

Un manteau supérieur thermiquement et mécaniquement anisotrope? Modélisation numérique et contraintes expérimentales

Programme INSU / ATI 99 - Résultats préliminaires

Andréa TOMMASI

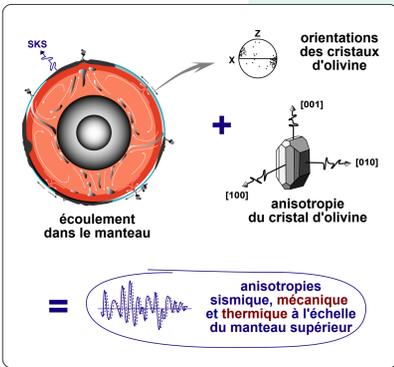


I. La diffusivité thermique du manteau supérieur est anisotrope

coll. Benoît Gibert, David Mainprice - Lab. Tectonophysique et Ulfert Seipold - GFZ Potsdam

DEA UM II 99/00, actuellement en thèse

1. Le projet

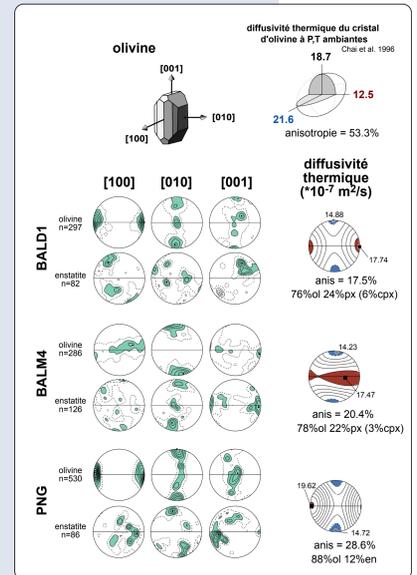
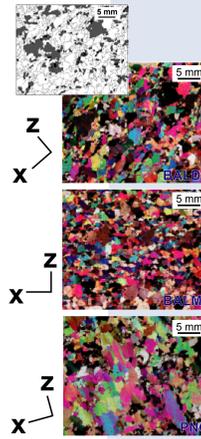


L'olivine est le minéral le plus abondant (~60-70%) et le plus déformable dans le manteau supérieur. Le monocristal d'olivine présente une forte anisotropie de ses propriétés élastiques [Kumazawa and Anderson, 1969], thermiques [Schärmeli, 1982] et mécaniques [Bai et al., 1991]. La déformation mantellique produit une orientation préférentielle de réseau (OPR) des cristaux d'olivine. Elle doit donc induire une anisotropie des propriétés élastiques, thermiques et mécaniques du manteau supérieur. En effet, des mesures d'anisotropie sismique, en particulier le déphasage des ondes SKS, ont été largement utilisées pour ausculter la déformation mantellique depuis 15 ans. Par contre, la présence (ou absence) d'une anisotropie thermique ou mécanique dans le manteau supérieur n'est toujours pas prouvée.

Pour tester l'existence de ces anisotropies, nous avons donc proposé une étude pluridisciplinaire des relations entre déformation, orientations cristallographiques et anisotropies des propriétés physiques du manteau supérieur. Cette étude couple: (1) la modélisation numérique de la déformation d'une péridotite et de son effet sur la viscosité et la diffusivité thermique et (2) un programme expérimental (déformation à haute P,T et mesure de l'anisotropie de diffusivité thermique de péridotites texturées).

2. Modélisation de la diffusivité thermique 3D des roches mantelliques

les échantillons:
2 lherzolites à spinelle manteau continental et une harzburgite manteau océanique

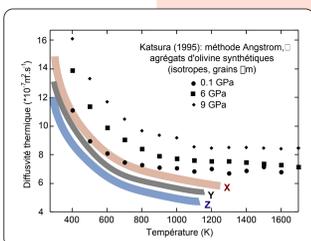
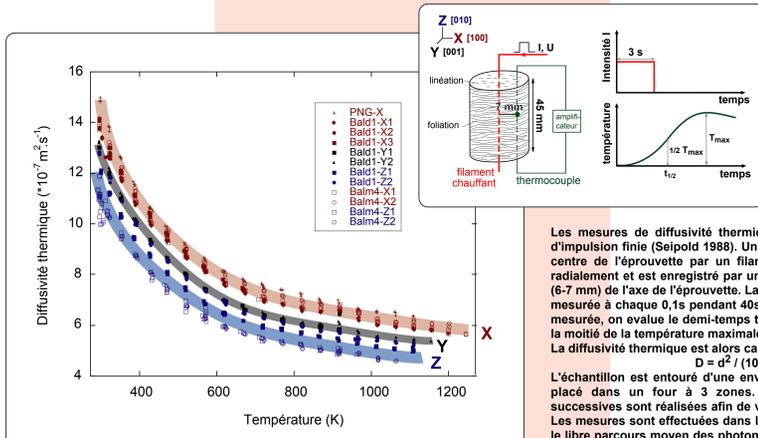


Les modélisations suggèrent, qu'à pression et température ambiantes, des roches mantelliques déformées peuvent préserver jusqu'à la moitié de l'anisotropie de diffusivité thermique du cristal d'olivine.

