

Activité 1 : Comment est née l'idée révolutionnaire d'une mobilité horizontale de la surface terrestre au sein d'une communauté scientifique aux théories opposées ?

Document 1 : Les premiers précurseurs.

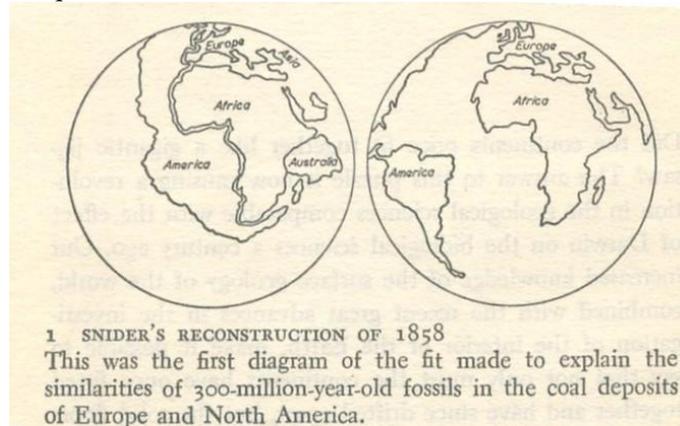
Francis Bacon : au XVI^e siècle, en utilisant les premières cartes imprimées il notifie la complémentarité des continents.

François Placet (1668) : publie un mémoire intitulé "la corruption du grand et du petit monde", dans lequel il dit qu'avant le déluge l'Amérique n'était pas séparé et que tous les continents étaient réunis en un seul bloc. L'effondrement du continent nord-atlantique donna naissance à l'atlantique nord et sépara l'Amérique de l'Europe. C'est ce texte qui est à l'origine de la théorie des ponts continentaux.

Hugh Owen (1857) : paléontologue au British Museum. Les continents s'éloignent les uns des autres parce que la Terre enfle (se dilate) du fait de sa chaleur interne. Autrefois, à la fin de l'ère primaire (Paléozoïque), le volume de la Terre était comparable à celui de la planète Mars. Selon Owen, la Pangée couvrait alors la presque totalité du Globe et la Panthalassa (l'océan) n'existait pas et n'a jamais existé.

Document 2 : Une première allusion à une séparation.

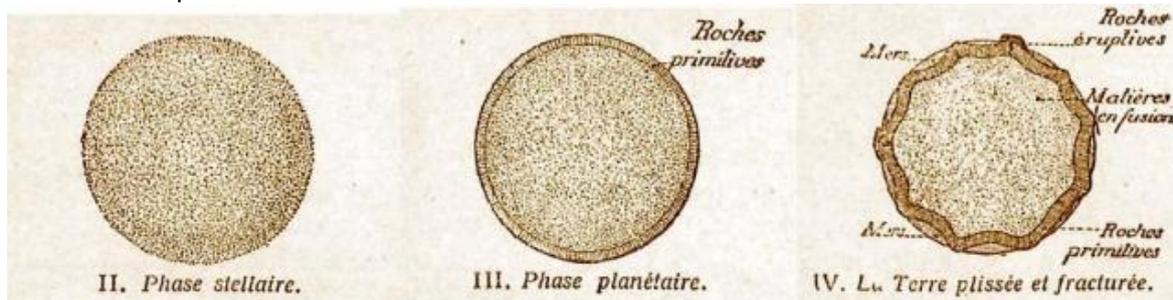
Antonio Snider-Pelligrini (1858) : Les continents se sont formés en un seul bloc à partir d'un bloc de roche en fusion. Le déluge a mis fin à l'état d'instabilité de ce bloc en le refroidissant. Une gigantesque rupture s'est alors produite, entraînant la séparation des Amériques et du Vieux Monde.



