

## DU FIXISME AU MOBILISME HORIZONTAL : NAISSANCE D'UNE THEORIE (1910 aux années 60)

prérequis : quiz p 107 Nathan

**Objectif du thème 1B** : Il s'agit ensemble de retracer un exemple dans l'Histoire des Sciences d'une théorie progressivement élaborée au XX<sup>e</sup> S : celle de la **tectonique des plaques** qui s'est construite dans l'opposition à une théorie dominante depuis toujours, le **fixisme**, en s'appuyant sur de nombreux arguments depuis la dérive des continents.

Qu'est-ce qu'une théorie scientifique pour vous ? Nous démontrerons ensuite après définition commune que la tectonique des plaques en est une et comment elle est née et s'est consolidée

Commençons au commencement ....

**Gaston BACHELARD** : « l'histoire des sciences souligne que la marche des idées ne s'effectue pas de manière régulière et ininterrompue : ce n'est pas une simple accumulation de découvertes et d'inventions qui s'additionnent progressivement, mais une aventure faite de perpétuelles ruptures. »

### Comment est-on passé d'une conception fixiste à une conception mobiliste ?

#### 0 / LA THEORIE FIXISTE (ANTIQUITE À DÉBUT XX<sup>e</sup> S)

La théorie dite de la contraction du Globe repose sur l'idée que la Terre, initialement en fusion, ne cesse de se refroidir et que ce faisant, son intérieur se contracte, entraînant le plissement par rétractation de son écorce superficielle, telle la peau d'une pomme fripée en se desséchant : les continents et les fonds océaniques sont de même nature.

**Eduard Suess (« Sioussé ») : théorie de la contraction terrestre** : diminution du volume : contraction terrestre => mobilité verticale : creux et bosses = océans et continents

⇒ cf planche

#### I / LA THEORIE DE WEGENER : NAISSANCE DU MOBILISME : LA DERIVE DES CONTINENTS (1912)

AP # 15

**Constat de Wegener** : il part d'une dualité : les phénomènes de surface sont liés aux phénomènes profonds.

Météorologue allemand, Alfred Wegener s'interroge : « la 1<sup>ère</sup> 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.

#### **Interprétation de Wegener :**

**Hypothèse** : « 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 »

NB : Panthalassa (du grec ancien πᾶν / pân (« tout ») et θάλασσα / thálassa (« mer »), littéralement toutes les mers

dans le même ouvrage : « 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.»

il trouve une confirmation de l'existence de 2 couches de nature différente en étudiant 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.

**constat** : la courbe de fréquence de répartition des altitudes est bimodale car elle montre 2 maxima : l'un vers 300 m environ, l'autre à - 4800 m.

Wegener va collecter différents types d'arguments pour étayer, appuyer sa théorie.

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

## A / la distribution bimodale des altitudes (courbe hypsographique)

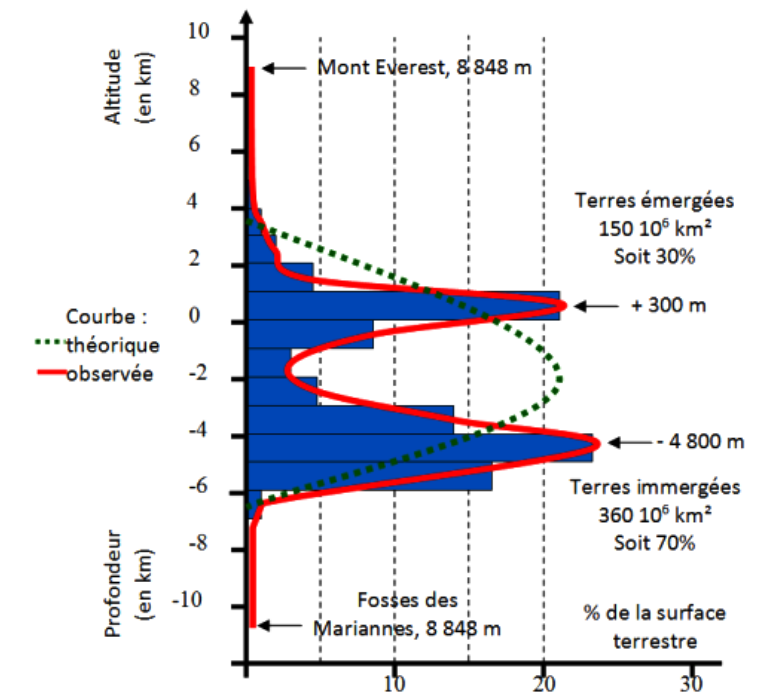
**interprétation** : la distribution bimodale des altitudes s'oppose à la théorie de la contraction thermique de la Terre (Eduard Suess) pour expliquer les reliefs.

