

**Structure et dynamique  
du système  
Lithosphère/Asthénosphère**

**4-Méthodes sismologiques et magnéto-telluriques:  
structure "stratifiée" dans le manteau supérieur**

Barbara Romanowicz - Cours 2013  
-Chaire de Physique de l'Intérieur de la Terre  
Collège de France  
28 Octobre 2013

---

---

---

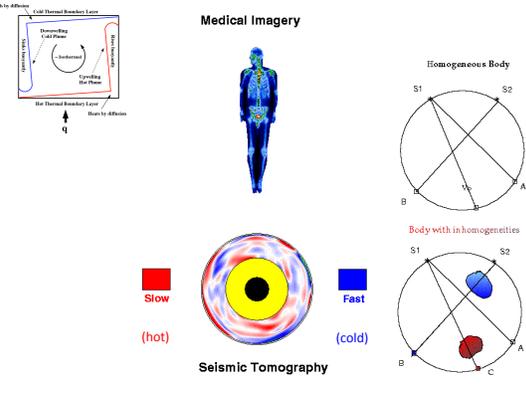
---

---

---

---

---



**Medical Imaging**

Heat by diffusion  
Heat by advection

**Seismic Tomography**

Slow (hot)  
Fast (cold)

Homogeneous Body  
Body with inhomogeneities

---

---

---

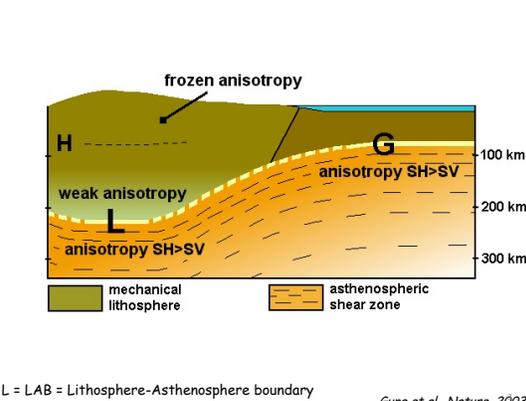
---

---

---

---

---



**frozen anisotropy**

**weak anisotropy**

**anisotropy SH > SV**

**anisotropy SH > SV**

mechanical lithosphere  
asthenospheric shear zone

L = LAB = Lithosphere-Asthenosphere boundary

*Gung et al., Nature, 2003*

---

---

---

---

---

---

---

---

## Méthodes sismologiques: II - ondes de volume:

- Biréfringence ("splitting") -> anisotropie
- Ondes réfléchies et converties aux discontinuités de structure
- Stratification dans les océans et les continents

4

---

---

---

---

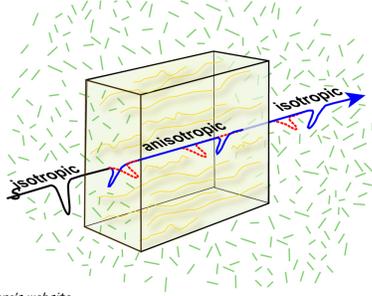
---

---

---

---

## Anisotropie et ondes de volume de cisaillement: "biréfringence"



From Ed Garnero's website

(After Crampin, 1981)

5

---

---

---

---

---

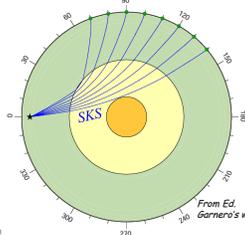
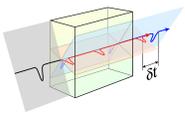
---

---

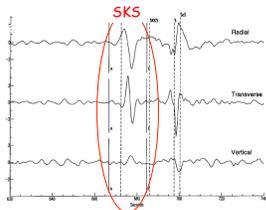
---

## "Splitting" des ondes SKS:

Milieu anisotrope



From Ed. Garnero's website



Dans un milieu isotrope, SKS est polarisé en "SV" et observé sur la composante radiale mais pas sur la composante transversale.

