

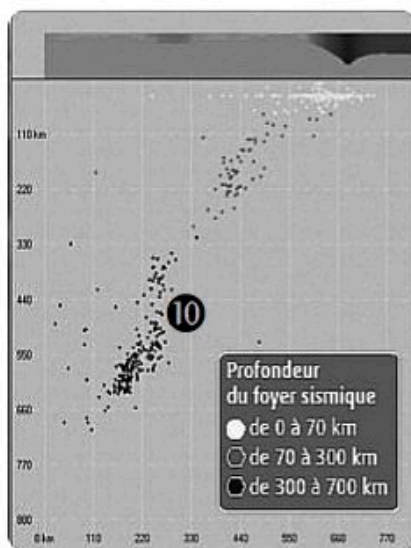
## DST # 4

**EXERCICE 1 : QUESTION BAC DE TYPE 1 : ROC : CONTROVERSE HISTORIQUE**  
 { 10 POINTS / 1H 30 MIN }

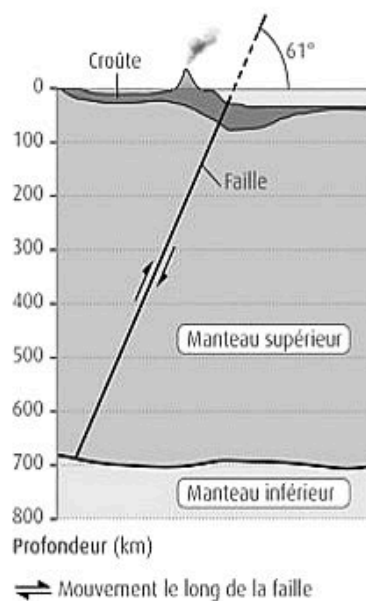
Présentez la controverse scientifique de l'Histoire des Idées entre les 2 théories à l'oeuvre au début du XX<sup>e</sup> Siècle (mobiliste et fixiste) jusqu'en 1968. Vous indiquerez les arguments échangés avec les données de l'époque. Vous illustrerez votre copie d'un schéma comparatif avec un plan apparent.

**EXERCICE 2 : QUESTION BAC DE TYPE 2.1 : PRS :**

{ 4 POINTS / 35 MIN }

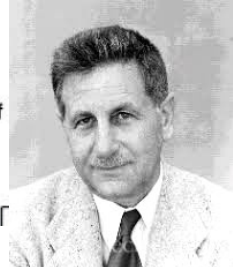


1. Répartition des séismes au niveau de la fosse de Kermadec. Données Sismolog.



Dans les années 1945-1950, le géophysicien américain Hugo Benioff localise avec précision la répartition des foyers sismiques au niveau de la fosse océanique de Kermadec (océan Pacifique). Il propose une interprétation des données obtenues qui, à la lumière des connaissances actuelles, n'est pas exacte.

2. L'interprétation d'H. Benioff (1949). Elle est incorrecte à la lumière des connaissances actuelles.



- ① Précisez les arguments qui conduisent Hugo Benioff à construire son schéma.
- ② Grâce à vos connaissances, précisez le phénomène géologique à l'origine de la sismicité observée.
- ③ Indiquez les éléments inexacts dans le schéma d'Hugo Benioff, puis réalisez un schéma de l'interprétation actuelle de la répartition des foyers sismiques au niveau de la fosse de Kermadec.
- ④ Précisez les données géologiques qui, en 1949, manquaient à H. Benioff pour établir l'interprétation actuelle.

## EXERCICE 3 : PRS : PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE : HISTOIRE DE LA THÉORIE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES { 6 POINTS / 1H 15 MIN }

**En vous appuyant sur vos connaissances et l'exploitation des documents ci-dessous, donnez des arguments qui montrent que l'Inde s'est déplacée depuis plusieurs millions d'années. Un texte démonstratif accompagné d'au moins un schéma est attendu.**

L'Inde et l'Asie sont actuellement en contact. Diverses méthodes ont permis de montrer qu'il n'en a pas toujours été ainsi : l'Inde s'est progressivement rapprochée de l'Asie au cours de l'ère Secondaire.

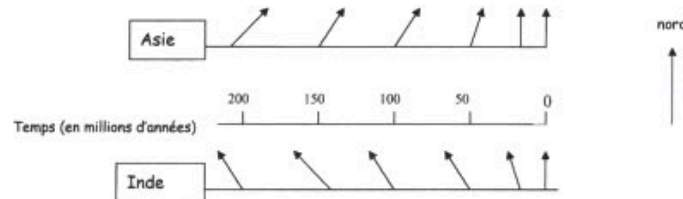
### Document 1 : les traces d'anciennes glaciations

On observe, sur certaines portions des continents actuels, des marques de glaciation datant de 250 millions d'années, indiquant que ces portions de continents ont été recouvertes par une calotte glaciaire. L'écoulement des glaces, dont le sens est indiqué par les flèches, se fait, normalement, toujours de l'intérieur vers l'extérieur d'un continent.



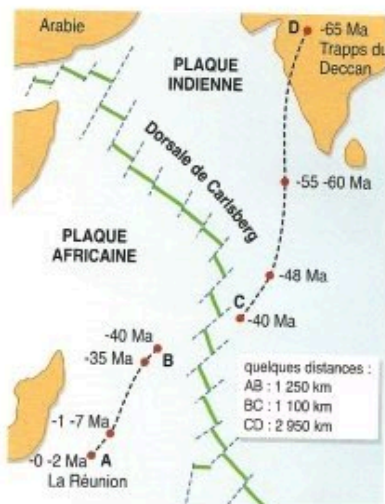
Source : [www2.ggl.ulaval.ca](http://www2.ggl.ulaval.ca)

### Document 2 : direction du champ magnétique fossilisé dans les roches magmatiques de l'Inde et de l'Asie en fonction du temps



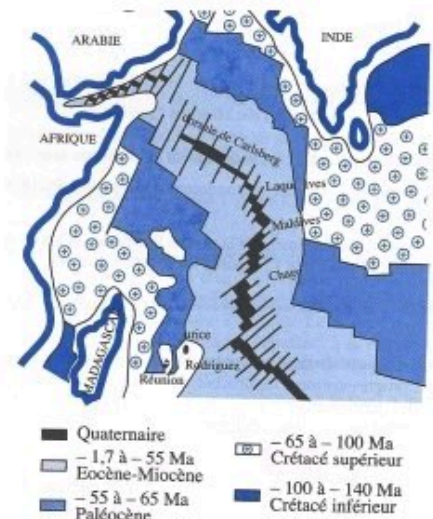
Source : d'après *Interro des lycées, Préparath, éditions Nathan 2006, schéma simplifié*

### Document 3 : âge des différentes éruptions volcaniques provoquées par l'activité du point chaud de l'île de la Réunion



Source : SVT 1S, bordas, 2011.

### Document 4 : âge des basaltes de l'océan Indien



Source : *Interro des lycées, Préparath, éditions Nathan 2006*

## Corrigé du DST # 4

### EXERCICE 1 : QUESTION BAC DE TYPE 1 : ROC : CONTROVERSE HISTORIQUE

{ 10 POINTS / 1H 15 }

**Présentez la controverse scientifique de l'Histoire des Idées entre les 2 théories à l'oeuvre au début du XX<sup>e</sup> Siècle (mobiliste et fixiste) jusqu'en 1960. Vous indiquerez les arguments échangés avec les données de l'époque et illustrerez votre copie d'un schéma comparatif avec un plan apparent.**

Le 6 janvier 1912, le météorologue allemand Alfred Wegener propose à ses collègues lors d'une conférence le modèle de la dérive des continents en opposition à la théorie fixée en vigueur jusqu'alors.

Une théorie englobe un ou des modèles simplificateurs, se testant, s'enrichissant, se modifiant en faisant des comparatifs avec le réel pour l'ajuster, devant être prédictifs, constructions intellectuelles hypothétiques modifiables et valides tant que non réfutés.

Leurs prédictions amènent de nouvelles observations et questions à résoudre et c'est celles-ci qui permettent de la solidifier en les validant ou non. Nous verrons le rôle des progrès techniques dans leur perfectionnement. La théorie actuelle unificatrice en Géologie de la tectonique des plaques rend compte de la quasi-totalité des phénomènes planétaires géologiques en prenant en compte le mobilisme horizontal de Wegener. Depuis Aristote, on croyait que la Terre s'était formée très vite par une série de grandes catastrophes pour lui donner son aspect actuel. La théorie fixiste considère que la Terre se refroidit depuis sa création et que ce refroidissement par contraction crée des creux et des bosses en surface de l'écorce terrestre que sont les montagnes et les océans, un peu comme le devenir d'une pomme qui se déshydrate en se desséchant et fripant. La perception immédiate de la Terre par les civilisations traditionnelles et leurs conceptions ancestrales les ont amené d'abord à cette vision de la nature, en particulier des reliefs et des continents eux-mêmes ; immobiles et stables, sauf