Elle se traduirait par des affaissements et des soulèvements aléatoires de la croûte terrestre.

L'analyse statistique des reliefs devrait révéler une distribution des altitudes de nature « moyenne », gaussienne et unimodale (courbe verte pointillée).

Or non !

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 »



## B/ Des arguments géomorphologiques : les tracés des côtes et les correspondances des structures géologiques

### 1/ les contours des côtes

Les contours continentaux qui s'emboîtent comme les pièces d'un puzzle géant sur un planisphère suggèrent un déplacement horizontal depuis une fracture du puzzle complet

### 2/ les structures géologiques communes

1927 : Alexandre du Toit : idem pour les structures géologiques de part et d'autres des océans

**constat** : le lent soulèvement des boucliers scandinaves et canadien (1m.siècle<sup>-1</sup>), par suite de la fonte des calottes glaciaires qui le recouvraient il y a 20 000 ans, témoigne de l'existence de mouvements verticaux.

**interprétation** : Wegener conclut : « 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 »

## C/ Des arguments climatologiques

Wegener remarque que des dépôts glaciaires (tillites) tous âgés de - 300 Ma, étaient 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. 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 »

NB : tillite = till = 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

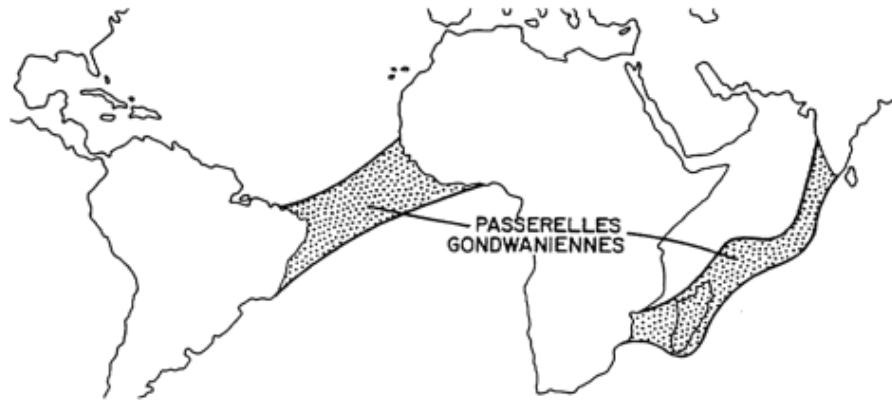
## D / Des arguments paléontologiques

**constat** : certaines espèces fossiles datées du Trias ( - 252 Ma à - 201 Ma) se retrouvent sur les 5 blocs continentaux précédents (animaux et végétaux).

**interprétation** : cela ne peut s'expliquer qu'avec un accollement 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



Les « ponts continentaux » imaginés par les paléontologistes avant WEGENER (d'après A. HALLAM)

AINSI, AU DÉBUT DES ANNÉES 10, LA THÉORIE DE LA DÉRIVE DES CONTINENTS DE WEGENER EST BIEN ACCEPTÉE.

WEGENER, EN 1912, ÉMET L'HYPOTHÈSE DE L'EXISTENCE, À LA FIN DE L'ÈRE PRIMAIRE (245 MA), D'UN SUPER-CONTINENT, LA PANGÉE, ENSUITE PROBABLEMENT FRACTURÉ POUR FORMER LES CONTINENTS ACTUELS.

