

Pierre Dirc

La Dérive des Continents.

Paris
1933.

LA DÉRIVE DES CONTINENTS

ET LES MOUVEMENTS

INTRA - TELLURIQUES

Du même auteur :

ROTATIONS INTERNES DES ASTRES FLUIDES

10 Feb. 1929 Estado actual de la
teoría de Wegener

Acercas de tan interesante tema disertó anoche en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central el ilustre catedrático y académico don Lucas Fernández Navarro, entusiasta partidario de la teoría de las translaciones continentales, que ha tratado en varias conferencias y publicaciones y fué el primero en dar a conocer a los geólogos españoles.

Inició su disertación con la abreviada exposición de la teoría de Wegener y su comparación con las de la contracción terrestre, la de los puentes intercontinentales y la de la permanencia de los océanos.

Estudió después los argumentos geodésicos, geofísicos, geológicos, paleontológicos, biológicos y paleoclimatológicos que abogan por la teoría wegeneriana y analizó una obra reciente de Wegener en que éste demuestra que su teoría está de acuerdo con la paleoclimatología.

Por último, insistió en las posibles relaciones del sial y sima, punto poco estudiado por Wegener, y al que el señor Fernández Navarro ha dedicado varios importantes trabajos. Esta parte final de la conferencia, por su gran originalidad, llamó poderosamente la atención del selecto auditorio, que aplaudió con entusiasmo la amena conferencia del sabio geólogo español.

LA DÉRIVE DES CONTINENTS

ET LES MOUVEMENTS INTRA - TELLURIQUES

PAR

PIERRE DIVE

DOCTEUR ÈS-SCIENCES MATHÉMATIQUES
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
CHARGÉ DE COURS

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CLERMONT-FERRAND

Préface

DE

M. EMILE PICARD

DE L'ACADÉMIE FRANÇAISE
SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1933

PRÉFACE

A lire le titre du présent volume que publie M. Dive : La dérive des continents, on pourrait penser qu'il s'agit d'une étude purement géologique. En fait, une théorie géologique récente due à Wegener a bien été l'occasion de cet ouvrage. J'avais, je dois l'avouer, quelque méfiance au sujet des idées du géologue allemand, comme d'ailleurs il m'arrive aussi pour plusieurs théories cosmogoniques en honneur aujourd'hui, qui donnent à certaines parties de la Science un caractère un peu trop romantique. Je suis heureux de dire que la lecture du travail de M. Dive m'a amené à penser que la théorie de la dérive mérite d'être prise en sérieuse considération.

Les études mathématiques du savant professeur de Clermont sur les rotations internes des astres fluides montrent en effet qu'on ne peut opposer aux idées de Wegener des objections fondées sur la dynamique des fluides. Tout d'abord une rotation en bloc ne s'impose pas pour les astres

fluides en rotation ; ainsi sur le Soleil et sur Jupiter les calottes polaires et l'équateur sont animés de rotations différentes. L'analyse mathématique montre bien, pour les astres tournants formés d'un fluide visqueux, la possibilité de courants internes. Des questions délicates se présentent sans doute au sujet de la viscosité. Il faut attribuer au Sima, c'est-à-dire au magma fluide dans lequel plongent les continents, une forte viscosité. Celle-ci n'aurait-elle pas dû faire disparaître depuis longtemps tous les mouvements internes ? Il y a là une difficulté sérieuse. M. Dive a discuté cette objection avec une grande pénétration. Comme l'écrit un géomètre suisse, M. Wavre, qui a aussi beaucoup étudié ces problèmes : « Il faut ici se départir de la tendance à confondre l'échelle humaine avec celle des dimensions terrestres ». Dans un de ses mémoires, M. Dive a tiré des équations hydrodynamiques de Navier la conclusion que c'est une sphère d'un liquide mille fois moins visqueux que l'eau, qui donnerait, à notre échelle, une véritable image de la Terre. Des objections aux idées de Wegener ne semblent donc pas subsister de ce côté.

Le livre de M. Dive, très clairement écrit, intéressera à la fois le grand public et les spécialistes. L'auteur y fait connaître les traits saillants de la théorie de la dérive des continents, et les arguments en sa faveur qui lui paraissent les plus solides. Des considérations géologiques, géodésiques et géographiques interviennent nécessairement dans cet exposé. J'ai déjà dit la large place tenue par des discussions d'ordre mécanique. On a cherché, non sans succès, à se rendre compte de la grandeur des forces tirant vers l'Equateur les socles continentaux, ainsi que de la dérive

vers l'Ouest ; les forces mises en jeu sont importantes. Elles ne semblent pas d'ailleurs suffisantes pour expliquer quelques grands plissements de l'écorce terrestre. Certaines disjonctions continentales ne peuvent guère s'expliquer autrement que par l'hypothèse de courants de Sima entraînant les continents, courants dont personne n'avait cherché, avant M. Dive, une cause systématique dans les conditions mécaniques de la rotation de la Terre regardée comme un fluide.

Il sera probablement nécessaire d'introduire ultérieurement les effets dus à un déplacement de l'axe de rotation de la Terre. La nécessité d'envisager ce déplacement, pour l'explication de lointains phénomènes géologiques, a été signalée en 1900 par Marcel Bertrand, et avec une belle audace l'illustre géologue la rattachait à la théorie des grands charriages dont il fut un des premiers fondateurs.

De nos jours, des opérations de longitude suffisamment rapprochées pourront donner d'utiles renseignements sur la dérive présumée des continents ; récemment un jeune astronome, M. Stoyko, a fait à ce sujet d'intéressantes remarques. Peut-être, sur notre Terre vieillie, le phénomène n'a-t-il plus guère d'ampleur, et tend-il à prendre un caractère périodique. Ces questions, comme toutes celles qui sont soulevées dans ce volume, solliciteront sans doute longtemps l'effort des chercheurs. Un index bibliographique, placé par M. Dive à la fin de son ouvrage, sera précieux pour ceux qu'intéressent ces difficiles problèmes.

EMILE PICARD,

de l'Académie Française,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences

LA DÉRIVE DES CONTINENTS

et les

Mouvements intra-telluriques ⁽¹⁾

L'imagination... se lassera plutôt de concevoir
que la nature de fournir.

(PASCAL, *Pensées.*)

AVANT - PROPOS

Une théorie géologique, due surtout au regretté WEGENER, est venue modifier les idées communément admises sur la genèse des continents et des océans. Dans une vaste synthèse, elle nous transporte plusieurs millions de siècles en arrière et nous fait assister aux bouleversements titanesques qui ont ridé notre Terre, convulsé et déchiré sa face.

En une rapide esquisse, nous exposerons les grandes lignes de la conception hardie de WEGENER, avec les arguments fondamentaux qu'il a mis en avant pour la défendre (2).

Nous attirerons spécialement l'attention sur les problèmes de géomécanique et de géophysique que pose cette théorie.

L'hypothèse d'un mouvement relatif intérieur des masses

(1) Conférences données en 1931 et 1932 à l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand.

(2) Les paragraphes plus particulièrement consacrés aux arguments de WEGENER seront précédés d'un astérisque.

terrestres est capitale pour rendre compte de certaines formations géologiques. Nous avons cherché une raison de ce mouvement dans l'étude des rotations internes d'un fluide hétérogène, soumis à l'attraction de ses parties. On nous permettra d'insister sur cette question qui a fait l'objet principal de nos recherches mathématiques. Mais nous ne saurions oublier les travaux de MM. EPSTEIN, SCHWEYDAR, W.-D. LAMBERT, ni les belles recherches, plus récentes, de MM. WAVRE et BERNER.

* * *

La théorie des dérives continentales n'a pas été accueillie chez nous avec la même faveur qu'à l'étranger, bien que la première idée en ait été déjà émise, aux XVII^e et XIX^e siècles, par deux français, le Père PLACET et SNIDER. L'opinion exprimée par M. EMILE PICARD, dans la préface qu'il nous a fait l'honneur d'écrire pour cet ouvrage, modifiera sans doute la manière de voir de ceux qui regardent encore l'hypothèse de la dérive comme le fruit d'une imagination trop aventureuse.

Que l'illustre savant et maître vénéré, qui a bien voulu s'intéresser à ce travail et le considérer avec tant de complaisance, trouve ici l'hommage de ma respectueuse gratitude.



LA PANGÉE DES TEMPS CARBONIFÈRES ET LA GENÈSE DES CONTINENTS

Les hypothèses de WEGENER supposent essentiellement que la terre n'est pas rigide, mais qu'elle est au contraire douée, dans son ensemble, d'une plasticité notable, voisine de la fluidité dans ses couches supérieures (1).

Cette idée, défendue en France par LIPPMANN et A. de LAPPARENT, en Autriche par SUESS, est apparue nécessaire pour rendre cohérents les résultats de diverses observations sur l'aplatissement du globe, le degré géothermique, la propagation des ondes sismiques...

SUESS considérait le globe comme formé de trois parties différenciant les unes des autres par leur constitution, leur état physique ou leur fluidité (2) :

Au centre, un noyau à très haute température, le *Nifé*, très dense, constitué surtout de nickel et de fer ;

Au-dessus, une couche visqueuse, moins lourde et moins chaude, le *Sima*, d'une épaisseur de quinze cents kilomètres environ, où dominent les proportions de silicium et de magnésium ;

Et, sur cette couche, une enveloppe très mince, le *Sial*, d'une substance plus légère encore, riche en silicates d'aluminium, comme les scories d'un bain métallurgique (3).

Reportons-nous, avec WEGENER, quelque cinq cents millions d'années dans le passé. Le *Sial* recouvre la planète entière et, sur lui, s'étend la « Panthalassa », la mer universelle.

Mais le voile de *Sial* se déchire un jour, se rétracte sur une

(1) Abstraction faite de sa croûte pierreuse d'épaisseur négligeable relativement à son rayon.

(2) E. SUESS, *La face de la terre*, 1885, trad. E. de Margerie.

(3) « Ainsi se formaient des silicates complexes et stables, venant flotter sur la sphère métallique, comme les scories nagent à la surface de la fonte ». A. de LAPPARENT, *La formation de l'écorce terrestre*, 1901, p. 45.

faible portion de son étendue primitive et forme un bourrelet qui émerge de l'Océan.

