Thème 1B

La tectonique des plaques

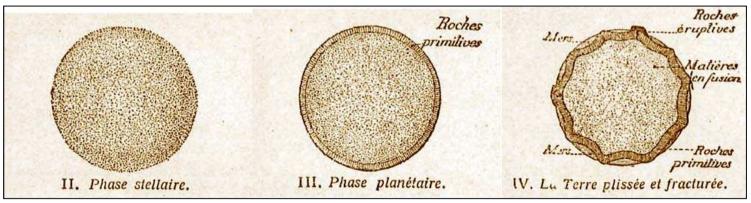
Au tout début du 20e siècle ...

- Le **modèle fixiste** est une représentation de base, largement admise et qui n'a pas besoin de démonstration (paradigme).
- Les **fonds océaniques** sont en grande partie **inconnus** car inaccessibles.
- L'idée d'**isthmes** ou de **ponts continentaux** qui auraient permis une continuité terrestre, aujourd'hui disparue suite à leur effondrement et à leur submersion, est une idée qui parait vraisemblable :
- les travaux de percement des isthmes intercontinentaux : Panama (1882-1914) et de Suez (1859-1869) sont dans toutes les mémoires
- le mythe de l'Atlantide, décrit par Platon (400 avant J. -C.) puis repris par Buffon au XVIIIe siècle, fait l'objet de publications.



Alfred Wegener (1880-1930) est le premier scientifique a présenter de **manière argumentée** la possibilité des continents à se déplacer.

Il présente la théorie de la dérive des continents en 1912 dans un contexte scientifique où les océans sont formés par effondrement des continents...



D'après livre de 4^{ème} 1925, Boulet. Site plane-terre

D'après Suess, la contraction thermique de la Terre aurait entrainé une diminution de volume et donc de sa surface ; ce qui aurait été à l'origine des chaines de montagnes et les océans.

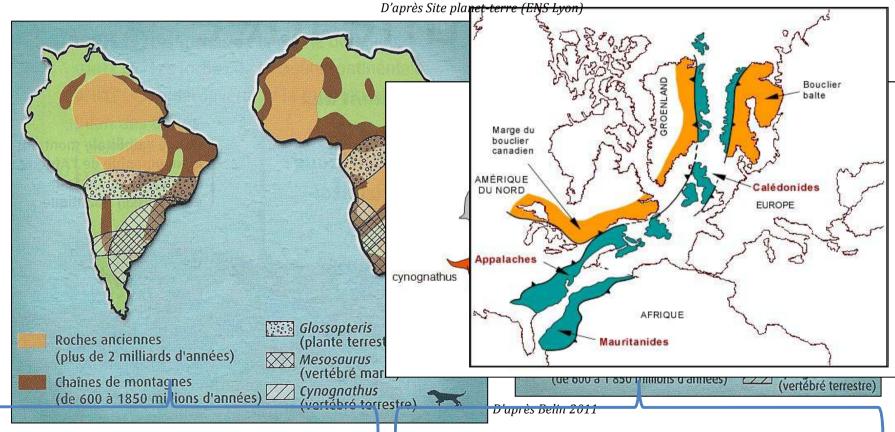


D'après Google Earth

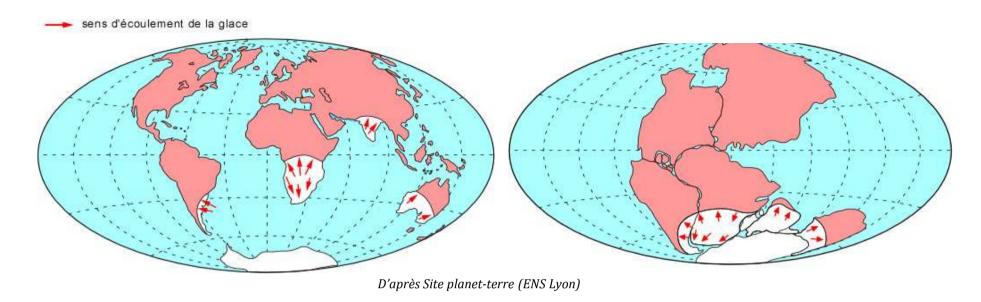
les tracés des côtes atlantique "s'emboitent » et suggère que **les continents sont différents morceaux d'un même bloc qui se serait séparés**, à la manière de pièces d'un puzzle. Coïncidence ?

Wegener montre que c'est plus qu'une coïncidence en apportant de nombreuses informations impliquant une mobilité des continents.

En effet, différents arguments, d'origine **paléontologique**, **paléoclimatique** et **pétrographique**, permettent de conforter cette idée mobiliste.

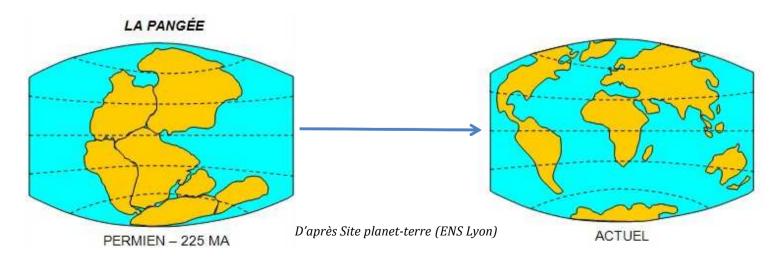


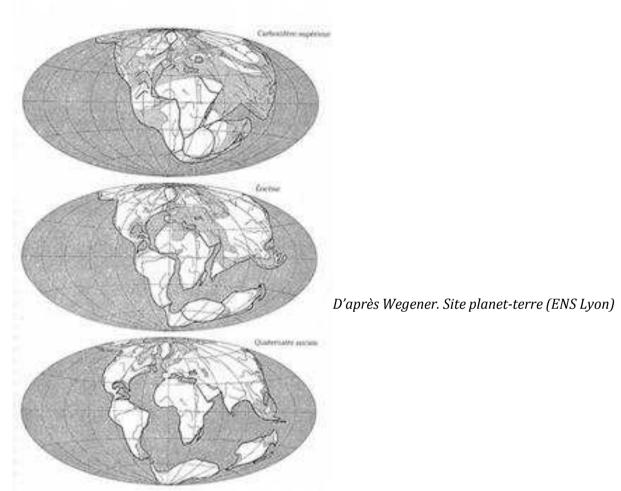
<u>Argument pétrographique</u>: Concordance <u>Argument paléontologique</u>: Répartition des des formations rocheuses les plus mêmes fossiles sur les différents continents anciennes



Argument paléoclimatique : concordance des vestiges glaciaires

L'ensemble de ces concordances impose des liaisons continentales passées.





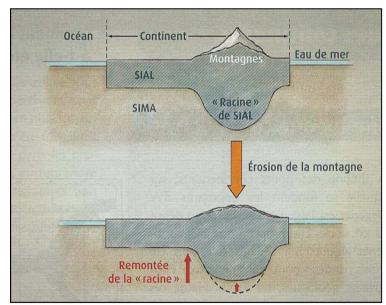
Wegener propose que les continents, aujourd'hui séparés, furent regroupés en un supercontinent (La Pangée) qui s'est fracturé en blocs continentaux ayant dérivés jusqu'à leur position actuelle.

Ces nombreux arguments mettent en évidence le déplacement passé des continents. Comment ce déplacement est-il possible ?

Ces nombreux arguments mettent en évidence le déplacement passé des continents. Comment se déplacement est-il possible ?

Deux observations scientifiques ont permis à Wegener de penser la mobilité continentale possible :

- Le rééquilibrage verticale des continents ou isostasie



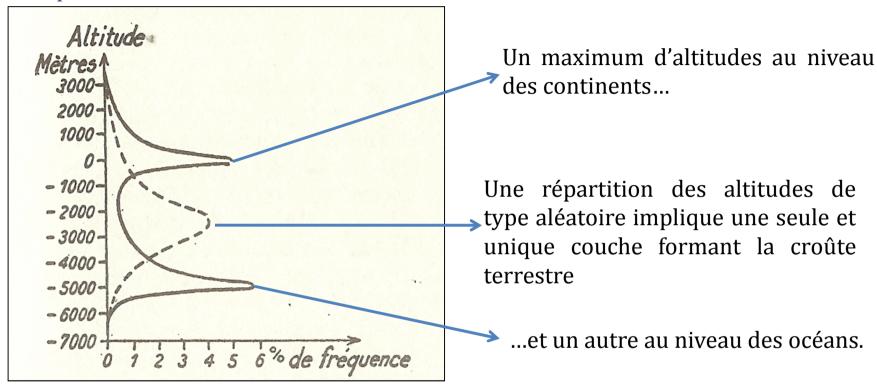
L'érosion d'une chaîne de montagnes entraine une remontée de la racine crustale.

Pour Wegener, s'il y a des mouvements verticaux (isostasie), il peut y a avoir des mouvements horizontaux.

D'après Belin 2011

Ces mouvements horizontaux impliquent une nature différente des continents et du fonds des océans...

- La répartition bimodale des altitudes



D'après Wegener. Site planet-terre (ENS Lyon)

Pour Wegener, la **répartition bimodale des altitudes** à la surface de la Terre suggère une composition différente des continents et des océans. Les continents plus légers reposeraient sur le fonds des océans plus denses. Cette organisation de la croûte permettrait des mouvements verticaux (isostasie) rendrait possible des mouvements horizontaux.

Les continents plus légers (SIAL) reposeraient sur le fonds des océans plus denses

(SIMA).

Effondrement du
SIAL léger sur le
SIMA plus dense!!

D'après Nathan 2011)

MOBILISME (dérive) Continent initial RUPTURE puis DÉRIVE Continent 1

Cette organisation de la croûte permettrait des mouvements verticaux (isostasie) rendrait possible des mouvements horizontaux.

Les défenseurs de la théorie fixiste, en utilisant ces mêmes données, proposaient une théorie contradictoire.

• Depuis l'Antiquité il est admis que les continents ont toujours existé dans leurs positions actuelles. Au début du XXe siècle la plupart des géologues pensent que les océans sont la conséquence de l'affaissement de la surface continentale et que les chaînes de montagnes résultent, elles aussi, de mouvements principalement verticaux. Ce modèle explicatif fixiste permet de rendre compte des faits observés en milieu continental (les océans étant inaccessibles).