Document 3 : La face de la Terre d'Edouard Suess

Avant Suess, il y a avait bien déjà eu l'œuvre d'Elie de Beaumont, que l'on peut qualifier de première synthèse tectonique globale mais celle-ci reposait essentiellement sur des conceptions géométriques. Grâce à son ouvrage magistral *La Face de la Terre* publié entre 1883 et 1909, Edouard Suess, au contraire, s'appuie sur une grande quantité d'observations et cherche à faire ressortir les traits fondamentaux de la planète, prise dans son ensemble.

L'étude des chaînes de montagnes permet à Suess d'affirmer l'existence de mouvements verticaux mais aussi de mouvements horizontaux importants. Dès 1875, il reconnaît que la chaîne alpine est déversée sur un « avant-pays » et il postule qu'elle a pour cause une poussée venue du Sud ou du Sud-Est et qu'elle résulte de déplacements tangentiels importants. Le moteur des mouvements superficiels reste la contraction thermique mais n'empêche pas des mouvements latéraux importants.

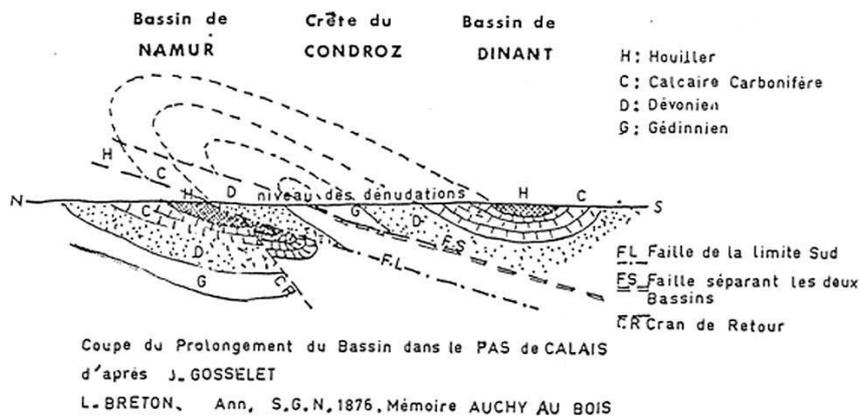


Livre de Géologie de classe de 4^{ème}, V. BOULET, 1925,

En 1888, dans le second tome de son ouvrage, Eduard Suess précise sa pensée. Il remarque que les océans Atlantique et Indien coupent les structures montagneuses des continents qui les bordent à angle droit et que, par exemple pour l'Atlantique, les côtes américaines et européennes présentent une structure symétrique l'une par rapport à l'autre. Il en déduit : « Cette opposition entre les contours des bassins océaniques et la structure des terres voisines montre de la façon la plus nette que ces bassins océaniques sont des aires d'affaissement, reproduisant ainsi, sur une échelle bien autrement grandiose, les affaissements que nous avons reconnus dans l'intérieur des continents » (Suess, op. cit., tome II, p.839). Cette idée lui permet également d'expliquer les transgressions et régressions marines. Lorsque l'écorce s'effondre brutalement, la mer fait de même (régressions). Le comblement progressif des mers amène les transgressions.

Document 4 : Etude des chaînes de montagnes

Marcel Bertrand poursuit les idées tectoniques de Suess, en définissant, en 1884, la notion fondamentale de nappe de charriage. Il explique que dans les montagnes certains terrains peuvent venir chevaucher des terrains d'âges et de natures très différentes. Ces recouvrements ou nappes de charriage ne peuvent se comprendre que par des mouvements tangentiels très importants (de l'ordre de la centaine de kilomètres) et mettent pleinement en évidence la nécessité de poussées latérales.



Coupe dans le bassin houiller franco-belge, 1876

Un des exemples historiques (la Faille du Midi qui limite au Sud le bassin houiller franco-belge, dessinée en 1876) où les géologues ont mis en évidence des « charriages », qui nécessitaient de fortes poussées latérales.