6

---

---

---

---

---

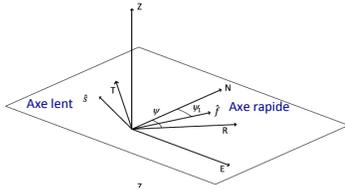
---

---

---

On représente le "splitting" moyenné en chaque station par 2 paramètres:

- > La direction de l'axe de vitesse rapide ( $\Psi_1$ )
- > la différence de temps entre l'onde lente et rapide:  $\delta t$



$$\Psi - \Psi_1 = \beta$$

$$R(t) \sim \cos^2 \beta \cos \omega t + \sin^2 \beta \cos(\omega t - \omega \delta t)$$

$$T(t) \sim 0.5 \sin 2\beta \cos \omega t - 0.5 \sin 2\beta \cos(\omega t - \omega \delta t)$$

---

---

---

---

---

---

---

---

$$R(t) \sim \cos^2 \beta \cos \omega t + \sin^2 \beta \cos(\omega t - \omega \delta t)$$

$$T(t) \sim 0.5 \sin 2\beta \cos \omega t - 0.5 \sin 2\beta \cos(\omega t - \omega \delta t)$$

En supposant que  $\omega \delta t \ll 1$ , on obtient au 1<sup>er</sup> ordre:

$$R(t) \approx \cos \omega t$$

$$T(t) \approx -0.5 \omega \delta t \sin 2\beta \sin \omega t$$

soit

$$T(t) \approx 0.5 \delta t \sin 2\beta R'(t)$$

- > La composante T se comporte comme la dérivée en temps de la composante radiale
- > Le rapport d'amplitude T/R dépend de  $\sin 2\beta$

---

---

---

---

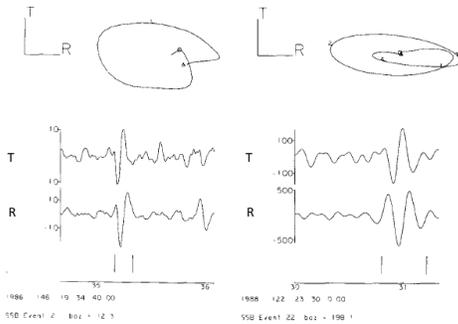
---

---

---

---

Splitting des ondes SKS: Mouvement de particules elliptique :  
2 exemples à la station Geoscope: SSB



Vinnik et al, BSSA, 1989

---

---

---

---

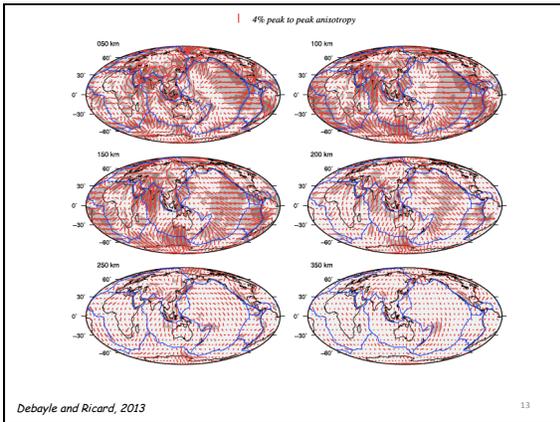
---

---

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

- Construction d'un modèle d'anisotropie azimuthale par inversion conjointe:
  - 1) Ondes de surface + harmoniques
  - 2) Splitting SKS

