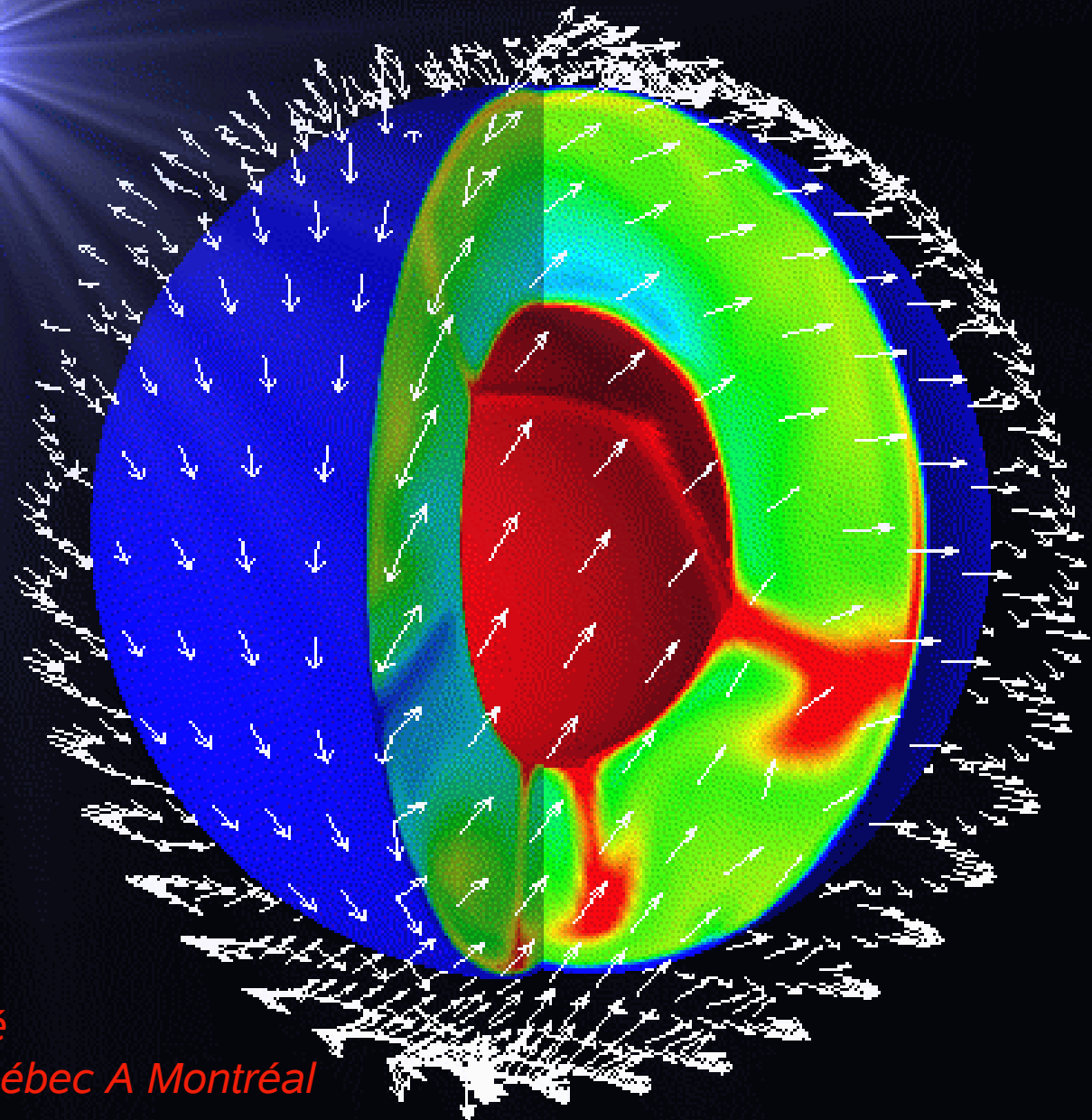


Référentiel Indo-Atlantique : une nouvelle vision de la tectonique des plaques et de la dynamique terrestre



Sandrine Quéré
Université du Québec A Montréal

Plan

1. Introduction

- Equations du mouvement des plaques
- Mouvement des plaques relatifs & absolus (référentiels No Net Rotation & points chauds)
- Quelques mots sur la précédente reconstruction par Gordon & Jurdy (1986)

2. Référentiels des points chauds Indo-Atlantique & 'Pacifique'

- Différents mouvement des plaques au temps présent
- Déviation de la lithosphère vers le Nord plutôt que vers l'Ouest

3. Nouvelle reconstruction des plaques (David Rowley)

- Nouvelle histoire du mouvement des plaques
- Avalanche de slabs à 35 Ma (et probablement à 50 Ma)

4. Reconstructions du mouvement des plaques & modèles de convection

- Modèles de convection avec des plaques dynamiquement couplées
- Référentiels No Net Rotation & points chauds
- Référentiels des points chauds Indo-Atlantique versus 'Pacifique'

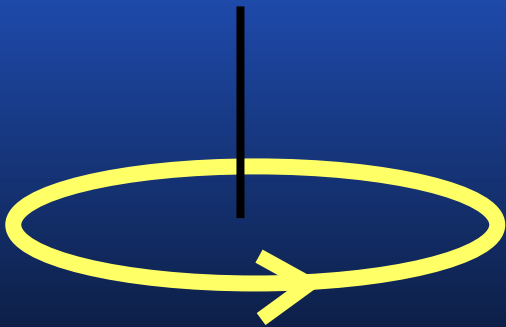
Equations du mouvement des plaques

Conservation de la masse:

$$\operatorname{div} v = 0$$

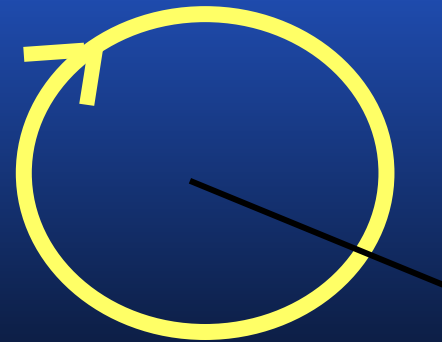
$$\longrightarrow v = \nabla(r) + \nabla(\nabla(\phi r))$$

potentiel toroïdal,

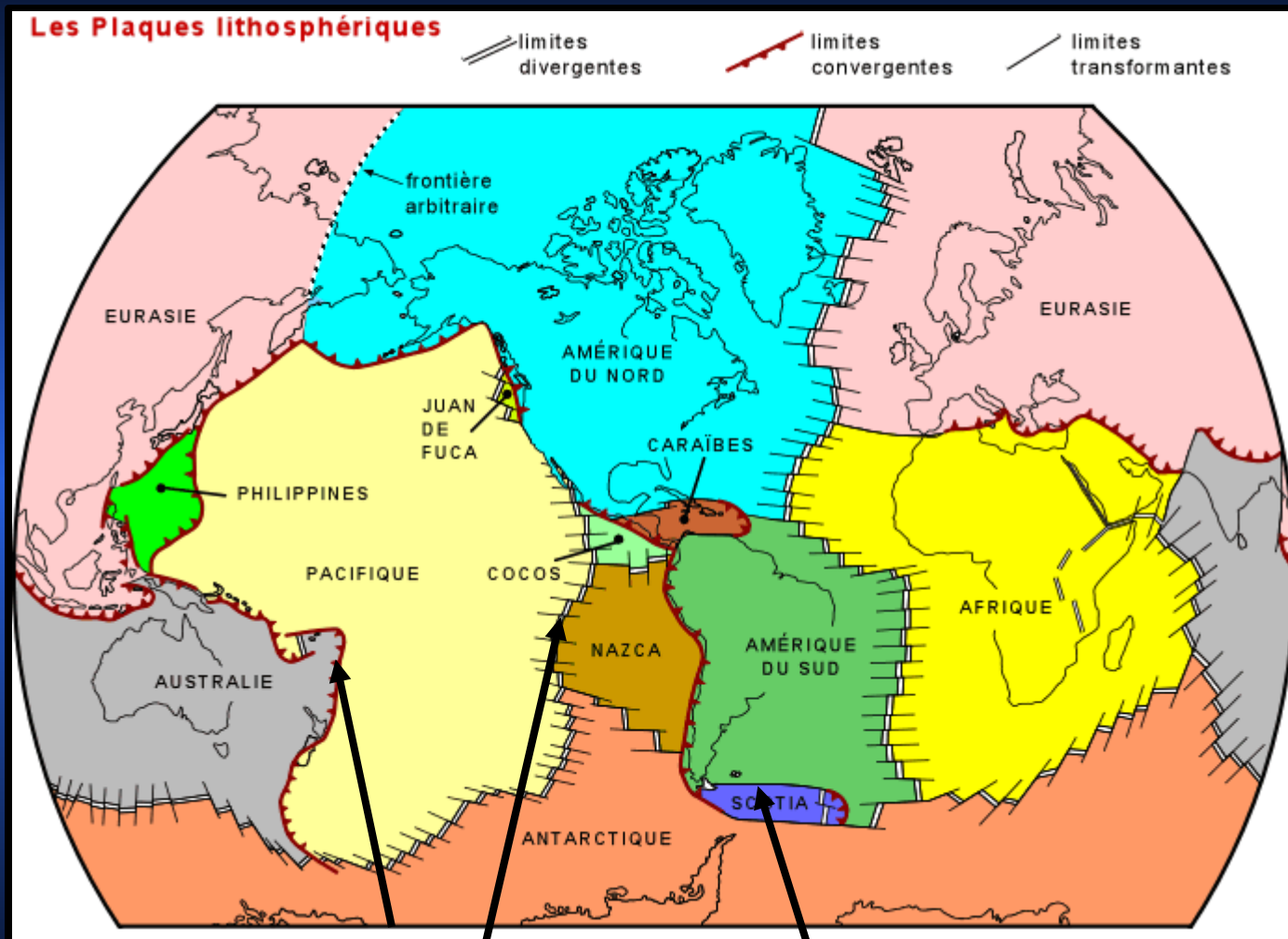


ϕ

potentiel poloïdal



Tectonique des plaques



Poloïdal

Toroidal

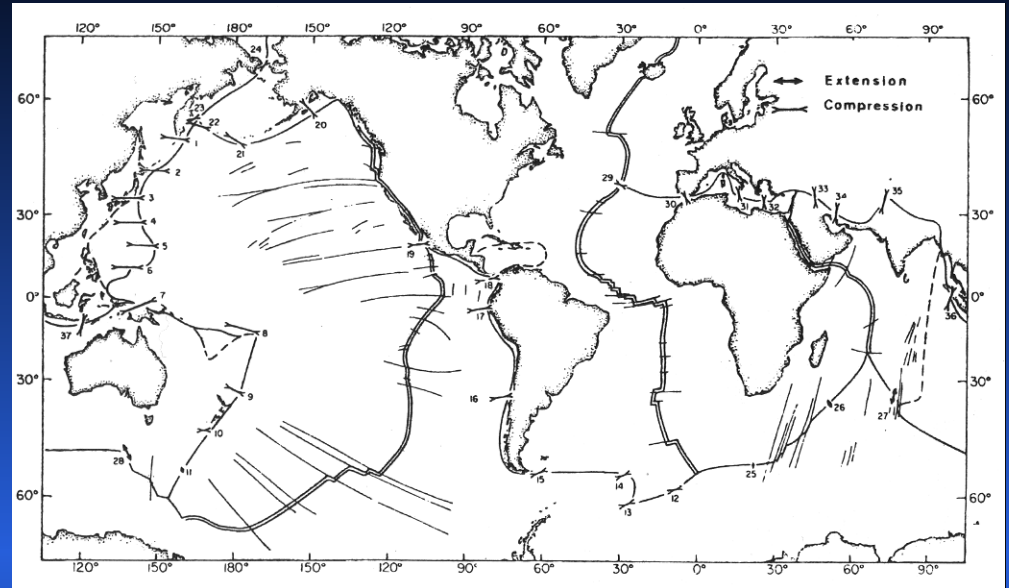
Mouvements des plaques relatifs & absolus

Premier modèle cinématique de mouvements relatifs des plaques (Le Pichon, 1968)

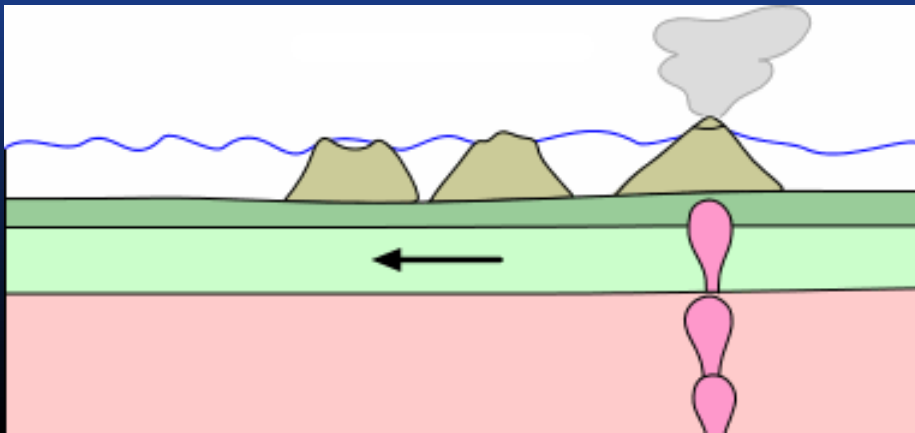


A partir d'un modèle de mouvements relatifs entre plaques, comment obtenir un référentiel absolu?