D'après J. GOSSELET ; L. BRETON, Ann. S.G.N., 1876. Mémoire AUCHY AU BOIS

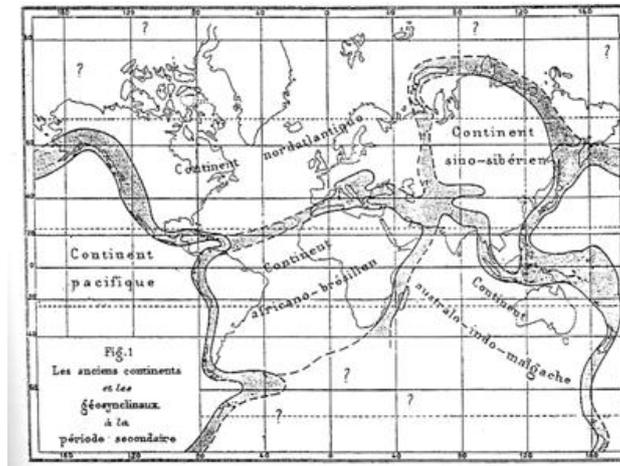
En 1887, il affirme que l'Amérique du Nord et l'Europe formaient autrefois un seul continent qui s'est effondré en son centre pour constituer l'Atlantique. L'unité des deux blocs continentaux est démontrée par le prolongement des chaînes européennes (chaînes calédonienne, hercynienne et alpine) sur le continent américain.



La chaîne des Alpes et la formation du continent européen, Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 15, 1887, p.442

Document 5 : L'existence d'une unité continentale

Emile Haug considère de son côté en 1900 que les chaînes de montagnes se forment uniquement le long de bandes étroites (les géosynclinaux) intercalées entre des unités continentales stables. La déformation tectonique se confine donc dans des endroits précis du globe. Il démontre que la faune et la flore fossile existent sur plusieurs continents, ce qui confirme l'existence de ponts continentaux.



Les géosynclinaux et les aires continentales, Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 28, 1900, p.633

Document 6 : La séparation de masses continentales

Frank B. Taylor (1910) : Formule l'hypothèse que l'Atlantique a été formé par la séparation de deux masses continentales qui ont dérivé lentement l'une par rapport à l'autre. Son hypothèse est fondée sur la similitude du tracé des côtes de part et d'autre de l'Atlantique. Il ajoute que les montagnes présentes du côté opposé à l'atlantique (Rocheuses en Amérique du Nord et Andes en Amérique du Sud) sont du au fait que le continent qui se déplace "racle" et forme un bourrelet. Il nome cet effet, un effet de bulldozage (comme quand un bulldozer pousse une plaque rigide). Mais la démonstration de Taylor est apparue trop compliquée et n'a pas réussi à convaincre ses contemporains.

Document 7 : La dérive des continents

Alfred Wegener présente son idée de la dérive des continents en janvier 1912, puis il la développe progressivement jusqu'à sa mort, en 1930, au cours d'éditions successives de son livre *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (1915, 1920, 1922, 1929), en français : *La genèse des continents et des océans*. Il n'est pas le premier à supposer une translation continentale mais le titre de « père de la dérive » lui revient indiscutablement car il est le premier à étayer son hypothèse par un nombre considérable de « preuves » émanant de sources très diverses pour en faire une théorie scientifique cohérente.

Dans la préface de son ouvrage, Wegener insiste sur la nécessité de développer une vision globale de la planète, incluant l'ensemble des sciences de la Terre. Cette approche généraliste, qui va l'amener à aller puiser des arguments dans de multiples disciplines, très éloignées de sa spécialité, ce qui constitue un des aspects les plus novateurs de sa démarche.

La Terre contient un noyau en fer (Nife), un manteau silico-magnésien le SIMA qui affleure au niveau des océans et les continents constitués de matériaux légers riche en silico-aluminium (SIAL). Le SIAL est en équilibre sur le SIMA. Le refroidissement de la Terre aurait entraîné une diminution de son volume, donc de sa surface. Celle-ci aurait donc été mise sous compression, ce qui aurait été à l'origine et des chaînes de montagnes, et des vastes dépressions que constituaient les océans. Il y a donc des mouvements verticaux possibles du SIAL dans le SIMA.