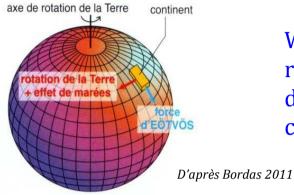
- Les premières idées évoquant la mobilité horizontale s'appuient sur quelques constatations.
 - La concordance du tracé des côtes (de part et d'autre de l'océan Atlantique notamment) suggère qu'elles proviennent de la fragmentation d'un bloc continental unique.
 - La distribution géographique des structures géologiques (chaînes de montagnes), des paléoclimats et de certains fossiles montre une continuité si on rassemble les continents comme le suggère le tracé des côtes.

• La distribution bimodale des altitudes montre que l'altitude moyenne des continents (environ 100 m) se distingue nettement de la profondeur moyenne des océans (environ - 4700 m). Cela révèle que les continents sont des structures permanentes et que les fonds océaniques sont de nature différente.

 Ces observations conduisent Alfred Wegener à proposer l'hypothèse selon laquelle un supercontinent, la Pangée, se serait fragmenté entraînant une dérive des **continents** issus de cette fragmentation. Dans ce modèle les **continents** sont portés par une couche de nature différente (plus dense) qui constitue aussi les **fonds océaniques** et sur laquelle ils dérivent (comme des icebergs flottant sur l'eau qui les baigne).

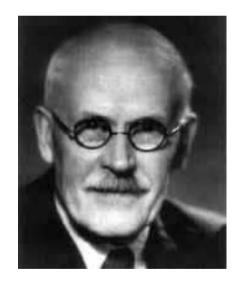
2. Les arguments à l'origine du rejet de la théorie

Le rejet se fait sur le moteur supposé de la mobilité.



Wegener propose un rôle important de la rotation de la Terre et de l'effet des marées dans le déplacement horizontal des masses continentales.

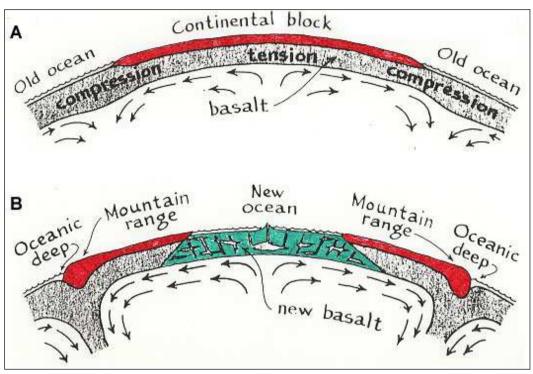
En 1924, H. Jeffreys s'oppose catégoriquement à cette hypothèse en soutenant que les forces envisagées comme moteur sont bien trop faibles pour entrainer le déplacement des continents.



Par la proposition d'un moteur insuffisant, **c'est toute la théorie** de Wegener qui est rejetée par la majorité des scientifiques de l'époque...

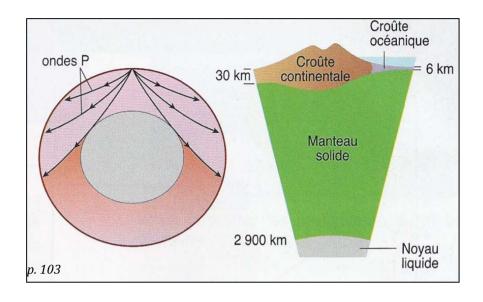
A. Holmes présente en 1928 un mécanisme beaucoup plus satisfaisant en invoquant les **courants de convection** sous la surface terrestre, cependant cette hypothèse n'est pas suivie.

Schéma original d' A. Holmes présentant son idée de convection sous la croute.



Wegener n'aurait pas eu connaissance des travaux de Holmes...Wegener meurt en 1930. Le mécanisme de convection proposé par Holmes n'est pas adopté.

Les travaux de Gutenberg, sur la trajectoire des ondes sismiques dans le globe terrestre, ont montré qu'une très grande partie du globe était solide ce qui allait à l'encontre de tout mouvement.



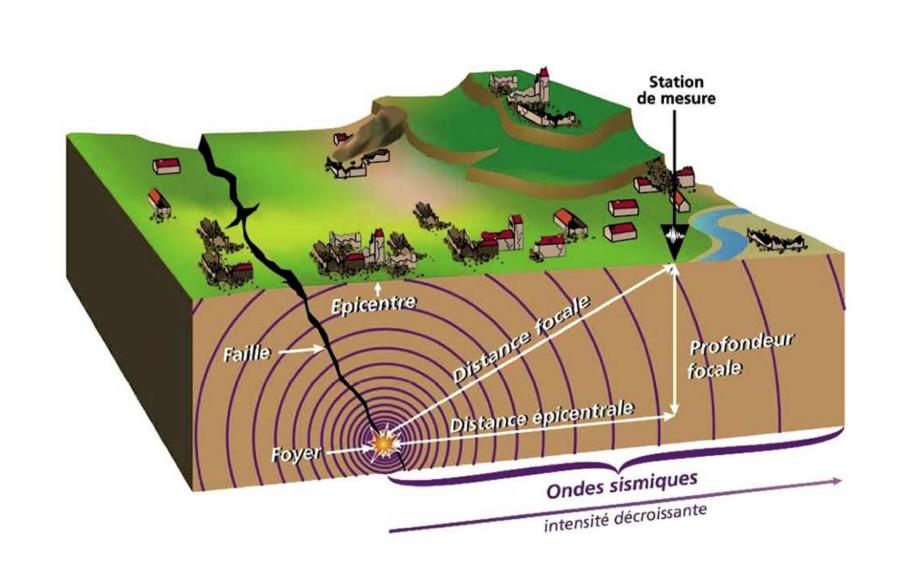
L'idée de **mobilité horizontale** de Wegener est alors vivement rejetée par l'ensemble de la communauté scientifique.

L'apport des données sismiques

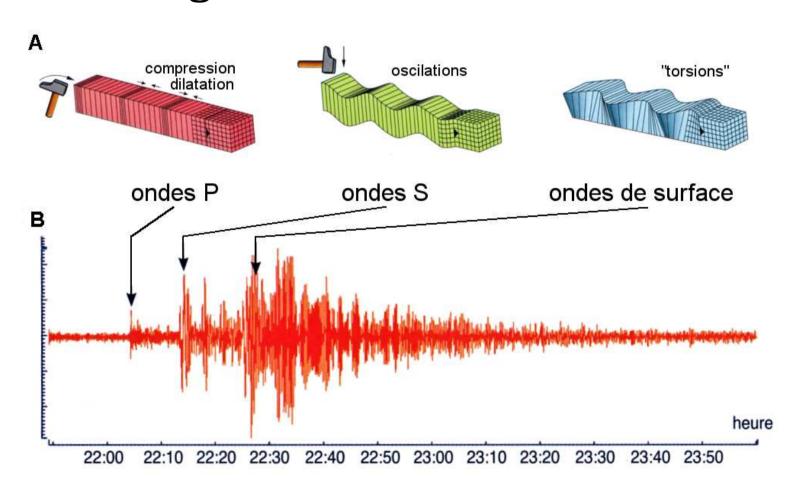
- La sismologie permet d'ausculter la Terre interne
- La Terre a un rayon de près de 6 500 km, mais aucune méthode ne permet de l'explorer directement à plus de 12 km. Pour connaître sa structure interne on utilise des méthodes indirectes, comme l'étude des séismes (tremblements de terre), qui permettent de l'ausculter.

Les effets d'un séisme

 Des roches soumises à des tensions croissantes se déforment d'abord de façon élastique, puis il y a rupture en un point, le **foyer** ou **hypocentre**. À partir de celui-ci se propagent des ondes sismiques (vibrations). Un rai sismique est une ligne perpendiculaire au front d'onde. L'**épicentre** est le point de la surface qui est situé à la verticale du foyer.



 Un sismographe enregistre les ondes sismiques (P, S et de surface) sous forme de sismogramme



Les ondes P

• les ondes P sont des ondes de **compression-dilatation** (modèle du ressort) qui se propagent en volume (qui traversent la Terre). Ce sont les ondes les plus **rapides**, qui se propagent dans tous les milieux. Leur **vitesse croit** avec la **densité** du milieu traversé.

Les ondes S

Les ondes sont des ondes de **cisaillement** (modèle de la corde) qui se propagent aussi en volume, mais uniquement dans les **solides** (pas dans les liquides).

Leur **vitesse croit** aussi avec la densité du milieu traversé mais elles sont plus lentes que les ondes P (elles arrivent en retard au point de réception).

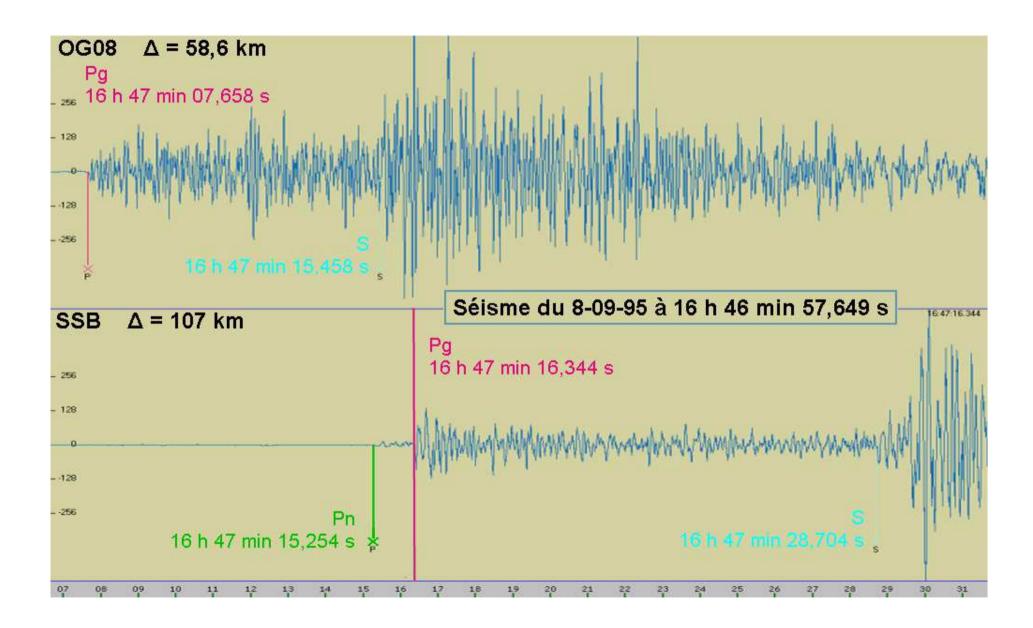
Les ondes de surface

• Les ondes de surface ne se propagent qu'en surface (modèle de la houle). Bien que les plus lentes, elles ont une grande amplitude et un grand effet destructeur.

