CLOOS [103], montrent que la géoïsotherme correspondant au point de fusion du granite doit être montée par endroits, dans certaines périodes géologiques, jusqu'au voisinage immédiat de la surface de la terre. A fortiori les couches situées à une profondeur de 60 à 100 km doivent avoir été, à l'époque, en état de fusion. Les surfaces géoïsothermes n'ont pas des positions fixes relativement à la terre; elle varient et avec le temps et quant à leur position. JOLY [56] l'explique par le fait que sous les socles continentaux, grâce à la production radioactive de chaleur, la température ne fait que croître jusqu'au moment où les socles sont à flot à cause de la fusion de leurs bases. A ce moment, ils se transportent au-dessus de régions plus froides du globe, sur d'anciennes régions abyssales, et les géoïsothermes ne peuvent que changer. En effet, cette explication est renforcée par le fait que la moyenne du degré géothermique est en Europe de 31,7 m, tandis qu'en Amérique du Nord elle est de 41,8 m. Cette remarquable différence, très discutée ces derniers temps, nous montre que l'intérieur du sous-sol américain est plus froid que celui de l'Europe. DALY [67] pense, avec raison, qu'« une explication suffisante de ce fait peut être trouvée dans le glissement relativement récent de l'Amérique du Nord au-dessus de la croûte affaissée du bassin Pacifique, jadis plus étendu ».

Nous devrions, naturellement, citer aussi, en cet endroit, ceux des auteurs qui ramènent les phénomènes apparaissant dans la partie supérieure de l'écorce à des « courants souterrains », comme AMPFERER [68], SCHWINNER [69], etc. D'après AMPFERER, l'Amérique aurait été entraînée vers l'Ouest par des courants souterrains. SCHWINNER admet dans la couche fluide des courants de convection produits à cause de certaines pertes de chaleur inégalement réparties. Ces courants entraîneraient la croûte et provoqueraient sa compression là où leurs mouvements s'infléchiraient vers la terre. En liaison avec la production excessive de chaleur radioactive dans les socles continentaux, KIRSCH [70] fait aussi un large emploi de pareils courants de convection d'origine thermique. Il fait l'hypo-

thèse qu'une production excessive de chaleur aurait eu lieu (fusions de granite en Afrique du Sud) sous le socle continental, jadis d'un seul tenant. Cette production de chaleur aurait provoqué une circulation du fluide sous-jacent qui aurait difflué vers les bassins océaniques. Une fois en contact avec eux, et du fait de la perte plus grande de chaleur, il se serait retiré en remontant sous les régions continentales. A la fin, à cause du frottement produit, la croûte continentale se serait déchirée et le courant aurait entraîné ses fragments dans toutes les directions. KIRSCH arrive dans son ouvrage à des vitesses de courant étonnamment grandes et à des valeurs correspondantes extrêmement petites pour la viscosité de la couche en fusion.

Tous ces travaux ne montrent qu'une chose; c'est que nous ne sommes pas en mesure d'être catégoriques en ce qui concerne le coefficient de viscosité, soit de l'intérieur du globe, soit des différentes couches; en réalité nous n'en savons rien. Les résultats de SCHWEYDAR ne sont pas convaincants parce qu'ils n'excluent pas la possibilité d'une couche à *plusieurs connexions* relativement très fluide. D'ailleurs, ils n'excluent pas la possibilité de l'existence d'une pareille couche à certaines époques passées. Ils ont quand même une grande importance en ce qu'ils conduisent, malgré l'exclusion d'une couche très fluide, à des valeurs de la viscosité compatibles avec les déplacements continentaux, et ces déplacements restent possibles même si l'hypothèse formulée par des auteurs récents, qui soutiennent l'existence au moins partielle et temporaire de portions très fluides de la base des socles continentaux, se trouvait être fausse.

D'après ce qui précède, il est inutile d'appuyer sur le fait que la théorie des translations est en complet accord avec les résultats de la Géophysique. Elle est d'ailleurs le point de départ d'un nombre important de recherches géophysiques nouvelles qui promettent ou ont déjà conduit à d'importants résultats, même si de nombreux détails restent à éclaircir complètement par la suite.

Nous pourrions rapporter d'autres données tirées des observations géophysiques capables d'appuyer directement ou indirectement la théorie des translations; mais, il est impossible, dans les limites de ce livre, d'être, ou même de tendre à être complet dans les différents domaines que nous avons à examiner. D'ailleurs, nous aurons à discuter certains faits géophysiques dans les chapitres suivants.

CHAPITRE V.

ARGUMENTS GÉOLOGIQUES.

Un contrôle précis de notre conception que l'Atlantique ne constitue qu'une faille, extrêmement élargie, dont les murs étaient jadis en connexion immédiate ou presque, nous est fourni par la comparaison des structures géologiques des deux parties. Il faudra, en effet, nous attendre à ce que bien des plissements et autres formations, nés avant la disjonction, se rejoignent d'un côté à l'autre si l'on procède à une reconstitution, et que leurs deux bouts, des deux côtes de l'Océan, soient disposés de telle façon qu'ils apparaissent l'un dans le prolongement de l'autre. Comme cette reconstitution est imposée par l'allure des contours des socles qui s'emboîtent parfaitement, il n'y a aucun jeu qui permette de l'adapter aux exigences de la Géologie. Nous avons donc à faire à un critère tout à fait indépendant qui est de la plus grande importance pour l'examen de l'exactitude de la théorie des translations continentales.

La faille atlantique a sa plus grande largeur actuelle dans le Sud, à l'endroit où la disjonction se produit en premier lieu; sa largeur y est de 6.220 km. Entre le Cap San Roque et le Cameroun il n'y a que 4.880 km; entre le banc de Terre-Neuve et la plate-forme britannique 2.410 km seulement; entre le Scoresby Sund et Hammerfest 1.300 km et, enfin, entre les bords des plateaux du Nord-Est du Groenland et du Spitzberg la distance n'est plus que de 200 à 300 km environ. C'est ici, semble-t-il, que la fracture se produisit le plus récemment.

Commençons notre comparaison par le Sud. L'extrême Sud de l'Afrique est parcouru par une chaîne de plis permians (les Zwarte Bergen) dirigée de l'Est à l'Ouest. Si l'on reconstitue les positions initiales des continents, le prolongement de cette chaîne vers l'Ouest nous ramènerait à la région située au Sud de Buenos-Aires qui paraît ne présenter rien de particulier. Pourtant, fait très intéressant, KEIDEL [72, 73] a constaté dans les sierras de la région, et notamment dans celles plus plissées du Sud, de vieux plissements qui, au point de vue tectonique, stratigraphique et paléontologique, ne sont pas identiques seulement à ceux qui leur font suite au

Nord-Ouest en s'insinuant vers le pli andin, c'est-à-dire aux Précordillères des provinces de San Juan et de Mendoza, mais surtout aux chaînes sud-africaines du Cap. « Nous trouvons dans les sierras de la province de Buenos-Aires, surtout dans la rangée Sud, une série stratigraphique très semblable à celle des montagnes du Cap. Une grande concordance paraît exister au moins pour trois termes : les grès inférieurs de la transgression éodévonienne, les schistes fossilifères, qui indiquent la plus grande extension de la transgression et, enfin, une formation plus récente, très caractéristique, le conglomérat glaciaire du Paléozoïque supérieur... Les sédiments dévoniens, aussi bien que le conglomérat glaciaire sont ici, comme dans les montagnes du Cap, fortement plissés; et, dans les deux chaînes, la dislocation est dirigée principalement vers le Nord. » Nous avons ainsi la preuve de l'existence d'un long plissement ancien qui s'étend à travers la pointe Sud de l'Afrique et traverse l'Amérique du Sud au Sud de Buenos-Aires pour rejoindre, en définitive, après avoir dévié vers le Nord, le cours des Andes. A l'heure actuelle les deux fragments de ce plissement sont séparés par un océan ayant plus de 6.000 km de largeur. Ils se raccordent parfaitement dans notre reconstitution qui, justement en cet endroit, ne permettrait pas un emboîtement spécialement fait en vue de notre justification; les distances qui les séparent respectivement du Cap San Roque et du Cameroun sont égales. Cette démonstration de l'exactitude de notre reconstitution est très frappante et rappelle le procédé de contrôle des pièces détachées d'un registre à souche à l'aide des bords des feuilles et du talon. La valeur de cette concordance n'est pas diminuée de beaucoup par le fait que la chaîne sud-africaine en touchant la côte atlantique se ramifie vers le Nord par les Cedar Bergen. Cet accident, en effet, ne tarde pas à s'effacer et a le caractère d'une déviation locale qui pourrait être due à quelque discontinuité ayant existé, avant la disjonction, sur le lieu même où la faille s'est produite. De semblables ramifications sont encore bien plus fréquentes dans les plissements européens, tant carbonifères que tertiaires, et elles ne nous empêchent pas de grouper ces plissements en un ensemble dû aux mêmes causes. Même si, comme il apparaît d'après les dernières recherches, le plissement africain s'est poursuivi jusqu'à une époque relativement récente, on n'en peut pas conclure qu'il soit d'un autre âge que son prolongement américain, car nous lisons dans KEIDEL : « Dans les sierras, c'est le conglomérat glaciaire qui y représente la dernière formation qui s'est plissée; dans les montagnes du Cap ce sont les couches d'Ecce, situées à la base de la série gondwanienne (couche de Karroo), qui portent encore les traces des mouvements orogéniques... Des deux côtés les plissements principaux peuvent donc s'être produits du Permien au Crétacé inférieur. »

... L'exemple des chaînes du Cap et de leur prolongement dans

les sierras de Buenos-Aires est loin d'être le seul à confirmer notre point de vue; les côtes de l'Atlantique nous fournissent beaucoup d'autres preuves en faveur de notre théorie. Le vaste plateau de gneiss de l'Afrique qui n'a subi depuis longtemps aucun plissement, offre déjà, dans ses grandes lignes, une ressemblance frappante avec celui du Brésil. De plus, la concordance des roches éruptives et des sédiments d'une part, celle des directions des anciens plissements d'autre part, montre que cette ressemblance ne se borne pas seulement aux traits généraux.

H. A. BROUWER [74] a fait une étude comparée des roches éruptives des deux côtés. Il ne trouve pas moins de cinq parallèles, notamment : 1. le vieux granite; 2. le granite récent; 3. les roches alcalines; 4. les roches volcaniques jurassiques et la dolérite intrusive et 5. la kimberlite, l'alnoïte, etc.

Le vieux granite se trouve au Brésil dans ce qu'on appelle le « Complexe brésilien », en Afrique dans le « Complexe fondamental » de l'Afrique du Sud-Ouest, ainsi que dans le « Système de Malmesbury » du Sud de la Colonie du Cap et dans le « Système du Swaziland » du Transvaal et de la Rhodésie. « Tant la côte Est du Brésil dans la Serra do Mar que la côte Ouest de l'Afrique centrale et du Sud, qui lui est opposée, sont formées en majorité de ces roches qui confèrent à bien des régions des deux continents le même caractère topographique. »

Le granite récent est intrusif au Brésil, dans l'Etat de Sao Paulo ainsi que dans la « Série de Minas » des Etats de Minas Geraes et Goyaz, où il forme des filons aurifères. Les granites qui lui correspondent en Afrique sont le granite des Monts Erongo dans le Herero Land, le granite de Brandberg dans le Nord-Ouest du Damara Land, ainsi que les granites du « Bushveld Igneous Complex » du Transvaal.

En outre, les roches alcalines se trouvent sur les deux rivages dans des portions de côte exactement correspondantes : du côté brésilien en différents endroits de la Serra do Mar (Itatiaya, Serra do Gericino près de Rio de Janeiro, Serra de Tingua, Cabo Frio) et du côté africain sur les côtes du Lüderitzland, au Cap Cross au Nord de Swakopmund, et aussi dans l'Angola. On peut encore faire rentrer dans ce groupe les roches éruptives situées à quelque distance des côtes, couvrant les régions éruptives ayant une trentaine de kilomètres de diamètre de Poços de Caldas dans le Sud de l'Etat de Minas Geraes et de Pilandsberg dans le district de Rustenbourg dans le Transvaal. C'est surtout par la texture absolument identique des roches massives, filonniennes et effusives où elles interviennent que ces roches alcalines sont tout à fait remarquables.

En ce qui concerne le quatrième groupe de roches (roches éruptives jurassiques et dolérite intrusive), BROUWER nous donne les renseignements suivants : « Comme en Afrique du Sud, dans l'étagé

de base du « Système de Santa Catharina », qui correspond à peu près à celui de Karroo, intervient une puissante série de roches éruptives, qui peut être regardée comme étant d'âge jurassique, et qui couvre de vastes étendues dans les Etats de Rio Grande do Sul, Santa Catharina, Parana, Sao Paulo et Matto Grosso, ainsi que dans l'Argentine, l'Uruguay et le Paraguay. » En Afrique, c'est notamment dans la formation du Kaokoveld, entre 18° et 21° de latitude australe, que nous retrouvons des roches analogues à celles des Etats brésiliens de Santa Catharina et Rio Grande do Sul.

Enfin, le dernier groupe (kimberlite, alnoïte, etc.) est le plus connu parce qu'il forme, tant au Brésil qu'en Afrique du Sud, les gisements diamantaires renommés. Dans les deux régions leurs dépôts se présentent sous la forme particulière de « pipes ». Les diamants blancs se rencontrent, au Brésil, dans l'Etat de Minas Geraes et, dans l'Afrique du Sud, au Nord de l'Orange seulement. Le diamant étant trop rare, nous verrons mieux la concordance en considérant la répartition de sa roche mère, la kimberlite, qui a été constatée sous forme de filons aussi dans l'Etat de Rio de Janeiro. « Les kimberlites des régions côtières occidentales de l'Afrique du Sud, de même que les roches brésiliennes connues, appartiennent presque toutes aux variétés basaltiques pauvres en mica (*) ».

BROUWER relève aussi la grande parenté des sédiments des deux côtés : « Certains groupes de roches sédimentaires présentent de part et d'autre de l'Atlantique une identité tout aussi frappante. Qu'il nous suffise de mentionner le système sud-africain de Karroo et le système de Santa Catharina du Brésil. Le conglomérat d'Orléans dans le Santa Catharina et dans le Rio Grande do Sul sont identiques à ceux de Dwyka dans l'Afrique du Sud et, dans les deux continents, les étages supérieurs sont formés par la puissante série, déjà mentionnée, de roches éruptives. C'est notamment le cas pour ceux du Drakenberg dans la Colonie du Cap et pour ceux de la Serra Geral dans le Rio Grande do Sul ».

Du TOIT [75] présumait même que le matériel erratique permocarbonifère de l'Amérique du Sud serait en partie d'origine africaine : « D'après COLEMAN le tillite du Sud du Brésil provient d'une calotte glaciaire dont le centre se trouvait dans le Sud-Est (**), au-delà des côtes actuelles. Cet auteur et WOODWORTH mentionnent certains galets erratiques d'un quartzite particulier ou de grès à nodules

*) H. S. WASHINGTON [113] admet bien cette concordance des roches éruptives, mais croit néanmoins — surtout parce qu'il est trop exigeant — que la comparaison n'est pas en faveur de la théorie des translations. Son rejet mal fondé influe malheureusement sur la position de beaucoup de géologues américains par rapport à notre théorie.

**) Dans le texte [75] « South-West ». (C'est sans doute un lapsus, comme il résulte du reste de la citation.)

de jaspe zoné, qui est identique, d'après leur description, à celui enlevé par les glaces transvaaliennes aux chaînes des „ Matsap beds ” dans le Griqualand Occidental et transporté vers l'Ouest jusqu'au 18° méridien au moins. Si nous admettons l'hypothèse des translations continentales, n'aurait-il pas pu être charrié beaucoup plus vers l'Ouest? » Mais, récemment, L. C. FERRAZ (cité *in* [78]) a trouvé la même roche à l'état de roche vive plus au Sud, à Blumenau, dans le Santa Catharina, sur la rive Nord de l'Itajahy, ce qui fait perdre à l'explication proposée par DU TOIT sa force probante. Mais, l'apparition de cette roche à l'état de roche vive dans le Brésil et

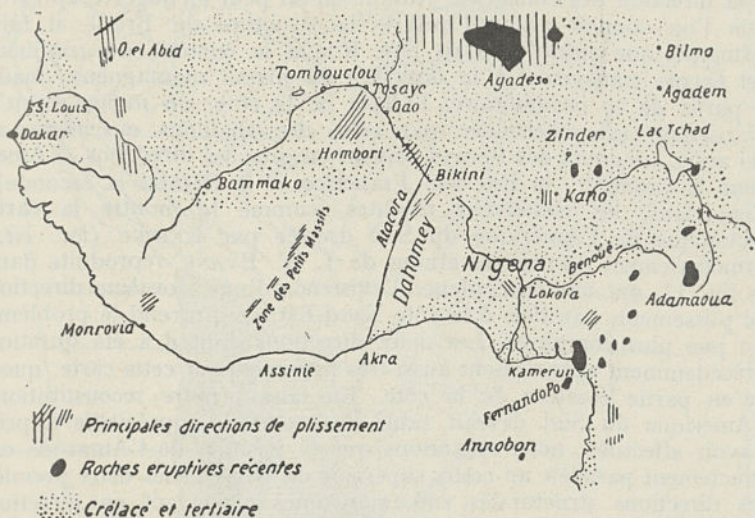


Fig. 16. — Directions structurales en Afrique, d'après LEMOINE.

dans l'Afrique du Sud est un important chaînon dans la longue suite d'analogies entre les deux continents.

Nous trouvons une autre concordance dans les directions de plissement des vieilles chaînes qui traversent partout ces vastes plateaux gneissiques. Pour l'Afrique, nous prions le lecteur de se reporter à la carte donnée par LEMOINE [76], que nous reproduisons dans la fig. 16. Elle a été établie dans un tout autre but, elle n'indique donc pas clairement ce dont nous avons besoin, mais elle le montre tout de même. Deux directions structurales, d'âge différent, prédominent dans le massif gneissique africain. Dans le Soudan prédomine la direction structurale plus ancienne, allant vers le Nord-Est, soulignée par le cours rectiligne du Haut Niger, qu'on peut suivre jusqu'au Cameroun et qui fait un angle de 45° avec la

côte. Au Sud du Cameroun apparaît (juste à la limite inférieure de la carte) la deuxième direction structurale, plus récente, dirigée du Nord au Sud, qui suit parallèlement les mouvements de la côte.

Nous trouvons au Brésil le même aspect. Déjà E. SUESS écrivait [12, trad. franç. T. II, page 222] : « La carte de la Guyane orientale... montre que les roches anciennes qui constituent cette contrée se dirigent plus ou moins de l'Est à l'Ouest. Les couches paléozoïques intercalées, qui forment la partie septentrionale du bassin de l'Amazonie, suivent aussi cette direction; le tracé de la côte, de Cayenne à l'embouchure de l'Amazone, est par conséquent perpendiculaire à la direction des couches... Autant qu'on peut en juger d'après ce que l'on connaît aujourd'hui de la structure du Brésil, il faut admettre que jusqu'au Cap San Roque le contour du continent est encore transversal à la direction du massif montagneux; mais, à partir de ce promontoire, l'allure de la côte, du moins jusqu'à l'Uruguay, est déterminée par celle des chaînons eux-mêmes ». Ici aussi, les cours des fleuves suivent en gros ces directions (l'Amazonie la première, le Rio San Francisco et le Parana la seconde). Cependant, les recherches récentes, comme le montre la carte tectonique de l'Amérique du Sud dressée par KEIDEL (*loc. cit.*) principalement d'après les études de J. W. EVANS, reproduite dans la fig. 17, ont mis en évidence l'existence d'une troisième direction de plissement, parallèle à la côte Nord-Est, ce qui rend le problème un peu plus complexe. Les deux directions dont il a été question précédemment apparaissent aussi très nettement sur cette carte, quoiqu'en partie écartées de la côte. En faisant notre reconstitution, l'Amérique du Sud devrait subir une rotation appréciable. Après l'avoir effectuée, nous constatons que la position de l'Amazonie est exactement parallèle au cours supérieur du Niger et les deux premières directions structurales sud-américaines coïncident en direction avec celles de l'Afrique. Nous sommes en droit de considérer ce fait comme une nouvelle confirmation de l'ancienne jonction de ces terres.

Récemment, on a de plus en plus insisté sur l'identité structurale du Brésil et de l'Afrique du Sud. Ainsi, MAACK [77] écrit : « Pour qui connaît l'Afrique du Sud, la structure géologique de ce pays (du Brésil) est frappante. A chaque pas je me rappelais les aspects des contrées du Nama Land et du Transvaal. La stratification avec toutes ses particularités correspond exactement à la structure du socle sud-africain ». Pendant son voyage MAACK trouva cinq « pipes » de kimberlite à Patos (approximativement 18 1/2° lat. S., 46 1/2° long. O.). Il conclut : « Il est évident, si l'on tient compte du grand éloignement actuel des formations correspondantes, que l'hypothèse de l'affaissement de ponts continentaux ayant la largeur de l'Atlantique est à rejeter. On est conduit à la conception d'une translation continentale dans le sens de A.

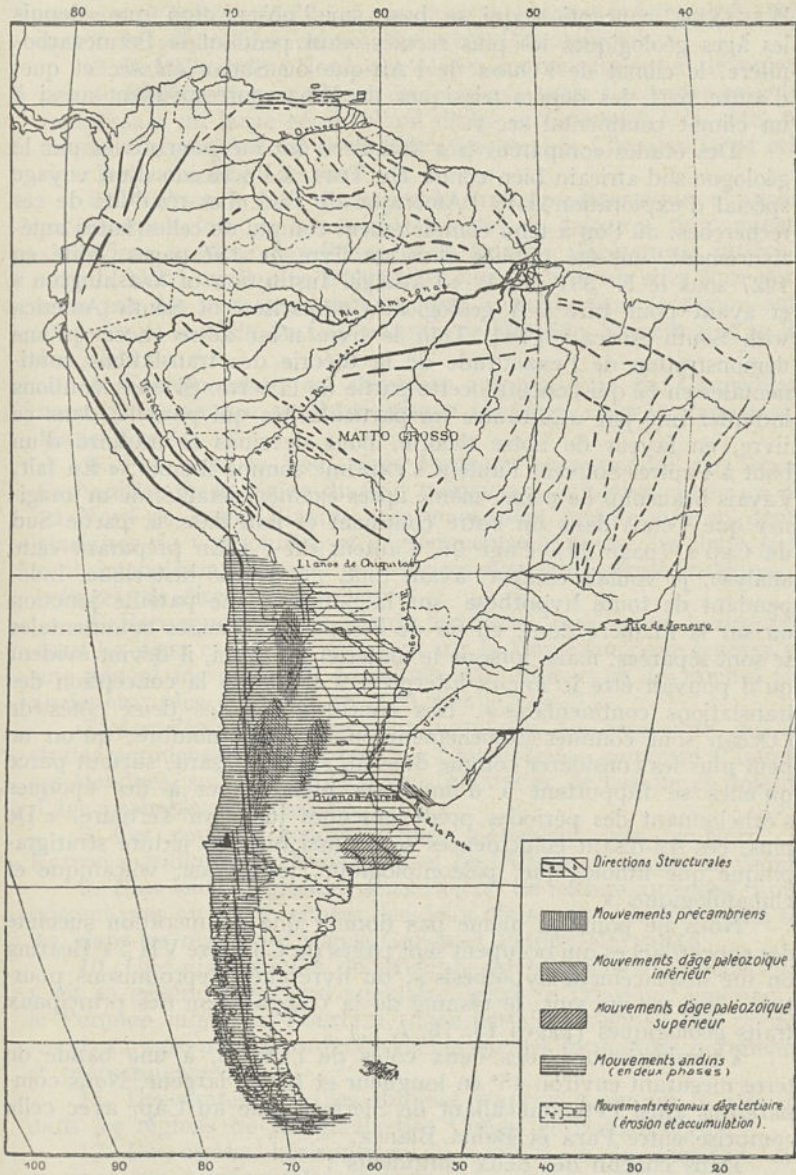


Fig. 17. — Carte tectonique schématique de l'Amérique du Sud, d'après KEIDEL et J. W. EVANS.

WEGENER, conception qui se base sur l'observation que, depuis les âges géologiques les plus reculés, sauf pendant le Permocarbo-nifère, le climat de l'Ouest de l'Afrique du Sud a été sec et que, d'autre part, les dépôts triasiques de Minas correspondent aussi à un climat continental sec ».

Des études comparées très détaillées ont été poursuivies par le géologue sud-africain bien connu DU TOIT, à l'occasion d'un voyage spécial d'exploration dans l'Amérique du Sud. Les résultats de ces recherches, où l'on a tenu complètement compte de celles faites antérieurement, ont été publiés dans un livre de 157 pages, édité en 1927 sous le N° 381 par la « Carnegie Institution of Washington » et ayant pour titre « A geological Comparison of South America with South Africa » [78]. Tout le livre n'est autre chose qu'une démonstration de l'exactitude de la théorie des translations continentales en ce qui concerne cette partie de la terre. Si nous voulions indiquer une par une toutes les particularités qui parlent, dans ce livre, en faveur de notre théorie, nous devrions le traduire d'un bout à l'autre. Souvent l'auteur s'exprime comme il suit : « En fait, j'avais beaucoup de peine, même après examen détaillé, de m'imaginer que j'étais dans un autre continent et non dans la partie Sud du Cap » (page 26). Page 97, l'auteur dit : « En préparant cette analyse, je voulais essayer, avant tout, un exposé historique, indépendant de toute hypothèse sur la nature d'une pareille jonction ou sur la manière dont, en fin de compte, les masses continentales se sont séparées; mais, lorsque le matériel fut réuni, il devint évident qu'il pouvait être le mieux interprété à l'aide de la conception des translations continentales ». Des concordances des deux côtés de l'Océan sont connues actuellement en si grand nombre, qu'on ne peut plus les considérer comme dues au simple hasard, surtout parce qu'elles se rapportent à d'immenses étendues et à des époques s'échelonnant des périodes prédevoniennes jusqu'au Tertiaire. « De plus, ces soi-disant coïncidences sont aussi bien de nature stratigraphique que lithologique, paléontologique, tectonique, volcanique et climatologique. »

Nous ne pouvons même pas donner une énumération succincte des concordances qui occupent sept pages du Chapitre VII : « Bearing on the displacement hypothesis », du livre cité. Reproduisons pourtant, dans ce qui suit, le résumé de la comparaison des principaux traits géologiques (pages 15, 16, *l. c.*) :

« Limitons-nous, des deux côtés de l'Océan, à une bande de terre mesurant environ 45° en longueur et 10° en largeur. Nous comparerons ainsi l'étendue allant de Sierra Leone au Cap, avec celle comprise entre Pará et Bahia Blanca.

Dans chacun des deux continents :

1. Les bases sont constituées en roches cristallines, d'âge précambrien, et, pour certaines bandes de terrain, en sédiments prédé-

vonien, d'âges variés, bien que pour la plupart indéterminés, mais ayant en général les mêmes caractères lithologiques.

2. Dans l'extrême Nord, des dépôts marins siluriens et dévoniens, peu accidentés, s'appuient sur ce complexe, sans s'accorder avec lui, remplissant un large géosynclinal dirigé obliquement à la côte, notamment le géosynclinal entre Sierra Leone et la Côte de l'Or et celui sous l'estuaire de l'Amazone.

3. Plus vers le Sud, des zones de strates protérozoïques et ancien-paléozoïques, où les quartzites, schistes et calcaires prédominent, s'étendent presque parallèlement à la côte, légèrement infléchies vers le Nord, mais plus irrégulières vers le Sud où elles sont pénétrées par des masses granitiques, par exemple dans la région entre Lüderitz et la Ville du Cap et entre le Rio São Francisco et le Rio La Plata.

4. Correspondant au Dévonien presque plat de Clanwilliam, nous retrouvons un pendant presque identique dans le Paranà et le Matto Grosso.

5. Plus vers le Sud, nous trouvons correspondre au Dévon-Carbonifère de la région du Cap méridional, la région située un peu au Nord de Bahia Blanca, convenablement transformée en dépôts glaciaires du Carbonifère et en sédiments permien; les deux séries sont intensément plissées par des mouvements permo-triasiques et crétacés, de directions similaires.

6. Reconnues vers le Nord, les tillites deviennent horizontales dans les deux cas et transgressent sur le Dévonien pour reposer sur une pénélaine glaciaire, constituée par celles-ci et des roches plus anciennes; plus au Nord on n'en trouve pas.

7. Les dépôts glaciaires sont recouverts des deux côtés par des strates permiennes et triasiques à « *Glossopteris* » couvrant d'immenses étendues, suivies par d'intenses intrusions de basalte et dolérites d'âge probablement liasique.

8. Ces couches gondwaniennes s'étendent vers le Nord, du Karroo méridional au Kaokoveld et de l'Uruguay au Minas Geraes.

9. Plus loin, de grandes aires isolées, de texture analogue, apparaissent plus au Nord, situées des deux côtés, vers l'intérieur des terres, dans les régions d'Angola-Congo et Piahy-Maranhão.

10. Une discontinuité de structure est très répandue, sans qu'il y ait en général désaccord angulaire, entre le Triasique supérieur et le Permien inférieur. Pourtant, dans certaines régions, les premières gisent avec une discordance visible sur des formations permiennes et prépermiennes.

11. Des strates crétacées obliques n'apparaissent sur la côte que dans les régions de Benguella-Bas Congo et Bahia-Sergipe.

12. Des strates horizontales du Crétacé et du Tertiaire, tant marines que continentales, couvrent de grandes étendues entre le Cameroun et le Togo et dans le Ceará, Maranhão, ainsi que plus vers

le Sud, tandis que les dépôts très étendus du Kalahari peuvent être approximativement comparés aux formations néogènes et quaternaires des Pampas argentines.

13. En établissant ce résumé général, on ne doit pas oublier l'important élément de liaison que constituent les îles Falkland. Leur série stratigraphique dévono-carbonifère est presque indistinguable de celle du Cap, tandis que le Lafonien ressemble de près au système de Karroo. Du point de vue stratigraphique et structural, les îles Falkland sont à rattacher à la région Sud-Ouest du Cap et non à la Patagonie.

14. Du point de vue paléontologique nous devons fixer notre attention sur : a) le „ facies austral ” du Dévonien du Cap, des Falkland, de l'Argentine, de la Bolivie et du Brésil du Sud, en opposition avec le „ facies boréal ” du Brésil du Nord et du Sahara; b) le genre de reptiles *Mesosaurus* des argiles schisteuses de Dwyka du Cap et des argiles schisteuses d'Iraty du Brésil, du Paraguay et de l'Uruguay ; c) la flore à *Gangamopteris-Glossopteris* avec un petit mélange de formes nordiques, dans les dépôts gondwaniens dans le Sud des deux continents; d) la flore à *Thinnfeldia* du Gondwanien supérieur du Cap et de l'Argentine; e) la faune néocomienne (Uitenhage) dans le Sud de la Colonie du Cap et dans la région située au Nord-Ouest de Neuquén en Argentine; f) le facies nordique ou méditerranéen des faunes crétacée et tertiaire au Nord du Tropique du Capricorne et g) le facies sud-atlantique-antarctique de l'Éocène (formation de San Jorge) de la Patagonie.

15. Les contours géographiques de l'Afrique et de l'Amérique du Sud se ressemblent d'une manière étonnante non seulement en ce qui concerne les généralités, mais aussi en ce qui concerne les détails; de plus, sauf dans le Nord, les dépôts tertiaires sont de peu de largeur ce qui rend l'existence de ces strates de peu d'importance. »

Du TOIT est le premier à avoir attiré l'attention sur un nouvel aspect très important des relations géologiques entre les deux continents. Il dit, en effet, page 109 :

« D'importance capitale est, en outre, la preuve que nous pouvons obtenir en étudiant les variations de facies de chaque formation particulière lorsqu'on la suit à l'intérieur du continent respectif.

« Comme exemple, considérons le cas de deux formations équivalentes, une première, dans l'Amérique du Sud, commençant près de ou à la côte atlantique en A et s'étendant vers l'Ouest jusqu'en A' et une deuxième, dans l'Afrique, commençant aussi vers la côte en B et s'étendant vers l'Est jusqu'en B'. Alors, on peut affirmer qu'il y a plus d'un cas où la variation de facies sur la distance A A' ou sur la distance B B' est *plus grande* que celle constatée entre A et B, malgré le fait qu'entre A et B se trouve toute la largeur de l'Atlantique. Autrement dit, ces formations particulières ont

tendance à présenter plus de ressemblance des deux côtés opposés de l'Atlantique qu'à l'intérieur des régions d'extension actuelle sur les continents respectifs. On ne peut pas considérer plus longtemps, avec la multiplication d'exemples pareils, qu'on trouve dans plus d'une ère géologique, une telle relation comme due au simple hasard, et une explication précise doit être cherchée. Une analyse

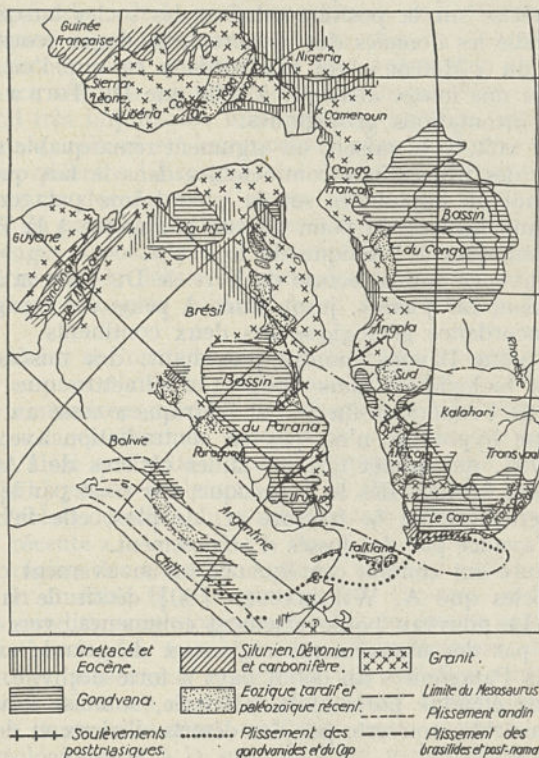


Fig. 18. — Ancienne position relative de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, d'après DU TOIT.

plus détaillée montre, d'ailleurs, que cette tendance inattendue se présente avec la même force, que la formation considérée soit marine, deltaïque, continentale, glaciaire, éolienne ou volcanique. »

Du TOIT donne dans son livre la carte, reproduite dans la fig. 18, qui montre la position relative des deux continents avant la disjonction. Du TOIT insiste sur le fait que l'on doit toujours laiss-

ser, lorsqu'on procède à ces reconstitutions, un intervalle d'au moins 400 à 800 km entre les côtes actuelles si l'on veut tenir compte des différences de facies présentées par ces côtes. Je ne puis que l'approuver complètement, car il ne faut pas laisser entre les deux côtes de la place seulement pour leurs plates-formes, mais, probablement, aussi pour la masse ayant été nécessaire à la formation du seuil atlantique. On pourra vraisemblablement donner une indication précise sur la position relative des socles lorsqu'on aura calculé et étudié les données des nombreux sondages acoustiques de l'expédition du « Meteor ». Je m'attends à ce que l'on obtienne par cette voie une image analogue à celle que DU TOIT a obtenu à l'aide des confrontations géologiques.

DU TOIT voit, avec raison, un argument remarquable en faveur de la théorie des translations continentales dans le fait que les Iles Falkland, quoique implantées sur la plate-forme patagonique, ne ressemblent aucunement du point de vue géologique à la Patagonie, mais sont identiques à l'Afrique du Sud (*).

Je dois avouer que la lecture du livre de DU TOIT m'a fait une forte impression, car j'avais, jusqu'alors, à peine osé espérer une si complète concordance géologique des deux continents.

Comme nous l'avons montré plus haut, des raisons paléontologiques et biologiques nous obligent d'admettre que l'échange de formes entre l'Amérique du Sud et l'Afrique a cessé au milieu du Crétacé. Cette hypothèse n'est pas en contradiction avec celle de PASSARGE [79], qui admet que les failles côtières de l'Afrique du Sud se seraient formées dès le Jurassique, car c'est par le Sud que s'ouvrit progressivement la fracture et, de plus, elle fut précédée longtemps d'avance par des fossés d'affaissement.

La fracture eut comme conséquence un mouvement caractéristique des socles que A. WINDHAUSEN [80] décrit de la manière suivante : « Le nouveau bouleversement commença, vers le milieu du Crétacé, par des mouvements régionaux de grande ampleur », notamment la Patagonie « au début pays à forte déclivité, se transforma en une étendue horizontale, affaissée, soumise à un climat aride ou semi-aride, couverte par des déserts silicieux et des plaines sablonneuses ».

Si nous procédons plus loin vers le Nord avec la comparaison des côtes opposées de l'Atlantique, nous remarquons alors que la chaîne de l'Atlas, située au bord septentrional de l'Afrique et dont

*) J'avoue que la position assignée par DU TOIT, dans sa reconstitution, aux Iles Falkland me paraît critiquable si l'on tient compte de leur position actuelle et de la carte bathymétrique de l'Atlantique Sud. En ce qui me concerne, je les aurais situées plutôt au Sud qu'à l'Ouest du Cap de Bonne Espérance; mais ceci n'est qu'une question secondaire qui sera certainement élucidée par des recherches ultérieures.

le plissement, commencé dans le Crétacé, se fit surtout dans l'Oligocène, n'a pas de prolongement en Amérique (*). Ce fait concorde avec notre supposition, mise en évidence dans la reconstitution, qu'en cet endroit la faille atlantique devait exister depuis longtemps avant la formation de cette chaîne. Il est, sans doute, probable que là aussi la faille avait jadis ses deux lèvres jointes, mais la disjonction doit y être apparue dès avant le Carbonifère. La grande profondeur de la partie occidentale de l'Atlantique Nord peut s'expliquer aussi, peut-être, par le fait que le fond y est d'origine beaucoup plus ancienne. Il faut remarquer de plus que la dissemblance entre la péninsule ibérique et les côtes américaines opposées rend très improbable une ancienne jonction directe de ces côtes. D'ailleurs, celle-ci est incompatible avec la théorie des translations, parce qu'entre l'Espagne et l'Amérique se trouve le large massif sous-marin des Açores. Comme j'ai essayé de le démontrer [37], à l'aide du premier profil bathymétrique transatlantique obtenu par des sondages acoustiques, ce massif consiste probablement en une bande écroulée de débris de socles continentaux, dont il n'est pas exclu que la largeur initiale doive être estimée à plus de 1.000 km.

Il est évident, si l'on tient compte de leur structure géologique, que ces îles, comme d'ailleurs toutes les autres îles de l'Atlantique, doivent être considérées comme des fragments continentaux. (Du reste il se pose la question de savoir si une grande partie de leurs substructures, ainsi que celle du seuil atlantique, sont en basalte.)

GAGEL [81] estime également que les Canaries et Madère sont « des restes d'éclats détachés du continent euro-africain à une époque relativement récente ».

Dans la région des Grandes Antilles, MATLEY [105] est arrivé récemment, en étudiant la géologie des Iles Cayman, à la conclusion que les conditions géologiques y sont le mieux expliquées à l'aide de la théorie des translations : « Premièrement, toutes les Grandes Antilles présentent, malgré le fait qu'elles sont séparées par de grandes distances et des abysses, une remarquable similitude quant à leurs caractères et faciès, aux rapports de leurs formations géologiques et à la suite de leurs roches éruptives. Pour autant qu'on les connaisse, leurs histoires géologiques sont aussi très semblables. Ces facteurs ne sont pas seulement favorables, mais ils constituent encore un appui à l'hypothèse d'après laquelle ces îles

*) GENTIL (et, récemment, STAUB [214] aussi) voulait voir dans les chaînes de même âge de l'Amérique Centrale, spécialement dans les Antilles, un pareil prolongement, mais JAWORSKI lui a objecté que cette idée ne se concilie pas avec celle de SUESS, généralement admise, suivant laquelle la Cordillère orientale de l'Amérique du Sud se prolonge par l'arc des Petites Antilles pour se courber de nouveau vers l'Ouest, sans aucun embranchement vers l'Est.

doivent avoir été jadis plus rapprochées qu'elles ne le sont actuellement. De plus, les grands fossés sous-marins de la mer des Antilles, comme par exemple le Canal de Bartlett (entre la Jamaïque et Cuba) — que TABER considérait déjà comme un fossé d'affaissement — sont si profonds qu'on comprend difficilement comment les parties affaissées de la masse de terre antillaise aient pu s'enfoncer si profondément dans la croûte terrestre ». C'est évidemment un détail insignifiant, mais c'est par la réunion de petits éléments pareils que l'on arrive à obtenir l'image grandiose de la face de la terre entière.

Plus au Nord, nous rencontrons, l'une à côté de l'autre, trois zones de plissement ancien qui s'étendent de part et d'autre de l'Atlantique. Ces zones permettent d'obtenir de nouveau une confirmation frappante de l'hypothèse d'une ancienne soudure des côtes.

La plus apparente de ces zones est formée par les plissements carbonifères, appelés par SUESS les chaînes armoricaines, qui permettent de considérer le gisement houiller de l'Amérique du Nord comme le prolongement direct de celui de l'Europe. Aujourd'hui fortement pénéplainées, ces chaînes traversent l'Europe, venant de l'intérieur du continent et se dirigeant d'abord vers O. - N.-O., puis s'infléchissent vers l'Ouest, pour toucher l'Atlantique au Sud-Ouest de l'Irlande et en Bretagne où elles donnent à la côte un aspect brutalement déchiqueté (côte à rias). Les plis les plus méridionaux de ce système, qui traversent la France, paraissent dévier tout à fait vers le Sud, une fois arrivés à la plate-forme atlantique, pour réapparaître en Espagne de l'autre côté de la faille abyssale, s'ouvrant en forme de livre, du golfe de Gascogne. SUESS appelle cet embranchement « l'arc des Asturies ». Bien qu'elles aient été rabotées par les vagues, les chaînes principales se continuent de toute évidence vers l'Ouest à travers la partie nordique de la plate-forme, pour se diriger vers l'Atlantique où elles semblent s'attendre à un prolongement (*).

En Amérique, ce prolongement est formé, comme BERTRAND l'a fait voir le premier en 1887, par les contreforts des Appalaches dirigés vers la Nouvelle-Ecosse et le Sud-Est de Terre-Neuve. Dans cette même région aboutit également une chaîne de plis carbonifères, dont le plissement est dirigé, comme pour la chaîne européenne correspondante, vers le Nord, formant une côte à rias et se prolongeant aussi sur la plate-forme du banc de Terre-Neuve. Elle se

*) L'idée de KOSMAT [82], en opposition avec celle de SUESS, d'après laquelle tous les plis européens se recourberaient à leur arrivée à l'Atlantique, pour revenir vers la presqu'île ibérique, ne pourrait être admise que difficilement : Un arc montagneux si considérable n'aurait pas assez de place dans la plate-forme.

dirige vers le Nord-Est et ce n'est qu'au point de rupture qu'elle tourne carrément vers l'Est. On avait admis, même avant notre théorie, qu'il s'agissait d'un unique système de plis. SUESS l'appelait la chaîne des « Altaïdes transatlantiques ». La théorie des translations simplifie beaucoup la question en ce qu'elle ramène les deux tronçons à se toucher presque dans la reconstitution, tandis qu'on devait, avant elle, admettre l'existence d'une partie intermédiaire affaissée, dont la longueur aurait dépassé celle des chaînes actuelles; ce en quoi PENCK voyait déjà une difficulté. Sur la ligne joignant les points de rupture, le fond de l'Océan présente quelques élévations isolées que l'on avait considérées jusqu'ici comme des sommets appartenant à la chaîne immergée. A notre avis, ce sont des fragments détachés des bords des socles en train de se disjoindre. Leur détachement est facilement compréhensible dans une telle zone de bouleversements tectoniques.

Plus au Nord, en Europe, s'appuyant directement sur la chaîne hercynienne, s'étend une suite de plis, plus anciens encore, formés entre le Silurien et le Dévonien, qui parcourt la Norvège et le Nord des Iles Britanniques. C'est la chaîne calédonienne de SUESS. ANDRÉE [83] et TILMANN [84] ont étudié la question de son prolongement par les « Calédonides canadiennes » (TERMIER) et plus particulièrement par les Appalaches canadiennes dont le plissement est d'âge calédonien. Le fait que cette dernière chaîne a été rajeunie par le plissement armoricain, ce qui n'a eu lieu en Europe que dans sa partie centrale (Hohes Venn-Stavelot et Ardennes) n'influence évidemment pas le raccordement envisagé. Les parties de cette chaîne, jadis en contact, doivent être cherchées d'une part dans les Highlands écossais et l'Irlande du Nord, de l'autre à Terre-Neuve.

Immédiatement au Nord de la chaîne calédonienne s'étendent en Europe les chaînes gneissiques plus anciennes (algonkiennes) des Hébrides et de l'Ecosse septentrionale. Leurs correspondantes en Amérique sont les montagnes gneissiques de même âge du Labrador, s'étendant vers le Sud jusqu'au détroit de Belle-Isle et pénétrant au loin dans le Canada. En Europe, leur direction structurale est du Nord-Est au Sud-Ouest, en Amérique tantôt la même, tantôt de l'Est à l'Ouest. DACQUÉ [22] fait remarquer qu' : « Il en résulte que la chaîne traversait l'Atlantique Nord ». La partie qu'on supposait engloutie d'après les anciennes conceptions aurait dû d'ailleurs avoir une longueur de 3.000 km. D'autre part, le prolongement en ligne droite des chaînes européennes, compte tenu des positions actuelles des continents, nous conduirait à un point de la côte américaine situé à quelques milliers de kilomètres de l'aboutissement des chaînes américaines, notamment en Amérique du Sud. Ici encore, la théorie de la dérive des continents permet, grâce à un mouvement transversal, suivi d'une rotation, un emboîtement du tronçon améri-

cain dans celui de l'Europe, le premier apparaissant ainsi comme étant le prolongement du second.

Dans la région que nous venons de considérer se trouvent aussi les moraines terminales des grandes calottes glaciaires de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Leur dépôt a eu lieu à une époque où Terre-Neuve était déjà séparée de l'Europe, tandis que plus au Nord, vers le Groenland, les socles étaient encore réunis. De toute façon, l'Amé-

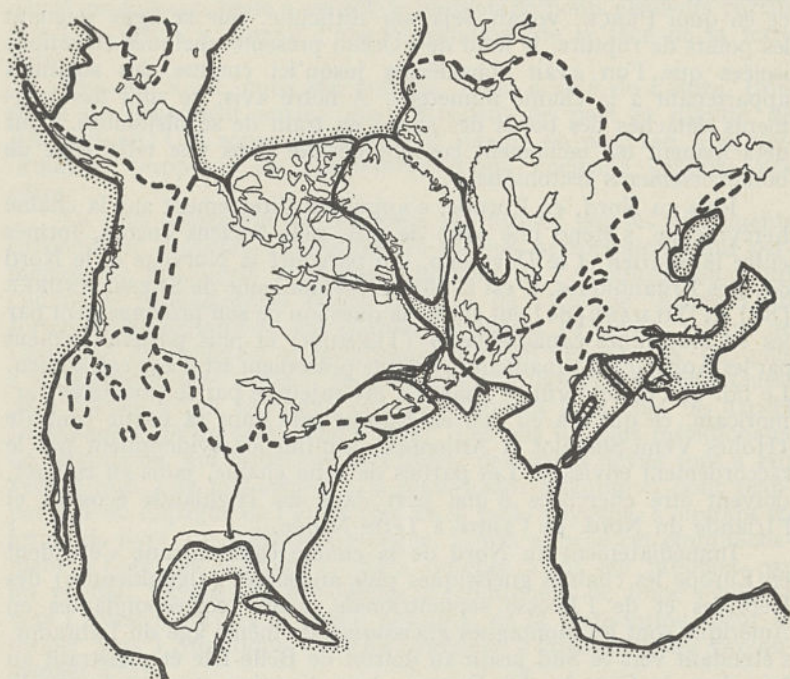


Fig. 19. — Situation de l'inlandsis quaternaire sur la reconstitution correspondant à l'époque antérieure à la séparation de l'Amérique du Nord.

rique du Nord devait être alors beaucoup plus rapprochée de l'Europe qu'elle ne l'est aujourd'hui. Si nous procédons à une reconstitution telle qu'elle est indiquée sur la fig. 19, nous constatons que les moraines s'adaptent exactement, sans qu'il y ait recouvrement ou déchirures, ce qui paraît tout à fait invraisemblable si au moment où elles ont été déposées les côtes correspondantes avaient été aussi distantes qu'elles le sont actuellement, c'est-à-dire à 2.500 km l'une de l'autre, et cela d'autant plus que leur extrémité atteint

en Amérique une latitude de quatre degrés et demi inférieure à celle des moraines européennes.

Les homologies géologiques que nous venons d'examiner, notamment: le plissement des chaînes du Cap et des Sierras de Buenos-Aires, l'identité des roches éruptives, des sédiments, des directions structurales et de nombreuses autres particularités des plateaux gneissiques brésilien et africain, les plissements armoricain, calédonien et algonkien et les moraines terminales quaternaires, sont autant de preuves qui, même si leur interprétation n'est pas mise au point en ce qui concerne certaines questions de détail, constituent dans leur ensemble un faisceau de preuves difficilement ébranlable de notre conception, d'après laquelle on doit voir dans l'Atlantique une faille élargie. Ce qui présente une importance décisive c'est le fait qu'en partant d'un emboîtement des socles, où l'on n'a utilisé que la configuration des côtes, on soit arrivé à une si parfaite adaptation, toutes les formations d'une côte venant se raccorder aux extrémités des formations analogues de la côte opposée. C'est comme si nous cherchions à reconstituer un journal déchiré d'après les contours de ses fragments, pour vérifier ensuite si les lignes se correspondent. S'il en est ainsi, il ne nous reste pas d'autre alternative que d'admettre que les fragments étaient antérieurement réunis de la même manière. Qu'une seule ligne permette un pareil contrôle et il y aurait déjà une forte probabilité en faveur de l'exactitude de la reconstitution. Si n lignes permettent le contrôle, la probabilité de l'exactitude est la n° puissance de la précédente. Il n'est pas inutile de se rendre clairement compte de la signification de ce qui précède. Admettons que nous soyons disposés, en nous basant sur le contrôle de la première « ligne », c'est-à-dire des plissements des chaînes du Cap et des Sierras de Buenos-Aires, à parier 10 contre 1 que la théorie des translations est exacte. Alors, nous pouvons, puisque nous connaissons au moins six contrôles analogues indépendants, parier 10^6 , c'est-à-dire un million contre un, que notre hypothèse est vraie. Ces chiffres peuvent paraître exagérés. Aussi, ne les donnons-nous que pour montrer l'importance qu'acquièrent, lorsqu'ils se multiplient, les moyens de contrôle indépendants.

Au Nord des régions que nous avons considérées, la faille bifurque, des deux côtés du Groenland, l'écartement de ses murs s'amincissant progressivement. Les homologies bilatérales perdent de leur valeur probante, parce qu'elles deviennent de plus en plus facilement explicables, même avec la position actuelle des socles. Toutefois, il n'est pas sans intérêt de poursuivre jusqu'au bout notre confrontation.

Nous trouvons des fragments d'un plateau basaltique étendu dans l'extrême-nord de l'Irlande et de l'Écosse, sur les Hébrides et les Fær-Oer; le plateau se poursuit dans l'Islande, pour passer de l'autre côté au Groenland où il forme la grande presqu'île limitant

au Sud le Scoresby Sound et s'étend le long de la côte pour arriver jusqu'au 75° degré lat. N. On trouve des plateaux basaltiques étendus aussi sur la côte Ouest du Groenland. Dans toutes ces régions apparaissent de la même façon des intercalations de charbons à plantes entre deux coulées de lave; on en a déduit qu'elles communiquaient jadis entre elles. La répartition des dépôts continentaux dévoniens à facies continental, l'« Old Red », que l'on rencontre en Amérique, de Terre-Neuve à New-York, en Angleterre, en Norvège méridionale, dans la région baltique, au Groenland et au Spitzberg, donne lieu à une conclusion analogue. Ces rencontres permettent d'envisager l'existence d'une seule région d'extension, à un seul tenant, contemporaine de

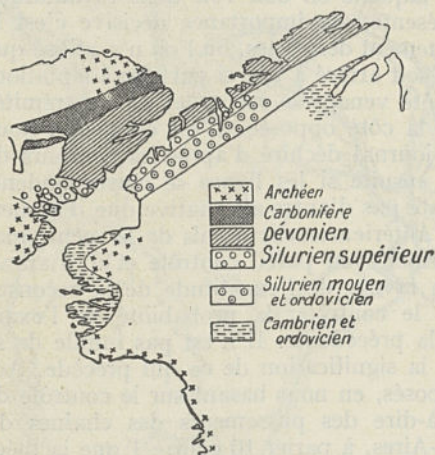


Fig. 20. — Carte géologique du N.-O. du Groenland, d'après LAUGE-KOCH.

leur formation, mais fragmentée aujourd'hui : par l'affaissement des portions actuellement immergées, d'après les théories anciennes; par des ruptures et des disjonctions, d'après nous.

On peut mentionner, en relation avec ce qui précède, l'existence symétrique de dépôts carbonifères non plissés, d'une part au Nord-Est du Groenland (par 81° lat. N.) et d'autre part au Spitzberg.

Comme il était à prévoir, il y a aussi identité structurale entre le Groenland et l'Amérique du Nord. D'après la carte géologique de l'Amérique du Nord, dressée par l'« U. S. Geological Survey », on trouve dans le gneiss du Cap Farvel et de la région située au Nord-Ouest de celui-ci, des roches intrusives précambriennes que l'on retrouve sur la côte américaine exactement à l'endroit correspondant, notamment sur la côte Nord du détroit de Belle-Isle. Au Nord-Ouest du Groenland, dans la région du Smith Sound et du Canal de Robeson, le déplacement ne consiste plus en un élargissement de l'écartement des murs de la faille, mais en une ample translation des masses parallèlement à ces murs, en ce qu'on appelle un glissement en long. La Terre de Grinnell glisse le long du Groenland et c'est à ce phénomène que l'on peut attribuer les bords rectilignes des deux masses en présence. Ce mouvement peut aussi être reconnu sur le fragment de la carte géologique du N.-O. du Groen-

land dressée par LAUGE-KOCH [85], reproduit dans la fig. 20; il suffit de se rapporter à la limite entre le Silurien et le Dévonien qui se trouve par $80^{\circ} 10'$ lat. N. sur la Terre de Grinnell et par $81^{\circ} 30'$ au Groenland. Il est également décelable à l'aide du plissement calédonien, découvert par cet auteur, qui passe du Groenland sur la Terre de Grinnell.

Donnons encore rapidement quelques indications sur la façon dont nous avons procédé dans la reconstitution des liaisons intercontinentales pré-atlantiques. Une étude plus approfondie des phénomènes entrant en jeu, comme plasticité des socles de sial, fusion par en dessous, etc., sera donnée un peu plus loin. Mais, pour éviter tout malentendu, il faudra en faire mention dès la comparaison du point de vue géologique des bords de la faille.

Notre reconstitution a changé quelque peu la forme de l'Amérique du Nord. Le Labrador y semble, en effet, fortement poussé vers le Nord-Ouest. Nous avons admis que la violente traction qui eut en définitive comme effet la séparation de Terre-Neuve de l'Irlande, avait provoqué auparavant une extension, suivie de déchirements superficiels des masses continentales. Du côté de l'Amérique, non seulement le socle de Terre-Neuve (banc de Terre-Neuve compris) fut détaché en subissant une rotation de 30° environ sur lui-même, mais le Labrador tout entier se tassa vers le Sud-Est donnant à la fracture, primitivement rectiligne, s'étendant du Saint-Laurent au détroit de Belle-Isle, sa forme actuelle en S. Cet étirement doit avoir eu aussi pour effet la formation ou l'agrandissement de mers épicontinentales, telles que la Baie de Hudson et la Mer du Nord. Le socle de Terre-Neuve subit donc un double mouvement, notamment une rotation et une translation dirigée vers le Nord-Ouest. Dans la reconstitution il doit venir à côté de la Nouvelle-Ecosse, tandis que dans sa position actuelle il en paraît bien éloigné.

Nous devons admettre que l'Islande est comprise entre deux failles, si nous tenons compte des cartes bathymétriques actuelles. Il se peut que pour commencer, une faille ou plutôt un fossé d'affaissement se soit produit entre les massifs gneissiques du Groenland et de la Norvège, fossé qui aurait été partiellement comblé, par la suite, par des masses de sial en fusion provenant de la base du socle. Mais, comme cette faille contenait en outre du sima, comme la Mer Rouge actuellement, un nouveau rapprochement de ses murs a pu avoir pour effet un refoulement vers le haut de cette dernière masse, en la séparant de son réservoir profond. Ce serait là l'origine des vastes épanchements basaltiques de ces régions. Il paraît tout à fait plausible que ces phénomènes se soient produits dans le Tertiaire, car le déplacement vers l'Ouest de l'Amérique du Sud doit avoir entraîné une torsion de l'Amérique du Nord qui, tant que les chaînes liant l'Irlande à Terre-Neuve existaient encore, conduisit à une compression de la région située au Nord de cette ligne de jonction.

Disons à ce propos quelques mots sur le seuil atlantique (*). La conception de HAUG suivant laquelle l'Océan Atlantique serait un « géosynclinal » géant, dont le seuil serait l'amorce d'un pli ou géant-ticlinéal, est généralement considérée comme insuffisante. Bornons-nous à indiquer la critique qu'en fit ANDRÉE [16]. D'après mon opinion, il s'agit de toute façon, en ce qui concerne ce seuil, de débris produits par la disjonction des socles. On peut admettre que dans ce cas ce n'est pas une faille unique qui se produit, mais tout un réseau de failles entrelacées, déterminant une zone de morcellement dont les fragments, en s'effondrant, ont été entraînés au fond de l'Océan à mesure que les bases des socles s'écartaient. C'est surtout aux endroits où les bords actuels de l'Océan ne se correspondent pas convenablement que cette zone aurait eu une ampleur importante.

Nous avons ainsi mentionné plus haut que la région des Açores correspond à une zone de morcellement qui peut bien avoir eu plus de 1.000 km de largeur. Ce cas est une exception, parce que le seuil atlantique est en général beaucoup moins large. D'après la carte de DU TOIT (fig. 18) on pourrait déduire, si l'on tient compte des bords actuels des socles, que la zone avait quelques centaines de kilomètres de largeur, même moins en certains endroits. Ce fait est confirmé par l'identité de configuration des côtes, à l'exception de quelques écarts, comme le banc des Abrolhos ou la région du delta du Niger. Nos cartes de reconstitution (fig. 4 et 5) sont schématiques à cet égard, en ce qu'elles ne tiennent peut-être pas suffisamment compte de ces zones de morcellement, d'ailleurs assez difficiles à évaluer. On ne peut pas savoir si l'on arrivera jamais à pouvoir procéder à une reconstitution détaillée parfaite, car même si l'on connaissait tout à fait exactement le profil de l'Atlantique, il resterait à déterminer dans quelle proportion figure le basalte dans la constitution du fond océanique actuel, ainsi que la part qui reviendrait au basalte primitivement *sous* les socles continentaux, et n'intervenant actuellement — dans la constitution du fond océanique — que grâce à une intrusion, synchronique à la disjonction et due à l'effort de rupture. Cette partie du basalte n'est pas à prendre en considération à l'occasion de la reconstitution.

Il y a beaucoup moins à dire, du point de vue géologique, sur les autres liaisons continentales admises par nous.

Madagascar consiste, comme la partie de l'Afrique qui lui fait face, en un plateau de gneiss plissé à direction structurale Nord-Est. De part et d'autre de la fracture on trouve les mêmes sédiments marins qui nous indiquent que dès le Trias les deux terres étaient séparées par un fossé d'effondrement inondé, dont l'existence est exigée

*) Cf. la carte de l'Océan Atlantique *in* SCHOTT, *Geographie des Atlantischen Ozeans*, 2^e éd., Hambourg, 1926.

aussi par la faune malgache. Cependant, d'après LEMOINE [87], deux animaux d'Afrique ont encore pu coloniser l'île au Tertiaire moyen, alors que l'Inde péninsulaire s'était déjà éloignée. Ce sont le *Potamochoerus* et l'Hippopotame que LEMOINE n'estime pas avoir été capables de traverser un bras de mer de plus de 30 km de largeur, tandis que la largeur actuelle du Canal de Mozambique est bien de 400 km. Ce n'est donc qu'après cette période que le socle malgache doit s'être détaché complètement, jusqu'à sa base, de celui de l'Afrique, ce qui explique la considérable avance prise par l'Hindoustan par rapport à Madagascar dans la dérive vers le Nord-Est.

Une caractéristique assez importante de la structure géologique africaine est constituée par les failles dirigées pour la plupart du Nord au Sud et qui se présentent surtout dans l'Afrique de l'Est. EVANS, dans une étude intéressante sur les « Régions à Tension » [107], parmi d'autres arguments en faveur de la théorie des translations continentales, insiste sur le suivant : « Il reste encore beaucoup de choses à déterminer en ce qui concerne la structure du continent africain; mais, tout ce que l'on connaît paraît appuyer l'hypothèse que l'on doit envisager partout la prédominance d'une force de tension dirigée du centre vers l'extérieur. Ce fait est d'accord avec l'idée de WEGENER qu'il y avait au commencement du Mésozoïque un grand „Ur-Kontinent", dont la partie centrale était l'Afrique, qui s'est rompu par la suite à cause de mouvements relatifs : de l'Amérique du Sud vers l'Ouest, de l'Antarctique occidentale vers le Sud-Ouest, de l'Inde vers le Nord-Est, de l'Australie vers l'Est et de l'Antarctique orientale vers le Sud-Est » (*).

L'Inde péninsulaire est aussi un plateau de gneiss plissé. Le plissement l'accidente encore à son extrémité Nord-Ouest, où s'élèvent les vieilles montagnes des Aravalli (au bord du désert de Thar) et aussi dans les Monts, également très anciens, de Korana. Le plissement des Aravalli a, d'après SUESS, la direction N. 36° E., celui des Monts de Korana la direction Nord-Est. Les directions concordent suffisamment avec la direction structurale de l'Afrique et de Madagascar, bien que seulement après une petite rotation de l'Inde, nécessaire à l'exécution de la reconstitution. Ici encore, il existe un plissement un peu plus récent, quoique toujours ancien, dirigé du Nord au Sud, dans les Ghâtes de Nellore ou Monts Vellakonda, qui correspond à la direction structurale africaine, plus récente, dirigée également du Nord au Sud. Les couches diamantifères de l'Inde font suite à celles de l'Afrique du Sud. Dans notre reconstitution nous avons supposé que la côte occidentale de l'Inde était réunie à la côte orientale de Madagascar. Les deux côtes sont une cassure

*) Les directions cardinales, au moment où ces mouvements commencèrent, étaient en partie différentes de celles d'aujourd'hui à cause du déplacement des pôles.

remarquablement rectiligne d'un plateau gneissique et suggèrent l'idée qu'elles ont bien pu avoir commencé, après la disjonction, par glisser l'une le long de l'autre, comme la Terre de Grinnell et le Groenland. A l'extrémité nordique de cette cassure, s'étendant sur environ 10 degrés de latitude, se trouvent, des deux côtés, des épanchements de basalte. En Inde c'est le plateau basaltique du Deccan commençant par 16° lat. N. Il date du commencement du Tertiaire et doit peut-être être mis en relation causale avec la disjonction. A Madagascar, ce sont deux épanchements d'âges différents, non encore bien précisés. Ils couvrent l'extrémité septentrionale de l'île.

