SESSION 2011

Filière BCPST

SCIENCES DE LA TERRE

Epreuve commune aux ENS de Paris, Lyon et Cachan

Durée : 4 heures

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement est autorisé. Cependant, une seule calculatrice à la fois est admise sur la table ou sur le poste de travail, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats.

L'attention des candidats est attiré sur le fait que la qualité et la clarté de la rédaction sont prises en compte dans l'évaluation des copies.

La Lune

Le programme Apollo est un programme de la NASA qui a commencé en 1961 et a connu son apothéose par le premier pas de l'Homme sur la Lune le 21 juillet 1969. Cinq autres missions se sont posées par la suite sur d'autres sites lunaires et y ont séjourné jusqu'à trois jours. Ces expéditions ont permis de rapporter 382 kilogrammes de roches lunaires et de mettre en place plusieurs batteries d'instruments scientifiques. L'énorme moisson scientifique réalisée grâce au programme Apollo a permis d'apporter de nombreuses réponses aux questions concernant la Lune, notamment sa formation, son origine, sa structure interne etc... Le but de ce devoir est de passer en revue quelques grandes avancées permises par les missions Apollo en faisant appel à différents domaines des sciences de la Terre. Les conclusions de ces études pourront être obtenues partir de comparaison avec la Terre.

Partie I : Morphologie de la surface lunaire

Les observations de surface peuvent être très précieuses pour les géologues lorsque les déplacements sont coûteux, périlleux, difficiles voire impossible.

1 La figure 1 propose une image sous forme de planisphère de la Lune obtenue en lumière visible. *Commentez la morphologie de la surface? Quels types de lithologies pourriez-vous associer aux grandes zones que vous définirez.*

2 *Après avoir défini et expliqué comment est obtenue l'anomalie de Bouguer, commentez ces anomalies au niveau des zones entourées en noir sur la figure 2 et proposez une explication que vous justifierez quant aux anomalies enregistrées à leur niveau.*

3 *A partir des observations précédentes, proposez un modèle isostasique au niveau d'un cratère. Puis, en appelant* ***h*** *la profondeur du cratère,* $\boldsymbol{H_c}$ *l'épaisseur de la croute lunaire et* ***e*** *la différence de profondeur entre le moho sous une croute normale et sous une croute de cratère, calculez l'épaisseur de la croute sous le cratère. Vous prendrez soin de précisez les hypothèses faites pour la réalisation de ce calcul.*

Données : h = 3km, Hc = 40km, ρcroute = 2,9 et ρmanteau = 3,2

4 *A partir du résultat précédent, comparez qualitativement et quantitativement le flux de chaleur au niveau des cratères d'impacts lunaires et d'une croûte normale.*

5 *La carte présentée sur la figure 3 montre les anomalies à l'air libre de la Lune. Le calcul fait à la question 3 est-il encore valable? Justifiez votre réponse.*

distance Terre-Lune. Pour ce faire, des laboratoires comme celui de Grasse en France, possède un « laser-lune ». Des tirs de lasers sont régulièrement réalisés sur ces miroirs qui renvoient le faisceau au laboratoire : on peut ainsi déterminer le temps aller-retour de la lumière et en déduire la distance Terre-Lune.

3.1. Le graphique de la figure 17 présente le résultat de ces mesures de distance Terre-Lune depuis 1987 jusqu'à 2005. *Commentez l'évolution qualitative et quantitative de la distance Terre-Lune.*

3.2. Que se passera-t-il dans plusieurs millions d'années?

Partie 5 : Synthèse

Réalisez une synthèse résumant la structuration de la Lune et son histoire.

Partie 2 : Pétrologie de la surface Lunaire

Cette partie est dédiée à l'étude des échantillons rocheux lunaires ramenés par le programme Apollo.

1 Les photos de la figure 4 présentent une image en lumière polarisée non analysée et en lumière polarisée analysée d'un échantillon récolté par la mission Appolo 12 au niveau de l'Océan des Tempêtes. *Proposez une identification raisonnée des minéraux identifiés par lettres A à D et concluez quant à la nature de la roche.*

2 Expliquez les mécanismes de formation de ces roches sur Terre? Que peut-on en déduire sur la pétrologie interne de la Lune?

3 Les études des éléments en trace dans les échantillons récoltés par Appolo 11 et 12 ont permis aux géologues de supputer la nature lithologique des continents lunaires avant d'y envoyer une mission

3.1 Quelles sont les règles qui gouvernent la substitution des éléments au sein des minéraux?

3.2 *D'après le document de la figure 5, à quel(s) élément(s) majeur(s) peut-on substituer l'Europium?*

3.3 En supposant que la Lune était chondritique lors de sa formation pour la composition des silicates, que nous apprend le spectre de terres rares (figure 6) des échantillons d'Appolo 11? Quelle roche pourrait constituer les continents lunaires?

