

Soirée au centre de la Terre

Yanick Ricard
Directeur de Recherche CNRS/Université de Lyon/ENSL

Il y avait une fois, il y a -4566 millions d'années.....



une nébuleuse....

Nébuleuse
d'Orion

qui s'est effondré et a formé soleil, planètes et satellites



certaines briques initiales existent encore...

Chondrite



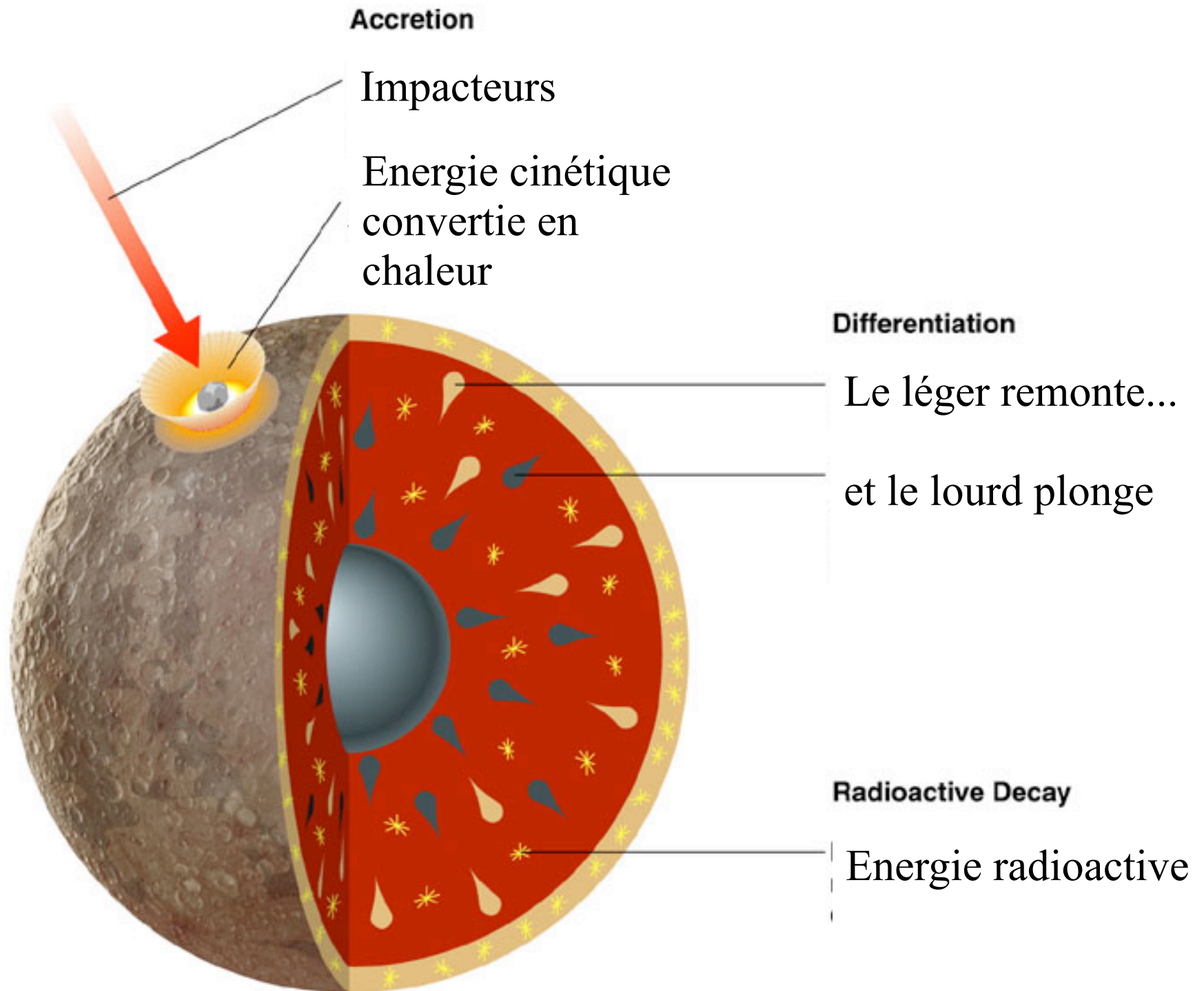
-4566 Ma, les plus anciens témoins

La montre U-Pb

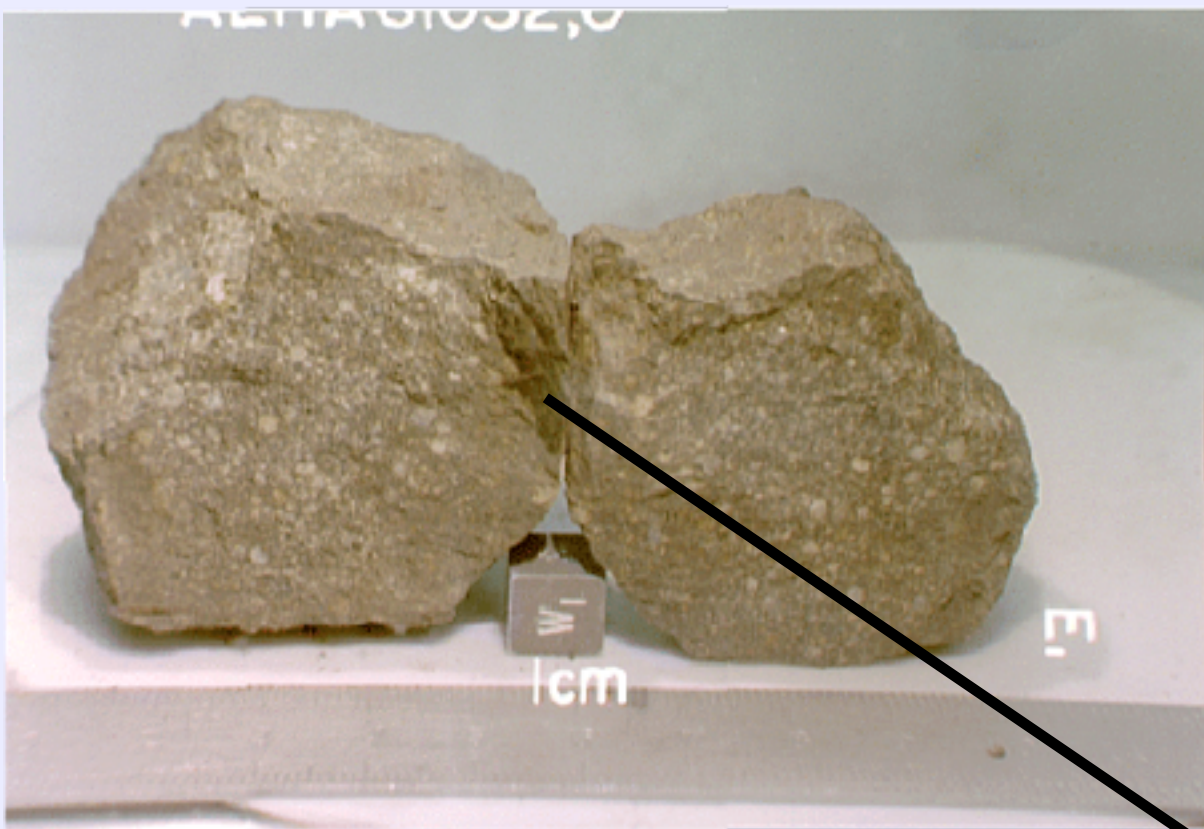




Chauffage par
impacts
météoritiques



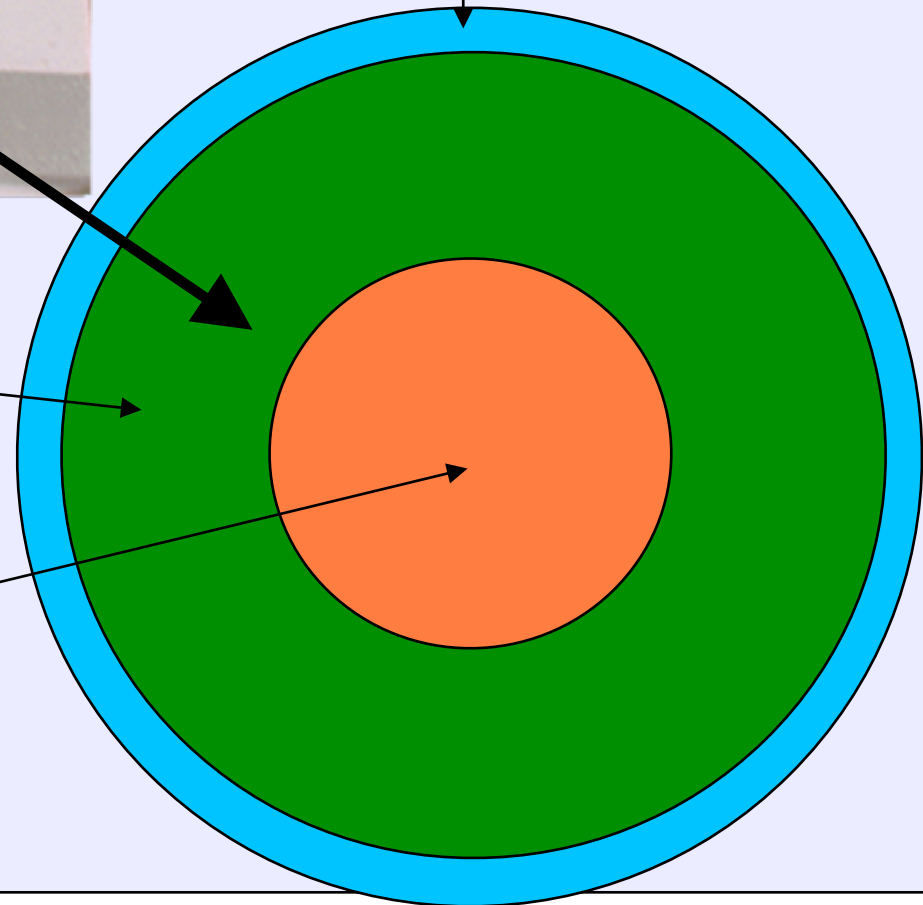
Chondrite



Atmosphère et
océans

Silicates

Fer et alliages



Le noyau s'est formé à +50 ma (-4500 ma)

Radioactivité «éteinte» Hafnium-Tungstène

Hafnium-----> Tungstène (1/2 vie de 9 ma)

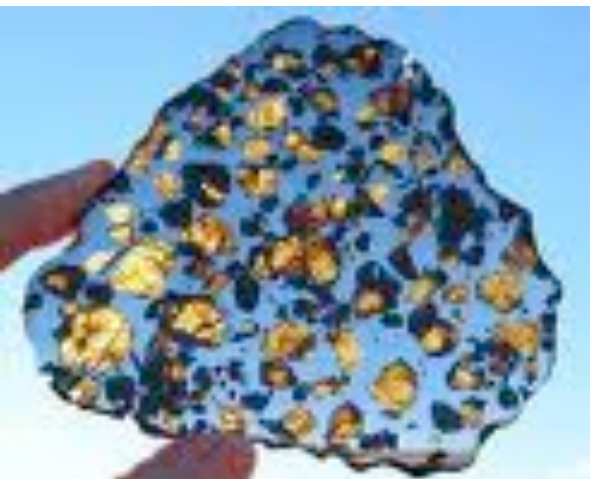
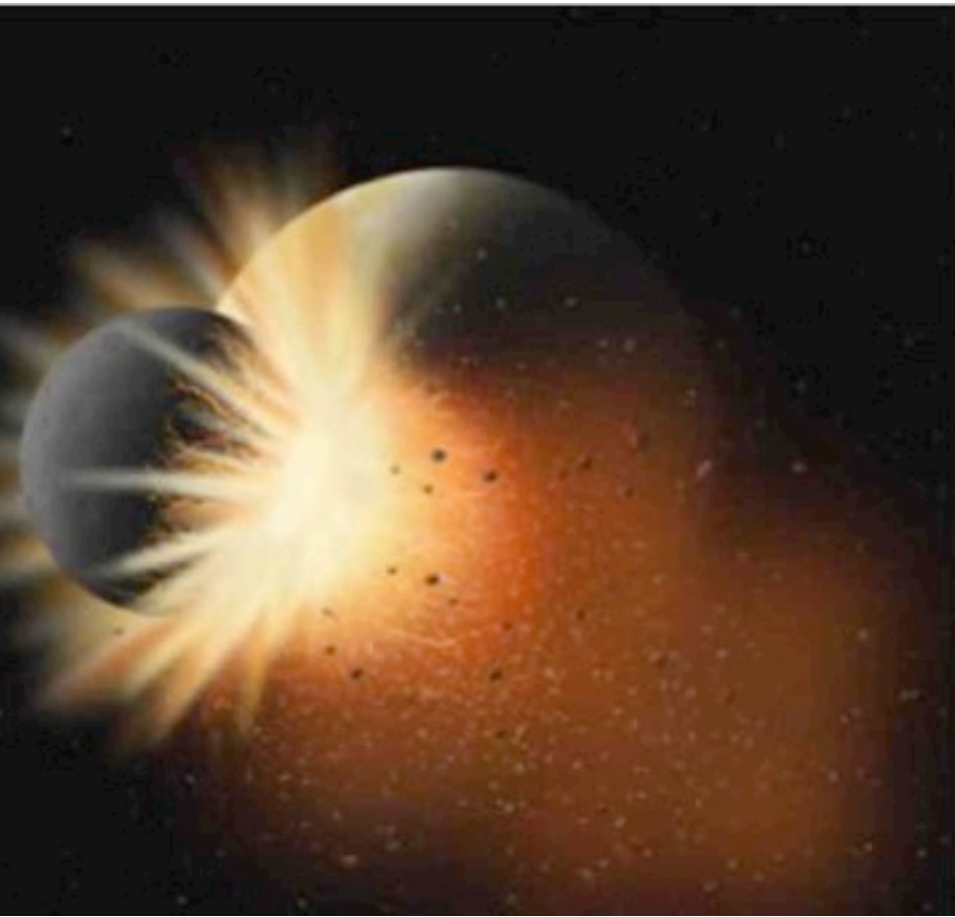
Le Tungstène «aime le fer» (il est sidérophile)

Si le Tungstène est dans le noyau, le noyau s'est formé après la mort de l'Hafnium,

Si du Tungstène est dans le manteau, le noyau s'est formé avant la mort de l'Hafnium,

