

Colloque 15 et 16 novembre 2010

« La tectonique des plaques et
l'éducation au développement
durable :
de la recherche à la salle de
classe. »

Merci à l'IUFM de Paris et son directeur, Alain Frugière



Objectifs de ce colloque

- Améliorer la formation des enseignants de SVT et donc et les pratiques d'enseignement-apprentissage des SVT
- Développer une approche pluridisciplinaire et synthétique des concepts enseignés dans nos formations universitaires
- Chaque thème sera abordé sous différentes facettes : biologique et/ou géologique mais aussi didactique, historique, épistémologique, sociologique

Choix des thèmes

- Tectonique des plaques : entrée de l'aspect historique en 1^{ère} S
- Education au développement durable (EDD), de plus en plus présente dans l'enseignement primaire et secondaire

Planning Lundi 15 novembre

- **10h/10h15** : ouverture du colloque
- **10h15/12h15** : conférences-débat
- **12h15/14h** : *repas*
- **14h/16h** : conférences-débat
- **16h/16h30** : débat et conclusion de la journée
- **16h/16h30** : *pause*
- **17h** : **Assemblée générale de l'AFPSVT** : élection, rapport moral, rapport financier, projets
- **19h30** : **dîner**

INFOS PRATIQUES

- **Inscription au colloque et adhésion à l'AFPSVT** : payable à Christophe Guégo (trésorier)
- **Repas** : restaurant de l'IUFM avec ticket repas
- **Café** en salle des actes jusqu'à 14h et cafétéria de l'iufm
- **Election des 3 administrateurs à midi** dans cette salle (pour les adhérents à jour de leur cotisation 2010)

Tarif de l'inscription

- 12€ par journée ou 24€ pour le colloque entier pour les adhérents à l'AFPSVT
- 22€ par journée ou 48€ pour le colloque entier pour les non adhérents

Moitié prix pour une demi-journée

COLLOQUE

AMPHI 2

15 Novembre 2010

Thème:
**AUTOUR DE LA
TECTONIQUE DES PLAQUES**

Conférences/Débats

Historique des découvertes:

"Wegener précurseur? De qui?"

10h30-11h30: Gabriel GOHAU
Chercheur SPHERE REHSEIS et Claire François VIETE

Le point scientifique:

"La tectonique des plaques à la lumière de 40 ans
de mesures et d'observations"

11h30-12h30: Siegfried LALLEMANT
Professeur d'Université - Clergé Pontaise

Enseigner la tectonique des plaques:

"La tectonique des plaques, un modèle si confortable
pour les élèves qu'il peut les empêcher
de faire de la géologie"

14h-15h: Denise ORANGE RAVACHOL
Enseignant-Chercheur, Université de Nantes - IUFM des pays de Loire

Enseigner l'histoire de la tectonique des plaques:

"La tectonique des plaques: réflexion pour un enseignement historique
du modèle dans la formation des enseignants"

15h-16h: Pierre SAVATON
Professeur d'Université Caen

avec la participation:

AUX ORIGINES DE LA TECTONIQUE GLOBALE

Brève histoire de la mobilité des continents :

de Wegener à Hess, un saut de 50 ans



Wegener : Quelle situation trouva-t-il ? comment l'exploita-t-il ?

Deux théories contradictoires en Europe (paléontologie) et en Amérique (géophysique)

Wegener, observations et explications

Observations biologiques et géologiques

Permanence des fonds océaniques et translation des continents

Réponses à des objections

De Wegener à Hess (et après) :

Quelques étapes de l'histoire de la translation continentale

La période intermédiaire : Holmes, Du Toit, etc.

Le renouveau des idées dérivistes

Les Hollandais et les arcs insulaires

Les Anglais et la migration des pôles

Les Américains et la dorsale océanique

L'hypothèse de Vine et Matthews

Epilogue : subduction vs expansion

1-11-1880 naissance Alfred L. WEGENER, à Berlin

6-1-1912 Conf. Union géol. Francfort/M.

« Idées nouvelles sur la formation des grandes structures de la surface Terrestre (continents et océans) sur des bases géophysiques ».....



1915 *Die ENTSTHUNG der KONTINENTE und OZEANE*

Réed. 1920, 1922, 1924, 1929.

1924 Trad. en français, anglais, espagnol.

Nov. 1930 mort de Wegener.

1961-62 Harry HESS “History of Ocean Basin”, in Engel et al.....
R. DIETZ in *Nature*, 190



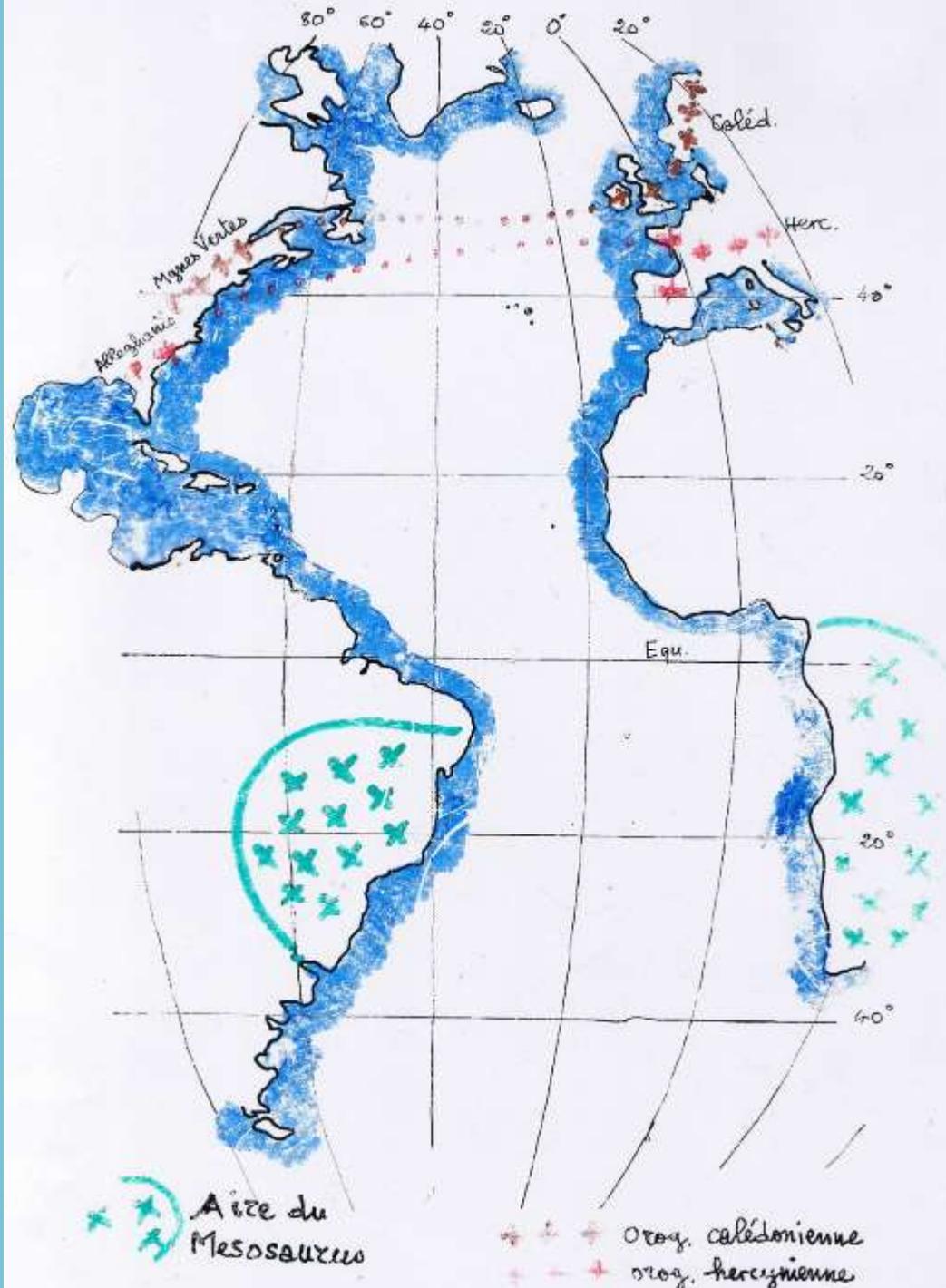
1962 S. K. RUNCORN ed., *Continental Drift* (hommage à W.)

1963 F. VINE & D. MATTHEWS, in *Nature*, 199.

1965 T. WILSON, in *Nature*, 207.

1965 BLACKETT, BULLARD, RUNCORN Symposium on Continental Drift
Phil. Tr. Roy. Soc. London.

Avril 1967 Symposium Am. Geophysical Union, Washington.



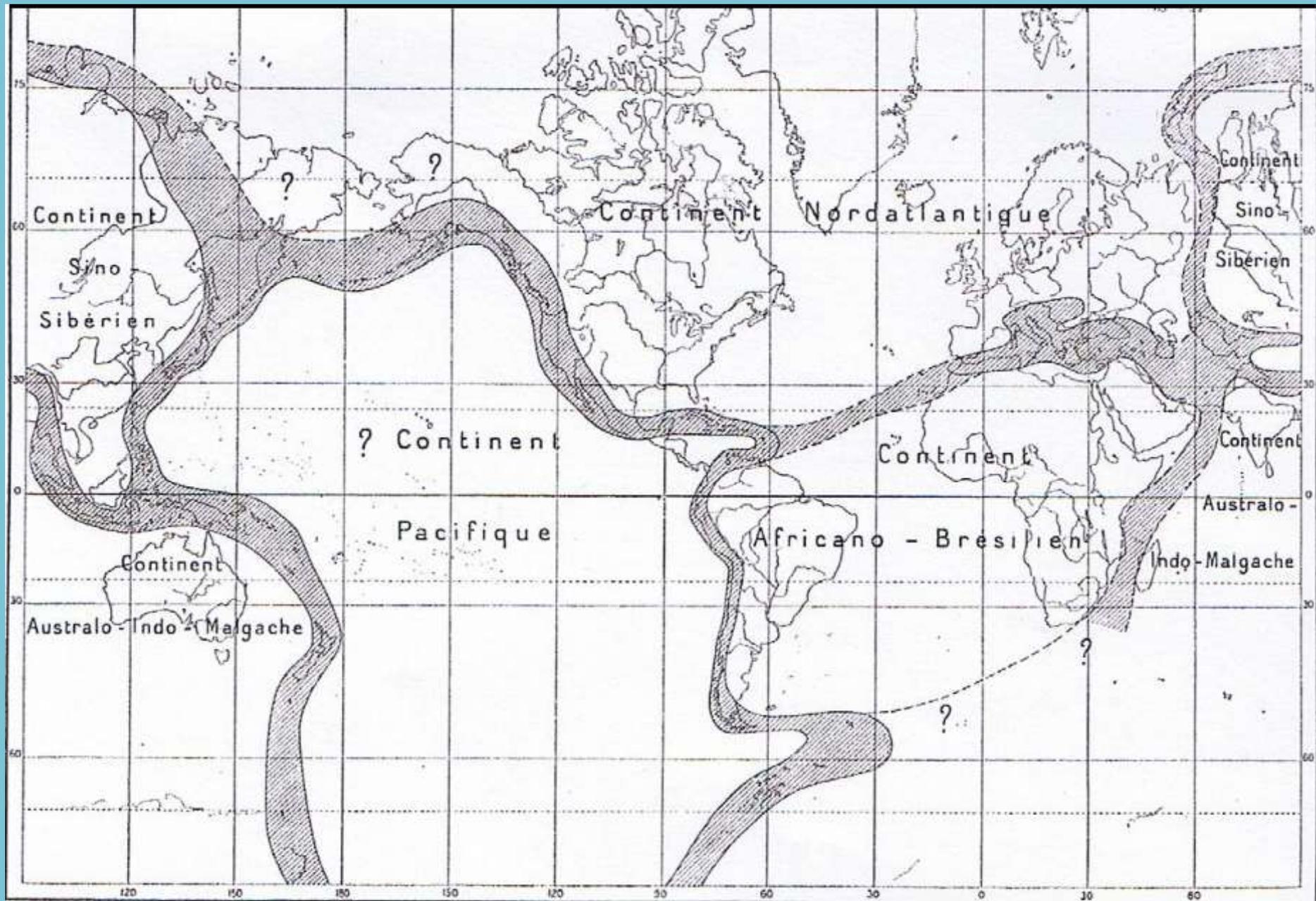
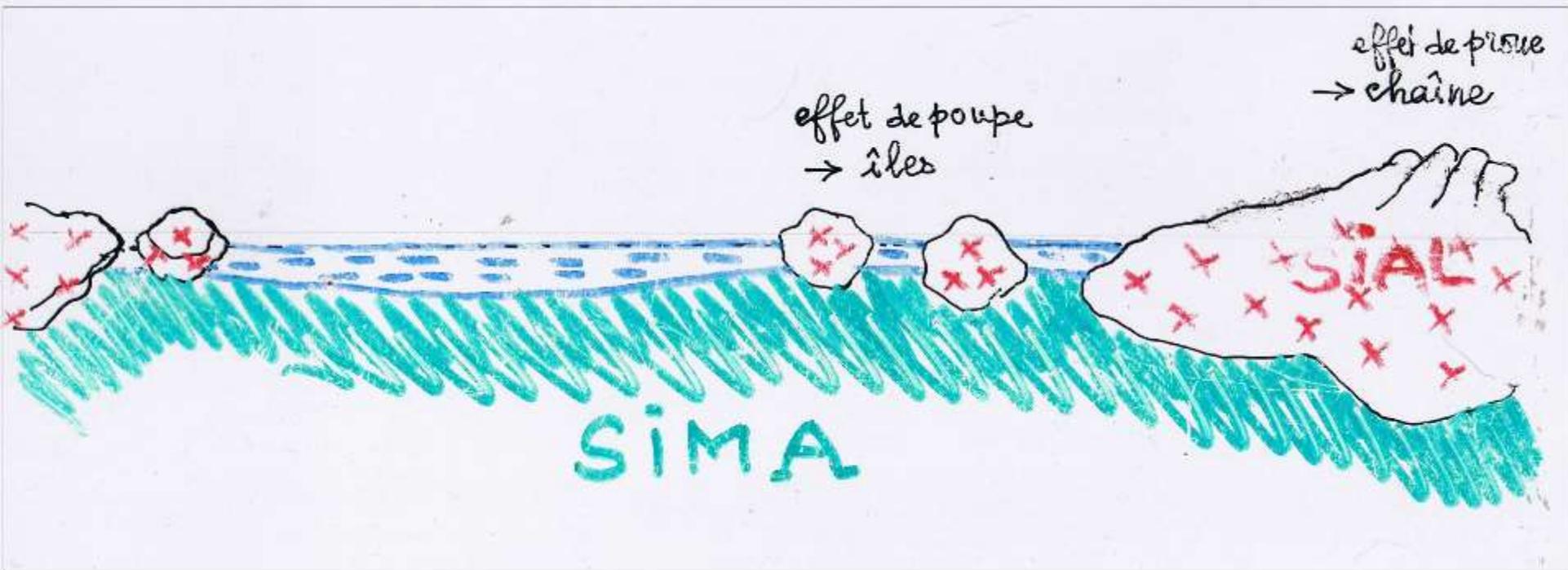


Fig. 37. — Géosynclinaux de l'ère secondaire et aires continentales anciennes.

- 1-11-1880** naissance Alfred L. WEGENER, à Berlin
- 6-1-1912** Conf. Union géol. Francfort/M.
 « Idées nouvelles sur la formation des grandes structures de la surface terrestre
 (continents et océans) sur des bases géophysiques »
- 1915** *Die ENTSTHUNG der KONTINENTE und OZEANE*
 Réed. 1920, 1922, 1924, 1929.
10-8-1922 E. ARGAND « Tectonique de l'Asie ». Congrès géol. Bruxelles
 [1924]
Sept. 1922 Débat Ass. Brit. Av. Sc., à Hull (GB)
Janv. 1923 - Roy. Geogr. Soc. (GB)
23-4-1923 - Soc. Géol. France - Joleaud
- 1924** Trad. *Entstehung...* en français, anglais, espagnol.
 H. JEFFREYS *The Earth*. 5^e éd. 1970 Cambridge
1926 R. A. DALY *Our Mobile Earth*. NY.
Nov. 1926 Symposium New York, Theory of Continental Drift, org. par Assoc. Am. Des Géologues pétroliers.
1927 B. GUTENBERG in *G. B. z. Geophysik*.
1927 A. Du TOIT "A Geological Comparison of South America with South Africa"
12-1-1928 A. HOLMES "Radioactivity and Continental Drift", conf. Soc. Géol. Glasgow. [Publ. 1931]
- Nov. 1930** mort de Wegener.
1933 P. DIVE *La dérive des continents et les mouvements intratelluriques*. Réed. 1950.
 P. RUSSO *Les déplacements des continents*
1937 A. Du TOIT *Our Wandering Continents*
1943 G. G. SIMPSON "Mammals and the Nature of Continents" *Am. J. Sc.*
1944 A. Du TOIT "Tertiary Mammals and Continental Drift" *Am. J. Sc.*
1949 M. ROUBAULT *La genèse des montagnes*
Mars 1956 Symposium Univ. Tasmanie. Conf. S. W. CAREY
- 1961-62** Harry HESS "History of Ocean Basin", in Engel et al.
 R. DIETZ in *Nature*, 190
- 1962** S. K. RUNCORN ed., *Continental Drift* (hommage à W.)
- 1963** F. VINE & D. MATTHEWS, in *Nature*, 199.
- 1965** T. WILSON, in *Nature*, 207.
- 1965** BLACKETT, BULLARD, RUNCORN Symposium on Continental Drift *Phil. Tr. Roy. Soc. London*.
- Avril 1967** Symposium Am. Geophysical Union, Washington.



1-11-1880 naissance Alfred L. WEGENER, à Berlin

6-1-1912 Conf. Union géol. Francfort/M.

« Idées nouvelles sur la formation des grandes structures de la surface terrestre
(continents et océans) sur des bases géophysiques »

1915 *Die ENTSTHUNG der KONTINENTE und OZEANE*

Réed. 1920, 1922, 1924, 1929.

10-8-1922 E. ARGAND « Tectonique de l'Asie ». Congrès géol. Bruxelles
[1924]

Sept. 1922 Débat Ass. Brit. Av. Sc., à Hull (GB)

Janv. 1923 - Roy. Geogr. Soc. (GB)

23-4-1923 - Soc. Géol. France - Joleaud

1924 Trad. *Entsthung...* en français, anglais, espagnol.

H. JEFFREYS *The Earth*. 5^e éd. 1970 Cambridge

1926 R. A. DALY *Our Mobile Earth*. NY.

Nov. 1926 Symposium New York, Theory of Continental Drift, org. par
Assoc. Am. Des Géologues pétroliers.

1927 B. GUTENBERG in *G. B. z. Geophysik*.

1927 A. Du TOIT "A Geological Comparison of South America with South
Africa"

12-1-1928 A. HOLMES "Radioactivity and Continental Drift", conf. Soc.
Géol. Glasgow. [Publ. 1931]

Nov. 1930 mort de Wegener.

CONTENTS

	PAGE
LIST OF FIGURES.	IX
INTRODUCTION: THE PROBLEM OF CONTINENTAL DRIFT. By <i>W. A. J. M. van Waterschoot van der Gracht</i>	1
CONTINENTAL DRIFT. By <i>Bailey Willis</i>	76
SOME OF THE OBJECTIONS TO WEGENER'S THEORY. By <i>Rollin T. Chamberlin</i>	83
CONTINENTAL MOVEMENT. By <i>John Joly</i>	88
WEGENER'S CONTINENTAL DRIFT. By <i>G. A. F. Molengraaff</i>	90
WEGENER'S HYPOTHESIS. By <i>J. W. Gregory</i>	93
TWO NOTES CONCERNING MY THEORY OF CONTINENTAL DRIFT. By <i>Alfred Wegener</i>	97
THE HYPOTHESIS OF CONTINENTAL DISPLACEMENT. By <i>Charles Schuchert</i>	104
SOME PHYSICAL TESTS OF THE DISPLACEMENT HYPOTHESIS. By <i>Chester R. Longwell</i>	145
SLIDING CONTINENTS AND TIDAL AND ROTATIONAL FORCES. By <i>Frank Bursley Taylor</i>	158
COMMENTS ON THE WEGENER HYPOTHESIS. By <i>William Bowie</i>	178
DISCUSSION OF FLOATING CONTINENTS. By <i>David White</i>	187
DISCUSSION OF WEGENER THEORY. By <i>Joseph T. Singewald, Jr.</i>	189
COMMENTS ON THE WEGENER HYPOTHESIS. By <i>Edward W. Berry</i>	194
REMARKS REGARDING THE PAPERS OFFERED BY THE OTHER CONTRIBUTORS TO THE SYMPOSIUM. By <i>W. A. J. M. van Waterschoot van der Gracht</i>	197

Article Holmes 1928
Publ. 1931



Arthur Holmes
(1890-1965)

Trans. Geol. Soc. Glasgow
 1931 vol. 18, p. 559-606

Vol. xviii.] HOLMES—EARTH MOVEMENTS. 559

No. XVIII.—RADIOACTIVITY AND EARTH MOVEMENTS. By
 ARTHUR HOLMES, PROFESSOR OF GEOLOGY, THE UNIVERSITY,
 DURHAM.

	PAGE.
I. TECTONIC HYPOTHESES	559
II. THE NATURE OF THE CRUST AND SUBSTRATUM ..	566
III. RADIO-THERMAL ENERGY IN THE ROCKS ..	570
IV. THE DECREASE OF RADIOACTIVITY WITH DEPTH ..	572
V. CONVECTION CURRENTS IN THE SUBSTRATUM ..	575
The Conditions for Convective Circulation	575
The Planetary Circulation	577
The Sub-Continental Circulation	578
VI. SOME GEOLOGICAL CONSEQUENCES	584
Continental Drift	584
Peripheral Mountain Systems	588
Geosynclines.. .. .	590
Median Areas	593
Rift Valleys	595
Changes of Level of Land and Sea	598
VII. CONCLUSION	600

I.—TECTONIC HYPOTHESES.

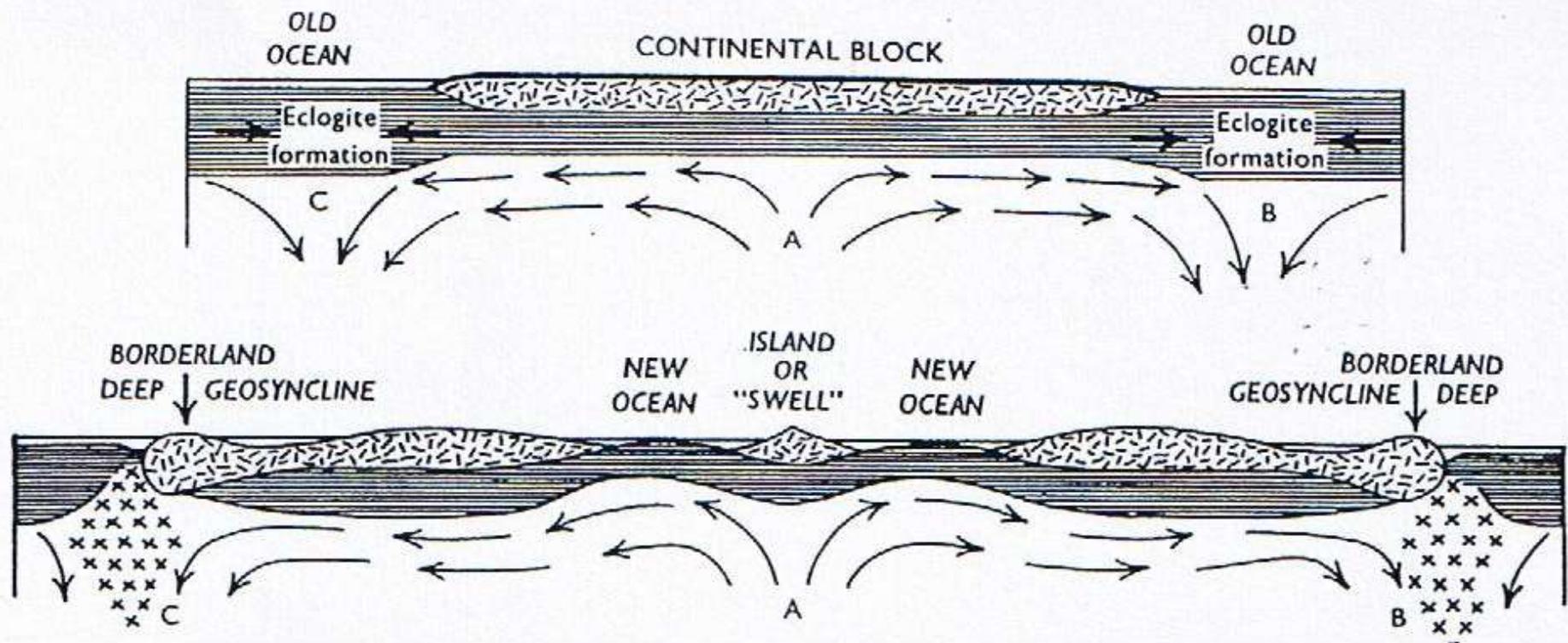


FIG. 734 Diagrams to illustrate a convective-current mechanism for 'engineering' continental drift and the development of new ocean basins, proposed by the author in 1928, when it was thought that the oceanic crust was a thick continuation of the continental basaltic layer (horizontal line shading).

(a) A current ascending at A spreads out laterally, extends the continental block and drags the two main parts aside, provided that the obstruction of the old ocean floor can be overcome. This is accomplished by the formation of eclogite at B and C, where sub-continental currents meet sub-oceanic currents and turn downwards. Being heavy, the eclogite is carried down, so making room for the continents to advance.

(b) The foundering masses of eclogite at B and C share in the main convective circulation and, melting at depth to form basaltic magma, the material rises in ascending currents: e.g. at A, healing the gaps in the disrupted continent and forming new ocean floors (locally with a swell of old sial left behind, such as Iceland). Other smaller current systems, set going by the buoyancy of basaltic magma, ascend beneath the continents and feed great floods of plateau basalts, or beneath the 'old' (Pacific) ocean floor to feed the outpourings responsible for the volcanic islands and seamounts. (*Arthur Holmes, Transactions of the Geological Society of Glasgow, 1928-1929, vol. 18, p. 579*)

Arthur Holmes,
1928

Nov. 1930 mort de Wegener.

1933 P. DIVE *La dérive des continents et les mouvements intratelluriques*. Réed. 1950.

P. RUSSO *Les déplacements des continents*

1937 A. Du TOIT *Our Wandering Continents*

1943 G. G. SIMPSON “Mammals and the Nature of Continents”
Am. J. Sc.

1944 A. Du TOIT “Tertiary Mammals and Continental Drift” *Am. J. Sc.*

1949 M. ROUBAULT *La genèse des montagnes*

Mars 1956 Symposium Univ. Tasmanie. Conf. S. W. CAREY

1961-62 Harry HESS “History of Ocean Basin”, in Engel et al.
R. DIETZ in *Nature*, 190

1962 S. K. RUNCORN ed., *Continental Drift* (hommage à W.)

1963 F. VINE & D. MATTHEWS, in *Nature*, 199.

1965 T. WILSON, in *Nature*, 207.

1965 BLACKETT, BULLARD, RUNCORN Symposium on Continental
Drift *Phil. Tr. Roy. Soc. London*.

Avril 1967 Symposium Am. Geophysical Union, Washington.

Continental Drift
Runcorn Ed.
 1962



(1922-1995)

CONTENTS

List of Contributors.....	v
Preface.....	vii

Chapter 1 by S. K. RUNCORN

**Palaeomagnetic Evidence for Continental Drift and
 its Geophysical Cause** 1

References.....	39
-----------------	----

Chapter 2 by N. D. OPDYKE

Palaeoclimatology and Continental Drift 41

I. Introduction.....	41
II. Sedimentary Climatic Indicators.....	43
III. Uniformitarianism and the Study of Palaeoclimates.....	44
IV. Distribution of Cainozoic Climatic Indicators.....	45
V. Discussion of Cainozoic Climate.....	48
VI. Distribution of Climatic Indicators during the Mesozoic.....	52
VII. Distribution of Palaeozoic Climatic Indicators.....	53
VIII. Palaeomagnetism and Palaeoclimatology.....	60
IX. Conclusions.....	63
References.....	64

Chapter 3 by JOHN H. HODGSON

**Movements in the Earth's Crust as indicated by
 Earthquakes** 67

I. Introduction.....	67
II. Studies of Earthquake Mechanism.....	68
III. Interpretation on the Collapse Model.....	78
IV. Interpretation on the Fault Model.....	81
V. Summary and Conclusions.....	99
References.....	102

Movements on Major Transcurrent Faults	103
I. General Considerations.....	103
II. Circum-Pacific Shallow Faults.....	106
III. Other Large Transcurrent Faults.....	131
IV. Deep Faults of the Circum-Pacific Margins.....	132
References.....	133

Magnetic Evidence for Horizontal Displacements in the Floor of the Pacific Ocean	135
References.....	144

Thermal Convection in the Earth's Mantle	145
I. Introductory and Summary.....	145
II. The Constitution of the Mantle.....	146
III. Arguments in Favour of Convection Currents in the Mantle...	153
IV. Convection Currents in a Plane Crystalline Layer.....	156
V. Spherical Harmonics.....	159
VI. Convection Currents in the Crystalline Mantle.....	162
VII. Spherical Harmonic Development up to the 31st Order of the Earth's Topography.....	164
VIII. Interpretation of the Spherical Harmonic Development of the Topography; Convection Systems in the Mantle; Origin of Continents; Relative Displacements of Continents.....	169
References.....	176

The Theory of Convection in Spherical Shells and its Application to the Problem of Thermal Convection in the Earth's Mantle	177
I. The Geophysical Problem.....	177
II. The Mathematical Stability Problem.....	181
III. Solution of the Stability Problem.....	185
References.....	193

Mountain-Building Hypotheses	195
I. Introduction.....	195
II. Facts to be Accounted for by Theories of Crustal Evolution...	198
III. Diastrophic Forces.....	212
IV. Mountain-Building Hypotheses.....	224
References.....	232

The Deep-Sea Floor	235
I. Introduction.....	235
II. The Ocean Floor.....	236
III. Seismological Evidence for a Difference between the Continental and Oceanic Mantle.....	263
IV. Petrography of the Oceans.....	268
V. Age of Ocean Basins.....	269
VI. Discussion of the Hypotheses of Continental Drift.....	276
References.....	286

Ocean-Basin Evolution by Sea-Floor Spreading	289
I. Introduction.....	289
II. Spreading Sea-Floor Concept.....	292
III. Implications of the Concept.....	294
References.....	297

Comparisons of Pacific and Atlantic Ocean Floors in Relation to Ideas of Continental Displacement	299
References.....	307

Memories of Alfred Wegener	309
References.....	323
Author Index.....	325
Subject Index.....	331

of their interesting hypotheses would take us too far out of the scope of the present subject. For the moment one asset of Vening Meinesz's notable results is of special interest. The question arises whether the boundary between areas of basaltic and sialic character coincides with the deeply dipping shear-zones that were deduced from physiographic and seismic data. Now indeed Vening Meinesz found that boundary "on the right place". On a crossing of the Pacific from San Francisco to the Philippines, via the Hawaiian-islands, the gravity field shows positive anomalies until the islands Guam is reached. Here rather strong negative anomalies reveal the presence of a crust of sialic character. It is here too that the Pacific basin proper is bordered by the Nero deep, and that the outcrop of a deep-reaching shear-zone was assumed on physiographic and seismologic grounds. It is the same boundary which from petrographic evidence is marked as the andesite-line.

It is worth while considering in some detail the gravity profiles at the border of the Pacific Basin proper.

Single Arcs

Single island-arcs at the Pacific border were crossed in two places. Both the gravimetric profiles show a similar phenomenon, viz. rather strong negative anomalies over the marginal deep-sea trough (fig. 113). The geo-

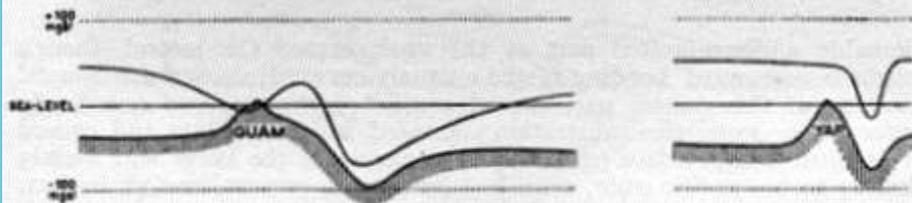


Fig. 113. Gravimetric profile across Guam and the Nero deep (left) and Yap and the Yap deep (right) (After Vening Meinesz).

logical interpretation of the profile across Guam and the Nero-deep suggests the existence of a root of light crustal matter which must have buckled downward so as to replace the pre-existing heavier matter beneath¹⁾. A geological interpretation is represented by the schematic block diagram fig. 114. The anomaly curve is asymmetrical and hence seems to be best explained by assuming that the eastern sector was thrust under the western

¹⁾ The most important events in the geological history of Guam, since Miocene times, are: (1) formation of a submarine volcano by extrusions of basaltic pillow lavas from fissures, now exposed as a complex of dikes, (2) an intermittent explosive phase giving origin to 300 meters of andesitic tuffs and shallow water agglomerates with interstratified shales and marls containing Miocene Foraminifera, (3) cessation of volcanism, (4) intense folding and

overthrust faulting, (5) sedimentation of shallow-water limestones, (6) renewed faulting, (7) emergence and subaerial erosion, (8) submergence in the Pleistocene, (9) renewed emergences and submergences, partly due to changing ocean levels, five marine terraces being cut, (10) emergence of 5 feet. (Stearns, H. T. Geological History of Guam. Bull. Geol. Soc. Am. 51, 1940, p. 1943).

part. As a result the Nero deep originated. The riding part of the crust bowed up and gave rise to the formation of faults dissecting the crust.

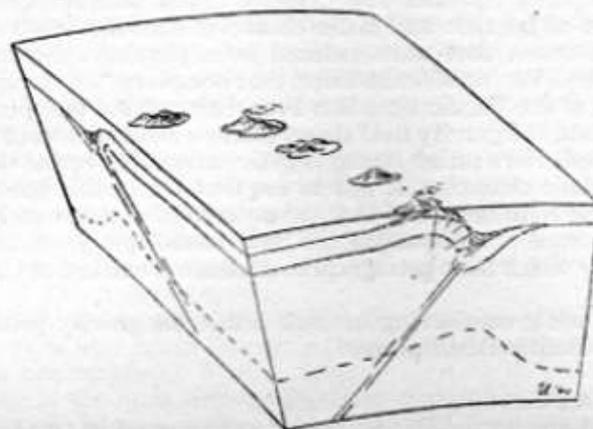


Fig. 114. Schematic block diagram of an island-arc of the Mariana type, showing the volcanic arc, the deep-sea trough, the supposed underthrusting of the crust near the andesite-line, and the potential zone of shear.

Possibly a down-faulted part of the vault caused the second, though slighter downward bending of the anomaly-curve. Moreover the upward arching of this crustal part caused a relief of pressure. And accordingly emanations from the substratum ascended in these parts and caused volcanism at the surface (cf. p. 72). It is clear that the lavas will mainly belong to the Pacific suite, since a sialic crust is present, and so, in fact, they are.

The place of the underthrusting was probably predestined by the boundary between two crustal areas of different composition. The location of the shear-zone, which is the site of numerous deep-focus earthquakes, is possibly due to the action of convection currents. And finally, these are probably also controlled by the different character of the ocean-floor on either side of the andesite line.

The second gravimetric profile across the Pacific border is also represented by fig. 113. It runs through the island Yap and the adjoining deep. Again the negative anomaly is over the deep-sea trough. Unlike the profile across Guam the anomaly-curve is symmetrical and no secondary root of sialic matter is indicated under the island Yap.

Accordingly a geological section must show a symmetrical root of the sialic crust. The site of the crustal buckle again appears to be accompanied by a deep-reaching shear-zone.

We mentioned already the symmetry of the gravimetric profile across the Yap-deep as contrasted with the asymmetrical character of the curve over the Nero-deep. This feature is explained by Vening Meinesz by the assumption that this part of the arc "encloses a greater angle with the direction of the compression".

Single Arcs

Single island-arcs at the Pacific border were crossed in two places. Both the gravimetric profiles show a similar phenomenon, viz. rather strong negative anomalies over the marginal deep-sea trough (fig. 113). The geo-

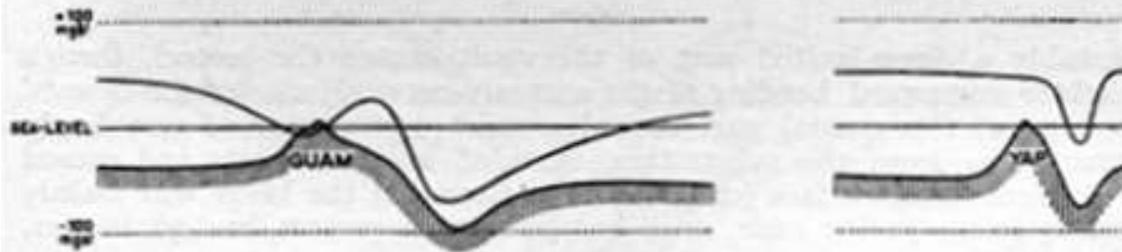


Fig. 113. Gravimetric profile across Guam and the Nero deep (left) and Yap and the Yap deep (right) (After Vening Meinesz).

logical interpretation of the profile across Guam and the Nero-deep suggests the existence of a root of light crustal matter which must have buckled downward so as to replace the pre-existing heavier matter beneath¹⁾.

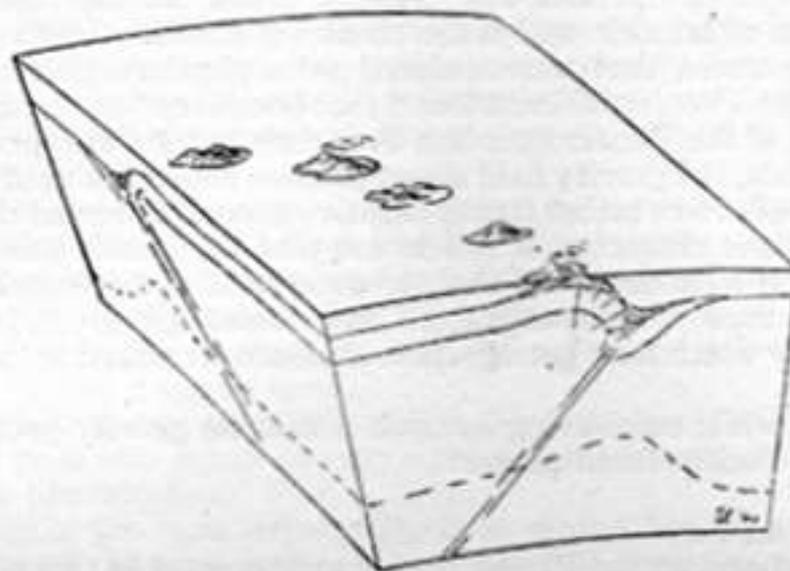
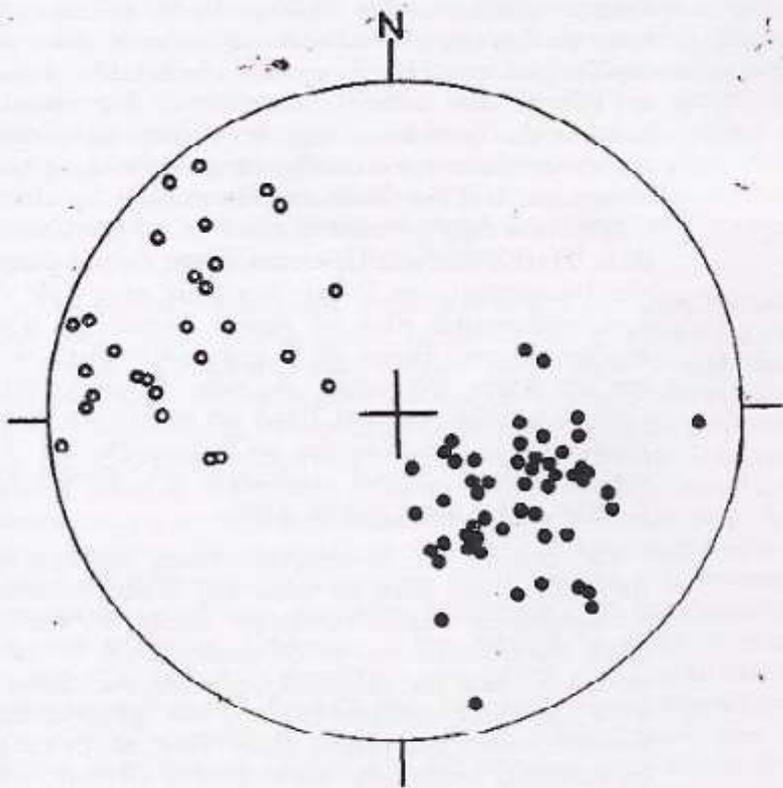


Fig. 114. Schematic blockdiagram of an island-arc of the Mariana type, showing the volcanic arc, the deep-sea trough, the supposed under thrusting of the crust near the andesite-line, and the potential zone of shear.

Possibly a down-faulted part of the vault caused the second, though slighter downward bending of the anomaly-curve. Moreover the upward arching of this crustal part caused a relief of pressure. And accordingly emanations from the substratum ascended in these parts and caused volcanism at the surface (cf. p. 72). It is clear that the lavas will mainly belong to the pacific suite, since a sialic crust is present, and so, in fact, they are.

The place of the underthrusting was probably predestined by the boundary between two crustal areas of different composition. The location of the shear-zone, which is the site of numerous deep-focus earthquakes, is possibly due to the action of convection currents. And finally, these are probably also controlled by the different character of the ocean-floor on either side of the andesite line.



Directions of magnetization of Torridonian sandstones. Open circles = upward directions. Closed circles = downward directions.

FIG. 21. — EXEMPLE DE GRAPHIQUE RÉSUMANT UN ENSEMBLE DE MESURES MAGNÉTIQUES (S.K. RUNCORN, ENDEAVOUR 1955).

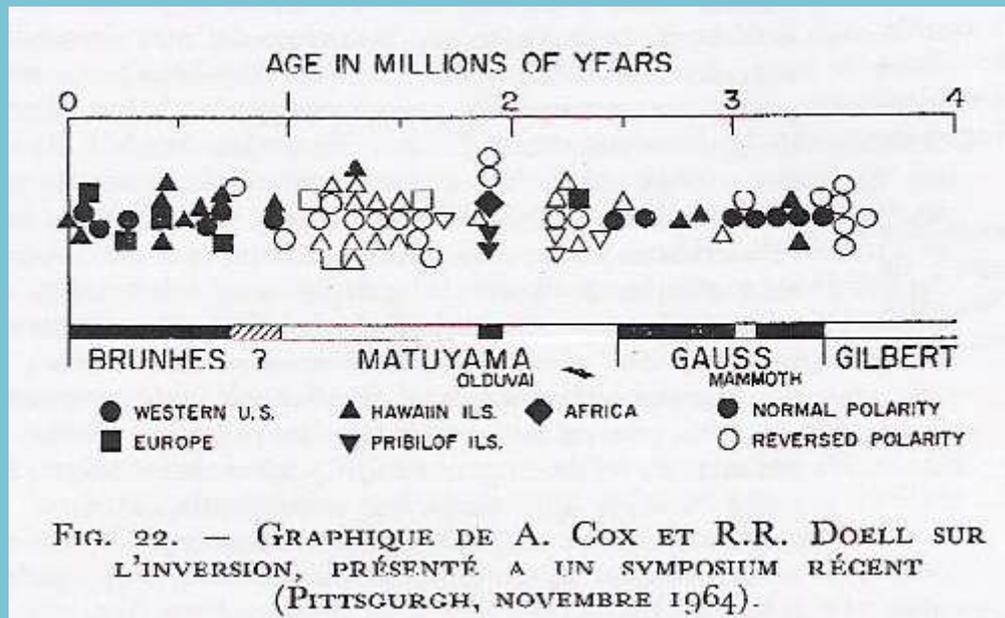
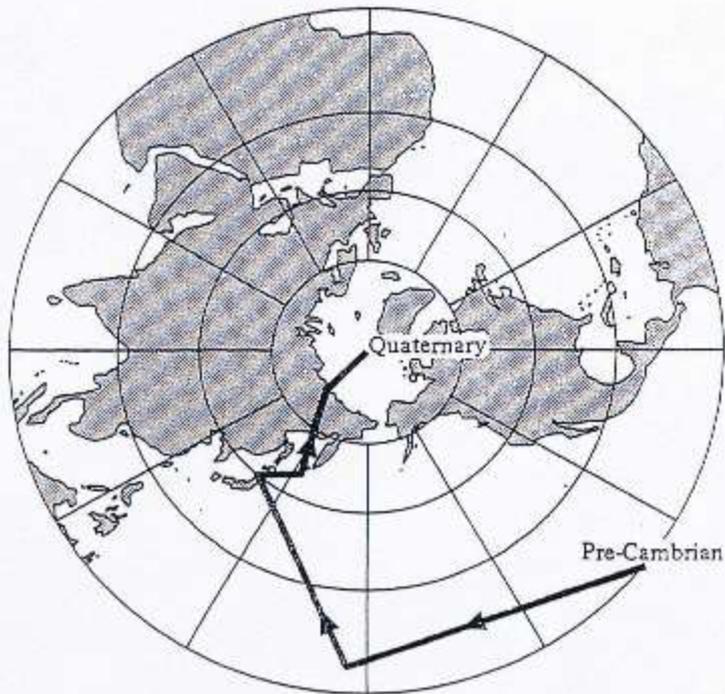


FIG. 22. — GRAPHIQUE DE A. COX ET R.R. DOELL SUR L'INVERSION, PRÉSENTÉ A UN SYMPOSIUM RÉCENT (PITTSBURGH, NOVEMBRE 1964).

Migration des pôles (Runcorn)

Figure 7.2. One of the first polar-wandering paths constructed. The orientation of samples from Britain dating from the Pre-Cambrian to the modern period were calculated, plotted and then connected in a 'smooth' curve. The representation of the data in this form is striking and suggestive (after Creer, Irving & Runcorn, 1954: 165).



76

L'écume de la terre

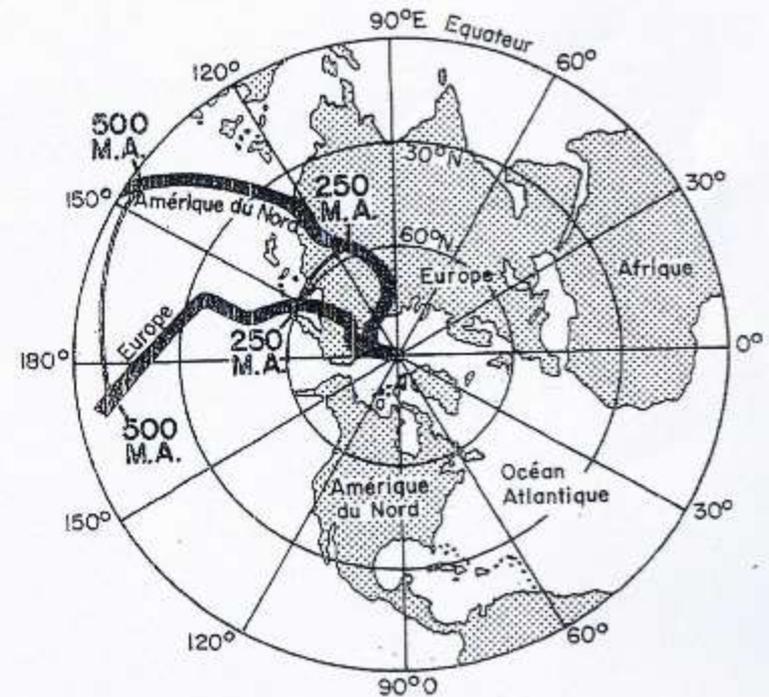


FIG. 18. - Courbes de dérive du pôle pour l'Europe et l'Amérique. Si l'on veut les faire coïncider, il faut déplacer l'Amérique vers l'Est pour amener la courbe correspondante sur celle de l'Europe. On « referme » alors l'océan Atlantique et l'on reconstitue ainsi l'ancienne Pangée (d'après K. Runcorn).