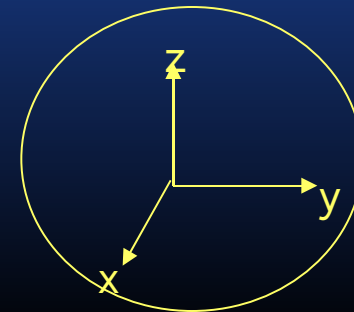
Besoin d'une ancre dans le manteau profond:



2. Référentiel des points chauds →
Fixité des points chauds profonds
(hypothèses de Wilson-Morgan, 1963-1971)

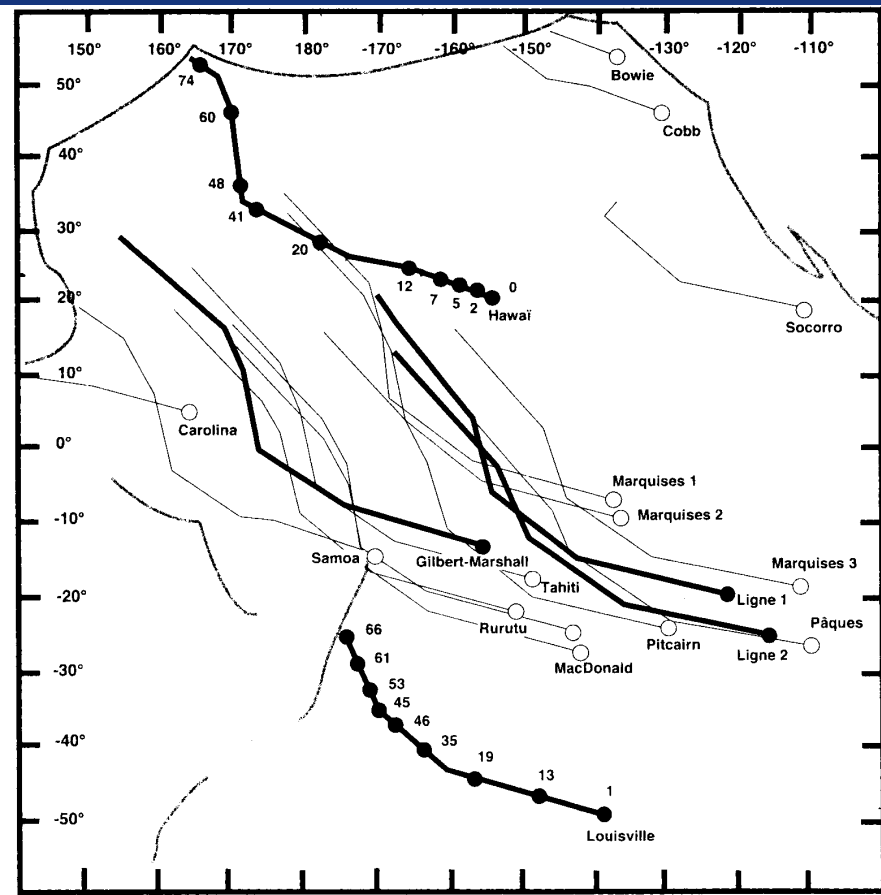


2. Référentiel No-Net-Rotation (NNR) →
référentiel terrestre mathématique
(Minster et al., 1974)



Reconstruction du mouvement des plaques Gordon & Jurdy (1986)

Référentiel global des points chauds basé principalement sur les points chauds du Pacifique



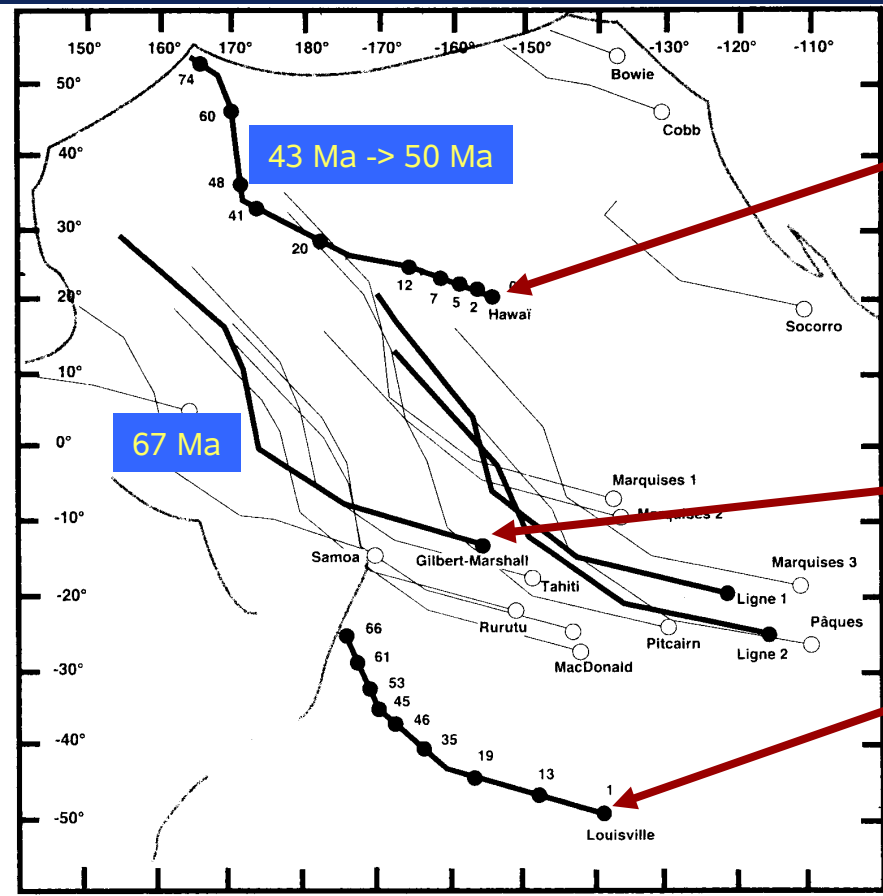
(Fleitout & Moriceaux, 1992)

Cette reconstruction était basée sur deux postulats:

2. Les coudes des chaînes de volcans viennent du changement de direction de la plaque Pacifique (43 Ma).
(la plaque Pacifique allait vers le Nord avant 43 Ma et vers l'Ouest après 43 Ma)
2. Introduction d'une nouvelle plaque:
La plaque Chatham Rise

Reconstruction du mouvement des plaques Gordon & Jurdy (1986)

Est-ce que Hawaï est toujours l'archétype du point chaud?



Le coude Empereur-Hawaïen est maintenant estimé autour de 47-50 Ma

Les latitudes paléomagnétiques d'Hawaï indiquent un déplacement vers le Sud à 5 cm/yr avant 50 Ma et une fixité après (Tarduno et al., 2003)

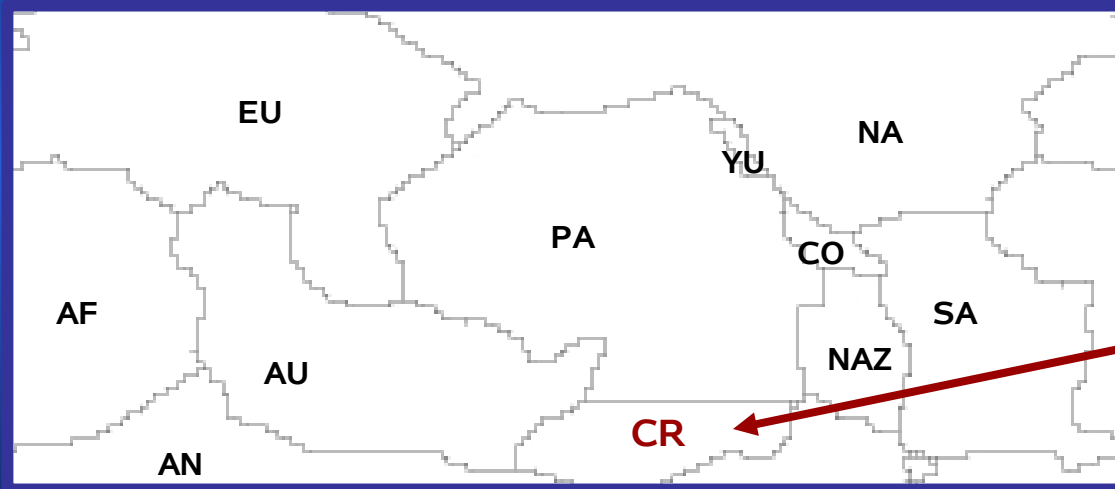
Les autres coudes présentant le même angle sont asynchrones; Gilbert-Marshall: 67 Ma, Tokelau: 57 Ma. (Koppers & Staudigel, 2005)

Louisville présente un angle différent et une direction Sud-Est avant 47 Ma (Steinberger, 2007)

Hawaï n'est pas fixe et les points chauds du Pacifique ne permettent pas d'établir une reconstruction cohérente du mouvement des plaques

Reconstruction du mouvement des plaques Gordon & Jurdy (1986)

Introduction de la plaque Chatham Rise durant le Cénozoïque



Géométrie des plaques entre 10 et 25 Ma

Cette plaque fut introduite pour reproduire les chaînes volcaniques des points chauds Indo-Atlantiques et Pacifiques

Reconstruction du mouvement des plaques Gordon & Jurdy (1986)

La précédente reconstruction du mouvement des plaques était basée sur deux principaux postulats :

- Un référentiel construit à partir du point chaud Hawaï (non fixe) (et donc, l'hypothèse du changement de direction de la plaque Pacifique à 43 Ma)
- Introduction de la plaque Chatham Rise

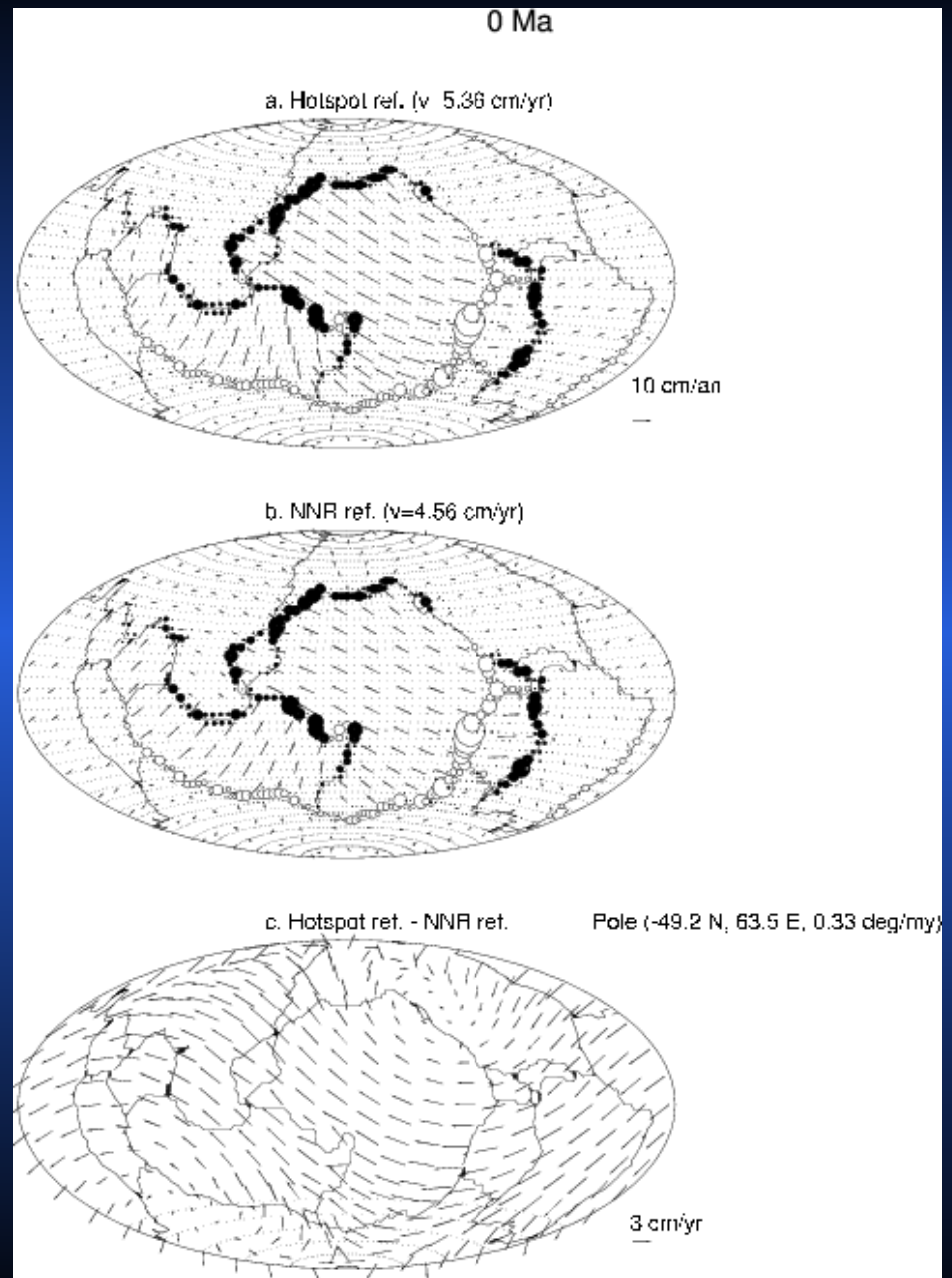
Ces deux hypothèses sont maintenant remises en question