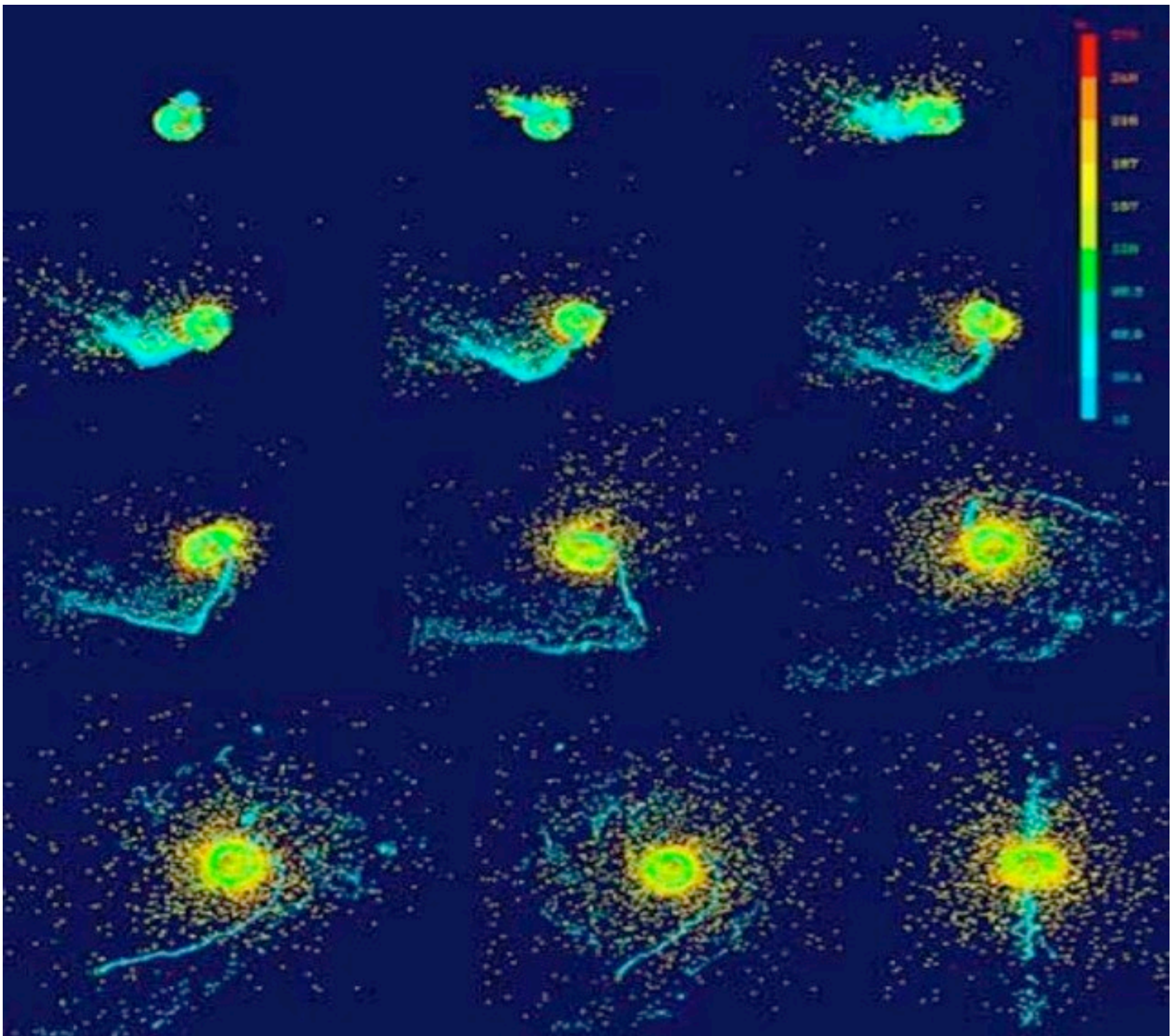
La montre Hafnium-Tungstène





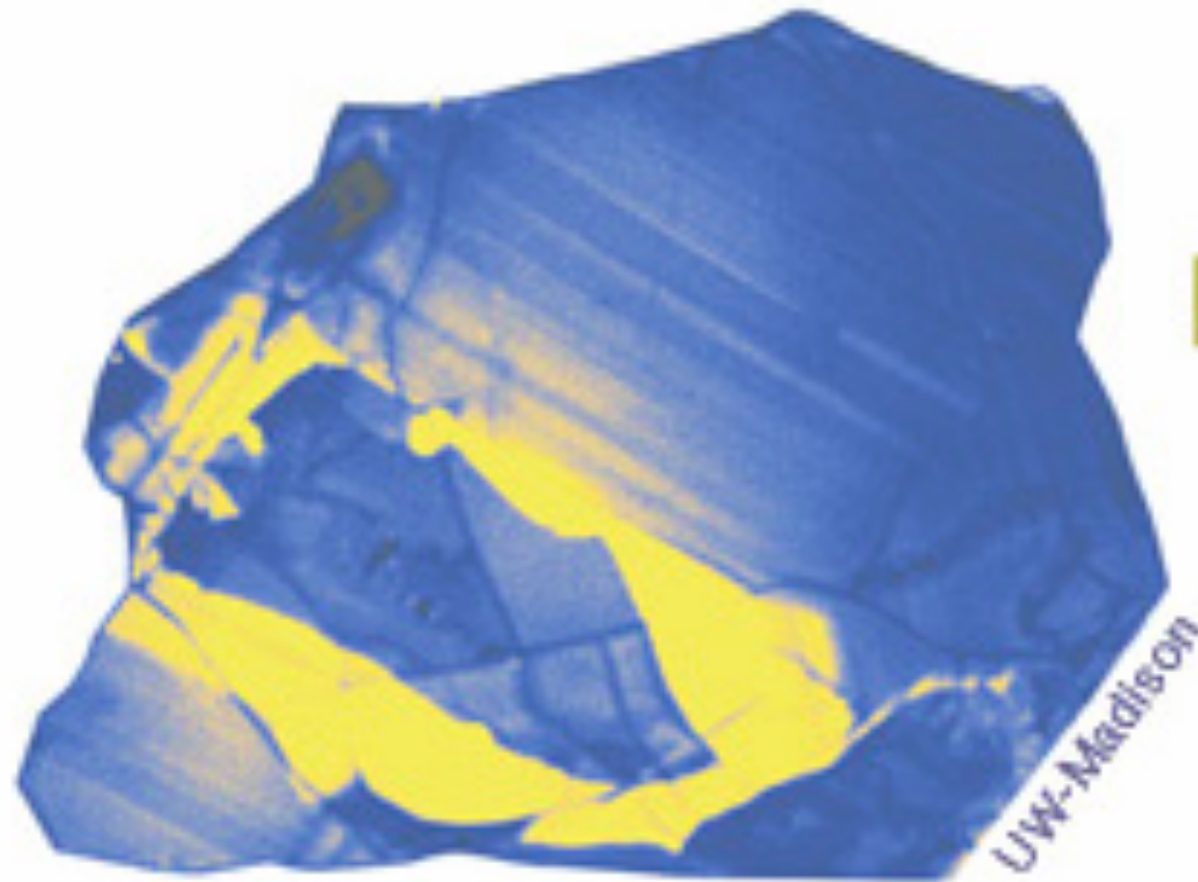
La lune s'est formée vers -4450 ma (+100 ma)
lorsque la Terre a été percutée par un objet de la taille
de Mars

Pallasite



vendredi 19 novembre 2010

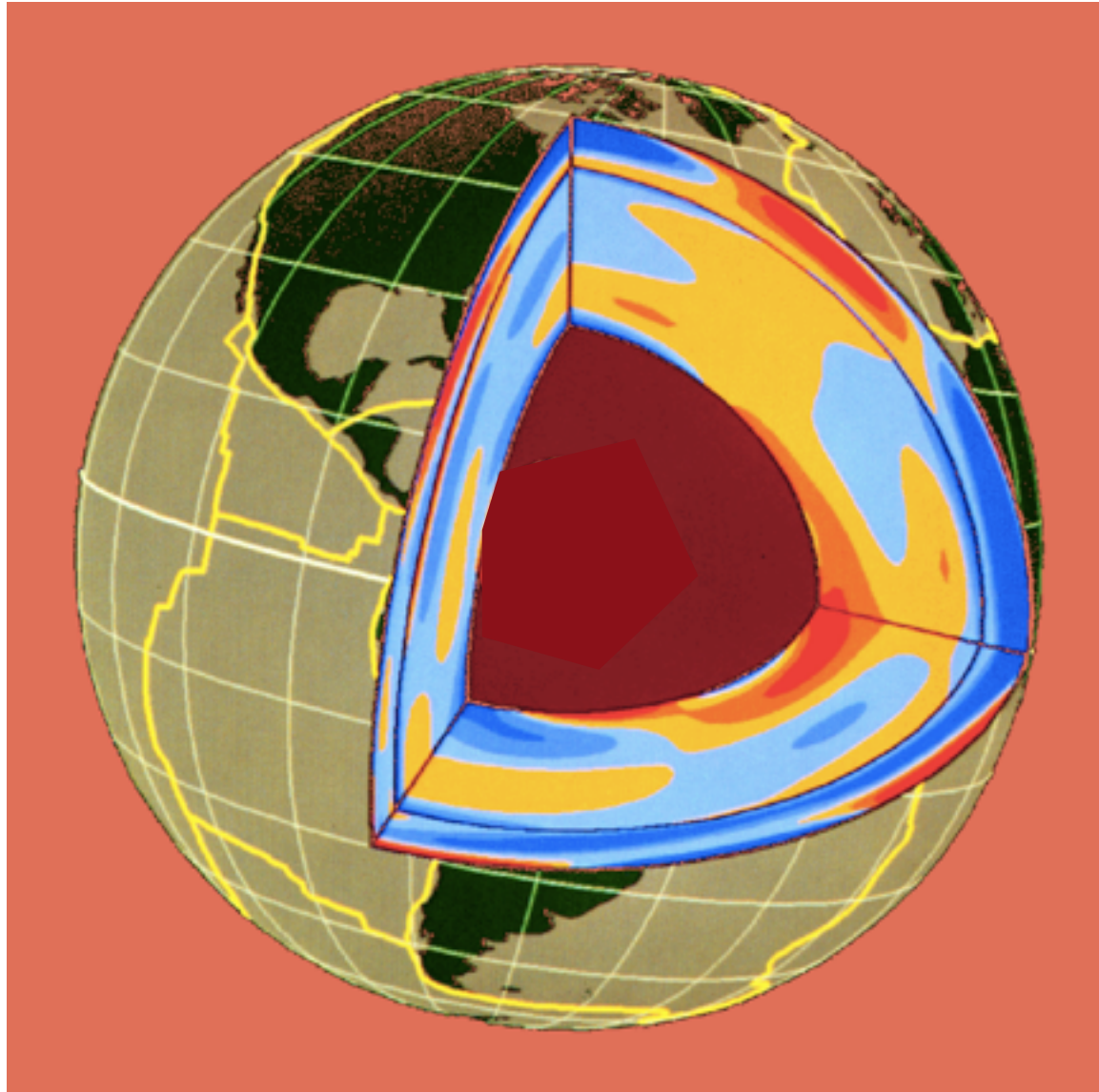
Les plus anciens témoins (zircons) -4000 ma (+500 ma) semblent déjà indiquer la présence de croûte et d'océans



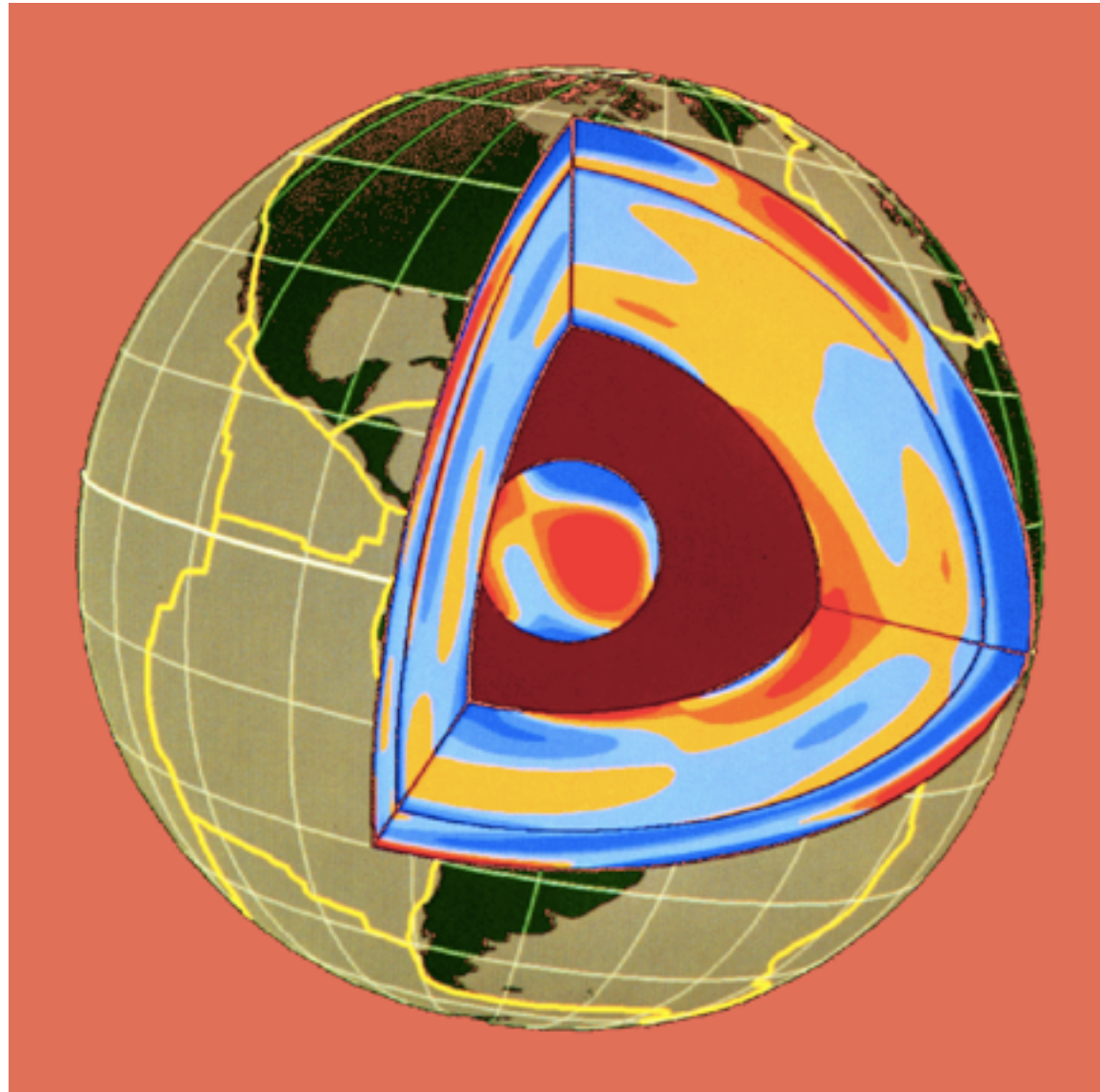
The
Earliest
Piece
of the
Earth

Zircons de Jack Hill (Australie)

-4000 ma, le cadre est fixé, OU presque...