CETTE HYPOTHÈSE, LA THÉORIE MOBILISTE DE LA DÉRIVE DES CONTINENTS, S'OPPOSE À CELLE FIXISTE EN VIGUEUR : ELLE REPOSE SUR L'OBSERVATION DE FAITS SCIENTIFIQUES AVÉRÉS, COMPILÉS DANS DIFFÉRENTS DOMAINES D'ÉTUDE SCIENTIFIQUE :

- 1/ LA DISTRIBUTION BIMODALE DES ALTITUDES (CONTINENTS/OCÉANS)
- 2/ DES ARGUMENTS GÉOMORPHOLOGIQUES : LES TRACÉS DES CÔTES ET LES CORRESPONDANCES DES STRUCTURES GÉOLOGIQUES
- 3/ DES ARGUMENTS CLIMATIQUES : LA DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES PALÉOCLIMATS
- 4/ DES ARGUMENTS PALÉONTOLOGIQUES : LA 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 DANS LES ANNÉES ULTÉRIEURES.

**Pourquoi cette théorie qui n'a pas de si mauvais écho est abandonnée pendant plus de 30 ans ensuite ?**

## II / LE REJET DU MOBILISME DE WEGENER (1930 - 1960)

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

Les géophysiciens étudient la structure interne du globe par l'intermédiaire des ondes sismiques (**AP # 15 Activité 2**) : ils en déduisent que **l'intérieur de la Terre est solide et qu'il n'y a pas de couche plastique ou fluide, en particulier au niveau des fonds océaniques** => la théorie de Wegener considérant le déplacement des continents sur un milieu plastique est infirmée.

**sismogramme** = enregistré avec un sismographe qui enregistre les mouvements du sol sur un support visuel

∃ 3 types d'ondes : P, S et L

**1909** : Andrija Mohorovicic, après un séisme au Sud de Zagreb, constate une succession de trains d'ondes P différentes enregistrées et reçues avec un décalage sur les sismogrammes obtenus dans les stations éloignées du séisme => il en déduit que certaines ondes ont suivi un trajet direct (ondes Pg) et d'autres sont passées dans 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 connues des ondes qui se propagent parallèlement à une surface de discontinuité lorsqu'elles arrivent avec un certain angle d'incidence limite lui permet de mettre en évidence une **discontinuité entre croûte et manteau à - 54 km de profondeur sous la Croatie** => nom donné : la discontinuité de Mohorovicic, en abrégé le Moho

Le paramètre qui influence la vitesse de propagation des ondes sismiques est la nature des roches : des variations de densité entraînent des variations de propagation des ondes sismiques :  $v \nearrow \rho d \nearrow$

on distingue 3 couches :

- N.O :  $v = 6,2 \text{ km.s}^{-1}$  granite : croûte continentale

- S.E :  $v = 6,7 \text{ à } 6,8 \text{ km.s}^{-1}$  : croûte océanique gabbro / basalte

- couche sous-jacente :  $v > 8 \text{ km.s}^{-1}$  : manteau péridotite

=> **l'étude pétrographique permet de caractériser 2 types de croûtes terrestres :**

- **une océanique essentiellement formée de basalte et gabbro**

- **une continentale essentiellement formée de granite et roches proches (granitoïdes)**

**Les croûtes reposent sur un manteau constitué de péridotites plus denses**

## B/ Des forces de dérive trop faibles

**point de vue de Wegener** : les continents solides se déplacent sur un manteau lui même solide. Cela suppose la mise en œuvre de **forces énormes**. Les 3 forces de dérive proposées par Wegener pour déplacer les continents en surface sont toutes extérieures aux continents : **rotation de la Terre, effet des marées et 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

**point de vue de Jeffreys** : ces forces sont insuffisantes pour vaincre la résistance de la Terre avec le déplacement de masses continentales solides sur un support lui même solide ou pour expliquer l'élévation des chaînes de montagne

⇒ **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

### 1/ des résultats de spécialistes opposés

L'originalité de la démarche de Wegener est de **mettre en relation des données générales de multiples disciplines**. Face à lui les scientifiques sont tous des spécialistes de leur discipline qui 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)

- **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**.

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) ?