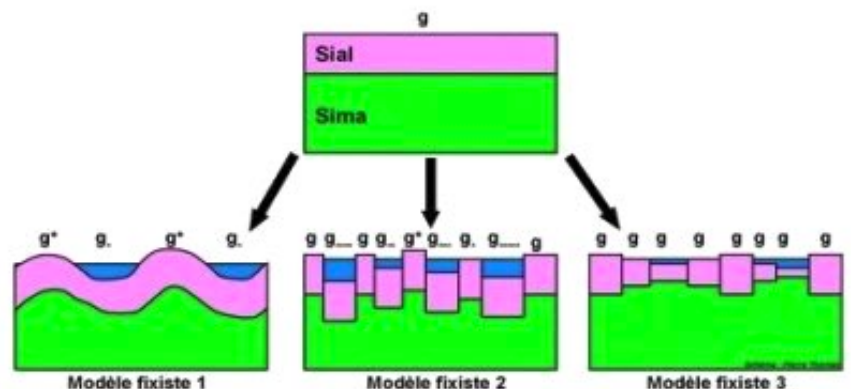
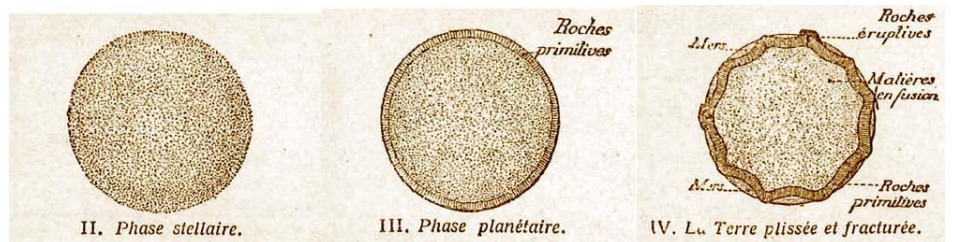
catastrophes rapides interprétées comme des interventions aléatoires occultes. Elle prend racine avec Eduard Suess et sa théorie de la contraction terrestre de 1883 :

la diminution du volume terrestre due à la contraction explique la mobilité verticale, les creux et bosses étant respectivement les océans et continents. Selon le modèle fixiste, ce sont des ondulations du SIAL qui engendrent les différences d'altitude (Si = Silicium / Al = Aluminium)

Un matériel solide telle une roche a pu se déformer pour former des plis, le Sial et le Sima n'ont pas toujours été solides, d'abord très ductiles, un peu comme du miel et ont donc pu être déformés ensemble et former les plis observés. La Terre d'abord très chaude, s'est refroidie progressivement et cette rétractation a abaissé son volume et le sial et le sima se sont plissés en réponse, un peu comme une pomme qui se déshydrate : au début sa peau est bien lisse, puis des rides apparaissent à sa surface au fur et à mesure que la pomme perd de son eau et donc de son volume. Pour expliquer les failles existantes, le Sial et le Sima, d'abord ductiles,

sont devenus peu à peu rigides et donc cassants la Terre continuant de se rétracter et la couche superficielle de la Terre devenue solide casse donc : les failles qui témoignent donc des dernières étapes du refroidissement de notre globe.

Modèle fixiste 1 : ce sont des ondulations du sial (= croûte continentale) qui engendrent les différences d'altitude mais ce modèle n'explique pas la bimodalité des altitudes qui seraient de répartition gaussienne de part et d'autre d'une altitude moyenne, ni la gravité constante à la surface du globe, les différences de masse sous les bosses et les creux devant entraîner des différences de gravité, ce qui n'est pas le cas.





Modèle fixiste 2 : des blocs de sial sont plus ou moins effondrés. À moins d'imaginer qu'un processus géologique (lequel ?) « règle » l'effondrement avec une valeur constante, il n'y a aucune raison d'avoir une bimodalité des altitudes. De plus, ce modèle n'explique en aucun cas la gravité constante à la surface du globe, d'autant plus faible que l'enfoncement a été important. Cela suppose que le sial est suffisamment déformable pour que s'y enfonce des blocs de sial. Mais quand on enfonce un radeau qui flotte dans un substrat déformable, il remonte quand cesse la force d'enfoncement. En plus de trouver un processus géologique « enfonceur », il faudrait en trouver un autre qui empêche la remontée... ce que personne ne proposait à cette époque.

Modèle fixiste 3 : les différences d'altitude sont dues à des différences d'épaisseur du sial, sans que cela fasse varier la gravité en surface (modèle d'Airy). Mais la bimodalité des altitudes impose de trouver un processus géologique entraînant une bimodalité des épaisseurs du sial au lieu d'une variation « aléatoire » de cette épaisseur.

## EN QUOI LA CONTROVERSE A-T-ELLE FAIT RAGE DE 1910 À 1960, DATE DU SEA-FLOOR SPREADING DE HESS ?

### I / UNE ACCEPTATION CONTROVERSEE DE LA THEORIE DE LA MOBILITE HORIZONTALE DES CONTINENTS DE WEGENER A SA PRESENTATION

#### **A/ les racines de la théorie mobilise avant Wegener (mis à titre de prolongement, non attendu)**

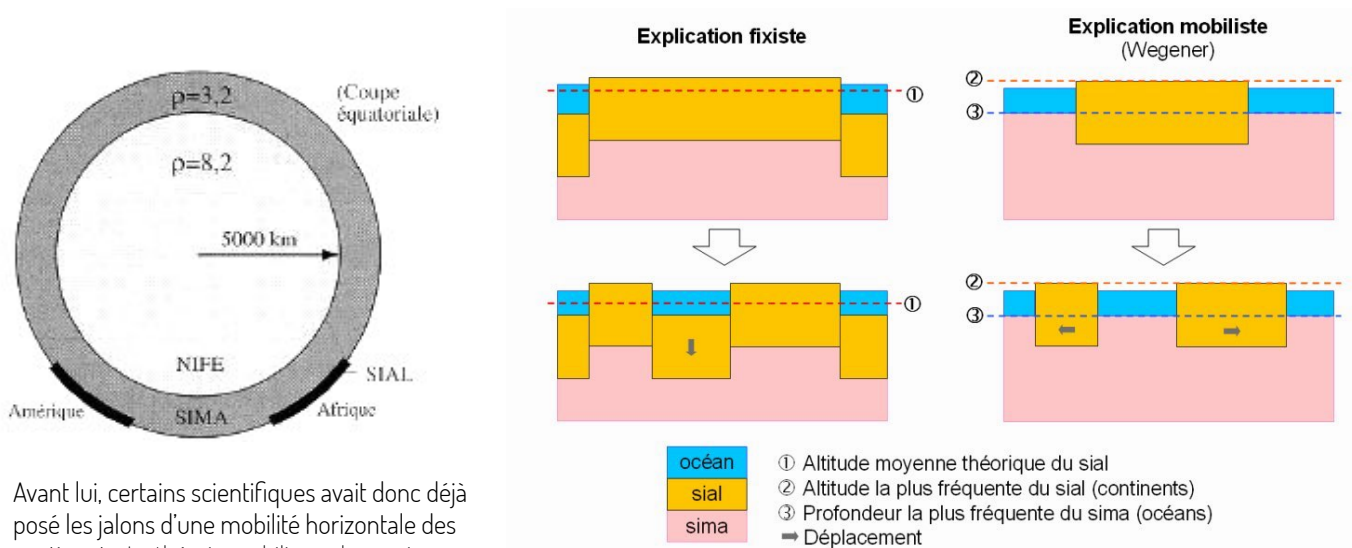
Dès 1596, Abraham Ortelius remarque que les formes des continents le long des côtés opposés de l'océan Atlantique en particulier, l'Afrique et l'Amérique du Sud semblent s'articuler, les Amériques ayant été « arrachées » à l'Europe et l'Afrique par les séismes et les inondations. Francis Bacon en 1620, François Placet en 1668, Theodor Christoph Lilienthal en 1756, Alexander von Humboldt en 1801 et 1845 et Antonio Snider-Pellegrini en 1858 tiennent des propos similaires.

Au XVII<sup>e</sup>, les cartes de l'Atlantique étaient suffisamment précises pour que les esprits curieux remarquent un parallélisme dans le tracé des côtes de part et d'autre de l'Atlantique et tentent d'en trouver l'explication. François Placet en 1668 considère qu'avant le déluge, l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde » propose qu'avant le déluge il n'y avait qu'un seul bloc continental et que c'est par effondrement au centre de ce bloc que l'Atlantique a été créé et qu'il en est résulté 2 blocs séparés. Cela fait revivre la légende de l'Atlantide, continent qui selon Platon, se serait abîmé dans l'Océan Atlantique au large de Gibraltar. L'idée que la Terre a subi de profonds changements de toute nature au cours de son histoire est largement partagée jusque vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Charles Lyell écrit en 1872 : « Les continents, donc, bien que permanents durant des périodes géologiques entières, changent complètement de position au cours des âges ». La pensée dominante commence à changer après 1850, sous l'influence notamment du géologue et minéralogiste américain James Dwight Dana, qui écrit en 1863 : « La forme générale des continents et des océans a été définie dans les tous premiers temps. C'est prouvé pour l'Amérique du Nord d'après la position et la répartition des premiers dépôts sédimentaires du Silurien (ceux de l'époque Potsdam). [...] et l'on pourra vraisemblablement le prouver aussi pour les autres continents ». En 1889, Alfred Russel Wallace considère les déplacements relatifs des continents comme une hypothèse dépassée : « C'était autrefois une croyance très générale, même parmi les géologues, que les grandes caractéristiques de la surface de la Terre, tout comme les plus petites, étaient sujettes à des mutations continues, et qu'au cours des temps géologiques les continents et les grands océans avaient encore et encore changé de place les uns avec les autres ». L'idée que l'Amérique, l'Europe et l'Asie étaient réunies continue néanmoins d'être exposée par d'autres dont Coxworthy entre 1848 et 1890, Roberto Mantovani en 1889 et 1909 (similitude des formations géologiques des continents méridionaux, mais explique la fracturation du supercontinent par l'activité volcanique et l'éloignement ultérieur des continents par une supposée dilatation thermique de la Terre), William Henry Pickering en 1907 et Frank Bursley Taylor en 1908. L'existence passée du supercontinent gondwanien et de l'océan Téthys est par ailleurs proposée par Eduard Suess en 1885 et 1893. Certains des arguments qu'invoque Wegener sont déjà mis en avant par ses prédécesseurs. Taylor imagine un déplacement continental par glissement dû aux forces de marée pendant la capture supposée de la Lune au cours du Crétacé, le premier à réaliser que l'un des effets des déplacements continentaux est la formation de montagnes, et attribue à juste titre la formation de l'Himalaya à la collision entre le sous-continent indien et l'Asie (pendant un temps la dérive des continents sera connue sous le nom d'« hypothèse de Taylor-Wegener ») bel que Taylor n'avait pas de preuve.

