

L'adoption d'une théorie
scientifique:
la tectonique des plaques,
l'effet de serre

Xavier Le Pichon

Collège de France

Références :

Plate Tectonics, An Insider's History of the Modern Theory of the Earth, Naomi Oreskes, editor, Westview Press, Boulder, Colorado, 2001.

The Earth, its origin, history and physical constitution, Sir Harold Jeffreys, Cambridge University Press, 4th edition, 1962

The structure of scientific revolution, Thomas Kuhn, University of Chicago Press, 1970

Est-ce une révolte ?

**Sire, ce n'est pas une révolte,
c'est une révolution**

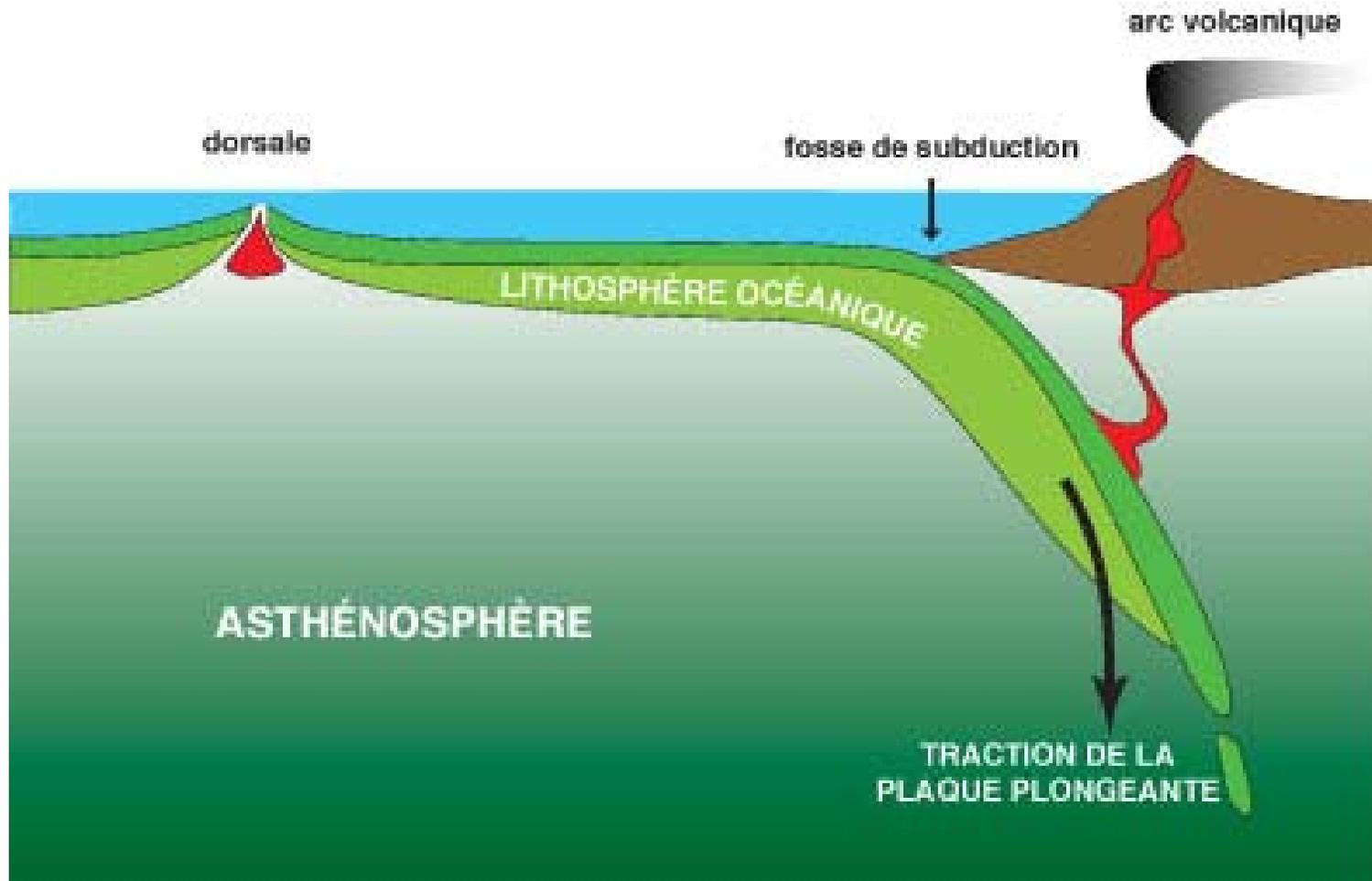
La Rochefoucauld □ Louis XVI après la prise de la Bastille

