

# La tectonique des plaques

## L'histoire d'un modèle

# La tectonique des plaques

- Une théorie acceptée en 1967
- Entrée dans les programmes de 1<sup>ère</sup> en 1982
- Une théorie :
  - qui a révolutionné les sciences de la Terre
  - qui a unifié des disciplines distantes

# L'objectif du programme de 1<sup>ère</sup> S

- Le modèle de la tectonique a été abordé au collège
- Comprendre par une démarche historique comment ce modèle a été peu à peu construit
- Comprendre la notion de modèle scientifique
- Construire des notions actualisées sur la structure du globe terrestre pour enrichir le modèle de collège en limitant le côté expositif.
- → Temps préconisé environ 6 à 7 semaines

# Les acquis de 4<sup>ème</sup>

La partie externe de la Terre est formée de plaques lithosphériques rigides reposant sur l'asthénosphère qui l'est moins.

La répartition des séismes et des manifestations volcaniques permet de délimiter une douzaine de plaques.

Les plaques sont mobiles les unes par rapport aux autres et leurs mouvements transforment la surface du globe.

À raison de quelques centimètres par an, les plaques s'écartent et se forment dans l'axe des dorsales.

Elles rapprochent et s'enfouissent au niveau des fosses océaniques.

La collision des continents engendre des déformations et aboutit à la formation de chaînes de montagnes.

Exploiter les résultats des variations de vitesse d'ondes sismiques pour en déduire la limite lithosphère-asthénosphère.

Traduire (en respectant des conventions) sous la forme d'un schéma :

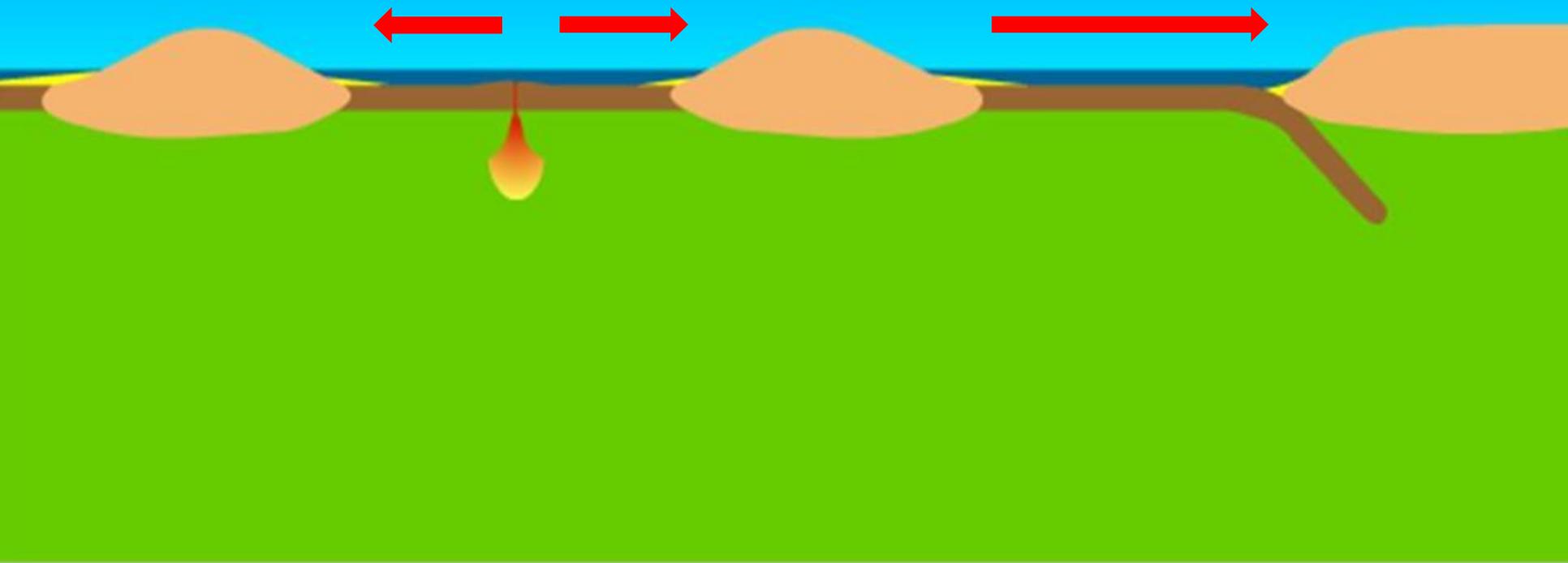
- les mouvements aux limites de plaques ;
- le fonctionnement de la lithosphère.

Situer dans le temps des découvertes scientifiques en exploitant les textes de Wegener.

Observer, recenser et organiser des informations relatives aux mouvements des plaques, aux phénomènes associés et aux déformations.

Présenter ces informations sous une forme appropriée.

Participer à la conception et la mise en œuvre



-  Lithosphère océanique
-  Lithosphère continentale
-  Asthénosphère
-  Sédiments



<http://www.intellego.fr/soutien-scolaire-4eme/aide-scolaire-svt/-tectonique-la-tectonique-des-plaques-niveau-college-avec-l-expansion-la-subduction-et-la-collision/37759>

# Qu'est ce qu'un modèle?

- Il s'agit d'une **construction intellectuelle** hypothétique et modifiable.
- Il a une **valeur prédictive** et c'est souvent l'une de ces prédictions qui conduit à la recherche d'un fait nouveau qui, suivant qu'il est ou non découvert, conduit à étayer ou modifier le modèle.

- La solidité du modèle est peu à peu acquise par **l'accumulation d'observations** en accord avec lui. Les progrès techniques accompagnent le perfectionnement du modèle tout autant que les débats et controverses.
- Un modèle est un outil pour penser.
- C'est une **construction** qui constitue une réponse **provisoire et partielle à un problème** scientifique

- 
- Le modèle permet de représenter et d'expliquer la réalité et d'établir des prévisions
  - Un modèle peut être analogique et prendre la forme de maquettes , de schémas ou de toute autre représentation.

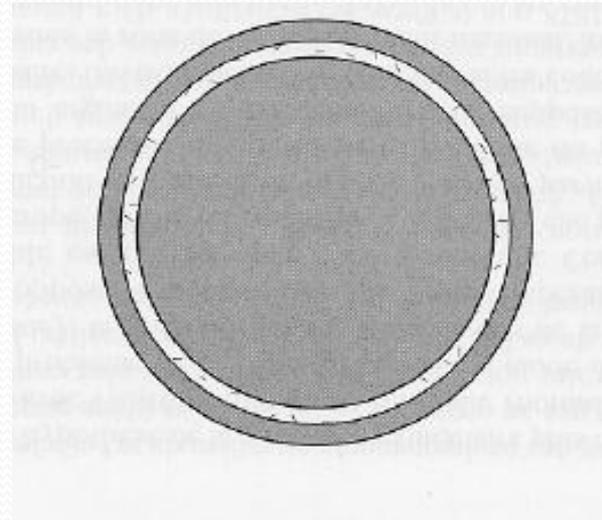
# Une approche didactique possible

- Mise en œuvre d'une évaluation diagnostique
- Partir des acquis et des représentations des élèves concernant le modèle de la tectonique des plaques
- Confronter les propositions
- Élaborer un problème en lien avec la construction progressive du modèle au travers des découvertes scientifiques
- → Il ne s'agit pas de faire un catalogue des découvertes ni une histoire chronologique des découvertes

# Du fixisme à la mobilité

- Avant Wegener, La Terre est fixe, la dualité continent océan s'explique par des effondrements, soulèvements et phénomènes isostatiques.

<http://www.jacquesfortier.com/zweb/jf/terrecreuse/Z/BenoitURGELLITerreCreuseHistorique.html>



Le modèle admis vers  
1880

## La naissance de l'idée

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, les premières idées évoquant la mobilité horizontale s'appuient sur quelques constatations :

- la distribution bimodale des altitudes (continents/océans) ;
- les tracés des côtes ;
- la distribution géographique des paléoclimats et de certains fossiles.