Elle considère des déplacements horizontaux déplacements, mouvements et les dynamiques constantes à des pas de temps assez courts des continents et d'autres phénomènes naturels. Wegener et la théorie fixiste reconnaissent tous deux une mobilité verticale. Avec l'émergence de la Géologie et de la Géomorphologie au début du XIX<sup>e</sup>S, le fixisme absolu fait place à un fixisme relatif : les continents, les formes de relief sont stables au pas de temps de la vie humaine et même de la centaine de milliers ou du million d'années mais des perturbations, brèves par rapport aux phases de stabilité, des « catastrophes » au sens de Cuvier (1832) ou d'Orbigny (1857) provoquent des mouvements verticaux et latéraux de l'écorce terrestre, créateurs des montagnes, des fossés, des bassins, dont les plus vastes sont océaniques. Le modèle du cycle d'érosion de Davis (1909) intègre une certaine mobilité des continents ou du niveau de la mer, des mouvements brefs à l'« échelle » du temps géologique, séparant de longues phases d'érosion sur un continent stable ou à peu près. Pour lui, les derniers mouvements verticaux importants auraient eu lieu à la fin du Miocène ou Pliocène. Bien qu'au XIX<sup>e</sup> Siècle, Hutton et Lyell ont tenté de montrer que les processus géologiques sont beaucoup plus lents que ne le propose le catastrophisme et se font plus uniformément (théorie de l'uniformitarisme), les hommes de science continuent à croire ferme à la pérennité des mers et des continents. 2 siècles après Placet, le catastrophisme garde toujours ses droits et Snider-Pellegrini

en 1858 parle de séparation et de dérive (selon lui, les continents se sont formés avant le déluge (catastrophe) en un bloc unique du même côté de la terre à partir d'un bloc de roche en fusion et 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. George Darwin en 1879, 2<sup>e</sup> fils de Charles Darwin parle aussi de mobilité continentale : la Lune a été arrachée il y a longtemps à la Terre, y laissant la gigantesque cicatrice du Pacifique : ce grand vide entraîne une fragmentation de la croûte granitique refroidie et un glissement latéral des masses continentales. Frank Taylor est le 1<sup>er</sup>, en 1910, 5 ans avant Wegener, à formuler l'hypothèse que l'Atlantique a été formé par la séparation de 2 masses continentales ayant dérivé lentement l'une par rapport à l'autre, fondant son hypothèse sur la similitude du tracé des côtes de part et d'autre de l'Atlantique, mais aussi sur le fait qu'on retrouve des chaînes de montagnes sur les marges continentales opposées aux marges atlantiques, comme les Rocheuses en Amérique du Nord et les Andes en Amérique du Sud formées par un effet de "bulldozage" causé par la dérive des continents, Mais la démonstration de Taylor jugée trop compliquée n'a pas convaincu. C'est semble-t-il sans connaître semble-t-il les travaux de Taylor, l'hypothèse de la dérive des continents.

## B/ les arguments de Wegener



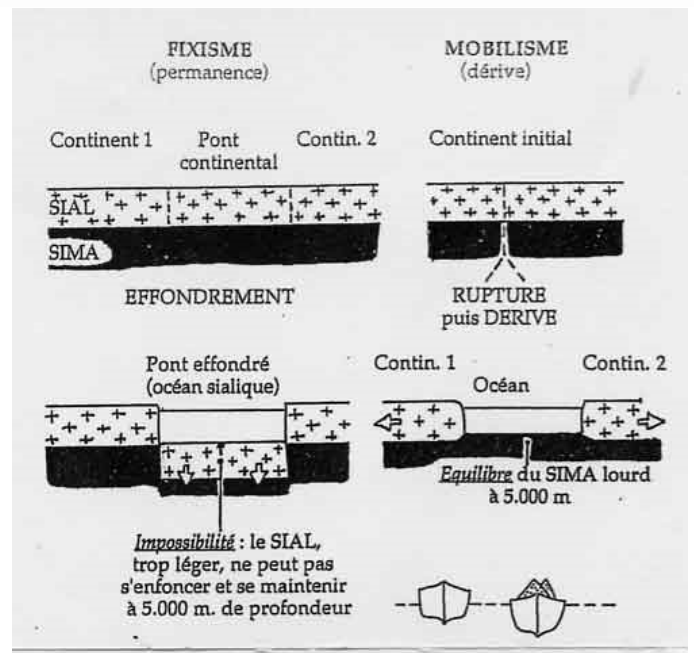
Avant lui, certains scientifiques avait donc déjà posé les jalons d'une mobilité horizontale des continents. La théorie mobiliste a donc pris racine avant Wegener mais c'est lui que l'Histoire des Idées a retenu car il unifie différents arguments de différents domaines pour étayer sa théorie

Il part d'une dualité : les phénomènes de surface sont liés aux phénomènes profonds. Dans son ouvrage La genèse des continents et océans de 1928 : « on remarquera aisément que toute la conception de la dérive des continents procède de l'hypothèse que les fonds océaniques et les socles continentaux diffèrent par leur constitution, qu'ils sont en quelque sorte des couches différentes du Globe. La plus extérieure de celles-ci est constituée par les socles continentaux. Les fonds océaniques représentent la surface de la couche suivante sur laquelle reposeraient les socles continentaux. »

Wegener va collecter différents types d'arguments déjà existants pour étayer sa théorie.

« Ce n'est qu'en réunissant les données de toutes les sciences qui se rapportent à l'étude du globe que nous pourrions espérer obtenir la vérité »

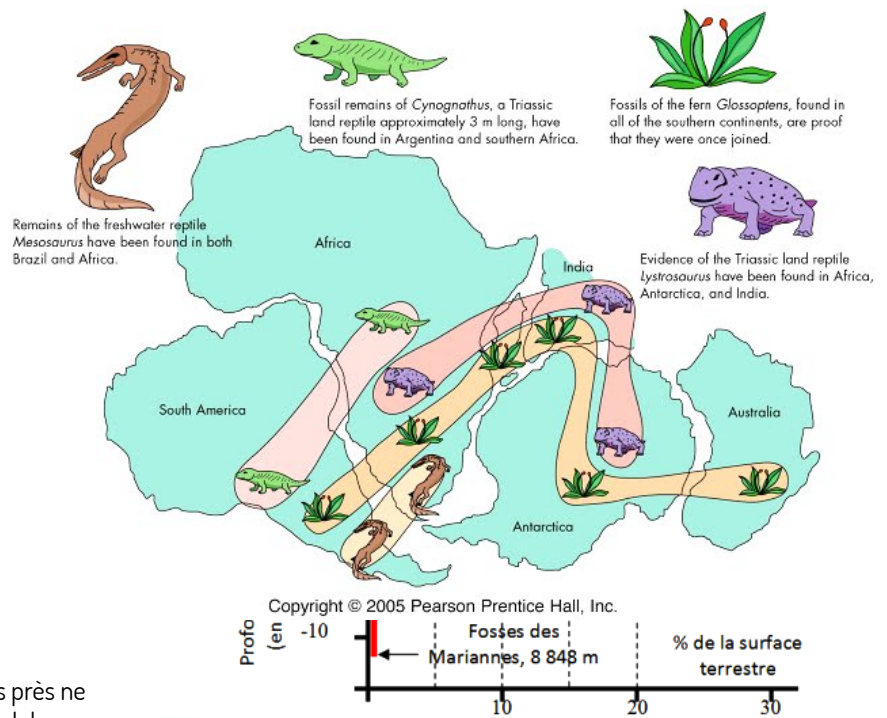
### - 1/ la distribution bimodale des altitudes (courbe hypsographique)



Elle s'oppose à la théorie de Suess pour expliquer les reliefs qui se traduit par des affaissements et soulèvements aléatoires de la croûte terrestre. Wegener reprend une confirmation de l'existence de 2 couches de nature différente avec la répartition des altitudes à la surface du globe. Si la nature des continents et des océans était la même, la répartition des altitudes devrait être unimodale or la courbe de fréquence de répartition des altitudes est bimodale montrant 2 maxima : l'un vers +300 m environ,

l'autre à - 4800 m. L'analyse statistique des reliefs devrait révéler une distribution des altitudes de nature «moyenne», gaussienne et unimodale (courbe verte pointillée). Or non ! On obtient les courbes rouges. Wegener poursuit : « La statistique des surfaces terrestres de même altitude met en lumière le fait curieux que l'écorce présente 2 niveaux prédominants entre lesquels les surfaces d'altitude moyenne sont minoritaires. De ces 2 altitudes, la plus élevée correspond aux aires continentales, la plus basse aux domaines abyssaux. Il suffit pour s'en rendre compte de diviser la surface du globe en km<sup>2</sup> et de les classer par rang d'altitude. En portant sur les abscisses les surfaces et les altitudes en ordonnées, on obtient une courbe connue sous le nom de courbe hypsographique ». Pour lui, la couche de sial d'épaisseur constante aux montagnes près ne recouvre pas toute la Terre et le sima affleure au fond des océans. Le sial peut se rompre, et ces morceaux dériver sur le sima comme des panneaux de banquise ou d'icebergs dérivant sur l'océan. Ce modèle explique la bimodalité des altitudes et la quasi-constance de la gravité.

La répartition bimodale des altitudes à la surface de la Terre suggère donc un contraste entre 2 matériaux : océans et continents faits de « SIAL » et le fond des océans d'un matériau dense, le SIMA sur lequel le « SIAL » flotterait.