Référentiel du 'Pacifique' (au temps présent)

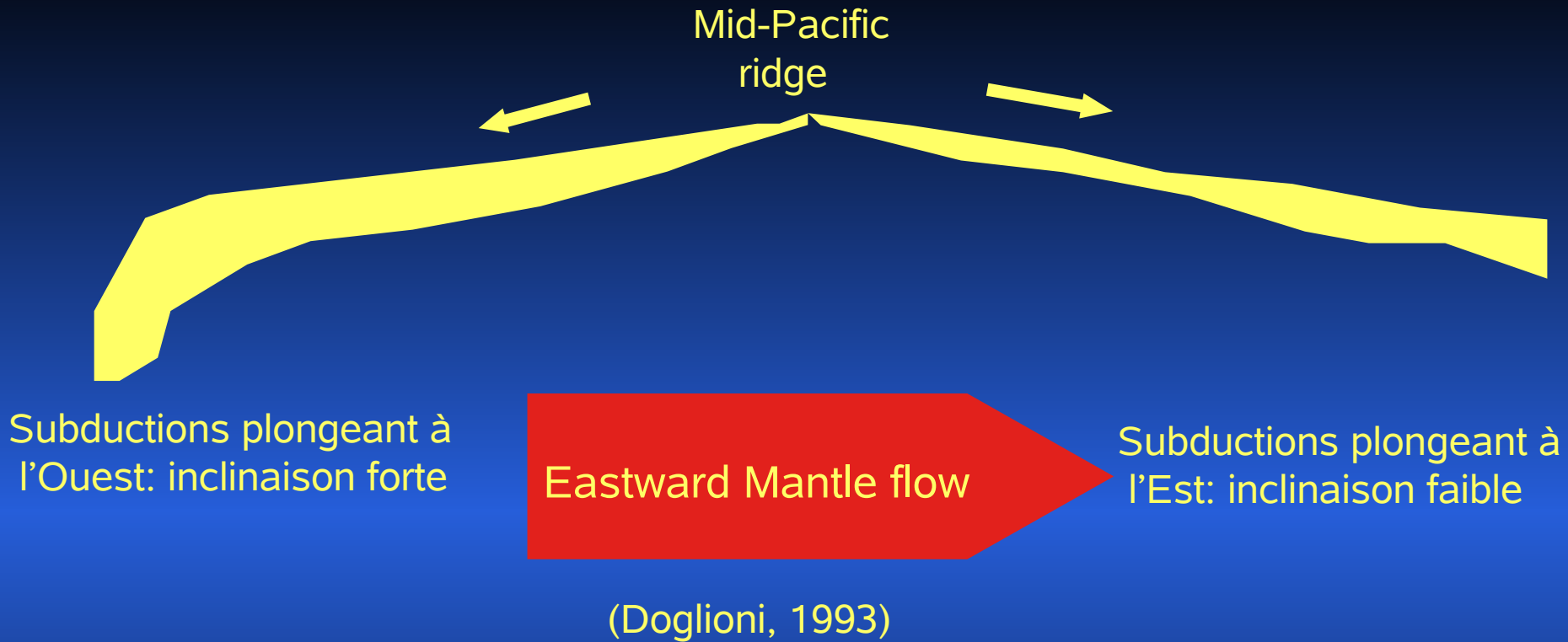
HS2-NUVEL1 (HotSpot)
Gripp & Gordon (1990)

NNR-NUVEL1 (No-Net-Rotation)
Argus & Gordon (1991)

Hotspot réf. – NNR réf.
(déviation vers l'Ouest
Corrélation avec la plaque Pacifique?)



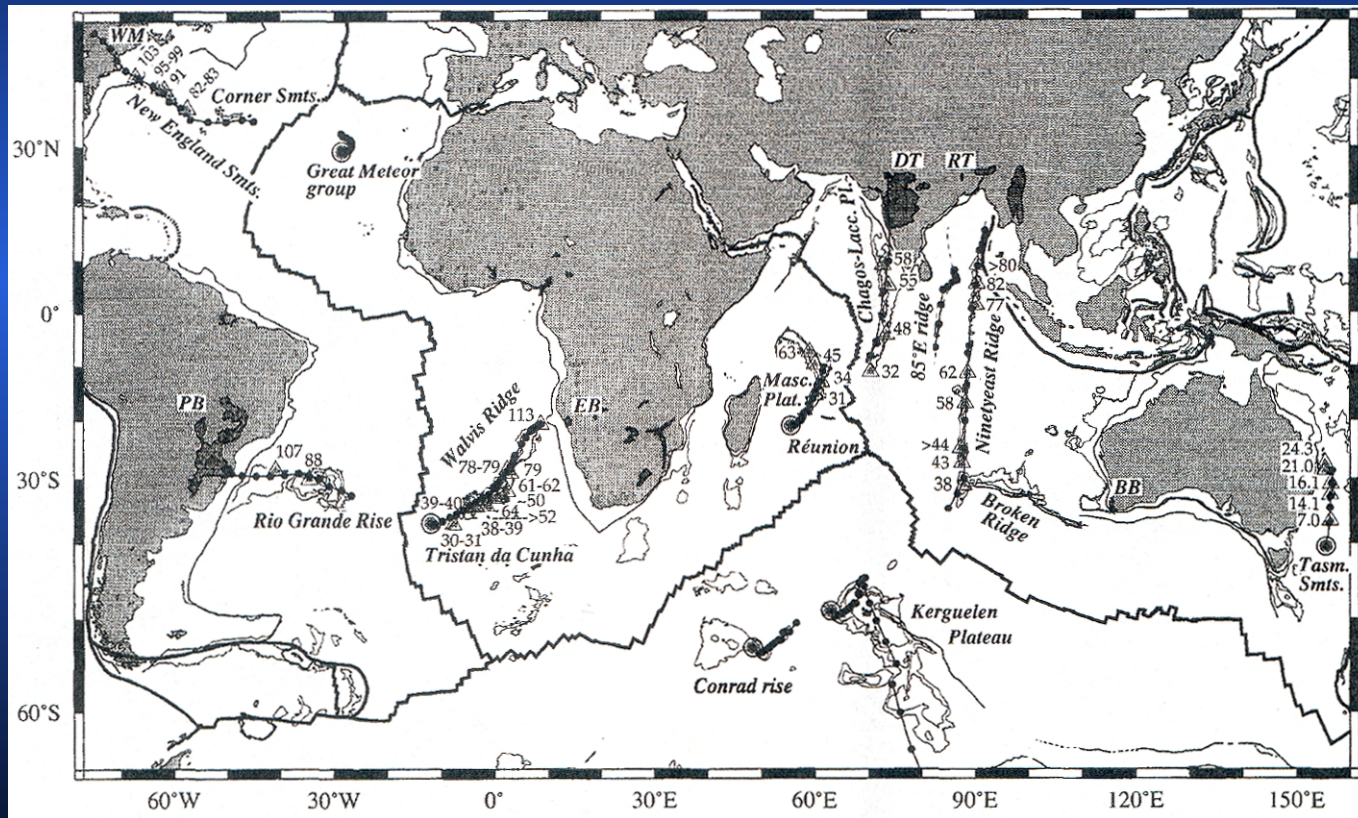
Déviations vers l'Ouest de la lithosphère?



Mais, les pentes des subductions peuvent être expliquées par de plus simples modèles de subduction ablative (Tao & O'Connell, 1992)

Référentiel des points chauds Indo-Atlantiques

- Les points chauds Indo-Atlantiques représentent un référentiel alternatif :
- indépendant des points chauds du Pacifique
 - fixes durant 80 Ma

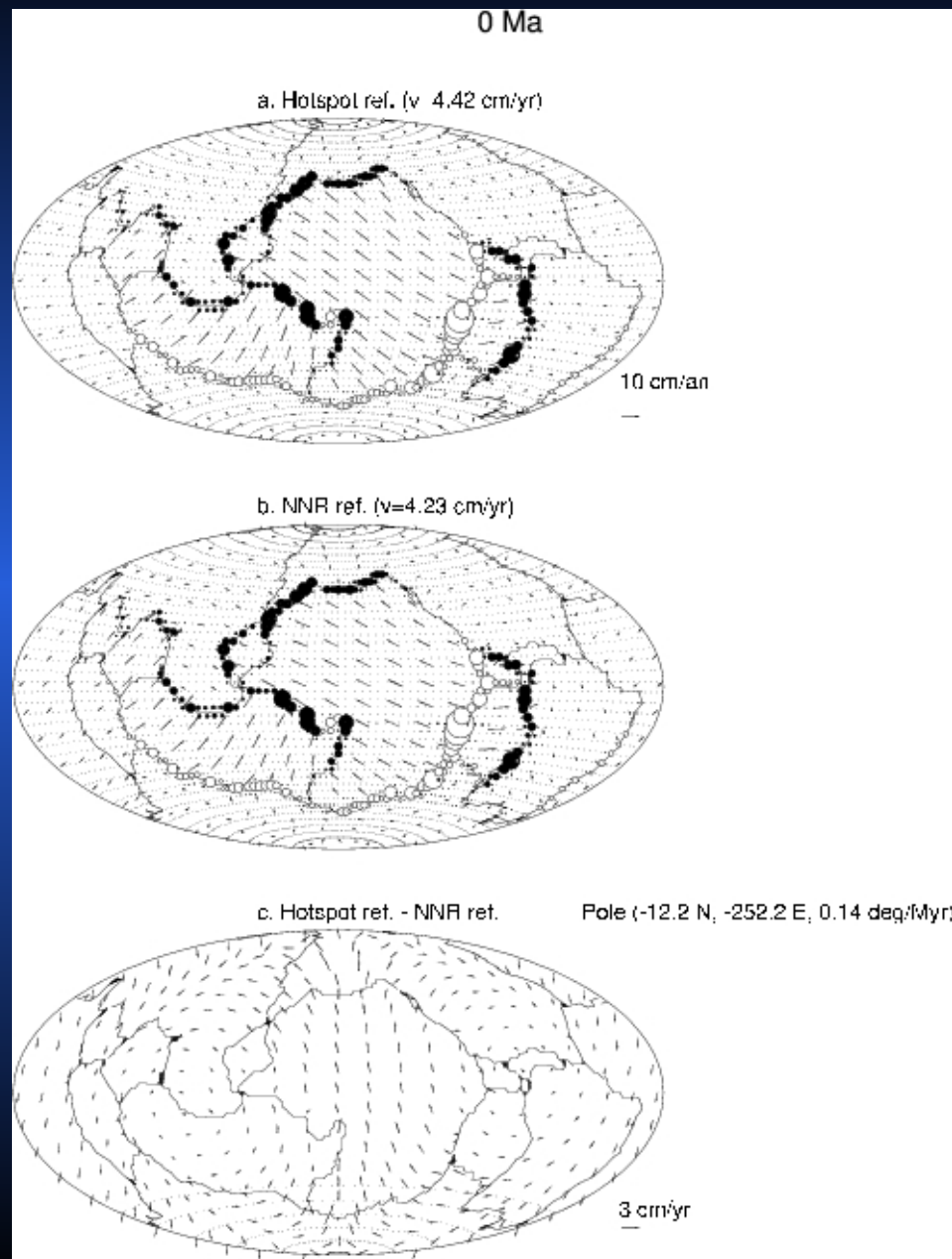


Principales chaînes de points chauds dans les océans Atlantique et Indien (Müller et al., 1993)