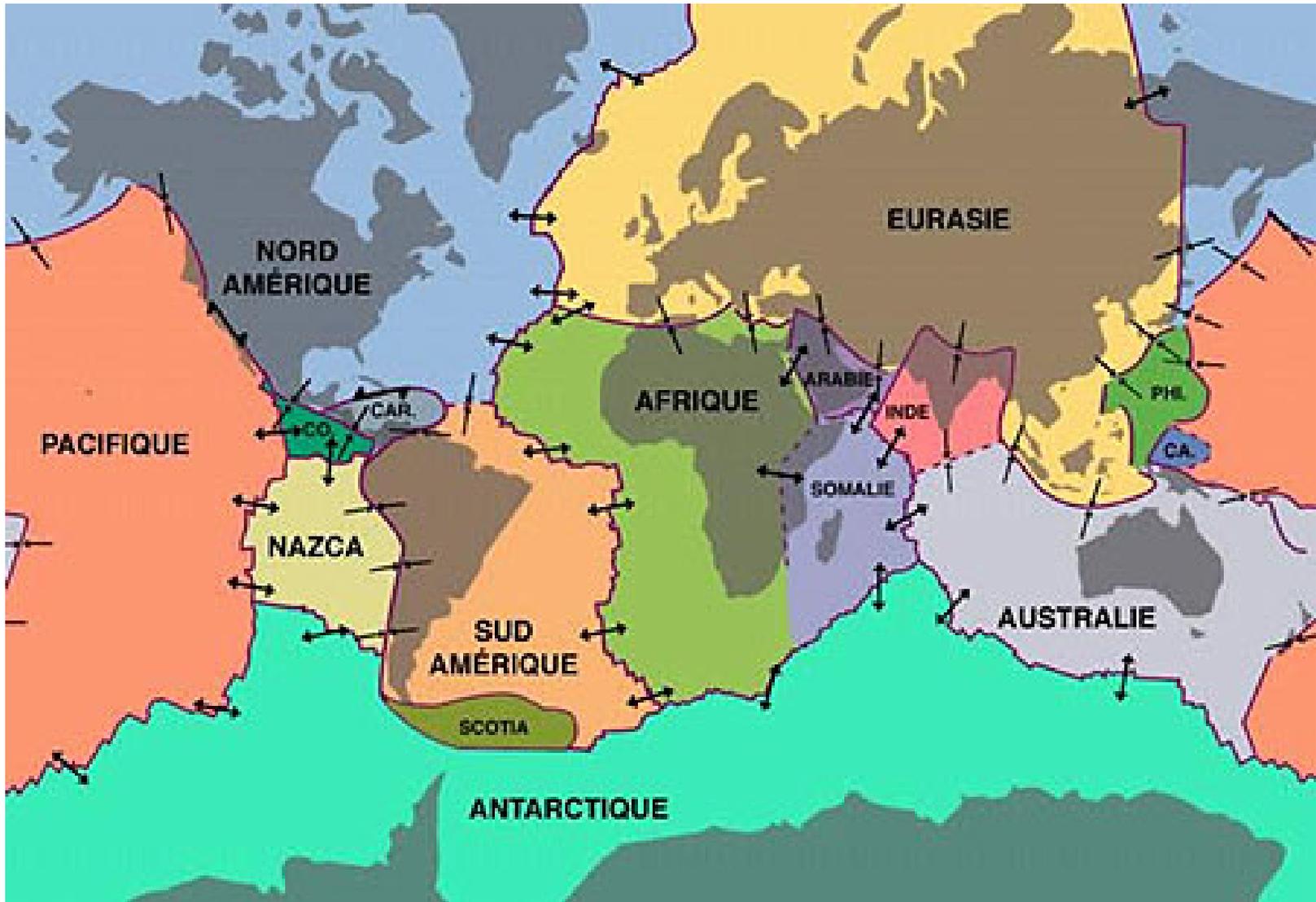
**Comment distinguer le moment où l'on passe
de la révolte □ la révolution ?**

**Dans le cas d'une révolution, le modèle s'impose avec une
très grande rapidité lorsque le pouvoir explicatif et
prédictif du nouveau paradigme est supérieur □ celui de
l'ancien pour l'ensemble des faits observés par les
chercheurs.**

**La tectonique des plaques, un modèle
quantitatif, interdisciplinaire, d'évolution
globale de la Terre,
venu de l'exploration de l'océan global.**

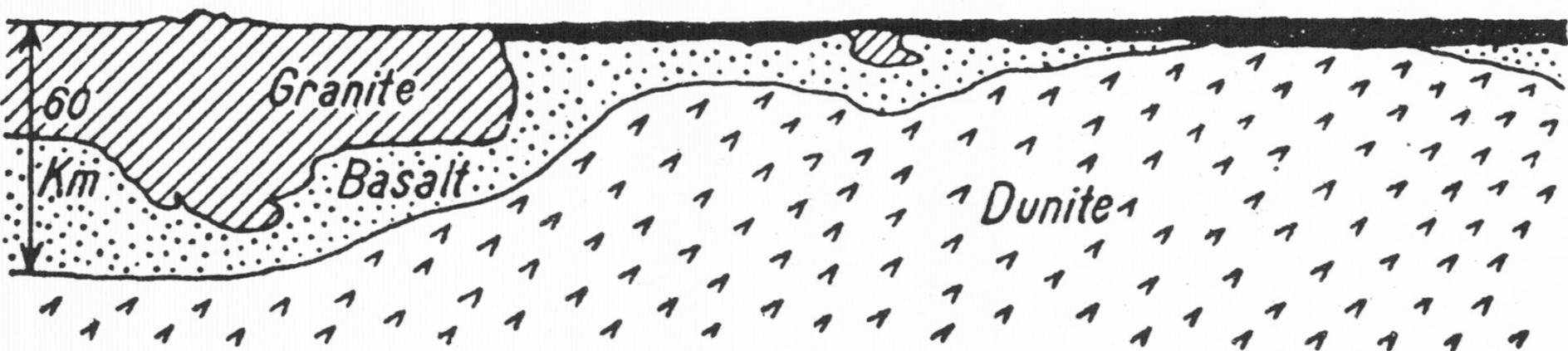
1960 : Harry Hess propose le modèle du Sea Floor Spreading qu'il présente modestement comme un essai en géopoésie. Les continents sont "gelés" dans le manteau sous-jacent.





