

## Musée de Sismologie et Magnétisme Terrestre

### *Sismologie et structure interne de la Lune*

Notice à l'attention du professeur

- Public visé par l'activité : Lycéens
- Disciplines concernées : S.V.T., Sciences Physiques
- Lieu pour l'activité : En classe ou à la maison
- Durée de l'activité : Environ 2 heures
- Nature de l'activité : Étude de documents sur les études sismologiques menées sur la Lune et permettant d'obtenir des informations sur la structure interne de la Lune. Recherche d'informations au C.D.I. ou en ligne.
- Contenu du dossier : Fiche élève
- Proposition de correction sur demande émanant d'une adresse académique de préférence et adressée à l'un des contacts indiqués ci-dessous.
- Déroulement possible de l'activité :
- Cette activité peut tenir lieu de travail dirigé, d'activité en classe entière ou de travail à faire à la maison.

Contacts :

Pierre-André Labolle, Lycée des Pontonniers : [plabolle@ac-strasbourg.fr](mailto:plabolle@ac-strasbourg.fr)  
Valérie Ansel, EOST : [valerie.ansel@unistra.fr](mailto:valerie.ansel@unistra.fr)

## ***Sismologie et structure interne de la Lune***

*L'objet de cette activité est d'exploiter les quatre documents présentés dans les pages suivantes dans le but de déterminer, à l'aide de résultats obtenus grâce aux ondes sismiques, la structure interne de la Lune.*

*À l'aide de vos connaissances, du C.D.I. de votre établissement ou d'un moteur de recherche en ligne, utiliser les documents 1 à 5 pour répondre aux questions suivantes.*

1. Combien la Terre compte-t-elle de satellites naturels ?
2. Que valent approximativement la distance Terre-Lune et le rayon de la Lune ?
3. Combien de fois l'Homme a-t-il mis le pied sur la Lune ?
4. Sur quelle face de la Lune les sismomètres des mission Apollo se trouvent-ils ?
5. Rappeler la définition de la masse volumique  $\rho$  d'un solide ou d'un liquide.
6. Rappeler la structure interne de la Terre en complétant le **document 5** : préciser le nom des différentes couches, leur profondeur ou leur épaisseur, leur état solide ou liquide et le nom des différentes discontinuités : Mohorovičić, Gutenberg, Lehmann.
7. La masse volumique du matériau constituant la Lune augmente-t-elle ou diminue-t-elle avec la profondeur à laquelle se trouve ce matériau ? Proposer deux explications possibles à cette évolution.
8. En exploitant le **document 2**, repérer les quatre principales discontinuités dans l'évolution de la masse volumique du matériau constituant la Lune en précisant leur profondeur.
9. Rappeler ce que sont les ondes S et les ondes P. Sont-elles toutes deux capables de se propager dans les solides ? Dans les liquides ?
10. En exploitant le profil de vitesse pour les ondes P, déterminer la profondeur des 5 principales discontinuités. Faire de même pour les ondes S.
11. Le **document 2** permet de déduire que l'une des couches de la structure de la Lune est liquide. Justifier cette affirmation puis préciser le rayon et l'épaisseur de cette couche.
12. Globalement, la vitesse des ondes sismiques est plus faible dans un fluide que dans un solide. En détaillant soigneusement le raisonnement, que peut-on en déduire pour la couche responsable de la discontinuité présente dans les profils de vitesse mais absente dans celui de la masse volumique ?
13. À l'aide des réponses aux questions précédentes, réaliser un document à l'échelle représentant la structure interne de la Lune en s'inspirant du **document 5**.