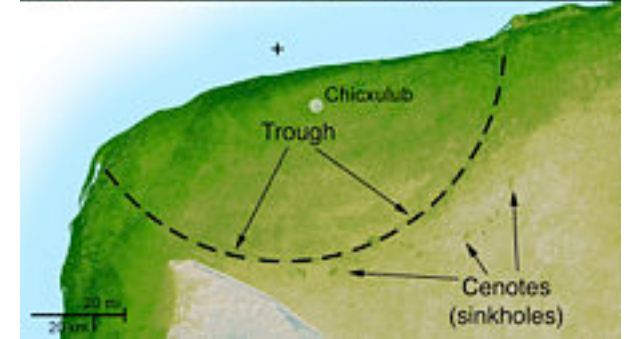
En se refroidissant une graine de fer solide s'est formée il y a -1500 ma



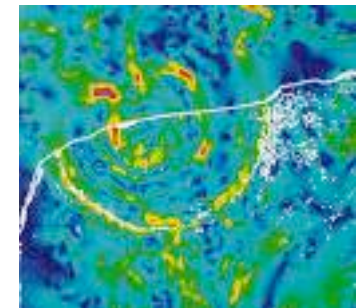
Et quelques météorites tombent toujours...



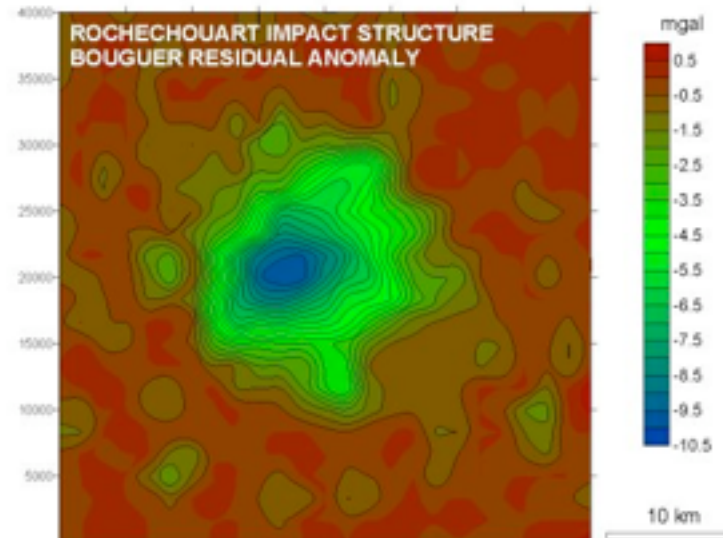
Meteor
Arizona



Manicouagan



Chicxulub



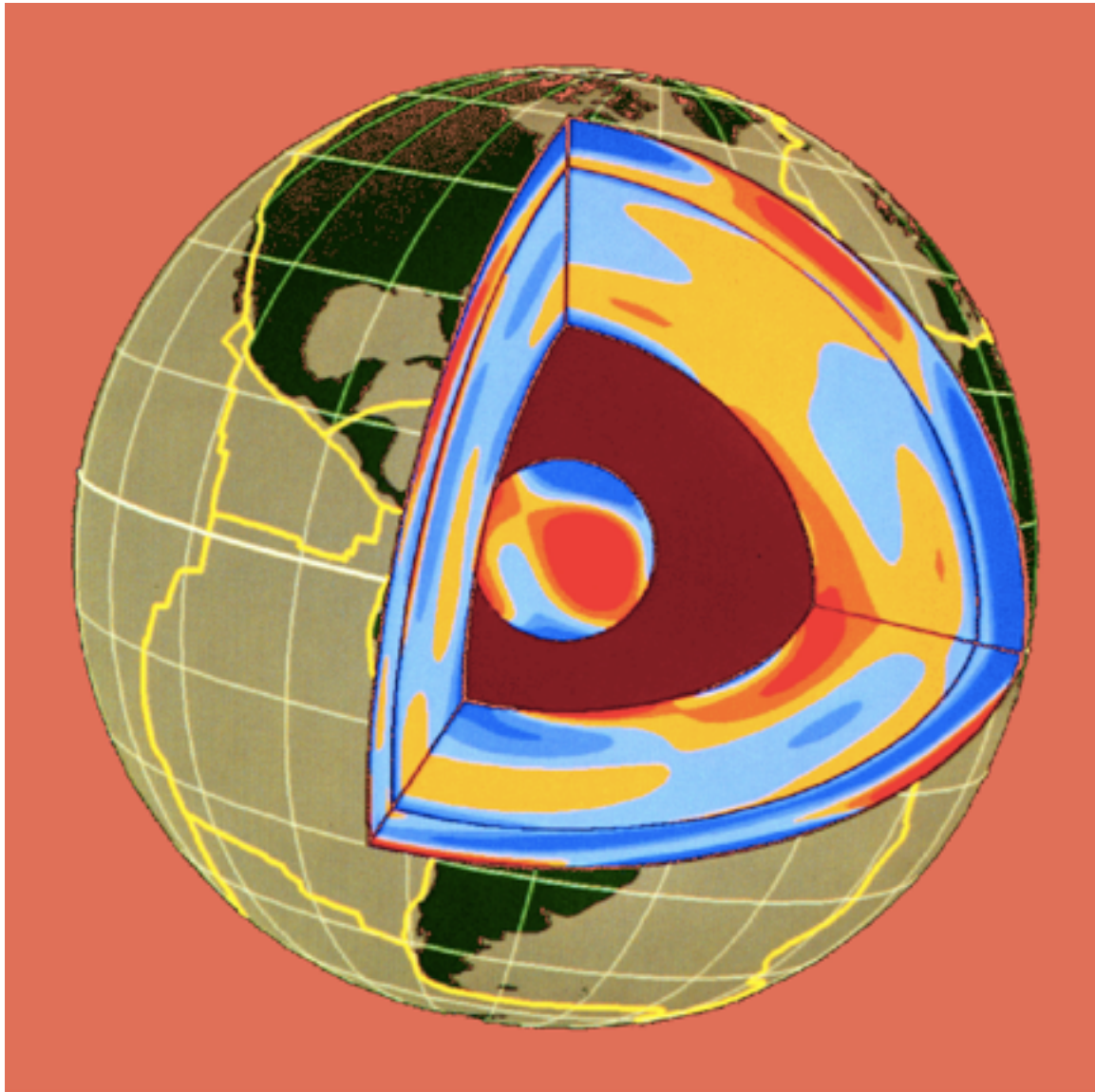
Rochechouart



4566 ma plus tard



La sismologie nous montre une planète essentiellement **solide**



6371 km

Un manteau de silicates solides

3000 km

Un noyau liquide d'alliage de fer

1000 km

Une graine de fer solide

L'écume du manteau



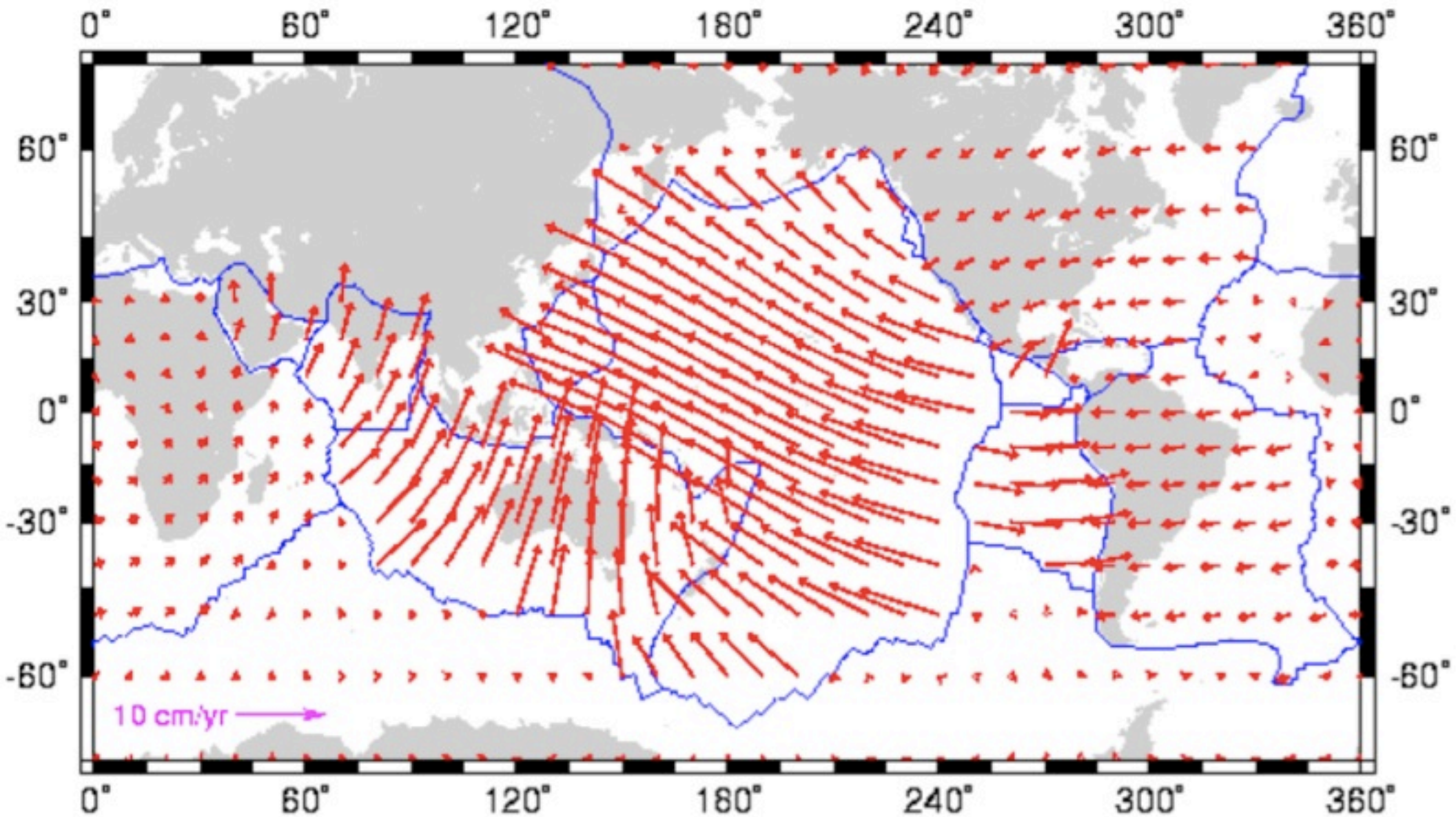
La croute continentale
30 km (le granite)

La croute océanique
7 km (le basalte)

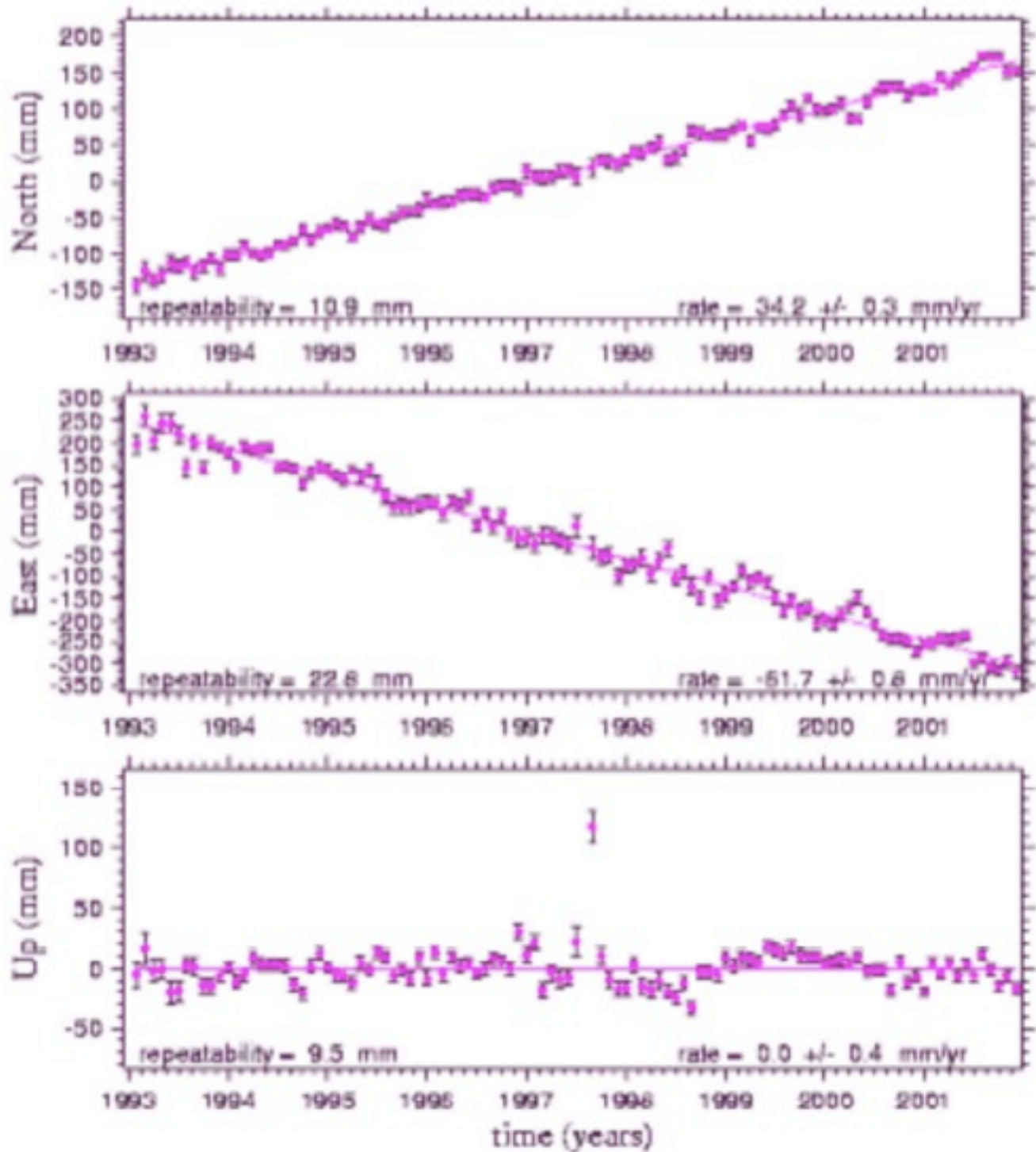
Le manteau
3000 km (la péridotite)