Ces idées se heurtent au constat d'un état solide de la quasi-totalité du globe terrestre établi, à la même époque, par les études sismiques. L'idée de mobilité horizontale est rejetée par l'ensemble de la communauté scientifique.

*[Limites. Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive des précurseurs de la tectonique des plaques, mais simplement de l'occasion de montrer la difficile naissance d'une idée prometteuse.]*

*Convergences. Mathématiques : distributions, fréquences.*

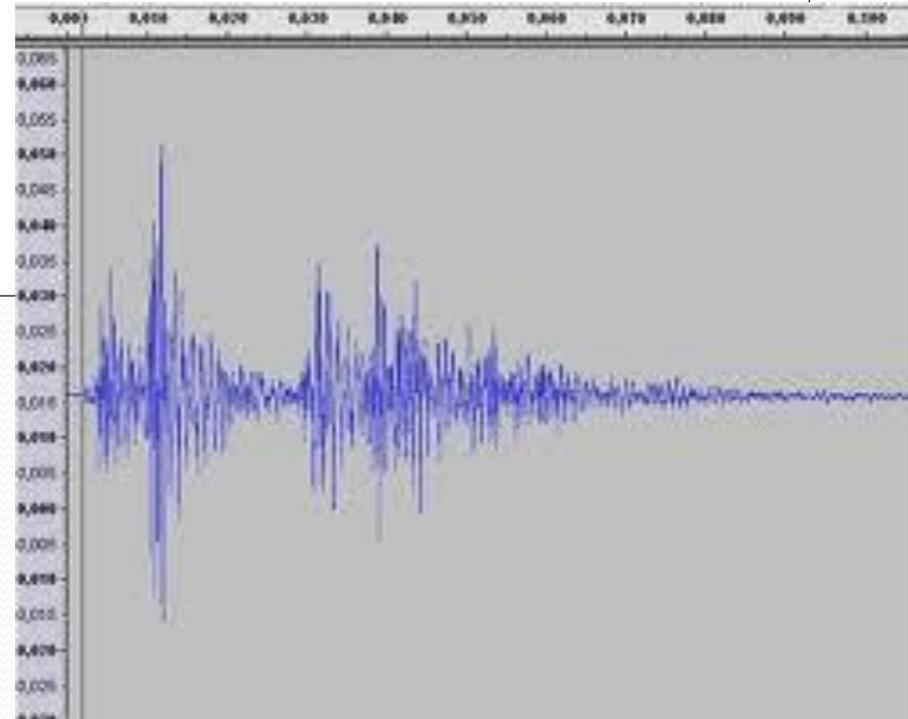
Comprendre les difficultés d'acceptation des premières idées de mobilité.

Réaliser et exploiter des modélisations analogique et numérique pour établir un lien entre propagation des ondes sismiques et structure du globe.

Mesurer des propagation d'ondes dans des matériaux différents en utilisant le logiciel audacity

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/college/coupin/piezo.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=9r7pOgetGsc>

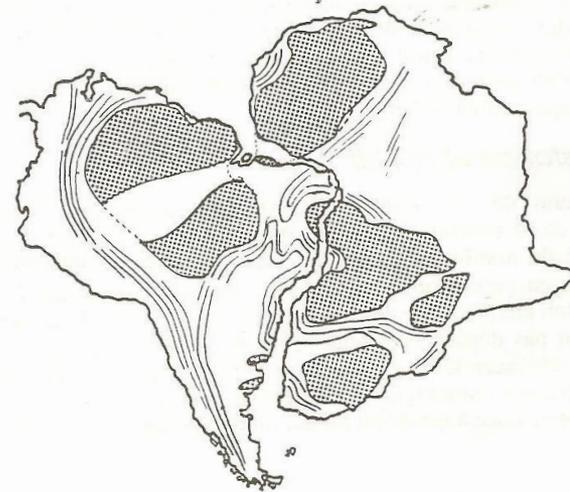


# La dérive des continents: un premier modèle de tectonique

- Une correspondance géométrique des rivages
  - Une correspondance des formations géologiques
  - Une coexistence de fossiles similaires
- 
- Un modèle explicatif des continents ( SIAL) dérivant sur les océans ( SIMA)

fig. 1b).

FIG 1b : Correspondance entre les provinces géologiques de part et d'autre de l'Atlantique-Sud.



- Blocs continentaux précambriens — ou cratons — âgés de plus de 2 milliards d'années.
- Ceintures orogéniques âgées de 650 à 450 millions d'années (Précambrien terminal-Eocambrien).

3. La faune et la flore de l'ère primaire sont identiques en Amérique du sud, Afrique du sud, Inde, Australie. Elles traduisent en outre le même climat et l'existence d'une calotte glaciaire sur ces régions à la fin du Carbonifère (voir fig. 1c).

# Les limites du modèle, les oppositions

- Le globe est totalement solide
  - Le moteur reposant, entre autres, sur les phénomènes de marée est trop faible pour mouvoir des masses continentales aussi importantes
- ➔ On peut donc aboutir à une problématique

# Comment trouver des faits pour étayer le modèle de Wegener ?

- Océans et continents n'ont pas la même composition pétrologique
- Il existe des structures géologiques coïncidant avec des zones d'extension et de convergence.
- Il existe des couches géologiques plus visqueuses permettant un déplacement horizontal
- Il existe des plaques se déplaçant les unes par rapport aux autres

# Océans et continents n'ont pas la même composition pétrologique

## L'interprétation actuelle des différences d'altitude moyennes entre les continents et les océans

La différence d'altitude observée entre continents et océans reflète un contraste géologique. Les études sismiques et pétrographiques permettent de caractériser et de limiter deux grands types de croûtes terrestres : une croûte océanique essentiellement formée de basalte et de gabbro et une croûte continentale constituée entre autres de granite. La croûte repose sur le manteau, constitué de péridotite.

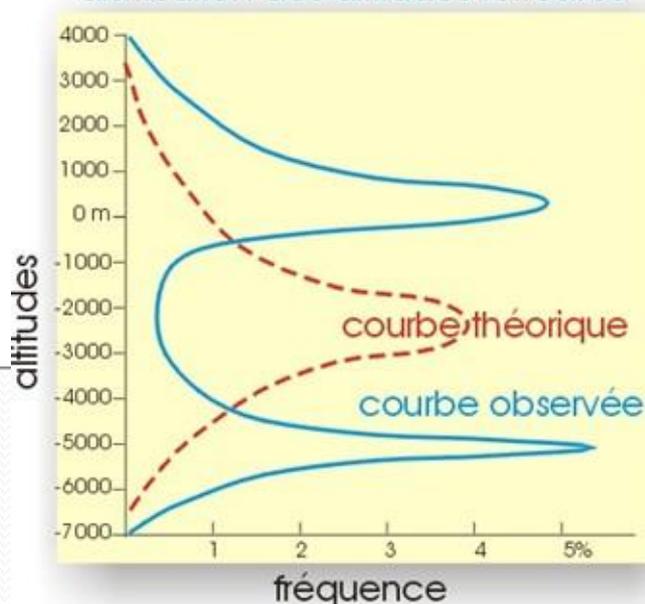
*Objectifs et mots clés. La découverte des deux lithosphères est l'occasion de fournir aux élèves les données fondamentales sur les principales roches rencontrées (basalte, gabbro, granite, péridotite). (Collège et seconde. Première approche de la croûte et de la lithosphère.)*

*[Limites. L'étude pétrographique se limite à la présentation des principales caractéristiques des quatre roches citées. Bien que l'observation de lames minces soit recommandée, il n'est pas attendu de faire mémoriser par les élèves les critères d'identification microscopique des minéraux].*

*Convergences. Physique : ondes mécaniques.*

Concevoir une modélisation analogique et réaliser des mesures à l'aide de dispositifs d'expérimentation assistée par ordinateur de propagation d'ondes à travers des matériaux de nature pétrographique différente. Observer à différentes échelles, de l'échantillon macroscopique à la lame mince, les roches des croûtes océanique et continentale et du manteau. Comprendre comment des observations fondées sur des techniques nouvelles ont permis de dépasser les obstacles du bon sens apparent.

