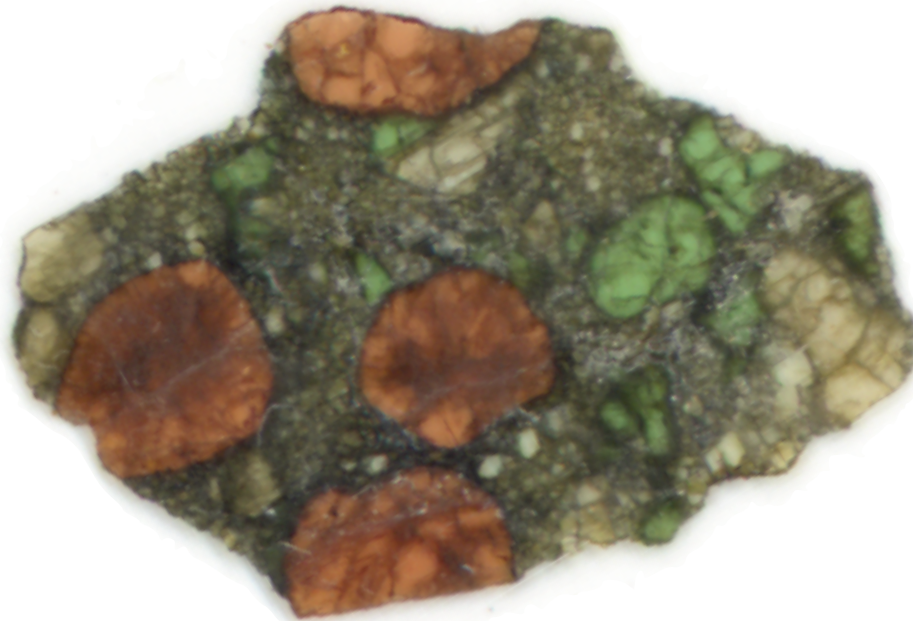


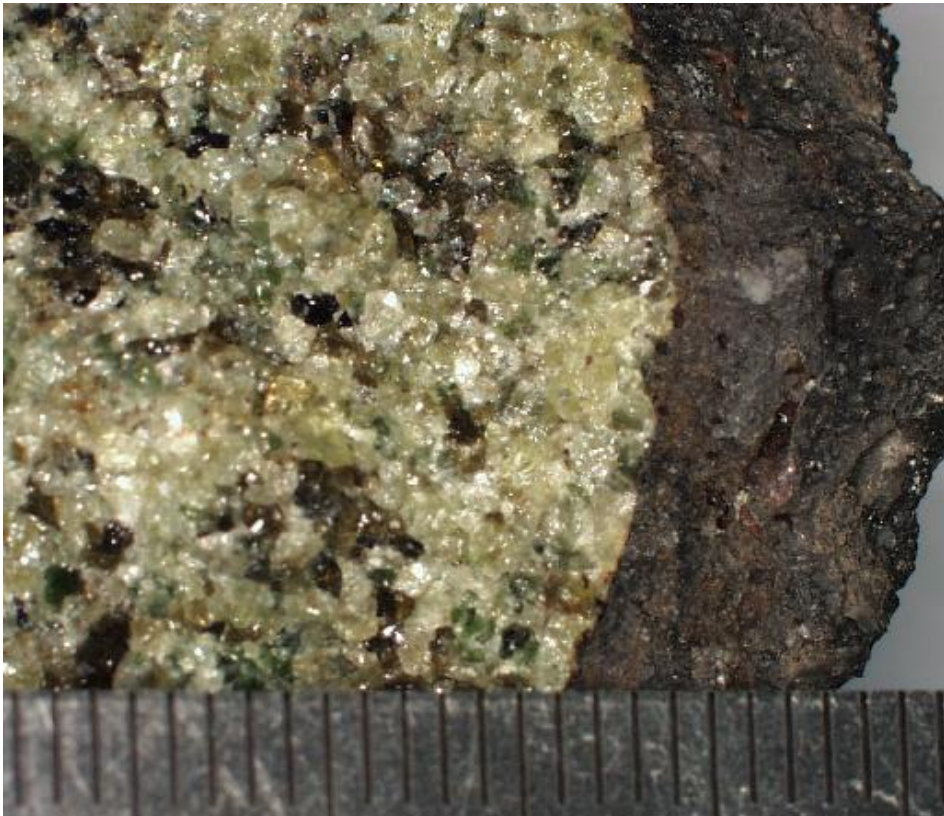
# Les roches et les minéraux du manteau: échantillons naturels et apport de l'expérimentation en conditions extrêmes

**Chrystèle Sanloup**

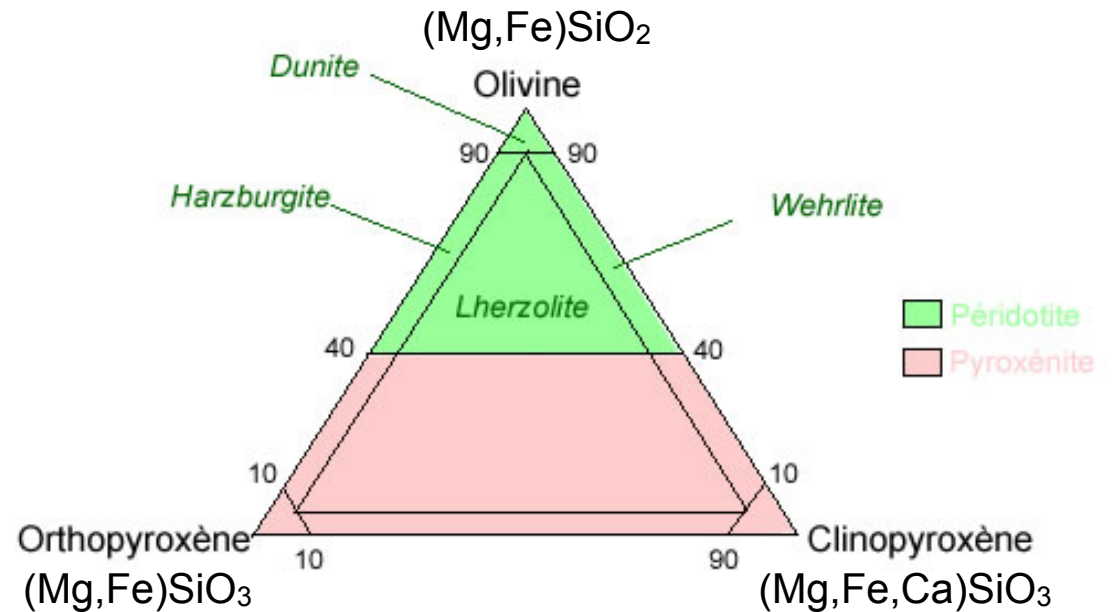
**Institut de Minéralogie, Physique de la Matière Condensée et  
Cosmochimie**



# Roches du manteau: les xénolithes lithosphériques



Nodule de péridotite



Classification minéralogique des roches ultrabasiques, en fonction de leur proportion en olivine, clinopyroxène et orthopyroxène.

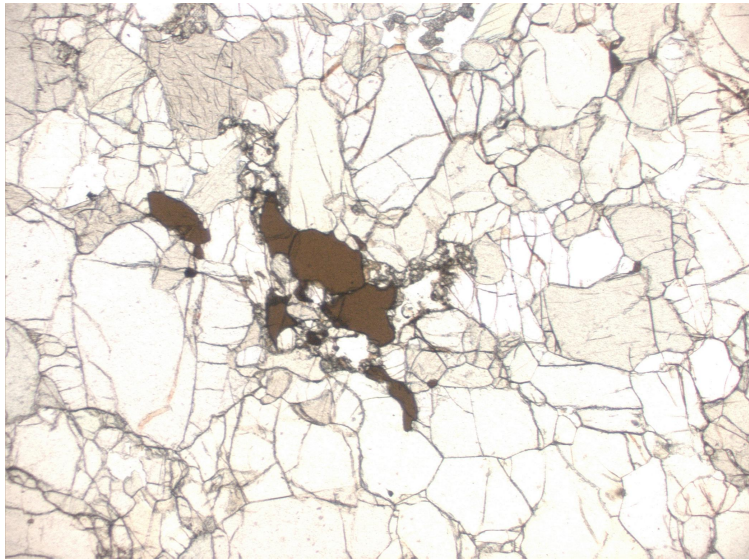
Source : figure modifiée d'après la fig. 8.106, p. 324, *Roches et Minéraux*, Jean Lameyre, Doin (1986)

Phase alumineuse:

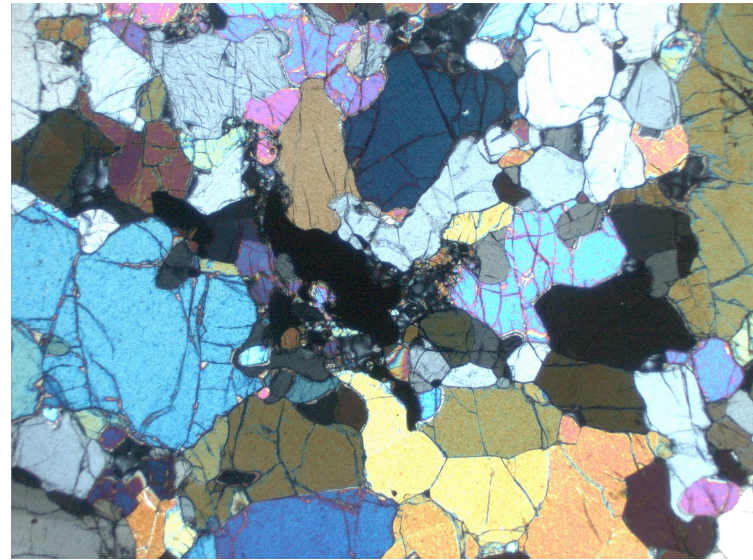
Jusqu'à 40 km : Olivine-Pyroxène (ortho et clino)-Plagioclase  
 De 40 à 70-80 km : Olivine-Pyroxène (ortho et clino)-Spinelle  
 De 70-80 à 200 km : Olivine-Pyroxène (ortho et clino)-Grenat

$CaAl_2Si_2O_8$   
 $CaAl_2O_4$   
 $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$

## Lames minces péridotite

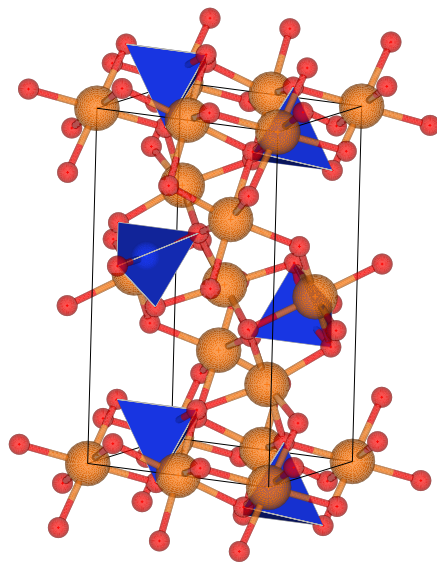


Lumière polarisée

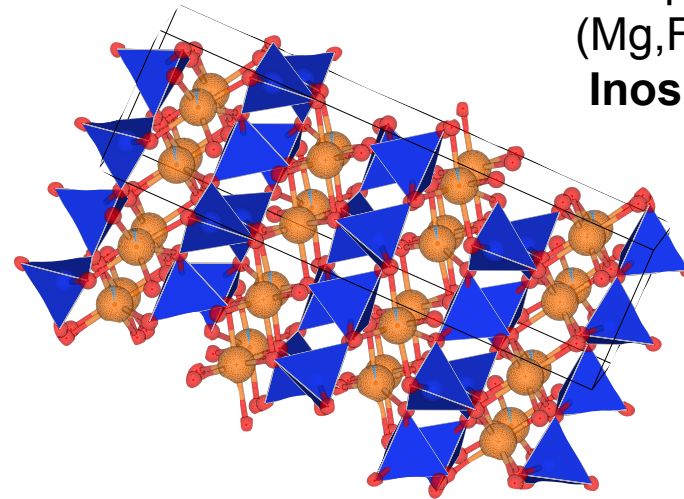


Lumière polarisée analysée

Olivine  
 $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$   
**Nésosilicate**