## - 2/ des arguments géomorphologiques : les tracés des côtes et les correspondances des structures géologiques

### a/ les contours des côtes

Les contours continentaux s'emboîtent comme les pièces d'un puzzle géant sur un planisphère suggèrent un déplacement horizontal depuis une fracture du puzzle complet. Il s'interroge : « la 1ère idée des translations continentales me vint à l'esprit dès 1910. En considérant la carte du Globe, je fus subitement frappé par la concordance des côtes de l'Atlantique » extrait de son ouvrage *La genèse des continents et océans, 1928*. Les côtes américaines d'une part et celles de l'Europe et de l'Afrique d'autre part lui semblent présenter des similitudes qui ne peuvent être le fruit du hasard, ni expliquées par la théorie fixiste de la contraction du globe. Son interprétation est : « les continents étaient autrefois réunis en un seul supercontinent, la Pangée entourée d'un océan unique, la Panthalassa » et « la Pangée s'est ensuite fragmentée et les continents formés se sont séparés en se déplaçant sur les fonds océaniques comme des icebergs dérivant en surface de la mer »

### b/ les structures géologiques communes

En 1927, le Sud-Africain Alexandre du Toit remarque la même chose pour les structures de part et d'autre des océans. Le constat du lent soulèvement des boucliers scandinaves et canadien (1m.ssiècle-1), par suite de la fonte des calottes glaciaires qui les recouvraient il y a 20 000 ans, témoigne de l'existence de mouvements verticaux. Wegener en conclut que « si les socles continentaux flottent dans un fluide, fût-il même très visqueux, il n'y a aucun motif d'admettre qu'ils ne puissent se mouvoir que verticalement, les mouvements horizontaux étant exclus »

## - 3/ des arguments climatologiques

Wegener remarque que des dépôts glaciaires (tillites) tous âgés de 300 Ma sont présents au Sud de l'Amérique du Sud, au Sud de l'Afrique, au Sud de l'Inde, en Antarctique et au Sud de l'Australie et que la configuration actuelle des continents n'explique pas leur présence sauf si on admet l'hypothèse suivante : « les continents étaient regroupés au voisinage du pôle Sud il y a - 300 Ma ». La pensée étant en partie recouverte d'une grande calotte glaciaire. Une tillite ou till est un sédiment déposé par les glaciers (boue + sable de galets ...) témoignant du climat qui régnait au lieu de dépôt et d'une usure des roches suite au déplacement des glaciers

## - 4/ des arguments paléontologiques

Certaines espèces fossiles datées du Trias ( - 252 Ma à - 201 Ma) se retrouvent sur les 5 blocs continentaux précédents (animaux et végétaux): cela ne peut s'expliquer selon lui qu'avec un accolement il y a - 250 Ma.

Une espèce terrestre, africaine par exemple, ne peut se retrouver en Amérique du Sud ou en Australie parce que ne peut traverser les océans à la nage ! (ou par des apparitions spontanées isolées (vraisemblance environ = 0))  
Pour expliquer cette répartition, les scientifiques de l'époque supposaient l'existence de passerelles gondwaniennes (le Gondwana est l'ensemble des continents du sud selon Suess) : c'est la théorie des ponts continentaux

Ainsi en 1912 la théorie de la dérive des continents de Wegener est bien acceptée. Il émet l'hypothèse de l'existence, à la fin de l'ère Primaire (245 Ma), d'un super-continent, la Pangée, ensuite fracturé pour former les continents actuels. Cette théorie mobiliste s'oppose à celle fixiste en vigueur et repose sur l'observation de faits compilés dans différents domaines : la distribution bimodale des altitudes (continents/océans), des arguments géomorphologiques : les tracés des côtes et les correspondances des structures géologiques, des arguments climatiques : la distribution géographique des paléoclimats et des arguments paléontologiques et paléobotaniques (distribution de certains fossiles animaux terrestres et végétaux)  
Faute d'une explication sur le moteur (forces) qui aurait fait dériver les continents et parce que son idée était très novatrice, la communauté scientifique de l'époque rejette finalement le modèle de mobilité horizontale des continents de Wegener rapidement qui considère les icebergs-continentaux dérivant en glissant sur l'eau-sima, qui ne participe pas au mouvement, « fluide porteur » accommodant les déplacements. Ceci diffère de la tectonique des plaques de la fin des années 60, où les icebergs-continentaux sont pris dans une banquise rigide (lithosphère). C'est la lithosphère dans son ensemble qui se déplace, et les icebergs-continentaux suivent passivement le mouvement de la banquise-lithosphère qui les entraîne.

## POURQUOI CETTE THÉORIE QUI N'A PAS EU DE SI MAUVAIS ÉCHO A SA PRÉSENTATION EST ABANDONNÉE PENDANT PLUS DE 30 ANS ENSUITE ?

### II / UN REJET / ABANDON DE 30 ANS (1930-1960)

#### A / L'apport de la sismique

Les géophysiciens étudient la structure interne du globe par l'intermédiaire des ondes sismiques et en déduisent que **l'intérieur de la Terre est solide sans couche plastique ou fluide, en particulier au niveau des fonds océaniques**. Ils infirment la théorie de Wegener considérant le déplacement des continents à SIAL sur un milieu plus plastique.

Les **sismogrammes, enregistrements des sismographes des stations sismiques montrent** l'enregistrement de mouvements du sol sur un support visuel avec 3 types d'ondes arrivant dans l'ordre suivant : P puis S puis L

En **1909** Andrija Mohorovicic, après un séisme au Sud de Zagreb, constate une succession de trains d'ondes P différentes reçues avec un décalage dans les stations éloignées du séisme : il en déduit un trajet direct de certaines (Pg), d'autres passent par des milieux plus profonds où elles ont été accélérées (ondes Pn) avant de regagner la surface, en avance, par rapport aux ondes directes. Les propriétés des ondes à propagation parallèle à une surface de discontinuité lorsqu'elles arrivent avec un certain angle limite lui permet de mettre en évidence une **discontinuité entre croûte et manteau à - 54 km de profondeur sous la Croatie appelée en son honneur** discontinuité de Mohorovicic, en abrégé Moho. Le paramètre qui influence la vitesse de propagation des ondes sismiques est leur nature : à une roche une densité : la vitesse de propagation des ondes augmente avec la densité et inversement. On distingue 3 couches :  $v = 6,2 \text{ km.s}^{-1}$  = granite = croûte continentale /  $v = 6,7 \text{ à } 6,8 \text{ km.s}^{-1}$  : croûte océanique gabbro / basalte / couche sous-jacente :  $v > 8 \text{ km.s}^{-1}$  : manteau péridotite

**L'étude pétrographique permet donc de caractériser 2 croûtes terrestres : une océanique de basaltes et gabbros, une continentale de granites et roches proches (granitoïdes) reposant sur un manteau constitué de péridotites plus denses**

#### B/ Des forces de dérive trop faibles

Selon **Wegener**, les continents solides se déplacent sur un manteau lui-même solide, ce qui suppose des **forces énormes**. Il en avance 3, toutes extérieures aux continents : une liée à la **rotation de la Terre, une à l'effet des marées et la force de Eotvos**. 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. La rigidité des couches terrestres s'oppose à l'idée que les continents se déplacent sur la croûte océanique

**Selon Harold Jeffreys « l'intensité des forces supposées est bien trop faible, la résistance du SIMA bien trop forte pour permettre un déplacement appréciable des continents »** ⇒ à défaut de moteur convaincant identifié, la théorie de la dérive des continents est rejetée : on en revient à la théorie fixiste de 1930 à 1960.

#### C / Autres arguments

L'originalité de la démarche de Wegener est de **mettre en relation des données générales de multiples disciplines**. Face à lui les spécialistes de leur discipline ont l'habitude de travailler sur des mesures locales sans (oser) envisager une approche globale.

-a/ **les ajustements de forme entre les continents apparaissent imprécis** : certains assurent qu'ils sont accidentels et n'hésitent pas à proposer d'autres assemblages géométriques qui, selon eux, sont tout aussi vraisemblables

-b/ **les continuités des structures géologiques entre les continents sont également remises en cause**. Des exemples sont avancés où celles-ci ne sont pas vérifiées, manquantes ou même contradictoires.



**Les constats paléontologiques, géo-structuraux, topographiques s'expliquent aussi par la théorie des ponts continentaux** (Emile Haug ou Jeffreys ) issus de l'effondrement des continents pour être ensuite envahis par les océans

**-c/ les similitudes faunes/flores des continents disjoints ne sont pas niées mais on remarque qu'elles sont loin d'aller jusqu'à l'identité comme cela devrait être le cas si les continents avaient réellement été accolés.**

2 arguments s'imposent donc aux détracteurs de Wegener : - la Terre est trop rigide pour que les continents se déplacent horizontalement - le moteur de cette dérive des continents n'est pas connu. Curieusement, les arguments paléoclimatiques ne sont jamais abordés par les contradicteurs de Wegener. Comment expliquer en effet au Carbonifère la présence de glaciers en Afrique (Namibie au sud de l'Afrique) et, à la même époque, de forêts équatoriales au Spitzberg (îles norvégiennes situées dans l'océan glacial Arctique) ?

De plus, Wegener montre qu'au Carbonifère les continents actuels n'en formaient qu'un. Or cela ne remet pas en cause la théorie fixiste qui affirme au fond la même chose (les continents actuels n'ont jamais changé de place, autrefois reliés par des ponts aujourd'hui effondrés). Il ne valide pas son hypothèse de la dérive des continents. Pour expliquer les phénomènes de Wegener, on peut aussi invoquer des scénari catastrophistes sans remettre en cause le fixisme : le déluge, par exemple, aurait pu provoquer l'effondrement du plancher de l'océan Atlantique.