distribution des altitudes terrestres

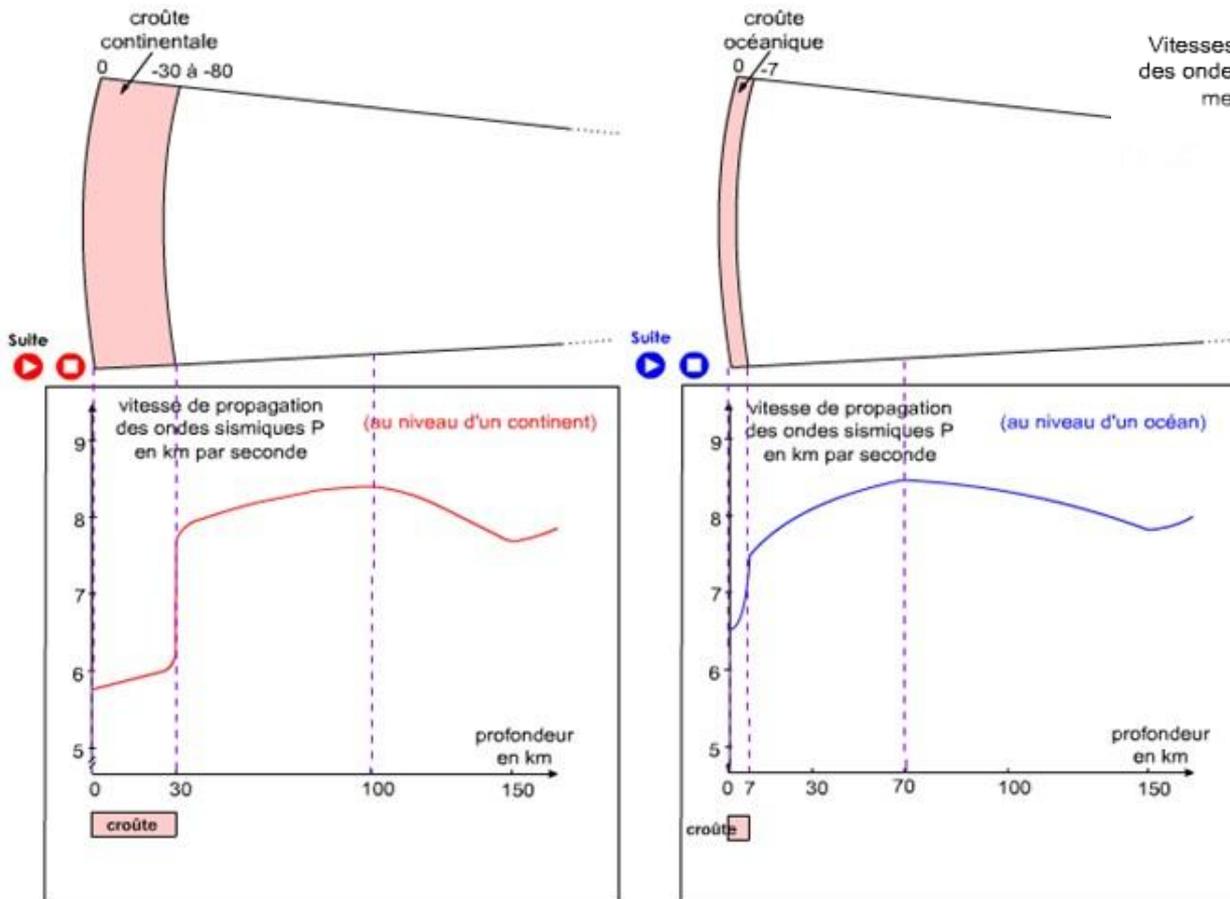


Utiliser une modélisation des ondes sismiques

[http://www2.ulg.ac.be/geolsed/geol\\_gen/geol\\_gen.htm](http://www2.ulg.ac.be/geolsed/geol_gen/geol_gen.htm)

# Océans et continents n'ont pas la même composition pétrologique

- Les données sismiques: <http://www.biologieenflash.net/sommaire.html>



Vitesses moyennes de propagation des ondes P dans différentes roches, mesurées en laboratoire.

Matériaux	V (en km/s)
Granites	5,9 à 6,3
Basaltes	6,5 à 7,6
Péridotites	7,9 à 8,4

## L'interprétation actuelle des différences d'altitude moyennes entre les continents et les océans

La différence d'altitude observée entre continents et océans reflète un contraste géologique. Les études sismiques et pétrographiques permettent de caractériser et de limiter deux grands types de croûtes terrestres : une croûte océanique essentiellement formée de basalte et de gabbro et une croûte continentale constituée entre autres de granite. La croûte repose sur le manteau, constitué de péridotite.

*Objectifs et mots clés. La découverte des deux lithosphères est l'occasion de fournir aux élèves les données fondamentales sur les principales roches rencontrées (basalte, gabbro, granite, péridotite). (Collège et seconde. Première approche de la croûte et de la lithosphère.)*

*[Limites. L'étude pétrographique se limite à la présentation des principales caractéristiques des quatre roches citées. Bien que l'observation de lames minces soit recommandée, il n'est pas attendu de faire mémoriser par les élèves les critères d'identification microscopique des minéraux].*

*Convergences. Physique : ondes mécaniques.*

Concevoir une modélisation analogique et réaliser des mesures à l'aide de dispositifs d'expérimentation assistée par ordinateur de propagation d'ondes à travers des matériaux de nature pétrographique différente.

Observer à différentes échelles, de l'échantillon macroscopique à la lame mince, les roches des croûtes océanique et continentale et du manteau.

Comprendre comment des observations fondées sur des techniques nouvelles ont permis de dépasser les obstacles du bon sens apparent.

Utiliser une modélisation des ondes sismiques

Observer des roches des croûtes et du manteau

- Les roches des continents et des océans, la croûte est formée de basalte ou de granite reposant sur un manteau de péridotite
  - Activités: Observation de roches de basalte, gabbro, péridotite, granite sous formes d'échantillons et de lames minces au microscope polarisant afin de montrer les différences entre les deux lithosphères.

# Il existe des structures géologiques coïncidant avec des zones d'extension

## L'hypothèse d'une expansion océanique et sa confrontation à des constats nouveaux

Au début des années 1960, les découvertes de la topographie océanique et des variations du flux thermique permettent d'imaginer une expansion océanique par accréation de matériau remontant à l'axe des dorsales, conséquence d'une convection profonde. La mise en évidence de bandes d'anomalies magnétiques symétriques par rapport à l'axe des dorsales océaniques, corrélables avec les phénomènes d'inversion des pôles magnétiques (connus depuis le début du siècle), permet d'éprouver cette hypothèse et de calculer des vitesses d'expansion.

*Objectifs et mots clés. Cette étude est l'occasion de fournir aux élèves les données fondamentales sur le magnétisme des roches (magnétite, point de Curie). [Limites. Un élève doit situer cet épisode de l'histoire des sciences dans les années 1960. La mémorisation des dates précises et des auteurs n'est pas attendue.]*  
*Convergences. Physique : magnétisme.*  
*Pistes. Les variations du champ magnétique terrestre ; les inversions magnétiques.*

Comprendre comment la convergence des observations océanographiques avec les mesures de flux thermique a permis d'avancer l'hypothèse d'une expansion océanique réactualisant l'idée d'une dérive des continents.

Comprendre comment la corrélation entre les anomalies magnétiques découvertes sur le plancher océanique et la connaissance plus ancienne de l'existence d'inversion des pôles magnétiques confirma l'hypothèse de l'expansion océanique.