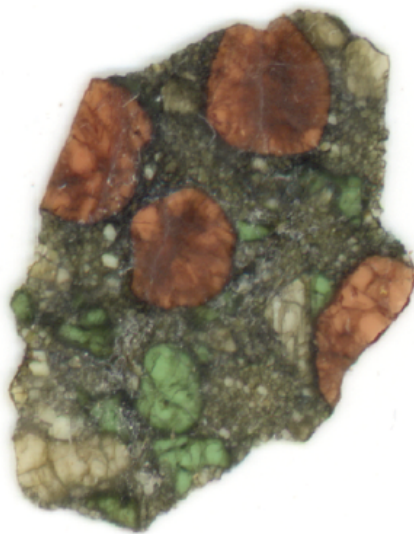


Orthopyroxène  
 $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$   
**Inosilicate**



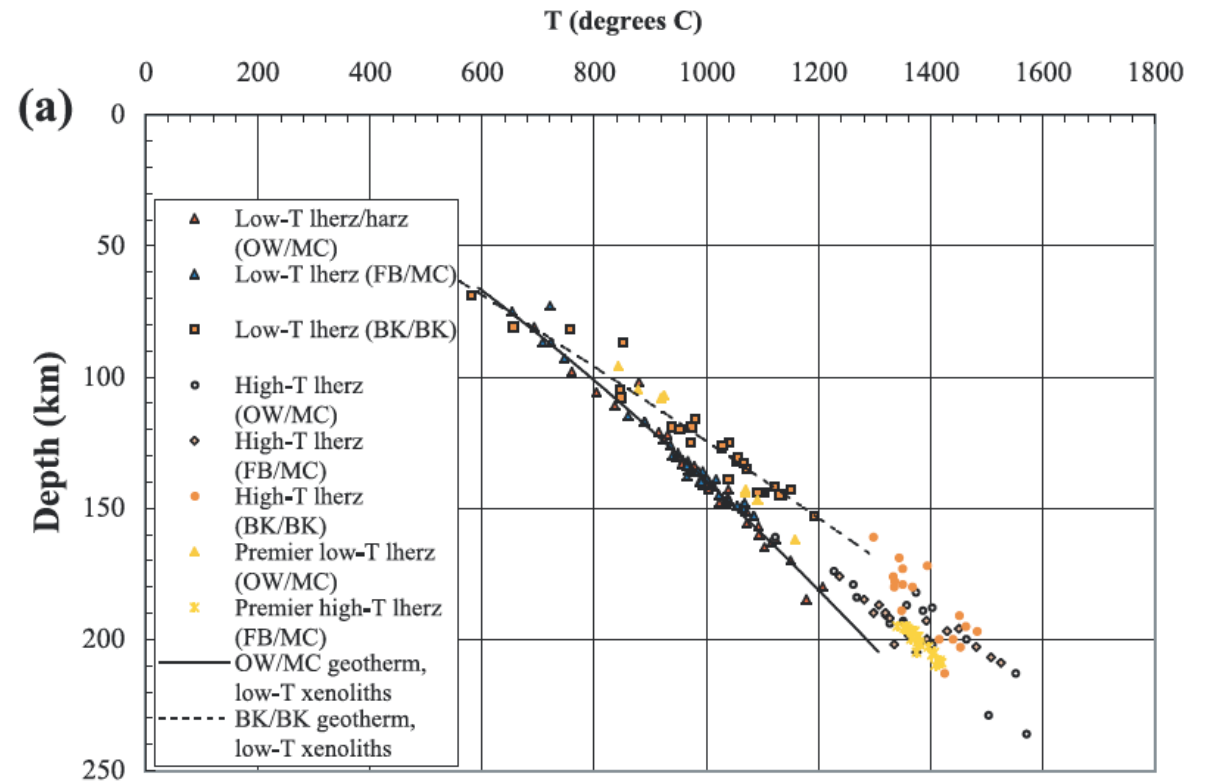
# Xénolithes de péridotite: contraintes sur le géotherme

Géothermomètre=  
échange d'Al entre  
grenat et orthopyroxène



5 mm

## Géotherme lithosphérique continental cratonique

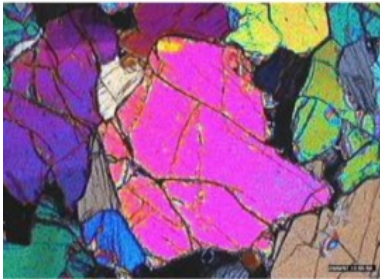


James&Boyd, G3, 2004.

- ⇒ Les nodules de péridotite échantillonnent uniquement de la lithosphère
- ⇒ Pas de roches provenant du manteau plus profond

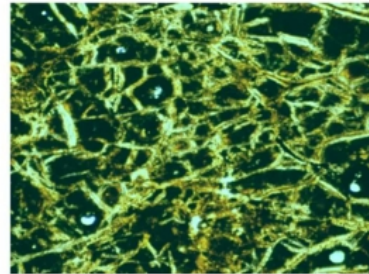
# Altération des péridotites

Péridotite

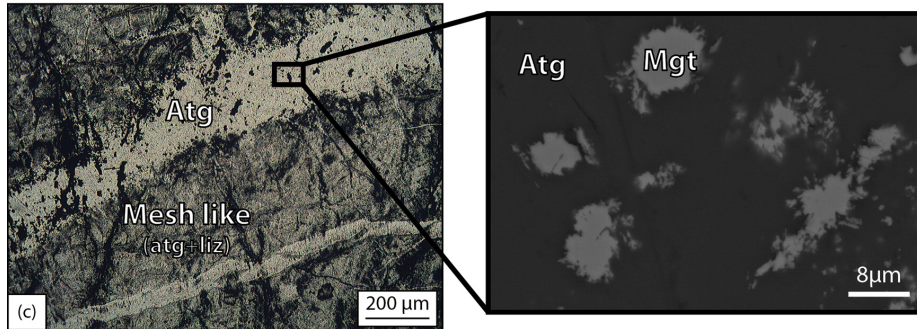
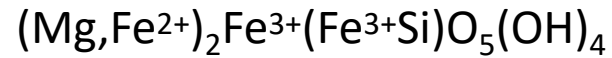
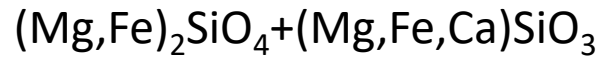


+ H<sub>2</sub>O =

Serpentinite à lizardite (faciès shistes verts)

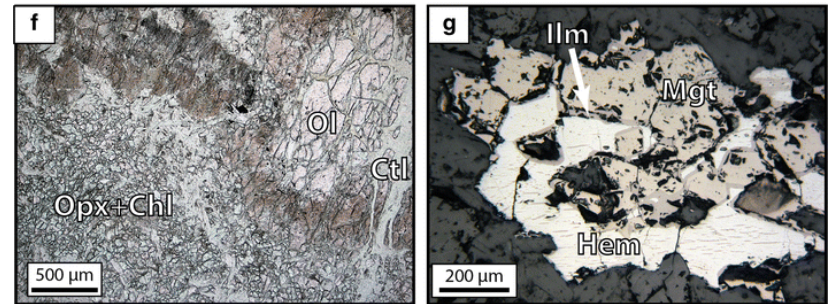


+ MgOH (brucite) + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + H<sub>2</sub> (+CH<sub>4</sub>)



Serpentinite à antigorite (faciès shistes bleus)

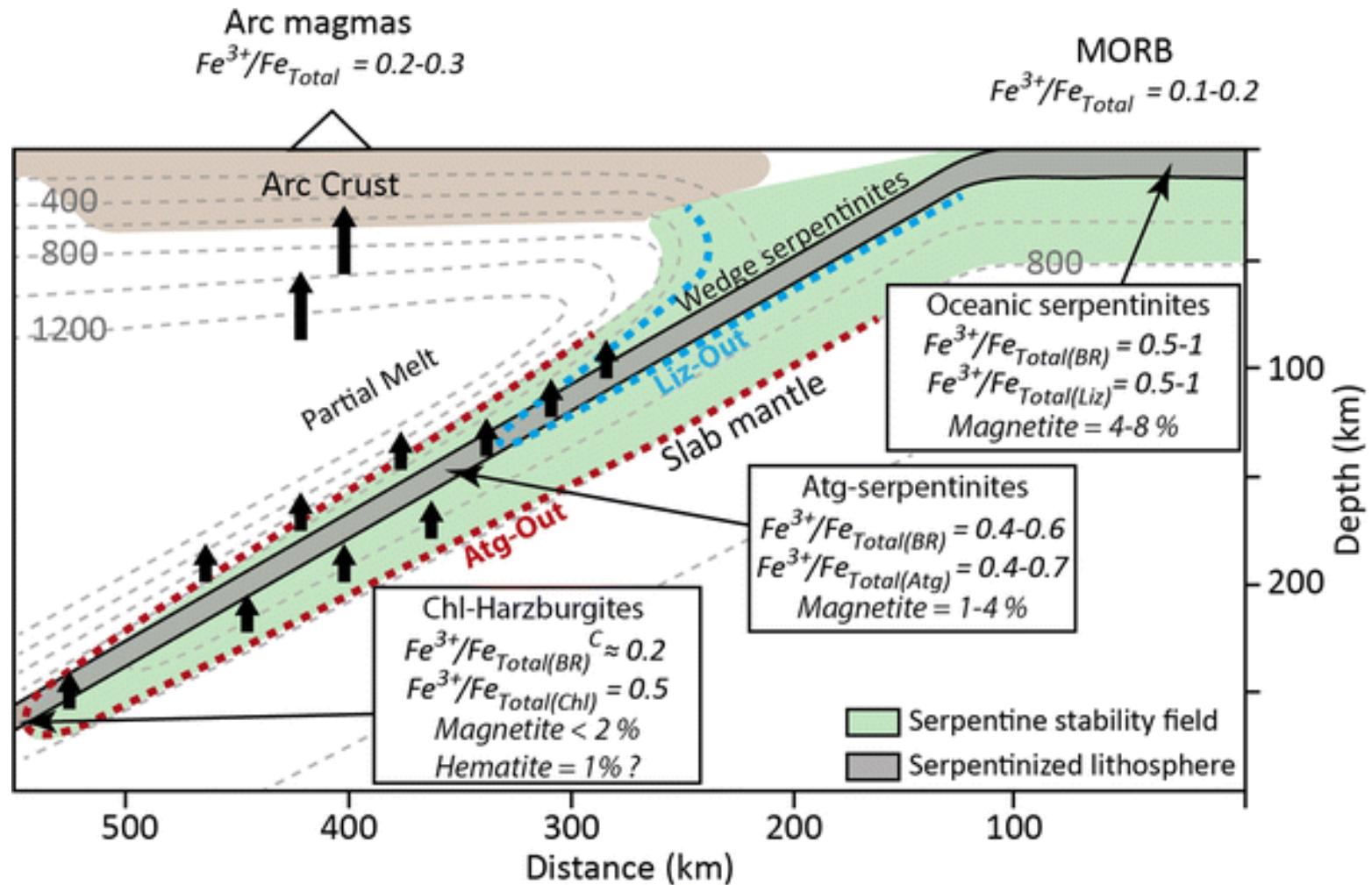
Debret et al. EPSL 2014



Harzburgite à chlorite (faciès éclogites)

Debret et al. Contrib. Min. Pet. 2015

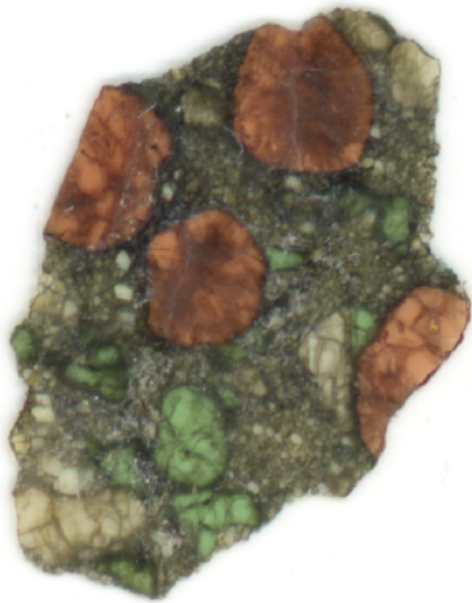
# Retour au manteau des péridotites altérées