Il n'y a pas eu de révolution de
la dérive des continents.
Pourquoi?

Le modèle de Wegener est celui d'un continent glissant sur le manteau ductile



D'après Wegener (1929)

Les raisons du rejet par Jeffreys de la Dérive des continents

« Continental drift is quantitatively insufficient and qualitatively unapplicable. It is an explanation which explains nothing which we wish to explain. »

« The evidence for it is mainly paleontological. »

« Wegener assumes a finite viscosity for the sima below the continents at a high temperature and, light-heartedly, did the same for it on the ocean floor at about 0°C. But the ocean floor shows irregularities of level of the same magnitude as those within the continents, and must have a comparable strength to prevent them from flattening out. »

« I must reject the whole attitude that maintains that any type of scientific evidence can by itself be so completely demonstrative as to require rejection of any evidence that appears to conflict with it. If evidence is conflicting, the scientific attitude is to look for a new idea that may reconcile.

Jeffreys, 1962

1922 : Emile Argand publie la Tectonique de l'Asie

1922 : Paul Fallot écrit dans sa thèse

« Les créateurs de la tectonique avaient vécu la phase des grandes synthèses. Notre rôle est maintenant de préparer une nouvelle base sur laquelle nos successeurs pourront étayer de nouvelles synthèses. »

1960 : dernière leçon de Paul Fallot au Collège de France

« De l'autre monde, dans dix ou vingt ans, j'espère vous voir établir sur quelques dizaines de feuilles au 50.000^{ème} bien levées - fondement essentiel de toute synthèse géologique valable - des interprétations nouvelles et plus adéquates que celles qui nous servent ici d'hypothèse de travail. »

L'exploration des océans et la localisation détaillée de la sismicité globale à l'origine de cette révolution conceptuelle.

« C'est le jour où le géologue s'est décidé à regarder par-dessus bord qu'il s'est aperçu que son bateau bougeait. »

Tuzo Wilson

« Le retard apporté à l'exploration d'ensemble des océans explique pourquoi les roches sédimentaires furent si longtemps délaissées... L'inoubliable campagne du Challenger, à la fin du siècle dernier, est venue du même coup proclamer notre ignorance sur les dépôts marins. »