Les gigantesques plis himalayens, essentiellement d'âge tertiaire, témoignent de la compression d'un compartiment important de la croûte terrestre. En procédant à la reconstitution des formes primitives, les contours de l'Asie seraient tout autres que les contours actuels. Il est probable que l'Asie orientale toute entière, du Tibet et de la Mongolie jusqu'au lac Baïkal, peut-être même jusqu'au détroit de Bering, a contribué à la poussée d'ensemble. Les dernières recherches ont montré que les mouvements orogéniques récents ne se bornent pas à l'Himalaya, mais ont provoqué d'importants plissements dans les Monts Pierre-le-Grand, où des couches éocènes ont été portées jusqu'à 5.600 m d'altitude, tandis que dans le complexe Tien-Chan ils donnèrent lieu à de grands chevauchements [88]. Mais, même là où de semblables plissements font défaut, le soulèvement récent des territoires tabulaires est aussi en étroite relation avec les mouvements précédents. En effet, les masses énormes de sial que le plissement a refoulé vers la profondeur, ont dû y entrer en fusion et soulever, en diffluant sous eux, les compartiments de croûte voisins. Considérons uniquement la partie la plus élevée du socle asiatique, dont l'altitude moyenne est de 4.000 m et dont la longueur, dans le sens du déplacement, est de 1.000 km. Admettons (malgré l'élévation plus grande!) que le rétrécissement soit du même ordre de grandeur que celui des Alpes, c'est-à-dire que la longueur finale soit le quart de sa longueur initiale. Nous obtenons un déplacement de 3.000 km pour l'Inde péninsulaire, ce qui montre qu'au commencement de la compression celle-ci devait être à côté de Madagascar, et il ne reste plus de place pour une Lémurie effondrée.

On retrouve encore les traces de cette poussée géante des deux côtés de la zone relativement étroite où se produisit l'affrontement des masses. Telles sont : La disjonction de Madagascar de l'Afrique, le système de failles récentes de l'Afrique orientale, auquel se rattache aussi la Mer Rouge et la vallée du Jourdain. La presque île des Somalis doit avoir traîné un peu vers le Nord, tout en subissant une rotation, entraînant ainsi la compression des chaînes abyssines. Les masses de sial enfoncées à cet endroit à une profondeur supérieure à celle de la géoïsotherme de leur point de fusion, ont coulé sous le socle vers le Nord-Est, pour monter à la surface du sol dans l'angle situé entre

l'Abyssinie et la presqu'île des Somalis. L'Arabie ressentit aussi l'effet de la traction vers le Nord-Est et a poussé les contreforts du Djebel Akhdar comme un éperon dans les chaînes persiques. La coupure en forme d'éventail des chaînes de l'Hindou-Kouch et du Soliman indique qu'on est à la limite occidentale de la compression; on retrouve une image parfaitement symétrique au bord oriental de la compression où les chaînes de la Birmanie, après avoir pris les



Fig. 21. — La compression lémurienne.

directions indiquées par l'Annam, la presqu'île de Malacca et Sumatra, arrivent jusqu'à la direction Nord-Sud. Cette poussée d'ensemble a agi également sur toute l'Asie orientale; les limites occidentales de la compression y sont indiquées par les plis en échelons situés entre l'Hindou-Kouch et le lac Baïkal, ainsi que leur prolongement jusqu'au détroit de Bering, tandis que les limites orientales sont constituées par les côtes pansues du Pacifique et par les guirlandes insulaires qui les accompagnent.

De prime abord ces points de vue pourraient paraître peut-être fantastiques, mais les recherches récentes des tectoniciens les confir-

ment d'une façon absolue. Ceci s'applique surtout à la mémorable étude d'ARGAND [20] sur la Tectonique de l'Asie, parue en 1924.

Nous reproduisons dans la fig. 22 un de ses diagrammes qui explique sa conception sur la poussée d'ensemble ayant engendré la Haute-Asie. Elle représente une coupe transversale s'étendant de l'Inde au Tien-Chan pour une époque située vers la fin du Tertiaire; la partie hachurée correspond au sima basal; les socles en sial sont en blanc; les matières provenant du fond de la Téthys en pointillé. Sont aussi indiquées les roches basiques (du sima) arrachées par le sial. Les flèches donnent le sens du mouvement relatif. On aurait donc à faire principalement à un charriage géant où le socle asiatique a chevauché le socle en sial de la Lémurie.

Parmi les autres figures qui se trouvent dans sa remarquable étude, nous ne reproduisons que la fig. 23, qui montre clairement l'identité complète qui existe entre les résultats de cet éminent tecto-

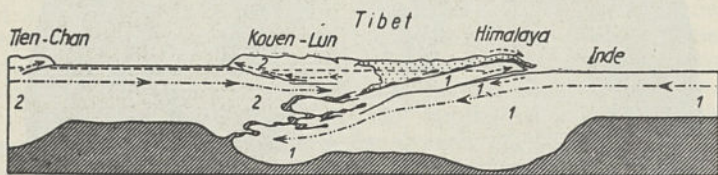


Fig. 22. — Coupe transversale de la zone d'affrontement Eurasie — Gondwanie, d'après ARGAND.
1 = Gondwanie; 2 = Eurasie.

nicien et ceux de la théorie des translations. ARGAND attire l'attention, entre autres, sur les particularités suivantes. Si l'on considère les trois branches des zones de plissement de fond I, II, III qu'ARGAND conçoit dans leur ensemble comme une grande virgation, chacune des branches présente alors une courbure analogue à celle des Andes de l'Amérique du Sud, mais ici la courbure décroît vers l'Est. ARGAND en conclut (page 317) : « Une poussée plastique, venue de l'Ouest, à laquelle a réagi tout le tènement principal de la Gondwanie, s'est donc fait sentir à travers la masse du continent, et ses effets sur la courbure du plan se sont lentement amortis vers l'Est ». Comme pour tous les plissements de fond, il faut invoquer pour pouvoir expliquer le phénomène, le frottement au niveau du sima basal et la déformation interne du sial; d'où : « avant la disjonction atlantique, la résistance du sima pacifique à l'avant de la Gondwanie en dérive vers l'Ouest, c'est-à-dire à la proue de ce qui est maintenant l'Amérique du Sud... C'est vainement qu'on tenterait de rendre compte, sans synergie entre les Andes et la virgation, de toutes ces homologies... L'existence, dans le Nord de la Tanganyika

Territory, de mouvements andins attestés par la discordance du Mésocrétacé sur des terrains jurassiques montre que cette synergie, loin d'être illusoire, a embrassé pour le moins toute la largeur de l'Amérique du Sud et de l'Afrique encore soudées ».

Nous devons également indiquer ici un autre résultat d'ARGAND. C'est la détermination pour les principales zones de plissement des

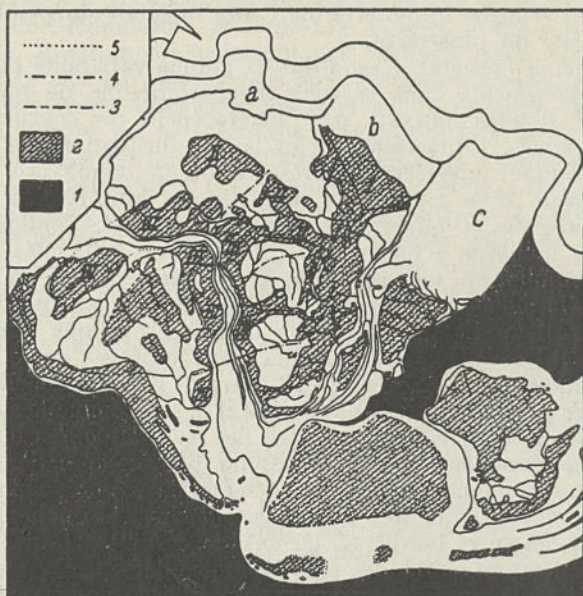


Fig. 23. — Carte tectonique de la Gondwanie, d'après ARGAND.
(Les plis de fond du continent de Gondwana.)

1, sima dominant; 2, aires dans lesquelles prédomine le plissement anticlinal de fond; I, II, III, première, deuxième et troisième branches de la virgation intérieure de la Gondwanie; 3, culminations d'axe des plis de fond; 4, ennoyages d'axe des plis de fond; 5, raccords; *a, b, c*, promontoires que la Gondwanie tournait vers la Téthys (*a*, prom. africain; *b*, prom. arabe; *c*, prom. indien).

intensités de plissement; une description de sa méthode serait inutile à cette place. L'auteur exprime les intensités en tonnages par unité de longueur. Il distingue entre le tonnage ravivé des plis de fond (dans le sial) et le tonnage neuf des « chaînes neuves », le dernier de moindre importance quant à l'énergie nécessaire à leur formation. Il trouve ainsi, par un procédé statistique, que dans la chaîne de plis méditerranéens (Alpes—Himalaya) la fluctuation du tonnage est beau-

coup plus grande que celle du tonnage de la chaîne de plis circum-pacifique. En particulier, l'énorme compression du centre de l'Asie n'a pas d'équivalent sur la côte pacifique. De plus, le tonnage est beaucoup plus grand sur la côte occidentale de l'Amérique du Nord que sur la côte orientale de l'Asie. Et, en troisième lieu, le tonnage des chaînes neuves de l'Asie orientale est en valeur absolue et en valeur relative plus grand qu'en Amérique du Nord, où il est presque nul, ce qui souligne l'infériorité de l'Asie orientale du point de vue de l'intensité du plissement.

Le premier résultat, c'est-à-dire la grande variabilité de l'intensité des plissements dans la zone méditerranéenne de plissements s'explique, d'après ARGAND, par l'hétérogénéité des couches de sial correspondantes. « Inversement, les faibles fluctuations du tonnage circum-pacifique annoncent la présence ou la dominance, sous le Grand Océan, d'un milieu plus homogène et plus rémissif que les hauts hétérogènes et toujours très résistants des blocs continentaux... La théorie mobiliste actuelle rend compte, sans difficulté, des faits de la distribution du tonnage et de leurs interprétations immédiates. Pour elle, le milieu relativement homogène et rémissif qui occupe le Pacifique est le *sima*... La théorie mobiliste explique aisément le deuxième et troisième groupe de faits, dans lesquels s'avère l'infériorité énergétique de l'Asie orientale à l'égard de l'Amérique. Elle admet des *jeux de proue*, qui pressent et plissent le sial comme le *sima*, sous certaines conditions. Elle admet aussi des *jeux de poupe*, qui consistent en une rétraction du sial d'où résulte, pour cette matière, l'interruption plus ou moins complète du plissement, avec prédominance des effets de traction: fractures distensives, déchirures en boutonnières qui créent des mers bordières, lâchers de cordillères qui désormais traînent à l'état de guirlandes plus ou moins détachées, dans le sillage du continent, cependant que le *sima*, obligé de s'adapter à tant de conditions nouvelles, monte sous les mers bordières et dans les espaces fraîchement évacués par les guirlandes, au côté poupe. Du retard avec lequel se fait cette montée, dans la dernière affaire, résultent les profonds sillons dont la notion classique fait des avant-fosses. La théorie mobiliste demandant, enfin, que le jeu de proue ait été prédominant au bord occidental de l'Amérique, et que le jeu de poupe ait régné assez longtemps en Asie orientale, la supériorité de la première et l'infériorité de la seconde en tonnage plissé s'expliquent d'elles-mêmes. »

« L'élégance avec laquelle la théorie des translations explique ces faits considérables, inconnus au moment où elle a été établie, est certes un grand témoignage en sa faveur. Aucun de ces faits ne démontre, en rigueur, la théorie mobiliste ou simplement l'hypothèse de la présence du *sima*, mais tous s'accordent parfaitement avec l'une et avec l'autre, au point de les rendre très vraisemblables. »

Bornons-nous à ces citations d'ARGAND qui s'occupe ainsi, com-

me on le voit, dans cette étude sur la tectonique de l'Asie, des traits principaux de la face de la terre.

Il serait intéressant de procéder également à une comparaison géologique entre la côte orientale de l'Inde péninsulaire et la côte occidentale de l'Australie, car celles-ci ou, pour mieux dire, les bords des plates-formes correspondantes étaient, d'après nous, directement reliées environ jusqu'au Jurassique. Mais, à ce qu'il paraît, pareille comparaison n'a pas encore été entreprise par les géologues. La côte orientale de l'Hindoustan présente une rupture brusque du plateau gneissique, interrompue seulement par l'étroite région houillère du Godavari formée par des couches gondwaniennes inférieures. Celles-ci sont recouvertes transversalement et en discordance, là où elles atteignent la côte, par le Gondwana supérieur qui suit la côte. L'Australie occidentale est aussi un plateau gneissique à surface ondulée, comme l'Inde péninsulaire et l'Afrique. Il se termine le long de la côte par un escarpement formé par le « Darling Range » et son prolongement vers le Nord. L'escarpement est précédé par une bande de plaines d'affaissement consistant en couches d'âge paléozoïque et mésozoïque dans lesquelles les basaltes ont fait intrusion par endroits. Avant cette bande, et longeant la côte, de nouveau une zone gneissique, étroite, disparaissant par endroits. Les sédiments précités comprennent aussi une région houillère dans le voisinage de l'Irvin. La direction structurale des plissements gneissiques australiens est partout Nord—Sud et si nous rattachons l'Australie à l'Hindoustan elle se transformerait en direction Nord-Est — Sud-Ouest, devenant ainsi parallèle à la principale direction de la péninsule.

Dans l'Est de l'Australie les cordillères australiennes, plissées principalement dans le Carbonifère, s'étendent le long de la côte du Sud au Nord, où elles finissent par un système de plis en échelons, replié vers l'Ouest, mais dont chaque pli est dirigé toujours et exactement du Nord au Sud. Ici, comme dans le cas des plis en échelons entre l'Hindou-Kouch et le lac Baïkal, l'échelonnement nous indique que nous sommes à une des limites latérales de la poussée; l'immense plissement andin, commençant dans l'Alaska, y finit après avoir traversé quatre continents. Les chaînons occidentaux des cordillères australiennes sont les plus anciens, les orientaux les plus récents. La Tasmanie est la suite de ces plis. Ce qui est intéressant dans la structure de ces montagnes c'est l'analogie symétrique avec les Andes sud-américaines où, par le fait de l'opposition de position par rapport au pôle, les chaînons orientaux sont les plus anciens. Cependant, les plis les plus récents manquent en Australie. SUESS [12] les retrouve en Nouvelle-Zélande. Le plissement n'atteint pas, ici non plus, il est vrai, le Tertiaire : « De l'avis de la plupart des géologues néo-zélandais, le plissement principal des chaînes maoriques se place entre le Jurassique et le Crétacé. » Auparavant, presque tout était immergé; ce n'est que le plissement qui « transforma la région néo-

zélandaise en une île. » Le Crétacé supérieur et le Tertiaire occupent surtout les bords et ne sont pas plissés; sur l'île du Sud notamment, les sédiments crétacés se trouvent seulement sur la côte orientale, ils manquent sur la côte occidentale. L'« effondrement séparateur de la côte Ouest » doit avoir eu lieu au Tertiaire, « car les sédiments marins tertiaires s'y trouvent aussi ». Au Tertiaire supérieur, enfin, eurent lieu des plissements, rejets, chevauchements, d'ailleurs d'importance moindre, qui donnèrent à la chaîne ses formes actuelles (WILCKENS [89]). La théorie des translations explique tous ces phénomènes par le fait que la Nouvelle-Zélande formait autrefois le bord oriental du socle australien, de sorte que son plissement principal est à rattacher aux cordillères australiennes. Lorsque les chaînes néo-zélandaises se détachèrent comme guirlande d'îles, le processus orogénique prit fin. Les dislocations du Tertiaire supérieur peuvent bien avoir été en relation avec la poussée et la disjonction du socle australien.

La carte bathymétrique des parages de la Nouvelle-Guinée nous apprend certaines particularités de ces derniers déplacements de l'Australie. Nous voyons sur le schéma de la fig. 24 comment le

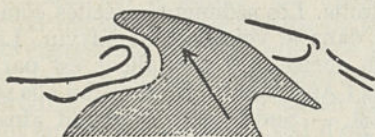


Fig. 24. — Schéma de la rupture de la chaîne d'îles sous la poussée de la Nouvelle-Guinée.

grand socle australien, avec son bord antérieur en forme d'enclume, constitué par la Nouvelle-Guinée — épaissie par des plissements récents — et sa plate-forme, se coinça, venant du Sud-Ouest, entre les îles de la Sonde et l'Archipel Bismarck. Examinons sur la fig. 25(*) les deux rangées méridionales des îles de la Sonde.

La rangée Java-Wetter, orientée de l'Ouest à l'Est, se recourbe à son bout en prenant la forme d'une spirale s'étendant à travers les îles de la Mer de Banda jusqu'au banc de Siboga, les arcs consécutifs de la spirale étant dirigés vers le Nord-Est, le Nord, le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud-Ouest. La rangée de Timor, qui la précède, témoigne par sa direction troublée et mouvementée du fait d'avoir reçu directement le choc de la plate-forme australienne, comme l'a montré avec des arguments géologiques détaillés H. A. BROUWER [90]. Ce train d'îles est également infléchi en forme de spirale analogue, allant jusqu'à l'île Boeroe. Une particularité intéressante, à laquelle BROUWER consacre une étude séparée [112], est à mentionner. La

*) La carte la plus expressive des îles de la Sonde est celle reproduite dans G. A. MOLENGRAAFF, *Modern Deep-Sea Research in the East Indian Archipelago*, *The Geograph. Journal*, Febr. 1921, pp. 95-121, qui donne les altitudes et les profondeurs à des intervalles égaux.

chaîne intérieure est en général le siège de volcans en activité; ce n'est que sur le segment entre les îles Pantar et Dammer (celles-ci exclues) que le volcanisme, encore actif dernièrement, s'est éteint. Comme c'est justement sur cette partie que vient presser, poussée par le socle australien, la chaîne extérieure du bord septentrional de Timor, il résulte qu'ici le phénomène de flexion cesse, cependant qu'il continue par ailleurs. Ces circonstances cadrent admirablement avec l'hypothèse d'une collision avec le socle australien et sont en même temps très instructives en ce qui concerne le problème de la genèse du volcanisme par la pression due à la flexion des chaînes.

On trouve à l'Est de la Nouvelle-Guinée un intéressant complément de ce phénomène de collision. En venant du Sud-Est, cette île

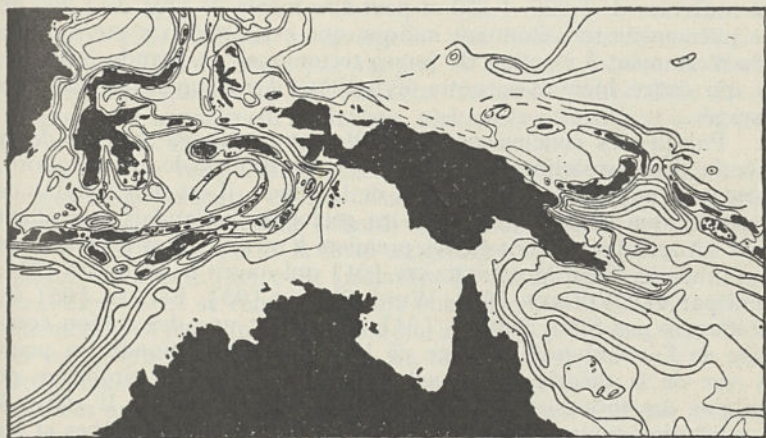


Fig. 25. — Carte bathymétrique des parages de la Nouvelle-Guinée.

effleura les îles de l'Archipel Bismarck, rencontra l'ancienne extrémité Sud-Est de la Nouvelle-Bretagne, qu'elle entraîna, en faisant décrire à cette longue île une rotation de plus de 90° pendant laquelle celle-ci prit sa forme semi-circulaire. La Nouvelle-Bretagne laissa derrière elle un sillon, dont la profondeur atteste la violence du processus, puisque le sima n'est pas encore parvenu à le combler.

Beaucoup trouveront téméraire de tirer de semblables conclusions uniquement de l'étude de la carte bathymétrique. Pourtant, cette carte nous fournit presque partout des indications authentiques sur les déplacements des socles continentaux et, notamment, sur ceux qui ont eu lieu récemment.

Dans l'Archipel de la Sonde de nombreuses observations partielles confirment l'exactitude de notre conception. WANNER [96] ex-

plique par exemple les profondeurs, inattendues du point de vue tectonique, que l'on rencontre entre Boeroe et Soela Besi, par le fait que Boeroe s'est déplacée de 10 km, ce qui cadre bien avec nos vues. G. A. F. MOLENGRAAFF [97] donne une carte des Iles de la Sonde où figure la région occupée par des récifs coralliens surélevés de plus de 5 m. Cette région coïncide d'une manière frappante avec celle où, d'après la théorie des translations, les masses de sial devaient s'épaissir par compression; c'est notamment, exception faite des côtes Sud-Ouest de Sumatra et de Java, toute la région qui s'étend au devant du socle australien jusqu'à l'île Célèbes inclusivement, ainsi que les côtes Nord et Nord-Ouest de la Nouvelle-Guinée. Selon GAGEL [98], il existe dans cette île au Cap König Wilhelm et, selon SAPPER [99], aussi dans la Nouvelle-Bretagne, des terrasses très récentes qui ont été soulevées de 1.000, 1.250 et peut-être même de près de 1.700 m. Ce phénomène très étonnant indique que cette région a été soumise très récemment à l'action de forces tectoniques de grande intensité, ce qui cadre bien avec notre hypothèse d'une collision dans ces parages.

Puisque les conclusions auxquelles on arrive en partant de la théorie des translations paraissent si fantastiques de prime abord, surtout en ce qui concerne les Iles de la Sonde, il est remarquable de constater que ce sont justement les géologues hollandais travaillant dans cet archipel qui ont été les premiers à se placer sur le terrain de notre théorie. C'est MOLENGRAAFF [91] qui ouvrit la voie, dès 1916, suivi par VAN VUUREN [92], WING EASTON [93], ESCHER [95] et, récemment, par SMIT SIBINGA [94], qui a fait une description complète de l'évolution géologique de l'Archipel de la Sonde du point de vue de la théorie des translations. Il y résoud le problème de l'origine des formes spéciales de Halmahera et Célèbes. Il arrive à la conclusion suivante : « Les petites îles de la Sonde, Célèbes et les Moluques représentent une ancienne chaîne bordière — constituée primitivement de deux rangées normales — détachée du territoire de la Sonde; elle n'ont acquis leurs formes actuelles qu'après affrontement avec le continent australien. » Nous reproduisons, en le traduisant, le dernier paragraphe de son étude :

« Dans un dernier paragraphe nous voulons indiquer, point par point, certains faits et particularités géologiques de l'Archipel des Moluques qui s'expliquent, ou du moins peuvent mieux s'expliquer que par toute autre méthode, en admettant des phénomènes déduits des conceptions de TAYLOR et WEGENER. »

« 1. Elle n'exige pas l'affaissement d'anciens continents à des profondeurs abyssales pour expliquer le relief actuel, le processus de la formation des montagnes et la disparition des anciennes liaisons continentales; autrement dit, elle est en complet accord avec la théorie de l'Isostasie. »

« 2. Elle explique la conformation actuelle d'une façon univoque

et logique du point de vue mécanique, par l'affrontement d'une chaîne primitivement double des Moluques avec le continent australien. »

« 3. Elle permet l'explication de la forme spéciale, très exceptionnelle pour un géanticlinal, et inexplicable, en S, du bras septentrional de Célèbes. Celle-ci s'explique aussi par la poussée exercée par le continent australien, qui a fait charrier la chaîne de Timor-Céram jusqu'à Célèbes, après quoi elle subit une fragmentation (enfonce-ment) entre Boeroe et les Iles Soela. »

« 4. Elle donne une solution naturelle au problème de la remarquable distribution en forme de cercle de la chaîne d'îles délimitant le bassin de Banda, en la considérant comme une „chaîne enfoncée”. Nous avons déjà indiqué, de façon détaillée, les conclusions insoutenables auxquelles conduit, dans ce cas, la théorie de la contraction. »

« 5. Elle explique la divergence des fossés transversaux de la chaîne de Timor-Céram par rapport à celle du bassin de Banda, comme conséquence du fait que cette chaîne a été entraînée dans la poussée par le continent australien, phénomène inexplicable du point de vue de la théorie de la contraction. »

« 6. Elle rend compréhensible les directions structurales anormales d'âge tertiaire, en les faisant naître pendant que les chaînes avaient encore leur forme primitive, donc avant leur compression. »

« 7. Elle fait partir la force orogénique de l'Australie (*) et explique ainsi pourquoi c'est justement la chaîne extérieure, en contact direct avec ce continent, qui a subi un plissement et un chevauchement plus forts que ceux subis par la chaîne intérieure, par Célèbes et par le groupe de Halmahera. La chaîne intérieure ne vint jamais en contact avec l'Australie; ces forces orogéniques n'ont agi sur Célèbes qu'à travers la chaîne extérieure, ce qui a diminué leur effet; le groupe de Halmahera a subi presque le même choc que celui qui a eu lieu entre l'Australie et la chaîne extérieure. Si l'on admet, par contre, une poussée tangentielle partant du bassin de Banda, les mouvements orogéniques les plus intenses auraient dû se produire dans la chaîne intérieure et sur Célèbes oriental. »

« 8. Elle évite dans l'explication de la formation des montagnes l'hypothèse d'un territoire avancé à caractères géologiques et zoologiques hétérogènes. »

« 9. Elle permet de trouver une explication de l'interruption du plissement dans le Pliocène inférieur grâce à la fracture de la chaîne extérieure entre les îles Toekang Besi et Banggai et à la diminution de tension qui s'ensuit; le contact avec Célèbes, réalisé pendant le Pliocène supérieur, rendit la poussée plus intense, toutefois un peu moins qu'avant la diminution, et le mouvement orogénique recommença. »

*) Dans l'original, certainement par faute d'impression : de l'Asie.

« 10. Elle donne une explication acceptable de la remarquable dissemblance géologique entre les deux parties de Célèbes situées de part et d'autre de la dépression Boni-Posso. La disparition du volcanisme actif dans la partie centrale de Célèbes et sa réapparition dans son bras septentrional s'expliquent de la même manière que l'interruption du volcanisme actif entre Panter et Dammer (BROUWER), notamment par le coïncement de la chaîne extérieure (Célèbes oriental) dans la chaîne intérieure (Célèbes occidental). »

« 11. L'image stratigraphique de la partie orientale de l'Archipel Asiatique devient plus uniforme et plus nette. Depuis le Paléozoïque le plus récent et jusqu'au Néogène, une transgression intermittente pénètre de plus en plus profondément dans le territoire de la Sonde, synchronique et en étroite liaison avec la formation et le détachement de chaînes bordières. La chaîne extérieure se forma aux dépens d'un géosynclinal qui s'étendait devant le bord du territoire de la Sonde au Mésozoïque; la chaîne intérieure, au Miocène inférieur aux dépens d'un autre géosynclinal qui s'étendait devant le territoire de la Sonde au Tertiaire, pendant que les chaînes bordières, formées par le plissement d'un géosynclinal d'âge principalement néogène, restaient encore réunies au territoire de la Sonde. »

« 12. Elle permet une explication plus plausible de l'extension de la faune des Moluques. Elle exige comme anciennes liaisons continentales un pont entre les Philippines, Moluques et Java et une liaison entre le groupe des Halmahera et Célèbes septentrional, liaisons admises aussi par les zoogéographes. »

Comme on le voit, la théorie des translations continentales est déjà devenue un outil parfait pour les géologues spécialisés dans l'étude de cette région très difficile.

Deux voussures sous-marines relient la Nouvelle-Guinée et le Nord-Est de l'Australie aux deux îles néo-zélandaises. Elle paraissent indiquer la direction de la translation, soit comme résidus d'anciennes masses continentales étirées, amincies et effondrées, soit comme masses fondues et laissées en arrière par les bases des socles.

Nous connaissons trop peu l'Antarctique pour pouvoir dire grand-chose sur sa liaison avec l'Australie. La côte méridionale de l'Australie est occupée tout entière par une large bande de sédiments tertiaires qui s'engage dans le Détroit de Bass pour ne réapparaître qu'en Nouvelle-Zélande, tandis que la côte orientale de l'Australie en est dépourvue. Il est donc possible qu'au Tertiaire l'Australie et l'Antarctique aient été déjà séparées par un fossé d'affaissement inondé et peut-être même par des abysses, sauf au point qu'occupe l'ancre tasmanien. On admet généralement que la structure géologique de la Tasmanie se poursuit dans la Terre de Victoria. D'autre part WILCKENS [89] écrit : « L'Arc Sud-Ouest des plis néo-zélandais (le défilé d'Otago) est brusquement interrompu sur la côte orientale de l'Ile du Sud. Cette borne n'est pas naturelle; il s'agit sans doute

d'une rupture. La suite de cette chaîne ne peut être cherchée que dans une seule direction, notamment celle des cordillères de la Terre de Graham, les „Antarctandes” ».

Rappelons aussi que l'extrémité orientale de la chaîne du Cap de l'Afrique du Sud présente une rupture analogue. D'après notre reconstitution, certes pas absolument certaine, de la position de l'Antarctique, nous aurions à rechercher le prolongement de ces plis entre le Mont de Gauss et la Terre de Coats, à un endroit où la terre antarctique est encore totalement inconnue.

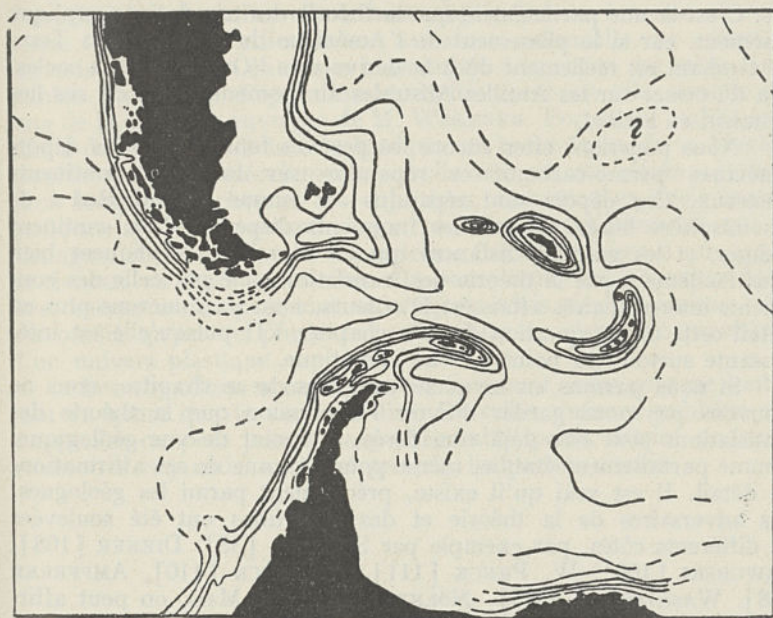


Fig. 26. — Carte bathymétrique du Détroit de Drake, d'après GROLL.

Les rapports déjà signalés entre l'Antarctique Ouest et la Terre de Feu fournissent, du point de vue géologique, un exemple typique pour la compréhension de la théorie des translations (fig. 26). D'après les documents paléontologiques, il dut y avoir entre la Terre de Feu et la Terre de Graham un échange au moins restreint de formes encore au Pliocène, ce qui n'était possible que si ces deux terres étaient encore situées dans le voisinage de l'arc des Iles Sandwich du Sud. Depuis, elles ont dérivé de là vers l'Ouest, tandis que leur étroite bande de liaison restait attachée au sima. On voit nettement sur la carte bathymétrique de quelle manière s'échelonnent les

archipels (*) parce qu'ils se sont détachés successivement et sont restés en arrière des socles en mouvement. Le groupe des Sandwich du Sud qui occupe juste l'endroit de la rupture a eu à subir le plus les effets de ces déplacements; il a été tordu et comprimé, ce qui fit que des masses de sima intrusives y surgirent. Ces îles sont basaltiques et l'une d'elles (l'île Zawadowski) possède encore des volcans actifs. D'ailleurs, d'après F. KÜHN [100], les plissements andins d'âge tertiaire supérieur manquent complètement sur la chaîne de l'arc des Antilles Australes, tandis que des plissements d'âge plus ancien ont été tracés en Géorgie du Sud, dans les Orcades du Sud, etc. C'est là une particularité que la théorie des translations explique aisément, car si le plissement de l'Amérique du Sud et de la Terre de Graham est réellement dû à la dérive vers l'Ouest de leurs socles, il a dû cesser sur les Antilles Australes au moment même où ces îles restaient en arrière.

Nous pourrions citer encore les preuves fournies par les dépôts glaciaires permo-carbonifères répandus sur tous les continents austraux. Ces dépôts sont répandus — comme l'« Old Red » de l'hémisphère boréal — sur les fragments dispersés d'un continent unique, et les grandes distances qui les séparent s'expliquent bien plus facilement par la théorie des translations que par celle des continents intermédiaires affaissés. D'ailleurs, nous examinerons plus en détail cette même question dans le chapitre VII puisqu'elle est intéressante surtout du point de vue climatique.

Si nous passons en revue les résultats de ce chapitre, nous ne pouvons pas nous garder d'avoir l'impression que la théorie des translations peut être déjà considérée, du point de vue géologique, comme parfaitement établie, même pour chacune de ses affirmations de détail. Il est vrai qu'il existe, précisément parmi les géologues, des adversaires de la théorie et des objections ont été soulevées de différents côtés, par exemple par SOERGEL [35], DIENER [108], JAWORSKI [109], W. PENCK [111], A. PENCK [110], AMPFERER [68], WASHINGTON [113], NÖLKE [114], etc. Mais, on peut affirmer qu'en général, pour autant que ces objections ne se basent pas sur des malentendus — ce qui s'applique notamment à celles de DIENER —, elles se rapportent pour la plupart à des questions secondaires, dont la solution ne présente pas une grande importance en ce qui concerne les idées maîtresses de la théorie des translations. Qu'il nous soit permis de nous rapporter encore au témoignage d'ARGAND [20], qui nous assure que :

« Depuis 1915 et surtout depuis 1918, j'ai longuement scruté le degré de crédibilité de la théorie des translations, en faisant inter-

*) Une bonne carte bathymétrique du Détroit de Drake est celle de H. HEYDE, reproduite par F. KÜHN [100]. Les écarts avec la carte de notre figure sont sans grande importance.

venir tout l'atlas de formes tectoniques dont je puis disposer et tous les jeux de mouvements que je puis voir. En sorte que si le temps me manque aujourd'hui pour motiver quelques-unes de mes appréciations, on ne pourra cependant, sans excès, les juger hâtives ou dénuées de fondement. »

Et ARGAND s'exprime ainsi en ce qui concerne ces objections :

« La validité d'une théorie n'est rien d'autre que son aptitude à *représenter* l'ensemble des faits connus au moment où elle a cours. A ce compte, la théorie des grandes translations continentales est d'une validité florissante. Dans ses commencements, elle a visé à l'absolu; dans la suite, elle a beaucoup gagné en force et en souplesse, sans rien sacrifier de son armature rationnelle, au contraire enrichie et de mieux en mieux harmonisée à la vision qui mène l'ensemble. Ce travail d'épuration et d'affinement est très sensible au long de la série des ouvrages de M. WEGENER. Fortement établie aux points de rencontre de la Géophysique, de la Géologie, de la Biogéographie et de la Paléoclimatologie, elle n'a pas été réfutée, Il faut avoir longuement cherché des objections, et surtout en avoir trouvé quelques-unes, pour estimer à son prix l'espèce d'immunité qui la distingue, et qui lui vient d'une extrême flexibilité jointe à une grande richesse en tours opératoires. On pense tenir une objection décisive; encore un coup et tout va craquer; mais rien ne craque : on n'a oublié qu'un ou plusieurs tours. C'est la résistance protéenne d'un univers plastique. »

« Les objections se multiplient, assurément, mais presque toutes sont du genre que je viens de dire. De celles qu'on a publiées, ou auxquelles on peut penser, le petit nombre porte, atteint quelques accessoires et jamais, en l'état présent, les parties vitales. »

CHAPITRE VI.

ARGUMENTS PALÉONTOLOGIQUES ET BIOLOGIQUES.

La Paléontologie et la Biogéographie ont leur mot à dire en ce qui concerne le dévoilement des conditions préhistoriques du globe, et tout géophysicien qui n'aurait pas en vue, constamment, les résultats de ces sciences, pourra se tromper facilement.

Réciproquement, tout biologiste, surtout s'il s'occupe de la théorie des translations, doit tenir compte, pour arriver à se former une idée complète, des données géologiques et géophysiques, parce que, s'il ne procédait pas ainsi, il risquerait de s'égarer. Il n'est pas inutile d'insister sur ce fait, puisque, d'après ce dont j'ai pu me rendre compte, pour une grande partie des biologistes il paraît indifférent que l'on adopte l'hypothèse des continents intermédiaires affaissés ou celle des translations continentales. Ce en quoi ils ont tort, parce que le biologiste peut aussi, sans adopter aveuglément les idées des autres, se rendre compte par *lui-même* que la croûte de la terre doit consister en matières de masse spécifique moindre que son intérieur et que, par conséquent, si les fonds océaniques étaient d'anciens continents affaissés, ayant conservé une couche de même puissance et de même composition légère que celle des continents, les mesures de l'intensité de la pesanteur sur les océans devraient indiquer une diminution de l'attraction due à l'absence d'une couche intérieure de 4 à 5 km de puissance. Et, du fait qu'il n'en est pas ainsi, puisque sur les océans l'intensité de la pesanteur est la même que sur les continents, ils devraient être en état de tirer la conclusion que l'hypothèse des continents intermédiaires affaissés est à accepter dans le cas des plates-formes continentales, et seulement pour des étendues de mer peu profondes, mais est à rejeter dans le cas des grands bassins océaniques. Ce n'est que par un semblable contact avec les sciences voisines que la science de la répartition actuelle et passée des organismes à la surface de la terre peut jeter le poids de son riche matériel d'observation sur les plateaux de la balance de la vérité.

J'ai mis en avant ces remarques fondamentales parce qu'il me semble qu'on n'en tient pas suffisamment compte dans la littérature biologique relative à la théorie des translations, même dans celles des études où les auteurs arrivent à des conclusions favorables à notre

théorie. VON UBISCH [117, 227], ECKHARDT [119], COLOSI [118], DE BEAUFORT [123] et d'autres, ont écrit des exposés résumant la position de la Biologie en ce qui concerne la théorie des translations, exposés en général favorables, mais qui presque toujours ne tiennent pas assez compte des points de vue cités plus haut. Et alors, il n'est pas étonnant qu'il y ait aussi des cas, comme par exemple celui d'OCKLAND [116], concernant l'Atlantique Nord, ou celui de VON IHERING [122], relatif à l'Atlantique Sud, où, après examen de la théorie des translations, on arrive à la conclusion que celle-ci ne serait en aucun cas meilleure que celle des continents intermédiaires affaissés et que, même, la dernière serait préférable. En réalité, la question est mal posée. Dans le cas des bassins océaniques, ce qui importe ce n'est pas de faire un choix entre l'une ou l'autre des deux théories précédentes, car l'hypothèse des continents intermédiaires affaissés n'entre pas du tout en ligne de compte, mais de choisir entre la théorie des translations et celle de la permanence des bassins océaniques.

Pour les motifs que nous avons indiqués, nous sommes en droit d'inscrire au crédit de la théorie des translations toutes les données biologiques qui indiquent d'anciennes liaisons continentales continues au-dessus des bassins océaniques actuels. Elles sont innombrables et leur recension intégrale serait pour un non spécialiste une opération irréalisable — rendue, de plus, impossible vu le peu de place dont nous disposons dans ce livre. Le faire serait d'ailleurs inutile, car il existe toute une littérature spéciale qui lui est consacrée et dont ARLDT [11] par exemple, a donné un aperçu. D'autre part, les résultats en sont établis du point de vue général et presque universellement admis.

En ce qui concerne l'ancienne liaison entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, la situation est très nette. Comme le souligne entre autres STROMER [115], l'extension de la flore à *Glossopteris*, celle de la famille des Mésosauridés et de bien d'autres, nous conduisent à supposer l'existence d'une ancienne grande terre réunissant les continents du Sud. JAWORSKI [109] arrive aussi, après avoir examiné toutes les objections qui ne manquent certes pas, dans ce cas non plus, au résultat suivant : « Tout ce que l'on possède comme données géologiques concernant l'Afrique occidentale et l'Amérique du Sud, est en plein accord avec l'hypothèse à laquelle nous avons été conduits grâce aux données zoo- et phytogéographiques actuelles et anciennes, à savoir que pendant les périodes géologiques de jadis il y avait entre l'Afrique et l'Amérique du Sud une liaison continentale à la place de l'Océan Atlantique Sud actuel ». Se basant sur des arguments phytogéographiques, ENGLER [126] conclut que : « En considérant tous ces rapports, les répartitions indiquées de types de plantes communs à l'Amérique et à l'Afrique s'expliqueraient le mieux si l'on pouvait établir l'existence de grandes îles ou d'une masse continentale liant le Brésil septentrional — au Sud-Est de l'em-

bouchure de l'Amazone — à la baie de Biafra en Afrique occidentale, ainsi que Natal à Madagascar, cette dernière liaison se prolongeant, comme on l'a admis depuis longtemps, vers le Nord-Est en direction de l'Inde péninsulaire qui était séparée du continent sino-australien. D'autre part, les nombreuses relations de parenté entre les flores du Cap et de l'Australie rendent désirable une communication entre ces terres par l'intermédiaire du continent antarctique. » Ce sont les liaisons entre le Brésil septentrional et la côte de la Guinée qui semblent avoir duré jusqu'à une date plus récente : « On constate la présence du lamantin (*Manatus*) aussi bien dans l'Afrique occidentale que dans les régions tropicales de l'Amérique Centrale et du Sud. Cet animal vit dans les fleuves et les mers chaudes peu profondes et il lui est impossible de traverser l'Océan Atlantique. On en conclut qu'il doit y avoir eu, dans un passé pas trop éloigné, une zone de mers néritiques le long des rivages septentrionaux de l'Atlantique Sud, entre l'Afrique occidentale et l'Amérique du Sud. » (STROMER.)

C'est surtout VON IHERING qui a apporté des preuves extrêmement nombreuses en faveur de cette ancienne liaison, dans son livre : « Die Geschichte des Atlantischen Ozeans » [122]. Nous n'entrons pas dans des détails, mais le livre entier n'est que la justification de cette liaison. Pourtant, l'auteur part de l'hypothèse insoutenable que la liaison consistait en un continent intermédiaire, l'« Archhelenis » entre les socles continentaux actuels (*). L'interruption de la jonction paraît avoir eu lieu, comme le montre notre fig. 1, peu avant le milieu du Crétacé (**).

*) Pour autant que je puis voir, on ne trouve pas dans le livre de VON IHERING, malgré son énergique rejet de la théorie des translations, aucun argument positif contre celle-ci. En particulier, j'ai relu à plusieurs reprises, avec la meilleure volonté, pour être fixé sur ses objections, son Chapitre 20 intitulé « Zwei Weltanschauungen : VON IHERING und TAYLOR-WEGENER ». (Deux conceptions du monde, celles de VON IHERING et de TAYLOR-WEGENER.) Tout ce que j'ai pu trouver ce sont de très nombreuses confusions entre continent et socle continental et entre mer néritique et océan. Il apparaît donc que le rejet de la théorie des translations par VON IHERING ne se base pas sur les faits observés qui cadrent au contraire parfaitement, comme l'a relevé aussi KÖPPEN [127], avec notre théorie, mais est dû à une connaissance insuffisante de ses principes. (Cf. ma réponse à la critique de VON IHERING in [128].)

**) Les indications concernant cette liaison, ainsi que les époques où cessèrent les autres, diffèrent naturellement selon chaque auteur. Moi aussi, j'avais indiqué, en me basant sur la littérature consultée jusqu'à l'apparition de la deuxième édition de ce livre, que la liaison entre l'Amérique du Sud et l'Afrique avait duré jusqu'à la fin du Tertiaire. Ce n'est que plus tard que je suis arrivé à la conclusion que la majorité des auteurs sont d'avis qu'elle prit fin dès le Crétacé. Certains détracteurs de la théorie des translations, qui ne s'étaient pas aperçus que j'avais tenu compte de cette rectification insignifiante dès la troisième édition de ce livre, s'accrochent encore aujourd'hui à cette inexactitude et croient ainsi pouvoir réfuter la théorie. En

L'ancienne jonction entre l'Europe et l'Amérique du Nord n'a pas le même caractère de simplicité comme le montre la même figure; il est manifeste qu'elle a été rehaussée à différentes reprises ou a été interrompue par des transgressions. Le tableau suivant, donné par ARLDT [11], est très instructif. Il indique le pourcentage des Reptiles et Mammifères communs aux deux continents.

	Reptiles %	Mammifères %
Carbonifère	64	—
Permien	12	—
Trias	32	—
Jurassique	48	—
Crétacé inférieur	17	—
Crétacé supérieur	24	—
Eocène	32	35
Oligocène	29	31
Miocène	27	24
Pliocène	?	19
Quaternaire	?	30

L'allure de ces chiffres correspond bien aux résultats indiqués sur le diagramme de la fig. 1. En effet, la plupart des savants admettent des communications entre ces continents pendant le Carbonifère, le Trias et aussi pendant le Jurassique inférieur, mais non pour le Jurassique supérieur; ils les admettent de nouveau pour la période de temps s'étendant du Crétacé supérieur au Tertiaire moyen. Les savants s'accordent d'une manière frappante en ce qui concerne le Carbonifère; c'est peut-être parce que sa faune est bien connue. Nous possédons un grand nombre de recherches minutieuses, tant sur la faune que sur la flore du Carbonifère européen et nord-américain, dues parmi d'autres à DAWSON, BERTRAND, WALCOTT, AMI, SALTER, VON KLEBELSBERG. Ce dernier [129] a surtout fait voir l'identité faunique des intercalations marines dans les couches houillères de la zone qui s'étend du Donetz à la partie occidentale de l'Amérique du Nord, en passant par la Haute-Silésie, la Ruhr, la Belgique et l'Angleterre; cette unité est d'autant plus frappante que les couches intercalées se

réalité, la détermination de la cessation des liaisons n'a rien à voir avec l'exactitude ou la fausseté de la théorie des translations. Cette question est entièrement réservée aux spécialistes et ne sert à notre théorie qu'en ce qu'elle précise ses énoncés. Même si à l'avenir il sera nécessaire de procéder à de petites modifications de date (de grandes modifications ne sont pas à craindre) — ce qui est tout à fait possible — on ne peut pas parler d'une retouche de la théorie des translations elle-même.

sont déposées en un temps relativement court. Les identités ne se bornent en aucune façon aux éléments ubiquistes à l'époque. Nous ne pouvons pas entrer ici dans plus de détails. L'absence, pendant le Pliocène et le Quaternaire, de Reptiles communs est évidemment due à l'abaissement de température qui fit disparaître l'ancienne faune reptilienne. Les Mammifères présentent, à partir du moment de leur apparition, une image analogue à celle des Reptiles. C'est surtout pendant l'Eocène que le nombre d'espèces communes fut grand. La diminution des relations fauniques au Pliocène est peut-être à attribuer à la présence de l'inlandsis existant probablement déjà à cette époque en Amérique. Nous reproduisons ici la carte dans laquelle ARLDT a figuré les aires d'extension de ceux des organismes qui lui paraissaient les plus aptes à fournir des arguments décisifs en ce qui concerne l'existence du pont nord-atlantique. Les Lombricinés, Vers de terre récents, sont répartis, comme on le voit sur la figure, sur



Fig. 27. — Distribution des organismes nord-atlantiques, d'après ARLDT.

Pointillé : Escargots des jardins; Traits interrompus : Lombricinés (Vers de terre); Traits-points : Perche; Hachures N.E. — S.O. : Huître perlière; Hachures N.O. — S.E. : Omble (*Umbra*).

une aire allant du Japon à l'Espagne; de l'autre côté de l'Océan on ne la retrouve que dans la partie orientale des Etats-Unis. L'Huître perlière apparaît au point de rupture des continents : en Irlande et à Terre-Neuve et les régions limitrophes. La Perche (Percidés) et d'autres Poissons d'eau douce se trouvent en Europe et en Asie; en Amérique du Nord aussi, mais seulement dans la partie orientale. Il faudrait peut-être citer la Bruyère (*Calluna vulgaris*) qu'on ne trouve, hors d'Europe, qu'à Terre-Neuve et les régions limitrophes, comme, réciproquement, beaucoup de plantes américaines sont confinées en Europe seulement dans l'Ouest de l'Irlande. Si pour expliquer la dissémination des dernières on peut invoquer le Golf-Stream, il n'en peut pas être question dans le cas de la Bruyère. La distribution de l'Escargot des jardins est aussi très frappante. Ce Mollusque est répandu sur une aire allant de l'Allemagne du Sud, par les Iles

Britanniques, l'Islande et le Groenland, à l'Amérique où on ne le retrouve qu'au Labrador, à Terre-Neuve et dans la partie orientale des Etats-Unis. OKLAND [116] a donné récemment une carte que nous reproduisons (fig. 28), indiquant d'une façon plus précise l'aire d'extension de cet Escargot. Je voudrais attirer ici l'attention surtout sur l'argument suivant : Même si l'on fait abstraction de l'impossibilité du point de vue géophysique de la théorie des continents intermédiaires effondrés, son explication de cette distribution est de moindre valeur que celle de la théorie des translations en ce qu'elle nécessite, pour faire communiquer deux sous-aires disjointes, l'insertion d'une très grande aire hypothétique. Et, avec l'amoncellement de pareils cas, il devient de plus en plus impro-

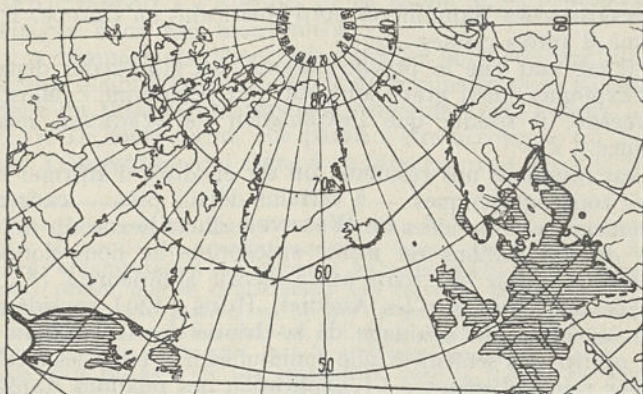


Fig. 28. — Aire d'extension plus précise de l'Escargot des jardins, d'après OKLAND.

bable que les limites orientales des aires d'extension se trouvent toujours sur les continents actuels et non sur le large continent intermédiaire, c'est-à-dire sur l'Océan actuel.

VON UBISCH [117] dit avec raison: « Les ponts hypothétiques des anciennes théories s'étendent pour la plupart sur des régions très considérables... Certains ponts traversaient même des zones climatiques différentes. C'est pourquoi ces ponts n'auraient certainement pas pu être utilisés par tous les animaux des continents qu'ils faisaient communiquer, de même que nous ne trouvons pas aujourd'hui une faune tout à fait unique sur des continents continus, même s'ils s'étendent sur une zone à un seul climat. Ce fait est le mieux démontré par l'Eurasie, pour laquelle la région de l'Asie orientale est considérée, en général, comme province faunique spéciale. »

« Il en est tout autrement grâce à la théorie de WEGENER.

D'après celle-ci une aire faunique continue s'est scindée à cause de la rupture, si celle-ci ne se produisit pas par hasard le long d'une limite de zone d'extension... »

« Les suites de la rupture d'une aire faunique continue devraient apparaître surtout en Amérique du Nord et en Europe, parce que dans ce cas, la disjonction ayant eu lieu relativement tard, les documents paléontologiques sont nombreux. D'autre part, ces territoires ont justement été très bien étudiés. On peut même affirmer que les faunes existantes n'ont pas pu, à cause du petit espace de temps écoulé depuis leur isolement, évoluer d'une façon très divergente. »

« En fait, on trouve une identité telle qu'on ne pouvait pas en espérer de meilleure. Ainsi, nous trouvons à l'Eocène presque tous les sous-ordres des Mammifères nord-américains en Europe. Il en est de même d'autres classes... »

« Il est vrai que la proche parenté des faunes des deux côtés peut s'expliquer aussi grâce au pont nord-atlantique... Mais, de ce qui précède, il résulte que l'explication de WEGENER mérite la préférence... »

« En résumant nos résultats, on est en droit d'affirmer que les données zoogéographiques — à certains détails près — cadrent convenablement avec les idées de WEGENER. Pour beaucoup de cas, la théorie des translations est même susceptible de nous donner une solution plus simple que toute autre théorie antérieure » (*).

Dans une étude sur les Ascidies, HUUS [130] considère aussi comme un important avantage de la théorie des translations le fait qu'elle n'offre pas seulement une communication entre les aires, mais aussi leur rapprochement : « L'explication des relations transatlantiques devient extrêmement facile grâce à la théorie des translations continentales de WEGENER. D'après cette théorie, on peut supposer non seulement que la région côtière mentionnée existait, mais que pendant le Tertiaire la distance entre les continents était de beaucoup inférieure à la distance actuelle. Une dissémination à cette époque à travers l'Océan devient ainsi concevable et les relations transatlantiques, en ce qui concerne les parties centrales et australes de l'Océan, paraissent facilement compréhensibles. C'est encore grâce à cette théorie que les relations intimes entre la faune ascidienne des

*) OCKLAND tire, des mêmes faits, la conclusion qu'on doit donner la préférence à la théorie des continents intermédiaires effondrés — sans tenir compte de l'impossibilité du point de vue géophysique de celle-ci — et ceci parce que d'après la théorie des translations on devrait s'attendre à beaucoup plus d'identités qu'on n'en possède. Il est évident qu'il est trop exigeant sous ce rapport, parce que, premièrement, on ne doit pas s'attendre, d'après la théorie des translations, à une identité *absolument complète* des anciennes faunes et flores et, en second lieu, le nombre des identités vérifiées est influencé par l'état incomplet des découvertes paléontologiques.

Indes Occidentales et celle de l'Océan Indien pourraient trouver une explication naturelle. »

VON UBISCH [134], HOFFMANN [133] et, récemment, OSTERWALD [120] ont indiqué une particularité intéressante dans le domaine de l'Atlantique Nord. Les frayères des Anguilles d'eau douce sont communes aux Anguilles européennes et américaines. Elles sont situées, comme l'a établi J. SCHMIDT, dans la mer des Sargasses. Il s'ensuit que le cycle de métamorphose de l'Anguille européenne a une durée considérablement plus longue que celui de l'Anguille américaine à cause de la distance plus longue à parcourir. Comme s'exprime avec raison OSTERWALD (et comme me l'avait déjà communiqué verbalement J. SCHMIDT dès 1922, si je m'en souviens exactement), ces circonstances particulières s'expliquent aisément par l'éloignement graduel, par rapport à l'Europe, de ce bassin et de l'Amérique qui l'accompagne dans son mouvement (*).

Il y a d'importants désaccords entre les points de vue des différents auteurs quant à l'époque exacte de la rupture de la liaison entre l'Amérique du Nord et l'Europe sur l'étendue Terre-Neuve—Irlande (v. fig. 1). De toute façon, elle paraît s'être accomplie au Tertiaire supérieur. L'incertitude qui règne à ce sujet pourrait être due, comme

*) VON UBISCH et HOFFMANN trouvent, au contraire, que ces faits parlent contre la théorie des translations et en faveur des continents intermédiaires. Leur argumentation est basée sur un malentendu : « De prime abord on pourrait penser que le déplacement des frayères aurait eu lieu d'une façon en quelque sorte passive, en ce que la partie du fond océanique sur laquelle fraiaient les Anguilles pendant le Crétacé-Eocène, aurait été entraînée vers l'Ouest, comme un baquet, par le continent américain ».

« Mais cette image n'est pas compatible avec la théorie de WEGENER, car celui-ci admet que pour tout déplacement des continents c'est une partie fraîche de la surface du sima qui est mise à nu... » Le fond de la mer des Sargasses ne doit pas consister en sima récemment mis à découvert; il est identique au fond du bassin océanique reconnaissable sur ma carte de l'Eocène (fig. 4) et situé entre la Floride et l'Espagne. Certes, le bassin aurait dû être représenté un peu moins étendu parce qu'on aurait dû tenir compte, dans la reconstitution, des masses de sial des Açores, qui seraient à ajouter à celles de l'Espagne et de l'Afrique du Nord, ce qu'on n'a pas assez bien fait. Mais, dès cette époque, le bassin existait et se trouvait à l'Est de la Floride; l'enveloppe cristalline de son fond, attachée à l'Amérique, a dérivé avec celle-ci vers l'Ouest. Dans un nouvel exposé d'ensemble [227], qui est encore plus riche en littérature zoogéographique que le nôtre, VON UBISCH reconnaît aussi la possibilité de la solution mentionnée plus haut; mais, pour lui, c'est l'Europe qui se serait déplacée vers l'Est et non l'Amérique vers l'Ouest. Si l'on tient compte du fait que ce qui importe c'est le mouvement relatif, sa solution est la même que la nôtre, car lorsque l'Amérique se déplace vers l'Ouest par rapport à l'Europe, celle-ci se déplace vers l'Est par rapport à la première. — Je saisis l'occasion pour insister, encore une fois, sur le fait que la disjonction de l'Amérique du Sud de l'Afrique intervint dès le Crétacé moyen; je le fais parce que dans le même rapport d'ensemble on invoque (pp. 162, 163 et 172) des non-identités fauniques d'âges plus récents (Eocène, Miocène), comme des objections à la théorie des translations. Cf. aussi Remarque (**), page 96.

l'a rendu très probable SCHARFF [131], au fait que le pont a subsisté plus au Nord, à travers l'Islande et le Groenland, même au début du Quaternaire.

Très instructives, sur ce point, sont les recherches faites par WARMING et NATHORST sur la flore groenlandaise. Celles-ci montrent que les éléments européens dominent sur la côte Sud-Est du Groenland, c'est-à-dire sur la partie qui, d'après la théorie des translations, formait encore au Quaternaire l'avant de la Scandinavie et de l'Ecosse septentrionale; tandis que sur tout le reste de son pourtour, même sur la côte Nord-Est, c'est l'influence américaine qui est prépondérante.

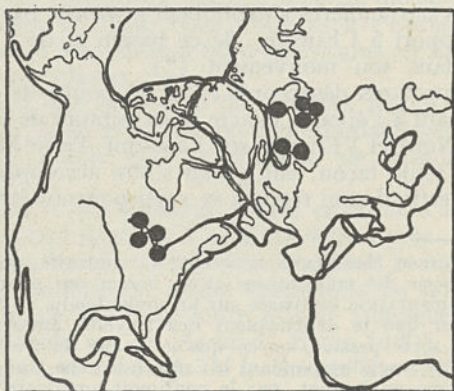


Fig. 29. — Aire de *Limnocalanus macrurus*, d'après JASCHNOV.

D'après SEMPER [125], la flore tertiaire de Grinnell était, chose curieuse, plus apparentée à celle du Spitzberg (pour 63 %) qu'à celle du Groenland (30 %), tandis qu'aujourd'hui c'est naturellement l'inverse (64 et 96 %). Notre reconstitution pour l'Eocène donne la clef de l'énigme; à cette époque, la distance entre la Terre de Grinnell et le Spitzberg était inférieure à celle entre la Terre de Grinnell et les régions groenlandaises d'où proviennent les documents.

W. A. JASCHNOV montre, dans une étude sur les Crustacés de la Novaïa Zemlia (Nouvelle-Zemble) [225], que la distribution actuelle des Ecrevisses d'eau douce s'explique aussi le mieux à l'aide de la théorie des translations : « ...on peut dire qu'il y a beaucoup de chances à ce qu'un grand nombre de problèmes de l'hydrobiologie concernant la distribution des organismes inférieurs aquatiques, surtout pour ceux de l'hémisphère boréal, puissent être résolus grâce aux principes de la théorie des translations. Comme exemple, rappelons l'extension actuelle disjointe de *Limnocalanus macrurus* pour lequel la

dissémination passive (c'est-à-dire par le vent ou par les oiseaux) est exclue à cause du manque de stations isolées, de repos. Si nous admettons, d'après la théorie de WEGENER, que les deux continents étaient liés, l'aire d'extension de cette espèce n'était pas trop étendue (Cf. fig. 29). »

Parmi d'autres auteurs citons seulement HANDLIRSCH [136], qui, après des recherches poussées, arrive à cette conclusion : « Il est absolument certain qu'au Tertiaire encore et peut-être aussi dans le Quaternaire il y eut, pendant des intervalles de temps plus ou moins longs ou à différentes reprises, des liaisons continentales entre l'Amérique du Nord septentrionale et l'Europe ou l'Asie orientale septentrionale... Par contre, je ne trouve aucun argument convaincant en faveur de l'hypothèse des liaisons tertiaires directes ou par l'Antarctique entre l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Australie, ce qui ne veut pas dire que de pareilles liaisons n'aient pas existé avant ».

KUBART [137] a étudié dans un intéressant travail la flore des îles du seuil atlantique qui, du point de vue géologique, sont à considérer comme des fragments continentaux. Il arrive, par un examen statistique des types indigènes, au résultat, confirmé par la faune, que l'isolement de ces îles s'est fait progressivement du Sud au Nord. « Certes, ces faits peuvent parler non seulement en faveur de la théorie des translations, mais aussi en faveur de l'existence d'un grand pont continental. Dans les deux cas, les îles sont à considérer comme des restes des anciennes entités; d'ailleurs, d'après la théorie des ponts continentaux aussi, l'effondrement du continent intermédiaire entre l'Afrique et l'Amérique du Sud a eu lieu à une époque antérieure à celle où a eu lieu l'effondrement de l'Atlantide-Nord. Mais, la théorie de la permanence exclut la possibilité de la suppression d'une grande Atlantide. C'est pourquoi cette suite statistique floristique, pleinement confirmée par les données zoologiques et que ne paraissent pas contredire les données géologiques, est en fait une justification directe de la rupture progressive, du Sud vers le Nord, du socle africano-européo-américain ». Ce point de vue est exactement celui de la théorie des translations (*).

