



HAL
open science

Mesures simultanées de conductivité électrique et de vitesse d'ondes sismiques de matériaux géologiques partiellement fondus à haute pression et haute température : implication pour la fraction de liquide silicaté dans l'asthénosphère

D. Freitas, Geeth Manthilake, Julien Chantel, Denis Andrault

► To cite this version:

D. Freitas, Geeth Manthilake, Julien Chantel, Denis Andrault. Mesures simultanées de conductivité électrique et de vitesse d'ondes sismiques de matériaux géologiques partiellement fondus à haute pression et haute température : implication pour la fraction de liquide silicaté dans l'asthénosphère. 10ème forum de technologie des hautes pressions du CNRS: "Du pascal au térapascal: quelles technologies pour quelle science?", Oct 2016, Le Londe les Maures, France. hal-01687672

HAL Id: hal-01687672

<https://hal.science/hal-01687672>

Submitted on 18 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mesures simultanées de conductivité électrique et de vitesse d'ondes sismiques de matériaux géologiques partiellement fondus à haute pression et haute température : implication pour la fraction de liquide silicaté dans l'asthénosphère

Freitas Damien^a, Manthilake Geetha^a, Chantel Julien^b, Andrault Denis^a

a. Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS 6524, UPB, IRD, 63038 Clermont-Ferrand, France

b. Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Case Western Reserve University, Cleveland, OH 44106, USA

Un débat important existe actuellement sur les capacités des systèmes partiellement fondus à augmenter la conductivité électrique et réduire la vitesse des ondes sismiques du matériel géologique, nécessaires pour expliquer la présence de zones d'anomalies géophysiques dans le manteau terrestre (zone de faible vitesse : LVZ de l'asthénosphère entre 70 et 200 Km ^{[1],[2],[3]}). De nombreuses hypothèses alternatives ont été proposées et sont basées sur des processus à l'état solide ^[4] telles la diffusion de l'hydrogène dans la structure cristalline. Ces théories suggèrent une asthénosphère sans fusion partielle. Alors que de fortes évidences physiques confirment la présence de fusion partielle du manteau asthénosphérique, comme la découverte de basaltes alcalins jeunes disposés sur la plaque océanique indienne beaucoup plus ancienne ^[5], les mesures expérimentales de conductivité électriques et de vitesse des ondes sismiques réalisées en laboratoire sur les systèmes partiellement fondus apportent des estimations antagonistes de la fraction de liquide silicaté impliqué dans l'asthénosphère. De plus, la source du désaccord entre les deux techniques géophysiques (conductivité électrique et vitesse sismique) demeure toujours mal contrainte.

Utilisant les nouvelles techniques expérimentales développées sur la presse multi-enclumes au Laboratoire Magmas et Volcans de Clermont-Ferrand, des mesures couplées de conductivité électrique et de vitesse des ondes acoustiques ont été réalisées de façon *in situ* et simultanée sur le même échantillon. Nous avons alors étudié des systèmes partiellement fondus en utilisant des échantillons composés d'un mélange biphase d'olivine de San Carlos (standard pétrologique) et d'un basalte de ride médio-océanique hydraté provenant de la ride Est-Pacifique (issu d'un forage) dans des conditions de haute pression : 2.5 GPa et de haute température: jusqu'à 1650 K.

Au point de fusion du composant basaltique (MORB), nous avons observé une diminution importante de vitesse sur les ondes primaires (V_p) de même que pour les ondes secondaires (V_s). La magnitude de diminution de la vitesse sismique varie positivement en fonction de la fraction de liquide silicaté de l'échantillon. Après cette diminution abrupte, la vitesse sismique s'est stabilisée à une température constante de 1650 K. En opposition, les mesures de conductivité électrique démontrent une évolution plus complexe. Au début de la fusion, tous les échantillons montrent une augmentation soudaine de la conductivité électrique dépendant de leur taux de fusion. Tout en maintenant la température à 1650 K, les valeurs de conductivité soulignent une augmentation graduelle jusqu'à l'atteinte d'un état stationnaire. Dans un délai de 30 à 40 minutes, toutes les valeurs des conductivités électriques de nos échantillons se sont stabilisées dans une gamme entre 0.08 et 0.1 S/m.