### 2/ Wegener ne valide pas sa théorie

- Wegener montre qu'au Carbonifère les continents actuels n'en formaient qu'un seul. 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, il étaient autrefois reliés par des ponts aujourd'hui effondrés)

- Wegener ne valide pas son hypothèse de la dérive des continents. Pour expliquer les phénomènes qu'il décrit, on pourrait tout aussi bien invoquer des scénari catastrophistes qui, eux, ne remettent pas 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 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.

Il présente en janvier 1912 l'hypothèse de la dérive des continents mais malgré les arguments regroupés, faute d'un mécanisme explicatif satisfaisant, et parce que cela bousculait de nombreuses idées établies, il ne réussit pas à faire reconnaître son point de vue. Ses arguments, comme ceux de ses successeurs, reposaient, il est vrai, uniquement sur l'observation des continents : les fonds océaniques, qui représentaient les  $\frac{2}{3}$  de la surface terrestre et dont la connaissance est cruciale pour appréhender la Terre dans son ensemble, restaient largement inexplorés. **La situation évolue au lendemain de la 2<sup>e</sup> GM grâce au développement de l'océanographie et des techniques de reconnaissance sous-marine (échosondeur, écoute sismique, détection magnétique). C'est la découverte progressive des fonds marins qui va permettre un retour aux idées mobilistes de s'implanter.**

**Faute d'un mécanisme moteur explicatif convainquant de la dérive des continents, sa théorie fut réfutée et ce fut le 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 arguments de Wegener reposaient uniquement sur l'observation des continents car les fonds océaniques, qui représentent les  $\frac{2}{3}$  tiers de la surface terrestre, étaient largement inexplorés dans les années 1920.**

**remarque :** Arthur Holmes (Anglais) et Du Toit (Sud- Africain) continuent d'accorder du crédit à sa théorie et la développent. Holmes par exemple postule l'existence de mouvements ascendants mantelliques sous les continents provoquant leur dérive.

### III / L'EXPANSION OCEANIQUE : RETOUR AU MOBILISME HORIZONTAL (1945 À 1962)

#### A / De nouvelles données sur les océans (1945-1960)

##### 1/ la bathymétrie des fonds océaniques (AP # 16)

###### a/ relevés

ils 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)

###### b/ les dorsales en chaque océan

C'est la découverte majeure : les dorsales forment une chaîne de 60 000 km de longueur sur 1000 à 2000 m de largeur. A l'axe de certaines (Atlantique par exemple), un fossé bien net occupe toute la longueur.

Les observations révèlent une activité sismique importante au niveau de l'axe des dorsales.

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

Les progrès techniques (sismique réflexion) permettent de mettre en évidence certaines **caractéristiques 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)

**épaisseur max = plus faible qu'attendue si accumulation depuis le début de l'histoire terrestre : autrement dit en admettant la théorie fixiste**

forages profonds => les fonds océaniques (sous les sédiments existants) sont exclusivement basaltiques.

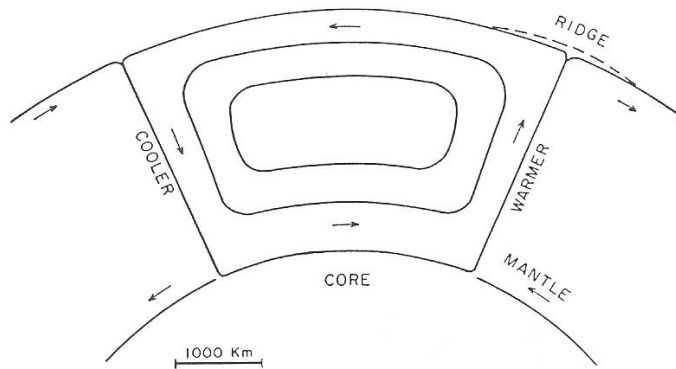
##### 3/ le flux de chaleur à l'axe des dorsales

Dans un système thermodynamique, la chaleur s'écoule des parties chaudes vers les froides (cf casserole chauffée par le bas) : dans la croûte terrestre, comme la température augmente avec la profondeur, un flux de chaleur diffuse de l'intérieur vers la surface.