Nous pourrions citer beaucoup d'autres auteurs qui confirment l'existence des liaisons ci-dessus à travers l'Atlantique, mais c'est inutile puisqu'il n'y a presque plus de doute quant à leur existence. Nous reviendrons plus loin sur les arguments fournis par la distribution des Vers de terre.

Les relations biologiques entre le Deccan et Madagascar, grâce soi-disant à une « Lémurie » affaissée, sont bien connues et nous

*) KUBART a évidemment raison d'être d'avis que l'ancienne conception de l'affaissement des ponts continentaux ne doit pas être *entièrement* écartée. Le lecteur remarquera, au contraire, que nous nous en servons en beaucoup d'endroits, mais jamais dans le cas des grands bassins océaniques.

renvoyons le lecteur à la fig. 1 et à l'exposé de TH. ARLDT [11]. DIENER [226], qui du reste est partisan de la permanence des grands bassins océaniques, s'exprime à cet égard comme il suit :

« Une liaison continentale au Permien et au Trias entre l'Inde péninsulaire et l'Afrique du Sud à travers Madagascar n'est pas à rejeter du point de vue zoogéographique parce que, dans la faune gondwanienne de l'Inde orientale, des Vertébrés terrestres européens... se mêlent à ceux... qui étaient endémiques en Afrique du Sud. La colonisation de Madagascar au Crétacé Supérieur par le *Titanosaurus* et un proche parent de *Megalosaurus* doit s'être faite à l'aide d'une migration passant par l'Hindoustan, puisque le Canal de Mozambique s'ouvrit dès le Lias. Ce n'est que dans les premiers temps du Crétacé que doit s'être achevé l'engloutissement profond du milieu de l'île étroite, oblongue, dont les extrémités sont à chercher dans le Deccan et à Madagascar, et que la mer méditerranéenne éthiopienne de NEUMAYR, jusqu'alors un simple bras de la Téthys, se trouva en libre et large communication avec l'Océan Indien. » — Au lieu de l'engloutissement à plus de 4.000 m de profondeur, supposé par DIENER, qui pour une telle étendue est impossible du point de vue de l'isostasie, nous admettons le déplacement de ce pont et son affrontement avec l'Asie en vue d'obtenir la formation des chaînes asiatiques. La différence du point de vue zoogéographique consiste d'après notre hypothèse en ce que le Deccan, avant la séparation, faisait un seul bloc avec Madagascar. L'avantage de la théorie des translations c'est d'expliquer le fait que les deux régions n'ont, à cause de l'importante différence de latitude actuelle, le même climat et ne sont occupés par les mêmes formes biologiques que parce qu'elles sont situées de part et d'autre de l'équateur. Un écart pareil, à l'époque de la flore à *Glossopteris*, entre les deux régions, nous poserait une énigme climatologique, écartée grâce à notre théorie. Nous n'entrerons cependant dans plus de détails sur les arguments paléoclimatiques que dans le Chapitre suivant.

SAHNI [138] a fait l'essai (superflu) de démontrer la supériorité de la théorie des translations sur celle des continents intermédiaires affaissés à l'aide de la distribution de la flore à *Glossopteris* de climat froid dans le domaine de l'ancienne Gondwanie; il a dû laisser le problème non résolu à cause du matériel encore incomplet. L'auteur admet, et il en est d'ailleurs de même de toutes les publications connues par nous, comme un résultat acquis depuis longtemps par la science, l'existence d'une ancienne liaison continentale entre l'Afrique du Sud, Madagascar, l'Inde péninsulaire et l'Australie. Si l'on tient compte des énormes distances réciproques actuelles de ces terres, il me paraît évident sans plus, et de nombreux auteurs le relèvent aussi, que la solution donnée par la théorie des translations aux problèmes posés explique mieux les faits que la théorie des continents intermédiaires affaissés, théorie insoutenable du point de vue géophysique.

D'une importance particulière pour nous est la faune australienne. WALLACE [139], déjà, y distinguait nettement trois éléments ancestraux et ce résultat n'a pas été changé notablement par les recherches plus récentes, comme celles de HEDLEY. L'élément le plus ancien est représenté surtout dans le Sud-Ouest de l'Australie. Il montre des traits de parenté avec ceux de l'Hindoustan et de Ceylan, comme avec ceux de Madagascar et de l'Afrique du Sud. Des animaux thermophiles y sont représentés, de même que les Vers de terre qui évitent le sol soumis au gel. Cette parenté date de l'époque où l'Australie était encore soudée à l'Inde péninsulaire. D'après la fig. 1 cette jonction a cessé au Jurassique inférieur.

Le deuxième élément faunique de l'Australie est bien connu, puisqu'il comprend des Mammifères très particuliers, les Marsupiaux et les Monotrèmes, qui sont si fortement dissemblables à ceux de la faune des Iles de la Sonde (barrière mammalogique ou ligne de WALLACE). Cet élément est en relation avec des éléments sud-américains. En dehors de l'Australie, des Moluques et de certaines îles des mers australes, les Marsupiaux occupent surtout l'Amérique du Sud, où l'on rencontre l'Opossum, dont une espèce est répandue aussi dans l'Amérique du Nord. On connaît des fossiles de marsupiaux en Amérique du Nord et en Europe, mais pas en Asie. Même les parasites des marsupiaux australiens et sud-américains sont identiques; E. BRESSLAU [140] fait remarquer que parmi les Platodes, les Géoplanides se trouvent représentés par trois quarts de leurs espèces (dont le nombre total est d'environ 175) dans ces deux régions. « L'extension géographique des Trématodes et des Cestodes, qui correspond évidemment à celle de leur hôte, n'a fait l'objet que de rares recherches. Qu'il y ait là aussi à découvrir des faits d'un haut intérêt zoogéographique nous est prouvé par le genre de Cestodes *Linstowia* qu'on rencontre exclusivement chez les Sarigues (*Didelphyides*) de l'Amérique du Sud et chez certains Marsupiaux (*Perameles*) et Monotrèmes (*Echidna*) de l'Australie. » Au sujet de ces rapports avec l'Amérique du Sud, WALLACE [139] dit : « Il est à remarquer que les reptiles thermophiles ne nous donnent aucune indication sur une relation étroite entre les deux régions, tandis que les Amphibiens et les Poissons d'eau douce, qui supportent le froid, nous en offrent surabondamment ». La faune entière des deux continents montre la même particularité, aussi WALLACE estime-t-il que « si tant est que cette liaison (entre l'Australie et l'Amérique du Sud) ait existé, elle n'a pu avoir lieu que vers leurs extrémités australes à climat froid ». Les Vers de terre ne l'ont pas utilisée non plus. Comme on est ainsi amené à croire que la liaison s'est faite par l'intermédiaire de l'Antarctique, qui est d'ailleurs sur le chemin le plus court reliant les deux continents, il n'est pas étonnant que presque partout on ait refusé à admettre l'hypothèse de certains rares auteurs ayant proposé, à la place de celle-ci, un pont « sud-pacifique » qui ne représente qu'en

apparence le chemin le plus court dans le système de projection de Mercator. Ce deuxième élément faunique a donc son origine à l'époque où l'Australie était reliée à l'Amérique du Sud par l'Antarctique, donc du Jurassique inférieur (époque où se détacha l'Hindoustan) à l'Eocène (détachement de l'Australie de l'Antarctique). Pour ces formes la position actuelle de l'Australie ne présente plus un isolement; elles se disséminent lentement dans les Iles de la Sonde, de telle sorte que WALLACE devrait faire passer actuellement sa barrière mammalogique entre les îles Bali et Lombok et par le détroit de Macassar.

Le troisième élément est le plus récent; immigré des Iles de la Sonde, il occupe la Nouvelle-Guinée et a conquis le Nord-Est de l'Australie. Le Dingo (Chien sauvage), des Rongeurs, des Chiroptères et d'autres animaux ont pénétré dans l'Australie après notre dernière glaciation. Le genre jeune de Vers de terre *Pheretima*, qui grâce à sa vitalité a pu chasser la plupart des genres plus anciens des Iles de la Sonde et des régions côtières sud-orientales asiatiques (de la presqu'île de Malacca jusqu'en Chine et au Japon), a colonisé entièrement la Nouvelle-Guinée et a pris pied déjà sur la pointe Nord de l'Australie. Tout cela prouve un échange de faunes et flores qui n'a commencé que dans les tout derniers temps géologiques.

Cette composition triadique de la faune australienne concorde parfaitement avec la théorie des translations. Pour en trouver l'explication immédiate il suffit de regarder les trois cartes de reconstitution de la fig. 4. *Ce sont précisément de pareilles circonstances qui montrent, le plus clairement possible, le grand avantage que présente la théorie des translations sur celle des ponts continentaux effondrés, même du point de vue purement biologique.* En effet, la plus courte distance entre des points de l'Australie et de l'Amérique du Sud est celle entre la Terre de Feu et la Tasmanie, et représente actuellement un arc de grand cercle de 80 degrés. C'est presque la distance entre l'Allemagne et le Japon. D'autre part, l'Argentine centrale est à la même distance de l'Australie centrale et de l'Alaska, distance égale à celle entre l'Afrique du Sud et le Pôle Nord. *Peut-on vraiment croire qu'il suffise dans ce cas d'une simple communication terrestre pour assurer l'échange de formes? Et, ne paraît-il pas extraordinaire que l'Australie n'ait eu aucun rapport faunique avec les Iles de la Sonde, bien plus rapprochées, devant lesquelles l'Australie se dresse comme une masse étrangère provenant d'un autre monde?* Personne ne pourra contester qu'en adoptant, pour la distance de jadis entre l'Australie et l'Amérique du Sud, une fraction seulement de la distance actuelle et qu'en séparant, pour de longues périodes de temps, l'Australie des Iles de la Sonde par un large bassin océanique, notre hypothèse fournit dans ce cas une explication du caractère faunique particulier de l'Australie qui est beaucoup plus convenable que celle donnée par la théorie des continents intermédiaires effondrés,

impossible d'ailleurs du point de vue géophysique. Je crois du reste que les plus importantes données avec lesquelles la biologie pourra contribuer à l'étude du problème des translations continentales seront les éléments fauniques australiens, et il faut souhaiter qu'il se trouve bientôt un spécialiste qui fasse un exposé d'ensemble sur cet aspect du problème.

Il ne paraît pas qu'on soit arrivé à éclaircir complètement la question des anciennes liaisons continentales de la Nouvelle-Zélande. Nous avons déjà indiqué qu'une grande partie des îles n'a émergé que grâce au plissement du Jurassique. A l'époque, la Nouvelle-Zélande constituait en grande partie la plate-forme continentale côtière de l'Australie et était située à la proue de son socle. Vers le Sud, la Nouvelle-Zélande était liée à l'Antarctique occidentale et, par celle-ci, à la Patagonie. VON IHERING écrit [122] : « Pendant le Crétacé supérieur et au commencement du Tertiaire inférieur, la faune marine put transmigrer librement du Chili à la Patagonie et réciproquement, ainsi que vers la Terre de Graham et autres parties de l'Antarctique, jusqu'à la Nouvelle-Zélande ». La flore néo-zélandaise de l'époque n'était pas, d'après MARSHALL [141], l'ancêtre de la flore actuelle, mais des Chênes et des Hêtres y étaient représentés qui s'y étaient disséminés en partant de la Patagonie et en progressant probablement à travers l'Antarctique occidentale, comme les animaux néritiques. Il n'y a donc pas eu à l'époque de liaisons directes entre la Nouvelle-Zélande et l'Australie, mais, pendant le Tertiaire, et au moins momentanément, ces liaisons doivent évidemment avoir existé, ce qui a permis l'immigration de la flore actuelle. L'existence d'une liaison, consistant sûrement en une mer peu profonde, entre ces îles et l'Australie, résulte des recherches de BRÖNDSTED [142] sur les Spongiaires.

L'étude de MEYRICK [143] sur les Microlépidoptères présente beaucoup d'intérêt du point de vue du problème des liaisons continentales de la Nouvelle-Zélande. En dehors de correspondances intéressantes entre l'Afrique et l'Amérique du Sud, qui confirment pleinement les résultats que nous avons indiqués, l'auteur trouve qu'un genre (*Machimia*), représenté par de nombreuses espèces en Amérique du Sud et en Australie, est complètement absent en Nouvelle-Zélande; d'autre part, le genre *Crambus* occupant réciproquement la Nouvelle-Zélande (avec 40 espèces endémiques), est richement développé en Amérique du Sud, mais n'est représenté que par deux espèces en Australie. Autrement dit, dans le premier cas l'Amérique du Sud paraît réunie à l'Australie, la Nouvelle-Zélande étant disjointe, tandis que dans le deuxième cas c'est la Nouvelle-Zélande qui paraît reliée à l'Amérique du Sud, l'Australie étant presque disjointe.

Ce fait, ainsi que ceux que nous avons mentionnés précédemment, nous montre qu'il y avait deux routes de migration distinctes partant de l'Amérique du Sud : la première dirigée vers la Nouvelle-

Zélande et traversant probablement l'Antarctique occidentale et la deuxième vers l'Australie et traversant probablement l'Antarctique orientale. La Nouvelle-Zélande était à l'époque beaucoup plus rapprochée de l'Australie, mais il ne paraît pas qu'une vraie liaison continentale, si elle a eu lieu, ait duré longtemps. Nous ne pourrions éclaircir ces circonstances que lorsque l'Antarctique sera mieux connue.

D'après tout ce que nous savons, le bassin du Pacifique doit avoir été tel qu'il est aujourd'hui depuis une époque géologique assez reculée. Certains auteurs ont émis l'hypothèse contraire. Pour HAUG, par exemple, les îles du Pacifique sont les restes d'un grand continent affaissé. ARLDT croyait pouvoir expliquer les relations entre l'Amérique du Sud et l'Australie par un pont traversant le Pacifique dans toute sa longueur et ayant pour direction celle d'un parallèle, tandis qu'un simple regard sur un globe terrestre montre que le chemin direct entre l'Amérique du Sud et l'Australie passe par l'Antarctique. VON IHERING aussi a admis l'existence d'un continent du Pacifique, mais son argumentation, comme l'avait déjà montré entre autres SIMROTH [144] et comme l'a rappelé récemment VON UBISCH [149], est complètement insoutenable. Quant à BURCKHARDT, il admet un continent sud-pacifique s'étendant à l'Ouest de la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Son argumentation est basée sur une seule observation géologique, qui peut bien s'expliquer aussi d'une autre manière. De toute façon cette hypothèse a également été rejetée par SIMROTH [144], ANDRÉE [145], DIENER, SOERGEL, etc., et, même un de ses rares défenseurs, ARLDT, doit reconnaître que ce pont est le moins défendable de tous ceux qu'on avait admis [146]. Notre hypothèse de la permanence de l'Océan Pacifique, au moins depuis le Carbonifère, s'accorde donc avec les vues de la majorité prépondérante des chercheurs.

Cette ancienneté du Pacifique par rapport à l'Atlantique est bien prononcée du point de vue biologique. Aussi, VON UBISCH s'exprime-t-il : « Nous trouvons dans le Pacifique de nombreuses formes anciennes comme *Nautilus*, *Trigonia*, Otarie. Ces formes manquent dans l'Atlantique ». Et COLOSI [118] relève aussi la circonstance que la faune atlantique, comme d'ailleurs celle de la Mer Rouge, sont caractérisées par le fait qu'elles s'apparentent seulement à celles des régions voisines, tandis que la faune pacifique a certains caractères de parenté avec des régions très lointaines, ce qui constitue l'indice d'une colonisation ancienne pour le Pacifique et d'une colonisation récente pour l'Atlantique.

SVEDELIUS [155] a fait voir récemment, dans une étude sur la distribution géographique discontinue de certaines Algues marines tropicales et subtropicales, que le matériel dont nous disposons n'est pas suffisant pour la vérification de la théorie des translations : « Pourtant il faut considérer que mes recherches montrent que la

plupart des genres plus anciens d'Algues ont sûrement leur aire principale d'extension dans l'Océan Indo-Pacifique, d'où ils ont émigré dans l'Atlantique. Il n'y a que pour un ou deux cas où la migration paraît s'être faite en sens contraire. C'est pourquoi on doit peut-être considérer la flore correspondante de l'Atlantique comme plus jeune que celle de l'Océan Indo-Pacifique. Cette conclusion n'est pas en contradiction avec la théorie de Wegener d'après laquelle l'Atlantique est d'âge beaucoup plus récent que l'Océan Indo-Pacifique ».

Dans la théorie des translations, les îles du Pacifique (leurs bases sous-marines incluses) sont considérées comme des chaînes côtières détachées des socles. Pendant que la plus grande partie de la croûte terrestre dérive en général vers l'Ouest, par rapport au noyau, ces îles sont restées en arrière, s'écartant graduellement, par rapport aux socles continentaux, vers l'Est. (Cf. Chapitre VIII.) Leur origine, sans que nous entrons dans des détails, serait donc à chercher du côté asiatique de l'Océan; aux époques que nous avons à considérer, elles doivent en avoir été plus rapprochés qu'actuellement.

Les relations biologiques paraissent confirmer cette affirmation. Ainsi GRIESEBACH [147] et DRUDE [148] trouvent que la flore hawaïenne est apparentée, non pas à celle de l'Amérique du Nord qui est la plus proche et d'où lui viennent les courants marins et atmosphériques, mais à celle de l'ancien monde. L'île Juan Fernandez n'offre, d'après SKOTTSBERG, aucune affinité botanique avec la côte chilienne si rapprochée, mais seulement avec la Terre de Feu, l'Antarctique, la Nouvelle-Zélande et les autres îles du Pacifique. Nous devons pourtant faire remarquer que les conditions biologiques insulaires sont beaucoup plus difficiles à éclaircir que celles correspondant à des étendues plus grandes.

Pour en finir, nous discuterons quelques travaux récents qui sont d'une importance capitale parce qu'étant les premières études spéciales faites en tenant compte de la théorie des translations. Le premier fut celui d'IRMSCHER, paru en 1922, sous le titre « Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente » [150]. L'auteur examine la répartition actuelle et passée des Phanérogames à partir du Crétacé. Aucune étude précédente n'arrive à des résultats si complets, mis d'ailleurs en évidence par de nombreuses cartes. Il est impossible de donner ici des détails choisis dans ce matériel extrêmement riche (*). L'étude finit ainsi :

« Les résultats nous permettent de concevoir trois complexes de

*) VON IHERING [122] reproche à IRMSCHER d'avoir modifié les âges de certains documents paléobotaniques de l'Amérique du Sud et de l'Antarctique; ses dates sont, en effet, différentes de celles indiquées par les savants qui s'en sont occupés primitivement. Sans parler du fait que la manière de voir d'IRMSCHER n'est pas guidée, comme le croit VON IHERING, par le désir de satisfaire à une théorie préconçue, mais qu'elle s'appuie sur des

facteurs ayant contribué à la formation de la répartition actuelle des Phanérogames.

« 1. Déplacements des pôles comme cause des migrations des plantes et des mélanges de flores.

« 2. Dérive des socles et, comme effet, variation de physionomie globale.

« 3. Dissémination active et développement ultérieur des associations florales. »

Ce n'est pas par hasard que dans ce cas les déplacements des pôles viennent en premier lieu, tandis que les translations continentales ne sont mentionnées qu'après; en effet, on ne considère dans cette étude que les temps écoulés à partir du Crétacé et, plus nous nous rapprochons de notre époque, plus la face de la terre se rapproche de son apparence actuelle et moins il y a de chances à ce que la distribution botanique mette en évidence les translations continentales. C'est pourquoi il fallait s'attendre à ce que ce soit la grande migration polaire du Tertiaire et Quaternaire qui ait influencé en premier lieu la distribution des plantes. Et il est d'autant plus remarquable que, malgré cela, la théorie des translations soit confirmée: « Nous sommes arrivé au résultat que, pour différents motifs, la théorie de la permanence est insuffisante en ce qui concerne l'explication des données de la répartition des Phanérogames et de ses exigences. Par contre, la comparaison de nos résultats avec la théorie des translations de WEGENER montre que chacun des traits des formations et les exigences de la répartition des plantes sont remarquablement d'accord avec l'évolution des masses continentales postulée par WEGENER, ceux-là trouvant leur image exacte dans celles-ci. »

« Ce que la théorie de la permanence ne put jamais expliquer: l'énigme de la flore australienne, trouve ainsi pour la première fois une solution pleinement satisfaisante. Ce n'est que la position différente du continent au Mésozoïque, admise par WEGENER, qui donne la clef du fait, inexplicable autrement, du manque de proches relations entre les formes extra-tropicales australiennes et asiatiques, relations qui devraient exister si l'on tient compte des positions actuelles des deux continents, surtout parce qu'aucun déplacement polaire n'a pu y exercer son influence pernicieuse. C'est cette ancienne position de l'Australie qui explique le fait que l'ancienne flore s'y est conservée jusqu'à présent sans mélange et riche en formes, et qu'elle a pu continuer son évolution. La dérive vers le Nord de l'Australie

arguments techniques, on doit reconnaître qu'il ne s'agit, dans la presque totalité des cas, que de petites variations d'âge; on peut même dire qu'on a à faire à des précisions plutôt qu'à des rectifications. D'ailleurs, entre-temps, KÖPPEN et WEGENER [151] ont montré que, même si l'on maintient les dates primitivement indiquées, on arrive à un accord complet avec la théorie des translations et aux résultats de celle-ci concernant les mouvements des pôles.

après son détachement de l'Antarctique amena en effet une période d'extrême isolement de ce continent. » — On voit que la flore de l'Australie présente une image tout à fait analogue à celle de sa faune !

« Pendant nos recherches il ne s'est présenté à aucun moment la nécessité de supposer l'existence d'un ancien continent du Pacifique. »

Comme on le voit, IRMSCHER procède correctement puisqu'il compare la théorie des translations, non avec la théorie des ponts continentaux intermédiaires affaissés, insoutenable du point de vue géophysique, mais avec celle de la permanence. Pourtant, il prend aussi la première en considération, mais il doit la rejeter à cause d'arguments purement botaniques :

« D'après les travaux fondamentaux de BERRY, la flore fossile éocène nord-américaine de Wilcox, déjà mentionnée, qui fut découverte dans le domaine des Etats du Sud-Est des Etats-Unis (du Texas à la Floride) s'apparente le plus à celle du même âge de la Baie d'Alum dans le Sud de l'Angleterre (Ile de Wight). Si nous traçons l'équateur là où il doit être, d'après la position que WEGENER assigne au pôle à l'Eocène, il traverse alors l'Inde péninsulaire et, en Europe, la Méditerranée, l'Angleterre n'étant qu'à peine par 15° lat. N.; en Amérique — si nous acceptons la permanence des positions continentales actuelles — l'équateur traverse la Colombie et l'Equateur, desquels la région florale de Wilcox est éloignée d'au moins 30 degrés de latitude. Il est donc difficile de placer, même approximativement, ces deux flores fossiles semblables et exigeant un climat identique, à une même latitude, puisque la flore de Wilcox vient beaucoup plus au Nord que celle du Sud de l'Angleterre. Si, au contraire, nous rapprochons, conformément à la théorie de WEGENER, l'Amérique du continent européo-africain, les flores se trouvent aussitôt et nécessairement à la même latitude et la condition de climats identiques, qu'elles exigent, est satisfaite. Nous avons ainsi un cas où ce n'est que la théorie des translations qui permet d'écarter complètement les contradictions qui paraissent se produire. Le théorie des ponts peut bien expliquer l'existence de flores identiques sur des continents séparés, mais ne pourrait pas rétablir l'identité de climat que celles-ci exigent. C'est pourquoi, dans ce cas, la théorie de la permanence doit être rejetée comme insuffisante. »

« Ce que nous avons établi pour les deux flores est vrai aussi pour les aires de nombreux genres qui occupent la zone des tropiques. La reconstitution de celles-ci sur un grand cercle n'est possible que si l'Amérique est rapprochée de la zone 2 (Europe-Afrique), parce que, avec la position actuelle des continents, l'équateur viendrait trop vers le Sud par rapport à la zone 1 (Amérique). Nous avons déjà attiré l'attention plus haut sur cette difficulté, pour trouver un moyen de l'écarter seulement dans la théorie des translations. Nous avons ainsi montré, pour la première fois, comment du

point de vue biogéographique aussi, la théorie des translations est préférable à celle des ponts. »

Les dernières considérations d'IRMSCHER nous conduisent dans le domaine de la Paléoclimatologie, que nous ne voulons traiter que dans le Chapitre suivant.

La thèse de STUDT [152] sur la répartition actuelle et passée des Conifères et l'histoire de la formation de leurs aires, précédée d'une autre thèse plus courte par KOCH [153] sur le même sujet, constitue une suite du remarquable travail d'IRMSCHER. Malgré le fait que ces deux premiers auteurs soient d'opinions différentes sur diverses questions botaniques, ils arrivent tous deux à la même conclusion quant à la théorie des translations. En effet, KOCH écrit : « La répartition actuelle et fossile des Conifères est en plein accord avec la théorie du déplacement des pôles ainsi qu'avec celle des translations, et ne peut être expliquée d'une manière satisfaisante que par elles ». Et plus loin : ... « Parce que nous arrivons à comprendre pourquoi des espèces très apparentées d'Araucariacées se retrouvent dans deux continents différents, séparés par de vastes océans; pourquoi des espèces de *Podocarpus* ne sont pas endémiques seulement en Nouvelle-Zélande, en Australie et en Tasmanie, mais aussi en Afrique du Sud, au Brésil du Sud et au Chili; et aussi pourquoi apparaissent en Tasmanie les formes *Microcachrys* et *Fitzroya Archeri*, pour réapparaître sous des formes correspondantes, *Saxogothaea* et *Fitzroya patagonica*, au Chili. »

De même, STUDT écrit : « L'image de la répartition récente et fossile des Conifères peut être expliquée de la façon la plus simple et sans contradiction par la théorie des translations de WEGENER. La grande affinité des flores crétacées nord-américaine et européenne, de même que l'identité de composition des flores jurassiques, allant jusqu'aux espèces, pour des régions actuellement très éloignées, et ceci en dépit des possibilités restreintes de dissémination des graines, exigent une liaison continentale ininterrompue, ainsi qu'une diminution des distances intercontinentales. Ce n'est que la théorie des translations qui peut répondre à ces deux exigences ». STUDT mentionne également que la répartition zonale des Conifères correspond mieux aux zones climatiques et devient donc plus compréhensible si l'on admet la théorie des translations; elle ne l'est pas si l'on acceptait, pour les positions de jadis des continents, leurs positions actuelles.

Pour finir, j'analyserai brièvement l'importante étude de MICHAELSEN [154] sur la distribution géographique des Vers de terre. Cette étude me paraît contenir des arguments tout à fait propres à confirmer la théorie des translations, puisque les Vers de terre ne peuvent vivre ni en milieu marin, ni en sol soumis au gel, et n'admettent que difficilement, sauf par les hommes, une dissémination passive.

MICHAELSEN montre que la théorie de la permanence conduit

à de grosses difficultés si l'on veut expliquer la distribution des Vers de terre, tandis que celle-ci est expliquée « d'une manière nettement étonnante » par la théorie des translations continentales. Pour mettre en évidence ce fait, il se sert de deux croquis cartographiques que nous reproduisons dans les fig. 30 et 31. Y sont rapportés, tenant compte de la position de *jadis* des socles continentaux, les genres de Vers de terre *actuels* (on n'en connaît pas de fossiles). Sur les relations transatlantiques, l'auteur dit : « J'ai exposé en détail dans ce qui précède et mis en évidence par un tableau synoptique la façon dont se rejoignent à travers l'Atlantique un grand nombre de lignes de correspondance, notamment celles de cinq groupes de formes terricoles et de trois groupes de formes limniques. Nous constatons une accumulation régulière de rapports presque parallèles, ce qui nous fait croire que nous avons vraisemblablement à faire, dans ce cas, à des relations directes, c'est-à-dire transatlantiques. Ces rapports s'expliquent sans plus par la théorie de WEGENER. Supposons que le continent américain, qui d'après cette théorie a dérivé vers l'Ouest, soit replacé et accolé au continent Europe-Afrique; dans ce cas, les régions disjointes, actuellement très éloignées l'une de l'autre, des deux côtés de l'Atlantique, seraient réunies en une seule région continue. On obtiendrait ainsi une distribution extrêmement simple... » Les rapports nord-atlantiques apparaissent aussi pour des formes plus jeunes du point de vue philogénétique; ceux de l'Atlantique Sud seulement pour les formes plus anciennes, de nouveau en accord avec le fait que l'Atlantique s'est ouvert graduellement du Sud au Nord.

Après avoir discuté les rapports compliqués dans le domaine de l'Hindoustan, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, visibles sur nos figures, l'auteur continue :

« La théorie des translations continentales de WEGENER offre une explication étonnamment simple de ces différents rapports transocéaniques de la faune des Oligochètes de l'Inde péninsulaire. Regardons le croquis de WEGENER donnant la configuration hypothétique des continents au Carbonifère (fig. 30, moitié orientale). Nous voyons, en premier lieu, qu'avant le plissement de l'Himalaya, l'Inde allongée atteignait Madagascar et était accolée par sa partie occidentale, l'actuel district de *Howascolex* (Curg-Mysore), directement à Madagascar, c'est-à-dire à la deuxième aire occupée par *Howascolex*, d'où explication simple des rapports transocéaniques du district occidental de l'Inde péninsulaire. Nous voyons encore que le socle du continent formé par l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Guinée, réuni par sa partie australe au socle antarctique, rentre avec son extrémité septentrionale (la Nouvelle-Guinée) dans la mer en forme d'angle (ultérieurement Golfe de Bengale) située entre l'Hindoustan et l'Indochine soudée au socle malais. On est amené à supposer que ce socle australien était, à une époque encore plus ancienne, réuni par sa partie occidentale à la partie orientale

de l'Inde péninsulaire (*). On pourrait ainsi reconstituer les directions simples et continues de dispersion entre l'Hindoustan méridional et la partie la plus au Sud de l'Australie occidentale, etc. (*Megascolex*) et entre l'Hindoustan septentrional et la Nouvelle-Zélande, d'une part, à travers la Nouvelle-Guinée (*Ochtochaetus*, *Pseudisolabis*), et la partie nordique du Queensland, la Nouvelle-Zélande, l'Australie du Sud-Est, d'autre part (*Perionyx*). Il faut remarquer que la Nouvelle-Guinée constitue un élément essentiel de cette route de dispersion. Après que le socle australien se fût détaché du socle antarctique, il fut projeté vers le Nord-Est, et pénétra avec sa tête dirigée vers le

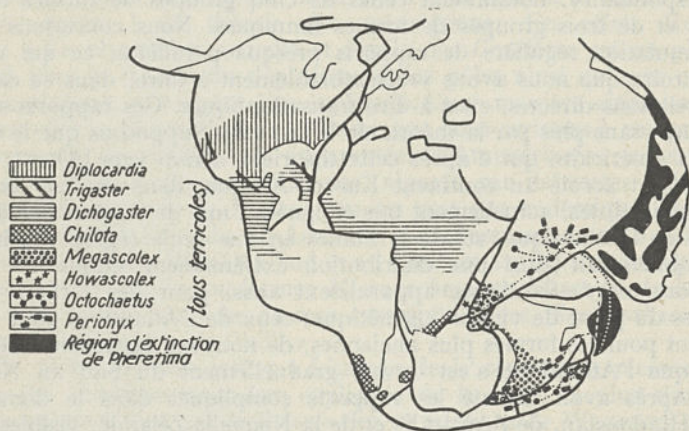


Fig. 30. — Distribution actuelle de certains genres de Vers de terre du groupe de familles *Megascolecina*, d'après MICHAELSEN. Rapportée sur la reconstitution du globe avant le Jurassique, selon la théorie des translations.

Nord-Est dans le socle malais... A l'occasion de ce phénomène catastrophique, la Nouvelle-Guinée, tête de bélier en contact étroit avec le socle malais, fut conquise par le plus jeune genre des Mégascolécides (*Pheretima*), capable de bien se disséminer, qui occupait déjà complètement le socle malais et qui supplanta toute l'ancienne faune oligochétique néo-guinéenne (*Ochtochaetus*, *Perionyx*, etc.). C'est à

*) Il est certain que rien ne s'oppose à ce que cette liaison ait existé encore au Carbonifère et, peut-être, même plus longuement. Son absence dans ma carte du Carbonifère s'explique par le fait que je n'avais jusqu'ici aucun argument en faveur d'une pareille liaison puisque c'est justement cette partie de la côte orientale de l'Inde allongée qui a été recouverte à l'occasion de l'affrontement indo-asiatique; c'est ce qui rend impossible tout essai de preuve à l'aide d'une confrontation avec le bord du socle australien.

cause de cette supplantation et de la sortie de la Nouvelle-Guinée du circuit que la lacune constatée sur la route de dispersion entre l'Inde septentrionale et la Nouvelle-Zélande s'élargit, en prenant une telle ampleur que toute explication ayant à la base d'anciennes liaisons directes paraissait presque impossible. A l'époque de ces événements, la Nouvelle-Zélande doit avoir été déjà séparée de la Nouvelle-Guinée et le continent australien était à peine en liaison prolongée et directe avec la Nouvelle-Guinée, les deux terres étant probablement séparées par une étroite mer non profonde, car une seule espèce de *Pheretima* put pénétrer dans le continent australien (c'est *Ph. queenslan-*

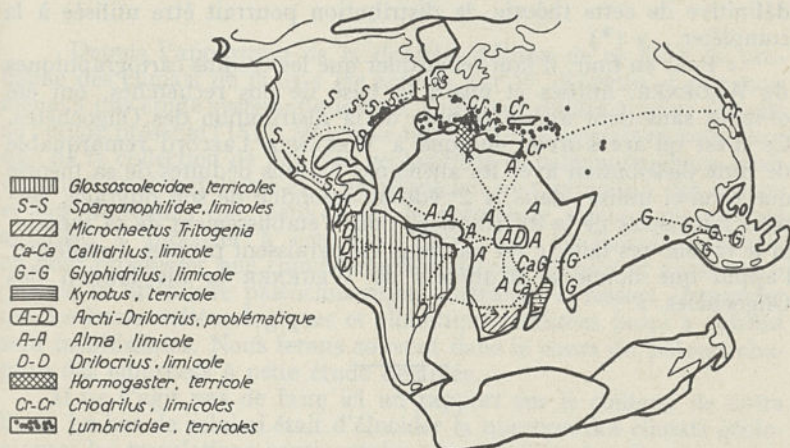


Fig. 31. — Distribution actuelle des Vers du groupe de familles *Lumbricina*, d'après MICHAELSEN.

Rapportée sur la reconstitution du globe à l'Eocène, selon la théorie des translations.

dica, apparemment endémique dans le Queensland septentrional). La séparation de la Nouvelle-Zélande de l'Australie, au moins par une mer peu profonde, doit aussi avoir eu lieu assez tôt, parce que la Nouvelle-Zélande n'a que peu de rapports avec le continent australien... Il est probable que ce sont les parties centrales de la Nouvelle-Zélande qui se détachèrent les premières, en arc de cercle, du continent, tandis que son extrémité australe restait encore réunie à la Tasmanie et la nordique à la Nouvelle-Guinée. Puis, l'extrémité australe se sépara de la Tasmanie et ce n'est que longtemps après qu'eut lieu la séparation de la partie nordique d'avec la Nouvelle-Guinée... Il est probable qu'une communication terrestre, peut-être un isthme, a duré plus longtemps encore entre le Queensland du

Sud et l'Ile du Nord de la Nouvelle-Zélande, par l'intermédiaire de la Nouvelle-Calédonie et l'Ile de Norfolk. C'est cette communication qui aurait permis l'émigration de *Megasclex*. Le trajet par la Nouvelle-Guinée ne me paraît pas acceptable parce que *Megasclex* est une forme typiquement sud-australienne... »

Comme conclusion, MICHAELSEN écrit :

« Je crois pouvoir formuler les résultats de mes recherches en disant que la distribution des Oligochètes ne parle pas du tout contre la théorie des translations continentales de WEGENER; mais qu'elle peut être regardée, au contraire, comme un bon argument en sa faveur et que, si l'on pouvait apporter par ailleurs une démonstration définitive de cette théorie, la distribution pourrait être utilisée à la compléter... » (*)

« Pour en finir, il faut remarquer que les croquis cartographiques de WEGENER, utilisés et mis à la base de nos recherches, ont été obtenus sans tenir aucun compte de la distribution des Oligochètes. Ce n'est qu'après avoir indiqué à WEGENER l'accord remarquable de cette distribution avec les anciennes liaisons déduites de sa théorie que celui-ci utilisa, dans la 2^e édition refondue de son ouvrage, certains faits isolés de la distribution, pour l'établissement de sa théorie. Si je rapelle ces faits, c'est parce qu'ils paraissent propres à renforcer l'appui que donne à la théorie de WEGENER la distribution des Oligochètes. »

*) MICHAELSEN relève à plusieurs reprises que la dispersion des Vers de terre exige l'existence momentanée d'un pont continental au-dessus du détroit de Bering et il croit, à tort, que je le rejette. Il n'en a jamais été ainsi. Il est possible que le malentendu provienne de l'affirmation inexacte de DIENER [108] qui écrit : « Si l'on accole l'Amérique du Nord à l'Europe, on rompt la liaison qu'a la première avec le socle asiatique au détroit de Bering ». — C'est une illusion provoquée par le système de projection de Mercator. Elle disparaît dès qu'on regarde le globe terrestre et que l'on s'aperçoit que le mouvement relatif de l'Amérique du Nord par rapport à l'Europe consiste surtout en une rotation dont le centre serait en Alaska (distance entre les plates-formes de Terre-Neuve et d'Irlande 2.400 km. distance entre le Groenland Nord-Est et le Spitzberg quelques centaines de kilomètres, si elle n'est pas nulle!). La même allégation a été faite récemment par SCHUCHERT [163]; lui aussi procède d'une manière fautive en ce qu'il fait faire à l'Amérique du Nord, sans qu'il y ait aucun motif, une rotation autour du Pôle Nord, au lieu de la faire autour de l'Alaska. — Le tableau-referendum d'ARLDT, concernant l'existence des ponts continentaux, dont nous avons déjà parlé, considère aussi le pont sur le détroit de Bering et montre qu'une communication continentale y existait probablement dès le Permien et le Jurassique, et sûrement de l'Eocène aux premiers temps du Quaternaire. La séparation actuelle par le plateau étroit de la mer de Bering n'est donc qu'assez récente.

CHAPITRE VII.

ARGUMENTS PALÉOCLIMATIQUES.

Depuis l'apparition de la dernière édition de ce livre, le problème des climats de jadis a été soumis par W. KÖPPEN et par moi-même à une étude systématique dont l'ampleur diffère à peine de celle de l'étude présente [151]. Malgré le fait qu'il ne s'agissait en substance que de la collection de données géologiques et paléontologiques, opération où le climatologue et le géophysicien sont exposés à des erreurs et des difficultés que peut éviter le spécialiste, nous nous crûmes autorisés à procéder à cet essai parce que la Paléoclimatologie ne peut progresser que comme réunion de ces sciences et aussi parce que de la littérature paléoclimatique antérieure il ressort clairement que les bases météorologiques et climatiques utilisées jusqu'à présent sont insuffisantes. Nous ferons souvent dans le cours du présent chapitre des emprunts à cette étude détaillée.

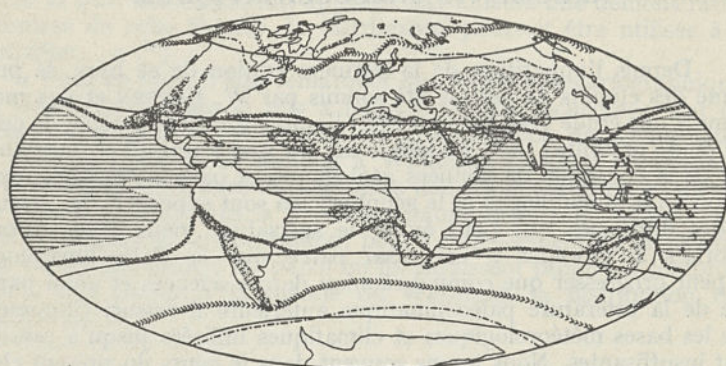
Il ne s'agit pas de faire ici un rapport sur le contenu de notre livre. Le but de celui-ci était d'élucider la question des climats géologiques; les translations continentales n'y constituent qu'une des causes des changements de climat et, pour les dernières époques géologiques, elles ne constituent même pas la cause la plus importante. Dans le présent livre nous devons nous demander seulement jusqu'à quel point les climats de jadis fournissent des critères en faveur de l'exactitude de la théorie des translations continentales et les documents fossiles climatiques n'auront à être considérés que de ce point de vue. Il s'ensuit que certaines questions, comme par exemple celle des causes de la glaciation quaternaire, seront laissées de côté, parce que les positions des continents étaient déjà à l'époque correspondante tellement semblables aux positions actuelles qu'il n'en résulte que très peu de critères paléoclimatiques utilisables par la théorie des translations.

Il en est autrement des temps géologiques plus anciens. On y trouve des justifications extraordinairement concluantes de la nécessité péremptoire de la théorie des translations, ce qui explique que le nombre des auteurs ralliés à la théorie grâce à ces arguments n'est pas négligeable.

Deux choses sont nécessaires pour pouvoir se faire une idée

juste : la connaissance du système climatique actuel et son influence sur les mondes inorganique et organique, et la connaissance et l'interprétation exacte des documents climatiques fossiles. Ces deux branches de recherches sont à leurs commencements et beaucoup de questions de leur domaine sont encore irrésolues; c'est pourquoi la considération des résultats déjà obtenus présente une certaine importance.

Comme on le sait, KÖPPEN a étudié le système climatique actuel et a dressé une carte indiquant les climats terrestres [156]. Cette carte, insuffisante comme détails pour d'autres études, est déjà trop riche en ce qui concerne nos buts, puisque les documents paléocli-