1962

Marine magnetics



Raff and Mason's 1961 map of the total magnetic field anomalies south-west of Vancouver Island (with the permission of the Geological Society of America)

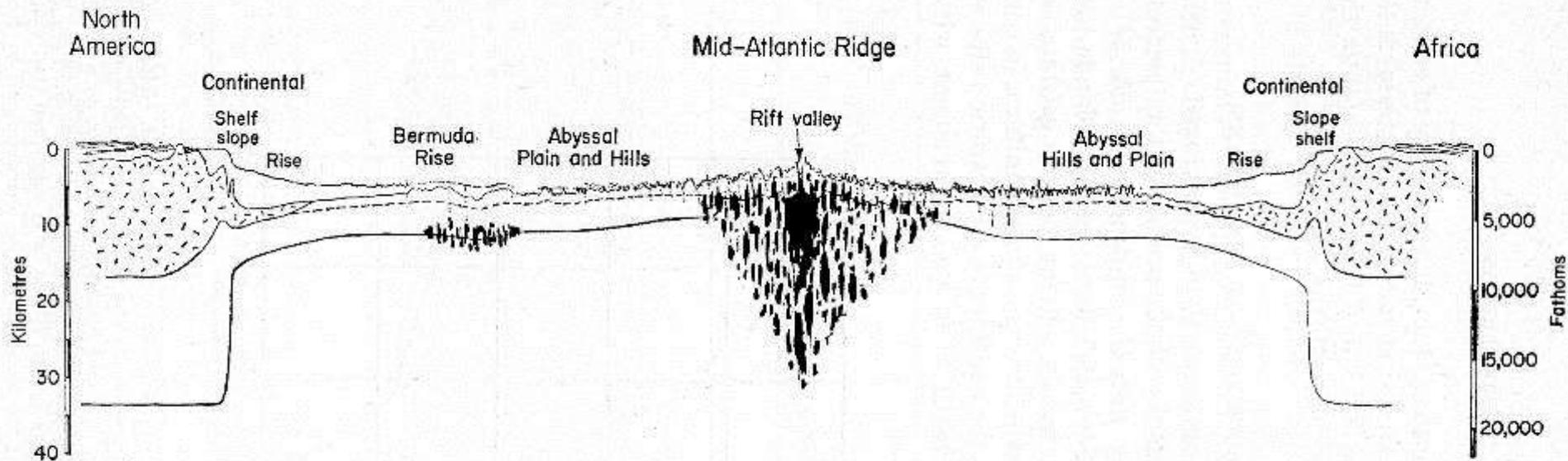
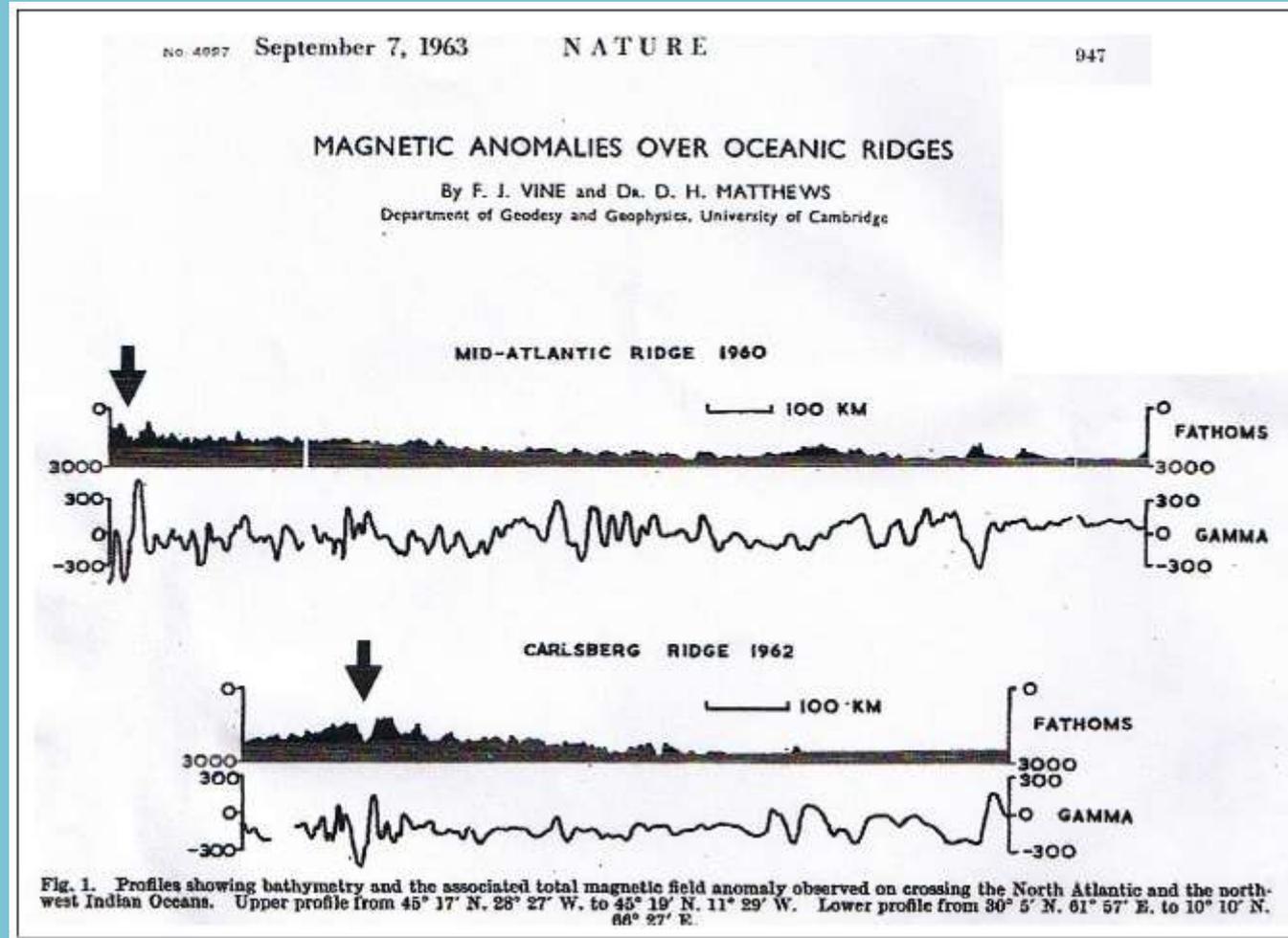


FIG. 23. Crustal section across the North Atlantic. The dark shaded area represents the 7.2 to 7.4 km/sec material which lies beneath the crest of the Mid-Atlantic Ridge. This material may be altered upper mantle or a mixture of mantle and crust. The first layer under the oceans represents sediments; the second, possibly lithified sediments or, more probably, volcanics; and the third is the oceanic crustal layer. Beneath this layer lies the mantle. This illustration is based on the correlation of crustal thickness measurements and physiography throughout the North Atlantic.

Vine & Matthews 1963



McKenzie, Matthews, Vine



Work on this survey led us to suggest that some 50 per cent of the oceanic crust might be reversely magnetized and this in turn has suggested a new model to account for the pattern of magnetic anomalies over the ridges.

The theory is consistent with, in fact virtually a corollary of, current ideas on ocean floor spreading⁷ and periodic reversals in the Earth's magnetic field⁸. If the main crustal layer (seismic layer 3) of the oceanic crust is formed over a convective up-current in the mantle at the centre of an oceanic ridge, it will be magnetized in the current direction of the Earth's field. Assuming impermanence of the ocean floor, the whole of the oceanic crust is comparatively young, probably not older than 150 million years, and the thermo-remanent component of its magnetization is therefore either essentially normal, or reversed with respect to the present field of the Earth. Thus, if spreading of the ocean floor occurs, blocks of alternately normal and reversely magnetized material would drift away from the centre of the ridge and parallel to the crest of it.

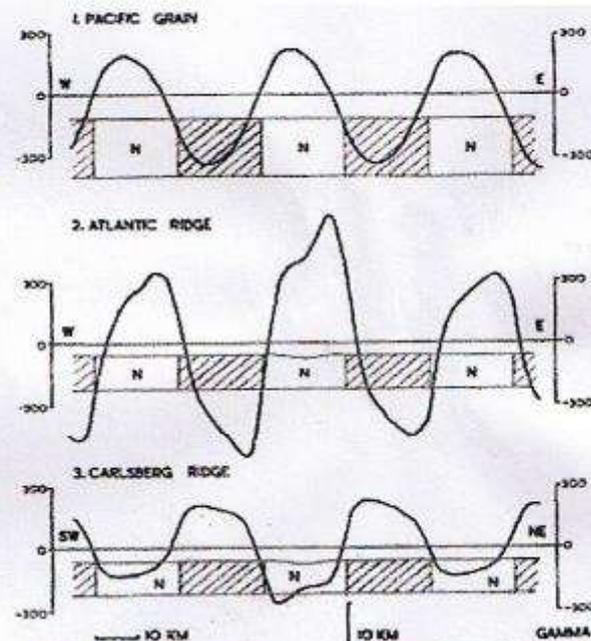


Fig. 4. Magnetic profiles computed for various crustal models. Crustal blocks marked N, normally magnetized; diagonally shaded blocks, reversely magnetized. Effective susceptibility of blocks, 0.0017, except for the block under the median valley in profiles 1 and 3, 0.0013
 (1) Pacific Grab. Total field strength, $F = 0.5$ gauss; inclination, $I = 40^\circ$; magnetic bearing of profile, $\theta = 87.5^\circ$. (2) Mid-Atlantic Ridge, $F = 0.48$ gauss; $I = 45^\circ$; $\theta = 120^\circ$. (3) Carlsberg Ridge, $F = 0.274$ gauss; $I = -6^\circ$; $\theta = 044^\circ$

Fig. 4. Magnetic profiles computed for various crustal models. Crustal blocks marked N, normally magnetized; diagonally shaded blocks, reversely magnetized. Effective susceptibility of blocks, 0.0017, except for the block under the median valley in profiles 1 and 3, 0.0013

(1) Pacific Grab. Total field strength, $F = 0.5$ gauss; inclination, $I = 40^\circ$; magnetic bearing of profile, $\theta = 87.5^\circ$. (2) Mid-Atlantic Ridge, $F = 0.48$ gauss; $I = 45^\circ$; $\theta = 120^\circ$. (3) Carlsberg Ridge, $F = 0.274$ gauss; $I = -6^\circ$; $\theta = 044^\circ$

Expansion vs subduction



Fig.1
Samuel Warren Carey.



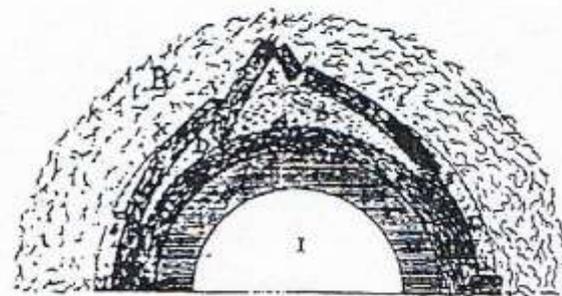
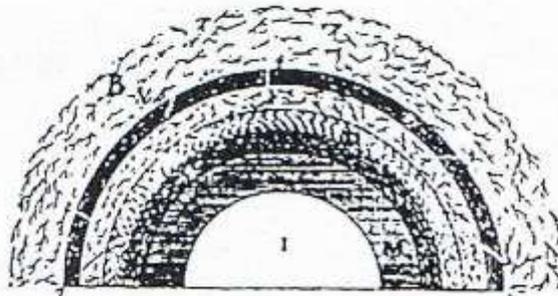
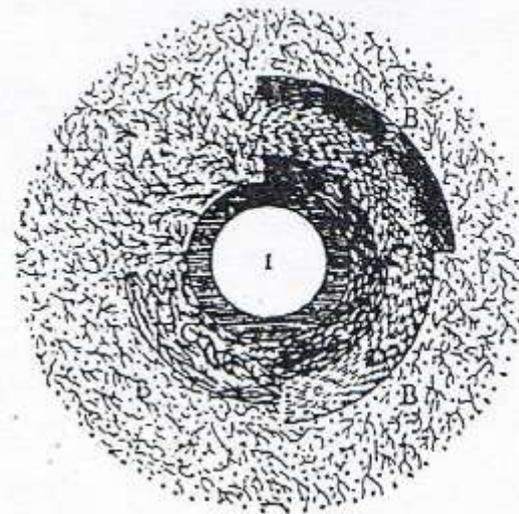
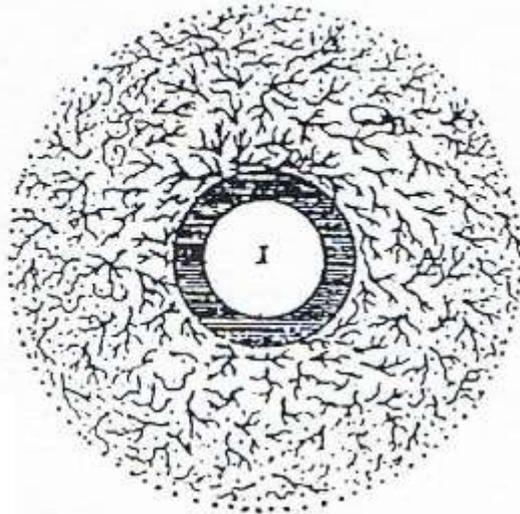
AUX ORIGINES DE LA TECTONIQUE GLOBALE

Brève histoire de la mobilité des continents :

de Wegener à Hess, un saut de 50 ans



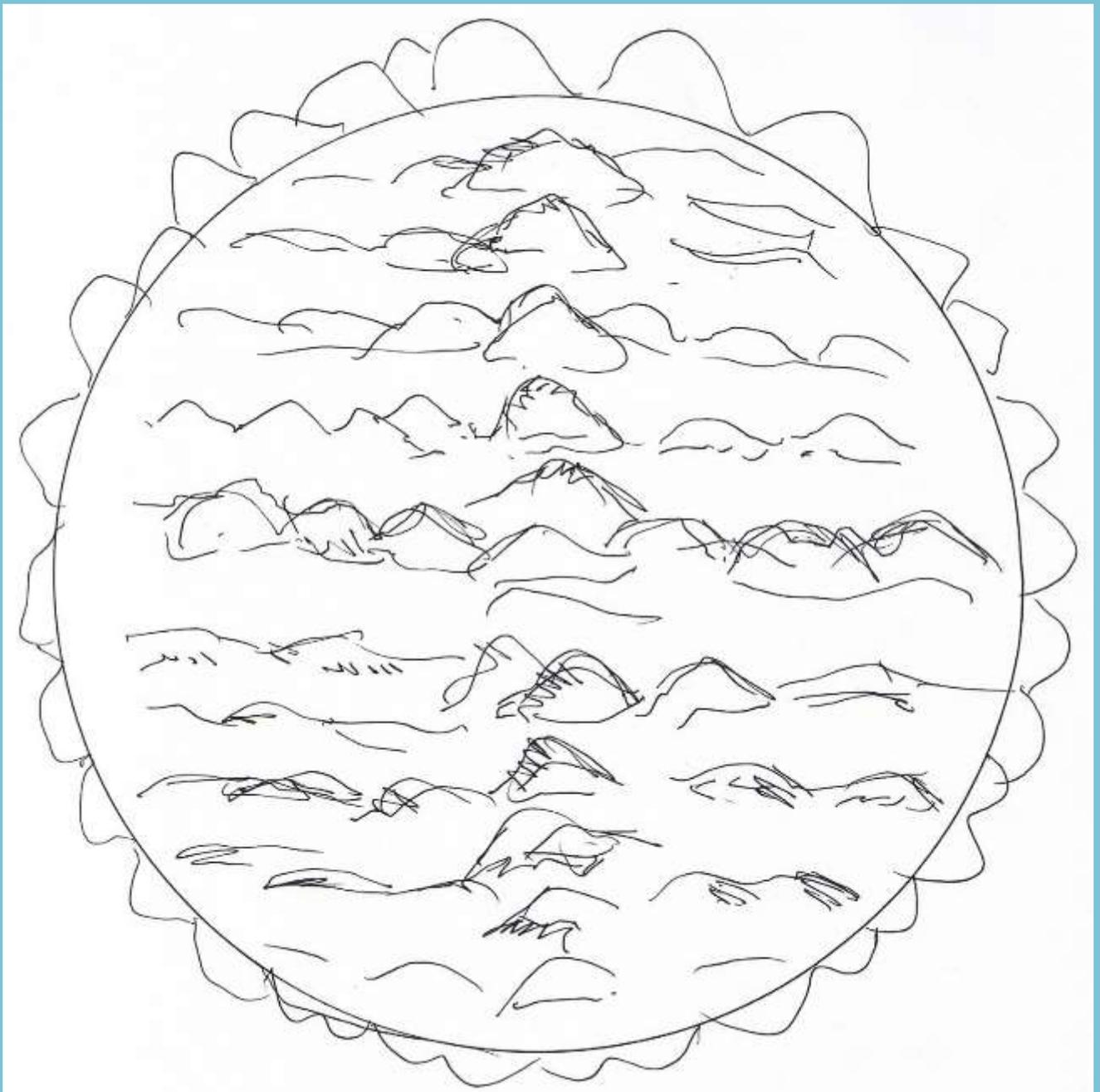
Descartes
1644



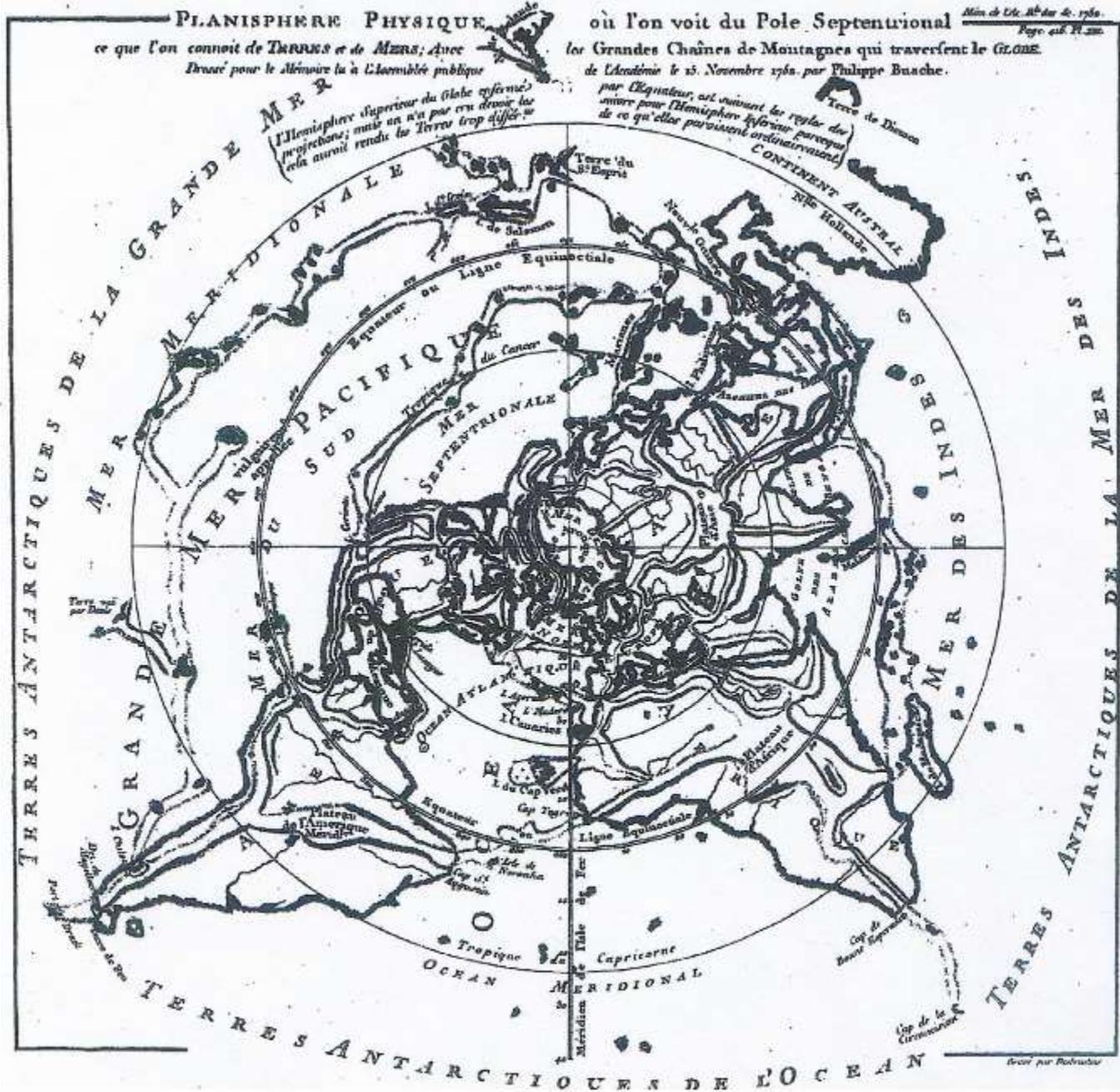
Descartes

Principes de la Philosophie

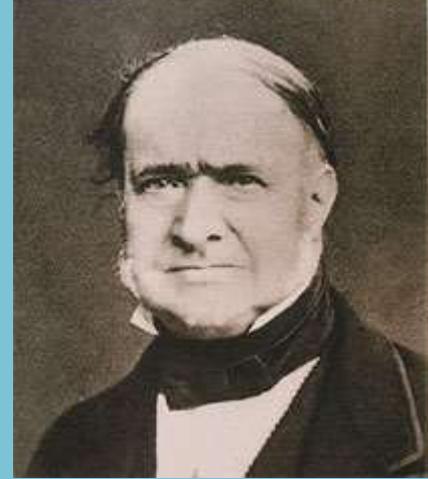
Kircher



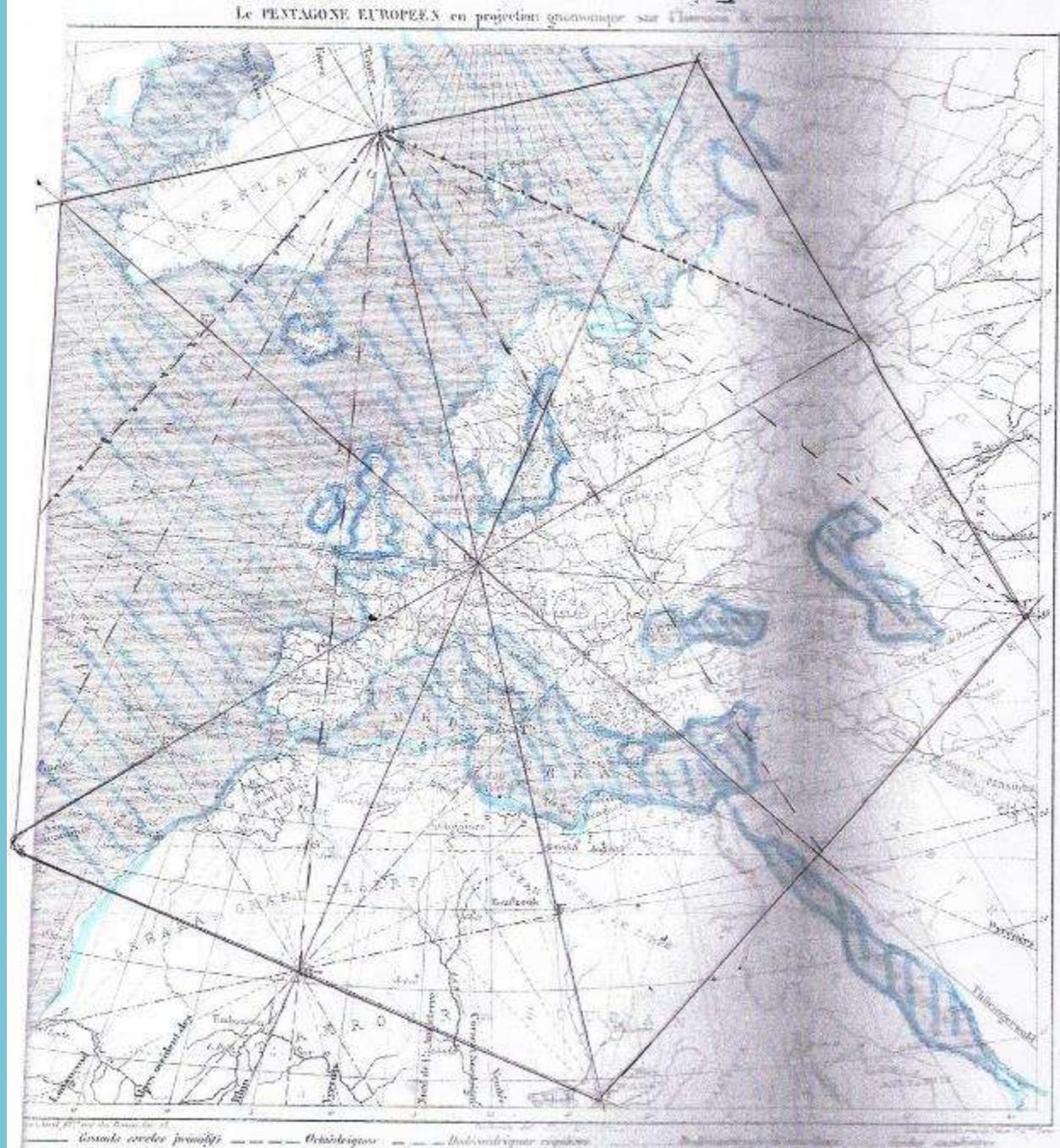
Buache
1752



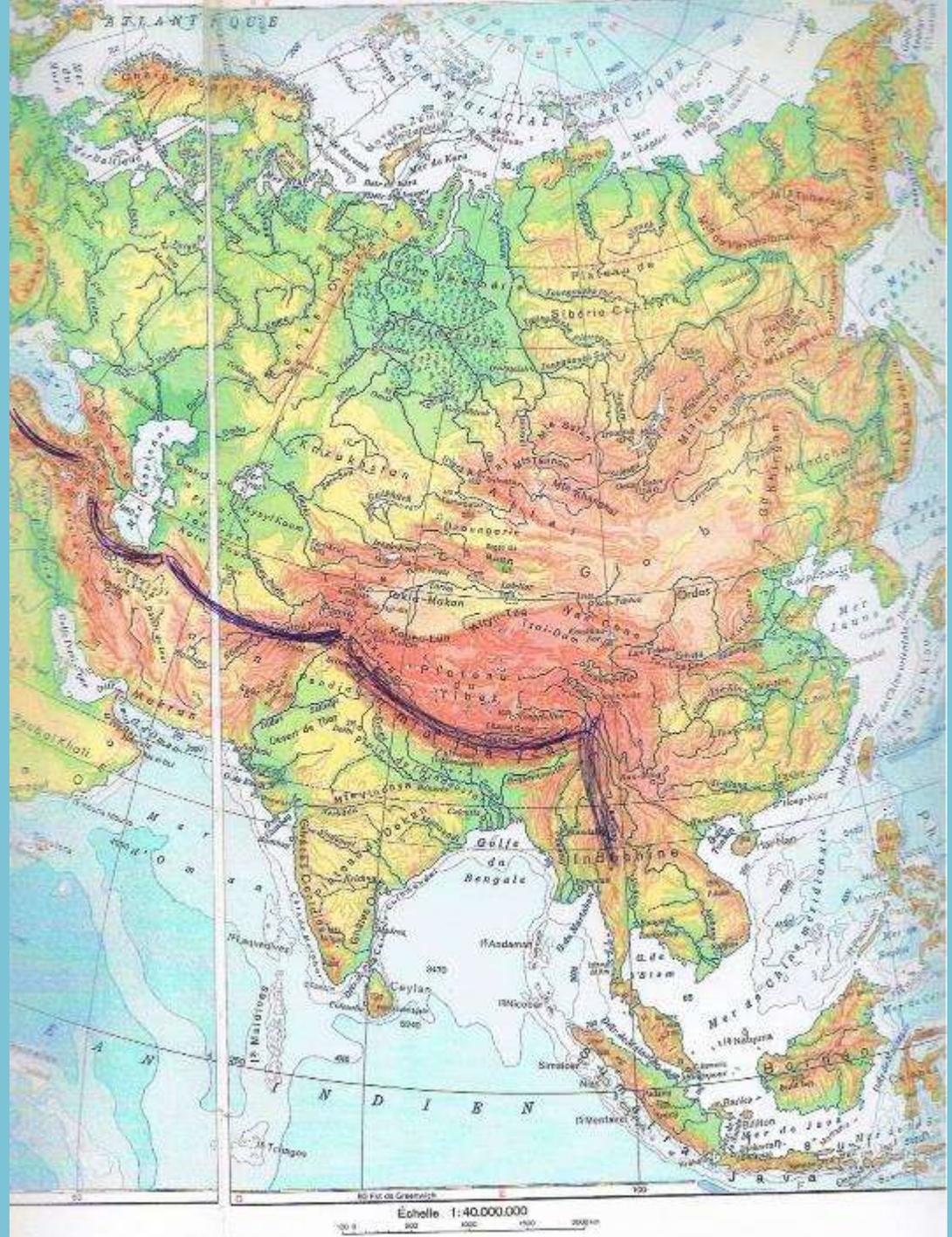
¹ Buache Philippe, « Essai de géographie physique », *Histoire de l'Académie royale des sciences, avec les Mémoires de Mathématique et de Physique*, pour l'années 1752, Paris, Imprimerie royale, 1756, p. 416.



**Elie de
Beaumont
(1798-1874)**



Eduard Suess
(1831-1914)



DIE GEBIRGSSYSTEME EUROPAS.

- I ■■■■■ Iriden und Lethen.
- II ■■■■■ Das skandinavische Gebirgsland.
- III ■■■■■ Die vorrätischen und armenianischen Begeen.
- — — — — Leitlinien der Alpenzonen.

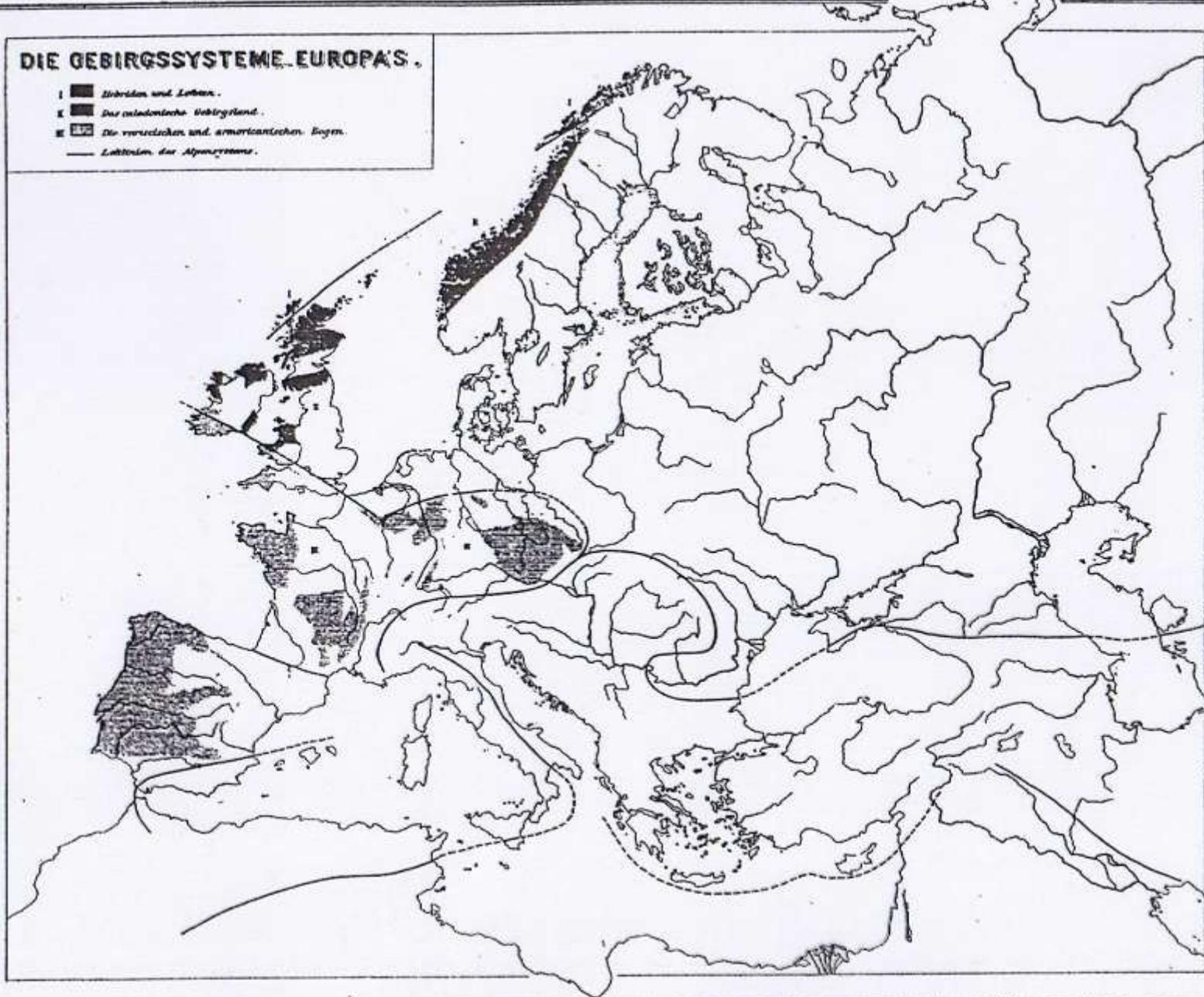


FIG. 161. — Les systèmes de montagnes de l'Europe, d'après ED. SUSS

(Vorträge des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, XXX. Jahrg., 1890, Heft 1, pl. 1). — Échelle 1 : 33 000 000 environ.

Journée thématique de l'AFPSVT
« TECTONIQUE DES PLAQUES »
15 novembre 2010

LA TECTONIQUE DES PLAQUES
à la lumière de 40 années
d'observations et de mesures

Siegfried J. LALLEMANT

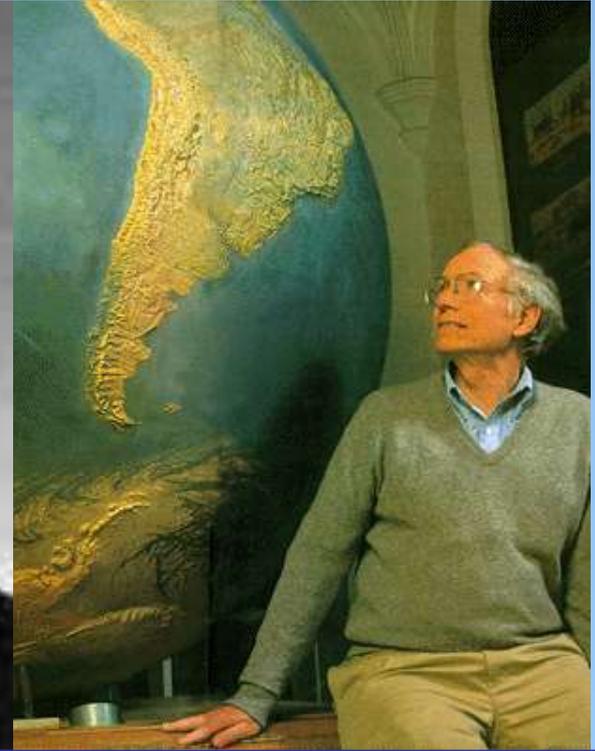
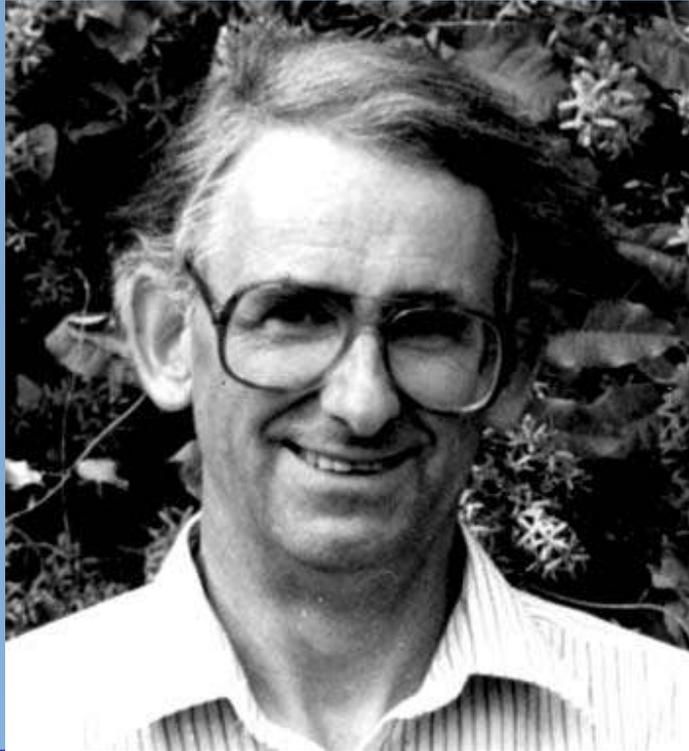
Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement
Université de Cergy-Pontoise

Siegfried.lallemant@u-cergy.fr

Temps forts

- **1) La formulation initiale**
- **2) Des théories à l'épreuve des observations**
 - a) **Cinématique relative instantanée**
 - b) **Le couple Lithosphère-Asthénosphère**
 - c) **Mouvements absolus et points chauds**
- **3) Paradigmes et paradoxes**
- **4) Et les continents ?**
- **5) Moteur, vous avez dit « moteur » ?**

La formulation de la théorie



1967 - 1968 : Année de l'acceptation de l'expansion des fonds océaniques. Tout est en place pour la grande révolution qui voit la naissance de la théorie de la tectonique des plaques dans la publication des papiers de :

Dan McKenzie (1942 -), Xavier LePichon (1937 -) et Jason Morgan (1935 -).

Les trois lauréats du prix du Japon (Japan Prize) 1990

« for the initiation of the theory of plate tectonics and contributions to its development »

Autres prix scientifiques pour la Tectonique des Plaques

- **Prix CRAFOORD 2002**

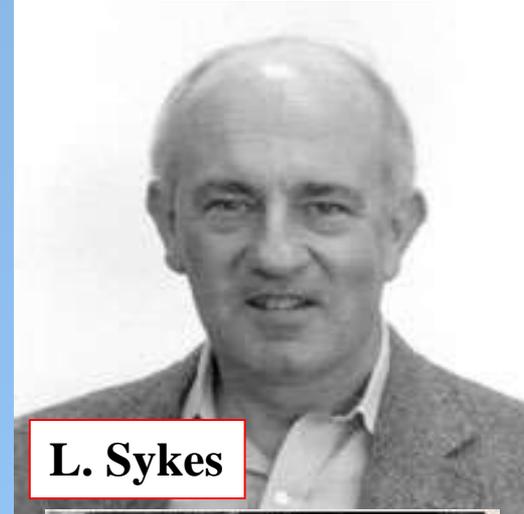
(Académie royale des sciences de Suède) :

– **D. McKenzie**

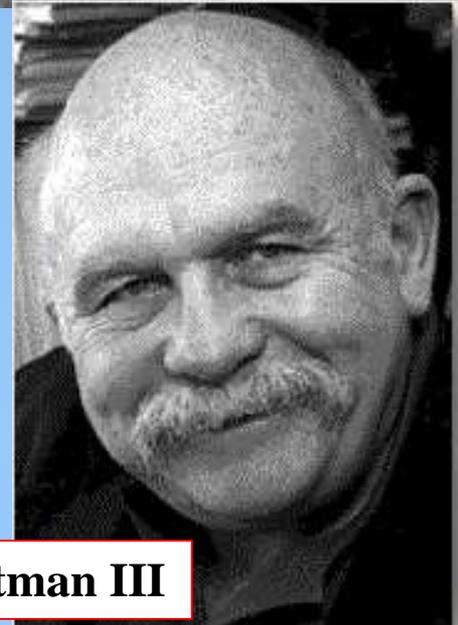
- **Prix VETLESEN 2000**

(Columbia University):

– **W. Pitman III, L. Sykes et J. Morgan**



L. Sykes



W. Pitman III

Chronologie

- Les articles « fondateurs »
- **McKenzie, D. & Parker, R. L.:** « The North Pacific: an example of tectonics on a sphere ». *Nature* 216, 1276-1280, **1967**. Soumis octobre 1967.
- **W. J. Morgan:** « Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks ». *Journal of Geophysical Research* 73, 6, 1959, **1968**. Soumis 30 aout 1967.
- **X. Le Pichon :** « Sea-floor spreading and continental drift ». *Journal of Geophysical Research*, 73, 12, 3661-3697, **1968**. Soumis 02 janvier 1968.
- Notez : l'article de Morgan paraît tardif mais il correspond à un résumé «extended abstract» du 17 avril 1967 de sa présentation à l'AGU, abstract qu'il a largement diffusé. (perdu par tous, retrouvé et publié par X. Le Pichon en 1991) et a été soumis le premier !!!

Un acte fondateur ?

- **19 Avril 1967, l'acte fondateur est une session de l'AGU meeting à Washington D.C., consacrée à l'expansion des fonds océaniques, et organisée par Vine et Menard, qui correspondra selon les mots de R. Dietz à une conversion de la communauté américaine au mobilisme :**
« the total and instantaneous conversion of the American community to continental drift »

LE SCHEMA DE SYNTHESE HISTORIQUE

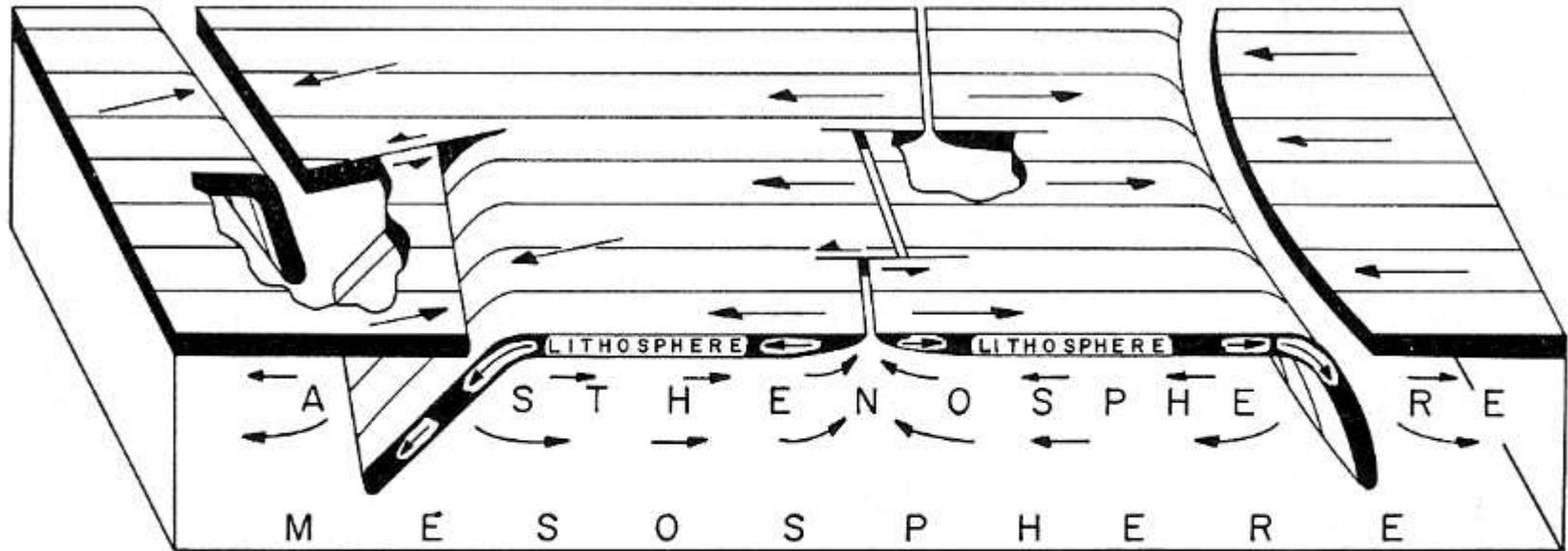


Fig. 1. Block diagram illustrating schematically the configurations and roles of the lithosphere, asthenosphere, and mesosphere in a version of the new global tectonics in which the lithosphere, a layer of strength, plays a key role. Arrows on lithosphere indicate relative movements of adjoining blocks. Arrows in asthenosphere represent possible compensating flow in response to downward movement of segments of lithosphere. One arc-to-arc transform fault appears at left between oppositely facing zones of convergence (island arcs), two ridge-to-ridge transform faults along ocean ridge at center, simple arc structure at right.

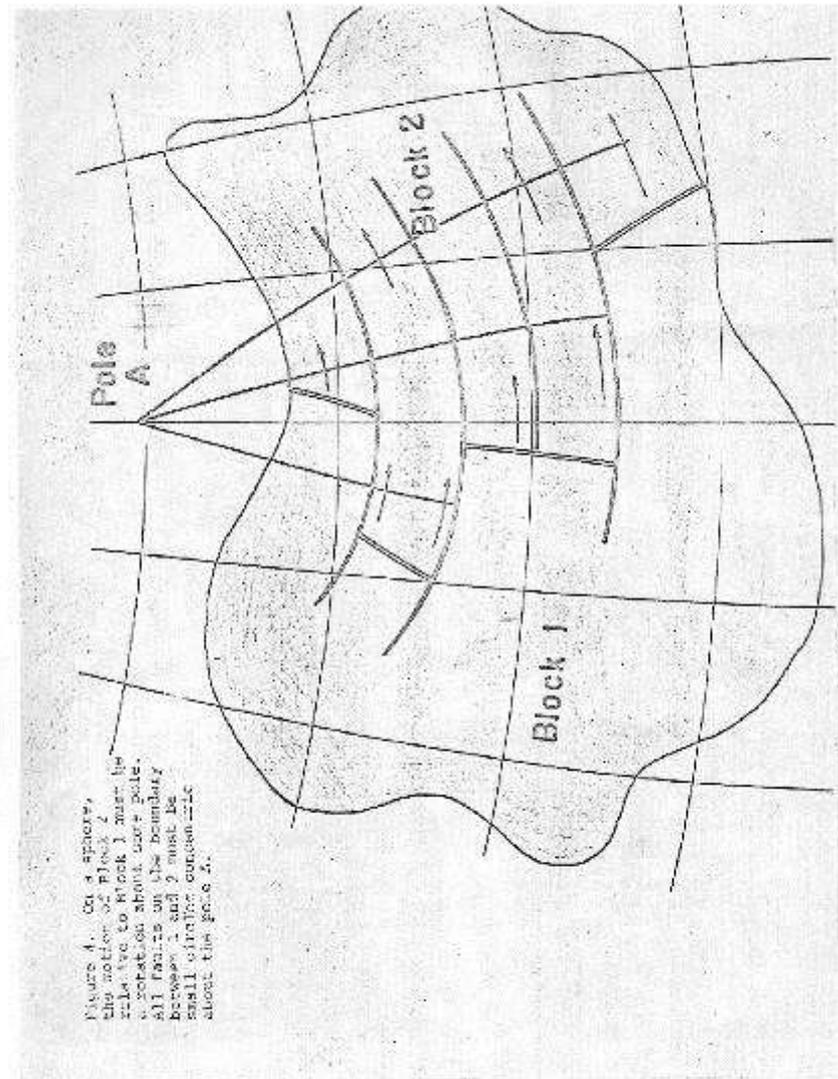
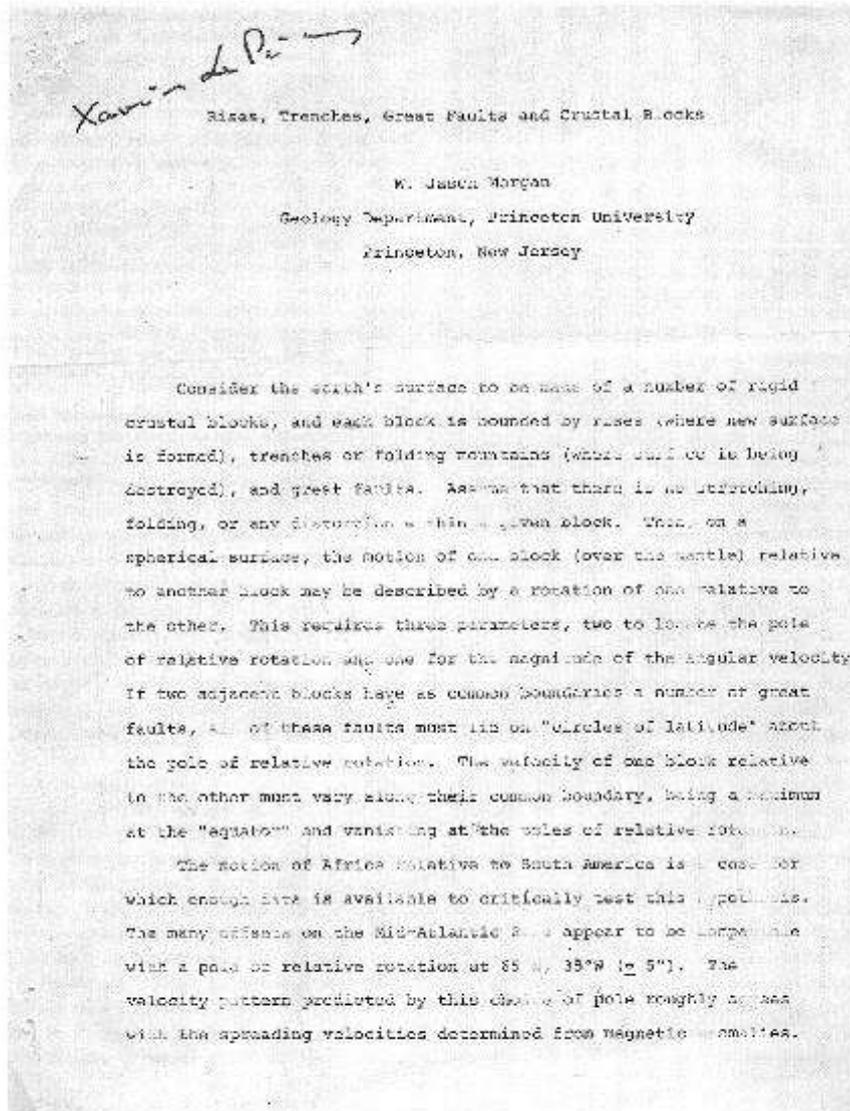
Tiré de :Isacks, Oliver et Sykes, « Seismology and the new global tectonics, J. Geophys. Res., vol. 73, n°18, sept 1968

• Notez : Cet article, pas plus que les 3 précédents n'utilise le terme de « **Plate Tectonics** ». Il faudra attendre l'article de McKenzie et Morgan de 1969 pour le voir écrit, mais D. McKenzie reconnaît que l'expression circulait déjà !!!

Un acte fondateur ? (suite)

- A la fin de cette session, un jeune chercheur de Princeton, J.W. Morgan devait présenter un sujet sur l'origine des grandes fosses océaniques par convection visqueuse, une hypothèse très controversée. Mais sa présentation ne correspond pas au titre annoncé et c'est devant un auditoire très clairsemé qu'il énonce les bases de la tectonique des plaques sur la sphère terrestre.
- Par ailleurs, Morgan a rédigé un résumé étendu de 11 pages qu'il diffusera largement. Dans ce résumé, on trouve l'essentiel des figures « clés » de son article au J. Geophys. Res. Qui ne paraîtra qu'en 1968
- X. Le Pichon qui était présent et aura le résumé entre les mains (comme nombre de chercheurs du « Lamont » et de « Scripps ») en tirera les conclusions qui s'imposent.