Albert Cayeux, 1912

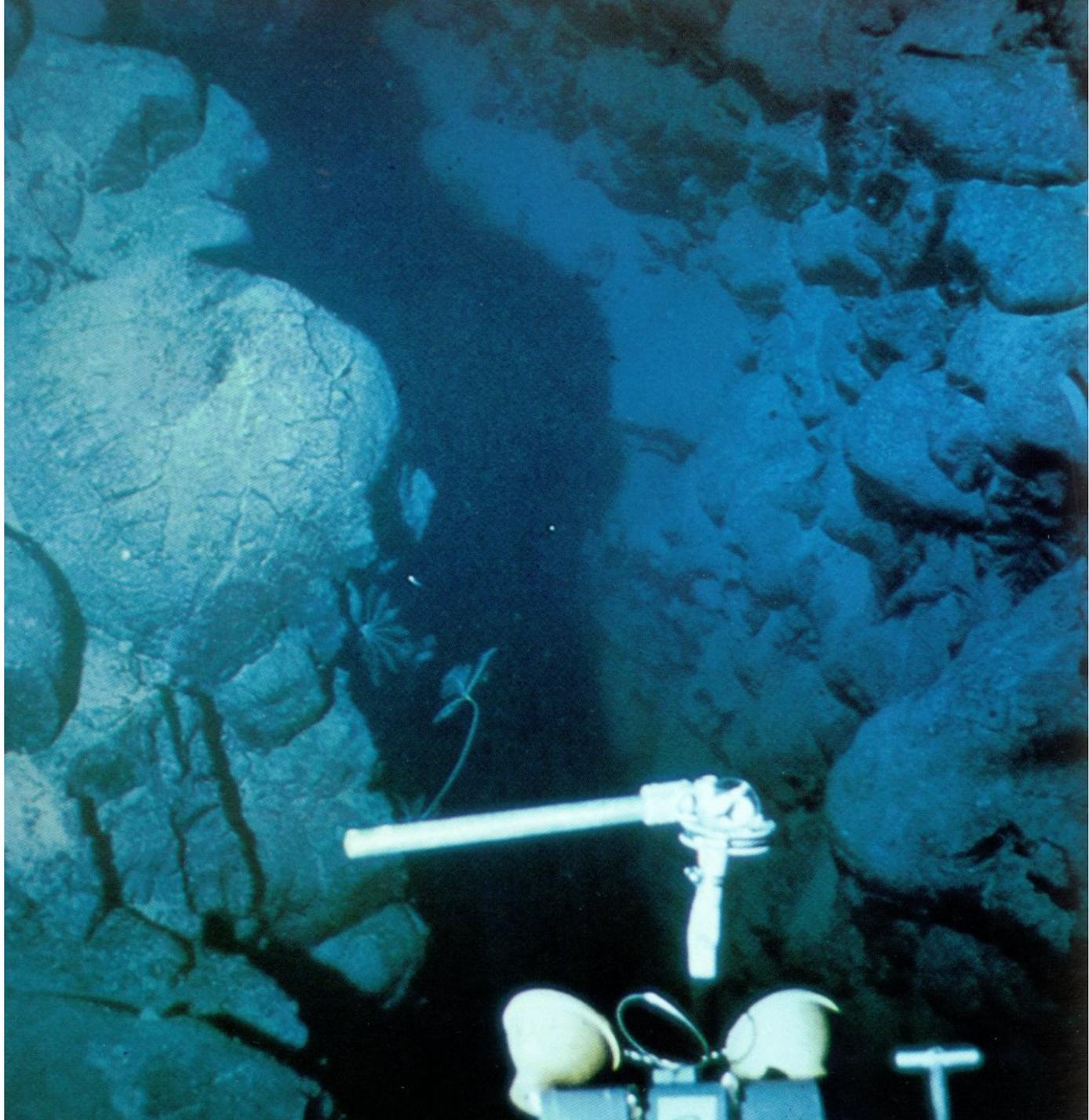
L'apport de l'exploration des océans

Sous-produit de la guerre sous-marine







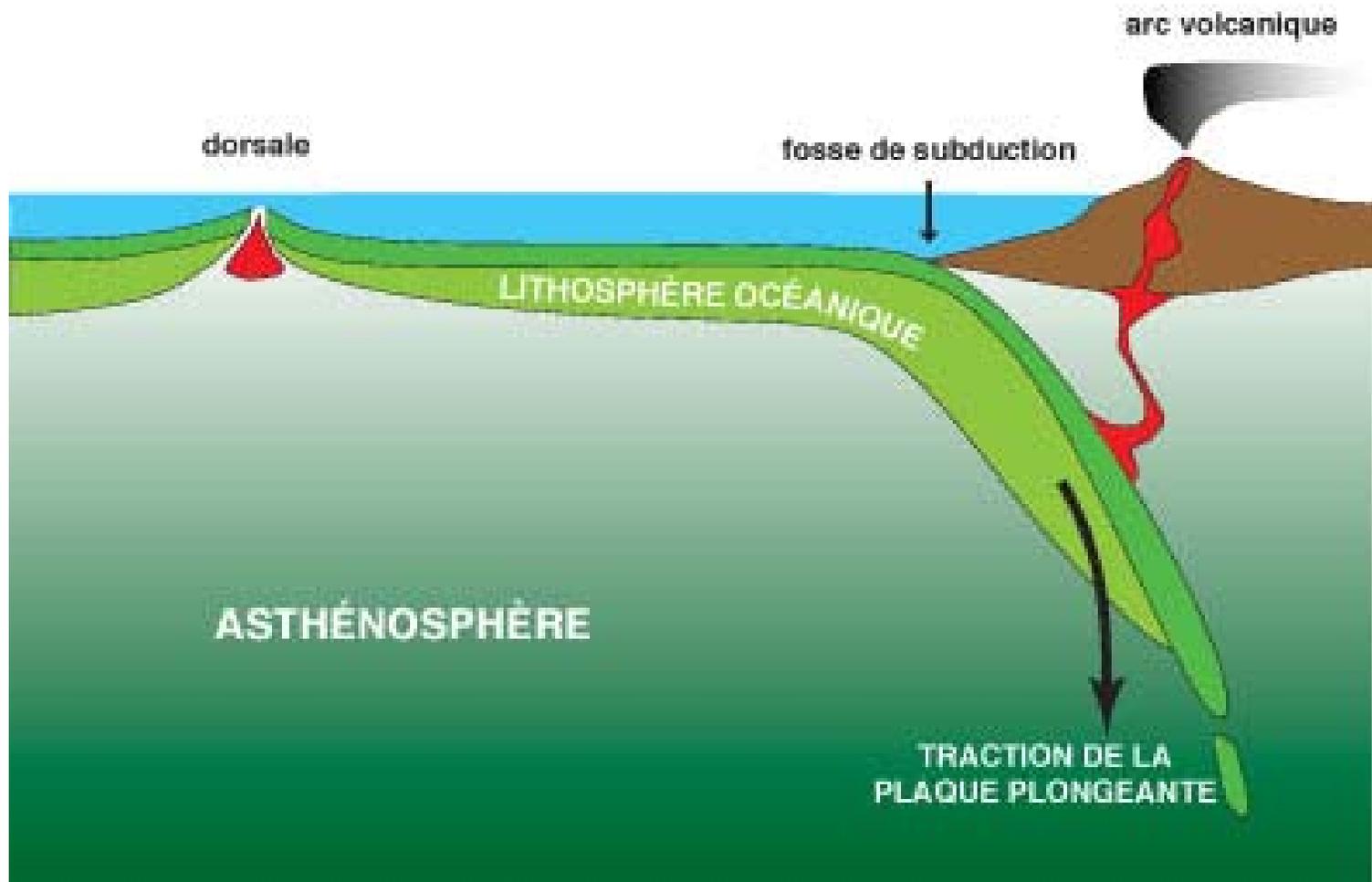


L'apport de la localisation de la sismicité globale

Sous-produit de la détection des
tests nucléaires

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (non compressé)
sont requis pour visionner cette image.