- Température moyenne annuelle -2° (Limite du sol gelé.)
 ~~~~~ Température moyenne pendant le mois le plus chaud  $10^{\circ}$  (Limite des arbres)  
 xxxxxxxxxx Température moyenne pendant le mois le plus froid  $18^{\circ}$   
 ----- Minimum de température moyenne à la surface de l'eau pendant le mois le plus froid  $20^{\circ}$   
 [shaded area] Régions à temps sec et hautes terres désertiques.

Fig. 32. — Principales isothermes (températures ramenées au niveau de la mer) et régions arides actuelles.

matiques ne permettent qu'une estimation très approximative des climats. C'est pourquoi nous l'avons remplacée dans notre livre par un croquis simplifié (fig. 32), contenant les indications les plus importantes pour notre étude et donnant les principales isothermes et les régions arides actuelles. Nous y reconnaissons une zone équatoriale humide à pluies orageuses qui entoure le globe, puis, en son voisinage immédiat, dans les zones à hautes pressions et à la latitude des tropiques, les régions arides, interrompues aux bords orientaux des continents par les régions humides à climat de moussons. Ces régions empiètent sur les océans dans la direction Ouest et pénètrent à l'intérieur des continents vers les pôles; elles sont suivies par les zones humides tempérées à pluies cyclonales des deux hémisphères et au-delà



de celles-ci par les calottes polaires plus ou moins sans dégel. La zone maritime à eau chaude est comprise entre deux parallèles éloignés de part et d'autre de l'équateur de 28 à 30° lat. Toutes les isothermes indiquent un groupement zonal des climats, avec des écarts caractéristiques dus à la répartition des terres et des océans. Les points des isothermes de 10° de moyenne du mois le plus chaud qui, comme on le sait, coïncident d'une façon frappante avec la limite des arbres, ont une latitude plus grande sur les continents que sur les océans, fait explicable, car les premiers présentent une amplitude de variation annuelle plus grande que les seconds. L'isotherme annuelle de  $-2^{\circ}$ , qui correspond à peu près à la limite des régions sans dégel, a une tout autre allure. Là où elle est plus rapprochée des pôles que la limite des arbres, elle délimite en même temps le climat engendrant des inlandsis (Groenland, Antarctique); là où elle est plus rapprochée

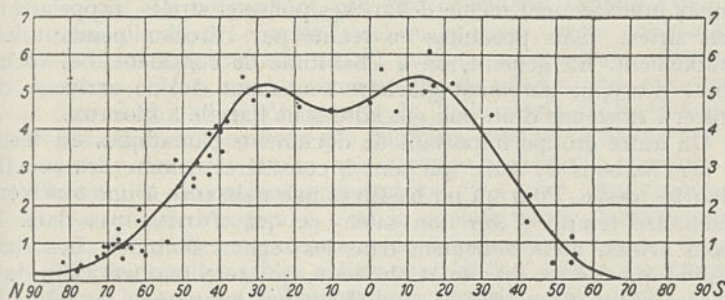


Fig. 33. — Courbe des altitudes actuelles des neiges persistantes aux différentes latitudes.

de l'équateur, comme en Sibérie, on a des forêts sur sol gelé. Tous les inlandsis sont situés à plus de 60° de latitude.

Comme complément nous donnons dans la fig. 33 la courbe des altitudes des enneigements perpétuels aux différentes latitudes, d'après PASCHINGER [157] et KÖPPEN [158]. Ses maxima correspondent à des altitudes de 5.000 m aux latitudes des tropiques. La courbe a été tracée en tenant compte des montagnes ou des chaînes de montagnes isolées. Pour les régions hautes et de grande étendue, les limites d'enneigement correspondent à des altitudes beaucoup plus grandes.

Les effets géologiques et biologiques du système climatique sont très variés. Nous les analyserons en même temps que les documents paléoclimatiques actuellement disponibles.

Les documents paléoclimatiques les plus importants, quoique présentant certain risque, en quelque sorte, sont les traces qu'ont laissées les anciennes calottes glaciaires. La formation des inlandsis étant

conditionnée par de basses températures estivales qui manquent à l'intérieur des grands continents, à cause des grands écarts de température qui y règnent, le climat polaire n'est pas toujours décelable à l'aide des traces de glaciation; mais, là où ces traces existent, on peut conclure sans hésiter à des vestiges d'un climat polaire. Les traces consistent le plus fréquemment en argiles à blocaux — ainsi nommées parce qu'elles sont formées d'une boue argileuse mêlée à des cailloux et des blocs, plus ou moins lourds — caractérisant les moraines. Les argiles à blocaux des premiers géologiques ont donné lieu, en durcissant, à des roches massives et à des tillites. On en connaît ou on croit en avoir reconnu d'âges algonkien, cambrien, dévonien, carbonifère, permien, miocène, pliocène et quaternaire. Malheureusement, ces traces très fréquentes des anciennes calottes glaciaires ressemblent, parfois jusqu'à s'y méprendre, à des conglomérats « pseudoglaciaires » d'origine simplement détritique. Dans les derniers interviennent même des roches polies et striées, rappelant les galets striés, mais produites en réalité par l'érosion pendant leur entraînement. En général, on a l'habitude de considérer ces roches comme d'origine sûrement glaciaire seulement si l'on arrive à démontrer l'existence d'un poli glaciaire sous l'argile à blocaux.

Un autre groupe important de documents climatiques est formé par les charbons de terre qui sont à considérer comme des couches de tourbe fossile. Pour qu'un bassin donne naissance à une tourbière, il doit être rempli d'eau non salée, ce qui n'arrive pas dans les régions arides, mais seulement dans les régions humides. Les charbons indiquent donc un climat pluvieux, que ce climat soit celui de la zone des pluies équatoriales, celui des zones tempérées, ou celui des zones subtropicales de pluies de moussons. Ainsi, la tourbe se forme actuellement dans de nombreux marais situés à l'équateur, dans les régions subtropicales à moussons, de même que dans les zones tempérées où, parmi d'autres, les tourbières quaternaires ou post-quaternaires de l'Europe du Nord sont les plus anciennement connues. La simple présence de couches de charbon ne nous renseigne donc pas sur la température; pour y arriver, on doit faire appel à la flore dont les restes se trouvent dans le charbon ou dans les couches voisines. Une certaine indication, dont la valeur ne doit pas être surestimée, est donnée aussi par la puissance de la couche de charbon, la végétation plus luxuriante et sans interruption des plantes intertropicales ayant donné lieu — toutes choses égales — à des couches de tourbe plus puissantes que celle des plantes à lent développement des régions tempérées.

Un groupe important de données climatiques est formé par les dépôts des zones arides, spécialement le sel, le gypse et les grès désertiques. Les roches salines sont le résultat de l'évaporation des eaux marines. Il s'agit, dans la plupart des cas, de grandes étendues d'eau dues à des invasions marines (transgressions) de régions continen-

tales. Ces étendues ont été séparées de l'océan, à un moment donné, par des mouvements orogéniques, soit complètement, soit dans une certaine mesure seulement. Dans les climats humides, ces étendues d'eau perdent progressivement de leur salinité, comme par exemple la Mer Baltique. Dans les climats secs, où l'évaporation dépasse les précipitations atmosphériques, la séparation de l'océan de l'eau transgressée a immédiatement pour conséquence la diminution progressive des aires submergées et la concentration de la solution saline allant jusqu'à la saturation : du gypse commence à se séparer et à se déposer, puis c'est le tour du sel gemme et enfin celui des sels très déliquescents de potassium. C'est pourquoi les dépôts de gypse sont les plus importants. Les dépôts de sel y sont intercalés; ceux de sels de potassium ne sont qu'assez restreints. Les grès occupent des surfaces encore plus grandes. Ils proviennent des dunes mouvantes des anciens déserts et sont caractérisés par l'absence de toute végétation ou vie animale. Ils ne peuvent pas être considérés comme l'indication sûre d'un climat sec, comme le sel ou le gypse, parce que des sables et des dunes apparaissent aussi, quoique de moindre importance, en zone de climat humide, comme dépôts côtiers. Des exemples en sont fournis par les dépôts actuels de l'Allemagne du Nord ainsi que par ceux situés au pourtour des inlandis, comme le Sandr islandais. La couleur des grès donne une certaine indication, quoique assez faible, sur les circonstances thermiques. En effet, aux tropiques et dans les zones subtropicales c'est la couleur rouge, tandis que dans les zones tempérées et polaires ce sont les couleurs brunes et jaunes qui prédominent; les sables côtiers sont blancs, même aux tropiques.

Dans le cas des sédimentations marines, des strates calcaires puissantes ne peuvent se déposer que dans les eaux chaudes des zones tropicales et subtropicales. La raison est à chercher probablement, quoique l'activité des bactéries paraisse y jouer un certain rôle, dans le simple fait que l'eau froide polaire peut dissoudre de plus grandes quantités de calcaire; elle n'est donc pas saturée, tandis que l'eau chaude des tropiques, qui ne peut contenir que peu de calcaire en dissolution, est saturée (*cf.* les dépôts de tartre). Il est évident que l'on doit rapprocher de ce qui précède les excréments plus riches en calcaire des organismes tropicaux, en commençant par les Coraux et les Algues à squelette calcaire jusqu'aux Coquillages et Escargots. Dans le climat polaire le dépôt de strates massives de calcaire paraît en général impossible, de même qu'il n'y a pas de vrais sédiments calcaires abyssaux à cause de la basse température des eaux très profondes.

En dehors des points de repère inorganiques que nous venons d'indiquer, on peut prendre en considération des éléments d'ordre biologique. On ne doit procéder à leur utilisation qu'avec circonspection car les organismes possèdent à un haut degré la faculté de s'adapter. Un indice isolé ne permettra donc pas, en général, d'arri-

ver à une conclusion. Par contre, des résultats utilisables sont obtenus par la considération de la distribution géographique totale du monde organique à un moment donné. En comparant les flores contemporaines de différentes régions du globe on peut déterminer, en général avec une grande exactitude, celle des régions qui était plus chaude et celle qui était plus froide et, pour les formations géologiquement plus récentes, où les plantes sont déjà semblables aux plantes actuelles, la température absolue correspondante, ce qu'on ne peut pas faire pour les flores anciennes. L'absence des anneaux de croissance annuelle indique un climat tropical, leur présence un climat tempéré; ceci, bien entendu, avec des exceptions qui ne sont pas trop rares. Là où des arbres à haute tige se développèrent, nous devons admettre aussi pour les temps de jadis une température moyenne du mois le plus chaud supérieure à 10° C.

Le règne animal nous fournit aussi de nombreux critères climatiques. Les Reptiles, qui ne produisent pas de chaleur, tombent en état d'engourdissement dans les climats froids, ce qui les laisse sans défense. Ils ne peuvent donc vivre dans de pareils climats que s'ils sont assez petits, comme nos Lézards et Couleuvres, pour pouvoir se mettre facilement à l'abri. Si la chaleur estivale manque aussi, comme dans les régions polaires, leurs œufs ne peuvent pas éclore au soleil; ils n'y trouvent donc pas du tout des conditions supportables d'existence. On pourra donc conclure, là où cette classe est richement représentée par des espèces développées, à l'existence d'un climat tropical ou au moins subtropical. En général, les frugivores donnent une indication sur la végétation et, par conséquent, sur le régime des pluies; les animaux de course rapide, comme les Chevaux, les Antilopes, les Oiseaux coureurs dénotent un climat à steppes, puisque leur conformation est faite en vue de grands déplacements. Les grimpeurs, comme le Singe et le Paresseux, ne vivent qu'en forêt, etc.

Il n'est pas possible d'énumérer ici tous les facteurs climatiques analogues, mais ce qui précède suffira pour se faire une idée de la méthode suivie pour arriver à établir les régions climatiques de jadis.

L'énorme quantité de faits utilisables comme documents paléoclimatiques nous prouve, d'une manière surprenante, que la plupart des contrées du globe ont eu, dans le passé, un climat bien différent de celui d'aujourd'hui. On sait, par exemple, que l'Europe a joui pendant la plus grande partie des temps géologiques d'un climat subtropical et même tropical. Au commencement du Tertiaire, le climat de l'Europe centrale était encore celui de la zone des pluies équatoriales; au milieu de cette ère se formèrent les grands dépôts salins, il y eut donc un climat sec, puis, vers la fin de cette même ère, le climat devint analogue au climat actuel; enfin, la grande glaciation quaternaire amena un climat polaire, du moins pour l'Europe septentrionale.

Un exemple réellement frappant de grande variation climatique nous est fourni par les régions voisines du Pôle Nord, notamment par le Spitzberg qui a été bien étudié. Celui-ci est séparé de l'Europe par une mer épicontinentale et fait par conséquent partie intégrante du grand socle euroasiatique. Il est actuellement recouvert par des glaces et soumis aux rigueurs du climat polaire, tandis qu'au Tertiaire inférieur (époque où l'Europe centrale était dans la zone des pluies équatoriales), il portait des forêts plus riches en espèces que celles de l'Europe centrale d'aujourd'hui. On n'y trouvait pas que des Pins, Sapins et Ifs, mais aussi des Tilleuls, Hêtres, Peupliers, Ormes, Chênes, Erables, Lierres, Pruneliers, Noisetiers, Aubépines, Viornes, Frênes, et même des plantes thermophiles comme Nénuphars, Noyers, Cyprès des marais (*Taxodium*), gigantesques Séquoias, Platanes, Châtaigniers, Magnolias, Vignes! Il dut y régner un climat analogue au climat actuel de la France, c'est-à-dire que la moyenne annuelle de température devait y être d'environ 20° supérieure à la température actuelle. Si nous nous reportons à des époques plus reculées, nous trouvons des indices d'une température encore plus élevée. Au Jurassique et au Crétacé inférieur il y croissait le Sagoutier, qui ne se rencontre de nos jours que sous les tropiques, le Ginkgo, réduit actuellement à une seule espèce habitant la Chine et le Japon méridional, la Fougère arborescente, etc. Nous trouvons dès le Carbonifère, dans certaines parties de l'archipel, des dépôts assez puissants de gypse qui indiquent un climat tropical sec, dans d'autres parties une flore ayant le caractère subtropical.

Un changement de climat aussi radical — en Europe du climat tropical à celui des zones tempérées, au Spitzberg du climat subtropical à celui des zones polaires — nous conduit à l'idée d'un déplacement des pôles et de l'équateur, ainsi que de l'ensemble des zones climatiques. Et cette hypothèse trouve une confirmation irréfutable du fait qu'en Afrique du Sud — à 80° de latitude au Sud de l'Europe et à 110° de latitude au Sud du Spitzberg — *il y eut, durant les mêmes époques, un changement climatique tout aussi radical, mais en sens contraire* : au Carbonifère inlandsis, donc climat polaire, aujourd'hui climat subtropical !

Ces faits bien établis ne peuvent être expliqués autrement que par des déplacements polaires (\*). Nous pouvons y ajouter une vérification. Si le méridien passant par le Spitzberg et par l'Afrique du Sud a subi les plus grands changements de climat, les variations simultanées de climat subies par les méridiens situés à 90° vers l'Ouest et l'Est doivent avoir été nulles ou du moins insignifiantes. C'est ce que l'on constate effectivement, car l'Archipel de la Sonde, situé à 90° long. E. par rapport à l'Afrique, avait sûrement dès le Tertiaire inférieur le même climat tropical qu'aujourd'hui, attesté par

\*) Sur les déplacements des pôles voir le Chapitre suivant.

le maintien de nombreux animaux et plantes anciens, comme par exemple le Sagoutier ou le Tapir, ainsi que par la récente découverte de plantes carbonifères, analogues à celles de l'Europe, considérées par les spécialistes comme étant sûrement tropicales. Et il en est de même des régions situées sur l'autre méridien, par exemple les parties septentrionales de l'Amérique du Sud où le Tapir vit encore, alors qu'on ne le trouve qu'à l'état fossile en Amérique du Nord, en Europe et en Asie, et qu'on n'en trouve pas trace en Afrique. L'invariabilité du climat est certes beaucoup plus parfaite en ce qui concerne les Iles de la Sonde que dans le cas de la partie septentrionale de l'Amérique du Sud; ce fait est dû, comme nous le verrons par la suite, à la dérive des continents : l'Amérique du Sud n'était pas située à l'époque à 90 degrés à l'Ouest du méridien Spitzberg-Afrique du Sud, mais en était beaucoup plus rapprochée.

Il n'est pas étonnant, d'après ce qui vient d'être dit, qu'en cherchant les causes des changements de climat, on soit arrivé depuis longtemps et qu'on revienne sans cesse à l'idée du déplacement des pôles. HERDER, déjà, explique de cette manière les climats de jadis dans ses « Idées sur la Philosophie de l'histoire de l'Humanité ». Par la suite, l'explication fut plus ou moins explicitement soutenue par de nombreux auteurs tels que : EVANS (1876), TAYLOR (1885), LÖFFELHOLZ VON COLBERG (1886), OLDHAM (1886), NEUMAYR (1887), NATHORST (1888), HANSEN (1890), SEMPER (1896), DAVIS (1896), REIBISCH (1901), KREICHGAUER (1902), GOLFIER (1903), SIMROTH (1907), WALTHER (1908), YOKOYAMA (1911), DACQUÉ (1915), E. KAYSER (1918), ECKARDT (1921), KOSSMAT (1921), STEPHAN RICHARZ (1926), etc. ARLDT [159] a indiqué la bibliographie complète jusqu'à 1918. Depuis, le nombre des auteurs qui défendent l'hypothèse du déplacement polaire s'accroît sans cesse.

Au commencement, cette conception eut de nombreux contradicteurs parmi les géologues, dont la plupart refusèrent de l'admettre. Mais, depuis les travaux de NEUMAYR et de NATHORST, le nombre des géologues qui en étaient partisans augmenta, bien que lentement. Actuellement, la grande majorité des géologues sont du même avis que E. KAYSER qui estime dans son *Traité de Géologie* qu'il est, en tout cas, « difficile d'éluider » un grand déplacement polaire au Tertiaire. Pourtant, l'hypothèse avait, tout récemment encore, des adversaires qui la combattaient avec une âpreté difficilement explicable.

Si impérieuses que soient les raisons favorables à l'idée du déplacement des pôles, il est cependant indéniable que tous les essais antérieurs tendant à déterminer d'une façon continue les positions des pôles et de l'équateur, pendant toute la durée des temps géologiques, n'ont abouti qu'à des absurdités grotesques. Aussi n'est-il pas étonnant que l'on soit arrivé à soupçonner que l'admission de cette hypothèse nous engageait sur une fausse route. De pareils essais

systématiques, qui pour la plupart furent entrepris par des auteurs isolés, ont été faits par LÖFFELHOLZ VON COLBERG [4], REIBISCH [161], SIMROTH [162], KREICHGAUER [5] et JACOBITTI [164]. Parmi ceux-ci, REIBISCH a voulu insérer ses idées, tout à fait justes en ce qui concerne les mouvements à partir du Crétacé, dans une loi stricte du glissement de chacun des pôles le long d'un cercle fixe ou mouvement de « pendulation ». Cette loi est probablement fautive du point de vue gyroscopique. En tout cas elle n'est pas démontrée et elle est en outre contredite sur bien des points par les observations. SIMROTH a recueilli, en vue de démontrer la théorie de la « pendulation », un grand nombre de données biologiques. Celles-ci fournissent bien des arguments en faveur de la théorie du déplacement des pôles, mais ils ne peuvent pas nous convaincre de la prétendue exactitude rigoureuse de la loi de la « pendulation ». Il est évidemment plus rationnel de procéder d'une manière purement inductive, autrement dit de *déduire* les positions des pôles, sans idée préconçue quant aux résultats, d'après les documents paléoclimatiques; cette voie a été suivie par KREICHGAUER dans son livre très clair. Malheureusement, l'auteur se base dans son argumentation non seulement sur des preuves purement climatiques, mais sur un dogme insuffisamment établi relatif à l'ordonnance des montagnes. Presque tous ces essais conduisent, en ce qui concerne les époques récentes, au résultat auquel nous nous sommes arrêtés, KÖPPEN et moi, notamment à placer le Pôle Nord au voisinage des Aléoutiennes au début du Tertiaire, pour le faire cheminer vers le Groenland, où il se trouvait au début du Quaternaire (\*). Pour les temps écoulés depuis, les avis ne comportent pas de différences foncières. Il en est tout autrement pour les époques antérieures au Crétacé. Non seulement les opinions des auteurs cités plus haut diffèrent beaucoup les unes des autres, mais toutes leurs reconstitutions, du fait qu'elles présument comme naturelle l'invariabilité des positions relatives des continents, mènent à des contradictions sans issue et, ce qui est caractéristique, de telle nature qu'elles empêchent formellement la fixation de *n'importe quelle position des pôles*.

Au contraire, si nous partons de l'hypothèse des translations continentales et que nous marquions, sur une carte dressée d'après ses principes, les documents paléoclimatiques correspondant à l'époque étudiée, les contradictions disparaissent et toutes les données se classent d'elles-mêmes, en donnant une répartition des zones cli-

---

\*) Cette position du pôle au début du Quaternaire a été confirmée, comme le fait remarquer KÖPPEN [127], par un ensemble de données biologiques rapportées de l'Amérique du Sud par VON IHERING [122]. Ce dernier veut les interpréter en admettant l'hypothèse d'un changement de direction des courants marins, les pôles gardant leurs positions actuelles. Son interprétation est, je crois, mal fondée; mais nous ne pouvons pas nous étendre là-dessus, la question étant en dehors de notre sujet.

matiques analogue à la répartition actuelle : 1°) Deux bandes à climat sec, entre lesquelles est située une bande à climat humide s'étendant le long d'un grand cercle; toutes les données parlant en faveur d'une chaleur tropicale y seront contenues; 2°) A l'extérieur de cette zone, et s'appuyant sur elle, de nouveau deux bandes à climat humide, et 3°) les lieux où l'on trouve des indices de climat polaire et dont les centres sont à 90° d'arc de grand cercle de la première bande humide et à environ 60° de la bande à climat sec la plus rapprochée.

Commençons par considérer le Carbonifère, époque la plus ancienne pour laquelle on ait dressé des cartes selon la théorie des translations. Nous y trouvons tout de suite la plus grosse difficulté qu'ait rencontrée la Paléoclimatologie, notamment les traces glaciaires permocarbonifères.

Tous les continents austraux actuels (et le Deccan) étaient recouverts, à la fin du Carbonifère et au début du Permien, par des glaces; par contre, si nous laissons de côté le Deccan, aucun des continents situés actuellement dans l'hémisphère Nord n'en possédait.

Les mieux étudiées de ces traces d'inlandsis sont celles de l'Afrique du Sud. C'est MOLENGRAAFF [165] qui, le premier, y trouva en 1898, sous les anciennes moraines, le sol rocheux poli par la masse de glace, écartant de cette façon tout doute quant à la nature glaciaire du conglomérat sud-africain de Dwyka. Les recherches ultérieures, parmi lesquelles il faut mentionner surtout celles de DU TOIT [166], donnent une image très précise de cette glaciation. En beaucoup d'endroits on peut déduire, d'après les striures des roches polies, la direction d'écoulement de la glace; on peut établir ainsi une suite de centres de glaciation, d'où la glace irradiait. On peut même constater des différences chronologiques peu importantes entre les époques du maximum d'activité de ces centres, différences qui correspondent à un déplacement dirigé de l'Ouest à l'Est (actuels) du maximum de puissance de la glace. Au Sud du 33° lat., l'argile à blocs sud-africain est en concordance sur des sédimentations marines et paraît en constituer une suite. On ne peut interpréter ce fait que d'une seule manière : l'inlandsis doit s'être terminé ici en « barrière flottante », comme c'est le cas actuellement dans l'Antarctique, et la moraine de fond, le liquéfiant à la base, se déposa immédiatement au-dessus des anciens dépôts marins. La ligne des neiges doit donc avoir été en ces endroits au niveau de la mer. L'étendue de cette glaciation sud-africain, égale presque à celle de la glaciation actuelle groenlandaise, montre qu'il s'agit d'un vrai inlandsis et non d'un simple glacier de montagne.

On trouve les mêmes dépôts morainiques dans les Iles Falkland, en Argentine et dans le Sud du Brésil, enfin dans l'Inde péninsulaire et dans l'Ouest, le centre et l'Est de l'Australie. Si l'on tient compte de l'identité complète des stratifications, on peut affirmer sans erreur possible que les argiles à blocs qu'on retrouve dans toutes ces



régions sont d'origine glaciaire. Toutes ont été, comme en Afrique du Sud, sous l'inlandsis. En Amérique du Sud et en Australie on a trouvé — correspondant complètement aux périodes quaternaires glaciaires et interglaciaires européennes — plusieurs strates superposées d'argile à blocs, séparées par des dépôts intermédiaires interglaciaires. On trouve ainsi dans la partie centrale de l'Australie orientale (en Nouvelle Galles du Sud) deux moraines séparées par des couches houillères interglaciaires; cette région doit donc avoir été couverte à deux reprises par un inlandsis et, dans la phase intermédiaire, par des marais à eau douce qui produisirent des tourbières. Plus au Sud, dans l'Etat de Victoria, on n'a qu'une strate glaciaire; par contre, plus au Nord, dans le Queensland ces strates font défaut. Il en résulte donc que la partie la plus australe de l'Australie orientale a été constamment recouverte de glaces durant ce temps, tandis que la partie centrale n'en a été envahie qu'à deux reprises et que la partie nordique n'a eu à subir aucune glaciation. Nous voyons ainsi apparaître une analogie complète avec les glaciations bien connues de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Les alternances de progression et de recul des glaciers dans cette dernière région peuvent être attribuées aux variations périodiques du mouvement de la terre et aux variations d'insolation correspondantes. Il ne fait pas de doute que de pareilles variations ont eu lieu pendant toute la durée des temps géologiques, mais leurs effets visibles n'apparaissent qu'aux époques où les zones polaires étaient couvertes par des inlandsis. — Toutes ces particularités montrent clairement que dans le cas de la glaciation permocarbonifère des continents du Sud, on a à faire à un véritable inlandsis.

Mais ces traces de l'époque glaciaire permocarbonifère sont aujourd'hui dispersées, très éloignées les unes des autres, et occupent presque la moitié de la surface du globe !

Considérons la fig. 34. La position la plus convenable qu'on pourrait assigner au Pôle Sud, au milieu de ces traces, serait dans le voisinage du point ayant pour coordonnées géographiques actuelles 50° lat. S. et 45° long. E. Mais, si nous l'y plaçons, les traces qui s'en écartent le plus, notamment celles qu'on trouve au Brésil, dans l'Hindoustan et dans l'Australie orientale, auraient une latitude de moins de 10° et le climat polaire aurait régné, à l'époque, presque jusqu'à l'équateur. Quant à l'autre hémisphère, il n'y aurait eu jusqu'au Spitzberg, comme nous pouvons l'anticiper, que des traces de température tropicale ou subtropicale. Il est à peine besoin de dire qu'une pareille répartition des climats est un non-sens. KOKEN [167] a essayé d'interpréter ces traces du point de vue climatologique dès 1907, date à laquelle on n'était pas encore fixé sur l'origine exacte des documents sud-américains. Il arrive à la conclusion que la seule solution possible serait d'admettre que ces dépôts sont nés à de hautes altitudes; mais cette solution est pratiquement absurde. Elle ne

peut pas être prise en considération parce que de hautes régions de cette étendue ne peuvent pas engendrer des inlandsis aux tropiques et, en outre, parce que les observations qu'on a pu faire montrent, au contraire, que dans les régions considérées la ligne des neiges y descendait au niveau de la mer. D'ailleurs, depuis cet essai on n'a pas fait d'autre tentative pour expliquer, du point de vue climatologique, ces phénomènes.

Il s'ensuit donc que ces traces de glaciation constituent une réfutation éclatante de l'hypothèse de l'immobilité des continents. Que dirions-nous de la théorie des translations si elle nous conduisait à un moment donné, au hasard des nombreux faits qu'elle utilise, à

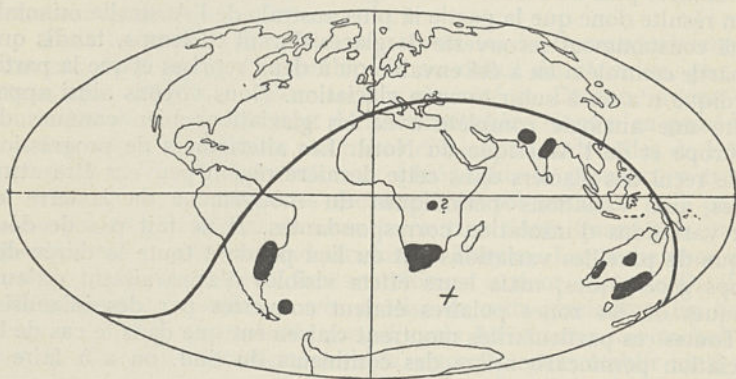


Fig. 34. — Les traces de l'inlandsis permocarbonifère sur les continents actuels.

La croix indique la position du Pôle Sud et la courbe en trait gras celle de l'équateur, positions les plus favorables pour l'explication de la glaciation.

une pareille absurdité? On a considéré jusqu'ici l'invariabilité des positions des socles continentaux comme une vérité, admise *a priori*, qui n'a pas besoin d'être démontrée. En réalité, elle n'est qu'une simple hypothèse qui doit être vérifiée à l'aide d'observations, et je doute fort que l'on puisse jamais apporter, en Géologie, de justification plus rigoureuse que celle de l'inexactitude de l'hypothèse immobiliste, justification obtenue à l'aide des traces glaciaires permocarbonifères.

Nous renonçons à prouver ceci par des citations. Ce que quiconque peut voir n'exige pas l'appui de l'opinion des autres, et avec celui qui *ne veut pas voir*, il n'y a rien à faire.

A notre avis, on ne doit plus se demander : Les socles continentaux ont-ils dérivé? parce que, sur ce point, il n'y a plus de doute possible. Mais, la question qu'on doit se poser est : Se sont-ils

déplacés d'après les règles particulières formulées par la théorie des translations?

Tout d'abord, nous ne devons pas passer sous silence le fait qu'on a trouvé, en un certain nombre d'autres dépôts permocarbonifères, des conglomérats que les géologues considèrent aussi comme d'origine glaciaire, et dont la situation cadre moins bien, parfois même mal, avec les hypothèses de la théorie des translations.

On a ainsi décrit [216] de pareils conglomérats permocarbonifères (et aussi triasiques) trouvés en Afrique centrale, qu'on a cru pouvoir identifier avec les conglomérats sud-africains de Dwyka et qu'on a interprétés comme moraines de fond d'un inlandsis. Les traces glaciaires permocarbonifères congolaises pourraient, au besoin, être intégrées dans le cadre de la théorie des translations (les traces triasiques le serait très difficilement), mais elles nécessitent, à mon avis, des hypothèses invraisemblables du point de vue climatologique. D'autre part, est-on bien sûr que l'interprétation donnée, notamment que les conglomérats sont d'origine glaciaire, est exacte? Nous avons mentionné le fait que des conglomérats « pseudoglaciaires », avec des parties polies, peuvent se former et qu'ils se sont formés effectivement aussi dans d'autres climats (en particulier dans le climat sec). Les roches polies sous la prétendue moraine n'ayant été mises en évidence nulle part dans la région congolaise, on n'a à faire, en somme, qu'à des indices qui pourraient caractériser aussi des formations pseudoglaciaires. D'ailleurs, on n'a qu'un petit nombre d'indications partielles sur la stratification correspondante, l'ordre de stratification, même pour le permocarbonifère, n'étant pas encore bien précisé; on ne peut donc affirmer que l'interprétation donnée soit basée sur une identification complète. Le peu que nous savons sur ces couches paraît indiquer, au contraire, une origine tout à fait différente et, par conséquent, une formation sous un autre climat. Quoi qu'il en soit, leur origine glaciaire ne peut pas être considérée comme solidement établie. Une autre objection contre leur origine glaciaire est fournie par le fait que l'on croit pouvoir affirmer que la limite nordique de l'inlandsis est située dans l'Afrique du Sud. et il est difficilement admissible qu'une autre calotte glaciaire, disjointe, ait existé simultanément en Afrique centrale. C'est pourquoi nous croyons qu'il ne faut pas prendre en considération. pour l'instant, comme indices climatiques, les conglomérats de l'Afrique centrale. A mon avis, il est probable qu'on pourra arriver à déterminer leur nature pseudoglaciaire.

Il en est de même des conglomérats permocarbonifères découverts par KOERT au Togo, lesquels, d'après les recherches entreprises — insuffisamment approfondies d'ailleurs — ont été classifiés comme d'origine glaciaire. Pour ceux-ci, je crois qu'il est plus probable encore qu'on pourra arriver à établir qu'ils se sont formés en climat sec.

Une autre catégorie de conglomérats, considérés jusqu'à présent comme d'origine glaciaire et situés en Amérique du Nord et en Europe, ne s'intègrent pas du tout dans la reconstitution d'après la théorie des translations; HOBSON crut ainsi avoir découvert des traces de glaciation dans le carbonifère du bassin de la Ruhr, et TSCHERNISCHEW dans le carbonifère supérieur de l'Oural.

De même, W. DAWSON a découvert en 1872 des traces soi-disant glaciaires dans la Nouvelle-Ecosse (confirmées en 1925 par A. P. COLEMAN); des traces analogues ont été trouvées par S. WEIDMAN dans les monts Arbuckle et Wichita, dans l'Oklahoma (1923); par J. B. WOODWORTH, dans les « Caney Shales » de l'Oklahoma (1921); par UDDEN, dans le permien du Texas occidental. SÜSSMILCH et DAVID rappellent les conglomérats de Fountain du Colorado. Tous ces dépôts sont considérés, à juste raison, par la plupart des géologues, comme étant d'origine pseudoglaciaire parce que leur interprétation glaciaire est contredite par toutes les autres données climatiques, si nombreuses précisément en ces régions.

VAN WATERSCHOOT VAN DER GRACHT [210] dit à propos de ces dépôts :

« Nous devons être très prudents en ce qui concerne les „tillites”. Je ne tiens pas pour démontré le fait qu'on doive considérer comme d'origine glaciaire aucun des conglomérats permocarbonifères du Texas, du Kansas, de l'Oklahoma et surtout du Colorado. Pour celui qui connaît les pluies torrentielles, notamment celles des déserts ou celles des limites des zones arides, il n'est pas surprenant que d'épais matériaux divers, pour la plupart détritiques et en partie anguleux, soient délogés de leur lit par les torrents provenant de ces pluies diluviennes. Ceux-ci sont extrêmement violents malgré la courte durée des pluies; ils sont formés de boue plutôt que d'eau et le mélange a un poids spécifique si élevé qu'il ne transporte pas seulement des blocs étonnamment grands, mais empêche toute ordonnance des matériaux. Point n'est besoin de faire intervenir la glace pour expliquer ce phénomène qu'on peut constater de nos jours dans tous les déserts, même dans ceux de l'Ouest américain. »

« De gros blocs isolés intercalés dans des dépôts marins, par ailleurs fins, ne doivent pas nécessairement y avoir été amenés par les glaces flottantes. De grands arbres peuvent entraîner en mer des rocs assez grands, emprisonnés par leurs racines. »

« Même des roches polies et striées peuvent ne pas être d'origine glaciaire, sauf si les striures sont très nombreuses et si les roches sont dures et très denses. De pareilles roches, qui ressemblent d'une façon étonnante aux blocs glaciaires et erratiques, appartenant aux conglomérats permien du Nord-Ouest de l'Europe et présentant les indices nets d'un caractère „glaciaire”, sont considérées comme des fragments striés uniquement par leur transport. En 1909 j'ai commis moi-même l'erreur de désigner comme tillite un de ces conglomérats européens ».

Nous pouvons ajouter aux cas ci-dessus, comme fait surtout remarquable, l'existence d'un conglomérat permocarbonifère découvert à Boston, en Amérique du Nord, dénommé « Squantum Tillit », et qui a été interprété comme moraine consolidée par tous ceux qui l'ont examiné, en particulier par SAYLES [168], qui en a donné la description la plus exacte. Ces dépôts couvrent une aire ayant presque la même étendue que celle du Vatna-Jökull en Islande. Le conglomérat contient des roches polies, considérées comme des galets striés glaciaires. Dans le voisinage de cette région, on trouve des couches d'argile durcie qui sont analogues aux « Warven » suédois d'âge quaternaire ou post-quaternaire étudiés par DE GEER. Mais tous ces dépôts peuvent très bien être pseudoglaciaires, car on n'a trouvé nulle part, sous ces soi-disant moraines, le poli glaciaire.

Comme je l'ai fait remarquer dernièrement [217], on doit avoir des doutes quant à l'origine glaciaire de ce « Squantum Tillit » si on l'étudie du point de vue climatologique, et ceci tout à fait indépendamment de la théorie des translations. Tous les autres documents climatiques nord-américains d'âge permocarbonifère, qui sont extrêmement nombreux, indiquent d'une façon certaine qu'à cette époque il régnait dans la partie occidentale des États-Unis un climat désertique chaud, tandis que la partie orientale était encore au Carbonifère dans la zone des pluies équatoriales, mais au Permien aussi dans la zone torride désertique. Des détails sur ces indices climatiques, parmi lesquels des dépôts de sel et de gypse et des récifs coralliens jouent un rôle principal, seront donnés un peu plus loin. Si nous nous reportons à la fig. 33, nous voyons que les zones climatiques présentant ces indices sont justement celles où l'altitude des neiges persistantes présente son maximum. Il s'ensuit qu'à l'époque l'altitude de l'enneigement perpétuel aurait dû atteindre pour l'Amérique 5.000 m. Mais il paraît tout à fait exclu qu'au milieu de ces dépôts il y ait eu une masse glaciaire de l'étendue du Vatna-Jökull ou encore, comme d'aucuns l'admettent, que dans la même mer où se formaient des récifs coralliens, des icebergs aient flotté; en effet, il est inadmissible, du point de vue physique, que le climat puisse avoir été à la fois chaud et froid. Même si l'on veut admettre que la formation soit d'origine glaciaire et formée à une haute altitude, on ne trouve pas d'issue. C'est pourquoi je crois qu'on pourra très probablement démontrer le caractère pseudoglaciaire du « Squantum Tillit », comme on l'a déjà fait pour tant d'autres conglomérats.

Remarquons à ce propos que les doutes climatologiques quant à l'origine glaciaire du « Squantum Tillit » se basent sur la nature des dépôts du socle nord-américain, voisins comme situation et comme âge. Ces doutes n'ont rien à voir avec la théorie des translations et nécessitent une explication indépendante d'elle.

C'est pourquoi il n'est pas logique de voir en cette « tillite » une objection contre notre théorie car, quoi qu'il en soit de cette roche, il

va de soi que nous devons tenir compte du grand nombre de faits sûrs et concordant dans leur ensemble, et non d'un seul fait discordant qui, d'ailleurs, s'est déjà montré décevant dans de si nombreux cas.

Je me suis étendu un peu sur les formations pseudoglaciales permocarbonifères, parce que je crois avoir été le seul à protester, jusqu'à présent (\*), contre l'interprétation glaciaire du « Squantum Tillit ». J'ai donc tenu à justifier, d'une façon détaillée, ma façon de voir. Voyons maintenant comment s'ordonnent les indices climatiques *absolument sûrs* du Carbonifère et du Permien, si l'on admet la théorie des translations!

Les plus importants indices sont enregistrés sur les cartes repro-

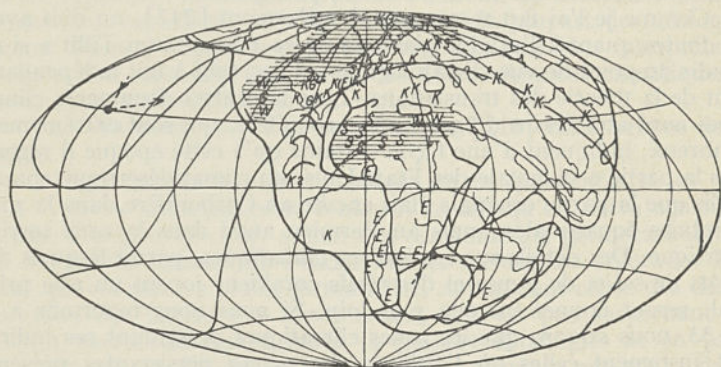


Fig. 35. — Glaciation, tourbières et déserts au Carbonifère, d'après KÖPPEN-WEGENER.

E : Traces glaciaires; K : Charbons; S : Sel gemme; G : Gypse;  
W : Grès désertiques; parties hachurées : Régions à climat sec.

duites aux fig. 35 et 36. Les traces d'origine sûrement glaciaire sont marquées par la lettre E. Comme on peut le voir, toutes les régions couvertes de glace à l'époque se groupent autour de l'Afrique du Sud en formant, sur la surface du globe, une calotte d'environ 30 degrés de rayon. Les indices synchroniques de climat polaire occupent ainsi une aire égale à celle de la zone actuelle à climat polaire. On ne peut pas avoir voulu une meilleure confirmation de nos hypothèses (\*\*).

\*) Il n'y a que VAN WATERSHOOT VAN DER GRACHT [210] qui semble partager mes doutes.

\*\*) On nous objecte à tort : Puisque les glaciations des continents austraux n'étaient pas tout à fait contemporaines, on peut les expliquer, même si l'on conserve les positions actuelles des continents, si l'on admet des déplacements polaires (bien entendu très grands et très rapides !). Mais, la première glaciation de l'Australie ayant eu lieu dès le Carbonifère et étant

Comment se fait-il que, tandis que nous possédons tant d'indices climatiques polaires concernant le Pôle Sud, ceux concernant le Pôle Nord nous font entièrement défaut? L'explication est simple : c'est que celui-ci était situé à l'époque sur l'Océan Pacifique, loin de tout continent.

Sur les fig. 35 et 36, nous avons fait correspondre aux Pôles Sud, pris aux centres des glaciations correspondantes, les équateurs et parallèles de 30 et 60° lat. N. et S. Vu le système de projection adopté, ces courbes paraissent assez déformées. Les équateurs, qui sont des grands cercles du globe, sont les lignes tordues en traits renforcés. Quelles sont les positions correspondantes des autres indices climatiques?

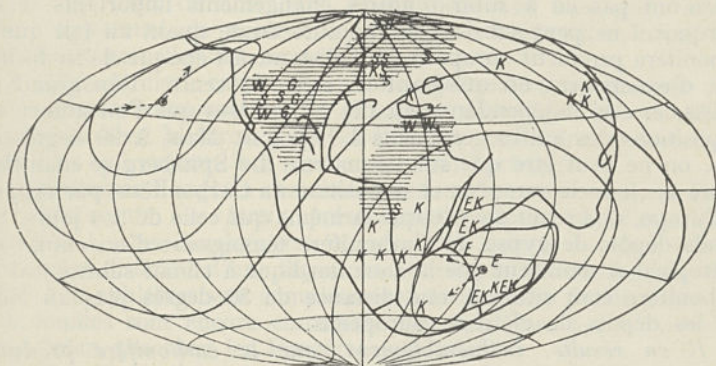


Fig. 36. — Glaciation, tourbières et déserts au Permien, d'après KÖPPEN-WEGENER.

E : Traces glaciaires; K : Charbons; S : Sel gemme; G : Gypse;  
W : Grès désertique; parties hachurées : Régions à climat sec.

La grande ceinture de carbonifère productif qui parcourt l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie Mineure et la Chine occupe sur notre reconstitution (non sur le globe actuel) un grand cercle, notamment celui dont le pôle est au centre de la glaciation; elle coïncide donc avec notre équateur.

Comme nous l'avons déjà dit, les charbons indiquent un climat pluvieux. Une ceinture pluvieuse qui, comme dans ce cas, entoure le globe sous la forme d'un grand cercle, ne peut certainement être

---

contemporaine de celles de l'Amérique du Sud et de l'Afrique du Sud, il résulte que pendant que le Pôle Sud faisait sa grande randonnée, le Pôle Nord aurait dû parcourir le Mexique où, pourtant, le climat était chaud et désertique. Et, d'ailleurs, les autres indices climatiques répandus sur tout le globe contredisent, d'une façon absolue, des déplacements polaires si amples.

que la zone équatoriale, et on a le droit de l'affirmer d'autant plus qu'elle est située, comme nous le voyons, à 90 degrés du centre d'un grand inlandsis.

Il importe de bien se rendre compte que cette conclusion est inéluctable, que l'on parte de la théorie des translations ou non. Les dépôts carbonifères productifs européens sont situés à une distance d'exactly 80 degrés au Nord des traces contemporaines, bien étudiées et sûres, de glaciation sud-africaine, là où l'on a des preuves que la ligne des neiges atteignait la mer — fait qui, de nos jours, ne se rencontre qu'en Antarctique. Si l'on tient compte du plissement alpin d'âge tertiaire, cette distance doit avoir été, au Carbonifère, de 10 à 15 degrés plus grande qu'elle n'est actuellement; par ailleurs, les positions relatives de l'Europe et de l'Afrique du Sud n'ont pas eu à subir d'autres changements importants. C'est pourquoi il ne peut subsister le moindre doute quant au fait que le carbonifère productif européen était distant, à l'époque de sa formation, d'exactly un quadrant terrestre du centre d'un grand inlandsis, et ceci indépendamment des hypothèses que l'on admet sur les positions des autres continents à l'époque. Mais, à 90 degrés du Pôle, on ne peut être que sur l'équateur. Le Spitzberg se maintient encore sur le socle européen et sa position au Carbonifère, par rapport à l'Europe, doit avoir été presque la même que celle de nos jours. Ses grands dépôts de gypse du Carbonifère témoignent d'un climat sec subtropical et montrent que la zone nordique à climat subtropical du Carbonifère était située à une distance de 30 degrés plus au Nord que les dépôts de charbon européens.

*Il en résulte, inéluctablement, que le carbonifère productif européen s'est formé dans la zone des pluies équatoriales, et ceci sans faire appel à la théorie des translations.*

Cette démonstration est tellement convaincante que tous les autres critères doivent s'effacer devant elle. Pourtant, on a le droit de se demander si le caractère des restes de végétaux des dépôts houillers du Carbonifère et des couches voisines est compatible avec nos résultats. Il en est effectivement ainsi si l'on se rapporte à l'avis du savant ayant eu la meilleure connaissance de la flore carbonifère européenne, H. POTONIE [169]. Son étude est la plus détaillée et la meilleure que nous possédons sur ce sujet. Il arrive, par des considérations uniquement botaniques, à la conclusion que les dépôts houillers européens du Carbonifère sont des tourbières fossiles de la nature des tourbières plates tropicales.

Les arguments invoqués par POTONIE pour étayer cette conception ne sont pas irréfutables, parce qu'il est très difficile de déterminer le caractère climatique d'une flore si ancienne. Ses adversaires, et on n'en trouve pas peu parmi les phytopaléontologues actuels, appuient beaucoup sur cette imprécision, mais ce qui est surprenant, c'est de constater qu'ils n'arrivent pas — du moins pas à ma con-



naissance — à ébranler l'argumentation de POTONIÉ en trouvant une interprétation climatique plus probable, différente de celle de cet auteur, des traits caractéristiques de la flore correspondante indiqués par celui-ci, de même qu'ils ne sont pas en état de désigner des traits, différents de ceux notés par POTONIÉ, et qui tendraient à nous faire admettre un autre climat. Ses adversaires expriment donc des objections ayant plutôt un caractère général. C'est parce que la justification botanique de POTONIÉ ne paraît pas avoir été ébranlée qu'il n'est pas sans intérêt de la faire connaître. Il indique principalement six traits caractéristiques de la flore correspondante qui parlent en faveur d'une origine tropicale.

1. Pour autant que les appareils reproducteurs des Fougères fossiles permettent une conclusion, celles-ci étaient apparentées à des familles qui sont, de nos jours, endémiques aux tropiques. Entre autres, la parenté de nombreuses Fougères carbonifères avec les Marattiacées actuelles, est remarquable.

2. Dans la flore carbonifère, sont représentées en premier lieu les Fougères arborescentes et les Fougères grimpantes ou volubiles. En général, c'est la forme arborescente qui prédomine, même dans les groupes qui aujourd'hui sont en général herbacés.

3. Certaines Fougères carbonifères, comme par exemple la Fougère arborescente *Pecopteris*, présentent des aphyllies, c'est-à-dire des feuilles à lobes disposés irrégulièrement à la base des tiges secondaires et qui diffèrent d'une façon caractéristique des lobes des autres feuilles. Les aphyllies sont complètement développées pendant que les autres feuilles sont encore enroulées. Les aphyllies ne se trouvent de nos jours que chez les Fougères tropicales.

4. Un nombre important de Fougères carbonifères ont des frondes d'une telle ampleur qu'on n'en voit qu'aux tropiques. Il y en a qui s'étendent sur plusieurs mètres carrés.

5. Les anneaux de croissance annuelle manquent complètement dans les tiges des arbres carbonifères européens. Leur croissance n'a donc pas eu à subir d'interruption à cause d'intervalles périodiques secs ou froids. Nous pouvons même ajouter : Par contre, on a trouvé tant aux Iles Falkland qu'en Australie — qui avaient à l'époque une grande latitude australe, comme on peut le voir sur les fig. 35 et 36 — des bois permocarbonifères ayant des anneaux annuels très prononcés.

6. On a constaté des cauliflores, c'est-à-dire des végétaux portant des fleurs sur les tiges ligneuses, chez des « Calamariacées et Lépidophytes et notamment chez certaines Lépidodendrées (du genre *Ulodendron*, qui ne se sont établies que sur ceux des restes d'anciennes tiges qui étaient cauliflores) et Sigillariacées... De nos jours, les végétaux dont les fleurs sont insérées directement sur le bois (dans les tiges et branches), ne vivent presque tous qu'aux tropiques... C'est peut-être à la lutte terrible pour la lumière, conditionnée par

l'épaisse forêt tropicale, qu'on doit attribuer la présence des feuillages presque exclusivement au sommet, tandis que les organes reproducteurs apparaissent dans les parties moins accessibles à la lumière, où ils ne gênent aucunement la fonction vitale des feuilles.

On peut dire de pareilles conclusions botaniques, comme nous l'avons déjà remarqué, qu'elles sont discutables, mais on peut s'exprimer d'une façon absolue sur les deux points suivants :

1° Cette flore n'a vécu ni dans le climat froid polaire ni dans le climat tempéré qui règne de nos jours dans ces régions; dans son cas il ne peut s'agir que d'un climat tropical ou subtropical.

2° Tous les indices cadrent parfaitement avec le résultat, obtenu par nous par une voie tout à fait différente et sûre, notamment que ces dépôts houillers se sont formés dans la zone des pluies équatoriales.

Les adversaires de POTONIE sont, en général, d'avis qu'il ne s'agit pas d'un climat tropical, mais d'un climat subtropical. Comme argument favorable à cette thèse ils mettaient en évidence (je ne sais pas s'il en est encore ainsi aujourd'hui) le fait que, de nos jours, il n'y aurait pas de tourbières dans la zone équatoriale et qu'il ne pourrait pas y en avoir, parce que la tourbe ne pourrait plus s'y former à cause de la chaleur qui active la putréfaction des organismes. Cette façon de voir est insoutenable depuis la découverte récente de tourbières répandues presque partout dans la zone actuelle des pluies équatoriales et notamment à Ceylan, à Sumatra, dans la région du lac Tanganyika et en Guyane Anglaise. Il doit y en avoir beaucoup d'autres, non encore découvertes, dans les régions marécageuses du Congo et de l'Amazone, dont l'existence est plus que probable du fait de la couleur foncée des « eaux noires » de nombreux cours d'eau de ces régions. Il s'agit donc, dans le cas de cette objection, d'une erreur due à l'inaccessibilité des marais tropicaux et à nos connaissances incomplètes qui en résultaient. On doit remarquer que la formation des tourbières fut spécialement favorisée dans la région de l'équateur carbonifère par les mouvements orogéniques ayant donné lieu aux grands plissements carbonifères qui commencèrent à se produire à cette époque. Les plis empêchèrent l'écoulement naturel des eaux, ce qui engendra de vastes marais.

Comme autre argument en faveur du climat subtropical, on a allégué le fait que les Fougères arborescentes, qui sont fréquentes dans les houilles carbonifères, vivent de nos jours moins aux tropiques que dans les régions subtropicales où on les trouve sur les versants humides des montagnes. Mais, cet argument ne s'impose pas pour deux motifs. D'abord, on a effectivement constaté l'existence actuelle de Fougères arborescentes — quoique relativement rares — dans les tourbières situées dans la zone des pluies équatoriales et il n'est pas improbable qu'elles y ont été partiellement évincées par des formes plus jeunes, mieux adaptées, inexistantes au Carbonifère.

qui ne pouvaient donc pas les concurrencer à l'époque. Ensuite, la comparaison avec les régions subtropicales actuelles n'est pas bonne, parce que celles-ci — exception faite des régions à moussons situées aux bords orientaux des continents — sont sèches, ce qui fait que l'on ne peut pas placer, du point de vue climatologique, sous les tropiques, une ceinture tourbière dont la longueur soit comparable à celle de la ceinture qui contient les principaux gisements houillers carbonifères. Ainsi, les *ceintures* houillères ne peuvent correspondre qu'au climat équatorial ou tempéré; mais, dans le dernier, les Fougères arborescentes sont exclues.

Enfin, pour certains auteurs, l'interprétation de POTONIE est douteuse parce qu'il s'était trompé aussi à l'occasion de l'interprétation des lignites tertiaires (\*). Nous ne devons pas nous y arrêter, car, du fait que quelqu'un s'est trompé une fois, tirer la conclusion qu'il doit se tromper toujours, est certainement plus aléatoire que la démonstration de POTONIE de l'origine tropicale du charbon carbonifère européen.

Toute cette discussion quant à la nature tropicale ou subtropicale de ces charbons est basée sur des arguments plus ou moins discutables, ce qui n'est pas pour étonner si l'on tient compte de l'âge de cette flore. Ce que je tiens à répéter, c'est que la situation de ces dépôts houillers — à un quadrant terrestre du centre d'un inlandsis sûrement polaire —, constitue un argument *absolument indiscutable* en faveur de leur formation dans une zone à pluies équatoriales et ceci, comme nous l'avons déjà mentionné, indépendamment du problème des translations continentales.

La théorie des translations complète la démonstration précédente en ce qu'elle incorpore dans cette vaste ceinture houillère les parties non européennes des dépôts, dont la position actuelle conduirait à des contradictions si l'on ne tenait pas compte de notre théorie.

L'identité des flores et, par conséquent, des conditions climatiques correspondantes des grands dépôts houillers carbonifères nord-américains, européens, anatoliens et chinois est reconnue par tous les auteurs. Puisque les dépôts européens se sont certainement formés dans la zone des pluies équatoriales, il faut qu'il en ait été de même

---

\*) Sans vouloir prendre part aux discussions des phytopaléontologues, je voudrais saisir cette occasion pour indiquer que, d'après la *totalité* des documents climatiques, l'Europe était *sûrement*, au Tertiaire inférieur, encore dans la zone des pluies équatoriales. Elle était au Tertiaire moyen dans la zone à climat subtropical (en partie en zone à climat sec), tandis qu'au Tertiaire supérieur le climat était déjà analogue au climat actuel. Les charbons tertiaires de l'Europe centrale doivent donc s'être formés, selon leur âge respectif, dans des climats *très différents*. Il ne faut pas oublier que dans ce cas aussi, le climat de l'époque considérée peut être déterminé beaucoup plus rigoureusement à l'aide de la totalité des documents climatiques fossiles européens contemporains qu'au moyen du seul groupe d'indices fournis par la flore houillère.

des autres parties de la ceinture. Leur ordonnance actuelle permet d'obtenir une justification directe de la théorie des translations, car — de par leur situation de nos jours — ces dépôts ne sont pas situés sur un même grand cercle. Pour mieux le faire voir, nous reproduisons dans la fig. 37 la carte du globe au Carbonifère dressée par KREICHGAUER [5]. Nous pouvons y suivre les différentes conclusions auxquelles on arrive si l'on ne tient pas compte de la théorie des translations. Pour l'Europe, l'Asie et l'Afrique la reconstitution coïncide presque avec la nôtre. Quant à l'équateur carbonifère de l'auteur, il ne passe pas par la région orientale des Etats-Unis, qu'il aurait dû traverser si l'on tient compte des données climatiques, mais par l'Amérique du Sud, qu'il ne peut pas avoir traversé, puisqu'à moins de 10 degrés de lui on constate déjà la présence de l'inlandsis. D'autre part, l'incompatibilité de cette carte avec les traces glaciaires de l'Inde péninsulaire et de l'Australie est surtout frappante.

La grande puissance des couches houillères de la ceinture principale houillère carbonifère, qui fait leur richesse, s'accorde aussi très bien avec l'hypothèse de leur origine équatoriale. Les couches houillères formées presque partout au Permien, dans les continents austraux, au-dessus des moraines de fond de l'inlandsis fondu, sont beaucoup moins puissantes (Cf. fig. 36). La flore correspondante, dénommée « flore à *Glossopteris* », d'après la Fougère herbacée qu'elle contient, était une flore de climat froid. Il s'agit dans ce cas de tourbes de la zone australe des pluies subpolaires de formation analogue à celle des tourbières nord-européennes et nord-américaines quaternaires et post-quaternaires. Cette formation de charbons et la flore à *Glossopteris* exigent aussi un rapprochement de ces régions qui sont actuellement éparpillées sur une étendue trop grande pour pouvoir correspondre au climat envisagé.

Les autres données climatiques carbonifères et permienes confirment de même les résultats enregistrés par nous dans les fig. 35 et 36. L'ordonnance en zones ne peut pas être réalisée si l'on n'admet pas les positions des continents telles qu'elles résultent de la théorie des translations.

Des deux anneaux climatiques subtropicaux qui contiennent les régions arides, c'est surtout la zone nordique qu'on peut bien définir au Carbonifère et au Permien. On peut non seulement établir son existence, mais on peut suivre aussi son déplacement vers le Sud au Permien. A cette occasion le climat pluvieux quitta l'Amérique du Nord et l'Europe et fut remplacé par un climat sec : Au Carbonifère de grands dépôts de gypse se formèrent au Spitzberg et dans la partie occidentale de l'Amérique du Nord (G, fig. 35). D'ailleurs les puissants « Red Beds » permocarbonifères de cette dernière région indiquent un climat désertique. Ce n'est que la partie orientale des Etats-Unis qui jouissait d'un climat à pluies équatoriales. Dans le Permien toute l'Amérique du Nord et l'Europe subissaient un climat déserti-

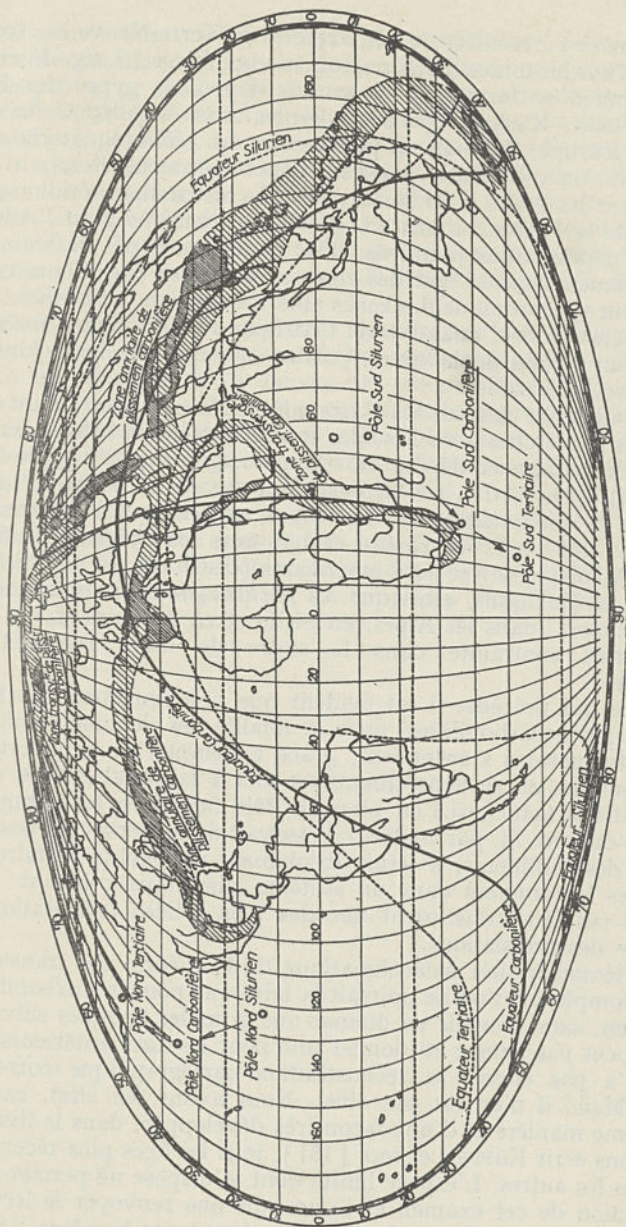


Fig. 37. — Plissements et équateur au Carbonifère, d'après KREICHGAUER.

que : Dans le carbonifère le plus récent de Terre-Neuve on trouve déjà du sel sur les toutes dernières couches houillères (S, fig. 35 et 36) et au Permien se formèrent les grands dépôts de gypse des Etats d'Iowa, Texas, Kansas (dans ce dernier aussi des dépôts de sel). Quant à l'Europe, qui était en pleine zone des pluies équatoriales au Carbonifère, on y constate de grands dépôts permien de sel en Allemagne, dans les Alpes méridionales et dans les parties méridionale et orientale de la Russie. ARLDT [11] indique, rien que pour l'Allemagne, neuf dépôts salins permien, dont le célèbre dépôt de Stassfurt. Ce déplacement vers le Sud des zones climatiques européennes et le déplacement synchronique des zones américaines vers le Sud-Est, ainsi que la migration de l'inlandsis de l'Afrique du Sud vers l'Australie, montrent un certain déplacement polaire, quoique peu important, du Carbonifère au Permien.

La zone sèche australe du Carbonifère a laissé, pour autant qu'il résulte des recherches actuelles, des traces surtout au Sahara où l'on constate de nombreux dépôts de sel, ainsi que dans l'Egypte (grès désertique). A la vérité, ces dépôts n'ont pas été aussi bien étudiés, surtout en ce qui concerne leur âge exact, que ceux de l'Europe.

Enfin, les récifs coralliens carbonifères européens (situés de l'Irlande à l'Espagne) et nord-américains (distribués du lac Michigan au Golfe du Mexique), ainsi que les *Richthofenias* ayant formé des récifs calciques (dans les Alpes, en Sicile et en Asie orientale), s'intègrent sans contrainte dans le cadre de notre reconstitution climatique.

De ce qui précède, il est évident que non seulement les traces glaciaires permocarbonifères, mais la totalité des documents climatiques contemporains s'ordonnent, grâce à l'emploi de la théorie des translations, en un système climatique tout à fait analogue au système climatique actuel, si l'on place le Pôle Sud dans les parages de l'Afrique du Sud. Si, par contre, on essayait de conserver les positions actuelles des continents, il serait absolument impossible de faire rentrer toutes les données dans un système climatique cohérent. Voilà pourquoi ces faits constituent une des plus solides justifications de la théorie des translations.

La démonstration paléoclimatique de la théorie des translations serait incomplète si l'on ne pouvait la faire que pour le Carbonifère et le Permien, sans pouvoir en donner une pour les époques suivantes. (On ne peut pas penser en donner une pour les âges antérieurs puisqu'on n'a pas encore la reconstitution cartographique correspondante.) Mais, il n'en est pas ainsi. Nous avons, en effet, examiné de la même manière et d'une façon très développée, dans le livre que nous avons écrit KÖPPEN et moi [151], tous les âges plus récents, les uns après les autres. L'espace limité dont je dispose ne permet pas la reproduction de cet examen et je ne puis que renvoyer le lecteur à notre livre. De toute façon, le résultat est toujours le même : Si l'on

utilise comme base cartographique la reconstitution faite d'après la théorie des translations, tous les documents climatiques contemporains se groupent pour chaque époque en un système climatique identique, en principe, au système actuel et, si l'on veut conserver aux continents les positions actuelles, on est conduit à des contradictions. Celles-ci sont d'autant moins nombreuses qu'on se rapproche de notre époque, ce qui n'est pas pour nous étonner; en effet, à mesure que nous nous rapprochons de l'époque actuelle, les positions des continents sont plus voisines des positions actuelles et la valeur probante de ces documents diminue du point de vue de l'exactitude de la théorie des translations.

Remarquons encore que dans l'explication des climats de jadis, surtout pour les époques récentes, les déplacements des pôles jouent le rôle essentiel. Les déplacements des pôles et les translations continentales forment ensemble, en se complétant réciproquement, le principe directeur dont l'application permet l'ordonnance systématique des données éparses et paraissant contradictoires, avec comme résultat une image convaincante, d'une simplicité étonnante et présentant une analogie complète avec le système climatique actuel. Mais, s'il en est ainsi, c'est grâce en premier lieu à la théorie des translations, car, sans elle, la théorie des déplacements des pôles n'aurait permis une solution satisfaisante que pour les temps les plus récents.

---

## CHAPITRE VIII.

### TRAITS ESSENTIELS DES TRANSLATIONS CONTINENTALES ET DES MIGRATIONS POLAIRES.

On emploie jusqu'à présent les termes : Translation continentale et Migration des pôles dans des sens très différents et, dans leurs relations réciproques, il persiste une confusion qu'on ne saurait écarter qu'en adoptant des définitions précises, qui sont d'ailleurs nécessaires pour résoudre d'une façon claire les problèmes posés par ces notions.