Modèle de la tectonique des plaques



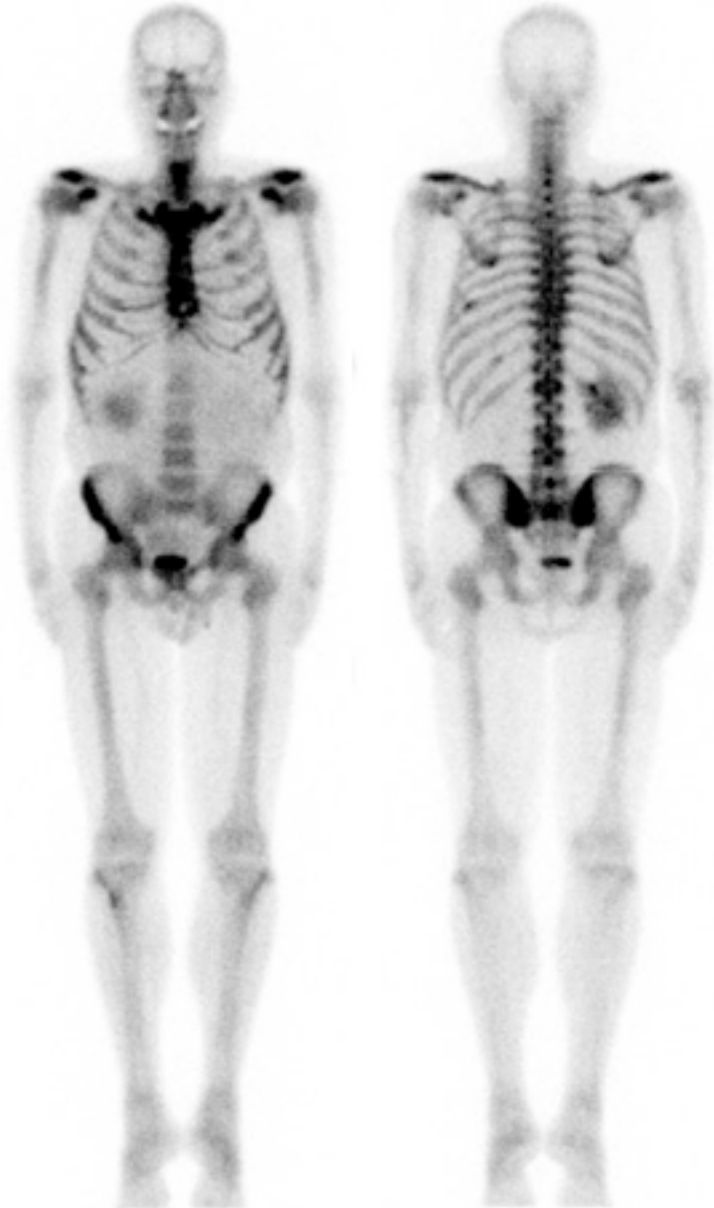
Distance
France-Pacifique
mesurée par GPS



Forages, KTB, de la presqu'île de Kaula...

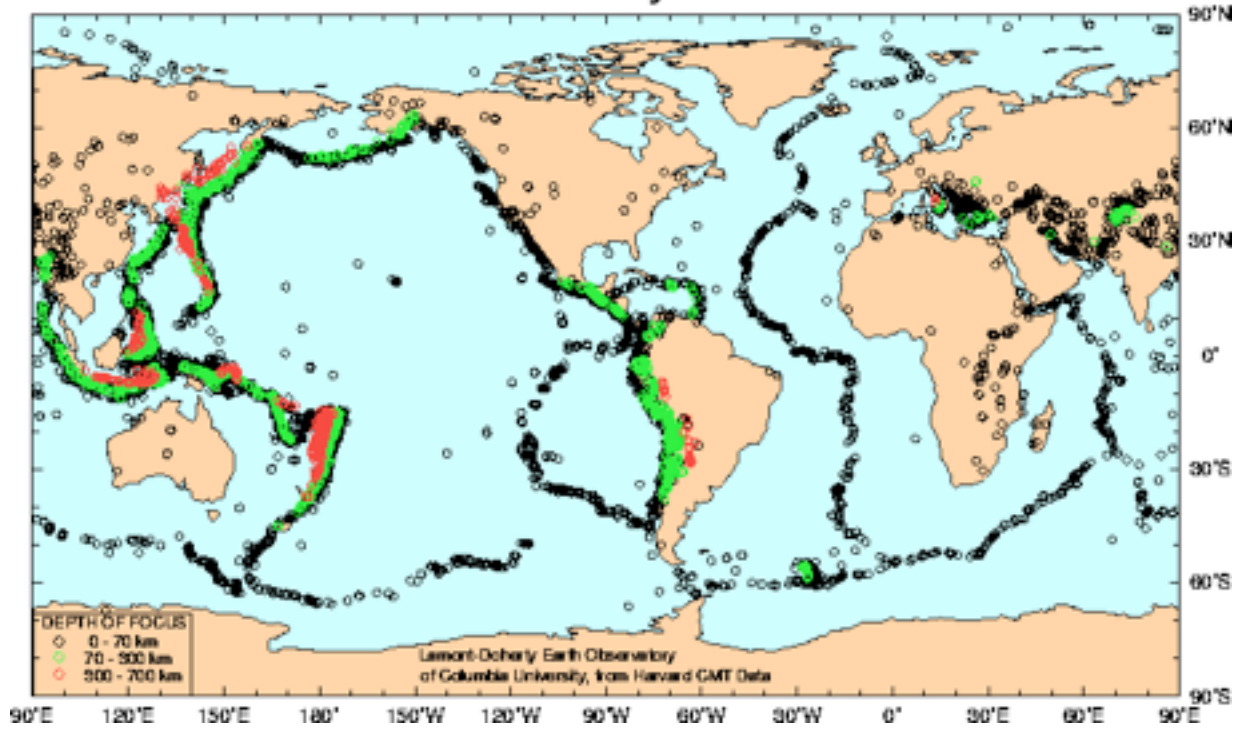


Voir l'intérieur d'une planète ??



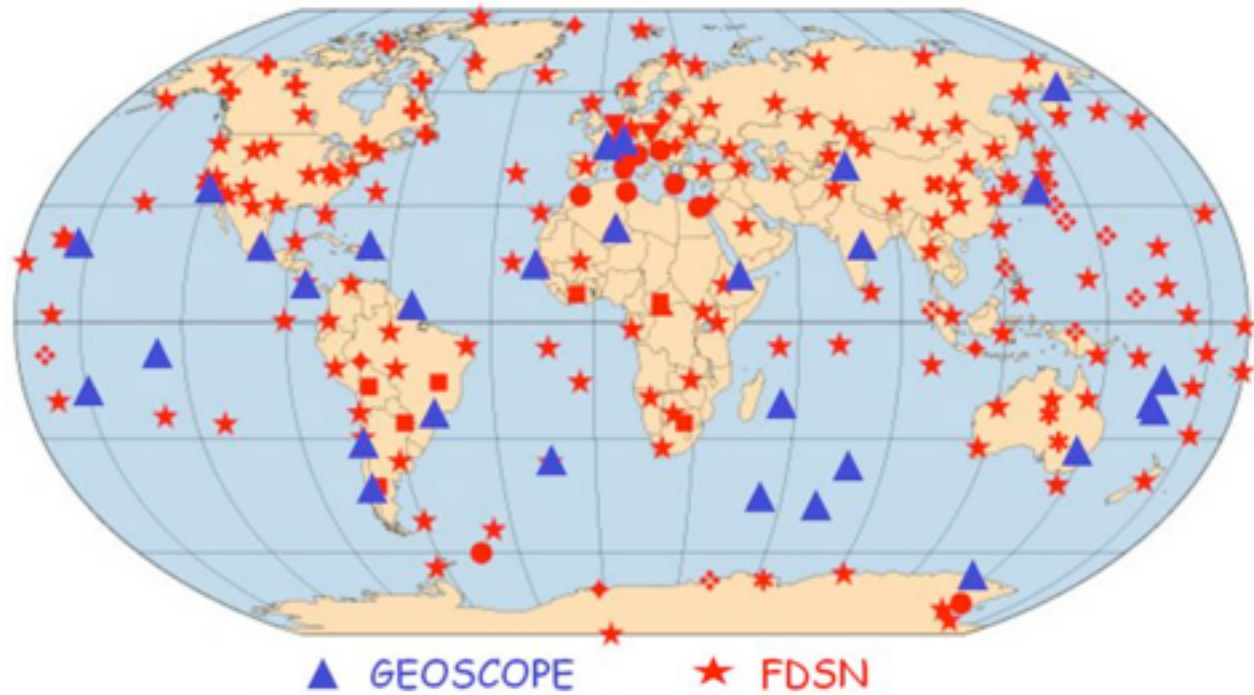
Imagerie
médicale d'atténuation
(Rayon X)

World Seismicity 1977-1992

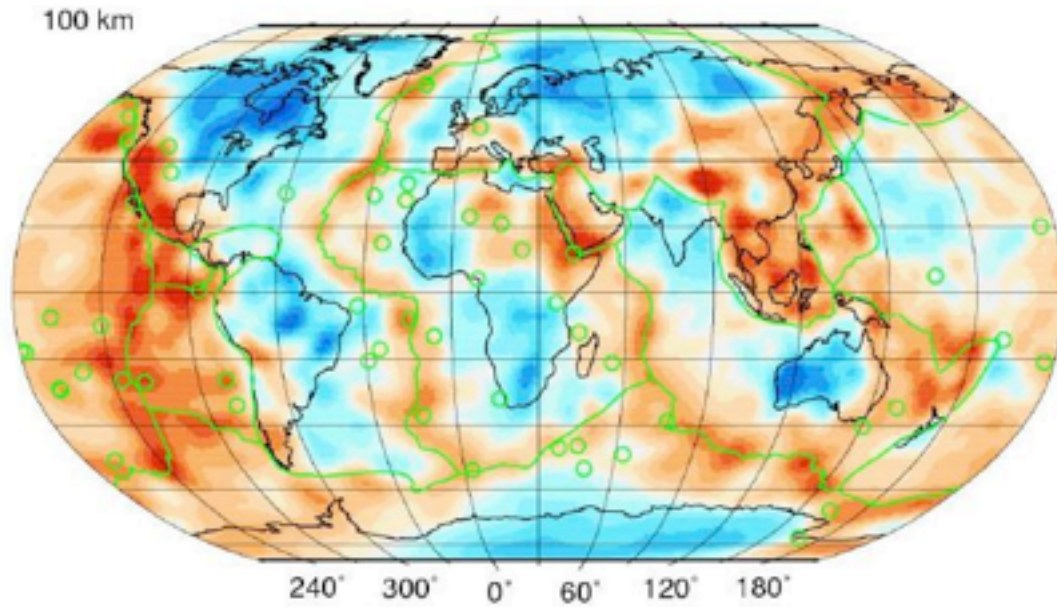


Des séismes (émetteurs)

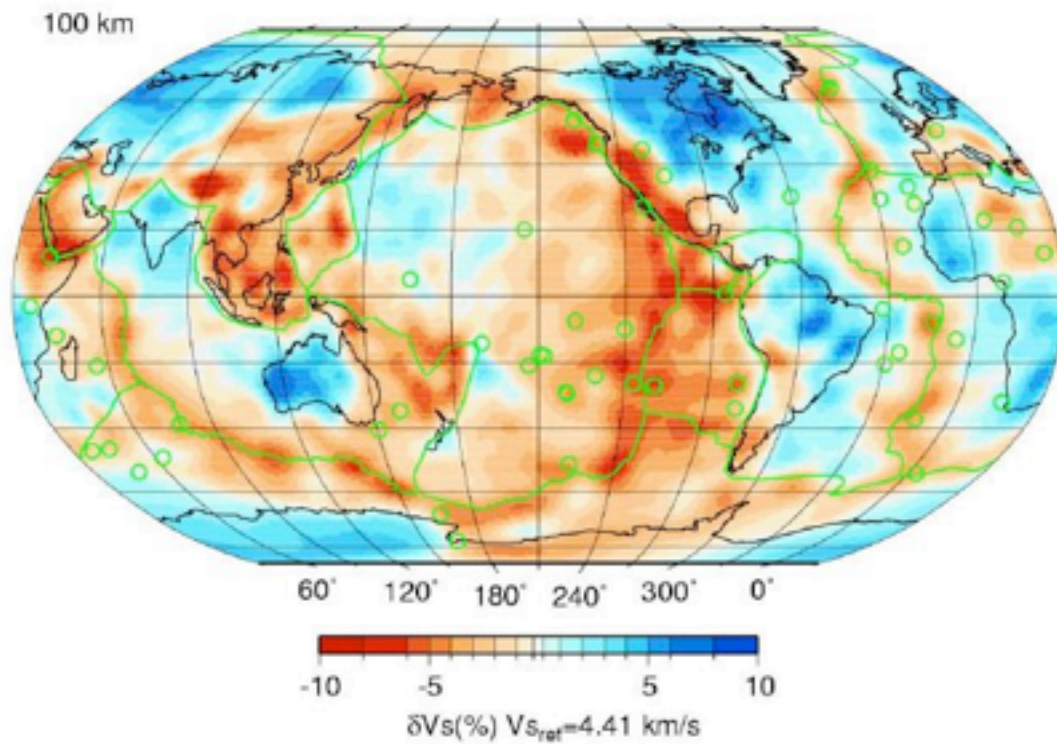
Des stations (récepteurs)