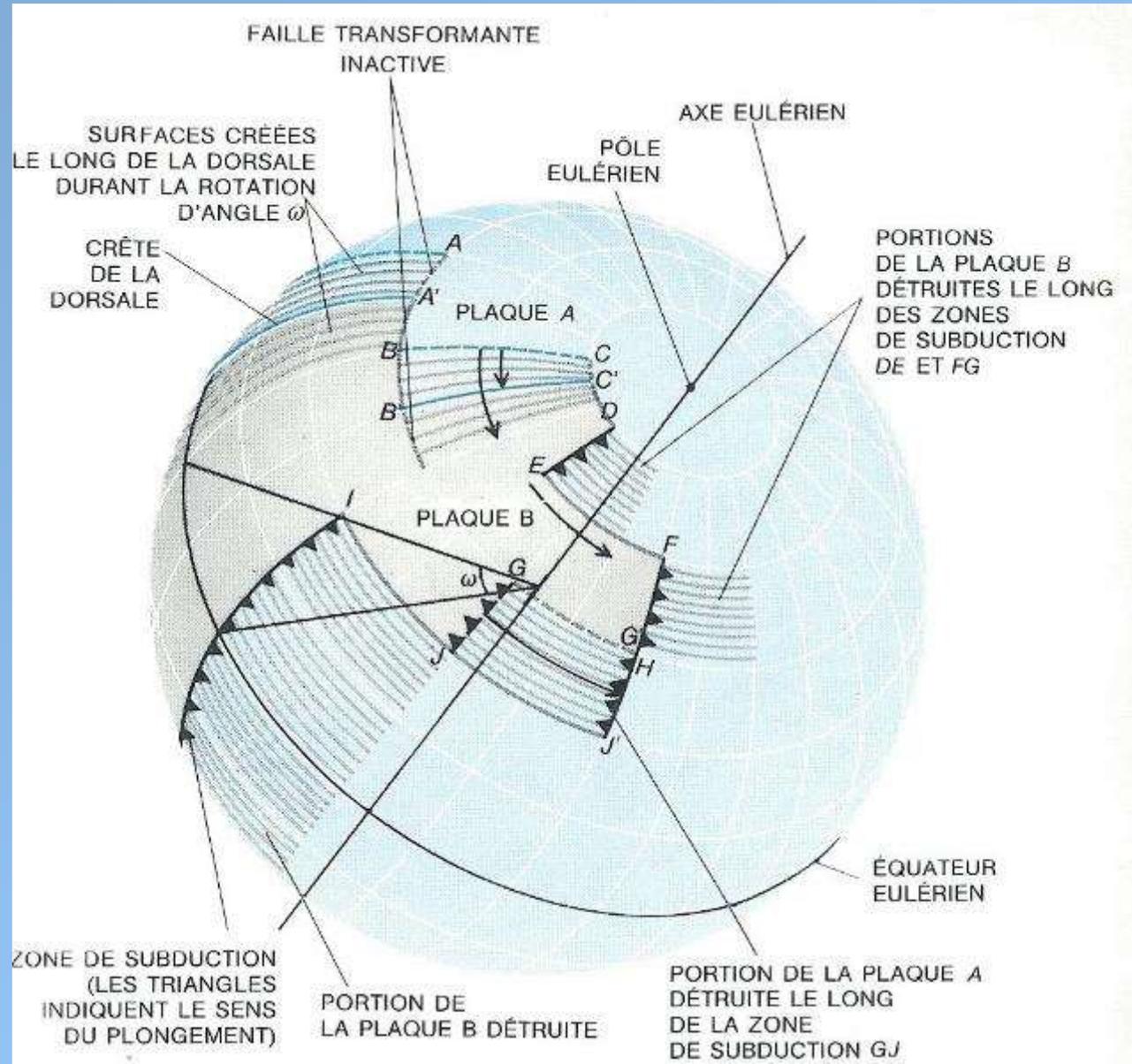
Extended outline written for the April 17, 1967 presentation by Jason Morgan of his paper in the "Sea Floor Spreading" session of the American Geophysical Union Meeting in Washington, D.C., U.S.A.



Fac-similé publié en 1991

Quelle est la vraie révolution de 1967 ?

C'est le passage sur la sphère qui rend la théorie prédictive et permet des modèles globaux sur un nombre limité de plaques rigides.



2) La « Tectonique des Plaques », combien de théories ?

- a) Cinématique relative instantanée
- b) Lithosphère-Asthénosphère : le modèle thermo-mécanique
- c) Cinématique absolue et théorie des points chauds

Le 1er Modèle à 6 plaques de X. Le Pichon, 1968

Données : failles transformantes pour les directions
: anomalies magnétiques sur 10Ma pour les vitesses

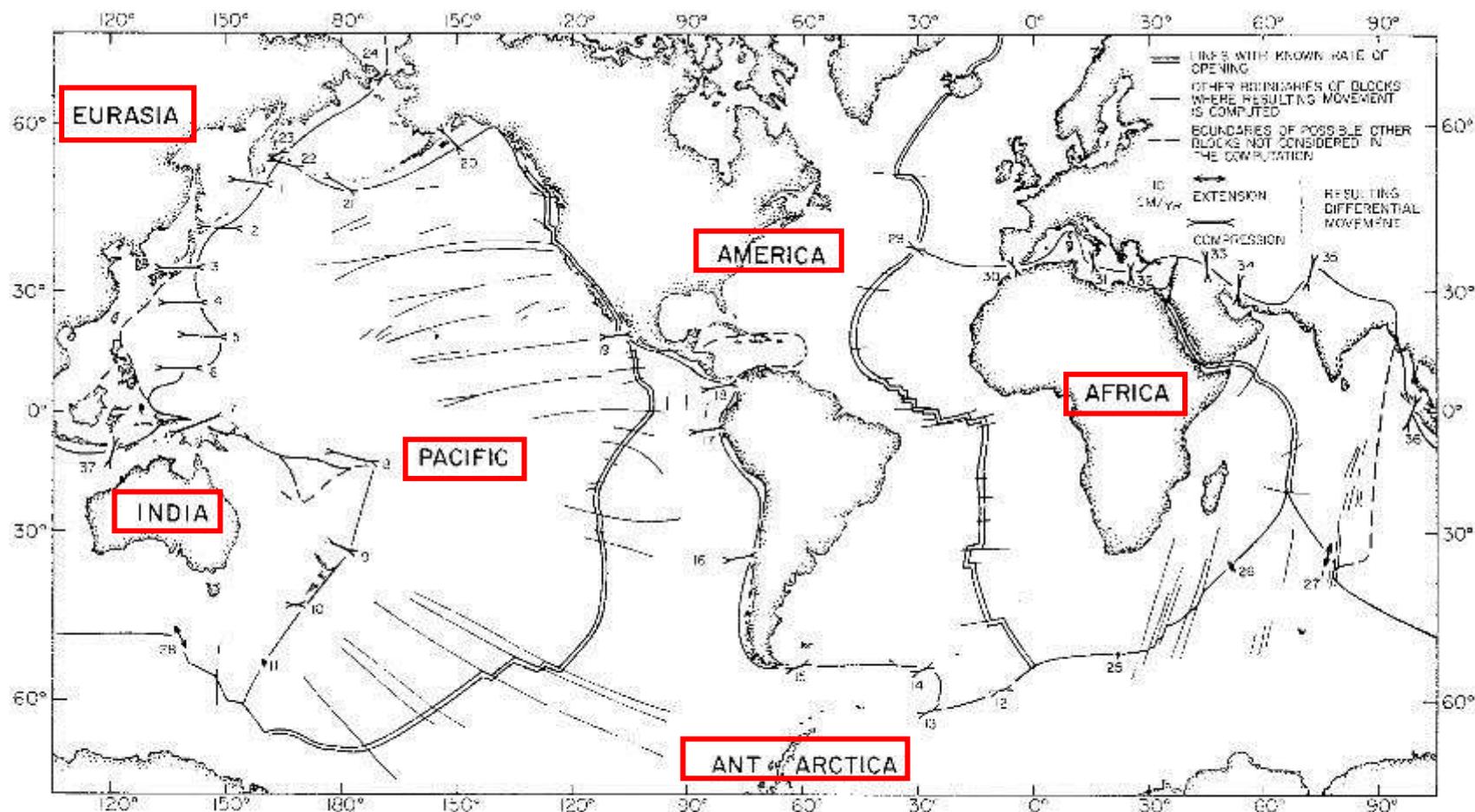


Fig. 6. The locations of the boundaries of the six blocks used in the computations. The numbers next to the vectors of differential movement refer to Table 5. Note that the boundaries where the rate of shortening or slippage exceeds about 2 cm/yr account for most of the world earthquake activity.

Le Modèle RM2 à 12 plaques de Minster et Jordan, 1978

Données : failles transformantes et vecteurs glissement pour les directions : anomalies magnétiques sur 5Ma pour les vitesses

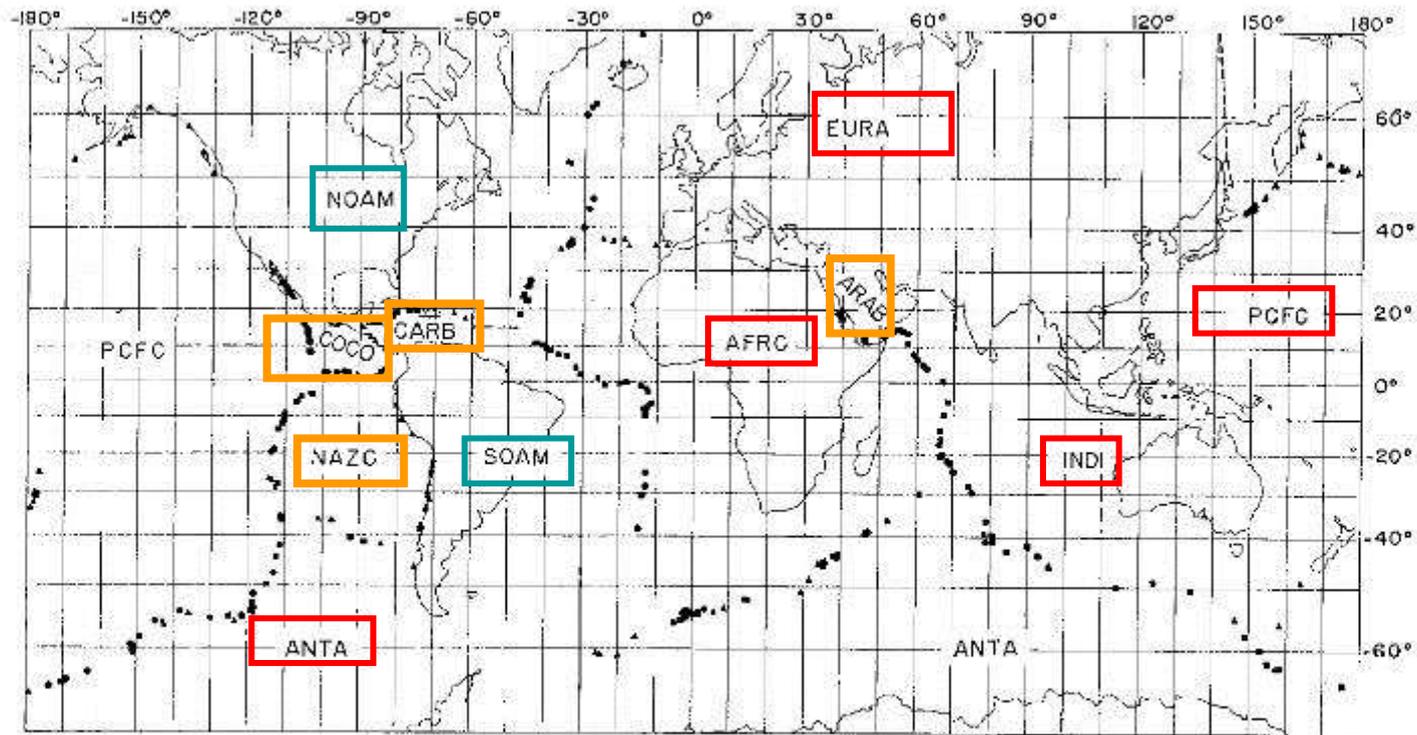


Fig. 1. Plate geometry and geographical distribution of the data used in producing model RM2. Circles are sea floor spreading rates, squares are transform faults, and triangles are slip vectors. Seven EURA-NOAM data at high latitudes are not shown on the figure.

Plaque d'origine

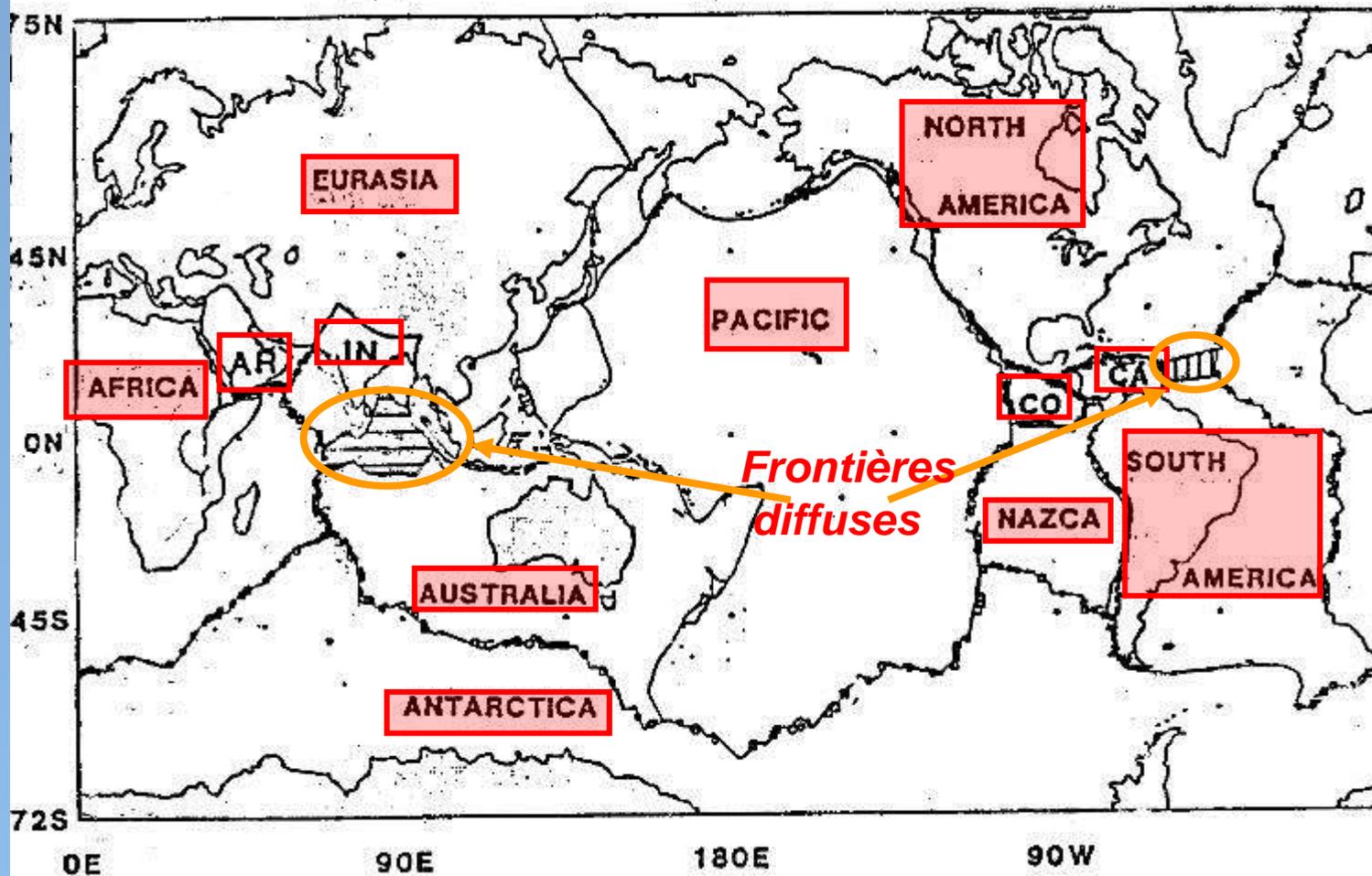
Plaque subdivisée

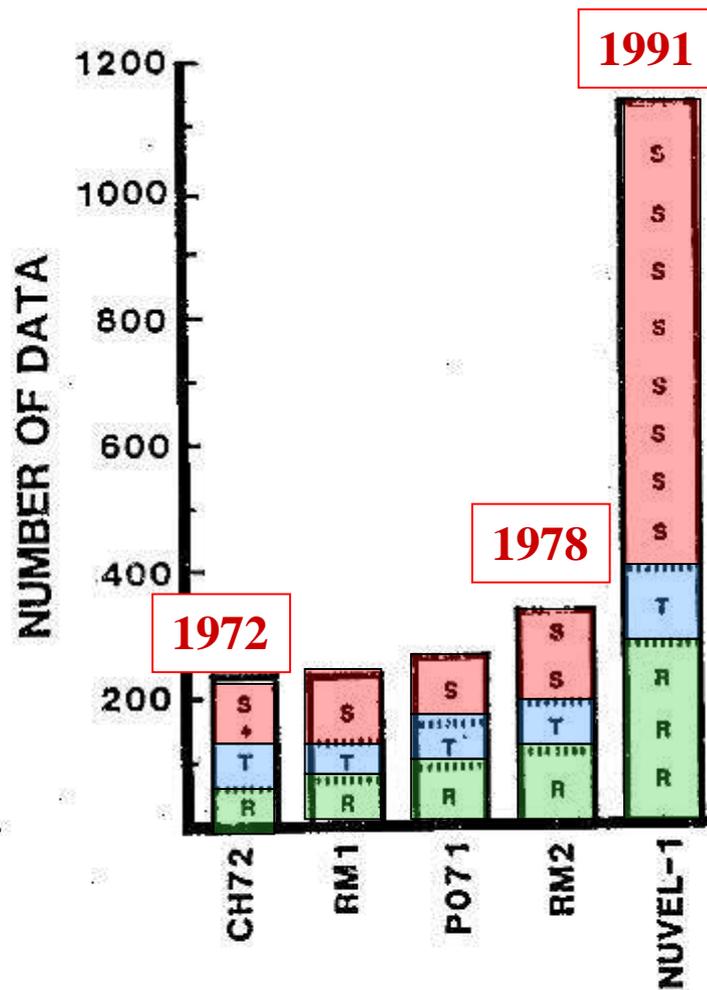
Plaque introduite

NUVEL1 : (DeMets et al., 1991)

Le plus récent des « modèles classiques »

Données : failles transformantes et vecteurs glissement pour les directions
: anomalies magnétiques sur **3Ma** pour les vitesses





S : « slip vectors »
ou vecteurs glissement

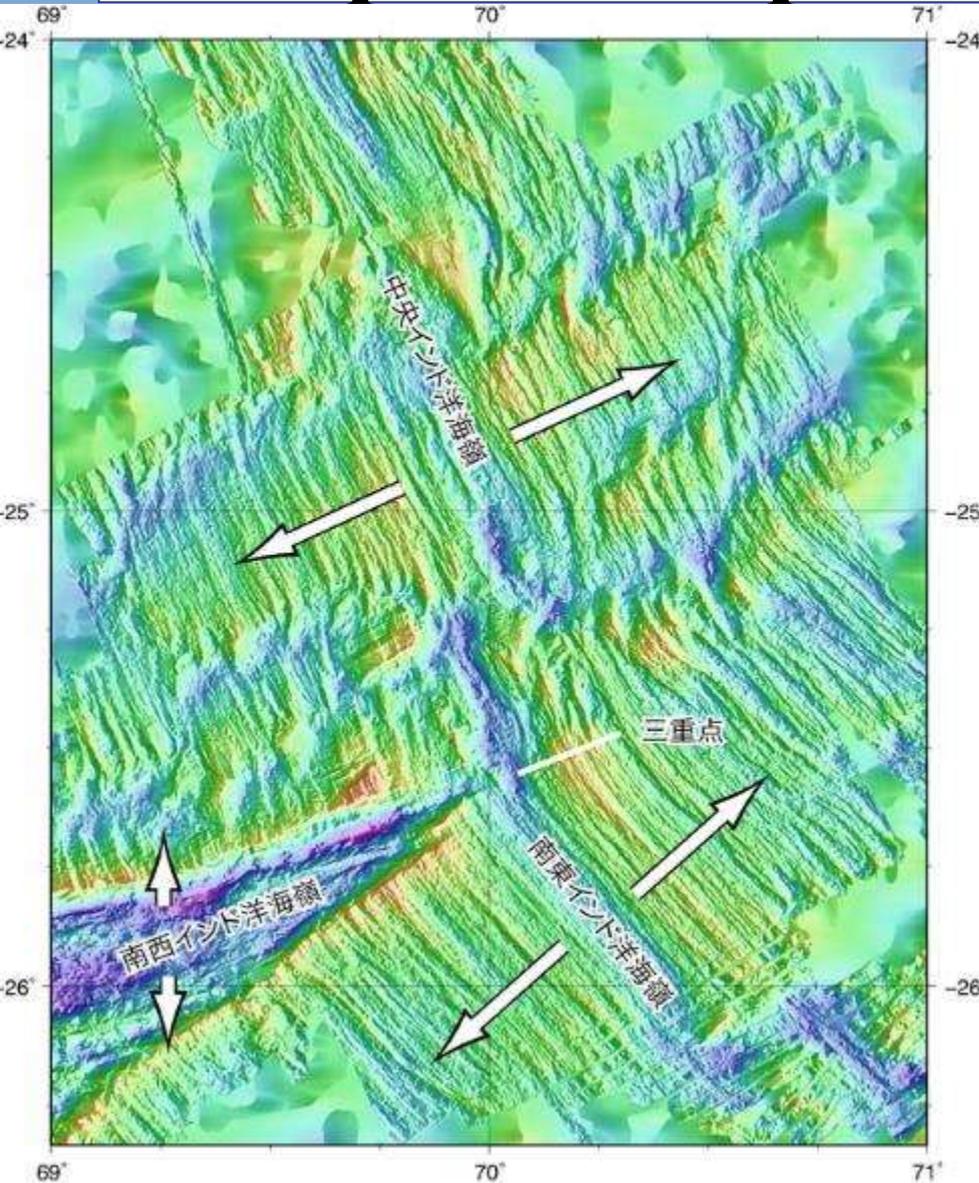
T : « Transform Fault Azimuth »
ou azimuth des failles
transformantes

R : « Spreading rates »
ou vitesses d'écartement des
plaques

Figure 2. Number of data used to derive various global plate motion models: CH72 [Chase, 1972], RM1 [Minster et al., 1974], PO71 [Chase, 1978], RM2 [Minster and Jordan, 1978], and NUVEL-1. Data are of 3 types: slip vector azimuths (S), transform fault azimuths (T), and spreading rates (R).

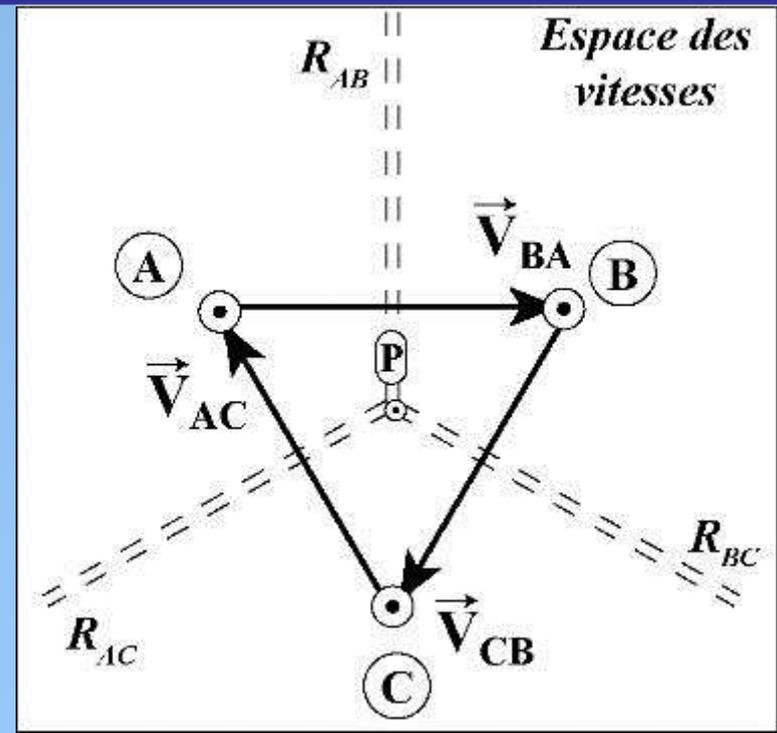
Une augmentation significative du nombre de données mais pas du nombre de plaques en proportion !!!!!

Premier test de cohérence : les points triples (McKenzie & Morgan, 1969)



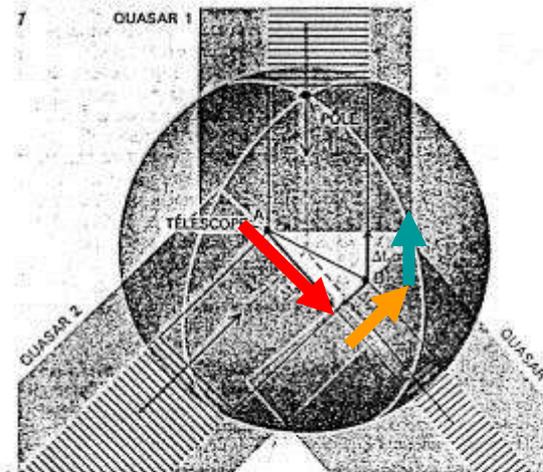
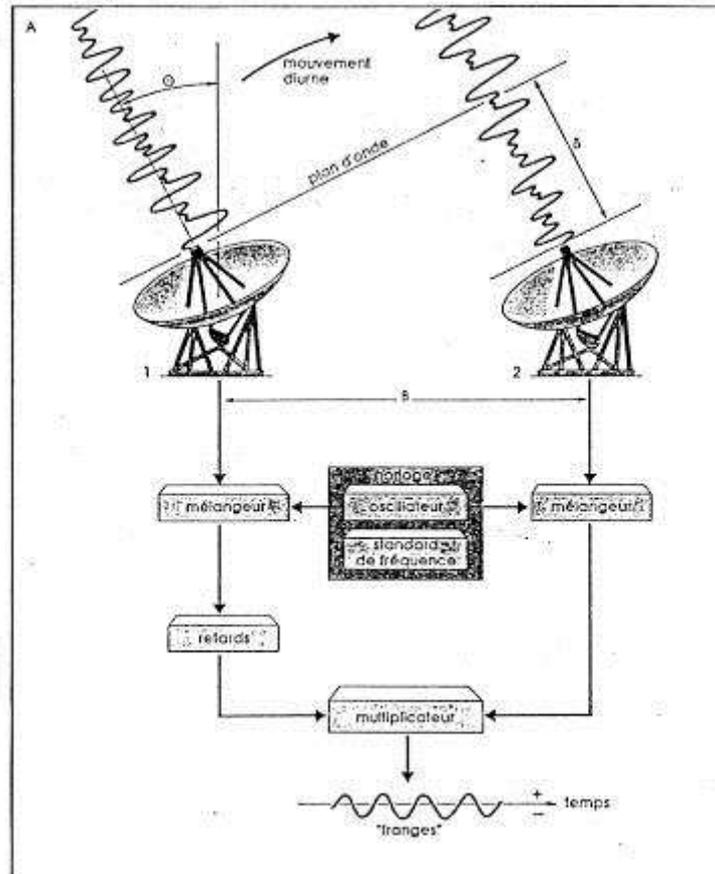
La stabilité (dans le temps) d'un point triple est déterminée par deux conditions *dans l'espace des vitesses* :

- 1) Les trois **vecteurs vitesses** doivent former un **triangle fermé**
- 2) **L'intersection des trois frontières de plaques** doit déterminer un **point unique**

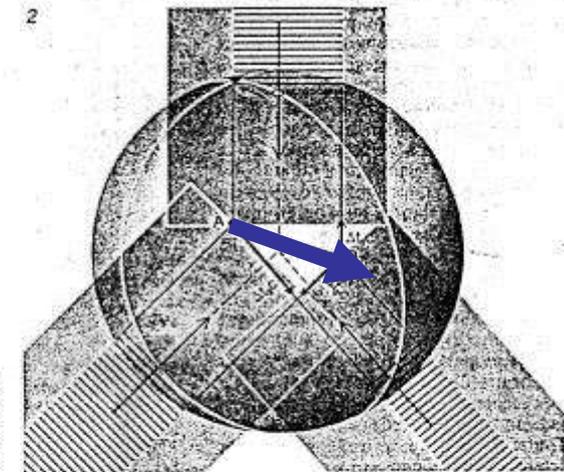


Géodésie spatiale : VLBI

« interférométrie à très longue base »



1. POUR DÉTERMINER LA LONGUEUR ET L'ORIENTATION de la ligne de base définie par deux télescopes, il suffit, en principe, d'observer simultanément les signaux provenant de trois quasars. La projection de la ligne de base sur la direction d'observation d'un quasar est égale au produit de l'intervalle de temps



2. qui sépare l'arrivée du signal aux deux télescopes par la vitesse de propagation du signal (la vitesse de la lumière). Le déplacement de l'axe de rotation de la Terre (la nutation) ou le mouvement du manteau et de la croûte s'accompagnent d'un changement d'orientation de la ligne de base entre deux télescopes.

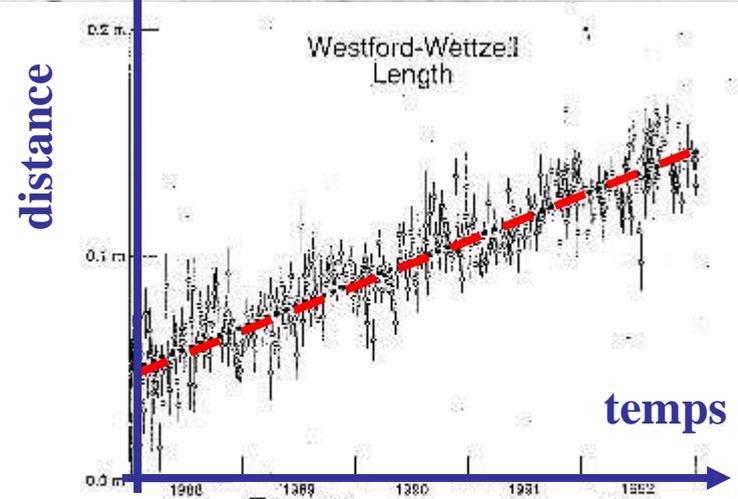
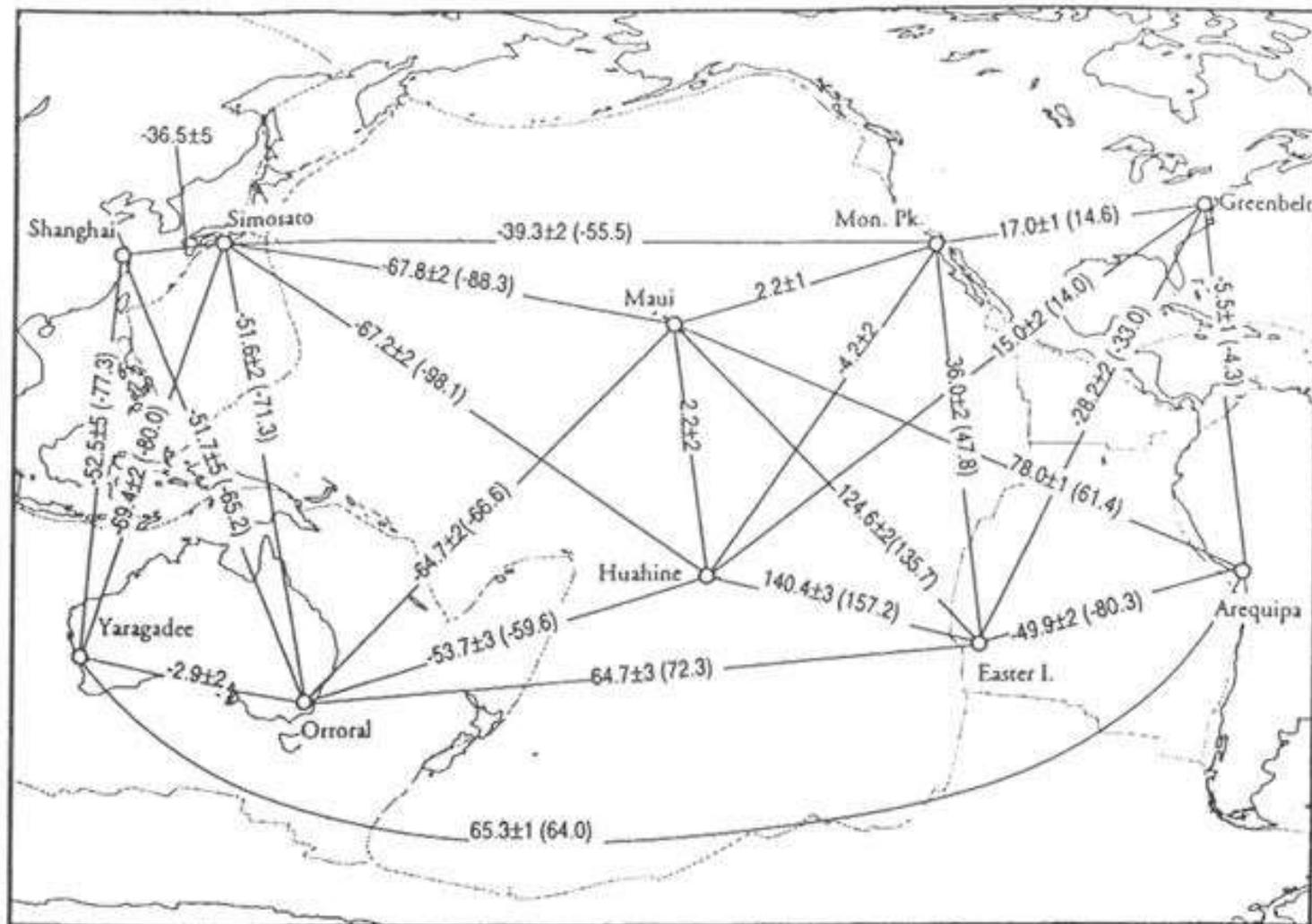


Figure 7b. Detail of the length (less non-Fourier value) of the Westford-Wetzel baseline measured by VLBI as a function of time between 1968 and 1992 [Wu et al., 1994]. Large seasonal variations are evident. Measurements close in time tend to be nearer in value to each another than would be expected from the overall dispersion over many years of data, showing that errors in measurements close in time are partly correlated.

L'écoute des signaux émis par des quasars permettent de mesurer les distances entre télescopes dans un référentiel absolu extraterrestre. Trois quasars indépendants permettent de déterminer une distance entre deux stations.

Les **séries temporelles** de distances obtenues sur plusieurs années permettent la détermination précise des vitesses malgré l'imprécision des mesures ponctuelles !!

Un test au cœur des plaques de la validité des mouvements mesurés aux frontières



Comparaison des vitesses d'allongement des lignes de base mesurées par le SLR (en haut) et deux modèles classiques de plaques (en bas) en mm/a, Smith et al., 1994

Un test au cœur des plaques de la validité des mouvements mesurés aux frontières

Mouvements géodésiques / mouvements “géologiques”

- **Azimut des failles transformantes**

Cartes bathymétriques effectuées avec des navires océanographiques

- **Vecteurs glissement des séismes**

Mécanismes au foyer calculés par les sismologues à partir des trains d'ondes radiées par les séismes

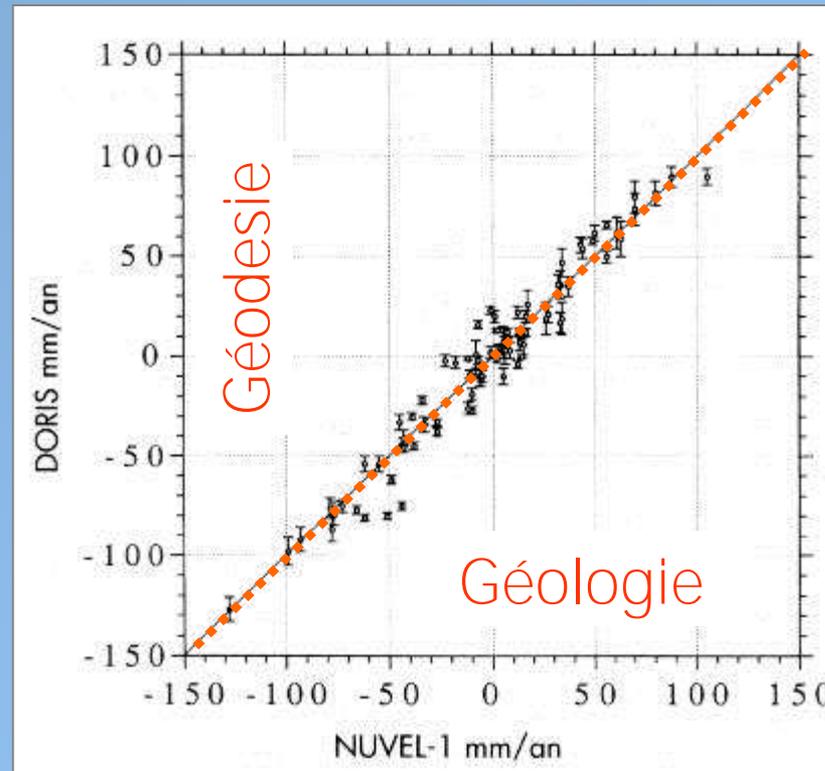
- **Anomalies magnétiques**

Mesures du champ magnétique en mer et identification des linéations magnétiques

1000 ~ 10000 ans

1 ~ 100 secondes

3.08 Ma



Cretaux et al., 1998

- **GPS**

Global Positioning System consiste à mesurer les temps d'arrivée aux stations terrestres de signaux émis par une constellation de satellites

- **SLR**

Un réseau global de stations terrestres mesure le temps aller-retour de la lumière émise puis réfléchi sur des réflecteurs spéciaux montés sur les satellites

- **VLBI**

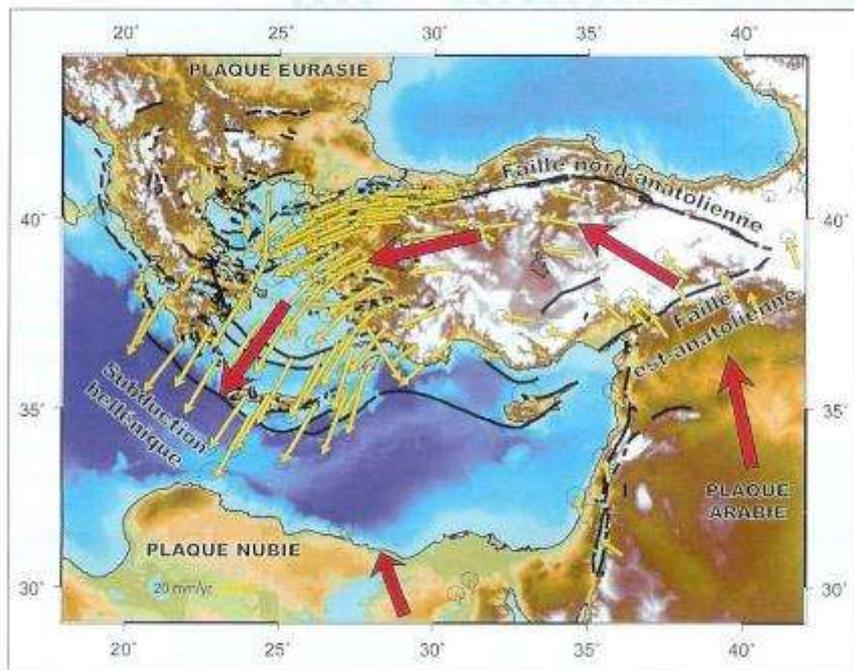
Observation et positionnement de quasars dans la gamme des micro-ondes

- **DORIS**

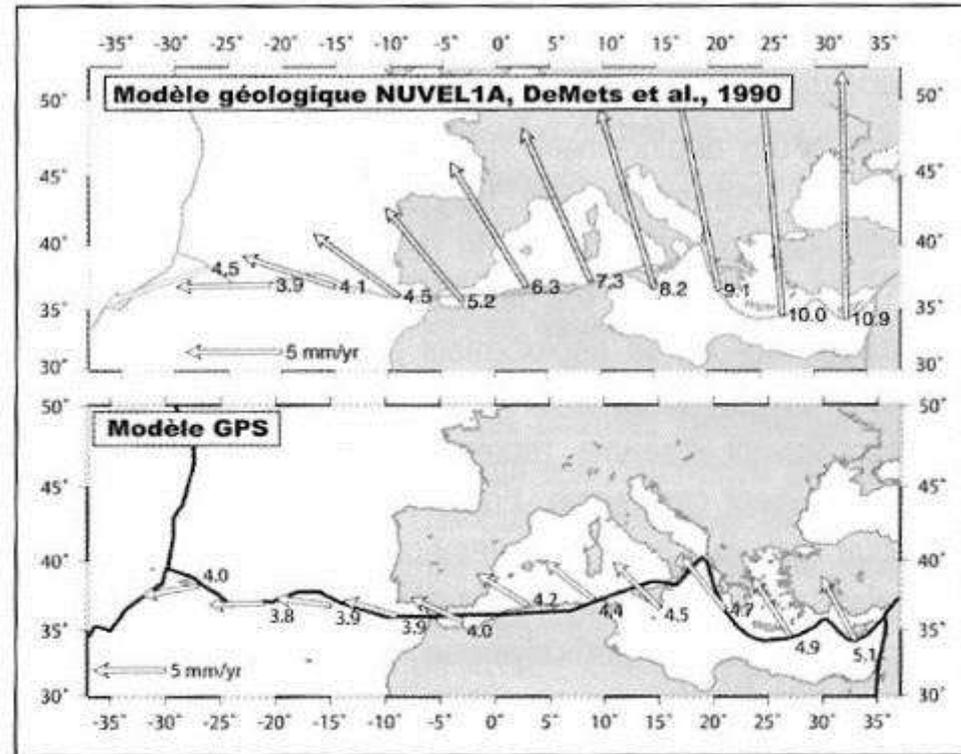
Doppler Orbitography and Radiolocation Integrated by Satellite, système pour localiser les satellites

1 ~ 30 ans

Un accès à des vitesses même sans expansion océanique



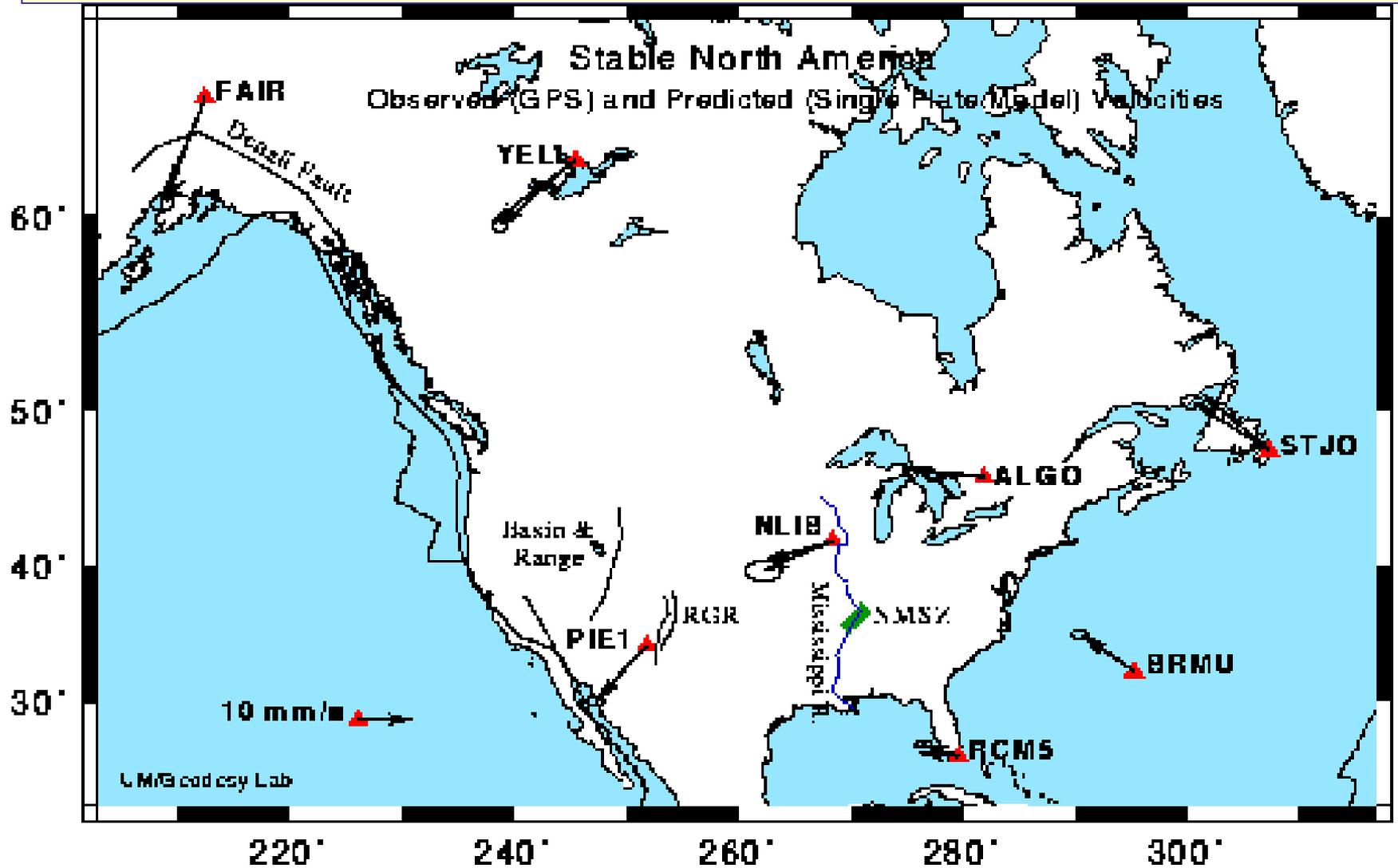
Cinématique de la Méditerranée orientale vue par GPS.



Vitesse de convergence de l'Afrique vers l'Europe (en mm/an) le long de la frontière de plaque. Le modèle NUVEL1A est principalement basé sur l'analyse des anomalies magnétiques le long de la dorsale atlantique et moyenne les vitesses sur 3,16 Ma. Les mesures géodésiques indiquent le mouvement calculé à partir

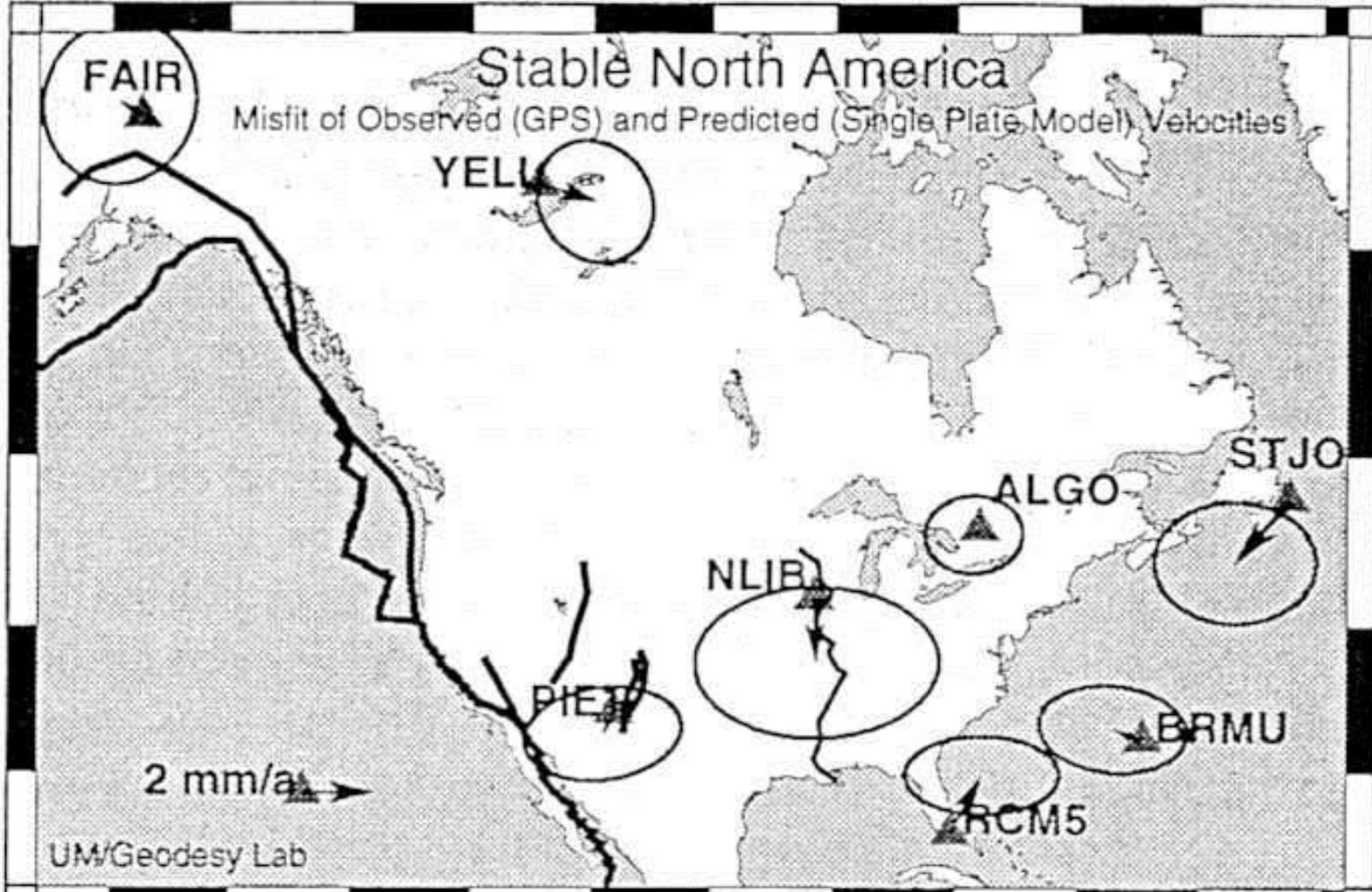
J.M. Noquet, la tectonique de la Méditerranée vue par GPS, in Dossier GPS; Géochronique, n° 94, 2005

Un test de la rigidité des plaques



Vitesses GPS mesurées comparées au meilleur modèle de plaque rigide, Argus et Gordon, 1996

Un test de la rigidité des plaques



**Écarts des vitesses dans l'hypothèse d'une plaque rigide:
Toutes les valeurs sont inférieures ou égales à 2 mm/an**

b) Qu'est-ce qu'une plaque ??