## **Document 1 : La structure interne de la Lune, quelle problématique ?**

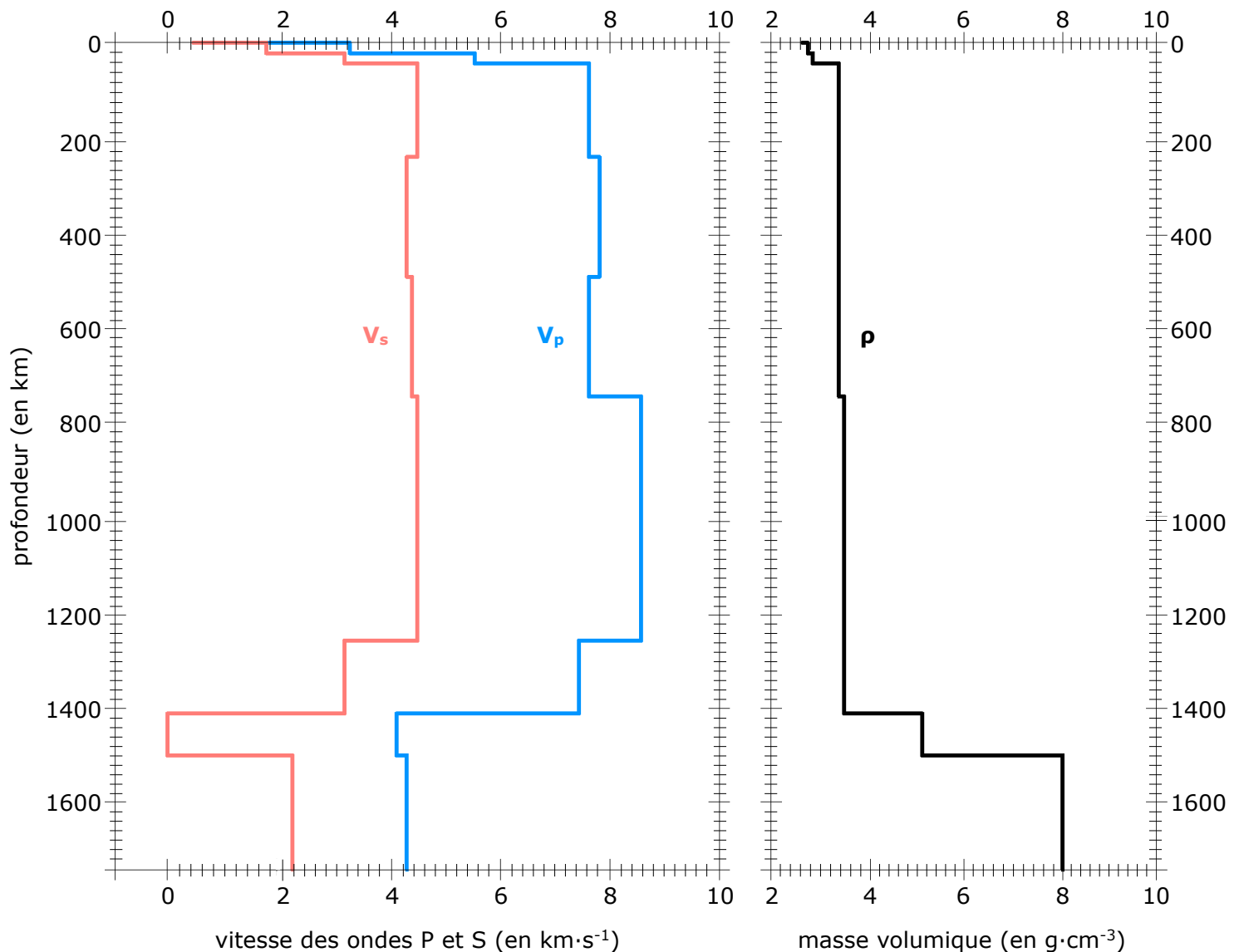
*Ce document est un extrait de la thèse de doctorat de M. Hugues CHENET portant sur l'étude de la structure interne de la Lune.*

«La Lune. Depuis l'aube de l'humanité, les hommes voient, observent, contemplant la Lune, lui vouent d'abord des cultes et l'invitent à leur quotidien en inventant des cycles de jours, les mois, les calendriers. Puis viennent les questions. Comment est né notre satellite et de quoi est-il fait. La description de sa surface, puis l'analyse de ses mouvements célestes constituent les premiers pas de l'étude de la Lune et du Système Solaire.

La Lune apparaît rapidement comme un objet unique, comparé aux autres satellites et planètes qui gravitent autour du Soleil, du fait de sa grande taille par rapport à la Terre et de sa faible densité. L'étude de la Terre, de sa structure interne et de son origine connaît une avancée considérable durant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, mais au début des années 1950, alors qu'on entre dans l'ère spatiale, la science lunaire en est encore à ses balbutiements. Ce sont les six missions américaines *Apollo* qui vont permettre de dresser, entre 1969 et 1972 grâce aux nombreuses données géophysiques et retours d'échantillons, les fondations de la compréhension de la formation de la Lune et de sa structure interne [...]