4 La roche proposée à la question 3.3 compose la majorité des continents. Cependant, elle est souvent fortement modifiée et présente l'aspect proposée à la figure 7. *Quel est ce type de roche? Comment peut-on la former?*

5 D'autres échantillons du même type que cette roche ont été récupérés et ont été datés. Les âges sont représentés à la figure 8.

5.1 Au vu des résultats précédents, quelle technique de datation vous paraitrait particulièrement appropriée. Expliquez le principe de cette datation, en faisant mention si possible des hypothèses formulées, des minéraux utilisés?

5.2 Que cela nous apprend-il sur l'histoire de la Lune et du système solaire?

6 En leur sein, certaines de ces roches peuvent présenter des fragments dont la composition minéralogique est donnée dans la figure 9.

6.1 En expliquant votre démarche, replacez cette roche dans le diagramme de Streckeisen que vous rendrez avec votre copie.

6.2 Quelles hypothèses pouvez-vous formuler pour la formation de fragments de cette nature lithologique?

7 L'observation de la surface lunaire a conduit dans les années 70, William Hartmann a la réflexion suivante : plus une surface est vieille et plus elle doit avoir de cratères puisqu'elle a été soumis au bombardement depuis plus

longtemps. Hartmann a calculé le nombre théorique d'impact en fonction de l'âge de la surface et a ensuite pu se caler de façon absolue dans le temps grâce aux datations des échantillons Appolo. La carte de la figure 10 montre la limite entre un continent en bas et une mer lunaire en haut.

7.1 Commentez cette image

7.2 *A partir de l'échelle de cratérisation de la figure 11, datez le continent lunaire et la mer Mare Undarum*. Vous pourrez utiliser les gammes de taille de cratères fournies dans la figure 11.

Rmq : Dans la figure 11, y = années.

Partie 3 : Structure interne de la Lune

Parmi les instruments scientifiques laissés sur la Lune lors des missions Appolo figuraient plusieurs sismomètres. Grâce à ces instruments, il a été possible de sonder l'intérieur de la Lune tout comme cela a été fait pour déterminer la structuration en enveloppes concentriques de la Terre.

Sur la Lune, 20% des séismes sont d'origine externe et sont la conséquence des impacts météoritiques qui s'y produisent. La profondeur des foyers sismiques pour les séismes d'origine interne est située pour 0,4% aux alentours de 100km de profondeur et pour 99,6% entre 800 et 1000km de profondeur.

1. *Quels sont les deux types d'ondes de volume pouvant se propager dans un corps rocheux? Illustrez le mouvement des particules associé à ces deux types d'ondes à l'aide d'un schéma . Quelle est l'expression de la vitesse de ces ondes en fonction des propriétés du milieu ?*
2. La figure 12 montre le modèle sismique de l'intérieur de la Lune jusqu'à environ 1000km. *Identifiez les différentes enveloppes qui composent la Lune et nommez les en faisant des analogies avec la Terre. Rappelez à quoi sont dues les discontinuités qui séparent ces enveloppes sur Terre.*
3. *A l'aide d'un ou plusieurs schémas, expliquez comment la première discontinuité que vous avez identifiée, c'est à dire la plus superficielle, a été découverte sur Terre*
4. Sur la Lune, l'existence d'un noyau est toujours soumis à débat. *Quels sont les arguments qui, sur Terre, permettent de penser qu'il y a un noyau dense au centre?*
5. La figure 13 montre le champ magnétique rémanent enregistré dans les roches lunaires en fonction de leur âge.

   5.1. Comment le champ magnétique peut-il être fossilisé dans les roches? Quelle(s) application(s) géologique(s) cette fossilisation du champ magnétique a-t-elle sur Terre ?

   5.2. Quelle(s) réflexion(s) vous inspirent les données obtenues sur la Lune?
6. Dans le cas où il existerait un noyau, plusieurs compositions extrêmes sont envisagées : soit le noyau est fait d'un assemblage de fer pur, soit il est constitué de sulfure de fer. *A partir des données suivantes, calculez le rayon du noyau pour ces deux chimies.*

Données : ρ_{Lune} = 3340kg/m^3, $\rho_{manteau}$ = 3300kg/m^3, $\rho_{Fer\ pur}$ = 8100kg/m^3, ρ_{FeS} = 4700kg/m^3, R_{lune} = 1731km

7. La figure 14 présente l'influence de la taille du noyau sur la répartition des contraintes au sein de la Lune. *Ce résultat permet-il de trancher quant à la taille et la nature du noyau? Justifiez votre réponse.*

Partie 4 : Origine et devenir de la Lune

Avant le programme Apollo, différentes hypothèses étaient proposées pour la formation de la Lune. La campagne Appolo, par ses retours d'échantillons, a permis de n'en retenir qu'une seule. C'est notamment la mesure de la composition isotopique en oxygène des différents échantillons lunaires qui a permis cette proposition.

