



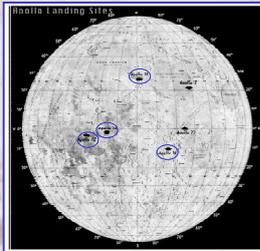
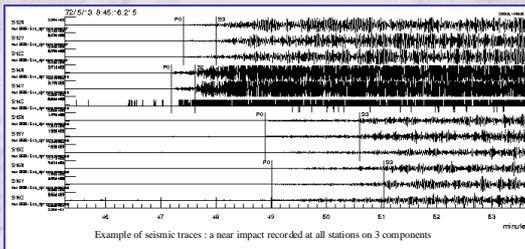
NOUVELLE RÉ-INVESTIGATION DES DONNÉES SISMOLOGIQUES APOLLO : UNE CROÛTE LUNAIRE PLUS FINE

Hugues Chenet, Jeannine Gagnepain-Beyneix, Philippe Lognonné,
 Département de Géophysique Spatiale et Planétaire, Institut de Physique du Globe de Paris
 Lev P. Vinnik
 Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russian Federation



Introduction

Introduction : La Lune est le seul objet extra-terrestre dont l'intérieur a été observé avec des outils géophysiques (sismologie, géodésie, flux de chaleur), et pour lequel nous disposons d'échantillons. L'étude intensive des données sismologiques dans les années 70 [1,2,3] a conduit à une représentation de l'intérieur de la Lune finalisée par Nakamura en 1983 [4]. Depuis, la croûte lunaire a toujours été considérée comme épaisse de 60 km, aux alentours des stations Apollo 12 et 14. Nous présentons ici les étapes d'un retraitement complet du jeu de données sismiques Apollo et les modèles de structures sismiques que nous obtenons.



Sismologie lunaire

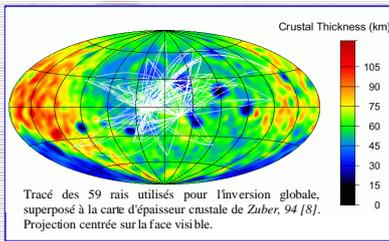
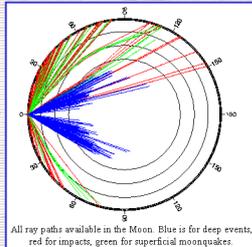
Caractéristiques de propagation et activité sismique sur la Lune.

- Sources sismiques:
 - Impacts météoritiques et artificiels [Modules Lunaires et 3^e étage des fusées Saturn (S4B)]
 - Séismes superficiels (High Frequency Teleseismic) : refroidissement thermo-élastique
 - Séismes profonds (périodiques, milliers d'événements enregistrés, localisés en 52 foyers)
- Propriétés sismologiques:
 - Niveau de bruit très faible
 - Très faible atténuation en surface
 - Couches superficielles très diffractantes

Résolution

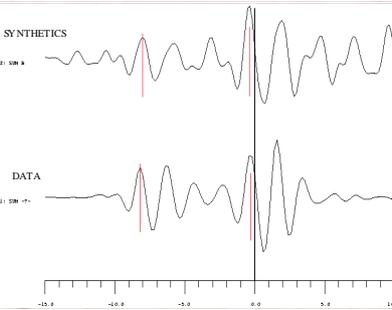
Nous avons attaché une importance particulière à l'estimation des incertitudes dans la lecture des temps d'arrivée: des erreurs de lecture ont été attribuées à chaque arrivée, et les événements comportant des erreurs trop grandes ont été exclus dans l'inversion.

Les rais sismiques sondent l'intérieur de la Lune jusqu'à un rayon de 400km pour les ondes P et 600km pour les S, ainsi nous ne disposons d'aucune contrainte sismique sur le noyau de la Lune.



De plus, en conséquence de la géométrie et de la disposition du réseau, nos données ne contraignent que la face visible.

Receiver functions



Nous avons cherché des phases converties associées à des discontinuités crustales sous les sites d'alunissage. Nous avons appliqué la méthode des Receiver Functions aux données lunaires, qui permet d'amplifier les arrivées secondaires cachées dans la coda très dense [5]. L'étude de 13 événements profonds soigneusement choisis en fonction de la résolution de l'onde S, a permis d'identifier une phase convertie Sp relative à la transition croûte-manteau sous la station 12. Le délai de 8 secondes entre ce précurseur et l'onde S est à la fois une expression de la profondeur de la discontinuité et des vitesses de propagation dans la croûte.

Les sismogrammes synthétiques montrant le meilleur accord ont été calculés avec un modèle de croûte de 28km d'épaisseur.