Le modèle du sea-floor spreading en 1966 s'impose à beaucoup sur la base d'un profil d'anomalies magnétiques.



**Dan McKenzie, en 1963, après la publication de
l'article de Vine et Matthews sur l'interprétation des
anomalies magnétiques**

*Ē At the time, it simply was not obvious to us
that what Fred (Vine) and Drum (Mathews)
were doing was so important. Ć*

Et pourtant ce modèle
n'explique pas tout.

Comment déterminer l'importance
relative des phénomènes
expliqués et inexpliqués?

Je prendrai trois exemples.

Le problème du flux de chaleur

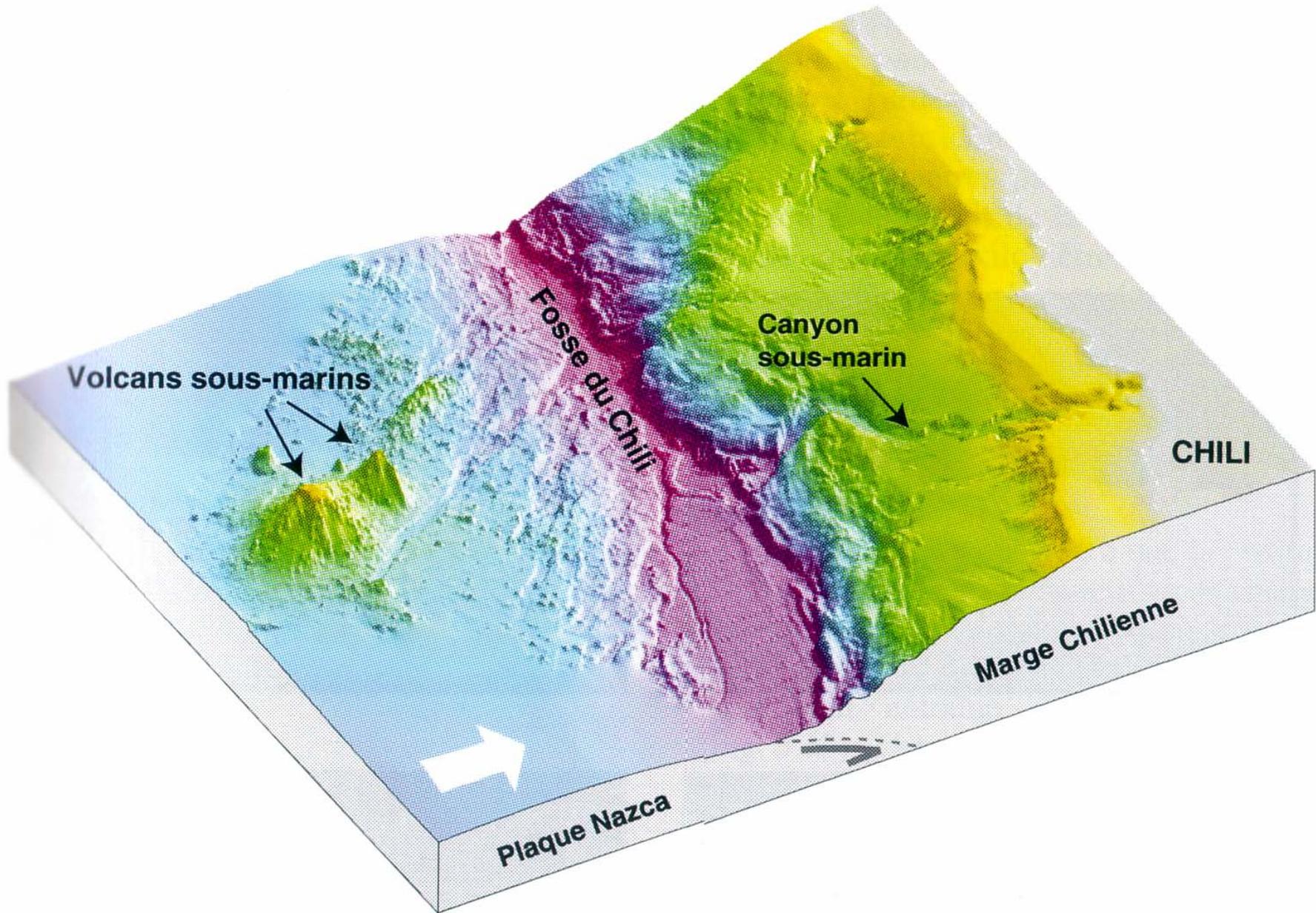
Flux de chaleur et croyance au paradigme

Langseth, Le Pichon et Ewing (*Heat Flow through the floor of the Atlantic ocean floor and convection currents, J. Geophys. Res., 71, 1966*) constatent que le flux prédit par le sea-floor spreading est trois fois plus faible que le flux mesuré.