1. On définit le coefficient de fractionnement isotopique $\alpha_{AB} = R_A/R_B$ ou R_A et R_B sont des rapports isotopiques dans un échantillon A et un échantillon B. On appelle R_S, ce même rapport dans un standard.

   1.1. A partir de ces notations, définissez la notation delta pour l'échantillon A (δ_A). En quelle unité est-il exprimé ? Quel est le standard utilisé pour l'oxygène ?

   1.2. *Démontrez que* $\delta A - \delta B \approx 1000.\ln(\alpha_{AB})$

Rmq : on rappelle que (1+h)/(1+h') ≈ 1+h-h' quand h<<1 et h' <<1 et α – 1≈ ln α quand α<<1

   1.3. On pose que ln(α)=f.Δm avec f une constante et Δm la différence de masse entre deux isotopes. *Démontrez que dans un diagramme $\delta^{17}O$ VS $\delta^{18}O$, les échantillons d'un système chimique isolé (même corps parent) s'alignent sur une même droite de pente ½.*

   1.4. D'après la figure 15, qu'en concluez-vous sur l'origine de la Lune?

2. Des études des concentrations en potassium et en uranium dans les échantillons terrestres et lunaires ont été effectuées afin de savoir si la Lune avait été formée par un impact ou bien par un phénomène magmatique. K est un élément très volatil alors que U est un élément très réfractaire. Par contre, les deux éléments sont incompatibles.

   2.1. Définissez les termes de volatil, réfractaire et incompatible.

   2.2. Le diagramme présenté à la figure 16 vous permet-il de trancher entre les deux hypothèses? Justifiez votre réponse.

3. Les équipages de la mission Appolo 11 ont déposé à la surface du sol lunaire des miroirs réfléchissants. Ces derniers sont régulièrement utilisés afin de mesurer la