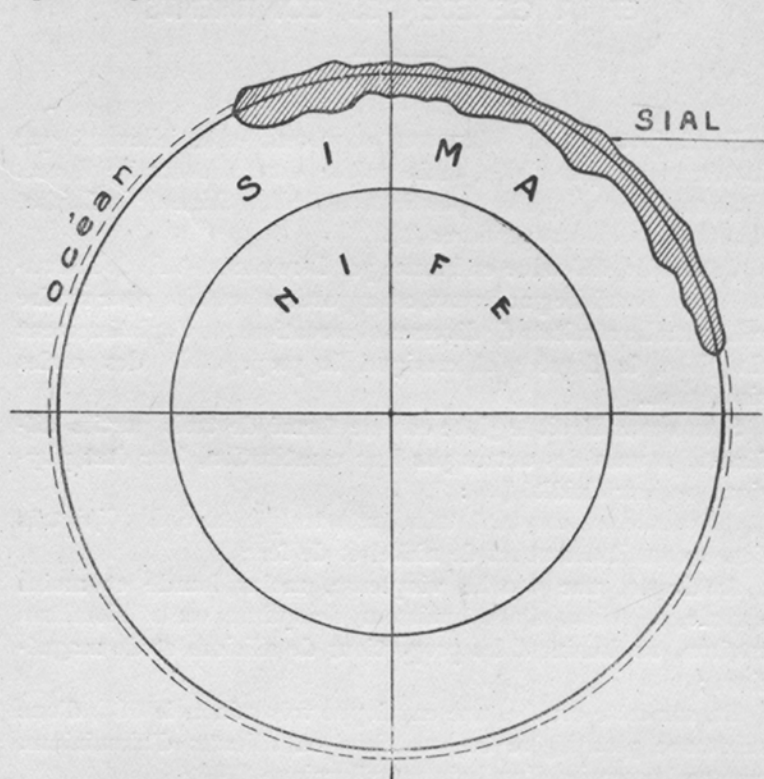
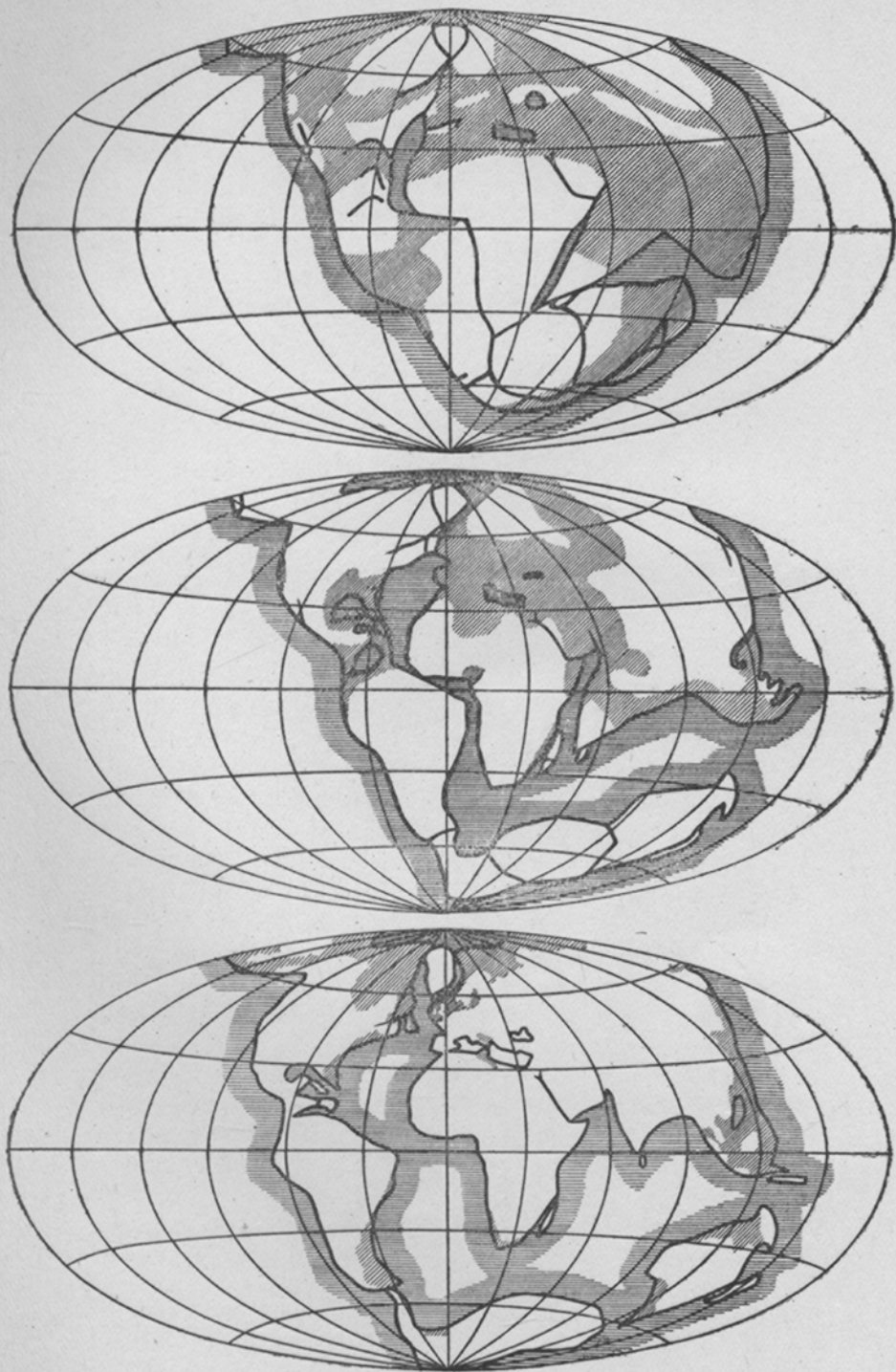


FIG. 1. — Coupe du globe terrestre. Pangée des temps carbonifères.

Pour des raisons géologiques et paléontologiques, WEGENER pense que les continents sont des fragments détachés de cet unique amas de Sial. Cette « Pangée », comme il l'appelle, aurait subsisté pendant toute l'ère primaire ; mais, dès l'ère secondaire, elle se serait divisée sous l'influence de forces dont les géodésiens ont recherché la nature, et les continents, ainsi libérés, voguant à la dérive sur le Sima, tels des icebergs sur un océan, auraient gagné lentement, au cours des époques, les positions qu'ils occupent aujourd'hui.

Carte du globe à 3 époques de l'histoire géologique d'après Wegener

CARBONIFÈRE SUPÉRIEUR — EOCÈNE — QUATERNAIRE ANCIEN



Hachures horizontales : domaines abyssaux. — Hachures inclinées : mers épicontinentales

L'ISOSTASIE

LE FLOTTAGE DES CONTINENTS

La théorie de *l'isostasie*, ou du flottage des continents, émise vers le milieu du XIX^e siècle déjà par AIRY, soutenue par LIPPMANN (1), s'est trouvée confirmée par tout un ensemble de mesures et d'observations de nature diverse.

* I. — Le relèvement de la péninsule scandinave et du bouclier canadien.

Un des phénomènes géologiques les plus curieux, à l'heure actuelle, est le relèvement progressif de la péninsule scandinave. Des nivellements périodiques ont prouvé que, de nos jours encore, son niveau s'élève de un mètre par siècle environ. Ce chiffre est déjà considérable ; mais en étudiant les lignes des rivages des époques anciennes, le géologue Suédois de GEER (2) a établi que, pendant la dernière grande glaciation, il y a quelque dix mille ans, l'intérieur du pays se trouvait à deux cents cinquante mètres, au moins, au-dessous de son niveau actuel. Une épaisse carapace de glace, un *inlandsis*, couvrait alors la péninsule ; et il est bien naturel d'attribuer à cette lourde charge, la cause de son enfoncement.

En utilisant le principe d'Archimède, RUDZKI a calculé l'épaisseur probable de cet *inlandsis* ; elle aurait atteint neuf cents mètres ; valeur très vraisemblable si l'on en juge par la hauteur actuelle des glaciers du Groënland et du continent

(1) Cf. A. BERGET, *Physique du Globe et Météorologie*, Paris 1904.

(2) G. DE GEER, *Om Skandinawiens Geografiska Utveckling efter Istiden*. Serviges Geologiska undersökning : série C, n° 161, a et b, Stockholm, 1896.

antarctique. Que si l'on voulait, au contraire, attribuer le relèvement du niveau de la Scandinavie à un phénomène de décompression élastique, il faudrait admettre qu'une calotte glaciaire de sept kilomètres ait pu, autrefois, la couvrir. Il n'est pas possible de souscrire à une telle hypothèse.

Des constatations semblables ont été faites sur le bouclier canadien ; et le calcul a montré qu'une épaisseur de glace de seize cent soixante-dix mètres a dû suffire à faire plonger ce territoire de cinq cents mètres.

Ces phénomènes nous donnent bien l'idée de comparer les socles continentaux à des radeaux qui s'enfoncent ou qui s'élèvent suivant qu'on les charge ou qu'on les décharge.

On comprend aussi pourquoi, à cause de la forte viscosité du Sima dans lequel baignent les continents, ces mouvements verticaux ne puissent s'effectuer que très lentement.

2. — Les deux niveaux les plus fréquents de la surface de la Terre.

D'anciens problèmes, dont la solution était restée pendante, ont été repris à la lumière de ces nouvelles conceptions.

Le fait, connu depuis au moins soixante ans, que la surface de la terre se partage entre deux niveaux privilégiés n'avait jamais pu être expliqué d'une manière satisfaisante ; l'ancienne hypothèse de la contraction, d'après laquelle le globe s'est ridé en se refroidissant, est, en effet, incapable de rendre compte de cette constatation.

Supposons qu'on ait divisé la surface de la Terre par un réseau dont les mailles auraient un kilomètre carré. Et construisons une courbe que l'on pourrait appeler courbe des fréquences altitudinaires. Nous porterons, en abscisses, les altitudes terrestres, comptées à partir du niveau de la mer représenté par le point origine 0, et, en ordonnées, les nombres de mailles ayant ces mêmes altitudes moyennes.

Il est clair que s'il existait primitivement un seul niveau

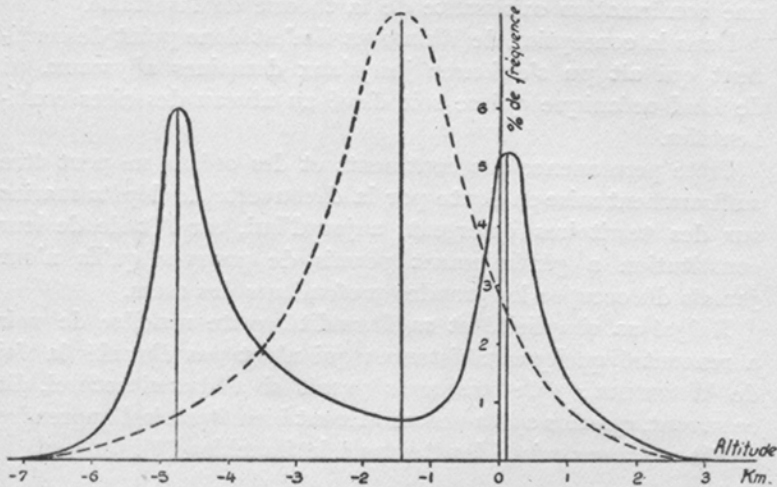


FIG. 2. — Courbe des fréquences altitudinaires.

d'équilibre, les écarts d'altitudes survenus, sous l'effet de la contraction, devraient être, en l'absence de toute cause physique ou mécanique étrangère, d'autant plus rares qu'ils sont plus importants. Autrement dit, les mailles ayant un niveau moyen situé à 2.400 mètres environ au-dessous de la mer, seraient les plus nombreuses, tandis que les mailles des plus grandes altitudes positives ou négatives seraient, au contraire, en très petit nombre. La courbe des fréquences n'aurait donc qu'un seul maximum et reproduirait la courbe en cloche de Gauss, du calcul des probabilités.

En fait, la courbe obtenue présente deux maxima et répète deux fois la courbe de Gauss. Ainsi apparaissent les deux niveaux privilégiés, l'un situé à 100 mètres au-dessus de la mer, l'autre à 4.700 mètres au-dessous : ce sont respectivement les altitudes moyennes des aires continentales et des aires abyssales sous-marines.

Il paraît superflu de faire remarquer que cette division de

la surface du globe entre deux niveaux prédominants constitue une confirmation saisissante de la théorie de l'isostasie.

Dans la conception de WEGENER il n'est donc point de continent qui ait pu s'enfoncer jusqu'aux domaines abyssaux, ni de fond océanique qui se soit élevé au niveau des aires continentales.

Cette permanence des continents et des océans ne peut être suffisamment mise en doute par la découverte de dépôts marins sur des territoires émergents aujourd'hui, car l'étude de leur constitution a généralement permis de prouver qu'ils n'ont jamais dû occuper les grandes profondeurs des mers.

Malgré sa simplicité et sa fécondité, cette manière de voir a rencontré quelques résistances qui n'ont pas ébranlé la foi de WEGENER : « Ce pas nous paraît si aisé et si naturel, dit ce savant, que nos après-venants seront bien étonnés d'apprendre que nous avons mis si longtemps à le franchir » (1).

* 3. — Les nappes de charriages alpines.

La permanence des océans et des continents n'est point la seule question où se soit révélée l'insuffisance de la théorie de la contraction.

Depuis les travaux de MARCEL BERTRAND (2) et de P. TERMIER qui ont prouvé l'existence de vastes nappes de charriages

(1) Cf. A. WEGENER, *La genèse des continents et des océans*, trad. Reichel, p. 25.

(2) L'éminent géologue pensait que la sédimentation, en produisant des déplacements de masses à la surface du globe, était capable de déclencher les grands charriages ; il a fait observer aussi que ces déplacements devaient, en vertu du principe de la conservation des aires, provoquer un mouvement relatif important des couches superficielles terrestres, s'entraînant par adhérence mutuelle, par rapport au noyau central. « La Terre, dit MARCEL BERTRAND, serait comparable à une orange, dont, par une forte pression de la main, on arriverait à faire tourner l'écorce tout d'une pièce, sans déplacer le fruit ni les quartiers. » (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, 1900, 1^{er} semestre, p. 291 et *Œuvres*, t. III, p. 1744).

alpines, la plupart des géologues admettent avec A. HEIM (1) et E. ARGAND que la largeur actuelle des Alpes n'atteint pas le quart de la largeur primitive des couches aux dépens desquelles cette chaîne s'est formée. On conçoit dès lors qu'il n'est pas possible de chercher dans le seul refroidissement de la croûte terrestre la cause d'un tel rétrécissement.

4. — Les anomalies de la pesanteur.

Un autre phénomène, celui des anomalies de la pesanteur, a passionné et préoccupe encore les géodésiens.

Les montagnes n'attirent pas le fil à plomb autant que le laisse prévoir la loi de l'attraction universelle.

Connaissant la forme, le volume et la densité des matériaux d'une masse montagneuse, il est possible de calculer, au moyen de cette loi, la valeur de l'angle dont doit dévier le fil à plomb par rapport à la direction normale ou théorique de la verticale à la latitude considérée.

En 1855, PRATT fit ce calcul pour le massif de l'Himalaya et trouva qu'à Kalia, ville de la plaine du Gange, la déviation devait être d'une minute d'arc. Or, l'expérience révéla une déviation d'une seconde seulement, valeur soixante fois plus petite.