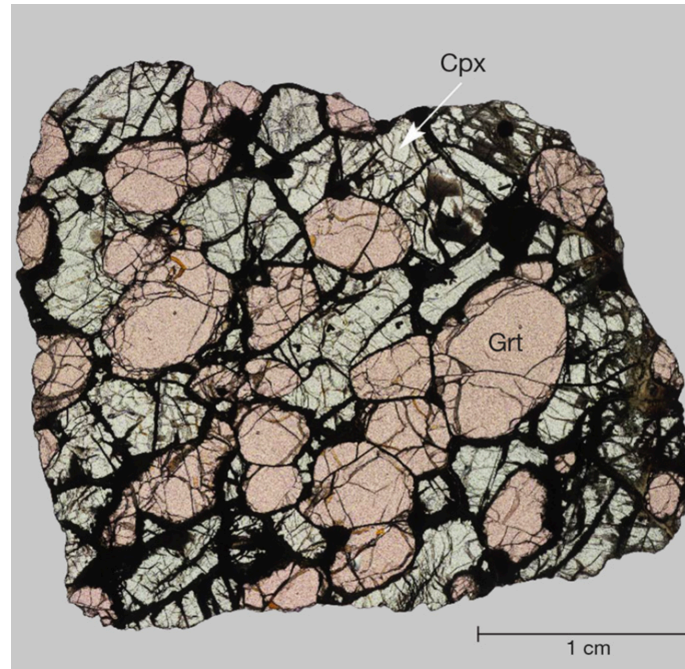
Debret et al. Contrib. Min. Pet. 2015

⇒ Stabilisation de nouveau de l'olivine suite à la déshydratation de la plaque subduite

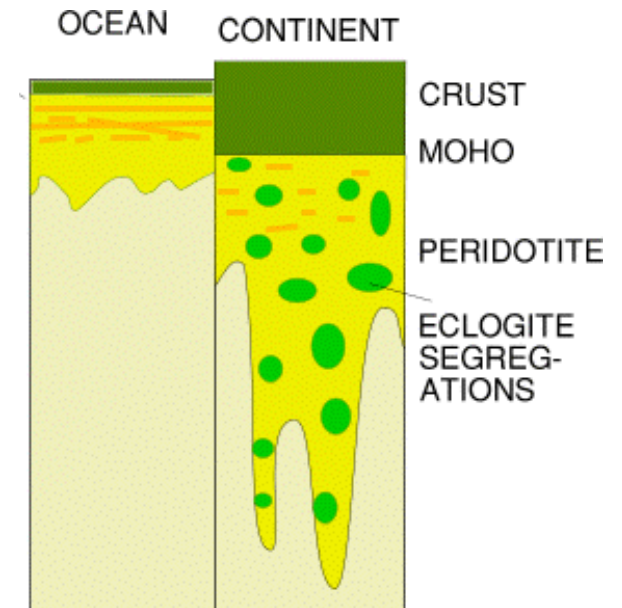
# Xénolithes de péridotites ET éclogites



Nodule de péridotite  
(photo M. Blanchard)



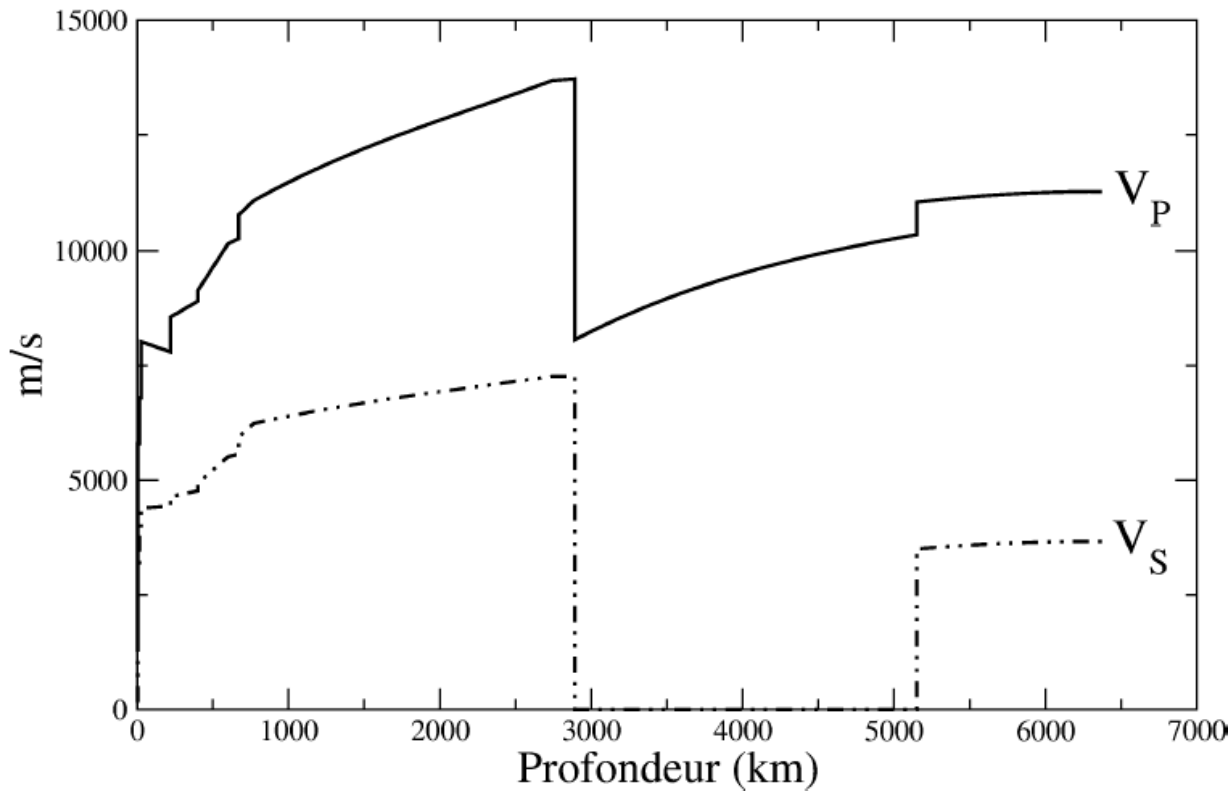
Nodule d'éclogite  
(Canada, photo K. Smith, Université d'Alberta)



Jusqu'à 20% d'éclogites dans la lithosphère carbonique

# Quelles roches et minéraux sous la lithosphère?

Modèle sismologique de Terre:  
Preliminary Reference Earth Model (PREM)  
Dziewonski et Anderson 1981



$$v_P = \sqrt{\frac{K_S + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$v_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$



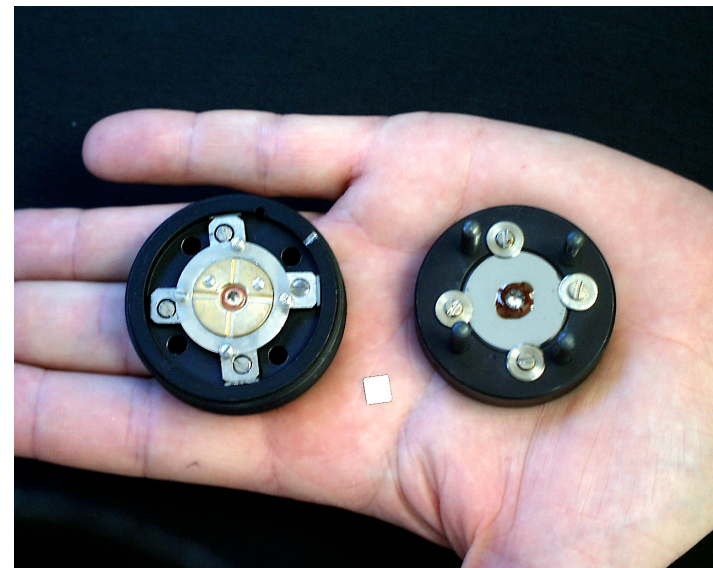
$$\rho(\mathbf{z}), K_S(\mathbf{z}), \mu(\mathbf{z})$$



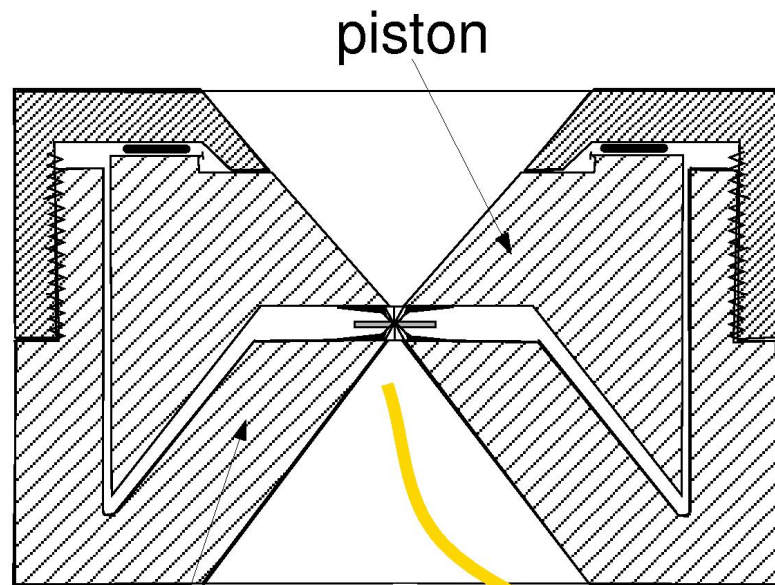
# Pétrologie et minéralogie expérimentale: recréer les conditions P-T terrestres