Lithosphère – Asthénosphère : comment les définir ?

- La notion et les termes remontent à Joseph Barrell en 1914 !!!!



Fig. 2.3. Joseph Barrell, Professor of Geology at Yale University. Portrait reproduced from Anonymous (1919). Reproduced with permission of the American Journal of Science.

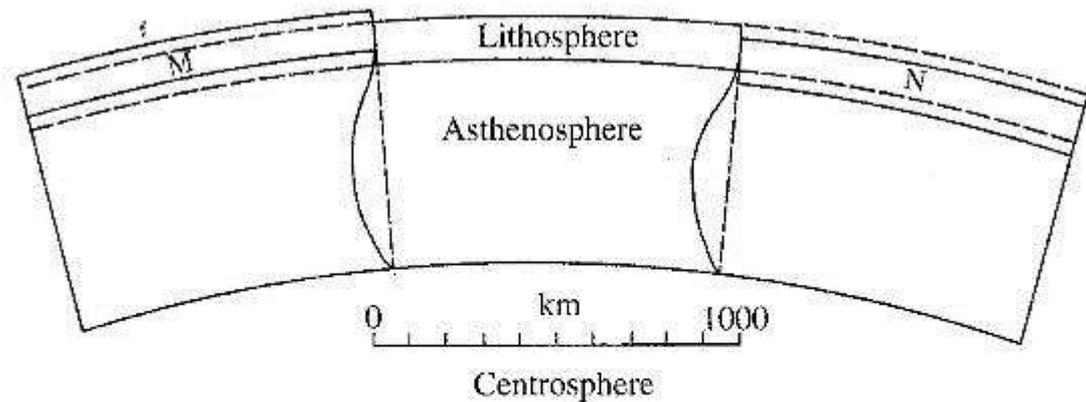


Fig. 2.4. Schematic vertical section of the outer layers of the Earth, to show the nature of the "undertow" in the asthenosphere that is necessary to restore isostatic equilibrium after modification of the lithosphere by uplift and erosion. Reproduced from Fig. 14 of Barrell (1914f) with permission of the University of Chicago Press.

Illustrations tirées de Watts, « Isostasy and flexure of the lithosphere, Cambridge, 2001

Lithosphère-Asthénosphère au sens de Barrell

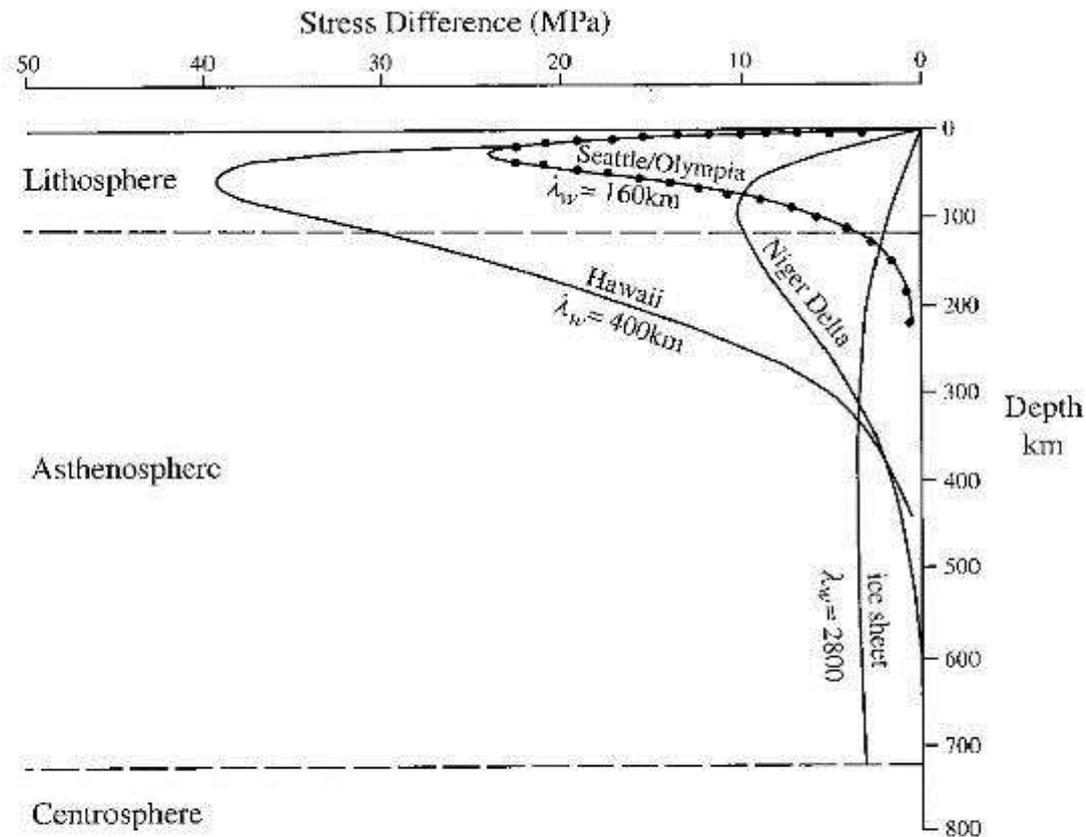
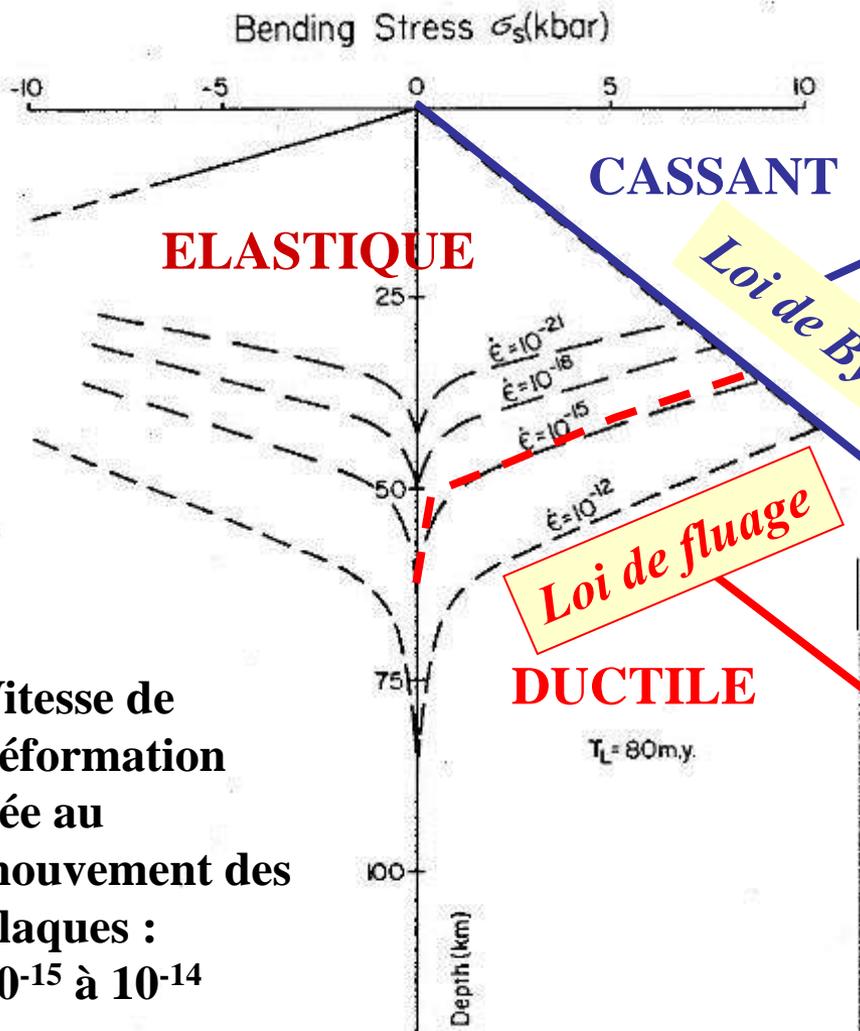


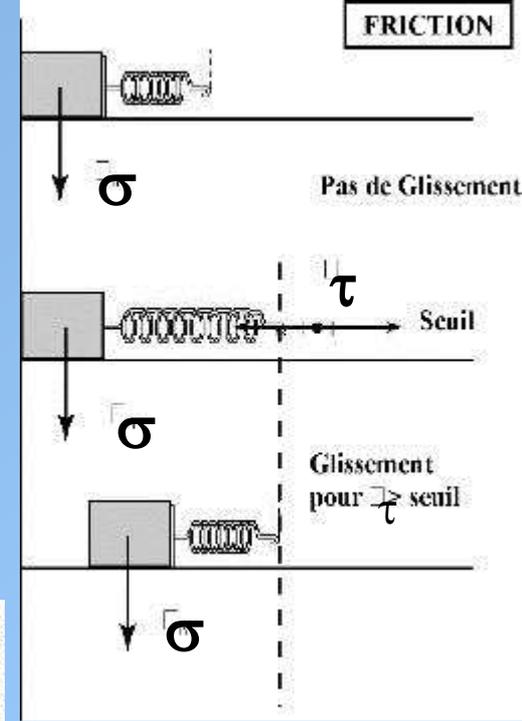
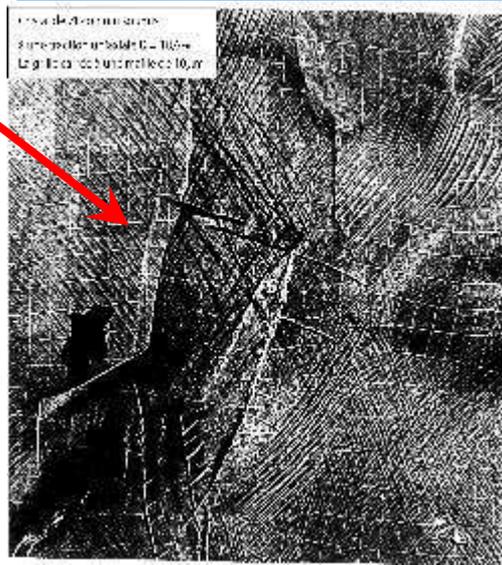
Fig. 2.5. Stress-differences for harmonic loads on an elastic Earth, the loads representing departures from local isostatic models. Reproduced from Fig. 18 of Barrell (1914g) with permission of the University of Chicago Press.

Enveloppes rhéologiques de la lithosphère



Vitesse de déformation liée au mouvement des plaques : 10^{-15} à 10^{-14}

Bodine et al., 1981



Profil de viscosité du manteau

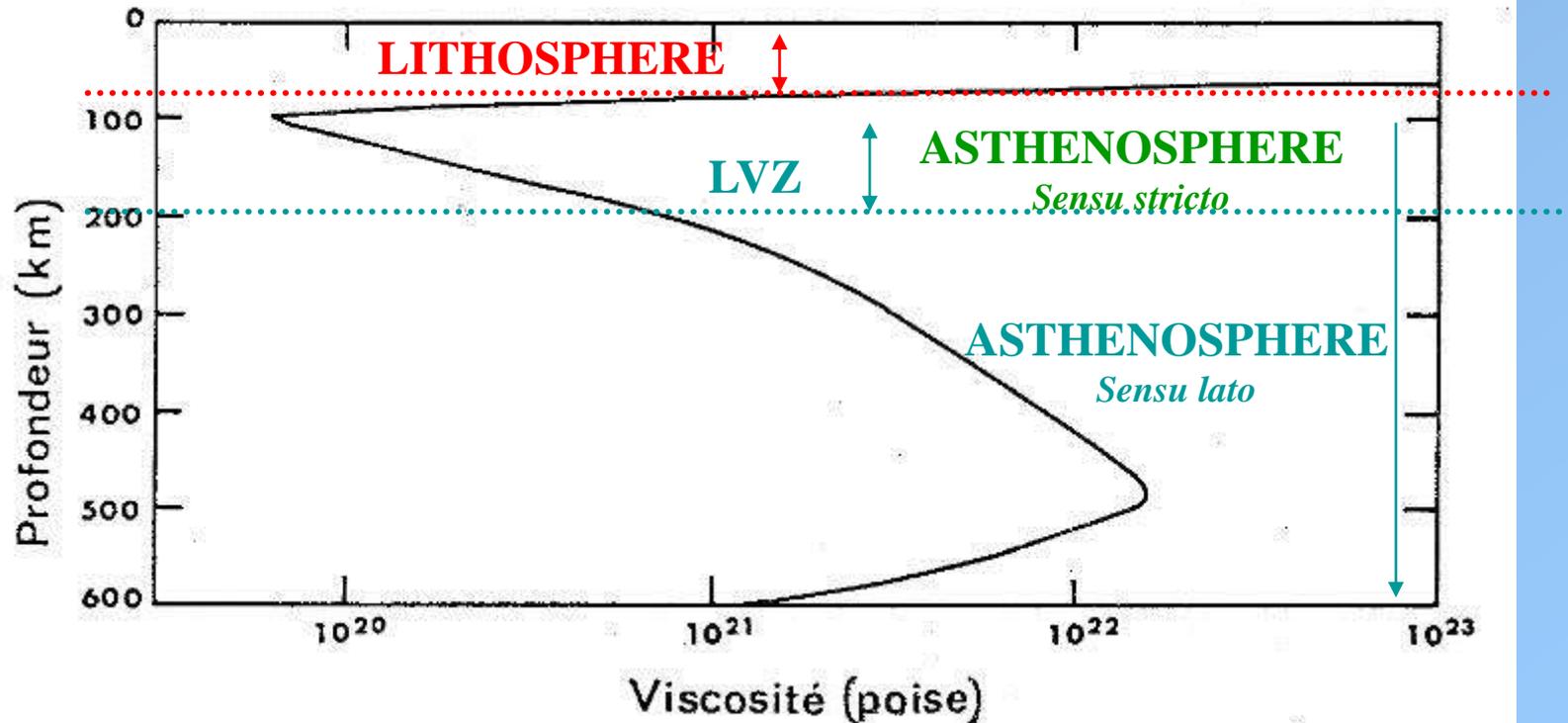
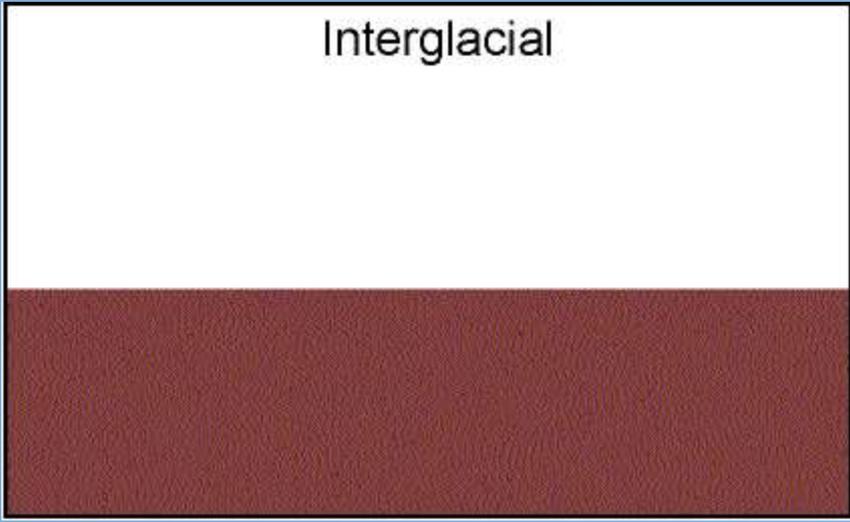


Fig. 4. — Profil probable de viscosité à travers le manteau supérieur. On remarquera les valeurs extrêmement élevées près de la surface : c'est la couche rigide, ou lithosphère. On remarquera aussi une zone de faible viscosité à la profondeur de 100 km. (D'après Fleitout et Yuen, 1984.)

Viscosité de l'asthénosphère et rebond post-glaciaire



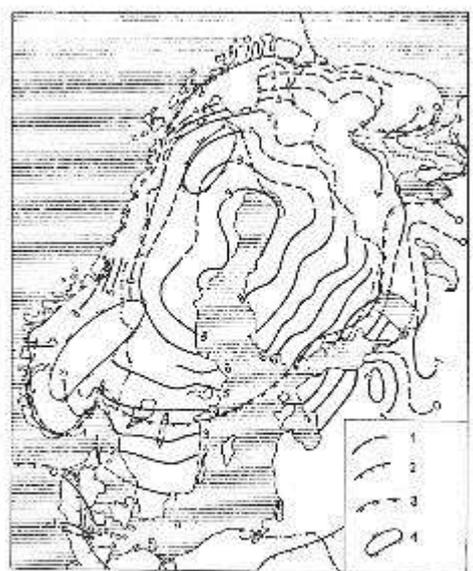
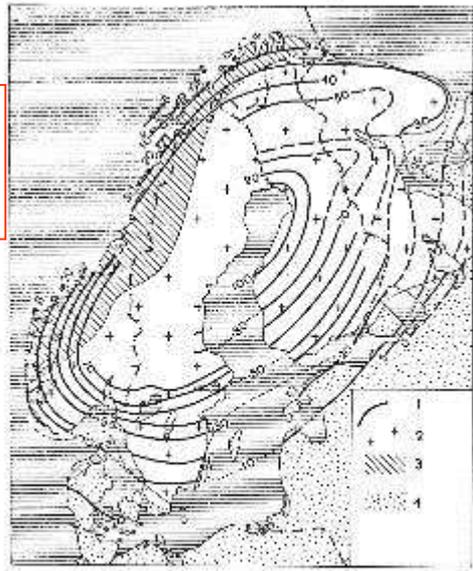
Série de terrasses soulevées dans le bouclier Scandinave

Fletcher & Bayliss

<http://www.homepage.montana.edu/~geol445/hyperglac/isostasy1/>

<http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc110/fletcher/slideshow/glacial/glac10.html>

Soulèvement total en mètres depuis 6000 ans



Soulèvement actuel en millimètres par an

FIG. 12.11. — À gauche : 1 = soulèvement du sol pendant les derniers 6 000 ans, en mètres. 2 = mégalocristallites du Pécambrien. 3 = Crétacé. 4 = plateaux miocènes (Pérouse et Sussolone). À droite : 1 = soulèvement actuel en mm/an. 2 = limite de la carte du Wilam. 3 = limite de la carte il y a 10 000 ans. 4 = isobates réduites à 1/2 à l'échelle 8 000 ans. D'après Nilsson, dans *Earth tectonics, tectonics and strategy* (McGraw-Hill, éditeur), John Wiley et Sons, 1977.

Modélisation

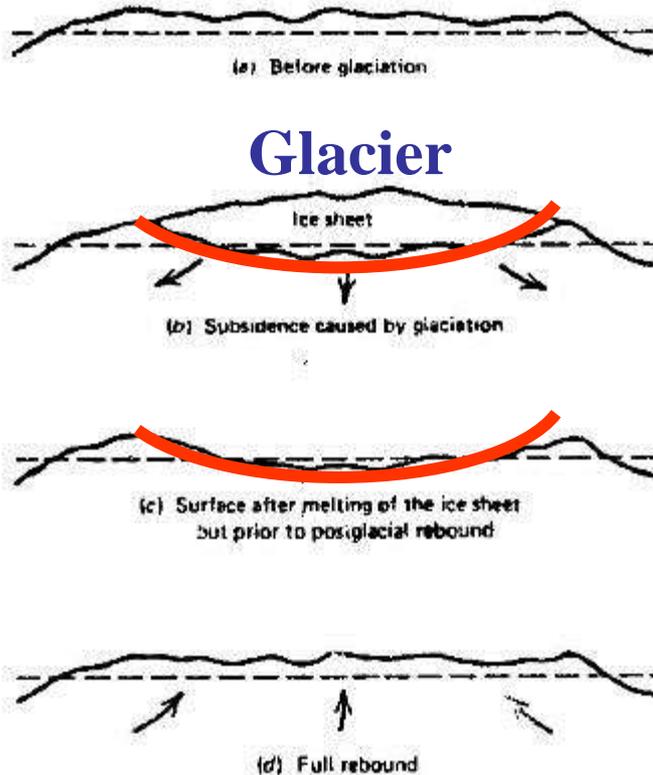
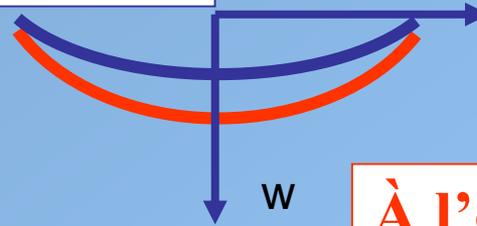


Figure 6-14 Subsidence due to glaciation and the subsequent postglacial rebound.

Au temps t :



À l'origine ($t=0$) :

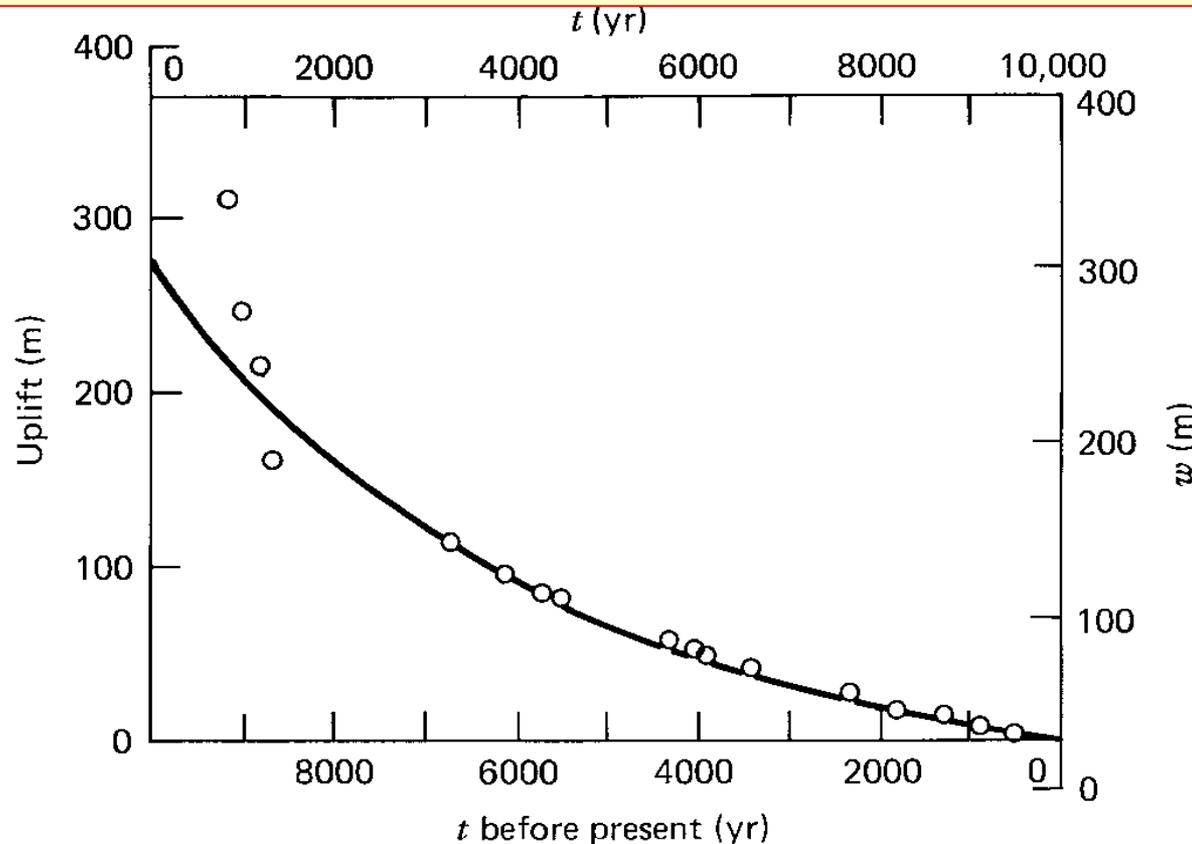
$$w_m = w_{m0} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$$

$$w(t) = w_m e^{\left(\frac{-\lambda \rho g t}{4\pi\eta}\right)}$$

On modélise le phénomène comme le retour à l'équilibre gravitaire d'un demi-espace ductile de viscosité η

La profondeur (ou altitude) décroît comme une fonction exponentielle du temps, d'autant plus lentement que la viscosité du milieu est élevée

Viscosité de l'asthénosphère et rebond post-glaciaire



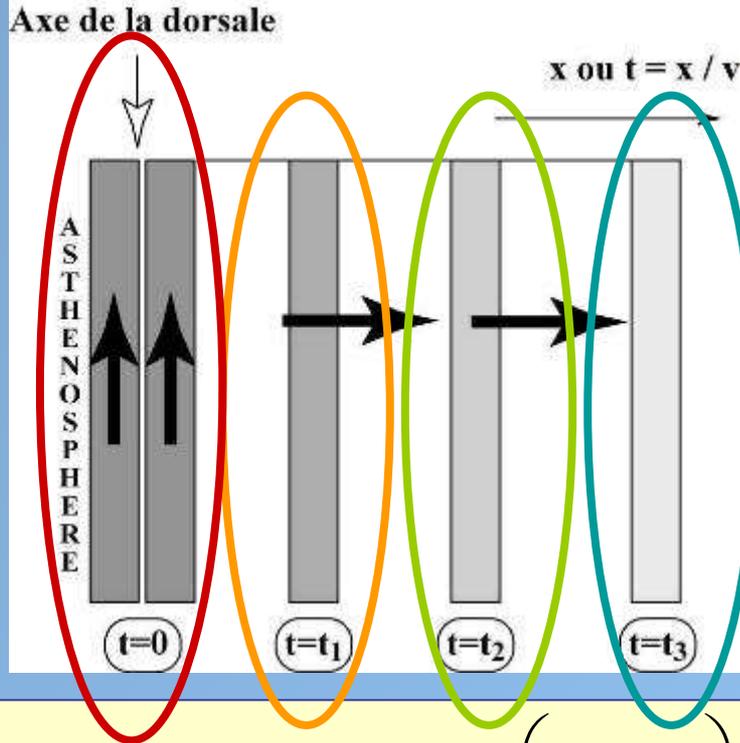
**Dans un modèle simple de mécanique des fluides,
Celle remontée exponentielle est une mesure directe
De la viscosité du manteau asthénosphérique.**

Elle donne une viscosité de $1,1 \cdot 10^{21}$ Pas soit $1,1 \cdot 10^{20}$ Poises

Figure tirée de Turcotte et Schubert, Geodynamics, 1981

Lithosphère océanique :

le modèle thermique et ses conséquences

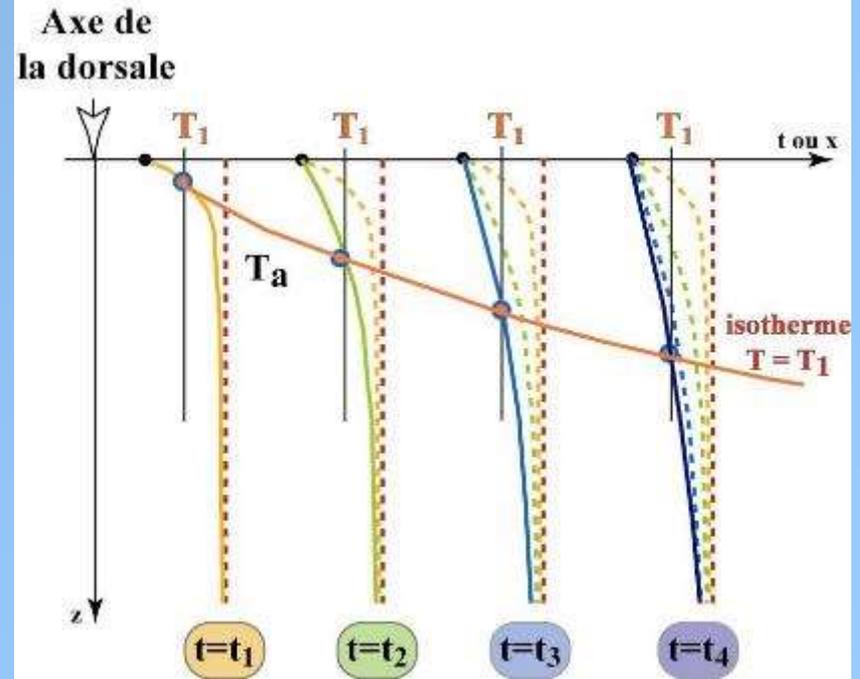


Dans le modèle le plus simple, une colonne d'asthénosphère monte très rapidement (remontée adiabatique) à l'axe de la dorsale et elle s'écarte à demi-vitesse d'expansion. L'histoire de ces colonnes est dominée par leur refroidissement par la surface (la température du fond des océans étant très constante entre 0 et 2°C)

$$T = T_a - (T_a - T_s) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{kt}}\right)$$

Isotherme : $T=T_1$

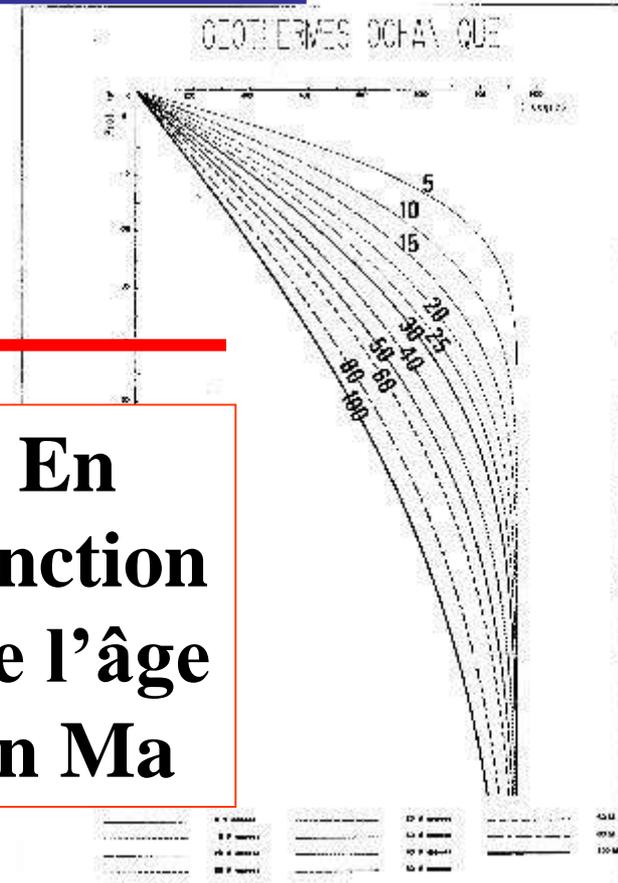
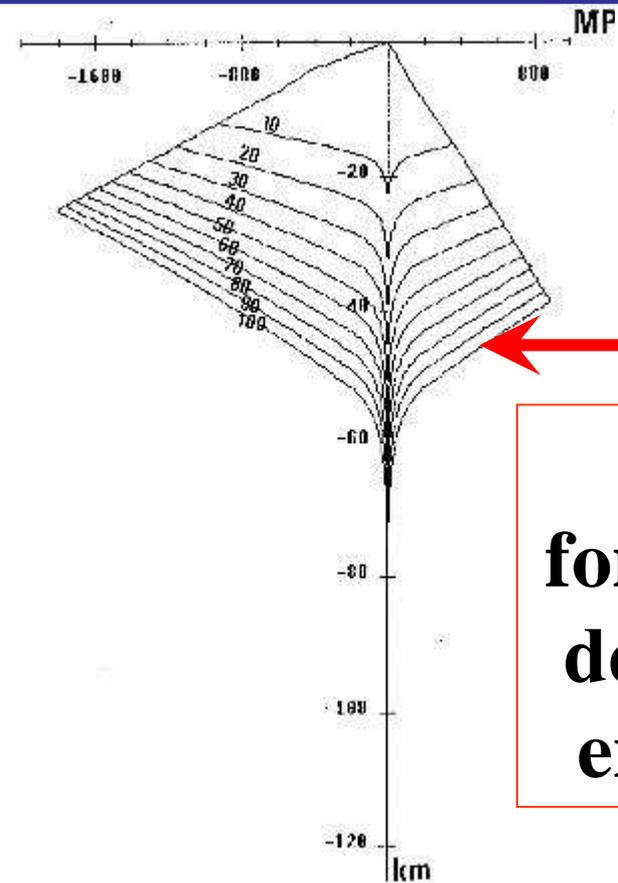
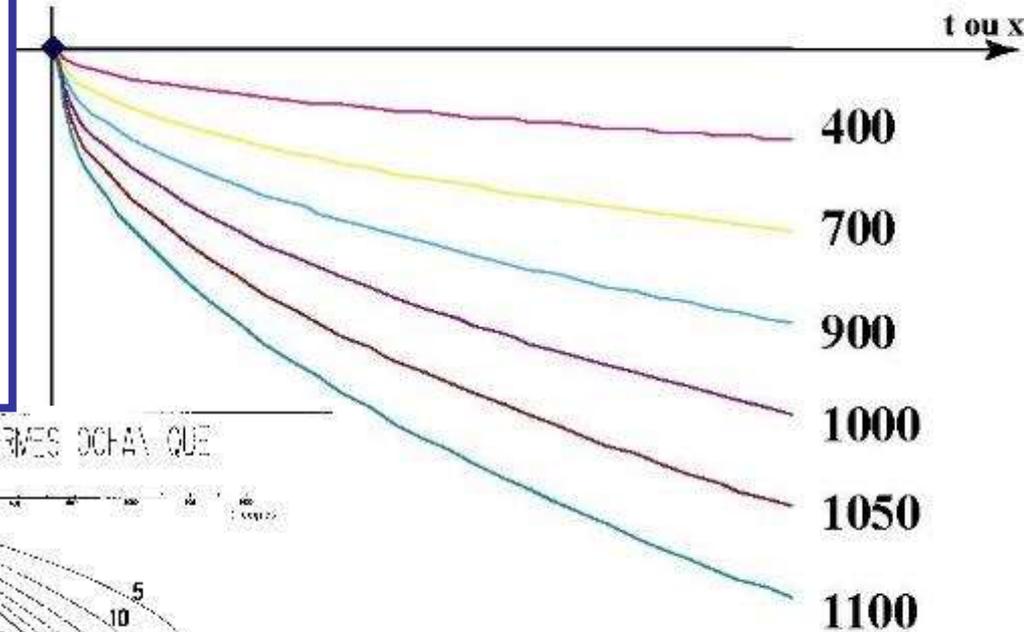
$$z = cste \sqrt{t}$$



Age des Plaques et enveloppes rhéologiques

Isothermes

Age →

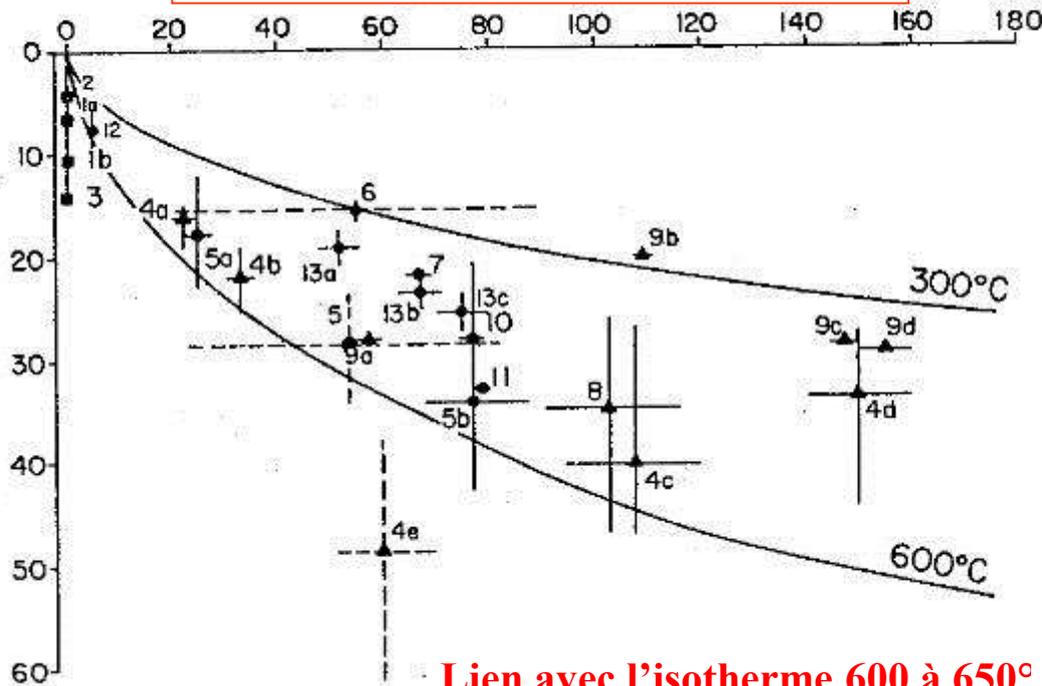


En fonction de l'âge en Ma

Flexure des Plaques, Epaisseur élastique et âge des Plaques

Age de la lithosphère océanique au moment de la mise en charge (My)

Epaisseur élastique (km)



Lien avec l'isotherme 600 à 650°

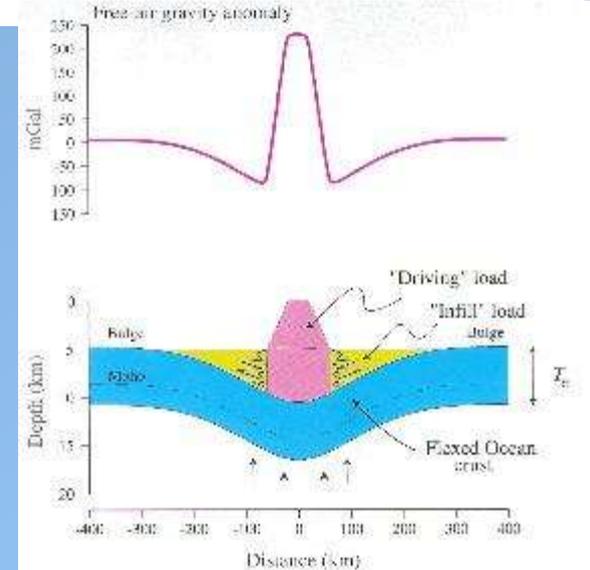


Fig. 4.1: Simple model for the steady-state and flexure of the lithosphere at a convergent plate boundary.

Flexure élastique de la plaque

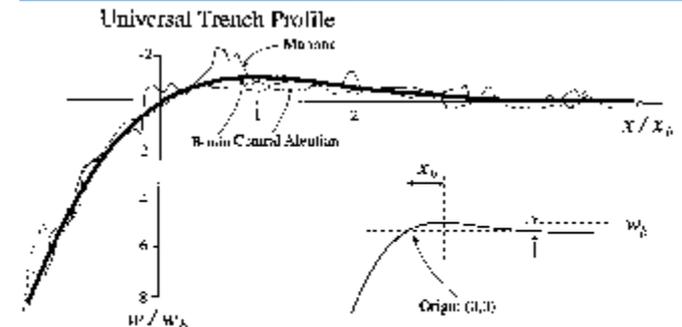
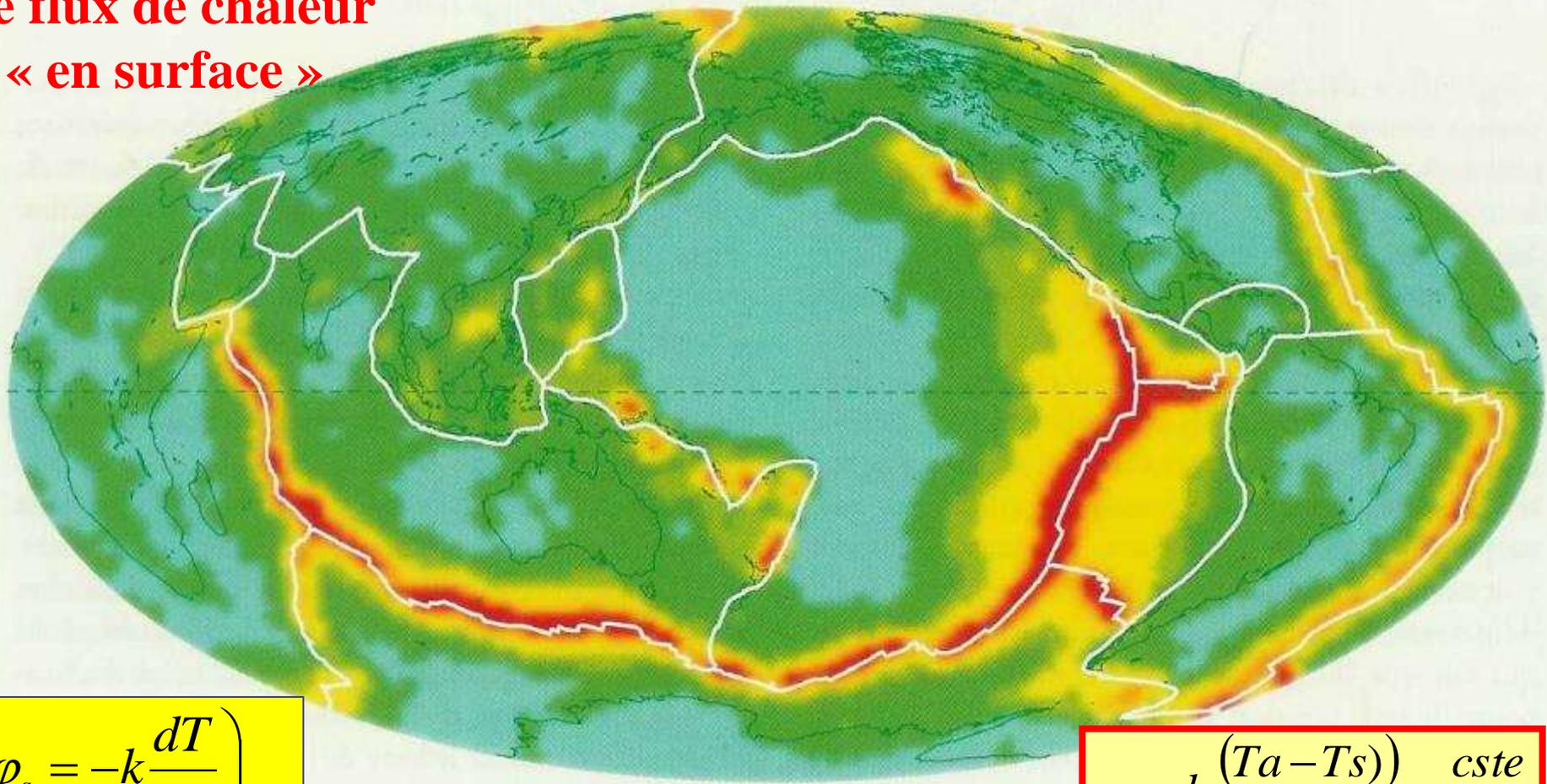


Fig. 4.49. The Universal Trench Profile (thick solid line). Thin lines show selected collected and normalized bathymetry profiles over the Aleutian, Bonin and Mariana trenches. Reproduced from Fig. 6 of Caldwell et al. (1976) with permission of Elsevier Science.