En un point du globe, le flux de chaleur est le produit du gradient géothermique ( augmentation de la température par km :  $30^{\circ}\text{C.km}^{-1}$  près de la surface) x conductivité thermique des roches en ce point (mesurée en laboratoire) : sa valeur moyenne sur Terre est de  $60 \text{ mW.m}^{-2}$

=> **au niveau des dorsales : anomalie de flux thermique très positive : le flux est nettement plus élevé que la moyenne terrestre (anomalie positive relevée jusqu'à  $300 \text{ mW.m}^{-2}$ )**

## B / L'interprétation des nouvelles données : la théorie de l'expansion océanique de Hess (1962)



**Harry Hess : 1960, publiée en 1962** : théorie

nouvelle dans son ouvrage « Essai en Géopoésie », théorie rapidement baptisée « théorie de l'expansion des fonds océaniques », qui prend le nom en anglais « Sea-Floor Spreading Theory » en 1961 par Robert Dietz. Elle tente de regrouper un ensemble de découvertes en une unique hypothèse avec une grande analogie avec le modèle de **Arthur Holmes** présenté 30 ans auparavant.

Elle repose sur les idées suivantes :

- 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.

L'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques, qualifiée par Hess lui-même de "géopoésie", reçoit un statut plus rigoureux grâce aux études géomagnétiques.

animation : <http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=geo-0014-1>

## IV / LES ANOMALIES MAGNETIQUES APPUIENT LA THEORIE DE L'EXPANSION OCEANIQUE (ANNEES 60)

### A / Notion d'anomalie magnétique

Les roches magmatiques et volcaniques, notamment les basaltes, enregistrent le champ magnétique contemporain de leur refroidissement grâce à leurs minéraux ferro ou ferrimagnétiques tels que  $Fe_2O_3$  ou la magnétite  $Fe_3O_4$  qui gardent en mémoire l'orientation du champ magnétique au moment de leur formation, en-dessous d'un point appelé **point de Curie  $T_c$  (1895) = 600°C environ**

$T > T_c$  : le matériau est dans un état désordonné dit paramagnétique (à aimantation dipolaire)

$T < T_c$  : enregistrement du champ magnétique (le Nord magnétique vers lequel s'orientent ces minéraux, il n'a plus, et c'est réversible, d'aimantation : elle est rémanente)

**1906 : Brunhes** : le champ magnétique des coulées volcaniques du Massif Central s'inversent parfois, le dipôle N/S devient S/N et les basaltes les enregistrent.

**constats** : l'intensité du champ magnétique en un lieu donné mesuré au-dessus des océans est la somme champ terrestre actuel + aimantation des roches proches de la surface en ce lieu, en général faible, normal ou inverse, mémorisé

**les relevés d'intensité du champ magnétique** réalisés par des **magnétomètres** (découverte : années 50) embarqués sur les navires océanographiques mettent en évidence des **bandes d'anomalies magnétiques symétriques de part et d'autre de l'axe des dorsales** : elles correspondent à l'échelle chronologique des inversions du champ magnétique (tapis roulant, peau de zèbre)

Une anomalie magnétique est dite :

-> 0, positive, si l'intensité mesurée > celle calculée

-< 0, négative, si l'intensité mesurée < celle calculée => seule l'aimantation des roches peut expliquer un différentiel entre calcul et mesure du champ magnétique en un même lieu

<http://objectif-terre.unil.ch/fileadmin/mmobjects/gop/gop016o/aimantation.swf>

### B/ Caractéristiques des anomalies magnétiques en bassin océanique

**années 60 : mise en évidence :**

-1/ d'une **forte anomalie positive au-dessus de l'axe des dorsales océaniques**

-2/ de **bandes d'anomalies alternatives positives (noir) et négatives (blanc) de quelques dizaines de km de large et milliers de long, parallèlement à l'axe des dorsales**

-3/ d'une **symétrie des bandes d'anomalies de part et d'autre de la dorsale**

remarque : pas d'équivalence de mesure au niveau continental

### C/ La théorie de Hess testée

#### 1/ les inversions du champ magnétique

##### a/ définition

A certaines périodes de l'histoire terrestre, le pôle Nord magnétique devient le Sud et inversement : ces **inversions ont été établies en étudiant le magnétisme de basaltes continentaux** : l'aimantation de **certaines coulées de lave était dans le même sens que le champ magnétique actuel (période normale), d'autres avaient une aimantation opposée (période inverse)**. Une inversion peut survenir en quelques Ma seulement, ce qui est court ! Les 2 derniers épisodes sont baptisés Brunhes et Matuyama