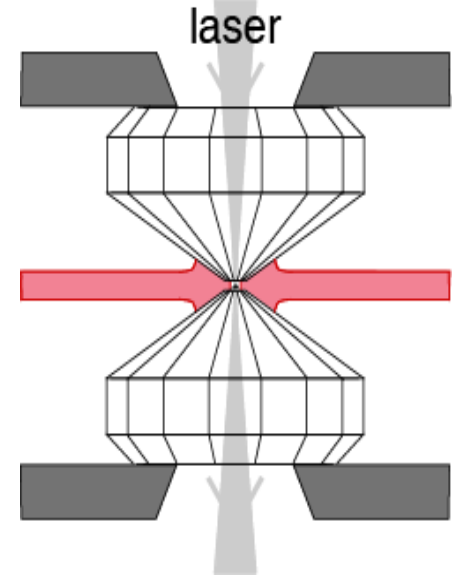
Cellule à enclumes diamants



# Pétrologie et minéralogie expérimentale: recréer les conditions P-T terrestres



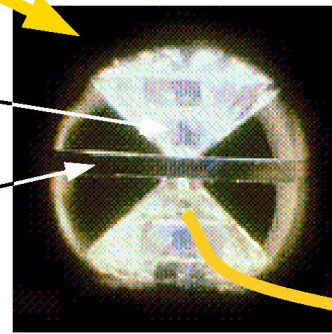
Chauffage laser



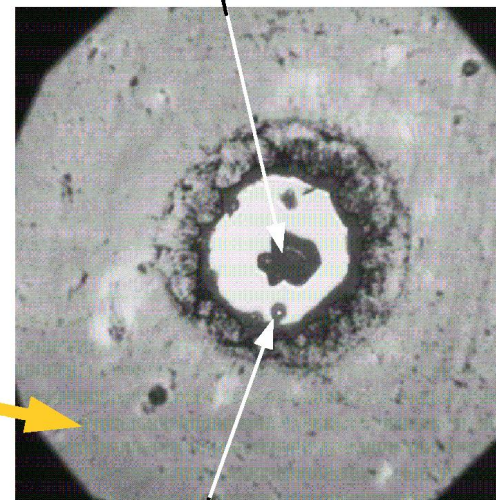
cylindre

diamants

joint  
métallique



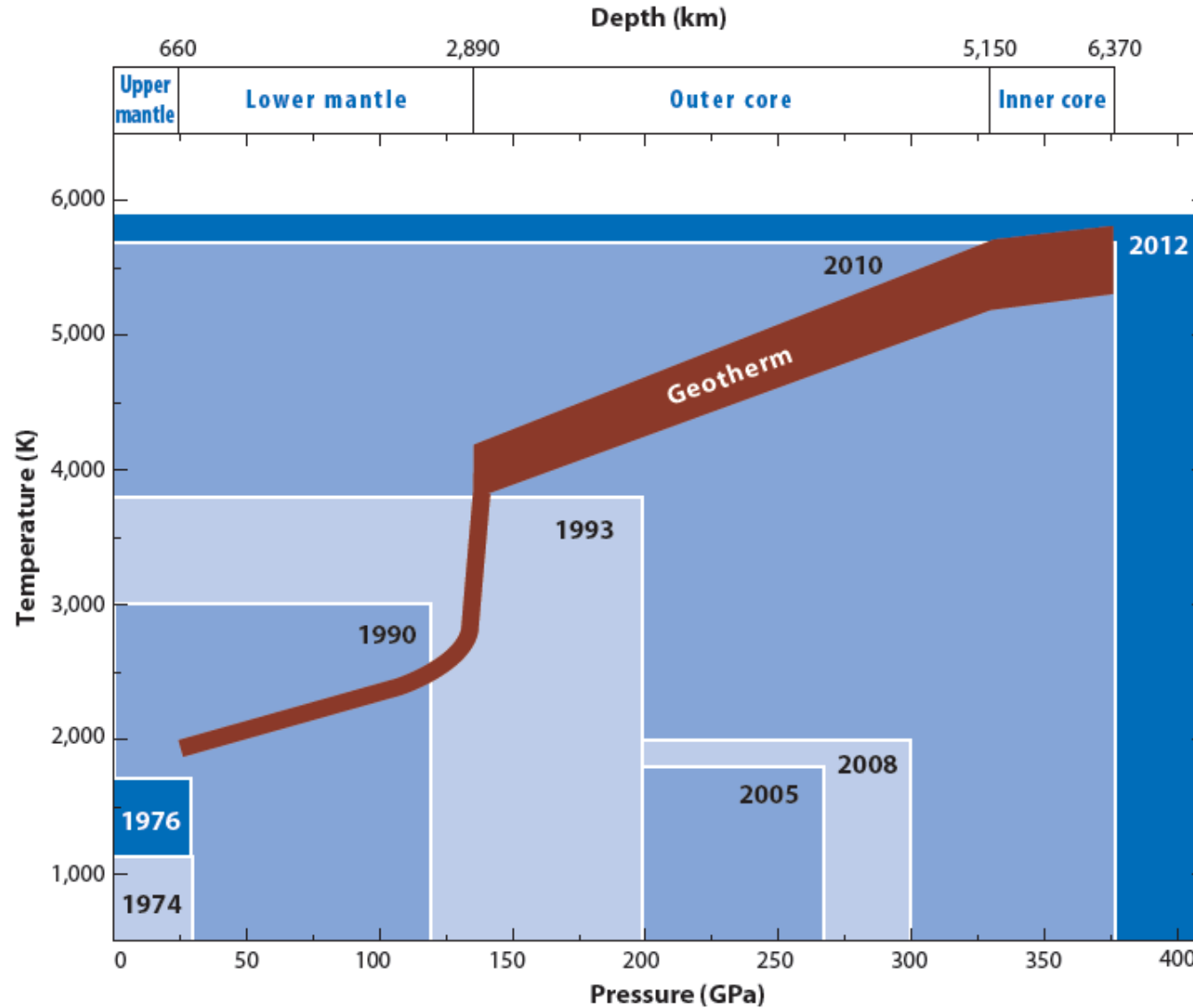
échantillon

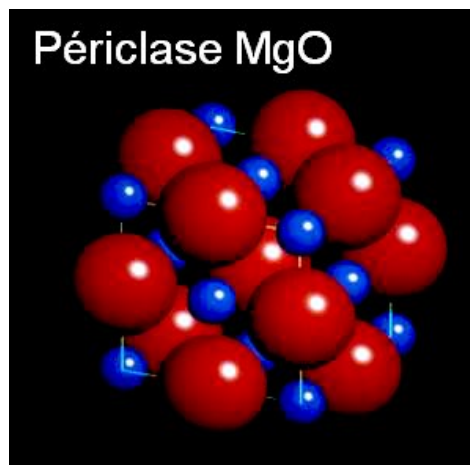
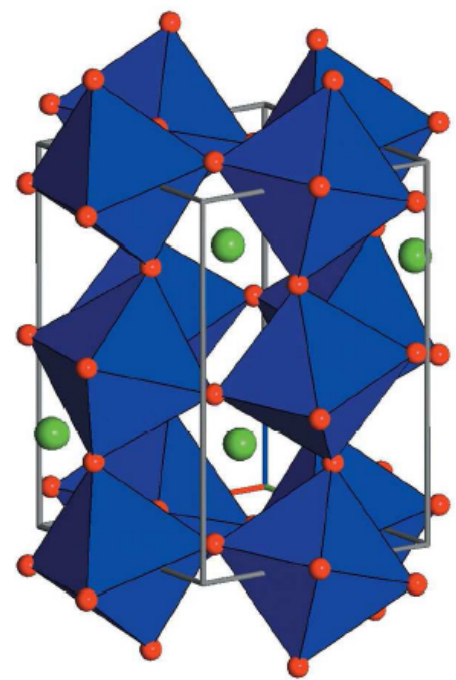


cristal de rubis

100  $\mu\text{m}$

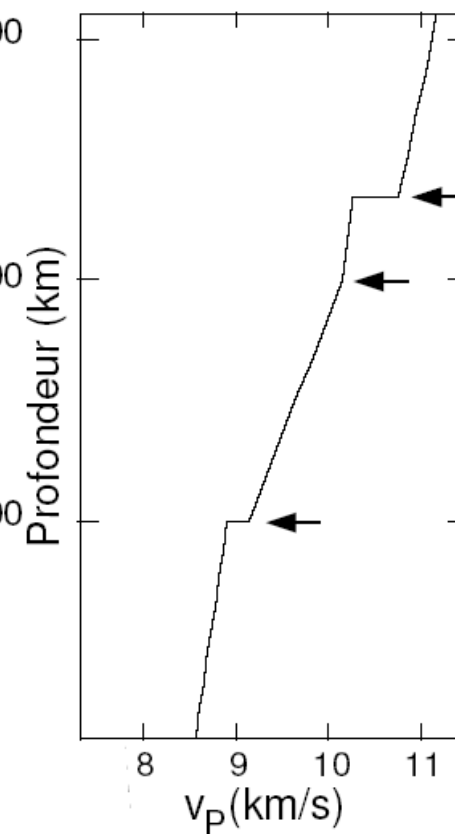
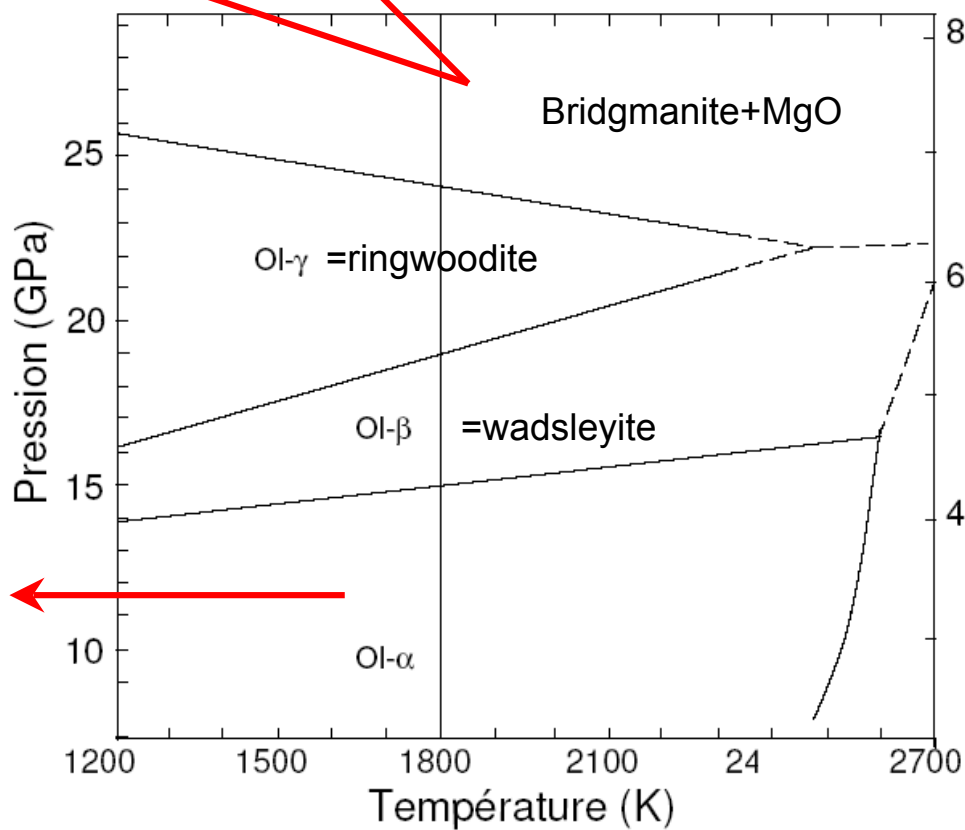
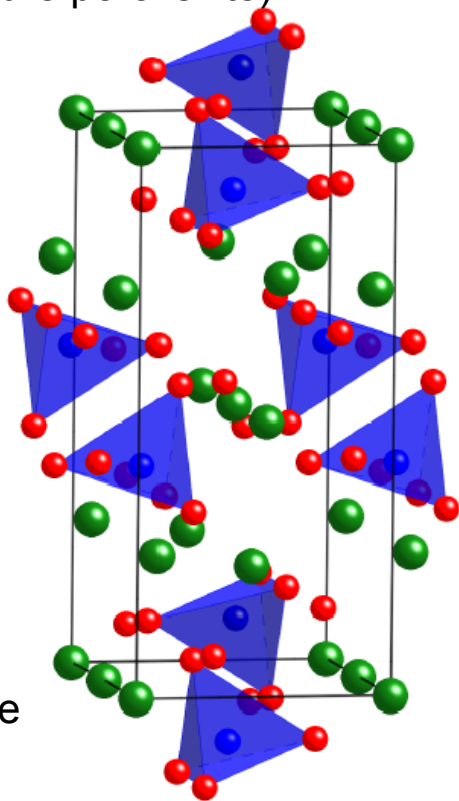
# Pétrologie et minéralogie expérimentale: recréer les conditions P-T terrestres