Ainsi pesé, en quelque sorte, l'Himalaya fut trouvé excessivement léger. Fallait-il penser que cette énorme masse était creuse ?

Le même résultat surprenant fut obtenu près des principales montagnes : les Pyrénées, les Alpes, le Fuzi-Yama paraissent laisser le pendule indifférent (2).

Des mesures faites en plein océan prouvèrent aussi que l'intensité de la pesanteur garde sensiblement sa valeur normale

(1) *Bau der Schweizer Alpen (Neujahrsblatt d. Naturf. Ges. Zurich, 1908, 110. Stück, p. 24).*

(2) Cf. F. KOSSMAT, *Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde. Geol. Rundschau, 12, p. 165-189.*

même au-dessus des grands fonds océaniques, où, cependant, l'eau, remplaçant la terre plus dense, donne lieu à un déficit évident de masse attirante.

Toutes ces anomalies s'expliquent très simplement si l'on a recours à la théorie de l'isostasie.

Considérons un continent flottant sur le Sima. Le principe d'Archimède nous apprend que la partie immergée de ce continent doit être d'autant plus profonde que sa partie émergente est plus élevée. De là résulte qu'à toute excroissance extérieure de la croûte terrestre doit correspondre une excroissance inférieure destinée à maintenir l'équilibre isostatique.

On peut, dès lors, représenter schématiquement une coupe de la lithosphère de la façon suivante (fig. 3).

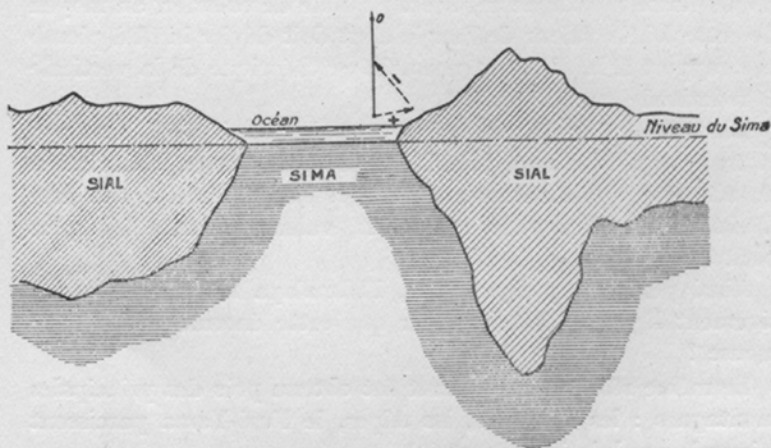


FIG. 3. — Coupe de la lithosphère. Anomalies de la pesanteur.
Attraction des masses montagneuses.

Fixons d'abord le niveau d'équilibre du Sima ; et imaginons, par exemple, de l'Ouest à l'Est, un haut-plateau, une mer et une montagne.

Il doit exister sous la montagne une excroissance de la croûte de Sial et, sous le haut-plateau, un simple épaissement. Sous la mer la couche de Sial sera très amoindrie ou même nulle, selon l'idée de WEGENER.

Plaçons un fil à plomb dans le voisinage de la montagne. La direction normale de la verticale est celle que prendrait le fil à plomb si la montagne n'existait pas (1). Voyons comment sa présence pourrait modifier cet état d'équilibre.

Nous devons évidemment tenir compte de l'attraction exercée sur le fil à plomb par la partie émergente de la montagne.

Mais il ne faut pas oublier que l'excroissance inférieure de Sial se substitue à un égal volume de Sima qui, en raison de sa densité plus élevée, exercerait une action plus grande sur le fil à plomb.

Il nous faut donc retrancher de l'attraction due à la partie extérieure de la montagne l'attraction d'une masse occupant le volume de l'excroissance inférieure, mais dont la densité est égale à l'excès de la densité du Sima sur celle du Sial. La déviation causée par le voisinage d'une montagne peut ainsi être considérablement diminuée, ou même complètement annulée : tout dépend des valeurs relatives des volumes et des densités des masses en présence.

Nous avons cherché à rendre compte par le calcul de deux résultats expérimentaux. L'une de ces vérifications porte sur la déviation de la verticale, l'autre sur l'intensité de la pesanteur.

Dans les Mémoires de l'Académie de Toulouse de 1847, PETIT a publié un intéressant article où il donne le calcul de la déviation que la masse des Pyrénées devrait faire subir à un fil à plomb par rapport à sa direction normale à Toulouse ; il trouve un angle de 7 secondes, valeur tout à fait appréciable, puisque les pointages astronomiques permettent de mesurer avec une grande précision des quantités beaucoup plus faibles. En fait,

(1) On sait que cette direction est définie théoriquement, à la surface de l'ellipsoïde terrestre, en fonction de la latitude du lieu considéré.

la déviation mesurée expérimentalement fut reconnue négligeable.

Or, cette discordance s'explique très bien si l'on reprend le calcul de l'attraction des Pyrénées, mais en tenant compte, comme nous venons de l'expliquer, du socle inférieur de cette montagne plongeant dans le Sima. Après des développements mathématiques assez laborieux en raison de la configuration compliquée de ce socle, nous avons eu la satisfaction de reconnaître que sa présence avait pour effet de diminuer la déviation prévue d'une quantité très voisine de 7 secondes.

L'autre vérification concerne la mesure de la pesanteur sur le Fuzi-Yama. Grâce à la forme conique simple de cette montagne, il est facile de déduire par le calcul la valeur de l'accélération g de la pesanteur en son sommet, de sa valeur g_0 à sa base, à Tokio. Même en prenant pour le Fuzi-Yama une densité vraisemblablement trop faible (2,12), MENDENHALL avait obtenu pour g un chiffre supérieur au chiffre expérimental (1). Ici encore l'introduction dans le calcul de l'attraction de l'excroissance inférieure nous a donné le moyen de mettre en accord la théorie et l'expérience.

(1) L'accélération de la pesanteur à Tokio est $g^0 = 979,84 \text{ cm} : \text{s}^2$; si l'on ne tient pas compte de l'excroissance inférieure, le calcul fournit, au sommet du Fuzi-Yama, une accélération $g' = 978,91 \text{ cm} : \text{s}^2$, alors que l'expérience ne révèle qu'une accélération $g = 978,86 \text{ cm} : \text{s}^2$.

LA VISCOSITÉ DU GLOBE ET LES MIGRATIONS POLAIRES

Tout ce que nous avons dit jusqu'ici suppose la fluidité du globe terrestre ou, au moins, celle des couches supérieures de Sima.

L'aplatissement du géoïde n'est point la seule preuve que l'on puisse encore apporter en faveur de cette affirmation.

I. — Les variations climatiques.

LAPLACE a montré qu'en négligeant les oscillations de faible amplitude dues aux attractions luni-solaires, l'axe de rotation d'un globe rigide conserverait une direction fixe par rapport aux étoiles éloignées.

Mais, ainsi que l'a établi I.-V. SCHIAPARELLI, il n'en est plus de même pour un globe visqueux dont l'axe polaire peut effectuer des déplacements très importants (1).

En niant la fluidité de la Terre, nous nous opposerions donc à l'idée que les pôles aient pu se déplacer.

Mais cette hypothèse apparaît, au contraire, aux géologues, comme étant de plus en plus nécessaire. L'étude des fossiles et de la flore des époques anciennes, celle des indices climatiques, tels que les blocs erratiques striés abandonnés par les glaciers, a même permis de retracer avec quelque précision les migrations polaires de la période permo-carbonifère.

Sur le Spitzberg, aujourd'hui couvert de glace, s'épanouissait

(1) *De la rotation de la Terre sous l'influence des actions géologiques*, p. 15 et 31, Saint-Pétersbourg, 1889.

une flore tropicale, riche en essences ; tandis qu'à 90 degrés au Sud, une épaisse carapace glaciaire s'étendait sur l'Afrique centrale.

Pouvons-nous douter, après cela, que la répartition ancienne des climats n'ait été très différente de leur répartition actuelle ?

Or, il est impossible de chercher les causes des variations climatiques sans admettre la possibilité des migrations polaires ou des déplacements continentaux.

De toute façon, nous devons abandonner la conception d'une terre rigide.

* 2. — Rapport entre les déplacements des pôles et les transgressions et régressions marines.

L'hypothèse de la plasticité du globe est également confirmée d'une manière saisissante par les rapports qui existent entre les déplacements des pôles et les transgressions et régressions marines.

En traçant sur sa carte, figurant les continents au carbonifère, les lignes de rivages successives durant la période qui va du Dévonien inférieur au Permien supérieur (1), WEGENER a fait ressortir de remarquables variations concomitantes : (fig. 4).

Du Dévonien inférieur au Carbonifère inférieur, la vaste mer épicontinentale, qui, jusqu'alors, couvrait presque entièrement l'Amérique du Sud, se retire de cette plateforme, et, dans le même temps, le pôle Sud s'avance du Cap vers la Guinée.

Du Carbonifère inférieur au Permien supérieur, c'est le phénomène contraire qui se produit : le pôle rétrograde vers l'Australie, tandis que l'Océan inonde de nouveau le continent américain.

(1) Rappelons, dans leur ordre chronologique, les divisions stratigraphiques de l'Ere primaire : Archéen, Précambrien, Cambrien, Silurien, Dévonien, Carbonifère, Permien.

Du Dévonien inférieur au Carbonifère inférieur

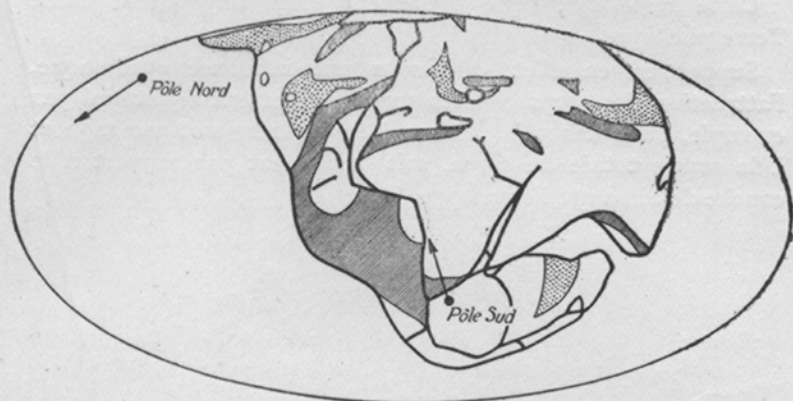


FIG. 4. — *Transgression et régressions marines (d'après Wegener).*
(ponctué : transgressions — hachuré : régressions)

Du Carbonifère inférieur au Permien supérieur

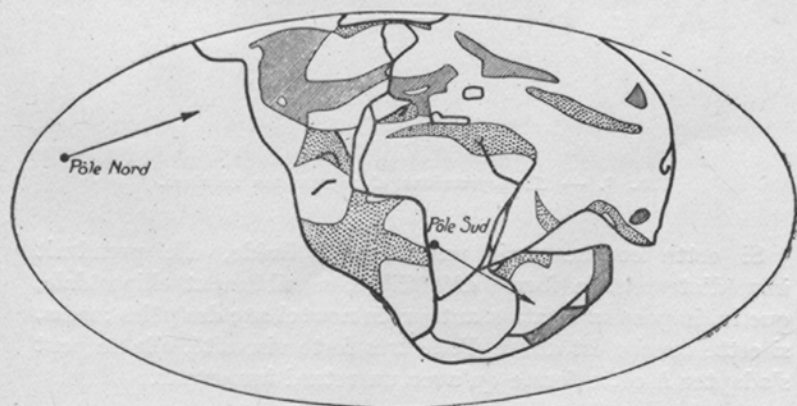


FIG 5. — *Transgressions et régressions marines (d'après Wegener).*
(ponctué : transgressions — hachuré : régressions).

D'une manière générale, on observera toujours une transgression de l'Océan à l'arrière du pôle et une régression à l'avant.

Cette règle s'explique facilement dans l'hypothèse d'une Terre plastique.

Supposons, en effet, que, sous une influence quelconque, l'attraction des corps célestes sur le renflement équatorial par exemple, l'axe des pôles vienne à se déplacer soit par rapport à la masse totale du globe, soit seulement par rapport à la couche de Sima qui l'enveloppe (1).

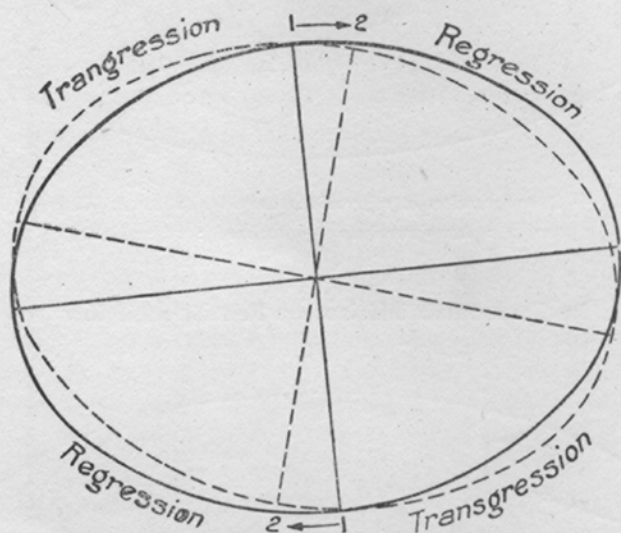


FIG. 6. — *Transgressions et régressions marines.*

Si cette couche était parfaitement fluide, elle prendrait immédiatement la forme d'équilibre, sensiblement ellipsoïdale, que lui impose sa rotation autour du nouvel axe des pôles ; mais, si cette couche est douée d'une très forte viscosité, elle ne peut s'adapter à cette forme qu'avec un retard important.