(Indo-At.) HS NUVEL1A

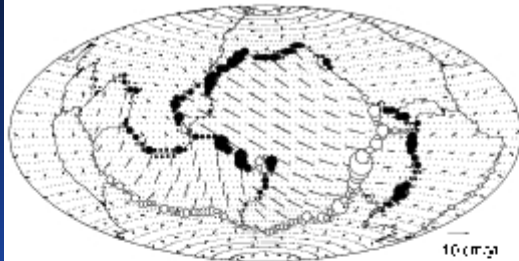
NNR-NUVEL1A

Hotspot ref. – NNR ref.
(déviation vers le Nord)

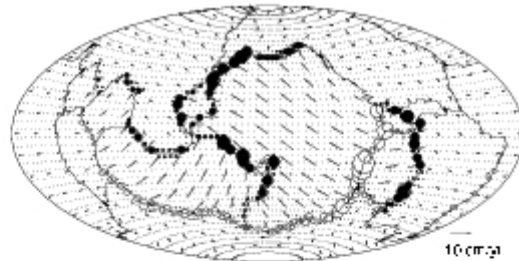


Comparaison des référentiels du 'Pacifique' et Indo-Atlantique

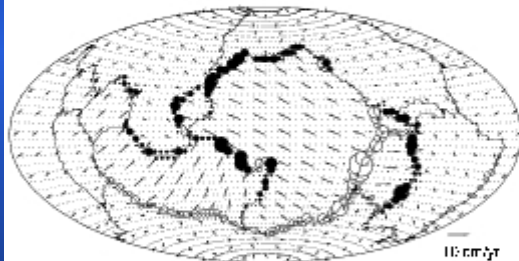
A Hotspot NUVEL-1 ref. v 5.36 cm/yr



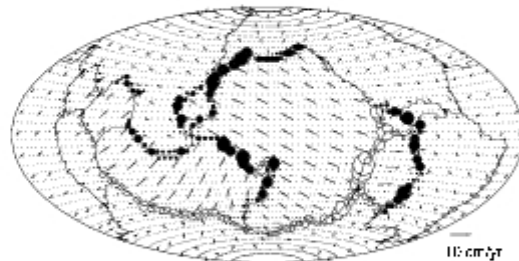
D Indo-Al. hotspot NUVEL-1A ref. v 4.42 cm/yr



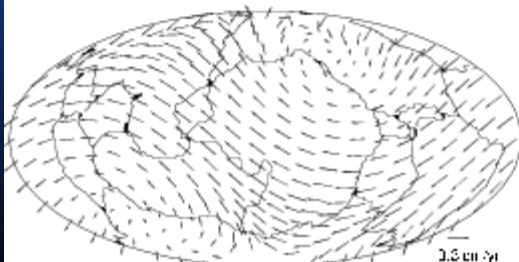
B NNR NUVEL 1 ref. v=4.45 cm/yr



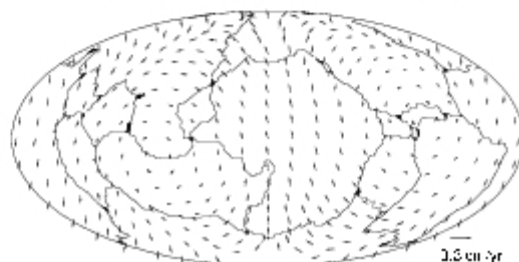
E Indo At. NNR NUVEL 1A ref. v=4.23 cm/yr



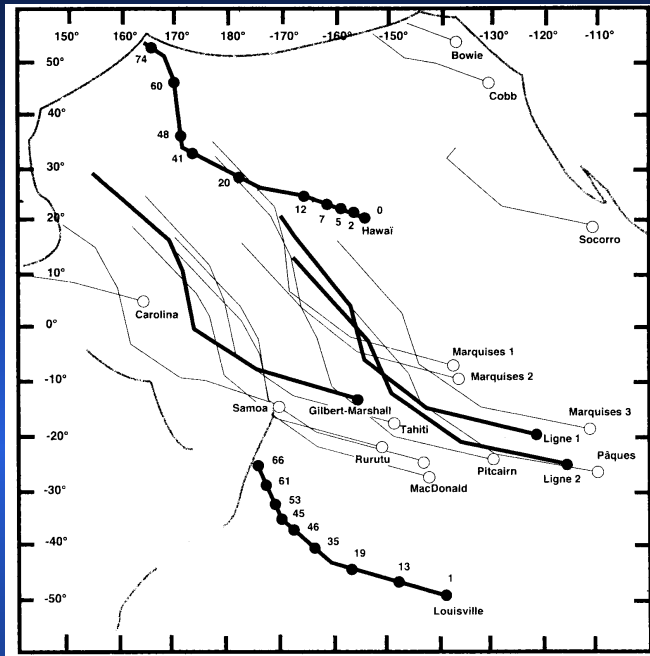
C Hotspot net rotational drift.
Pole (-49.2°N, 63.5°E, 0.33 deg/Myr)



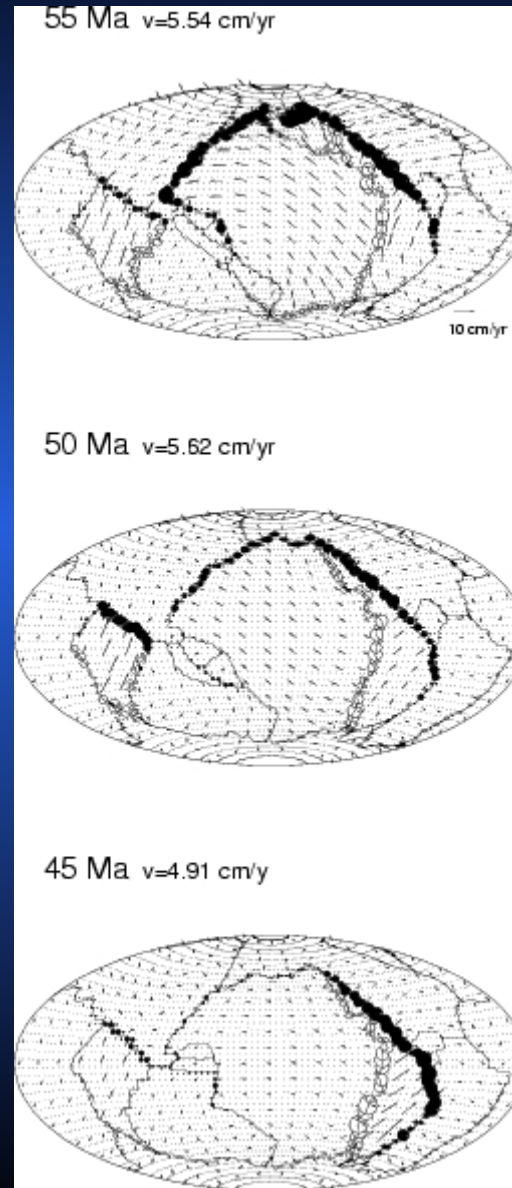
F Indo-Al. hotspot net rotational drift,
Pole (-12.2°N, -252.2°E, 0.14 deg/Myr)



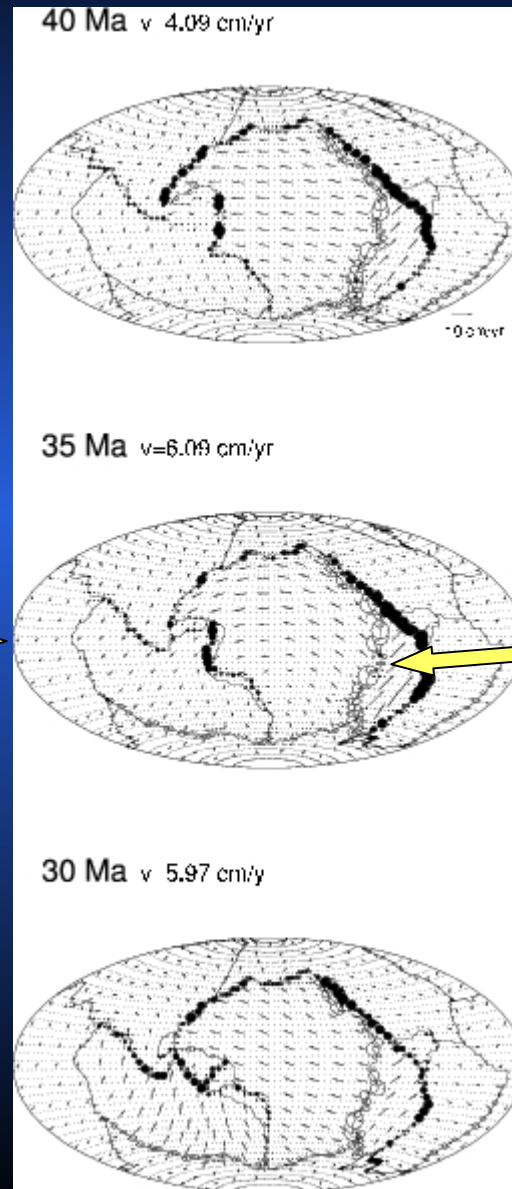
Nouvelle reconstruction dans le référentiel Indo-Atlantique



La direction de la plaque
Pacifique n'explique plus le
coude Empereur-Hawaïen



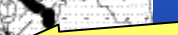
Nouvelle reconstruction dans le référentiel Indo-Atlantique



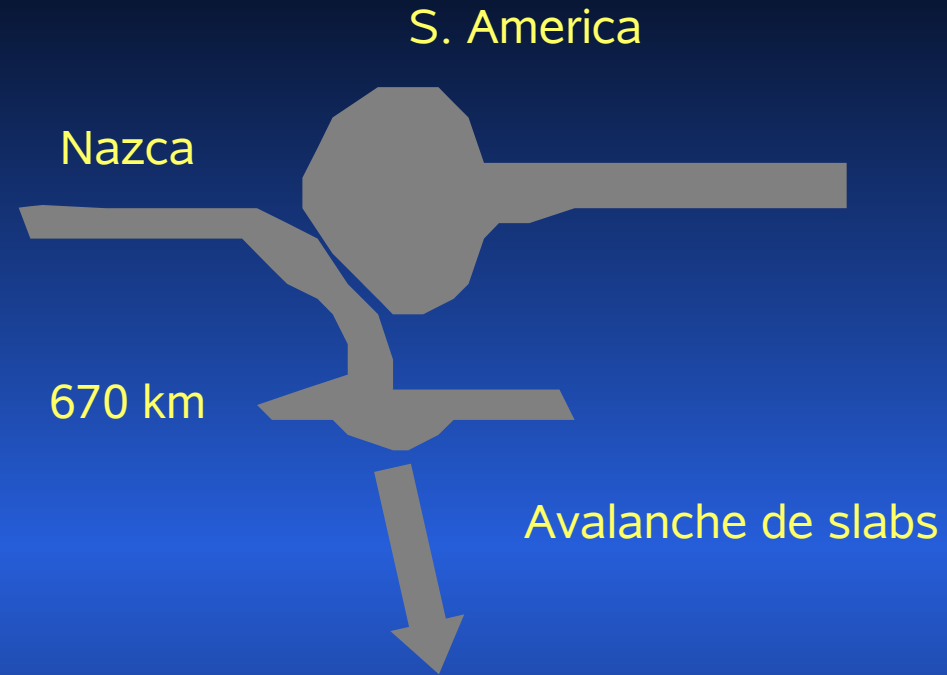
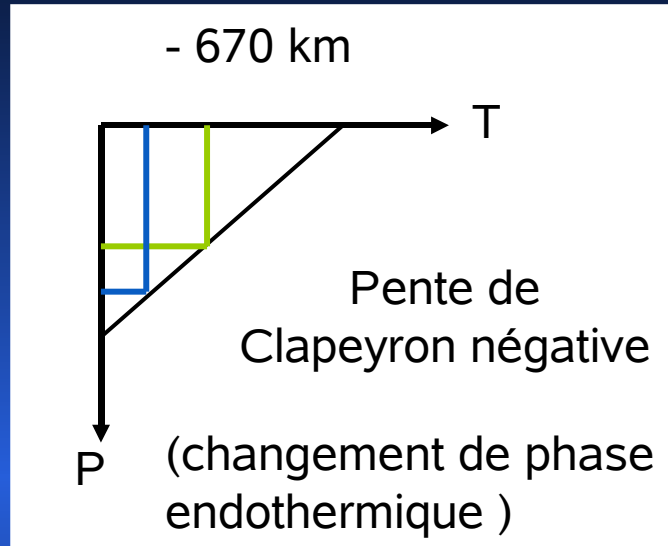
Avalanche de slabs?