Le flux de chaleur « en surface »

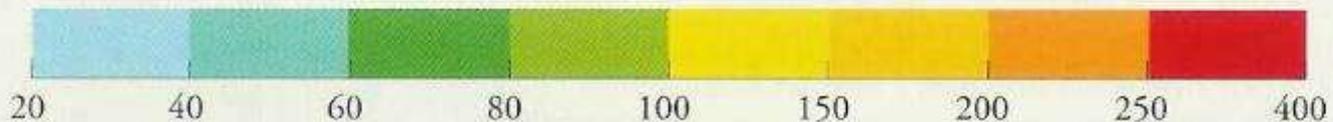


$$\varphi_s = -k \left. \frac{dT}{dz} \right)_{z=0}$$

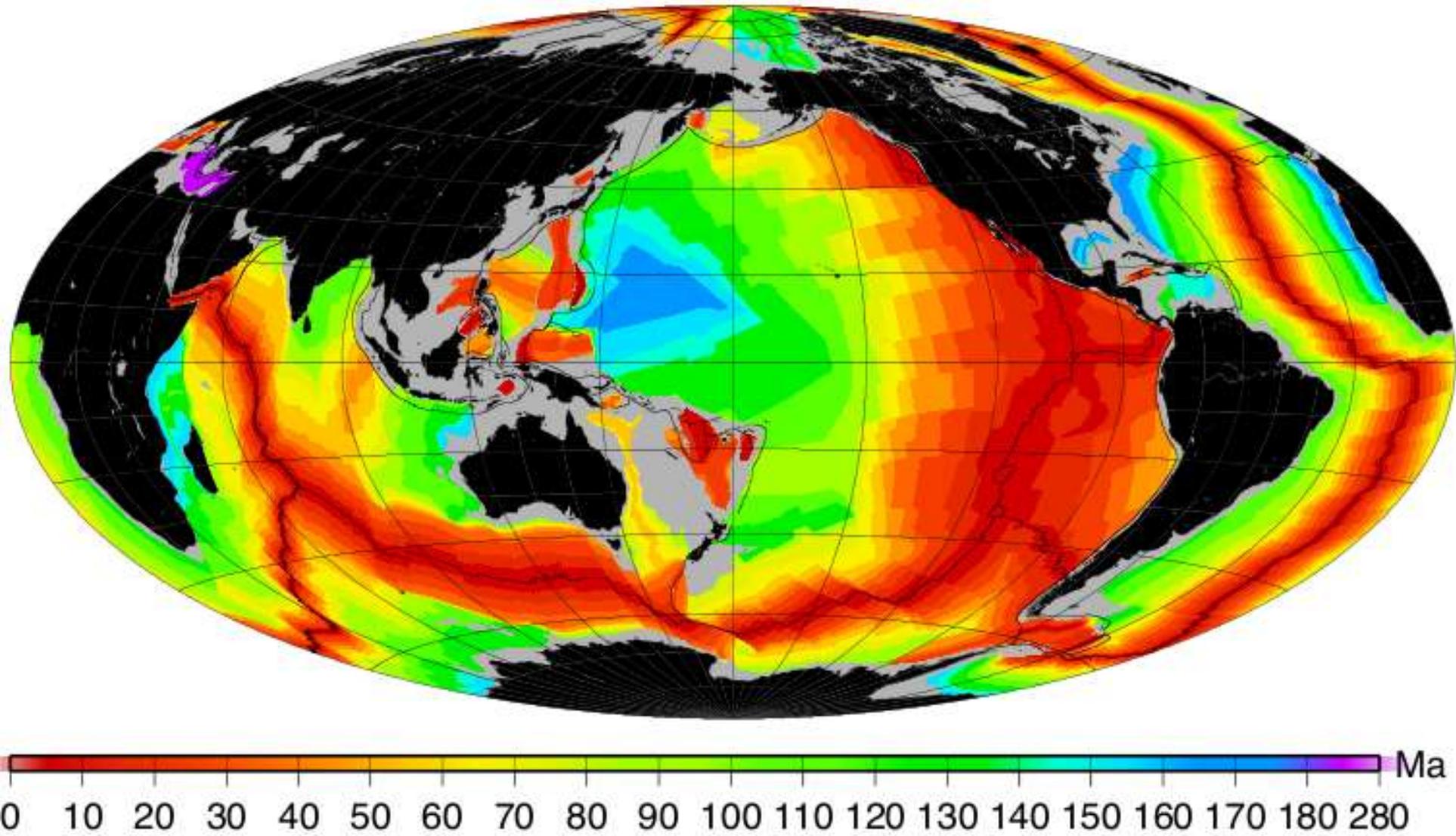
$$\varphi_s = k \frac{(T_a - T_s)}{\sqrt{\pi \kappa t}} = \frac{cste}{\sqrt{t}}$$

Noter la similitude avec la distribution des âges des planchers océaniques

mW/m²



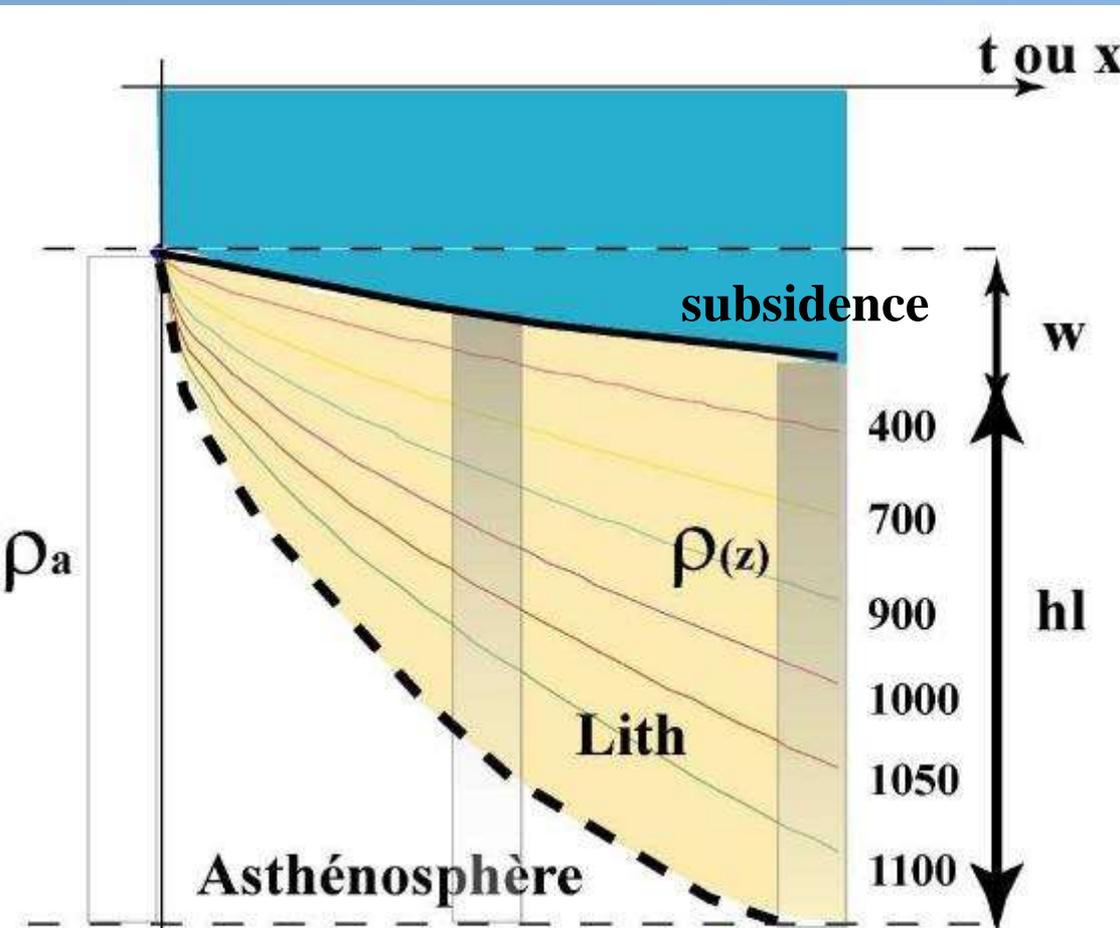
*Carte mondiale des flux de chaleur en surface
D'après Pollack et al., 1993 dans Nataf et Sommeria, 2000*



Carte de l'âge du fond des océans

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/geophysique-fonds-oceaniques/age-fond-ocean-180.png>

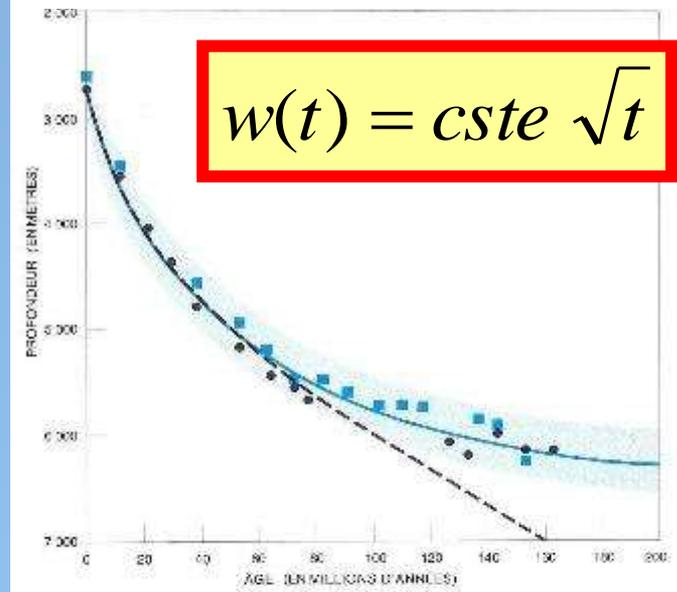
La subsidence des fonds océaniques



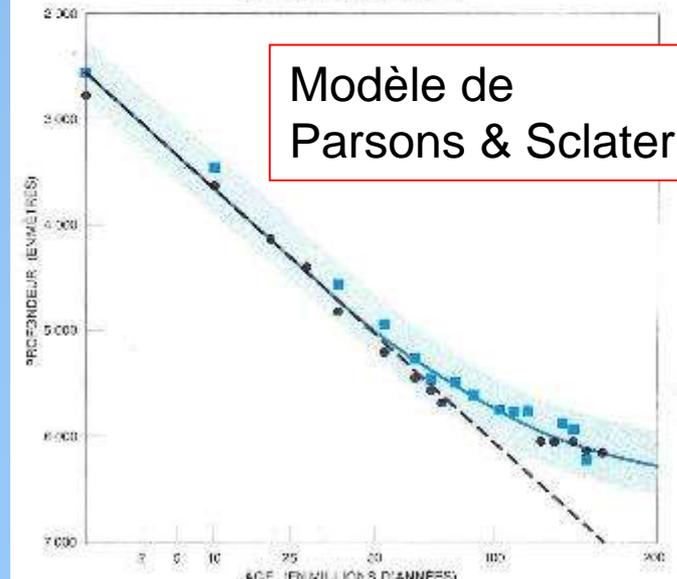
subsidence et
équilibre isostatique

L'équilibre isostatique donne:

$$w(t) = cste \sqrt{t}$$



Modèle de
Parsons & Sclater

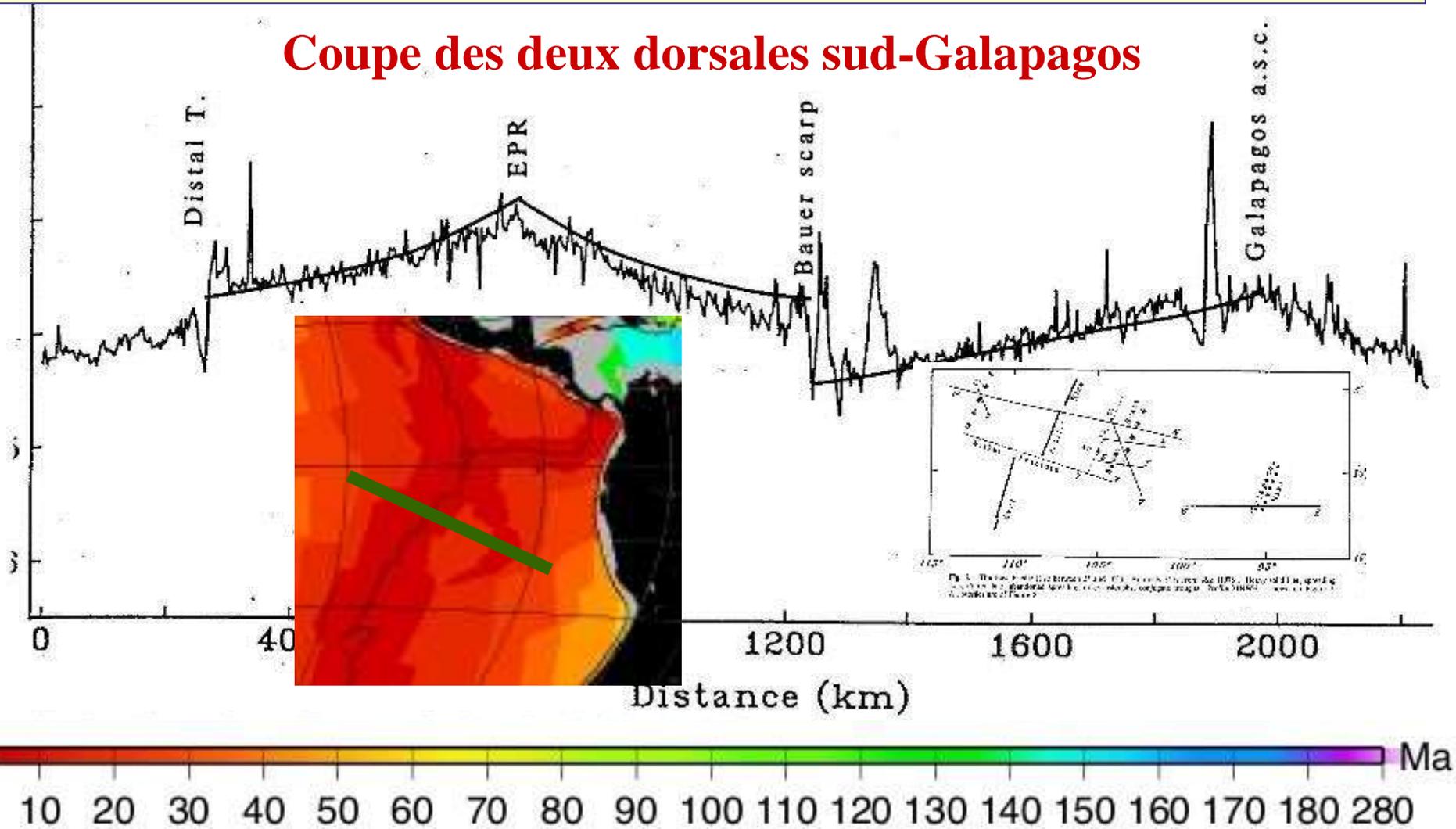


Des éléments de vérification : les sauts de dorsales

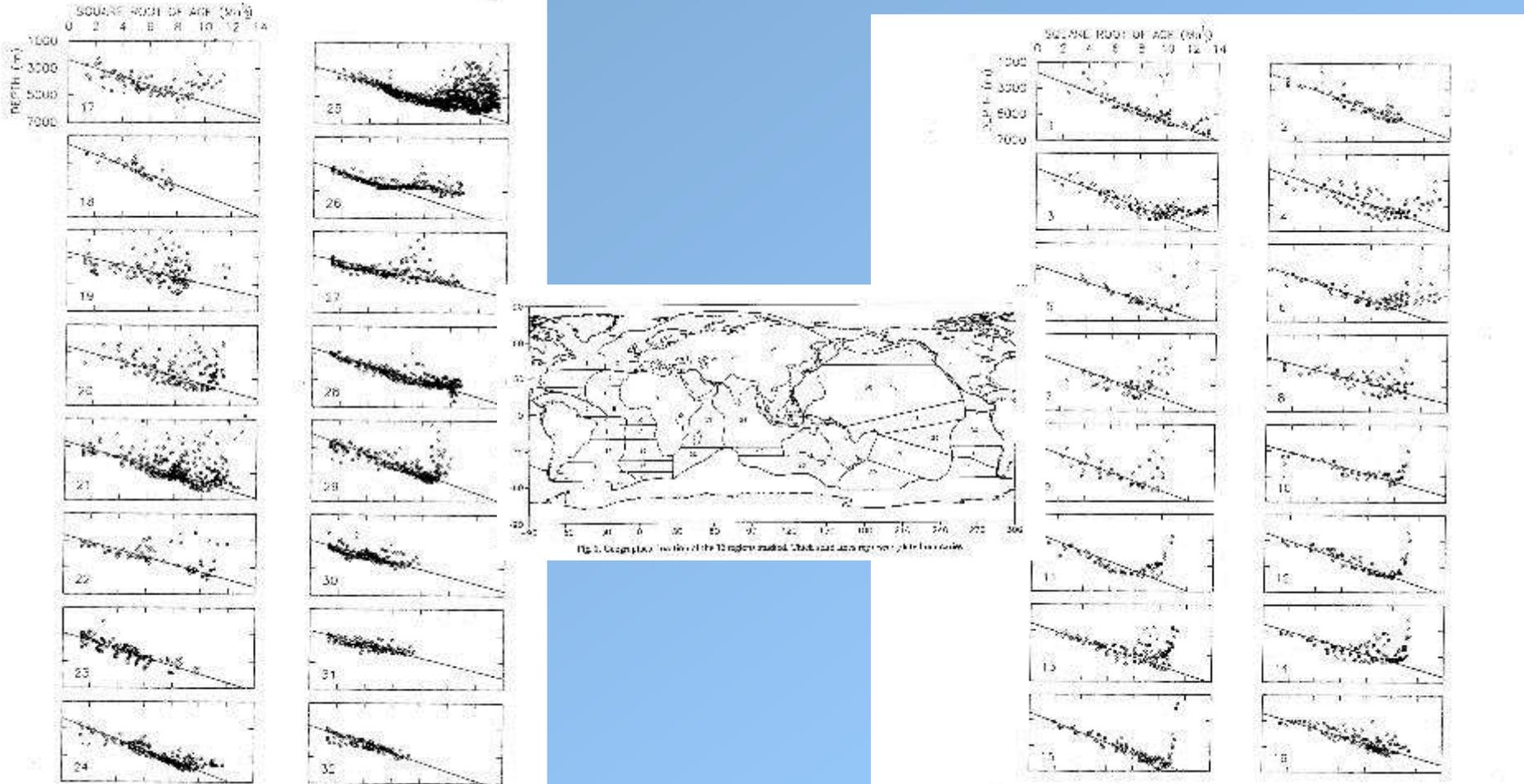
Les sauts de dorsales amènent la juxtaposition de planchers océaniques d'âge différents et donc théoriquement de profondeur différentes.

Qu'en est-il dans l'exemple des Galapagos où l'on observe côte à côte une dorsale fossile et une dorsale active?

Coupe des deux dorsales sud-Galapagos



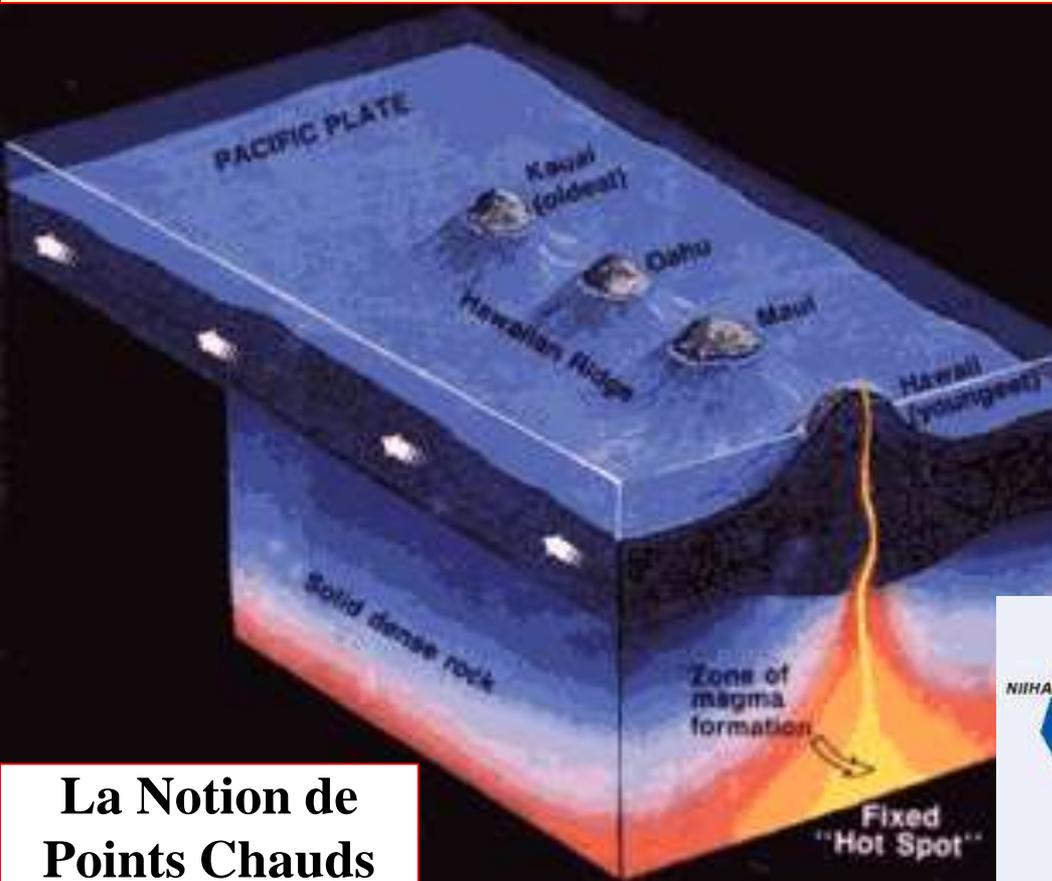
Variations régionales de la subsidence thermique



Profils de subsidence régionalisés en fonction de la racine de l'âge de la lithosphère

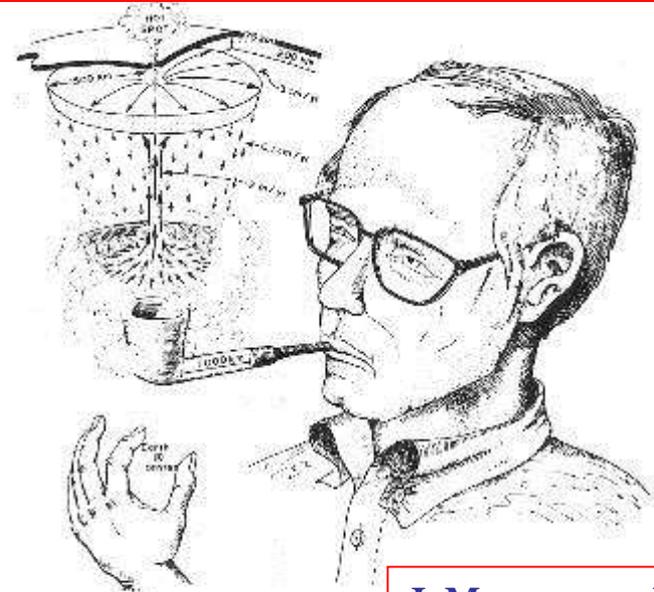
D'après Marty et Cazenave, 1989

c) Les points chauds (plumes ou panaches) : une théorie controversée !

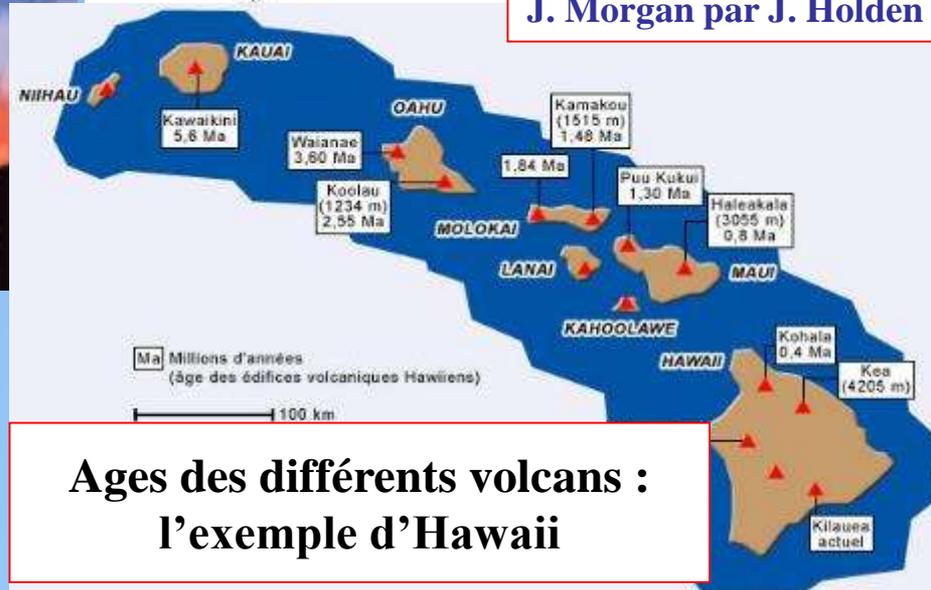


La Notion de
Points Chauds

•W. J. Morgan: Convection
plumes in the lower mantle.
Nature 230, S.42-43 (1971)

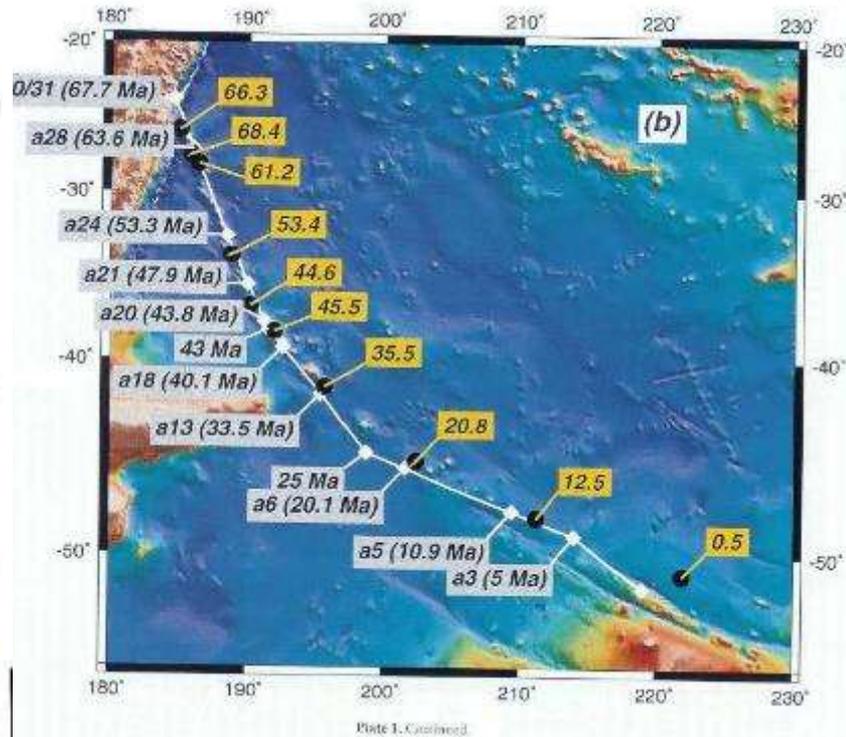
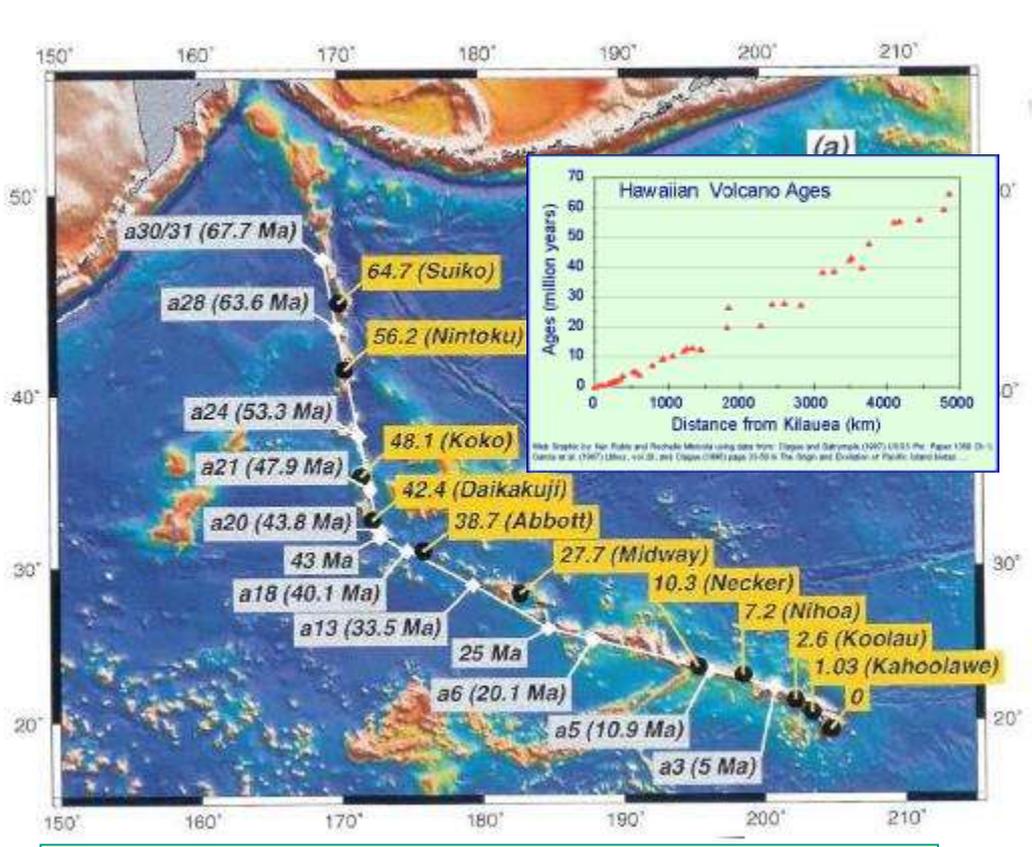


J. Morgan par J. Holden



Âges des différents volcans :
l'exemple d'Hawaïi

Mouvements absolus finis

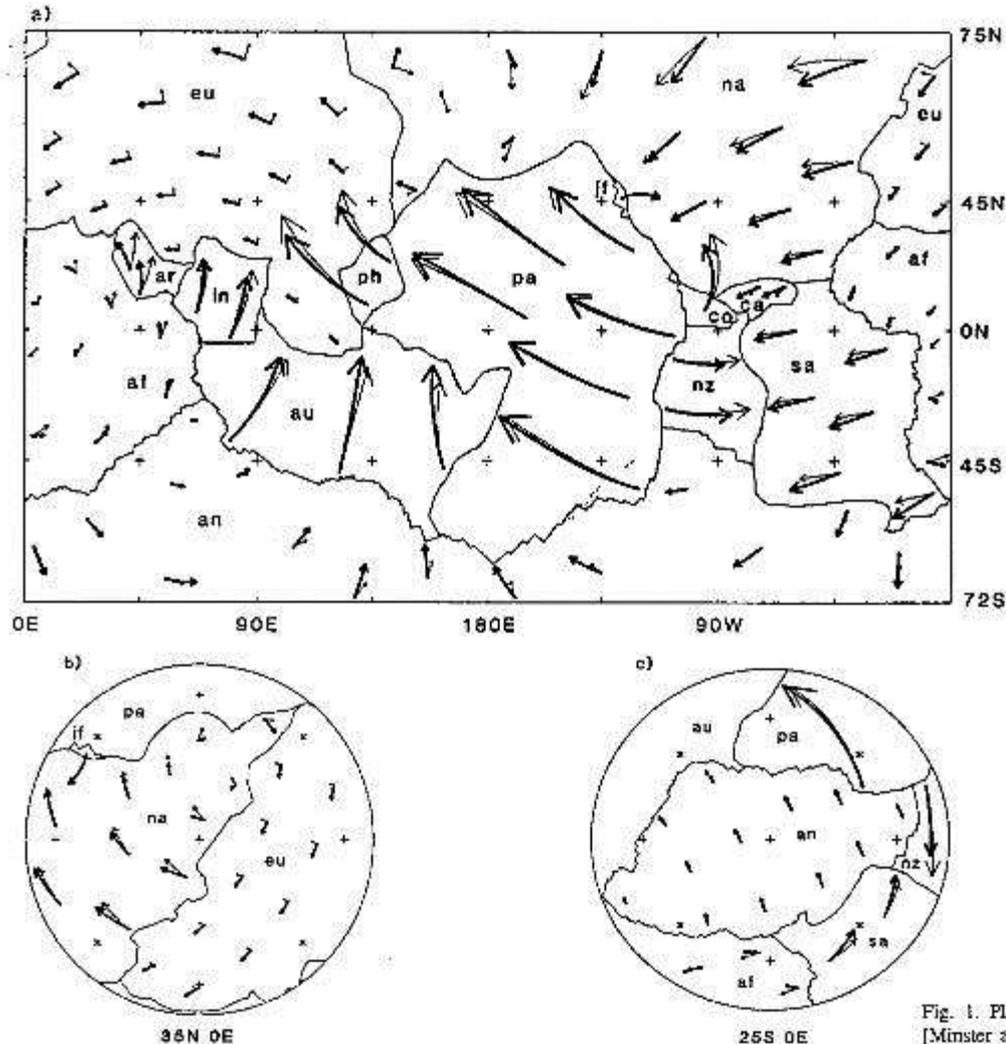


Cohérence interne des âges des volcans le long de la chaîne : Hawaii

Cohérence interne des âges des volcans le long de la chaîne : Louisville

Raymond et al., 2000

Mouvements absolus instantanés



**Modèle de Mouvements Absolutus
HS2-NUVEL1, 1990
Comparé à
AM1-2 de Minster & Jordan, 1978**

Fig. 1. Plate velocities relative to the hotspots described by models HS2-NUVEL1 (thick arrows) and AM1-2 [Minster and Jordan, 1978] (thin arrows). Arrow length and shape show the trace a hotspot would make over 50 m.y. The plate geometry is from DeMets et al. [1990]. Tic marks are shown every 45°. (a) Mercator's projection, which distorts the lengths of the arrow, causing the speed of plates near the geographic poles to appear too fast. (b) North-pole-centered, equal-area, polar projection with border at 35°N. (c) South-pole-centered, equal-area, polar projection with border at 25°S. Plate abbreviations: af, Africa; ar, Antarctica; au, Australia; ca, Caribbean; co, Cocos; eu, Eurasia; in, India; jf, Juan de Fuca; na, North America; nz, Nazca; pa, Pacific; ph, Philippines; sa, South America.

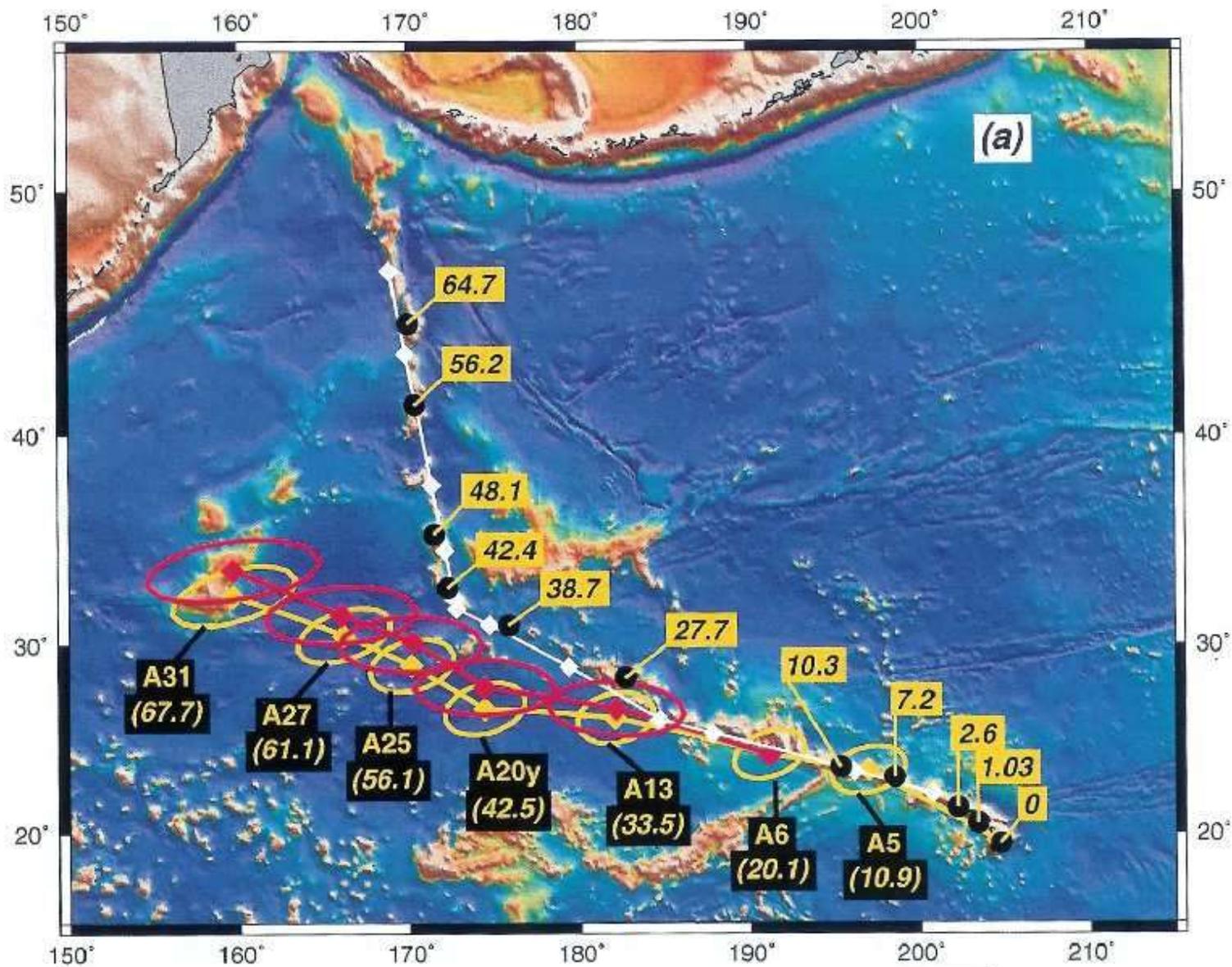
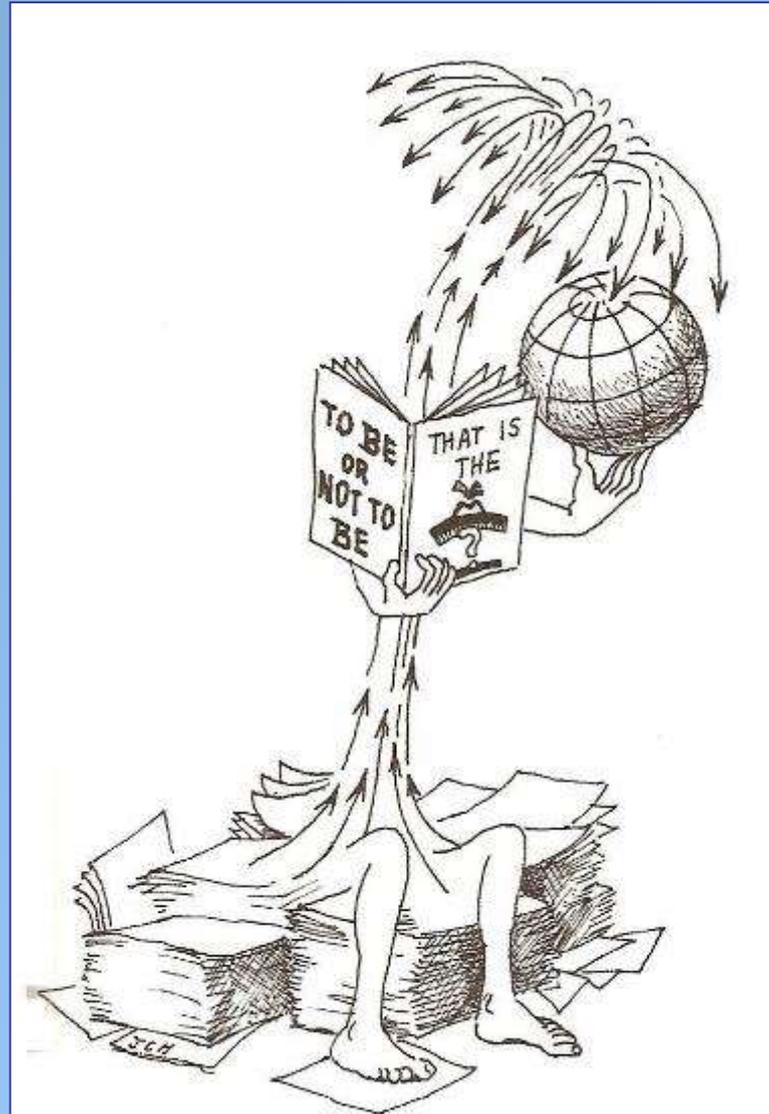


Plate 2. Reconstructions of Pacific-hotspot motion in the Indo-Atlantic reference frame to (a) the Hawaiian-Emperor chain and (b) the Louisville chain, and (c) reconstructions of Indo-Atlantic hotspots in the Pacific frame to Reunion and Kerguelen, superimposed on ETOPO5 bathymetry image. Reconstructed tracks shown in yellow with quantitative plate reconstruction error ellipses; chrons and ages as shown. Red track includes East-West Antarctic motion.

Une interrogation shakespearienne :

« Etre ou ne pas être ? »

Une « plume » mantélique,
s'appuyant (au sens propre) sur
une littérature abondante, remet
en question son existence

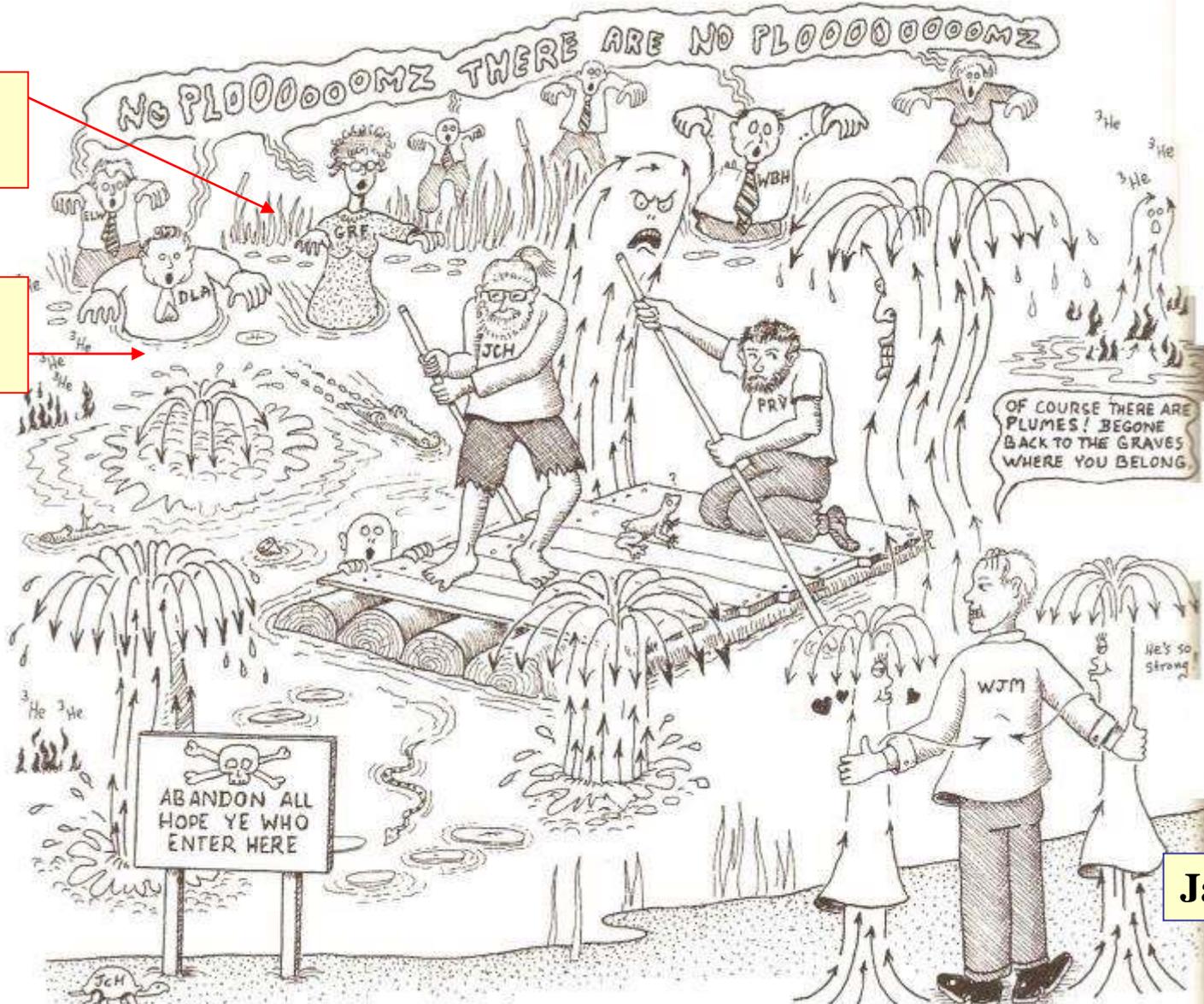


Dessin de J. Holden

Figure 2. "Do we exist or not?" The deep mantle plume's view of his or her predicament.

Gilian Foulger

Don Anderson



Jason Morgan

Holden et Vogt traçant leur chemin dans le « marécage » de la controverse sur les plumes du manteau profond

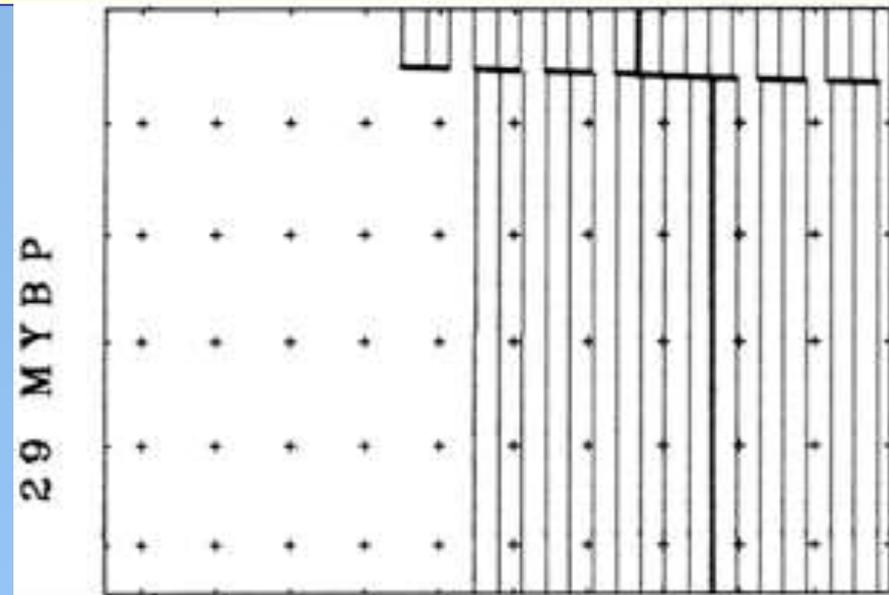
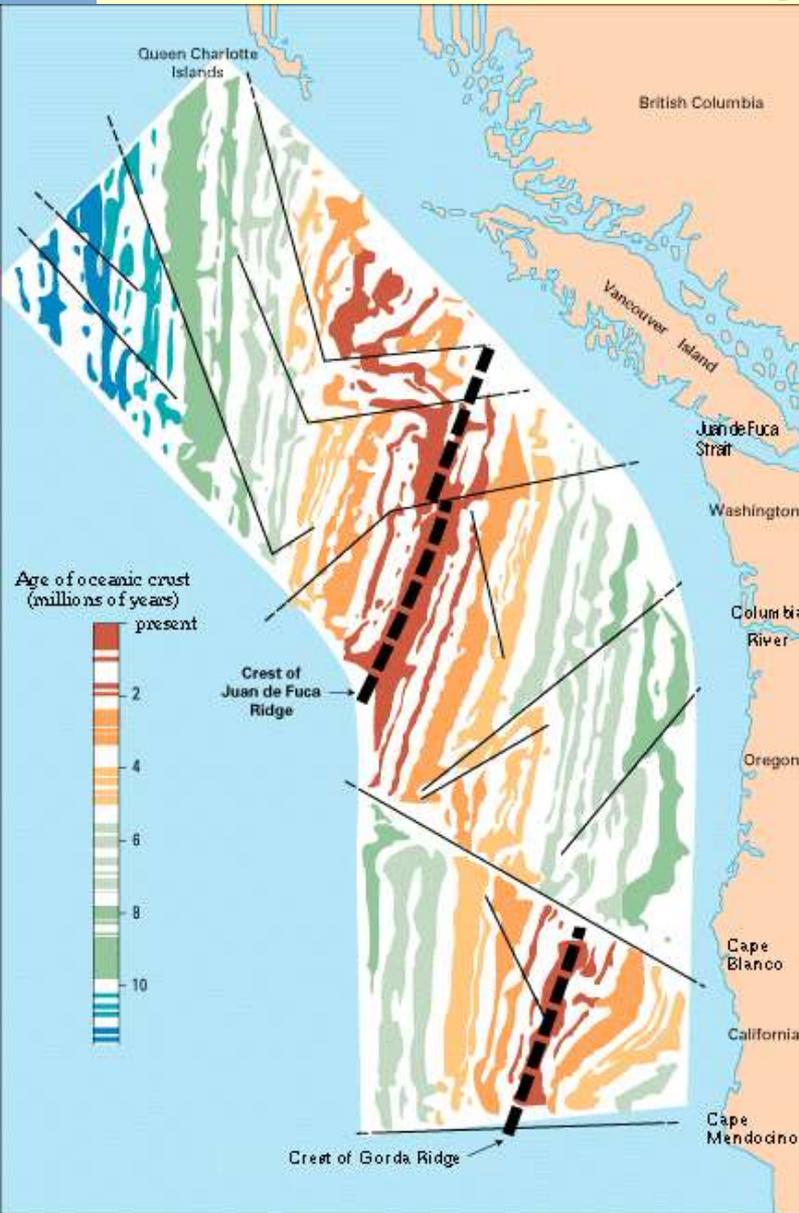
Dessin de J. Holden

3) Paradigmes et paradoxes

Voici une carte des anomalies magnétiques autour de la dorsale entre plaques Pacifique à l'ouest et Juan de Fuca à l'Est. (Raff & Mason, 1961), Elle est très célèbre car elle a été un des premiers supports de la théorie de Vine et Matthews.

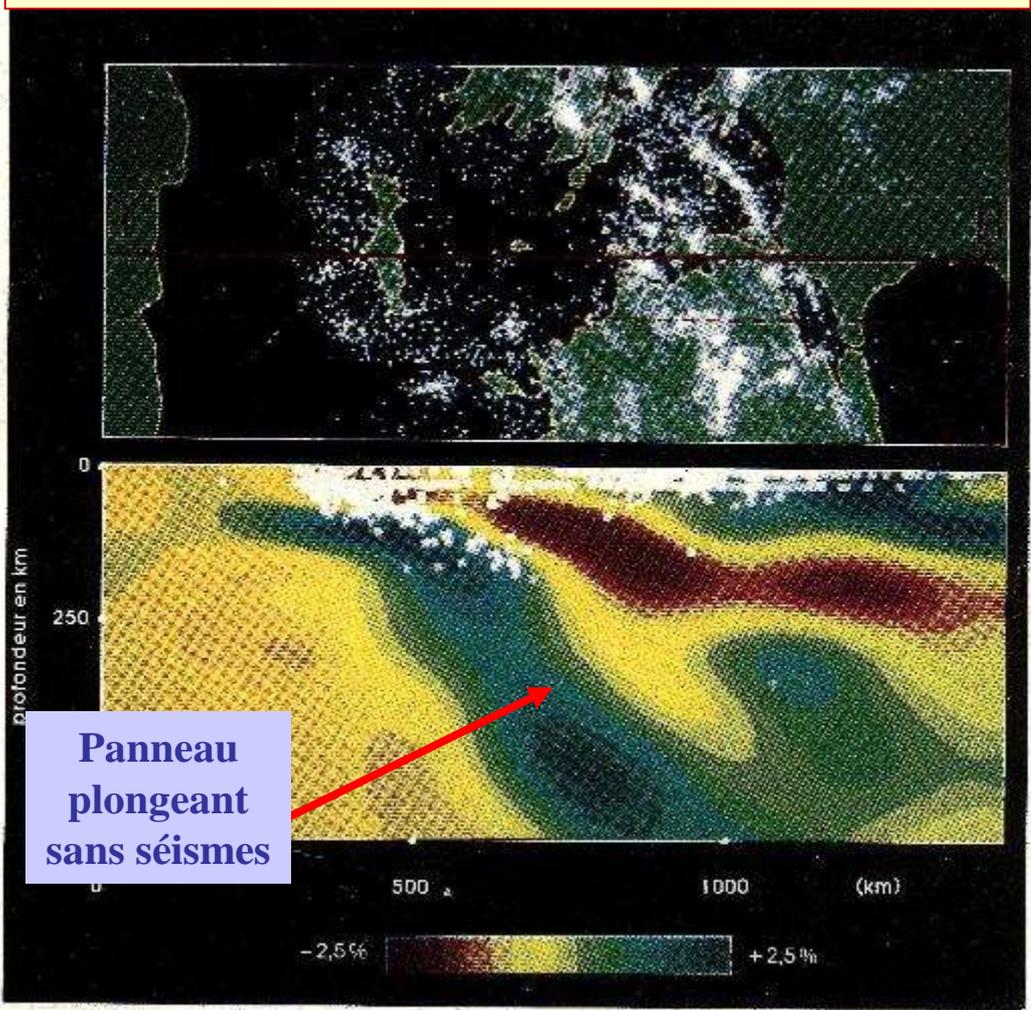
Cependant

Quel problème pose cette figure ???