Une discontinuité qui sépare la croute du manteau

MEE par Milutin MILANKOVITCH

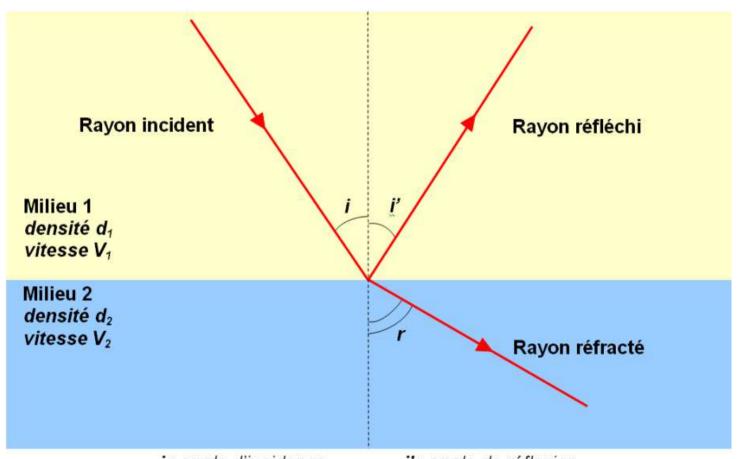
La **station OG08** (*Isère, France*), située à 58,6 km de l'épicentre, enregistre un sismogramme classique avec des ondes Pg. À la station SSB, (Bourg-Argental, Isère, France) située plus loin de l'épicentre (107 km), deux trains d'ondes P se succèdent, des **ondes** Pn précèdent les ondes Pg, elles sont donc plus rapides.



- Mohorovicic fait le raisonnement suivant. Puisque les **ondes Pg et Pn** sont de même nature (ondes P de compression-dilatation) elles se propagent donc à la même vitesse. Puisque les ondes Pg et Pn partent en même temps (heure du séisme), qu'elles se propagent à la même vitesse et qu'elles n'arrivent pas en même temps
- Elles ont forcément traversé des milieux différents et ont donc emprunté des chemins différents.

Rai sismique/rai lumineux

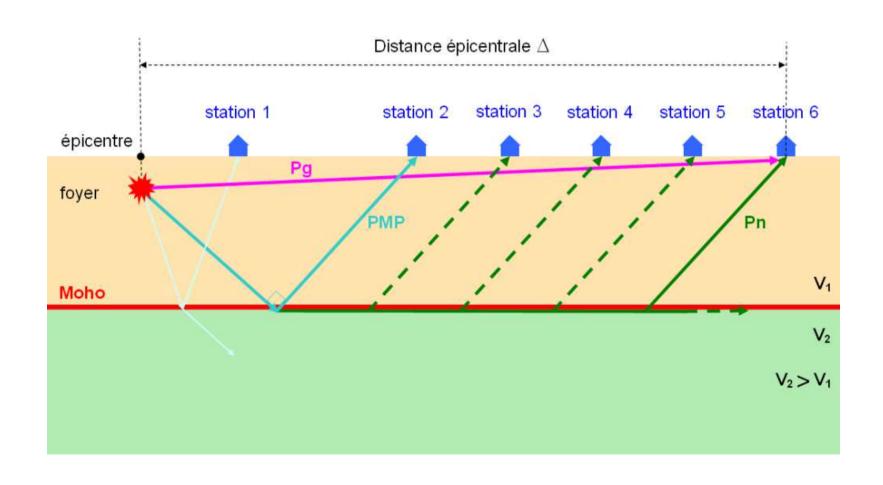
• Lors d'un changement de milieu de propagation un rai incident (P ou S) subit une réflexion, une réfraction accompagnée d'une variation de vitesse. Cela permet de révéler des discontinuités physiques dans les milieux traversés.



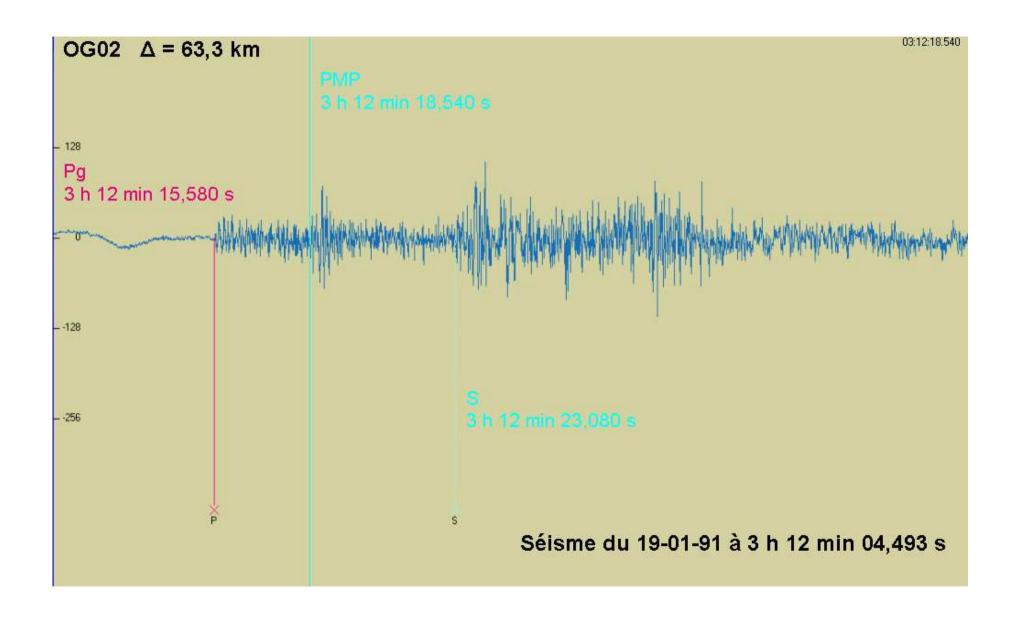
i : angle d'incidence

i': angle de réflexion

• Les **ondes Pg** suivent un **trajet direct**. Les ondes Pn s'enfoncent dans la croûte (le sial à l'époque) et atteignent un milieu différent, le manteau (le sima à l'époque), de densité supérieure. Elles subissent alors une réflexion et une réfraction. Quand la somme de l'**angle d'incidence** et de l'angle de réflexion est égale à 90° (incidence limite) l'angle de réfraction est alors tel que le rai réfracté est parallèle à la surface.

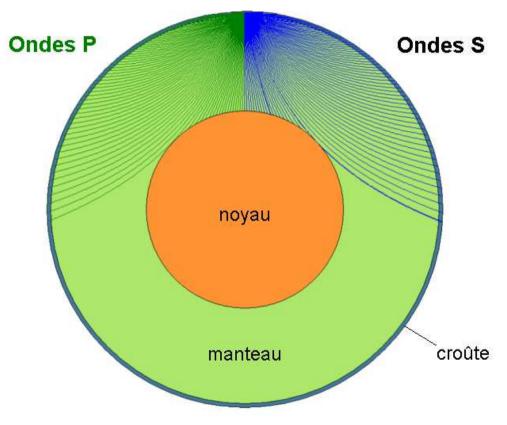


 Les ondes réfractées accélèrent et, bien qu'elles aient un trajet plus long, doublent les ondes Pg si la distance de la station à l'épicentre est suffisante (station 5 par exemple). La discontinuité physique entre la croûte et le manteau est depuis appelée discontinuité de Mohorovicic ou Moho.



• La **station OG02** (Annemasse, Savoie, France) enregistre deux trains d'ondes P, des ondes Pg et des ondes PMP qui arrivent après. Les ondes PMP sont des ondes P réfléchies par le Moho.

 Comme les ondes P, les ondes S peuvent traverser le manteau. Puisque les ondes S ne se propagent que dans les solides, on peut en déduire que le manteau est à l'état solide.



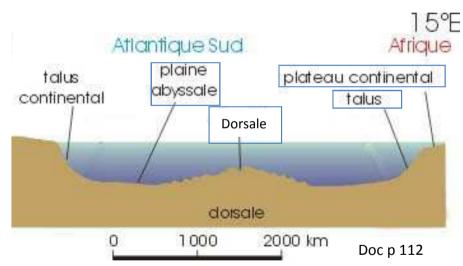
Bilan sur les raisons du refus

- Des arguments contestés
- Une hypothèse non validée

II. L'apport des avancées technologiques (1945 - 1960)

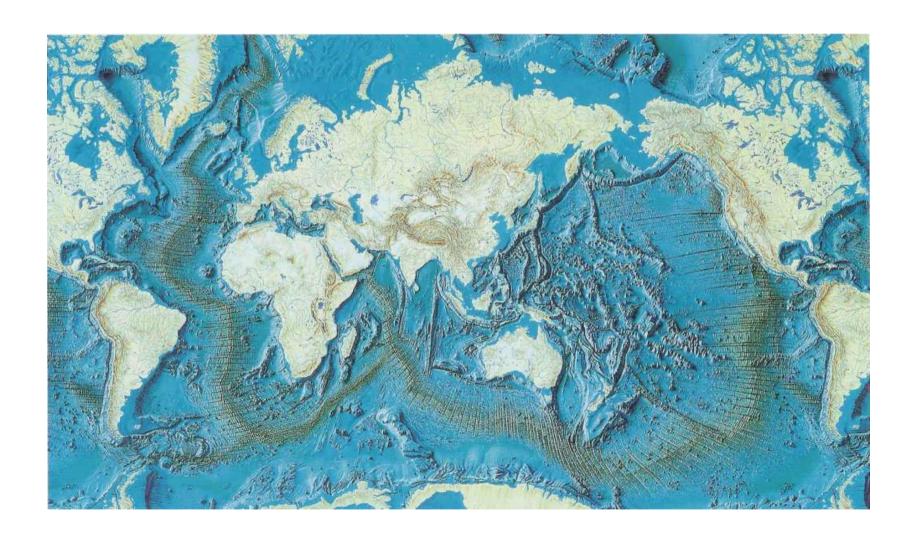
Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, grâce au développement de l'océanographie et des techniques de reconnaissance sous-marine (échosondeur, écoute sismique, détection magnétique), de nouvelles données vont améliorer la connaissance des fonds marins.