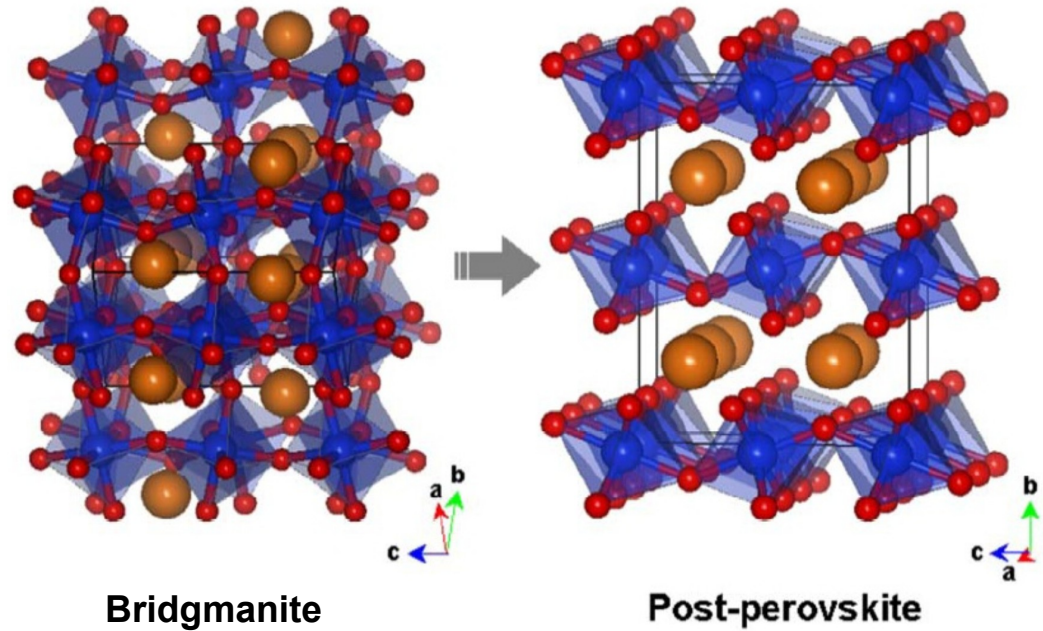
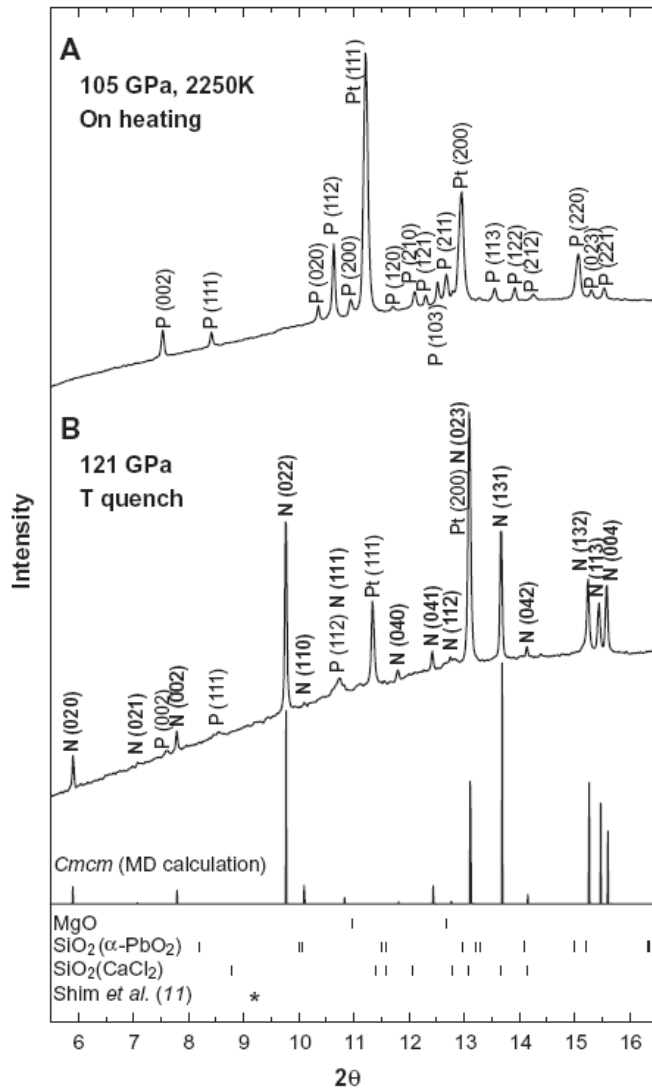
# Diagramme de phase de l'olivine $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$

Bridgmanite  $\text{IVSi}$   
(structure perovskite)

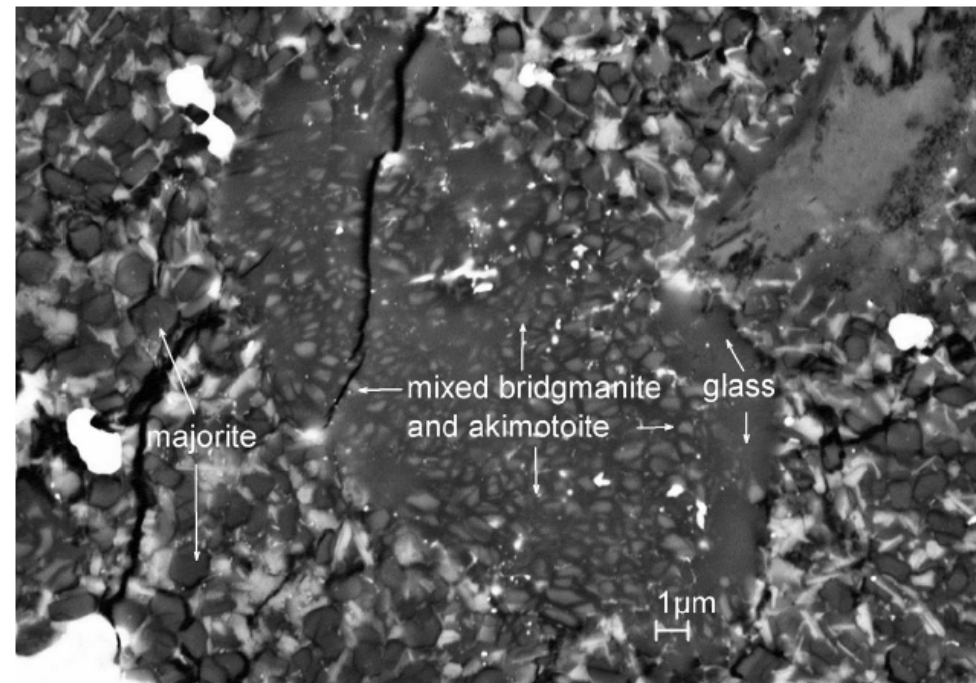


# Minéral le plus profond du manteau

Une nouvelle phase:  
la post-perovskite  
synthétisée en cellule-diamant - chauffage laser



# Découverte de la bridgmanite naturelle

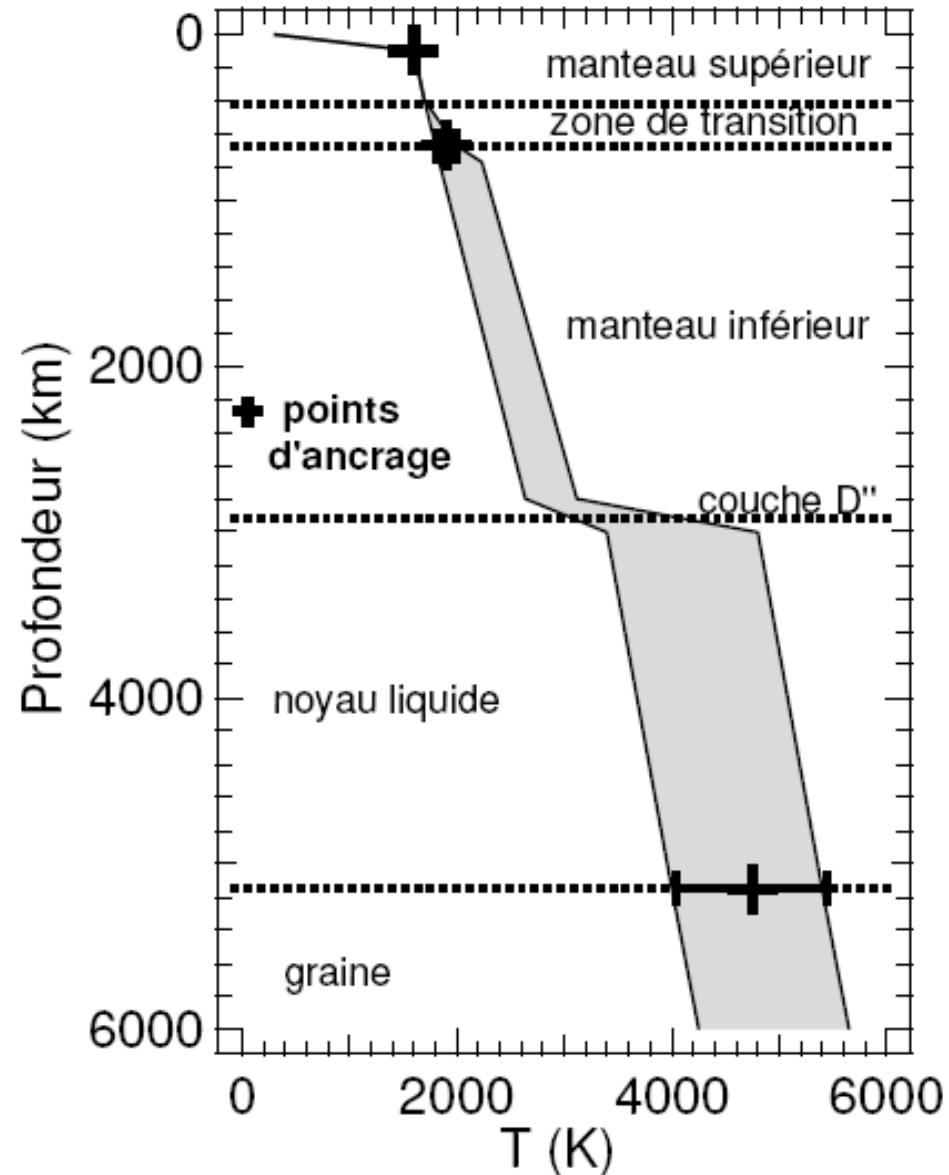


Veine de choc dans une chondrite

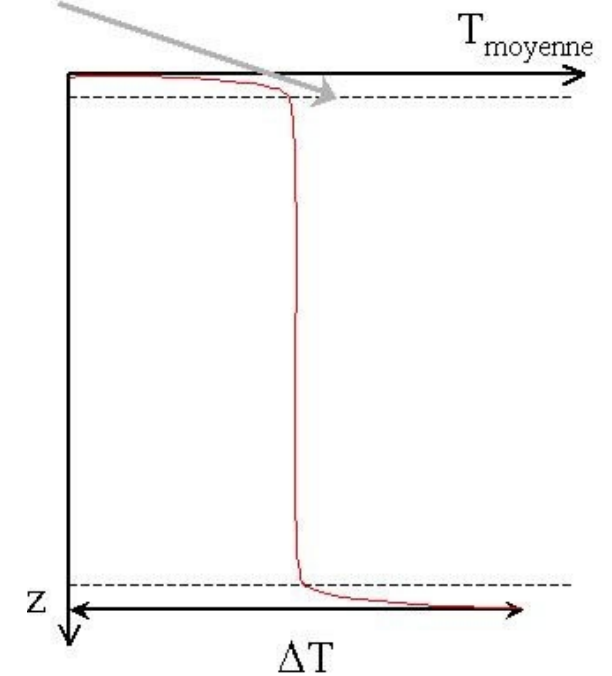
Tschauner et al. 2014, Science

NB: bridgmanite synthétisée expérimentalement en 1974  
en cellule-diamant avec chauffage laser