Coupe schématique de la Terres selon A. Wegener

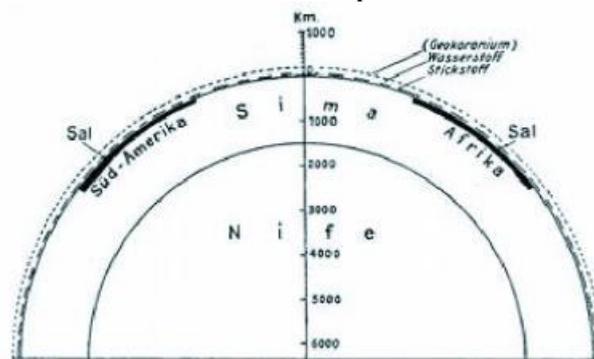


Fig. 2. Schnitt im grössten Kreise durch Südamerika und Afrika, in getrennten Grössenverhältnissen.

Documents 1b et 2 p.110-111.

Document 8 : L'étude des formations géologiques

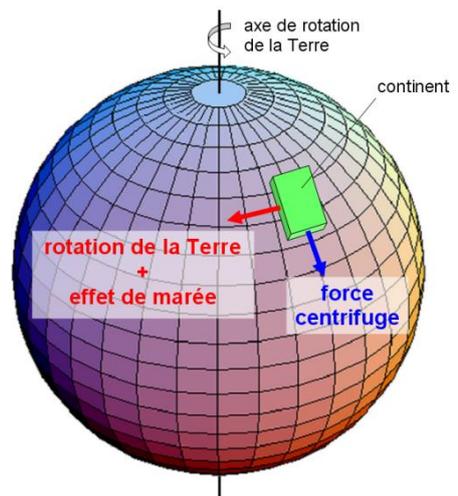
Les recherches géologiques d'**Alexandre Du Toit** (1878-1948) mettent en évidence les correspondances, aussi bien stratigraphiques que lithologiques, paléontologiques, tectoniques, volcaniques et climatologiques entre l'Afrique du Sud, d'où il est originaire et l'Amérique du Sud. Lors de ses explorations dans le continent Sud-américain, il s'étonne : « *En fait, j'avais beaucoup de peine, même après un examen détaillé, de m'imaginer que j'étais dans un autre continent et non dans la partie sud du Cap* ». Il remarque que les formations géologiques ont tendance à présenter plus de ressemblance des deux côtés opposés de l'Atlantique qu'à l'intérieur même des régions des deux continents respectifs !

La continuité des structures géologiques d'un continent à l'autre selon Alexandre Du Toit (1927)



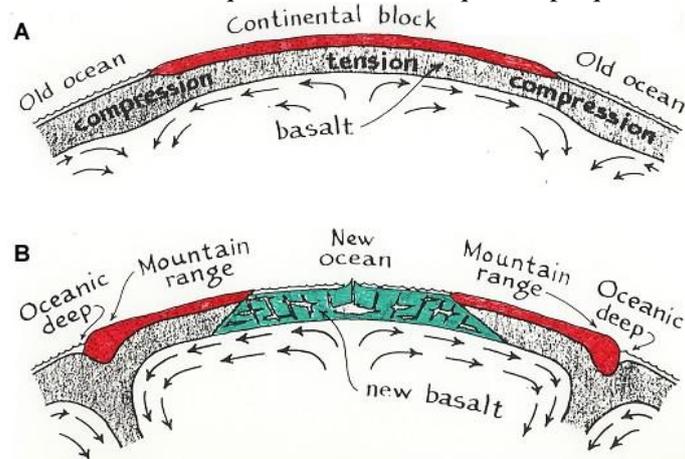
Document 9 : Les forces de dérive

Pour Wegener les continents solides se déplacent sur un manteau lui même solide. Cela suppose la mise en œuvre de forces énormes. Les forces de dérive proposées par Wegener sont toutes extérieures aux continents. La force centrifuge (liée à la rotation de la Terre) provoquerait une dérive des continents vers l'équateur et l'action combinée de la rotation de la Terre et des forces de marée (liées au système Soleil Lune) entraînerait une dérive des continents vers l'ouest.