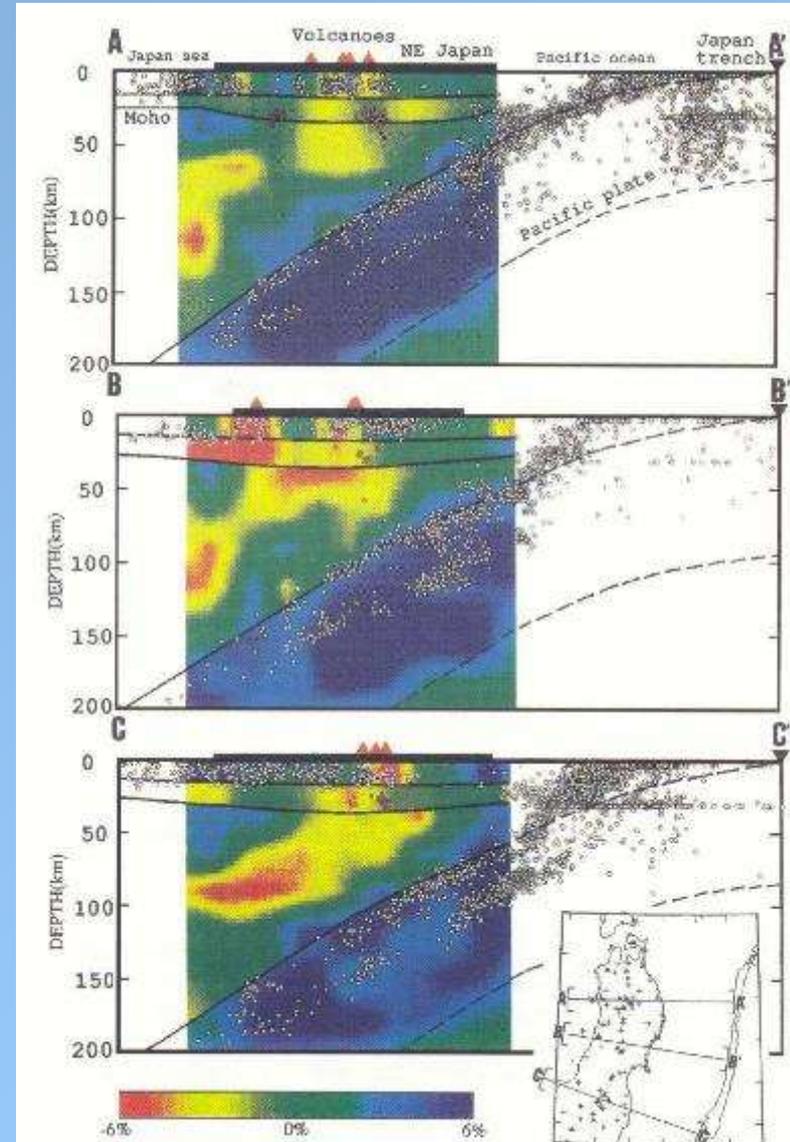


3) Paradigmes et paradoxes : Les surfaces de Wadati - Benioff

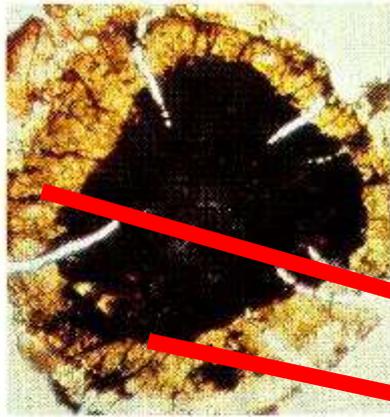
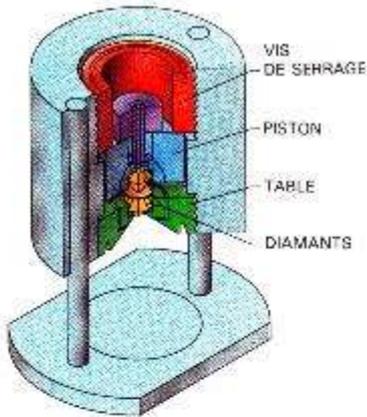
Exemples : Méditerranée et Japon



D'après W. Spakman In Poupinet, 1989

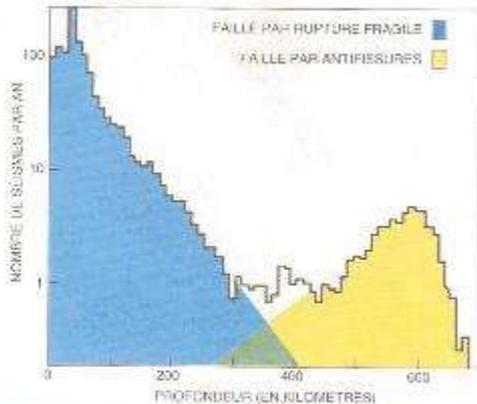
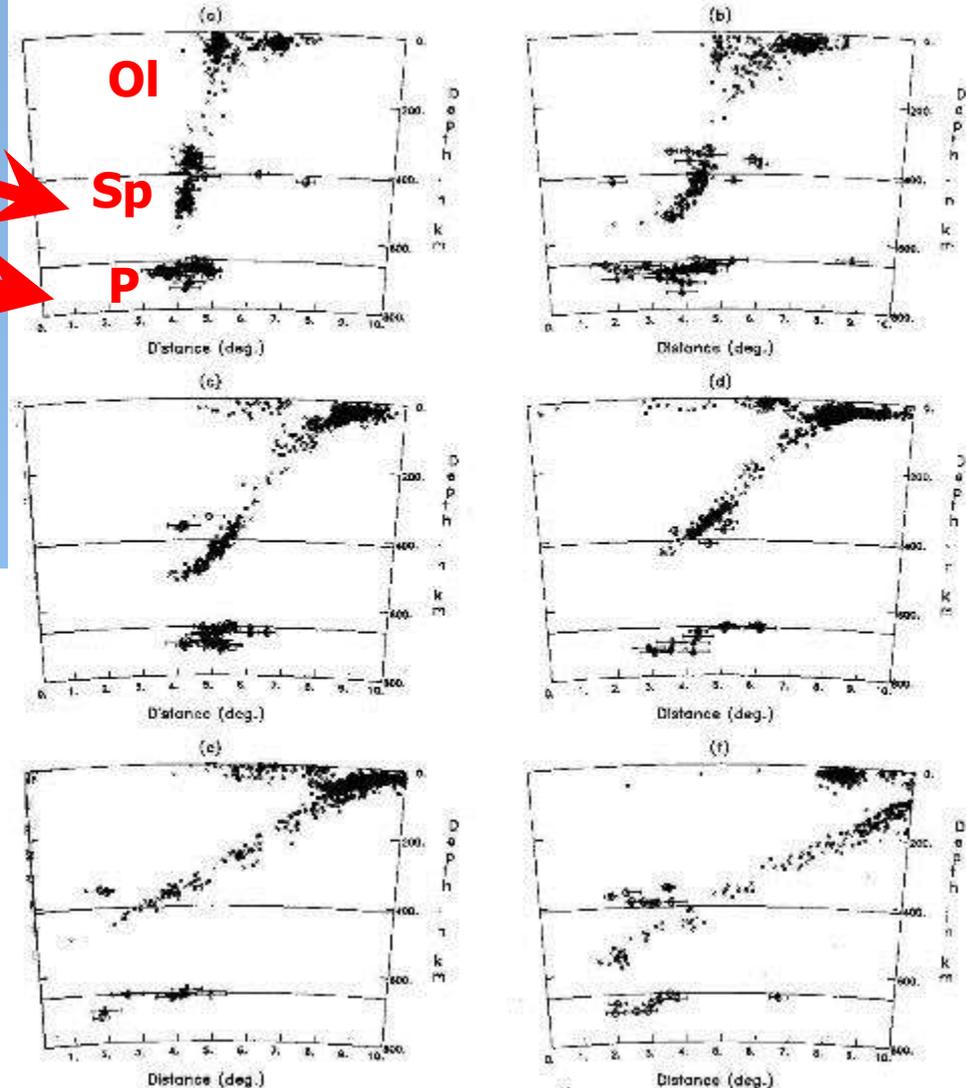


3) Paradigmes et paradoxes



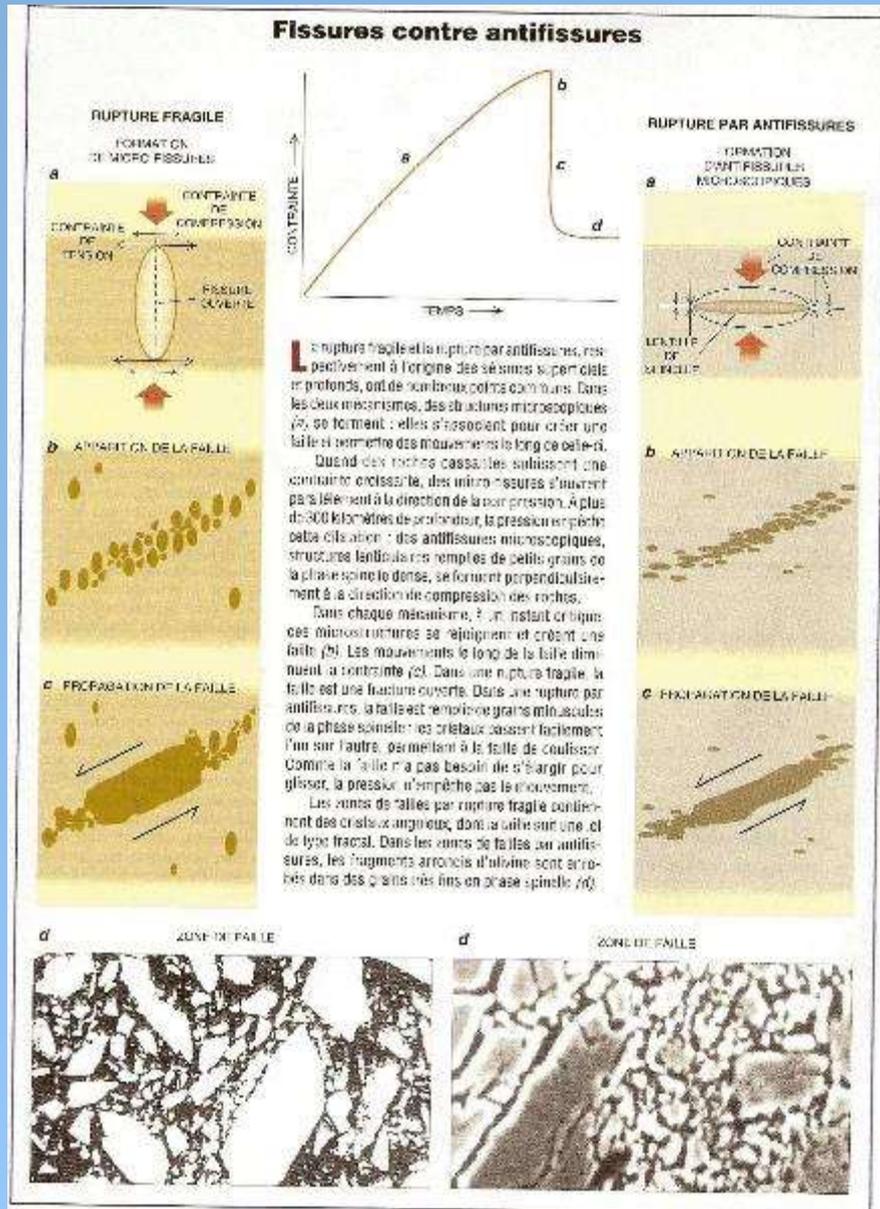
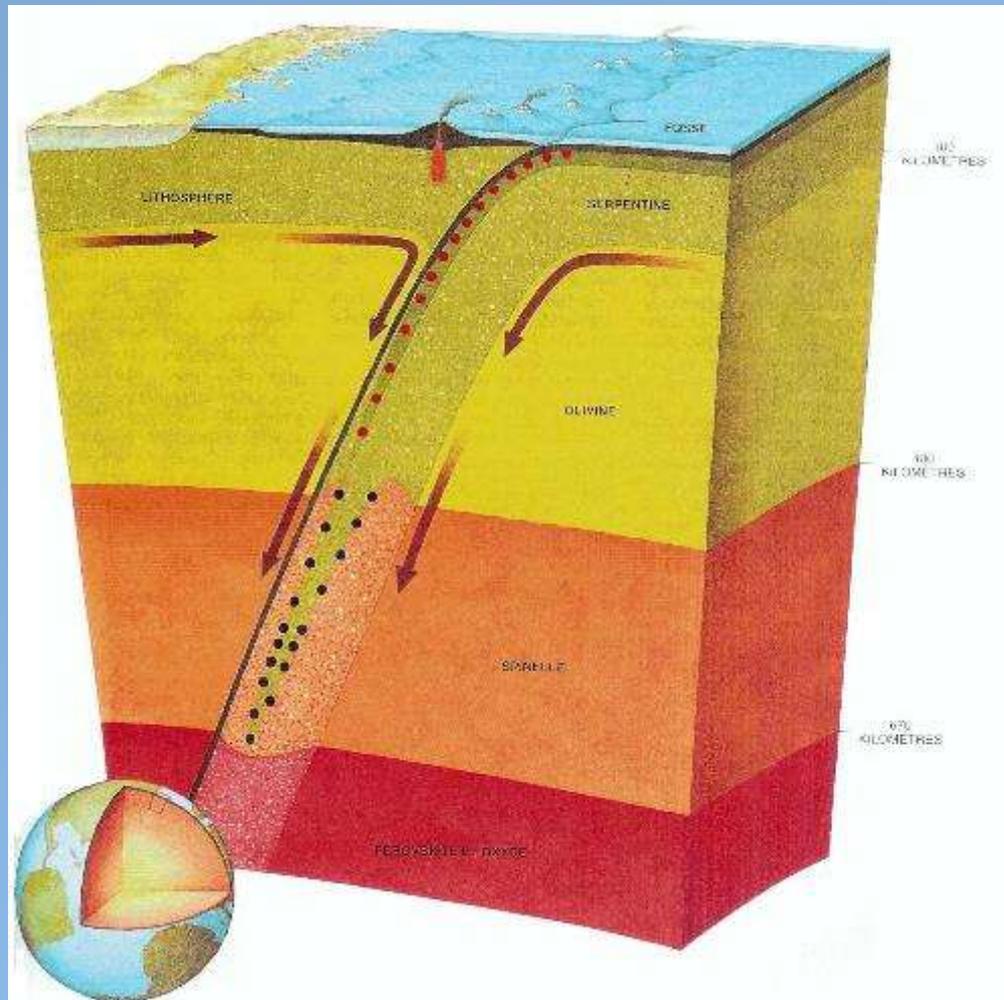
8. LES TRANSITIONS DE PHASE dans les roches du manteau jouent probablement un rôle dans les séismes profonds. On les reproduit en laboratoire à l'aide de cellules à enclume de diamants, qui compriment les échantillons rocheux (à gauche). Dans ces cellules, on chauffe l'échantillon en envoyant un rayon laser à travers l'un des diamants. Dans un échantillon d'olivine (constituant primaire du manteau), sous 300 000 atmosphères et à 1500 °C, des phases distinctes forment des anneaux concentriques (à droite). L'anneau externe (en jaune pâle) d'olivine inaltérée entoure un spinelle (en jaune vif) qui s'est formé après une transition de phase; on pense qu'une telle transition s'effectue à une profondeur de 400 kilomètres. Au centre de l'échantillon, là où les pressions et les températures sont maximales, on observe une phase oxydée (en noir) en laquelle le spinelle se transforme sans doute à 650 kilomètres de profondeur. La photographie a été prise par William Bassett, de l'Université Cornell.

Fosse du Japon et des Bonins



2. LA FRÉQUENCE des séismes dépend des transformations de phase de l'olivine (à gauche). Elle est minimale autour de 400 kilomètres de profondeur, où l'olivine commence à se transformer en une phase spinelle, plus dense. Aucun séisme ne survient au-dessous de 700 kilomètres : la phase spinelle se décompose. La pression et la tem-

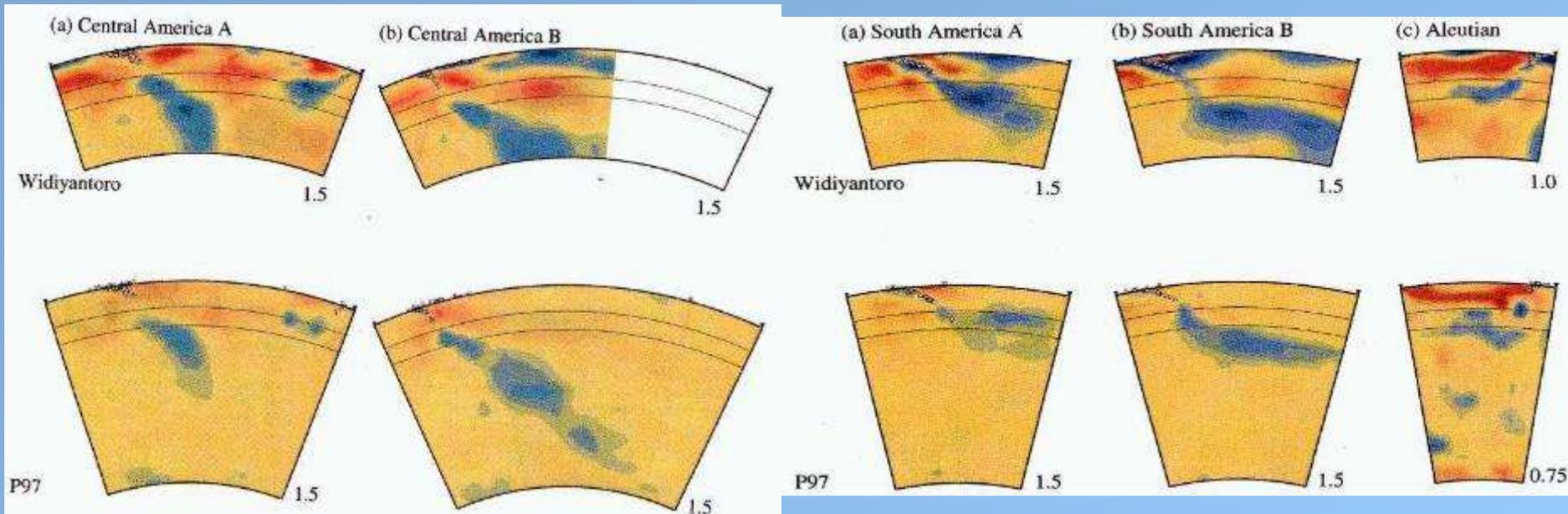
3) Paradigmes et paradoxes



Les Séismes profonds – C. Frohlich, P.L.S. n°137, 1989

Tomographie Sismologique :

Pénétration des panneaux plongeants dans le manteau



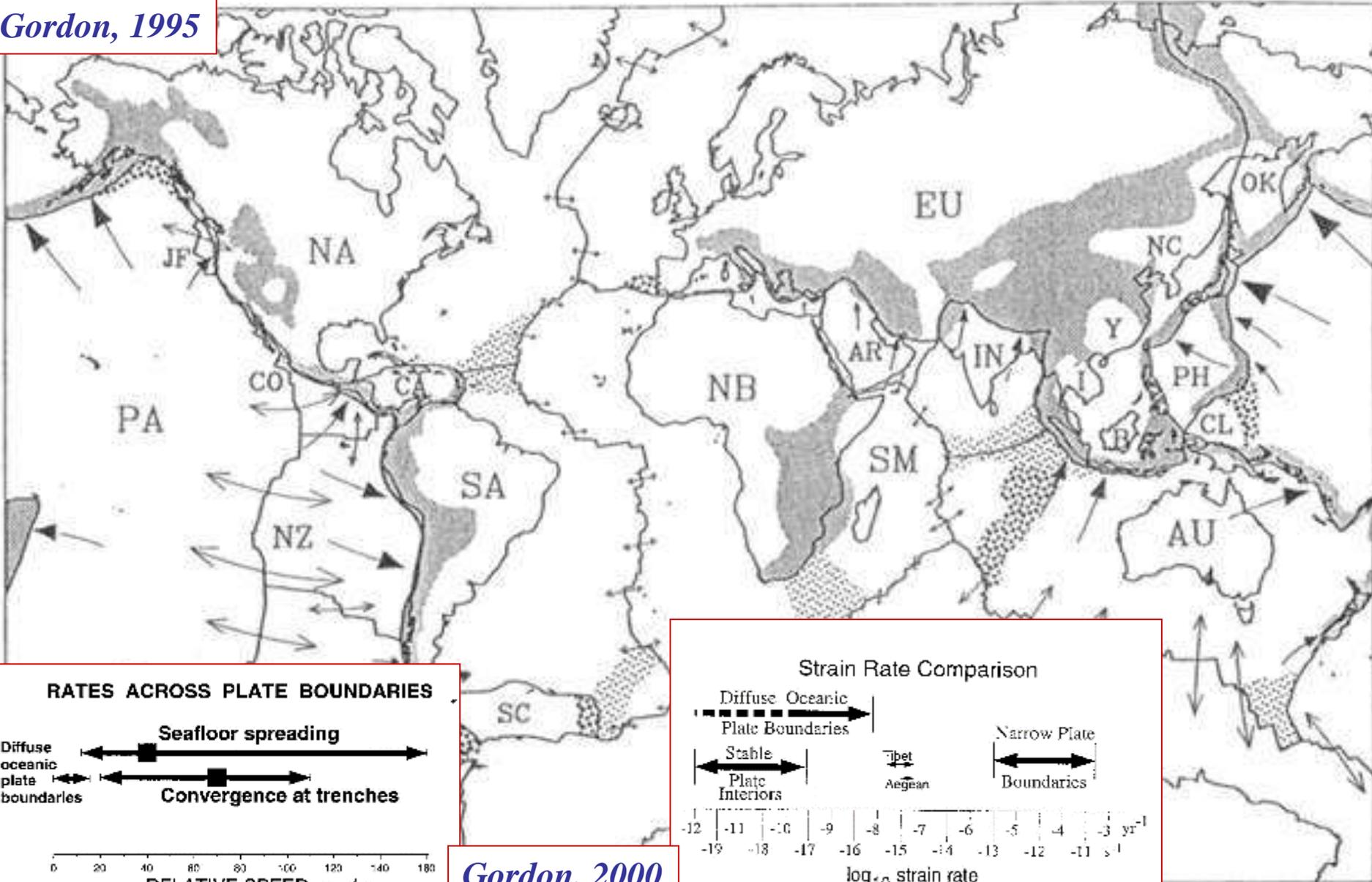
Conclusion : la tomographie sismologique permet de penser qu'au moins certains panneaux plongeants de lithosphère se prolongent dans le manteau inférieur au dessous des derniers séismes.

Au dessous de 670 km, toutes les transformations de phases ont été réalisées :
Plus de mécanisme possible pour les séismes

Subductions du Pacifique oriental
D'après Y. Fukao et al., 2001

Plaques et frontières diffuses

Gordon, 1995

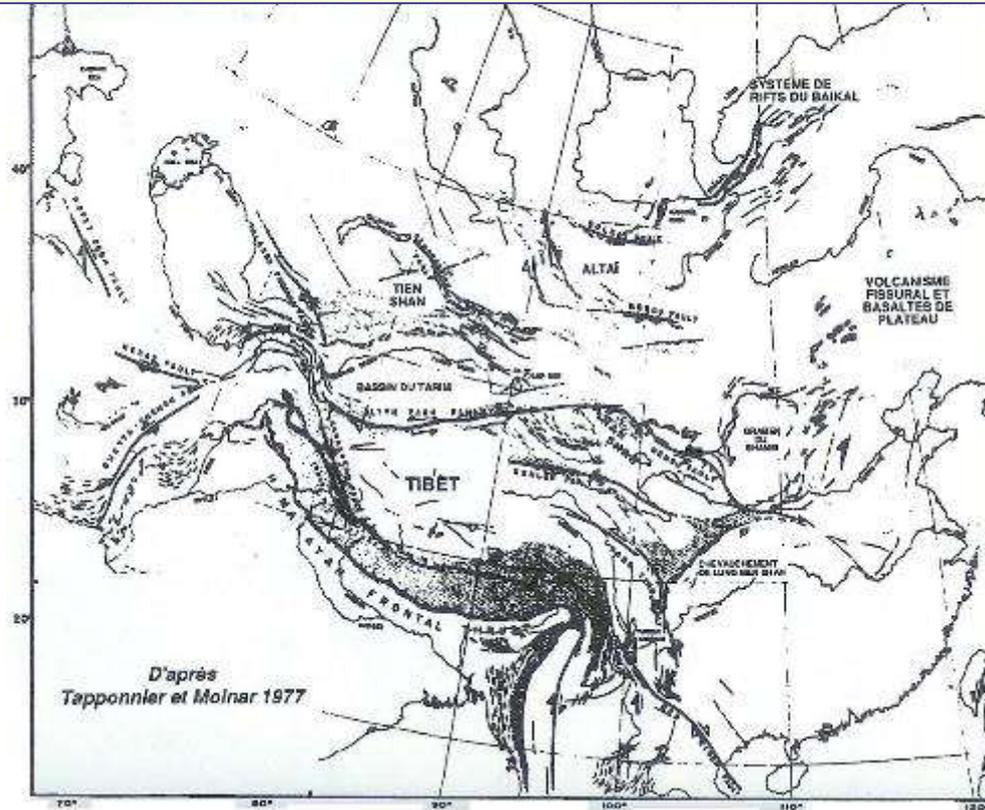


Gordon, 2000

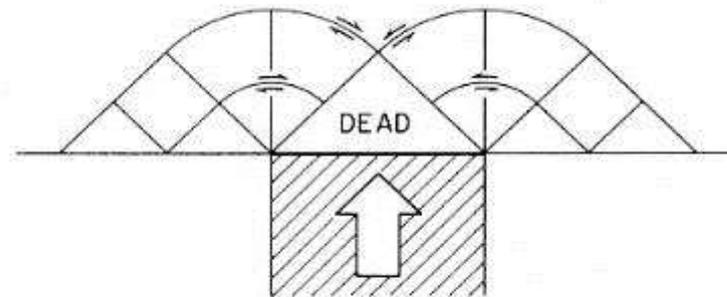
4) Les continents « mal-aimés » de la théorie ?



Peter Molnar



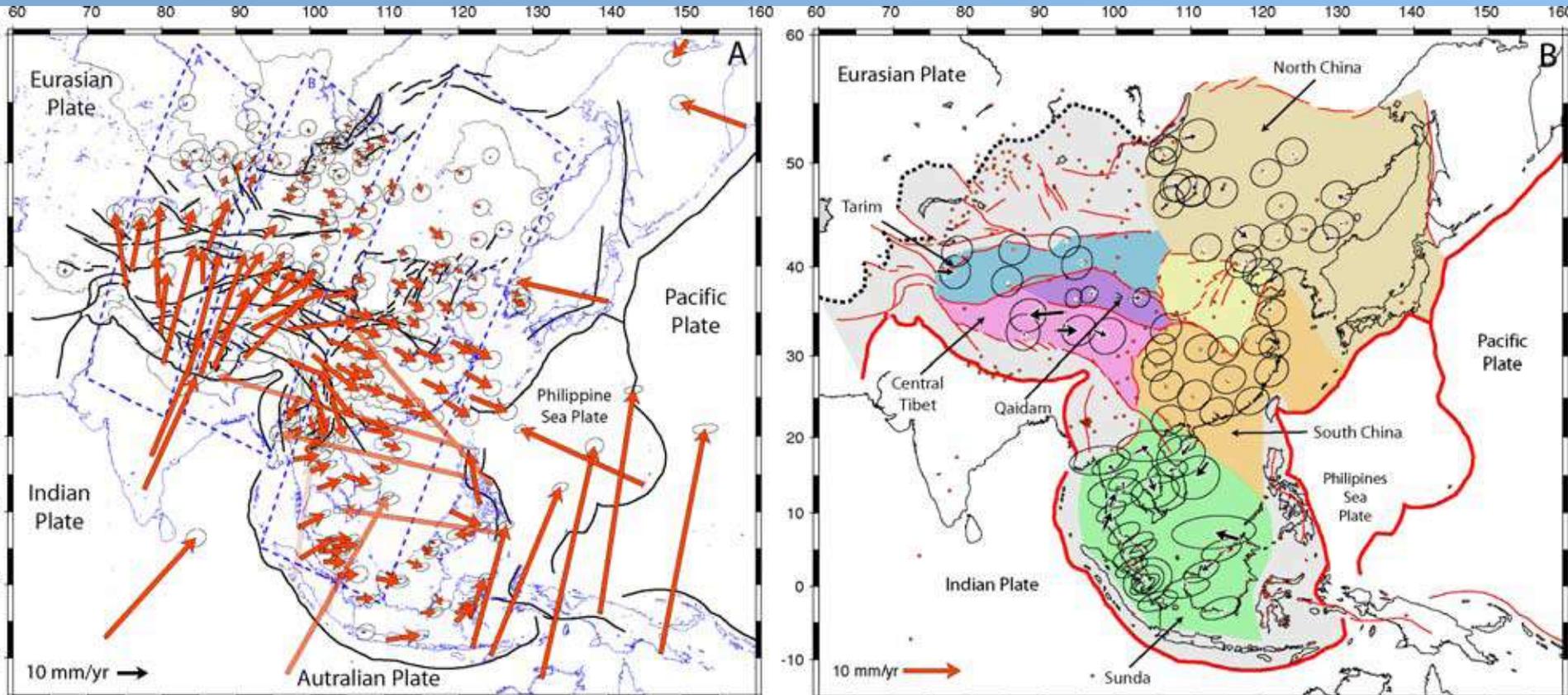
Paul Tapponnier



1976 : Molnar et Tapponnier : Collision Inde-Eurasie

l'analogie « rigide-plastique » et les lignes de glissement dans un régime plastique

Le GPS n'interdit pas une interprétation en rotations de blocs rigides



A droite : vitesses horizontales déduites du GPS exprimées par rapport à l'Eurasie fixe.
A gauche : vitesses résiduelles en ayant soustrait un modèle de rotations rigides de blocs

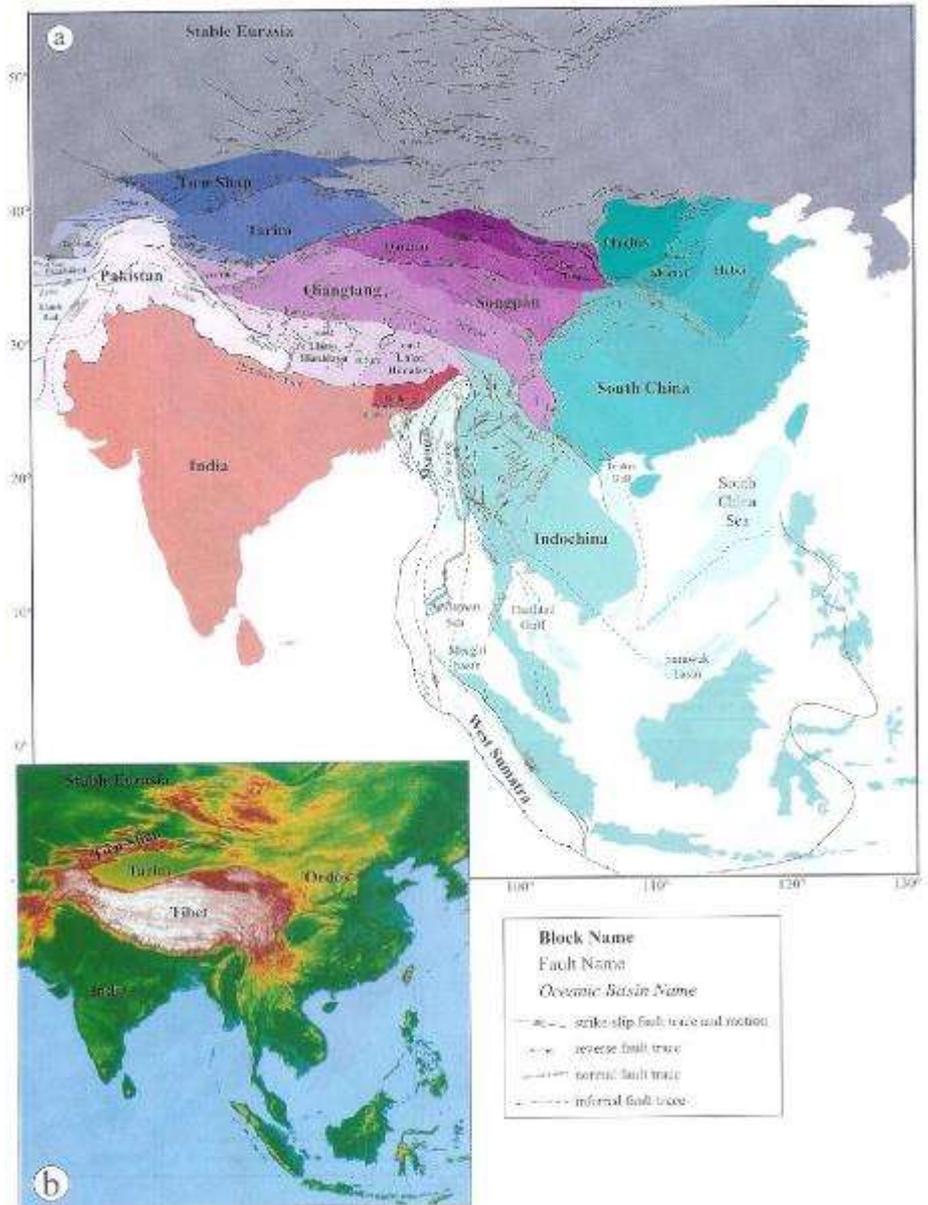


Figure 1. (a) Block contours defined from active fault map of Asia (see text). (b) Corresponding topographic map (GTOPO 30).

Actuel

Reconstructions des effets de la collision par rotation de blocs rigides séparés par des zones étroites de déformation

Replumaz et Tapponnier, J. Geophys. Res., 2003

0 – 5 Ma

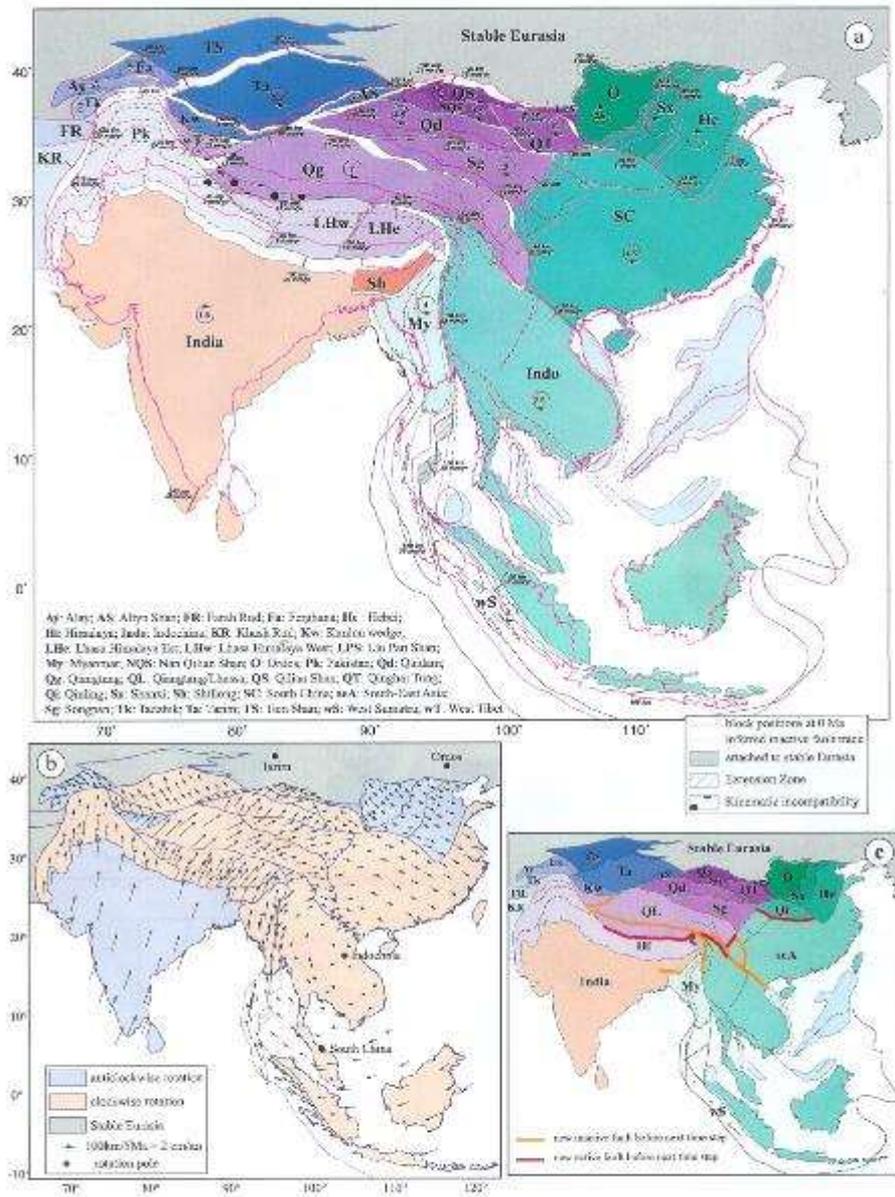


Figure 3. Time step reconstruction 0-5 Ma. (a) Deformation from block motion. (b) Displacement field. (c) New block positions and contours at 5 Ma.

5 – 10 Ma

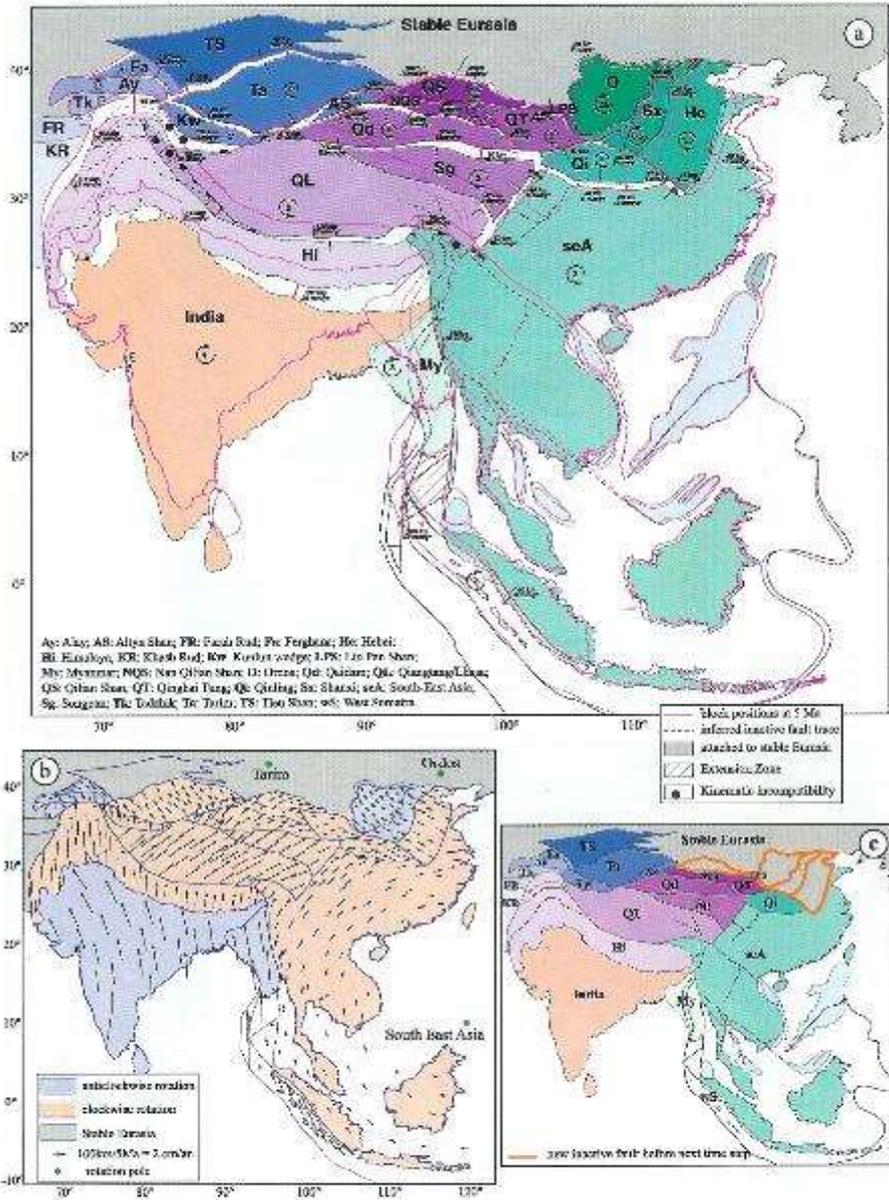


Figure 4. Time step reconstruction 5–10 Ma. (a) Deformation from block motion. (b) Displacement field. (c) New block positions and contours at 10 Ma.

10 – 15 Ma

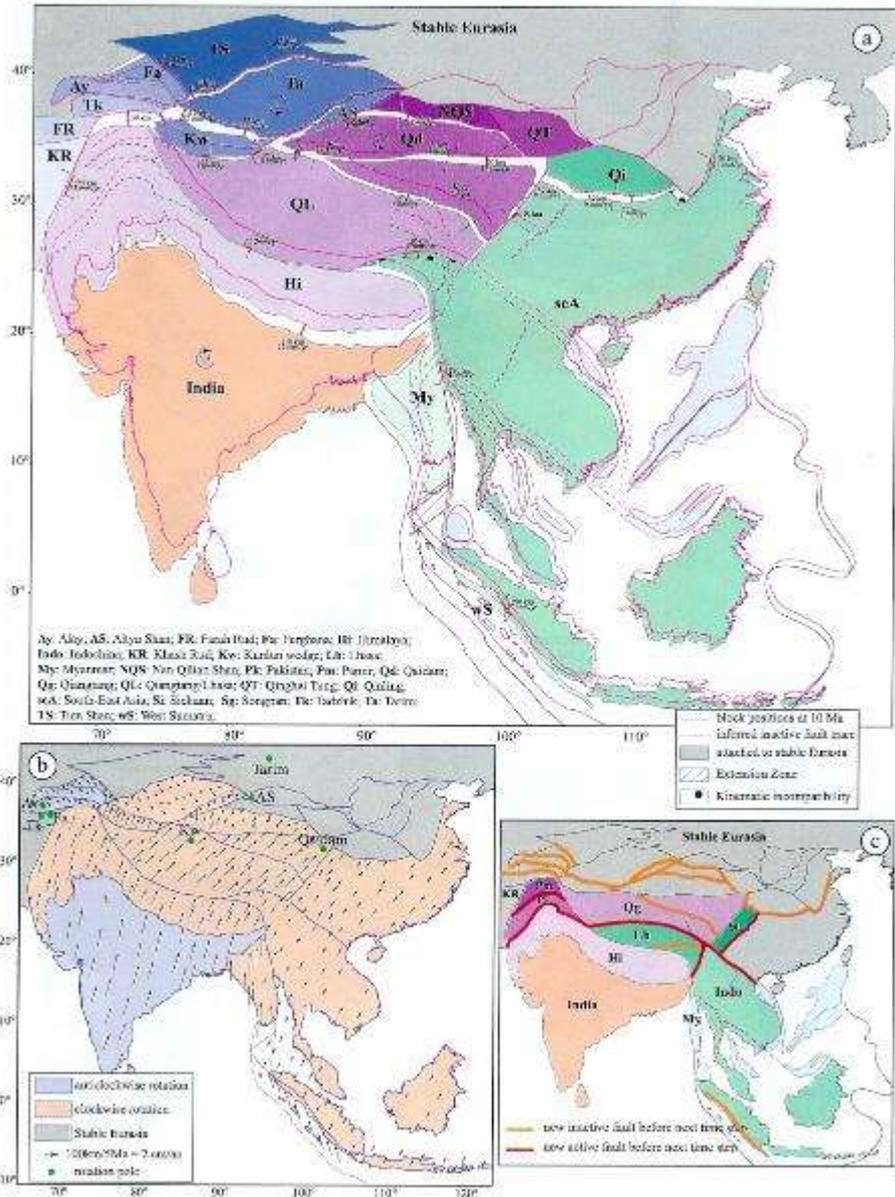


Figure 5. Time step reconstruction 10–15 Ma. (a) Deformation from block motion; (b) Displacement field; (c) New block positions and contours at 15 Ma.

15 – 30 Ma

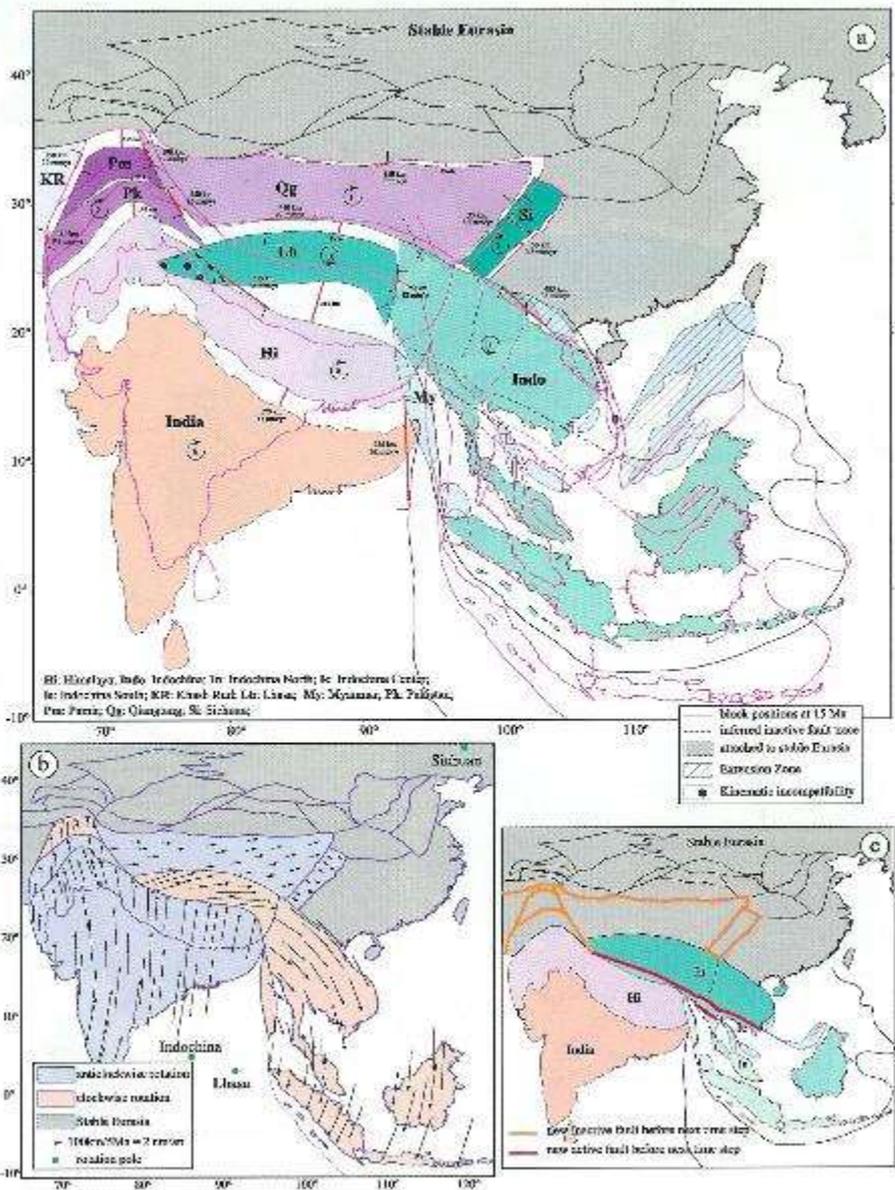


Figure 6. Time step reconstruction 15–30 Ma. (a) Deformation from block motion. (b) Displacement field. (c) New block positions and contours at 30 Ma.

30 – 40 Ma

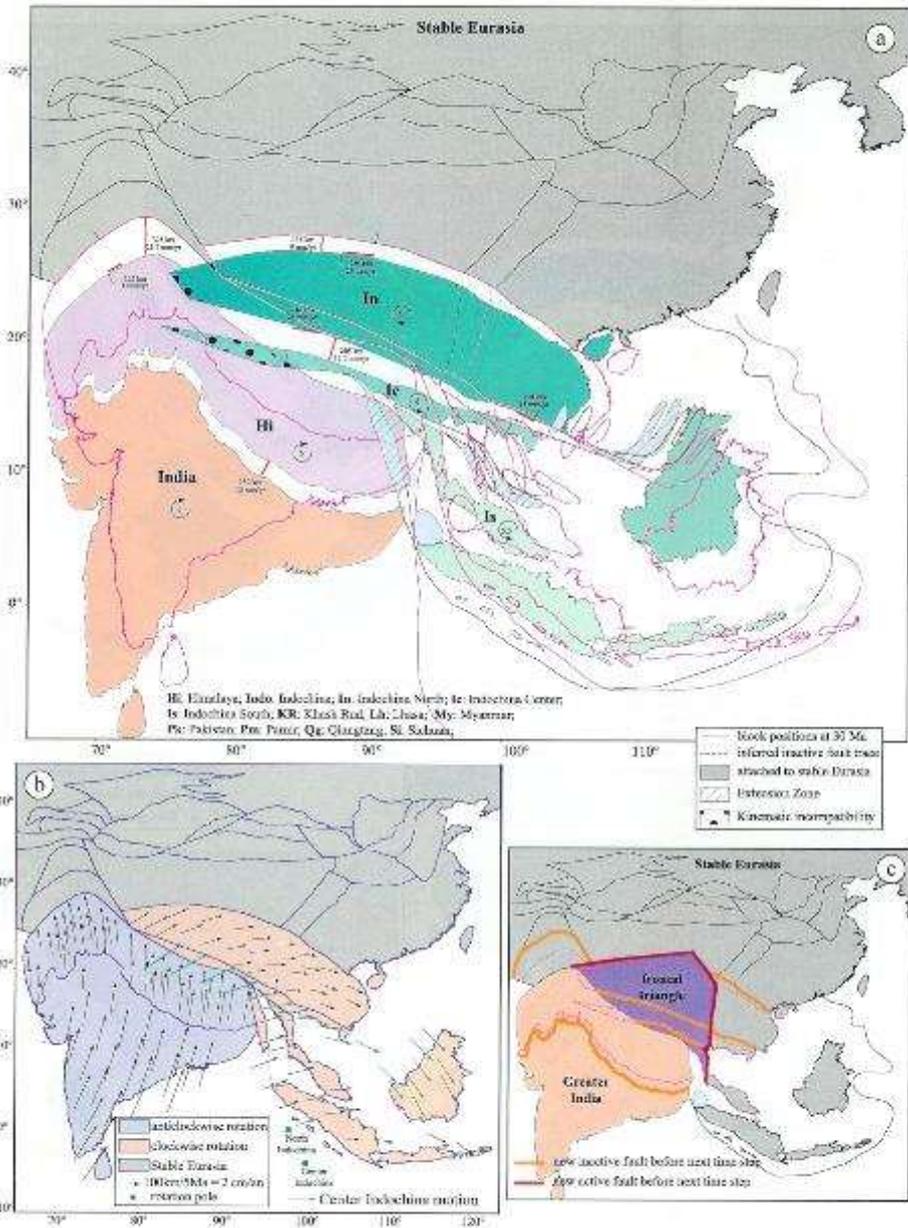


Figure 7. Time step reconstruction 30–40 Ma. (a) Deformation from block motion. (b) Displacement field. (c) New block positions and contours at 40 Ma.

5) Moteur, vous avez dit « moteur » ?

De la dérive des continents à la tectonique des plaques

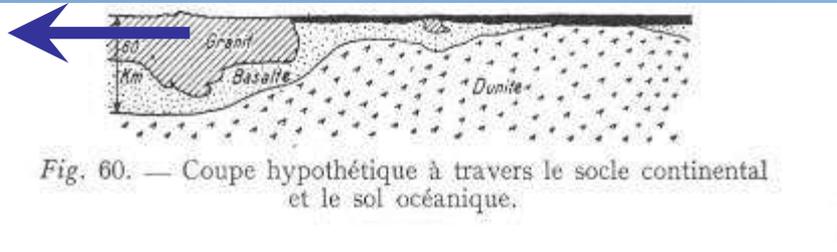


Fig. 60. — Coupe hypothétique à travers le socle continental et le sol océanique.

Wegener 1928

Problème : sur quel élément fluide les continents glissent-ils ? Le SIMA ?

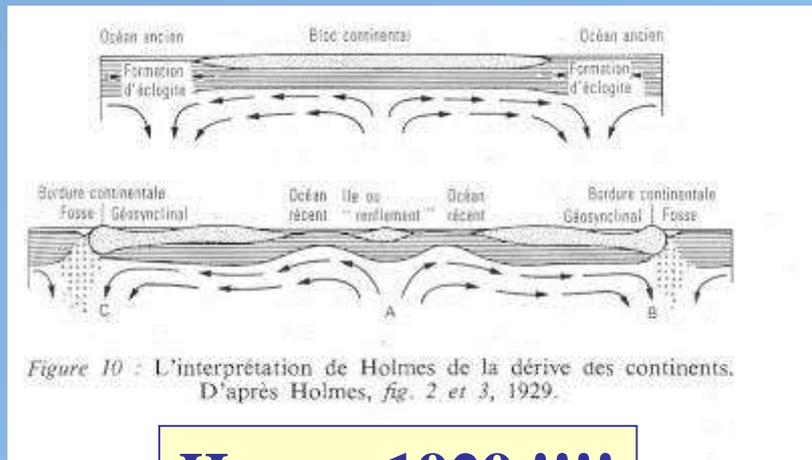


Figure 10 : L'interprétation de Holmes de la dérive des continents. D'après Holmes, fig. 2 et 3, 1929.