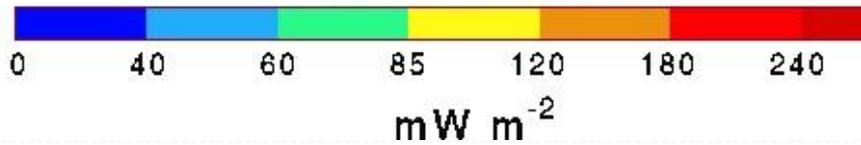
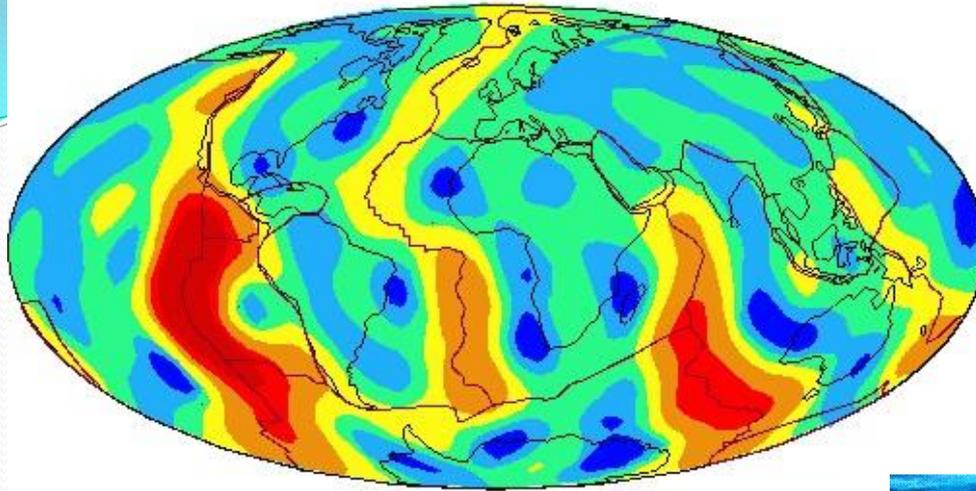
Calculer des taux d'expansion.

- Un travail en deux groupes
- Ou une partie traitée en courset l'autre en TP

Cours

TP

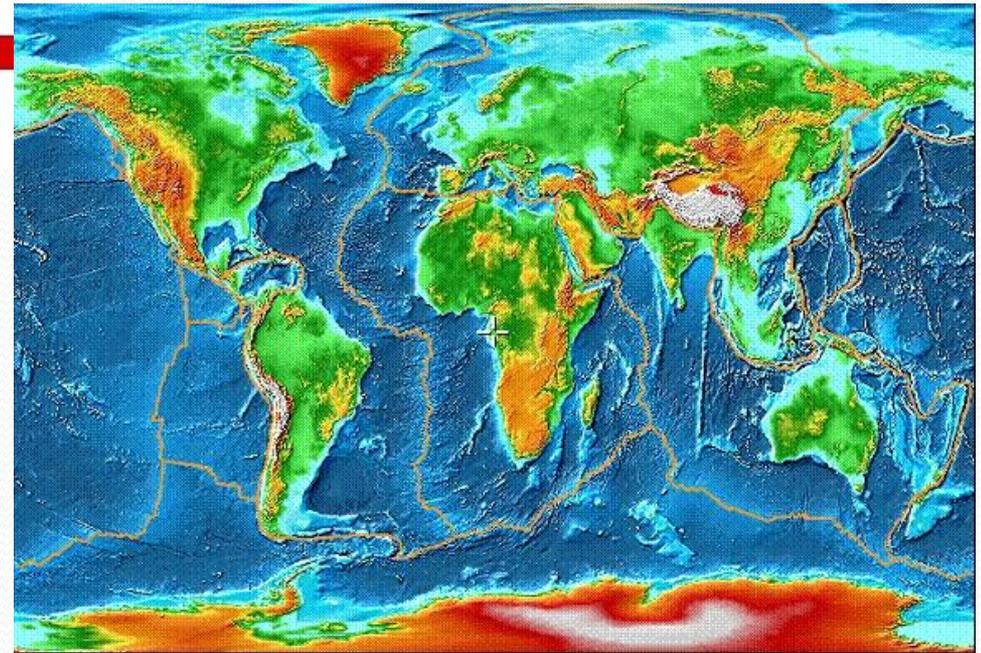
## Heat Flow



<http://www.ipgp.fr/pages/060204.php>

Les techniques apportées  
suite à la seconde guerre  
mondiale

# Groupe 1 ou Cours



D'après le logiciel sismolog

FIG 10 : Carte des anomalies magnétiques ou "Peau de Zèbre"



FIG 18 : Schéma de la dorsale médio-atlantique précisant les caractères d'une dorsale et la situation d'une faille transformante

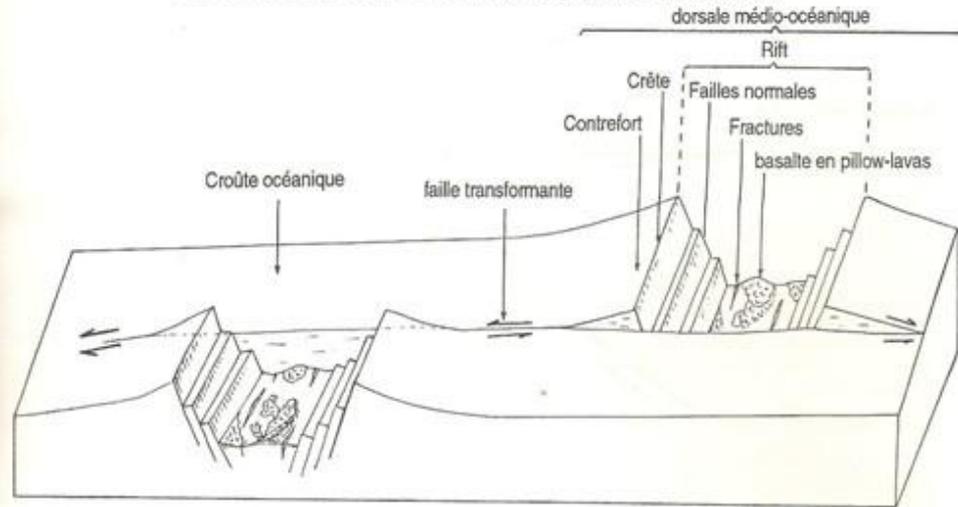
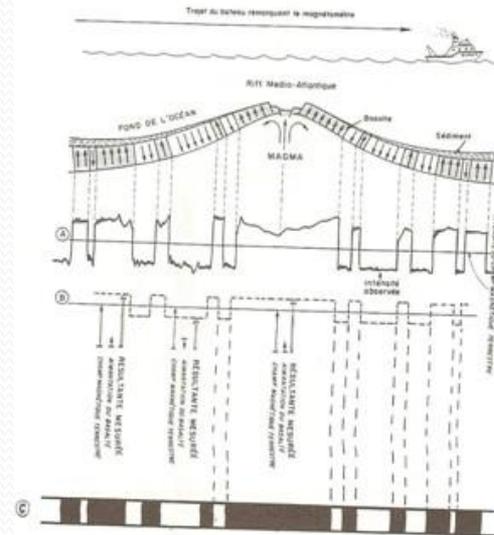


FIG 9 : Enregistrement du champ magnétique terrestre et découverte des anomalies magnétiques. D'après Pomerol et Renard



A/ Courbe obtenue par le magnétomètre.  
 B/ Interprétation de la courbe: l'intensité mesurée est la résultante de l'intensité du champ terrestre global et de celle du champ lié à l'aimantation du basalte des fonds océaniques.  
 C/ Principe d'établissement d'un profil magnétique à travers l'océan. (Comparer à la coupe proposée ci-dessus).