Figures

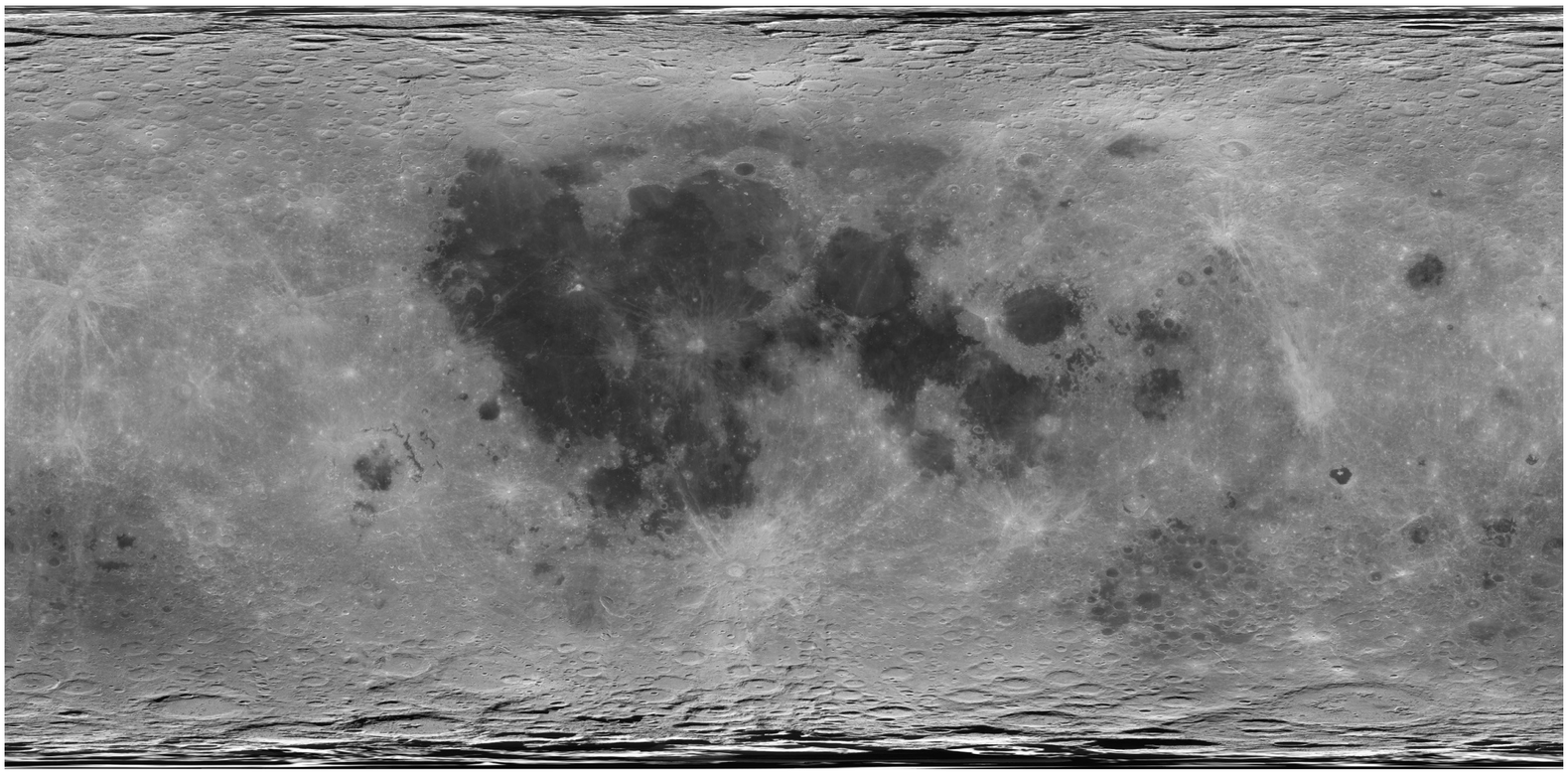

Figure 1 : Planisphère de la surface de la Lune.