Document 10 : Les mouvements de convection

Arthur Holmes (1945), professeur de géologie à l'Université d'Edimbourg, proposa un modèle prémonitoire au concept moderne de l'étalement des fonds océaniques et de la tectonique des plaques.

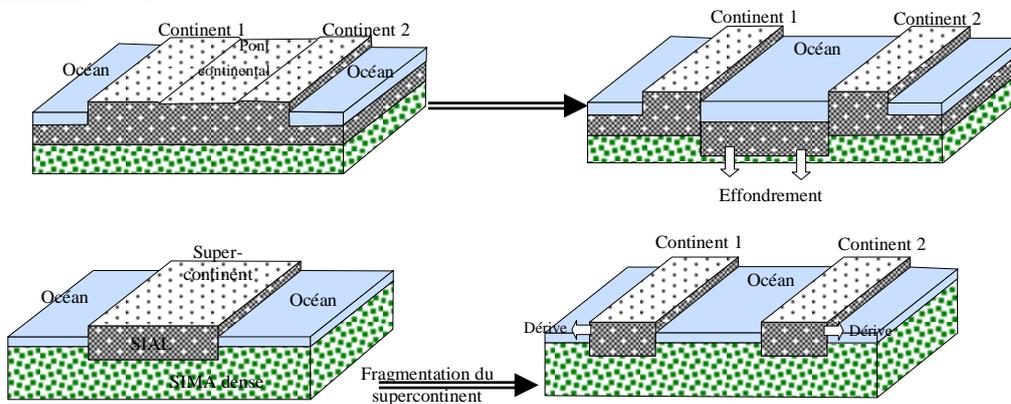


(A) Holmes propose que l'existence de courants de convection dans le manteau, sous un grand bloc continental (comme la Pangée, par exemple), crée dans la croûte continentale des forces de tension. Ces forces de tension vont contribuer à fracturer la croûte continentale, avec, dans les fractures ouvertes, des venues de magma provenant du manteau.

(B) La cristallisation de ce magma va créer de la croûte océanique composée de basalte. Toujours sous l'influence de la convection, la nouvelle croûte océanique va elle aussi se fracturer et être infiltrée par le magma. Il va donc se former ainsi continuellement de la nouvelle croûte océanique, un processus qui fera en sorte que les masses continentales vont s'éloigner l'une de l'autre, comme repoussées par cette formation de nouvelle croûte océanique.

Pour Holmes, la surface terrestre est un espace fini, ce qui implique que s'il y a tension dans certaines zones, il doit y avoir compression ailleurs, ou encore, s'il y a formation de nouvelle croûte terrestre par endroits, il faut qu'il y ait destruction ailleurs. Cette destruction se fait dans les zones de compression où la croûte s'enfoncera dans le manteau, donnant naissance à des fosses océaniques profondes. Les chaînes de montagnes vont se construire dans ces zones de compression.

Document 11 : L'origine des océans



La théorie des ponts continentaux envisage que ces derniers ont « fait naufrage » : les ponts effondrés forment le plancher des océans actuels.

Les lois de la physique tendent à confirmer que les continents « flottent » en équilibre sur un substrat plus dense.