Les énoncés de la Théorie des Translations se rapportent toujours à des *translations continentales relatives*, c.à.d. à des dérives des différentes parties de l'écorce terrestre par rapport à l'une d'entre elles, choisie arbitrairement : en particulier, dans les reconstitutions de la fig. 4, sont indiqués les déplacements par rapport à l'Afrique, celle-ci étant représentée sur tous les croquis dans la même position. Nous avons choisi l'Afrique comme continent de repère parce qu'elle constitue la partie centrale du bloc continental de jadis. Si l'on considère une partie seulement de la surface de la terre, il sera préférable de prendre une partie plus restreinte de celle-ci comme région de repère, cette dernière partie gardant sa position inchangée dans les diverses reconstitutions. Son choix est une simple question de convenance. Si l'on tient compte des mesures prises récemment pour contrôler les variations de longitude, il n'est pas exclu qu'on prenne l'observatoire de Greenwich, dans un avenir plus ou moins éloigné, comme point auquel on rapportera les déplacements continentaux.

Pour éviter le choix arbitraire du système de référence on pourrait, peut-être, définir des *translations continentales compensées*, qui seraient à déterminer par rapport à la totalité de la terre au lieu de dépendre comme les translations continentales relatives d'une de ses parties. Leur détermination serait liée à de grosses difficultés, du point de vue pratique, et, en attendant, leur considération ne s'impose pas.

Il est très important de se rendre compte de l'arbitraire absolu qui a présidé au choix que nous avons fait en prenant comme région de repère l'Afrique. L'insistance de M. MOLENGRAAFF [*in* 228], par



exemple, sur le fait que le seuil atlantique est une preuve de l'éloignement de l'Afrique vers l'Est, ne constitue pas, à mes yeux, une contradiction avec la théorie des translations. Les mouvements relatifs de l'Amérique et du seuil atlantique par rapport à l'Afrique sont des mouvements dirigés vers l'Ouest, le premier avec une vitesse double de celle du second. Si l'on considère les mouvements relatifs par rapport au seuil atlantique, l'Amérique s'est déplacée vers l'Ouest tandis que l'Afrique s'est déplacée, presque avec la même vitesse relative, vers l'Est. Par rapport à l'Amérique, les mouvements relatifs du seuil atlantique et de l'Afrique sont tous les deux dirigés vers l'Est, la vitesse de celle-ci étant double de celle du premier. Si l'on tient compte de la relativité des mouvements considérés, les trois façons de s'exprimer conduisent au même résultat. Mais, une fois l'Afrique choisie comme système de référence, on ne pourra plus lui faire faire, par définition, aucun déplacement. Ce choix n'est convenable que tout au plus pour l'étude de la surface de la terre; il ne conviendrait pas, comme nous l'avons dit, pour l'étude des différentes parties du globe.

Les translations continentales ainsi définies ne font pas intervenir les modifications de position par rapport soit au pôle, soit à la base sur laquelle reposent les continents. Je tiens pour essentielle la séparation de ces notions de celle des translations continentales.

Le *déplacement du pôle* ou la *migration polaire* est une notion géologique. Pour la définir, il faut tenir compte du fait que les géologues ne peuvent étudier que la partie tout à fait supérieure, accessible de l'écorce terrestre et qu'on ne peut déterminer les anciennes positions des pôles qu'à l'aide de documents paléoclimatiques, qu'on ne trouve qu'à la surface de la terre. Il s'ensuit que les déplacements des pôles seront définis comme *déplacements superficiels*. Nous les définirons à l'aide de la rotation du système des parallèles terrestres par rapport à l'ensemble de la surface de la terre ou, — ce qui revient au même, puisque nous ne considérons que des mouvements relatifs, — à l'aide de la rotation de l'ensemble de la surface de la terre par rapport au système des parallèles. Pour que cette rotation puisse être prise en considération, il faut qu'elle ait lieu autour d'un axe différent de l'axe de rotation de la terre. Nous n'avons pas à tenir compte, dans cette définition, de la façon dont se comporte l'intérieur de la terre, qu'il soit immobile par rapport à la surface de la terre ou par rapport au système des parallèles, ou — ce qui est aussi possible — mobile par rapport aux deux. Cette précision était nécessaire pour la clarté de la notion. On ne pourra déterminer les déplacements polaires de jadis qu'à l'aide de documents climatiques : La Géophysique ne peut pas se prononcer en ce qui concerne l'existence ou la possibilité de pareils mouvements.

Des difficultés se présenteront, bien entendu, lorsqu'on voudra déterminer les migrations polaires, telles qu'on vient de les définir, à

cause de l'intervention simultanée des déplacements continentaux. Si ceux-ci n'existaient pas, on pourrait comparer directement entre elles les positions des pôles à deux époques différentes  $E_1$  et  $E_2$  à l'aide des documents paléoclimatiques et on obtiendrait sans plus le déplacement polaire, en direction et en grandeur. Si des déplacements continentaux ont eu lieu entre  $E_1$  et  $E_2$ , on pourra bien marquer sur les globes reconstitués, où l'on a tenu compte des translations continentales, les positions des pôles telles qu'elles résultent des données climatiques, mais, une difficulté se présente puisque nous ne savons pas comment marquer, dans la reconstitution à l'époque  $E_2$ , la position du pôle considéré comme « invariablement lié » à la terre de l'époque  $E_1$ , position qui doit être prise en considération pour le calcul de la direction et de l'intensité du déplacement polaire.

Nous pourrions procéder de la façon suivante : Imaginons-nous le réseau de coordonnées géographiques de l'époque  $E_1$  gravé, par exemple, sur la surface de la terre à cette époque. A l'époque  $E_2$  il sera déformé à cause des translations continentales. Cherchons le réseau non déformé qui se rapproche le plus du réseau déformé (\*). Le pôle correspondant au réseau obtenu sera la position à l'époque  $E_2$  du pôle « invariablement lié ». La comparaison de cette position avec la position réelle du pôle à l'époque  $E_2$ , telle qu'elle résulte des documents paléoclimatiques, nous donnera la migration polaire de  $E_1$  à  $E_2$ .

On pourra appeler ce mouvement le déplacement polaire superficiel *absolu*. A cause de la difficulté que nous venons d'examiner, on n'a pas encore essayé de déterminer de pareils déplacements. On s'est plutôt borné à indiquer des déplacements polaires *relatifs*, c'est-à-dire des déplacements par rapport à un continent arbitrairement choisi. Nous avons encore choisi, KÖPPEN et moi, dans notre livre déjà cité [151], l'Afrique comme continent de référence. De cette manière, nous avons décrit les migrations des pôles par rapport à ce continent. Si l'on choisit un autre continent comme continent de référence, une autre migration polaire relative en résultera. Ce n'est que s'il n'y avait pas de translations continentales que les déplacements polaires seraient identiques, quel que soit le continent de référence. Dans ce cas, on obtiendrait même les déplacements polaires absolus. La fig. 38 montre la différence d'aspect des images des migrations polaires relatives lorsqu'on prend deux continents de référence différents. Y sont inscrits les déplacements du Pôle Sud à partir du Crétacé, les continents de référence étant d'un côté l'Afrique, de l'autre l'Amérique du Sud.

La migration polaire, telle qu'on la déduit des mesures du Service international des latitudes, est aussi seulement un déplacement

---

\*) Nous n'avons pas besoin de préciser, dans cet ouvrage, quelles en sont les conditions mathématiques.

relatif par rapport à la surface de la terre. La constatation de l'existence d'un déplacement polaire actuel, non périodique, constitue un tournant important de l'évolution de nos connaissances sur les mouvements polaires, puisqu'auparavant les seuls mouvements polaires qu'on avait pu établir étaient des mouvements périodiques oscillatoires autour d'une position moyenne fixe du pôle. C'est WANACH qui déduisit le premier, en 1915, l'existence d'un déplacement de cette position moyenne, mais il ne put en garantir l'exactitude à cause de sa petitesse (\*). La première preuve irréprochable et sa valeur numérique ont été données par LAMBERT en 1922. Récem-

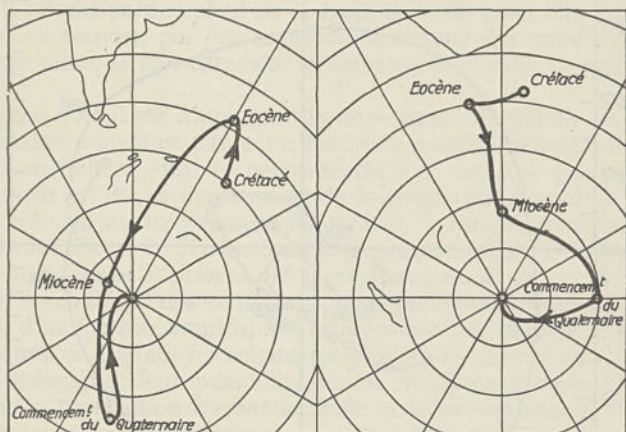


Fig. 38. — Déplacements relatifs du Pôle Sud à partir du Crétacé.

Continents de référence } à gauche : l'Amérique du Sud.  
 } à droite : l'Afrique.

ment, WANACH [208] a pu déduire à nouveau la migration polaire à l'aide des observations faites par le Service des latitudes entre 1900,0 et 1925,0. Nous reproduisons dans la fig. 39 un des diagrammes de WANACH qui rend bien compte de l'intensité des déplacements. Le mouvement polaire total est, comme on le sait, un mouvement pseudo-circulaire, la trajectoire du pôle consistant en des arcs presque circulaires, de rayon variable, dont le centre serait le pôle d'inertie terrestre, mobile lui aussi. Pour ne pas compliquer la figure, WANACH

\*) Dès 1912, j'avais attiré l'attention dans les *Petermanns Mitteilungen*, p. 309, sur le fait qu'on pouvait se rendre compte, par simple examen des formes des figures, que le centre des courbes décrites par le pôle doit avoir un mouvement systématique.

ne donne que trois fragments du mouvement polaire total. Notamment l'arc ayant un petit rayon correspondant au mouvement de 1900,0 à 1901,2; l'arc à très grand rayon correspondant à l'intervalle 1909,9 — 1911,1 et de nouveau un arc à petit rayon pour l'intervalle 1924,7 — 1925,9. Le pôle d'inertie de la terre, qui est à chaque instant le centre du phénomène et qui est obtenu à l'aide d'un calcul de moyennes, s'est déplacé pendant tout ce temps sur la petite ligne oblique située dans la partie centrale de la figure. Son

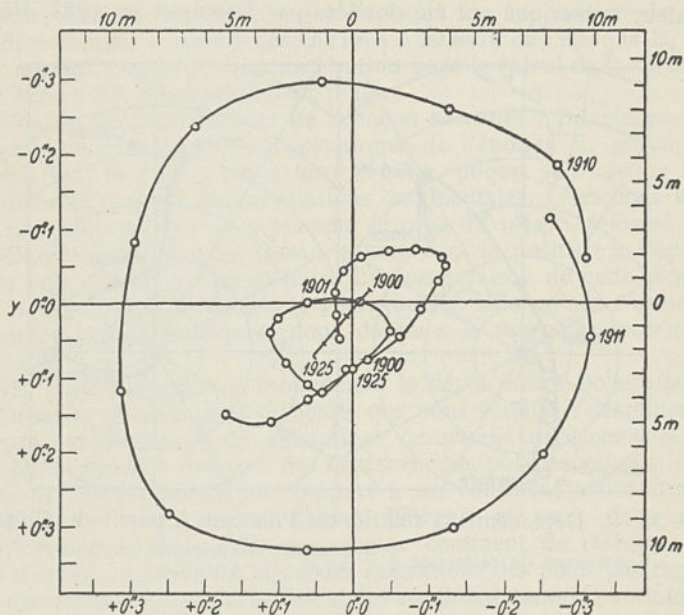


Fig. 39. — Migration polaire de 1900 à 1925 et portions du déplacement polaire total, d'après WANACH.

mouvement annuel, c'est-à-dire la migration polaire annuelle actuelle est de  $14 \pm 2$  cm, ce qui fait un déplacement de 140 km ( $= 1,3^\circ$ ) par million d'années, valeur supérieure à celle obtenue pour le Mésozoïque à l'aide de données géologiques, mais inférieure à celle correspondant au Tertiaire. Si la migration continue à avoir la même vitesse et la même direction, le Pôle Nord atteindra dans 23 millions d'années l'extrémité méridionale du Groenland.

La migration polaire actuelle n'est pas, d'après nos définitions, une migration polaire relative à un continent déterminé, elle correspondrait plutôt à une migration polaire absolue, relative à la surface de la terre,

car les stations pour la mesure des latitudes sont réparties sur tout le globe. Toutefois, on doit remarquer que pour obtenir la valeur de la migration polaire absolue, il faudrait posséder des mesures rigoureusement exactes des hauteurs polaires pour *tous* les points de la terre. Il s'en suit que les résultats obtenus à l'aide du Service des latitudes ne permettent d'obtenir qu'une valeur approchée de la migration polaire absolue. D'ailleurs, cette même valeur approchée ne pourra être considérée comme exacte que pour autant que l'on sera assuré que les stations de mesure ne changent pas leurs positions relatives à cause des translations continentales. Mais il paraît qu'il n'en est pas ainsi si l'on tient compte du fait que l'on constate, d'après SCHUMANN [220], à l'occasion du calcul de la trajectoire du pôle, des erreurs de reste qui ne peuvent pas être considérées comme des erreurs d'observation par suite de leur caractère systématique, et dont l'origine n'est pas claire.

A mon avis il est d'une grande importance de définir les migrations polaires obtenues par cette méthode comme migrations *superficielles*; on évitera ainsi la nécessité qu'il y aurait à préciser si ce déplacement est dû au mouvement de la croûte par rapport à la base sous-jacente ou au mouvement de celle-ci, la seule question restant posée étant celle de la démonstration de son existence. On n'en a pas tenu compte jusqu'à présent, et c'est pourquoi il en est résulté un manque de clarté et des confusions. Les géologues prouvent ces migrations d'une façon empirique (les géodèses les déduisent à l'aide des mesures de latitude), certains géophysiciens contestent, du point de vue théorique, leur possibilité et un troisième groupe d'auteurs énoncent la proposition transactionnelle qu'elles seraient dues, non à un déplacement de l'axe terrestre, mais à une rotation de la croûte par rapport à la base sous-jacente. Pour éviter toute incertitude, il faut arriver à préciser cette notion. Le premier pas à faire c'est de définir les migrations polaires comme mouvements superficiels. De pareils mouvements sont constatés aussi bien pour les temps géologiques écoulés que de nos jours et il n'y a pas de raison de contester leur existence.

Nous entendrons par *migration de la croûte et rotation de la croûte* les mouvements de celle-ci par rapport à la base sous-jacente. Cette définition est logique puisque le mot croûte implique déjà l'idée d'opposition par rapport à l'intérieur de la terre. Nous possédons différents indices de l'existence de pareils mouvements. Malheureusement, ils ne permettent de déterminer que la direction du déplacement et non son intensité.

Avant tout, nous avons de nombreux indices de l'existence d'une rotation globale de l'écorce, dirigée vers l'Ouest et se faisant autour d'un axe qui coïncide avec l'axe de rotation de la terre. On peut attribuer à cette rotation le retard des petits socles par rapport aux grands, comme par exemple les retards des chaînes côtières asiatiques, des An-

tilles, de l'arc des Antilles Australes entre le Cap Horn et la Terre de Graham; puis les déviations des pointes continentales vers l'Est, comme celles des plates-formes de la Floride et de l'Archipel de la Sonde, celles des extrémités Sud du Groenland et de la Terre de Feu; puis la séparation de Ceylan, l'éloignement vers l'Est de Madagascar relativement à l'Afrique et de la Nouvelle-Zélande par rapport à l'Australie, enfin le transport et compression des Andes. Quoique tous ces phénomènes soient à attribuer en premier lieu aux translations continentales, ils témoignent de l'existence d'un déplacement systématique des socles continentaux, dirigé vers l'Ouest par rapport aux masses de sima des fonds océaniques *voisins*, et parlent en faveur d'une dérive probable des socles continentaux, dirigée vers l'Ouest par rapport aux masses de sima *sous-jacentes*. De plus, ces indices sont répartis sur toute la surface du globe. Il en résulte que les déplacements constatés caractérisent un mouvement vers l'Ouest de l'ensemble de la croûte terrestre. En fait, on emploie souvent cette conception en Géophysique.

D'autre part, certains phénomènes indiquent aussi une migration partielle de l'écorce, notamment des déplacements dirigés vers l'équateur. Du point de vue théorique, on doit s'y attendre à cause de la force de répulsion des pôles agissant sur les socles continentaux. Le grand train de plis tertiaires s'étendant de l'Atlas à l'Himalaya témoigne d'un transport en masse vers l'équateur tertiaire, transport qui n'a pu avoir lieu que grâce à une migration de l'écorce au-dessus de la base sous-jacente.

Tous ces indices sont des preuves indirectes du mouvement de l'écorce par rapport à la base sous-jacente. Une preuve plus directe nous est fournie par la répartition de l'intensité de la pesanteur. Nous devons nous étendre un peu sur cette question.

Nous reproduisons dans la fig. 40 la carte dressée par KOSSMAT [38] et indiquant les anomalies de la pesanteur en Europe Centrale. Comme d'habitude, les valeurs brutes de l'intensité de la pesanteur obtenues par l'observation ont été corrigées comme si le relief avait été raboté jusqu'au niveau de la mer et les mesures prises à ce niveau; c'est-à-dire qu'en plus de la correction d'altitude on a tenu compte de l'action des masses entre la station et le niveau de la mer. La valeur ainsi réduite a été comparée à la valeur normale de la pesanteur pour la latitude de la station et la différence — l'anomalie — a été indiquée sur la carte. Nous voyons dès l'abord qu'il y a déficit de masse sous les montagnes ce qui, du point de vue isostasique, compense presque leur élévation. « A ce sujet, on peut admettre les idées exprimées par HEIM et maints géophysiciens, idées d'après lesquelles ce déficit n'est pas dû à des vides mais au fait que le plissement occasionne un épaissement considérable des parties supérieures, relativement légères, de l'écorce terrestre et que, pendant sa formation, ce bourrelet s'enfonce dans la base sous-jacente plastique. L'accroissement de la chaîne plissée ne s'est pas fait seulement vers le haut,



Fig. 40. — Perturbations de la pesanteur sous les montagnes de l'Europe centrale, d'après KOSSMAT.

mais aussi vers le bas, en raison de la pesanteur : à l'avance au-dessus de la flottaison correspond, suivant l'expression de HEIM, un tirant encore plus grand ». Nous pouvons ainsi apercevoir directement sur cette carte la topographie approximative de la surface inférieure de l'écorce de sial; sous les Alpes, où l'anomalie de la pesanteur atteint sa valeur négative extrême, le sial pénètre le plus profondément dans le sima.

Mais, pour l'examen de notre problème, nous devons procéder à une comparaison exacte entre la position de ces bourrelets de masses souterraines et celles des montagnes. Si nous prenons un atlas, nous constaterons, sans peine, que *le déficit de pesanteur est déplacé d'une façon systématique vers le Nord-Est.*

Ce fait surprenant montre que tous ces bourrelets de masses souterraines ont culbuté et ont été transportés plus ou moins vers le Nord-Est. Il peut être expliqué, sans doute possible, en admettant que le socle européen s'est déplacé dans la direction Sud-Ouest par rapport au sima sous-jacent et que ses parties proéminentes, enfoncées dans le sima, ont eu leur mouvement retardé à cause du frottement. Nous pourrions indiquer, partout où il y a des épaisissements récents des socles, la direction de leur mouvement par rapport au sima sous-jacent, si nous avions des cartes donnant les anomalies de la pesanteur pour toute la terre. C'est d'après ce qu'il paraît, la seule méthode directe de mettre en évidence la migration de la croûte terrestre. Pour l'Europe, ce mouvement est dirigé vers le Sud-Ouest; il a donc une composante vers l'Ouest, qui correspondrait à la rotation globale de la croûte, dirigée vers l'Ouest, et une deuxième composante, dirigée vers le Sud, correspondant à un déplacement de la croûte vers l'équateur.

Nous allons essayer maintenant de répondre à la question de savoir si les migrations polaires superficielles peuvent être dues à des déplacements de la croûte par rapport à la base sous-jacente.

Il ne pourrait s'agir, évidemment, que d'une rotation d'ensemble de la croûte, rotation effectuée autour d'un axe s'écartant notablement de l'axe de rotation. Les observations indiquent une seule rotation globale de la croûte, celle qui se fait vers l'Ouest, son axe coïncidant avec l'axe de rotation; on est en droit de croire que si une rotation globale de la croûte autour d'un autre axe existait, on devrait en reconnaître les suites aussi sur la face de la terre. Les observations ne confirment donc pas l'exactitude de cette solution. Mais, que peut-on en dire du point de vue théorique? La migration d'une partie de la croûte vers l'équateur, de même que le déplacement global de la croûte vers l'Ouest, donc les mouvements que nous avons indiqué d'une façon empirique, sont soutenables du point de vue théorique, notamment à l'aide de la force de répulsion du pôle, des forces des marées et de la précession, tandis que la rotation globale de l'écorce autour d'un axe différent de l'axe de rotation de la terre est tout à



fait inexplicable du même point de vue. La proposition transactionnelle de certains auteurs, qui croient pouvoir expliquer les migrations polaires à l'aide d'une rotation globale de la croûte, n'est donc basée ni empiriquement, ni théoriquement. C'est pourquoi il me paraît très improbable qu'elle soit juste. Mais, si cette solution est à écarter, il ne nous reste qu'un seul moyen d'expliquer les migrations polaires superficielles, c'est d'admettre un déplacement axial interne.

En parlant de *déplacement axial* nous devons penser, en premier lieu, à un déplacement de l'axe par rapport au milieu qui l'entoure sur toute sa longueur. Nous n'emploierons donc cette expression que dans ce sens. D'ailleurs, nous pouvons définir un déplacement axial à l'intérieur du globe et un déplacement axial astronomique, par rapport à l'univers. Nous parlerons d'abord du premier.

Nous pouvons aborder la question de savoir si les migrations polaires superficielles constatées sont dues à un déplacement interne soit du point de vue théorique, soit — comme nous le montrerons — du point de vue empirique. En ce qui concerne le point de vue théorique, de nombreux auteurs ont affirmé à plusieurs reprises que des mouvements axiaux de l'importance envisagée seraient impossibles. Pour le prouver, LAMBERT et SCHWEYDAR, par exemple, ont calculé que même si l'on déplaçait l'Asie de 45 degrés dans la direction des méridiens, l'axe principal d'inertie de la terre ne serait déplacé que de 1 à 2 degrés. Il va de soi que ces affirmations et calculs, venant de la part de géophysiciens jouissant d'une pareille autorité en imposent aux géologues qui ne sont pas à même de vérifier les hypothèses qui sont à la base de ces calculs et de juger de leur validité. C'est ainsi que ces affirmations ont créé un tel état de confusion que le devoir du géophysicien-théoricien est de s'employer à l'éclaircir.

Déjà, les opinions de théoriciens prééminents, comme Lord KELVIN, RUDZKI, SCHIAPARELLI, devaient nous faire hésiter. Lord KELVIN écrit [212] : « Il nous est permis non seulement d'admettre, mais même d'affirmer comme très vraisemblable que l'axe de plus grande inertie et l'axe de rotation, constamment très rapprochés l'un de l'autre, ont pu occuper, aux temps anciens, des positions très éloignées de leur position géographique actuelle. Ils peuvent s'être déplacés de 10, 20, 30, 40 degrés ou plus, sans que cette migration ait été jamais accompagnée de perturbations terrestres ou marines subites, sensibles. » RUDZKI [15] s'exprime dans le même sens : « Le jour où les paléontologues arriveraient à la conviction qu'à l'une des époques géologiques passées, la répartition des zones climatiques impose à l'axe de rotation une position toute différente de la position actuelle, les géophysiciens n'auraient rien d'autre à faire qu'à admettre ce postulat. »

SCHIAPARELLI [211] a étudié la question d'une façon détaillée dans une note relativement peu connue dont W. KÖPPEN [200] a donné une analyse. L'auteur y envisage trois cas : globe entièrement

rigide, globe entièrement fluide et enfin un globe qui se comporte comme un solide jusqu'à une certaine valeur limite des forces, mais comme un fluide au-delà de cette limite. Il montre que dans les deux derniers cas, des déplacements axiaux, de n'importe quelle intensité, sont possibles.

Comment expliquer alors que d'autres auteurs sont arrivés à nier rigoureusement tout déplacement axial interne? La réponse est très simple : Ils ont fait l'hypothèse, inadmissible, que pendant ces mouvements le renflement équatorial terrestre reste le même! Tous les rejets des déplacements axiaux intérieurs partent de cette hypothèse qui est non seulement injustifiée, mais certainement inadmissible.

Si nous l'acceptons, il devient évident, sans qu'il y ait besoin de faire des calculs, que l'axe principal d'inertie de la terre et, par conséquent, l'axe de rotation sont déterminés une fois pour toutes. En effet, le rayon terrestre étant de 21 km plus long à l'équateur qu'au pôle, le renflement équatorial représente une masse énorme, dont la contribution dans l'expression du moment d'inertie par rapport à l'axe polaire est beaucoup plus importante que dans celle du moment d'inertie par rapport à n'importe quel diamètre terrestre du plan équatorial. Les plus grands bouleversements géologiques ne peuvent amener que des modifications d'ordonnance de masses terrestres qui, comparées à celle du renflement équatorial, sont insignifiantes. Si celui-ci garde sa position, on voit sans calcul que l'axe principal d'inertie de la terre ne peut varier que de très peu. Et, d'ailleurs, l'axe de rotation doit rester dans le voisinage de l'axe principal d'inertie.

Je dois avouer ne comprendre que difficilement le fait d'admettre encore que le renflement équatorial ait conservé sa position, comme si la terre était absolument rigide. L'apparition des mouvements compensateurs isostasiques, ainsi que les translations continentales, montrent à souhait que la terre possède un certain degré de fluidité et, s'il en est ainsi, on ne voit pas pourquoi le renflement équatorial ne pourrait pas changer de position. Nous n'avons qu'à reprendre les considérations de LAMBERT et SCHWEYDAR en les complétant : Supposons que le pôle d'inertie subisse un petit écart  $x$  (sans que le renflement équatorial subisse de variation) à cause de phénomènes géologiques. Le pôle de rotation le suivra nécessairement dans son mouvement. La rotation de la terre s'effectuera donc autour d'un nouvel axe, s'écartant un peu de l'ancien. Ce mouvement entraînera un déplacement du renflement équatorial. A cause de la viscosité du noyau de la terre cette adaptation n'a lieu que très lentement, il est même possible qu'elle ne s'accomplisse pas toujours et qu'elle subisse un arrêt; sur ces circonstances nous ne savons rien. Comme première approximation, nous serons obligés d'admettre qu'une adaptation complète a lieu, fût-ce après une longue durée. Une fois cet état atteint, nous nous retrouvons dans les conditions initiales; la cause d'origine géologique intervient de nouveau, le pôle subira un

nouvel écart  $x$ , dans le même sens, et le phénomène pourra se reproduire un nombre quelconque de fois. Au lieu du déplacement initial, d'écart  $x$ , nous avons à faire à un déplacement *progressif*, dont la vitesse dépend de l'écart initial  $x$  et de la viscosité de la terre et qui ne cesse qu'après disparition de l'effet dû à la cause d'origine géologique; si cette cause consistait, par exemple, en l'addition d'une masse  $m$ , quelque part dans les latitudes moyennes, le déplacement axial ne cessera que lorsque cette masse additionnelle arrivera à l'équateur ou, pour nous exprimer d'une façon plus propre, lorsque l'équateur l'aura atteinte.

Naturellement, le problème devra être étudié en détail à l'aide du calcul. Mais, les considérations élémentaires qui précèdent sont suffisantes, à mon avis, pour montrer qu'en admettant un renflement équatorial invariable on commet une erreur fondamentale qui conduit à dénaturer le problème actuel. Il n'y a pas, je crois, le moindre argument théorique qui puisse nous faire douter de la possibilité de la réalité des mouvements axiaux internes très importants — fussent-ils très lents — effectués durant l'écoulement des temps géologiques. Il serait également désirable que l'on procède bientôt à l'examen du problème du point de vue théorique aussi, à l'aide d'une mise en équation convenable; le problème sera évidemment plus difficile à traiter que dans le cas du renflement équatorial fixe.

On peut aussi se rendre compte empiriquement si les migrations polaires superficielles sont dues à des déplacements axiaux, mais les moyens pour y arriver sont indirects et, partant, peu sûrs. Ce qui est en tout cas remarquable, c'est que toutes les preuves pouvant conduire à une conclusion parlent en faveur de la réalité de l'existence des déplacements axiaux internes.

Rappelons-nous, en premier lieu, la migration par rapport à la base sous-jacente du compartiment européen de la croûte, tel qu'il résulte de la fig. 40. Nous avons vu qu'elle est dirigée vers le Sud-Ouest. Puisque le bourrelet de sial des montagnes européennes qui est entraîné vers le Nord-Est s'est enfoncé dans le magma surtout dans le Tertiaire, nous devons admettre que la migration de ce compartiment de la croûte s'effectue aussi presque depuis le début de cette ère. Mais, pendant l'ère tertiaire la latitude géographique de l'Europe s'accrut d'environ 40 degrés, le Pôle Nord se rapprocha donc de celle-ci de cette distance, tandis que l'Europe aurait dérivé simultanément par rapport à la base sous-jacente en se rapprochant de l'équateur! Ces phénomènes n'ont pu avoir lieu que s'il y a eu un déplacement axial interne, dont l'intensité doit avoir été un peu supérieure à celle du déplacement de la croûte. On pourrait éviter cette conclusion seulement si l'on admettait que le déplacement des lieux à déficit de pesanteur vers le Nord-Est ne date, en Europe, que du Quaternaire et que pendant le Tertiaire les positions des lieux à déficit aient été situées d'une façon systématique au Sud-Est des masses montagneuses. Le

fait n'est pas tout à fait exclu, mais me paraît peut vraisemblable (\*).

Une autre méthode empirique est celle fournie par les alternances de transgressions et régressions.

De nombreux auteurs, entre autres REIBISCH, KREICHAUER, SEMPER, HEIL, KÖPPEN, ont été d'avis que les déplacements axiaux internes dus à la forme ellipsoïdale de la terre et au retard qu'elle met à adapter sa forme à la nouvelle position de l'axe — alors que l'océan peut le faire de suite — devraient être en rapports étroits avec les alternances de transgression et régression. La fig. 41 nous montre que, lors d'un déplacement polaire, l'océan prenant de suite la forme adaptée, tandis que la terre seulement avec un certain retard, il doit y avoir une phase ascendante des régressions dans le quadrant situé *au devant*

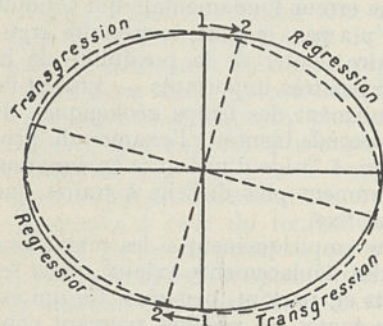


Fig. 41. — Rapport entre les transgressions et les régressions et le déplacement polaire.

du pôle, tandis que dans le quadrant situé *derrière* le pôle c'est une phase ascendante des transgressions qui a lieu. Le rayon équatorial ayant 21.000 m de plus que le rayon polaire, il résulte que si le déplacement polaire effectué du Carbonifère au Quaternaire, qui mesure environ 60 degrés, était accompagné d'un déplacement axial interne de même ampleur, la terre gardant sa forme, le Spitzberg aurait dû s'élever à une altitude d'environ 20 km et l'Afrique Centrale s'enfoncer d'autant sous les mers. Naturellement, les faits

\*) STAUB écrit dans son grand ouvrage sur la Structure des Alpes [18; et d'une façon analogue dans 215] : « L'Europe et l'Afrique se sont déplacées ensemble vers le Nord. L'Europe s'est séparée de l'Afrique dès le Permien, mais le colosse gigantesque rejoignit en définitive la petite Europe au Tertiaire moyen et, après avoir dressé le fond de l'ancien océan qui séparait l'Europe de l'Afrique, le fait déferler sur celle-ci, en donnant naissance à une puissante chaîne, puis continue sa marche vers le Nord. La translation continentale mesure... 50 degrés pour l'Afrique et en gros de 35 à 40 degrés pour l'Europe ». Considérer le changement de la latitude de l'Europe comme translation continentale, c'est vraiment faire une confusion de notions! Il en résulte une image physique vraisemblablement fautive du phénomène et qui n'est pas justifiée. Elle suppose 1) que l'Europe et l'Afrique ont subi le déplacement considéré par rapport à la base sous-jacente (donc, migration du compartiment européen de la croûte vers le Nord, en contradiction avec la répartition de la pesanteur) et 2) qu'il n'y a pas eu de déplacement axial interne (ce qui est invraisemblable à cause des variations systématiques des transgressions). Cet exemple et beaucoup d'autres qu'on pourrait citer, montrent l'importance des définitions exactes dans le stade actuel de ces recherches.

ne se sont pas présentés ainsi, parce que les grands déplacements axiaux ne sont rendus possibles que par l'adaptation progressive de la forme de la terre, grâce à la fluidité de celle-ci, et la terre doit avoir présenté dans l'adaptation un retard qui s'est traduit par un écart entre l'altitude terrestre et le niveau de la mer de l'ordre de cent mètres. Ce fait devrait apparaître dans les variations des transgressions.

J'ai essayé de résoudre, quoique seulement d'une façon sommaire, cette question par deux méthodes à l'aide des données empiriques sur les variations des transgressions, et je puis anticiper en affirmant dès maintenant que les deux méthodes paraissent confirmer l'existence des mouvements axiaux internes en liaison avec les migrations polaires.

La première méthode consiste à comparer la variation des mers

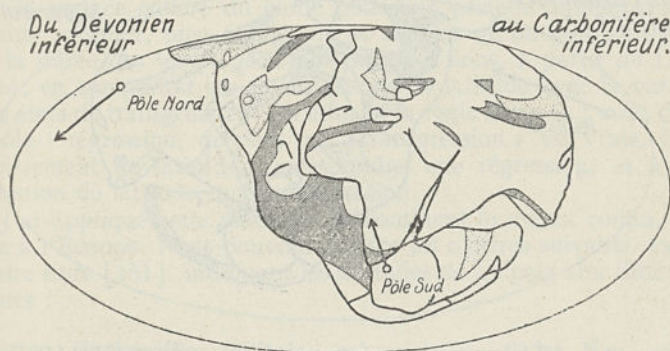


Fig. 42. — Transgressions (en pointillé), régressions (parties hachurées) et migrations polaires du Dévonien inférieur au Carbonifère inférieur.

de transgression du Dévonien au Permien avec le déplacement polaire synchronique. Pour être rigoureux, il faudrait évidemment tenir compte de la migration polaire absolue, mais la migration polaire relative que nous utiliserons, avec comme système de référence l'Afrique, n'en diffère pas beaucoup. La plus importante incertitude résulte du fait que les positions et les étendues des mers de transgression ne sont connues, pour les différentes époques, que d'une manière très approximative.

En rapportant, d'après les indications paléogéographiques habituelles, par exemple celles de KOSSMAT ou de L. WAAGEN, sur notre carte du Carbonifère, les lignes de rivage des mers de transgression au Dévonien inférieur et au Carbonifère inférieur (fig. 42), nous trouverons les régions soumises à des invasions marines et les

régions exondées entre ces deux époques (régions qu'on ne doit pas confondre avec les régions submergées et les régions émergées). Pendant le même temps le Pôle Sud passa de l'Antarctique en Afrique du Sud (\*), ce qui fait que l'Amérique du Sud se trouvait sur le quadrant situé « au devant » du pôle en mouvement. Par contre, le Pôle Nord s'éloignait de l'Amérique du Nord. On constate sur cette figure que la règle est confirmée : Régressions au devant du pôle; transgressions derrière lui.

Du Carbonifère inférieur au Permien supérieur les déplacements polaires ont une tout autre direction : Le Pôle Sud émigre de l'Afrique du Sud en Australie, le Pôle Nord se rapproche de nouveau de l'Amérique du Nord. La figure 43 indique les régions soumises à des invasions marines et les régions exondées dans l'intervalle de temps

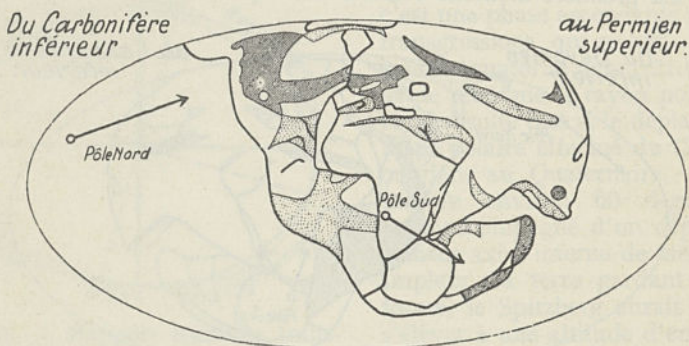


Fig. 43. — Transgressions (en pointillé), régressions (parties hachurées) et migrations polaires du Carbonifère inférieur au Permien supérieur.

considéré. La règle est de nouveau confirmée, et cela paraît d'autant plus frappant que les conditions auxquelles étaient soumises l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud sont complètement renversées.

Ces résultats paraissent donc montrer que la migration polaire entre le Dévonien et le Permien s'est effectuée synchroniquement avec un déplacement interne de l'axe de rotation.

Je ne voudrais pas passer sous silence le fait qu'en essayant de poursuivre cette justification, je n'ai pas pu arriver à des résultats

\*) Les positions des pôles sur les deux figures sont celles que j'avais admises avant l'aboutissement de mes recherches en collaboration avec KÖPPEN [151]. Les données, plus complètes, que nous avons recueillies font assigner aux pôles des positions un peu différentes, mais l'écart est assez petit pour que le raisonnement poursuivi dans ce chapitre subsiste. C'est pour ce motif que l'on n'a pas procédé à une refonte de nos figures.

précis en ce qui concerne les époques un peu plus récentes. D'ailleurs, les migrations polaires de ces époques sont insignifiantes; c'est pourquoi on ne peut pas les utiliser pour la justification. Je n'ai pas pu obtenir de résultat même pour le Tertiaire, où pourtant les déplacements polaires furent importants et rapides. Il est possible que dans ce cas on ne puisse plus aboutir à l'aide des migrations polaires relatives, utilisées par moi, et que l'on doive se baser sur les déplacements polaires compensés. De toute façon, il n'est pas douteux que la plus grande difficulté est due au fait que nous ne possédons que des cartes donnant d'une façon incomplète ou peu précise les transgressions et régressions pour chacune des périodes du Tertiaire, périodes qu'il faudrait examiner séparément à cause du rapide déplacement polaire; la suite de ce chapitre me fait croire que c'est surtout à cette cause qu'il faut attribuer l'échec subi.

La deuxième méthode de justification consiste à ne plus considérer la surface entière du globe pour une période limitée, mais un domaine restreint, bien étudié; de sa surface qu'on poursuivra pendant la durée des temps géologiques (pour nous, à partir du Carbonifère), en comparant ses modifications de latitude avec la variation de ses états de transgression. En effet, si la règle énoncée : « Au devant du pôle : régression, derrière lui : transgression » est vraie, à tout accroissement de latitude correspondra une régression, et à toute diminution de latitude, une transgression.

J'ai appliqué cette méthode au continent le mieux connu, c'est-à-dire à l'Europe. Nous pouvons utiliser les chiffres suivants, extraits de notre livre [151], indiquant les latitudes de Leipzig aux différentes époques :

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Carbonifère . . . . .          | 0° lat. N. |
| Permien . . . . .              | 13° »      |
| Trias . . . . .                | 20° »      |
| Jurassique . . . . .           | 19° »      |
| Crétacé . . . . .              | 18° »      |
| Eocène . . . . .               | 15° »      |
| Miocène . . . . .              | 39° »      |
| Début du Quaternaire . . . . . | 53° »      |
| Coordonnée actuelle . . . . .  | 51° »      |

Nous voyons sur ce tableau que cette latitude commence par croître du Carbonifère au Trias; qu'elle décroît ensuite jusqu'à l'Eocène et qu'enfin elle croît de nouveau jusqu'au Quaternaire. Ainsi, Leipzig ne doit avoir atteint son maximum de latitude qu'au milieu du Quaternaire.

D'autre part, la Géologie nous apprend que du Carbonifère au commencement du Jurassique, un régime de régressions régnait d'une manière générale en Europe. Ensuite, de grandes transgressions se

manifestent, produisant les mers jurassique et crétacée lesquelles recouvrent, jusqu'à l'Eocène, une bonne partie de l'Europe. Mais, à partir de cette époque, une nouvelle régression très marquée se produit par laquelle l'Europe entière est progressivement exondée. Enfin, à la petite diminution de latitude survenue depuis le commencement du Quaternaire paraissent correspondre, de nouveau, certains phénomènes dûs à des transgressions. On voit ainsi que, dans ses grands traits, la règle est vérifiée et le fait est d'autant plus remarquable que l'Europe est le continent le mieux étudié. Cette vérification paraît donc prouver aussi que les migrations polaires sont effectivement liées à des déplacements axiaux internes.

Pour finir, nous voulons effleurer la question des déplacements *astronomiques* de l'axe terrestre. Il s'agit de savoir si l'axe terrestre se déplace ou s'est déplacé par rapport au système formé par les étoiles.

Il est notoire en Astronomie que de pareils mouvements oscillatoires existent. Le mouvement connu depuis le plus longtemps est la précession, grâce à laquelle les pôles décrivent, d'un mouvement périodique, dont la période est de 26.000 années, des cercles ayant les mêmes pôles que l'écliptique, mouvement sans influence sur l'angle que fait l'axe de rotation de la terre avec l'orbite terrestre, c'est-à-dire sans influence sur l'obliquité de l'écliptique. Le mouvement de nutation est trop peu important pour que nous le prenions en considération. Le calcul des perturbations montre que l'obliquité de l'écliptique présente aussi des variations presque périodiques, l'écart pouvant atteindre plusieurs degrés, dont la période est d'environ 40.000 années. Les oscillations correspondantes du Quaternaire, malgré leur petitesse, ainsi que les variations synchroniques de l'excentricité et de la position du périhélie de l'orbite, sont les causes prépondérantes de l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires.

De pareilles variations se sont certainement produites le long de tous les temps géologiques et elles ont eu le même effet sur le climat que celles du Quaternaire. Ainsi, les traces répétées d'avancement alternant avec des traces de recul glaciaire que l'on a trouvé récemment dans la glaciation permocarbonifère sont encore à attribuer à ces oscillations périodiques de l'obliquité de l'écliptique. Certains auteurs sont même d'avis qu'on doit leur attribuer la cause de certaines alternances périodiques des sédimentations.

L'Astronomie ne peut d'aucune façon nous renseigner, à l'aide du calcul des perturbations, si la valeur autour de laquelle oscille l'obliquité de l'écliptique a subi ou non des variations importantes durant les temps géologiques. En effet, dans le calcul des perturbations, interviennent les masses de toutes les planètes du système solaire, masses qui ne sont connues qu'avec un certain degré d'approximation, ce qui rend l'extension des résultats aux périodes géologiques (à l'exclusion de l'ère quaternaire, la plus proche) illusoire. D'autre



part la Terre n'est pas rigide, comme on le suppose dans le calcul des perturbations, mais est pourvue d'une certaine fluidité, on y constate des translations continentales, des déplacements de sa croûte, son axe subit probablement des déplacements internes, et tous ces phénomènes doivent avoir une grande influence sur les résultats. Pourtant, il est exclu qu'on en tienne compte, quant à présent, dans les calculs. On ne peut donc pas, de ce point de vue, arriver à d'autres résultats.

Néanmoins, je voudrais attirer l'attention sur une particularité des climats géologiques qui présente une grande importance à ce sujet. Après la grande extension glaciaire permocarbonifère de la Gondwanie, située sur la zone polaire australe de l'époque et dont l'étendue était au moins égale à celle de l'actuel inlandsis, nous ne retrouvons nulle part de trace sûre d'inlandsis pendant toutes les époques suivantes jusqu'au Tertiaire inférieur; ceci malgré le fait qu'au moins un des pôles était soit sur les continents, soit dans leur voisinage, ce qui rendait possible la formation de calottes glaciaires. De plus, pendant tout ce temps, nous constatons un avancement surprenant des barrières des zones d'extension des mondes animal et végétal vers les pôles. Ce n'est qu'au Tertiaire que se formèrent de nouvelles masses glaciaires dans le voisinage du Pôle Nord, masses qui atteignirent leur plus grande extension au Quaternaire. Ces variations des climats polaires pourraient s'expliquer aisément si l'on faisait l'hypothèse que la valeur moyenne — autour de laquelle oscille l'obliquité de l'écliptique avec une période de 40.000 ans — aurait eu à subir des variations importantes durant les temps géologiques et si, en particulier, les valeurs de l'obliquité étaient très petites aux moments des grands inlandsis et très grandes aux époques sans calottes glaciaires et à grande extension biologique.

En effet, il n'est pas difficile de se rendre compte des effets de pareilles variations de l'obliquité de l'écliptique sur le système climatique du globe. On n'a qu'à se rappeler que la variation annuelle de la température est due surtout à l'obliquité de l'écliptique. Si celle-ci était nulle, c'est-à-dire si l'axe polaire était perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre, l'amplitude de variation annuelle serait presque nulle à cause de la petite excentricité de l'orbite; de plus, la température serait, en chaque point du globe, constante pendant toute l'année, fait qui, actuellement, est constaté seulement aux tropiques. La température moyenne de la région polaire serait constante, très basse; on constaterait bien pendant l'hiver une température plus élevée qu'actuellement, mais elle resterait malgré tout au-dessous du point de congélation de l'eau et celle de l'été ne différerait en rien de celle de l'hiver. L'existence des plantes dans cette région serait donc impossible, car il n'y aurait pas de période de végétation. Le monde végétal s'écarterait donc du pôle, entraînant avec lui les animaux. D'autre part, les précipitations se feraient pendant toute l'année sous forme

de neige; celle-ci ne pourrait pas fondre par suite du manque d'une période chaude; elle s'accumulerait, couvrant tout ce qui est terre ferme d'une calotte glaciaire.

Par contre, si l'obliquité de l'écliptique avait une valeur de beaucoup supérieure à sa valeur actuelle, l'amplitude de variation annuelle de la température serait très importante dans la zone polaire. L'été y serait beaucoup plus chaud et permettrait une colonisation par des plantes et, comme conséquence, par des animaux, jusqu'aux pôles inclusivement. Des arbres pourraient même s'y développer si la température du mois le plus chaud y était supérieure à  $+ 10^{\circ}$  C, comme le montre l'exemple de la Sibérie, où certaines formes subsistent malgré le froid hivernal. Les précipitations se feraient sous forme de pluie en été et les neiges tombées pendant l'hiver seraient fondues facilement par la chaleur estivale. Il en résulte qu'il n'y aurait pas d'inlandsis et cela malgré la basse température moyenne annuelle, exactement comme de nos jours en Sibérie. Il en résulterait l'élévation, peut-être petite, de la température moyenne de la région polaire, l'insolation estivale plus forte n'étant pas équilibrée par un rayonnement hivernal plus intense, car le soleil étant sous l'horizon sa position est sans effet sur le bilan du rayonnement thermique. Bref, on aura l'impression, en étudiant les documents paléoclimatiques correspondant à une pareille époque, d'une atténuation des différences entre les climats polaire et équatorial.

On devrait étudier en détail les documents paléoclimatiques susceptibles de montrer ces variations de climat polaire pendant les temps géologiques. Pourtant, il faut remarquer qu'on pourrait trouver de tout autres causes à de pareilles variations. En attendant, il me paraît plausible que ces variations existent et je crois qu'elles peuvent s'expliquer le mieux à l'aide de la variation de l'obliquité de l'écliptique. De cette façon les données paléoclimatiques serviraient à déceler un mouvement axial dont la vérification échappe aux méthodes astronomiques.

---

## CHAPITRE IX.

### LES FORCES TRANSLATRICES.

On a pu constater et justifier les translations continentales par une méthode purement empirique, notamment à l'aide des données géodésiques, géophysiques, géologiques, biologiques et paléoclimatiques, sans avoir fait d'hypothèse en ce qui concerne leur cause. On a adopté ainsi la méthode inductive que les sciences naturelles sont obligées de suivre dans la grande majorité des cas. C'est de cette façon que les formulés de la chute des corps et du mouvement des planètes ont d'abord été obtenues par la méthode purement empirique, à l'aide des données tirées des observations. Ce n'est que plus tard que NEWTON put les trouver aussi par la méthode déductive comme conséquences de la seule loi de la gravitation universelle. Les recherches naturelles suivent toujours ce cours.

La théorie des translations n'a pas encore son Newton. On ne doit pas s'inquiéter de sa venue : la théorie n'est en effet qu'à ses débuts, beaucoup d'auteurs en doutent et il ne faut pas en vouloir aux théoriciens lorsqu'ils hésitent à perdre leur temps et leurs efforts pour élucider une loi sur l'exactitude de laquelle on n'est pas encore d'accord. Il est pourtant probable qu'un certain temps s'écoulera avant qu'on ait pu résoudre complètement la question des forces intervenant dans ces mouvements. Les relations entre les déplacements sont tellement embrouillées qu'il sera souvent difficile d'en démêler l'écheveau et de distinguer entre causes et effets, parce qu'il est clair que dans la question des forces tout le complexe de translations continentales, déplacements de la croûte, migrations polaires, déplacements axiaux internes et astronomiques, constitue un problème unique.

Il n'y a qu'une seule question partielle qui a pu être résolue et, pour quelques autres, on n'a pu établir que des hypothèses.

Les déplacements qui présentent le plus d'importance en raison des forces nécessaires à les produire sont, en premier lieu, les migrations de la croûte, c'est-à-dire les déplacements des socles

continentaux par rapport aux bases sous-jacentes, parce que ces déplacements sont à considérer, du moins dans la majorité des cas, comme des effets directs des forces translatrices. Ces forces agissent sur les socles continentaux, mais n'interviennent pas du tout ou seulement en faible mesure dans les masses sous-jacentes.

Nous avons indiqué, dans ce qui précède, un grand nombre de faits qui témoignent en faveur de ces deux mouvements. Le mouvement qui apparaît en premier lieu sur la carte est la dérive des socles continentaux vers l'Ouest. Les migrations polaires de jadis apparaissent moins facilement. Pour les trouver il faut d'abord procéder à des reconstitutions qui permettent d'obtenir les anciennes positions des pôles. En gros, la migration polaire apparaît grâce à la fracture des socles continentaux dans les régions polaires et à leur transport vers l'équateur. Ainsi, l'avance au Carbonifère du Pôle Sud vers l'Afrique fut accompagnée par le plissement de la zone équatoriale d'alors et suivie par la fracture et disjonction de la Gondwanie. De même, l'avance au Tertiaire du Pôle Nord, qui précédemment était dans le Pacifique, vers les régions polaires boréales actuelles, fut accompagnée par le plissement effectué le long de l'équateur tertiaire (Alpes-Himalaya) et suivie par une fracture et une disjonction progressives, qui sont encore en cours, des continents nordiques.

La seule force translatrice que l'on connaisse d'une manière un peu plus détaillée est la *force répulsive du pôle* ou *poussée vers l'équateur* qui tend à faire dériver les socles continentaux vers l'équateur par rapport à la base sous-jacente. C'est Eörvös qui, le premier, admit son existence en une remarque [199] faite en 1913, mais à laquelle on n'attacha pas d'importance sur le moment. Dans une discussion, il attira l'attention sur le fait « que l'enveloppe des verticales situées dans un plan méridien est une courbe dont la concavité est tournée vers le pôle et que le centre de gravité d'un corps flottant (c.à.d. d'un socle continental) est placé plus haut que celui de la masse fluide dont il prend la place. Il s'en suit que le corps flottant est soumis à l'action de deux forces de directions différentes et dont la résultante est dirigée vers l'équateur. Les continents auraient donc surtout tendance à se mouvoir dans cette direction et ce mouvement provoquerait une variation séculaire de la latitude dans le genre de celle que l'on suppose pour l'observatoire de Poulkovo ».

Sans avoir eu connaissance de cette indication brève et peu accessible, W. KÖPPEN [200] a reconnu la nature de cette force et l'importance qu'elle peut avoir dans la question des translations continentales. Il en donne une description, sans faire appel au calcul il est vrai : « ...L'aplatissement des surfaces de niveau diminue avec la profondeur; ces surfaces ne sont pas parallèles, mais elles sont légèrement inclinées les unes par rapport aux autres, sauf à l'équateur et au pôle où elles sont toutes normales au rayon terrestre. On peut le voir sur la fig. 44, qui représente une coupe méridienne entre un pôle P et

l'équateur A. La ligne en traits interrompus est une ligne de force de la pesanteur, c.à.d. l'enveloppe des verticales des lieux O. C est le centre de la terre ».

« Or, le centre de poussée archimédienne d'un corps flottant est au centre de gravité de la masse dont il prend la place, tandis que le point d'application de son poids est son propre centre de gravité; les directions de ces deux forces sont normales aux surfaces de niveau passant par leurs points d'application, elles ne sont donc pas directement opposées et admettent une petite résultante qui, lorsque le centre de poussée est plus bas que le centre de gravité, est dirigée vers l'équateur. Comme le centre de gravité du socle se trouve bien au-dessous de sa surface extérieure, ces forces ne s'exercent plus normalement à cette surface, mais elles s'en écartent légèrement — la poussée s'écartant un peu plus que le poids. Ces résultats s'appliquent à tout corps flottant dont le centre de gravité est situé au-dessus du centre de poussée. Par contre, dans le cas où le centre de gravité se trouve plus bas que le centre de poussée, la résultante des deux forces considérées est dirigée vers le pôle. Le principe d'Archimède n'est rigoureusement exact sur la terre en rotation que lorsque les deux centres coïncident. »

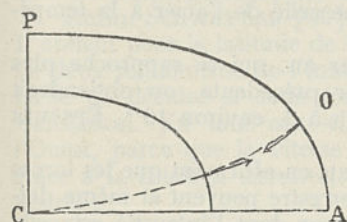


Fig. 44. — Traces de deux surfaces de niveau et enveloppe des verticales, situées dans un plan méridien.

C'est P. S. EPSTEIN [201] qui a trouvé le premier l'intensité de la force répulsive du pôle. Il donne comme valeur  $K(\varphi)$  de la force agissant à la latitude géographique  $\varphi$  l'expression

$$K(\varphi) = -\frac{3}{2} m d \omega^2 \sin 2 \varphi,$$

où  $m$  est la masse du socle continental,  $d$  la demi-différence d'altitude entre le fond océanique et l'aire continentale (c'est-à-dire la différence de niveau entre les centres de gravité du socle et du volume de sima dont ce dernier prend la place) et  $\omega$  la vitesse angulaire de la terre.

Il emploie cette formule pour calculer le coefficient de viscosité  $\mu$  de la sphère de sima à l'aide de la vitesse de translation  $v$  des socles (d'après la formule générale  $K = \mu \frac{v}{M}$ , où  $M$  est l'épaisseur de la couche visqueuse) et il obtient

$$\mu = \varrho \frac{s d M \omega^2}{v},$$

où  $\rho$  représente le poids spécifique du socle et  $s$  son épaisseur. Il part des valeurs numériques suivantes :

$$\begin{aligned}\rho &= 2,9, \\ s &= 50 \text{ km}, \\ d &= 2,5 \text{ km}, \\ M &= 1600 \text{ km}, \\ \omega &= \frac{2\pi}{86\,164}, \\ v &= 33 \text{ m par an},\end{aligned}$$

et trouve comme valeur du coefficient de viscosité

$$\mu = 2,9 \times 10^{16} \text{ g cm}^{-1} \text{ sec}^{-1},$$

c'est une valeur trois fois plus forte que celle de l'acier à la température ordinaire.

Si l'on était parti de  $v = 1$  m par an, qui se rapproche plus des circonstances réelles que la valeur précédente, on obtiendrait pour  $\mu$  une valeur 33 fois plus grande, c.à.d. environ  $10^{18}$ . EPSTEIN en conclut :

« Nous pouvons résumer nos résultats en affirmant que les forces centrifuges engendrées par la rotation terrestre peuvent et même doivent déterminer une dérive vers l'équateur dont l'intensité est celle indiquée par WEGENER ». Par contre, il croit devoir répondre négativement à la question de savoir si les plissements équatoriaux peuvent être attribués à cette force qui ne correspond en effet qu'à une différence de niveau de 10 à 20 mètres entre le pôle et l'équateur, tandis que la surrection de chaînes hautes de plusieurs kilomètres et le refoulement profond des masses de sial correspondantes représentent un travail considérable contre la pesanteur, travail que la poussée vers l'équateur ne peut pas arriver à effectuer. Cette force ne pourrait donner naissance qu'à des élévations de 10 à 20 mètres.

W. D. LAMBERT [202] a calculé, presque en même temps qu'EPSTEIN, la valeur de la poussée et son résultat est en gros le même. Il trouve qu'à 45° de latitude la valeur de la poussée est un trois millionième de celle de la pesanteur. Comme la poussée atteint son maximum pour cette latitude, elle doit imprimer aussi un mouvement tournant aux continents oblongs, s'étendant obliquement par rapport au méridien. Entre l'équateur et 45° de latitude elle tendra à orienter leur grand axe selon les parallèles; entre 45° de latitude et le pôle, au contraire, selon les méridiens. « Evidemment tout cela est pure spéculation : l'hypothèse fondamentale est celle de socles continentaux supportés par un magma qui serait un liquide visqueux, mais visqueux dans le sens de la théorie classique de la viscosité. D'après cette théorie, un liquide, quelle que soit sa viscosité, cédera à une force si petite soit-elle, pourvu que le temps de l'action de celle-ci soit suffi-

samment long. Les propriétés particulières du champ gravitationnel de la terre font que les forces qui en dérivent sont très petites, comme nous l'avons vu, et les géologues nous permettront sans doute d'admettre qu'elles agissent durant un grand nombre de siècles. Mais la viscosité du liquide peut être d'une nature tout autre que celle que postule la théorie classique et il se peut que les forces agissantes doivent dépasser une certaine limite avant d'avoir un effet sur le liquide, quelle que soit la durée de leur action. La question de la viscosité est très complexe, parce que la théorie classique ne donne pas l'explication adéquate de certains faits observés et nos connaissances actuelles ne nous permettent pas d'être très dogmatique. La poussée vers l'équateur existe, mais la question de savoir si elle a eu une influence appréciable sur la position et la configuration de nos continents, durant les temps géologiques, est à résoudre par les géologues ».

Enfin, SCHWEYDAR [40] a calculé aussi la valeur de cette force. Il obtient pour la latitude de  $45^\circ$  environ  $1/2000$  cm/sec<sup>2</sup>, c'est-à-dire un deux millionième de l'intensité du poids des socles. « Il n'est pas facile de décider si cette force est suffisante pour provoquer une translation. En tout cas, elle n'expliquerait pas une dérive vers l'Ouest, parce que la vitesse est trop petite pour pouvoir produire, grâce à la rotation terrestre, une déviation appréciable dans le sens désiré. »

Dans la critique du calcul d'EPSTEIN, SCHWEYDAR estime que la valeur admise par ce dernier pour la vitesse annuelle de translation, c'est-à-dire 33 m par an, est trop grande et que la viscosité qu'on en déduit est par contre beaucoup trop faible. Si l'on réduit convenablement la vitesse, la viscosité pourra atteindre la valeur voulue : « Si l'on admet pour la viscosité un coefficient de l'ordre de  $10^{19}$  (au lieu de  $10^{16}$  chez EPSTEIN) et si l'on fait l'hypothèse que la formule utilisée par EPSTEIN est encore applicable, on obtient pour la vitesse d'un socle, à la latitude de  $45^\circ$ , une valeur d'environ 20 cm par an. *Quoi qu'il en soit, il faut admettre la possibilité d'une dérive continentale vers l'équateur sous l'action de la force répulsive du pôle.* »

Enfin, WAVRE [204] et BERNER [203] ont procédé à de nouveaux calculs, beaucoup plus précis, concernant cette force. La valeur maxima qu'ils obtiennent pour la poussée vers l'équateur est de  $1/800.000$  de l'intensité du poids du socle qui est atteinte à la latitude de  $45^\circ$ . « Le rapport de la force translatrice au poids du continent est donc extrêmement faible; elle est insuffisante pour créer des montagnes, et n'en crée point sur l'équateur à l'heure actuelle. »

« Mais les choses se présenteraient sous un jour différent, si à cet effet statique s'ajouterait un effet dynamique. »

« La résistance du sima n'empêche pas les continents de se mouvoir; et dans le cas où deux continents se rencontreraient sur l'équateur ou à d'autres latitudes, la force vive que chacun perdrait devrait bien être récupérée sous une forme ou sous une autre. »

On attribue à KREICHGAUER le mérite d'avoir découvert pour la première fois la poussée vers l'équateur. Dans la deuxième édition de son ouvrage « Die Äquatorfrage in der Geologie » (La question de l'équateur en Géologie) [5], il fait état, p. 41, de considérations, publiées par ailleurs dès 1900, où il est question de cette force dont on ne trouve pas de mention dans sa première édition.

Je voudrais encore rappeler que M. MÖLLER [205] a publié en 1922 une expression de la poussée vers l'équateur qu'il avait trouvée dès 1920.

Il est probable que la bibliographie correspondant à cette question est plus riche; je n'ai indiqué que les études dont j'ai pu prendre connaissance.

Même si nous admettons avec WAVRE et BERNER que la poussée vers l'équateur représente environ la 800.000<sup>e</sup> partie du poids des socles, il faut remarquer que son intensité est environ 15 fois plus forte que celle des composantes horizontales des forces des marées et que, tandis que les dernières changent constamment de direction, la première agit sans interruption dans la même direction et avec la même intensité, des siècles et des siècles. C'est ce fait qui lui permet de vaincre la rigidité d'acier du globe terrestre durant les temps géologiques.

LELY [206] a fait récemment un essai de démonstration expérimentale de l'existence de cette force. J'ai reproduit l'expérience avec la collaboration de J. LETZMANN et nous avons constaté qu'elle peut bien être faite à l'amphithéâtre.

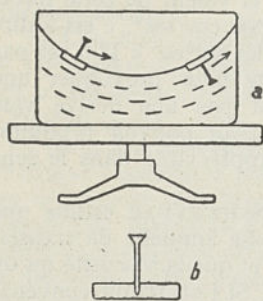


Fig. 45. — Expérience de LELY pour l'explication de la poussée vers l'équateur.

Sur un plateau animé d'un mouvement de rotation, on place un vase cylindrique dont l'axe coïncide avec l'axe de rotation du plateau. Le récipient contient de l'eau; pendant le mouvement de rotation, la surface libre de celle-ci a la forme d'un parabololoïde (fig. 45, a). Plaçons sur l'eau un corps flottant, un bouchon plat, traversé par une épingle, par exemple (fig. 45, b). L'épingle doit être la plus longue possible, pourvu que le bouchon flotte sans se retourner, même si l'épingle est au-dessus du bouchon. Le corps flottant est mis sur l'eau, d'abord avec l'épingle au-dessus, puis avec celle-ci en dessous. On constate alors que le corps se rapproche de la partie basse de la surface libre de l'eau lorsque l'épingle est au-dessus; par contre, lorsque l'épingle est en dessous, le corps flottant se rapproche du bord du vase. L'expérience est de grand effet lorsqu'on procède à plusieurs reprises en alternant les positions de l'épingle par rapport au bouchon.