(1) Cf. I. V. SCHIAPARELLI, *loc. cit.*, p. 31.

Au cours des migrations polaires, la surface du globe occupera donc un niveau trop élevé à l'avant du pôle et un niveau trop bas à l'arrière. Mais, il n'en sera pas du tout de même pour l'océan, dont la viscosité est négligeable et qui, par suite, sans délai, s'abaissera devant le pôle et s'élèvera derrière.

Dans le même ordre d'observations, la paléoclimatologie fournit encore à WEGENER un argument précieux pour soutenir l'hypothèse de la plasticité du globe.

Cette science, nous l'avons dit, a imposé, peu à peu, à la plupart des géologues l'idée des migrations polaires (1).

WEGENER porte particulièrement son attention sur le déplacement, de 90 degrés environ, qu'a dû effectuer le pôle entre le Carbonifère et le Quartenaire, et il remarque, très habilement, que si la terre n'était pas plastique ce phénomène aurait dû être accompagné d'un bouleversement marin d'une extraordinaire ampleur :

Le Géoïde des eaux a, on le sait, un rayon équatorial qui dépasse de 21 kilomètres son rayon polaire. Si donc la Terre était rigide, c'est à une profondeur de cet ordre qu'auraient dû s'abaisser les lignes de rivages du Spitzberg, au cours de son passage des régions équatoriales aux régions polaires. Et, de nos jours, nous verrions, à sa place, s'élever, au-dessus de la mer, un piton colossal dont la hauteur dépasserait 20.000 mètres !...

On le voit, il ne nous est pas possible d'échapper à l'hypothèse que le globe ait pu, à l'instar de l'Océan, s'adapter aux changements de position de son axe de rotation, bien qu'il n'ait pu le faire qu'avec un certain retard, comme nous l'avons expliqué.

3. — Sur l'ordre de grandeur de la viscosité du Sima.

La haute température des masses terrestres, dépassant déjà 2.000 degrés à 150 kilomètres de profondeur, et atteignant,

(1) V.-E. KAYSER, *Traité de Géologie* (1918).

peut-être 6.000 degrés au centre du globe, rend tout à fait vraisemblable l'hypothèse de sa plasticité ; les observations dont nous venons de parler montrent à quel point cette idée est soutenue par les faits.

Quelques géophysiciens n'ont point voulu se rallier à cette conception.

Il faut reconnaître qu'au premier abord, elle peut paraître contredire les résultats de diverses observations faites sur les ondes sismiques, les marées élastiques de la croûte terrestre ou sur les oscillations du pôle.

C'est, en effet, en tenant compte de ces considérations que M. SCHWEYDAR (1) a été amené à attribuer au globe, pris dans son ensemble, un coefficient de rigidité μ égal à $6,3 \times 10^{11}$ c.g.s. (2) voisin de celui de l'acier ou du platine.

Faut-il à cause de cela renoncer à l'idée de la fluidité du Sima ?

Nous le croyons pas, car il n'existe aucune relation nécessaire entre ce coefficient μ qui intéresse les propriétés élastiques du milieu et son coefficient de viscosité η (3). La similitude des rôles joués par ces coefficients dans les équations de l'élasticité et dans celles de la viscosité est purement formelle ; *un même corps peut se déformer d'une manière permanente sous l'influence de forces très petites, alors même que sa rigidité élas-*

(1) W. SCHWEYDAR, *Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte gemessen mit zwei Horizontalpendeln im Bergwerk in 189 m. Tiefe bei Freiberg i. Sa.*, Zentralbureau d. Internat. Erdmes., N. F., n° 38, Berlin, 1921.

(2) Rappelons que ce coefficient se définit par la formule : $C = \mu \frac{\pi r^4}{2 l} \alpha$, où C est le couple nécessaire pour tordre d'un angle α une tige cylindrique de section circulaire, de longueur l et de rayon r .

(3) La force de viscosité F qu'exercent, l'une sur l'autre, deux courbes visqueuses en contact sur une étendue s , est donnée par la formule :

$$F = \eta s \frac{dv}{dn}$$

où $\frac{dv}{dn}$ est le gradient de la vitesse relative v dans la direction normale au mouvement de ces couches.

tique est très grande (1); sous l'effet d'un choc, le brai se comporte comme un corps rigide, tandis qu'il cède à une sollicitation faible mais persistante, (Canon à brai de Georges CLAUDE).

Il est, par suite, impossible de déduire du coefficient de rigidité d'un milieu une valeur, même très grossièrement approchée de son coefficient de viscosité (2).

L'évaluation exacte de la viscosité du Sima paraît, dès lors, bien difficile.

D'un calcul approximatif, où il fait intervenir l'augmentation de la durée du jour sidéral sous l'influence des marées, M. VÉRONNET pense cependant pouvoir établir que le coefficient η de viscosité des couches supérieures du magma terrestre est de l'ordre de 10^8 à 10^9 unités c. g. s. Cela permettrait d'attribuer au Sima une viscosité comparable à celle de la poix ou de la cire à cacheter (le bâton à la température ordinaire) (3). En raison de l'énorme pression, de 30.000 atmosphères environ, régnant à la base des socles continentaux, ce résultat n'est pas incompatible avec le fait que le globe se comporte comme un corps aussi rigide que l'acier relativement à des forces de courte période. La contradiction apparente s'évanouit (4).

Les continents baignent donc dans un magma visqueux ; ils sont entraînés par lui comme des épaves dans un courant marin ; mais ils peuvent aussi, sous l'action des forces de pressions internes ou des attractions des astres, se déplacer avec une vitesse insensible dans son sein, sur de grandes étendues, durant plusieurs millions d'années.

(1) Cf. BOUASSE, *Séismes et Sismographes*, p. 306 ; § 181, pp. 313 à 315, et *Résistance des matériaux*, p. 453.

(2) Ces deux grandeurs n'ont pas les mêmes formules de dimensions : $\mu = ML^{-1}T^{-2}$, $\eta = ML^{-1}T^{-1}$.

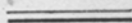
(3) ALEX. VÉRONNET, *Rotation de l'ellipsoïde hétérogène*, p. 90.

(4) « Que le Sima ait même à froid une viscosité fluide (la moindre force agissante indéfiniment y produit une déformation indéfinie) n'est pas contradictoire avec le fait que le basalte (admis en quantité notable dans le Sima) est dur et cassant : l'ébonite, bien que fragile (cassure conchoïdale), se déforme rapidement sous l'action de son propre poids. » BOUASSE, *Séismes...*, loc. cit., p. 352.

* 3. — Coexistence du Sima fluide et du Sial solide.

Nous devons donner encore un mot d'explication. Certainement, il semble surprenant que le Sima et le Sial, constituant l'écorce terrestre puissent coexister, l'un à l'état fluide, l'autre dans un état de consistance voisine de la solidité.

Il est facile de répondre à cette objection en faisant remarquer avec DÆLTER que le point de fusion des substances sialiques est de 2 à 300 degrés plus élevé que celui du Sima.



ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'HYPOTHÈSE DES TRANSLATIONS CONTINENTALES

Nous avons acquis, maintenant, la conviction que les continents flottent sur un magma visqueux, qu'ils sont libres de toute liaison solide entre eux et avec le géoïde terrestre, qu'ils peuvent s'éloigner, se rapprocher, se heurter les uns les autres.

Il nous reste à dire sur quelles observations géologiques et paléoclimatiques WEGENER s'est fondé pour édifier son audacieuse théorie des translations continentales.

« C'est en 1910 — dit ce savant — que, pour la première fois, l'idée des translations continentales me vint à l'esprit ; en considérant la carte du globe, je fus subitement frappé de la remarquable concordance des côtes de l'Atlantique, mais estimant par trop invraisemblable l'idée de leur ancien emboîtement, je ne m'y arrêtai point tout d'abord. En automne 1911, cependant, j'eus connaissance, par hasard, d'un compte rendu scientifique qui m'apprit que la paléontologie était obligée d'admettre l'existence, autrefois, de communications terrestres entre le Brésil et l'Afrique. Cela m'engagea à faire un examen préalable des données géologiques capables de confirmer l'idée de la dérive des continents et elles la confirmèrent dès l'abord si abondamment que je fus profondément convaincu de sa justesse » (1).

Depuis, l'hypothèse que les continents, primitivement soudés en un socle unique, se seraient séparés pour partir à la dérive, a été justifiée par des preuves nombreuses et diverses apportées par les recherches de WEGENER et de ses disciples. (2)

(1) *La Genèse des Continents et des Océans, loc. cit.*, p. 6.

(2) M. Jean GATTEFOSSÉ, ingénieur, et M. Claudius ROUX, Directeur-adjoint des Bibliothèques de la ville de Lyon, ont fait connaître en 1926,

* I. — Arguments géologiques.

Le premier argument à avancer en faveur de l'hypothèse des translations continentales est fourni par l'étude de l'orientation et de la nature géologique des plissements des continents autrefois en contact.

Rapprochons, par la pensée, l'Amérique du Sud de l'Afrique, nous serons saisis du parfait parallélisme de certaines formations :

La région du Cap est parcourue de l'Est à l'Ouest par une ancienne chaîne permienne, les *Zwarte Berge*, dont KEIDEL a montré la ressemblance au triple point de vue tectonique, stratigraphique et paléontologique avec de vieux plissements situés au Sud de Buenos-Ayres.

L'analogie est remarquable aussi entre le plateau de gneiss de l'Afrique occidentale et celui du Brésil. L'angle droit qui limite le socle brésilien pourrait s'emboîter exactement dans l'angle rentrant du golfe de Guinée. Et il est facile de reconnaître que si cet emboîtement était réalisé, les chaînes de la Guyane brésilienne, transversales au contour du continent, prolongeraient les plissements soudanais, le cours supérieur de Niger devenant ainsi parallèle à celui de l'Amazone, tandis que les massifs montagneux bordant les continents au Sud du Cameroun et du cap Saint-Roque se trouveraient avoir la

dans la *Bibliographie de l'Atlantide et des questions connexes* (seconde édition en 1932), que cette hypothèse fut émise bien avant les mémoires de WEGENER. (Cf. aussi G. TIERCY, *De l'hypothèse de la dérive des continents*, C. R. Soc. de phys. et hist. nat. de Genève, vol. 49, n° 3, septembre-décembre 1932).

On la trouve, énoncée pour la première fois en 1668, par le Père Placet dans son ouvrage intitulé : « *La corruption du grand et du petit monde, où il est montré que... devant le déluge, l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde* ». Cet ouvrage est conservé à la Bibliothèque nationale à Paris. En 1858, l'hypothèse a été exposée avec beaucoup plus de précision par SNIDER dans son livre *La Création* (Zentralbibliothek, Zurich). Il est juste que ces antériorités soient signalées. WEGENER aura eu le grand mérite de fournir à l'idée des dérives une théorie cohérente et les arguments les plus solides.

même orientation générale. Bien plus, les recherches de BROUWER ont prouvé que les roches éruptives et sédimentaires de ces deux plateaux sont de même nature.

Entre l'Europe et l'Amérique du Nord, on peut aussi faire des rapprochements suggestifs.

Les vieilles formations montagneuses appelées par SUESS chaînes armoricaines, traversent l'Europe orientale et centrale pour disparaître brusquement en Bretagne, après s'être infléchies vers l'Ouest. Ces chaînes doivent donc aussi trouver leur prolongement sur le continent américain. Et, de fait, MARCEL BERTRAND avait déjà montré en 1887 leur ressemblance avec les monts Appalaches.

Plus au Nord, le long plissement qui forme l'ossature de la péninsule scandinave et qui traverse la Grande-Bretagne se retrouve dans ce que TERMIER a appelé les « Calédonides canadiennes ».

La théorie de WEGENER admet aussi que la péninsule indoue était autrefois soudée à Madagascar et à l'Afrique orientale (*Lémurie*). Cette idée est encore confirmée par la comparaison des plissements de même nature et de semblable orientation qui se correspondent sur ces continents.