Augmentation de vitesse de 132 %

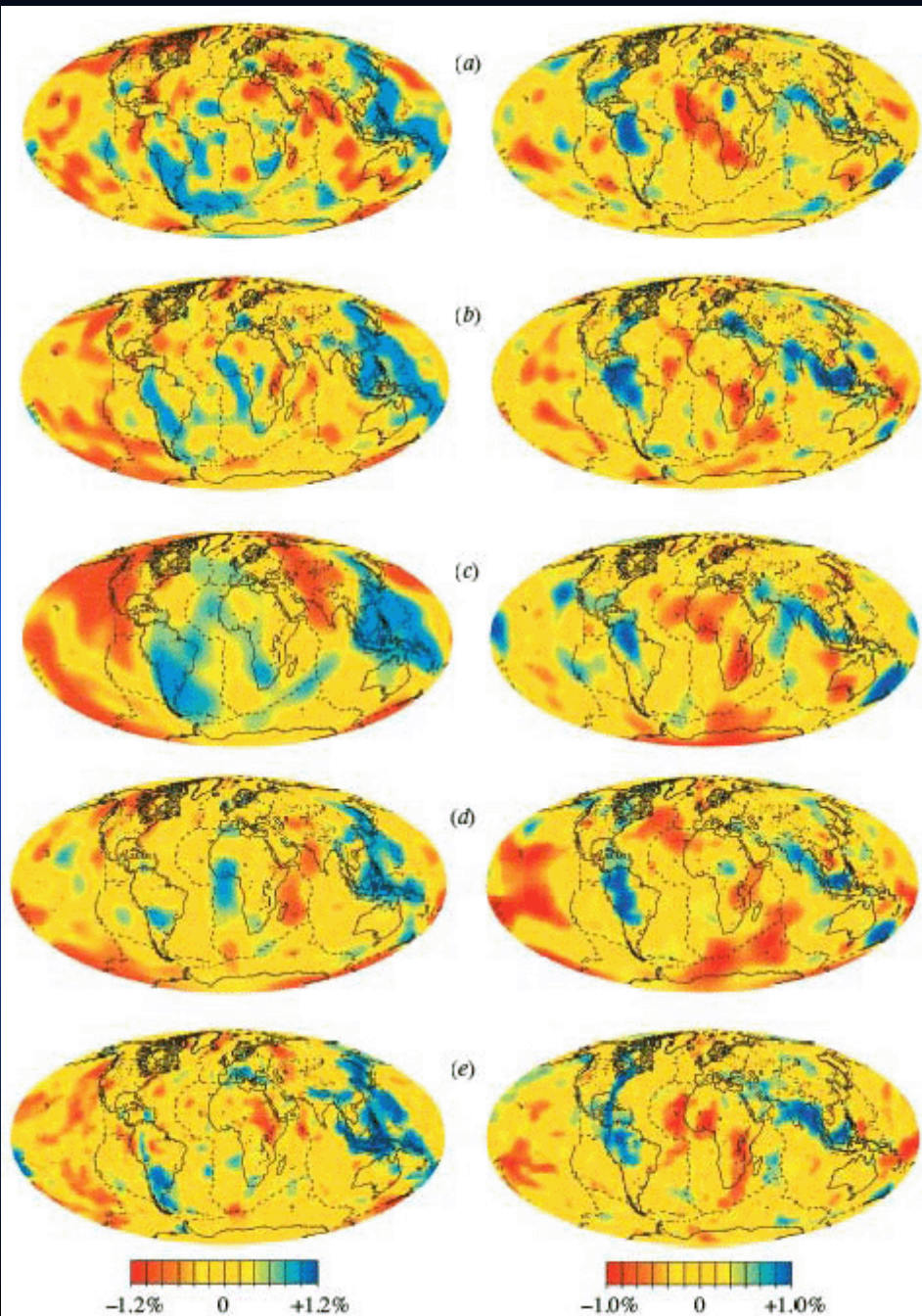


Avalanche de slabs



Les avalanches de slabs ont été prédites par des modèles théoriques de convection du manteau (Machetel & Weber, 1991; Solheim & Peltier, 1994; Tackley, 1994 ...)

Modèles de tomographie sismique

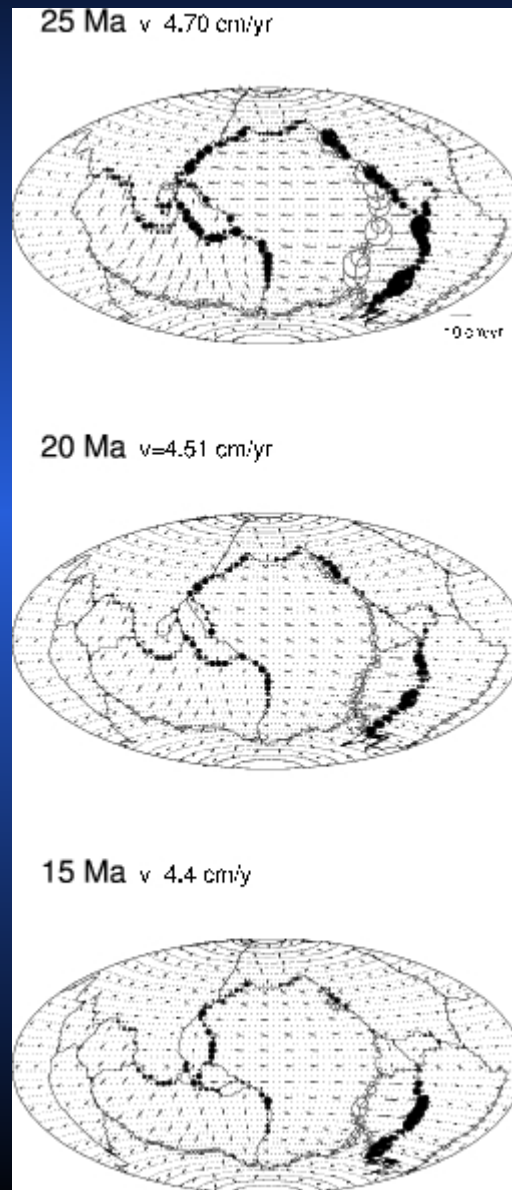


Colonne de gauche:
- 670 km

Colonne de droite:
- 1200 km

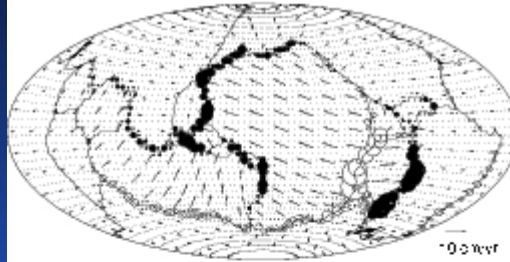
(Grand, 2002)

Nouvelle reconstruction dans le référentiel Indo-Atlantique

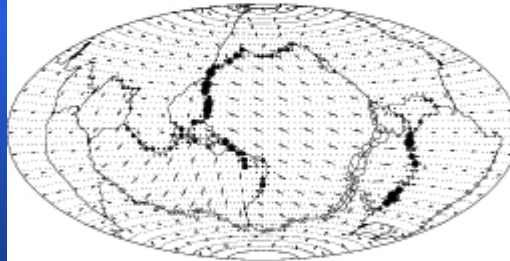


Nouvelle reconstruction dans le référentiel Indo-Atlantique

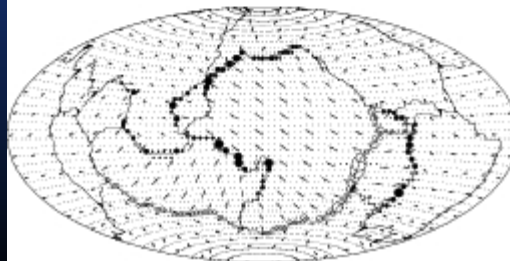
10 Ma $v = 4.73 \text{ cm/yr}$



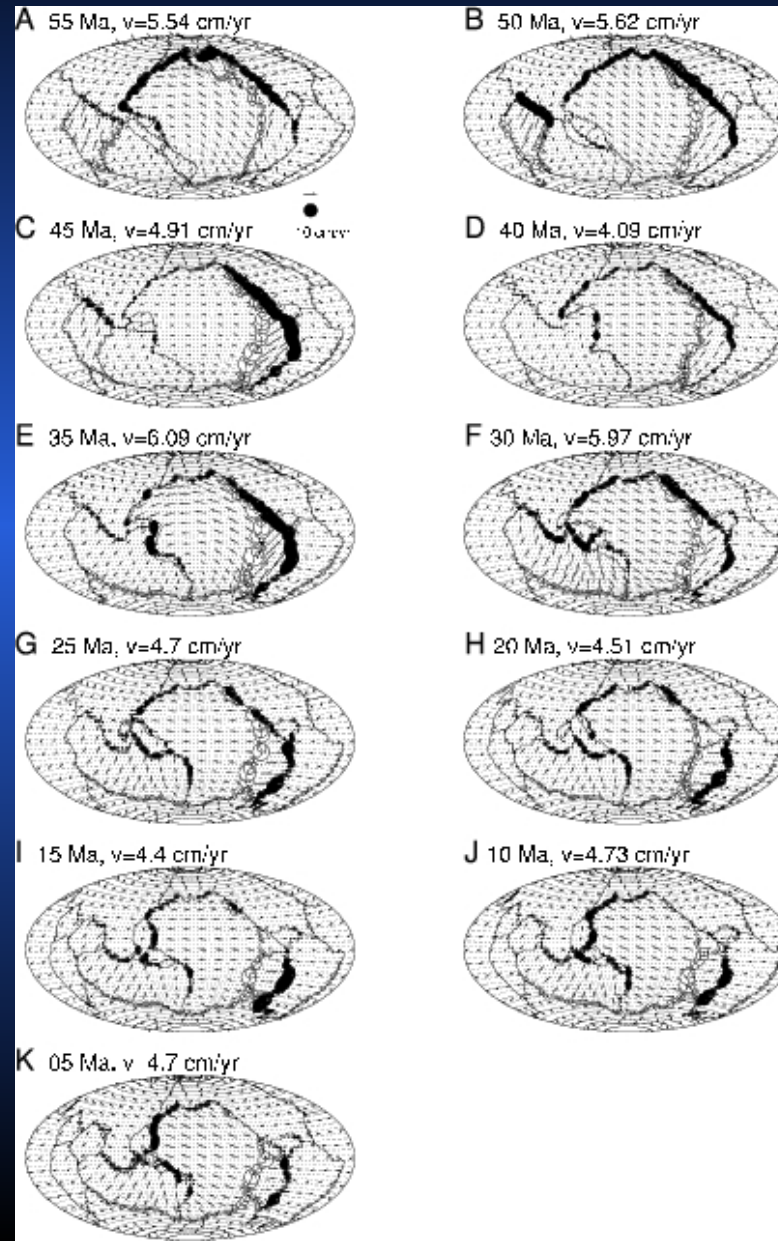
5 Ma $v = 4.7 \text{ cm/yr}$



0 Ma $v = 4.42 \text{ cm/yr}$



Nouvelle reconstruction dans le référentiel Indo-Atlantique



← Réorganisation des plaques

Avalanche de slabs?