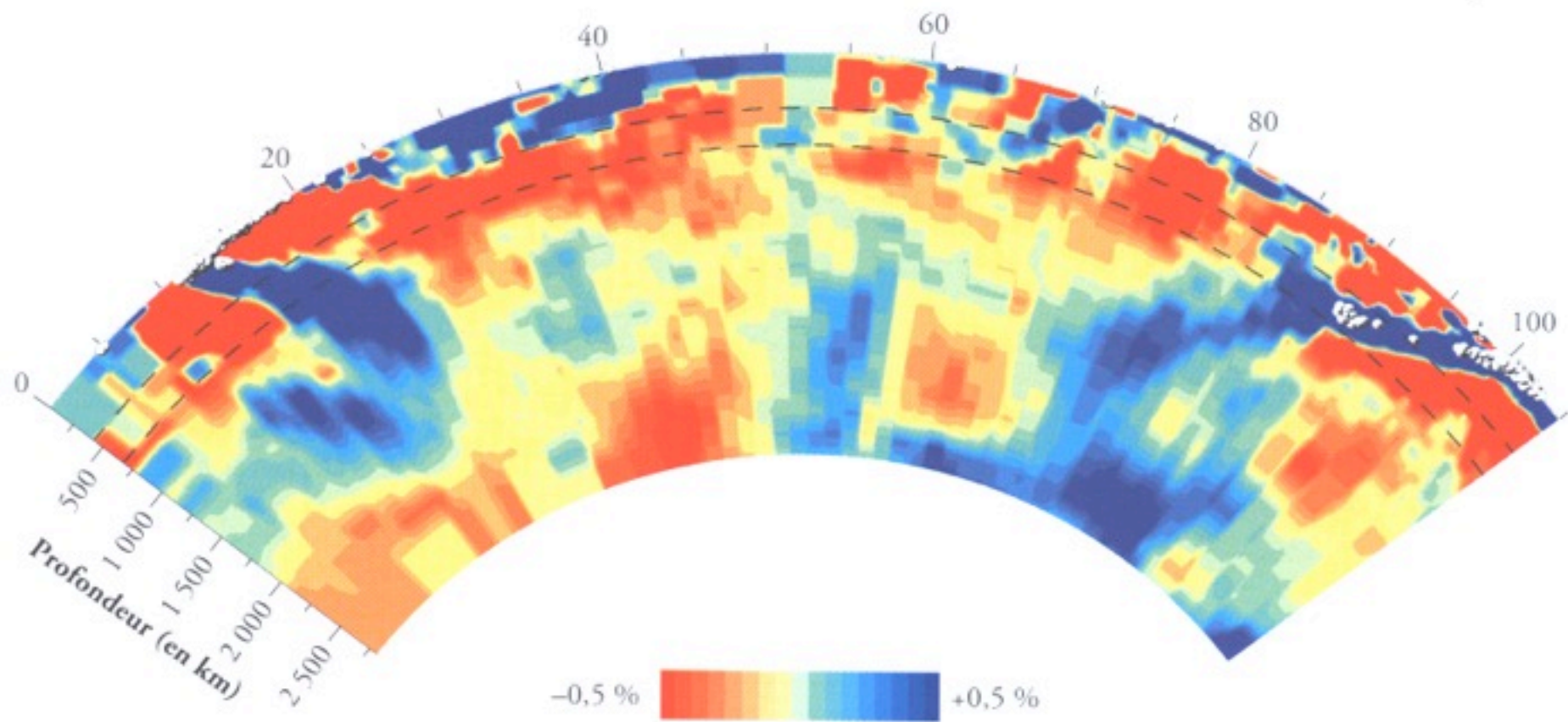
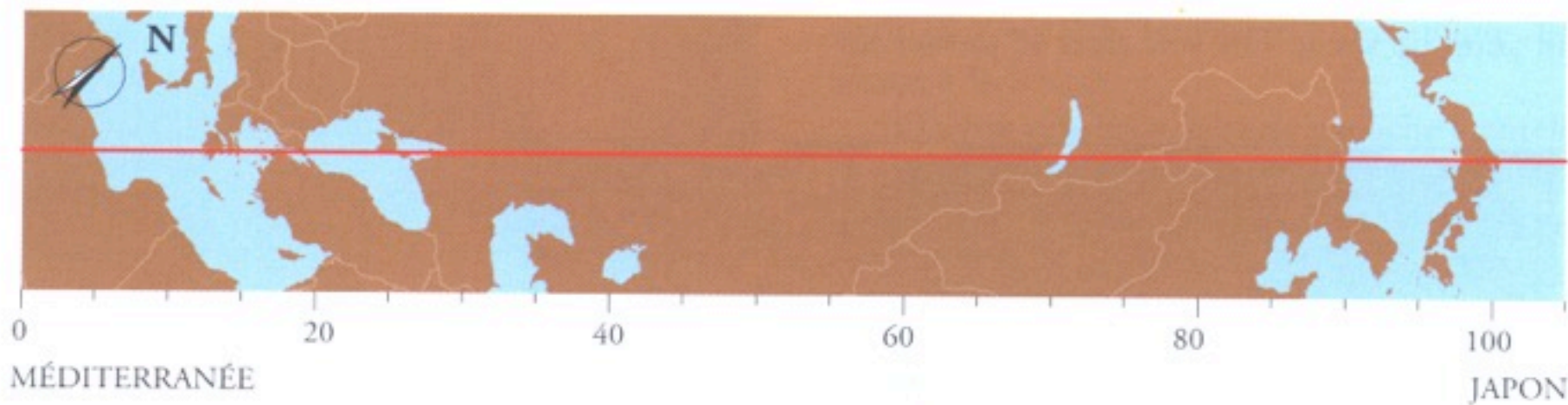


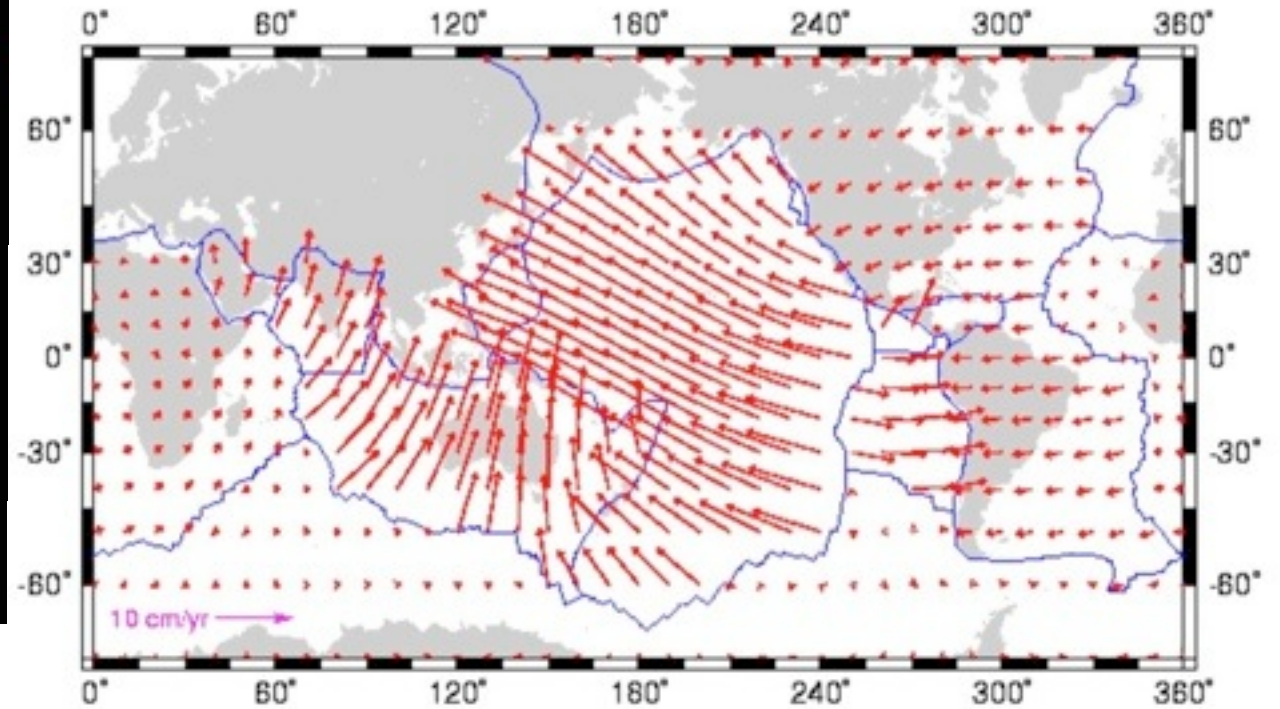
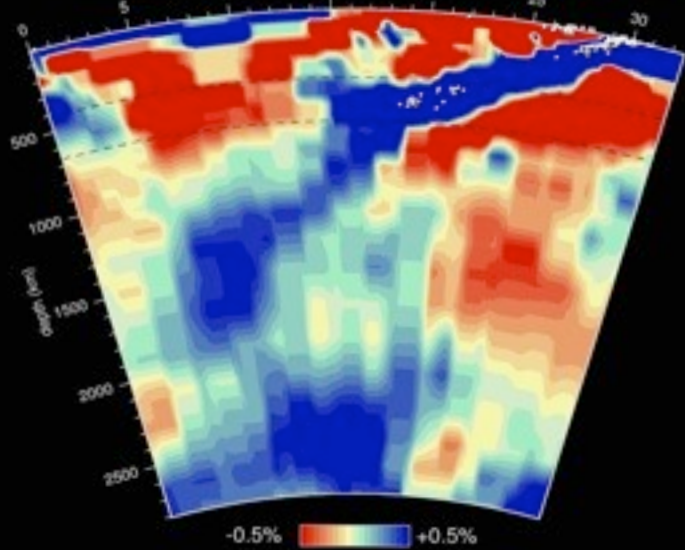
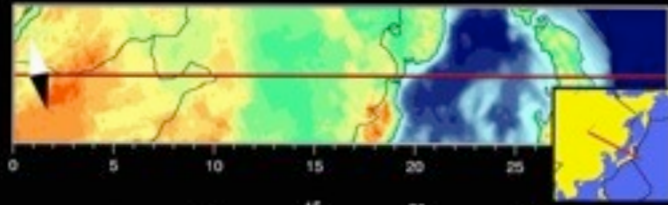
Tomographie sismique



100 km de
profondeur







Solide mais déformable?



Liquide

Solide





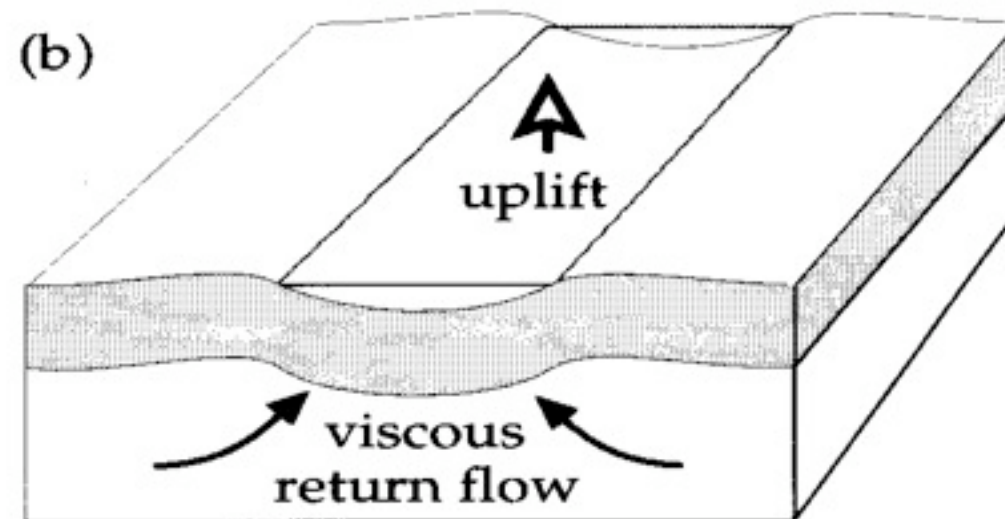
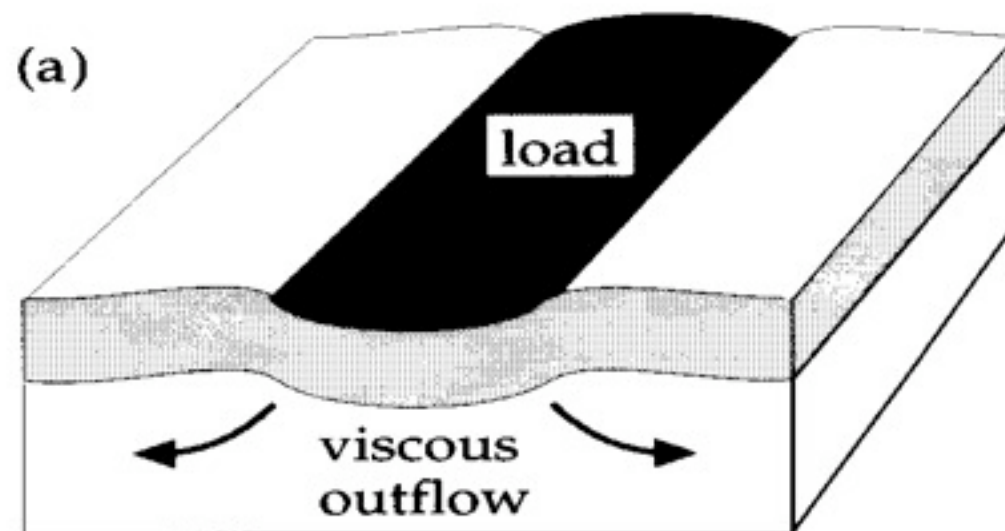
Liquide

Un problème de viscosité
un problème de temps...