Les résultats obtenus par cette expérience s'expliquent aisément si l'on se rappelle que, dans le cas où l'épingle est au-dessus, le centre de gravité du corps flottant est plus haut que le centre de gravité de l'eau dont il prend la place, tandis qu'il est plus bas dans le cas où l'épingle est en dessous du bouchon. A l'intérieur de l'eau la pression décroît avec la distance à l'axe de rotation et est en équilibre avec la force centrifuge correspondante, c'est pourquoi la surface libre de l'eau est incurvée. Si le centre de gravité du corps flottant coïncidait avec celui de l'eau dont il prend la place, les circonstances seraient les mêmes, la force centrifuge n'aurait aucun effet apparent. Lorsque le centre de gravité du flotteur est au-dessus de l'eau, l'épingle étant normale à la surface libre de l'eau, il est plus rapproché de l'axe que le centre de gravité de la masse d'eau remplacée; la force centrifuge appliquée au centre de gravité du corps flottant sera inférieure à celle correspondant au centre de gravité de la masse d'eau remplacée, il en résulte un déséquilibre — entre les pressions sur les deux faces du flotteur et la force centrifuge — qui a pour effet le rapprochement du flotteur de l'axe de rotation, c'est-à-dire le flotteur va vers la partie basse de la surface libre de l'eau. Inversement, lorsque l'épingle est en dessous, le centre de gravité du flotteur est plus éloigné de l'axe que le centre de gravité de la masse d'eau remplacée, la force centrifuge dans le premier de ces points est la plus grande et le flotteur doit se rapprocher du bord.

A première vue l'expérience paraît démontrer le contraire de ce que nous voulons parce que les continents, avec leurs centres de gravité situés bien au-dessus des centres de gravité du magma déplacé, paraissent correspondre au flotteur à épingle au-dessus du bouchon. On voit à la réflexion que l'effet inverse est dû au fait que la surface libre de l'eau est concave, tandis que la surface du noyau de la terre est convexe. Les centres de gravité des socles continentaux sont ainsi plus éloignés de l'axe de rotation que les centres de gravité des masses de sima dont ils prennent la place, tandis que le contraire se passe dans l'expérience.

De ce qui précède, il résulte que la poussée vers l'équateur est suffisante pour produire les déplacements des continents par rapport au sima sous-jacent, mais elle n'est pas assez intense pour provoquer les grandes chaînes de plis que nous voyons surgir justement en liaison avec la dérive des continents vers l'équateur. Certes, BERNER a raison de dire que ceci ne s'applique que dans le cas de la pression statique exercée par un socle continental, immobile, dans une direction horizontale et à cause de la poussée vers l'équateur. Les choses se passent d'une manière tout à fait différente si nous admettons, par exemple, qu'un grand continent dérive avec une vitesse constante vers l'équateur, après avoir vaincu, grâce à la poussée vers l'équateur, la viscosité du magma sous-jacent et que c'est seulement pendant ce mouvement qu'il rencontre un obstacle qui le freine. Dans

ce cas, pour que le socle s'arrête, sa force vive ou son énergie cinétique doit s'annuler. Mais nous ne devons pas surestimer cette condition. En effet, l'énergie cinétique est la moitié du produit de la masse en mouvement par le carré de la vitesse. La masse du socle est évidemment grande, tandis que la vitesse, qui intervient par son carré, est extrêmement faible. Il en résulte qu'on ne peut expliquer, de cette manière non plus, la formation des chaînes de montagnes et nous devons nous borner à constater que la poussée habituelle vers l'équateur est insuffisante pour expliquer ce phénomène.

Il est surprenant de constater que certains géophysiciens considèrent cet échec comme une objection à la théorie des translations, ce qui n'est pas logique. L'existence des montagnes plissées ne peut pas être mise en doute. Si pour se produire elles ont exigé une force autrement plus importante que la poussée vers l'équateur, il résulte, du fait même de leur existence, qu'à certaines époques de l'histoire du globe — et au moins temporairement — des forces translatrices sont apparues qui étaient de beaucoup supérieures à la poussée vers l'équateur. Cette dernière force étant déjà susceptible de provoquer des dérives continentales, les forces inconnues — capables de créer des montagnes — doivent à fortiori avoir eu comme effet des déplacements continentaux!

Nous pouvons être beaucoup plus bref en parlant des forces qui interviennent dans la dérive des continents vers l'Ouest. Divers auteurs comme E. H. L. SCHWARZ, WETTSTEIN et d'autres, ont attribué au *frottement des marées*, dues à l'attraction de la lune et du soleil, une rotation vers l'Ouest de l'ensemble de la croûte autour du noyau. De nombreux auteurs admettent d'ailleurs que la vitesse de rotation de la lune était jadis plus grande et que son mouvement a été freiné par le frottement des marées lunaires provoquées par l'attraction terrestre. On conçoit aisément que cette action retardatrice des mouvements des corps célestes, due aux frottements des marées, s'exerce avant tout sur les couches superficielles et qu'elle doive provoquer un glissement lent soit de la croûte entière, soit de chacun des socles continentaux. La question est de savoir si de pareilles marées existent. La déformation de la terre ferme, due aux marées, que l'on constate à l'aide du pendule horizontal, est, d'après SCHWEYDAR, de nature différente, notamment de nature élastique et ne peut être invoquée comme explication directe du phénomène. W. D. LAMBERT [221] est pourtant d'avis que : « Malgré cela nous ne pouvons pas croire que l'oscillation libre puisse être absolument indépendante de la résistance de frottement, quoique celle-ci ne se décèle pas d'une façon certaine dans les observations ». En vérité, il est hors de doute que nous ne pouvons pas regarder la terre comme absolument élastique vis-à-vis des forces des marées. Il doit y avoir, en dehors des marées élastiques connues, des marées de nature fluide inobservées à cause de leur petitesse, et cela parce que leurs périodes

sont très courtes par rapport à la viscosité du magma. Mais, leur action retardatrice s'accumulant durant les temps géologiques, elles peuvent avoir en définitive pour effet des déplacements sensibles de la croûte. A mon avis, le fait que la nature élastique des marées quotidiennes mesurables de la terre ferme est prouvée, ne nous permet pas encore d'estimer la question comme tranchée.

Par une autre voie, mais qui revient aussi à l'attraction luni-solaire, notamment en se basant sur la *théorie de la précession*, SCHWEYDAR [40] trouve une force capable de déterminer la dérive des continents vers l'Ouest : « La théorie de la précession de l'axe de rotation de la terre sous l'influence de l'attraction luni-solaire repose sur l'hypothèse que les différentes parties de la terre ne peuvent pas effectuer de grands déplacements les unes par rapport aux autres. La détermination du mouvement de l'axe terrestre dans l'espace devient beaucoup plus difficile si l'on admet une dérive des continents. Dans ce cas, il faut faire la distinction entre l'axe de rotation du continent et l'axe de rotation de la terre. J'ai calculé que la précession de l'axe de révolution d'un continent, situé entre les latitudes de  $-30^\circ$  et  $+40^\circ$  et entre les méridiens de  $0^\circ$  et  $40^\circ$  Ouest, est environ 220 fois plus grande que celle de l'axe de rotation de l'ensemble du globe. Le continent tend à effectuer une rotation autour d'un axe différent de l'axe de rotation de la terre. Il en résulte des forces dirigées non seulement dans le sens du méridien, mais aussi vers l'Ouest et qui tendent à faire dériver le continent; la force agissant selon le méridien change de direction au cours d'une journée et n'entre pas en ligne de compte dans cette question. Ces forces sont beaucoup plus intenses que la poussée vers l'équateur. L'intensité maximum a lieu à l'équateur; l'intensité nulle est atteinte aux latitudes de  $\pm 36^\circ$ . J'espère qu'il me sera possible de préciser davantage le problème. Ces forces permettraient de concevoir une dérive vers l'Ouest ». — Il ne s'agit là que d'une communication provisoire (l'étude définitive annoncée n'est malheureusement pas encore parue), toutefois il paraît vraisemblable que le plus important mouvement global des continents, c'est-à-dire la dérive vers l'Ouest, s'explique à l'aide de l'attraction du soleil et de la lune sur le globe visqueux.

SCHWEYDAR est d'avis que les écarts que présente la *figure de la terre*, par rapport à celle d'un ellipsoïde de révolution, tels qu'ils résultent des mesures de l'intensité de la pesanteur, peuvent donner lieu à des mouvements fluides dans le sima et par ce moyen à des translations continentales : « Mais on peut aussi supposer l'existence d'un courant du sima, du moins aux époques anciennes. HELMERT a déduit, dans son dernier ouvrage, à l'aide de la distribution des intensités de la pesanteur à la surface du globe, que celui-ci est un ellipsoïde à axes inégaux : l'équateur est une ellipse. La différence des longueurs des axes de cette ellipse est de 230 m seulement; le

grand axe coupe la surface de la terre par 17° long. O. (dans l'Océan Atlantique), le petit axe par 73° long. E. (dans l'Océan Indien). D'après les théories de LAPLACE et de CLAIRAUT, théories qui font encore autorité en Géodésie, la terre est considérée comme étant fluide, c'est-à-dire que la pression régnant dans sa masse solide (la croûte mise à part) est assimilable à une pression hydrostatique. Si l'on en tient compte, le résultat de HELMERT devient incompréhensible. Une terre à l'état hydrostatique ne peut pas être un ellipsoïde à axes inégaux, eu égard à son aplatissement et à sa vitesse de rotation. On pourrait admettre que c'est à la présence des continents qu'est due la déformation de l'ellipsoïde. Ce n'est pas le cas. J'ai effectué le calcul en supposant que les continents flottent et qu'il ont l'épaisseur mentionnée plus haut [200 km; différence entre les poids spécifiques du sial et du sima 0,034 (eau = 1)]. J'ai trouvé que la distribution des continents et océans conduit à admettre que la forme de la terre, déduite par le calcul, s'écarte de celle d'un ellipsoïde de révolution; mais, l'écart ainsi obtenu est notablement plus faible que celui de HELMERT. En outre, les axes de l'ellipse équatoriale se placent autrement que chez lui; le grand axe aboutit à l'Océan Indien. Il en résulte que des parties considérables de la terre s'écartent de l'état hydrostatique. »

« D'après mon calcul, le résultat obtenu par HELMERT peut s'expliquer si l'on admet qu'une couche de sima, d'environ 200 km d'épaisseur, est de 0,01 plus dense sous l'Océan Atlantique que sous l'Océan Indien. Un pareil état ne peut pas subsister à la longue : le sima aura tendance à diffuser pour rétablir l'état d'équilibre de l'ellipsoïde de révolution. Etant donné la faible différence de densité, un courant peut à peine se produire; mais il est possible que la forme elliptique de l'équateur et les anomalies de densité du sima, de même que le courant qui en résulte aient été plus marqués jadis ».

Il est évident que les forces qu'on déduit des résultats de HELMERT peuvent servir à nous faire comprendre l'ouverture de l'Océan Atlantique, la terre y paraissant plus voûtée et les masses continentales y ayant tendance à s'écartier du faite (\*).

Indiquons encore une considération qui se rattache peut-être à ce qu'il vient d'être dit.

De pareilles voussures au-dessus de la position d'équilibre de la surface terrestre peuvent évidemment se produire, non seulement à l'équateur, mais en n'importe quel endroit de la terre. Nous avons mentionné, dans le Chapitre précédent, à l'occasion de la discussion des relations qui existent entre les transgressions et les déplacements

---

\*) Mentionnons aussi qu'on a récemment commencé à douter de l'inégalité des axes de l'ellipsoïde terrestre. HEISKANEN [219] a trouvé que ce résultat est dû plutôt à une mauvaise interprétation des mesures de l'intensité de la pesanteur.

des pôles, qu'on devait s'attendre à un exhaussement de la surface de la terre ferme au-devant du pôle en mouvement et à un abaissement de la surface derrière lui, et que les données géologiques paraissent confirmer l'existence de ces écarts. Il s'agit dans ce cas d'un écart analogue à celui que HELMERT avait trouvé entre les longueurs des axes équatoriaux, ou peut-être d'un écart dont la valeur serait double de celui-ci. De toute façon, pour des migrations polaires plus rapides, la surface de la terre paraît devoir se porter à quelques centaines de mètres au-dessus de la position d'équilibre devant le pôle et à une profondeur ayant une valeur analogue derrière lui. Le maximum de l'écart (dont l'ordre de grandeur serait 1 km par quadrant terrestre) aurait lieu aux points situés à l'intersection de l'équateur et du méridien suivant lequel se meut le pôle. Aux deux pôles l'écart atteindrait une valeur presque aussi élevée. De ce fait des forces sont mises en jeu qui tendent à faire passer les masses des régions exhaussées vers les régions abaissées. La grandeur de ces forces est un multiple de la poussée habituelle vers l'équateur, laquelle ne produit que des écarts de l'ordre de 10 à 20 m par quadrant. Ces forces agissent *non seulement* sur les socles continentaux, comme la poussée vers l'équateur, mais aussi sur le sima sous-jacent qui est plus fluide et qui réalise peut-être le rétablissement de l'équilibre sous la croûte rigide. Pourtant, aussi longtemps que des écarts de niveau subsistent — et les transgressions et régressions témoignent de leur existence — cette force doit également agir sur les socles continentaux et pourra provoquer leurs déplacements et leurs plissements, quoique ces mouvements soient peut-être plus faibles que ceux de la matière plus fluide sous-jacente. Je suis d'avis que les changements de forme de la terre, produits par les migrations polaires, offrent une source d'énergie capable de fournir le travail qu'exige le plissement.

Cette explication paraît vraisemblable surtout si l'on tient compte du fait, déjà mentionné, que les plus grands systèmes de plis considérés, notamment les chaînes équatoriales du Carbonifère et du Tertiaire, se sont formés justement à des époques où nous avons été obligés d'admettre, pour d'autres raisons, des déplacements polaires particulièrement rapides et riches en possibilités.

Plusieurs auteurs, comme SCHWINNER [69] et surtout KIRSCH [70], ont utilisé récemment dans leurs études la notion de courants de convection dans le sima. Ce dernier auteur part de l'idée émise par JOLY que sous les socles continentaux, grâce à la teneur plus grande en radium de ceux-ci, le sima se réchauffe, tandis que dans les domaines océaniques il se refroidit. Une circulation de sima sous la croûte en résulte : le sima monte sous les continents jusqu'à leur limite inférieure, puis difflue sous eux vers les régions océaniques, pour descendre, une fois arrivé là, à une grande profondeur d'où, enfin, le cycle recommence. Pendant cette circulation le frottement du sima avec le bloc continental a tendance à rompre celui-ci et à en

faire dériver les tronçons disjoints. Nous avons déjà mentionné le fait que la plupart des auteurs considèrent jusqu'à présent comme invraisemblable une fluidité de l'ordre de grandeur de celle exigée par ces mouvements. Pourtant, on ne peut pas contester le fait que, si l'on considère la face de la terre, la fracture de la Gondwanie et le morcellement de l'ancien bloc continental nord-américano-euro-asiatique peuvent être conçus comme un effet d'une pareille circulation. Cette conception permet aussi une bonne explication de l'ouverture de l'Océan Atlantique. Elle ne saurait donc être rejetée à cause de son incompatibilité avec les phénomènes constatés à la surface de la terre. Si la base théorique de cette conception se montre fertile, ce qu'on ne constate pas encore, les courants qu'elle permet de considérer pourront entrer en ligne de compte dans la formation de la surface du globe.

Ce qui précède montre au lecteur que l'étude de la question des forces comme cause des déplacements continentaux, passés et présents, est, sauf en ce qui concerne la poussée vers l'équateur, à ses tout premiers commencements.

Une chose est pourtant certaine : *Ce sont les mêmes forces qui produisent les grandes chaînes plissées et les déplacements des continents.* Les translations continentales, la disjonction et la poussée en masse, les tremblements de terre, le volcanisme, les alternances de transgressions et les migrations polaires forment, sans doute, un seul complexe grandiose, comme nous le voyons déjà au fait qu'ils ont les mêmes époques de paroxysme dans l'histoire du globe. Mais, en ce qui concerne la discrimination entre causes et effets, on ne peut pas encore se prononcer.

---

## CHAPITRE X.

### REMARQUES COMPLÉMENTAIRES SUR LA SPHÈRE DE SIAL.

Dans les chapitres précédents, nous avons réuni les principaux arguments sur lesquels s'appuie la théorie des translations. Nous allons maintenant supposer la théorie comme bien fondée et aborder, dans ce chapitre et le suivant, une série de phénomènes et problèmes qui tiennent de si près à notre théorie qu'il nous paraît désirable de les exposer ici. Je voudrais insister sur le fait que l'exposé que nous donnons a surtout pour but de poser des questions, de suggérer des recherches et non de donner des solutions définitives.

Considérons, en premier lieu, la sphère de sial, actuellement morcelée et couvrant la terre sous la forme de socles continentaux.

La figure 46 nous montre la carte des socles continentaux. Comme leurs plates-formes en font partie intégrante, leurs contours s'écartent notablement, en bien des endroits, des lignes de rivage qui sont données sur les cartes habituelles. Il importe, pour nos considérations, de nous libérer de l'image habituelle du globe et ce, pour nous familiariser avec les contours réels des socles continentaux. En règle générale le bord des plates-formes continentales correspond à la ligne bathymétrique de cote — 200 m; pourtant, en certains endroits, des fragments appartenant certainement aux socles continentaux peuvent se trouver à — 500 m.

Nous avons déjà fait remarquer que les socles continentaux sont constitués en majeure partie par du granite. Mais, on sait que, très souvent, leur surface n'est pas occupée par cette roche, mais par des sédiments. Nous devons donc nous rendre compte du rôle que jouent ces derniers dans la constitution des socles continentaux. On peut évaluer à environ 10 km la puissance maxima des sédiments. C'est en particulier le chiffre obtenu par les géologues américains pour l'épaisseur des sédiments paléozoïques des Appalaches. La puissance minima est nulle, car en bien des endroits le terrain primitif correspondant à la sédimentation est à nu. CLARKE estime à 2.400 m la puissance moyenne des sédiments recouvrant les socles continentaux. Puisque l'on admet actuellement que la hauteur totale de ces socles

est de 60 km et que l'épaisseur de la couche de granite est de 30 km, il en résulte que l'enveloppe formée par les sédiments ne présente qu'une zone d'altération superficielle; sa suppression ne modifierait



*Fig. 46. — Les socles continentaux en projection de Mercator.*

pas de beaucoup le relief terrestre, car les continents, en vertu de l'isostasie, remonteraient presque à leur hauteur primitive.

En interprétant la carte, on ne doit pas s'imaginer que la ligne renforcée délimitant les socles continentaux représente la démarcation



entre sial et sima. Comme on le verra dans le chapitre suivant, les fonds océaniques sont probablement encore occupés en beaucoup d'endroits par des restes de sial. Nous désignons ici par socles continentaux la couverture intacte de sial qui est en général non déchirée, en opposition avec les masses océaniques de sial, dont l'origine est à chercher dans la destruction superficielle de socles continentaux et qui représentent des restes de matériaux entraînés ou répandus dans des couches plus profondes. On doit donc distinguer entre la notion plus vaste de sial couvrant une région et celle plus restreinte de sial constituant les socles continentaux. Ce ne sont que les dernières masses de sial qui ont été représentées sur notre carte.

Les modifications les plus importantes qui se soient produites sur ces socles de sial pendant les temps géologiques sont sans doute les alternances de transgressions (invasions marines) et régressions (exondations), dont le jeu est dû au fait fortuit que le volume total de l'eau des océans dépasse un peu le volume des bassins océaniques, ce qui a pour conséquence la submersion des parties un peu basses de la surface supérieure des socles continentaux. Notre figure permet de se rendre compte des transgressions actuelles. Si le niveau de la mer était de 500 m plus bas qu'il ne l'est, ces alternances, qui jouent un rôle si important en géologie, seraient limitées à une bande très étroite. De cette façon, de petites variations du niveau de la surface extérieure des socles produisent des déplacements importants de ces régions envahies.

Il ne s'agit, en général, que de variations de niveau ne dépassant pas quelques centaines de mètres. Les mers de transgression de jadis étaient aussi peu profondes que celles de nos jours. Les variations de niveau constatées peuvent être interprétées de la manière suivante à la lumière du principe de l'isostasie. Toutes les fois que, pour une cause quelconque, un socle continental est comprimé au-dessous de sa position d'équilibre de flottaison, il apparaît un déficit de pesanteur ayant pour effet la formation de forces qui tendent à ramener l'équilibre. Pourtant, aussi longtemps que les variations de niveau ne dépassent pas les limites indiquées plus haut, l'anomalie de la pesanteur reste aussi comprise entre les valeurs extrêmes des écarts à la loi de l'isostasie effectivement constatés dans différentes régions de la terre. C'est à cause de la grande viscosité des matériaux que les variations de niveau doivent dépasser une certaine limite, avant que les forces soient suffisamment intenses pour que des mouvements sensibles de compensation isostatique se produisent, et il est possible que ces quelques centaines de mètres représentent à peu près cette limite — qui évidemment peut varier d'un endroit à l'autre.

L'étude des causes des alternances des transgressions et régressions sera un des problèmes les plus importants, mais aussi des plus difficiles qu'auront à affronter les géologues et géophysiciens. Le problème ne peut pas être considéré comme résolu, malgré le fait qu'il

y a de travaux remarquables, du moins en ce qui concerne des solutions partielles de la question. Pour l'instant, la principale difficulté consiste en ce que les levés géologiques — malgré les nombreuses cartes paléogéographiques — ne sont ni suffisamment précis ni assez nombreux pour permettre de suivre les variations de transgressions dans le temps et dans l'espace. De cette manière, le matériel réuni est insuffisant pour confirmer les hypothèses qui ont été mises en avant quant à l'explication du phénomène. D'autre part, on peut sûrement affirmer dès maintenant que les variations de transgressions ne sont pas attribuables dans leur ensemble à une cause unique, parce qu'on peut indiquer différentes causes qui doivent étre prises simultanément en considération, ce qui n'exclut pas la possibilité de pouvoir en déterminer *une* qui soit la cause principale.

Les causes mises en avant jusqu'à présent sont, à ma connaissance, les suivantes :

1. Une variation sensible de la quantité totale d'eau des océans, comme par exemple l'augmentation résultant de la fonte d'un inlandsis, doit certainement entraîner une variation de l'étendue des transgressions. De pareilles variations de transgressions seront caractérisées par le fait qu'elles se produiront simultanément sur tout le globe sans que l'isostasie en soit affectée. On peut montrer facilement (\*), que la formation d'une calotte glaciaire de l'étendue de celles du Quaternaire ou du Permocarbonifère a pu amener un abaissement d'environ 50 m à 100 m du niveau de la mer.

2. Des soulèvements et des abaissements de la surface extérieure du sial peuvent être provoqués, l'isostasie étant vérifiée, par des compressions horizontales (formation de montagnes) ou par des étirements de la couverture de sial (formation de fossés à la surface exté-

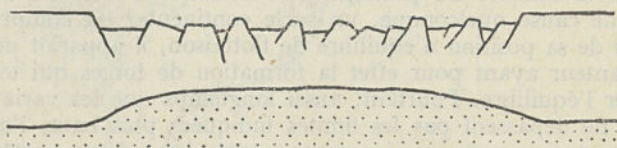


Fig. 47. — Grand affaissement provoqué par l'étirement de la base (schéma).

rieure du sial, mise à nu des couches inférieures). Dans le premier cas la puissance de la couverture de sial se trouve accrue; dans le deuxième elle est diminuée. Ainsi, les Alpes se sont formées par des plissements au détriment d'une mer, tandis que la région de l'Égée est l'aboutissement de nombreux fossés effondrés, les îles de l'Archipel

\*) Cf. BORN in [45], p. 141.

étant les seules parties émergeant actuellement (Cf. le schéma de la fig. 47). Ces phénomènes se produisent sans que l'isostasie soit en général troublée. Des variations locales, même sensibles, de l'intensité de la pesanteur peuvent apparaître, mais les troubles isostatiques constatés ne correspondent pas à l'ampleur des variations d'altitude. Enfin, ces phénomènes sont en liaison avec des variations sensibles des dimensions horizontales des régions intéressées et ont plutôt, du point de vue d'une synthèse générale, un caractère local qu'un caractère régional.

3. Une autre cause est à attribuer aux changements du mouvement astronomique de la terre, surtout à ceux qui affectent l'état d'équilibre conditionnant l'aplatissement du globe. Ces derniers changements amènent une adaptation *immédiate* de l'Océan, tandis que la terre ferme, très visqueuse, ne s'adapte qu'avec un certain retard. Il en résulte que dans le cas d'un aplatissement progressif, des transgressions doivent apparaître à l'équateur et des régressions aux pôles et dans le cas d'une diminution de l'aplatissement les régressions doivent se produire à l'équateur, tandis que les transgressions apparaissent aux pôles. Comme causes initiales des variations de l'aplatissement entrent en ligne de compte des oscillations de la vitesse de rotation de la terre — comme celles que l'on vient d'observer récemment (mais leur interprétation comme cause de transgressions n'est pas encore sûre!) —, ainsi que des variations de l'obliquité de l'écliptique. En effet, dans le cas d'une grande obliquité de l'écliptique, les forces des marées doivent produire un allongement, fût-il petit, de la terre dans la direction de son axe; au contraire, dans le cas d'une très petite obliquité, c'est l'équateur qui doit s'agrandir. Ainsi, dans le cas d'un accroissement de l'obliquité de l'écliptique nous devons nous attendre à voir apparaître des transgressions aux pôles, tandis que dans le cas d'une diminution ce sont des régressions qui y apparaissent; à l'équateur ce serait le phénomène inverse qui aurait lieu.

4. En supposant que les migrations polaires constatées par la Géologie soient à attribuer à un déplacement de l'axe terrestre par rapport au globe, elles devraient être, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, une source abondante de variations de transgressions. Les observations confirment, comme nous l'avons montré, la réalité de ce phénomène, puisque l'on constate un accroissement des transgressions derrière les pôles et un accroissement des régressions devant eux. Je tiens pour vraisemblable qu'on pourra montrer que c'est là la cause principale des transgressions, mais il est bien entendu, d'après ce qui précède, que d'autres causes interviennent, celles examinées plus haut n'épuisant pas leur liste.

Les affaissements et les charriages de plis, examinés au n° 2 constituent, avec les variations de transgressions, les phénomènes les plus importants affectant les socles continentaux. La Tectonique s'en occupe depuis longtemps. Nous allons en relever les faits les plus

importants. D'après les conceptions les plus anciennes, les chaînes de plis sont dues à d'importantes compressions horizontales. Il y a bien quelques auteurs qui contestent cette théorie et qui voudraient expliquer la formation des plis d'une tout autre manière, mais leur position est tellement isolée que nous n'avons pas besoin de nous appesantir sur leurs conceptions. Ce qui importe, c'est que dans aucune chaîne de plis, quel que soit son âge, on ne trouve pas l'anomalie de pesanteur que ces chaînes devraient présenter si elles étaient simplement posées sur la croûte. En réalité, on constate souvent, dans de pareilles montagnes, des écarts appréciables de l'isostasie parfaite et leur discussion est intéressante sous d'autres points de vue, mais ils sont tellement petits, qu'en première approximation on peut dire : le plissement des chaînes de montagnes a lieu, l'isostasie étant systématiquement maintenue. La fig. 48 montre d'une façon schématique

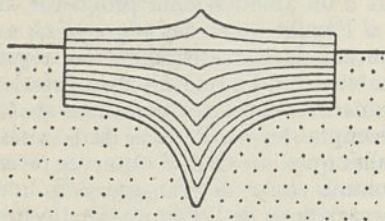


Fig. 48. — Compression avec maintien de l'isostasie.

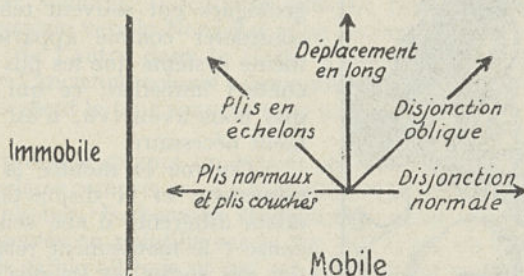
la signification de cet énoncé.

Lorsqu'un socle continental, flottant dans le sima, subit une compression, le rapport des hauteurs de ses masses situées de part et d'autre du niveau du sima doit rester le même partout. Selon que nous attribuons à la couverture de sial, qui émerge de 5 km au-dessus du sima, une épaisseur de 30 ou de

60 km, la valeur de ce rapport est de  $1/6$  ou de  $1/12$ . Par conséquent, les masses refoulées vers le bas, lors de la compression, doivent avoir une épaisseur 6 ou 12 fois plus grande que celles des masses faisant saillie au dehors. Les parties apparentes des montagnes ne représentent donc qu'une faible fraction des masses comprimées. Pour les compressions régulières, les masses apparentes sont celles qui proviennent de couches qui avant la compression étaient déjà situées au-dessus du niveau abyssal; les masses dont le niveau était inférieur à celui-ci restent, même après le plissement, abstraction faite d'accidents locaux, au dessous de cette profondeur. Au cas où une couverture sédimentaire de 5 km de puissance occupait l'emplacement du futur plissement, la chaîne en est entièrement constituée au début. Ce n'est que lorsque celle-ci commence à être entamée par l'érosion que la compensation isostatique fait surgir une chaîne centrale formée de terrains primitifs. Quand la couverture sédimentaire est totalement décapée, une large montagne, formée de terrains primitifs, de hauteur presque égale, se dresse. Comme exemple du premier stade, nous pouvons citer l'Himalaya et les chaînes voisines. L'érosion de ces sédiments plissés est tellement intense que les glaciers sont presque entièrement recouverts par les éboulis. C'est le cas, notamment,

du plus grand glacier des Karakoram, celui de Baltoro, qui n'a pas moins de 15 moraines médianes, bien que sa largeur n'atteigne que 1 1/2 à 4 km (sa longueur est de 56 km). Les Alpes en sont au deuxième stade : leur zone centrale est déjà occupée par des roches primitives, alors que leurs zones marginales sont encore recouvertes de sédiments. Comme l'érosion est bien moins active dans la roche ancienne, les glaciers alpins sont pauvres en moraines et c'est une des principales raisons de leur beauté. Les chaînes norvégiennes, enfin, représentent le troisième stade : la couverture sédimentaire a disparu presque partout et l'ascension de la chaîne primitive est terminée. Ainsi, l'élimination de l'enveloppe sédimentaire se fait aussi avec maintien de l'isostasie.

On remarque très fréquemment que les plis parallèles d'une même



de sédiments. Comme l'érosion est bien moins active dans la roche relatif des socles.

chaîne de montagnes sont en échelons. Si l'on suit un de ces plis, on constate qu'il vient poindre au bord du massif pour enfin s'effacer; puis, c'est le tour d'un autre pli qui reproduit les mêmes circonstances, et ainsi de suite. Ce phénomène se produit lorsque deux socles en présence ne s'abordent pas de front, mais de biais. La fig. 49 donne un schéma des différents effets produits par le déplacement relatif des socles : le socle de gauche est supposé immobile, celui de droite mobile. Si ce dernier se dirige normalement au front du bord d'affrontement, il en résultera des plis de très grandes dimensions (nappes de recouvrement) et pas de plis en échelons; si l'abordage a lieu obliquement par rapport au bord, nous aurons des plis en échelons, lesquels seront d'autant plus serrés et plus bas que la direction du mouvement se rapproche de celle du plan de contact des masses. Dans le cas où le mouvement est exactement parallèle au plan, une surface de glissement avec déplacement en long en résultera. Enfin, si le mouvement a une composante qui s'écarte des bords des socles, nous serons en présence d'une disjonction oblique ou normale appa-

raissant au début sous la forme d'un fossé d'affaissement. On peut aisément se rendre compte du rapport entre les plis normaux et les plis en échelons au moyen d'une nappe. On n'a qu'à immobiliser une partie, celle qui doit représenter le socle immobile, en la surchargeant, et rapprocher le reste de la première.

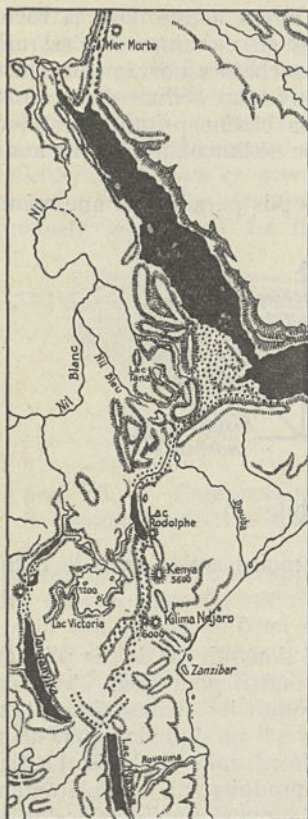


Fig. 50. — Les fossés est-africains, d'après SUPAN.

... Fossés. ■ Parties inondées des fossés.

tent le plus d'ampleur. NEUMAYR-UHLIG [183] en fait à peu près la description suivante :

Un fossé large de 50 à 80 km s'étend à partir de l'embouchure du Zambèze vers le Nord, contenant le Chiré et le lac Nyassa; il

De ces considérations générales, il ressort que les plis en échelons doivent apparaître plus souvent que les plissements normaux qui ne constituent qu'un cas particulier, tandis que les premiers forment le cas général. C'est ce qui a lieu en effet. Je voudrais mettre en évidence ce fait parce que les géologues ont souvent tendance à ne considérer comme appartenant à un même système que les plis qui sont en contact immédiat, ce qui, d'après ce que nous avons vu, n'est pas absolument nécessaire.

Comme le montre la fig. 49, le plissement et la disjonction sont des effets différents d'une seule et même cause : le mouvement relatif des parties des socles, et les plis en échelons et le déplacement en long sont les termes intermédiaires du passage graduel de l'affrontement à l'écartement. C'est pourquoi il convient de considérer aussi, à cette occasion, le phénomène de la disjonction.

Le plus bel exemple de disjonction nous est offert par les fossés est-africains (fig. 50). Ils appartiennent à un système de fractures qui se prolongent par la Mer Rouge, le golfe d'Akaba et la vallée du Jourdain jusqu'aux contreforts du massif du Taurus. D'après des recherches récentes on peut en suivre la trace jusque dans la Colonie du Cap, mais c'est bien en Afrique orientale qu'ils présentent

s'infléchit après vers le Nord-Ouest et se perd. Le fossé du lac Tanganyika s'amorce, à peu de distance, à côté de lui et dans une direction parallèle. Ce fossé représente une dénivellation considérable à en juger par les profondeurs de 1.700 à 2.700 mètres qu'atteint le lac et les altitudes de 2.000 à 2.400 et même 3.000 mètres auxquelles s'élève l'escarpement en forme de muraille qui le borde. Le fossé contient plus au Nord, dans le prolongement du lac, le fleuve Rousisi et les lacs Kivou, Albert-Edouard et Albert. « Les bords de l'affaissement paraissent surélevés, comme si l'éclatement du terrain avait été accompagné d'un mouvement ascendant des bords devenus soudainement libres. C'est à cette saillie particulière du bord des plateaux qu'est dû le fait que le Nil prend sa source immédiatement à l'Est du talus du Tanganyika, tandis que le lac lui-même s'écoule dans le Congo. » Un troisième fossé, bien marqué, commence à l'Est du lac Victoria. Il renferme plus au Nord le lac Rodolphe, dévie en Abyssinie vers le Nord-Est et se prolonge, d'un côté dans la Mer Rouge, de l'autre dans le Golfe d'Aden. Sur le littoral et à l'intérieur de l'ancienne colonie allemande de l'Afrique orientale, ces fossés se présentent le plus souvent sous forme de gradins, s'abaissant vers l'Est.

Ce qui présente surtout un intérêt spécial, ce sont le grand domaine triangulaire compris entre l'Abyssinie et la presqu'île des Somalis (entre Ankober, Berbera et Massauah), ainsi que le fond des fossés, représentés en pointillé sur la fig. 50. C'est un pays relativement plat, de faible altitude et qui est entièrement constitué par des laves volcaniques récentes. La plupart des auteurs estiment qu'il s'est formé sur une partie considérablement élargie de la fente. Cela ressort avant tout de l'allure des côtes de la Mer Rouge dont le parallélisme est rompu par la saillie de ce terrain; en l'enlevant, le promontoire angulaire de l'Arabie qui lui fait vis-à-vis s'adapte parfaitement et pourrait s'y loger. Il s'agit dans ce cas, comme nous l'avons dit par ailleurs, de masses de sial provenant des profondeurs du massif abyssin qui ont difflué vers le Nord-Est pour se porter vers la surface en arrivant au bord du socle. Peut-être que la faille était déjà remplie de basalte à l'époque et que les masses de sial s'en coiffèrent au cours de leur ascension. La grande élévation du domaine au-dessus du niveau des abysses nous indique de toute façon la présence de masses de sial sous la couverture de lave, sauf si l'on s'y trouve un excès appréciable de l'intensité de la pesanteur.

La formation de cet enchaînement de fossés doit avoir eu lieu à une époque géologique rapprochée de la nôtre. A plus d'un endroit les fossés traversent des laves basaltiques récentes; en un endroit, ils affectent des formations pliocènes d'eau douce. En tout cas, ils ne peuvent pas s'être constitués avant la fin des temps tertiaires. D'autre part, ils paraissent avoir déjà existé au Quaternaire ancien, si l'on se rapporte aux terrasses littorales, indiquant des niveaux

anciens plus hauts, des lacs sans écoulement qui occupent leur fond. Le Tanganyika est un peu plus ancien, comme l'atteste sa faune «relicte» qui est manifestement d'origine marine, mais s'est adaptée à l'eau douce. Les fréquents tremblements de terre, de même que le volcanisme intense affectant la zone des fractures, nous prouvent que la disjonction se poursuit certainement encore aujourd'hui.

Nos théories n'interprètent d'une manière nouvelle le mécanisme de la formation de semblables fossés que dans la mesure où ces derniers représentent le stade préparatoire menant à une séparation complète des deux parties du socle continental. Ils peuvent constituer des disjonctions récentes non encore achevées, aussi bien que l'étape préparant une disjonction, mais arrêtée par suite de la diminution des forces tractives. Une séparation complète s'effectuerait selon nos conceptions à peu près de la manière suivante : on observerait, en premier lieu, une déchirure dans les couches supérieures qui sont plus rigides, tandis que les couches inférieures, plus plastiques, s'étirent. Comme les parois verticales ayant la hauteur de celles que nous envisageons nécessitent des résistances que les roches ne présentent pas, il se forme en même temps que la crevasse, ou au lieu de celle-ci, des éboulements obliques le long desquels les deux bords des masses séparées par la crevasse se précipitent au fond de celle-ci, au milieu de nombreux séismes locaux, au fur et à mesure qu'elle s'élargit. Ainsi, le fossé d'affaissement n'a jamais qu'une profondeur modérée; son fond consiste en éboulis dont la composition est identique à celle des bords. A ce moment de sa formation, le fossé n'est pas encore compensé du point de vue isostatique; c'est, d'après E. KOHLSCHÜTTER [184], le cas pour une grande partie des fossés récents de l'Est-Africain. Il existe ainsi un déficit de masse conduisant à des anomalies de la pesanteur. D'autre part, les lèvres de la faille s'élèvent pour rétablir l'équilibre isostatique, de telle sorte que le fossé paraît occuper tout au long le faite d'un anticlinal. La Forêt Noire et les Vosges, que sépare l'affaissement rhénan, offrent un exemple bien connu de cette saillie marginale. Enfin, quand la fente a gagné une profondeur, telle qu'au dessous d'elle il n'y a plus que les couches inférieures plus plastiques du sial, ces matériaux et le sima visqueux sous-jacent montent : le déficit de masse qui régnait jusqu'alors est comblé et le fossé se présente comme une formation compensée du point de vue isostatique. Pendant que la fente continue de s'élargir, son fond sera occupé en premier lieu par les masses provenant des couches inférieures plastiques du sial, recouvertes par des détritiques provenant des couches supérieures rigides, puis, le processus continuant, des intrusions de sima y apparaissent. D'après TRIULZI et HECKER, pour le grand fossé de la Mer Rouge le processus est arrivé au stade où la compensation isostatique est vérifiée.

La circonstance que les couches supérieures de sial sont plus rigides que les couches inférieures permet l'explication du fait surprenant que



des bords de socles, jadis réunis et actuellement disjoints, présentent une concordance parfaite, et ceci malgré l'existence de masses de sial intermédiaires qui paraissent devoir empêcher un emboîtement parfait. Par exemple, la côte orientale de Madagascar, de même que la côte occidentale de l'Hindoustan, se présentent comme de remarquables fractures rectilignes des plateaux gneissiques correspondants, ce qui nous conduit inévitablement à admettre que les deux régions étaient jadis réunies. Pourtant, elles sont séparées par le socle arqué des Seychelles, formé aussi de sial (les îles sont en effet granitiques) et qui devrait être écarté pour pouvoir procéder à une reconstitution. Il me paraît vraisemblable que nous avons à faire à des masses provenant des couches inférieures plus plastiques, qui sont apparues à la surface lors de la disjonction et qui devraient être remises, lors de la reconstitution, *sous* les deux parties accolées du socle, quoiqu'il ne soit pas exclu, évidemment, que des petites masses qui appartenaient aux couches supérieures se présentent actuellement au-dessus des masses intruses. On peut appliquer le même raisonnement aussi au seuil atlantique et à d'autres régions. Ces considérations ont leur importance parce que, sans elles, la circonstance que certains socles disjoints ont leurs contours presque concordants, malgré qu'ils soient séparés par des masses intermédiaires irrégulières de sial, nous paraîtrait énigmatique.

C'est à cette intrusion latérale des couches profondes, plastiques, du sial qu'il faut rattacher le fait que les bords des socles continentaux disjoints descendent souvent en gradins, parallèles aux bords, vers le fond océanique et qu'il n'est pas rare que les parties supérieures des socles paraissent présenter une « flexure », c'est-à-dire une avance vers l'extérieur des couches superficielles. Pourtant, nous ne pouvons pas entrer en plus de détails sur ces circonstances.

Aux bords des socles continentaux plastiques, supportant un inlandsis, des forces particulières doivent apparaître. Lorsqu'une masse plastique est surchargée et qu'elle tend à diminuer son épaisseur en s'étalant, son pourtour présente des fentes radiales. Ainsi s'explique la formation des fjords que l'on trouve sur toutes les côtes jadis envahies par les glaces (Scandinavie, Groenland, Labrador, côtes américaines au Pacifique au Nord du 48° lat. N. et au Sud du 42° lat. S., ainsi que l'île du Sud de la Nouvelle-Zélande) et que GREGORY [185], dans une étude approfondie, trop peu appréciée jusqu'ici, attribue déjà à la formation de ruptures. Des observations personnelles au Groenland et en Norvège me font aussi considérer comme erronée l'opinion encore très répandue que les fjords ne sont que des vallées d'érosion.

Des sondages répétés le long des côtes de l'Atlantique ont permis de constater le fait curieux que certaines vallées fluviales se prolongent sous la mer. Ainsi, la vallée du Saint-Laurent traverse la plate-forme et atteint les abysses, celle du fleuve Hudson peut être

suivie jusqu'à 1.450 m de profondeur; du côté européen ce phénomène se remarque à l'embouchure du Tage et surtout à la « fosse de Cap Breton », à 17 km au Nord de l'embouchure de l'Adour; mais, la

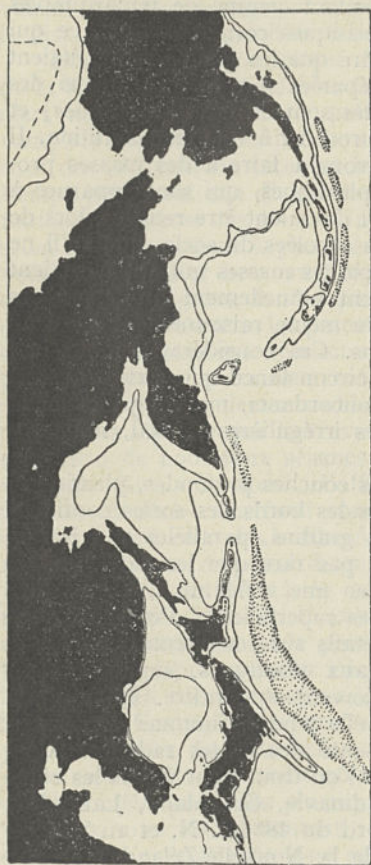


Fig. 51. — Guirlandes du Nord-Est de l'Asie. (Isobathes de 200 et 2.000 m; sillons abyssaux en pointillé.)

de l'Australie, on voit que toute la côte occidentale de cet Océan en est jalonnée, tandis que la côte orientale n'en a point. Tout au plus pourrait-on envisager, comme ébauches de guirlandes, les îles qui se détachent des côtes nord-américaines entre les 50° et 55° lat. N., le ren-

plus belle de ces vallées sous-marines est le sillon sous-marin du Congo qu'on peut suivre jusqu'à 2.000 m de profondeur. On admet en général que ces sillons représentent des vallées dues à l'érosion et noyées. Cela me paraît fort peu vraisemblable pour plusieurs raisons. D'abord, ces vallées ont une très forte pente; ensuite, elles existent un peu partout (en multipliant convenablement les sondages, on en trouverait probablement sur toutes les côtes); enfin, elles ne se présentent qu'à certaines embouchures, d'autres, situées entre celles-ci, n'en ont pas. Il est bien plus probable, à mon avis, qu'il s'agit de fentes des bords des continents qui ont été utilisées par les fleuves. Il est d'ailleurs prouvé géologiquement qu'il en est ainsi pour le lit du Saint-Laurent, et il est plausible qu'il en soit aussi — à cause de sa disposition — de la fosse de Cap Breton qui forme le fond de la fente, ouverte comme un livre, du Golfe de Gascogne.

Le plus intéressant phénomène concernant le bord des continents est la formation des guirlandes insulaires, comme celles de la côte orientale de l'Asie (fig. 51). Prises dans l'ensemble, leur répartition dans le Pacifique forme une série imposante. Si l'on considère la Nouvelle-Zélande comme une ancienne guirlande

flement des côtes dans la région de San-Francisco et la chaîne côtière californienne en voie de séparation. Dans l'hémisphère austral, l'Antarctique occidentale pourrait être regardée comme une guirlande (probablement comme une double guirlande). Dans son ensemble, la formation des guirlandes indique une dérive des masses continentales du Pacifique occidental. Cette dérive, dirigée à peu près vers Ouest-Nord-Ouest, ou plutôt à peu près vers l'Ouest si l'on tient compte de la position des pôles au Quaternaire ancien, concorde avec le grand axe de cet océan (Amérique du Sud—Japon) et avec la direction principale des anciens archipels océaniques (Îles Hawaii, Marshall, de la Société, etc.). Les sillons abyssaux, y compris celui des Tonga, sont des fentes perpendiculaires à la direction de cette translation, donc parallèles aux guirlandes. On ne saurait douter que tous ces phénomènes sont en relation causale.

Il existe des guirlandes tout à fait semblables aux Antilles, et même l'arc des Antilles Australes, entre la Terre de Feu et la Terre de Graham, peut être envisagé, dans un sens un peu différent toutefois, comme une guirlande libre.

L'échelonnement, toujours semblable, des guirlandes est très frappant. Les Aléoutiennes forment une chaîne qui, vers l'Est, n'est plus une chaîne côtière, mais part de l'intérieur de l'Alaska. Ces îles aboutissent au Kamtchatka, d'où une nouvelle chaîne, l'archipel intérieur du Kamtchatka, se détache, formant la guirlande avec les Kouriles comme chaîne extérieure. La guirlande aboutit à son tour au Japon, pour faire place à la chaîne, jusque là intérieure, située entre l'île Sakhaline et le Japon. Cette disposition se répète au Sud du Japon jusqu'aux Îles de la Sonde où elle devient plus compliquée. Les Antilles s'échelonnent exactement de la même manière. Il est évident que cet échelonnement des guirlandes est directement lié à l'ancienne disposition des chaînes côtières et qu'il résulte de la loi générale du plissement en échelons dont nous avons parlé. Le fait curieux que présente la longueur presque uniforme de ces guirlandes [Aléoutiennes 2.900 km, Kamtchatka-Kouriles 2.600 km, Sakhaline-Japon 3.000 km, Corée-Riou-Kiou 2.500 km, Formose-Bornéo 2.500 km, Nouvelle-Guinée-Nouvelle-Zélande (autrefois) 2.700 km] (\*) pourrait provenir, du point de vue tectonique, de ce que les chaînes côtières des anciens continents avaient présenté une régularité semblable.

FUJIWHARA [195] a étudié en détail ces échelonnements et spécialement celui des chaînes volcaniques japonaises. Il essaie de les expliquer à l'aide d'une rotation du fond du Pacifique Nord (par rapport au socle asiatique qui serait immobile), dont le sens serait contraire à

\*) Les guirlandes antillaises présentent, par contre, une gradation : Petites Antilles—Haïti Sud—Jamaïque—Banc des Mosquitos 2.600 km, Haïti — Cuba Sud — Banc Misteriosa 1.900 km, Cuba 1.100 km.

celui du mouvement des aiguilles d'une montre. Puisque tous les mouvements sont relatifs, on peut concevoir, inversement, une rotation des masses terrestres entourant le Pacifique autour de celui-ci, dans le sens des aiguilles. Cette façon de voir est intéressante parce que le Pôle Nord était jusqu'à ces tout derniers temps géologiques sur le Pacifique et qu'ainsi la rotation d'ensemble des continents effectuée jadis revient à une dérive globale de ceux-ci vers l'Ouest. Je crois qu'il est très probable que les chaînes côtières est-asiatiques sont le résultat d'une pareille dérive vers l'Ouest des socles continentaux, effectuée à l'époque où le Pôle Nord était encore dans le Pacifique.

Nous avons relevé la remarquable uniformité des guirlandes quant à leur structure géologique : leur bord concave porte toujours une rangée de volcans, sans doute comme suite de la pression qu'il subit lorsque sa courbure s'accroît et qui fait sortir les enclaves de sima. Leur bord convexe, au contraire, présente des sédiments tertiaires qui manquent le plus souvent au littoral du continent d'où provient la guirlande. Ce fait nous montre que la séparation ne s'est produite qu'à une époque géologique très récente, et que la guirlande formait encore le bord du continent lors du dépôt de ces sédiments. Ces couches tertiaires présentent partout des désharmonies, avec des crevasses et des dislocations verticales, comme suite de la traction qui s'exerce pendant l'incurvation de l'ensemble. La Fossa Magna de l'île Hondo (Nippon) résulte d'un excès de courbure. Le fait que le bord extérieur de la guirlande paraît élevé, alors que l'étirement est accompagné en général par un abaissement du sol, montre que la guirlande a effectué un mouvement de bascule; ce mouvement peut être expliqué si l'on admet que la guirlande a ses deux extrémités entraînées à l'occasion de la dérive globale des continents, tandis que le sima le retient par sa base. Le sillon abyssal qui accompagne très souvent le bord extérieur des guirlandes paraît être en relation avec ce phénomène. Nous avons déjà fait voir que ce sillon ne se forme jamais dans le sima fraîchement découvert, situé entre le continent et la guirlande, mais toujours vers l'extérieur de celle-ci, autrement dit là où elle touche le fond océanique ancien. Le sillon apparaît dans ce cas comme une fente dont une des parois est formée par le fond océanique ancien très refroidi et durci jusqu'à de grandes profondeurs, l'autre paroi étant formée par le sial de la guirlande. La naissance d'une semblable fente à la frontière du sial et du sima se comprend très bien si l'on se rapporte au mouvement de bascule de la guirlande dont nous venons de parler.

Ce qui frappe aussi dans la fig. 51, c'est la forme pansue des bords continentaux situés derrière les guirlandes. Notamment, si nous considérons non seulement la côte, mais aussi l'isobathe de 200 m, nous voyons que le littoral présente l'image d'un S, tandis que la guirlande qui lui fait face ne forme qu'un simple arc convexe. Ces rapports sont représentés schématiquement dans la fig. 52 B. Ce phé-

nomène se répète exactement dans les trois guirlandes représentées sur la fig. 51, ainsi que dans la forme du bord oriental de l'Australie et dans celle de son ancienne guirlande formée par les contreforts du Sud-Est de la Nouvelle-Guinée et par la Nouvelle-Zélande. Ces renflements des côtes dénotent une compression parallèle au bord du continent en même temps qu'à la direction structurale des chaînes côtières. On doit les considérer comme de grands plis formés dans le sens horizontal. Il s'agit ici d'un aspect partiel de la grande compression qu'eut à subir, dans la direction Nord-Est — Sud-Ouest, l'Asie orientale toute entière. Si l'on essaie de redresser la ligne sinueuse des côtes de l'Asie orientale, la distance de 9.100 km séparant actuellement l'Indo-Chine du détroit de Bering se trouve portée à 11.100 km.

Selon nous, il faut donc voir dans les guirlandes — et particulièrement dans celles de l'Asie orientale — des chaînes côtières qui se séparent des masses continentales en dérive vers l'Ouest, du fait qu'elles s'accrochent au vieux fond abyssal, profondément solidifié; entre le continent et la guirlande un nouveau fond abyssal, plus fluide, est mis à découvert.

Cette manière de voir diffère de celle de F. VON RICHTHOFEN [186], lequel partait, il est vrai, de tout autres hypothèses. Il pensait que les guirlandes étaient produites par une traction agissant sur la croûte terrestre et dont l'origine serait dans le Pacifique. Elles devraient former la région comprise entre l'archipel et le continent serait un premier « palier », dont un mouvement de bascule fit plonger la partie occidentale, tandis que l'autre s'érigerait en guirlande. VON RICHTHOFEN crut remarquer sur le continent deux autres paliers, dont les pentes seraient moins fortes que celles du premier. Il est vrai que la forme régulièrement arquée de ces accidents était malaisée à expliquer, mais l'on s'imagina vaincre cette difficulté en rapprochant ces arcs de ceux que forment les cassures de l'asphalte et d'autres matières.

Quoiqu'il faille reconnaître à cette théorie le mérite historique d'avoir rompu sciemment avec le dogme d'une poussée de voûte agissant partout et d'avoir fait appel à des forces de traction horizontales en ce qui concerne l'explication, nous n'avons pas besoin de longs

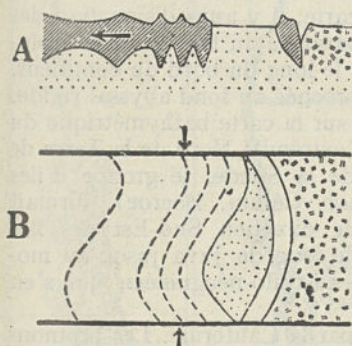


Fig. 52. — Schéma de la genèse des guirlandes.

A : coupe; B : plan. (Le sima fortement refroidi est figuré par des hachures interrompues.)

développements pour faire voir qu'elle ne cadre plus avec nos connaissances actuelles. La carte bathymétrique, surtout, malgré son imperfection à cause de l'insuffisance des sondages, indique d'une façon catégorique une discontinuité dans la liaison entre la guirlande et la partie principale du socle.

Lorsque le mouvement du socle, au lieu d'être perpendiculaire à son bord, comme en Asie orientale, lui est parallèle, les chaînes côtières peuvent se détacher par un déplacement en long sans que le sima soit mis à découvert dans l'interstice. Au fond, il s'agit ici de phénomènes analogues à ceux que nous avons expliqués plus haut, à propos des mouvements des parties d'un même socle, à l'aide de la fig. 49, mais convenablement rapportés aux bords des continents. Si le socle affronte le sima, il y a plissement du bord avançant et il s'y produira des nappes de recouvrement ou des plis en échelons, suivant la direction du mouvement. S'il s'en écarte, il y aura disjonction des chaînes côtières. Si le mouvement est parallèle au bord, il y a déplacement en long : la chaîne côtière glisse le long du bord du continent, parce que, dans ce cas aussi, elle est accrochée au fond abyssal rigide. On peut très bien suivre ce phénomène sur la carte bathymétrique du détroit de Drake, fig. 26 (page 91), à l'extrémité Nord de la Terre de Graham. De même, dans l'Archipel de la Sonde, le groupe d'îles situées le plus au Sud (Soemba, Timor, Céram, Boeroe), formait probablement le prolongement dans le direction Sud-Est des îles situées devant Sumatra, mais a glissé le long de Java jusqu'au moment où il a été attrapé par le socle australo-néoguinéen qui s'en rapprochait.

Un autre exemple nous est fourni par la Californie. Les promontoires latéraux de cette presque île offrent des phénomènes de glissement qui semblent indiquer une dérive des masses continentales vers le Sud-Est. La pointe de la péninsule s'est déjà tassée à cause de la résistance du sima et a pris la forme d'enclume, la péninsule entière paraissant fortement raccourcie si on la compare au golfe du même nom. D'après WITTICH [187], un soulèvement récent a fait émerger sa partie Nord à des altitudes atteignant plus de 1.000 m, ce qui est l'indice certain d'une forte compression. Les contours de la Californie ne permettent guère de douter que son extrémité n'ait occupé jadis la baie de la côte mexicaine située devant elle, et la carte géologique indique pour le continent et la péninsule des roches intrusives « post-cambriennes », mais leur identité n'est pas encore complètement prouvée.

Si la Californie se rétrécit, il semble d'autre part qu'elle glisse vers le Nord ou, plus exactement, qu'elle s'attarde dans le mouvement d'ensemble du continent *par rapport à la base sous-jacente*. Ce mouvement est dirigé vers le Sud et les chaînes côtières situées au Nord et à la suite de la presque île y participent aussi. La forme pansue de la côte dans la région de San-Francisco s'explique ainsi par un

resserrement. Cette idée est confirmée d'une manière frappante par la faille qui s'est produite lors du célèbre tremblement de terre de San-Francisco du 18 avril 1906. La fig. 53 en donne le schéma d'après RUDZKI [15] et TAMS [188]. En effet, la partie orientale fut précipitée vers le Sud, la partie occidentale vers le Nord. Comme il fallait s'y attendre, les mesures faites sur le terrain montrèrent que l'intensité de ce déplacement subit diminue à mesure que l'on s'éloigne de la faille, si

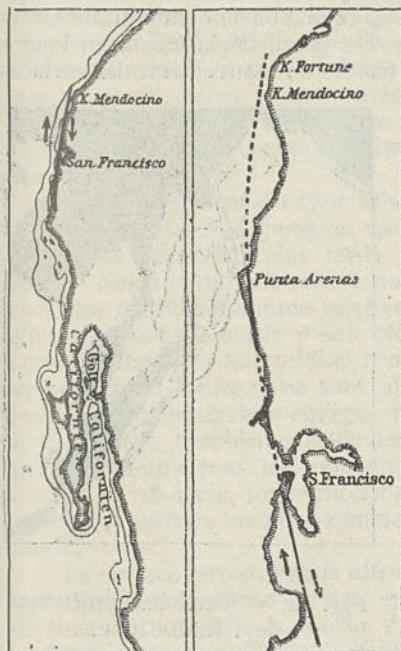


Fig. 53. — La Californie et la faille produite lors du tremblement de terre de San-Francisco.

bien qu'à une certaine distance de celle-ci il n'est plus perceptible. La croûte terrestre y était soumise, naturellement, déjà avant l'accident, à un mouvement lent et continu. ANDREW C. LAWSON [189] a comparé le mouvement correspondant entre 1891 et 1906 avec la direction de la faille; il a obtenu le résultat suivant, valable pour les observations correspondant au groupe de Punta Arenas, indiqué à la fig. 54. Un élément de surface situé sur l'emplacement de la future faille s'est déplacé pendant les 15 années considérées de 0,7 m de A en B; la formation de la faille a eu pour effet de séparer l'élément en deux parties, la moitié Ouest étant brusquement portée en C, à 2,43 m vers le Nord-Ouest tandis que la partie Est venait en D, à 2,23 m vers le Sud-Est. Dans le mouvement continu de A en B — mouvement que l'on doit se représenter comme relatif par rap-

port à la masse principale du continent nord-américain — on voit que le bord occidental de ce continent est constamment retenu vers le Nord par son adhésion au sima du Pacifique. La faille n'est que l'effet d'un rétablissement par saccades de la tension; mais elle n'indique pas un mouvement global du socle continental.

Il convient de nous occuper aussi d'un autre compartiment de la croûte terrestre, également des plus intéressants, mais peu étudié il est vrai, notamment du bord de l'Indo-Chine. Ce qui nous intéresse surtout c'est le bassin profond situé au Nord de Sumatra. Le coude

de la presqu'île de Malacca correspond à la rupture du Nord de Sumatra; seulement, on n'arrive pas à recouvrir les couches profondes mises à nu au Nord de cette île en procédant au rassemblement des parties de la presqu'île. Les Iles Andaman situées devant le bassin nous l'indiquent déjà. Nous devrions plutôt admettre que la grande compression himalayenne a amené une traction dans le sens de leur longueur sur les chaînes de l'ancienne presqu'île. Sous l'action de cette traction la chaîne de Sumatra s'est rompue à l'extrémité Nord de cette île, tandis que sa partie nordique (l'Arakan Yoma) était entraînée vers le Nord, comme un bout de câble. Un pareil déplacement en long a dû faire naître, des deux côtés des masses en mouvement, des surfaces

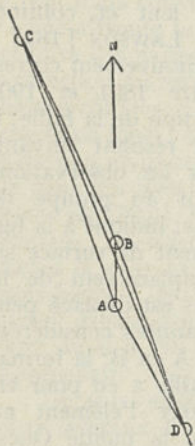


Fig. 54. — Mouvement d'un élément de surface divisé par la faille, d'après LAWSON.



Fig. 55. — Carte bathymétrique de l'Indo-Chine.

(Isobathes de 200 et 2.000 m; sillons abyssaux en pointillé.)

de glissement. Chose intéressante, les Iles Andaman et Nicobar qui formaient la chaîne externe s'accrochèrent au sima et ce n'est que la deuxième chaîne qui eut à subir cette curieuse translation.

Un dernier mot sur la différence bien connue entre les côtes du type atlantique et du type pacifique. Les côtes atlantiques sont des cassures de pays tabulaires, tandis que les côtes pacifiques sont caractérisées par des chaînes côtières et des sillons abyssaux. Sont encore du type atlantique les côtes de l'Afrique orientale et de Madagascar, de l'Inde, de l'Australie occidentale et du Sud, ainsi que l'Antarctique orientale. Celles de l'Indo-Chine occidentale, de l'Archipel de la Sonde, de l'Est Australien avec la Nouvelle-Guinée et la Nouvelle-