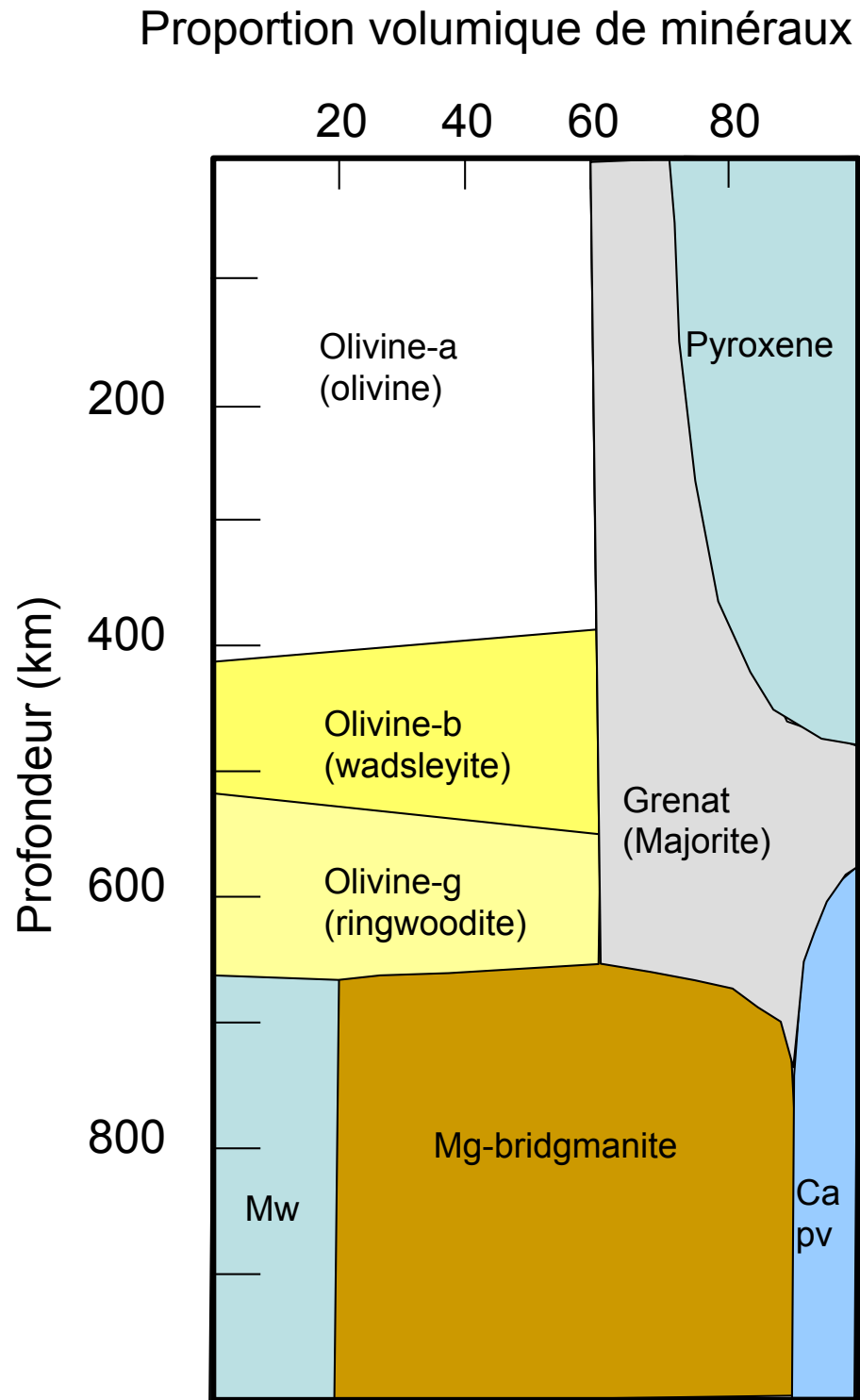
# Ancrage du géotherme sur les transitions de phase de l'olivine



Couche limite thermique

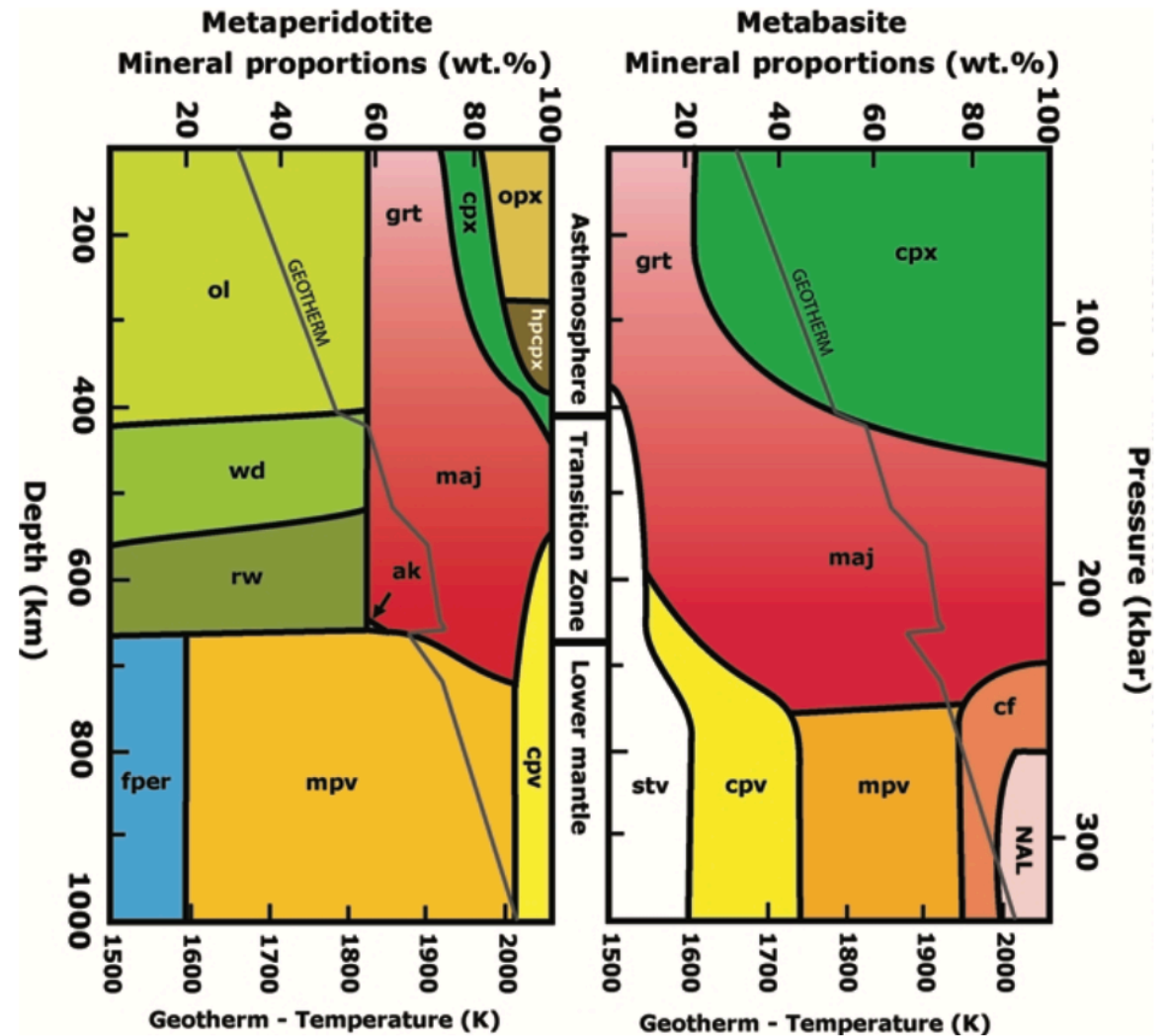
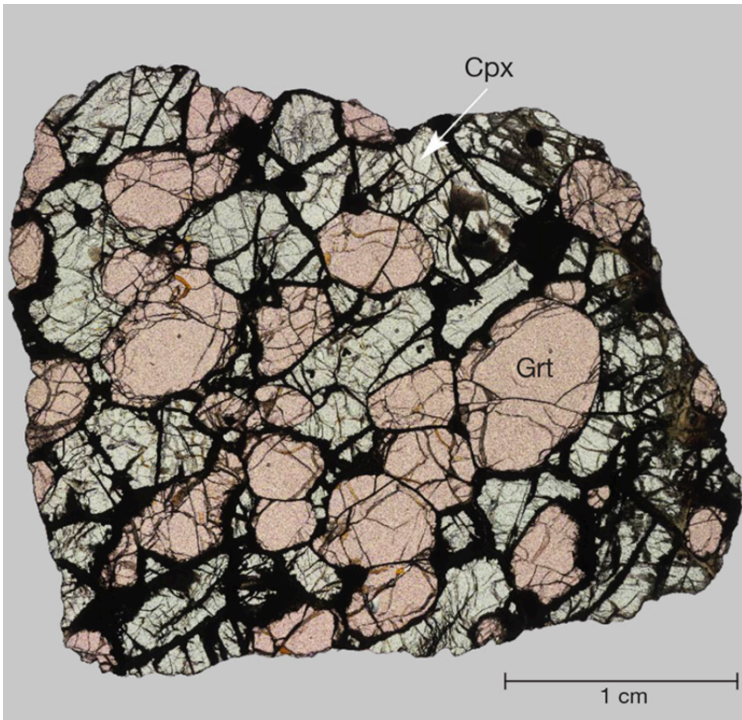


# Minéralogie du manteau





# Xénolithes de péridotites ET éclogites

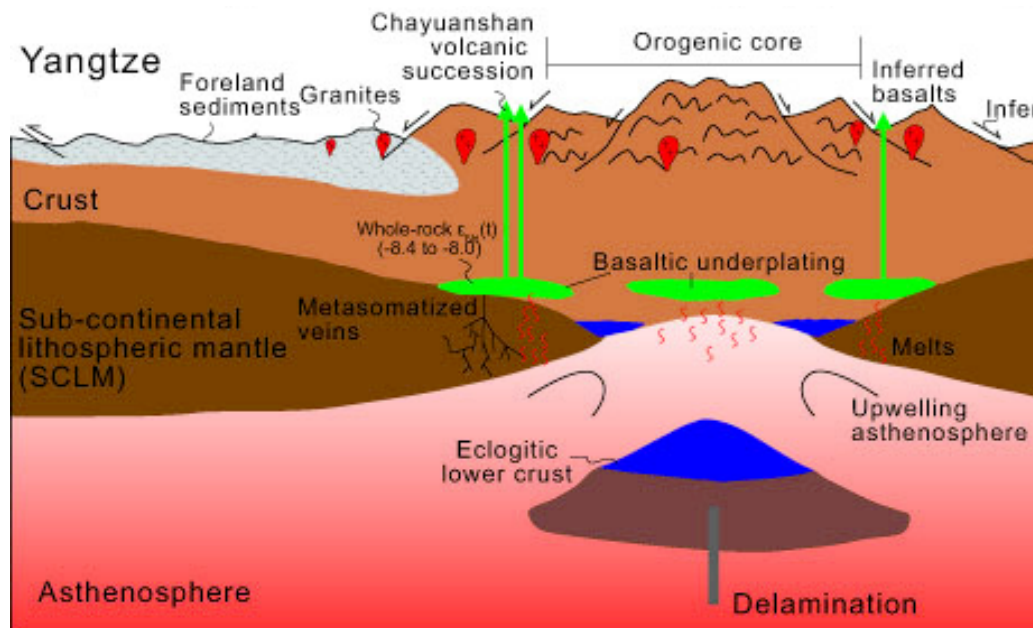


Harte Min. Mag. 2010

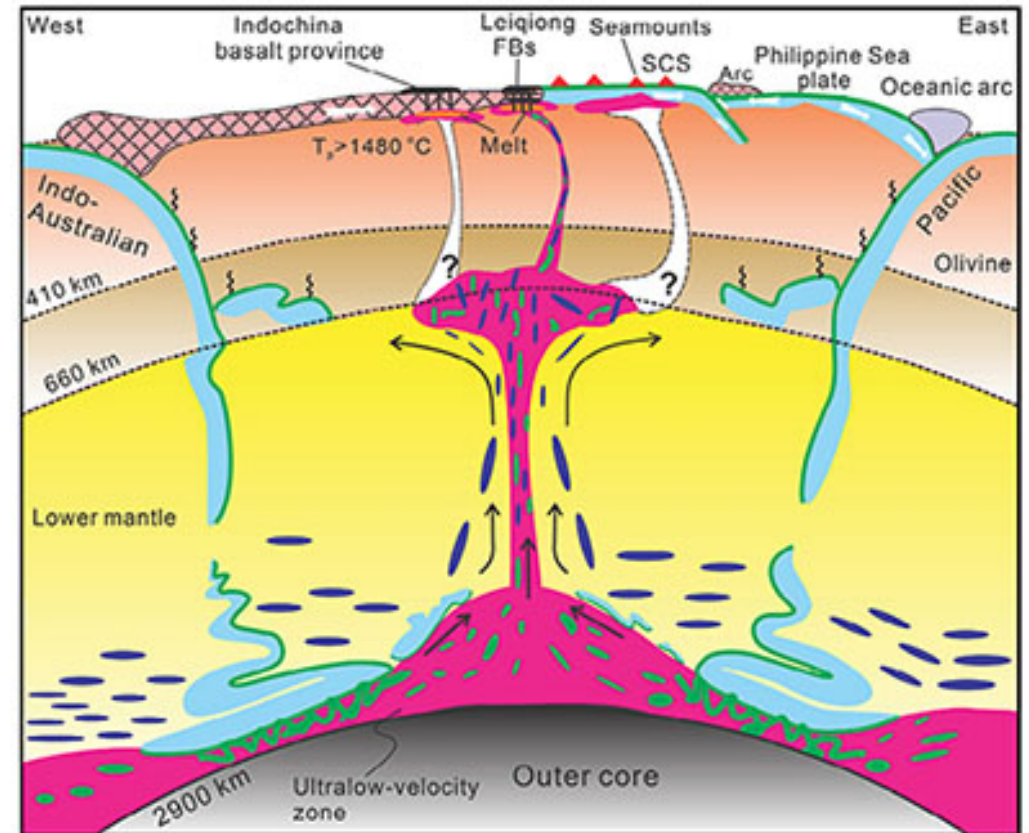
Peridotites comme éclogites remontent comme xénolithes