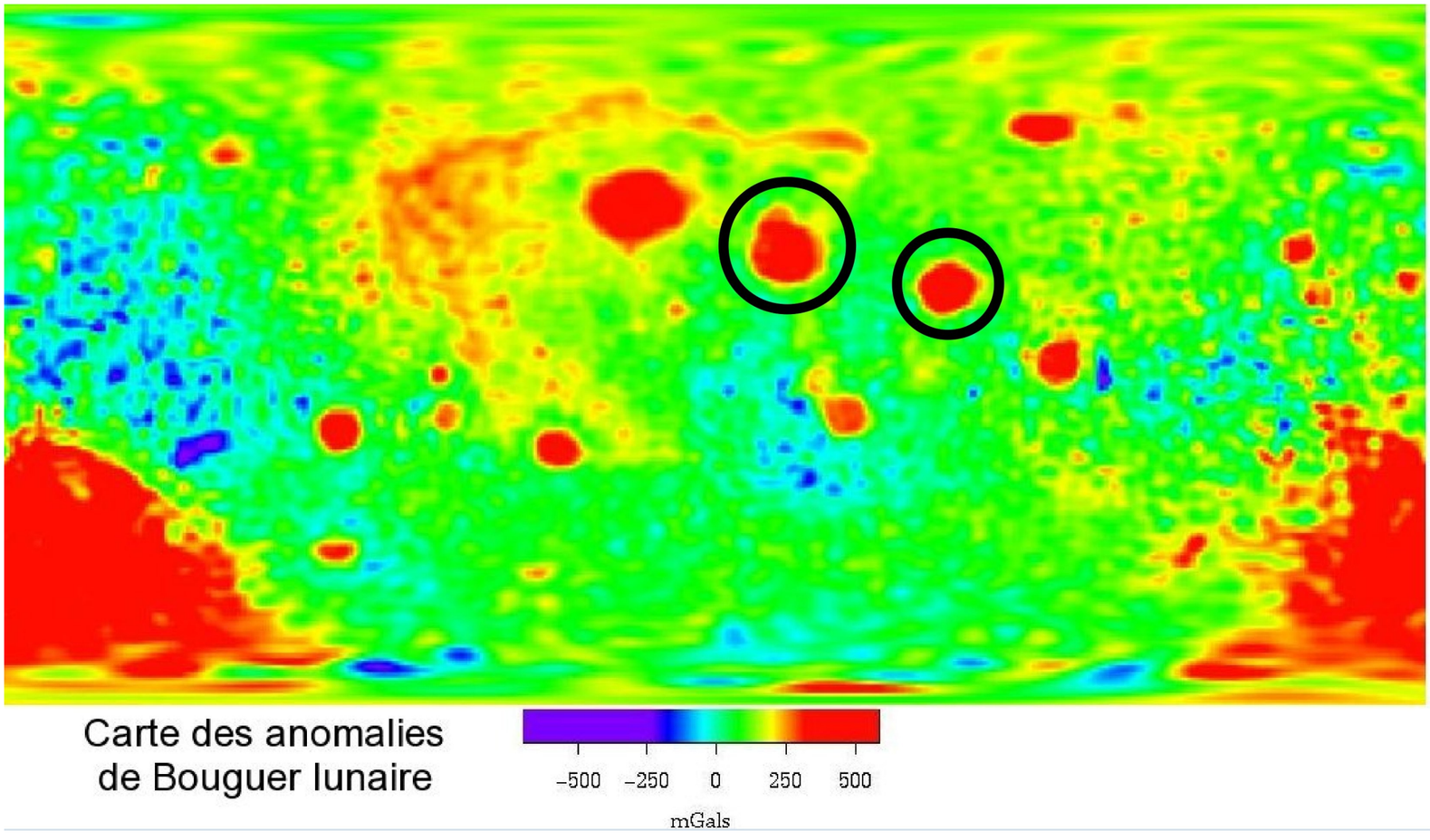

Figure 2 : Carte des anomalies de Bouguer lunaire

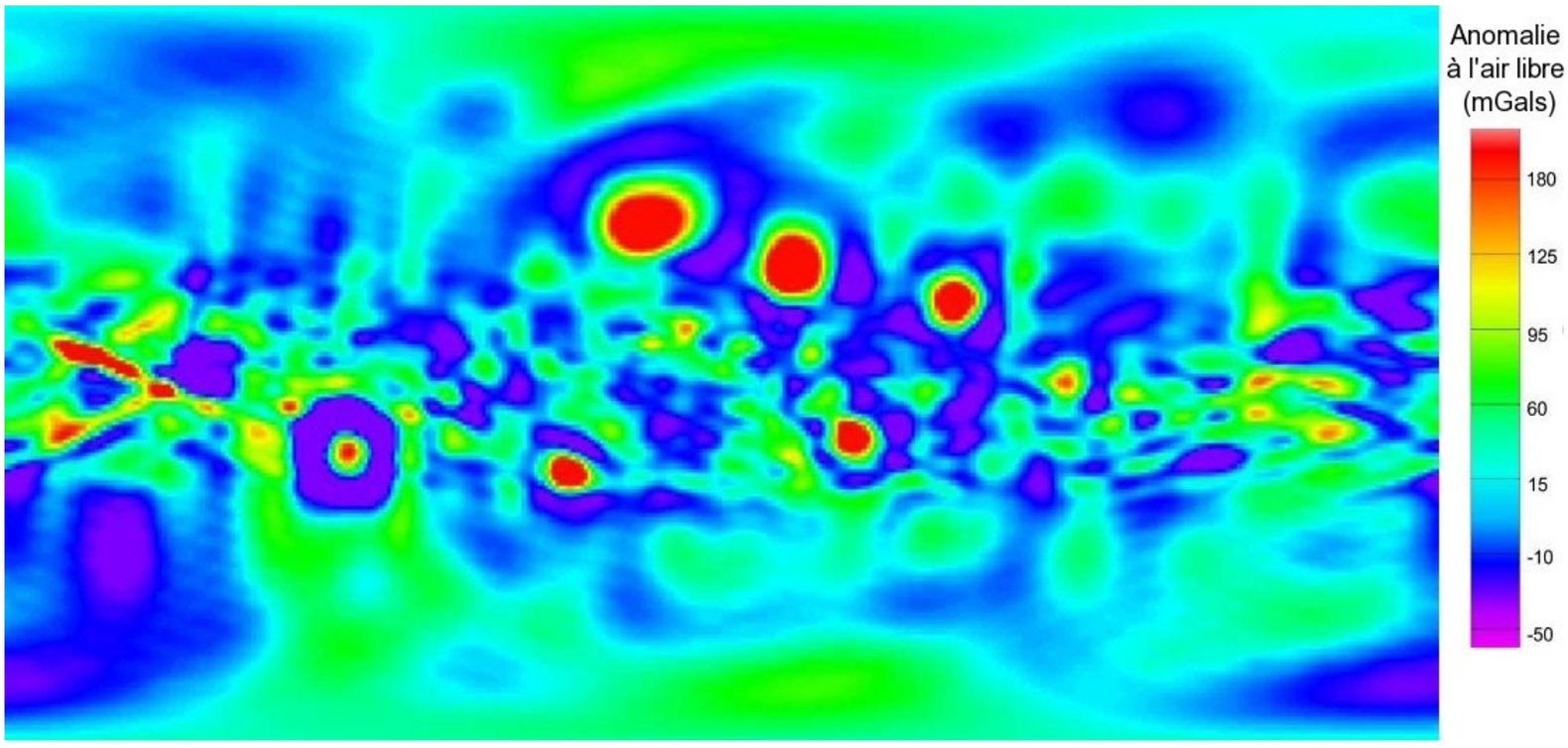

Figure 3 : Carte des anomalies à l'air libre sur la Lune