→ Réorganisation des plaques

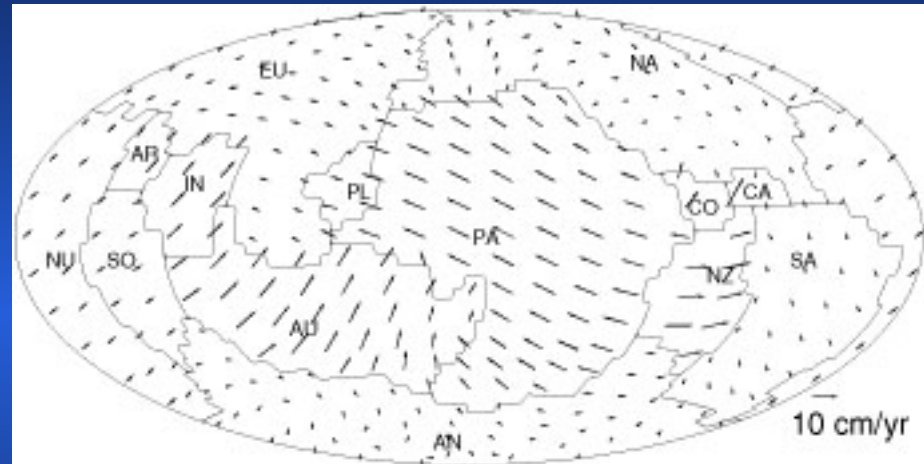
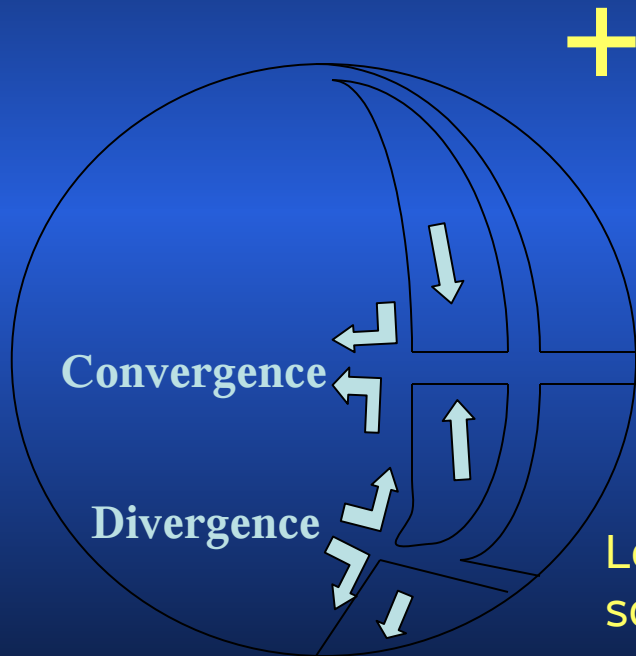
Avalanches de slabs?

Reconstructions des plaques et modèles de convection

Modèle cinématique No Net Rotation et modèle dynamique No Net Torque

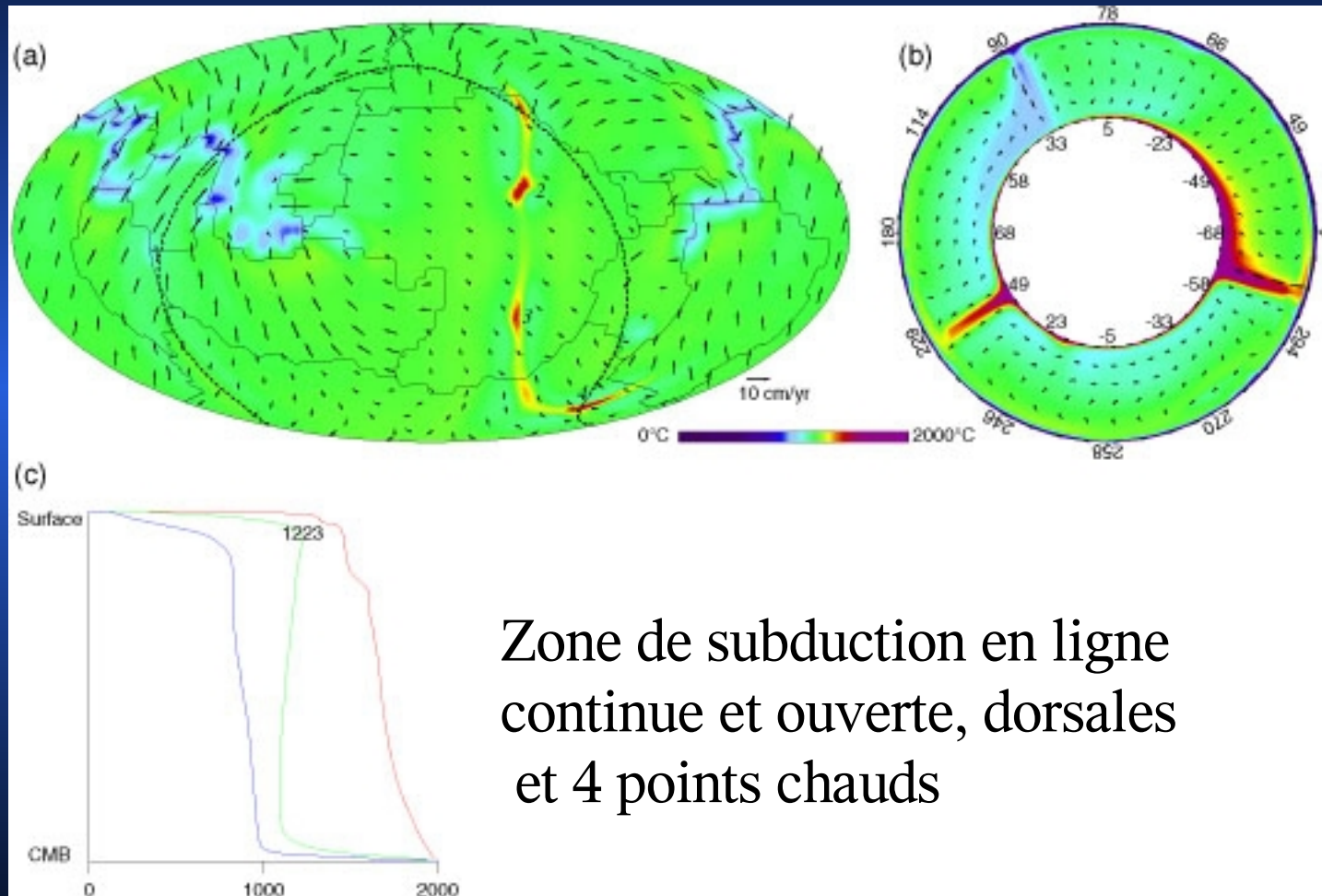
Pour le plus simple modèle No Net Torque, les mouvements des plaques sont équilibrés par les moments des forces visqueuses sous les plaques

(Ricard & Vigny, 1989)



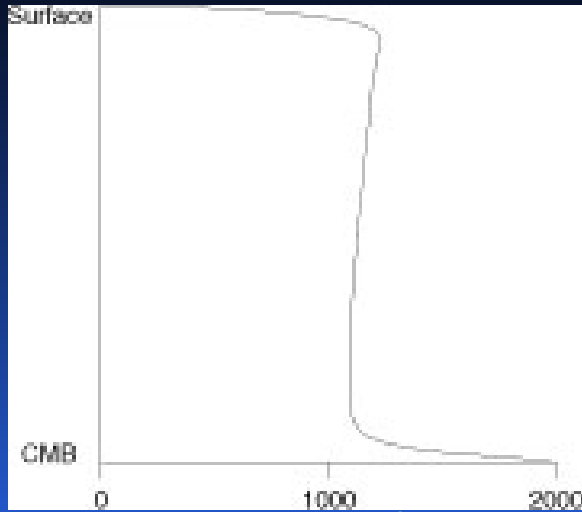
Les modèles cinématique et dynamique NNR/Torque sont équivalents s'il n'y a pas de variations latérales de viscosité

Modèle de référence



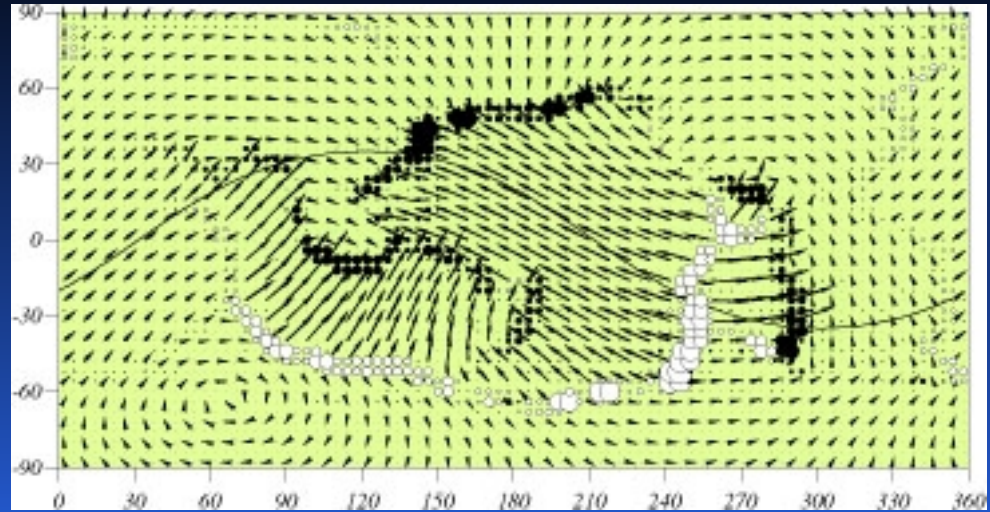
Zone de subduction en ligne continue et ouverte, dorsales et 4 points chauds

Vers un modèle de planète Terre



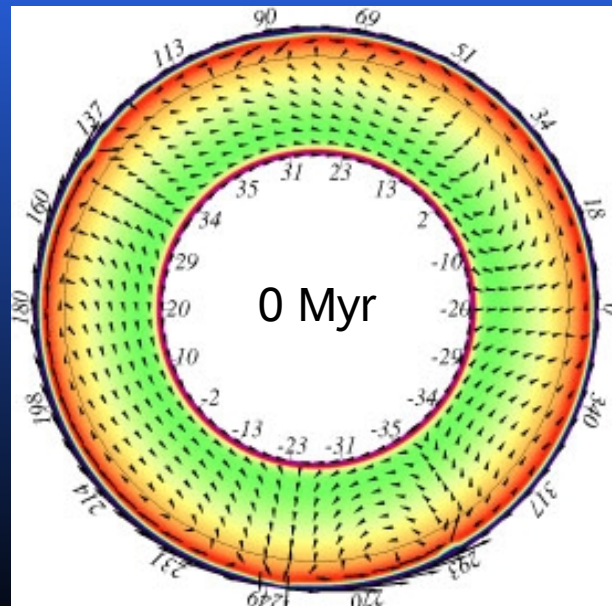
Géotherme de référence

+

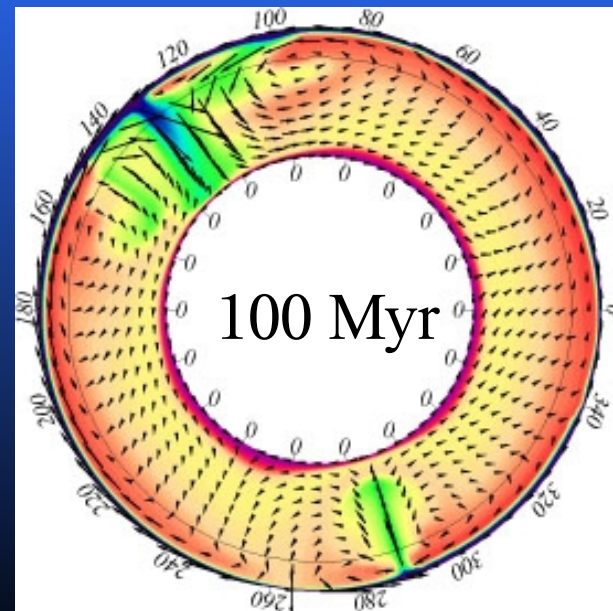
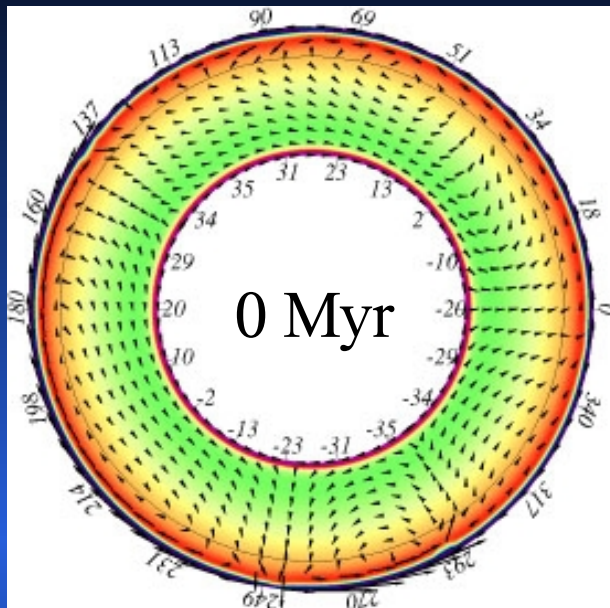