« Si nous croyons l'hypothèse de Wegener, nous devons oublier tout ce que nous avons appris dans les 70 dernières années et retourner sur les bancs de l'école. » R. T. Chamberlin, 1928

Wegener ne réussit ainsi donc pas à faire reconnaître son point de vue faute d'un moteur horizontal suffisant. Ses arguments comme ceux de ses successeurs, ne reposent que sur l'observation des continents : les fonds océaniques,  $\frac{2}{3}$  de la surface terrestre, restant largement inexplorés. Sa théorie est réfutée avec retour du modèle fixiste. Les années 30-40-50 sont caractérisées par des progrès en sismologie qui attestent d'une solidité de la Terre en profondeur, ce qui met à mal les tentatives d'explications des forces à l'origine de la dérive continentale. Les fonds océaniques, qui représentent les  $\frac{2}{3}$  tiers de la surface terrestre, étaient largement inexplorés dans les années 1910. Les travaux de Wegener ont eu assez peu de succès auprès de la communauté géologique et géophysique en partie parce que pour chaque argument séparé, on pouvait prétendre à la coïncidence ou trouver d'autres explications, surtout parce que les mécanismes que Wegener invoquait comme moteurs de la dérive ne tenaient pas la route. Il y a une reconstruction par Boris Choubert du supercontinent Amérique-Groenland-Europe-Afrique en 1935

avant le Trias beaucoup plus précise que les propositions antérieures de Wegener et de du Toit, se basant sur l'isobathe 1000 m, bien plus représentative de la bordure des blocs continentaux. L'excellence de l'ajustement est une preuve plus convaincante encore de la dérive des continents, osant pour la 1ère fois l'idée que la péninsule Ibérique a subi une rotation par rapport au reste de l'Europe. Il balaie aussi le problème de la dorsale médio-atlantique en expliquant qu'elle s'est formée postérieurement à l'ouverture de l'océan Atlantique. En reconstituant les chaînes paléozoïques de part et d'autre de l'Atlantique (chaîne calédonienne, chaîne hercynienne et Appalaches), il montre qu'elles se sont formées par la compression des sédiments accumulés entre 3 cratons précambriens (bouclier canadien et scandinave au Nord, Gondwana au Sud). Son travail est resté quasi inconnu, sans doute parce qu'il a été publié en français dans une revue francophone de faible rayonnement international, et que son titre n'annonçait pas la reconstitution paléogéographique ni la généralisation du concept de dérive des continents

Bullard fait aussi une reconstitution avec ses collaborateurs du supercontinent Amérique-Groenland-Europe-Afrique en 1965. La théorie de Wegener garde cependant des partisans. Choubert confirme les travaux de du Toit et devient partisan de la dérive des continents, publiant en 1935 une reconstitution des positions mutuelles de l'Amérique, de l'Afrique et de l'Europe.

Au cours des années 1930-1960, la théorie de Wegener gagne progressivement en crédibilité en parallèle de son rejet, grâce à la suggestion de possibles mouvements de convection dans le manteau terrestre en 1929, l'accumulation de données sismiques (découverte de la LVZ en 1959) et magnétiques (preuve des déplacements relatifs des continents en 1960), et surtout la découverte de l'expansion des fonds océaniques en 1963.

### **III / UNE REHABILITATION DE WEGENER : REDECOUVERTE DU MOBILISME HORIZONTAL .. PAR LES OCEANS ! (1945-ANNEES 1960)**

Arthur Holmes (Anglais) et Du Toit (Sud- Africain) notamment ont donc continué d'accorder du crédit à sa théorie et la développent. et **la situation évolue au lendemain de la 2è GM grâce au développement de l'océanographie et des techniques de reconnaissance sous-marine (échosondeur, écoute sismique, détection magnétique) et la découverte progressive des fonds marins va permettre un retour aux idées mobilistes de s'implanter.**

#### **A/ des constats océaniques nouveaux**

Entre les 2 guerres, les géologues admettent des mouvements de compression latérale des terrains qui les plissent, les soulèvent et créent des chaînes de montagne plissées, refusant la théorie de la dérive des continents en soutenant l'existence des ponts continentaux formant les océans qui se sont formés par effondrement de pans entiers d'un méga-continent originel. Pour des raisons obscures, les géologues et géomorphologues soviétiques ont minimisé jusqu'à la fin des années 1960 l'existence de



mouvements latéraux (ou tangentiels) des continents, et Tricart, qui s'en inspirait déclare en 1968 : « malgré quelques partisans attachés, on s'accorde aujourd'hui à récuser la théorie de la dérive continentale de Wegener... ». Penck en 1924 propose un modèle de la formation de surfaces d'aplanissement étagées dans un bloc en soulèvement constant, sans les longues phases de stabilité supposées par Davis. Après la 2<sup>e</sup> GM en 1945, les géologues accumulent les preuves de mouvements tectoniques verticaux et latéraux, pendant l'ère Quaternaire et même jusqu'à l'Holocène : moraines, terrasses alluviales faillées ou chevauchées. On accepte peu à peu l'idée d'une évolution des climats et des formations végétales, avec des oscillations sans retour à l'état antérieur ou à une stabilité hypothétique.

### 1/ la bathymétrie des fonds océaniques

Les relevés mettent en évidence :

- des **rides ou dorsales océaniques**, dans tous les océans, de sommet -2000 à - 2500 m sous la surface de la mer
- des **plaines abyssales** de -4000 à - 5000 m de profondeur
- des **marges continentales** (= plateau continental ou talus), zone de transition entre océan et continent
- des **fosses océaniques profondes** ( de -6000 à -11022 m)
- **des dorsales en chaque océan** : découverte majeure : elles forment une chaîne de 60 000 km de longueur sur 1 à 2 km de largeur. A l'axe de certaines (Atlantique par exemple), un fossé bien net occupe toute la longueur et une activité sismique importante s'y observe.

### 2/ la croûte océanique et les sédiments sous-marins

Les progrès techniques comme la sismique réflexion mettent en évidence **des dépôts de sédiments sur les fonds océaniques** : très peu épais à l'axe de la dorsale avec épaissement progressif en s'en éloignant de part et d'autre (essentiellement des argiles et coquilles d'organismes planctoniques). L'épaisseur maximale est plus faible qu'attendue si on suppose une accumulation depuis le début de l'histoire terrestre selon la théorie fixiste

Des forages profonds montrent que les fonds océaniques sous la tère couche de sédiments à son contact sont tous basaltiques.

### 3/ le flux de chaleur à l'axe des dorsales

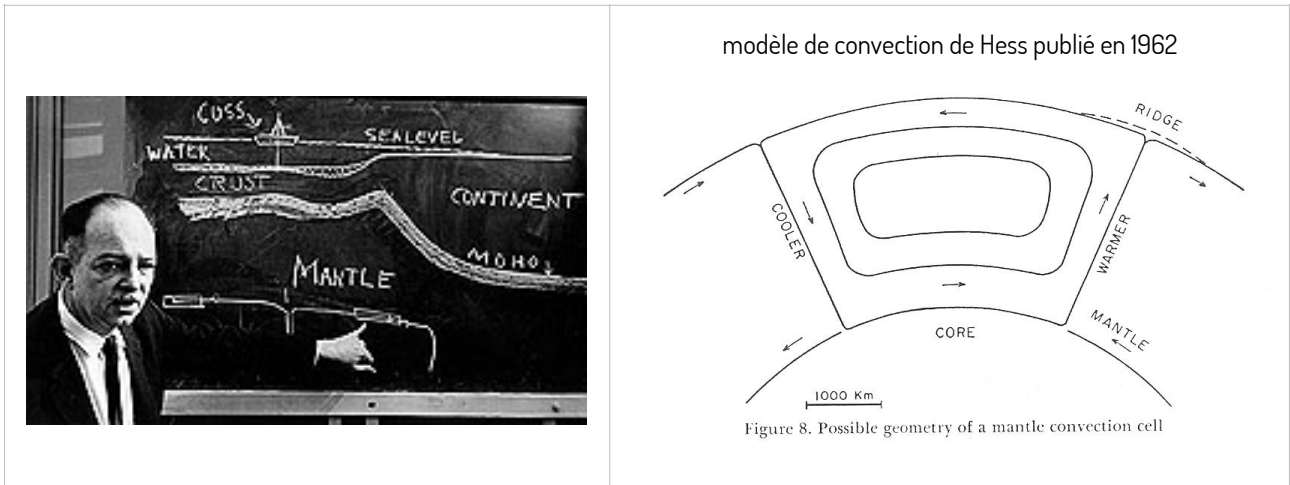
Dans un système thermodynamique, la chaleur s'écoule des parties chaudes vers les froides (cf casserole chauffée par le bas) : dans la croûte terrestre, la température augmentant avec la profondeur, un flux de chaleur diffuse depuis l'intérieur vers la surface (flux = gradient géothermique ( augmentation de la température par km : 30°C.km<sup>-1</sup> près de la surface) x conductivité thermique des roches en ce point (mesurée en laboratoire)) : sa valeur moyenne sur Terre est de 60 mW.m<sup>-2</sup>. et on a une forte **anomalie très positive jusqu'à 300 mW.m<sup>-2</sup> donc jusqu'à 5 fois plus élevé au niveau des dorsales** .