Homes 1929 !!!!

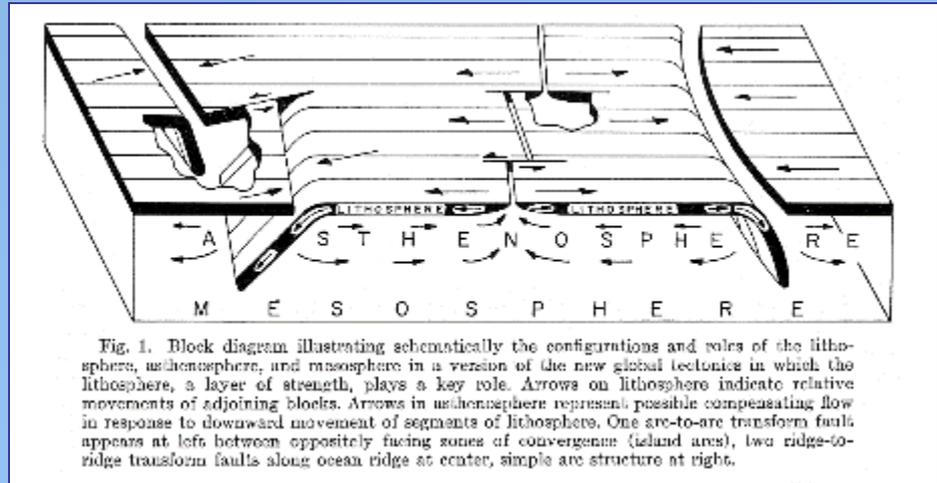


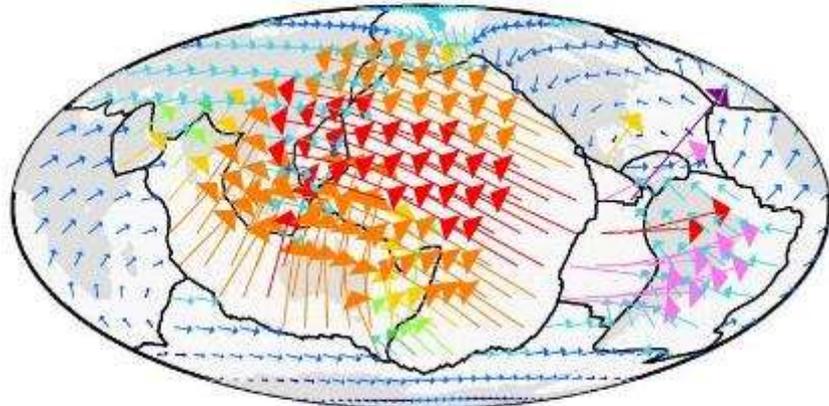
Fig. 1. Block diagram illustrating schematically the configurations and roles of the lithosphere, asthenosphere, and mesosphere in a version of the new global tectonics in which the lithosphere, a layer of strength, plays a key role. Arrows on lithosphere indicate relative movements of adjoining blocks. Arrows in asthenosphere represent possible compensating flow in response to downward movement of segments of lithosphere. One arc-to-arc transform fault appears at left between oppositely facing zones of convergence (island arcs), two ridge-to-ridge transform faults along ocean ridge at center, simple arc structure at right.

Sykes et col. 1968

5) Moteur, vous avez dit « moteur » ?

Observed Velocities (Present-Day)

$$V_{\text{subducting}} / V_{\text{non-subducting}} = 3.9$$

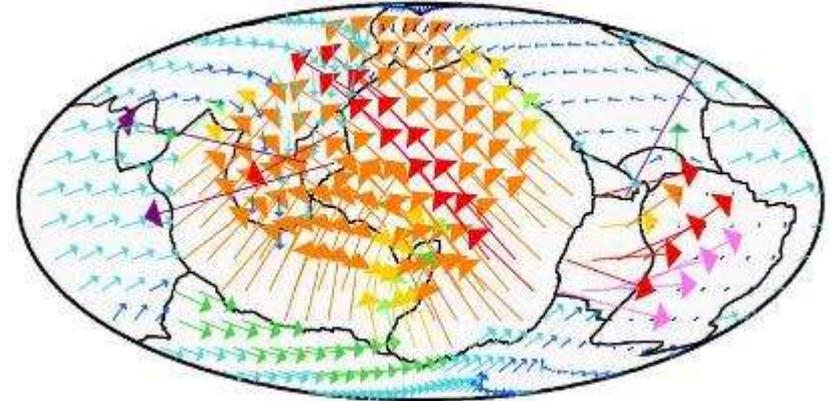


Velocity / Average Velocity

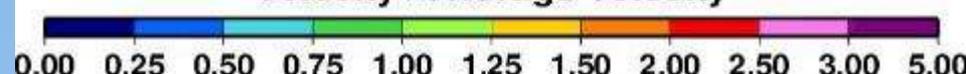


Slab Suction and Upper Mantle Slab Pull

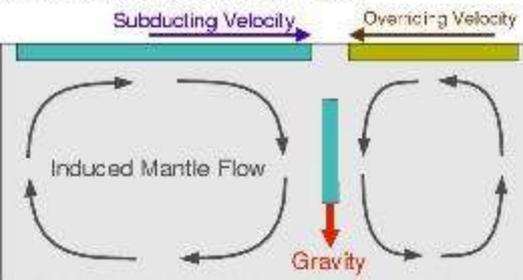
$$V_{\text{subducting}} / V_{\text{non-subducting}} = 3.9$$



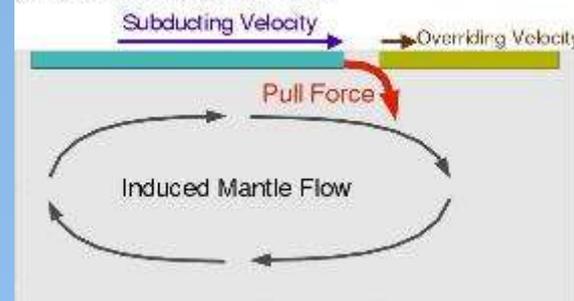
Velocity / Average Velocity



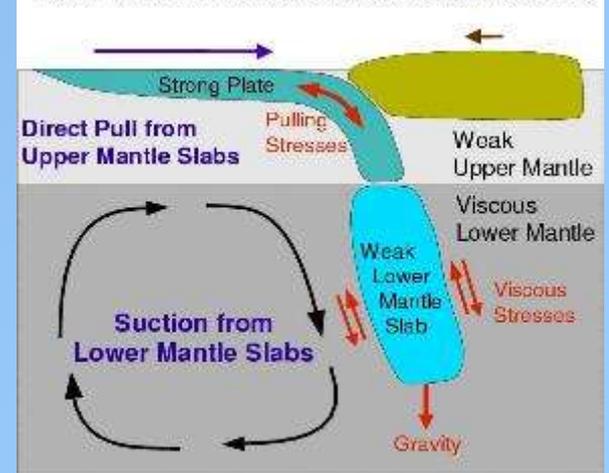
Slab Suction Mechanism



Slab Pull Mechanism



How Mantle Slabs Drive Plate Motions

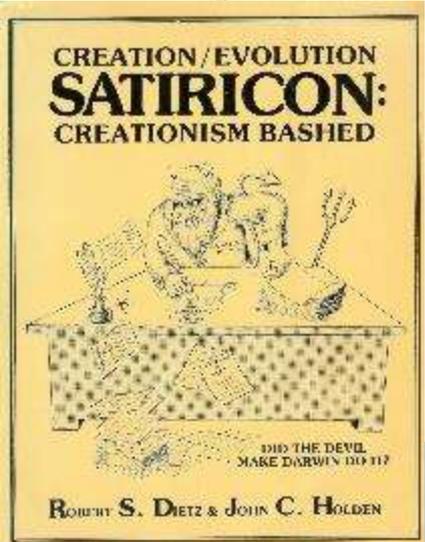


En Conclusion : vers un nouveau CREDO ?

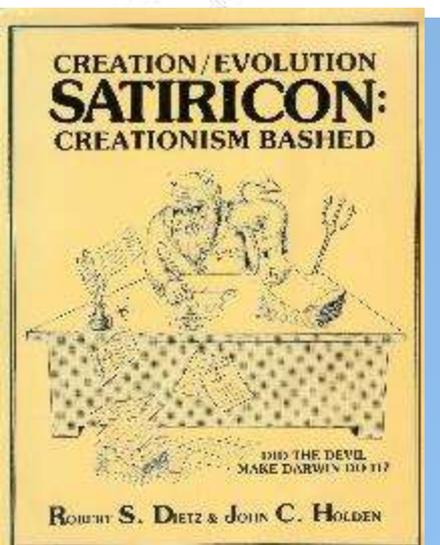
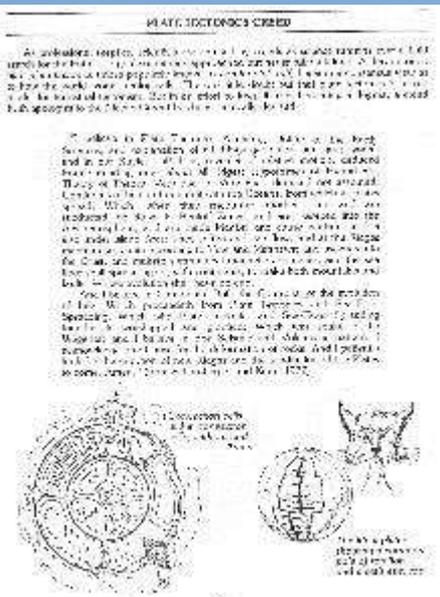


“I believe in Plate Tectonics Almighty, Unifier of the Earth Sciences, and explanation of all things geological and geophysical; and in our Xavier LaPichon, revealer of relative motion, deduced from spreading rates about all ridges; Hypotheses of Hypothesis, Theory of Theory, Very Fact of Very Fact; deduced not assumed; Continents of being of one unit with the Oceans, from which all plates spread; Which, when they encounter another plate and are subducted, go down in Benioff Zones, and are resorbed into the Aesthenosphere, and are made Mantle; and cause earthquake foci also under Island Arcs; They soften and can flow; and at the Ridges magma rises again according to Vine and Matthews; and ascends into the Crust, and maketh symmetrical magnetic anomalies; and the sea floor shall spread again, with continents, to make both mountains and faults, Whose evolution shall have no end.

And I believe in Continental Drift, the Controller of the evolution of Life, Which proceedeth from Plate Tectonics and Sea-Floor Spreading; Which with Plate Tectonics and Sea-Floor Spreading together is worshipped and glorified; Which was spake of by Wegener; and I believe in one Seismic and Volcanistic pattern; I acknowledge one Cause for the deformation of rocks, And I patiently look for the eruption of new Ridges and the subduction of the Plates to come. Amen.” (from Scharnberger and Kern, 1972)



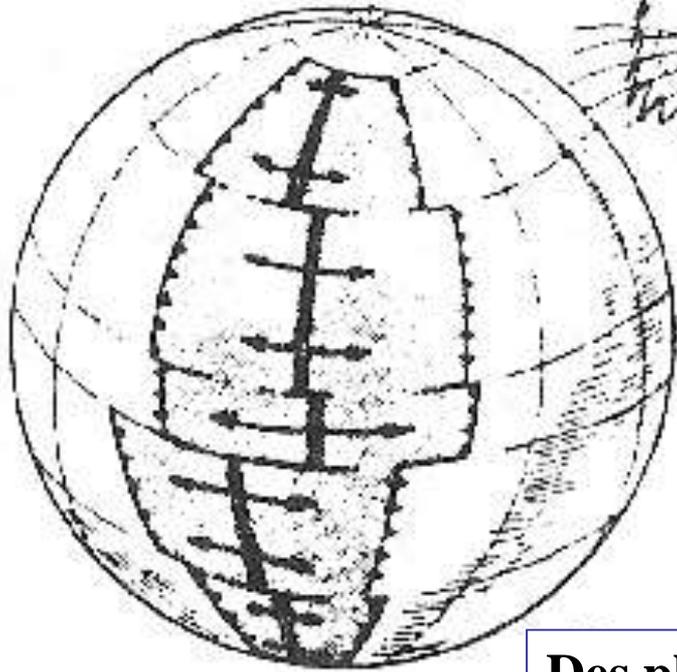
En Conclusion : vers un nouveau CREDO ?



Je crois en la toute puissante Tectonique des Plaques, Unificatrice des Sciences de la Terre, et explication de toutes choses géologiques et géophysiques ; et en notre Xavier Le Pichon, révélateur des mouvements relatifs, déduits des vitesses d'expansions sur toutes les Rides ; Hypothèse parmi les hypothèses; Fait parmi les faits; déduite et non supposée; Ses Continents participent d'une même entité que les Océans, depuis lesquels toutes plaques se créent; qui lorsqu'elles rencontrent d'autres plaques, sont subduites, s'enfoncent dans les zones de Benioff; et sont résorbées dans l'Asthénosphère; et retournent au Manteau; et causent également les foyers de séismes sous les arcs insulaires; Elles se ramollissent et fluent dans le manteau; et le Magma s'élève à nouveau aux Rides selon la prédiction de Vine et Matthews; et monte dans la croûte; et fait des anomalies magnétiques symétriques; et ainsi l'Expansion des fonds océaniques continuera ; avec les Continents à l'origine des Montagnes et des Failles; ; dont l'évolution n'aura pas de Fin.

Et je crois en la Dérive des Continents, le contrôleur de l'évolution de la Vie, qui procède de la Tectonique des Plaques et de l'Expansion des fonds océaniques; qui avec celles-ci est adorée et glorifiée; qui a été discutée par Wegener; Et je crois en un seul motif sismique et volcanique. Je reconnais une unique Cause de la déformation des roches. Et j'attends patiemment l'éruption de nouvelles Rides et la subduction de Plaques à venir. Amen (d'après Scharnberger et Kern, 1972)

Un solide esprit critique et un peu d'humour suffiront à nous en préserver

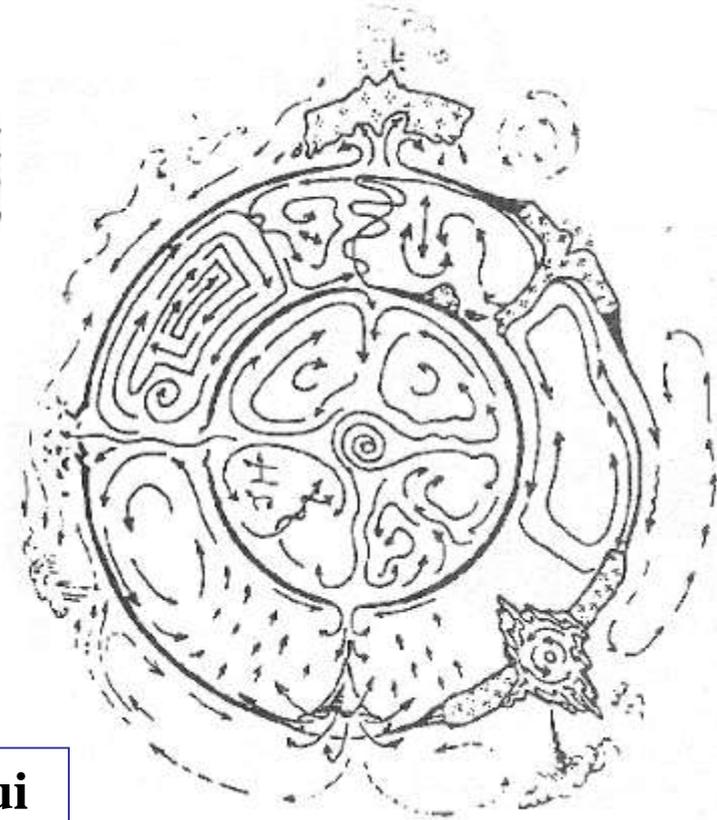


Des plaques « idéales » qui montrent un pôle de rotation commun

mais aussi un œil de chat !!



En Conclusion



*Convection cells
within convection
cells, without end
— Amen*

Dessins de Jack Holden

Un Ecueil didactique

- **« ni les rides, ni les fossés ne forment un système de référence fixe, puisqu'ils sont tous en mouvement relatif les uns par rapport aux autres. Il n'y a donc aucune raison de choisir un système de référence plutôt qu'un autre, et ce point a été souvent mal compris.**
- **Implicitement de nombreux chercheurs admettent que la position des rides ou des fossés est fixe dans un système de référence absolu, souvent d'ailleurs parce que ces crêtes ou ces fossés sont dans leur esprit un moteur en position d'équilibre dynamique. Rien de ce que nous savons ne confirme cette idée. »**
- **X. Le Pichon, 1970 in « Structure et dynamique de la lithosphère, C. Allègre et M. Mattauer, Herman, 1972**

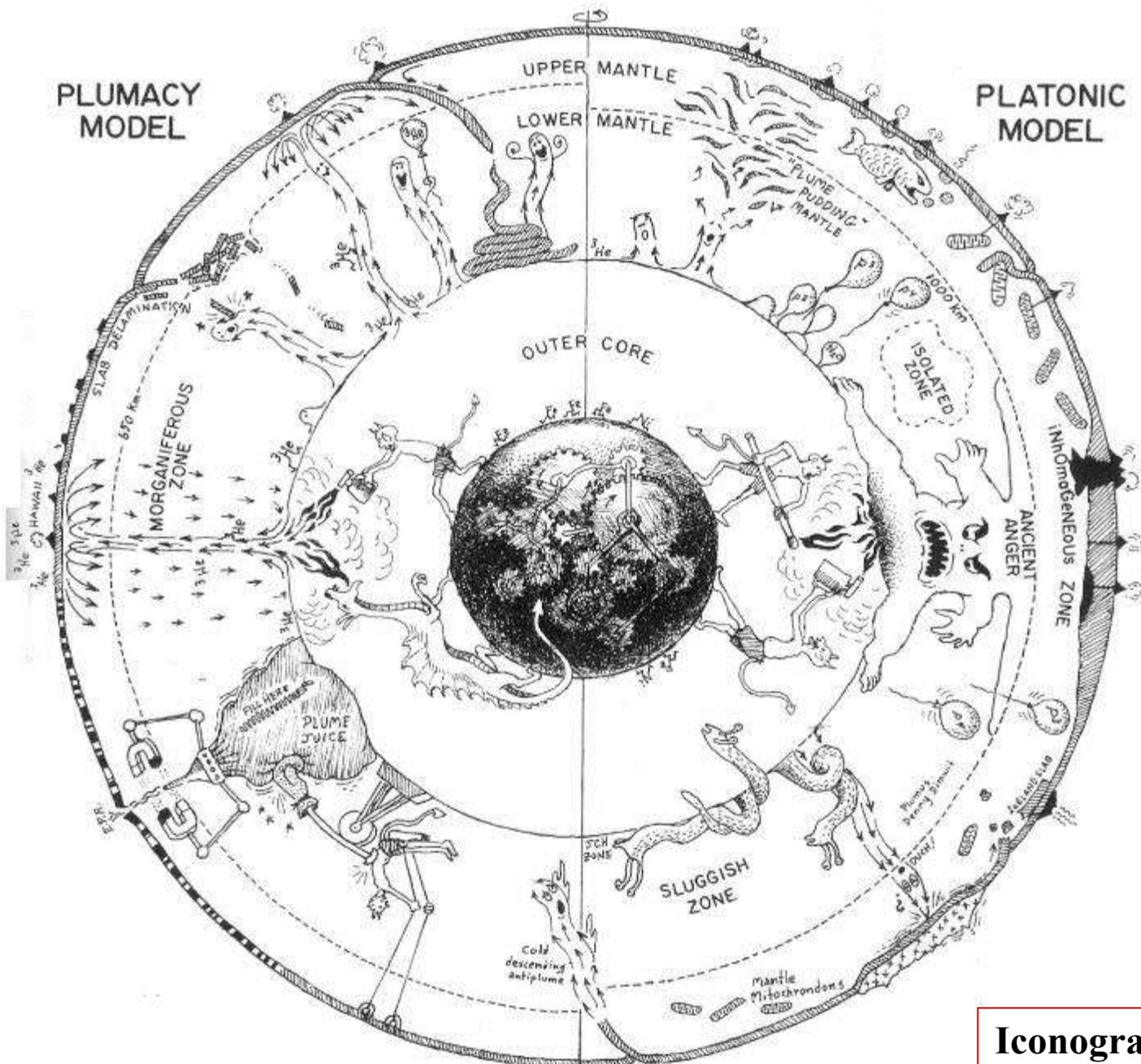


Figure 14. Multiculturalism and celebration of diversity: opening the big, big mantle tent to every hypothesis.

Iconographie d'une controverse
Par J. Holden et J. Vogt, 2007

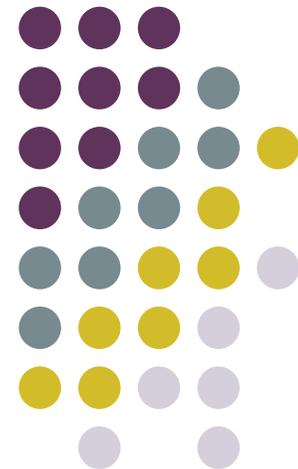
La tectonique des plaques, un modèle si confortable pour les élèves qu'il peut les empêcher de faire de la géologie



Denise ORANGE RAVACHOL
Université de Nantes – IUFM des pays de la Loire, CREN

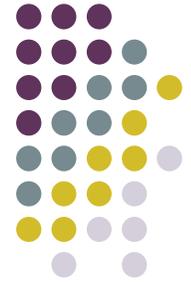
denise.orange@univ-nantes.fr

Colloque de l'APFSVT, 16 novembre 2010



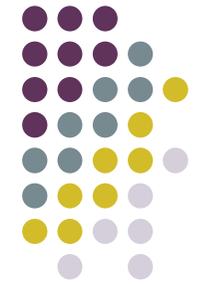
Plan de l'intervention

1. **Le fonctionnement de la zone d'une dorsale**
2. **L'expansion et la sédimentation océaniques**
3. **La formation d'une chaîne de montagnes**
4. **La répartition des volcans et des séismes**
5. **Eléments de conclusion**

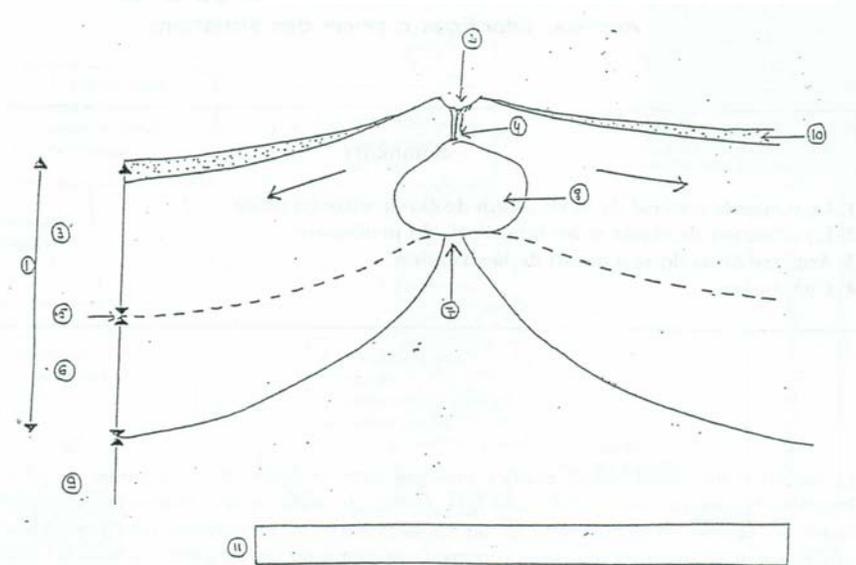
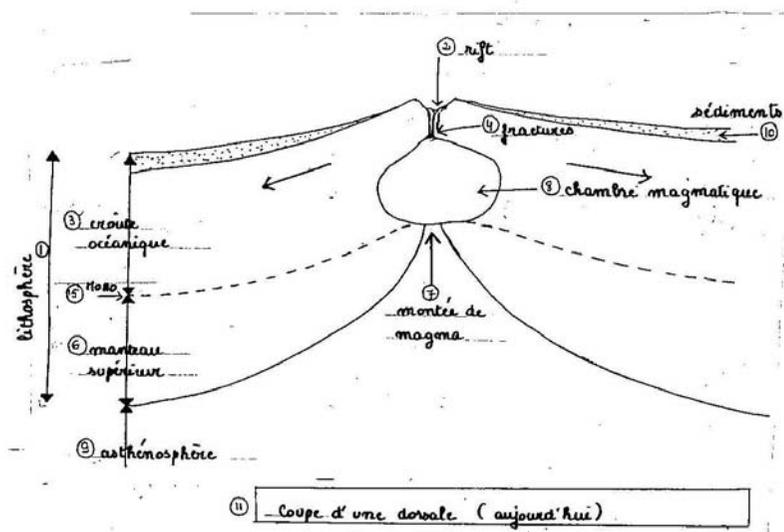


Orange Ravachol
15-11-10

1. Le fonctionnement de la zone d'une dorsale

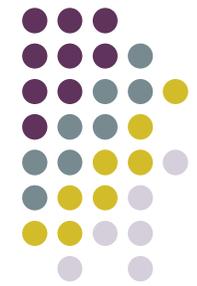


Orange Ravachol
15-11-10

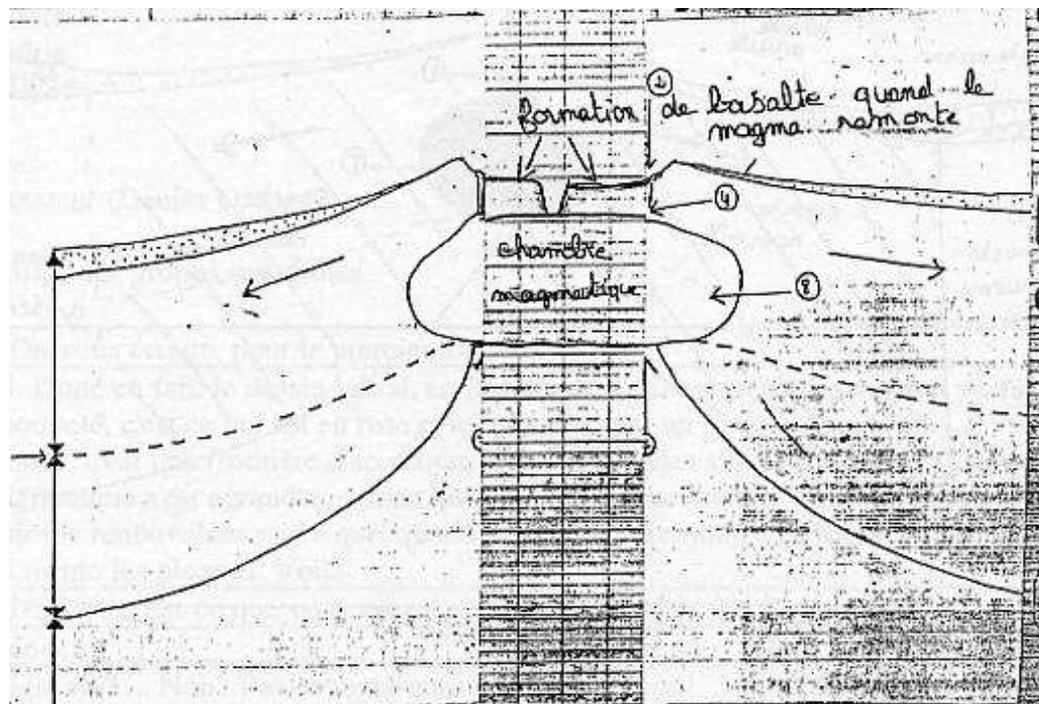


Le document ci-joint représente, en coupe transversale, une dorsale aujourd'hui. Prévoir, à l'aide de la deuxième coupe fournie, comment sera cette zone dans quelques millions d'années. (1ère S)

Prévoir comment sera cette zone dans quelques millions d'années



Orange Ravachol
15-11-10

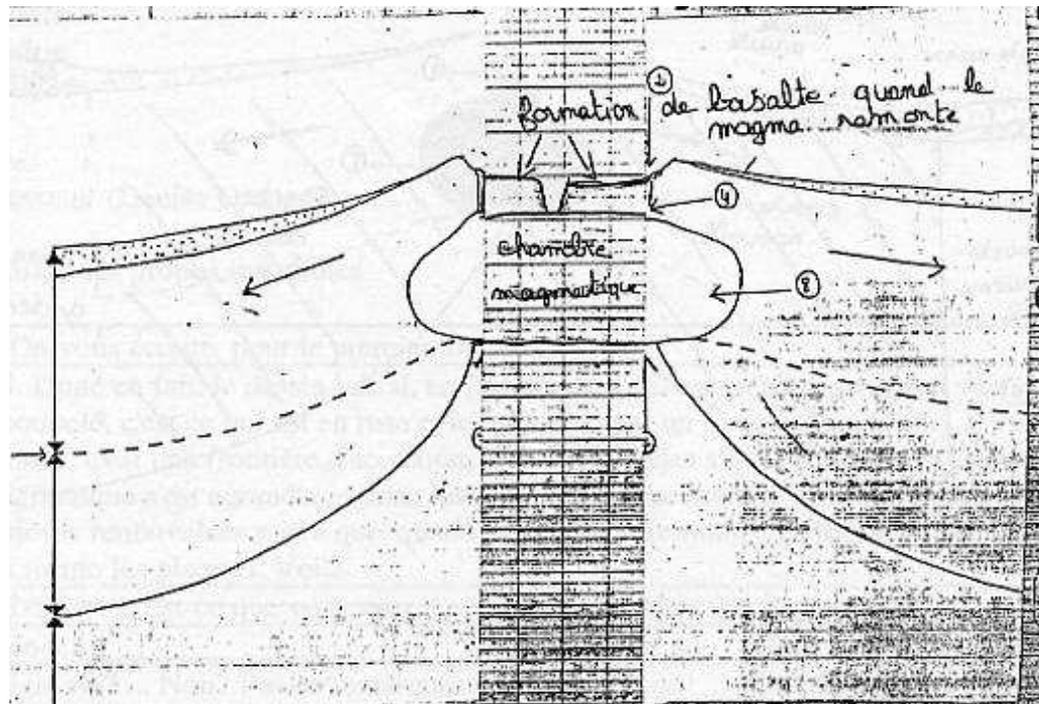


La dorsale est une frontière de divergence donc les plaques s'écartent. Par conséquent la chambre magmatique s'agrandit. Et les plaques au niveau de la dorsale grâce à la formation de basalte lors de la remontée du magma.

Prévoir comment sera cette zone dans quelques millions d'années

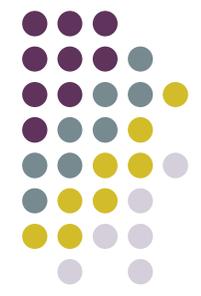


Orange Ravachol
15-11-10

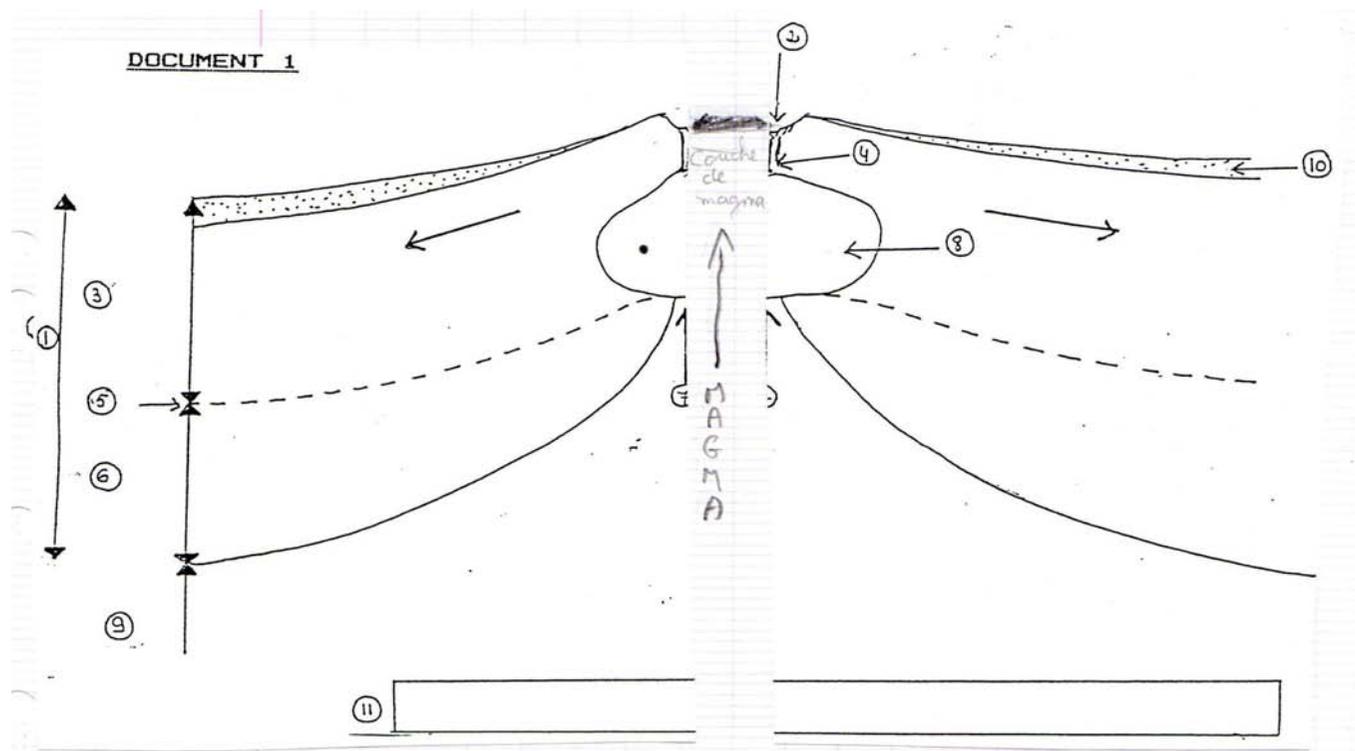


La dorsale est une frontière de divergence donc les plaques s'écartent. **Par conséquent** la chambre magmatique s'agrandit. **Et** les plaques au niveau de la dorsale grâce à la formation de basalte lors de la remontée du magma.

Prévoir ce que sera cette zone dans quelques millions d'années



Orange Ravachol
15-11-10

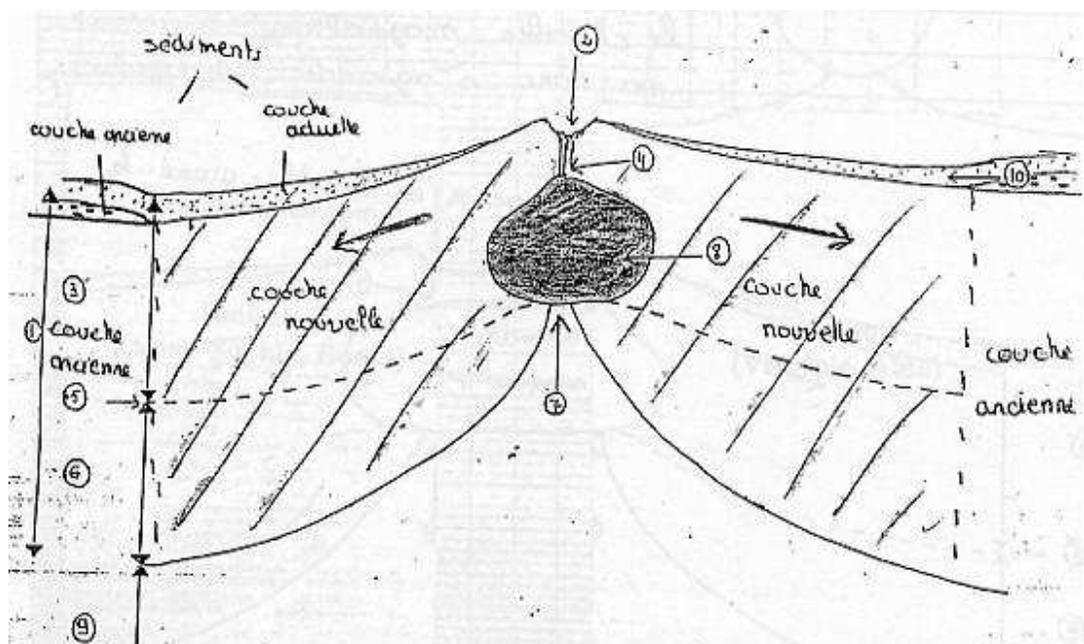


Il y aura du magma, provenant de la zone de fusion partielle, qui remontera et qui au contact de l'eau se refroidira en surface et cela comblera le trou

Prévoir ce que sera cette zone dans quelques millions d'années



Orange Ravachol
15-11-10

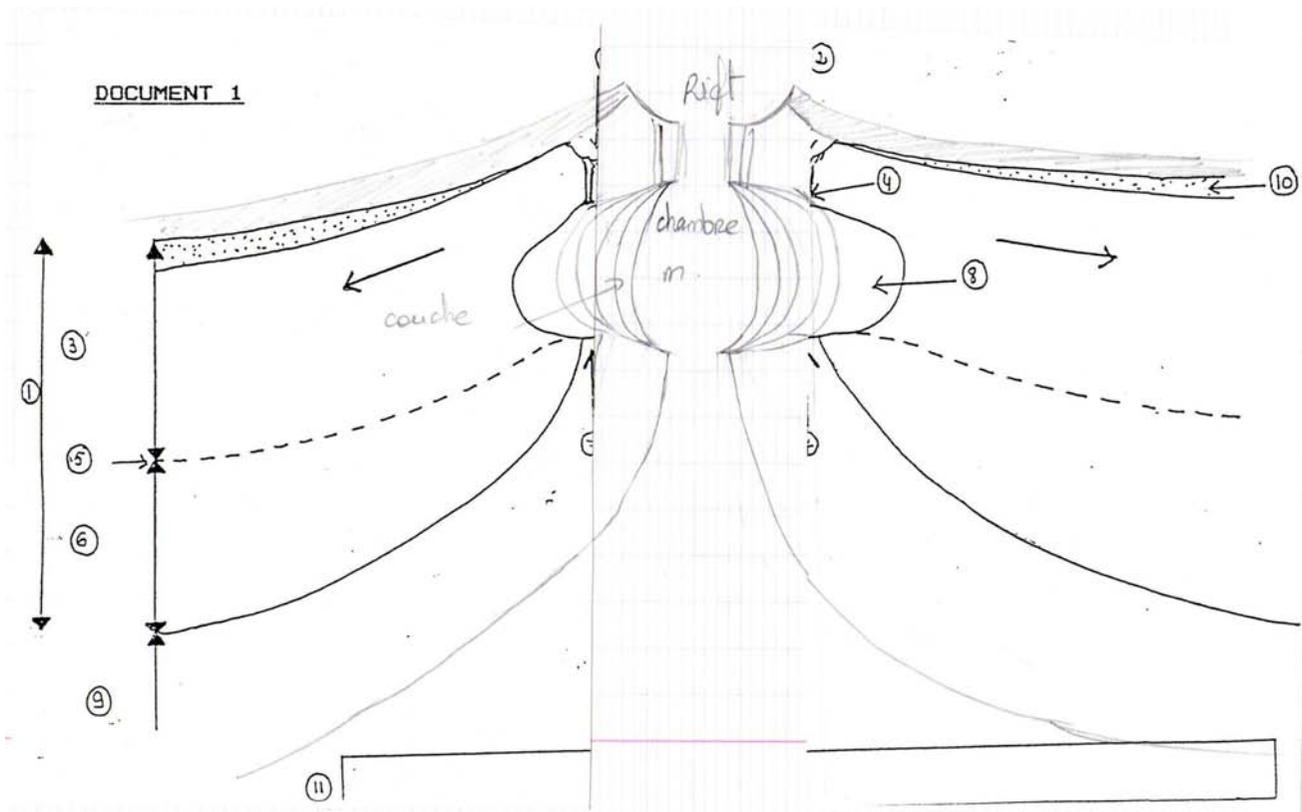


*Dans quelques millions d'années, l'océan se sera agrandi puisque les plaques s'écartent et il y aura une ou plusieurs autres couches de sédiments par dessus ceux qui s'y trouvent actuellement. Le rift lui ne va pas s'agrandir puisqu'en s'écartant le magma sort et se refroidit en formant une croûte, de plus si le rift s'agrandissait aujourd'hui, le rift serait géant puisque au départ là où il y a certains océans avant il n'y en avait pas. La chambre magmatique sera tel quel.*⁷

Prévoir ce que sera cette zone dans quelques millions d'années



Orange Ravachol
15-11-10



Le fonctionnement de la zone d'une dorsale



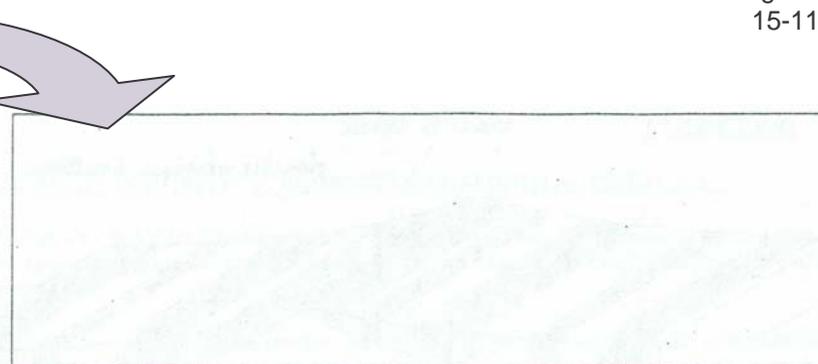
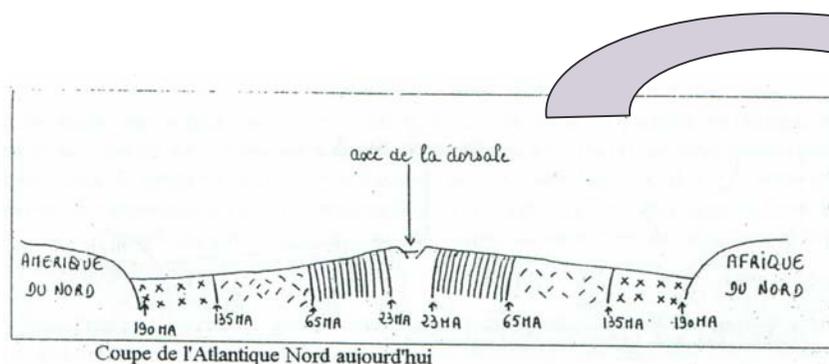
Orange Ravachol
15-11-10

	Sans stabilité structurelle	Avec stabilité structurelle
Nombre d'élèves (1ère S) 154	56	95

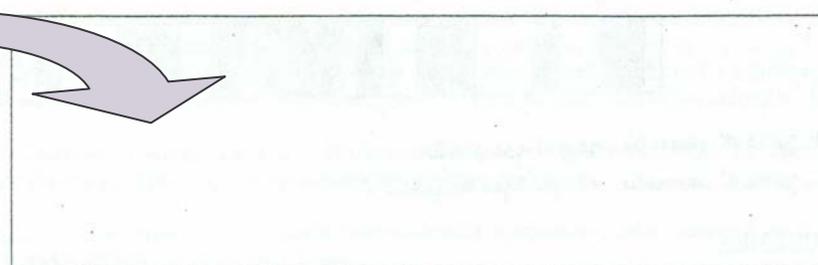
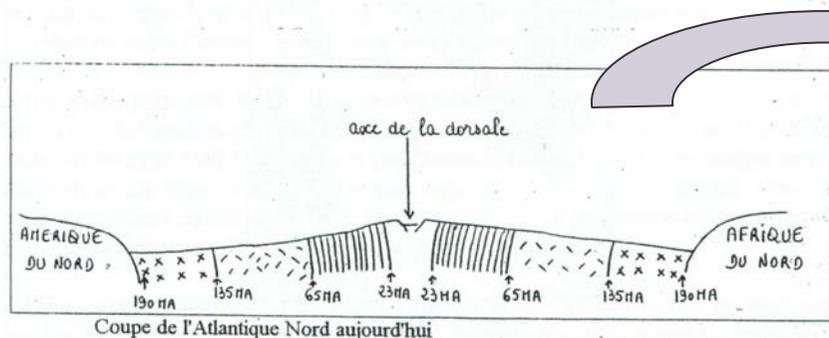
3 réponses difficilement classables



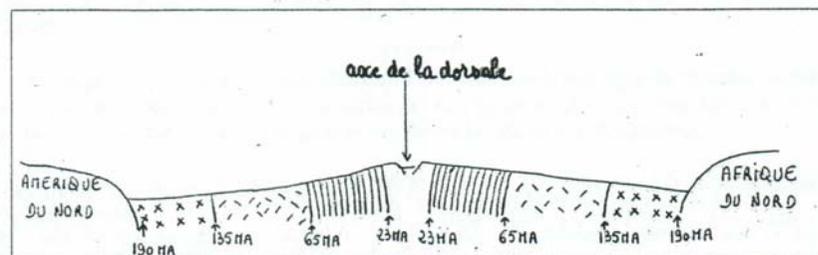
2. L'expansion et la sédimentation océaniques



Cadre 1: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 135 MA



Cadre 2: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 65 MA

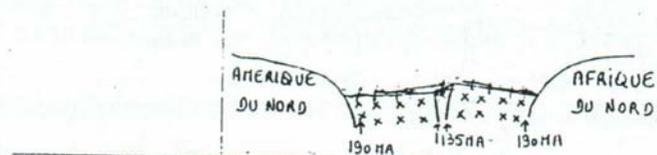


Cadre 3: Coupe de l'Atlantique Nord aujourd'hui

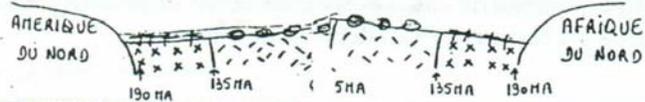
Catégorie J: juxtaposition de sédiments d'époques différentes sur le fond océanique



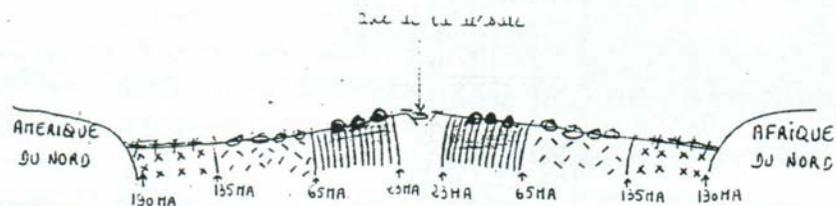
Orange Ravachol
15-11-10



Cadre 1: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 135 MA

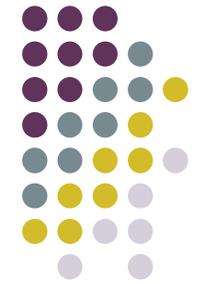


Cadre 2: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 65 MA

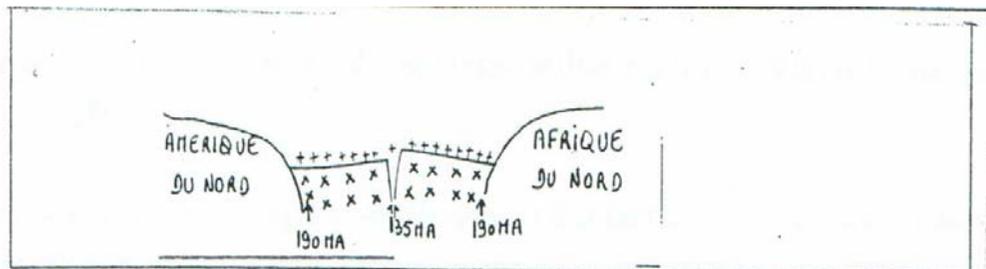


Cadre 3: Coupe de l'Atlantique Nord aujourd'hui

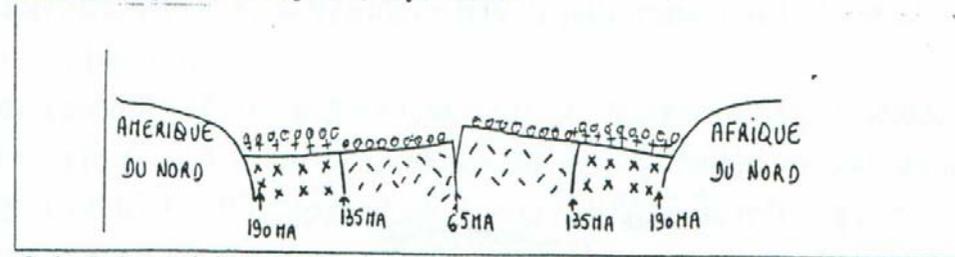
Catégorie S: superposition de couches sédimentaires d'autant plus étendues qu'elles sont plus récentes



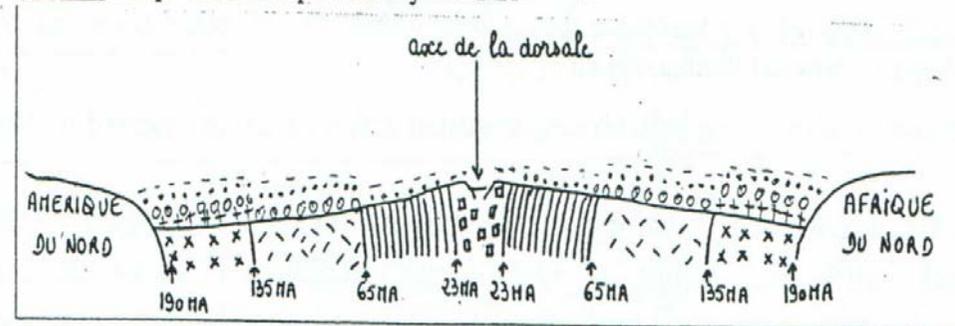
Orange Ravachol
15-11-10



Cadre 1: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 135 MA



Cadre 2: Coupe de l'Atlantique Nord il y a 65 MA





L'expansion et la sédimentation océaniques

Coupe	Superposition	Juxtaposition
Carte		
Superposition	12	4
Juxtaposition	0	17

3. La formation d'une chaîne de montagnes

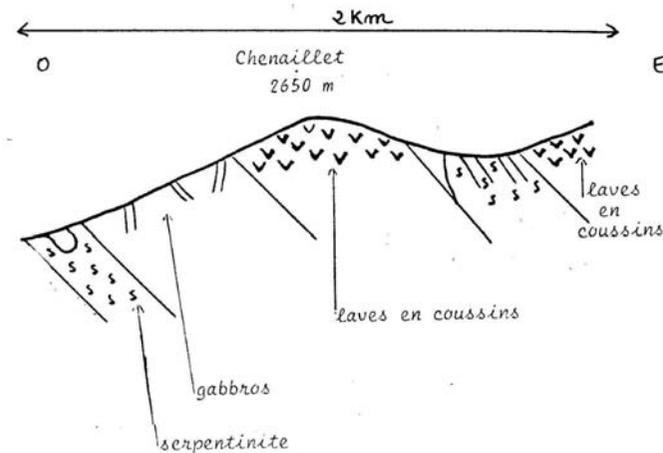
3.1. Le problème de la mise en place des ophiolites (1ère S)



Orange Ravachol
15-11-10



Laves en coussins du Massif du Chenaillet



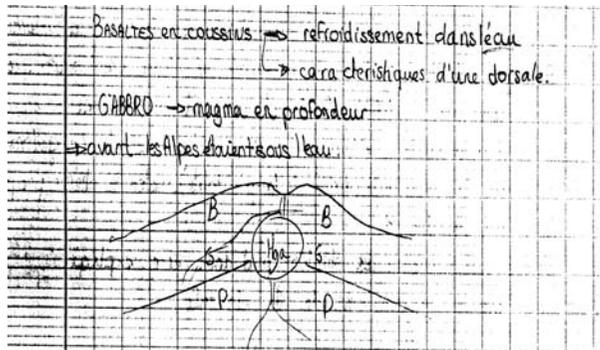
Coupe à travers le Massif du Chenaillet

En utilisant vos connaissances et les documents 1 et 2, racontez l'histoire des ophiolites du Chenaillet depuis leur formation jusqu'à aujourd'hui.