---

---

---

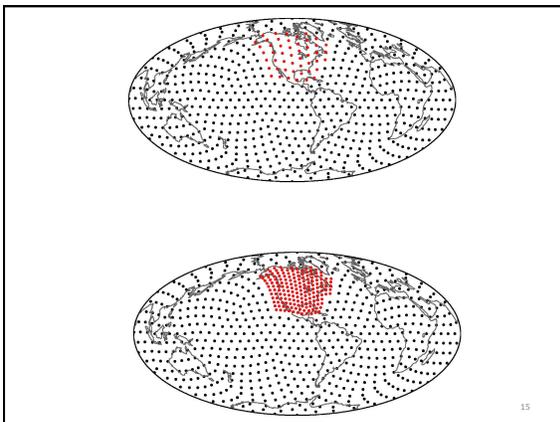
---

---

---

---

---



---

---

---

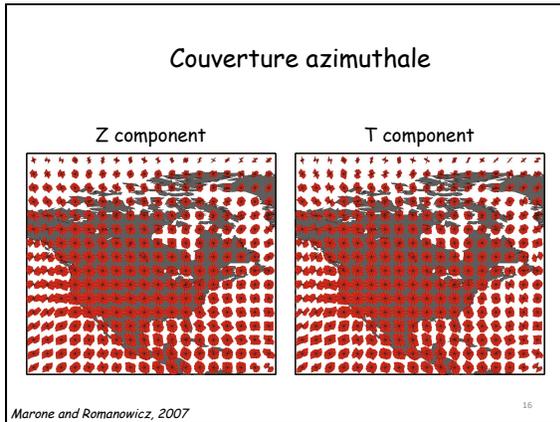
---

---

---

---

---




---

---

---

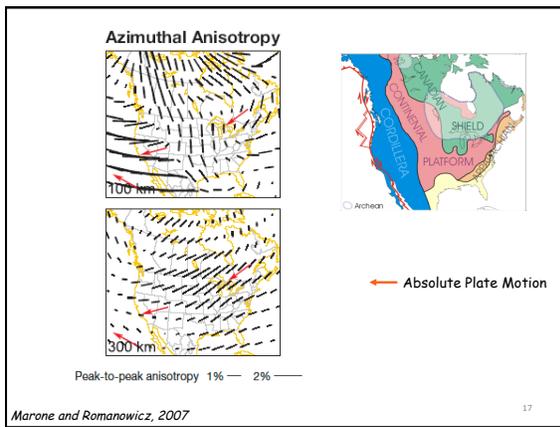
---

---

---

---

---




---

---

---

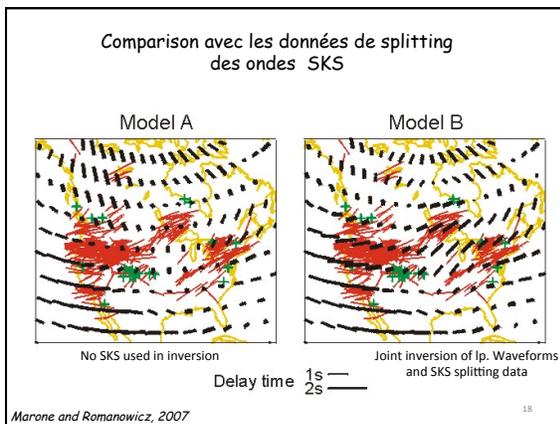
---

---

---

---

---




---

---

---

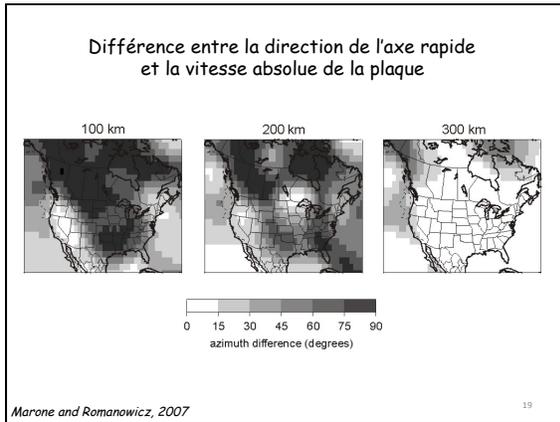
---

---

---

---

---




---

---

---

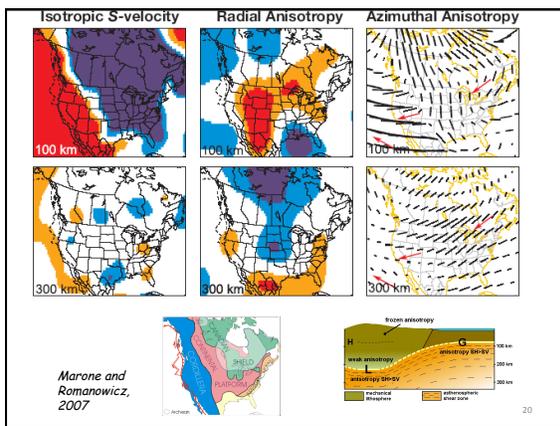
---

---

---

---