## B/ le « sea-floor spreading de Hess » (1962)

**Harry Hammond Hess** , en 1960 (son article ne paraît qu'en 1962 dans son ouvrage « Essai en Géopoésie »), propose une théorie; celle de la « théorie de l'expansion des fonds océaniques » (« Sea-Floor Spreading Theory » terme de 1961 de Robert Dietz) regroupant en une unique hypothèse de nombreux faits sur la base du modèle de **Arthur Holmes** présenté 30 ans auparavant, affirmant que le manteau est affecté de larges mouvements de convection et que les dorsales mettent en évidence les courants ascendants et les fosses océaniques les courants descendants. La croûte océanique est continuellement créée au niveau des dorsales, entraînée à la surface par des cellules de convection, s'éloignant de part et d'autre des dorsales et finissant par atteindre les fosses où elle disparaît dans le manteau. La croûte océanique est donc continuellement recyclée, ce qui explique son jeune âge et la faible épaisseur des sédiments qu'elle porte. Les continents, relativement légers ne peuvent eux pas retourner dans le manteau, condamnés à dériver à la surface de la Terre, « mémoires insubmersibles » du globe, se déplaçant passivement transportés sur une sorte de tapis roulant. Voici les principes de la théorie de Hess (1962) :

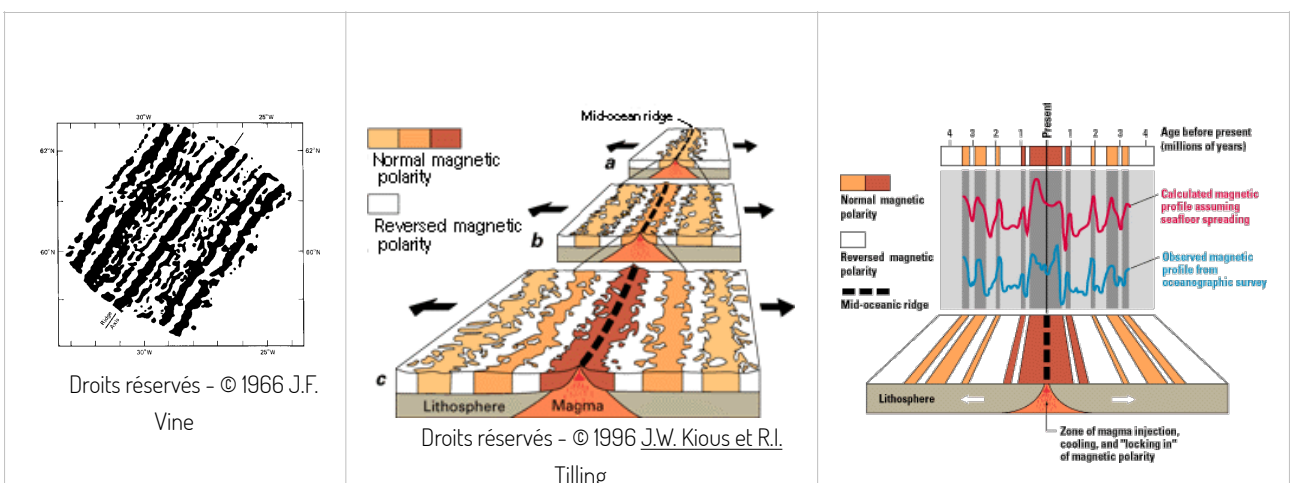
- 1/ l'axe d'une dorsale océanique est alimentée par des matériaux en fusion issus du manteau
- 2/ en se refroidissant, ces matériaux forment une néocroûte océanique en continu s'éloignant de part et d'autre de cet axe
- 3/ la surface des océans augmente, entraînant une expansion des fonds océaniques
- 4/ le manteau terrestre est affecté de larges mouvements de convection et les dorsales mettent en évidence les courants ascendants et les fosses océaniques les courants descendants de ces cellules
- 5/ l'existence d'un supercontinent initial, la Pangée de la théorie de la dérive des continents de Wegener est conservée, sa fragmentation étant liée à l'apparition des dorsales dont l'activité engendre les fonds océaniques (naissance, élargissement d'un océan) et par suite, la dérive continentale
- 6/ puisque la Terre ne semble augmenter de volume, pour compenser cette création de croûte océanique au niveau des dorsales, une quantité équivalente doit disparaître au niveau des fosses : elle est ensuite entraînée à la surface des cellules de convection, s'éloigne de part et d'autre des dorsales et finit par atteindre les fosses où elle disparaît dans le manteau. La croûte océanique est donc continuellement recyclée et c'est ce qui explique son jeune âge et la faible épaisseur des sédiments qu'elle porte. Les continents, au contraire, à cause de leur relative légèreté, ne peuvent pas retourner dans le manteau. Ils sont condamnés à dériver à la surface de la Terre, ce sont les « mémoires insubmersibles » du globe. Hess précise que les continents se déplacent non en fendant les fonds océaniques comme le supposait Wegener, mais en étant passivement transportés sur une sorte de tapis roulant => l'expansion des fonds éloigne les continents s'il n'y a pas de fosse à la limite

continent / océan, il y aurait donc bien une dérive de ceux-ci, comme le pensait Wegener, conséquence de cette expansion océanique et non à un déplacement autonome des continents. Mais cette hypothèse qualifiée par Hess lui-même de "géopoésie", reçoit un statut plus rigoureux grâce aux études géomagnétiques.



### C/ Morley, Vine et Matthews (1963) et suite des années 60 : le magnétisme au secours de l'expansion océanique de Hess (dépassé le cadre temporel du sujet)

L'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques se consolide l'année suivante grâce aux études géomagnétiques. Le champ magnétique terrestre correspond en gros à celui qui créerait un énorme aimant dipolaire au centre de la Terre. Les mesures magnétiques réalisées au cours des explorations marines montrent cependant des déviations significatives, appelées anomalies magnétiques, par rapport à ce champ. On les attribue à l'aimantation des roches du fond marin. On sait depuis Melloni (1853) et Bruhnes (1906) que chaque roche volcanique possède sa propre aimantation acquise lors du refroidissement de la lave qui enregistre le champ magnétique terrestre de l'époque. Or ces déviations du champ magnétique océanique dessinent des bandes d'anomalies positives symbolisées en noir alternant avec des négatives en blanc, alignements parallèles aux dorsales symétriquement de part et d'autre de l'axe. L'explication de ce phénomène est donnée indépendamment par Lawrence Morley d'une part et Fred Vine et Drummond Matthews en 1963. Depuis les travaux de Bruhnes en 1906, on sait que le champ magnétique terrestre possède une orientation qui s'inverse au cours des âges, l'orientation actuelle définissant une orientation dite « normale ». Morley, Vine et Matthews intègrent donc l'existence de ces bandes d'anomalies magnétiques nouvellement découvertes, et les inversions du champ magnétique terrestre global découvertes 60 ans auparavant mais demeurées très « confidentielles » dans le milieu géologique. Ils proposent que la croûte océanique créée au niveau des dorsales acquiert une aimantation propre en se refroidissant et s'écarte ensuite symétriquement de part et d'autre des dorsales lorsque du néo-matériau, s'aimantant à son tour est injecté au centre. Si cela survient avec un champ magnétique à orientation normale, l'anomalie est positive (l'aimantation fossile des roches s'ajoute au champ actuel). Si, au contraire, l'aimantation survient avec un champ à orientation inverse, l'anomalie induite est négative (l'aimantation fossile se retranche au champ ambiant). Les linéations sont donc la combinaison de la divergence de la croûte océanique et des inversions du champ magnétique. Les indices de la dérive ne sont donc plus uniquement continentaux mais également océaniques. Le modèle de Vine & Matthews explique la formation des océans et identifie le moteur de la mobilité des continents : la convection mantellique, remontée d'un matériel plus chaud qui se refroidit en surface et redescend par refroidissement, ayant gagné en densité.



Cette théorie ne convainc pas immédiatement mais Vine et Wilson montrent en 1966 que l'explication de Morley, Vine et Matthews n'est pas seulement qualitative mais quantitative. On peut la relier à l'échelle chronologique des inversions du champ magnétique terrestre, qui vient d'être établie. En associant chaque ligne magnétique aux inversions et en supposant que le taux d'ouverture de chaque océan est constant, Vine et Wilson vérifient que la largeur de chaque ligne est bien proportionnelle à la durée entre les 2 inversions. L'association des linéations aux inversions permettent de dater la croûte océanique. C'est confirmé en 1968 par les forages dans le sol marin montrant grâce aux microfossiles que les sédiments au contact de la croûte dont l'âge est supposé à peine postérieur à celui de la croûte sont d'autant plus vieux qu'ils sont plus éloignés des dorsales. Vine et Wilson notent aussi qu'avec la distance entre 2 bandes symétriques par rapport à la dorsale, on peut calculer le taux d'ouverture (vitesse d'expansion océanique). Ces lignes magnétiques ont des discontinuités, décalages horizontaux de plusieurs centaines de km au niveau de fractures. Wilson remarque en 1965 que ces décalages se retrouvent pour l'axe de la dorsale et les interprète en introduisant le

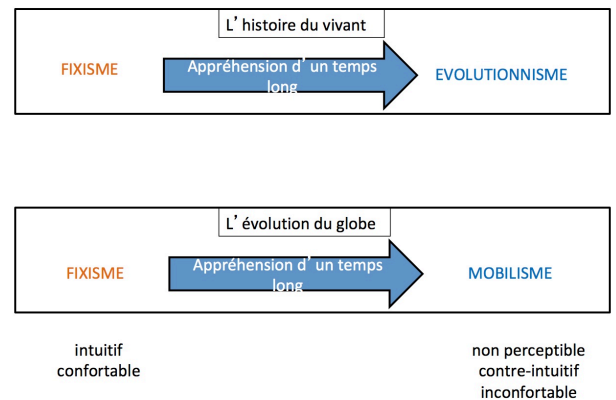
concept de faille transformante reliant des segments de dorsales ou de fosses entre eux, ou même de joindre une dorsale à une fosse avec toujours une partie active entre les segments de dorsales ou de fosses, où les 2 morceaux de croûte de part et d'autre de la faille se déplacent en sens opposé et une partie passive où les 2 morceaux de croûte se déplacent dans le même sens mais en présentant un décalage horizontal. La sismologie amène une preuve éclatante de ce concept de faille transformante mais aussi de l'ouverture des océans. L'analyse des ondes émises par un tremblement de terre permet en effet de déterminer si celui-ci provient d'un mécanisme d'étirement (faille normale), de fermeture (faille inverse) ou de glissement (décrochement). Lynn Sykes montre en 1966 que les séismes sur les parties actives des failles transformantes correspondent bien à des cisaillements et ceux sur les dorsales traduisent bien un phénomène d'ouverture. Ces différentes contributions provoquent la conversion massive, au cours de l'année 1966, des géophysiciens à l'hypothèse du « sea-floor spreading » et permettent de déboucher sur l'énonciation de la théorie de la tectonique des plaques. Ainsi, la réhabilitation de la mobilité horizontale par l'étude des anomalies magnétiques (Vine & Matthews, 1963) confirme la théorie de l'expansion des fonds océaniques de Hess puis de nouvelles recherches permettent d'élaborer la théorie/modèle de la tectonique des plaques ou tectonique globale élaborée à la fin des années 60.