Zélande, ainsi que l'Antarctique occidentale appartiennent au type pacifique, auquel il faut rattacher aussi l'Inde occidentale avec les Antilles. Aux différences du point de vue tectonique de ces côtes correspond, comme l'a montré MEISSNER [190], un comportement différent de la pesanteur. Les côtes atlantiques sont compensées isostatiquement, c'est-à-dire que les socles continentaux flottant sur le magma y sont en équilibre. Par contre, celles du type pacifique présentent des écarts à la loi de l'isostasie. En outre, comme on le sait, les côtes atlantiques sont relativement exemptes de phénomènes volcaniques et sismiques, tandis que les côtes pacifiques en sont abondamment affectées. Les rares volcans des côtes du type atlantique ont des laves qui, selon BECKE, présentent des différences minéralogiques systématiques avec les laves pacifiques : elles sont plus lourdes et plus riches en fer, elles paraissent donc provenir de profondeurs plus grandes.

Selon nous, sont du type atlantique uniquement les côtes qui se sont formées par la disjonction des socles après le Mésozoïque (certaines même beaucoup plus tard). Devant elles le fond de la mer est une couche profonde mise à nu à une date relativement récente et doit être considéré comme relativement fluide. Aussi ne doit-on pas s'étonner que l'isostasie y soit réalisée. La grande fluidité du sima correspondant fait que celui-ci n'oppose aux côtes en dérive que peu de résistance. Celles-ci ne sont ni plissées ni comprimées, il ne s'y formera donc ni chaînes côtières ni volcans. Il ne faut pas s'attendre à y voir des tremblements de terre car le sima y est assez fluide pour permettre tous les mouvements nécessaires, sans solution de continuité : il coule, tout simplement. Les continents s'y comportent, si nous exagérons un peu, comme des glaçons rigides dans de l'eau fluide.

La surface terrestre nous offre beaucoup d'indices qui nous montrent que le volcanisme consiste en une expulsion passive des masses de sima intrusées dans la couche de sial. Les guirlandes arquées nous en fournissent le meilleur exemple. Dans ce cas, il doit résulter, à cause du recourbement, une pression sur les parties internes concaves et une traction sur les parties externes convexes. En fait, leur structure géologique, comme nous l'avons vu, est remarquablement uniforme : le bord interne porte toujours une chaîne de volcans, le bord extérieur est exempt de tout volcanisme, mais présente de nombreuses cassures et failles. Cette ordonnance universelle des volcans est si frappante qu'elle me paraît avoir une très grande importance dans la question de l'origine du volcanisme. Nous lisons dans VON LOZINSKI [191] : « Dans les Antilles on peut distinguer une zone interne volcanique et deux zones externes, dont la plus éloignée, formée de dépôts récents, a les plus faibles altitudes (Suess). Le contraste entre une zone interne très volcanique et une zone externe où le volcanisme est en régression apparaît également dans les Molu-

ques (BROUWER) et en Océanie (ARLDT). L'analogie avec la disposition des zones volcaniques dans les parties internes des zones soumises à des mouvements orogéniques, telles que l'arrière pays carpathique ou varisque, saute aux yeux ». Les positions du Vésuve, de l'Etna et du Stromboli correspondent à ce schéma; aux Antilles Australes, entre la Terre de Feu et la Terre de Graham, ce sont précisément les crêtes de l'arc le plus recourbé, le plus intérieur, celles des Iles Sandwich du Sud, qui sont basaltiques et l'un des volcans de ces îles est encore actif. Nous avons déjà indiqué une particularité tout à fait intéressante des Iles de la Sonde : des deux rangées méridionales de cet archipel, ce n'est que celle du Nord, qui est régulièrement arquée, qui porte des volcans, alors que celle du Sud (avec l'île de Timor), située vers l'extérieur — soumise à une traction et qui a d'ailleurs déjà cédé, en s'incurvant en sens contraire, sous la poussée du socle australien — n'en est pas pourvue. Mais, la rangée du Nord est aussi un peu bossuée en un endroit (île de Wetter), à cause de la poussée qu'elle subit à contre-coup de la part de l'autre rangée située plus vers le Sud (de la part de l'extrémité Nord-Est de Timor); or, précisément à cet endroit, le volcanisme a cessé, même sur la rangée nordique, parce qu'ici la courbure est en train de diminuer. BROUWER attire aussi l'attention sur le fait que les récifs coralliens surélevés ne se trouvent que là où le volcanisme fait défaut ou s'est éteint, ce qui indique également que ce sont des zones en train de s'affronter. Le résultat, paradoxal à première vue, que le volcanisme cesse là où l'affrontement commence, trouve dans le cadre de nos idées une explication toute naturelle.

Il n'est pas inconcevable qu'aux temps anciens ayant précédé les époques géologiques, l'enveloppe de sial se soit étendue sur la terre entière. Dans ce cas, elle ne peut avoir eu, à l'époque, qu'un tiers de sa puissance actuelle et elle dut être recouverte par une « Panthalassa » dont la profondeur moyenne atteignait, selon les calculs de A. PENCK, 2,64 km. Cette enveloppe liquide ne dut laisser émerger que de petites portions de la surface terrestre, si elle ne la recouvrait pas tout entière.

Il y a deux arguments qui en tout cas parlent en faveur de cette conception : le développement de la vie sur le globe et la structure tectonique des socles continentaux.

D'après STEINMANN [192] : « Il est certain que personne ne met sérieusement en doute le fait que la vie en eau douce, sur terre fermée et à l'air procède de celle des mers ». Avant le Silurien, nous ne connaissons aucun animal à respiration aérienne; le plus ancien végétal terrestre a été trouvé dans le Silurien supérieur de Gotland. D'après GÖTHAN [193], le Dévonien ancien ne nous révélerait, en général, que des plantes voisines des mousses, sans feuillage proprement dit. « Des traces de feuilles véritables, possédant un limbe, sont rares dans le Dévonien ancien; presque tous les végétaux étaient de

petite taille, herbacés et peu résistants. » Par contre, la flore du Dévonien supérieur ressemble déjà à celle du Carbonifère, « par l'apparition de limbes foliaires de grandes dimensions, bien évolués, parcourus de nervures; par l'achèvement de la division du travail des organes de la plante, celle-ci possédant des organes de soutien et des organes d'assimilation... Les caractères de la flore éodévoniennne, son organisation primitive, sa petite taille, etc., nous donnent à entendre que la flore terrestre est d'origine aquatique; POTONIE, LIGNIER, ARBER et d'autres se sont déjà exprimés dans ce sens. Les progrès constatés au cours du Dévonien supérieur doivent être considérés comme une adaptation à la nouvelle forme de vie sur terre ferme et à l'air ».

D'autre part, il semble que si nous déroulions tous les plissements des socles continentaux, l'écorce en sial serait suffisamment agrandie pour pouvoir envelopper tout le globe. Il est vrai que les socles continentaux, avec leurs plates-formes, n'occupent plus aujourd'hui que le tiers de sa surface. Mais, au Carbonifère, déjà, nous obtenons une aire notablement plus grande (environ la moitié de la surface du globe). Plus nous remontons le cours des ères géologiques, plus les phénomènes de plissement apparaissent considérables. E. KAYSER [34] dit à ce propos : « Il est très important de noter que les roches archéennes les plus anciennes sont partout fortement bouleversées et plissées. Ce n'est qu'à partir de l'Algonkien que nous trouvons ici ou là, à côté de couches plissées, des dépôts horizontaux ou faiblement plissés. Si nous passons aux temps post-algonkiens, nous constatons que les masses rigides, non flexibles, de l'écorce terrestre deviennent de plus en plus importantes, ne laissant aux zones susceptibles de se plisser qu'un espace de plus en plus restreint. C'est surtout le cas pour les bouleversements carbonifères et permien. Après le Paléozoïque, les forces orogéniques diminuèrent peu à peu d'intensité, pour reprendre durant le Jurassique et le Crétacé et atteindre un nouveau paroxysme au Tertiaire inférieur. Il est cependant très significatif que l'étendue de ce dernier grand plissement soit demeurée notablement plus réduite que celle du plissement carbonifère ».

De toute façon, l'hypothèse que l'enveloppe de sial aurait jadis recouvert la terre entière n'est pas en contradiction avec les idées en cours. Cette enveloppe, elle-même plastique et susceptible de se déplacer, fut d'une part déchirée, d'autre part compressée sous l'action des forces que nous avons examinées dans le chapitre précédent. La naissance de l'océan et son élargissement ne représentent donc que l'une des faces de ce processus, l'autre étant le plissement. Des arguments biologiques semblent aussi parler en faveur de l'idée que la mer profonde ne s'est formée que graduellement avec le temps. Nous lisons dans WALTHER [194] : « Des arguments biologiques d'ordre général, l'ordonnance stratigraphique de la faune abyssale actuelle, de même que des recherches tectoniques, nous imposent la conviction que la

mer profonde, comme milieu, n'est pas un caractère primordial de la terre des époques les plus reculées. Ses premières ébauches se placent aux temps où des mouvements tectoniques de plissement commencent à se manifester au sein de tous les continents actuels, transformant d'une manière si notable le relief de la surface du globe. » Les premières déchirures de la sphère de sial, par lesquelles la sphère de sima fut mise pour la première fois à découvert, peuvent avoir été semblables aux fossés d'affaissement actuels de l'Afrique orientale. Elles s'ouvrirent à mesure que le plissement du sial prenait de l'ampleur. Ce fut un phénomène que nous pourrions comparer à la façon dont s'ouvrent les lanternes vénitiennes sphériques. D'un côté l'ouverture, de l'autre le plissement. Il est plus que probable que c'est la surface occupée par l'Océan Pacifique, considéré d'une façon

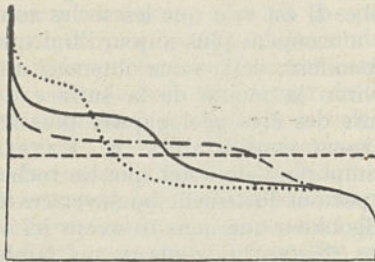


Fig. 56. — Courbes hypsométriques de la surface du globe.

..... future; — présente; — — — — ancienne; — — primitive (en même temps niveau moyen de l'écorce).

générale comme très ancien, qui fut dépouillée en premier lieu et de cette manière de son revêtement de sial. Il ne serait pas inconcevable que les vieux plissements des massifs gneissiques du Brésil, de l'Afrique, de l'Inde péninsulaire et de l'Australie représentent l'équivalent de cette ouverture du Pacifique.

Ces déferlages des masses de sial doivent naturellement avoir eu pour effet d'épaissir l'enveloppe de sial et par là de la faire surgir davantage, tandis que les bassins océaniques devenaient plus spacieux. Aussi, les inva-

sions marines sur les continents durent-elles diminuer de plus en plus au cours de l'histoire du globe, indépendamment de leurs changements de place. Cette loi est reconnue partout. Nos trois cartes de reconstitution la mettent aussi très nettement en évidence.

Il importe de noter que l'évolution de la croûte de sial n'a pu s'opérer que dans un seul sens, même si les forces ont varié à un moment donné. En effet, les tractions ne peuvent pas aplanir les plis d'un socle continental, elles ne peuvent tout au plus que les déchirer. Le va-et-vient de compressions et tractions ne peut pas avoir un effet compensateur, mais il produit des effets progressant unilatéralement et conduisant à l'affrontement et au morcellement. Ainsi, au cours des temps, la couverture de sial diminue comme aire (vers l'extérieur) et augmente en épaisseur, en se morcelant de plus en plus. Ces phénomènes se complètent et sont les effets des mêmes causes. La fig. 56 indique les courbes hypsométriques (\*) que notre concep-

\*) Voir note, p. 33.

tion permet d'admettre pour les temps anciens, actuels et futurs. Le niveau moyen de l'écorce représente en même temps la surface primitive de sial, à l'époque où elle était encore intacte.

D'autre part, il est possible de considérer, d'après l'idée de DARWIN, le bassin du Pacifique comme étant la trace de la séparation de la lune de la terre. S'il en est ainsi, une partie de la croûte de sial serait perdue pour le globe. Mais, le seul moyen pour arriver à une conclusion sur cette question me paraît être d'essayer de procéder à une évaluation du degré de plissement des masses de sial, ce qui pour l'instant n'est pas possible.



## CHAPITRE XI.

### REMARQUES COMPLÉMENTAIRES SUR LES FONDS OCÉANIQUES.

Du point de vue morphologique la région abyssale constitue une entité opposée aux socles continentaux. Les profondeurs des trois grands océans ne sont pas tout à fait les mêmes. KOSSINNA [29], à l'aide des cartes bathymétriques de GROLL, obtient comme profon-

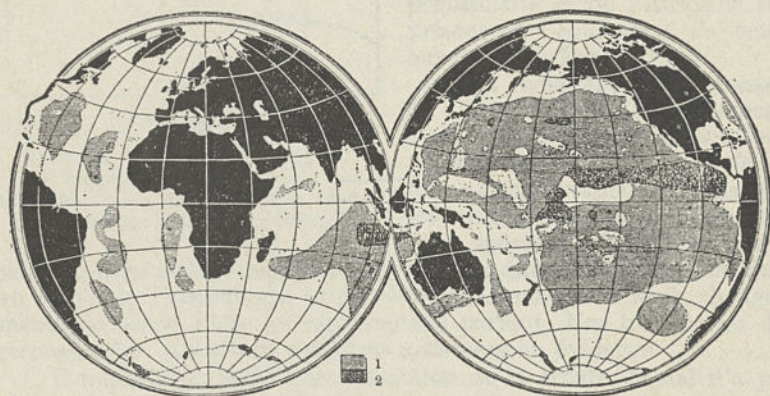


Fig. 57. — Carte des sédiments abyssaux, d'après KRÜMMEL [30].  
1 : Argile abyssale rouge; 2 : Vase à radiolaires.

deurs moyennes des océans les valeurs suivantes : 4.028 m pour le Pacifique, 3.897 m pour l'Indien et 3.332 m pour l'Atlantique. L'image fidèle de cette distribution des profondeurs nous est fournie aussi par la répartition des sédiments abyssaux (fig. 57), ainsi que nous le fit remarquer KRÜMMEL. L'argile rouge abyssale et la vase à radiolaires, sédiments typiquement «abyssaux», sont essentiellement limités au Pacifique et aux parties orientales de l'Océan Indien, tandis que

l'Atlantique et les parties occidentales de l'Océan Indien ont leur fond recouvert surtout de sédiments « épilophiques », dont la teneur plus forte en calcaire provient du fait qu'ils se déposent à une moins grande profondeur. Il est évident que ces différences de profondeur ne sont pas l'effet du hasard, mais correspondent à une non-identité de nature; elles sont liées à la différence qui existe entre les types « atlantique » et « pacifique » de côtes, comme nous le montre de la meilleure façon l'exemple de l'Océan Indien, dont la moitié occidentale a le caractère atlantique, tandis que la moitié orientale — sensiblement plus profonde — est du type pacifique. Ces constatations présentent un intérêt spécial pour la théorie des translations parce que sur la carte nous voyons du premier coup d'œil que ce sont les fonds abyssaux les plus anciens qui sont les plus profonds, tandis que ceux qui ont été mis à nu à des époques relativement récentes offrent une moyenne de profondeur plus faible. Ainsi, sur la figure 57, on peut voir d'une manière surprenante, pour ainsi dire, la trace des translations.

Nous ne possédons pas encore des idées bien précises en ce qui concerne la cause de cette différence de profondeur. Elle pourrait être due, d'une part à une dissemblance d'état physique, d'autre part aussi à une différence entre les éléments constitutifs correspondants. Du point de vue physique les fonds océaniques récents et anciens peuvent différer soit par leur température, soit par leur état d'agglomération. Si, par exemple, le poids spécifique du sima est 2,9 et si l'on prend pour base du calcul le coefficient de dilatation cubique du granite 0,000 0269, une élévation de température de 100° réduirait le poids spécifique à 2,892. Deux fonds océaniques dont les températures différeraient de 100° jusqu'à 60 km de profondeur et qui seraient en équilibre isostatique l'un par rapport à l'autre, devraient présenter un écart de profondeur de 160 m, le plus chaud occupant le niveau le plus élevé.

D'autre part, il n'est pas invraisemblable que l'enveloppe solidifiée et cristallisée des fonds océaniques fraîchement mis à nu soit de beaucoup plus mince que celle des fonds océaniques plus âgés. Des différences de poids spécifique et de profondeur pourraient en résulter. Il est également possible, même si l'on s'imagine que tous les bassins océaniques sont de formation semblable, qu'en raison du grand intervalle de temps séparant les époques de leur formation, les éléments constitutifs en soient différents; en effet, pendant la longue durée des temps géologiques le magma peut s'être modifié et il s'est probablement modifié, soit en cristallisant progressivement, soit de tout autre manière. Enfin, il se peut que les surfaces du sima soient inégalement recouvertes de résidus fluides, provenant des parties inférieures des socles continentaux, ou de produits détritiques provenant de leurs talus.

Comme nous l'avons déjà mentionné, nos idées concernant l'élé-

ment ou les éléments constitutifs des fonds océaniques sont très imprécises et il ne vaut pas la peine de citer ici toutes les opinions exprimées. C'est pourquoi je voudrais me borner à indiquer seulement les circonstances relatives à l'Océan Atlantique qui ont été le mieux étudiées et où, en outre, le large seuil qui le traverse représente un phénomène que la théorie des translations se doit d'analyser.

Il y a déjà longtemps que l'on a remarqué que le fond océanique ne présente souvent sur de longues distances que des dénivellations étonnamment petites. Jusqu'à présent, de semblables régions abyssales planes ont été décelées surtout lors de sondages rapprochés et effectués à l'occasion de la pose de câbles sous-marins. Ainsi, KRÜMMEL [30] rappelle que sur la longueur de 1.540 km séparant les Iles Midway de Guam, tous les cent sondages effectués ont indiqué des profondeurs comprises entre 5.510 et 6.277 m. Sur une distance partielle de 180 km, et pour les 14 sondages correspondants, les écarts

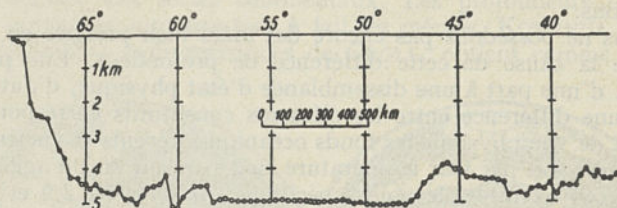


Fig. 58. — Partie occidentale du profil transatlantique (sans la plate-forme continentale), déduit des sondages acoustiques américains.

extrêmes furent de + 36 et - 38 m, la profondeur moyenne étant de 5.938 m. Sur une autre portion de 550 km (\*) et pour 37 sondages, les écarts extrêmes furent de + 103 et - 112 m, la profondeur moyenne étant de 5.790 m. On peut obtenir facilement à l'heure actuelle des sondages rapprochés à l'aide des ondes ultra-sonores émises à bord des navires en marche. Nous posséderons sous peu de nouvelles indications concernant l'Atlantique grâce aux nombreux profils obtenus par l'expédition allemande du « Meteor ». J'ai reproduit [197] (fig. 58), d'après les premiers résultats américains obtenus à l'aide de sondages acoustiques, la partie occidentale du profil à travers l'Atlantique Nord. Celui-ci atteint la mer des Sargasses, vers son extrémité septentrionale, et correspond à une longueur de 930 km s'étendant entre 58° et 47 1/2° long. O. La profondeur moyenne est de 5.132 m, les écarts extrêmes étant de - 121 et + 108 m. Pour des segments partiels l'uniformité des profondeurs est

\*) Dans le texte allemand 550 m (Cf. KRÜMMEL, l.c. p. 91). (Note du traducteur.)



encore plus frappante; ainsi, par exemple, huit mesures consécutives (se suivant tous les 28 km) ont donné comme résultat 2.780 ou 2.790 brasses (les 10 brasses étant la limite des erreurs des mesures).

Les autres parties du trajet, appartenant encore aux domaines abyssaux, quoique moins profondes, présentent, en opposition avec cette uniformité, un profil accidenté.

J'en ai déduit que dans le domaine de la mer des Sargasses, là où la profondeur est remarquablement constante, la surface du sima est à nu, tandis que dans les autres parties, à profil accidenté, le sol océanique consiste en une enveloppe de sial de puissance non uniforme et considérablement moins épaisse que celle des socles continentaux. Si l'on fait l'hypothèse que toutes les portions du sol océanique profondes d'au moins 5.000 m appartiennent en général à la surface extérieure du sima, la fig. 59 peut être interprétée comme donnant la répartition superficielle du sial et du sima sur le sol atlantique (\*).

Il en résulte une certaine difficulté. En effet, si nous admettons que ces masses de sial représentent les restes d'une bande effondrée lors de la disjonction, cette bande devrait être extrêmement large. Sur le trajet marqué en trait renforcé sur la fig. 59 et correspondant au premier profil acoustique transatlantique, nous aurions à faire à des débris éparpillés provenant d'une bande de 1.300 km de largeur. Dans l'Atlantique Sud, la bande correspondante serait sans doute moins large parce que le seuil atlantique y est plus étroit et aussi parce qu'il est bordé des deux côtés (non seulement à l'Ouest comme celui de l'Atlantique Nord) par des bassins abyssaux. On n'aura des indications plus exactes qu'après examen des sondages par le son de l'expédition du « Meteor », mais on devrait arriver de toute façon à une région intermédiaire écroulée ayant eu une largeur de 500 à 800 km. Ce résultat n'est pas, à vraiment parler, absurde, mais me paraît

---

\*) En partant de la même hypothèse qu'il n'y a que deux matériaux en présence, sial et sima, GUTENBERG [196] arrive à une autre conception qu'il oppose, sous le nom de « théorie de l'écoulement », à la théorie des translations continentales. Il est d'avis « qu'il n'y a qu'un seul socle de sial flottant sur le sima, ce dernier n'étant à découvert que dans le Pacifique ». Il incorpore donc au socle continental le sol des Océans Atlantique et Indien et admet que le socle s'est aplati de moitié, sous ceux-ci, par écoulement. Il ne peut pas en être ainsi. Si nous négligeons le poids de l'eau que supportent les fonds océaniques, les Océans Atlantique et Indien devraient avoir une profondeur égale à la moitié de celle de l'Océan Pacifique, et, si nous prenons en considération ce poids, la différence des profondeurs serait encore plus grande à cause de l'isostasie. La conception de GUTENBERG est réfutée aussi par l'identité absolue du point de vue morphologique des sols océaniques, en opposition avec les socles continentaux; d'ailleurs, si l'on essayait, dans les reconstitutions, de faire se rapprocher les continents à des distances qui soient les moitiés des distances actuelles, on ne pourrait pas satisfaire les exigences de la Géologie, de la Biologie et de la Climatologie, et enfin, la remarquable concordance des bords des socles actuels resterait énigmatique. Pour d'autres détails, voir plus haut.

quand même exagéré, car la concordance remarquable des socles actuels de l'Amérique du Sud et de l'Afrique semble parler en faveur d'une liaison ancienne presque sans solution de continuité de leurs bords. D'ailleurs, on rencontre des difficultés analogues, quoique de peu d'importance, pour d'autres parties de nos reconstitutions.

Je suis arrivé à la conclusion qu'il est très probable que ce dés-



Fig. 59. — Portions du sol de l'Océan Atlantique dont la profondeur dépasse 5.000 m.

accord soit dû au fait que nous n'avons pris en considération que deux couches, le sial et le sima, tandis qu'en réalité les circonstances sont plus compliquées. Faisons une nouvelle hypothèse, d'ailleurs en harmonie avec les résultats des plus récentes recherches géophysiques. Celles-ci semblent faire ressortir que les socles continentaux sont constitués, d'une manière générale, par du granite jusqu'à 30 km de profondeur, la couche suivante — jusqu'à 60 km — étant en basalte, suivie à une profondeur plus grande par une roche ultrabasique (dunite). Si nous partons de cette hypothèse, nous arrivons à une explication qui s'applique convenablement à tous les faits connus jusqu'ici. Les plateaux granitiques des continents sont réellement déchirés, comme l'admet la théorie des translations, exception faite de

certaines parties profondes fondues ainsi que des fragments qui s'étaient produits près des bords de la fracture et qui couronnent, comme îles, le seuil atlantique. Si la couche basaltique située sous le granite était réellement, comme on l'admet, très fluide, elle doit avoir progressivement jailli dans la faille atlantique qui s'élargissait, affluent même des deux côtés de celle-ci; elle a donc contribué en premier lieu à former partout le fond océanique dont elle est encore le principal constituant. Pourtant, à une époque donnée, l'ouverture de la faille étant suffisamment élargie, la fluidité de cet élément ne fut plus suffisante

pour lui permettre de s'étendre sur tout le fond océanique et la dunite sous-jacente resta à découvert formant comme une fenêtre sur celui-ci (Cf. fig. 60). Dans la Mer du Nord, où la disjonction des socles n'est pas arrivée à un stade avancé, le sol océanique — à l'exception de certains restes de granite — doit consister entièrement en basalte qui atteint même une puissance appréciable. Par contre, dans les vastes étendues du Pacifique on doit trouver de grandes portions consistant en dunite découverte, tandis que les parties plates y sont aussi couvertes de basalte qui pourrait même être coiffé, par endroits, de restes de granite.

Naturellement, cette image est tout hypothétique. Je crois pourtant devoir maintenir ma première hypothèse de l'existence d'une ancienne liaison presque directe des socles continentaux, hypothèse à laquelle conduisent tous les arguments d'ordre géologique, biologique et paléoclimatique. Les nouvelles recherches géophysiques ne

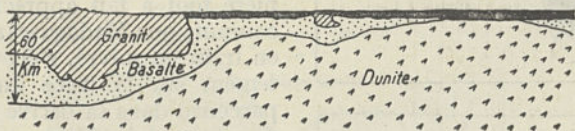


Fig. 60. — Coupe hypothétique à travers le socle continental et le sol océanique.

la contredisent en rien, comme nous l'avons montré, mais elles semblent permettre, par contre, d'éviter la difficulté qui subsiste en l'existence, entre des socles qui certainement auraient dû être jadis en contact, d'après la forme de leurs bords, d'élévations irrégulières du fond océanique du même genre que le seuil atlantique. On ne peut pas contester que les socles continentaux ont pu, comme le veut GUTENBERG, « s'étirer » grâce à certains mouvements d'écoulement; nous en avons fait, d'ailleurs, usage dans certains cas, par exemple pour la mer Egée. Mais, dans ce cas aussi, l'écoulement doit s'être borné aux couches profondes, tandis que les couches superficielles se sont morcelées par des fractures.

Puisque les géophysiciens ne se sont pas encore mis d'accord sur la question de savoir jusqu'à quel point le basalte ou la dunite sont à considérer comme éléments constitutifs des sols océaniques, nous revenons, pour abrégé notre exposé, à la simple discrimination entre sial et sima.

Si le sima est vraiment un corps visqueux, il serait étonnant que sa faculté de couler se manifestât seulement dans sa façon de s'écarter devant les socles en dérive, et qu'il ne s'y produisît pas de courants propres. En certains endroits, la carte décèle de pareils courants du sima, courants plutôt locaux, grâce à la distorsion de

rangées d'îles, apparemment rectilignes au début. La fig. 61 nous en donne deux exemples : celui des Seychelles et celui des Iles Fidji. Le banc des Seychelles, qui porte des îles granitiques isolées, a la forme

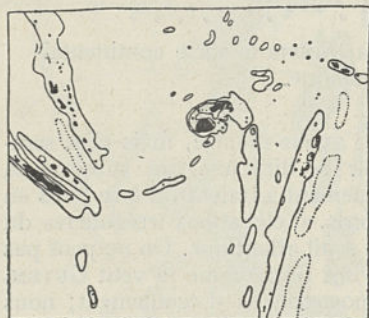


Fig. 61. — En haut : Madagascar et le banc des Seychelles.

En bas : les Iles Fidji.

(Courbes bathymétriques de 200 et 2.000 m; sillons abyssaux en pointillé.)

d'un croissant et ne s'adapte pas aux côtes de Madagascar ni à celles de l'Hindoustan, côtes rectilignes qui semblent plutôt avoir été primitivement en contact. Ainsi, nous serions porté à les interpréter comme masses sialiques fondues qui, provenant de la base des socles et ayant gagné la surface, ont par la suite été entraînées par le courant régnant dans le sima; ainsi, elles ont pu se déplacer vers l'Inde d'une manière tout à fait appréciable. Ce courant, que Madagascar est déjà en train de suivre, s'écoule exactement sur la trace du chemin parcouru dans sa dérive par l'Inde péninsulaire. Il peut avoir été produit par cette dérive ou, au contraire, l'avoir provoquée, comme le fait croire le détachement de Ceylan. Les mouvements à l'intérieur des liquides, même des liquides visqueux, sont rarement assez simples pour qu'il soit possible d'y distinguer nettement la cause de l'effet, et nos connaissances sur ce sujet sont encore par trop incomplètes. Il en résulte qu'il est insensé d'exiger de la théorie des translations qu'elle incorporât dans son système tous les mouvements relatifs qui peuvent se présenter et qu'elle puisse en donner l'explication. Nous ne les considérons qu'en vue d'expliquer les phénomènes de fluidité dans le sima, lesquels ressortent, dans ce cas particulier, surtout de l'inflexion des extrémités du socle vers l'arrière. Cette forme nous indique que l'intensité du courant diminue à mesure que l'on s'éloigne de l'axe Madagascar—Inde péninsulaire. Nous pouvons également dire que le courant est plus fort dans le sima fraîchement mis à dé-

de la théorie des translations qu'elle incorporât dans son système tous les mouvements relatifs qui peuvent se présenter et qu'elle puisse en donner l'explication. Nous ne les considérons qu'en vue d'expliquer les phénomènes de fluidité dans le sima, lesquels ressortent, dans ce cas particulier, surtout de l'inflexion des extrémités du socle vers l'arrière. Cette forme nous indique que l'intensité du courant diminue à mesure que l'on s'éloigne de l'axe Madagascar—Inde péninsulaire. Nous pouvons également dire que le courant est plus fort dans le sima fraîchement mis à dé-

couvert, tandis que les fonds plus anciens, situés au Nord-Ouest ou au Sud-Est de celui-ci, se meuvent plus lentement.

Le groupe des Iles Fidji, sur la seconde carte, présente une forme qui rappelle celle d'une nébuleuse spirale à deux branches, ce qui permet de conclure à l'existence d'un courant spiral. Le mouvement paraît être en relation avec le changement de mouvement subi par l'Australie à l'époque de sa disjonction de l'Antarctique et du commencement de sa dérive — dirigée encore aujourd'hui vers le Nord-Ouest —, époque où elle lâcha la guirlande néo-zélandaise. Il est probable qu'avant de s'enrouler sur lui-même, l'Archipel des Fidji s'étendait à côté de la crête des Tonga et formait une chaîne qui lui était parallèle, les deux groupes d'îles constituant une guirlande externe du socle australo-néo-guinéen. Cette guirlande, comme toutes celles de l'Asie orientale, s'accrocha par son bord extérieur au vieux fond océanique, mais elle put se séparer par le bord intérieur du socle

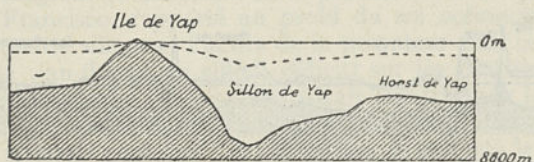


Fig. 62. — Coupe (O.-E.) à travers le sillon de Yap, d'après G. SCHOTT et P. PERLEWITZ.

(Echelle des profondeurs quintuplée. En trait interrompu, profil à même échelle pour les profondeurs et longueurs.)

continental; celui-ci par son départ, provoqua l'enroulement en forme de spirale du train d'îles internes. Les Nouvelles-Hébrides et les Iles Salomon pourraient avoir été jadis d'autres guirlandes en échelons abandonnées en chemin par le même socle (\*). Comme nous l'avons déjà vu, la Nouvelle-Bretagne (Archipel Bismarck) s'est accrochée à la Nouvelle-Guinée qui l'a entraînée en lui faisant décrire un mouvement de rotation sur elle-même, tandis que, de l'autre côté du grand socle australien, le recourbement en spirale des deux rangées d'îles les plus au Sud de l'Archipel de la Sonde, témoigne, comme dans le cas des Iles Fidji, de l'existence d'un courant spiral dans le sima.

Les observations faites jusqu'à présent ne nous permettent pas de nous faire une idée complète sur la nature des sillons abyssaux (\*\*).

\*) HEDLEY a été aussi amené, par des considérations d'ordre biologique, à la conclusion que la Nouvelle-Guinée avec la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles Hébrides et les Iles Salomon forment un seul tout.

\*\*) Le terme « fossés abyssaux » est moins heureux, parce qu'il peut faire présumer qu'il s'agit de fossés d'affaissement analogues à ceux que l'on rencontre sur les socles continentaux.

Ils sont, sauf de rares exceptions, toujours situés à l'avant du bord externe (convexe) des guirlandes, où celles-ci heurtent les vieux fonds océaniques, tandis que du côté de leur bord interne, là où apparaît, comme dans une fenêtre, le fond abyssal mis à nu récemment, on n'en trouve jamais. Il semble ainsi que ce n'est que le vieux sol océanique qui soit capable de former des sillons abyssaux, à cause de son refroidissement et de sa solidification plus avancées. Peut-être doit-on les envisager comme des fentes marginales dont l'une des lèvres serait occupée par le sial de la guirlande et l'autre par le sima du fond océanique. A ce sujet, la fig. 62 ne doit pas nous induire en erreur : si ses lignes sont aplanies, cela tient à l'action niveleuse de la pesanteur.

Le profond sillon, coudé à angle droit, qui s'étend au Sud et au Sud-Est de la Nouvelle-Bretagne doit son origine au fort tiraillement dirigé vers le Nord-Ouest que l'île eut à subir par suite de

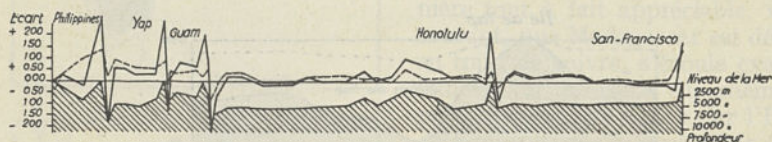


Fig. 63. — Allure des anomalies de la pesanteur sur le trajet Philippines—San Francisco, d'après VENING-MEINESZ.

A gauche : échelle des écarts; à droite : échelle des profondeurs; Ligne en pointillé : courbe des anomalies après correction isostatique; Partie hachurée : sol océanique.

son adhérence à la Nouvelle-Guinée. Le socle de la Nouvelle-Bretagne pénètre profondément dans le sima qu'il laboure, mais le sillon qu'il forme n'a pas encore été entièrement comblé par le courant de sima qui y afflue. Ce cas est peut-être celui où nous nous rendons le mieux compte de la formation d'un sillon abyssal.

Le sillon d'Atakama, à l'Ouest du Chili, paraît offrir la possibilité d'une autre explication aussi. Si nous tenons compte qu'à l'occasion d'un plissement les couches situées au-dessous du niveau des fonds océaniques sont refoulées vers le bas, le fond océanique le plus proche doit être entraîné dans le même sens (\*). De plus, le bord con-

\*) L'objection faite par AMPFERER, A. PENCK, etc., que le mouvement vers l'Ouest de l'Amérique devrait produire une accumulation du sima à l'avant du continent n'est pas concluante si, comme nous devons l'admettre, tout plissement se fait avec conservation de l'isostasie. Le mouvement du sima, causé par le cheminement du continent, ne consiste pas en une élévation, vu le grand poids spécifique du sima; celui-ci ne fait qu'affluer sous les socles continentaux par un mouvement rétrograde, analogue à celui que décrit l'eau qui glisse au-dessous des corps flottants lorsque ceux-ci sont tirés lentement à travers le liquide.

tinental lui-même s'abaisse par suite de la fusion des masses de sial plissées vers le bas et du déplacement relatif vers l'Est de celles-ci dû à la dérive vers l'Ouest du continent. Selon nous, ces masses réussissent, en partie, à traverser la base du socle et à émerger de dessous le continent formant, pour finir, le banc des Abrolhos. De cette façon, le bord continental doit s'enfoncer plus profondément dans le sima sous-jacent, entraînant dans sa descente le sima voisin.

Naturellement, ces conceptions relatives à la nature des sillons abyssaux demandent des vérifications détaillées. Les résultats des mesures de l'intensité de la pesanteur présentent à cet égard une grande importance. Déjà HECKER [198] avait trouvé au-dessus du sillon des Tonga un grand déficit, tandis que sur le plateau voisin il constatait un excès d'intensité de la pesanteur. Ces résultats ont été confirmés par les observations faites sur un grand nombre de sillons par VENING-MEINESZ [39]. Nous reproduisons d'après cet auteur, dans la fig. 63, le diagramme des écarts de la pesanteur sur le trajet Philippines—San Francisco, rapporté au profil du sol océanique. Le trajet traversait quatre sillons et l'allure de la pesanteur était la même dans tous les cas : au-dessus du sillon, déficit; sur les élévations voisines, excès. Cette régularité des résultats paraît montrer que la compensation isostatique n'est pas encore rétablie par l'afflux du sima dans le sillon. On pourrait peut-être l'expliquer par le fait que le socle représentant l'élévation a une position oblique (Cf. fig. 52). Mais, de nouvelles recherches sont nécessaires avant d'arriver à un résultat définitif.

## APPENDICE.

Pendant l'impression de cet ouvrage on a obtenu une confirmation de l'accroissement de la distance actuelle entre l'Amérique du Nord et l'Europe, tel que nous l'avons espéré dans le Chapitre III. Nous ne voulons pas laisser de côté ce résultat. F. B. LITTELL et J. C. HAMMOND (\*) ont en effet communiqué les résultats des mesures de la différence des longitudes entre l'Amérique du Nord et l'Europe effectuées en octobre et novembre 1927, ainsi que leur comparaison avec ceux obtenus à l'aide des mesures analogues effectuées en 1913/14.

La différence des longitudes de Washington et de Paris fut en 1927 de :

$$5^{\text{h}} 17^{\text{mn}} 36,665^{\text{s}} \pm 0,0019^{\text{s}},$$

par contre, en 1913/14 elle n'était que de

$$5^{\text{h}} 17^{\text{mn}} 36,653^{\text{s}} \pm 0,0031^{\text{s}},$$

$$5^{\text{h}} 17^{\text{mn}} 36,651^{\text{s}} \pm 0,003^{\text{s}}.$$

La première des indications pour 1913/14 se rapporte aux mesures faites par les observateurs américains, la dernière à celles faites par les observateurs français.

De la comparaison de ces résultats, on voit que la différence des longitudes de Washington et de Paris s'est accrue, pendant l'intervalle de 13 à 14 ans considéré, de

$$0,013^{\text{s}} \pm \text{environ } 0,003^{\text{s}},$$

ou, en distance, d'environ

$$4,35 \text{ m} \pm \text{environ } 1,0 \text{ m}.$$

Il en résulte un accroissement annuel de la distance d'environ

$$0,32 \text{ m} \pm \text{environ } 0,08 \text{ m}.$$

Le sens et la grandeur de cet accroissement sont en parfait accord avec les conséquences de la théorie des translations, telles que nous les avons envisagées au Chapitre III.

---

\*) LITTELL (F. B.) and HAMMOND (J. C.), World Longitude Operation. *The Astronomical Journal*, T. 38, N° 908, août 1928, p. 185.



## BIBLIOGRAPHIE.

*formation*

- 1 WEGENER (A.). Die Entstehung der Kontinente. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1912, pp. 185-195, 253-256, 305-309.
- 2 WEGENER (A.). Die Entstehung der Kontinente. *Geolog.Rundschr.*, T. 3, 1912, fasc. 4, pp. 276-292.
- 3 WEGENER (A.). Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Sammlung Vieweg, N° 23, Braunschweig, 1915, 94 p.; — 2° éd., Die Wissenschaft, N° 66, Braunschweig, 1920, 135 p.; — 3° éd. 1922.
- 4 LOFFELHOLZ VON COLBERG (Freiherr). Die Drehung der Erdkruste in geologischen Zeiträumen. München, 1886, 62 p.; — 2° éd. très augmentée, München, 1895, 247 p.
- 5 KREICHGAUER (D.). Die Aquatorfrage in der Geologie. Steyl, 1902, 304 p.; 2° éd. 1926.
- 6 WETTSTEIN (H.). Die Strömungen der Festen, Flüssigen und Gasförmigen und ihre Bedeutung für Geologie, Astronomie, Klimatologie und Meteorologie. Zürich, 1880, 406 p.
- 7 SCHWARZ (E. H. L.). *Geol. Journ.*, 1912, pp. 294-299.
- 8 PICKERING. *The Journ. of Geol.*, T. 15, 1907, N° 1; aussi *Gaea*. T. 43, 1907, p. 385.
- 9 COXWORTHY (W. F.). Electrical Condition or How and Where our Earth was created. London, W. J. S. Phillips, 1890 (?).
- 10 TAYLOR (F. B.). Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan. *B. Geol. S. Am.*, T. 21 (2), juin 1910, pp. 179-226.
- 11 ARLDT (Th.). Handbuch der Paläogeographie. Leipzig, 1917.
- 12 SUESS (E.). Das Antlitz der Erde, 1885; — trad. franç. : La Face de la Terre, trad. sous la direction de E. de MARGERIE. Paris, Colin, 1897-1918, 3 tomes.
- 13 AMPFERER. Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. *Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt*, Wien, T. 56, 1906, pp. 539-622.
- 14 REYER. Geologische Prinzipienfragen. Leipzig, 1907.
- 15 RUDZKI (M. P.). Physik der Erde. Leipzig, 1911.
- 16 ANDREE (K.). Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin, 1914.
- 17 HEIM (A.). Bau der Schweizer Alpen. *Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. Zürich*, 1908, fasc. 110.
- 18 STAUB (R.). Der Bau der Alpen. *Beitr. z. geolog. Karte der Schweiz*. Nouvelle série, fasc. 52, Bern, 1924.
- 19 HENNIG (Edw.). Fragen zur Mechanik der Erdkrusten-Struktur. *Die Naturwissenschaften*, 1926, p. 452.

- 20 ARGAND (E.). La Tectonique de l'Asie. (Extrait du Compte-rendu du XIII<sup>e</sup> Congrès géologique international, 1922.) Liège, 1924.
- 21 KOSSMAT (F.). Erörterungen zu A. WEGENERS Theorie der Kontinentalverschiebungen. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1921.
- 22 DACQUE (E.). Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena, 1915.
- 23 GEER (G. de). Om Skandinaviens geografiska Utveckling efter Istiden. Stockholm, 1896.
- 24 KOBER (L.). Der Bau der Erde. Berlin, 1921. — Gestaltungsgeschichte der Erde. Berlin, 1925.
- 25 STILLE (H.). Die Schrumpfung der Erde. Berlin, 1922.
- 26 NOLCKE (F.). Geotektonische Hypothesen. Berlin, 1924.
- 27 WILLIS (B.). Principles of palaeogeography. *Science*, T. 31, nouvelle série, N<sup>o</sup> 790, 1910, pp. 241-260.
- 28 WAGNER (H.). Lehrbuch d. Geographie. T. 1, Hannover, 1922.
- 29 KOSSINNA. Die Tiefen des Weltmeeres. *Veröff. d. Inst. f. Meereskunde*. Nouvelle série, A, fasc. 9, Berlin, 1921.
- 30 KRUMMEL. Handbuch der Ozeanographie. Stuttgart, 1907.
- 31 TRABERT (W.). Lehrbuch d. kosmischen Physik. Leipzig et Berlin 1911.
- 32 GROLL (M.). Tiefenkarten der Ozeane. *Veröff. d. Inst. f. Meereskunde*, Nouvelle série, A, fasc. 2, Berlin, 1912.
- 33 HEIM (A.). Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. 2<sup>e</sup> partie, Basel, 1878.
- 34 KAYSER (E.). Lehrbuch d. allgem. Geologie. 5<sup>e</sup> éd., Stuttgart, 1918.
- 35 SOERGEL (W.). Die atlantische « Spalte ». Kritische Bemerkungen zu A. WEGENERS Theorie von der Kontinentalverschiebung. *Monatsber. d. D. Geol. Ges.*, T. 68, 1916, pp. 200-239.
- 36 DOUGLAS (G. V. et A. V.). Note on the Interpretation of the WEGENER Frequency Curve. *Geolog. Magazine*, T. 60, 1923, N<sup>o</sup> 705.
- 37 WEGENER (A.). Der Boden des Atlantischen Ozeans. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 17, 1927, fasc. 3, pp. 311-321.
- 38 KOSSMAT (F.). Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde. *Geolog. Rundsch.*, T. 12, 1921, pp. 165-189.
- 39 VENING-MEINESZ (F. A.). Provisional Results of Determinations of Gravity, made during the Voyage of Her Majesty's Submarine K XIII from Holland via Panama to Java. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam Proceed.*, T. 30, 1927, N<sup>o</sup> 7. — Gravity survey by Submarine via Panama to Java. *The Geogr. Journ.*, London, T. 71, Febr. 1928, N<sup>o</sup> 2. — Sur l'interprétation géologique, voir BORN (A.). Die Schwereverhältnisse auf dem Meere auf Grund der Pendelmessungen von Prof. VENING-MEINESZ, 1926. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 3, 1927, fasc. 8, p. 400.
- 40 SCHWEYDAR (W.). Bemerkungen zu WEGENERS Hypothese der Verschiebung der Kontinente. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1921, pp. 120-125.
- 41 HEISKANEN (W.). Untersuchungen über Schwerkraft und Isostasie. *Veröff. d. Finn. Geodät. Instituts*, N<sup>o</sup> 4, Helsinki, 1924.
- 42 HEISKANEN (W.). Die AIRYSche isostatische Hypothese und Schwere-messung. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 1, 1924-25, p. 225.
- 43 BORN (A.). Isostasie und Schwere-messung. Berlin, 1923.
- 44 GUTENBERG (B.). Der Aufbau der Erde. Berlin, 1925.

- 45 GUTENBERG (B.). Lehrbuch d. Geophys. Berlin, 1927/28.
- 46 TAMS (E.). Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen längs kontinentaler und ozeanischer Wege. *Centralbl. f. Min., Geol. u. Paläont.*, 1921, pp. 44-52, 75-83.
- 47 ANGENHEISTER (G.). Beobachtungen an pazifischen Beben. *Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Math.-Phys. Klasse*, 1921, 34 p.
- 48 VISSER (S. W.). On the distribution of earthquakes in the Netherlands East Indian archipelago 1909/19. Batavia, 1921.
- 49 WELLMANN (H.). Über die Untersuchung der Perioden der Nachläuferwellen in Fernbebenregistrierungen auf Grund Hamburger und geeigneter Beobachtungen. Dissertation. Hamburg, 1922.
- 50 WILDE (H.). *Roy. Soc. Proc.*, June 19, 1890 et January 22, 1891.
- 51 RUCKER (A. W.). The secondary magnetic field of the earth. *Terrrestrial Magnetism and atmospheric Electricity*, T. 4, mars-décembre 1899, pp. 113-129.
- 52 RACLOT. Sur l'origine du magnétisme terrestre. *C. R. Acad. d. Sciences*, T. 164, 1917, p. 150.
- 53 JEFFREYS (H.). On the Earth's Thermal History and some related Geological Phenomena. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 18, 1927, pp. 1-29.
- 54 DALY (R. A.). Our Mobile Earth. London, 1926.
- 55 MOHOROVICIC (S.). Über Nahbeben und über die Konstitution des Erd- und Mondinnern. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 17, 1927, pp. 180-231.
- 56 JOLY (J.). The Surface History of the Earth. Oxford, 1925, 192 p.; sous le même titre aussi in *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 15, 1926, pp. 189-200.
- 57 HOLMES (A.). Contributions to the Theory of Magmatic Cycles. *Geol. Mag.*, T. 63, 1926, pp. 306-329. — *Journ. of Geol.*, June-July 1926. — Oceanic Deeps and the Thickness of the Continents. *Nature*, London, 3 Dec. 1927.
- 58 JOLY (J.) and POOLE (J. H. J.). On the Nature and Origin of the Earth's Surface Structure. *Phil. Mag.*, 1927, pp. 1233-1246.
- 59 GUTENBERG (B.). Der Aufbau der Erdkruste. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 3, 1927, fasc. 7, p. 371.
- 60 PREY (A.). Über Flutreibung und Kontinentalverschiebung. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 15, 1926, fasc. 4, pp. 401-411.
- 61 SCHWEYDAR (W.). Untersuchungen über die Gezeiten der festen Erde. *Veröff. d. Preuss. Geodät. Inst.*, Nouvelle Série, N° 54, Berlin, 1912.
- 62 SCHWEYDAR (W.). Die Polbewegung in Beziehung zur Zähigkeit und zu einer hypothetischen Magmaschicht der Erde. *Veröff. d. Preuss. Geodät. Inst.*, Nouvelle Série, N° 79, Berlin, 1919.
- 63 GREEN (W. L.). The Causes of the Pyramidal Form of the Outline of the Southern Extremities of the Great Continents and Peninsulas of the Globe. *Edinburgh New Philosophical Journ.*, Nouvelle Série, T. 6, 1857; ainsi que : Vestiges of the Molten Globe, 1875.
- 64 MEYERMANN (B.). Die Westdrift der Erdoberfläche. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 2, 1926, fasc. 5, p. 204.
- 65 MEYERMANN (B.). Die Zähigkeit des Magmas. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 3, 1927, fasc. 4, pp. 135-136.
- 66 SCHULER (M.). Schwankungen in der Länge des Tages. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 3, 1927, fasc. 2/3, p. 71.

- 67 DALY (R. A.). The Earth's Crust and its Stability, Decrease of the Earth's Rotational Velocity and its Geological Effects. *The Amer. Journ. of Science*, T. 5, May 1923, pp. 349-377.
- 68 AMPFERER (O.). Über Kontinentverschiebungen. *Die Naturwissenschaften*, T. 13, 1925, p. 669.
- 69 SCHWINNER (R.). Vulkanismus und Gebirgsbildung. Ein Versuch. *Zeitschr. f. Vulkanologie*, T. 5, 1919, pp. 175-230.
- 70 KIRSCH (G.). Geologie und Radioaktivität. Wien et Berlin, Springer, 1928. (pp. 155 et suivantes.)
- 71 PENCK (A.). Hebungen und Senkungen. *Himmel und Erde*, T. 25, fasc. 1 et 2, sans date.
- 72 KEIDEL (J.). La Geología de las Sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus Relaciones con las Montañas de Sud Africa y los Andes. *Annal. del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería*, Buenos Aires, T. 11, 1916, N° 3.
- 73 KEIDEL (H.). Über das Alter, die Verbreitung und die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen tektonischen Strukturen in den argentinischen Gebirgen. Etude faite à la XII<sup>e</sup> Session du Congrès géologique international, reproduite du *Compte-Rendu*, pp. 671-687, sans date.
- 74 BROUWER (H. A.). De Alkaligesteenten van de Serra do Gericino ten Noordwesten van Rio de Janeiro en de overeenkomst der eruptiefgesteenten van Brazilië en Zuid-Afrika. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam*, 1921, fasc. 29, pp. 1005-1020.
- 75 DU TOIT (Alex. L.). The Carboniferous Glaciation of South Africa. *Trans. of the Geolog. Soc. of South Africa*, T. 24, 1921, pp. 188-227.
- 76 LEMOINE. Afrique occidentale. *Handb. d. regionalen Geologie*, T. VII, 6 A, fasc. 14, Heidelberg, 1913, p. 57.
- 77 MAACK (R.). Eine Forschungsreise über das Hochland von Minas Geraes zum Paranyba. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1926, pp. 310-323.
- 78 DU TOIT (Alex. L.). A Geological Comparison of South America with South Africa. With a palaeontological contribution by F. R. COWPER REED. *Carnegie Institution of Washington Publ.*, N° 381. Washington, 1927.
- 79 PASSARGE. Die Kalahari. Berlin, 1904.
- 80 WINDHAUSEN (A.). Ein Blick auf Schichtenfolge und Gebirgsbau im südlichen Patagonien. *Geol. Rundsch.*, T. 12, 1921, pp. 109-137.
- 81 GAGEL. Die mittelatlantischen Vulkaninseln. *Handb. d. regionalen Geologie*, T. VII, 10, fasc. 4, Heidelberg, 1910.
- 82 KOSSMAT (F.). Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. *Abhandl. der Math.-Phys. Kl. d. Sächsischen Akad. d. Wiss.*, T. 38, N° 2, Leipzig, 1921.
- 83 ANDREE (K.). Verschiedene Beiträge zur Geologie Kanadas. *Schriften d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturwiss. zu Marburg*, T. 13 (7), Marburg, 1914, pp. 437 et suivantes.
- 84 TILMANN (N.). Die Struktur und tektonische Stellung der kanadischen Appalachen. *Sitz.-Ber. d. naturwiss. Abt. d. Niederrhein. Ges. f. Natur- u. Heilkunde in Bonn*, 1916.
- 85 LAUGE-KOCH. Stratigraphy of Northwest Greenland. *Meddelelser fra Dansk geologisk Forening*, T. 5, N° 17, 1920, 78 p.
- 86 MANTOVANI (R.). L'Antarctide. *Je m'instruis*, 19 sept, 1909, pp. 595-597.

- 87 LEMOINE. Madagascar. Handb. d. regionalen Geologie, T. VII, 4. fasc. 6, Heidelberg, 1911.
- 88 KLEBELSBERG (R. von). Die Pamir-Expedition des D. u. Osterr. Alpen-Vereins vom geologischen Standpunkt. *Zeitschr. d. D. u. Osterr. A.-V.*, T. 45, 1914, pp. 52-60.
- 89 WILCKENS (O.). Die Geologie von Neuseeland. *Die Naturwissenschaften*, 1920, fasc. 41. *Aussi Geol. Rundsch.*, T. 8, 1917, pp. 143-161.
- 90 BROUWER (H. A.). On the Crustal Movements in the region of the curving rows of Islands in the Eastern Part of the East-Indian Archipelago. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam Proceed.*, T. 22, 1919, N° 7 et 8, pp. 772-782. *Aussi Geol. Rundsch.*, T. 8, 1917, fasc. 5-8 et *Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen*, 1920.
- 91 MOLENGRAAFF (G. A. F.). The Coral Reef problem and Isostasy. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam*, 1916, p. 621 (note).
- 92 VUUREN (L. van). Het Gouvernement Celebes. *Proeve eener Monographie*, T. 1, 1920, p. 6-50.
- 93 WING EASTON. Het Onstaan van den maleischen Archipel, bezien in het licht van WEGENER's hypothesen. *Tijdschrift van het Kon. Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, T. 38, N° 4, juil. 1921, pp. 484-512. Puis : On some extensions of WEGENER's Hypothesis and their bearing upon the meaning of the terms Geosynclines and Isostasy. *Verh. van het Geolog. - Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Kolonien, Geolog. Ser.*, fasc. V, juillet 1921, pp. 113-133. [On y propose des modifications, pas très heureuses à mon avis, à la théorie des translations.]
- 94 SMIT SIBINGA (G. L.). WEGENER's Theorie en het ontstaan van den oostelijken O. J. Archipel. *Tijdschrift van het Kon. Ned. Aardrijkskundig Genootschap*, XLIV, 2<sup>e</sup> série, 1927, fasc. 5.
- 95 ESCHER (B. G.). Over Oorzaak en Verband der inwendige geologische Krachten. Leiden, 1922.
- 96 WANNER. Zur Tektonik der Molukken. *Geol. Rundsch.*, T. 12, 1921, p. 160.
- 97 MOLENGRAAFF (G. A. F.). De Geologie der Zeeën van Nederlandsch-Oost-Indië (Overgedrukt uit : De Zeeën van Nederlandsch-Oost-Indië). Leiden, 1921.
- 98 GAGEL (C.). Beiträge zur Geologie von Kaiser-Wilhelmsland. *Beitr. z. geol. Erforsch. d. Deutsch. Schutzgebiete*, fasc. 4, Berlin, 1912, 55 p.
- 99 SAPPER (K.). Zur Kenntnis Neu-Pommerns und des Kaiser-Wilhelmslandes. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 56, 1910, pp. 89-193.
- 100 KUHN (F.). Der sogenannte « Südantillen-Bogen » und seine Beziehungen. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, N° 8/10, 1920, pp. 249-262.
- 101 TAYLOR (F. B.). Greater Asia and Isostasy. *Amer. Journ. of Science*, T. 12, juillet 1926, pp. 47-67.
- 102 JEFFREYS (H.). The Earth : its Origin, History and Physical Constitution. Cambridge, University Press, 1924.
- 103 CLOOS (H.). Geologische Beobachtungen in Südafrika. IV. Granite des Tafellandes und ihre Raumbildung. *Neues Jahrb. f. Min., Geol. u. Paläont.*, T. suppl. 42, pp. 420-456.
- 104 GUTENBERG (B.). Mechanik und Thermodynamik des Erdkörpers. in MULLER-POUILLET, T. V, 1 (Geophysik). Braunschweig, 1928.
- 105 MATLEY (C. A.). The Geology of the Cayman Islands (British West Indies). *Quart. Journ. Geol. Soc.*, T. 82, 3<sup>e</sup> partie, 1926, pp. 352-387.

- 106 HERMANN (F.). Paléogéographie et genèse penniques. *Eclogae geologicae Helvetiae*, T. 19, 1925, N° 3, pp. 604-618.
- 107 EVANS (J. W.). Regions of Tension. *Proceed. Geolog. Soc.*, T. 81, 2<sup>e</sup> partie, London, 1925, pp. LXXX-CXXII.
- 108 DIENER. Die Grossformen der Erdoberflächen. *Mitt. d. k. k. geol. Ges. Wien*, T. 58, 1915, pp. 329-349. — Die Marinen Reiche der Triasperiode. *Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl.*, 1915.
- 109 JAWORSKI. Das Alter des südatlantischen Beckens. *Geol. Rundsch.*, 1921, p. 60-74.
- 110 PENCK (A.). WEGENERS Hypothese der kontinentalen Verschiebungen. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1921, pp. 110-120.
- 111 PENCK (W.). Zur Hypothese der Kontinentalverschiebung. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1921, pp. 130-143.
- 112 BROUWER (H. A.). On the Non-existence of Active Volcanoes between Pantar and Dammer (East Indian Archipelago) in Connection with the Tectonic Movements in this Region. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam Proceed.*, T. 21, 1917, N° 6 et 7.
- 113 WASHINGTON (H. S.). Comagmatic regions and the WEGENER hypothesis. *Journ. of the Washington Acad. of Sciences*, T. 13, sept. 1923, pp. 339-347.
- 114 NOLKE (F.). Physikalische Bedenken gegen A. WEGENERS Hypothese der Entstehung der Kontinente und Ozeane. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1922, p. 114.
- 115 STROMER. *Geogr. Zeitschr.* 1920, p. 287 et suivantes.
- 116 OKLAND (F.). Einige Argumente aus der Verbreitung der nord-europäischen Fauna mit Bezug auf WEGENERS Verschiebungstheorie. *Nyt. Mag. f. Naturv.*, T. 65, 1927, pp. 339-363.
- 117 UBISCH (L. von). WEGENERS Kontinentalverschiebungstheorie und die Tiergeographie. *Verh. d. Physikal. - Med. Ges. zu Würzburg*, 1921.
- 118 COLOSI (G.). La Teoria della traslazione dei continenti e le dottrine biogeografiche. *L'Universo*, T. 6, mars 1925, N° 3. (Accompagné par des indications bibliographiques dans le domaine de la biogéographie.)
- 119 ECKHARD (W. R.). Die Beziehungen der afrikanischen Tierwelt zur südasiatischen. *Nat. Wochenschr.*, 1922, N° 51.
- 120 OSTERWALD (H.). Das Problem der Aalwanderungen im Lichte der WEGENERSchen Verschiebungstheorie. *Umschau*, 1928, pp. 127-128.
- 121 WEGENER (A.). Die geophysikalischen Grundlagen der Theorie der Kontinentenverschiebung. *Scientia*, févr. 1927.
- 122 IHERING (H. von). Die Geschichte des Atlantischen Ozeans. Jena, 1927.
- 123 BEAUFORT (L. F. de). De beteekenis van de theorie van WEGENER voor de zoögeografie. *Handelingen van het XX<sup>e</sup> Ned. Natuur- en Geneeskundig Congress. Groningen, 14/16 avril 1925.*
- 124 HERGSELL (H.). Die Abkühlung der Erde und die gebirgsbildenden Kräfte. *Beitr. z. Geophys.*, T. 2, 1895, p. 153.
- 125 SEMPER. Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozäns in Europa und den Polargebieten. *Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges.*, T. 48, 1896, pp. 261 et suivantes.
- 126 SCHROTER. Article « Geographie der Pflanzen » in *Handwörterbuch der Naturwissenschaften.*
- 127 KOPPEN (W.). Das Klima Patagoniens im Tertiär und Quartär. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 17, 1927, fasc. 3, pp. 391-394.

- 128 WEGENER (A.). Bemerkungen zu H. von IHERINGs Kritik der Theorien der Kontinentverschiebungen und der Polwanderungen. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 4, 1928, fasc. 1, pp. 46-48.
- 129 KLEBELSBERG (R. von). Die marine Fauna der Ostrauer Schichten. *Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt*, T. 62, 1912, pp. 461-556.
- 130 HUUS (J.). Über die Ausbreitungshindernisse der Meerestiefen und die geographische Verbreitung der Ascidien. *Nyt Mag. f. Naturv.*, T. 65, 1927.
- 131 SCHARFF. Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika. *Proc. of the Royal Irish Ac.* T. 28, 1909, pp. 1-28. Cité in ARLDT, *Naturw. Rundsch.*, 1910.
- 132 PETERSEN (W.). *Eupithecia fenestrata* Mill, als Zeuge einer tertiären Landverbindung von Nord-Amerika mit Europa. *Beitr. z. Kunde Estlands*, T. 9, 1922, pp. 4-5.
- 133 HOFFMANN (H.). Moderne Probleme der Tiergeographie. *Die Naturwissenschaften*, T. 13, 1925, pp. 77-83.
- 134 UBISCH (L. von). Stimmen die Ergebnisse der Aalforschung mit WEGENERs Theorie der Kontinentalverschiebung überein? *Die Naturwissenschaften*, T. 12, 1924, pp. 345-348.
- 135 ARLDT (Th.). Südatlantische Beziehungen. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 62, 1916, pp. 41-46.
- 136 HANDLIRSCH (A.). Beiträge zur exakten Biologie. *Sitz.-Ber. d. Wiener Ak. d. Wiss.*, math.-naturw. Kl., T. 122, 1913, p. 1.
- 137 KUBART (B.). Bemerkungen zu Alfred WEGENERs Verschiebungstheorie. *Arb. d. phytopaläont. Lab. d. Univ. Graz*, T. 2, 1926.
- 138 SAHNI (B.). The Southern Fossil Floras : a Study in the Plant-Geography of the Past. *Proc. of the 13th Indian Science Congress*, 1926.
- 139 WALLACE. Die Geographische Verbreitung der Tiere. Trad. allem. par MEYER, Dresden, 1876, 2 vols.
- 140 BRESSLAU (E.). Article « *Plathelminthes* » in *Handwörterbuch d. Naturw.*, T. 7, p. 993. — Voir aussi ZSCHOKKE. *Zentralbl. Bakt. Paras.*, T. 1, 1904, p. 36.
- 141 MARSHALL (P.). New Zealand. *Handb. d. regional. Geol.*, T. 7 (1) 1911.
- 142 BRONSTED (H. V.). Sponges from New Zealand. Papers from Dr. Th. MORTENSEN's Pacific Expedition 1914-16. *Vidensk. Medd. fra Dansk naturh. Foren.*, T. 77, pp. 435-483 et T. 81, pp. 295-331.
- 143 MEYRICK (E.). WEGENERs Hypothesis and the distribution of Micro-Lepidoptera. *Nature*, London, 1925, pp. 834-835.
- 144 SIMROTH. Über das Problem früheren Landzusammenhangs auf der südlichen Erdhälfte. *Geogr. Zeitschr.*, T. 7, 1901, pp. 665-676.
- 145 ANDREE. Das Problem der Permanenz der Ozeane und Kontinente. *Peterm., Geogr. Mitt.*, T. 63, 1917, p. 348.
- 146 ARLDT (Th.). Die Frage der Permanenz der Kontinente und Ozeane. *Geogr. Anzeiger*, T. 19, 1918, pp. 2-12.
- 147 GRIESEBACH (A.). Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung. Ein Abriss der vergleichenden Geographie der Pflanzen, Leipzig, 1872, T. 2, pp. 528 et 632.
- 148 DRUDE (O.). *Handbuch der Pflanzengeographie*. Stuttgart, 1890, p. 487.
- 149 UBISCH (L. von). Hermann von IHERINGs « Geschichte des Atlantischen Ozeans ». *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1927, pp. 206-207.

- 150 IRMSCHER (E.). Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. Studien zur genetischen Pflanzengeographie. *Mitt. aus d. Inst. f. allgem. Botanik in Hamburg*, T. 5, 1922, pp. 15-235.
- 151 KOPPEN (W.) und WEGENER (A.). Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, 1924, 256 p.
- 152 STUDDT (W.). Die Heutige und frühere Verbreitung der Koniferen und die Geschichte ihrer Arealgestaltung. Dissertation. Hamburg, 1926.
- 153 KOCH (F.). Über die rezente und fossile Verbreitung der Koniferen im Lichte neuerer geologischen Theorien. *Mitt. d. Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*, N° 34, 1924.
- 154 MICHAELSEN (W.). Die Verbreitung der Oligochäten im Lichte der WEGENERSchen Theorie der Kontinentenverschiebung und andere Fragen zur Stammesgeschichte und Verbreitung dieser Tiergruppe. *Verh. d. naturw. Ver. zu Hamburg im Jahre 1921*. Hamburg, 1922, 37 p.
- 155 SVEDELIUS (N.). On the Discontinuous geographical Distribution of some tropical and subtropical Marine Algae. *Arkiv för Botanik, utg. av K. Svenska Vetensk. Ak.*, T. 19, 1924, N° 3.
- 156 KOPPEN (W.). Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Berlin et Leipzig, 1923.
- 157 PASCHINGER (V.). Die Schneegrenze in verschiedenen Klimaten. *Petern. Geogr. Mitt.*, 1912, fasc. compl. 173.
- 158 KOPPEN (W.). Die Lufttemperatur an der Schneegrenze. *Petern. Geogr. Mitt.* [Tirage à part, sans date.]
- 159 ARLDT (Th.). Die Ursachen der Klimaschwankungen der Vorzeit, besonders der Eiszeiten. *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, T. 11, 1918.
- 160 CHAMBERLIN (Rollin T.). Objections to WEGENERS Theory, 1928; in [228].
- 161 REIBISCH (P.). Ein Gestaltungsprinzip der Erde. 27. *Jahresbericht d. Ver. Erdkunde zu Dresden*, 1901, pp. 105-124. — Deuxième mémoire [contient seulement des compléments sans importance]. *Mitt. Ver. Erdk. Dresden*, T. 1, 1905, pp. 39-53. — III. Die Eiszeiten. *Id.*, T. 6, 1907, pp. 58-75.
- 162 SIMROTH (H.). Die Pendulationstheorie. Leipzig, 1907.
- 163 SCHUCHERT (Ch.). The Hypothesis of continental displacement, 1928; in [228].
- 164 JACOBITTI (E.). Mobilità dell' Assa Terrestre, Studio Geologico. Torino, 1912.
- 165 MOLENGRAAFF (G. A. F.). The Glacial Origin of the Dwyka Conglomerate. *Trans. of the Geol. Soc. of South Africa*, T. 4, 1898, pp. 103-115.
- 166 DU TOIT (A.). The Carboniferous Glaciation of South Africa. *Id.*, T. 24, 1921, pp. 188-227.
- 167 KOKEN. Indisches Perm und die permische Eiszeit. Vol. jubil. de d. N. *Jahrb. f. Min.*, 1907.
- 168 SAYLES (R. W.). The Squantum Tillite. *Bull. of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, T. 56, N° 2 (Geol. Series, vol 10), Cambridge, 1914.
- 169 POTONIE (H.). Die Tropensumpfflachmoornatur der Moore des produktiven Karbons. *Jahrb. d. Kgl. Preuss. Geol. Landesanstalt*, T. 30, première partie, Berlin, 1909, fasc. 3. — Die Entstehung der Steinkohle, 5<sup>e</sup> éd. Berlin, 1910, p. 164.



- 170 RUDZKI. L'Age de la Terre. *Scientia*, T. 13, N° 28 (2), 1913, pp. 161-173.
- 171 DACQUE (E.). Paragraphe « Paléogéographie » in *Enzyklopädie der Erdkunde*, éd. par KENDE. Leipzig & Wien, 1926.
- 172 Danmark-Ekspeditionen til Grönlands Nordøstkyst 1906/08 under Ledelsen af L. MYLIUS-ERICHSEN, T. 6. (*Meddelelser om Grönland*, T. 46), Köbenhavn, 1917.
- 173 BURMEISTER (F.). Die Verschiebung Grönlands nach den astronomischen Längenbestimmungen. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1921, pp. 225-227.
- 174 JENSEN (P. F.). Ekspeditionen til Vestgrönland Sommeren 1922. *Meddelelser om Grönland*, Köbenhavn, T. 63, 1923, pp. 205-283.