---




---

---

---

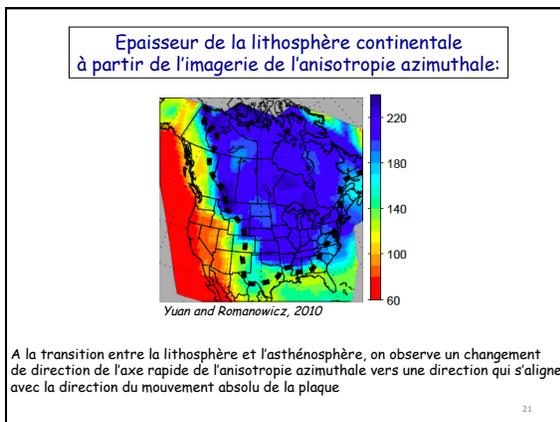
---

---

---

---

---




---

---

---

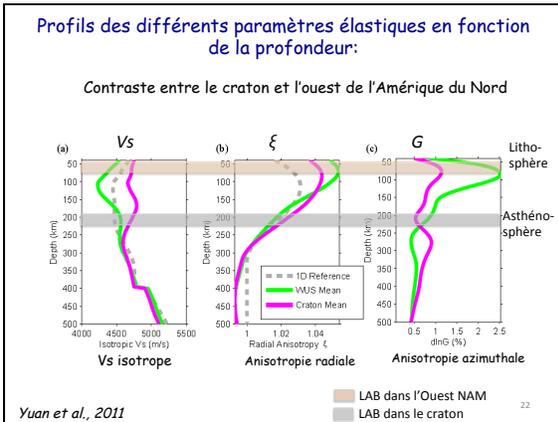
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

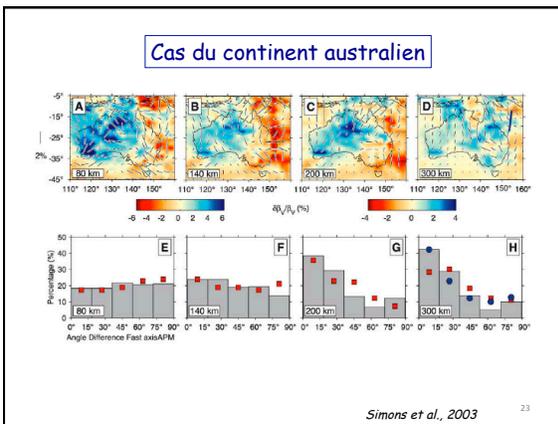
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

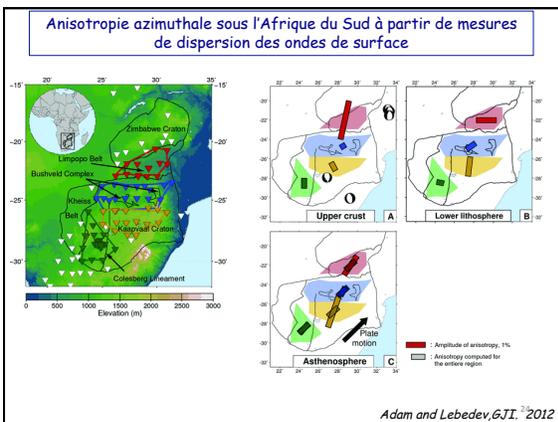
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

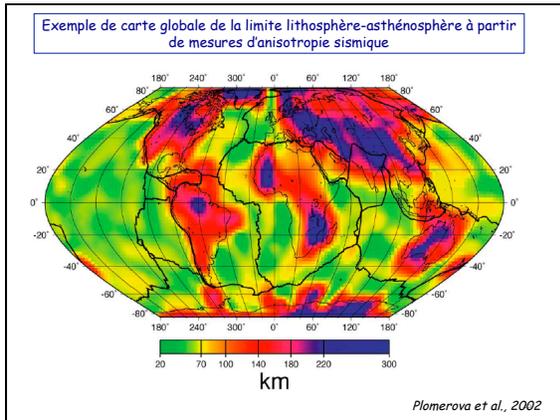
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