La dérive de l'Inde est particulièrement intéressante car elle nous donne le plus bel exemple d'orogénèse. C'est, en effet, à la forte compression qu'exerça le socle indou sur les terres de moindre épaisseur le reliant au continent asiatique qu'il faut attribuer la gigantesque surrection montagneuse qui donna l'Himalaya, le Tibet et les plis en échelons de l'Asie orientale, répartis de l'Hindou-Kouch au lac Baïkal. Remarquons les limites de la compression dans les plissements en éventail de l'Hindou-Kouch et dans les chaînes de la Birmanie qui dévient vers le Sud, traversent l'Annam et se prolongent dans la presqu'île de Malacca, et dans Sumatra même (1).

(1) Cf. EMILE ARGAND. *La tectonique de l'Asie*. Congrès géologique international, C. R. de la XIII^e Session en Belgique, 1^{er} fasc. 1924, 5^e partie.

* 2. — Arguments paléontologiques.

La paléontologie apporte aussi ses données pour corroborer les idées de WEGENER.

BUFFON, déjà, avait parlé de l'étroite parenté des flores et des faunes des continents éloignés, et il y a longtemps que la science a enregistré cette importante constatation comme une chose certaine.

Pour l'expliquer, les géologues avaient généralement admis qu'il existait, avant l'ère secondaire, des continents de jonction, (continent de Gondwana), aujourd'hui effondrés, tels la mystérieuse Atlantide de PLATON, et qui mettaient en communication, l'Amérique, l'Afrique, l'Inde et l'Australie.

C'est l'hypothèse des anciens ponts continentaux.

Mais cette explication n'a jamais parue tout à fait probante. Peut-on vraiment penser que des compartiments aussi vastes de la lithosphère aient pu s'enfoncer dans les abysses ?

Et ne serait-ce pas encore une énigme que la faune australienne, semblable à celle de la lointaine Amérique, puisse contraster, si étrangement, avec celle des îles de la Sonde, cependant très voisines ?

Comment expliquer aussi que la flore des îles Hawaï s'apparente à celle de l'Asie et non à celle de l'Amérique du Nord, plus proche ?

On conçoit aisément que la théorie des déplacements continentaux résolve, avec élégance, toutes ces difficultés.

* 3. — Arguments paléoclimatiques.

Les observations paléoclimatiques fournissent des arguments non moins précieux pour la défense de cette théorie.

Nous avons déjà dit que l'on trouve au Spitzberg des vestiges d'une flore tropicale et des dépôts glaciaires en Afrique Australe.

Par une étude minutieuse de ces indices climatiques, les géologues ont cherché à se faire une idée de la répartition des régions polaires et équatoriales durant la période permo-carbonifère.

Si l'on conserve aux continents leurs positions actuelles, le résultat de cette recherche est tout à fait paradoxal. La glace aurait recouvert, à peu près, la moitié australe du globe, alors qu'une végétation tropicale s'épanouissait presque partout dans l'hémisphère Nord !

Mais réunissons, avec WEGENER, les terres portant des vestiges d'inlandsis autour de l'Afrique du Sud, nous retrouvons une calotte polaire de dimensions plus normales.

Il y a plus. Sur la carte du globe, le tracé de l'Equateur carbonifère est marqué par la grande ceinture houillère qui traverse l'Amérique du Nord, l'Europe et la Chine et qui, d'après POTONIÉ, renferme des fossiles d'origine nettement tropicale. N'est-il pas dès lors saisissant de constater que, si les continents étaient replacés dans leur position primitive, cette ceinture suivrait précisément un arc de grand cercle situé à 90 degrés du centre de glaciation australe.

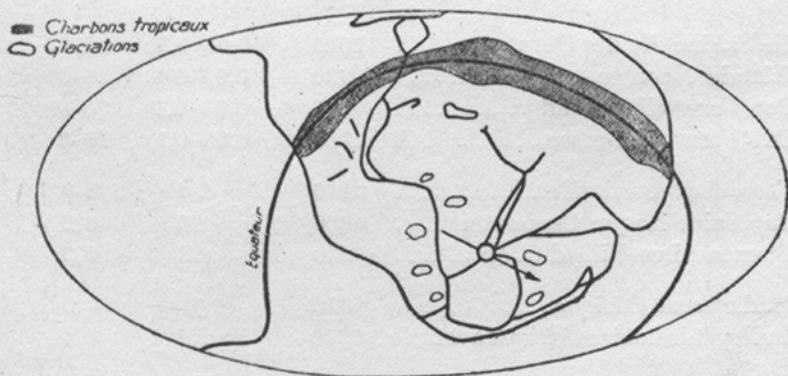


FIG. 7. — Indices climatiques du permo-carbonifère. Ceinture houillère.

On pourrait citer encore bien d'autres coïncidences ; mais celles dont nous venons de parler sont assez caractéristiques pour qu'il ne soit pas possible de les considérer comme le fait du hasard.

4. — Arguments géodésiques.

Existe-t-il des preuves directes de la dérive des continents ? Autrement dit, est-il possible d'observer, de nos jours, des déplacements continentaux ?

Le tout est de savoir si des mesures géodésiques ou astronomiques sont capables de révéler ces déplacements.

En comparant les distances actuelles des continents, autrefois soudés, avec les temps probables écoulés depuis leur séparation, WEGENER a pu obtenir les ordres de grandeur des vitesses relatives de ces continents.

Voici les nombres qu'il a trouvés pour les mouvements les plus remarquables :

	Parcours effectué (kilomètres)	Temps écoulé depuis la rupture (millions d'années)	Déplacement annuel (mètres)
Ile Sabine-Ile des Ours	1070	0,05-0,1	21-11
Islande-Norvège	920	0,05-0,1	18-9
Cap Farewell-Labrador	790	0,05-0,1	36-9
Cap Farewell-Ecosse	1780	0,05-0,1	16-8
Terre-Neuve-Irlande	2410	2-4	1,2-0,6
Cap Saint-Roque-Cameroun	4880	20	0,2
Buenos-Aires-Ville du Cap	6520	25	0,2
Madagascar-Afrique	890	0,1	9
Inde péninsulaire-Afrique australe	5550	15	0,4

La dérive la plus rapide est donc celle du Groënland vers l'Ouest. Si ce déplacement a encore lieu de nos jours, il est

assez important pour être révélé par les procédés géodésiques.

En fait, la comparaison des mesures de longitudes effectuées au Groënland, en 1823 par SABINE, en 1870 par COPELAND et, en 1907 par KOCH, prouverait que de 1823 à 1870, ce continent s'est éloigné de nous de 420 mètres, soit 9 mètres par an, et que, de 1870 à 1907, son déplacement aurait atteint 1190 mètres, c'est-à-dire 32 mètres en une année.

Ces mesures, il est vrai, n'ont pas pu être faites avec toute la précision souhaitable et leur résultat est quelque peu sujet à caution.

L'échange des signaux horaires, entre les diverses stations radiotélégraphiques du globe a fourni, depuis une dizaine d'années des moyens plus sûrs pour l'étude des variations des longitudes (1).

Des mesures effectuées, en 1922, par M. KORNOK, et, en 1927, par M. SABEL-JØRGENSEN, il résulte que l'éloignement relatif de l'Europe et du Groënland s'effectue avec une vitesse de 36 mètres par an ; cette valeur serait neuf fois plus grande que l'erreur possible.

M. STOYKO s'est occupé récemment du mouvement relatif de l'Europe et de l'Amérique. Par la comparaison des chiffres relevés, de 1922 à 1930, dans les divers observatoires, il a été conduit à penser qu'à l'éloignement séculaire de ces continents se superposerait un mouvement relatif oscillatoire dont la période serait de 11 ans environ.

Puis, tenant compte de cette donnée, M. STOYKO a établi que la vitesse séculaire de dérive vers l'Ouest du continent américain ne dépasserait pas, aujourd'hui, 3 centimètres par

(1) Rappelons, à ce propos, les données suivantes :

La Terre tourne d'un angle de 15 degrés en une heure.

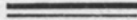
La différence de longitude d'une seconde d'arc correspond à une distance de 30 mètres, sur l'Equateur, et à 15 mètres à la latitude de 60°. (Cap Farewell, Scandinavie).

L'heure sidérale peut-être mesurée avec une précision atteignant le $\frac{1^{\circ}}{50}$ de seconde.

an (1)(2). Cette dérive serait donc, de nos jours, très fortement ralentie ; selon WEGENER, en effet, sa vitesse moyenne, entre la fin du Tertiaire et la période actuelle aurait été de 30 à 40 fois plus grande (Voir le tableau ci-dessus).

(1) M. V. STOYKO, *Sur la mesure du temps et les problèmes qui s'y rattachent* (thèse), p. 106 à 111, Paris, 1931.

(2) Une communication toute récente de M. STOYKO, et les remarques de M. ESCLANGON qui la suivent, confirment ces résultats. De 1920 à 1925, les continents se seraient éloignés, ils se seraient rapprochés de 1925 à 1930. L'amplitude de ces déplacements périodiques, au cours de la période voisine de onze ans, dépasserait quinze mètres. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 20 juin 1932.)



RECHERCHES
SUR LA NATURE DES FORCES TRANSLATRICES.
MOUVEMENTS INTRA-TELLURIQUES

Les géologues ne sont pas les seuls que la théorie de WEGENER ait passionnés. Des physiciens et des mathématiciens lui ont apporté leur contribution. C'était, en effet, pour ceux-ci, une entreprise particulièrement séduisante que de chercher à soumettre les mouvements continentaux aux lois de la Mécanique.

Or WEGENER ne s'est pas borné à constater l'existence de ces déplacements ; en faisant une étude attentive des plissements et des disjonctions de la croûte terrestre, il est parvenu à les ordonner en deux grands systèmes et à montrer que les socles continentaux tendent à se rapprocher de l'Equateur et à dériver vers l'Ouest.

Madagascar, l'Australie, le Labrador obéiraient à une poussée vers l'Equateur. Au Tertiaire, cette force semble avoir contribué à la création de la grande ceinture de plissements houillers comprenant les Alpes et l'Himalaya.

La dérive vers l'Ouest des grands socles aurait eu des effets encore plus caractérisés. WEGENER y voit, par exemple, la cause de la vaste surrection andine qui s'étend de l'Alaska jusqu'à la Terre de feu.

I. — Nature de la force translatrice vers l'Equateur.

Eötvös, le premier, a pu établir l'existence d'une force translatrice vers l'Equateur, due à la « poussée archimédienne » du Sima sur le socle continental (1).

(1) *Verh. d. 17. Al. Konf. d. Internat. Erdmessung. I. Teil, 1913, p. III.*

Il est aisé de mettre en évidence la nature hydrostatique de cette force.

Nous devons, tout d'abord, nous représenter la couche de Sima comme un fluide qui prend sa forme d'équilibre sous l'effet de l'attraction newtonienne de la masse du globe, et de la force centrifuge due à la rotation autour de l'axe des pôles. Cette couche est alors très sensiblement ellipsoïdale, et la pesanteur est normale à sa surface, en chacun de ses points (1) ; mais il n'en est plus de même de part et d'autre de cette surface ; l'analyse mathématique permet de montrer que *la direction de la pesanteur s'écarte de la normale, vers l'axe à l'intérieur du fluide, et du côté opposé à l'extérieur* (2).

Nous allons voir que c'est dans cette déviation de la verticale, à partir de l'ellipsoïde d'équilibre qui limite la terre, qu'il faut chercher la cause de la force tangentielle vers l'Equateur.

Considérons d'abord un élément de Sial cylindrique (AMB), de section très petite, normal à la surface de l'ellipsoïde d'équilibre, et flottant sur le Sima.

Il est facile de montrer que les actions s'exerçant sur sa partie immergée (MB) admettent une résultante dont la projection sur la tangente MT à l'ellipsoïde est dirigée vers l'Equateur.

En effet, nous remarquons que les poids des diverses particules de (MB) s'écartent tous de la normale MN vers l'axe de rotation et que, par suite, leur résultante g est également orientée vers cet axe (3). En vertu du principe d'Archimède, le système des pressions qu'exerce le Sima sur (MB) se réduit alors

(1) C'est pour la même raison que le fil à plomb prend une direction perpendiculaire à la surface d'une eau dormante.

(2) Cf. notre thèse sur le *Champ de la pesanteur...* Genève, 1926, p. 38 et suivantes.

(3) Pour un socle de grandes dimensions il n'existe pas, en général, une force équivalente au système des poids de (MB). Mais, dans le cas actuel, d'un socle très délié, on peut admettre que ces poids sont représentés par des vecteurs, tous situés dans un même plan, le plan méridien de M, et, par conséquent, qu'ils peuvent être remplacés par une résultante unique.