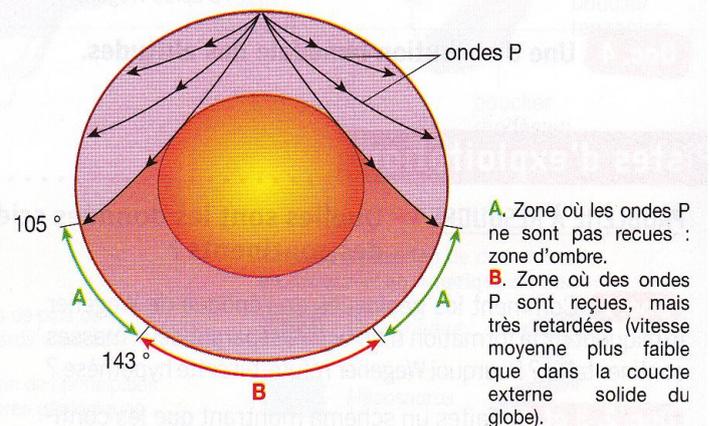
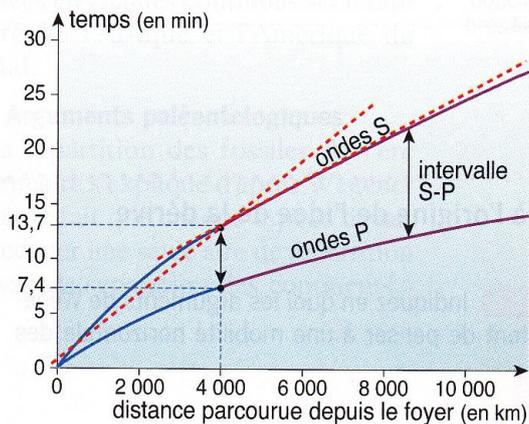
Document 12 : L'auscultation de la Terre

En **1906**, le sismologue anglais, **Oldham** découvre que, plus les ondes sismiques traversent des couches profondes du globe, plus leur vitesse moyenne est élevée (*graphie*). Au-delà d'une certaine profondeur, les ondes sismiques sont brutalement ralenties, ce qui évoque une transition entre deux matériaux de nature différente.

Oldham suggère que la Terre est solide jusqu'à 3 800 km de profondeur mais, qu'au-delà, il doit y avoir un noyau liquide. En **1912**, le sismologue allemand Gutenberg repositionne la

discontinuité d'Oldham vers 2 900 km de profondeur grâce à la mise en évidence d'une « zone d'ombre sismique ». Cette zone correspond à l'absence d'enregistrement d'ondes sismiques dans les stations situées entre 11 500 km et 14 500 km de distance de l'épicentre, soit une distance angulaire de 105° à 143°.

En **1923**, **Gutenberg** interprète ce phénomène par l'existence d'une discontinuité majeure entre une épaisse couche externe solide et un noyau liquide : c'est la **discontinuité de Gutenberg**.

**Document 13 : Quelques réactions à la théorie de Wegener**

Lake « Wegener lui-même n'aide pas son lecteur à se faire un jugement impartial. Même si son attitude a pu être originale, dans son livre, il ne cherche pas la vérité, il défend une cause, et il ferme les yeux devant chaque fait et chaque argument qui la contredit » (U. Marxin, *Continental drift : Evolution of a concept*, Washington, Smithsonian Institution Press, 1973, p.83).

Pierre Termier : « C'est un beau rêve, le rêve d'un grand poète. Mais essaye-t-on de l'étreindre, on s'aperçoit n'avoir dans les bras que de la vapeur, de la fumée. Elle attire, elle intéresse, elle amuse l'esprit, mais la solidité lui manque » (Pierre Termier, *La Dérive des continents*, Monaco, 1924)

Chamberlin « Si nous croyons l'hypothèse de Wegener, nous devons oublier tout ce que nous avons appris dans les soixante-dix dernières années et retourner sur les bancs de l'école. » (R. T. Chamberlin, « Some of the objection to Wegener's Theory », in W. A. Van Waterschoot Van Der Gracht, *Theory of continental drift : a symposium*, Tulsa, American Association of the Petroleum Geologists, 1928, p. 87.)

Le problème est parfaitement posé par **Lambert** en 1921 : « Évidemment 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 [viscosité des fluides]. 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 suffisamment 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 [égale au seuil de plasticité] 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 ».