- Nature physique de la zone à faible vitesse et de la LAB dans les océans:
  - Effets purement thermiques ?
  - Déshydratation de la plaque au moment de sa formation (conséquence de la fusion partielle, séparation basaltes et harzburgite) (Gaherty and Jordan, 1996)
    - -> lithosphère: harzburgite appauvrie en eau
    - -> asthénosphère: péridotite plus hydratée
  - Présence de fusion partielle dans l'asthénosphère

---

---

---

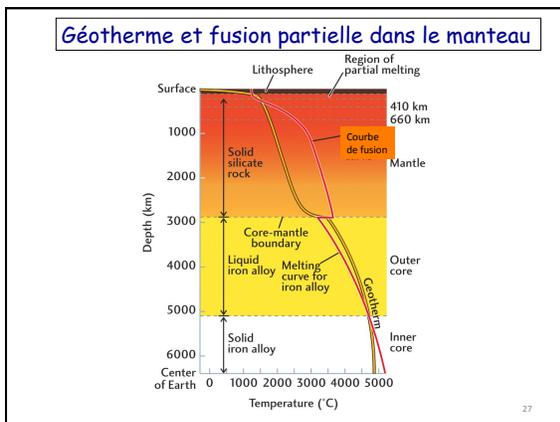
---

---

---

---

---




---

---

---

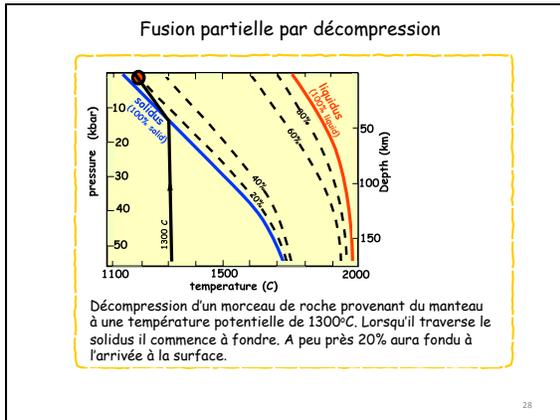
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- ### Fusion partielle et contenu en eau
- La fusion partielle commence à plus basse température en présence d'eau
  - On peut estimer la profondeur à laquelle la fusion commence à la ride en fonction de la proportion d'eau contenue dans la roche mère et le géotherme
  - La fusion partielle influence la distribution en eau:
    - Solubilité de l'eau dans le produit de fusion est  $\sim 10^3$  fois plus grande que dans la roche mère, le processus de fusion à la ride peut efficacement "sécher" le manteau.
  - La fusion partielle au dessous des rides médio-océaniques n'est pas contestée. Mais loin des rides, sa présence est très controversée
    - > peu d'influence sur les vitesses sismiques pour les quantités de fusion partielle estimées à partir des échantillons de roches (1-3%) (n'explique pas la zone à faible vitesse)
  - La présence d'eau a une influence importante sur la viscosité et sur les vitesses sismiques (par l'intermédiaire du facteur de qualité Q)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- ### Effet de l'eau sur la viscosité
- Mesures de la quantité d'eau dans les MORBs (Mid Ocean Ridge Basalts) des rides océaniques: 0.05% (masse)  $H_2O$
  - MORBs issus de 10-20% de fusion partielle de la péridotite
    - >  $125 \pm 75 \cdot 10^{-6}$  (masse)  $H_2O$  dans la roche source
    - >  $810 \pm 490 H / 10^6 Si$  dans l'olivine (modèle pyrolitique)
  - Comparaisons avec les mesures de laboratoire sur la variation de viscosité avec le contenu en H de l'olivine (Hirth and Kohlstedt, 1996)
    - > viscosité du manteau est  $500 \pm 300$  fois plus faible que celle de l'olivine sèche à T,P donnés