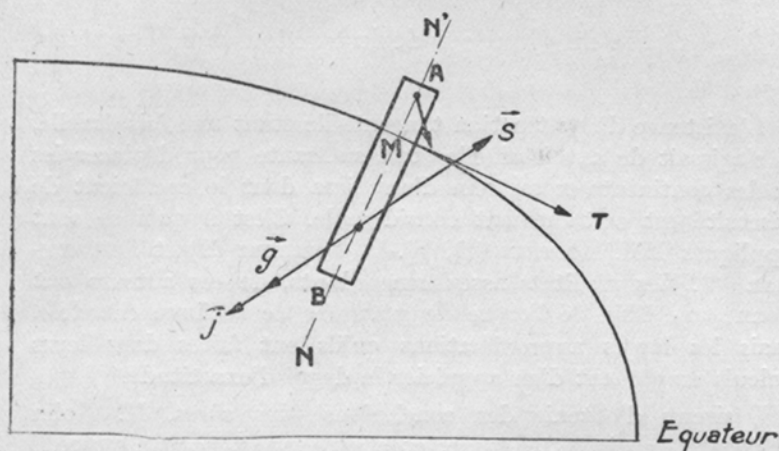


FIG. 8. — Force tangentielle vers l'Equateur.

à une poussée unique s directement opposée à g ; sa grandeur est égale à celle du poids j du Sima qui occuperait exactement la place de (MB). Mais la densité du Sima est supérieure à celle du Sial ; j est donc supérieur à g et l'on voit que la poussée d'Archimède, dont la projection sur MT est dirigée vers l'Equateur, l'emporte sur le poids g .

Il est clair, d'ailleurs, que, sous l'influence de la résultante g du poids de ses particules, la partie émergente (MA) de notre petit socle, tend à s'approcher de l'Equateur.

Ce raisonnement n'est valable en toute rigueur que pour un élément cylindrique de Sial très délié, mais il est possible de prouver que la somme géométrique des actions qui s'exerceraient sur un socle de Sial de grandes dimensions serait encore dirigée vers l'Equateur.

2. — Ordre de grandeur de la traction vers l'Equateur.

L'existence d'une traction tangentielle étant une fois établie, il s'agissait de savoir si elle était suffisante pour déplacer les socles continentaux au sein d'un Sima dont le coefficient de viscosité est certainement considérable. C'est à quoi se sont appliqués MM. EPSTEIN (1), W.-D. LAMBERT (2) et SCHWEYDAR (3). Les résultats, assez concordants, de ces auteurs ont donné une idée de l'ordre de grandeur de la force cherchée, mais les larges approximations qu'ils ont faites dans leurs calculs empêchent d'en apprécier le degré d'exactitude.

Désireux d'obtenir des conclusions plus sûres, M. Rolin WAVRE a repris cette étude, et a pu établir, par un procédé très élégant, les limites d'indétermination entre lesquelles est certainement comprise la force qui sollicite les continents à fuir le pôle (4).

Enfin, en suivant la même méthode, mais en utilisant les travaux de CLAIRAUT et de HELMERT, M. Rodolphe BERNER est parvenu à donner des limites plus resserrées encore (5).

Il ressort de ces travaux que *la force polifuge agissant sur les socles continentaux serait comparable, à la latitude de 45 degrés*

(1) P.-S. EPSTEIN, *Über die Polflucht der Kontinente*. Die Naturwissenschaften 9, Heft 25 (24 juin 1921), p. 499-502.

(2) W. D. LAMBERT, *Some Mechanical curiosities connected with the Earth's Field of Force*. The American Journal of Science. Vol. II, septembre 1921, p. 129-158.

(3) W. SCHWEYDAR, *Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Werschiebung der Kontinente*. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1921, p. 120-125.

(4) ROLIN WAVRE, *Sur la force qui tendrait à rapprocher un continent de l'Equateur*. Archives des Sciences physiques et naturelles, 5^e période. Vol. 7. Mai-juin 1925.

(5) *Sur la grandeur de la force qui tendrait à rapprocher un continent de l'Equateur* (thèse), Genève, 1925, Albert Kundig édit.

où elle est maximum, à la huit-cent milliè^me partie de leur poids (1).

Même au sein d'un Sima dont la viscosité serait 1.000 fois plus grande que celle de la cire à cacheter, elle est tout à fait suffisante pour déplacer un continent sur de grandes distances pendant la durée d'une période géologique.

Une terre dont tous les continents ne sont pas réunis sur l'Equateur est donc certainement en état de déséquilibre.

Mais une autre question, capitale pour le géologue, se pose immédiatement : la force tangentielle vers l'Equateur est-elle capable de plisser les continents et de faire surgir des montagnes ?

M. EPSTEIN estime qu'elle ne peut donner naissance qu'à des dénivellations négligeables (10 à 20 m. seulement). Selon M. BOUASSE, elle ne développerait, en effet, dans les socles continentaux, que des fatigues normales très inférieures à 10 kilos par centimètre carré, beaucoup trop faibles pour écraser les roches de la lithosphère.

Nous remarquerons toutefois que les masses profondes de Sial doivent être douées d'une certaine plasticité, due à leur haute température, et que leur déformation pourrait provoquer celles des couches pierreuses supérieures.

On pensera aussi, avec M. WAVRE, que l'effort de compression atteindrait des valeurs considérables si deux continents s'affrontaient à l'Equateur sur une étendue assez petite.

Malgré cela il semble bien difficile d'expliquer les hauts plissements équatoriaux du Tertiaire sans faire intervenir des forces beaucoup plus importantes. On peut songer à celles qui seraient mises en jeu par l'effet d'un déplacement de l'axe de rotation du globe.

(1) Cette force aurait été plus grande autrefois qu'aujourd'hui ; cf. ROLIN WAVRE, *Sur la force qui tendait aux époques anciennes à rapprocher un continent de l'équateur*. Comptes rendus des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, vol. 47, n° 1, janvier-mars 1930.

3. — La dérive vers l'Ouest.

La dérive vers l'Ouest a été spécialement l'objet des recherches de MM. SCHWEYDAR (1), SCHWARZ, WETTSTEIN.

M. SCHWEYDAR en cherche la cause dans la précession de l'axe de rotation propre d'un continent sous l'influence combinée de l'attraction du soleil et de la lune. La force tangentielle qu'il a pu ainsi mettre en évidence serait beaucoup plus intense que la force vers l'Équateur et pourrait provoquer des déplacements considérables des masses continentales.

Pour d'autres auteurs (SCHWARZ, WETTSTEIN), c'est à l'action retardatrice des marées qu'il faut attribuer la rotation vers l'Ouest des couches superficielles de Sima et de l'ensemble de la croûte terrestre autour du noyau.

Une autre force tendant à déplacer les continents suivant les parallèles a été indiquée par M. BERNER. Cette force, due encore à l'attraction luni-solaire, serait extrêmement faible et d'ailleurs alternativement dirigée vers l'Ouest et vers l'Est (2).

4. — Les disjonctions de la croûte terrestre et les courants intra-telluriques.

Bien que ces forces translatrices vers l'Équateur et vers l'Ouest se manifestent d'une manière très apparente, la variété des disjonctions et des formations du globe oblige à penser que d'autres actions dont les effets paraissent moins systématiques sont intervenues dans l'établissement de son relief.

Certains auteurs, notamment WEGENER et M. SCHWEYDAR, les ont recherchées en faisant appel à des courants de Sima capables de plisser ou de disloquer la lithosphère (3).

(1) W. SCHWEYDAR, *Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente*. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1921.

(2) C. R. des séances de la Soc. de phy. et d'hist. nat. de Genève, juin, 1929.

(3) WEGENER, *loc. cit.*, p. 159. (trad. Reichel).

Afin d'expliquer certaines anomalies de la pesanteur, HELMERT avait admis que le géoïde terrestre était un ellipsoïde à trois axes. Partant de là, M. SCHWEYDAR a essayé de prouver la possibilité de courants de Sima, en invoquant une différence de niveau hydrostatique entre le fond de l'Océan Atlantique et celui de l'Océan Indien : « Un pareil état de choses ne peut subsister à la longue : le Sima aura tendance à couler pour rétablir l'équilibre de l'ellipsoïde de rotation. Etant donnée la faible différence de densité, c'est à peine si un courant peut se produire ; mais il est possible que le tracé elliptique de l'Equateur et les variations locales de la densité du Sima, de même que le courant qui en résulte aient été jadis plus marqués » (1).

« Il n'est pas nécessaire — remarque WEGENER — que ces renflements par lesquels la surface du globe dépasse son niveau d'équilibre se limitent à l'Equateur ; ils peuvent apparaître à n'importe quel endroit. Nous avons montré plus haut, à propos des relations entre les transgressions marines et les déplacements du pôle, qu'il faut nous attendre à voir la surface terrestre occuper au-devant du pôle en marche un niveau trop élevé et derrière lui un niveau trop bas ; ces écarts semblent confirmés par les faits géologiques. Ils s'élèvent à des valeurs semblables à celles que HELMERT obtint pour la différence des axes de l'ellipse équatoriale ou peut-être doubles. Lors des migrations polaires rapides, la surface terrestre paraît en tous cas avoir dépassé son niveau d'équilibre de quelques centaines de mètres dans le sens positif ou négatif, suivant que la région considérée est devant ou derrière le pôle. Le plus grand écart de niveau (ordre de grandeur : 1 km. par quadrant terrestre) s'observerait à l'Equateur sur le méridien sur lequel le pôle se déplace. Aux deux pôles, il atteindrait une valeur presque aussi élevée. De ce fait, des forces sont mises en jeu qui entraînent les masses des régions trop hautes vers les régions trop basses » (2).

Cette idée si suggestive de WEGENER met en relief l'intérêt

(1) SCHWEYDAR, *loc. cit.* (trad. Reichel).

(2) Cf. WEGENER, *La genèse des continents et des océans*, p. 158-159.

primordial, dans les conceptions nouvelles, de la remarquable étude de I.-V. SCHIAPARELLI sur la possibilité de vastes déplacements de l'axe polaire dans un globe visqueux (1).

5. — Les courants internes du Sima.

Quelle que soit l'origine des courants de Sima, il est certain qu'ils ont dû avoir une part importante dans les causes des dérives continentales.

On ne s'est pas demandé quels éclaircissements apporterait dans cet ordre d'idée l'étude des mouvements internes d'une masse fluide hétérogène, en rotation autour d'un axe sous l'influence de l'attraction mutuelle de ses parties. Le globe terrestre, cependant, est assimilable à une telle masse et il nous a paru naturel de poser cette question.

Le grand problème classique qui, depuis NEWTON, a sollicité les efforts des principaux géomètres, est celui de la recherche d'une répartition des densités assurant l'équilibre relatif d'une planète fluide.

CLAIRAUT et LAPLACE ont démontré qu'une rotation en bloc était possible, *en première approximation* au moins, pour une masse stratifiée en couches ellipsoïdales homogènes dont la densité croît avec la profondeur (2).

(1) On sera sans doute intéressé de savoir qu'en 1889 déjà SCHIAPARELLI arrivait à cette conclusion : « La possibilité de ces grands mouvements du pôle sont un élément important dans la discussion des climats préhistoriques de la Terre, et de la distribution géographique et chronologique des anciens organismes. Une fois admise, cette possibilité ouvrirait des horizons nouveaux pour l'étude des grandes révolutions mécaniques, que la croûte de la Terre a subies autrefois. On ne pourrait supposer, par exemple, que l'équateur terrestre ait pu prendre la place d'un méridien, ou inversement, sans admettre dans certaines régions de grandes tensions horizontales, capables d'ouvrir de longues crevasses ; et sur d'autres régions, des compressions horizontales, telles qu'on les imagine aujourd'hui pour expliquer les plissements des couches et la formation des montagnes. » I.-V. SCHIAPARELLI. *De la rotation de la Terre sous l'influence des actions géologiques*, p. 31. Observatoire de Poulkova, 1889.

(2) Ce résultat suppose qu'on puisse négliger la quatrième puissance de la vitesse angulaire ; cf. F. TISSERAND, *Traité de Mécanique céleste*, t. II, p. 211 à 316.

Mais, comme l'a fait ressortir H. POINCARÉ, l'application à la Terre des formules théoriques, ainsi obtenues, laisse subsister un désaccord entre les données de la Géodésie et les observations relatives au phénomène de la précession des équinoxes. On pouvait se demander si l'hypothèse d'un globe entièrement plastique était bien légitime (1).

M. R. WAVRE a récemment justifié cette hypothèse en établissant, par un procédé nouveau, que la divergence entre la Géodésie et la Mécanique céleste disparaît lorsqu'on pousse les calculs jusqu'à la deuxième approximation (2).

Les surfaces d'égalité de densité sont alors des ellipsoïdes faiblement déprimés entre le pôle et l'Equateur, ainsi que l'avait prévu CALLANDREAU (3).

Il importe de remarquer que cette solution n'est qu'approchée et n'exclut pas encore la possibilité d'un très faible mouvement intérieur.

Mais, est-il certain que la Terre tourne en bloc ?

L'observation des astres fluides à haute température, comme le Soleil, Saturne, Jupiter, prouve que leur rotation n'est pas uniforme.

Pour la Terre, la question est plus difficile à trancher. La forte viscosité que l'on est obligé d'attribuer au Sima n'a-t-elle pas, depuis longtemps, absorbé tous ses mouvements internes ?