Solide



Une mesure de la viscosité:
le rebond post-glaciaire



Finland



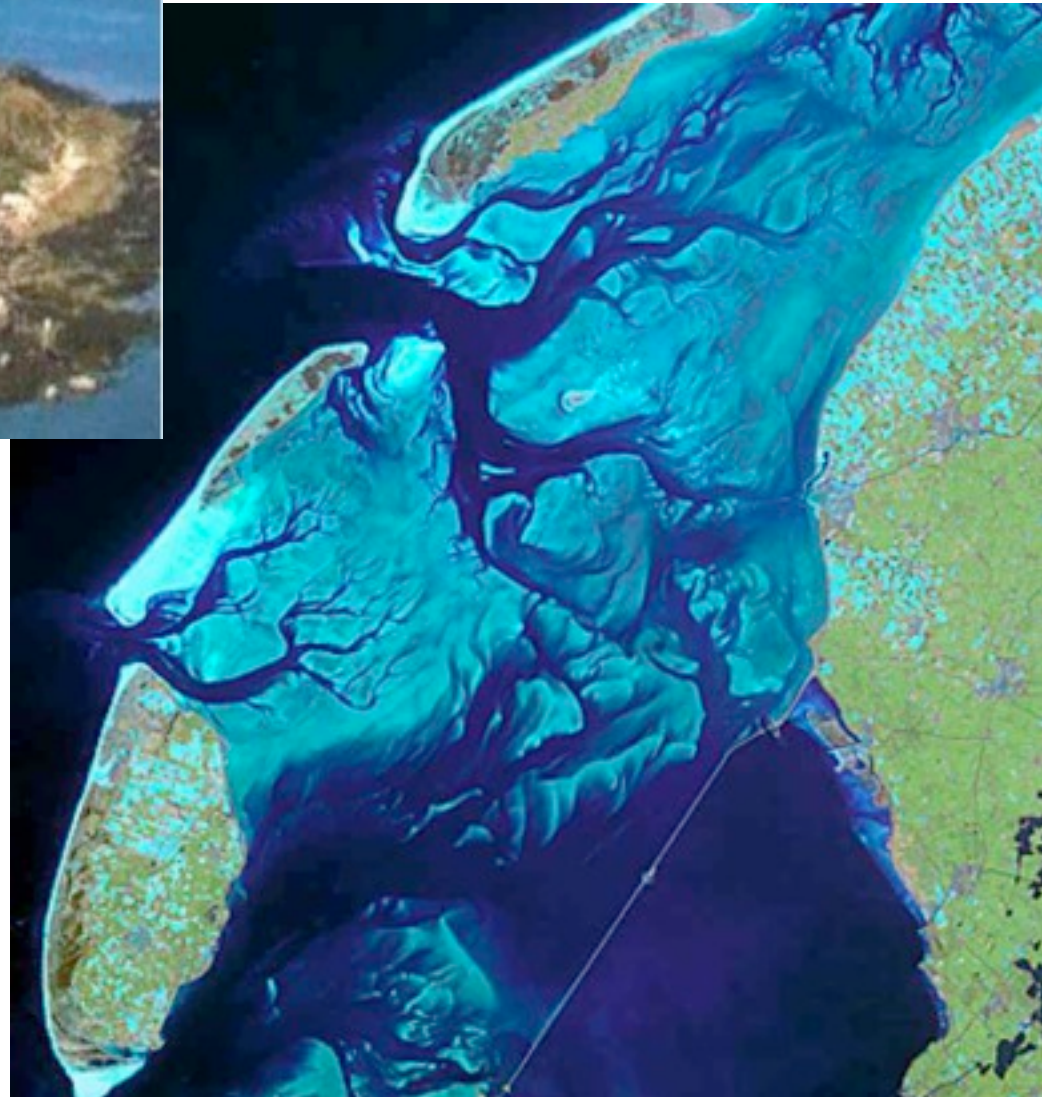
Hudson



Scotland



Bretagne

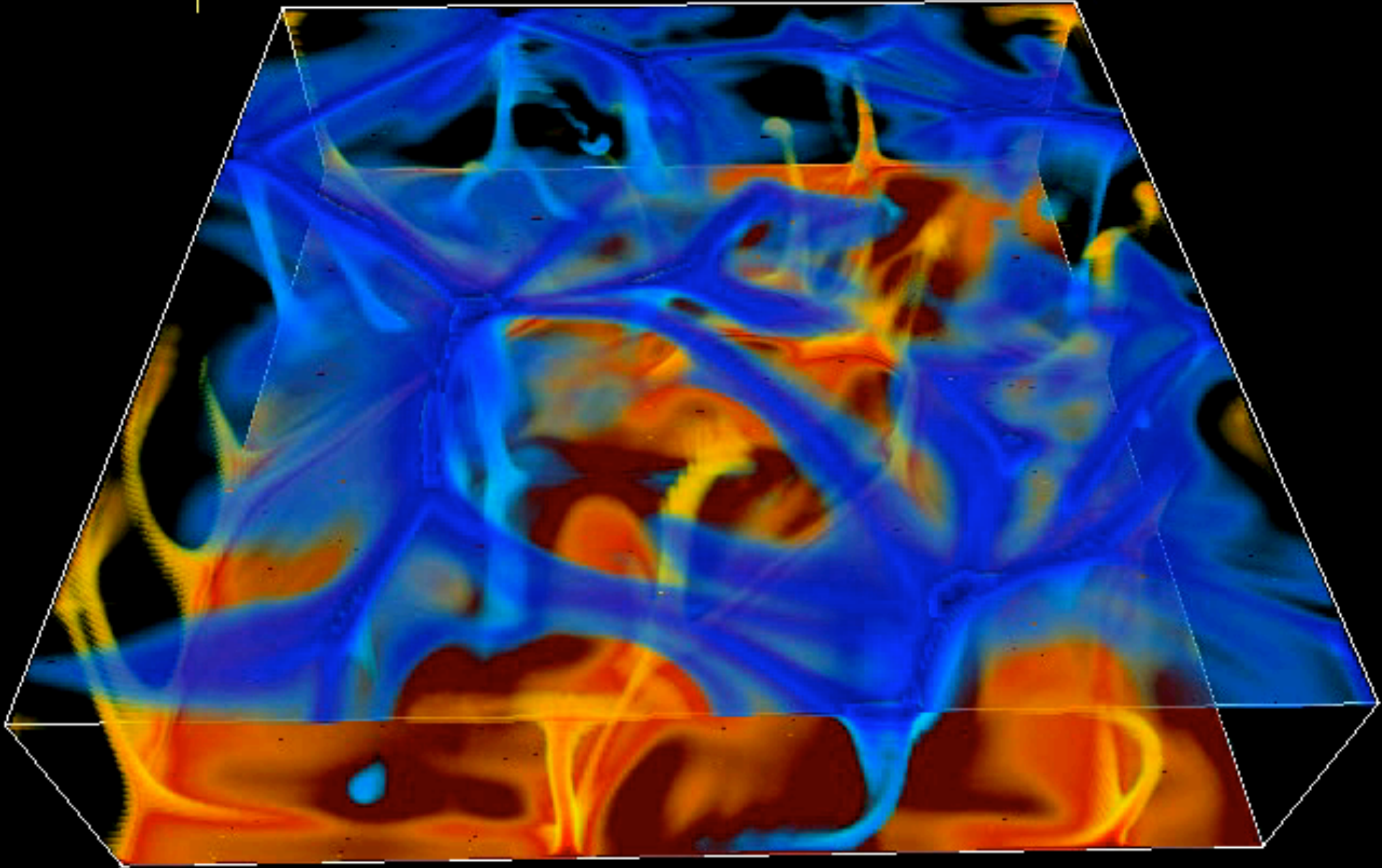


Hollande

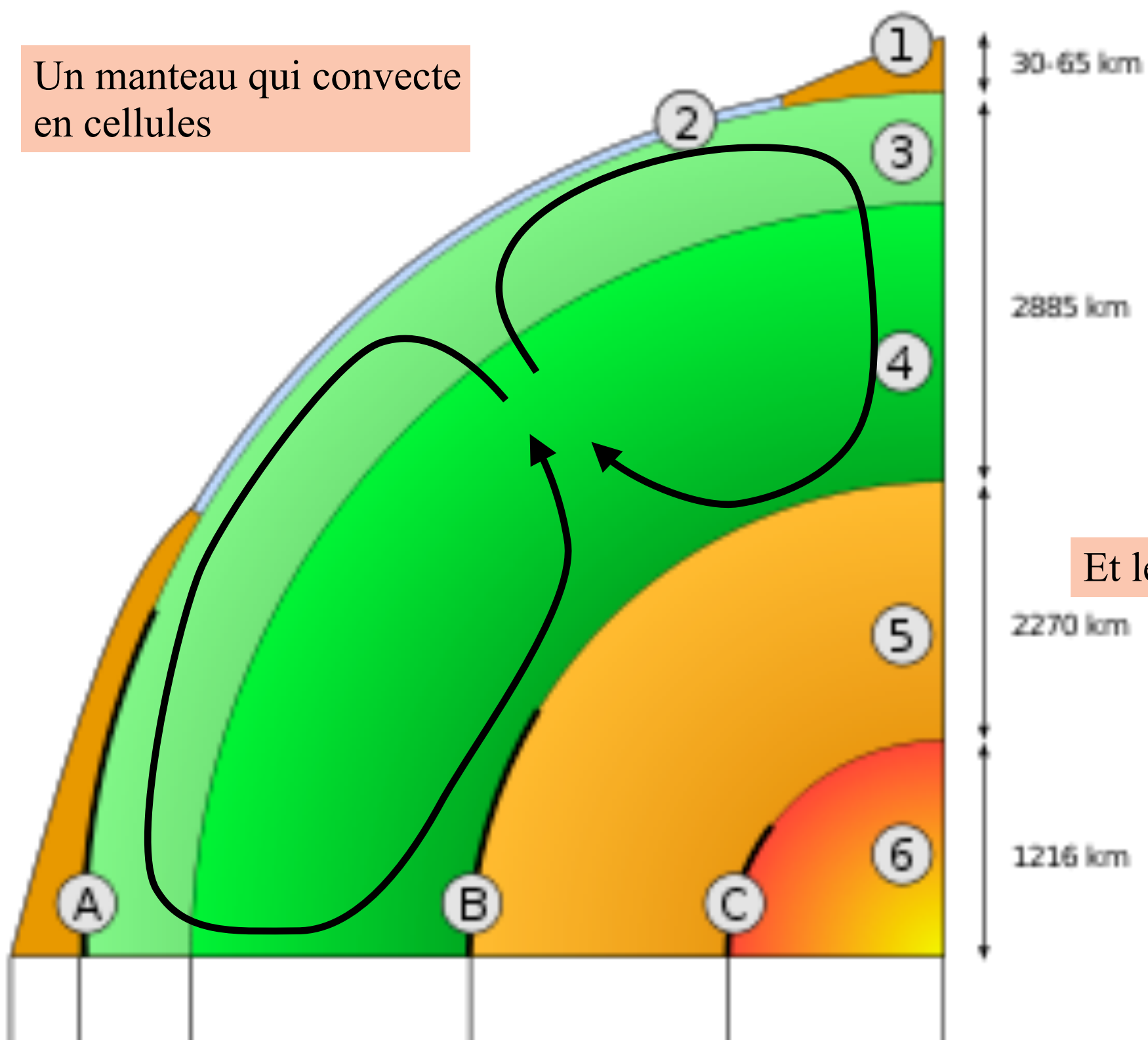
Bien que solide, extraordinairement visqueux, les lois de la physique montrent que le manteau terrestre doit se mettre spontanément en mouvement pour évacuer sa chaleur:

c'est le phénomène de la «convection»