NMR NUVEL1

=



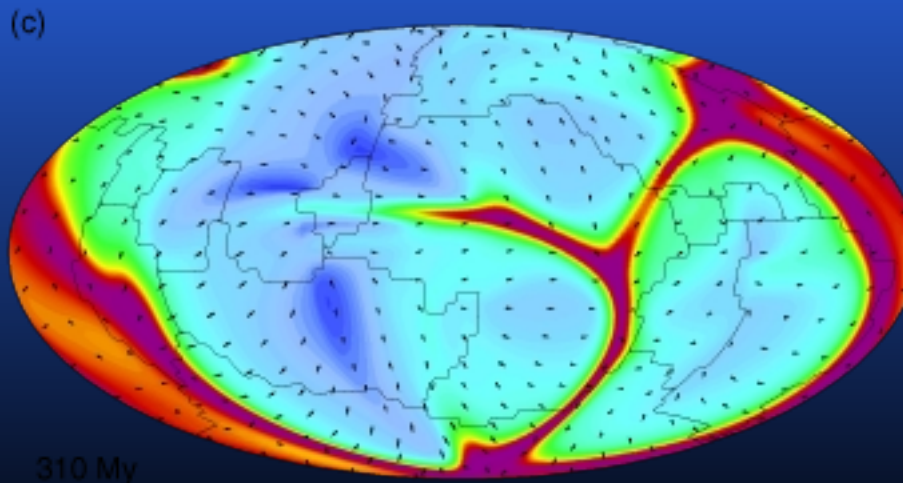
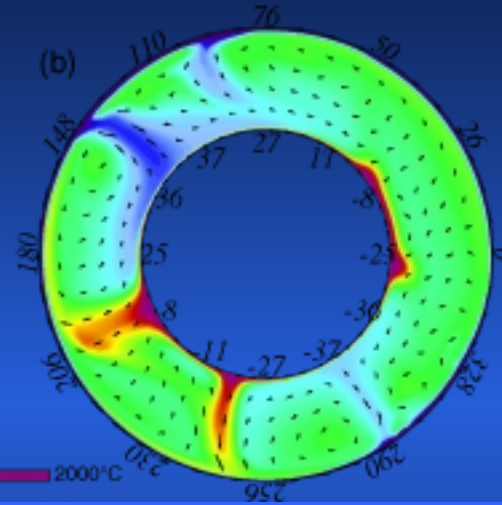
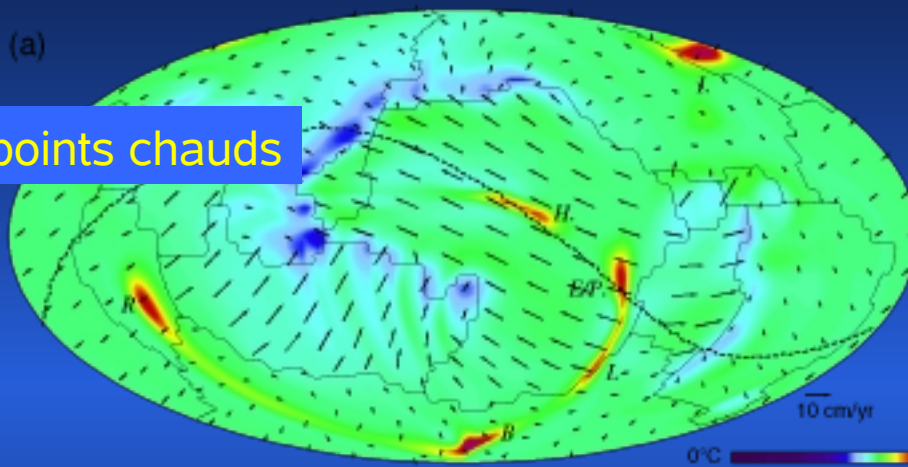
Vers un modèle de planète Terre



Vers un modèle de planète Terre

NNR NUVEL1 sur un modèle de convection présente 6 points chauds dont l'emplacement est très proche de points chauds terrestres

6 points chauds



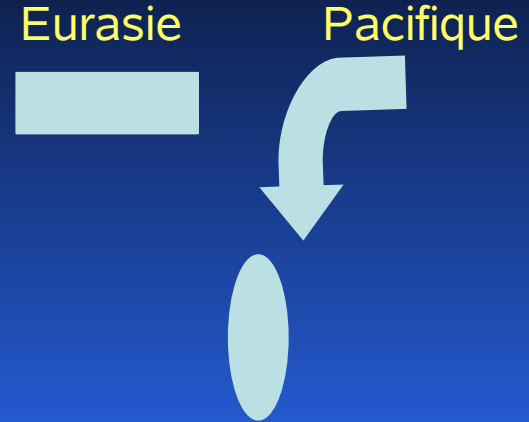
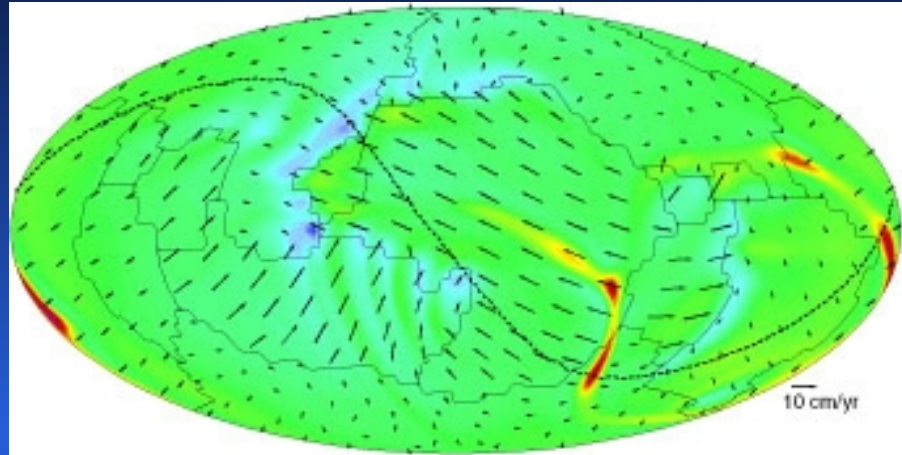
7 points chauds primaires:
(Courtilot et al., 2003)

- Chaînes volcaniques
- Fort flux de chaleur
- Basalte à leur initiation
- Fort taux d'He (réservoir isolé et primitif)
- Vitesses sismiques lentes Vs

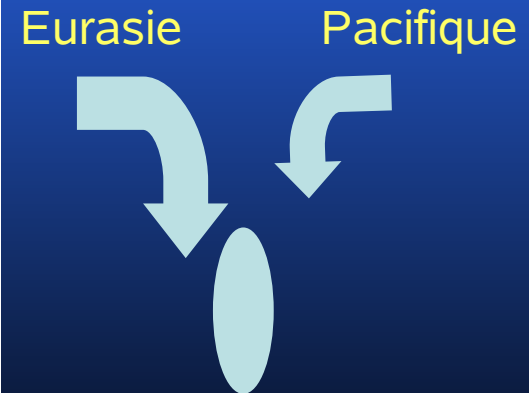
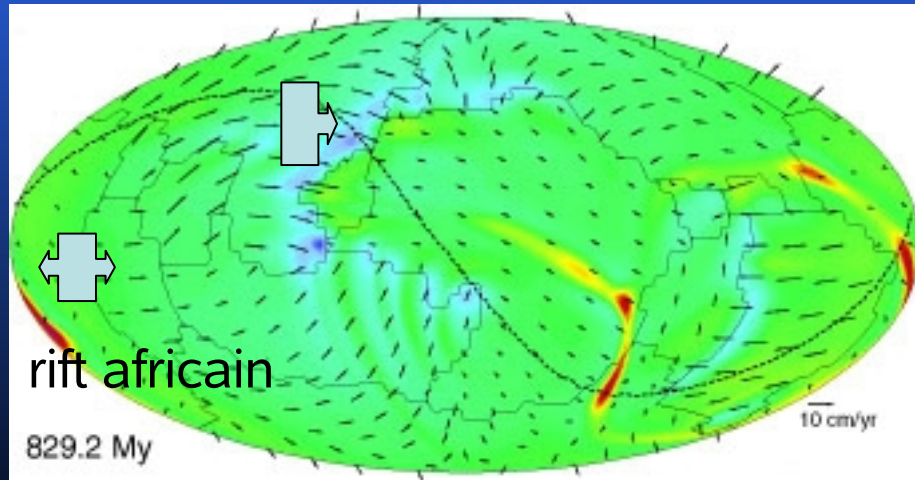
Quéré & Forte, 2006

Vers un modèle de planète Terre

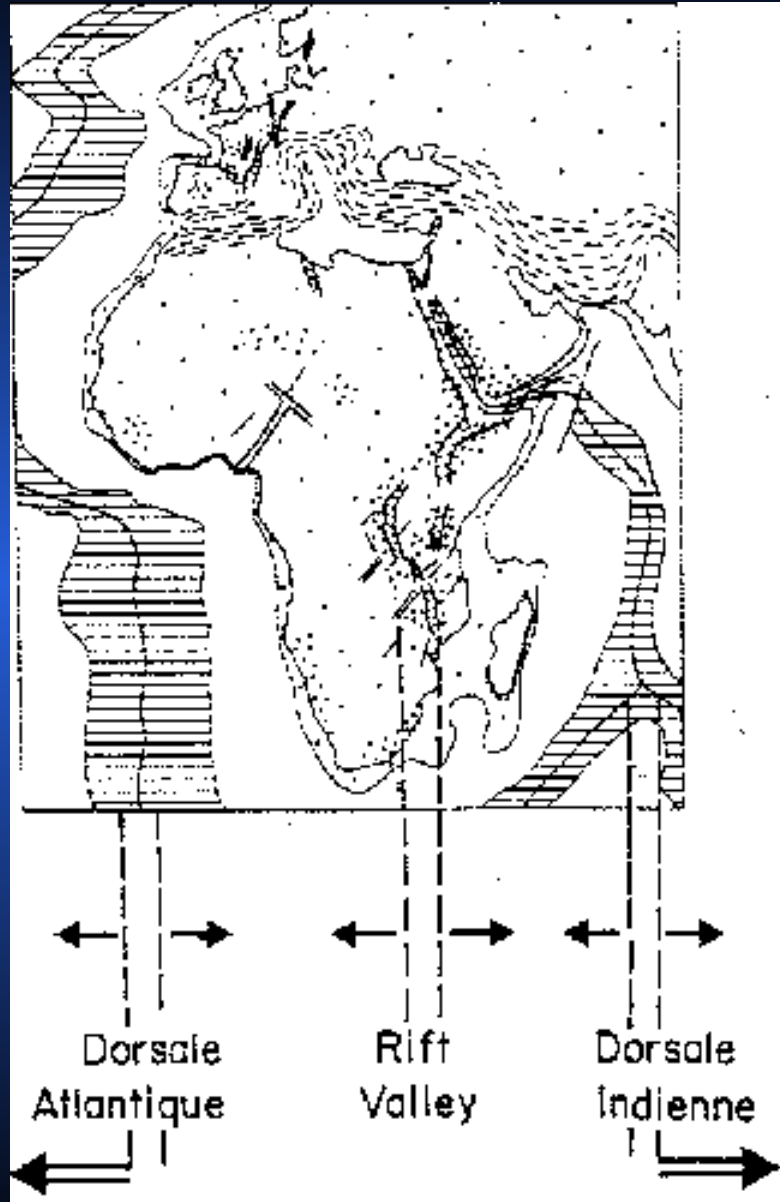
Avant de relâcher
NNR NUVEL1



Après avoir relâcher
NNR NUVEL1



Rift africain



Un océan est né

Un nouvel océan est en train de naître en Éthiopie, dans le désert de l'Afar. Cette zone située dans le nord-est du pays se trouve à la jonction de trois plaques tectoniques (celles de Nubie, de Somalie et d'Arabie) s'éloignant les unes des autres, étirant ainsi la croûte terrestre qui se fissure à un rythme effréné. À l'automne 2005, des crevasses se sont ouvertes dans le sol à plusieurs endroits, libérant une fumée de soufre, éjectant des débris rocheux dans les airs et terrorisant la population nomade. Une succession de 163 tremblements de terre ont secoué la région en l'espace de 3 semaines!

Des scientifiques britanniques ont capté le spectacle grâce au satellite européen *Envisat*. En juillet 2006, dans la revue *Nature*, ils ont présenté une reconstitution 3D des événements souterrains ayant donné lieu à ces phénomènes apocalyptiques. Un formidable afflux de magma s'est infiltré entre deux

plaques. Cette intrusion a été si violente qu'une faille de 60 km de longueur, et jusqu'à 8 m de largeur, s'est ouverte dans les profondeurs de la croûte terrestre en à peine un mois.