Structure et évolution du Globe terrestre  
 , Paul Nougier, Edition Ellipses

# Groupe 2 ou TP

# Il existe des structures géologiques coïncidant avec des zones d'extension

Un site incontournable: <http://acces.inrp.fr/eduterre-usages/programmes/svt>

• Niveau Première S :

Programmes officiels : B.O spécial n°9 du 30 septembre 2010

Thèmes - Notions du programme	Ressources proposées dans ce site
<p><b>Thème 1 - La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : La tectonique des plaques, l'histoire d'un modèle</b></p> <p><b>- L'hypothèse d'une expansion océanique et sa confrontation à des constats nouveaux -</b></p> <p>Au début des années 1960, les découvertes de la topographie océanique et des variations du flux thermique permettent d'imaginer une expansion océanique par accrétion de matériau remontant à l'axe des dorsales, conséquence d'une convection profonde.</p> <p>La mise en évidence de bandes d'anomalies magnétiques symétrique par rapport à l'axe des dorsales océaniques, corrélables avec les phénomènes d'inversion des pôles magnétiques (connus depuis le début du siècle), permet d'éprouver cette hypothèse et de calculer des vitesses d'expansion.</p>	<p>• Le paléomagnétisme et la dérive des plaques lithosphériques.</p>
<p><b>- Le concept de lithosphère et d'asthénosphère -</b></p> <p>Au voisinage des fosses océaniques, la distribution spatiale des foyers des séismes en fonction de leur profondeur s'établit selon un plan incliné. [...]</p> <p>L'interprétation de ces données sismiques permet ainsi de montrer que la lithosphère s'enfonce dans le manteau au niveau des fosses dites de subduction.</p>	<p>Convergence et zones de subduction</p> <ul style="list-style-type: none"><li>→ "Une zone de subduction : le Japon"</li><li>→ "Subduction"</li><li>→ "Une zone de subduction : Vanuatu"</li></ul>
<p><b>- Un premier modèle global : une lithosphère découpée en plaques rigides -</b></p> <p>A la fin des années soixante, la géométrie des failles transformantes océaniques permet de proposer un modèle en plaques rigides. Des travaux complémentaires parachèvent l'établissement de la théorie de la tectonique des plaques en montrant que les mouvements divergents (dorsales), décrochants (failles transformantes) et convergents (zones de subduction) sont cohérents avec ce modèle géométrique.</p>	<p>• Géologie globale (fichier kmz)</p> <p>Convergence et zones de subduction</p> <ul style="list-style-type: none"><li>→ "Une zone de subduction : le Japon"</li><li>→ "Subduction"</li><li>→ "Une zone de subduction : Vanuatu"</li></ul> <p><b>Divergences</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>→ "Divergence des plaques lithosphériques au niveau des dorsales"</li><li>→ "L'Islande, une dorsale émergée et un point chaud"</li></ul>

# Il existe des couches géologiques plus visqueuses permettant un déplacement horizontal

## Le concept de lithosphère et d'asthénosphère

Au voisinage des fosses océaniques, la distribution spatiale des foyers des séismes en fonction de leur profondeur s'établit selon un plan incliné.

Les différences de vitesse des ondes sismiques qui se propagent le long de ce plan, par rapport à celles qui s'en écartent, permettent de distinguer : la lithosphère de l'asthénosphère.

L'interprétation de ces données sismiques permet ainsi de montrer que la lithosphère s'enfonce dans le manteau au niveau des fosses dites de subduction.

La limite inférieure de la lithosphère correspond généralement à l'isotherme 1300° C.

*Objectifs et mots clés. Distinction claire des notions de : lithosphère, asthénosphère, croûte, manteau, subduction.*

*(Collège : lithosphère-asthénosphère)*

*[Limites. On se contente de présenter la notion de subduction. Le mécanisme et les conséquences géologiques de ce phénomène seront abordés en terminale.]*

Saisir et exploiter des données sur des logiciels pour mettre en évidence la répartition des foyers des séismes au voisinage des fosses océaniques.

Comprendre comment l'interprétation de la distribution particulière des foyers des séismes permet :

- de définir la lithosphère par rapport à l'asthénosphère;
  - de confirmer, dans le cadre du modèle en construction, que la lithosphère océanique retourne dans le manteau.
- Concevoir une modélisation analogique et réaliser des mesures à l'aide de dispositifs d'expérimentation assistée par ordinateur de propagation d'ondes à travers un même matériau mais à des températures différentes pour comprendre la différence entre lithosphère et asthénosphère.

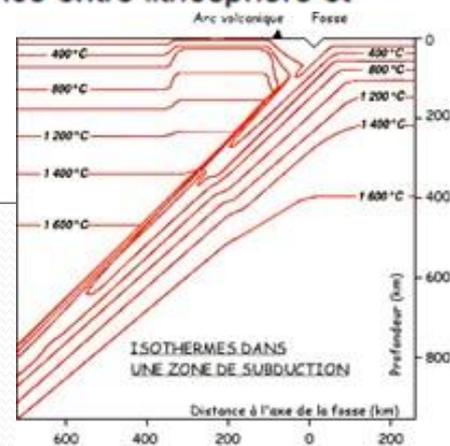
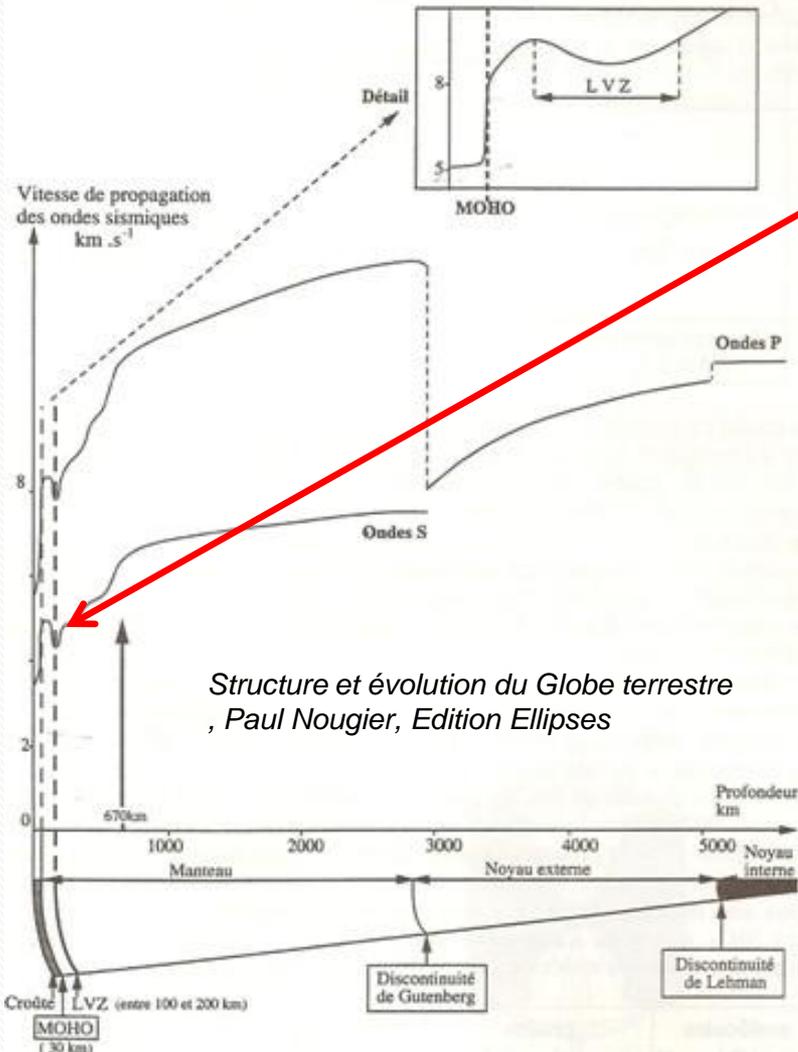
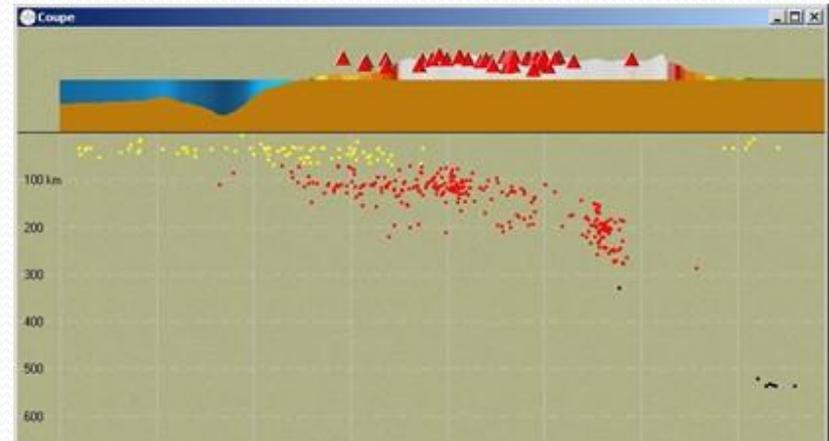


FIG 15 : Variation de vitesse des ondes P et S dans le globe



# Une zone de manteau anormale = la LVZ



D'après le logiciel sismolog

Une répartition des foyers sismiques  
Des vitesses variables de propagation des ondes selon les matériaux traversés

# Il existe des plaques se déplaçant les unes par rapport aux autres

de ce premier cours de géologie en tectonique.