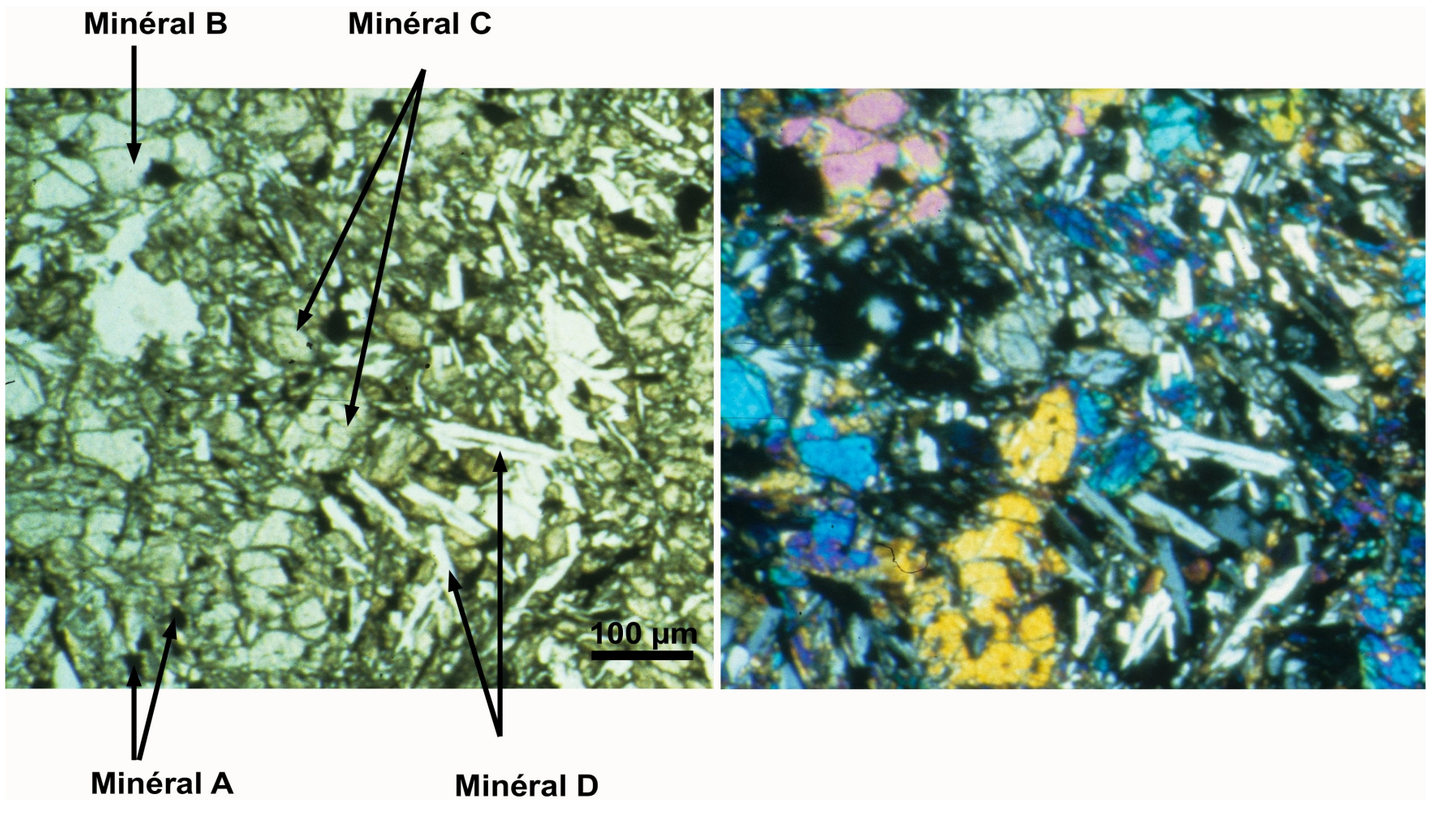

Figure 4 : Photographie en lumière polarisée non analysée à gauche et en lumière polarisée analysée à droite d'une lame mince d'échantillon lunaire récoltée par la mission Appolo 12