---

---

---

---

---

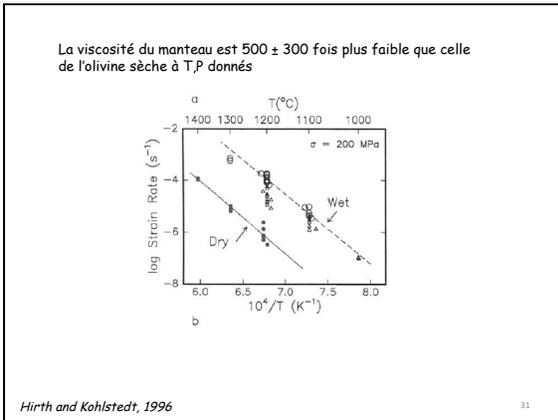
---

---

---

---

---




---

---

---

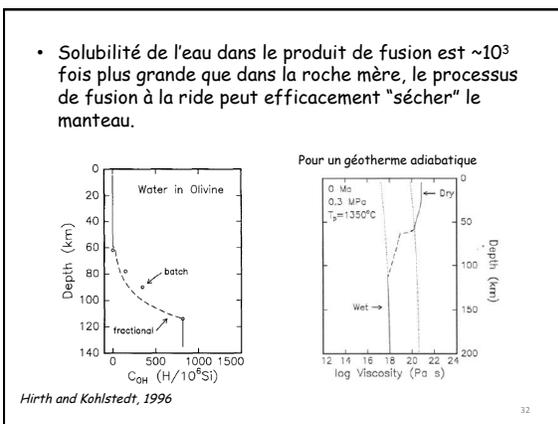
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

- > Lithosphère océanique "sèche" et asthénosphère "hydratée"
- > Diffusion de H lente dans les roches du manteau: la distribution d'eau ne doit pas changer beaucoup en fonction de l'âge de la lithosphère
- > Possibilité de transition brusque entre la lithosphère et l'asthénosphère:
  - Viscosité
  - Vitesses sismiques réduites (effet de l'eau par l'intermédiaire de l'atténuation ( $Q^{-1}$ ), Karato and Jung, 1998)

---

---

---

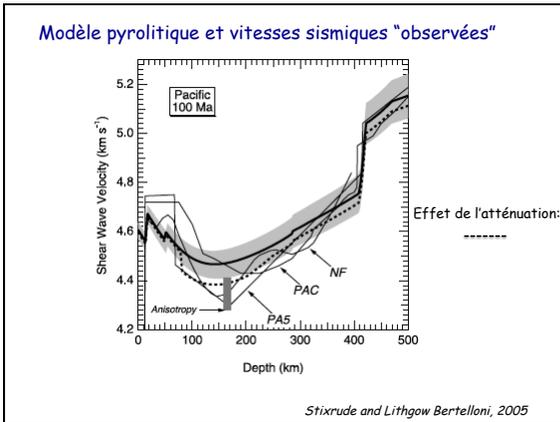
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Retour aux observations sismiques (et magnéto-telluriques):
  - Présence d'eau dans l'asthénosphère océanique?
  - Présence de fusion partielle loin des rides?

---

---

---

---

---

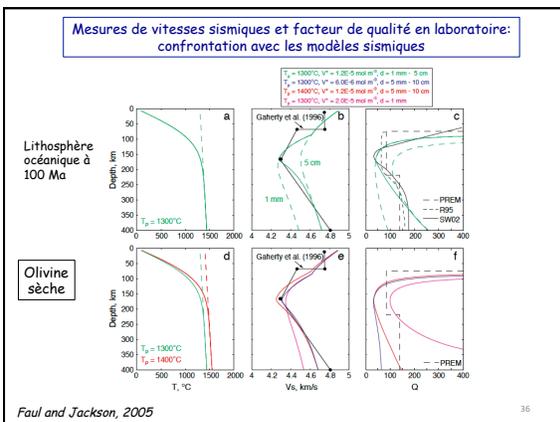
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

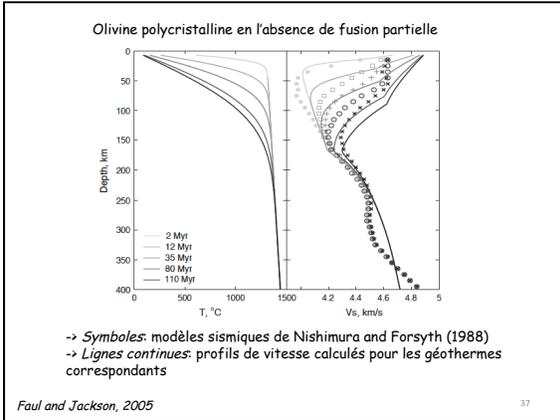
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