Les contradicteurs de la dérive relèvent en outre une incohérence entre la possibilité de la dérive à travers le sima et la formation des montagnes en bordures des continents par la compression due à leur mouvement (formation des Rocheuses et des Cordillères). De deux choses l'une : soit la couche du fond des océans est moins résistante que les continents et ces derniers peuvent dériver à travers elle, mais alors on ne comprend pas pourquoi ils sont déformés par

le mouvement (un bateau qui se déplace dans l'eau n'est pas comprimé) ; soit elle est plus résistante : on peut donner une explication à la formation des montagnes mais on ne comprend plus comment les continents peuvent fendre le sima. Une image utilisée par **Willis**, un des partisans du symposium de New York, est qu'on ne coupe pas de l'acier avec des ciseaux de plomb !

Pierre Termier écrit en 1924 : « *C'est un beau rêve, le rêve d'un grand poète. Mais essaye-t-on de l'étreindre, on s'aperçoit n'avoir dans les bras que de la vapeur, de la fumée. Elle attire, elle intéresse, elle amuse l'esprit, mais la solidité lui manque* » (Pierre Termier, *La Dérive des continents*, Monaco, 1924).

Document 14 : Q

Harold Jeffreys (1891-1989), chef de file des négateurs absolus de la dérive, arrivent à la conclusion que l'intensité des forces supposées est bien trop faible, la résistance du sima bien trop forte pour permettre un déplacement appréciable des continents. Et surtout – il s'agit cette fois d'une certitude, jetant un doute très sérieux sur les théories de la dérive – les forces invoquées sont incapables d'expliquer la formation des montagnes, que Wegener a lié aux translations continentales. Jeffreys argumente : « *Une autre hypothèse impossible est fondée sur la conception que la Terre est dénuée de toute résistance à la déformation [seuil de plasticité nul]. Cette hypothèse affirme qu'une petite force peut non seulement provoquer des mouvements indéfiniment grands, à condition qu'elle dispose d'une durée suffisante, mais encore qu'elle peut surmonter une force plusieurs fois plus importante et agissant dans le sens inverse pendant la même durée. Par exemple, selon la théorie de Wegener, une force minuscule n'aurait pas seulement déplacé l'Amérique par-delà l'Atlantique actuel, mais encore la résistance opposé à ce mouvement par le fond du Pacifique aurait provoqué l'élévation des montagnes Rocheuses. [...] Pour que cette formation de montagnes se réalise toutefois, il faut un apport d'énergie pour élever les roches concernées ; la contrainte disponible doit surmonter la gravitation et doit donc dépasser la pression exercée par le poids de la montagne. Le frottement des marées et les différences entre les valeurs de la gravitation dans les parties supérieures et inférieures des continents sont généralement les forces invoquées par des théories de ce type.*

Jeffreys clame donc que les forces de la dérive ne peuvent en aucun cas être suffisantes pour expliquer l'orogénèse. En 1926, puis en 1929, il ajoute que le maintien du relief des continents et des fonds océaniques montre que la lithosphère possède un seuil de plasticité important et donc qu'il est évident que les forces supposées sont inadaptées pour provoquer une quelconque distorsion de la croûte. Le rejet de la dérive peut être total et catégorique : « *Il n'y a par conséquent pas la moindre raison de croire que des déplacements en bloc de continents à travers la lithosphère soient possibles. (...) Une dérive séculaire des continents, telle qu'elle a pu être soutenue par A. Wegener et autres, est hors de questions* » (H. Jeffreys, *The Earth*, 2e édition, 1929, p.304-305).

En 1931, Jeffreys émet aussi un avis négatif sur l'hypothèse des courants de convection, considérablement développée par Arthur Holmes, dans un article de 1928. Il lui reproche de ne pouvoir être ni appuyée ni contredite :

« J'ai examiné assez longuement la théorie du professeur Holmes sur les courants de convection, et je n'ai trouvé aucun test qui pourrait l'appuyer ou la contredire. Autant que je peux voir, elle ne contient rien de fondamentalement impossible, mais l'association de conditions devant être réunies pour qu'elle puisse fonctionner appartient plutôt au domaine de l'extraordinaire » (Harold Jeffreys, in H. Frankel, *Arthur Holmes and continental drift*, *The British Journal for the History of Science*, 11, 38, 130-149, 1978, p.146).