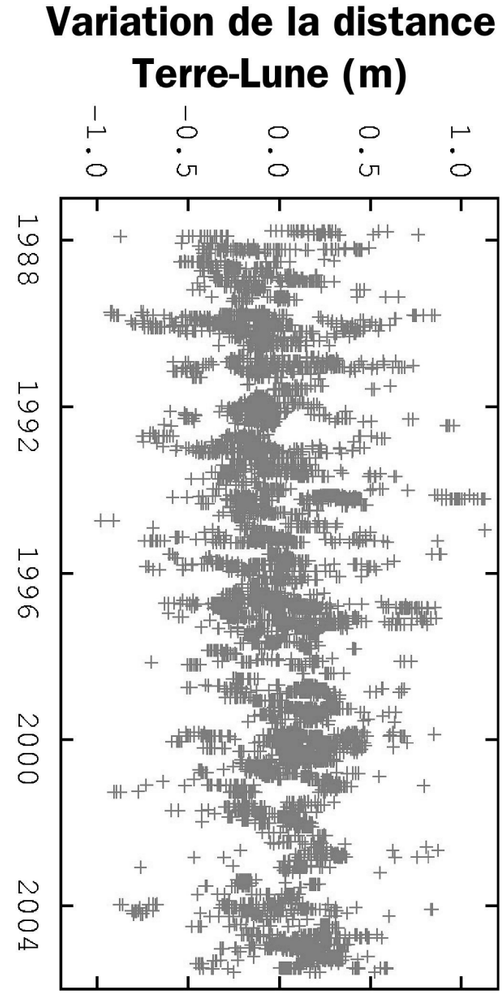

Figure 17 : Variation de la distance Terre-Lune depuis la mise en place par l'observatoire de Grasse du tir laser sur la Lune. L'année du 0 est arbitraire.

Figure 15 : Diagramme des isotopes de l'oxygène représentant la position des échantillons lunaires. La ligne TFL représente l'ensemble des échantillons terrestres. HED : autres météorites