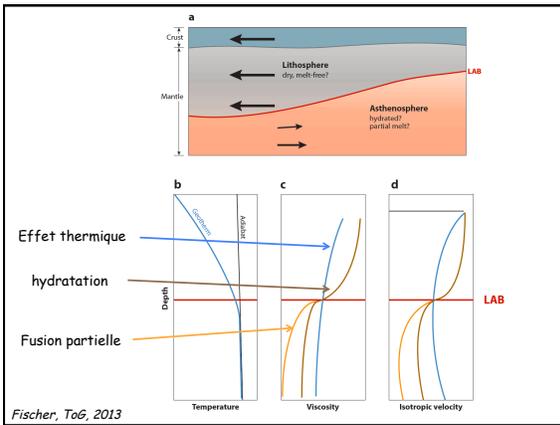
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Stratification dans le manteau supérieur  
sous les océans (et les continents):

-> ondes de volume réfléchies et converties  
sur les discontinuités de structure

frozen anisotropy  
weak anisotropy  
anisotropy SH-SV  
mechanical lithosphere  
asthenospheric shear zone

100 km  
250 km  
300 km

39

---

---

---

---

---

---

---

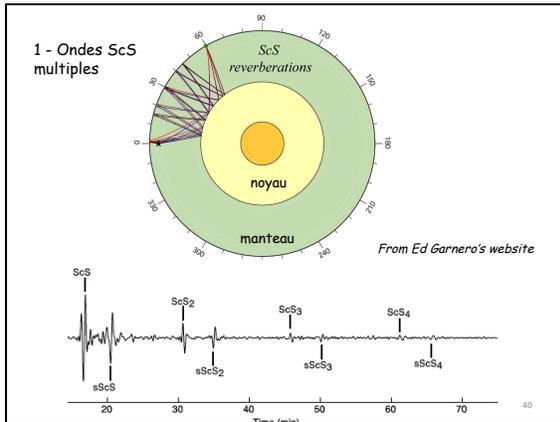
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

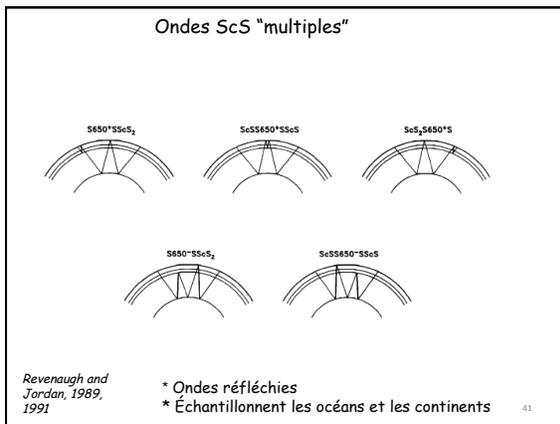
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

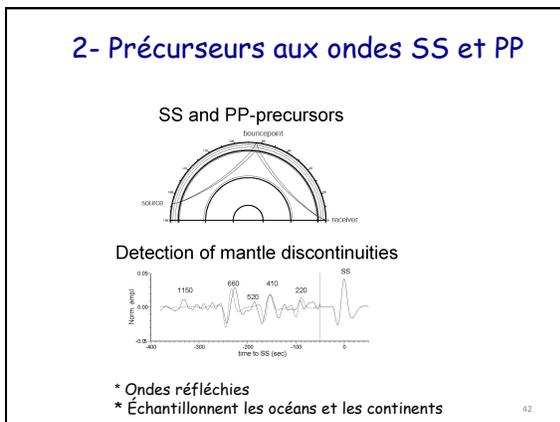
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