## Un premier modèle global : une lithosphère découpée en plaques rigides

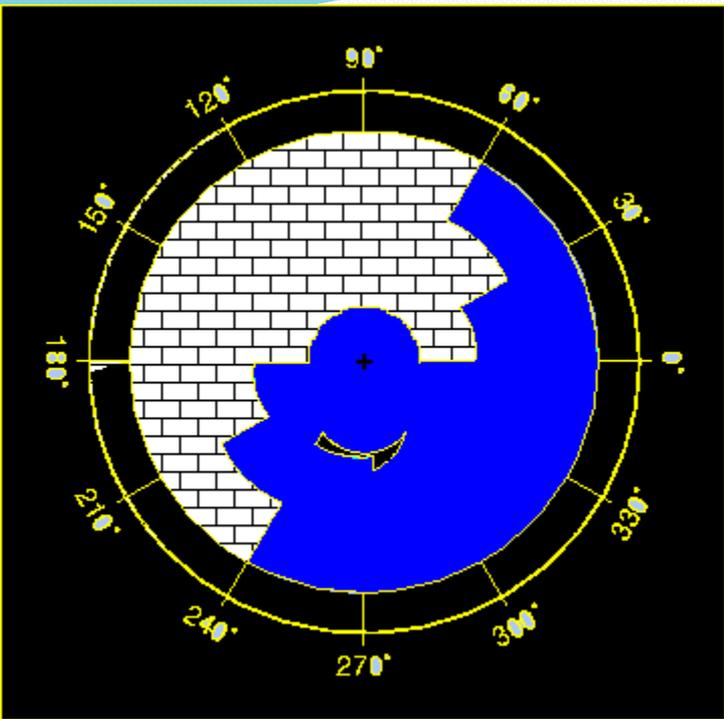
À la fin des années soixante, la géométrie des failles transformantes océaniques permet de proposer un modèle en plaques rigides. Des travaux complémentaires parachèvent l'établissement de la théorie de la tectonique des plaques en montrant que les mouvements divergents (dorsales), décrochants (failles transformantes) et convergents (zones de subduction) sont cohérents avec ce modèle géométrique. Des alignements volcaniques, situés en domaine océanique ou continental, dont la position ne correspond pas à des frontières de plaques, sont la trace du déplacement de plaques lithosphériques au dessus d'un point chaud fixe, en première approximation, dans le manteau.

*(Collège : plaques lithosphériques)  
[Limites. La formalisation mathématique de la cinématique des plaques n'est pas attendue.]*

Réaliser une manipulation analogique simple, ou utiliser un logiciel de simulation, pour comprendre que les mouvements des plaques sont des rotations de pièces rigides se déplaçant sur une sphère.

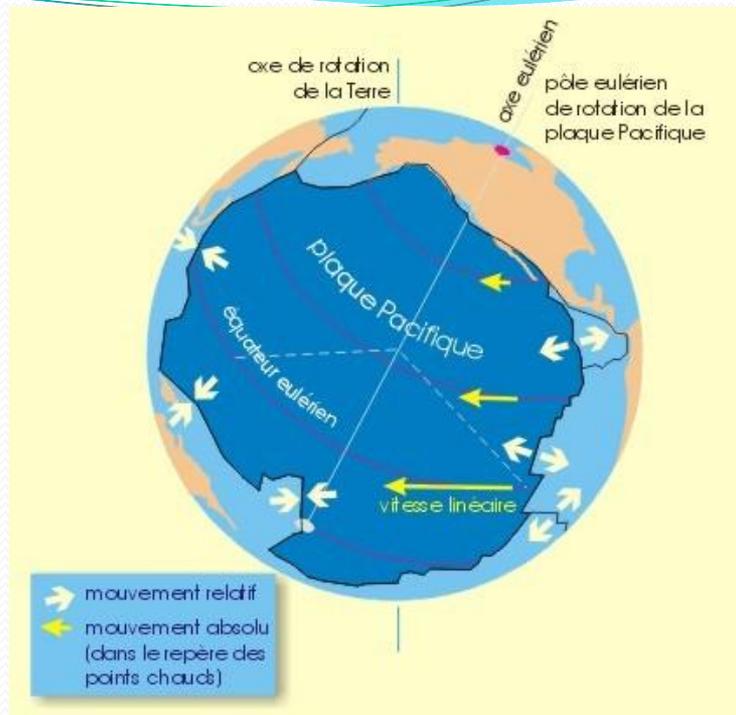
Comprendre comment désormais des faits ne s'intégrant pas a priori avec le modèle initial (volcanisme intraplaque) permettent un enrichissement du modèle (théorie des points chauds) et non son rejet.

Corréler les directions et les vitesses de déplacements des plaques tirées des données paléomagnétiques avec celles déduites de l'orientation et des âges des alignements volcaniques intraplaques.



Le mouvement des plaques sur le globe peut être décrit comme une suite de rotations autour d'un ou de plusieurs axes eulériens (axes passant par le centre de la Terre).

[http://www2.ulg.ac.be/geolsed/geol\\_gen/geol\\_gen.htm](http://www2.ulg.ac.be/geolsed/geol_gen/geol_gen.htm)



Activité consistant à positionner du papier calque sur un globe comportant un fond océanique pour pointer la forme concentrique des failles transformantes d'une plaque

<http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/Demos/BRICK/brick.html>

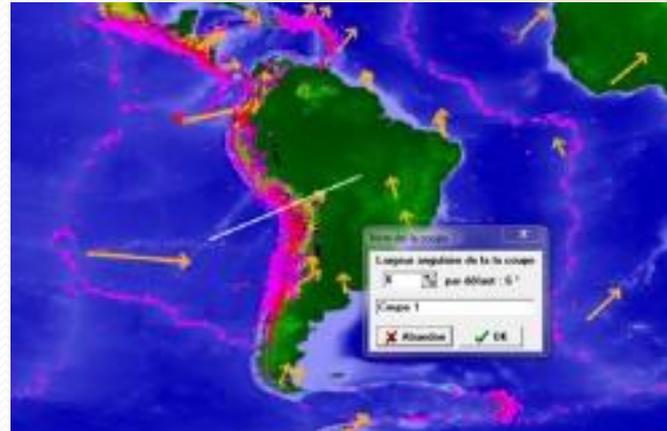
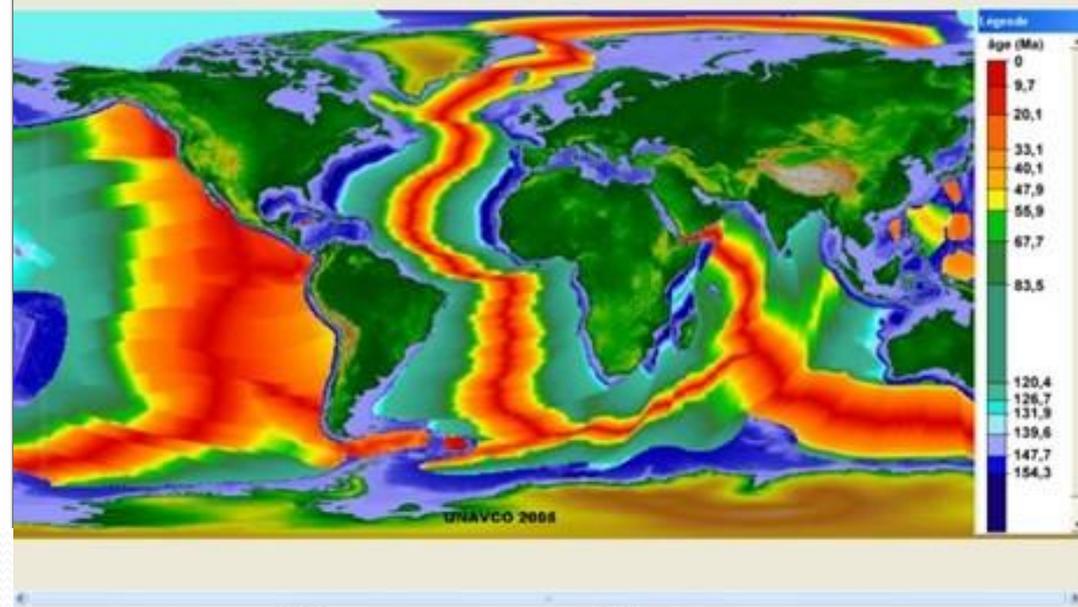
## Le renforcement du modèle par son efficacité prédictive