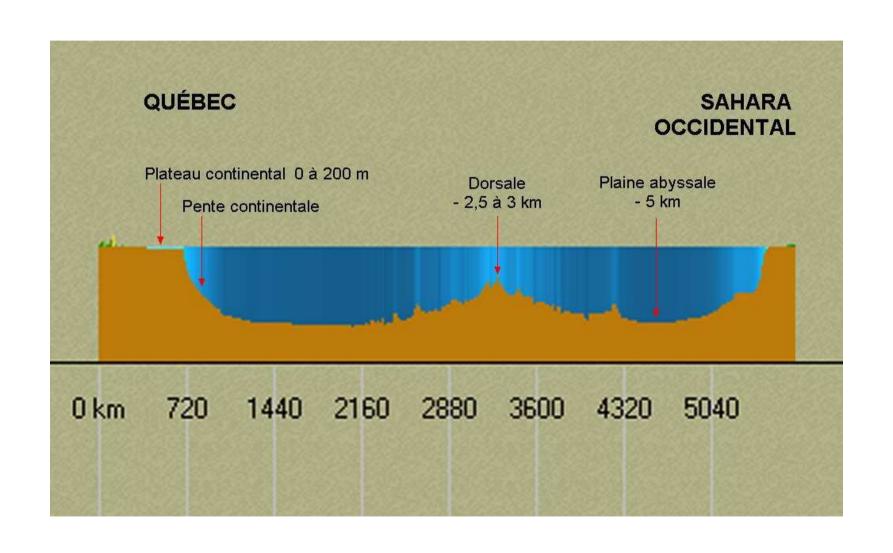
1. Une topographie océanique caractéristique

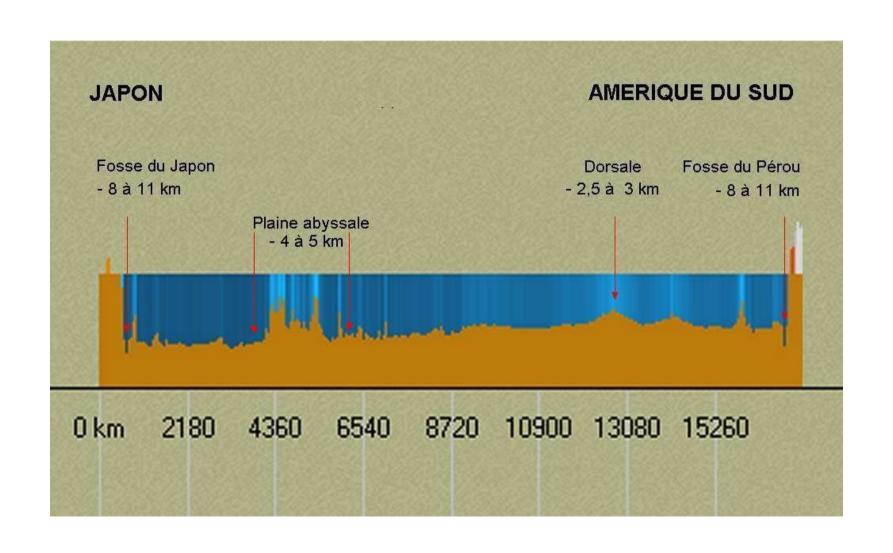


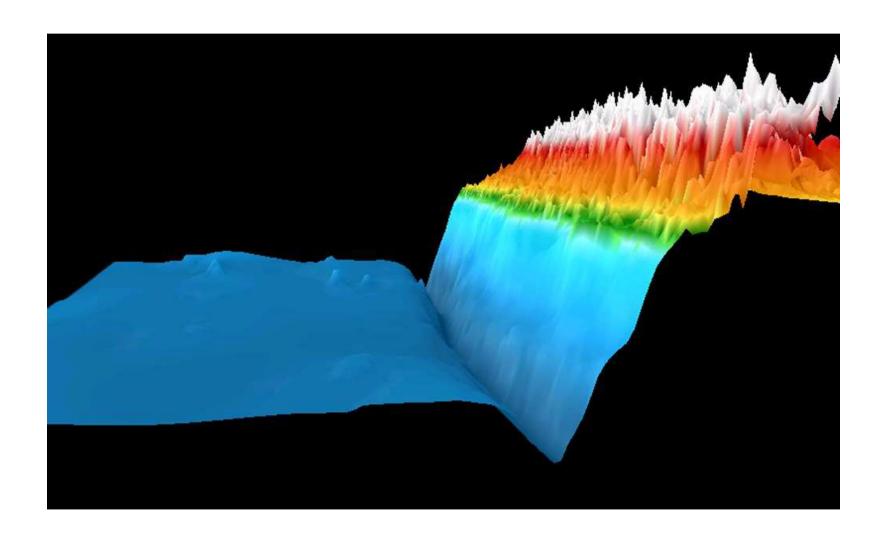
Profil topographique des fonds océaniques

Cette topographie caractéristique conforte l'idée de Wegener :









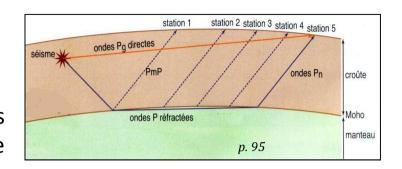
 Pendant les années 1950-1960 le développement de l'océanographie (échosondeur, écoute sismique, détection magnétique, mesure des flux thermiques) permet de découvrir la topographie des fonds océaniques.

- 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. Deux types de bordure continentale (marge continentale) :
- 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**.

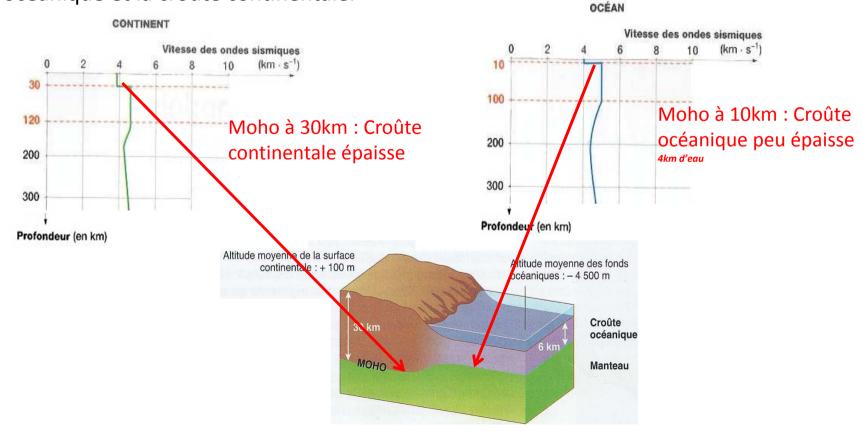
2. La nature de la croûte terrestre.

Dès 1909, Mohorovicic, met en évidence un changement de milieu en profondeur.

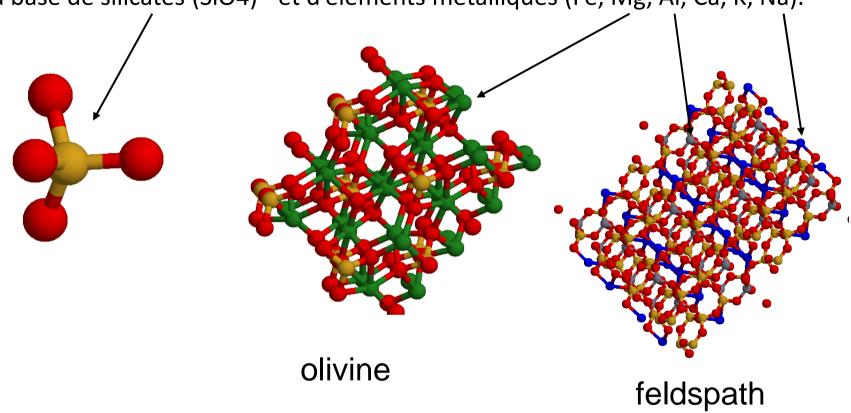
Après 1945, des études sismiques plus précises confirment la discontinuité sismique de Mohorovicic : le Moho...



...et montrent que ce « Moho » est à une profondeur différente au niveau de la croûte océanique et la croûte continentale.



La croûte est essentiellement formée de roches silicatées, dont les minéraux sont à base de silicates (SiO4)⁴⁻ et d'éléments métalliques (Fe, Mg, Al, Ca, K, Na).



Ces 8 éléments représentent 98% de la masse totale de la croûte : les minéraux sont presque tous formés de ces éléments mais dans des proportions différentes.

a. La croute océanique

La croûte océanique est toujours constituée de deux roches magmatiques superposées formées des mêmes minéraux : **plagioclases** (= feldspaths calco-alcalins), **olivines** et **pyroxènes**.



profondeurs couches

Eau

épaisseurs

1= Sédiments 2= Basalte

3 = Gabbro

Croûte

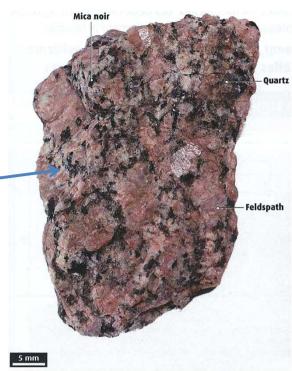
Manteau (4 = péridotite)

b. La croute continentale

La croûte continentale est essentiellement formée de roches de nature granitique composées de quartz, de feldspaths alcalins et de micas en proportions variables. Il peut s'agir de **roches plutoniques** (granites) ou de **roches métamorphiques**, issues de la transformation de granites (*gneiss, migmatite*).

Par endroit, on observe aussi des volumes plus ou moins importants de roches volcaniques issues d'éruptions survenues après la mise en place de la croûte continentale.