##### b/ chronologie

Elle a été établie pour les 4 derniers Ma en combinant l'étude de l'aimantation des basaltes continentaux avec leur datation Matuyama (Japon) : datation des inversions et construction d'une échelle des inversions magnétiques basée sur la chronologie relative



En étudiant des basaltes continentaux de même âge, en différentes régions, on a constaté qu'ils indiquaient la même orientation du champ magnétique : les inversions sont donc des phénomènes globaux planétaires et non locaux.

## 2/ la mise en relation expansion des fonds océaniques / anomalies magnétiques (Vine & Matthews, 1963)

le géophysicien Frederick John Vine et le géologue canadien Lawrence W. Morley ont réalisé indépendamment que si la théorie du « sea-floor spreading » est valide, alors **les roches entourant le rift médio-océanique devrait montrer des motifs symétriques des inversions du champ magnétique visible dans les coulées de roches volcaniques.**

Les lettres de Morley à la célèbre revue scientifique Nature en Février 1963 et au journal de la Recherche Géophysique en Avril de la même année ont été tous 2 rejetés, donc **Vine et Matthews** ont été les 1<sup>ers</sup> à le publier en **1963**.

=> **La corrélation de la disposition des bandes d'anomalies magnétiques positives et négatives (de polarité identique ou inverses à l'actuel) des basaltes de la croûte océanique des fonds de part et d'autre du rift de la dorsale (peau de zèbre) est compatible avec la théorie de Hess => ils confirment donc l'hypothèse de l'expansion océanique**

Cela a été confirmé par des études par la suite ...

**Le modèle de Vine & Matthews explique la formation des océans et identifie le moteur de la mobilité des continents : la convection mantellique, c'est-à-dire la remontée d'un matériel plus chaud qui se refroidit en surface et redescend par refroidissement, ayant gagné en densité**

• **années 1950-1960** : le développement de l'océanographie (échosondeur, écoute sismique, détection magnétique, mesure des flux thermiques) permet de découvrir la topographie des fonds océaniques.

1/ **une dorsale de près de 65 000 km de long pour 500 à 1 500 km de large culmine vers 2,5 km de profondeur et domine les plaines abyssales dont la profondeur est d'environ 5 km**

2/ **il existe 2 types de bordures continentales (marges continentales) :**

- soit une fosse qui forme un sillon, de 8 à 11 km de profondeur pour 100 km de large, principalement en bordure de l'océan Pacifique

- soit un plateau continental qui s'enfonce en pente douce jusqu'à 200 m de profondeur environ. La pente augmente ensuite rapidement et forme le talus continental qui rejoint la plaine abyssale.

• **Le flux de chaleur libéré par la Terre (flux géothermique) est plus élevé que la moyenne au niveau des dorsales. Cela est associé à des mouvements de convection mantellique ascendants au niveau des dorsales et descendants au niveau des fosses (où on observe une anomalies de gravité positive).**

• **L'ensemble des observations océanographiques a permis de formuler l'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques selon laquelle les océans se forment en permanence au niveau des dorsales, s'écartent symétriquement de part et d'autre de celles-ci avant de disparaître au niveau des fosses océaniques.**

• **La mise en évidence de bandes d'anomalies magnétiques normales et inverses symétriques par rapport à l'axe des dorsales océaniques, corrélables avec les phénomènes d'inversion des pôles magnétiques, a permis de valider l'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques et de calculer la vitesse d'expansion océanique (ou taux d'expansion océanique) en 1963**

Quand une roche refroidit, certains de ses minéraux s'aimantent vers 600 °C et acquièrent un champ magnétique de même direction que le champ magnétique terrestre du moment. Or la direction du champ magnétique terrestre s'est fréquemment inversée au cours du temps, ce qui ne change pas le champ magnétique des roches déjà acquis. Si le champ magnétique terrestre est de même sens que le champ magnétique d'une roche, les deux s'ajoutent (anomalie normale). Dans le cas contraire, ils se soustraient (anomalie inverse).