## Conclusion / Bilan de la synthèse

Ainsi, la controverse participe à l' 'Histoire des Idées et à leur évolution. La théorie de la tectonique des plaques actuellement en vigueur naît de cette controverse. Une observation n'a de sens que si elle s'intègre dans un modèle conceptuel. À l'exception des fosses, où les tremblements de terre existent jusqu'à -700 km, les séismes sont également restreints à la partie superficielle (< - 100 km). Ceci confirme une hypothèse du XX<sup>ème</sup> siècle : la partie superficielle de la Terre est rigide : c'est la lithosphère sur une asthénosphère ductile dont elle se distingue par une différence de comportement due à une différence de propriété. Les séismes plus profonds sous les fosses ne peuvent se comprendre que par l'existence d'un matériau rigide enfoncé dans le manteau : Wadati, en 1935, avait déjà remarqué que leurs hypocentres avaient une répartition géométrique suivant un plan incliné comme Benioff en 1949 et 1955.

En 1967, Jack Oliver et Bryan Isacks interprètent ces plans comme de la lithosphère océanique plongeante, disparaissant dans cette asthénosphère et la même année, Jason Morgan synthétise ces approches et développe la 1ère hypothèse « plaquiste » (la lithosphère est découpée en « blocs » rigides, se déplaçant les uns par rapport aux autres sur l'asthénosphère) or ils sont sur une sphère (la Terre), donc leur mouvement unitaire est une simple rotation entre position initiale et finale définie par un axe passant par le centre de la Terre (axe eulérien de rotation) et une vitesse angulaire, les failles transformantes correspondant à des petits cercles centrés sur l'axe eulérien, permettant d'en déterminer la position. L'hypothèse de la dérive des continents suggérée dès 1596 est donc développée et popularisée mais mal défendue, par Alfred Wegener en 1912. Après la découverte des anomalies magnétiques du fond des océans dans les années 1960, la dérive des continents est devenue une réalité attestée par des observations directes et indirectes, dans le cadre plus général de la théorie de la tectonique des plaques.

Un parallèle intéressant:



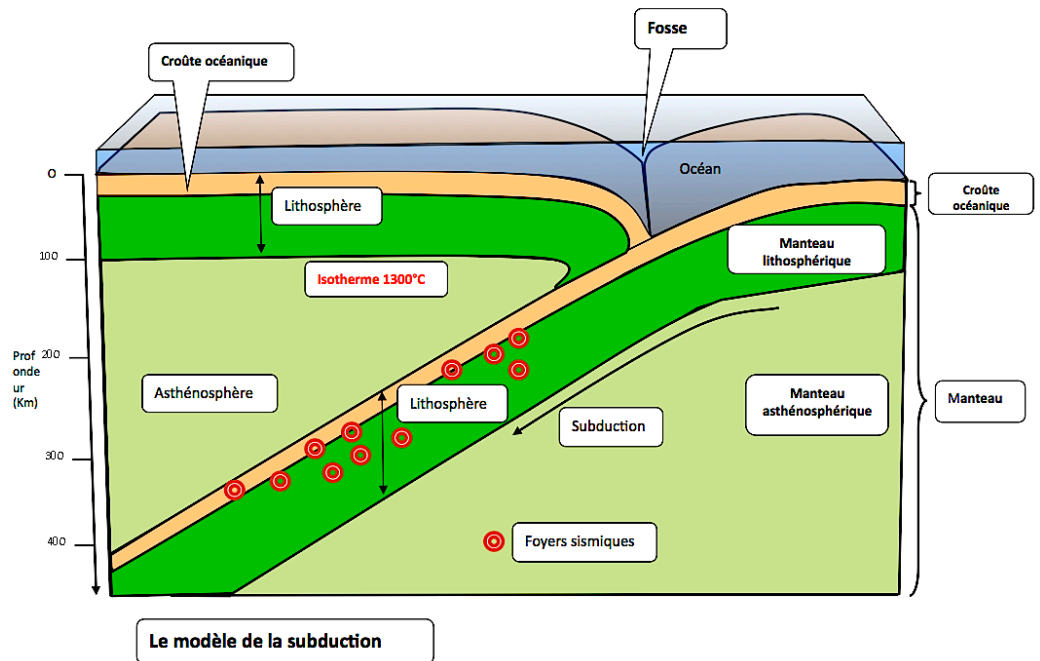
## EXERCICE 2 : QUESTION BAC DE TYPE 2.1 : PRS :

{ 4 POINTS / 35 MIN }

- 1/ les fosses océaniques sont des zones sismiquement actives et la profondeur des foyers des séismes le long de ces fosses s'établit selon un plan incliné.
- 2/ la subduction est le phénomène de plongement d'une lithosphère (99% des cas : océanique) plus dense que l'asthénosphère ductile sur laquelle elle repose sous une autre. Le plus souvent, une lithosphère océanique sous une continentale, mais aussi une océanique sous une océanique et beaucoup plus rarement une continentale sous une continentale !
- 3/ Ni la croûte, ni le manteau supérieur ne sont continus de part et d'autre de la faille qui est en réalité le plan de plongement de la lithosphère subduite sous une autre dans l'asthénosphère

schéma d'interprétation attendu

**NB :** les séismes peuvent être superficiels, intermédiaires (200 à - 400 km) puis profonds au-delà de 500 km jusqu'à 700 : ils sont crustaux ou mantellique dans la plaque subduite et peuvent être également dans la lithosphère chevauchante



4/ en 1949, l'hypothèse de l'expansion océanique n'est pas proposée : la vision du fonctionnement de notre planète est encore très fixiste et les notions d lithosphère et asthénosphère ne sont pas encore bien caractérisées. la théorie de la tectonique de plaque apparaît ans les années 60 20 ans après avec en 1962 le modèle du sea-floor spreading de Hess (expansion océanique), ensuite corrélé à la subduction à distance.

### EXERCICE 3 : PRS : PRATIQUE DU RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE : HISTOIRE DE LA THÉORIE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES { 6 POINTS / 1H 15 MIN }

PS : on peut aussi envisager un plan chronologique.

Sont clef ici l'appui sur les points chauds, les directions du Nord, l'expansion océanique depuis le Jurassique avec l'ouverture de l'océan Indien, l'interprétation des anomalies d'orientation des coulées de calotte centrée au pôle Sud il y a - 250 Ma au Permien et de reconstituer par un raisonnement rigoureux à partir des indices l'histoire du déplacement de l'Inde sur sa plaque, en particulier depuis le tertiaire et son accolement depuis 40 Ma à la plaque eurasiennne suite à son déplacement du Sud-Est au Nord-Ouest avec formation de l'Himalaya par collision au niveau du Tibet depuis.



Critères	Indicateur (éléments de correction)	Acquis	En cours
<b>Problématique : posée, respectée et comprise</b>	La problématique envisage de rechercher des arguments prouvant le déplacement de l'Inde vers l'Asie au cours du Secondaire. Elle est présente au début du texte.		
<b>Mise en œuvre d'une démarche scientifique : cohérente et apparente</b>	- Chaque affirmation est étayée par des éléments scientifiques, justes, tirés des documents ou des connaissances. - Ces éléments sont organisés de manière à pouvoir suivre le déroulement de la démonstration.		
<b>Éléments scientifiques : complets en accord avec le sujet</b>	- Exactes et suffisantes pour répondre à la problématique.		
<b>Expression écrite : Qualité du texte, de la rédaction, de la schématisation</b>	- Ecriture lisible, présentation propre et soignée - Le texte est compréhensible - Utilisation pertinente des connecteurs logiques - Schémas, clairs, légendés et titrés.		