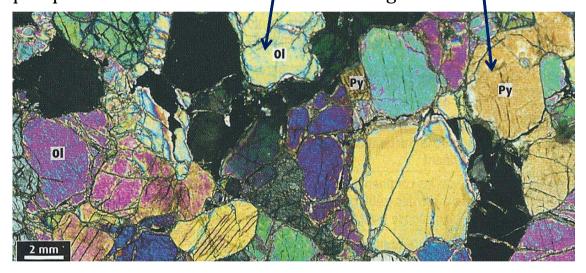


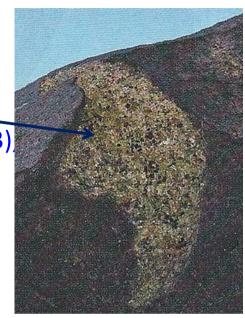


3. Les roches du manteau supérieur

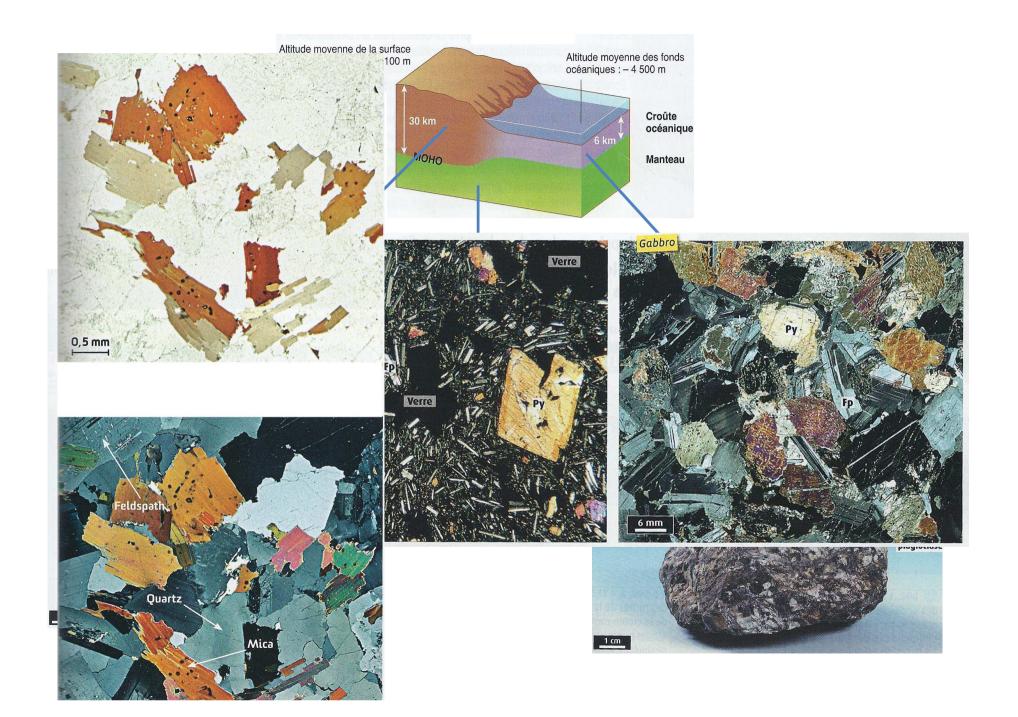
Des fragments de manteau supérieur parviennent parfois en surface, et sont visibles dans des enclaves à l'intérieur des roches volcaniques. On observe alors une roche verte,

la **péridotite**, très riche en olivine (2/3) et en pyroxène (1/3) avec quelques minéraux accessoires comme le grenat.





En dehors de ces rares échantillons provenant du sommet du manteau, on ne connaît la composition globale du manteau que par l'étude de la propagation des ondes sismiques. Cette étude montre que le manteau est toujours de nature péridotitique, mais les minéraux qui le composent varient avec la profondeur, à cause des contraintes de pression.



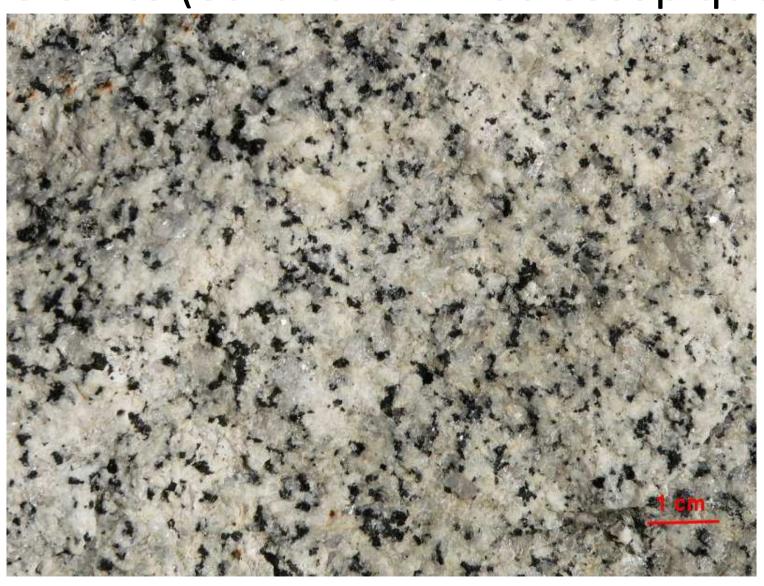
basalte



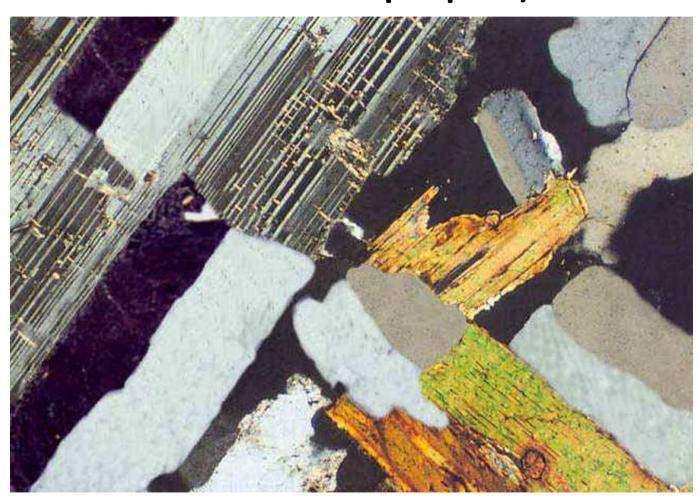
gabbro



Granite (echantillon macroscopique)



Granite (échantillon microscopique)



Composition chimique des principales roches de la lithosphère

Pourcentages massiques

Roche	Éléments								
	0	Si	Al	Ca	Mg	Fe	Na	К	
Granite	49,4	32,4	7,4	1,0	0,6	2,0	2,6	4,6	
Basalte	44,5	22,4	7,6	7,7	7,2	8,6	1,6	0,4	
Gabbro	44,2	23,2	8,1	8,9	5,6	7,9	1,6	0,5	
Péridotite	47,5	20,1	1,7	5,9	22,4	2,1	0,2	0,1	

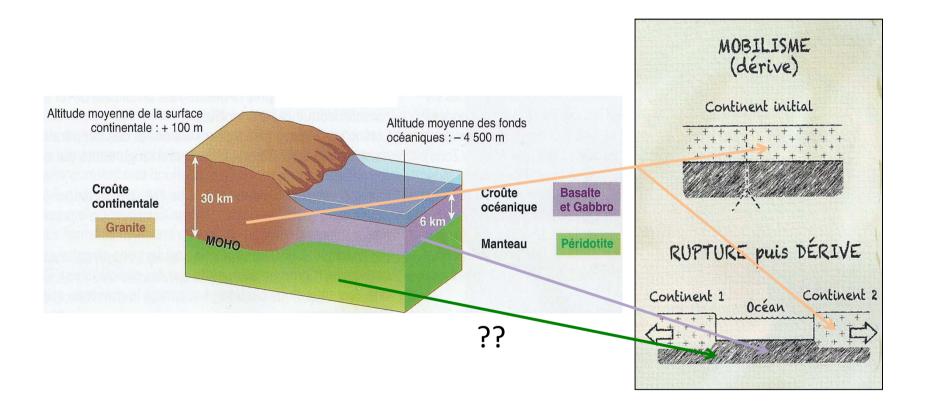
Sources: SVT 1S, Hatier 2001 p. 263 et Nathan 2011 p. 166

• Les basaltes et les gabbros, qui forment la croûte océanique, ont des compositions chimiques voisines. Leur texture différente résulte simplement de leur vitesse de refroidissement. Celle des basaltes est rapide, elle ne permet pas à tous les minéraux de cristalliser (texture microlitique). Celle des gabbros est lente, elle permet à tous les minéraux de cristalliser (texture grenue).

•

- Les **granites** de la **croûte continentale** sont riches en silice alors les **péridotites** du **manteau** en sont "pauvres".
- Ces mesures valident les observations des géologues du début du 20e siècle qui faisaient la distinction entre sial (aujourd'hui la croûte) et le sima (aujourd'hui le manteau).

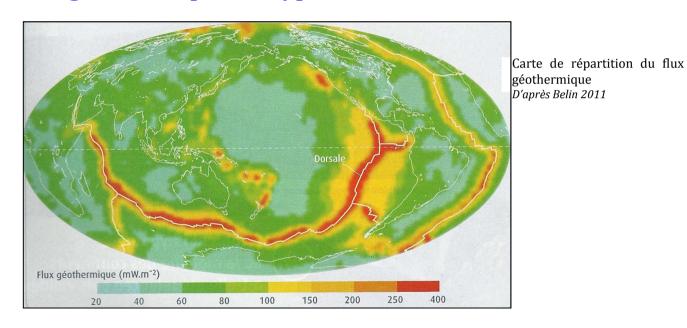
Ces études pétrologiques et sismologiques mettent en évidence une différence entre les continents et le fond des océans et montrent que Wegener avait raison...enfin presque.



Les années 60 marquent le renouveau des idées mobilistes à travers une approche géophysique de l'étude des océans...et l'élaboration d'une nouvelle (?) hypothèse.

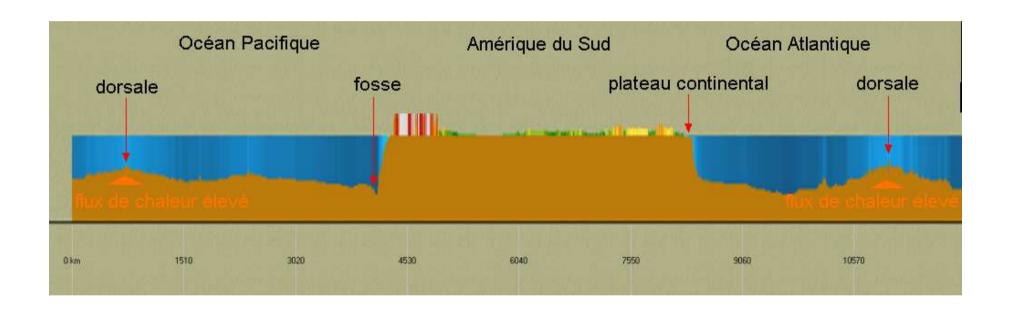
III. L'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques (1960-1962)

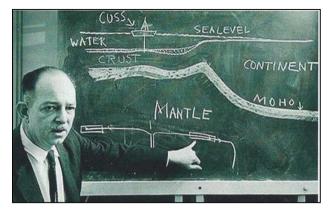
1. L'étude du flux géothermique et l'hypothèse de Hess



Les mesures du **flux géothermique** effectuées dans les années 50 ont mis en évidence une dissipation de chaleur à la surface terrestre de l'ordre de 60 mW.m⁻² en moyenne.