Le modèle prévoit que la croûte océanique est d'autant plus vieille qu'on s'éloigne de la dorsale. Les âges des sédiments en contact avec le plancher océanique (programme de forage sous-marins JOIDES) confirment cette prédiction et les vitesses prévues par le modèle de la tectonique des plaques.

Le modèle prévoit des vitesses de déplacements des plaques (d'après le paléomagnétisme et les alignements de volcans intraplaques). Avec l'utilisation des techniques de positionnement par satellites (GPS), à la fin du XXème siècle, les mouvements des plaques deviennent directement observables et leurs vitesses sont confirmées.

*[Limites. L'étude des forages marins se limite à l'interprétation du premier sédiment au contact de la croûte magmatique. L'interprétation des inversions magnétiques enregistrées dans les sédiments des carottes de forage n'est pas au programme.]*  
*Pistes. Les systèmes de positionnement satellitaire (physique, mathématiques).*

- Saisir et exploiter des informations sur cartes.
- Concevoir, réaliser et exploiter un modèle analogique.
- Réaliser des mesures sur le terrain pour comprendre le principe du GPS.
- Saisir et exploiter des données sur des logiciels.



Logiciel  
Tectoglobe

# L'évolution du modèle : le renouvellement de la lithosphère océanique

En permanence, de la lithosphère océanique est détruite dans les zones de subduction et produite dans les dorsales.

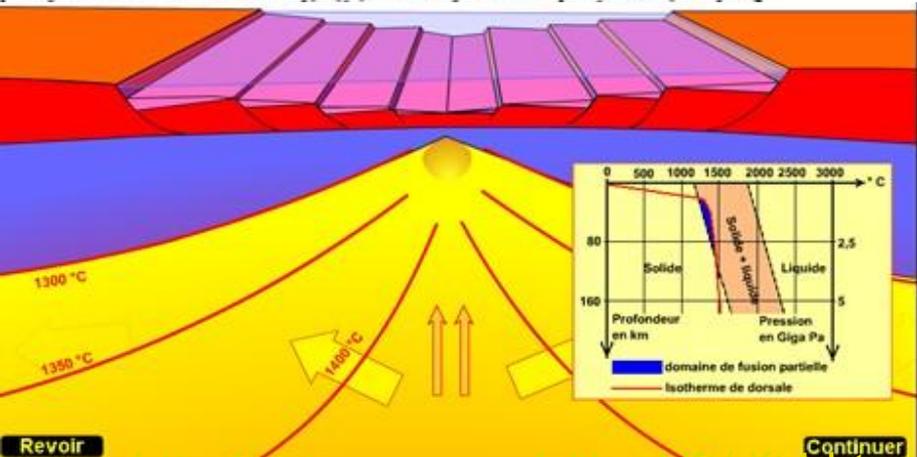
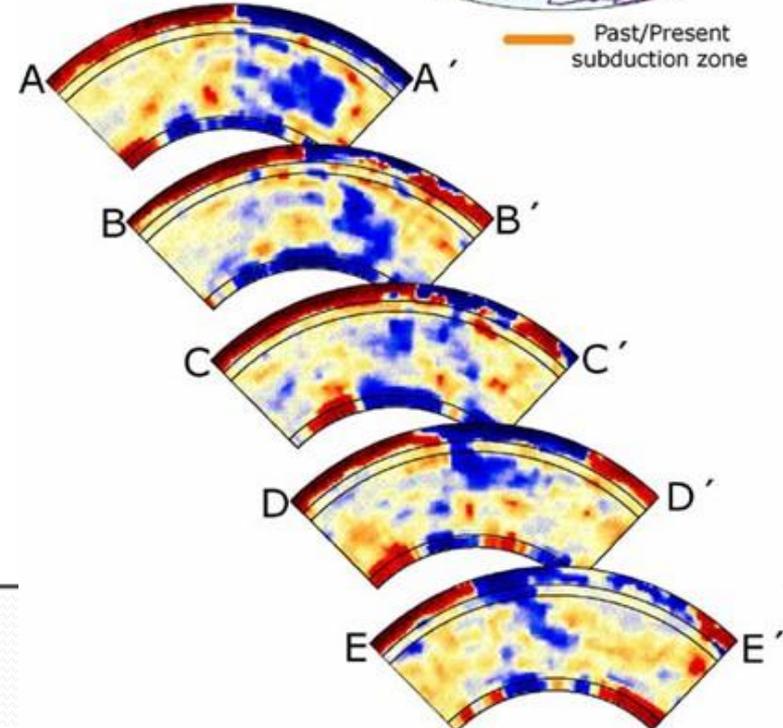
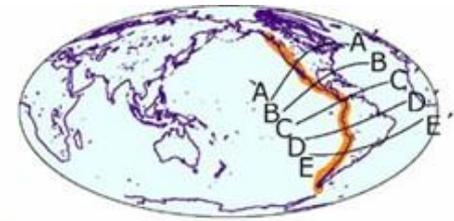
La divergence des plaques de part et d'autre de la dorsale permet la mise en place d'une lithosphère nouvelle à partir de matériaux d'origine mantélique. Dans les zones de subduction, les matériaux de la vieille lithosphère océanique s'incorporent au manteau. Objectifs et mots clés. Il s'agit de construire une représentation graphique synthétique du modèle global et de fournir aux élèves les données essentielles sur le fonctionnement d'une dorsale type.

(Collège : volcanisme)

[Limites. La subduction est localisée et simplement présentée comme un lieu de destruction de lithosphère océanique, les phénomènes géologiques associés seront traités en terminale. On se limite à l'étude d'une dorsale siège de la production d'une lithosphère océanique complète : les différents types de dorsales ne sont pas au programme. Le moteur de la tectonique des