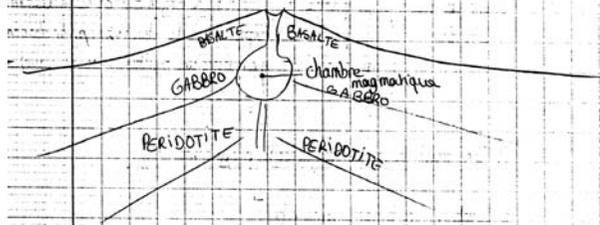
Sans possibles tectoniques



Orange Ravachol
15-11-10



La structure du basalte en coussins visible sur le doc 2, et les failles, visibles sur le doc 1 sont caractéristiques d'une dorsale. Qui avait le fonctionnement suivant.



Pour une cause qui n'est pas mentionnée sur les documents, l'activité de cette faille a cessé, et l'eau s'est retirée au cours des différentes ères de notre Histoire (glaciation etc..) Par la suite, l'érosion, a permis l'affleurement du gabbro et de la serpentinite (dérivée de la péridotite), selon le schéma proposé par le doc. 3. La présence des ophiolites peut donc être expliquée par le mécanisme de la dorsale.

BASALTES en COUSSINS → refroidissement dans l'eau
→ caractéristiques d'une dorsale

GABBRO → magma en profondeur
→ avant les Alpes étaient sous l'eau

La structure du basalte en coussins visible sur le doc 2, et les failles, visibles sur le doc 1 sont caractéristiques d'une dorsale. Qui avait le fonctionnement suivant.

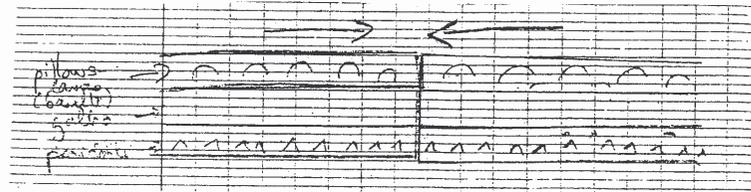
Pour une cause qui n'est pas mentionnée dans les documents, l'activité de la faille a cessé et l'eau s'est retirée au cours des différentes ères de notre Histoire (glaciation etc..) Par la suite, l'érosion, a permis l'affleurement du gabbro et de la serpentinite (dérivée de la péridotite), selon le schéma proposé par le doc.3. La présence des ophiolites peut donc être expliquée par le Mécanisme de la dorsale.

Avec des possibles tectoniques

" Le Mont Chenaillet observé comporte les 3 sortes de roches formant le plancher océanique, dans un ordre identique, sauf pour une couche de gabbro qui manque entre la péridotite et le basalte en coussins.

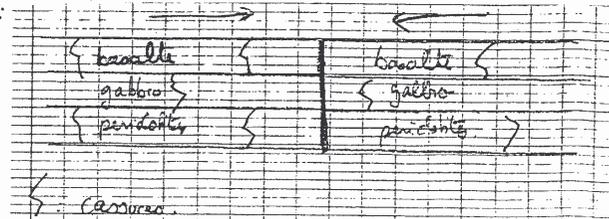
Vu la forme et la disposition des différentes strates, on peut penser qu'il y a eu modification dans la disposition de ces couches par un phénomène géologique...

Une confrontation entre deux parties de plancher océanique peut se dérouler ainsi :

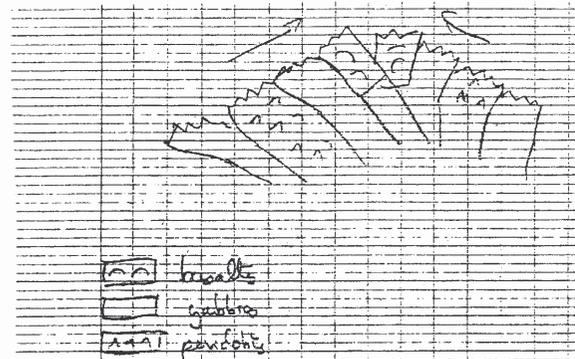


La confrontation des deux parties (de densité équivalente, puisque de même composition) crée des mouvements de compressions énormes (aucune ne passe dessus ou dessous l'autre).

Cette très forte compression fait onduler la roche petit à petit et provoque des cassures au niveau de chaque couche :



Les "blocs" brisés de chaque roche deviennent de plus en plus indépendants et le mouvement continu de compression les oriente alors plus facilement.



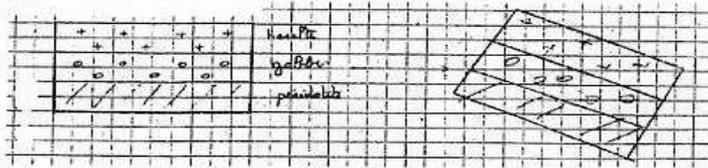
L'ordre reste celui du plancher mais peut aussi différer (voir gabbro de droite avec un mauvais emplacement).

L'érosion façonne les roches et forme la montagne lisse".

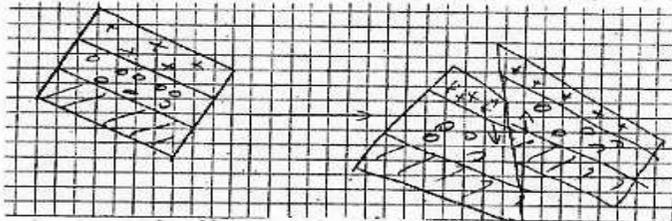


Avec des possibles tectoniques

Au premier abord, on remarque une couche de péridotite située au dessus de la couche de gabbro. Mais on sait que la lithosphère océanique est composée de la couche supérieur à la couche inférieur de basalte, puis de gabbro et enfin de péridotite. Il y a donc ici une anomalie que l'on peut traduire par une déformation de cet espace.

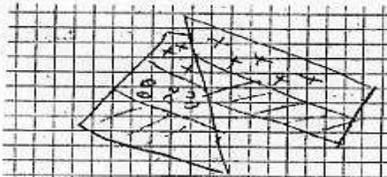


On peut tout d'abord penser à une rotation de ce milieu de l'ouest vers l'est, un laculnement, comme sur le schéma précédent.

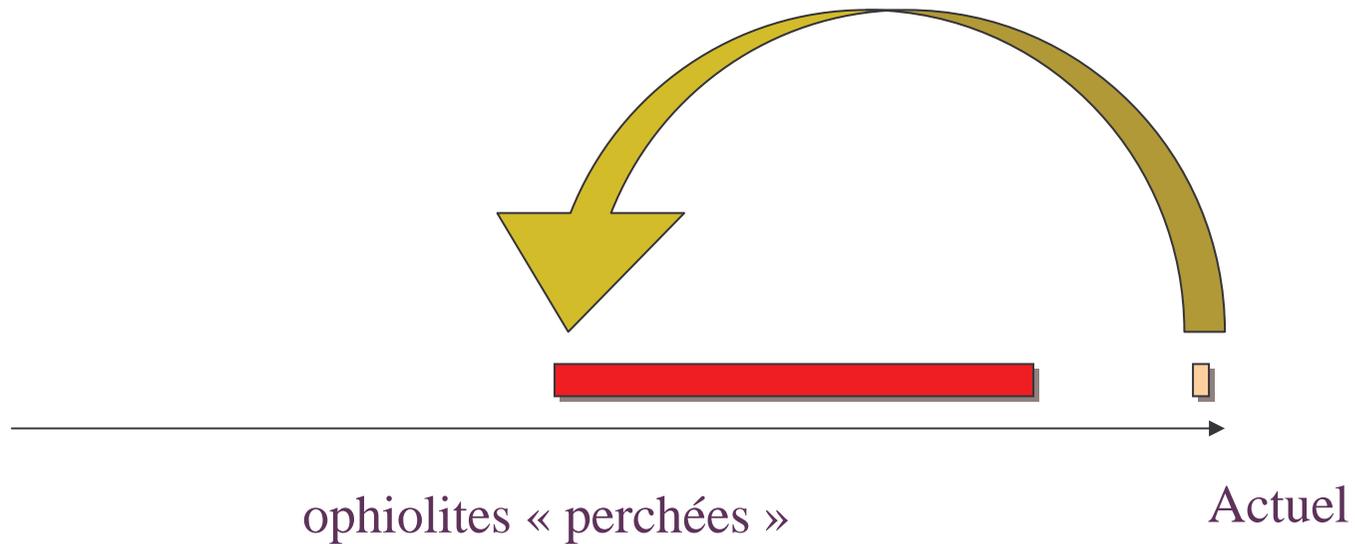


On peut imaginer que le gabbro situé à droite de la faille est coulissé à cause de la fente du milieu. *

* ce qui amène à ce schéma:



L'actualisme de 2è niveau (actualisme à temps long)



Nécessité d'un temps long constructeur de phénomènes



3.2. La formation de l'Himalaya (4ème)

Séance 1

Quelques rappels puis projection de photos de la chaîne himalayenne et situation sur un planisphère.

Expliquez comment s'est formée une chaîne de montagnes telle que l'Himalaya. Vous répondrez par un texte et des schémas mettant en jeu la lithosphère.

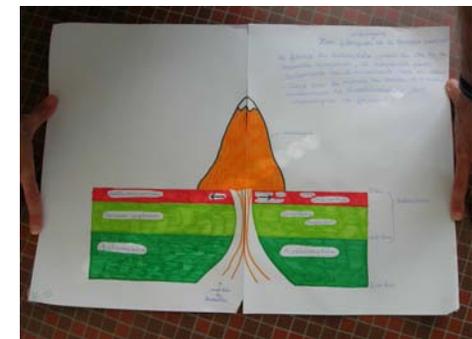
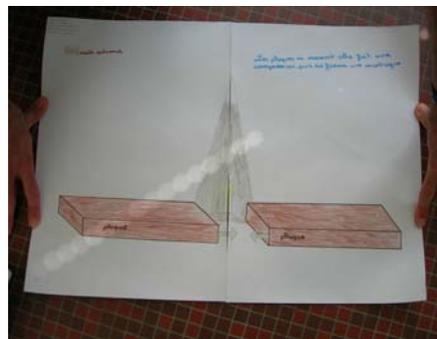
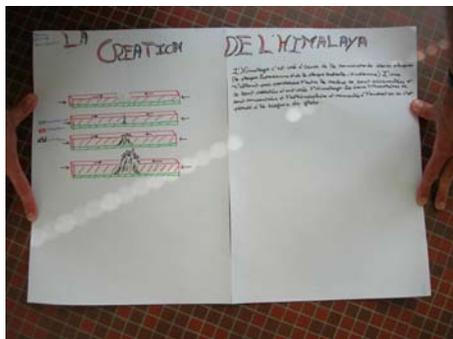
(Travail individuel puis en groupes homogènes)



Quelques productions de groupe et ordre de passage des groupes

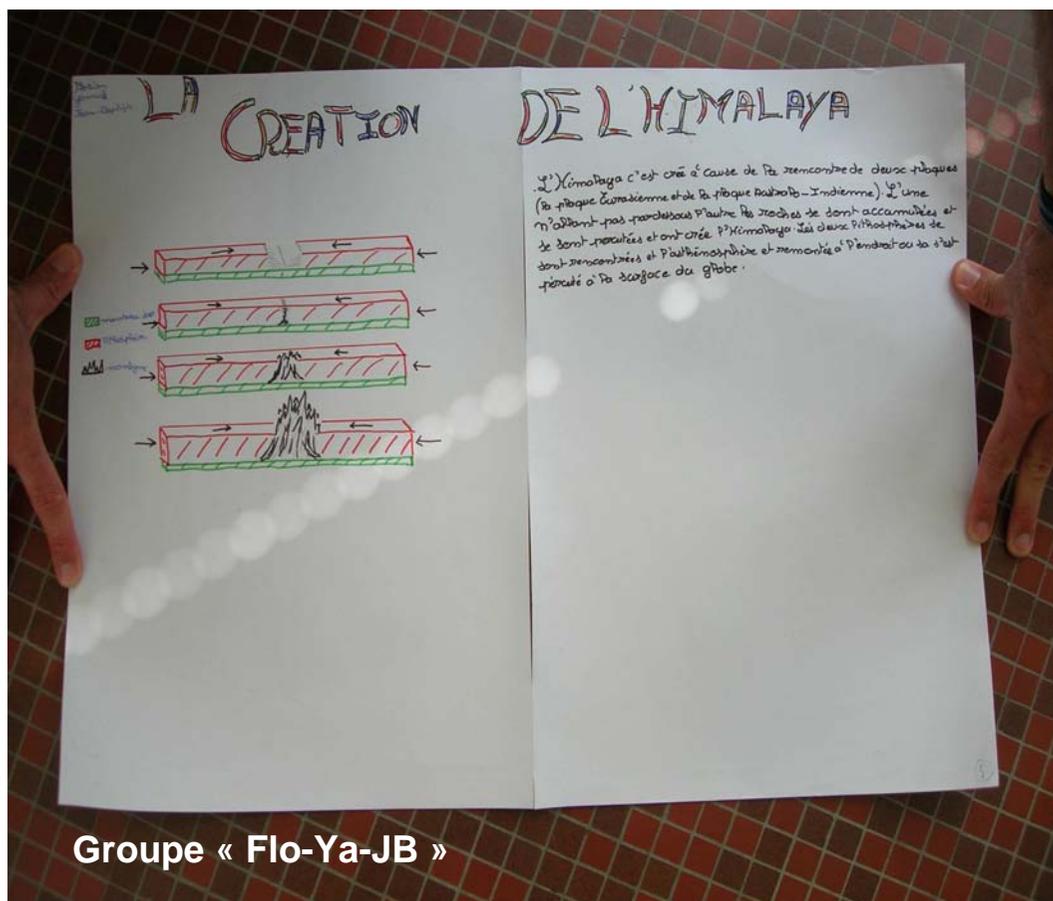


Orange Ravachol
15-11-10





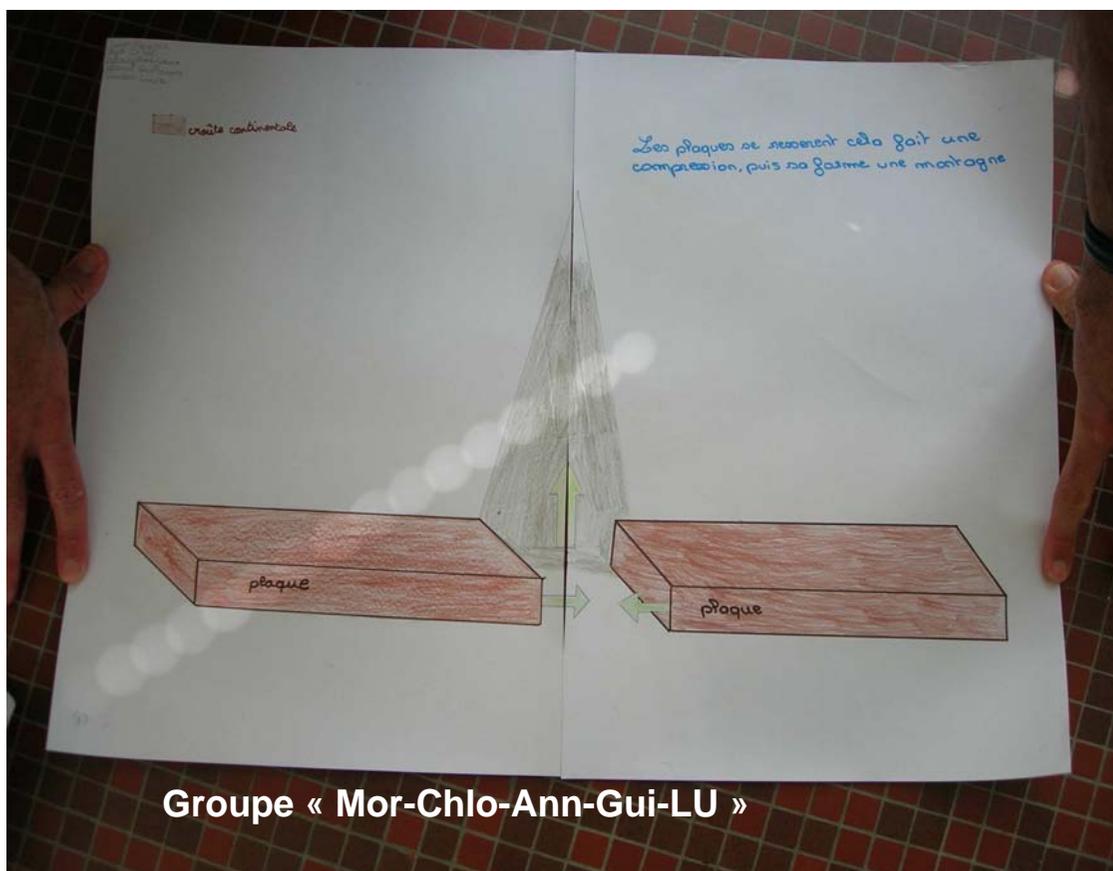
Orange Ravachol
15-11-10



L'Himalaya s'est créé à cause de la rencontre de deux plaques, la plaque eurasiennne et la plaque australo-indienne. L'une n'allant pas par dessous de l'autre, les roches se sont accumulées et se sont percutées et ont créé l'Himalaya. Les deux lithosphères se sont rencontrées et l'asthénosphère est remontée à l'endroit où ça s'est percuté à la surface du globe.

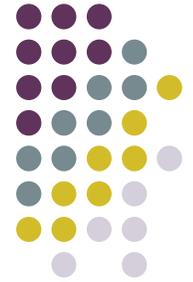


Orange Ravachol
15-11-10

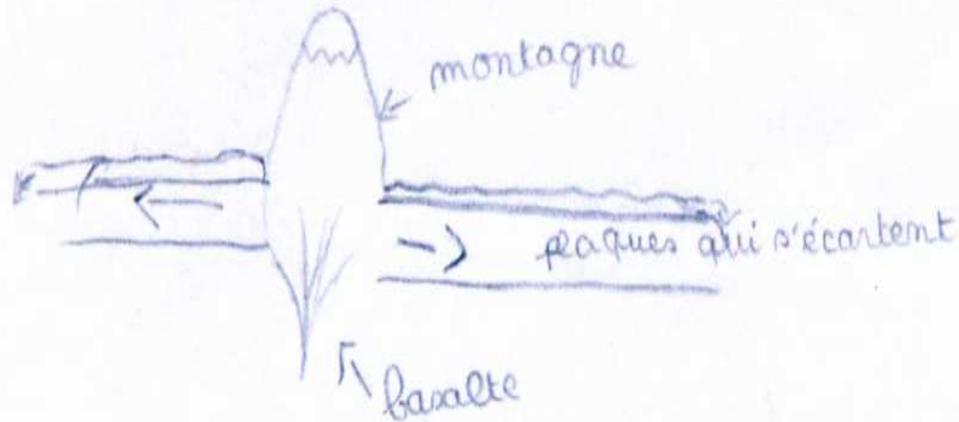


Groupe « Mor-Chlo-Ann-Gui-LU »

Les plaques se resserrent, cela fait une compression puis ça forme une chaîne de montagnes.

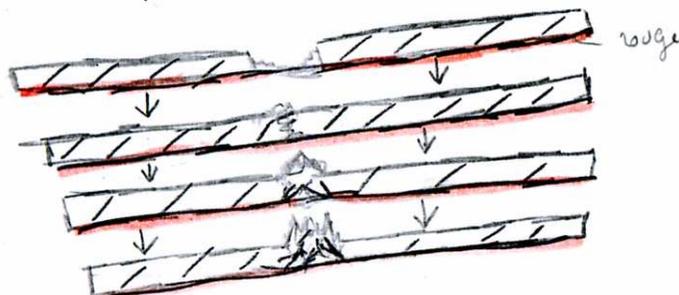


Les plaques s'écartent ~~et est~~ ^{et} le Basalte ressort ~~q~~, quand ~~il~~ ~~des~~
l'autre côté ~~ou~~ et il forme la lithosphère mais que du côté où il
le Basalte disparaît, ~~il~~ il disparaît plus lentement ~~que en~~ qu'il
n'apparaît, donc en attendant des montagnes se forment ~~avec le basalte~~.





L'Himalaya s'est créé à suite de la rencontre de deux plaques (Plaque Eurasienne et la Plaque Australo-Indienne) l'une n'allant pas en dessous de l'autre des roches se sont accumulées, et ont créé l'Himalaya. Les deux lithosphères se sont rencontrés et l'asthénosphère ^{et se son cogné} et remonté à l'endroit où se s'est percuté à la surface engb

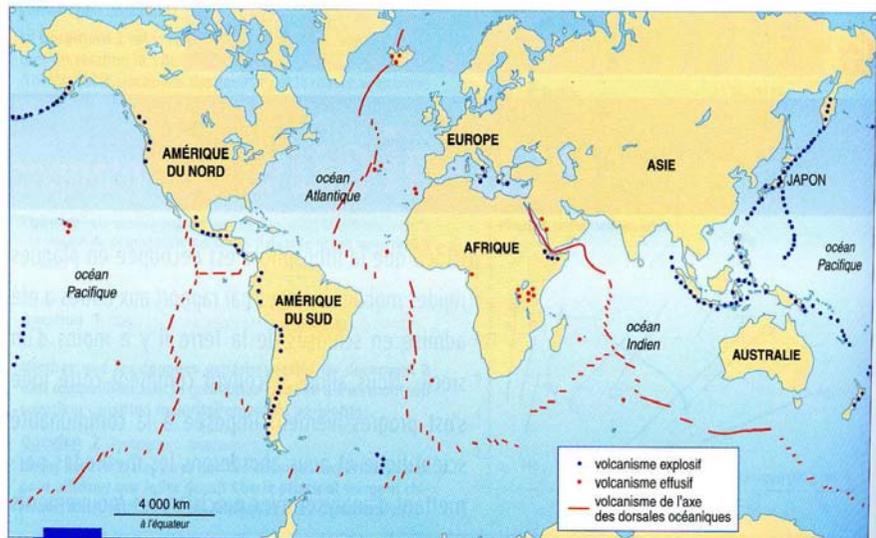
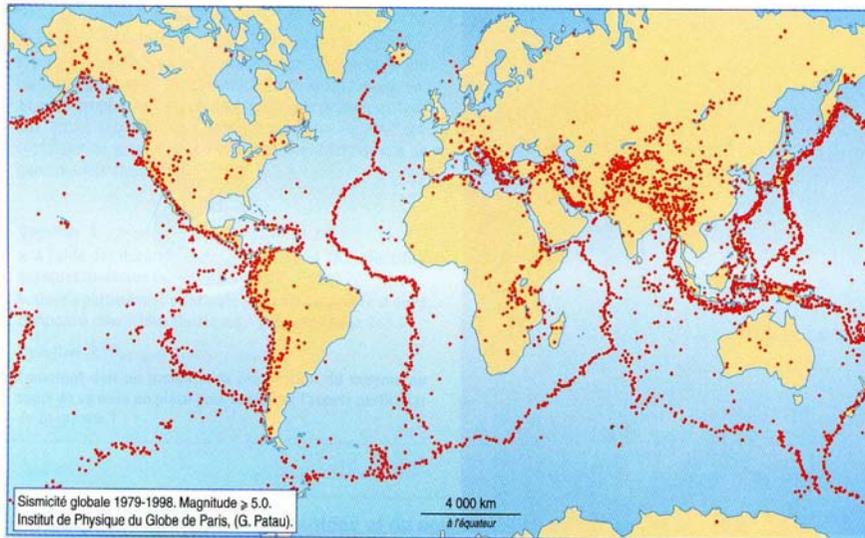


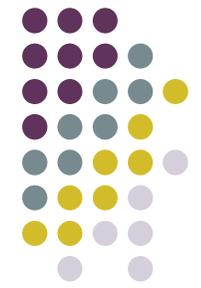
▨ lithosphère.
— asthénosphère.

4. La répartition actuelle des volcans et des séismes



Orange Ravachol
15-11-10



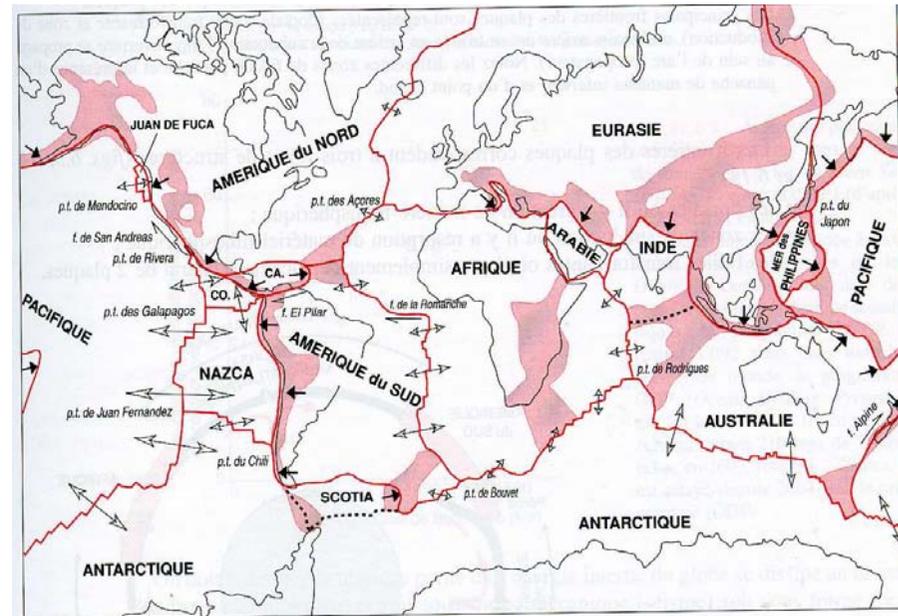
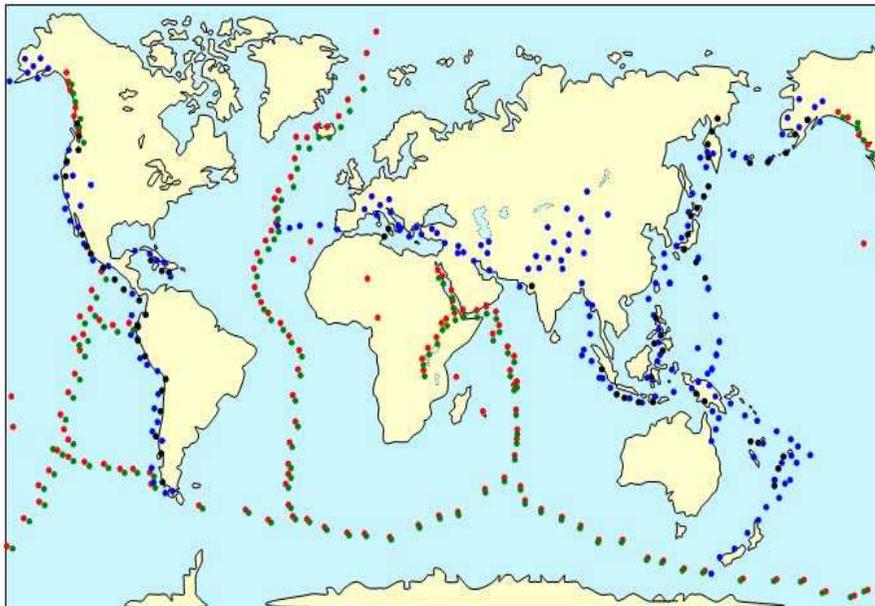


Orange Ravachol
15-11-10

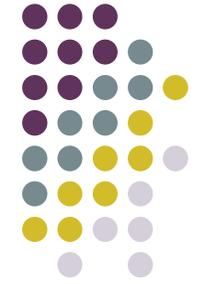
Planisphère (plus d'une fois la surface de la Terre)

Répartition des séismes et des volcans
Séismes de rapprochement en bleu
Volcanisme basaltique en rouge

Séismes d'écartement en vert
Volcanisme andésitique en gris



4 productions écrites de groupes



Orange Ravachol
15-11-10

Répartition des volcans et des séismes

- Les plaques sont situées en dessous de l'écorce terrestre. Les plaques sont en mouvement constant:
 - lorsqu'elles se chevauchent, elles forment montagnes et volcans.
 - lorsqu'elles s'écartent, elles forment des gouffres.
- A partir du moment où elles sont en mouvement il y a séisme.

26.11.2006

EXPLICATION DE LA REPARTITION DES VOLCANS ET DES SÉISMES

23.08.2006

Répartition de volcans et séismes au niveau des plaques tectoniques

23.08.2006

LA REPARTITION DES VOLCANS ET DES SÉISMES

La répartition des séismes et des volcans s'effectue le long des axes suivant les bordures de plaques tectoniques perpétuellement en mouvement.

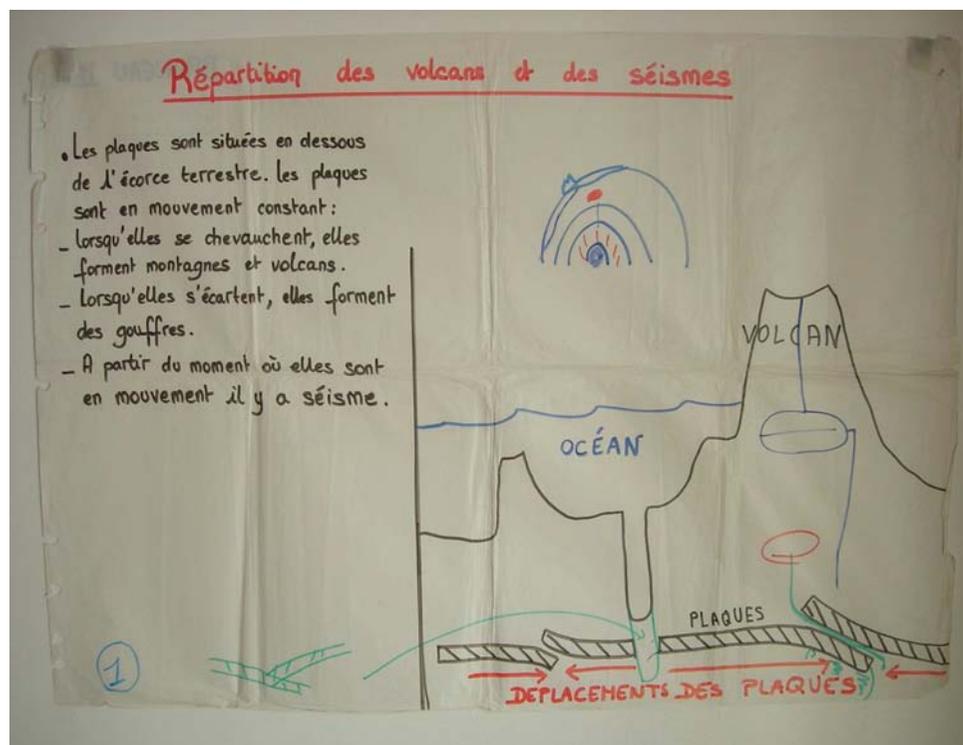
Légende:

- ▭ : Plaque tectonique
- : mouvement
-) : ancienne bordure de plaque

26.11.2006



L'affiche et la présentation du groupe 1



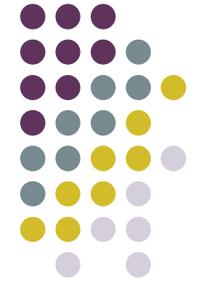
« on pensait que selon les mouvements des **plaques**, euh, euh... enfin, ça... Enfin, ça décidait le relief, le relief de l'écorce terrestre en fait. Quand les **plaques**, effectivement, **elles** se chevauchent, ben... y a des montagnes ou des volcans et, comme quand **elles** se chevauchent, **elles** s'écartent autre part y a... Ca fait des cratères. Ben... Enfin, en fait, on savait qu'y avait des cratères dans les océans, donc on pensait que c'est quand les **plaques** s'écartaient, en fait. »



Le problème du « trou » (fin provisoire)

- 508 – Florian : *Si on dit que ça s'écarte, les plaques, vu qu'en dessous, y a que du magma, ça pourra se reformer. Parce que le magma, c'est de la roche en fusion donc en fait le mouvement des plaques, y aurait jamais d'écart entre... entre les plaques.*
- 512 – Florian : *Ben en fait, si on dit que là y a tout plein de magma... les mouvements des plaques par vers là. (inaudible) ça sera plus chaud vers ici, la roche en fusion ça va fondre et ici, au contraire, ça va se refroidir donc ça va reformer en fait de la roche ici. Et donc le mouvement sera continuel.*
- 518 – Florian : *Ben, ça veut dire qu'au fil des années, ben, depuis que la Terre existe, ben, ce mouvement là, ça forme... ça forme de la roche. C'est pour ça qu'il peut pas y avoir d'écart, quoi.*

Éléments de conclusion



Orange Ravachol
15-11-10

- 1) Dans plusieurs problèmes mobilisant la TDP, nous notons la tendance des élèves à expliquer par des mises en histoires simples. Ces mises en histoires sont des obstacles à l'appropriation de savoirs géologiques:
 - Elles « chosifient » des objets géologiques;
 - Elles enchaînent linéairement les processus d'où des fonctionnements saccadés

→ La tectonique des plaques « parle » aux élèves mais elle les conforte dans leur habitude intellectuelle de mise en histoire
- 2) Des moyens de permettre aux élèves de dépasser la mise en histoire
 - La prise en compte conjointe de plusieurs problèmes géologiques
 - La valorisation de la mobilisation du principe de l'actualisme
- 3) Des propositions d'aménagement des programmes
 - Ne pas trop séparer dans le temps certains problèmes géologiques
 - Ne pas cantonner la mobilisation de l'actualisme à sa seule forme peu élaborée

Enseigner l'histoire de la tectonique des plaques

«**Réflexion pour un enseignement historique du
modèle de la tectonique des plaques dans la
formation des enseignants**»

Pierre SAVATON

CERSE (EA965), université de Caen

Centre François Viète (EA1161), université de Nantes

Histoire des sciences et enseignement secondaire

- 2011, Programmes SVT classe première scientifique

La tectonique des plaques : l'histoire d'un modèle

- Les grandes lignes de la tectonique des plaques ont été présentées au collège. Il s'agit, en s'appuyant sur une démarche historique, de comprendre comment ce modèle a peu à peu été construit au cours de l'histoire des sciences et de le compléter. On se limite à quelques étapes significatives de l'histoire de ce modèle.
- L'exemple de la tectonique des plaques donne l'occasion de comprendre la notion de modèle scientifique et son mode d'élaboration. Il s'agit d'une construction intellectuelle hypothétique et modifiable. Au cours du temps, la communauté scientifique l'affine et le précise en le confrontant en permanence au réel. 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.

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1847, Jean-Baptiste Dumas, *Rapport sur l'organisation des études scientifiques de l'enseignement secondaire* [avançait l'idée d'appuyer l'enseignement des sciences sur une exposition de l'histoire de l'avancée de leurs découvertes]
- 1852 : Réforme de la « bifurcation »
- 1854 : IO [importance des lectures des textes originaux pour développer l'esprit d'invention]

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1891, Programmes Enseignement secondaire moderne
« À la démonstration des vérités scientifiques, le professeur rattachera à l'occasion l'exposé des méthodes et l'histoire des découvertes »
- « Pour cette raison d'éducation générale de l'esprit, le professeur ne négligera pas non plus *l'histoire de la science*. L'élève a parfois moins à retirer de l'enseignement d'une vérité que de l'historique de sa découverte. »

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1902, Réforme de l'enseignement secondaire

[Les sciences doivent participer à la formation de l'esprit et contribuer à la constitution d'*humanités scientifiques*]

Louis Liard : [ce nouvel enseignement des sciences n'exclut pas l'introduction après les exercices d'observation et de comparaison, de quelques présentations historiques des travaux des grands savants]

Louis Mangin : [Il faut introduire dans la leçon l'histoire du développement de la science pour son illustration de la méthode expérimentale, mais aussi pour sa valeur morale]

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1925, Programmes des classes de Philosophie A et B et de Mathématiques A et B : « la méthode historique qui en raison de ses lenteurs n'est généralement pas à recommander, présentera parfois, par ses approximations successives vers la vérité scientifique, des éléments intéressants pour la solution de quelques questions ».

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1952, Charles Brunold
 - « S'il nous est interdit d'approfondir, par voie historique, tout un programme d'études, de nous référer constamment aux précurseurs originaux, si nous devons renoncer à parcourir les chemins sinueux qui ont conduit aux grands sommets de notre connaissance, il n'est pas impossible d'adopter dans l'étude d'une question ou d'un ensemble de questions, une méthode qui sans s'identifier à l'histoire rigoureuse se réclame de son esprit, respecte les grandes étapes qu'elle a parcourues et révèle ainsi le contenu des concepts et des théories, les préoccupations qui ont guidé la recherche, les moyens qu'elle a mis en oeuvre pour assimiler tel ou tel aspect du réel, pour l'organiser d'une manière rationnelle, le maîtriser et l'asservir. Cette méthode d'enseignement est celle d'une redécouverte, qui s'efforce autant qu'elle le peut d'être fidèle à l'histoire, de recréer le climat de l'histoire. »

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1956, Albert Obré résume les 3 méthodes pour enseigner les sciences naturelles :
- La **méthode dogmatique** caractérisée par le cours magistral où le professeur transmet ses connaissances à son auditoire. Il y a donc **transmission de connaissances de l'adulte à l'élève.**
- La **méthode historique**, où le maître s'efforce d'éveiller, « d'accrocher » l'esprit des élèves en exposant les diverses étapes d'une découverte.
- La **méthode d'enquête**, méthode active, utilisant la perception directe et l'induction continue, et dans laquelle vous procédez, soit par **découverte**, soit par **redécouverte** du document.

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1962 Cinquantenaire de l'Union des Naturalistes

Série de conférences sur « l'histoire de la science biologique et géologique française au cours des 50 dernières années ».

- La géologie française depuis 50 ans, par Geneviève Termier
- La paléobotanique française depuis 50 ans, par Ed. Boureau,
- La paléontologie animale en France depuis 1910, par J.-P. Lehman
- Les généticiens français, par M. Gans
- 50 années de recherche en zoologie et en biologie animale, par Andrée Tétry
- L'Institut Pasteur et l'essor de la microbiologie, par Albert Delaunay
- Soixante ans de physiologie animale, par Henri Hermann
- Cinquante années de cytologie française, par R. Hovasse
- La botanique et la physiologie végétale en France de 1910 à 1960, par H. J. Masquelle.

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 1960-2000
- Nombreuses réformes et changements de programmes en collèges et lycées mais aucune évolution notable de la place de l'histoire des sciences dans l'enseignement secondaire des SVT
- Initiatives individuelles portées par des préoccupations pédagogiques ou didactiques, par un militantisme d'historiens des sciences
- Influence s des travaux des IREM

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 2001, Programmes SVT classe de seconde

(BO Hors série n°2, 30 août 2001)

« la science n'est pas faite de certitudes, elle est faite de questionnements et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps. Dans bien des cas, rien ne peut remplacer l'exposé historique. Celui-ci a un côté culturel irremplaçable, qui situe la découverte scientifique dans son contexte temporel mais aussi montre comment les découvertes scientifiques ont influencé le cours de l'histoire. L'exposé historique permet de mesurer les difficultés que l'humanité a rencontrées pour résoudre des problèmes qui peuvent aujourd'hui sembler élémentaires. »

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 2005, Programmes des collèges : la démarche d'investigation

(BO spécial n°6, 28 août 2008)

« La perspective historique donne une vision cohérente des sciences et des techniques et de leur développement conjoint. Elle permet de présenter les connaissances scientifiques comme une construction humaine progressive et non comme un ensemble de vérités révélées. Elle éclaire par des exemples le caractère réciproque des interactions entre sciences et techniques »

Histoire des sciences et enseignement secondaire : 150 ans d'invitation à...

- 2010, Programmes de la classe de seconde
(BO spécial n°4, 29 avril 2010)

« L'histoire de l'élaboration d'une connaissance scientifique, celle de sa modification au cours du temps, sont des moyens utiles pour comprendre la nature de la connaissance scientifique et son mode de construction avec ses avancées et éventuelles régressions. Il conviendra de veiller à ce que cette approche ne conduise pas à la simple évocation d'une succession événementielle et à ne pas caricaturer cette histoire au point de donner une fausse idée de la démonstration scientifique ; si certains arguments ont une importance historique majeure, il est rare qu'un seul d'entre eux suffise à entraîner une évolution décisive des connaissances scientifiques ; de même il serait vain de prétendre faire « réinventer » par les élèves en une ou deux séances, ce qui a nécessité le travail de plusieurs générations de chercheurs. »

Histoire des sciences et enseignement secondaire

- 2011, Programmes SVT classe première scientifique

La tectonique des plaques : l'histoire d'un modèle

- Les grandes lignes de la tectonique des plaques ont été présentées au collège. Il s'agit, en s'appuyant sur une démarche historique, de comprendre comment ce modèle a peu à peu été construit au cours de l'histoire des sciences et de le compléter. On se limite à quelques étapes significatives de l'histoire de ce modèle.
- L'exemple de la tectonique des plaques donne l'occasion de comprendre la notion de modèle scientifique et son mode d'élaboration. Il s'agit d'une construction intellectuelle hypothétique et modifiable. Au cours du temps, la communauté scientifique l'affine et le précise en le confrontant en permanence au réel. 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.

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

- 1975, Jean Rosmorduc (dir.), *Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français*

[Indépendamment de son apport à la culture générale, l'histoire des sciences est, en premier lieu, un élément favorable pour une bonne pédagogie de leur enseignement. Ensuite, du point de vue non plus pédagogique, mais scientifique, elle est utile à la formation du chercheur et à ses activités courantes. Enfin, d'un point de vue idéologique, « elle permet au travailleur scientifique de se situer dans le mouvement historique et de dépasser les spécialisations étroites et extrêmes » auxquelles il risque de se trouver cantonné.]

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

- 1980 Création de la Société française d'histoire des sciences et des techniques (SFHST)

« Jamais, sans doute, l'histoire des sciences et des techniques n'a suscité autant d'intérêt en France »

« L'histoire des sciences et des techniques, par la réflexion qu'elle permet sur les réalités de notre monde, doit être un élément essentiel de cette culture de demain »

Jacques Roger

Première rencontre nationale, Nantes, les 9 et 10 octobre 1980, sur le thème de l'enseignement des sciences aux scientifiques : occasion de faire le point sur l'enseignement de l'HS comme option dans les DEUG scientifiques.

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

- Des constats, des encouragements, des demandes pour développer l'enseignement et la recherche en HST dans les universités...
- 1984, Rapport de l'Académie des sciences
- 1985, Rapport du Collège de France
- 1989, Rapport Bourdieu-Cros
- 1990, Rapport Bancel
- 2000, Rapport Lecourt

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

- 2003, *Enquête sur l'enseignement en HST dans les universités* (M. Spranzi-Zuber, A. Dahan, H. Gispert) :
 - peu d'heures, dispersion dans les filières, hétérogénéité des objectifs, des contenus, des intervenants
 - surtout en médecine et en école d'ingénieurs
 - des enseignants-chercheurs isolés, très peu de laboratoires de recherches
- 2005, *Enquête sur l'enseignement en HST dans les IUFM* (groupe ReForEHST) :
 - FI : situations très variées ; pas d'HST en PLC₁, présence variable en PLC₂ (rare en PLC₂ SVT) ; association fréquente avec la didactique des sciences
 - FC : stages proposés dans de nombreuses académies (mais en chute) ; surtout histoire mathématiques

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

- 2010, *Master « métiers de l'enseignement SVT »* (APSVT, juin 2010 : 29 masters)
- 2 stratégies : intégration aux UE disciplinaires ou à des UE didactiques ou UE d'EHS indépendantes
- volume variable : 10h à 60h, mais une majorité non précisée

Histoire des sciences et formation universitaire des enseignants de SVT

HST

Pas de demande de l'enseignement secondaire, pas
de formation initiale des enseignants

Pas de formation initiale des enseignants, pas
d'enseignement secondaire

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Enseigner le modèle de la tectonique des plaques en classe de première scientifique (2011) :
BO sp9, 30 septembre 2010
- La naissance de l'idée
- L'hypothèse d'une expansion océanique et sa confrontation à des constats nouveaux
- Le concept de lithosphère et d'asthénosphère
- Un premier modèle global : une lithosphère découpée en plaques rigides

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- « La naissance de l'idée »

« Au début du XXème 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.»

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Les idées mobilistes ne naissent pas au début du XX^e siècle. L'histoire de la mobilité des continents ne peut être présentée en faisant l'impasse sur le XIX^e siècle.

Mott T. Greene (1982), G. Gohau (2010)

Léonce Elie de Beaumont

Eduard Suess

Thomas C. Chamberlin

Alfred Wegener

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- WEGENER, Alfred, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, Braunschweig : Friedrich Viewig, 1915
- WEGENER, Alfred, *La Genèse des Continents et des Océans*, Paris : A. Blanchard, 1924, (trad. REICHEL, M. F.), 161 p.
- WEGENER, Alfred, *La Genèse des continents et des océans. Théorie des translations continentales*, Paris : Nizet et Bastard, 1937, (trad. LERNER, Armand), VIII + 236 p.

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Etudier la théorie de Wegener pour comprendre comment elle est construite (choix et organisation des observations/arguments) et comment elle oppose et bouleverse les cadres théoriques des communautés scientifiques européennes et anglo-saxonnes.
- Nécessite une ouverture sur les théories de la permanence des océans et continents et sur les théories de l'isostasie.
- Le texte et le contexte

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- « La naissance de l'idée »

« 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. »

BO sp9, 30 septembre 2010

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Constat d'une Terre solide ?

« The crustal substrate appeared to be something in between ».

Naomi ORESKES, 1999, *The Rejection of Continental Drift*

1906, Richard Dixon Oldham : existence d'un noyau
« sismique »

1909, Andrija Mohorovičić

1914, Beno Gutenberg

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- L'étude de la réception (du rejet) de la théorie de Wegener :
- doit viser à identifier et caractériser les positions et argumentaires favorables ou défavorables et pas seulement se limiter à relever l'incapacité de cette théorie à proposer un « moteur » crédible aux déplacements des continents
- doit permettre de relever l'existence synchrone de modèles de « convections mantelliques » (John Joly, Arthur Holmes, Beno Gutenberg)

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- « 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 accrétion 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. »

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- **Géomagnétisme et paléomagnétisme**
- **1853, Macedonio Melloni** : aimantation propre des laves basaltiques
- **1901, Bernard Brunhes** : première détermination du champ ancien (déclinaison et inclinaison) par la mesure du vecteur aimantation rémanente des roches
- **1926, Paul Louis Mercanton** : hypothèse inversion champ magnétique terrestre
- **1952, Patrick Blackett** : magnétomètre astatique
- **1953, Jan Hospers** : détermination pôle paléomagnétique

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Géomagnétisme et paléomagnétisme
- Début années 1950 : travaux de Blackett, Runcorn, Irving, Creer relancent l'hypothèse d'une translation des continents... ou d'une dérive des pôles
- Runcorn, 1962, *Continental Drift*
- « This is not the time for a reappraisal of Wegener's work but it is hoped that this volume will stimulate a serious interest in a subject formerly considered by many earth scientists as already closed. »

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- 1961, Arthur Raff, Ronald Masson : anomalies magnétiques disposées en bandes au large des côtes de l'état de Washington
- 1962, Drummond H. Matthews : anomalies en bandes parallèles de part et d'autre dorsale indienne
- 1963, Vine et Matthews interprètent cette symétrie des anomalies magnétiques comme résultant d'une expansion des fonds océaniques par mise en place de la lave dans l'axe de la dorsale
- 1965, Tuzo Wilson, Fred Vine : modèle d'expansion océanique pour le nord-est du Pacifique

Enseigner l'histoire du modèle de la tectonique des plaques

- Réflexion pour un enseignement historique du modèle de la tectonique des plaques
- Echanges

Bibliographie