• 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 manteliques ascendants au niveau des dorsales et descendants au niveau des **fosses** (où on observe un excès de gravité).





L'interprétation proposée par Harry Hess en 1962 met en relation ces flux géothermiques élevés à l'aplomb des dorsales avec des **courants ascendants de matière chaude** dans le manteau.

Hess. p. 113

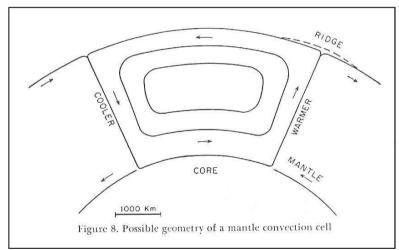


Schéma de Hess présentant la possibilité d'une convection mantellique. *D'après Site planet-terre*

Ces courants font partie de boucles de **convection** dans le manteau, dont les courants descendants seraient situés sous les fosses.





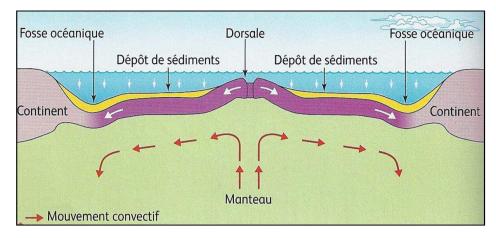


Schéma d'interprétation de l'hypothèse de H.Hess. *D'après Nathan 2011*

La **convection mantellique** expliquerait donc la formation de la croûte océanique par **accrétion** au niveau des dorsales, mais aussi l'écartement de cette croûte océanique (et donc des continents qui la bordent).

Ainsi en 1961 l'idée d'**expansion des fonds océaniques** ou « Sea Floor Spreading » est née.

Peu de temps après, cette hypothèse allait être confortée par un argument très fort...

Peu de temps après, cette hypothèse allait être confortée par un argument très fort...

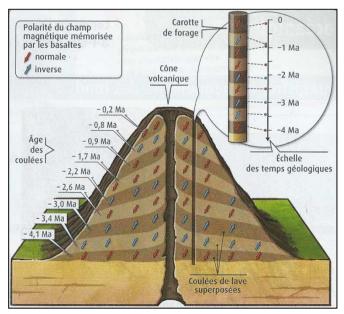
2. L'étude du paléomagnétisme et l'hypothèse de Vine et Matthews

La magnétite présente dans le basalte dévie une boussole. Le basalte est donc aimanté.

p. 115

Au cours de son refroidissement, le basalte enregistre le champ magnétique terrestre.





Au début du XXème siècle, des inversions du pôle magnétique terrestre survenues de manière aléatoire au cours des temps géologiques ont été mis en évidence.

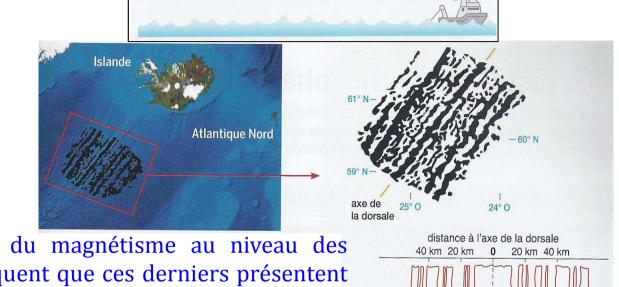
D'après Belin 2011

Une campagne de mesure du champ magnétique au dessus des océans est effectuée

Traiet du bateau remorquant le magnétomètre

à la fin des années 50.

p. 116/117



Les mesures du magnétisme au niveau des basaltes indiquent que ces derniers présentent une aimantation pouvant être <u>inversée ou dans</u> <u>le même sens que le champ magnétique</u> terrestre.

Ces anomalies magnétiques sont mises en relation avec les inversions du pôle magnétique.

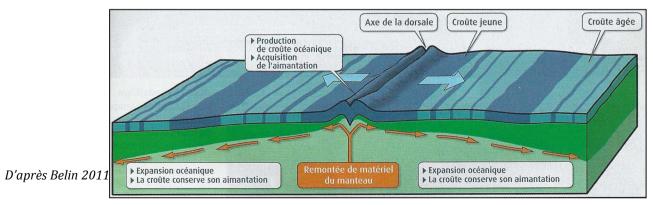
Ces anomalies sont disposées de **manière symétrique** par rapport à l'axe de la dorsale



La symétrie de ces anomalies magnétiques de part et d'autre de la dorsale montrent que la croûte océanique se forme par accrétion au niveau des dorsales.

p. 117

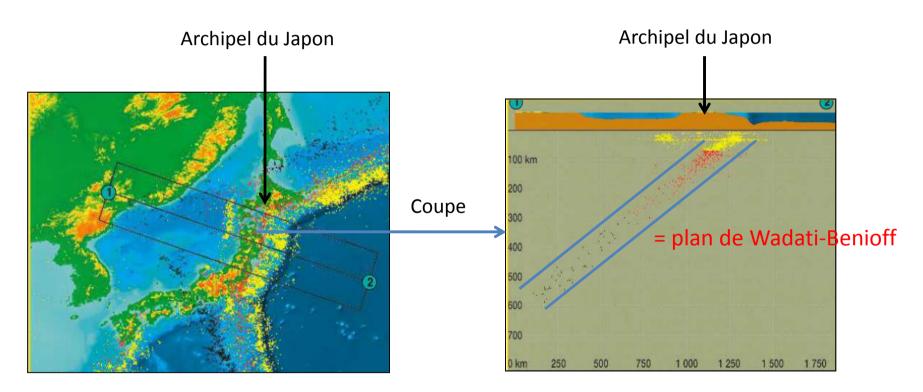
En 1963, Vine et Matthews confrontent le paléomagnétisme des basaltes océaniques avec l'hypothèse de Hess et confirment ainsi l'existence d'une expansion océanique en « double tapis roulant ».



IV. Vers une nouvelle théorie : la tectonique des plaques (1962 – 1968)

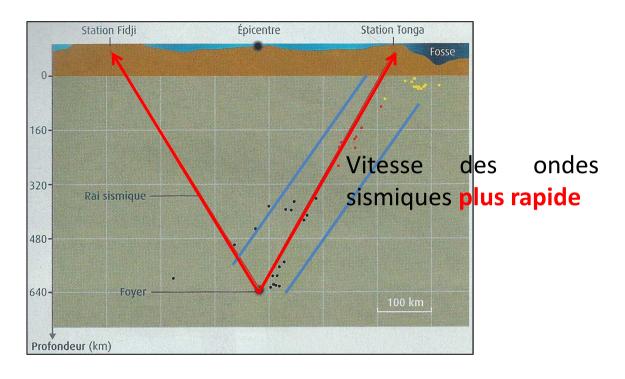
1. La distinction lithosphère-asthénosphère

Dès les années 1930, K. Wadati met en évidence l'existence de séismes profonds répartis de manière atypique au voisinage des fosses océaniques.



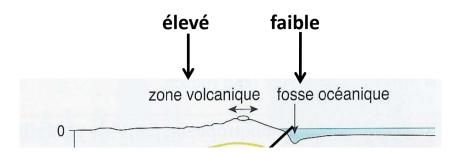
Sous l'archipel volcanique, les foyers des séismes sont répartis sur un plan incliné de plus en plus profondément en s'éloignant de la fosse.

10 ans plus tard, Oliver, Isacks et Sykes, étudient les vitesses d'ondes sismiques mesurées au niveau du plan de Wadati-Benioff.



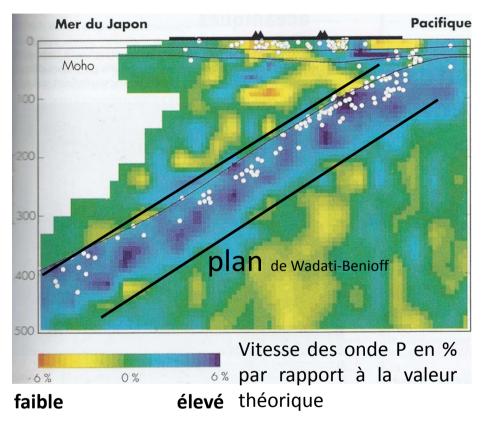
Oliver, Isacks et Sykes, montrent que les vitesses d'ondes sismiques mesurées au niveau du plan de Benioff sont plus importantes que la normale.

Mesure du flux thermique D'après Bordas 2011



Mesure d'anomalies de vitesse d'onde sismique ou tomographie sismique

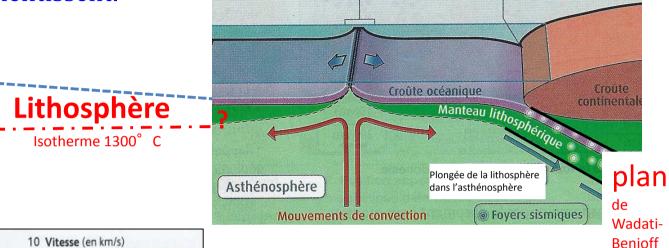
D'après Nathan 2011



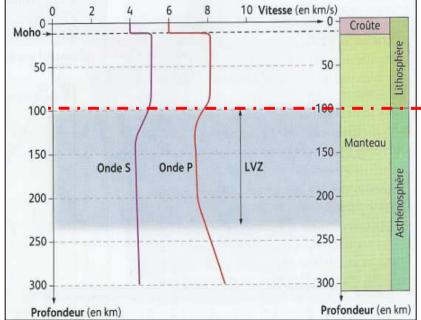
Oliver, Isacks et Sykes expliquent l'existence de ces phénomènes par la plongée de la couche superficielle du globe, froide et cassante, qu'ils nomment **lithosphère**, dans une couche plus profonde.

La lithosphère <u>plonge dans l'asthénosphère</u>, couche plus chaude et ductile (= déformable), dans laquelle les séismes ne peuvent se produire et les

ondes sismiques ralentissent.



Dorsale



La frontière lithosphère-asthénosphère est définie par **l'isotherme 1300° C**.