C'est par un processus semblable que l'Eurasie et l'Afrique se sont séparées des Amériques pour donner naissance à l'océan Atlantique. Si l'étirement de la croûte terrestre observé en Éthiopie se poursuit, le sol continuera à s'affaisser jusqu'à former une vallée tapissée de magma solidifié. Certains secteurs se trouvent déjà à plus de 100 m au-dessous du niveau de la mer! Une nouvelle étendue d'eau pourrait ainsi se former d'ici un million d'années, si la faille rejoint la mer Rouge, au nord, et lui permet de s'engouffrer dans le désert de l'Afar. Dans 10 millions d'années, c'est toute la come de l'Afrique qui pourrait se détacher du continent, lorsque les plaques somalienne et nubienne se seront écartées l'une de l'autre.



Géologie

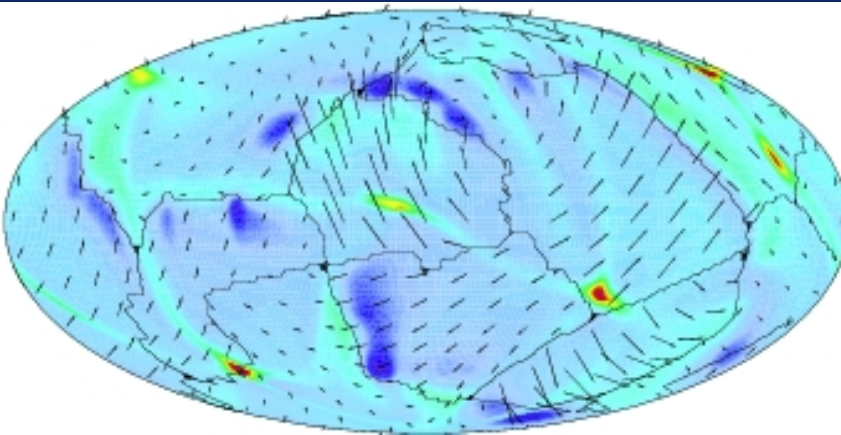
Québec Science
(Jv. 2007)

TIM WRIGHT/UNIVERSITY OF LEEDS

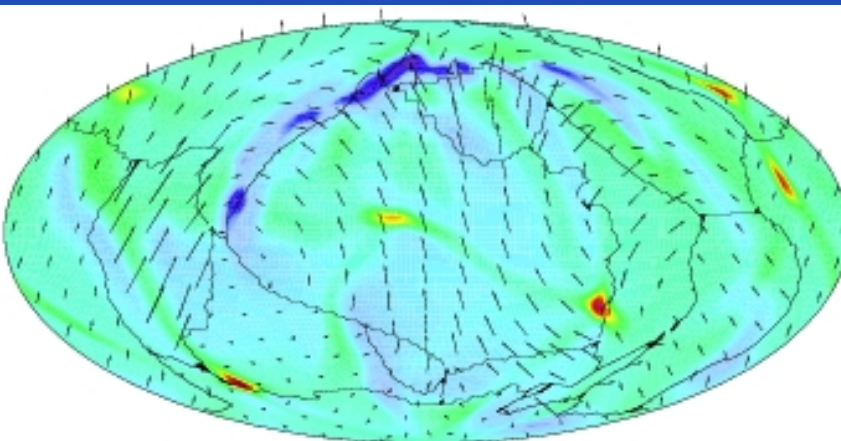
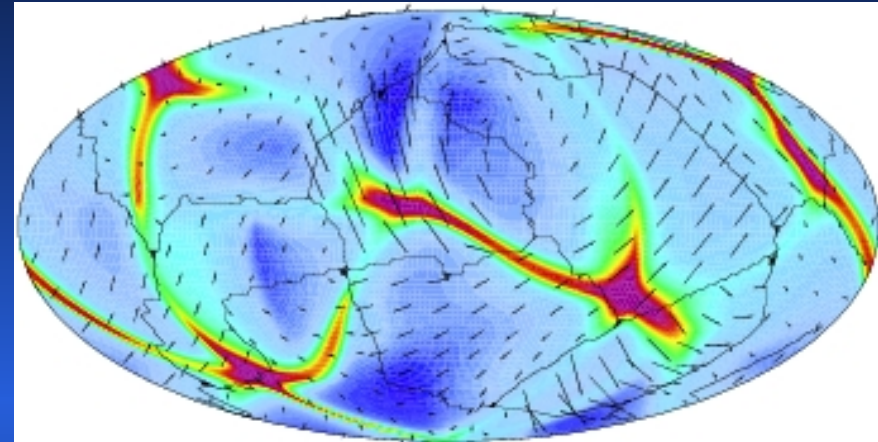
Dans le désert de l'Afar en Éthiopie, la terre a tremblé 163 fois en 3 semaines, créant d'immenses fissures dans le sol.

Reconstruction des plaques dans le référentiel No Net Rotation de Gordon & Jurdy

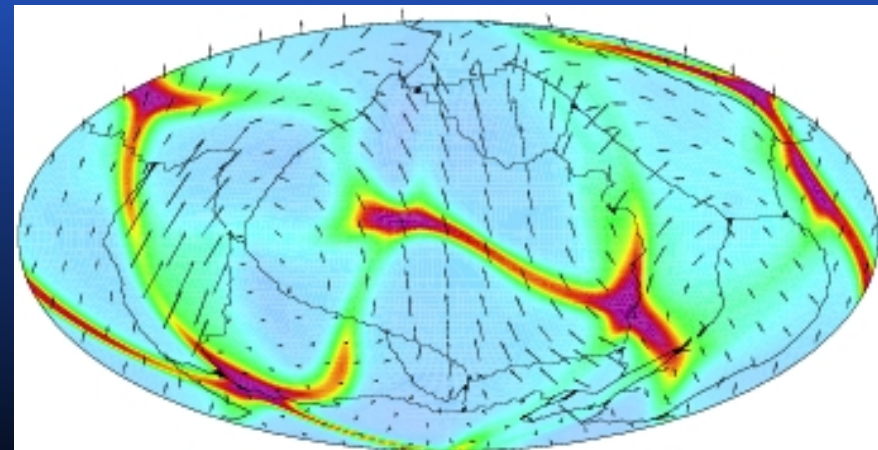
Période du Mésozoïque



120
Ma

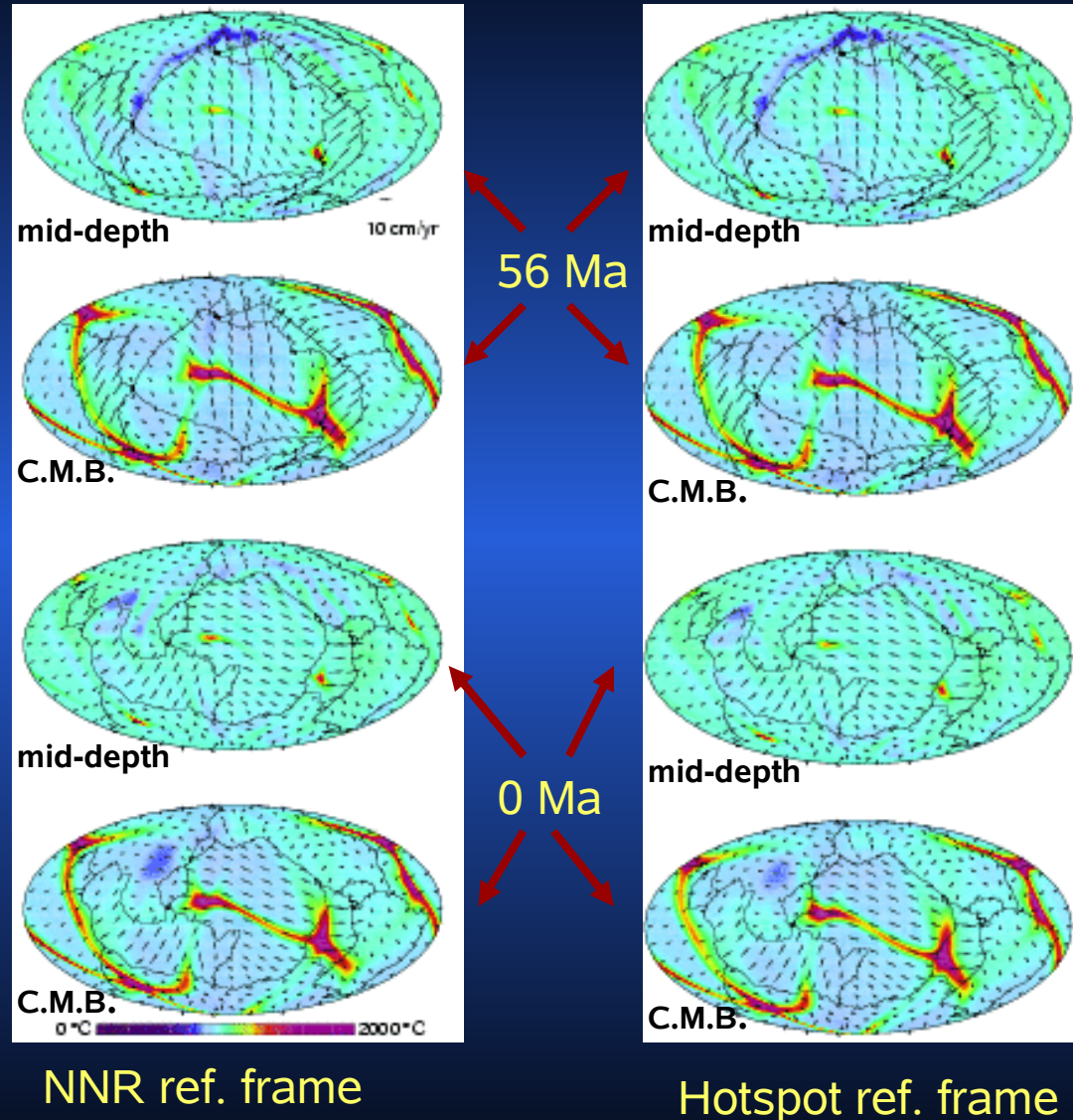


56
Ma



Reconstruction des plaques dans le référentiel de Gordon & Jurdy

Période du
Cénozoïque



Réf. des points chauds
du Pacifique /NNR →
Déviation vers l'Ouest
des lignes chaudes et
des points chauds associés

Conclusions

La nouvelle reconstruction des plaques dans le réf. Indo-Atlantique donne une nouvelle vision de la tectonique des plaques et de la dynamique terrestre:

1. Les mouvements des plaques actuels sont différents de ceux donnés dans le réf. 'Pacifique', spécialement pour les mouvements des plaques Africaine et Eurasienne
2. La déviation de la lithosphère est maintenant vers le Nord au lieu d'être vers l'Ouest dans le référentiel 'Pacifique'
3. Le coude Empereur-Hawaiien ne semble pas provenir d'un changement de direction de la plaque Pacifique
4. L'augmentation de vitesse de 132% pour la plaque Nazca suggère une avalanche de slabs sous l'Amérique du Sud à 35 Ma
5. La dorsale Est-Pacifique pourrait être semi-active (ou semi-passive) au lieu de 100 % passive

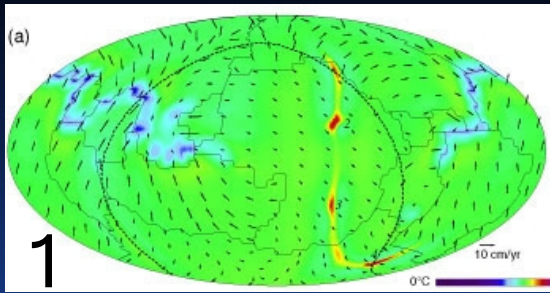
Collaborateurs

David Rowley
The University of Chicago

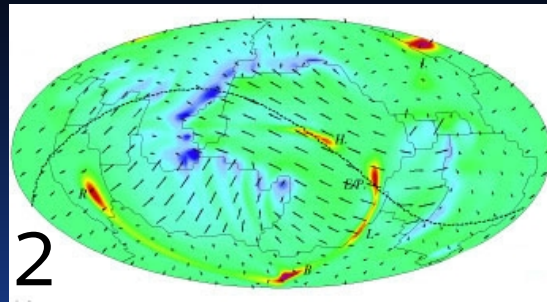


Alessandro Forte & Robert Moucha
Université du Québec A Montréal

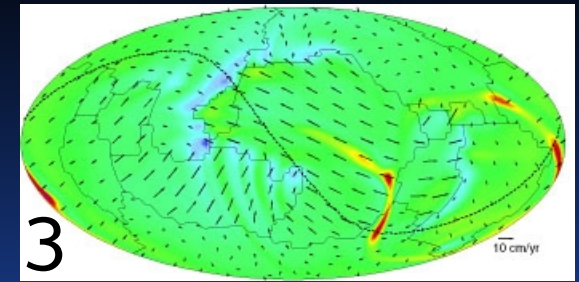
Vers un modèle de planète Terre



Free plates



NNR NUVEL1(imposed)



Free plates

Heat flow
(TW)