### Proposition de correction

<p><b>éléments scientifiques issus des documents</b></p> <p><i>(complets, pertinents, utilisés à bon escient en accord avec le sujet...)</i></p>	<p><b>Doc 1 :</b> L'Inde possède des traces de glaciation datant de 250 Ma. Le sens d'écoulement de la glace n'est pas cohérent avec celui que l'on observe habituellement : il est orienté de l'extérieur vers l'intérieur du continent alors que cela devrait être l'inverse.</p> <p><b>Doc 2 :</b> la direction du champ magnétique fossile mesuré dans des roches magmatiques situées en Inde et en Asie est actuellement identique, mais elle est différente en remontant dans le passé jusqu'à 200 Ma.</p> <p><b>Doc 3 :</b> Il donne l'âge des différents édifices volcaniques formés par le point chaud situé sous l'île de la Réunion. L'âge le plus ancien correspond aux trapps du Deccan situés en Inde (65Ma) puis il est décroissant jusqu'à l'île de la Réunion (activité actuelle).</p> <p><b>Doc 4 :</b> Il donne l'âge des basaltes de la croûte océanique de l'océan Indien. On observe une symétrie des âges de part et d'autres de l'axe de la dorsale de Carlsberg. La côte Indienne est bordée par des basaltes du Crétacé supérieur (entre 100 et 65 Ma), tout comme l'ouest de l'île de la Réunion.</p>
<p><b>Éléments scientifiques issus des connaissances acquises</b></p>	<p>- Le document 1 présente les résultats d'observation d'Alfred Wegener, météorologue autrichien du début du XX<sup>ème</sup> siècle. La position actuelle de l'Inde, au niveau de l'équateur, semble peu probable à l'existence d'un tel climat. L'Inde devait donc se trouver près d'un pôle, le pôle sud.</p> <p>- Doc 2 : le champ magnétique terrestre ne possède qu'une seule direction pour une période donnée. Le champ magnétique est créé par des mouvements de convection du fer liquide dans le noyau externe. Il est enregistré dans les roches magmatiques car ces dernières possèdent de la magnétite, un minéral qui s'oriente selon le champ magnétique qui règne lors de sa formation à partir du refroidissement d'un magma (passage du point de Curie). Ensuite, ce champ magnétique est fossilisé dans les roches, on parle de magnétisme rémanent.</p> <p>- Un point chaud est une zone hypothétique de remontée de matériel chaud depuis la limite entre le noyau et le manteau (zone D"). Arrivé près de la surface, ce matériel chaud et léger formé de péridotites fond partiellement permettant ainsi la formation de magma. Ce magma remonte en surface et crée des éruptions volcaniques. Le point chaud a une durée de vie très longue et est considéré comme fixe.</p> <p>- la croûte océanique, comme le reste de la lithosphère, est formée en continu au niveau de l'axe de la dorsale. Cette formation entraîne un déplacement horizontal de la lithosphère selon un mouvement divergent à partir de l'axe de la dorsale (schéma simple à faire). Les basaltes âgés de 65 Ma situés en Inde et à la Réunion ont donc été formés au même</p>



	endroit, au niveau de l'axe de la dorsale. Si on « referme » complètement l'océan Indien en enlevant toute la lithosphère formée depuis le Crétacé inférieur (100 à 140 Ma), l'Inde se retrouve à côté de la côte africaine, au niveau de Madagascar.
<p><b>Éléments de démarche</b></p> <p><i>L'élève présente la démarche qu'il a choisie pour répondre à la problématique, dans un texte soigné (orthographe, syntaxe), cohérent (structuré par des connecteurs logiques), et mettant clairement en évidence les relations entre les divers arguments utilisés.</i></p>	<p>L'étude des traces de glaciations anciennes montre que l'Inde était située près du pôle Sud il y a 250 Ma (doc 1).</p> <p>Ensuite, l'analyse du paléomagnétisme des roches magmatiques indiennes et asiatiques (doc 2) montre une direction du champ magnétique fossile différent, cela veut donc dire qu'elles n'étaient autrefois pas positionnées, côte à côte, à l'endroit actuel.</p> <p>L'étude de l'âge des basaltes (docs 3 et 4) de l'Inde et de l'océan Indien formés soit par l'activité d'un point chaud, soit par celle de la dorsale, apporte des précisions sur le déplacement de l'Inde. Elle était bien située dans l'hémisphère Sud il y a environ 100 Ma, près de l'Afrique.</p> <p>Les basaltes âgés de 65 Ma situés en Inde et à la Réunion résultent de l'activité du même point chaud, fixe. L'Inde se situait donc à la place de l'île de la Réunion il y a 65 Ma.</p> <p>Si on « referme » complètement l'océan Indien en enlevant toute la lithosphère océanique formée depuis le Crétacé inférieur (100 à 140 Ma), l'Inde se retrouve à côté de la côte africaine, au niveau de Madagascar.</p> <p>Entre 100 Ma et aujourd'hui, elle s'est donc déplacée vers le Nord pour entrer en collision avec l'Asie et former l'Himalaya.</p> <p>En fait, c'est une plaque tectonique, la plaque indienne, qui s'est déplacée et pas seulement un continent comme le pensait Wegener il y a un siècle.</p>

### Proposition de corrigé du devoir de SVT sur l'histoire de la tectonique des plaques

#### *Introduction*

L'Inde est actuellement située sur le continent asiatique, séparée par la chaîne Himalayenne. De nombreux arguments géologiques montrent qu'elle n'a pas toujours occupé cette position. Quels sont les arguments qui le prouvent ? Tout d'abord, nous verrons les arguments climatologiques développés par Alfred Wegener au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Ensuite nous aborderons les arguments du paléomagnétisme puis enfin nous terminerons avec les arguments pétrologiques à travers l'étude des roches magmatiques.

#### *A) Les arguments climatologiques*

Le document 1 présente les résultats d'observation d'Alfred Wegener, météorologue autrichien du début du XX<sup>ème</sup> siècle. On peut voir que l'Inde possède des traces de glaciation datant de 250 Ma. Or sa position actuelle au niveau de l'équateur, semble peu probable à l'existence d'un tel climat. L'Inde devait donc se trouver près d'un pôle, le pôle Sud.

De plus, le sens d'écoulement de la glace n'est pas cohérent avec celui que l'on observe habituellement : il est orienté de l'extérieur vers l'intérieur du continent alors que cela devrait être l'inverse.

En conclusion, on peut donc dire que l'étude des traces de glaciation a montré que l'Inde devait se situer près du pôle Sud il y a 250 Ma, elle s'est donc déplacée vers le Nord depuis cette époque.

Quelles preuves supplémentaires apporte l'étude du paléomagnétisme enregistré dans les roches magmatiques ?

#### *B) Les arguments du paléomagnétisme*

Le document 2 compare la direction du champ magnétique fossile mesuré dans des roches magmatiques situées en Inde et en Asie. On voit que ces directions sont identiques à l'heure actuelle mais qu'elles sont différentes en remontant dans le passé jusqu'à 200 Ma. Or le champ magnétique terrestre ne possède qu'une seule direction pour une période donnée. Le champ magnétique est créé par des mouvements de convection du fer liquide dans le noyau externe. Il est enregistré dans les roches magmatiques car ces dernières possèdent de la magnétite, un minéral qui s'oriente selon le champ magnétique qui règne lors de sa formation à partir du refroidissement d'un magma (passage du point de Curie). Ensuite, ce champ magnétique est fossilisé dans les roches, on parle de magnétisme rémanent. Si

les roches de l'Inde et de l'Asie ne possèdent pas le même magnétisme rémanent, cela veut donc dire qu'elles n'étaient pas positionnées au même endroit par le passé.

En résumé, l'étude du paléomagnétisme montre que l'Inde s'est déplacée par rapport à l'Asie depuis 200 Ma.

En quoi l'étude de l'âge des roches magmatiques apporte-t-elle des précisions sur le déplacement de l'Inde ?

#### *C) Les arguments pétrologiques*

Les documents 3 et 4 présentent les résultats de l'étude de l'âge des roches magmatiques, plus précisément des basaltes, situées en Inde ou ailleurs dans l'océan Indien jusqu'à 140 Ma.

Le document 3 donne l'âge des différents édifices volcaniques formés par le point chaud situé sous l'île de la Réunion. Un point chaud est une zone de remontée de matériel chaud depuis la limite entre le noyau et le manteau (zone D"). Arrivé près de la surface, ce matériel chaud et léger formé de péridotites fond partiellement permettant ainsi la formation de magma. Ce magma remonte en surface et crée des éruptions volcaniques. Le point chaud a une durée de vie très longue et est considéré comme fixe. L'Inde possède des trapps du Deccan, qui sont d'épaisses couches de basalte datées de 65 Ma. Or ces trapps ont été formés par l'activité du point chaud situé sous la Réunion. On peut donc en déduire que l'Inde était située à la place de la Réunion il y a 65 Ma, elle s'est donc déplacée vers le Nord.

Le document 4 donne l'âge des basaltes de la croûte océanique de l'océan Indien. On observe une symétrie des âges de part et d'autre de l'axe de la dorsale de Carlsberg. La côte Indienne est bordée par des basaltes du Crétacé supérieur (entre 100 et 65 Ma), tout comme l'ouest de l'île de la Réunion. Or nous savons que la croûte océanique, comme le reste de la lithosphère, est formée en continu au niveau de l'axe de la dorsale. Cette formation entraîne un déplacement horizontal de la lithosphère selon un mouvement divergent à partir de l'axe de la dorsale (schéma simple à faire). Les basaltes âgés de 65 Ma situés en Inde et à la Réunion ont donc été formés au même endroit, au niveau de l'axe de la dorsale. Si on « referme » complètement l'océan Indien en enlevant toute la lithosphère formée depuis le Crétacé inférieur (100 à 140 Ma), l'Inde se retrouve à côté de la côte africaine, au niveau de Madagascar.

En résumé, l'étude de l'âge des basaltes a montré que l'Inde était située au niveau de l'île de la Réunion il y a 65 Ma et qu'elle s'est déplacée depuis vers le Nord pour atteindre sa position actuelle.

#### *Conclusion*

L'étude des traces de glaciations anciennes montre que l'Inde était située près du pôle Sud il y a 250 Ma. Ensuite, l'analyse du paléomagnétisme des roches magmatiques indiennes prouve que l'Inde n'était pas située près de l'Asie dans le passé. L'étude de l'âge des basaltes de l'Inde et de l'océan Indien formés soit par l'activité d'un point chaud, soit par celle de la dorsale, apporte des précisions sur le déplacement de l'Inde. Elle était bien située dans l'hémisphère Sud il y a environ 100 Ma, près de l'Afrique. Entre 100 Ma et aujourd'hui, elle s'est donc déplacée vers le Nord pour entrer en collision avec l'Asie et former l'Himalaya. En fait, c'est une plaque tectonique, la plaque indienne, qui s'est déplacée et pas seulement un continent, comme le pensait Wegener il y a un siècle.