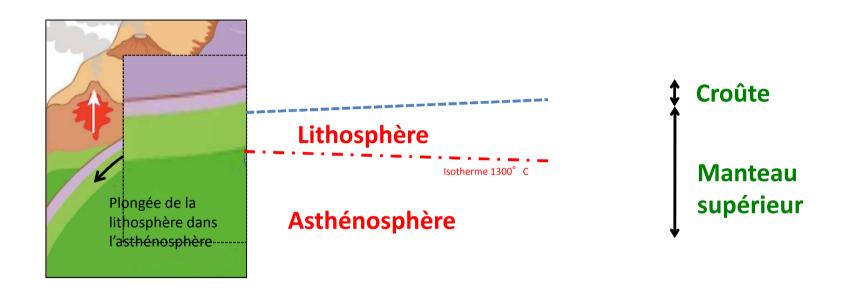
Fosse océanique

- Isotherme 1300° C

Les premières couches terrestres mises en évidence par la variation de la vitesse des ondes sismiques. *D'après Nathan 2011*

Attention à la confusion suivante!

Lithosphère Croûte et Asthénosphère Manteau



Lithosphère = croûte + partie supérieure du manteau supérieur

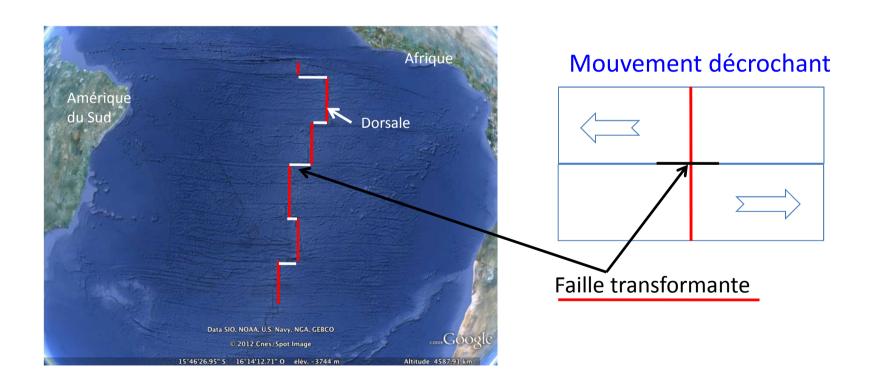
Asthénosphère = reste du manteau supérieur

2. La mobilité des plaques lithosphériques

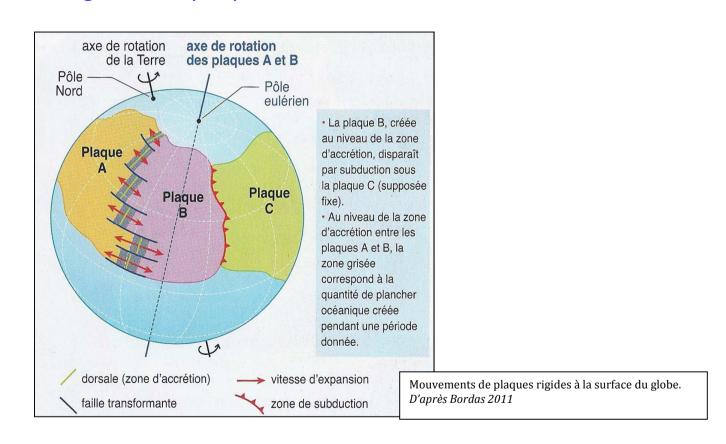
Comment expliquer la mobilité de la lithosphère à la surface du globe terrestre, alors que celle-ci est rigide?

a. Les failles transformantes

Dans les années 60, Wilson découvre des cassures décalant l'axe de la dorsale :



Ces failles transformantes correspondent à des fractures dues aux mouvements de plaques rigides sur une sphère ; elles permettent ainsi un **ajustement** des mouvements divergents des plaques.



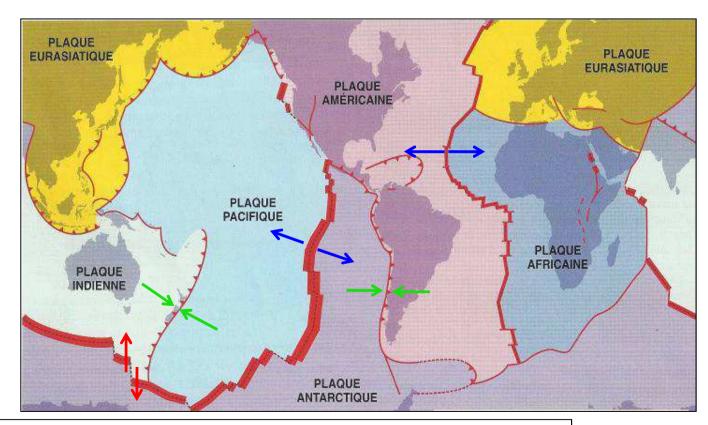
b. Un modèle global : la tectonique des plaques

Toutes ces découvertes durant les années 60 sont à l'origine d'un modèle global, proposé en 1968 par X. Le Pichon : la surface terrestre est découpée en 6 plaques lithosphériques qui s'écartent au niveau des dorsales, coulissent au niveau des failles transformantes et se rapprochent au niveau des fosses océaniques.







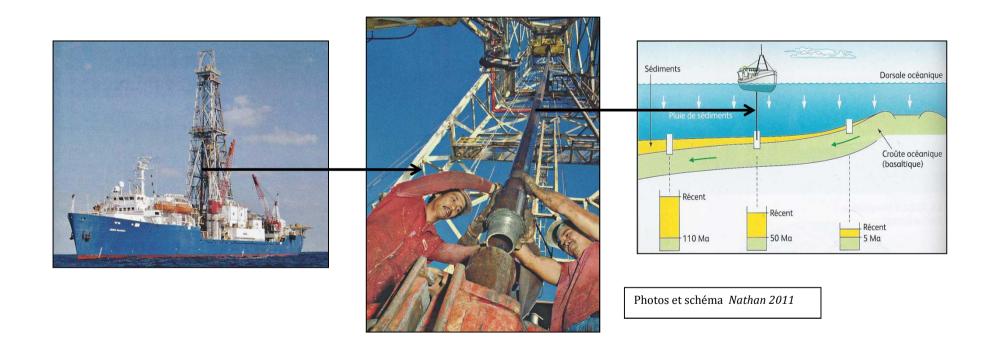


Les 6 principales plaques lithosphériques mises en évidence en 1968 par X. Le Pichon. D'après Bordas 2011

V. Une théorie confirmée par son efficacité prédictive (années 70)

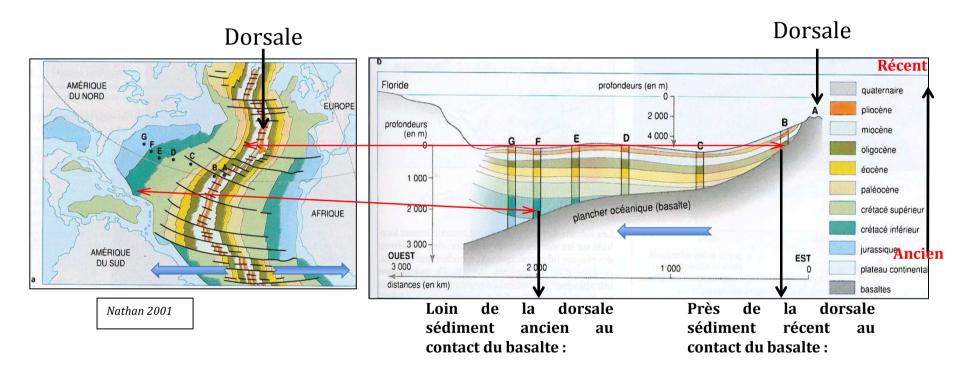
1. Forage et âge des fonds océaniques

Plusieurs campagnes de forages ont permis d'accéder au basalte de la croûte océanique.



La datation des sédiments au contact du basalte a aboutit à la datation de ce dernier.

Le modèle établit à partir des anomalies magnétiques par Vine et Matthews **prévoit** que la croûte océanique est d'autant plus vieille qu'on s'éloigne de la dorsale.



Le programme de forages sous-marins a confirmé cette prédiction : plus on s'éloigne de la dorsale, plus les couches de sédiments **au contact direct** du basalte sont âgées.

Il y a donc bien expansion de l'océan Atlantique.

On peut ainsi mesurer l'écartement des plaques et leur **déplacement relatif** (d'une plaque par rapport à l'autre).

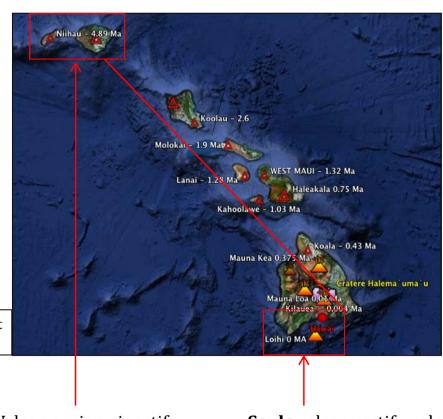
2. Alignement de volcans, données GPS et mobilité lithosphérique.

On observe à différents endroits du globe des alignements volcaniques au sein d'une plaque lithosphérique (et non sur une frontière) où seul le dernier volcan est actif, comme l'archipel d'Hawaï.



Vue satellite de l'archipel d'Hawaï

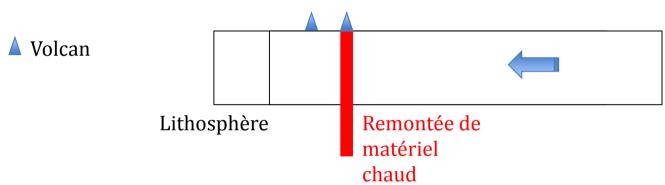
Image Google Earth de l'archipel d'Hawaï et âge des différentes îles

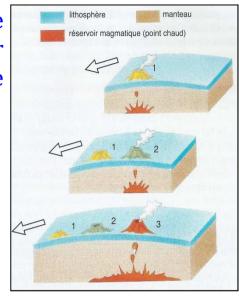


Volcan ancien...inactif

Seuls volcans actif...volcans actuels

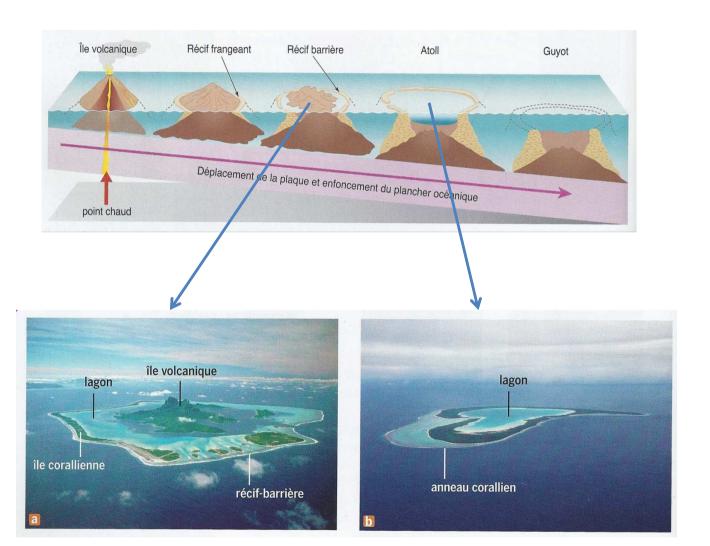
Morgan explique ces alignements par l'existence d'une remontée de matériel chaud à l'intérieur du manteau à partir de laquelle se forme du magma. Ce magma perce la lithosphère de manière épisodique.