La sismologie est le meilleur moyen d'appréhender l'intérieur de la Lune. Les missions *Apollo* ont installé un réseau de quatre stations sismologiques entre 1969 et 1972 qui ont fonctionné jusqu'en 1977. Les caractéristiques sismiques de la Lune en font un objet fort différent de la Terre du point de vue des sources comme de la propagation des ondes [...] Bien qu'exceptionnelle pour l'époque, la qualité des données ainsi que la zone limitée qu'elles couvrent empêchent de sonder l'intérieur de la Lune aussi précisément qu'on peut le faire sur Terre. Toutefois, les grandes lignes de la structure de notre satellite, et particulièrement la limite entre la croûte et le manteau sous les stations, peuvent être caractérisées grâce à ces données. En quelques publications des années 1970, l'épaisseur de la croûte fût évaluée à environ 60 kilomètres sous les stations 12 et 14 du réseau, valeur ensuite utilisée massivement, d'abord pour estimer l'épaisseur crustale moyenne pour toute la Lune, ensuite pour dresser des bilans géochimiques et des modélisations des moments d'inertie. Il est clair que la caractérisation de l'épaisseur crustale a ainsi des conséquences immédiates sur beaucoup de paramètres clé de la formation, de l'évolution et de la composition de la Lune puisque la croûte est le témoin de la différenciation primitive qui a organisé la Lune telle qu'elle est aujourd'hui [...]»

## Document 2 : Profils de vitesse des ondes sismiques sur la Lune



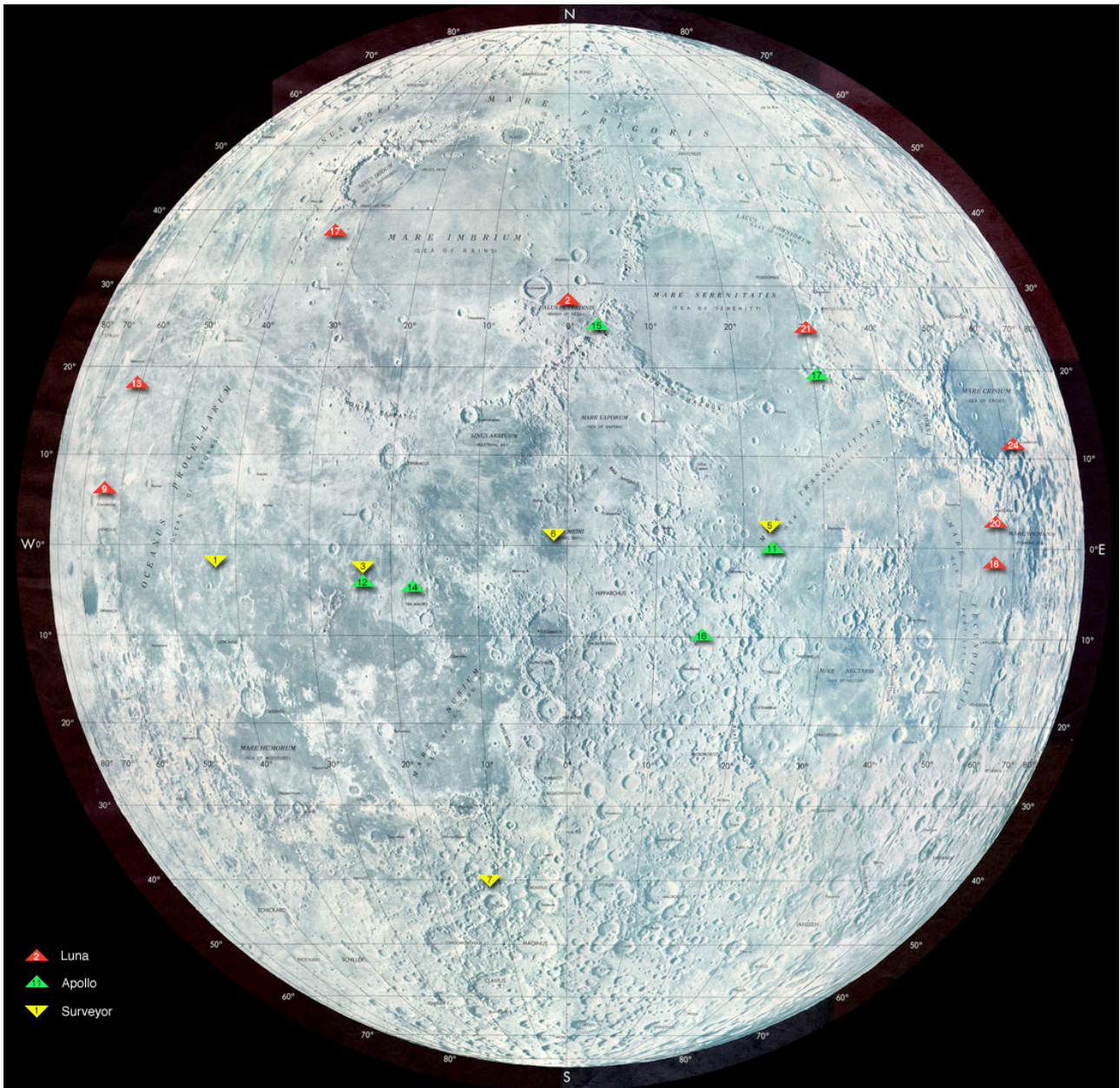
«[...] L'expérience de sismologie passive Apollo (PSE) consistait en quatre sismomètres déployés sur la face visible de la Lune entre 1969 et 1972 qui ont enregistré en continu les mouvements du sol dans trois directions perpendiculaires jusqu'à la fin de l'année 1977. Le petit nombre de stations, la faible extension du réseau sismique sur le sol lunaire et la faible atténuation de l'énergie sismique couplés à une forte diffraction ont entravé l'observation directe d'ondes réfléchies ou réfractées par le noyau [...]