- Cette anisotropie se maintient-elle aux conditions P,T du manteau supérieur?
- La diffusivité thermique à l'échelle de la roche est-elle affectée par des processus de dispersion aux joints des grains?

3. Mesures en laboratoire entre 300 et 1273 K GeoForschungsZentrum Potsdam

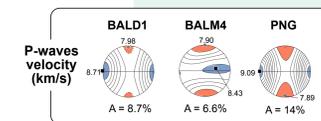
L'anisotropie de diffusivité thermique de roches mantelliques présentant une orientation cristallographique d'olivine se maintient à haute température (1250 K)



- Les valeurs absolues de diffusivité mesurées à Pamb sont systématiquement inférieures de 20% aux diffusivités modélisées. => effet des défauts de réseau et des microfractures distribués isotropiquement dans les échantillons.
- Pour T < 600 K, la diffusivité thermique est inversement proportionnelle à la température, ce qui suggère que les échanges thermiques sont contrôlés par la dispersion de phonons par des imperfections du réseau et des collisions entre phonons.
- Pour T > 600 K, la légère déviation d'une dépendance inverse de la température peut être attribuée à l'activation du rayonnement (dépendance en T^-3). A partir de 900 K, cette contribution est toutefois freinée en raison du développement de films d'oxyde aux joints de grains, produits de la déstabilisation de l'olivine à HT et Pamb.
- Le mécanisme dominant dans la gamme de température étudiée est donc le transfert de chaleur par des vibrations du réseau cristallin (en accord avec Hofmeister 1999 qui à partir de données d'absorption IR montre que la contribution du rayonnement est mineure au dessous de 1500 K).

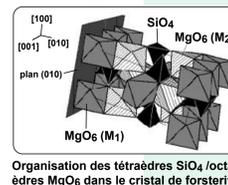
4. Discussion: causes de l'anisotropie

L'anisotropie de diffusivité thermique observée est essentiellement due à une anisotropie du libre parcours moyen et de la vitesse des phonons (vibrations du réseau cristallin).

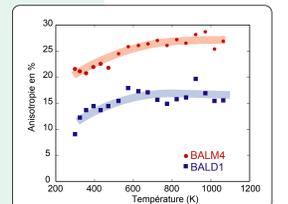


L'anisotropie des vitesses sismiques (approximation de $V_{\text{phonons}} \ll \lambda$) < l'anisotropie de diffusivité thermique. L'anisotropie du libre parcours moyen des phonons est donc le facteur prépondérant.

Si on essaie de revenir au cristal d'olivine...



Les collisions de phonons résultent de l'anharmonicité des vibrations de réseaux. Cette dernière est, pour la forsterite, plus faible pour les modes internes, associés aux tétraèdres SiO4, que pour les modes réseau, associés aux vibrations des octaèdres MgO6; ceci indépendamment de la pression et de la température (Gillet et al. 1997). Elle est donc plus importante dans la direction [010], pour laquelle les plus faibles diffusivités sont observées. Par ailleurs, les coefficients d'expansion linéaire pour la forsterite, qui dépendent aussi de l'anharmonicité, présentent une anisotropie similaire: $\alpha_{[100]} < \alpha_{[001]} < \alpha_{[010]}$ jusqu'à 2000K (Bouhifd et al. 1996).



La préservation de l'anisotropie de diffusivité thermique à HT implique que le libre parcours moyen et, donc, l'anisotropie, est contrôlé par les collisions phonons-phonons

5. Conclusion et perspectives

Le transfert de chaleur dans le manteau lithosphérique peut-être fortement anisotrope: la diffusion de la chaleur parallèlement à la concentration des axes [100] de l'olivine est jusqu'à 30% plus rapide que parallèlement à [010]. En plus, la faible dépendance de la température suggère que l'anisotropie soit préservée dans le manteau sublithosphérique.

Cette anisotropie doit modifier la distribution de température et, par conséquent, la rhéologie et le fluage du manteau. => modèles géodynamiques (coll. M.-P. Doin, ENS)

Confirmation des résultats et étude de la contribution du rayonnement (isotrope ou anisotrope?)
Thèse de B. Gibert, Lab. Tectonophysique, UM II, 2000-2003 (co-encadrement avec D. Mainprice)
=> nouvelles mesures à fugacité d'oxygène contrôlée sur des roches et monocristaux
=> montage d'un nouveau système de mesure de diffusivité thermique à Montpellier.