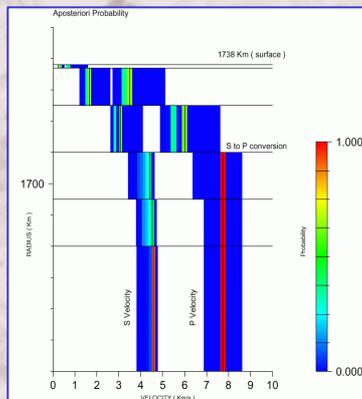
Inversion

Les meilleurs modèles de vitesses sismiques ont été déterminés avec les 59 événements, avec ou sans la contrainte du temps de trajet de l'onde Sp dans la croûte. Nous avons défini une classe de modèles acceptables, après une exploration quasi-systématique de l'espace des modèles, en deux étapes :

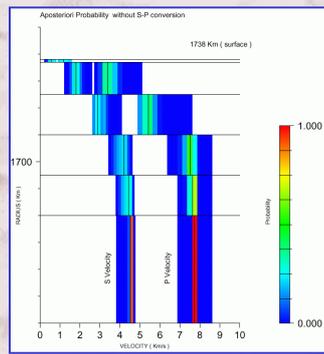
- avec les données des impacts pour contraindre la croûte,
- avec toutes les données pour contraindre le manteau.

Les résultats sont donnés en terme de probabilité de la manière suivante :

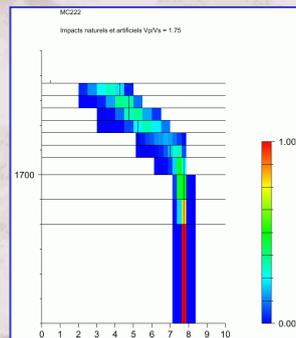
$$S_n = \frac{1}{2} \sum_{i=sources} \sum_{j=stations} \frac{(calc t_{ijn} - obs t_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \quad P_n = C \cdot \exp\{-S_n\}$$



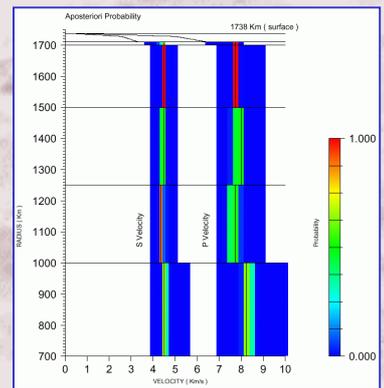
Distribution des vitesses sismiques en terme de probabilité dans la croûte en utilisant les impacts. [a] avec les temps d'arrivée seuls.



Distribution des vitesses sismiques en terme de probabilité dans la croûte. [b] on ajoute la contrainte de l'écart temporel entre l'onde S et l'onde convertie Sp.



Distribution des vitesses sismiques en terme de probabilité dans la croûte. [c] le rapport Vp/Vs est fixe, le nombre de couches est plus grand (couches plus fines).



Distribution des vitesses sismiques en terme de probabilité dans le manteau. Les temps d'arrivée de tous les événements disponibles (59) ont été utilisés.

Résultats

10⁷ modèles ont été testés. La caractéristique principale de ces modèles est l'absence d'augmentation importante de vitesse autour de 60km de profondeur (R=1678km), considéré comme la limite croûte-manteau dans les publications précédentes, excepté la récente étude de Khan et al.[6] qui propose ~ 40 km. L'augmentation rapide des vitesses P dans les premiers 30km s'étend plus en profondeur pour les ondes S (40km), suggérant l'effet de la fracturation du milieu, plus que des changements de composition. La discontinuité majeure apparaît ainsi se trouver aux alentours de 30 km; les vitesses P et S dans le manteau supérieur sont de 7.75km/s et 4.5km/s, proches des valeurs de Goins et al.[3].

Ce nouveau modèle sismique de l'intérieur de la Lune est en accord avec un modèle thermique de manteau plus froid que les modèles standards (composition de type pyroxénite [7]). Ceci est cohérent avec le maintien des mascons sur 3-4 Ga, et la faible atténuation sismique dans le manteau moyen.

Références:

[1] Toksoz N.M. et al. (1974) *Rev. Geoph. Space Phys.*, 12, 539-567. [2] Lognonné P. & B. Mosser (1993). *Survey in Geophysics*, 14, 239-302. [3] Goins N.R. et al. (1981) *JGR*, 86, 5061-5074. [4] Nakamura Y. (1983) *JGR*, 88, 677-686. [5] Vinnik et al. (2001) *GRL*, 28, 15, 3031-3034. [6] Khan A. et al. (2000) *GRL*, 27, 11, 1591-1594. [7] Kaskov O.L. (1995) *PEPI*, 90, 55-74. [8] Zuber M. et al. (1994) *Science*, 266, 1839-1843.