Le faible angle dièdre ($\theta = 27 \pm 4^\circ$) mesuré pour les liquides basaltiques hydratés indique un mouillage complet des joints de grain, suggérant qu'une interconnectivité complète du liquide peut être atteinte dans nos échantillons, et cela même pour des faibles fractions volumiques de magma. Alors que tout le composant basaltique (MORB) doit fondre instantanément au dessus de sa température de fusion, l'interconnectivité du liquide silicaté évolue au cours du temps car celle-ci inclue la diffusion des films de liquide à travers les joints des grains d'olivine. Par conséquent, nos observations expérimentales suggèrent que (i) V_p et V_s sont sensibles à la fraction volumique de

liquide silicaté, mais ne sont pas affectées significativement par la texture du système partiellement fondu, alors que (ii) la conductivité électrique est grandement dépendante de la texture du liquide et de son interconnexion.

La vitesse des ondes sismiques et la conductivité électrique répondent toutes deux, de façon importante, à l'apparition de la fusion partielle du matériel, et sont donc des techniques précieuses pour la détection des zones de fusion mantellique et le suivi *in situ* des expériences à haute pression et haute température.

Nos données présentent la vitesse des ondes acoustiques comme un outil fiable pour obtenir une fraction de liquide silicaté pour un système partiellement fondu à l'échelle de temps du laboratoire. La conductivité électrique est une technique complémentaire pour détecter la fusion, de part sa grande sensibilité et peut être utilisée pour surveiller un échantillon pendant l'expérience (les vitesses sismiques nécessitent un long traitement les rendant inappropriées au suivi instantané de l'expérience). Cette dernière n'est pas adaptée pour déterminer le taux de fusion due à sa forte dépendance à la texture, mais est donc d'importance critique pour comprendre la distribution des liquides dans le manteau terrestre. La distribution des magmas peut conduire à une sous-estimation de la conductivité électrique pour une fraction donnée, si l'interconnectivité de ces derniers n'est pas totale. La contradiction entre les mesures expérimentales des vitesses des ondes sismiques et de la conductivité électrique à travers le matériel mantellique est liée aux problématiques de texture et des distributions des liquides, pouvant générer des variations importantes dans le cas d'un système éloigné de sa maturation texturale.

En se basant sur les mesures ayant atteint un équilibre textural, les zones de faible vitesse (LVZ) de l'asthénosphère situées entre 70 et 220 Km de profondeur peuvent être expliquées par la présence de 0.2 à 0.5% volumique de liquide basaltique modérément hydraté.

Bibliographie :

- [1] Shankland, T.J., O'Connell, W. Geophysical Constraints on Partial Melt in the Upper Mantle. *Rev. Geophys. Sp. Phys.* **19**, 394–406 (1981).
- [2] Romanowicz, B. A global tomographic model of shear attenuation in the upper mantle. *J. Geophys. Res.* **100**, 12375. doi:10.1029/95JB00957 (1995).
- [3] Baba K, Chave AD, Evans RL, Hirth G, Mackie RL. Mantle dynamics beneath the East Pacific Rise at 17°S: insights from the Mantle Electromagnetic and Tomography (MELT) experiment. *J Geophys Res* **111**:B02101. doi:10.1029/2004JB003598 (2006).
- [4] Karato, S., Wang, D. Electrical conductivity of minerals and rocks, in: Karato, S. (Ed.), *Physics and Chemistry of the Deep Earth*. **Wiley-Blackwell, New York**, pp. 145-182. (2013).
- [5] Hirano N, Takahashi E, Yamamoto J, Abe N, Volcanism in Response to Plate Flexure. **Science**, **313**:1426. DOI: 10.1126/science.1128235 (2006).