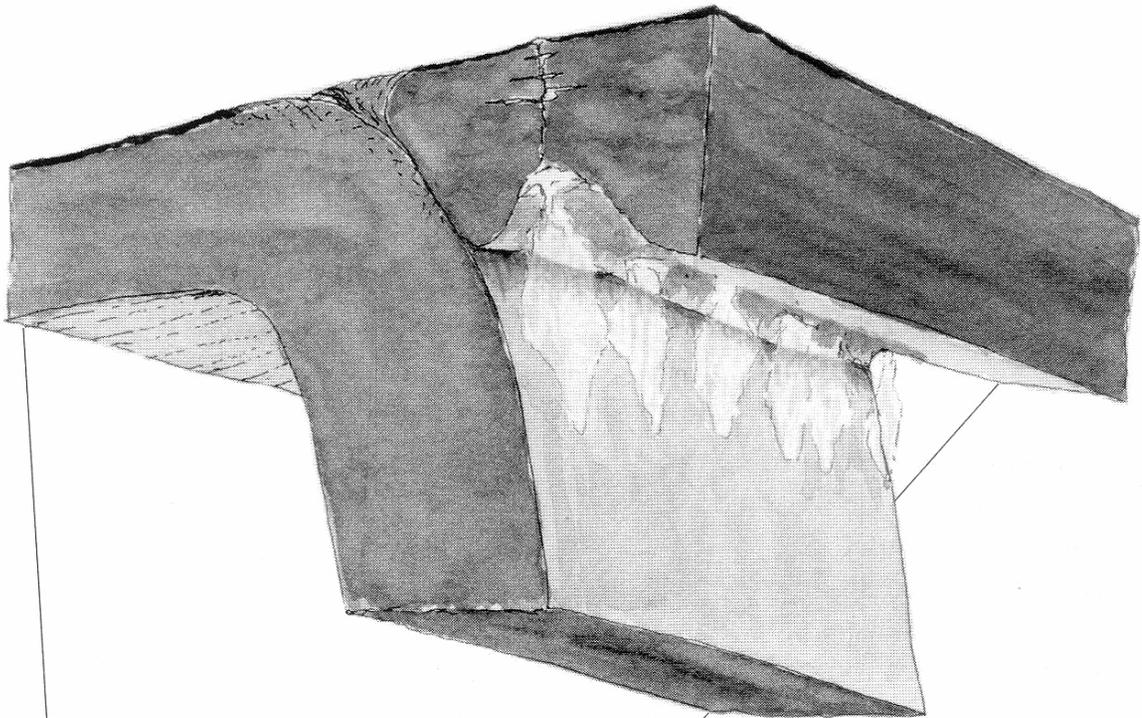
McKenzie (*Some remarks on heat flow and gravity anomalies, J. Geophys. Res., 72, 1967*) diminue la température de l'asthénosphère par trois pour la rendre compatible avec le flux.

Le problème de la subduction

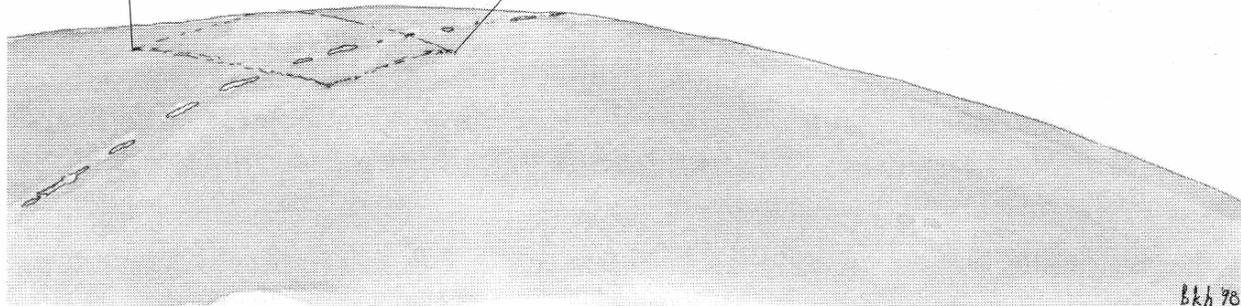
Une zone de convergence
supposée qui se manifeste en
surface par de l'extension!