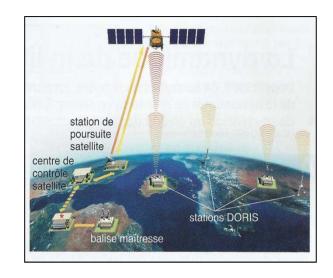
Ces alignements marquent donc le déplacement des plaques lithosphériques au dessus d'un point chaud supposé fixe dans le manteau.

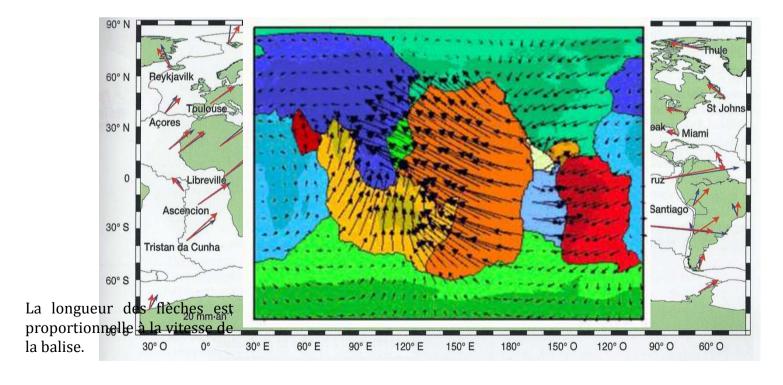
Ces volcans intra-plaques permettent donc de mesurer le déplacement de la plaque lithosphérique en fonction d'un point fixe en profondeur : on parle de **déplacement absolu**.



Grâce aux techniques actuelles de positionnement par satellite (GPS = Global Positioning System), les vitesses de déplacement absolu des plaques sont mesurables en temps réel.

Ces données permettent d'établir un **modèle cinématique global** présenté sur le document cicontre.

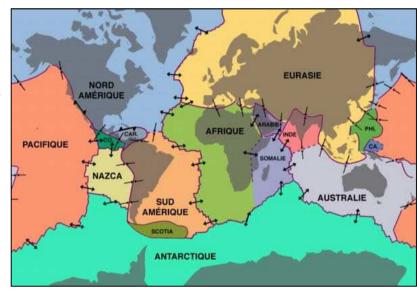




Grâce à ces techniques, on a pu estimer les vitesses des déplacements des plaques : les vitesses relatives estimées par l'étude des anomalies magnétiques et des carottages sédimentaires (à l'échelle du million d'années) concordent avec les vitesses instantanées obtenues par les données GPS. Cette concordance des différentes techniques de mesure permet de conforter la théorie de la tectonique des plaques établie dans les années 60.

Les nombreuses mesures réalisées grâce à ces différentes techniques ont permis de définir précisément les mouvements à chaque frontière de plaques et ainsi de délimiter les plaques avec précision.

Le modèle cinématique actuel comporte 12 plaques majeures (et une quarantaine de plaques mineures).

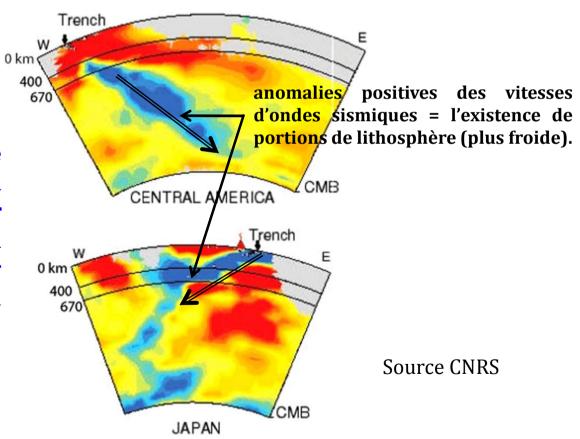


VI. Dynamique et renouvellement de la lithosphère océanique

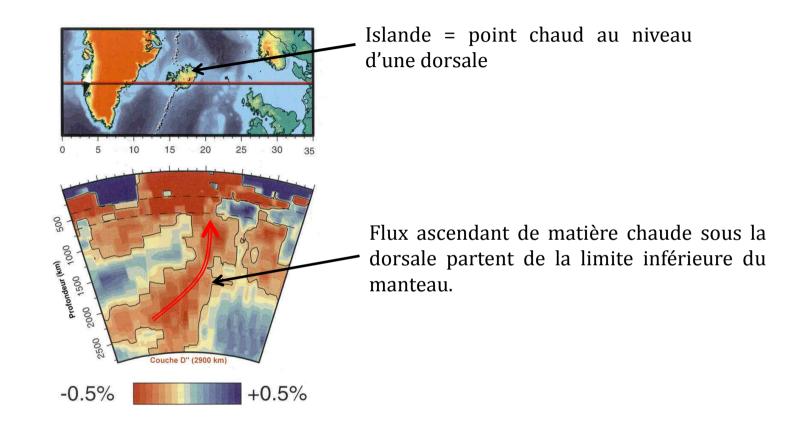
1. La dynamique mantellique, à l'origine de la dynamique lithosphérique

Grace à la **tomographie sismique**, on peut préciser la dynamique mantellique et lithosphérique, en particulier les processus liés à la création et à la disparition de la lithosphère océanique.

Ces portions de lithosphère entrées dans le manteau par subduction vont finir par s'incorporer au manteau au cours de leur réchauffement, et ainsi « disparaître ».



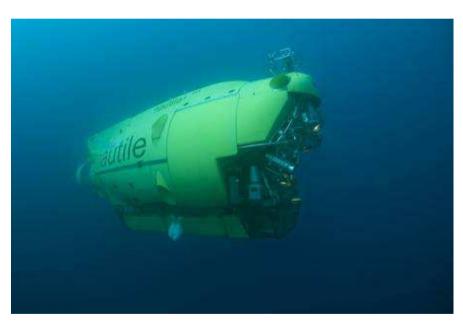
Par ailleurs, la tomographie permet de préciser les caractéristiques des **flux convectifs, moteurs de la divergence** lithosphérique observée en surface.



Ces flux ascendants vont être à l'origine de la création de la nouvelle lithosphère au niveau des dorsales.

La tomographie sismique a donc apporté de nombreuses informations permettant de mieux comprendre la dynamique terrestre.

Mais l'exploration sous-marine a elle aussi beaucoup progressé, avec la possibilité d'explorer les fonds marins dans des submersibles pouvant aller jusqu'à 6000m de profondeur, comme <u>le Nautile</u>.



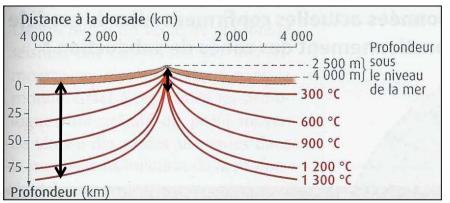


2. Les flux convectifs ascendants, à l'origine de l'accrétion océanique.

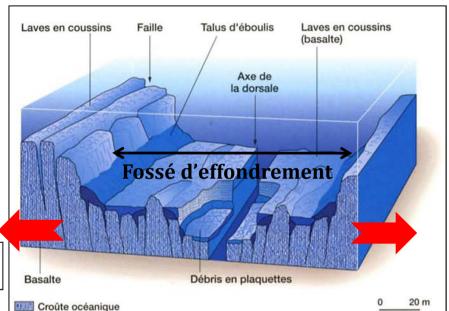
a. Les dorsales, des portions de lithosphère amincie par la divergence.

Les dorsales sont caractérisées par une vallée axiale : un fossé de quelques dizaines de Km de large bordé par des **failles normales**. C'est une zone d'effondrement lié à l'extension.

Bloc diagramme présentant la topographie d'une dorsale D'après Hatier 2001



Répartition des isothermes au niveau d'une dorsale. D'après Belin 2011

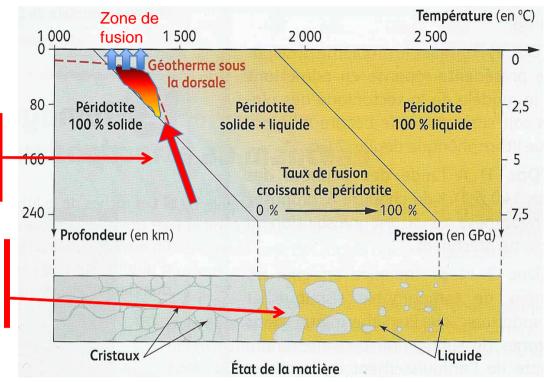


Les études sismiques montrent que **la lithosphère est très amincie** à cet endroit avec un géotherme 1300° C plus proche de la surface.

Les dorsales sont le lieu d'une forte activité volcanique au niveau du rift, ce qui compense son effondrement.

b. Le magmatisme associé aux dorsales

Nous avons vu précédemment que les dorsales surplombent les flux ascendants de chaleur interne. Cette remontée de matériel chaud par convection provoque une décompression presque sans perte de chaleur, et déclenche ainsi une **fusion partielle** de la roche du manteau entre 30 et 80 Km de profondeur.



Le taux de fusion faible (10-15%) permet ainsi la création d'un magma qui est <u>immédiatement évacué vers quelques kilomètres de profondeur,</u> où il commence à se refroidir.

La majorité va se refroidir lentement et produire des gabbros, et une petite quantité va atteindre la surface où le refroidissement très rapide produit des basaltes en filons et en coussins au contact de l'eau. 0 (km) -Basaltes en coussins Basaltes en filons Bouillie cristalline (10-20% de liquide) Gabbros Chambre magmatique Lentille de magma Moho Péridotite Remontée et fusion partielle du manteau asthénosphérique Plancher océanique Schéma fonctionnel d'une dorsale D'après Belin 2011 Présence de roches partiellement fondues