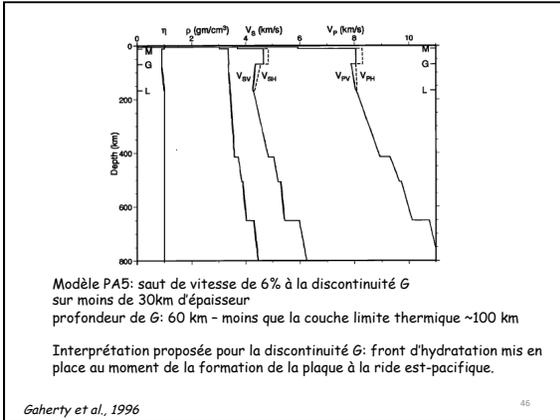
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

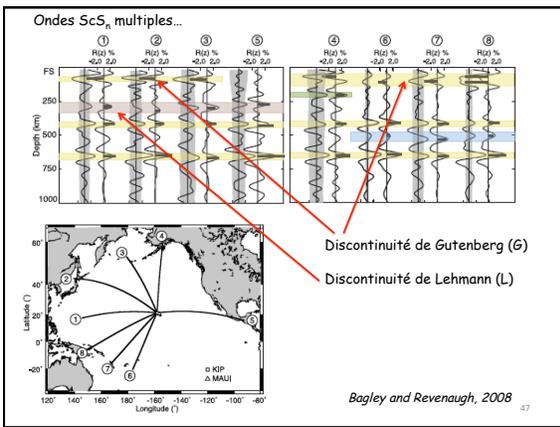
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

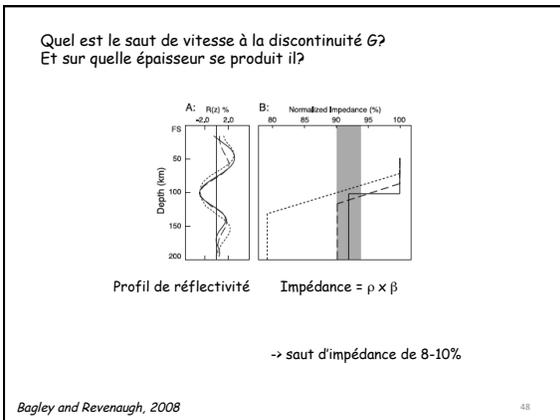
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

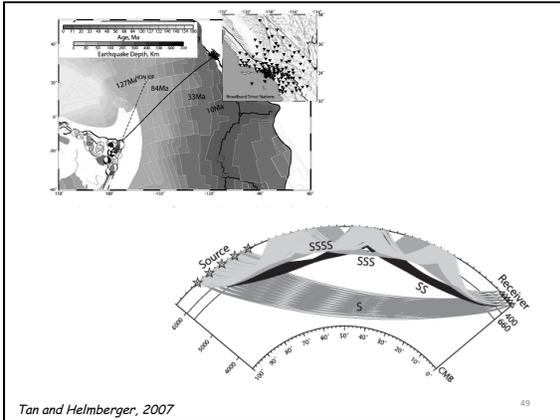
---

---

---

---

---




---

---

---

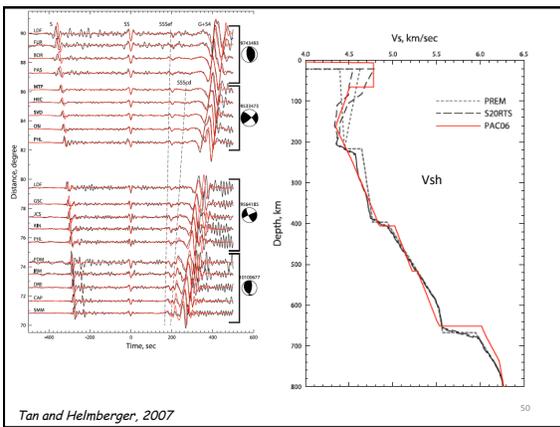
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### 3- Ondes converties Ps et Sp

Fonctions "récepteur"

— P wave  
— S wave  
3 Component Station

P<sub>410s</sub> P<sub>660s</sub>

P<sub>410s</sub> P<sub>660s</sub>

— P<sub>410s</sub> P<sub>660s</sub>

- Ondes converties sous les stations
- Echantillonnent surtout les continents

51

---

---

---

---

---

---

---

---