Il faut quelque hardiesse pour affirmer que ces mouvements peuvent exister de nos jours encore.

Dans cette question, il convient de remarquer qu'il faut tenir compte, non des valeurs absolues des forces de viscosité, mais de leur grandeur relativement aux forces de gravitation. Il résulterait d'un calcul approximatif de M. EPSTEIN que la traction vers l'Equateur agissant sur un continent, traction de

(1) Cf. H. POINCARÉ, *Figures d'équilibre d'une masse fluide*, p. 96, C. Naud édit., Paris.

(2) Archives des Sciences physiques et naturelles, quatre articles de mai-juin 1929, à janvier-février 1930.

(3) *Obs. Paris, Mém.*, XIX, 1889.

l'ordre du millionième de son poids, serait capable d'équilibrer la force de frottement du Sima qui prendrait naissance par l'effet d'un déplacement de 33 mètres par an (1) ; il s'agit certainement là d'une donnée extrême. L'écart de grandeur des forces de viscosité et des forces de gravitation est donc considérable.

Il n'est guère possible de se faire une idée physique exacte des mouvements internes du Sima en conservant à ce phénomène ses proportions réelles, si éloignées de toutes les réalisations de laboratoire. C'est pourquoi nous avons cherché à ramener la rotation de la Terre à notre échelle humaine en résolvant le problème suivant (2).

Imaginons un ellipsoïde fluide hétérogène semblable au globe terrestre dans le rapport λ et demandons-nous quelle doit être la viscosité de ce fluide pour que, *dans son mouvement naturel*, il reproduise, *à chaque instant*, la répartition des densités et des mouvements terrestres.

Il résulte de notre calcul que *la viscosité cherchée doit varier comme le carré du rapport de similitude λ* .

Si donc nous considérons un globe réduit de 1,27 mètre de diamètre, semblable à la Terre dans le rapport $\lambda = \frac{1}{10^7}$ et si, d'autre part, nous attribuons au Sima une viscosité de 10^9 unités c. g. s., comparable à celle de la cire à cacheter à la température ordinaire (en bâton), c'est à un fluide dont la viscosité serait égale à 10^{-5} unités c. g. s., *valeur mille fois plus petite que celle de l'eau ! que nous devons recourir* (3).

Ce résultat justifie assez, nous semble-t-il, l'hypothèse de

(1) P.-S. EPSTEIN, *Über die Polflucht der Kontinente*. Die Naturwissenschaften, 9 Heft 25 (24 juin 1921), p. 499-502.

(2) *Viscosité du fluide terrestre dans un modèle réduit*, C. R. des séances de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, séance du 19 mai 1932.

(3) En prenant 10^{12} comme viscosité du Sima, nous obtiendrions pour le fluide une viscosité tout à fait comparable à celle de l'eau à 20 degrés. Cf. H. ABRAHAM et P. SACERDOTE, *Recueil de constantes physiques*, p. 26.

l'existence actuelle des courants de Sima et l'idée de les comparer, *au moins durant une période assez courte de l'histoire de Terre*, aux mouvements internes d'un fluide hétérogène dénué de viscosité (1).

6° Sur les variations de la vitesse angulaire.

Dans notre ouvrage sur les *Rotations internes des astres fluides* (2), nous avons étudié les conditions de permanence de la rotation autour d'un axe d'une masse fluide hétérogène constituée de couches ellipsoïdales dont la densité croît avec la profondeur. Bornons-nous à rappeler ici que notre analyse nous a fait voir qu'une rotation en bloc de cette masse était impossible et que, par suite, elle devait nécessairement être animée de mouvements intérieurs.

Pour des couches ellipsoïdales homothétiques ou dont l'aplatissement varie peu, la vitesse de rotation du fluide croît de la surface vers le centre, tandis qu'elle décroît, sur une même couche, du pôle vers l'Équateur.

Si l'on suppose, avec ROCHE, que la densité des couches varie comme le carré de leur distance au centre, on obtient, dans le cas des ellipsoïdes homothétiques, une relation très simple qui relie assez bien entre elles les valeurs de la rotation et de la densité superficielles, de la densité moyenne du globe et de son aplatissement donné par la Géodésie (3).

(1) Nous avons pu établir aussi, au moyen des équations de Navier, qu'en première approximation au moins, les rotations internes d'une masse visqueuse ne s'éteignaient qu'au bout d'un temps infini. Ce résultat nous autorise encore à croire à la pérennité des mouvements intratelluriques.

(2) A. Blanchard édit., Paris.

(3) On a :
$$\omega^2 = \frac{16}{105} \pi f \alpha (10 \rho_{\text{moy.}} - 3\rho_e) \quad (\pi = 3,14159\dots)$$

où l'on désigne par :

ω , la vitesse angulaire superficielle du globe,
 ρ_e , sa densité superficielle,
 $\rho_{\text{moy.}}$, sa densité moyenne,
 α , son aplatissement,
 f , la constante de la gravitation universelle : $6,67 \times 10^{-8}$ c. g. s. (*Rotations internes... loc. cit.*).

Mais on peut aussi, au moyen de la loi de ROCHE, chercher à satisfaire simultanément aux données de la géodésie et de la précession en considérant encore des couches rigoureusement ellipsoïdales ; la rotation croîtra alors avec la profondeur moins vite que dans le cas des surfaces homothétiques.

Il est donc clair qu'au voisinage des stratifications ellipsoïdales s'offrent deux possibilités théoriques :

1^o Une solution avec des ellipsoïdes corrigés, déprimés entre le Pôle et l'Equateur, et donnant un minimum de mouvements internes,

2^o Une solution avec des surfaces rigoureusement ellipsoïdales, mais doués de mouvements relatifs plus sensibles.

Quoiqu'il en soit du choix entre ces deux alternatives, nous sommes conduits à penser qu'il existe à l'intérieur de notre globe, des courants de Sima, dirigés vers l'Est, dont la vitesse est d'autant plus grande qu'ils sont plus profonds ou plus proches des pôles (1).

Il ne saurait être question, évidemment, d'assimiler ces courants à de pures rotations. Les obstacles que leur opposent les socles continentaux, les oscillations de l'axe terrestre (précession), la viscosité du Sima, sont autant d'influences perturbatrices qui en détruisent la régularité.

Tout ce que nous avons besoin de requérir pour tenter une explication de certains déplacements continentaux, c'est qu'il soit possible d'admettre que les mouvements internes du Sima sont assez voisins de ceux que nous avons analysés (2). A la rigueur, il suffirait que les mouvements *relatifs* du magma terrestre s'effectuent dans le même sens que dans le fluide parfait. On reconnaîtra, sans doute, que c'est fort peu demander.

(1) Remarquons que cette déduction se trouve en accord avec l'hypothèse d'une action retardatrice, exercée par les corps célestes, sur les couches superficielles du globe (marées de l'Océan et de l'Ecorce).

(2) Il semble bien que l'on soit en droit, sans trop s'écarter de la réalité, d'assimiler dans la durée d'une époque géologique, l'état des mouvements du fluide terrestre à un état de régime quasi permanent dans lequel les forces de viscosité se détruiraient deux à deux.

Il suffirait d'admettre — et cette idée n'est pas éloignée de l'hypothèse

7. — Rotations zonales et disjonctions continentales.

D'une façon générale, nous envisageons les couches supérieures de Sima et les continents comme soumis à deux forces antagonistes : l'attraction des corps célestes et la poussée des couches profondes (1).

Les actions cosmiques, en provoquant les marées de l'Océan, celles de l'Ecorce et le phénomène de la précession des équinoxes, ont pour effet d'opposer une résistance à la rotation vers l'Est de la lithosphère (2) ; elles se manifestent donc par une dérive générale des continents vers l'Ouest.

Mais il est évident que la tendance de la croûte terrestre à retarder vers l'Ouest ne peut, à elle seule, expliquer la création des iractures méridiennes telles que celles qui, selon WEGENER, ont donné naissance au bassin atlantique ou aux fossés de l'Afrique orientale.

Dans un article publié en 1926 aux *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève* (3), nous avons déjà indiqué

de Marcel Bertrand — que les couches de Sima, freinées, d'une part, par les attractions luni-solaires (marées terrestres) sont entraînées, d'autre part, par frottement de proche en proche, par la rotation du noyau central (Nifé) très dense et, par suite, doué d'une grande inertie. La somme des travaux des forces de viscosité n'entraîneraient ainsi qu'une diminution insensible des vitesses relatives des diverses couches et tout se passerait pratiquement comme dans un régime permanent.

De la sorte, le phénomène de l'accroissement de la vitesse de rotation avec la profondeur aurait une cause physique ; et l'on pourrait concevoir, pour le Sima, une distribution des vitesses internes « tangente » à l'une de celles qui ont été envisagées dans la théorie du fluide parfait.

(1) Les premières sont des forces de volume et varient comme le cube des dimensions linéaires des continents, les secondes sont des forces de surface et varient comme le carré de ces dimensions.

(2) « On peut dire que les eaux de l'Océan sont traînées, sur la surface du globe, comme un frein qui en diminue insensiblement la vitesse », F. TRISERAND, *Traité de Mécanique céleste*, p. 538.

(3) *L'ellipsoïde fluide hétérogène en rotation et la théorie des dérives continentales*. Archives des Sc. ph. et nat., 5^e période, vol. 8, juillet-août 1926, p. 197.

comment il est possible de trouver, dans l'accroissement en profondeur de la vitesse de rotation des couches de l'ellipsoïde terrestre, une cause suffisante de ces disjonctions.

On rendrait compte de l'ouverture de l'Atlantique en admettant que l'Eurasie plonge dans le Sima des racines plus profondes que celles de l'Amérique. A cause de la chaîne alpine, des hauts plissements du Caucase et de la gigantesque surrection himalayenne, cette hypothèse n'est pas invraisemblable, surtout si l'on songe qu'en vertu du principe d'isostasie, la *grandeur de la partie immergée d'un socle continental peut atteindre neuf fois la hauteur de sa partie émergeant au-dessus du Sima* (1).

On comprend, dès lors, facilement que la dérive d'un continent vers l'Ouest, sous l'influence des actions cosmiques, sera

(1) Soient H l'épaisseur d'un socle continental, h' la hauteur de sa partie émergente, h'' la profondeur de sa partie immergée ; si ces grandeurs sont évaluées en mètre, on a :

$$H = h' + h'',$$

$$\frac{h''}{h'} = 11 - \frac{4841}{0,25 h'} ;$$

Cette formule est établie en supposant que les densités du Sima, du Sial et de l'Océan sont respectivement égales à 3, 2.75, 1.03.

Pour une plateforme dont la hauteur est de 100 mètres au-dessus du niveau de la mer (hauteur la plus fréquente des aires continentales), $h' = 4700 + 100 = 4800$, d'où approximativement :

$$\frac{h''}{h'} = 7 \quad , \quad h'' = 33.600 \text{ mètres.}$$

$$H = 38.400 \text{ mètres.}$$

épaisseur comparable à celle des couches révélées par la sismologie (cf. JEFFREYS, *The Earth, its origin, history and physical constitution*, 2^e édit.,

Pour le mont Everest on aurait $h' = 8850 + 4700 = 13.550 \text{ m.}$,

$$\frac{h''}{h'} = 9,6 \quad , \quad h'' = 129.673 \text{ m.}$$

$$H = 1432.23 \text{ m.}$$

Cette valeur constitue certainement une borne supérieure de l'épaisseur de la lithosphère.

WEGENER proposait 2.9 comme densité moyenne d'un socle continental, et obtenait des épaisseurs pouvant atteindre 300 kilomètres. Actuellement, les géologues, les pétrographes et les sismologues estiment que ces nombres sont trop beaucoup trop élevés.

d'autant moins rapide que ce continent aura une superficie plus faible et sera plus lourdement chargé. Faut-il voir ici la raison de l'avance vers l'Est que prennent les petits socles montagneux par rapport aux grands compartiments de la lithosphère ? On pourrait citer à l'appui de cette façon de voir, le Japon, l'Indochine, Ceylan, les îles de la Sonde, la Nouvelle-Zélande, les Antilles.

En réalité, la création de l'Atlantique et de l'Océan Indien a dû être assez complexe.

Selon WEGENER, la translation vers l'Ouest de l'Amérique du Sud se composait, au Tertiaire, avec une dérive vers l'Equateur qui, nous l'avons vu, occupait alors une position bien différente de sa position actuelle (1).

Ce serait aussi sous l'influence d'une poussée vers l'Equateur que le radéau indou, soudé à l'Afrique et à Madagascar jusqu'au Crétacé, s'est glissé (2), dès le début du Tertiaire, sous le continent asiatique en provoquant le plus important train de plissements de la croûte terrestre.

Au fur et à mesure que l'Amérique du Sud et l'Inde s'approchaient de l'Equateur, ce dernier subissait un déplacement en sens inverse.