- 175 WEGENER (A.). Ekspeditionen til Vestgrönland Sommeren 1922. (P. F. JENSEN, *Meddelelser om Grönland*, T. 63, Köbenhavn, 1923, pp. 205-283). — *Die Naturwissenschaften*, 1923, pp. 982-983.
- 176 STUCK (E.). Breiten- und Längenbestimmungen in Westgrönland im Sommer 1922. *Annal. d. Hydrographie*, etc., 1923, pp. 290-292.
- 177 GALLE. Entfernen sich Europa und Nordamerika voneinander? *Deutsche Revue*, février 1916.
- 178 Jahresber. d. preuss. Geodät. Institut. in *Vierteljahrsschr. d. Astron. Ges.*, T. 51, p. 139; ainsi que *Astronomical Journal*, N°s 673-674.
- 179 WANACH (B.). Ein Beitrag zur Frage der Kontinentalverschiebung. *Zeitschr. f. Geophysik*, T. 2, 1926, pp. 161-163.
- 180 POISSON (Ch.). L'Observatoire de Tananarive, Paris, Spes, 1924, 80 p. — COLLIN (Le Rév. P. E.), *C. R. Acad. des Sciences*, Paris, 5 mars 1894, p. 512. — Puis *La Géographie*, T. 45, 1926, pp. 354-355, où l'on indique également les positions.
- 181 GUNTHER. Lehrbuch d. Geophysik, T. 1, Stuttgart, 1897, p. 278.
- 182 LAMBERT (W. D.). The Latitude of Ukiah and the Motion of the Pole. *Journ. of the Washington Ac. of Sc.*, T. 12, 19 janv. 1922, N° 2.
- 183 NEUMAYR-UHLIG. Erdgeschichte. I. Allgem. Geol., 2° éd. Leipzig & Wien, 1897, p. 367.
- 184 KOHLSCHUTTER (E.). Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. *Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen*, Math.-Phys. Kl., 1911.
- 185 GREGORY (J. W.). The Nature and Origin of Fjords. London, 1913, 542 p.
- 186 RICHTHOFEN (F. von). Über Gebirgskettungen in Ostasien. Geomorphologische Studien aus Ostasien, IV. *Sitz.-Ber. d. Kgl. Preuss. Akad. d. Wiss. Berlin*, Math.-Phys. Kl., T. 40, 1903, pp. 867-891.
- 187 WITICH (E.). Über Meeresschwankungen an der Küste von Kalifornien. *Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges.*, T. 64, 1912, compte rendu mensuel N° 11, pp. 505-512; — La Emersion moderna de la costa occidental de la Baja California. *Mem. de la Sociedad «Alzate»*, Mexico, T. 35, 1920, pp. 121-144.
- 188 TAMS. Die Entstehung des kalifornischen Erdbebens vom 18. April 1906. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 64, 1918, p. 77.
- 189 LAWSON (A. C.). The Mobility of the Coast Ranges of California. *University of California Publ., Geology*, T. 12, 1921, N° 7, pp. 431-473.
- 190 MEISSNER (O.). Isostasie und Küstentypus. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 64, 1918, p. 221.

- 191 LOZINSKI (W. von). Vulkanismus und Zusammenschub. *Geol. Rundsch.*, T. 9, 1918, pp. 65-98.
- 192 STEINMANN. Die Kambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwicklung. *Geol. Rundsch.*, T. 1, 1910, p. 69.
- 193 GOTHAN. Neues von den ältesten Landpflanzen. *Die Naturwissenschaften*, T. 9, 1921, p. 553.
- 194 WALTHER (J.). Über Entstehung und Besiedelung der Tiefseebecken. *Naturwiss. Wochenschr.*, Nouvelle Série, T. 3, fasc. 46.
- 195 FUJIWHARA (S.). On the Echelon Structure of Japanese Volcanic Ranges and its Significance from the Vertical Point of View. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 16, 1927, fasc. 1/2.
- 196 GUTENBERG (B.). Die Veränderungen der Erdkruste durch Fließbewegungen der Kontinentalscholle. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 16, 1927, pp. 239-247; T. 18, 1927, pp. 225-246.
- 197 WEGENER (A.). Der Boden des Atlantischen Ozeans. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 17, 1927, fasc. 3, pp. 311-321.
- 198 HECKER (O.). Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Grossen Ozean und an den Küsten. *Zentralbureau d. Internat. Erdmess.*, Nouvelle Série, N° 16, Berlin, 1908.
- 199 EOTVOS. Verh. d. 17. Allg. Konf. d. Internat. Erdmessung, première partie, 1913, p. 11.
- 200 KOPPEN (W.). Ursachen und Wirkungen der Kontinentenverschiebungen und Polwanderungen. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1921, pp. 145-149 et 191-194. Voir surtout p. 149. — Über Änderungen der geographischen Breiten und des Klimas in geologischer Zeit. *Geografiska Annaler*, 1920, pp. 285-299. — Zur Paläoklimatologie. *Meteorol. Zeitschr.*, 1921, pp. 97-101 (avec une autre figure). — Über die Kräfte, welche die Kontinentenverschiebungen und Polwanderungen bewirken. *Geol. Rundsch.*, T. 12, 1922, pp. 314-320.
- 201 EPSTEIN (P. S.). Über die Polflucht der Kontinente. *Die Naturwissenschaften*, T. 9, fasc. 25, pp. 499-502.
- 202 LAMBERT (W. D.). Some Mechanical Curiosities connected with the Earth's Field of Force. *The Amer. Journ. of Science*, T. 2, sept. 1921, pp. 129-158.
- 203 BERNER (R.). Sur la grandeur de la force qui tendrait à rapprocher un continent de l'équateur. Thèse. Genève, 1925.
- 204 WAVRE (R.). Sur la force qui tendrait à rapprocher un continent de l'équateur. *Arch. des Sc. Phys. et Nat.*, août 1925.
- 205 MOLLER (M.). Kraftarten und Bewegungsformen. Braunschweig, 1922.
- 206 LELY (U. P.). Een Proef die de Krachten demonstreert, welke de Continentendrift kan veroorzaken. « *Physica* », *Ned. Tijdschr. voor Natuurkunde*, 7<sup>e</sup> année, 1927, pp. 278-281.
- 207 MEYER (St.) und SCHWEYDLER (E.). Radioaktivität. 2<sup>e</sup> éd. Leipzig, 1927, pp. 558 et suivantes.
- 208 WANACH (B.). Eine fortschreitende Lagenänderung der Erdachse. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 3, fasc 2/3, p. 102-105.
- 209 JENSEN. Lettre de l'Oberstleutnant JENSEN, avec l'autorisation de M. le Professeur NORLUND. [Inédite.]
- 210 WATERSCHOOT VAN DER GRACHT (W. A. J. M. van). Remarks regarding the papers offered by the other contributors to the symposium, 1928; in [228].

- 211 SCHIAPARELLI. De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques. Mém. prés. à l'Observatoire de Poulkova à l'occasion de sa fête semi-séculaire. St. Pétersbourg, 1889. 32 p.
- 212 THOMPSON (Sir W.). Report of Section of Mathematics and Physics, p. 11. Report of the British Association..., 1876.
- 213 FERRIE (G.). L'Opération des longitudes mondiales (octobre-novembre 1926). *C. R. Acad. des Sciences*, T. 186. mars 1928.
- 214 STAUB (R.). Das Bewegungsproblem in der modernen Geologie. Leçon inaugurale. Zurich, 1928.
- 215 STAUB (R.). Der Bewegungsmechanismus der Erde. Berlin, 1928.
- 216 SLUYS (M.). Les Périodes glaciaires dans le Bassin Congolais. Compte Rendu du Congrès de Bordeaux (1923) de l'Assoc. Franç. pour l'Avancement des Sciences, juillet 1923.
- 217 WEGENER (A.). Two notes concerning my Theory of Continental Drift, 1928; in [228].
- 218 KOPPEN (W.). Muss man neben Kontinentenverschiebung noch eine Polwanderung in der Erdgeschichte annehmen? *Peterm. Geogr. Mitt.*, 1925, pp. 160-162.
- 219 HEISKANEN (W.). Die Erddimensionen nach den europäischen Gradmessungen. *Veröff. d. Finn. Geodät. Inst.*, N° 6, Helsinki, 1926.
- 220 SCHUMANN (R.). Über Erdschollen - Bewegung und Polhöenschwankung. *Astr. Nachr.*, T. 227, N° 5442, 1926, pp. 289-304.
- 221 LAMBERT (W. D.). The Variation of Latitude. *Bull. of the National Research Council*, T. 10, 3<sup>e</sup> partie, N° 53, Washington, 1925, pp. 43-45.
- 222 NANSEN (F.). The Earth's Crust, its Surface-Forms, and Isostatic Adjustment. *Avhandl. utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo*, I. Mat.-Nat. Kl., 1927, N° 12, Oslo, 1928, 121 p.
- 223 BYERLY (P.). The Montana Earthquake of June 28, 1925. *G. M. C. T. The Bull. of the Seismological Soc. of America*, T. 16, Déc. 1926, N° 4.
- 224 BOWIE (W.). Isostasy. New-York, Dutton & Cie, 1927, XVI + 276 p.
- 225 JASCHNOV (W. A.). Crustacea von Nowaja Zemlja. Extrait des *Comptes Rendus de l'Institut Océanographique de Moscou*, 12<sup>e</sup> fasc., Moscou, 1925 (en russe, avec résumé en allemand).
- 226 DIENER (C.). Grundzüge der Biostratigraphie. Leipzig & Wien, 1925.
- 227 UBISCH (L. von). Tiergeographie und Kontinentalverschiebung. *Zeitschr. f. induktive Abstammungs- und Vererbungslehre*, T. 47, 1928, pp. 159-179.
- 228 **Theory of continental drift**, a symposium on the origin and movement of land masses both inter-continental and intra-continental, as proposed by Alfred WEGENER, by W. A. J. M. van WATERSCHOOT VAN DER GRACHT, Bailey WILLIS, Rollin T. CHAMBERLIN, John JOLY, G. A. F. MOLENGRAAFF, J. W. GREGORY, Alfred WEGENER, Charles SCHUCHERT, Chester R. LONGWELL, Frank Bursley TAYLOR, William BOWIE, David WHITE, Joseph T. SINGERWALD, Jr., and Edward W. BERRY. Publ. by the American Association of Petroleum Geologists. London, 1928, 240 p.
- 229 BRENNECKE (E.). Die Aufgaben und Arbeiten des Geodät. Instit. in Potsdam in der Zeit nach dem Weltkriege. *Zeitschr. f. Vermess.-Wesen*, 1927, fasc. 23 et 24.

## BIBLIOGRAPHIE RÉCENTE \*

- 1927 LAM (J. H.). Some remarks on the genetic phytogeography of the Malay Archipelago. *Ann. Jard. bot. Buitenzorg*, T. 37, p. 33.
- STEENIS (C. G. G. J. van). Malayan Bignoniaceae. Their taxonomy, origin and geographical distribution. *Rec. Trav. Bot Néerl.*, T. 24, p. 787.
- WALTER (H.). Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena, 1927, XII + 458 p.
- 1928 BACHANIEWICZ (T.). Méthode de liaison géodésique entre les continents (en polonais). *Spram Polsk Ak.*, N° 5.
- + CORTESE (E.). L'Ipotesi de WEGENER sulla traslazione dei continenti. Firenze, Vallecchi, 19 p.
- DANSER (B. H.). The Nepenthaecae of the Nederlands Indies. *Bull. Jard. bot. Buitenzorg*, 3<sup>e</sup> série, T. 9, p. 249.
- DIELS (L.). Kontinentalverschiebung und Pflanzengeographie. *Ber. D. Bot. Ges.*, T. 46, p. 49.
- DRYGALSKI (E. von). Die Gleichgewichtslage der Erdkruste und ihre Bewegungen. *Münch. Ber.*, p. 311.
- FOURMARIER (P.). Les Idées actuelles sur les déformations de l'écorce terrestre, et la théorie de la dérive des continents. Suivi des essais sur la réfutation du raisonnement mathématique de la théorie des translations continentales par L. HERMANS et L. CAUCHIE. *Rev. Univ. Mines*, sér. 7, VIII, p. 53.
- GORTANI (H.). Ipotesi e teori geotettoniche. *Giorn. Geol.*, 2<sup>e</sup> série, T. 3, p. 1.
- HARRISON (L.). The Composition and Origin of the Australian Fauna, with special reference to the WEGENER hypothesis. *Reports Australasian Assoc. Adv. Sc.*, T. 18, p. 332.
- HOLMES (A.). Continental Drift. *Nature*, London, T. 122, p. 431.
- + HOLMES (A.). Radioactivity and Continental Drift. *Geol. Mag.*, p. 236.
- IHERING (H. von). Die Verschiebungstheorie der Kontinente und die Bildung des süd- und mittelatlantischen Beckens. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 18, p. 266.

---

\* Nous donnons dans cette bibliographie la liste des ouvrages parus depuis la publication de la 4<sup>e</sup> édition (allemande) de ce livre, ou un peu avant cette publication, et ayant trait à la théorie de WEGENER. La rédaction en a été faite par MM. FR. VIEWEG & SOHN à l'aide des indications bibliographiques mises gracieusement à leur disposition par MM. les Professeurs IRMSCHER (Biogéographie), RUGER (Géologie), SCHMEHL (Géodésie) et K. WEGENER (Géophysique).

Les articles ou ouvrages précédés du signe +, qui ont été omis dans la 5<sup>e</sup> édition allemande, augmentent cette abondante bibliographie qui est loin d'être complète. [Note du Trad. et de l'Editeur].

- KEITH (Ch.). Structural symmetry in North America. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 39, p. 321.
- + KLUTE (F.). Die Bedeutung der Depression der Schneegrenze für eiszeitliche Problemen. *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, T. 16, p. 70.
- KRAUS (E.). Das Wachstum der Kontinente nach der Zyklus-theorie. *Geol. Rundsch.*, T. 19, pp. 353 et 481.
- KRENKEL (E.). Geologie Afrikas. T. 1, 1925 et T. 2, 1928, Berlin, Borntraeger, XII + 1001 p.
- KUBART (B.). Das Problem der tertiären Nordpolarflora. *Vorl. Mitt. Ber. D. Bot. Ges.*, T. 46, p. 392.
- LOSADA Y PUGA (C.). La Traslación de los continentes de WEGENER y las variaciones en la duración del día sideral. *Rev. R. Ac. Sc. Madrid*, T. 24, p. 143.
- NANSEN (F.). Die Gleichgewichtsbewegungen der Erdkruste und die Oberflächen der Kontinente. *Forschungen u. Fortsch.*, T. 4, p. 89.
- + NOLKE (F.). Das Klima der geologischen Vorzeit. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 74, fasc. 7/8, p. 193.
- NUSSBAUM (F.). Zur Kritik von A. WEGENERS Hypothese von den Kontinentalverschiebungen. *Mitt. Nat. Ges. Bern*, p. 267.
- SCHARDT (H.). Zur Kritik der WEGENERSchen Theorie der Kontinentalverschiebung. Zürich.
- SCHMIDT (A.). Der Stand der erdmagnetischen Forschung. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 4, p. 294.
- SCHUCHERT (Ch.). The continental displacement hypothesis as viewed by DU TOIT. *Am. Journ. Sc.*, 5<sup>e</sup> série, T. 16, p. 266; de même in WATERSCHOOT VAN DER GRACHT.
- SCHUCHERT (Ch.). Review of the late paleozoic formations. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 39, p. 769.
- SCHUMANN (R.). Über Zusammenhänge zwischen Polhöhen-schwankung, Beweglichkeit innerhalb des Erdkörpers und Mondbewegung. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 19, p. 305.
- SCHEPARD (F. P.). Origin of continental abyssal slopes. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 39, p. 107.
- SCHEPARD (F. P.). Significance of submerged deltas in the interpretation of the continental shelves. *Id.*, T. 39, p. 1157.
- STAUB (R.). Der Bewegungsmechanismus der Erde, dargelegt am Bau der irdischen Gebirgssysteme. Berlin, Borntraeger, VIII + 270 p.
- TAMS (E.). Die Seismizität der Kontinente und Ozeane. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 4, p. 321.
- TAYLOR (F. B.). Bearing of distribution of earthquakes and volcanos on their origin. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 39, p. 1001.
- TAYLOR (F. B.). North America and Asia, a comparison in tertiary diastrophism. *Id.*, T. 39, p. 985.
- UBISCH (L. von). Tiergeographie und Kontinentalverschiebung. *Zeitschr. f. induktive Abstammungs- und Vererbungslehre*, T. 47, p. 159.
- WATERSCHOOT VAN DER GRACHT (W. A. J. M. van), etc., Theory of the continental drift. A symposium. Tulsa. (Cf. [228].)
- WEGENER (A.). Bemerkungen zu H. von IHERINGs Kritik der Theorien der Kontinentverschiebungen und der Polwanderungen. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 4, p. 46.

- WILLIS (B.)**. Continental drift, in **WATERSCHOOT VAN DER GRACHT**.
- WOLD (K.)**. Noget av det som taler imot **WEGENERs** teori om kontinentforskyvning. *Naturen*, Bergen, T. 52, p. 220.
- 1929 **BAILEY (E. B.)**. The Palaeozoic mountain systems of Europa and America. *Brit. Ass. Adv. Sc. Rep.*, 96th meeting Glasgow, 1928, Sect. C., p. 57.
- BERNER (R.)**. Sur la grandeur d'une force qui tendrait à déplacer les continents vers l'Ouest. *C. R. Soc. Phys. Genève*, T. 46, p. 126.
- BETIM PAES LEME (A.)**. O Depoimento do Brasil na discussão da theoria do deslize dos continentes segundo **WEGENER**. *Bol. Mus. Nac. Rio de Janeiro*, T. 5, p. 41.
- BETIM PAES LEME (A.)**. La Théorie de **WEGENER** en présence de quelques observations géologiques concernant le Brésil. *C. R. Acad. des Sciences*, T. 186, p. 802.
- BETIM PAES LEME (A.)**. Etat des connaissances géologiques sur le Brésil. Rappports avec la théorie de **WEGENER** sur la dérive des continents. *Bull. Soc. Géol. France*, 4<sup>e</sup> série, T. 29, p. 35.
- BOWIE (W.)**. Possible origin of continents and oceans. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 21, p. 178.
- CHRISTIE (W. A.)**. The Origin of continents and oceans according to the theory of **WEGENER**. *Journ. and Proc. Asiat. Soc. of Bengal*, n. s., T. 24, p. 6.
- DU TOIT (A. L.)**. The Continental displacement hypothesis as viewed by **DU TOIT**. *Am. Journ. Sc.*, 5<sup>e</sup> série, T. 17, p. 179.
- DU TOIT (A. L.)**. Some reflections upon a geological comparison of S. Africa with S. America. *Proc. Geol. Soc. South Africa*, T. 31, p. 19.
- GESZTI (J.)**. Zusammenschub der Erdrinde. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 21, p. 36.
- GESZTI (J.)**. Zur Frage der Entstehung der Kontinente und Ozeane. *Id.*, T. 22, p. 353.
- GREGORY (J. W.)**. The Geological history of the Atlantic Ocean. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, T. 85, N<sup>o</sup> 338.
- GUTENBERG (B.)**. Lehrbuch der Geophysik. Berlin, Borntraeger.
- HAVEMANN (H.)**. Ein neues Erklärungsmoment zum Mechanismus der Kontinentalverschiebungen. *Die Naturwissenschaften*, T. 17, fasc. 38.
- HOFFMANN (H.)**. Zur Kenntnis der Oncidiiden (*Gastrop. pulm.*). Ein Beitrag zur geographischen Verbreitung, Phylogenie und Systematik dieser Familie. *Zool. Jahrb.*, Partie f. Syst., T. 57, p. 253.
- HOLMES (A.)**. A Review of the continental drift hypothesis. *Mining Mag.*, London, pp. 205, 286 et 340.
- HOPFNER (F.)**. Zum Unterschied zwischen den ozeanischen und kontinentalen Schwerkraftswerten. *Erzgebirgs-Ztg.*, T. 50, p. 29.
- IRMSCHER (E.)**. Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. II. Weitere Beiträge zur genetischen Pflanzengeographie unter besonderer Berücksichtigung der Laubmoose. *Mitt. Inst. f. allg. Bot. u. bot. Garten*, Hamburg, T. 8, P. 171.
- JACOBI (A.)**. Die Verbreitung der Rentiere und die Kontinentalverschiebung. 10<sup>e</sup> Congrès Intern. de Zool., Budapest, 1927, 2<sup>e</sup> partie, p. 1372.

- KOLDERUP (N. H.). Jordens bevægelsesmekanisme. *Naturen*, Bergen, T. 53, p. 129.
- KRIGE (L. I.). Magmatic cycles, continental drift and ice ages. *Proc. Geol. Soc. of South Africa*, p. XXI.
- + KRUSE (M.). Ursprung und Verbreitung des Menschengeschlechtes. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 75, fasc. 11/12, p. 290.
- KUHN (F.). Eine zusammenfassende Untersuchung über das afrobrasilische Gondwanaland. *Die Naturwissenschaften*, T. 17, fasc. 30.
- LAM (H. J.). Het genetisch-plantengeografisch onderzoek van den Indischen Archipel en WEGENERs verschuivingstheorie. *Tijdschr. v. h. Kon. Nederl. Aardrijksk. Gen.*, T. 47, p. 553.
- LEE (J. S.). Some characteristic structural types in eastern Asia and their bearing upon the problem of continental movements. *Geol. Mag.*, T. 66, pp. 358, 413, 457 et 501.
- LONGFELLOW (D. W.). Continental drifting in northwestern Europe. *Panam. Geol.*, T. 51, p. 117.
- LONGWELL (Ch. R.). Character and history of the « continental nuclei ». *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 40, p. 104.
- + MASCART (J.). A propos du déplacement des continents. *Rev. Gén. des Sciences*, T. 40, p. 101.
- MATUGAMA (M.). On the direction of magnetisation of basalt in Japan, Tyôsen and Mandchuria. *Proc. Imp. Acad. Tokyo*, T. 5, p. 203.
- + NAVARO-NEUMANN (M. S.). Les preuves de la théorie WEGENERienne du déplacement des continents sont-elles évidentes? *Ciel et Terre*, Bruxelles, p. 195.
- RASTALL (R. H.). On Continental drift and cognate subjects. *Geol. Mag.*, T. 64, p. 447.
- SACCO (F.). Abberazioni. *Urania*.
- SCHUCHERT (Ch.). The Continental displacement hypothesis as viewed by Du Toit. *Am. Journ. Sc.*, 5<sup>e</sup> série, T. 17, p. 337.
- SCHUCHERT (Ch.). The Hypothesis of continental displacement. *Ann. Rep. Smithsonian Inst. for 1928*, p. 249.
- SPITALER (R.). Beziehungen zwischen den Temperatur- und Luftdruckanomalien und den Achsenschwankungen der Erde. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 23, p. 269.
- STOLTING (W.). Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. *Id.*, T. 22, p. 203.
- STOLTING (W.). Zu WEGENERs Kontinentalverschiebungen. *Id.*, T. 21, p. 112.
- + TERMIER (P.). La Vocation de savant. Paris, De Brouwer & Cie, 266 p.
- WATERSCHOOT VAN DER GRACHT (W. A. J. M. van). Geological favour of continental drift. *Panam. Geol.*, T. 51, p. 41.
- WILKENS (A.). Astronomische Prüfung der WEGENERschen Verschiebungstheorie der Kontinente. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 75, p. 321.
- WILLIS (B.). Continental Genesis. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 40, p. 281.
- 1930 BASCHIN (O.). Die Westdrift Grönlands. *Die Naturwissenschaften*, T. 18, p. 34.

- BOGOLEPOW (M.). Die Dehnung der Lithosphäre. *Zeitschr. d. Geol. Ges.*, T. 82, p. 206.
- BOSSOLASCO (M.). Isostasia ed ondulazioni del geoido in rapporto alle anomalie gravimetriche ed alle deviazioni della verticale. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 26, p. 14.
- BOWIE (W.). Crustal changes due to Moons formation. *Id.*, T. 25, p. 137.
- + BOWIE (W.). Test of the WEGENER hypothesis by means of geodetic data in India. *Science*, New-York, T. 71, p. 459.
- BRYCE (G.). WEGENERs theory of the drift of continents. *Trans. and Proc. Torquay. Nat. Hist. Soc.*, p. 285.
- BUBNOFF (S. von). Bemerkungen zur Hypothese der Kontinentalverschiebungen. *Geol. Rdsch.*, T. 21, p. 340.
- + CANDEL Y VILA (R.). Teoria de WEGENER sobre la genesi dels continents i dels oceans. I. *Ciencia*, Barcelona, T. 5, p. 417.
- + Discussion on geological climates. By G. C. SIMPSON, Prof. A. C. SEWARD, Prof. J. W. GREGORY, P. MITCHELL, C. E. P. BROOKS, Dr. TATE REGAN, Dr. HAMSHAW THOMAS. *Proceedings of the R. Soc., B.*, T. 106.
- + DIVE (P.). Rotations internes des astres fluides. Thèse de Sc. Paris, Dunod, 92 p.
- DU TOIT (A. L.). A Brief review of the Dwyka glaciation of South Africa. C. R. Congr. intern. Géol. XV<sup>e</sup> sess. Afr. du Sud, T. 2, p. 90.
- + EPRY (Ch.). La Vie mystérieuse des océans. Notes d'un curieux. Paris, La Renaissance du Livre, 232 p.
- GESZTI (J.). Die Entstehung der Kontinente. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 27, p. 1.
- GORTANI (M.). Deriva dei continenti e periodi glaciali. *Giorn. Geol.*, 2<sup>e</sup> série, T. 4, p. 107; C. R. Congr. intern. Géol. XV<sup>e</sup> sess. Afr. du Sud, T. 2, p. 67.
- GUTENBERG (B.). Hypothesis on the development of the earth. *Journ. Ac. Sc. Washington*, T. 20 (2), p. 17.
- GUTENBERG (B.). Kräfte in der Erdkruste. Geotektonische Hypothesen. *Handb. d. Geophys.* T. III.
- JARDETZKY (W.). Über die Ursachen der Spaltung und Verschiebung der Kontinente. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 26, p. 167.
- + JARDETZKY (W.). La Rotation zonale de la planète et les dérives continentales. *Glas Srpske Kraljevske Ac.*, N<sup>o</sup> 134, Belgrade.
- JEFFREYS (H.). The Earth : its Origin, History and Physical Constitution. 2<sup>e</sup> éd. Cambridge, 346 p. (1<sup>re</sup> éd. en 1924 [102].)
- + JOHNSTONE (J.). A Study of the Oceans. 2<sup>e</sup> éd., (1<sup>re</sup> éd., 1926), London, Arnold & C<sup>o</sup>., VIII + 235 p.
- + JOLY (J.). The Surface-history of the Earth. 2<sup>e</sup> éd. London, Oxford Univ. Press, 211 p. (1<sup>re</sup> éd. en 1925 [58].)
- KRIGE (L. J.). Magmatic cycles, continental drift and ice ages. *Proc. Geol. Soc. South Africa*, T. 32, p. 21.
- LELY (U. Ph.). Over de continentendrift volgens WEGENER. *Physica*, T. 10, p. 81.
- LELY (U. Ph.). Ein Experiment, das die Kräfte demonstriert, welche die Verschiebung der Kontinente verursachen können. *Phys. Zeitschr.*, T. 31, p. 738.



- LIVLANDER (R.). Die kontinentalen Verschiebungen von Amerika und Madagaskar. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 30, p. 134.
- LONGFELLOW (D. W.). The Magnetic poles of the earth and the birth of the moon. *Science*, New-York, T. 72 (nlle série), p. 424.
- LONGWELL (Ch. R.). Drifting continents. *Geogr. Rev.*, p. 337.
- + LOSADA Y PUGA (C. de). La Translación de los Continentes y las variaciones en la duración del día. *Scientia*, T. 48, p. 1.
- LOSADA Y PUGA (C. de). Nuevas investigaciones relativas al efecto producido por el desplazamiento de los continentes sobre la velocidad del movimiento de rotación de la tierra. *Rev. R. Ac. Sc Madrid*, T. 25, p. 171.
- MACHATSCHEK (M.). Bemerkung zu der Frage der Verteilung der Massen an der Erdoberfläche. *Vorl. Mitt. Wiener Anz.*, p. 23.
- MOTHES (H.). Seismographen im Dienste der Gletscherforschung. *Forschungen u. Fortschr.*, T. 6, p. 363.
- NIELSEN (N.). Tektonik und Vulkanismus Islands unter Berücksichtigung der WEGENER-Hypothese. *Geol. Rundsch.*, T. 21, p. 347.
- + POOLE (J. H. J.). Thermal instability of the earth's crust. *Sc. Proc. R. Dublin Soc.*, p. 385.
- + PRIVAT-DESCHANEL (P.). Océanie. Géographie Universelle (T. X), publiée sous la dir. de P. VIDAL de la BLACHE et L. GALLOIS. Paris, Colin.
- ROBB (A. A.). Anticipation of WEGENER's hypothesis. *Nature*, London, T. 126, p. 841.
- ROXO (M. G. de). Brasilides e a hypothesis de WEGENER. *Ann. Ac. Brasil Sc.*, II, p. 95.
- RUND (J.). Die Ursache der Kontinentalverschiebung und der Gebirgsbildung. *Petermanns Geogr. Mitt.*, fasc. 5/6, p. 119 et fasc. 7/8, p. 174.
- RUSSEL (B.). Possible effects of continuing density-segregation on continental drift and related phenomena. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 41, p. 173.
- RUSSO (P.). Recherches sur les déplacements tectoniques des aires continentales. *Mém. Soc. des Sc. Nat. du Maroc*, Vol. XXV; — (+) Extrait, Paris, Larose, 65 p. et 11 pl.
- SALOMON-CALVI (W.). Die Bedeutung der WEGENERschen Kontinentalverschiebungstheorie. *Naturw. Monatsh.*, T. 10 (27), p. 133.
- SALOMON-CALVI (W.). Epeirophorese I. *Sitz.-Ber. Heidelb. Ak.*, 6<sup>e</sup> Mémoire.
- SPITALER (R.). Der Einfluss der Achsenschwankungen der Erde auf die Temperaturanomalien. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 25, p. 429.
- SPITALER (R.). Einige Beispiele über den Einfluss der Achsenschwankungen der Erde auf die Temperaturanomalien. *Id.*, T. 26, p. 351.
- STEPHAN (P.). Zur Mechanik der Kontinentverschiebungen. *Phys. Zeitschr.*, T. 31, p. 385.
- + VERONNET (A.). Le Déplacement des pôles et la dérive des continents *C. R. Acad. des Sciences*, T. 190, p. 621. — Publ. aussi dans *Bull. Observ. Lyon*, Mai 1930, p. 119 et *C. R. de la 54<sup>e</sup> sess. de l'Ass. Fr. pour l'Avanc. des Sc.*, Alger.

- WASHINGTON (H. S.). The Origin of the Mid-Atlantic Ridge  
*Journ. of the Maryland Ac. of Sc.*, T. 1, p. 20.
- + When the continents slid and shoved about. *Lit. Digest*, T. 107, p. 16.
- + ZIMMERMANN (M.). Régions polaires australes. Géographie Universelle (T. X.), publiée sous la dir. de P. VIDAL de la BLACHE et L. GALLOIS. Paris, Colin.
- ZIMMERMANN (W.). Die Phylogenie der Pflanzen. Jena, XI + 454 p.
- 1931 BASCHIN (O.). Die Deutsche Inlandeis-Expedition nach Grönland. *Die Naturwissenschaften*, T. 19, p. 746.
- BUBNOFF (S. von). Grundprobleme der Geologie. Berlin, Borntraeger.
- BUBNOFF (S. von). Über Grundtheorien der Erdgestaltung. (In « Aussprache über neuere Gebirgsbildungstheorien, insbesondere E. HAARMANNs Oszillationstheorie ».) *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.*, T. 83, p. 276.
- CORNELIUS (H. P.). Alfred WEGENER†. *Verh. d. Geol. Bundesanstalt*, p. 159.
- ERTEL (H.). Eine neue Berechnung der Polfluchtkraft. *Die Naturwissenschaften*, T. 19, p. 596.
- ERTEL (H.). Zur Analyse der Polfluchtkraft. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 32, p. 38.
- FLOTOW (A. von), A. BERROTH, H. SCHMEHL. Relative Bestimmung der Schwerkraft auf 115 Stationen in Norddeutschland. *Veröff. d. Preuss. Geodät. Inst.*, T. 106, p. 100.
- + GATTEFOSSE (J.). Notes bibliographiques à propos de la dérive des continents. *Bull. Soc. Sc. Nat. du Maroc*, T. 11, p. 258.
- GESZTI (J.). Die Entstehung der Kontinente (Suite). *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 31, p. 1.
- + HAVRE (H.). La Terre est un astre pulsatile. Explication de certains phénomènes géologiques et astronomiques. Paris et Liège, Béranger, 80 p.
- JARDETZKY (W.). Zur Frage der Polwanderungen. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 32, p. 361.
- JOLEAUD (E.). Les Récents progrès de nos connaissances sur l'histoire du Pacifique et la théorie de WEGENER. *C. R. Acad. des Sciences*, T. 192, p. 628.
- + JOURDY (Gén. E.). Les Epaves du pays du diamant. *Bull. Soc. Sc. Nat. de l'Ouest de la France*, Nantes, 4<sup>e</sup> série, T. 10, 1930, pp. 70 et 207.
- KOCH (F.). Die Entwicklung und Verbreitung der Kontinente und ihrer höheren pflanzlichen und tierischen Bewohner. Braunschweig, Vieweg & Sohn, VII + 96 p.
- KOHLSCHUTTER (E.). Nachruf auf Alfred WEGENER. *Zeitschr. f. Geophys.*, p. 213.
- KOSSMAT (F.). Schwereanomalien und geologischer Bau des Untergrundes im norddeutschen Tiefland. *Veröff. d. Preuss. Geodät. Inst.*, p. 106.
- KOSSMAT (F.). Das Erdbild und seine Veränderungen. *Handb. d. Exp. Phys.*, T. 25, 2<sup>e</sup> partie, p. 77.
- LANJOUW (J.). The Euphorbiaceae of Surinam. Proefschr. Amsterdam.

- LONGFELLOW (D. W.). Continental Drift and earth's magnetic poles and foci. *Panam. Geol.*, T. 55, p. 175; *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 42, p. 327.
- + MAC KINSTRY (H. E.). Continents adrift. *Amer. Mercury*, T. 24, p. 94.
- + MARTIN (R. E.). Tests in Arctic to prove America is drifting toward equator. *Pop. Science*, T. 119, p. 17.
- + RUGER (L.). Geotektonische Hypothesen. *Geogr. Zeitschr.*, T. 37, fasc. 10, p. 577.
- RUSSEL (B.). Possible effects of continuing density segregation on continental drift and related phenomena. *Bull. Geol. Soc. of Am.*, T. 41, p. 173.
- SALOMON-CALVI (W.). Sind die « Festländer » beweglich? *Hochland*, fasc. 4.
- SALOMON-CALVI (W.). Epeirophorese II. Geodätische Beweise. *Sitz.-Ber. d. Heidelb. Ak.*, math.-nat. Kl., 13<sup>e</sup> mémoire.
- SENSTIUS (M. V.). Laterites and polar migration. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 32, p. 134.
- STOLTING (H.). Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. Zum Andenken an Alfred WEGENER. *Verh. d. dtsh. wiss. Ver. zu Santiago de Chile*. Nouvelle série, T. 1, p. 61.
- STOLTING (H.). Gegen und für WEGENERs Verschiebungstheorie. *Umschau*, p. 63.
- STONELEY (R.). The Thickness of the continental layers of Europe. *Monthl. Not.*, T. 2, p. 429.
- TESCH (P.). Alfred WEGENER en de theorie der drijvende continenten. *Natuur en Techniek*, Amsterdam, T. 1, p. 122.
- + VENING-MEINESZ (F. A.). Gravity anomalies in the East India Archipelago. *Geogr. Journ.*, T. 77, p. 323.
- WAVRE (R.). De l'Echelle humaine à l'échelle terrestre. (A propos des courants de sima.) *C. R. Soc. Phys. Genève*, T. 48, p. 71.
- WINDHAUSEN (A.). Geologia Argentina. Buenos Aires.
- 1932 + AUBERT DE LA RUE (E.). Etude géologique et géographique de l'Archipel de Kerguelen. Thèse de Sc. Paris, 232 p.
- BOWIE (W.). A Method for testing AIRY and PRATT Isostasy. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 36 p. 171.
- COLEMAN (A. P.). Glaciation and continental drift. *Geogr. Journ.*, T. 79, p. 252.
- + DIVE (P.). Les Anomalies de la pesanteur et le flottage des continents. *Revue d'Auvergne*, T. 46, p. 33.
- + DIVE (P.). Viscosité du fluide terrestre dans un modèle réduit. *C. R. des séances de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Genève*. Séance du 19 mai.
- DUROC (E.). Idées nouvelles sur la dérive des continents. *La Géographie*, T. 57 (A), p. 223.
- ERTEL (H.). Hebungseffekt und Grönlanddrift. *Die Naturwissenschaften*, T. 20, p. 170.
- ESCLANGON (E.). Remarques au sujet de la note précédente. (Voir STOYKO.) *C. R. Acad. des Sciences*, T. 194, p. 2227.
- + GAILLARD (C.). L'Origine des continents et les mouvements de l'écorce terrestre. *Bull. Soc. des Natur. & Arch. de l'Ain*, Bourg-en-Bresse, N<sup>o</sup> 46, Janv.

- GUTENBERG (B.). Handbuch der Geophysik. Berlin, Borntraeger.
- HEISKANEN (W.). Der Heutige Stand der Isostasiefrage. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 36, p. 177.
- + HILLS (G. F. S.). Theory of continental drift. *Contemp. Rev.*, octobre, p. 468.
- HOLDHAUS (K.). Die Rezenten Tierwelt der landfernen Inseln und das Problem der Konstanz der Ozeane. *Mitt. G. Ges. Wien*, T. 25, p. 94.
- + HOLMES (A.). Glaciation and Continental Drift. *Geogr. Journ.*, T. 80, p. 177.
- JANECKE (E.). Ist das Erdinnere fest? *Sitz.-Ber. Heidelb. Ak., math.-nat. Kl.*, 8<sup>e</sup> mémoire.
- JEFFREYS (H.). The Deformation of the earth due to unsymmetrical cooling. *Monthl. Not. Roy. Astr. Soc.*, Geophys. suppl., T. 3, p. 53.
- JEFFREYS (H.). On the stresses in the earth's crust required to support surface inequalities. *Id.*, p. 60.
- + JOURDY (Gén. E.). Les Glissements continentaux. *C. R. Soc. Géol. de France*, N<sup>o</sup> 14, p. 196.
- + JOURDY (Gén. E.). Les Richesses minières des Pointes cassées. *Bull. Soc. Géol. de France*, T. 2, 5<sup>e</sup> série, p. 59.
- + KRYSSTOFVIC (A.). Les Bois fossiles comme indicateurs des points cardinaux dans le passé géologique et la théorie de WEGENER. *Bull. Acad. Sc. de l'U. R. S. S.*, Leningrad, p. 409.
- LAM (H. J.). The Burceraceae of the Malay Archipelago and Peninsula. *Bull. Jard. bot. Buitenzorg*, 3<sup>e</sup> série, T. 12, p. 281.
- LOEWE (F.). Die « Deutsche Grönland Expedition Alfred WEGENER », ihre Aufgaben und ihre meteorologischen Ergebnisse. *Weltall*, T. 32, p. 36.
- NAGAOKA (H.). Variations of latitude and great earthquakes. *Nature*, London, T. 130, p. 541.
- NOLKE (Fr.). Numerische Überprüfung der Kontraktionshypothese. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 35, p. 374.
- NOLKE (Fr.). Die Vorgeologische Entwicklung der Erde als Schlüssel zum Verständnis der geologischen Entwicklung. *Id.*, T. 37, p. 252.
- PREY (A.). Die Frage nach dem isostatischen Massenausgleich in der Erdrinde. *Id.*, T. 36, p. 242.
- RASANEN (V.). Zur Kenntnis der Flechtenflora Feuerlands. *Ann. bot. Soc. zool.-bot. Fennicae Vanamo*, T. 2, N<sup>o</sup> 1.
- SAGUI (C. L.). La Teoria di WEGENER sulla deriva dei continenti. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, T. 51, p. 248.
- SALOMON-CALVI (W.). Die Beweglichkeit der Festländer. *Forschungen u. Fortschr.*, T. 8, p. 335.
- SMITT (V. P. de). Earthquakes in the North-Atlantic as related to submarine cables. *Nat. Res. Couns.*, p. 103.
- SPITALER (R.). Zur Chronologie des Eiszeitalters. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 35, p. 102.
- SPITALER (R.). Die Sonnenbestrahlung und die Temperaturverhältnisse während des Eiszeitalters. *Id.*, T. 35, p. 395.
- SPITALER (R.). Die sommerliche Temperaturkurve während der Eiszeit. *Id.*, T. 37, p. 94.

- SPITALER (R.). Die Letzte Phase der Eiszeit in Skandinavien und Nordamerika. *Id.*, T. 37, p. 104.
- STOYKO (N.). Sur les déplacements périodiques des continents. *C. R. Acad. des Sciences*, T. 194, p. 2225.
- SVEN (H.). Treibende Kräfte im Werden des Erdantlitzes. *Kosmos* p. 187.
- TAYLOR (F. B.). WEGENER'S theory of continental drifting; a critique of some of his views. *Bull. Geol. Soc. Am.*, T. 43, p. 173.
- TERADA (T.) & MIGABE (N.). Tilting and strength of earth's crust. *Proceedings Imp. Acad. Tokyo*, T. 8, p. 288.
- TIERCY (G.). Une Note d'histoire : De l'hypothèse des translations continentales. *Publ. de l'Observ. de Genève*, T. 3, p. 304; voir aussi *C. R. Soc. Phys. Genève*, T. 49, p. 126.
- TIERCY (G.). Sur l'hypothèse de la dérive des continents. *C. R. Soc. Phys Genève*, T. 49, p. 202.
- + WAVRE (R.). Figures planétaires et Géodésie. Paris, Gauthier-Villars, VIII + 199 p.
- WINDHAUSEN (A.). Bau und Bild Patagoniens. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin*, p. 18.
- WULFF (E. V.). Introduction to the historical geography of plants. 52th. Suppl. to the *Bull of appl. Bot.*, Leningrad, 1932.
- 1933 + BACHASSON (R.). La Dérive des continents et les courants internes du globe terrestre. *Le Figaro*, 14 Décembre.
- BEMMELEN (R. W. van). On the Geophysical foundations of the Undulation-theory. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam Proceed.*, T. 36, p. 337.
- BEMMELEN (R. W. van). Die Undulationstheorie und ihre Anwendung auf die mittelatlantische Schwelle. *Zeitschr. d. Geol. Ges.*, T. 85, p. 762.
- BEMMELEN (R. W. van). Moderne richtingen in de geotektoniek in verband met de geotektonische positie van den Nederlandsch Indischen Archipel. *De Mijning*, Bandoeng, T. 14, p. 205.
- BORN (A.). Über Werden und Zerfall von Kontinentalschollen. *Fortschr. d. Geol. u. Pal.*, T. 10, fasc. 32.
- BUCHER (W.). The Deformations of the earth's crust. Princeton Univ. Press, XIV + 518 p.
- + CANDEL Y VILA (R.). Teoria de WEGENER sobre la genesi dels continents i dels oceans. II. *Ciencia*, Barcelona, T. 7, p. 269.
- + COLEMAN (A. F.). Ice ages and the Drift of Continents. *Journ. of Geol.*, Chicago, T. 41, p. 409.
- + CUCCIA (L.). L'Ipotesi di WEGENER sulle derive di continenti. *Cælum*, Bologna, T. 3, p. 217.
- DALY (R. A.). The Depths of the earth. *Science*, New-York, T. 77, p. 95.
- + DIVE (F.). La Dérive des continents et les mouvements intra-telluriques. Préface de M. Em. PICARD, secrétaire perpétuel de l'Ac. des Sc., Paris, Dunod, 58 p.; sous le même titre in *Mém. Acad. d. Sc., Belles Lettres, Arts, Clermont-Ferrand*, T. 32, Mélanges T. 2, p. 11.
- + ESCHER (B. G.). De theorie van WEGENER over de verschuiving der kontinenten. *Natura*, Groningen, p. 43.

- GHERARDI (W. R.). Oceanographic work of the Hydrogr. Office and the U. S. Navy during the past year. *Nat. Res. Couns.*, p. 180.
- GLENNIE (E. A.). Crustal warpings. *Monthl. Not. Roy. Astr. Soc.*, Geophys. Suppl., T. 3, p. 170.
- GLENNIE (E. A.). Note on Dr. STONELEY's paper « On the crustal warping hypothesis ». *Id.*, T. 3, p. 181.
- GRIPENBERG (W. S.). Über eine theoretisch mögliche Art der Palaeothermie. *Ark. f. Kemi, Min. och Geol.*, T. 11, N° 11.
- GUTENBERG (B.). Über Erdbeben mit Herdtiefen von mehreren 100 Kilometern. *Geol. Rdsch.*, T. 24, fasc. 3/4.
- HILGENBERG (O. C.). Vom Wachsenden Erdball. Charlottenburg, 56 p.
- HOLMES (A.). The Thermal history of the earth. *Journ. Wash. Ac. Sc.*, T. 23, p. 169.
- JELSTRUP (H. S.). Détermination astronomique à Sabine-Oya au Groenland oriental. *Skrifter om Svalbard og Ishavet*, N° 58, 27 p.
- JELSTRUP (H. S.). Erwiderung zu « Grönlands Drift » von K. WEGENER (*Peterm. Geogr. Mitt.*, fasc. 11/12). *Peterm. Geogr. Mitt.*
- KOPPEN (W.). Die Änderungen der Temperatur in Europa seit der letzten Eiszeit. *Met. Zeitschrift*, T. 50, p. 281.
- KRENKEL (E.). Älteste Orogenese der Erdkruste. *Die Naturwissenschaften*, T. 21, p. 282.
- KUENEN (Ph. H.). De Bewegingen van Australie ten opzichte van Nederlandsch Indie. *Vakblad voor Biologen*, T. 14, p. 253.
- LAKE (Ph.). GUTENBERG's Fliesstheorie; a theory of continental spreading. *Geol. Mag.*, T. 70, p. 116.
- LANGÉ (E.). Die Vorarbeiten zur internationalen Längenvermessung. *Die Naturwissenschaften*, T. 21, p. 186.
- + LEUBA (J.). Introduction à la Géologie. 4<sup>e</sup> éd. Paris, Colin, 216 p. (1<sup>re</sup> éd. en 1925.)
- MAIER (W.). Vulkanismus und Isostasie. *Zeitschr. d. Geol. Ges.*, T. 85, p. 273.
- MERCIER (A.). Contribution à la théorie des dérives continentales. *Arch. d. Sc. Phys. et Nat.*, T. 15, p. 225.
- MICHAELSEN (W.). Die Oligochätenfauna Surinames. Mit Erörterung der verwandtschaftlichen und geographischen Beziehungen der Octochäten. *Tijdschr. d. Ned. Dierkund. Vereen*, 3<sup>e</sup> série, T. 3, p. 112.
- + NAGAOKA (H.) and SHIRAI (T.). Formation of Tibetan Plateau, considered from the Wandering of the Pole. *Proceedings Imp. Akad. Tokyo*, T. 9, p. 297.
- NOLKE (Fr.). Kritische Rechtfertigung der Kontraktionshypothese. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 38, p. 172.
- + NOLKE (Fr.). Gibt es eine geologische Universaltheorie? *Scientia*, T. 43, p. 20.
- PREY (A.). Über die Schweremessungen auf dem Meere. *Die Naturwissenschaften*, T. 21, p. 713.
- + RUSSO (P.). Les Déplacements des continents. Gap, Imp. L. Jean, 105 p.

- + **RUSSO** (P. et M<sup>me</sup> L.). Essai d'une coordination tectonique de l'évolution de la Méditerranée. *Mém. Soc. des Sc. Nat. du Maroc*, Vol. XXXIV. Extrait, Paris, Larose, 39, p. et 3 pl.; résumé in *C. R. S. Géol. de Fr.*, p. 190.
- + **SAGUI** (C. L.). La Teoria di WEGENER sulla deriva dei continenti. *Boll. Soc. Geol. Italiana*, T. 51, p. 248.
- + **SAINT-PERON**. Les Déplacements périodiques des continents. *Rev. Milit. de l'A. O. F.*, Dakar, p. 53.
- SALOMON-CALVI** (W.). Epeirophorese III : Die vordiluvialen Eiszeiten (Eiszeiten des Tertiärs und Mesozoikums). *Sitz.-Ber. d. Heidelb. Ak. d. Wiss., math.-nat. Kl.*, 8<sup>e</sup> mémoire.
- SALOMON-CALVI** (W.). Epeirophorese III : Die vordiluvialen Eiszeiten (Eiszeiten des Karbons und Perms). *Id.*, 1<sup>er</sup> mémoire.
- SALOMON-CALVI** (W.). Die Permokarbonischen Eiszeiten. Leipzig, Akademische Verlagsanstalt, VI + 156 p.
- SCHILLER** (W.). Die alten Gebirge der Provinz Buenos Aires. Was beweisen sie für oder wider die WEGENERsche Hypothese? *Geol. Rdsch.*, T. 24, p. 220.
- SORGE** (E.). The Scientific results of the WEGENER expedition to Greenland. *Geogr. Journ.*, T. 81, p. 333.
- SPITALER** (R.). Unbeachtete Kräfte für WEGENERs Kontinentalverschiebungen. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin*, p. 290.
- SPITALER** (R.). Die Diluviale Eiszeit im Aquatorgebiete. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 38, p. 220.
- STEGMANN** (B.). Über die gegenseitigen Beziehungen der südamerikanischen und neuseeländischen Falken. *C. R. Ac. Sc. de l'U. R. S. S.*, Nlle série, p. 170 [en russe avec résumé allemand].
- STONELEY** (R.). On the crustal warping hypothesis. *Monthl. Not. Roy. Astr. Soc.*, Geophys. Suppl., T. 3, p. 176.
- VENING-MEINESZ** (F. A.). Die Schwerkraft auf dem Meere. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 9, p. 75.
- WADE** (A.). The Distribution of oilfields from the viewpoint of the theory of continental drift. *World petrol. Congr. Proc.*, London, T. 1, p. 73.
- WEGENER** (K.). Grönlands Drift. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 79, fasc. 11/12, p. 284.
- WITTMANN** (O.). Biogeographie und Beweisbarkeit der Epeirophorese. *Geol. Rdsch.*, T. 23a, p. 136.
- 1934 **BOWIE** (W.). A Comparison of isostasy in India and in the United States and Southern Canada. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 41, p. 250.
- CHUBB** (L. J.). The Structure of the Pacific Basin. *Geol. Mag.*, T. 71, p. 289.
- + **DIVE** (P.). Sur la pérennité des rotations internes du globe terrestre. *Mém. Acad. d. Sc., Belles Lettres, Arts, Clermont-Ferrand*, T. 32. Mélanges T. 2, 1929-34, p. 181.
- + **DIVE** (P.). Conceptions nouvelles sur la structure interne du globe terrestre. Géomécanique et translations continentales. *Ann. de Géogr.*, T. 43, p. 225.
- DOUGLAS** (G. V.). On the theory of the continental drift. *Canad. Inst. M. S. M.*, p. 1.
- GRABOWSKI** (L.). Kann die LAPLACEsche Differentialgleichung für das Schwerkraftpotential auch innerhalb der Erdkruste als erfüllt angesehen werden? *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 10, p. 322.

- GUYOT (E.). Contrôle géodésique de la théorie des translations de WEGENER. *Ann. Guébbhard-Séverine*, Neuchâtel, T. 10, p. 404.
- HARPER (W. E.). Are the continents separating? *Journ. Roy. Astron. Soc. of Canada*, T. 28, p. 445.
- HIRVONEN (R. A.). The Continental undulations of the geoid. *Veröff. d. Finn. Geodät. Inst.*, N° 19.
- JELSTRUP (H.). Grönlands Drift. *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 81, p. 140.
- JELSTRUP (H.). Sammenligning mellem eldre og nyre astronomiske stedsbestemmelser på Sabine-Oya som provesten for WEGENERs teori om kontinentaldrift. *Naturen*, Bergen, T. 58, p. 300.
- KERNER-MARILAUN (K.). Paläogeographie : mit besonderer Rücksicht auf die Fehlerquellen. Berlin, Borntraeger, 410 p.
- KOPPEN (W.). Der Zustand der Nordsee vor 18.000 Jahren. *Met. Zeitschr.*, T. 51, p. 188.
- KOPPEN (W.). Der Umschwung der Windverhältnisse von Europa vor etwa 12.000 Jahren. *Id.*, T. 51, p. 189.
- KUENEN (Ph. H.). Indie en de theorie van WEGENER. *Geol.-mijnb. Gen. van Nederl. en Kol.*, Versl. d. geol. sect. den Haag, p. 327.
- LAM (H. J.). Materials towards a study of the flora of the Island of New Guinea. *Blumea*, T. 1, p. 115.
- MIGABE (N.). Deformation of the earth's crust along the Pacific coast, the Japan sea coast and in the central zone of Japan. *Bull. Earthquake Res. Inst.*, T. 12, p. 460.
- MUREVSKI (M.). Bemerkungen zu W. WUNDTs «Anderungen der Erdalbedo während der Eiszeit». *Met. Zeitschr.*, T. 51, p. 151.
- POOLE (I. H. I.). Thermal history of the earth. *Nature*, London, T. 133, p. 574.
- SCHROTER (C.). Genetische Pflanzengeographie (Epiontologie). Handwörterb. d. Naturwissensch., 2<sup>e</sup> éd., T. 4, p. 1002. Jena. Fischer.
- SCONZO (P.). Effetti dinamici dovuti alla traslazione dei continenti. *Publ. Oss. Astron. Palermo*, T. 62, p. 3.
- + SICKENBERG (O.). Kontinentalverschiebung, Klimawechsel und Verbreitung der tertiären landbewohnenden Säugetiere. *Biologia Generalis*, T. 10, p. 267.
- STILLE (H.). Zur Frage der transatlantischen Faltenverbindungen. *Ber. d. preuss. Ak. d. Wiss.*, phys.-math. Kl., N° 11.
- TERADA (T.). On the stability of the continental crust. *Bull. Earthquake Res. Inst.*, T. 12, p. 451.
- TERADA (T.). Vertical movement of earth's crust and growth of coral reef. *Proceedings Imp. Acad. Tokyo*, T. 10, p. 643.
- TOLLNER (H.). Die Frage der Westdrift Jan Mayens. *Peterm. Geogr. Mitt.*, fasc. 10, p. 300.
- TOLLNER (H.). Astronomische Ortsbestimmungen auf Jan Mayen. Zur Frage der Kontinentalverschiebungen A. WEGENERs. *Wiener Ber.*, Partie II a, T. 143, p. 87.
- VENING-MEINESZ (F. A.). Gravity and the hypothesis of convection currents in the earth. *Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam Proceed.*, T. 37, p. 37.



- WEGENER (K.). Physik der Erde. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, VI + 111 p.
- WITTMANN (O.). Die Biogeographischen Beziehungen der Südkontinente. Die antarktischen Beziehungen. *Zoogeographica*, Jena, T. 2, p. 246.
- 1935 ANDERSON (E. M.). Earth contraction and mountain building. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 1.
- + CHOUBERT (B.). Recherches sur la genèse des chaînes paléozoïques et antécambriennes. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, Paris, T. 8, p. 1.
- EKMÁN (S.). Tiergeographie des Meeres. Leipzig, Ak. Verlagsges., 542 p.
- ERTEL (H.). Die Berechnung der Polfluchtkraft. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 327.
- + FURON (R.). Les Relations géologiques de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. *Arch. du Mus. Nat. d'Hist. Nat.*, Paris, vol. du Tricentenaire, 6<sup>e</sup> série, p. 211.
- GRABOWSKI (L.). Zur Berechnung der Polfluchtkraft. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 311.
- GRABOWSKI (L.). Bemerkungen zum Artikel von Herrn H. ERTEL « Die Berechnung der Polfluchtkraft ». *Id.*, T. 43, p. 346.
- GRABOWSKI (L.). Bemerkungen zum Artikel von Herrn M. MILANKOVITCH « Zur Berechnung der Polfluchtkraft ». *Id.* T. 43, p. 351.
- + GUYOT (E.). La théorie des translations continentales et l'Astronomie. *Ann. Guébbard-Séverine*, Neuchâtel, p. 57.
- HAARMANN (E.). Um das geologische Weltbild. « Malleo et Mente ». Stuttgart, Ferd. Enke, 119 p.
- + HAWKES (L.). The Hypothesis of Continental Drift. *Nature*, London, T. 135, p. 342.
- + Hypothesis of continental drift (Discussion). *Observatory* p. 71.
- JACOBY (G.). Beiträge zur Untersuchung der Senkung unserer Küstengebiete. *Ann. d. Hydrogr. u. mar. Met.*, T. 63, p. 99.
- JARDETZKY (W.). Recherches mathématiques sur l'évolution de la terre. *Ac. Roy. Serbe*, Ed. spéc., T. 107, sect. Sc. math. et nat., T. 29, 11<sup>e</sup> éd. de la fondation de Darinka et Michel A. Petrovic.
- JEFFREYS (H.). Constitution of the earth. *Nature*, London, T. 135, p. 678.
- KOPPEN (W.). Vergleich zweier Eiszeittheorien. *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 309.
- + MARTONNE (Emm. de). *Traité de Géographie Physique*, T. 2, (Chap. XI), 5<sup>e</sup> éd. revue, Paris Colin.
- MILANKOVITCH (M.). Sind grosse Polverschiebungen möglich? *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 309.
- MILANKOVITCH (M.). Zur Berechnung der Polfluchtkraft. *Id.*, T. 43, p. 325.
- + NOLKE (F.). Ist es notwendig vordiluviale Eiszeiten anzunehmen? *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, T. 22, p. 81.
- + ORVIN (A. K.). Om Kontinentalforskyvningsproblemet. *Naturen*, Bergen, p. 218.
- + RUSSELL (A. S.). WEGENER and JOLY. *Listener*, p. 467.

- SCHUMANN (R.). Beitrag zur Frage der Eigenschwingungen einzelner Teile des Erdkörpers. *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 11, p. 1.
- SCHWINNER (R.). Sind grosse Polverschiebungen möglich? *Gerlands Beitr. z. Geophys.*, T. 43, p. 296.
- SHAPARENKO (K.). *Ginkgo adiantoides* (Unger) Heer; contemporary and fossil forms. *Philippine Journ. of Science*, T. 57, p. 1.
- SMIT SIBINGA (G.). De Indo-Australische epeirophorese. *Vakblad voor Biologen*, Der Helder, 16<sup>e</sup> année, p. 218.
- SOCHTING (F.). Beitrag zu WEGENERS Theorie der Verschiebung der Kontinente. *Centralblatt f. Mineral., Geol., Pal.*, p. 140; + *Cf. Geol. Zentralbl.*, T. 45, p. 225.
- SPITALER (R.). Polwanderung und Kontinentalverschiebung. *Forschungen u. Fortschr.*, T. 11, p. 453.
- SUESS (F. E.). Europäische und nordamerikanische Gebirgszusammenhänge. Rep. of the XVIth intern. geol. Congr., Washington, 1933.
- TAMS (E.). Die Neuen Schweremessungen auf dem Meere und ihre Deutung. (Schwere-Expeditionen 1923 bis 1932.) *Zeitschr. f. Geophys.*, T. 11, p. 235.
- + TRUEMAN (A. E.). Fossils as Indicators of Continental Drift. *Nature*, London, T. 135, p. 1074.
- TYRELL (G. W.). New longitude determinations in Greenland and Jan Mayen in relation to continental drift. *Geogr. Rev.*, T. 25, p. 504.
- WADE (A.). New theory of continental spreading. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, T. 19, p. 1806.
- + WATTS (W. W.). Form, drift and rhythm of the Continents. *Nature*, London, T. 136, p. 369.
- + WATTS (W. W.). Form, drift and rhythm of Continents. *Science*, New-York, T. 82, p. 203.
- WITTMANN (O.). Die Biogeographischen Beziehungen der Südkontinente, II. Die südatlantischen Beziehungen. *Zoogeographica*. Jena, T. 3, p. 27.
- + WOODWARD (A. S.). Fossils as Indicators of Continental Drift. *Nature*, London, T. 135, pp. 900 et 1075.
- + WUNDT (W.). Die Astronomische Theorie der Eiszeiten und die auf-tretenden Sekundärwirkungen. *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, T. 22, p. 46.
- 1936 CERNOSVITOV (Dr L.). Notes sur la distribution de quelques Oligochètes. *Mém. Soc. Zool. Tchecoslov. de Prague*, T. 3.
- + GIGNOUX (M.). Géologie stratigraphique. 2<sup>e</sup> éd., Paris, Masson & Cie, 709 + VII p. (1<sup>re</sup> éd. en 1926.)
- + HAVRE (H.). La Terre est un astre pulsatile. Origine des mers, des continents et des chaînes de montagnes. *Le Mois*, Paris, T. 70, oct.-nov. pp. 244-253. (Résumé de l'ouvrage publié en 1931.)
- SCHUMANN (R.). Stützen neuzeitliche astronomisch-geodätische Messungen die Hypothese einer Kontinentalverschiebung? *Peterm. Geogr. Mitt.*, T. 82, p. 11.
- TYRRELL (D. W.). New Longitude Determinations in Greenland and Jan Mayen in relation to continental drift. *Problems Soviet Geol.*, T. 6, p. 716. (Article en russe.)
- WULFF (E.). A Historical geography of plants. Moscou & Lenin-grad.

## TABLE DES MATIERES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Page      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Préface . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | V         |
| <b>Premier Chapitre : Remarques préliminaires historiques . . . . .</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>1</b>  |
| Genèse de la Théorie des Translations Continentales. p. 1. — Caractère spécial de la présente édition. p. 2. — Précurseurs. p. 2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |
| <b>Chapitre II : Essence de la Théorie des Translations et ses rapports avec les hypothèses admises à ce jour, concernant les variations de la surface de la terre pendant les époques géologiques . . . . .</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>5</b>  |
| Anciennes liaisons continentales. p. 5. — Hypothèse des continents intermédiaires affaissés. p. 8. — Théorie de la Contraction. p. 9. — Estimation des étendues ayant contribué à la formation des chaînes de montagnes. p. 10. — Chaleur d'origine radioactive. p. 11. — Nature néritique des sédiments marins. p. 12. — Masse totale d'eau terrestre et continents intermédiaires. p. 12. — Isostasie. p. 13. — Soulèvement post-glaciaire de la Fino-Scandinavie. p. 13. — Théorie de la Permanence. p. 16. — Théorie des Translations Continentales. p. 17.                                                                                                                                                                                         |           |
| <b>Chapitre III : Arguments géodésiques . . . . .</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>22</b> |
| Durées des périodes géologiques. p. 22. — Déplacements annuels à espérer. p. 24. — Indices de variation de la longitude du Groenland par la méthode lunaire. p. 25. — Preuve de la translation actuelle du Groenland par la méthode de la détermination de la longitude par T.S.F. p. 26. — Différence de longitudes entre l'Amérique du Nord et l'Europe. p. 29 (*). — Modification des coordonnées géographiques de Madagascar. p. 31. — Variations de latitude. p. 32.                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |
| <b>Chapitre IV : Arguments géophysiques . . . . .</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>34</b> |
| Les deux maxima de fréquence altitudinaire. p. 34. — Leur interprétation. p. 35. — Autres essais d'explication. p. 36. — Complications en ce qui concerne les fonds océaniques. p. 37. — Mesures de l'intensité de la pesanteur. p. 38. — Interprétations de PRATT et AIRY. p. 38. — Soulèvement actuel de la Scandinavie et distribution de l'intensité de la pesanteur. p. 41. — Discontinuité des vitesses des ondes sismiques à 60 km de profondeur. p. 44. — Manque de la surface de discontinuité sous l'Océan Pacifique. p. 44. — Vitesse de propagation des ondes sismiques superficielles sur les fonds océaniques et à la surface des continents. p. 45. — Autres différences du point de vue séismologique entre les fonds océaniques et les |           |

\*) Cf. Appendice. Page 206.

socles continentaux. p. 49. — Répartition du magnétisme terrestre. p. 49. — Sol océanique plus riche en fer. p. 49. — Echantillons de roches abyssales ramenés à la surface par les dragages. p. 50. — Sima et sial. p. 50. — Eléments constitutifs des différentes couches terrestres. p. 50. — Granite, basalte, dunité. p. 51. — Coefficient de viscosité du globe. p. 52. — Estimations de SCHWEYDAR, JEFFREYS, MEYERMANN. p. 53. — Couche optima pour la fusion. p. 56. — Fusions de granite. p. 57. — Production de chaleur radioactive sous les socles continentaux. p. 57. — Degré géothermique en Europe et en Amérique. p. 57. — Courants souterrains. p. 57. — Courants de convection. p. 57.

#### Chapitre V : Arguments géologiques . . . . . 59

Largeur de l'Océan Atlantique. p. 59. — Chaînes du Cap et sierras de Buenos-Aires. p. 59. — Identité des roches éruptives de l'Amérique du Sud et de l'Afrique. p. 61. — Parenté des sédiments. p. 62. — Directions structurales au Brésil et en Afrique. p. 63. — Comparaison des traits géologiques, d'après Du TOIT. p. 66. — Démonstration des relations géologiques à l'aide de l'étude de la variation de facies de chaque formation particulière. p. 68. — Autres arguments. p. 70. — Chaîne de l'Atlas. p. 70. — Iles de l'Océan Atlantique. p. 71. — Grandes Antilles. p. 71. — Plissement carbonifère européen. p. 72. — Son prolongement en Amérique du Nord. p. 72. — Plissements calédonien et algonkien. p. 73. — Limites de l'inlandsis quaternaire. p. 74. — Importance des moyens de contrôle indépendants. p. 75. — Groenland. p. 75. — Terre-Neuve. p. 77. — Islande. p. 77. — Seuil atlantique. p. 78. — Madagascar. p. 78. — Inde péninsulaire. p. 79. — Plis himalayens. p. 80. — Limites de ce plissement. p. 80. — Conceptions d'ARGAND. p. 82. — Structure de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, d'après ARGAND. p. 82. — Intensités de plissement à l'aide du tonnage par unité de longueur, d'après ARGAND. p. 83. — Rapports entre la côte orientale de l'Inde péninsulaire et la côte occidentale de l'Australie. p. 85. — Plissements est-australiens et néo-zélandais. p. 85. — Carte bathymétrique des parages de la Nouvelle-Guinée. p. 86. — Distribution du volcanisme. p. 86. — Vérification de la théorie des translations dans l'Archipel de la Sonde par SMIT SIBINGA. p. 88. — Liaison de l'Australie avec l'Antarctique. p. 90. — Rapports entre la Terre de Feu et la Terre de Graham, comme illustration de la théorie des translations. p. 91. — Témoignage d'ARGAND. p. 92.

#### Chapitre VI : Arguments paléontologiques et biologiques . . . . . 94

Comment se pose la question. p. 94. — Indices d'une ancienne liaison entre le Brésil et l'Afrique. p. 95. — *Id.* entre l'Amérique du Nord et l'Europe. p. 97. — Preuves. p. 97. — Opinion de Von UBISCH. p. 99. — Frayères des anguilles. p. 101. — Flore du Groenland et de la Terre de Grinnell. p. 102. — Flore des îles du seuil atlantique. p. 103. — « Lémurie » et continent de Gondwana. p. 103. — Faune australienne. p. 105. — Nouvelle-Zélande. p. 107. — Pacifique. p. 108. — Iles du Pacifique. p. 109. — Répartition des Phanérogames, d'après IRMSCHER. p. 109. — Répartition des Conifères, d'après KOCH et STUDT. p. 112. — Distribution des Vers de terre, d'après MICHAELSEN. p. 112.

#### Chapitre VII : Arguments paléoclimatiques . . . . . 117

Recherches de KOPPEN et WEGENER. p. 117. — Système climatique actuel. p. 118. — Altitudes des enneigements perpétuels. p. 119. — Les moraines comme indices climatiques. p. 119. — Charbons de terre. p. 120. — Sel, gypse, grès désertique. p. 119. — Sédimentations calcaires marines.

## Page

p. 121. — Indices d'ordre biologique. p. 121. — Flores. p. 122. — Faunes. p. 122. — Variations du climat européen à partir du Tertiaire. p. 122. — Variations du climat du Spitzberg. p. 123. — Variations du climat sud-africain. p. 123. — Déplacements polaires. p. 123. — Leur insuffisance pour l'explication des variations des climats. p. 124. — Disparition des contradictions grâce à la théorie des translations. p. 125. — Glaciation permocarbonifère des continents du Sud. p. 126. — Impossibilité de l'explication de la distribution des traces glaciaires à l'aide des positions actuelles des continents. p. 127. — Conglomérats pseudoglaciaires. p. 129. — Le « Squantum Tillit ». p. 131. — Position des traces glaciaires d'après la théorie des translations. p. 132. — Position de la grande ceinture de carbonifère productif. p. 133. — Arguments de POTONIE en faveur de l'origine tropicale. p. 134. — Objections. p. 136. — Nécessité de l'hypothèse des translations continentales. p. 137. — Couches houillères au-dessus des moraines de la Gondwanie. p. 138. — Zones arides au Carbonifère et Permien, p. 138. — Epoque ultérieures. p. 140.

### Chapitre VIII : Traits essentiels des translations continentales et des migrations polaires . . . . . 142

Définition des translations continentales. p. 142. — Translations continentales compensées. p. 142. — Définition des migrations polaires. p. 143. — Déplacements polaires absolus. p. 144. — Preuves de l'existence d'un déplacement polaire actuel. p. 144. — Définition de la migration de la croûte. p. 147. — Indices de l'existence d'une rotation globale de l'écorce, dirigée vers l'Ouest. p. 147. — Indices d'une migration partielle de la croûte, dirigée vers l'équateur. p. 148. — Preuve à l'aide de la répartition de l'intensité de la pesanteur. p. 148. — Déplacements axiaux internes. p. 151. — Considérations théoriques. p. 151. — Critère à l'aide de la répartition de l'intensité de la pesanteur. p. 153. — Indices fournis par les alternances de transgressions et régressions. p. 154. — Variation des mers de transgression du Dévonien au Permien, pour tout le globe. p. 155. — *Id.*, pour l'Europe à partir du Carbonifère. p. 157. — Déplacements astronomiques de l'axe terrestre. p. 158. — Variations périodiques de l'obliquité de l'écliptique (période 40.000 années). p. 158. — Variations du climat des régions polaires. p. 159. — Leur explication à l'aide des variations de l'obliquité de l'écliptique. p. 159.

### Chapitre IX : Les forces translatrices . . . . . 161

Méthodes inductive et déductive. p. 161. — Poussée vers l'équateur. p. 162. — Intensité de la force correspondante. p. 163. — Essai de LELY pour démontrer expérimentalement son existence. p. 166. — Insuffisance de cette force en ce qui concerne les plissements. p. 167. — Frottement des marées. p. 168. — Force capable de déterminer la dérive des continents vers l'Ouest, d'après SCHWEYDAR. p. 169. — Déformations expliquées à l'aide de l'écart de la figure du globe de celle d'un ellipsoïde de révolution. p. 169. — Mouvements de la surface de la terre dus aux déplacements axiaux. p. 171. — Courants de convection dans le sima. p. 171. — Identité entre les forces translatrices et celles nécessaires aux plissements. p. 172.

### Chapitre X : Remarques complémentaires sur la sphère de sial . . . . . 173

Limites des socles de sial. p. 173. — Rôle des sédiments. p. 173. — Effets des transgressions. p. 175. — Causes des alternances des transgressions et régressions. p. 175. — Plissements. p. 177. — Plis en échelons et plis normaux. p. 179. — Disjonction. p. 180. — Fossés est-africains. p. 180. —

Intrusion latérale des couches profondes. p. 183. — Formation des fjords. p. 183. — Vallées fluviales prolongées sous la mer. p. 183. — Guirlandes est-asiatiques. p. 184. — Explication de leur formation. p. 185. — Déplacement en long des chaînes côtières. p. 188. — Tremblement de terre de San-Francisco et phénomènes s'y rattachant. p. 188. — Bord de l'Indo-Chine. p. 189. — Différence entre les côtes du type atlantique et celles du type pacifique. p. 190. — Volcanisme. p. 191. — Etendue de l'enveloppe de sial avant les ères géologiques. p. 192.

Chapitre XI : **Remarques complémentaires sur les fonds océaniques** . 196

Profondeurs moyennes des océans. p. 196. — Causes des différences de profondeur. p. 197. — Petites dénivellations des fonds océaniques. p. 198. — Eléments constitutifs du seuil atlantique. p. 199. — Granite, basalte et dunité. p. 200. — Courants de sima décelés à l'aide des cartes marines. p. 201. — Sillons abyssaux. p. 203.

Appendice : Démonstration de la dérive actuelle de l'Amérique du Nord à l'aide des nouvelles mesures des longitudes . . . . . 206

Bibliographie (Ouvrages cités.) . . . . . 207

Bibliographie récente . . . . . 218

Table des matières . . . . . 233



---

---

IMPRIMÉ EN BELGIQUE  
IMPRIMERIE & PUBLICITÉ  
FLOR BURTON, SOC. ANON.,  
28, COURTE RUE NEUVE. 28,  
A N V E R S

---

---