Lallemand, 1999

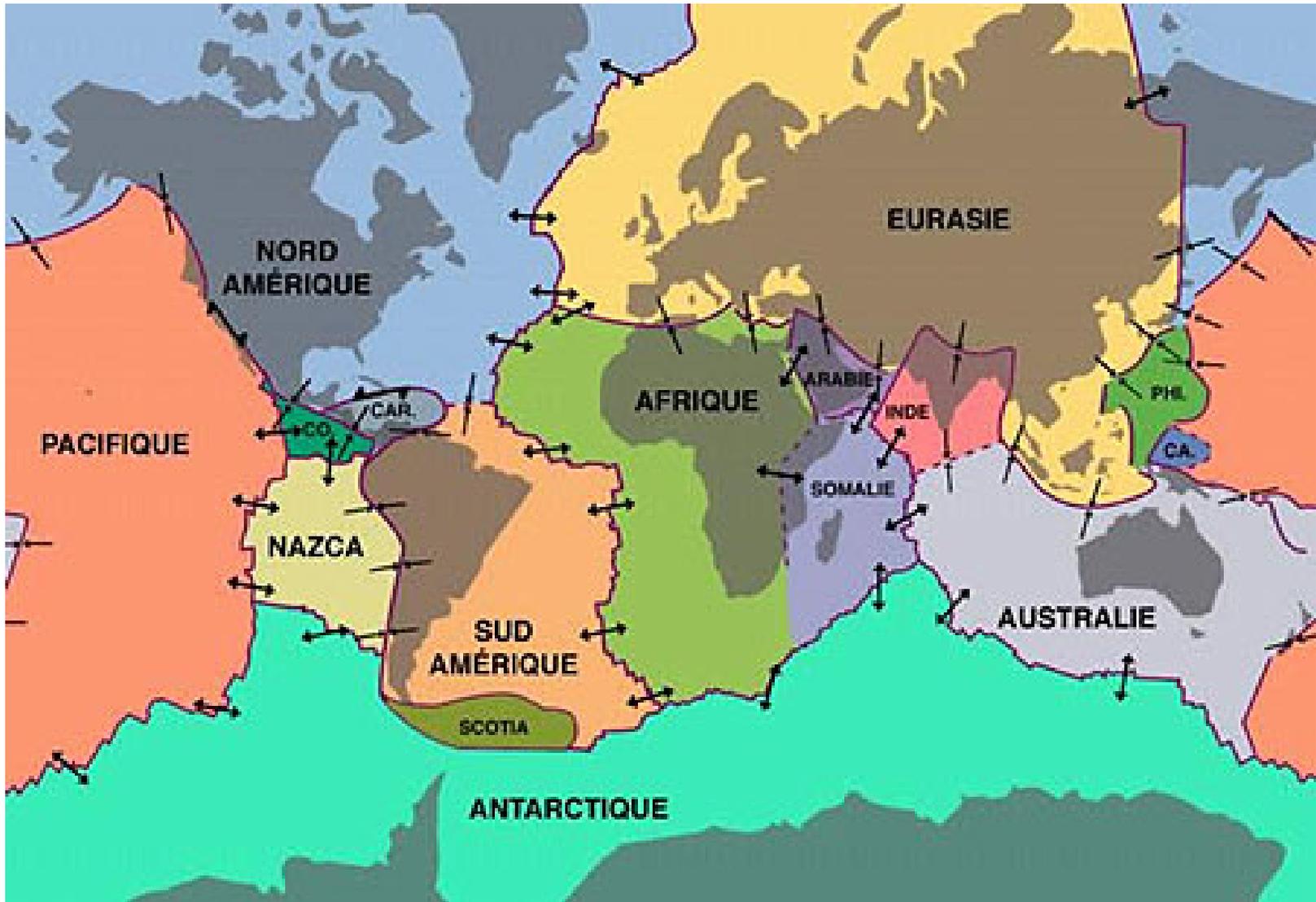


Cartoon of active margin by Serge Lallemand



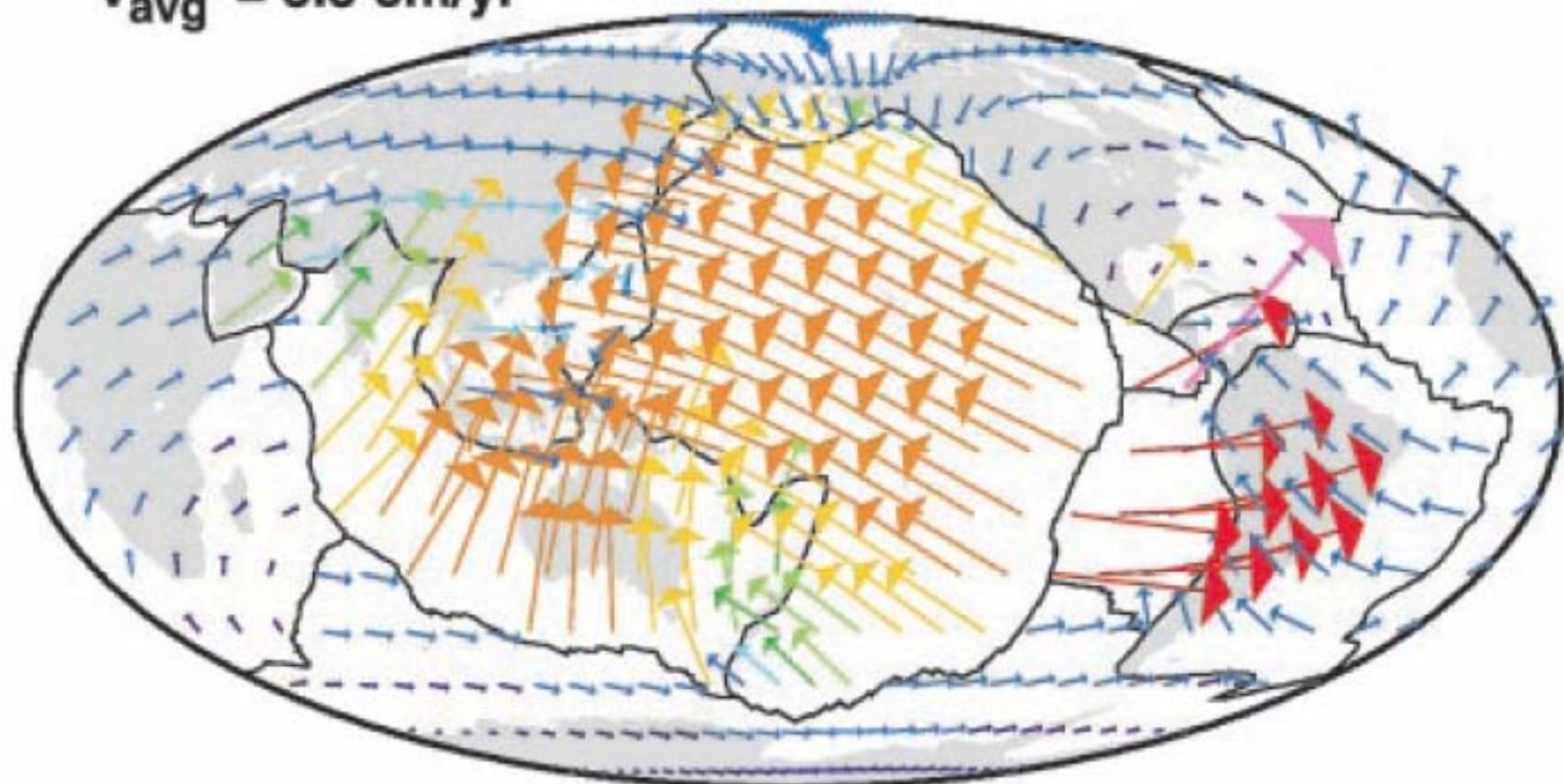
Le problème de la cinématique

Pas de rapport un pour un
entre zone de convergence (subduction)
et zone d'accrétion (rift);
mouvements relatifs et "absolus"



B Observed Plate Velocities

$$V_{\text{avg}} = 5.5 \text{ cm/yr}$$



Velocity / Average Velocity



Pouvait-on dire en 1967 que la tectonique des plaques était démontrée?

Il faudra attendre les forages du Glomar Challenger entre 1968 et 1975 puis la mesure géodésique du mouvement des plaques à partir des années 80' pour que l'on puisse parler de démonstration.

Une vision sociologique

Un modèle mis en place par des chercheurs sur le terrain, principalement jeunes, et combattu principalement par les gens au pouvoir ayant beaucoup investi dans les modèles précédents.

Une résistance qui s'effrite au fur et à mesure que l'efficacité du modèle se confirme et qui se cristallise à la fin sur quelques rares scientifiques de renom tel Jeffrey.

Comment cette hypothèse
est-elle devenue une théorie
dominante en position
d'autorité?

Les chercheurs en science expérimentale sont pragmatiques. Nous avons utilisé le modèle qui rendait le mieux compte des observations et qui prédisaient les résultats que nous pouvions vérifier.

On l'utilisait parce que "cela marchait".

En fin de compte, la quasi-totalité de la communauté scientifique adopta cette théorie à cause de son efficacité d'ensemble même s'il restait quelques observations importantes qui restaient inexpliquées ou pire qui paraissaient en contradiction avec la théorie.

L'adoption se fit avant que la théorie n'ait été démontrée.

De la Tectonique des Plaques à la théorie du changement climatique dû aux gaz à effet de serre: une comparaison