Quant à l'Amérique du Nord et au Groënland, les géologues pensent généralement qu'ils n'ont quitté définitivement l'Europe qu'à partir du Quaternaire (3). A cette époque, en effet, les principaux systèmes montagneux de l'Eurasie étaient créés et pouvaient mettre en jeu les forces de dislocation dont nous avons parlé.

Le long système de fractures que dessinent, dans l'Est africain, les lacs Nyassa, Tanganyka, Albert, ne serait-il pas dû encore à la poussée du Sima sur les bases profondes des lourds massifs du Kénia et du Kilima-Ndjaru ? De fréquents séismes

(1) WEGENER, *loc. cit.*, p. 151.

(2) Cf. Emile ARGAND, *La tectonique de l'Asie*. Congrès géologique international, comptes rendus de la XIII^e session en Belgique, 1922, 1^{er} fasc., 1924, 5^e partie.

(3) Cf. WEGENER, *loc. cit.*, p. 60.

d'ailleurs affectent ces régions et témoignent de l'activité actuelle des forces de rupture.

La croissance de la vitesse des courants zonaux, avec la latitude, sur une couche de densité constante, donne lieu également à des interprétations suggestives. Un tel phénomène doit se manifester par une torsion vers l'Est des extrémités des continents voisins des pôles. Or, c'est bien ce qu'on peut observer sur les formes incurvées de la Novaïa Zemlia et de la Terre de feu. On remarquera aussi l'orientation générale vers le Nord-Est des bords occidentaux et orientaux du continent Euro-Asiatique ; nous serions tenté d'y trouver un argument important en faveur de notre idée.

Dans une étude détaillée, il faudrait évidemment tenir compte de la position des pôles avant le Quaternaire. Nous serions ainsi amenés à situer le pôle Nord tertiaire à l'Ouest de l'Amérique et cela permettrait, sans doute, d'expliquer le tracé concave des côtes ouest du Canada et de l'Alaska (1).

Telles sont les conséquences géologiques que nous croyons pouvoir tirer de l'hypothèse des rotations internes du globe.

Il appartient aux géologues de confirmer ou d'infirmer ces vues.

* * *

Je remercie bien cordialement MM. L.-W. COLLET, P. ARBOS et A. MERCIER qui m'ont fourni de précieuses indications bibliographiques.

(1) M. WENCESLAS JARDETZKY a repris récemment l'idée d'utiliser les courants zonaux de Sima pour rendre compte de certaines formations ; mais il cherche une explication dans une voie différente de la nôtre. Cf. Gerland Beiträge zur Geophysik, Bd 26, Heft 2, 1930.

BIBLIOGRAPHIE

- AIRY (G.-P.), *Figure of the Earth*. In Encyk. Metropolitana III. London, 1835.
- ARGAND (E.), *La tectonique de l'Asie*. Congrès géologique international. Comptes rendus de la XIII^e session en Belgique, 1922, 1^{er} fasc. 1924, 5^e partie.
- BALLEY WILLIS, *Discoidal Structure of the Lithosphere* (Bul. Geol. Soc. of Am., Vol. 31, p. 247-302, 1920).
- *Continental Genesis*. Bul. Geol. Soc. Am., vol. 40, p. 281-336, 1929.
- BELOT (E.), *L'origine des formes de la terre et des planètes*, Gauthier-Villars édit., Paris, 1918.
- BERNER (R.), *Sur la grandeur de la force qui tendrait à rapprocher un continent de l'Equateur* (Thèse), Kundig, Genève, 1925.
- Cf. aussi. Compte rendu des séances de la Société de Phys. et d'Hist. Nat. de Genève, juin 1929.
- BERTRAND (M.), *Œuvres*, t. III.
- BOSSOLASCO, *Isostasia ed ondulazioni del Geoïde in rapporto alle anomalie gravimetriche ed alle deviazioni della Verticale*. Gerlands beitraege zur Geophysik, Band 26. Leipzig, 1930.
- BOUASSE (H.), *Géographie mathématique*, Delagrave, Paris, 1919.
- *Résistance des matériaux*, Delagrave, Paris, 1920.
- *Séismes et sismographes*, Delagrave, Paris, 1927.
- CLAIRAUT (A.-C.), *La figure de la terre, tirée des principes de l'hydrostatique*, Paris, 1743.
- COLLET (L.-W.), *Sur l'âge absolu de la période postglaciaire*. Arch. des Sc. phys. et nat., oct., 1923.
- *The alps and Wegener's Theory*. The Geographical Journal for april 1932.
- DALY (R.-A.), *The Earth's Crust and its Stability. Decrease of the Earth rotational Velocity and its geological Effects*. The Amer. Journ. of. Sc., vol. V, May 1923, p. 349-77.

- DIVE (P.), *Le champ de la pesanteur. L'ellipsoïde fluide hétérogène en rotation et les dérives continentales* (Thèse), Genève 1926.
- *Rotations internes des astres fluides* (Thèse). Blanchard, Paris 1930.
 - *Viscosité du fluide terrestre dans un modèle réduit*. Compte rendu des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève. Séance du 19 mai 1932.
- EÖTVÖS, *Verhandlungen der 17. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung*. T. I. 1913.
- EPSTEIN (P.-S.), *Über die Polflucht der Kontinente. Die Naturwissenschaften*, Berlin, 1921.
- GEER (G. DE), *Om Skandinaviens Geografiska Utveckling efter Istiden*. Serviges Geologiska undersökning: série C, n° 161, a et b, Stockholm, 1896.
- GUTENBERG (B.), *Lehrbuch der Geophysik*, Franckfurt, 1929.
- HAUG, *Traité de Géologie*, Paris, 1907.
- HEIM (A.), *Bau der Schweizer Alpen*, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft. Zurich, 1908, 110. Stuck.
- HELMERT (F.-R.), *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodesie* (2 Bände, Leipzig, 1808-84).
- HOLMES (A.), *Contributions to the Theory of magmatic Cycles* (Geol. Mag. 63, p. 306-329, 1926).
- HOPPNER, *Die Lehre der Isostasie*. Petermanns Mitteilungen, 1930. Donne une bibliographie.
- JARDETZKY (W.), *Sur les figures d'équilibre d'une masse liquide avec des corps flottants* (Acta Astronomica Ser. a. vol. 2), Cracovie, 1931.
- *Über die Ursachen des Spaltung und Verschiebung der Kontinente* (Gerlands Beitr. zur Geoph., 1930).
- JEFFREYS (H.), *The Earth, its origin, history and physical constitution* (at the University Press, Cambridge, 1925).
- *The Earth, his origin, history and physical constitution*, 2^e édition, at the University Press, Cambridge, 1929.
- KAYSER (E.), *Traité de géologie*, 1910.
- KÖPPEN (H.), *Ursachen und Wirkungen der Kontinentenverschiebungen und Polwanderungen*. Petermanns Mitt., 1920.
- *Über Änderungen der geographischen Breiten und des Klimas in Geologischer Zeit*. Geographiska annaler, 1920.
 - *Über die Kräfte welche die Kontinenten und Polwanderungen bewirken*. Geol. Rundschau, 12, p. 314-320, 1922.
- KOSSMAT (F.), *Die Beziehungen zwischen Schwereanomalien und Bau der Erdrinde*. Geol. Rundschau, 12.
- KREICHGAUER, *Die Äquatorfrage in der Geologie* (Steyl, 1902).

- LAMBERT (W.-D.), *Some Mechanical Curiosities connected with the Earth's Field of force* (The American Journal of Science, 1921).
- LAPPARENT (A. de), *Traité de Géologie*, 1906, Masson, édit.
— *La formation de l'écorce terrestre*, 1901.
- LAPLACE (P.-S.), *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes* (M. A. S. P. 1783-85).
— *Mémoire sur l'inclinaison moyenne des orbites des comètes, sur la figure de la terre et sur les fonctions* (M. A. S. P. Savants étrangers, VII, 1773-76).
— *Théorie du mouvement et de la figure elliptique des planètes*, 1784.
- LAUNAY (L. de), *La terre, sa structure et son passé*, Payot, Paris, 1925.
- LOVKASCHEVITSCH, *Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents*. Saint-Petersbourg, 1910.
- LUCERNA, *Das Kontraktionsbild der Erdkruste* (Peterm. Mitt., 1932, p. 57-61).
- MAURAIN (Ch.), *Physique du Globe* (Armand Colin édit., Paris, 1923).
- MEYERMANN (B.), *Die Westdrift der Oberfläche*. Zeitschr. f. Geophys. 2, Heft 5, p. 204, 1926.
— *Die Zähigkeit des Magmas* Zeitschr. f. Geophys. 3, Heft 4, p. 135, 1927.
- PLACET, *La conception du grand et du petit monde, où il est montré que devant le déluge, l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde*. Bibliothèque nationale, Paris 1668.
- PREY (A.), *Über Flutreibung und Kontinentalverschiebung*. Gerlands Beitr. z. Geophys. 15. Heft, 4, p. 401-411, 1926.
- PUTNAM, *Isostatic compensation in relation to geological problems*. J. of G. Chicago, XXXVIII, 1931.
- RUND INGOLF, *Die Ursache der Kontinentverschiebung*. Petermanns Mitteilungen, 1930.
- SCHIAPARELLI (I.-V.), *De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques*. Saint-Petersbourg, 1889.
- SCHWEYDAR (W.), *Bemerkungen zu Wegeners Hypothese der Verschiebung der Kontinente*. Zeitsch. der Ges. für Erdkunde zu Berlin, 1921.
— *Lotschwankungen und Deformation der Erde durch Flutkräfte gemessen mit 2 horizontalpendeln im Bergwerk in 189 m. tiefe bei Freiberg in Sa.* Zentralbureau d. Int. Erdmess., N. F., n° 38. Berlin 1921.
- SNIDER, *La Création*, Zentralbibliothek, Zürich, 1858.
- STOYKO (M.-N.), *Sur la mesure du temps et les problèmes qui s'y rattachent* (Thèse), Paris, 1931.

- TERMIER, *La dérive des continents*. Revue scientifique, p. 257, 1924.
- TISSERAND (F.), *Traité de mécanique céleste*, Gauthier-Villars, Paris.
- WASHINGTON (H.-S.), *Comagmatic Regions and the Wegener Hypothesis*. Journ. of the Wash. Acad. of Science, vol. 13, septembre 1923, p. 339-347.
- WAVRE (R.), *Figures planétaires et géodésie*. Cahiers scientifiques, fasc. XII, édit. Gauthier-Villars, Paris 1932.
- *De l'échelle humaine à l'échelle terrestre (à propos des courants de Sima)*. Compte rendu des séances de la Société de physique de l'histoire naturelle de Genève, séance du 23 avril 1931.
- WEGENER (A.), *La genèse des continents et des océans*, trad. Reichel, A. Blanchard, Paris, 1924.
- *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Braunschweig, 1929). *Theory of Continental drift*. A symposium of the origin and movement of continental masses... as exposed by Alfred Wegener (Ouvrage par de nombreux collaborateurs). London, Thomas Murby, 1928, n-8, 242 pages, 29 cartes et fig. C. R. dans *la Géographie*, Paris, 1930.



TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE.....	7
AVANT-PROPOS.	11
LA PANGÉE DES TEMPS CARBONIFÈRES ET LA GENÈSE DES CONTINENTS	13
L'ISOSTASIE. LE FLOTTAGE DES CONTINENTS.....	17
1. — Le relèvement de la péninsule scandinave et du bouclier canadien.	17
2. — Les deux niveaux les plus fréquents de la surface de la Terre.	18
3. — Les nappes de charriage alpines.	20
4. — Les anomalies de la pesanteur.	21
LA VISCOSITÉ DU GLOBE ET LES MIGRATIONS POLAIRES...	25
1. — Les variations climatiques.....	25
2. — Rapport entre les déplacements des pôles et les transgressions et régressions marines	26
3. — Sur l'ordre de grandeur de la viscosité du Sima. ...	29
4. — Coexistence du Sima fluide et du Sial solide.	32

ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'HYPOTHÈSE DES TRANSLATIONS CONTINENTALES	33
1. — Arguments géologiques.	34
2. — Arguments paléontologiques.	36
3. — Arguments paléoclimatiques.	36
4. — Arguments géodésiques.	38
RECHERCHES SUR LA NATURE DES FORCES TRANSLATRICES. MOUVEMENTS INTRA-TELLURIQUES	41
1. — Nature de la force translatrice vers l'Equateur.	41
2. — Ordre de grandeur de la traction vers l'Equateur ..	44
3. — La dérive vers l'Ouest.	46
4. — Les disjonctions de la croûte terrestre et les cou- rants intra-telluriques.	46
5. — Les courants internes du Sima.	48
6. — Sur les variations de la vitesse angulaire.	51
7. — Rotations zonales et disjonctions continentales.	53
BIBLIOGRAPHIE.	57



IMPRIMERIE
GÉNÉRALE
:: 2 ::
COURS SABLON
CLERMONT-FD