Nos principaux résultats, justifiés par les cohérences entre les jeux de données de différents types, démontrent la présence de réflecteurs profonds et suggèrent fortement que la Lune possède un noyau interne solide et un noyau externe fluide, entouré d'une couche partiellement fondue [...]

D'après :

WEBER, Renee C. et al. Seismic Detection of the Lunar Core. *Science*. 21 janvier 2011, volume 331, numéro 6015, pp. 309-312.

### Document 3 : Carte des alunissages des missions Apollo, Luna et Surveyor



D'après :

Dr. David R. Williams. *National Space Science Data Center* [en ligne]. NASA, 2008, mis à jour le 24 novembre 2008 [consulté le 04 mai 2012]. Disponible sur : [http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/moon\\_landing\\_map.jpg](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/moon_landing_map.jpg)



## **Document 4 : Les missions Apollo**

Le programme *Apollo* a été conçu pour poser des gens sur la Lune et les ramener à Terre sans risque. Six des missions (Apollo 11, 12, 14, 15, 16 et 17) ont pu atteindre cet objectif. Apollo 7 et 9 étaient des missions orbitales autour de la Terre qui ont permis d'évaluer la Commande et les Modules Lunaires et n'ont pas fourni de données lunaires.

Apollo 8 et 10 ont évalué des composants divers avec une orbite autour de la Lune et ont permis d'avoir des photographies de la surface lunaire. Apollo 13 n'a pas aluni en raison d'une défaillance mais a aussi fourni des photographies. Les six missions qui ont aluni ont fourni une grande quantité de données scientifiques et presque 400 kilogrammes d'échantillons lunaires. Les expériences ont inclus la mécanique du sol, les météoroïdes, la sismologie, le flux de chaleur, le champ magnétique et les vents solaires.

Le but de l'expérience de sismologie passive (PSE) était de contrôler l'activité sismique lunaire et de détecter des impacts de météorites ainsi que les oscillations libres de la Lune. Des déformations crustales lunaires dues à la marée pouvaient aussi être détectées.

La Lune est le seul corps du système solaire autre que la Terre pour lequel on dispose de données sismiques. Ces données sont très importantes car elles permettent d'accéder indirectement aux paramètres internes de la Lune et donc, en les associant aux données disponibles dans d'autres domaines, de contraindre les modèles de formation et d'évolution du coupe Terre-Lune.

Les données sismiques ont été acquises grâce aux missions Apollo 11, 12, 14, 15, 16 et 17. Le sismomètre de la mission Apollo 11 a fonctionné un mois seulement car il fonctionnait sur batterie uniquement. Le gravimètre installé lors de la mission Apollo 17 était trop peu sensible pour fournir des signaux exploitables. Les autres missions ont fourni une grande quantité de données grâce à la très grande sensibilité des instruments. Il ont fonctionné de novembre 1969 (Apollo 12) à fin septembre 1977.

Les signaux enregistrés proviennent de plusieurs types de sources : des impacts naturels (les météorites) et artificiels (fusées Saturne et modules lunaires), des sources internes superficielles (dont la profondeur est inférieure à 300 km) ou profondes (situées entre 800 km et 1100 km environ).

Ces sources ont pour origine les contraintes provoquées par le lent refroidissement de la Lune et sont modulées, pour les sources profondes, par les interactions gravitationnelles entre la Lune, la Terre et le Soleil.

L'analyse des signaux sismiques a permis de mettre en évidence l'existence d'une croûte d'épaisseur variable dont la partie supérieure a été profondément fracturée par les impacts de météorites tout au long de l'histoire de la Lune. En-dessous, on trouve ce que l'on peut appeler le manteau supérieur [...] La structure du manteau inférieur [...] est mal définie.

D'après :

Philippe Thoirey Consulting. *Études Spatiales - À propos...* [en ligne]. Institut de Physique du Globe de Paris - Département des Études Spatiales, 2000, [consulté le 04 mai 2012]. Disponible sur : <http://ganymede.ipgp.jussieu.fr/donnees/>

## Document 5 : Structure interne de la Terre