Nstep = 100 Time = 0.000027

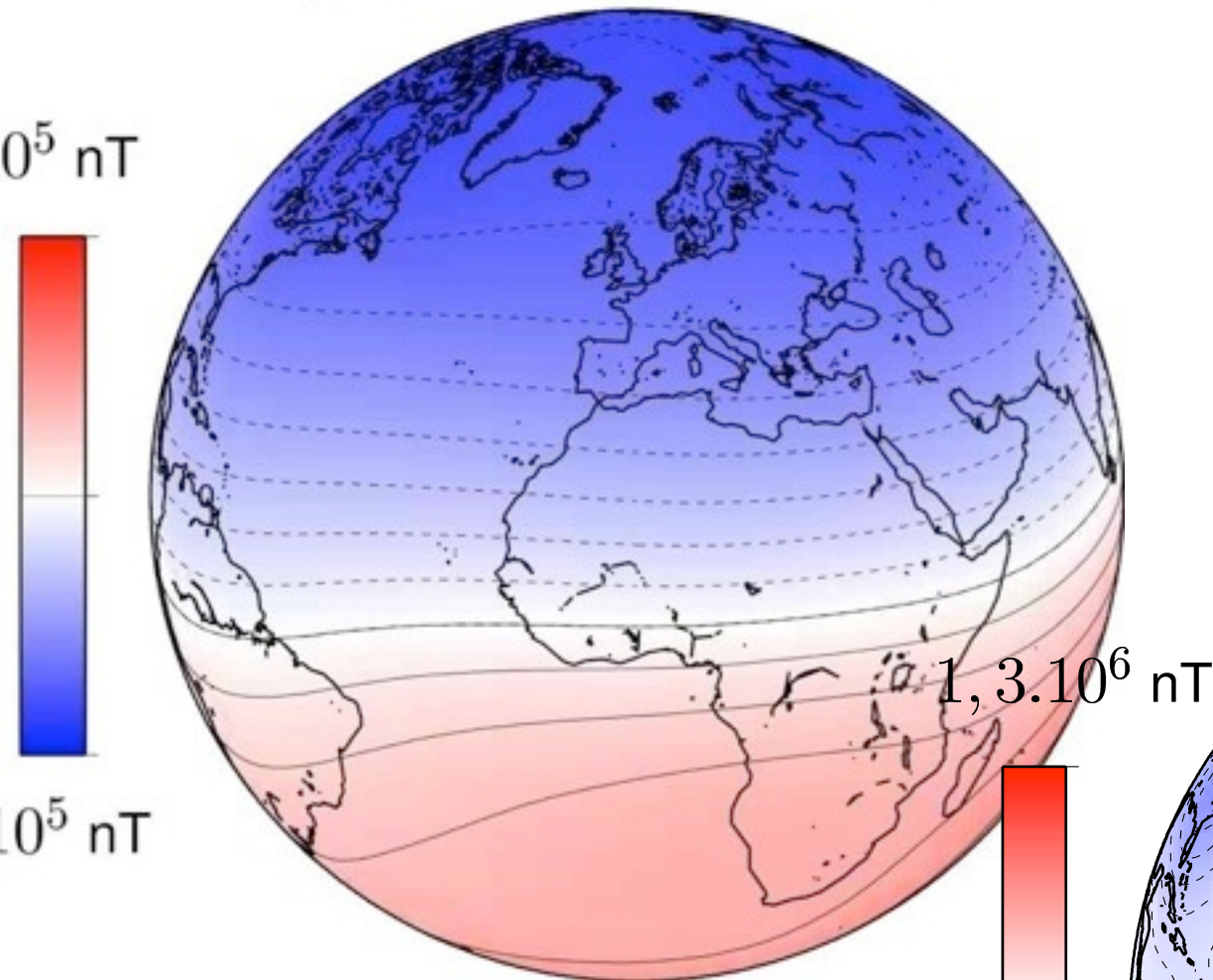


Un manteau qui convecte en cellules

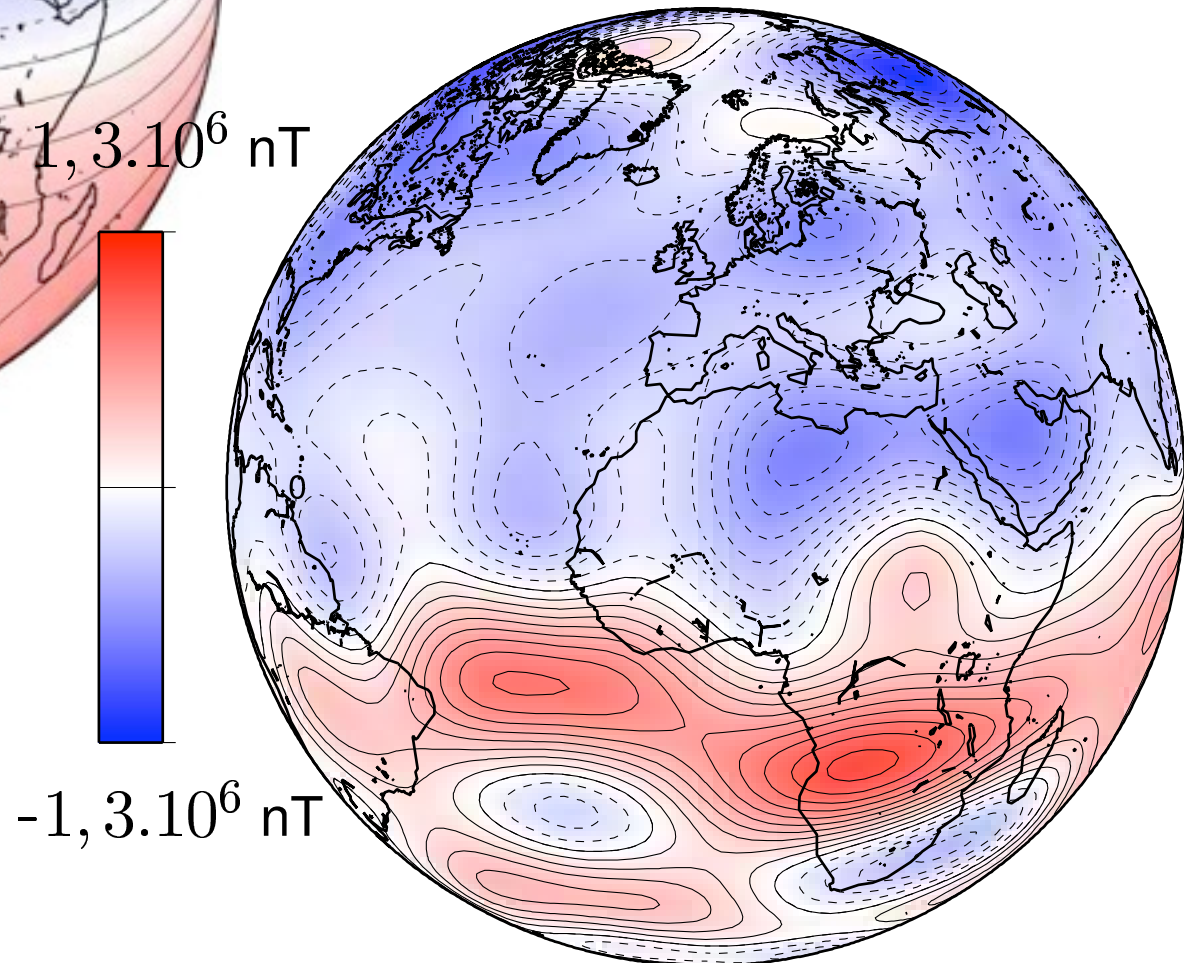


Et le noyau??

B_r à la surface de la Terre



B_r à la surface du noyau



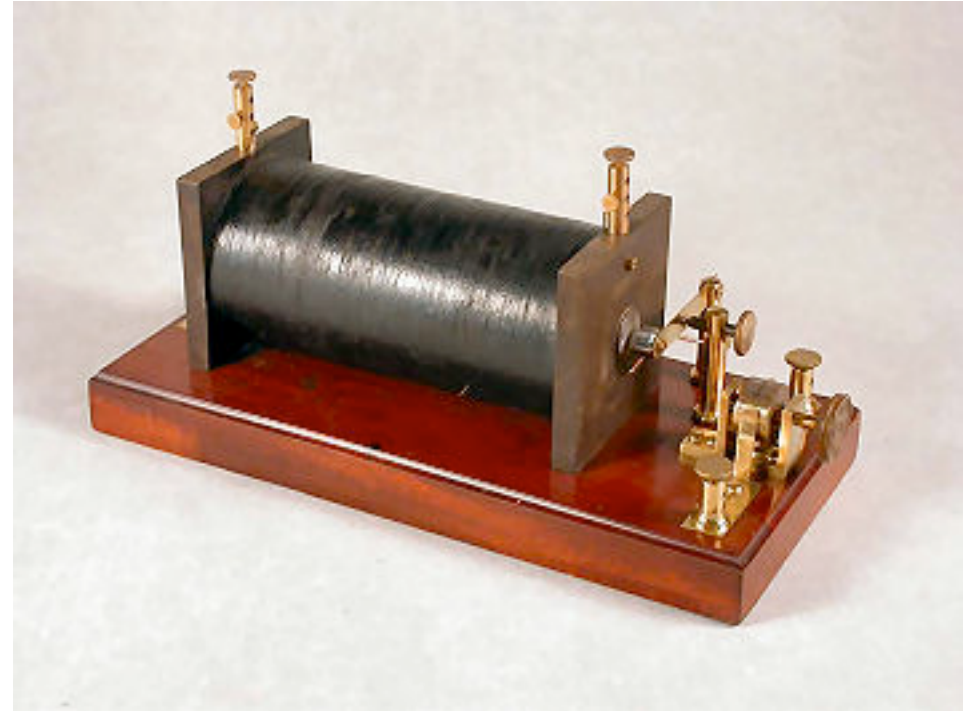
Dans le noyau se forme
le champ magnétique

Un fluide très peu visqueux
dominé par la rotation...



cyclone Katrina

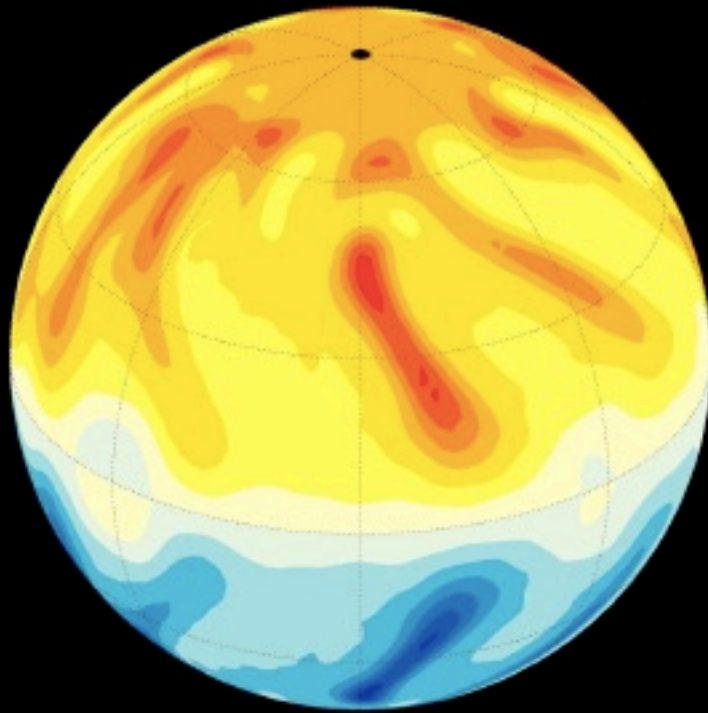
Un conducteur qui s'enroule en
spirale...



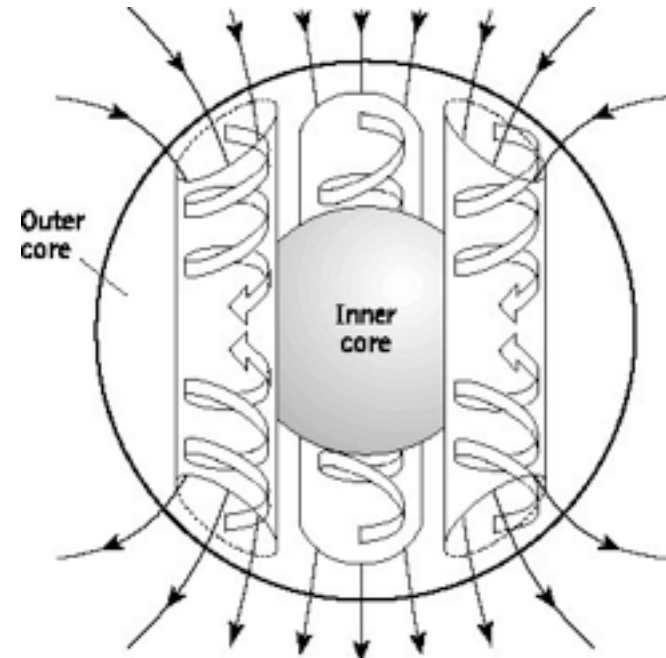
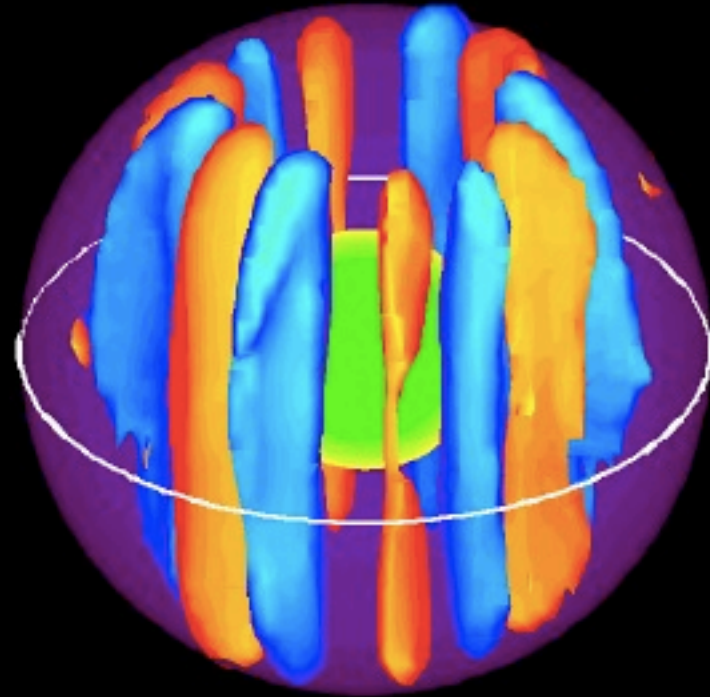
bobine électrique