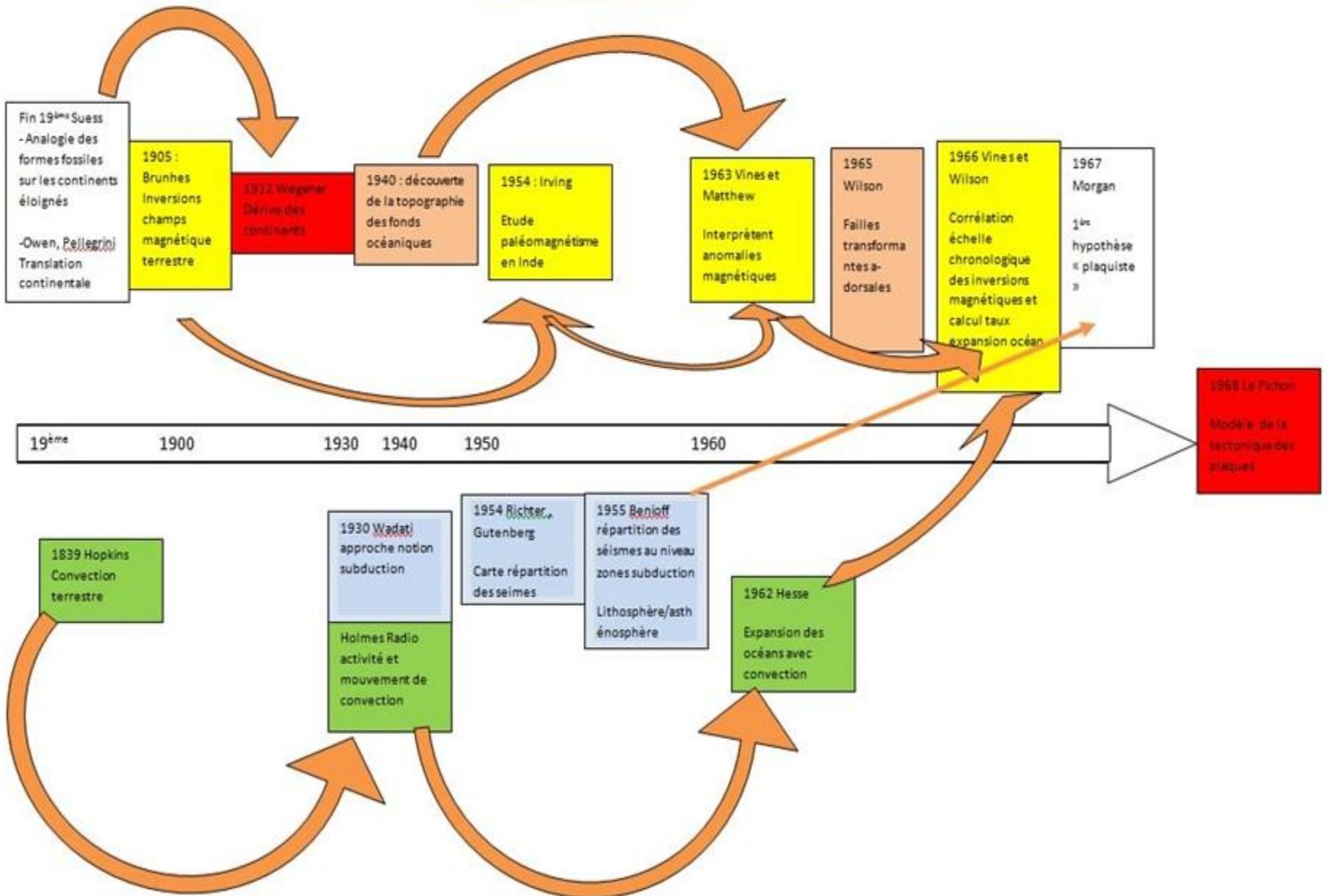
Recenser, extraire et organiser des informations sur des images satellitales et de tomographie sismique.

Réaliser des modélisations analogiques et numériques pour établir les liens entre amincissement de la lithosphère, remontée, dépressurisation et fusion partielle de l'asthénosphère sous-jacente et formation d'une nouvelle lithosphère.

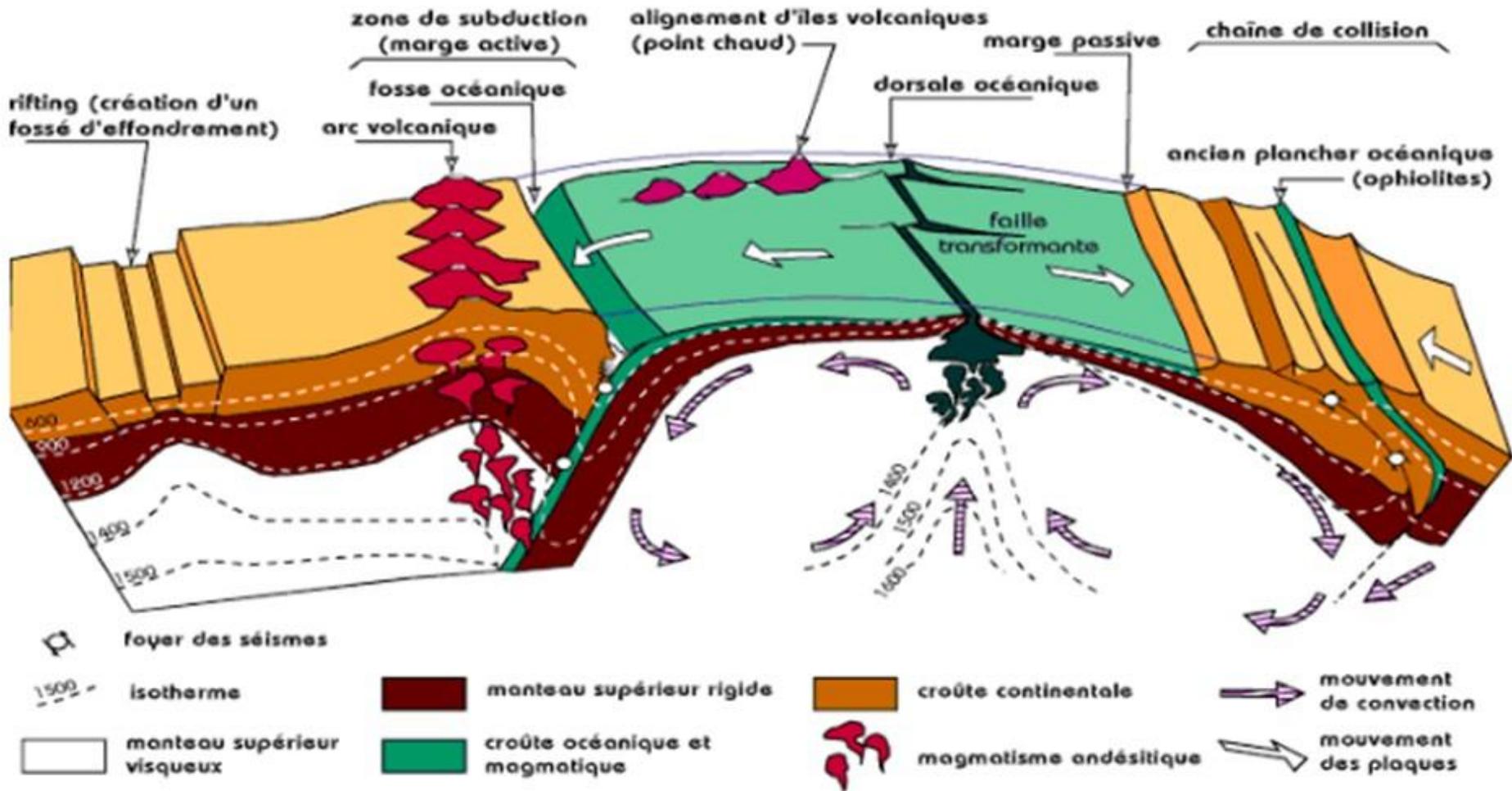


[http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01\\_decouvrir/02\\_subduction/04\\_subduction\\_plaques/01\\_terrain/img/graphiques/02a/12b.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/02_subduction/04_subduction_plaques/01_terrain/img/graphiques/02a/12b.htm)

## LA MARCHÉ DES IDEES



# Vers un modèle niveau lycée



# Quelques sources

- **Modélisation et simulation:** quelques aspects des relations entre l'idée et le réel

<http://www2.cndp.fr/lesScripts/bandeau/bandeau.asp?bas=http://www2.cndp.fr/DOSSIERSIE/40/som40.asp>

- Histoire de la tectonique - Gabriel Gohau - Vuibert Adapt -Snes
- **DU FIXISME À LA TECTONIQUE DES PLAQUES. ET POURTANT, ELLES BOUGENT...**Alain Monchamp Marie Sauvageot Skibine

<http://www.inrp.fr/publications/edition-electronique/aster/RAo2o.pdf>

Le site acces inrp :

<http://acces.inrp.fr/eduterre-usages/programmes/svt>