# Origine des éclogites du manteau

## Délamination crustale



## Subduction de la croûte océanique

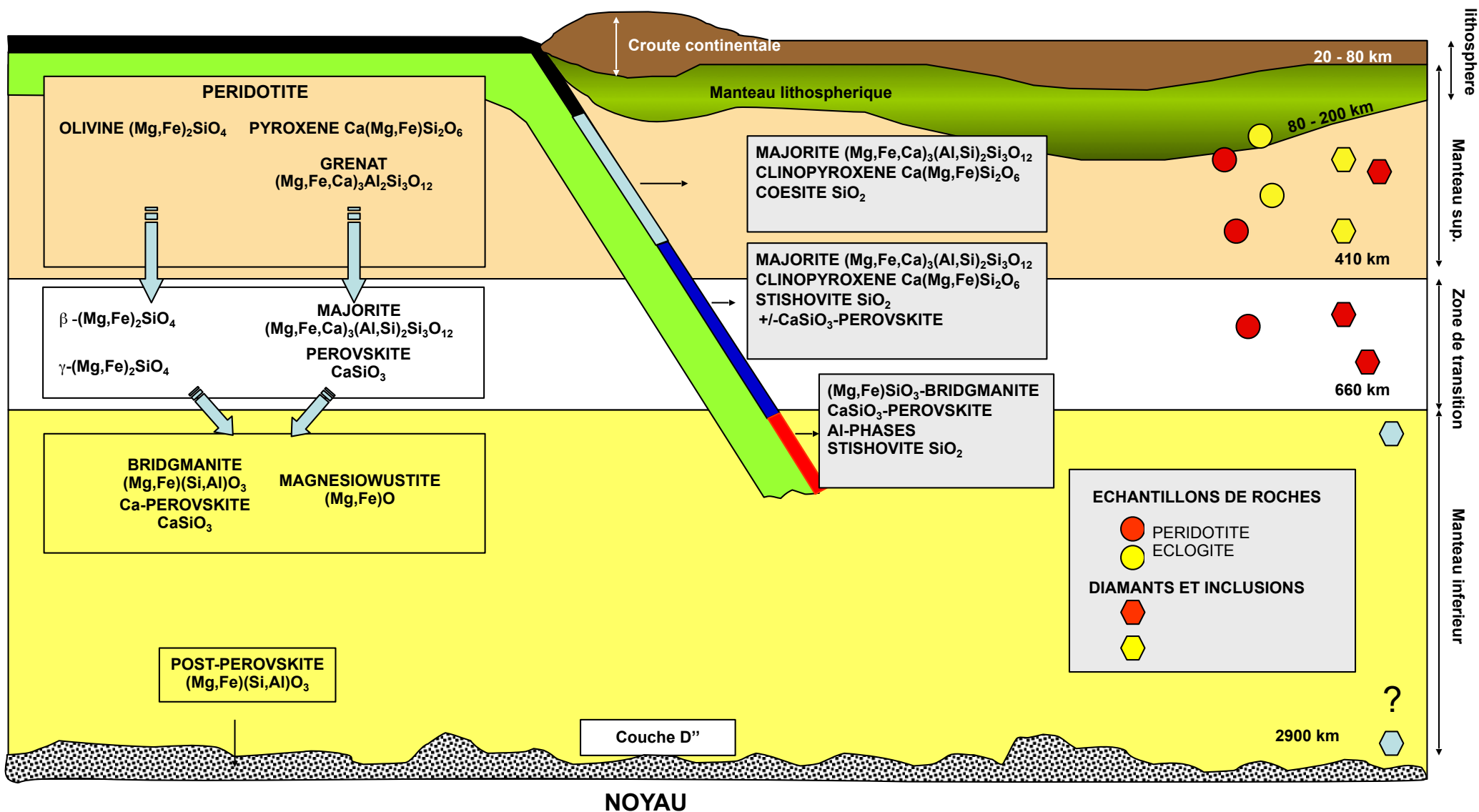


Sobolev, Nature 2005.

# Mineralogie du manteau: resume

Experiences

Echantillons naturels



# Minéraux en inclusions dans des diamants

## Diamants dans kimberlites



Photo: Smithsonian National Museum of Natural History

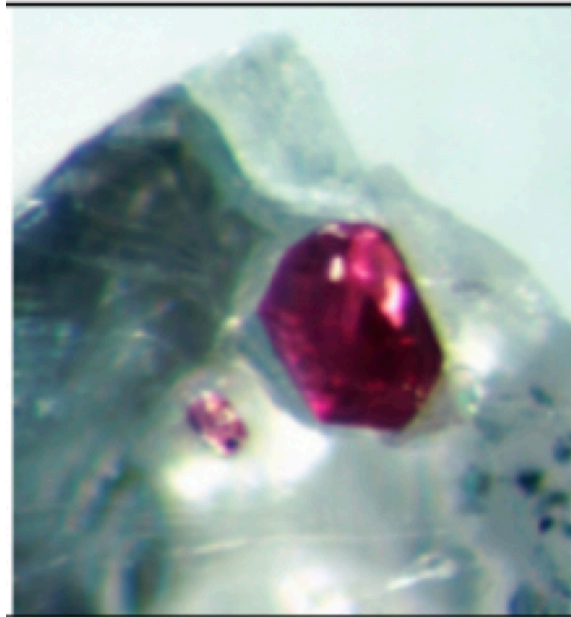
## Diamants dans éclogite



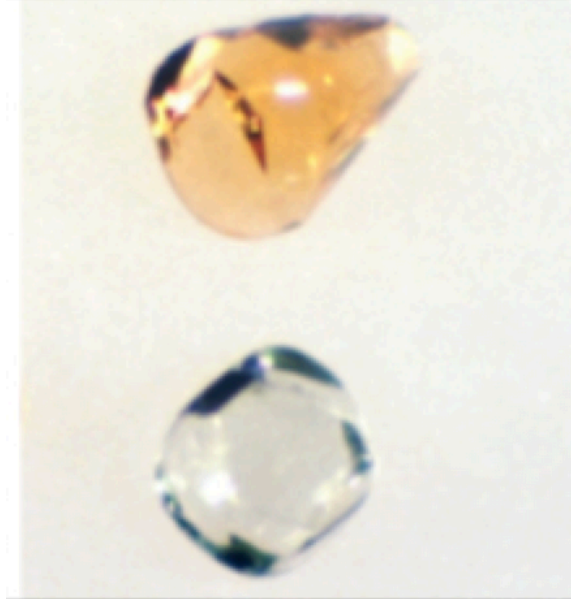
Photo K. Smith, Université d'Alberta

# Minéraux en inclusions dans des diamants

Inclusion péridotitique



Grenat pyrope

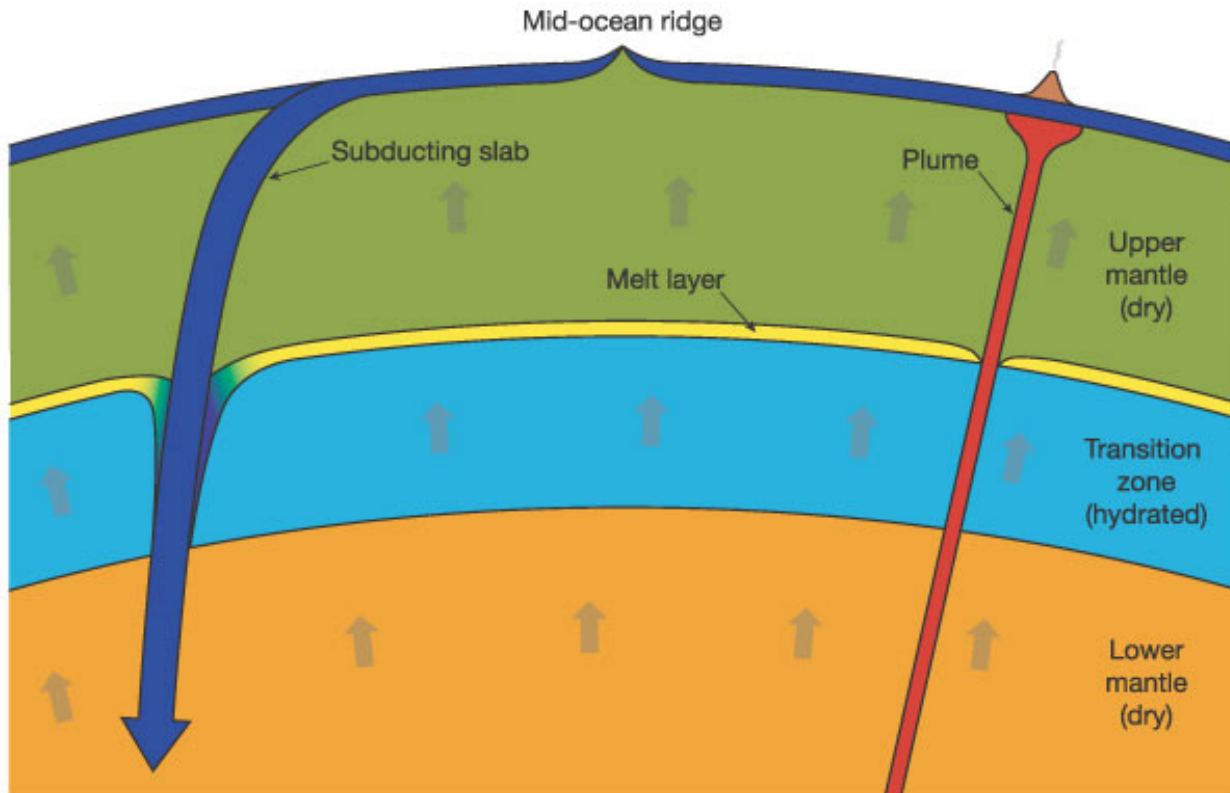


Pyroxène omphacite

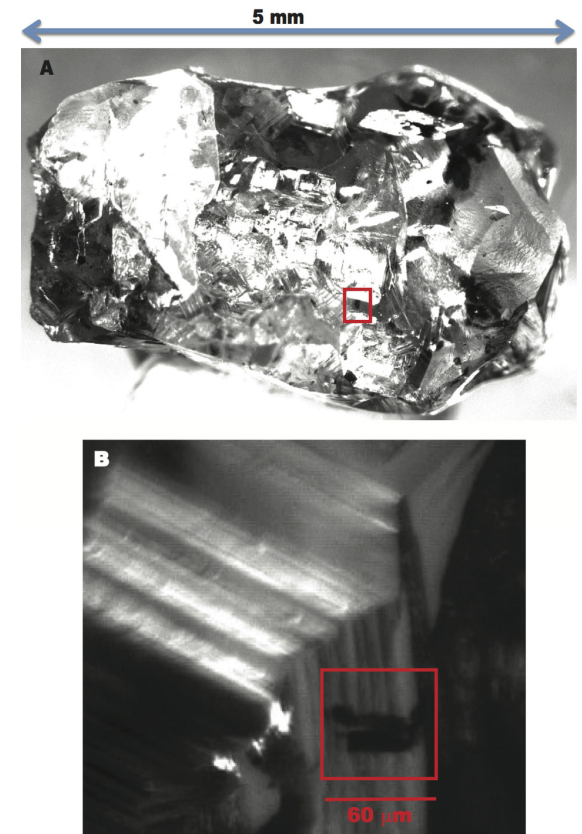
coesite

Inclusion éclogitique

# Inclusions dans les diamants et eau dans le manteau



Bercovici and Karato, Nature 2003.