Numerical Dynamo Model -- 3D Structure

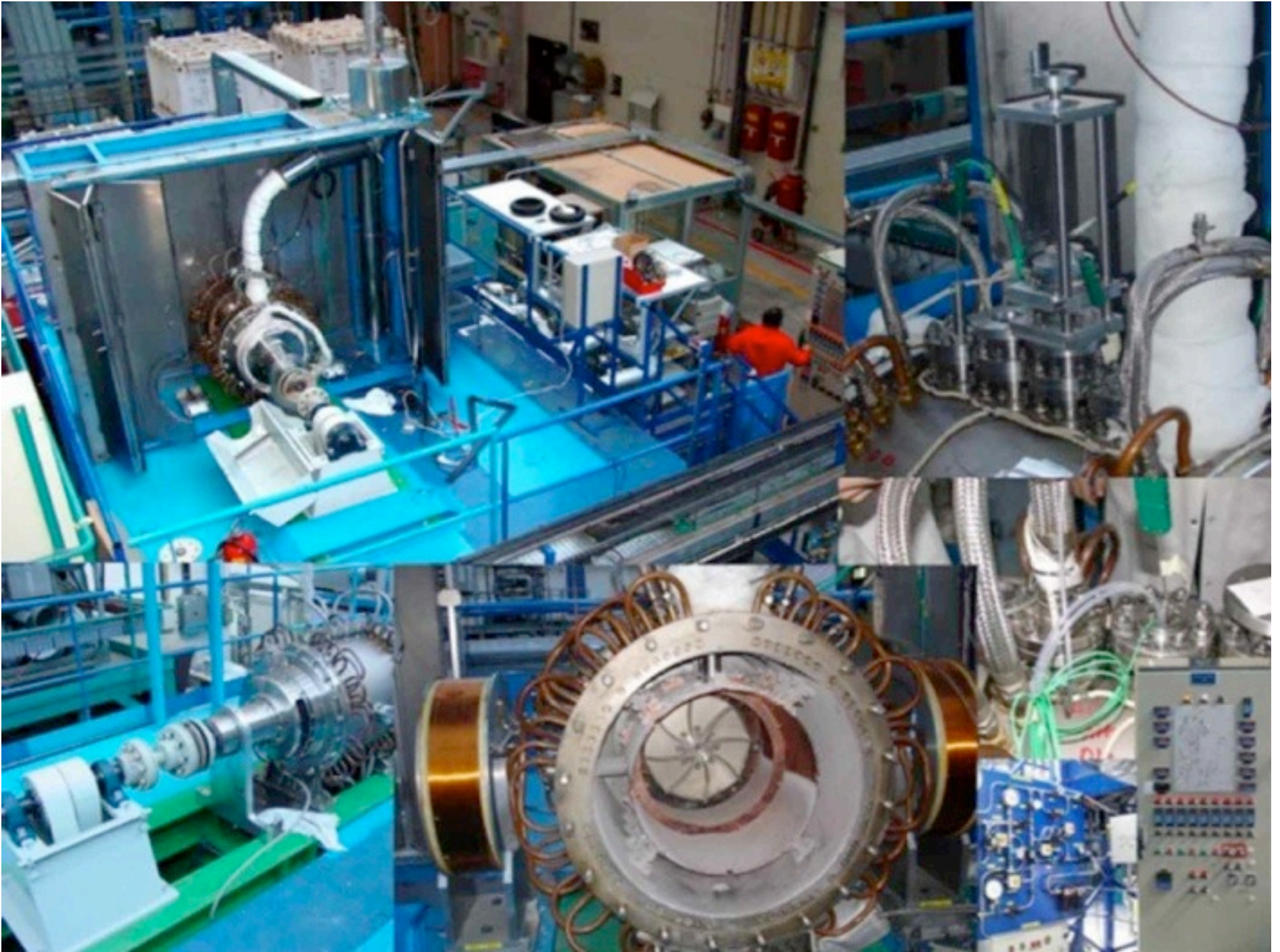
CMB
Radial
Field



Axial
Vorticity

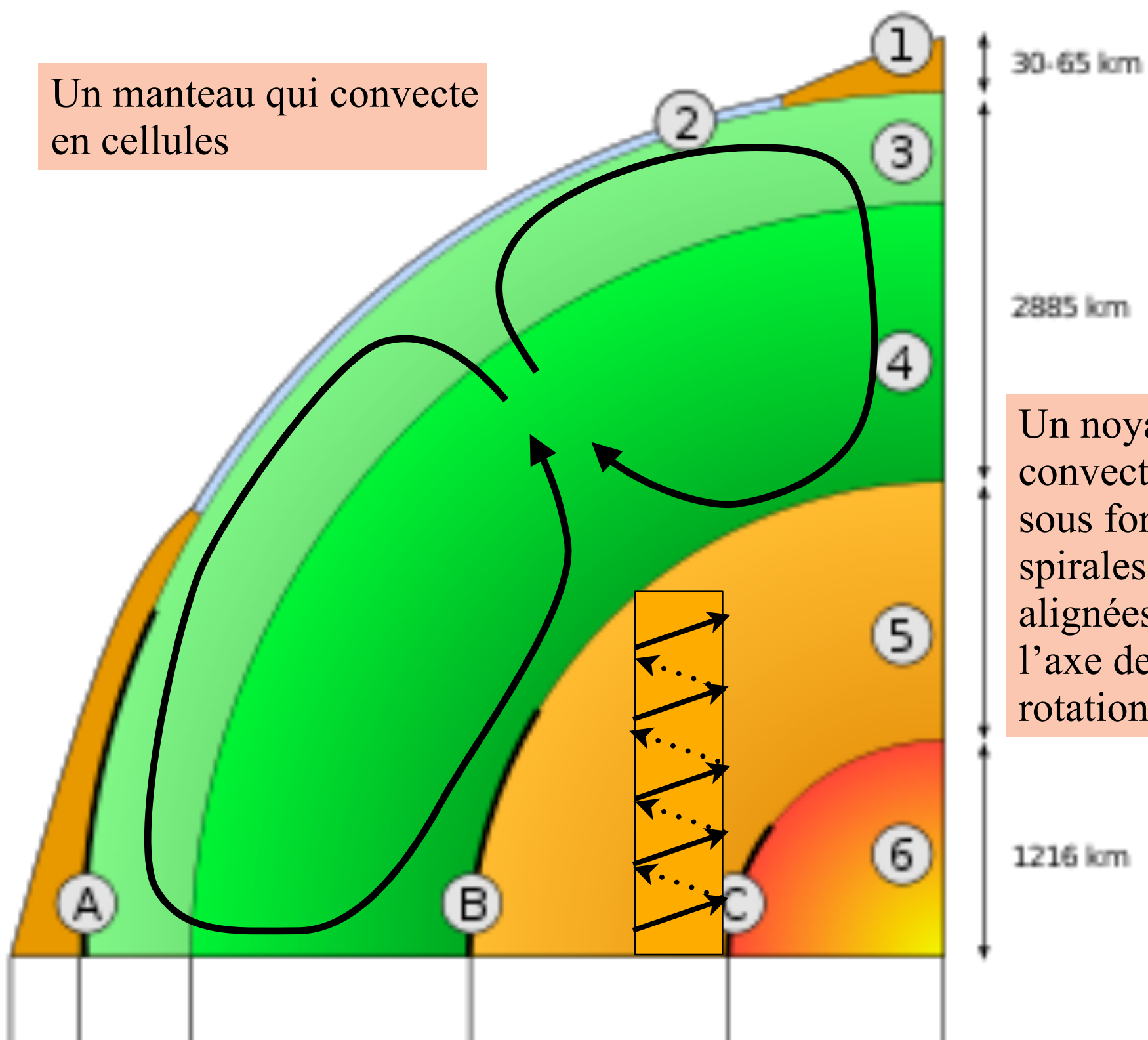


ENSL-CEA Cadarache





Un manteau qui convecte en cellules

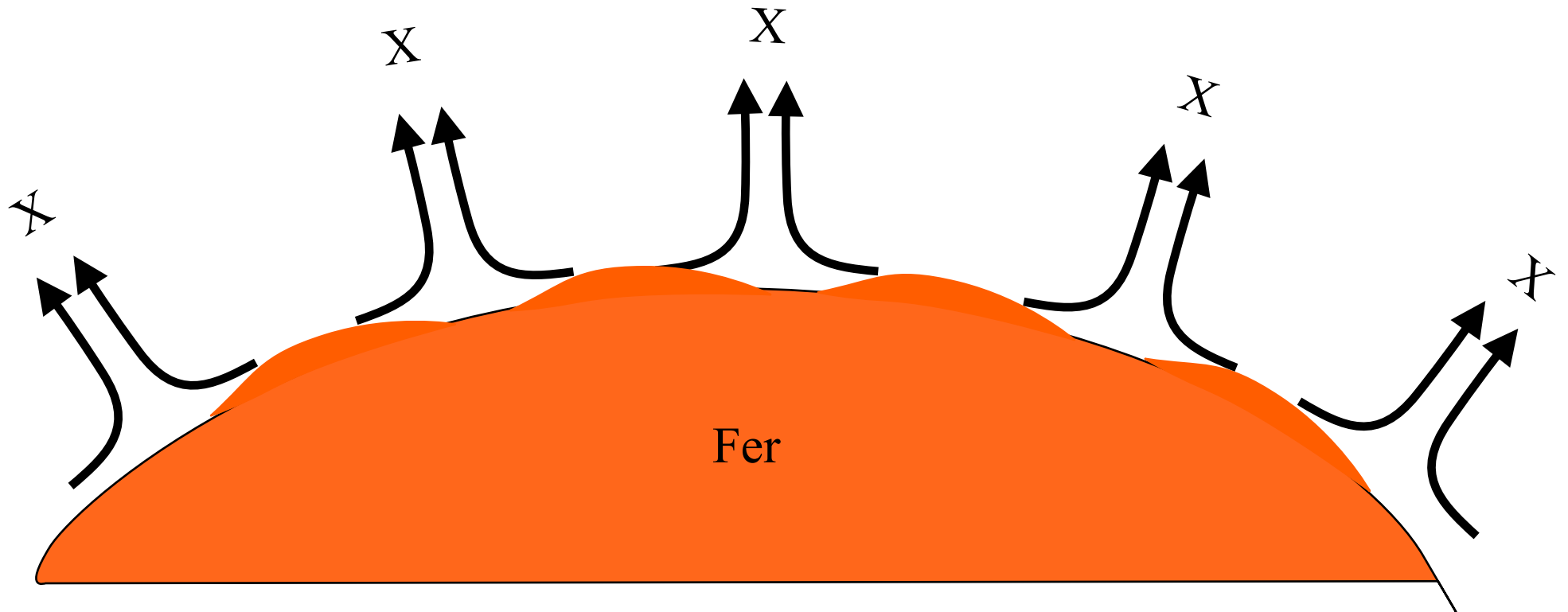


Un noyau qui convecte sous forme de spirales alignées avec l'axe de rotation

La cristallisation de la graine

X= élément léger
C, O, S...

liquide Fer+X



1 Le fer cristallise

Sur le bord de la graine, le fer cristallise sous forme de petits cristaux qui migrent vers l'est. Des éléments légers (soufre, etc.) sont rejetés à l'extérieur de la graine.

2 Les cristaux de fer migrent

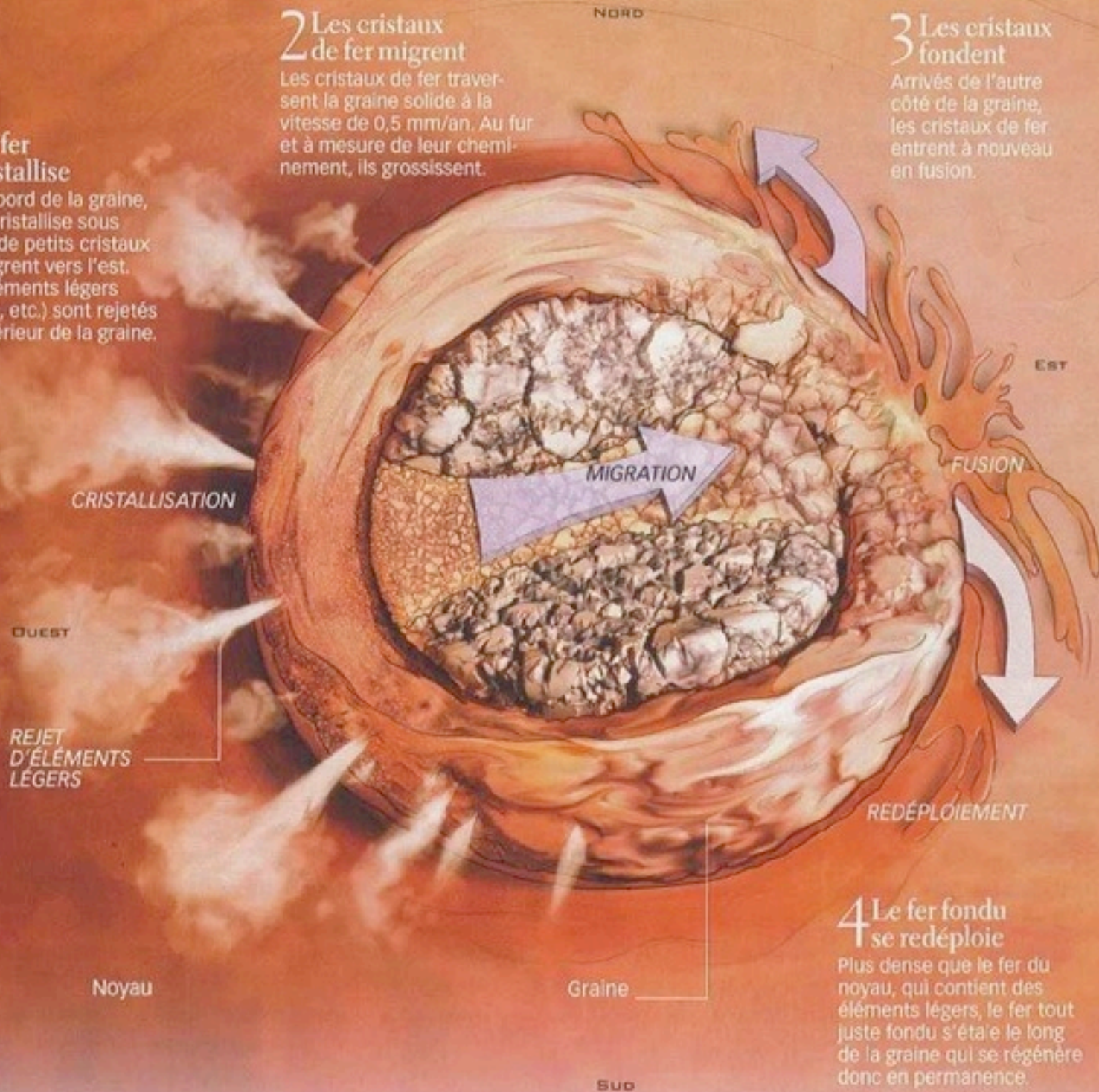
Les cristaux de fer traversent la graine solide à la vitesse de 0,5 mm/an. Au fur et à mesure de leur cheminement, ils grossissent.

3 Les cristaux fondent

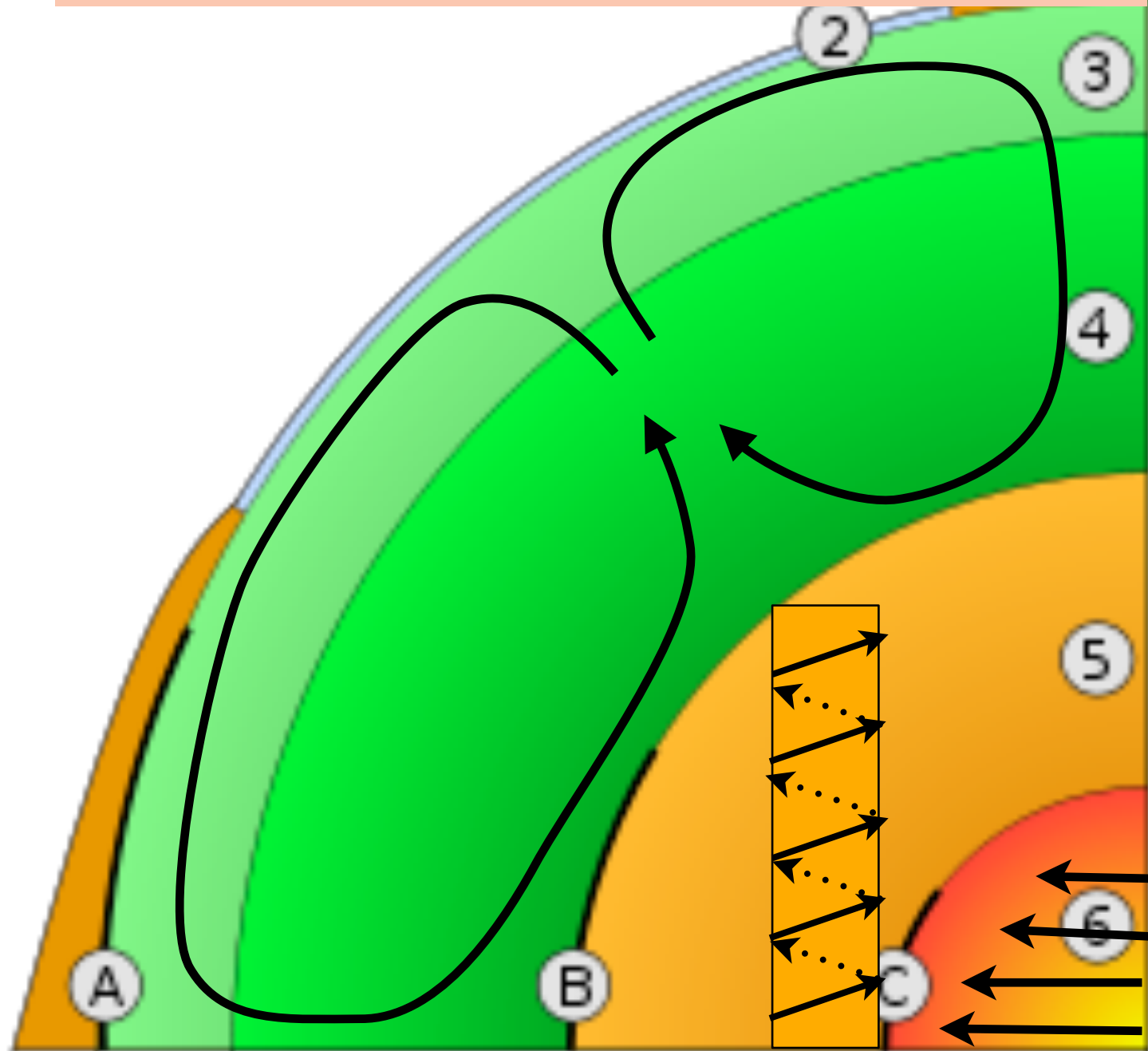
Arrivés de l'autre côté de la graine, les cristaux de fer entrent à nouveau en fusion.

4 Le fer fondu se redéploie

Plus dense que le fer du noyau, qui contient des éléments légers, le fer tout juste fondu s'étale le long de la graine qui se régénère donc en permanence.



Une planète incroyablement active



30-65 km



Copyright © 1998 - P. L. Boudry

1216 km

Un temps géologique incroyablement long

Une planète économe



Des continents qui se déplacent, des montagnes qui surgissent, un champ magnétique qui nous enveloppe, utilisent 40 Terawatt ou 40 000 000 000 000 watts ou 6 kW/habitants

Le Français dépense 6 kW en moyenne un habitant de la planète utilise 2 kW



ps: le soleil fournit 3000 fois plus d'énergie

vendredi 19 novembre 2010