Il s'est donc écoulé 50 ans entre la théorie de la dérive des continents et celle de la tectonique des plaques.

## BILAN

DEPUIS L'ANTIQUITÉ, IL ÉTAIT ADMIS QUE LES CONTINENTS SONT IMMOBILES DANS LE PLAN HORIZONTAL, C'EST LE PARADIGME FIXISTE. DURANT LES ANNÉES 1910 ET 1920, EN S'APPUYANT UNIQUEMENT SUR DES ARGUMENTS PROVENANT DES CONTINENTS, LES SEULS DISPONIBLES À L'ÉPOQUE, WEGENER N'A PU NI RÉFUTER LE FIXISME NI VALIDER L'HYPOTHÈSE MOBILISTE DE LA DÉRIVE DES CONTINENTS QU'IL ÉTAIT LA SIENNE.

DANS LES ANNÉES 1960, C'EST LA DÉCOUVERTE PROGRESSIVE DES FONDS Océaniques, AVEC NOTAMMENT L'INTERPRÉTATION DES ANOMALIES MAGNÉTIQUES, QUI A PERMIS LA NAISSANCE D'UN NOUVEAU PARADIGME : LE MOBILISME.

PARADIGME = CONCEPTION THÉORIQUE DOMINANTE À UNE CERTAINE ÉPOQUE DANS UNE COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE



## À MÉDITER !

On ne comprendra rien à la Terre tant que l'on en étudiera que le tiers émergé disait Richard Field professeur à Princeton dans les années 1930 et qui eut pour élèves quelques uns des pères du mobilisme tels Maurice Ewing (Lamont), Harry Hess à (Princeton) et Edward Bullard (Cambridge).

Rapporté par Xavier Le Pichon, La Recherche n° 153, mars 1984

Début 1966, Xavier Le Pichon (Chercheur Français au Lamont-Columbia) était parti en mission en mer puis présenta sa thèse de doctorat (fixiste) à Strasbourg en avril. Il ne rentra au laboratoire que début mai et découvrit aussitôt ce qu'il appelle lui même le "profil magnétique magique" de Walter Pittman. « Ma femme se souvient encore de mon retour du laboratoire, je lui demandai de me servir un whisky et lui déclarai : les conclusions de ma thèse sont fausses : c'est Hess qui a raison ».

Xavier Le Pichon, La Recherche n° 153, mars 1984

« [...] une fois qu'elle a rang de paradigme, une théorie scientifique ne sera déclarée sans valeur que si une théorie concurrente est prête à prendre sa place.»

Thomas Samuel Kuhn, La Structure des révolutions scientifiques, Paris, Flammarion (Champs), 1983 [1962], Chap. VII, « réponse à la crise »

« À notre époque, plus que de données inédites, d'instruments meilleurs ou de techniques nouvelles, les Sciences de la Terre semblent avoir besoin de passer simplement de notre croyance actuelle (1968) en une structure statique du globe au concept nouveau suivant lequel il a longtemps été mobile. Cela est parallèle et semblable à la révolution copernicienne, et devrait peut-être être appelé la révolution wegenerienne, du nom de son principal artisan. »

John Tuzo Wilson, Proc. Amer. Phil. Soc., 112, 5, 1968

Une théorie, par essence, n'est jamais « démontrable », elle est seulement « falsifiable » (ou « réfutable »), c'est-à-dire que « le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester ». Karl Popper, 1934

<http://prezi.com/oiwcnehkk70a/de-la-derive-des-continents-a-la-tectonique-des-plaques/>

<http://www.youtube.com/watch?v=LS7V7vxyz-E>

**les Bons Profs : la dérive des continents :**

[https://www.youtube.com/watch?v=4UNPNqmpwkc&index=1&list=PL\\_1WVGjLTYqKxwozaViXo08iLCF-NqLmt](https://www.youtube.com/watch?v=4UNPNqmpwkc&index=1&list=PL_1WVGjLTYqKxwozaViXo08iLCF-NqLmt)