Arrhenius, dès 1896, avait prédit qu'un doublement du CO₂ atmosphérique à la suite de l'utilisation industrielle des combustibles fossiles conduirait à un réchauffement global de 4°C.

Mais la prédiction ne s'appuyait sur aucune mesure et la modélisation restait très fruste. Arrhenius était en quelque sorte le Wegener du changement climatique.

Il fallut attendre
la mesure continue de la teneur en CO₂
à partir de 1958 au Mauna Loa
par C.D. Keeling
pour que son augmentation rapide
devienne une évidence qui s'impose au
début des années 1980.

A la même époque l'augmentation de la température moyenne globale s'accélère. Le modèle d'Arrhenius est pris sérieusement en compte avec la mise en place du GIEC en 1988. L'hypothèse devient une hypothèse privilégiée capable de prédire l'évolution moyenne du climat en fonction de la teneur des gaz à effet de serre.

Mais la durée trop courte de l'évolution rend toute démonstration de la validité de la théorie comme explication principale du changement climatique encore impossible.

Depuis les observations expliquées par cette théorie ne cessent de se multiplier. La durée d'observation devient plus convaincante mais encore trop faible pour une démonstration définitive.

Il reste par ailleurs de nombreux points obscurs et donc quelques scientifiques de moins en moins nombreux qui ne l'admettent pas.

L'essentiel de la communauté scientifique a basculé dans le nouveau paradigme même s'il reste quelques "Jeffreys" qui n'acceptent pas d'adopter ce modèle tant que les réponses à des questions qu'ils considèrent importantes n'auront pas été données de manière suffisamment convaincantes pour eux.

Il y a toutefois une différence essentielle

Ce sont les implications politiques
du modèle et donc la présence
d'un fort lobbying non-scientifique,
puisque même le Nobel de la paix
s'en mêle!