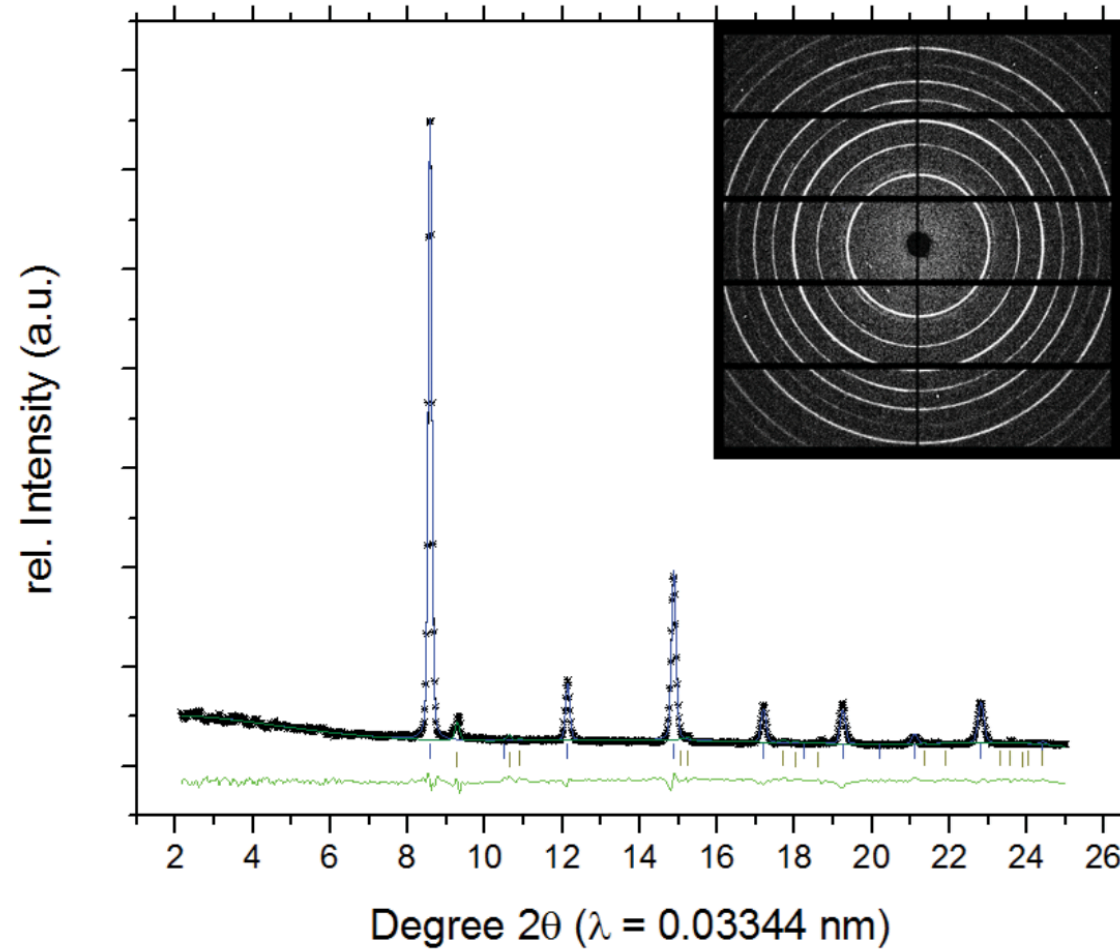


1.5% H<sub>2</sub>O  
olivine-γ

⇒ Première mesure naturelle de la teneur en eau dans la zone de transition

Pearson et al. Nature 2014.

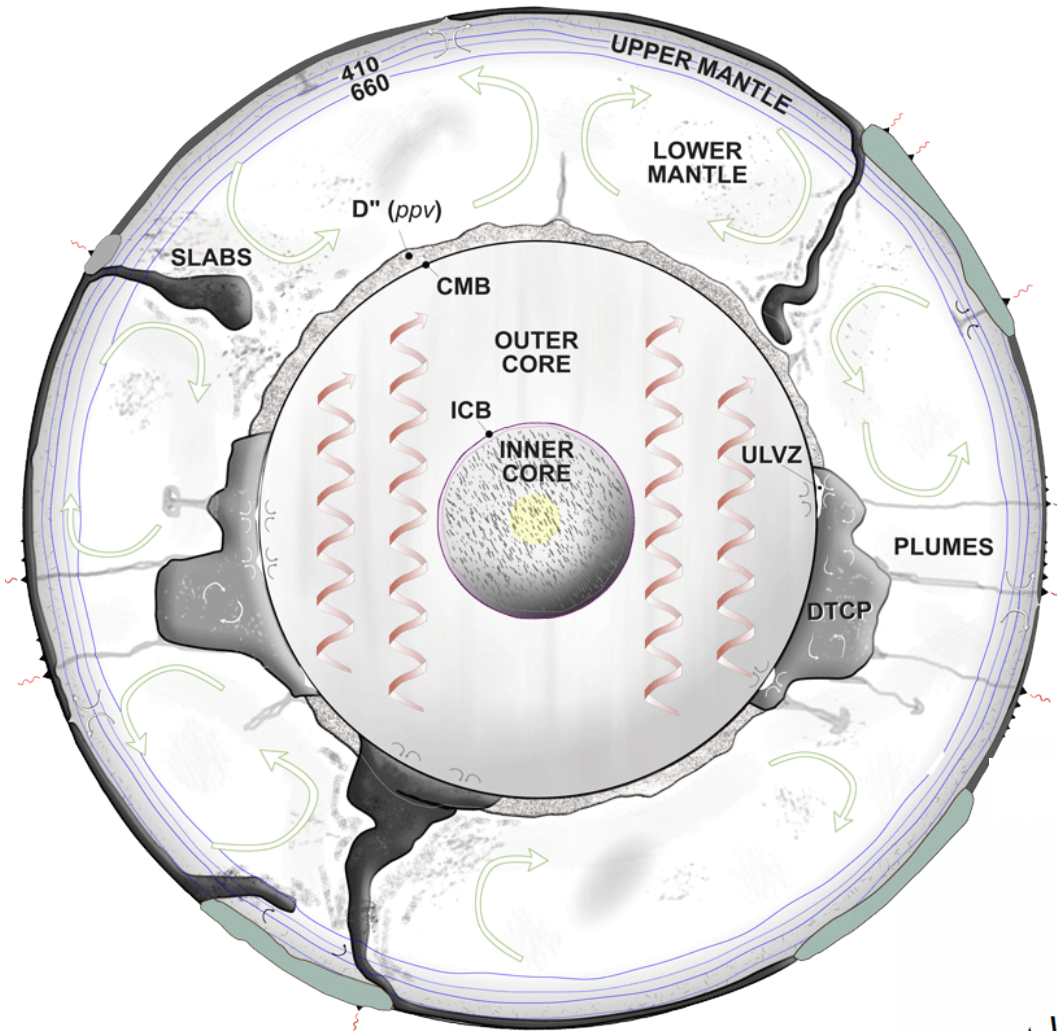
# Inclusions dans les diamants et eau dans le manteau



Tschauner et al. Science 2018.

⇒ Inclusion de glace (phase de haute pression)!

# Quelles grandes inconnues restent?

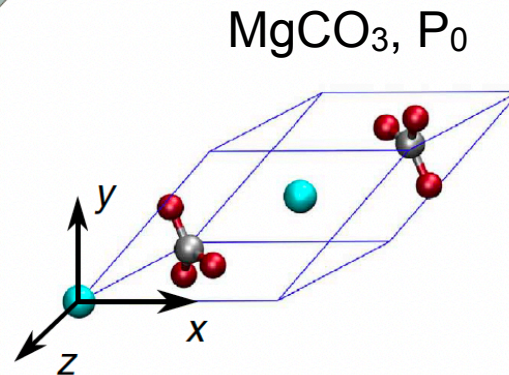


Courtilot et al. EPSL 2003.

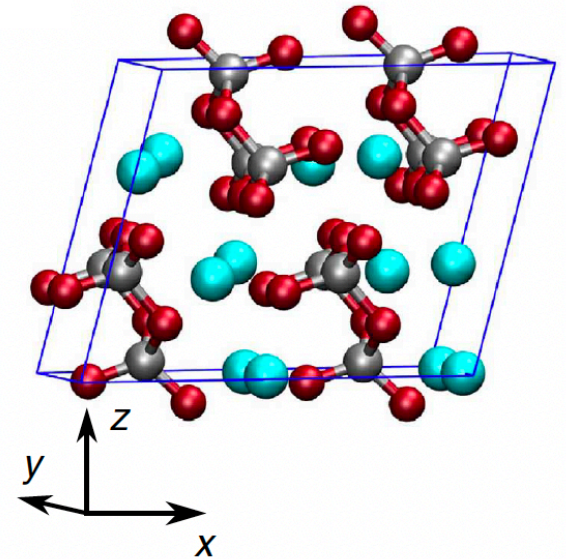
Nature des dômes du manteau inférieur?

Minéralogie des phases carbonatées?

MgCO<sub>3</sub>, 80 GPa

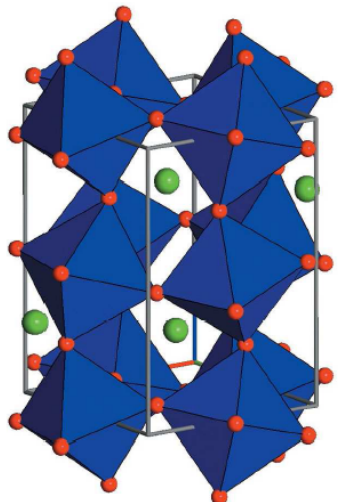


Boulard et al. Nat Comm. 2015.

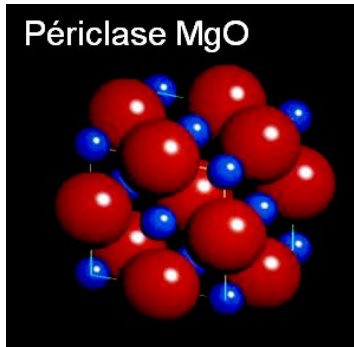




# Merci pour votre attention!



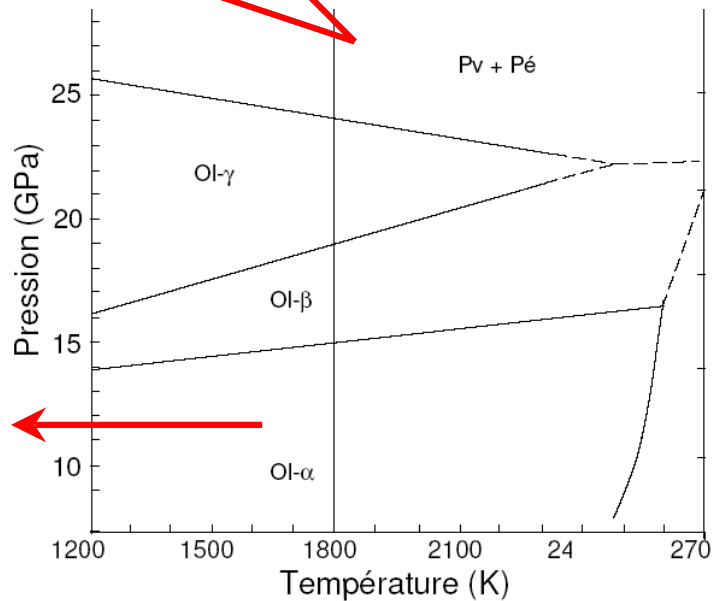
Bridgmanite  ${}^{\text{IV}}\text{Si}$   
(structure perovskite)



Périclase MgO

Intérieur de la Terre = laboratoire naturel de hautes pressions et hautes températures

⇒ Etude de la minéralogie du manteau à la croisée de la chimie, de la physique, de la géologie



Un dernier message pour vos élèves:

Légendes de partout?  
Flèches non horizontales?  
**Le fond compte plus que la forme :)**

Olivine  
 ${}^{\text{IV}}\text{Si}$