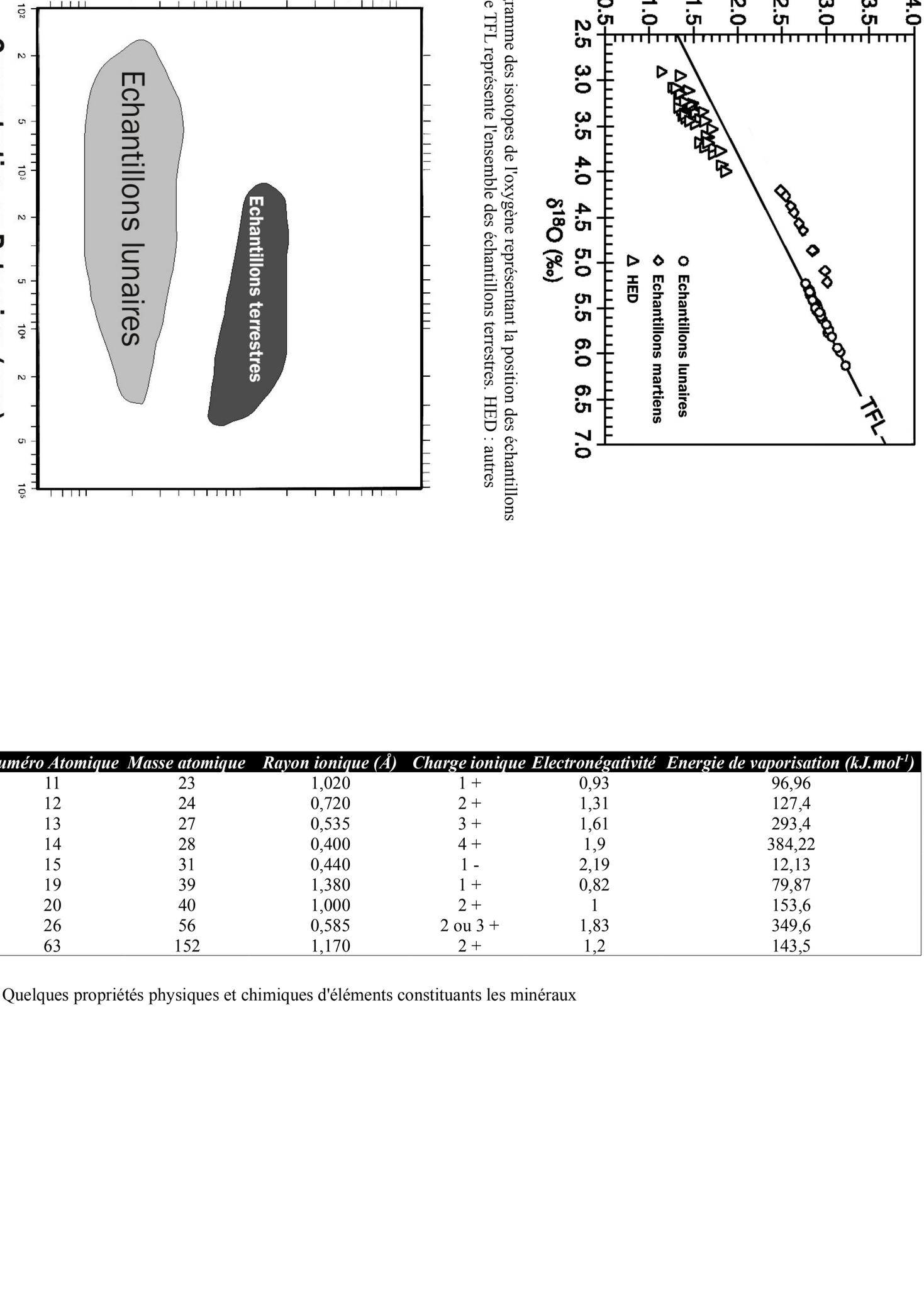

Figure 16 : Données géochimiques en K et U dans les échantillons lunaires et terrestres.

	Numéro Atomique	*Masse atomique*	*Rayon ionique (Å)*	*Charge ionique*	*Electronégativité*	*Energie de vaporisation (kJ.mol^{-1})*
Na	11	23	1,020	1 +	0,93	96,96
Mg	12	24	0,720	2 +	1,31	127,4
Al	13	27	0,535	3 +	1,61	293,4
Si	14	28	0,400	4 +	1,9	384,22
P	15	31	0,440	1 -	2,19	12,13
K	19	39	1,380	1 +	0,82	79,87
Ca	20	40	1,000	2 +	1	153,6
Fe	26	56	0,585	2 ou 3 +	1,83	349,6
Eu	63	152	1,170	2 +	1,2	143,5

Figure 5 : Quelques propriétés physiques et chimiques d'éléments constituants les minéraux

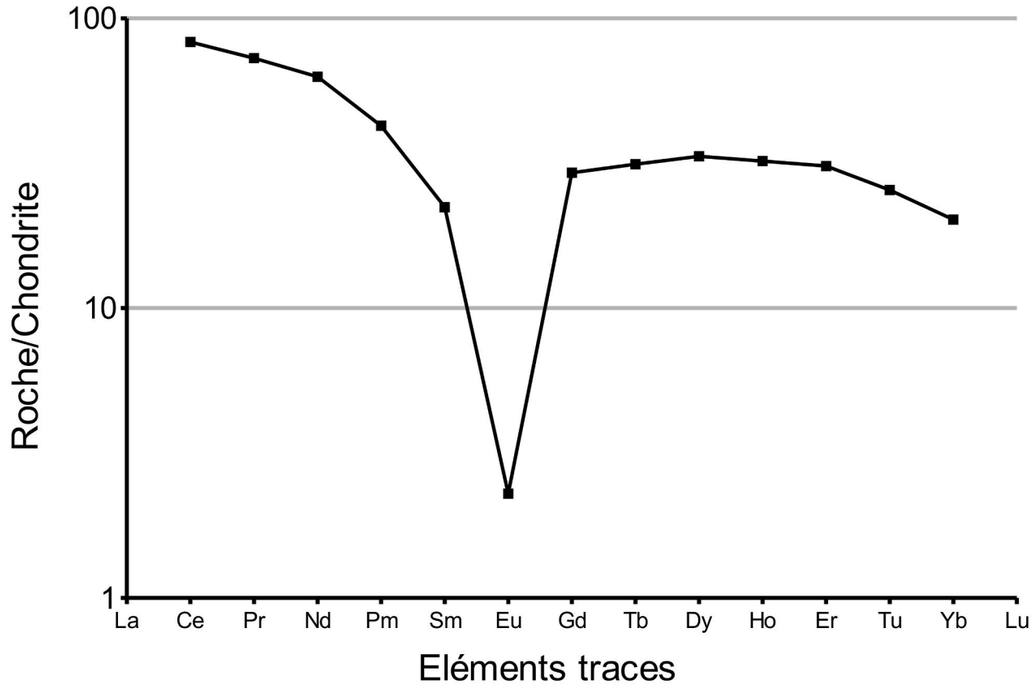

Figure 6 : Spectre de Terre Rare d'un échantillon récolté par la mission Appolo 11

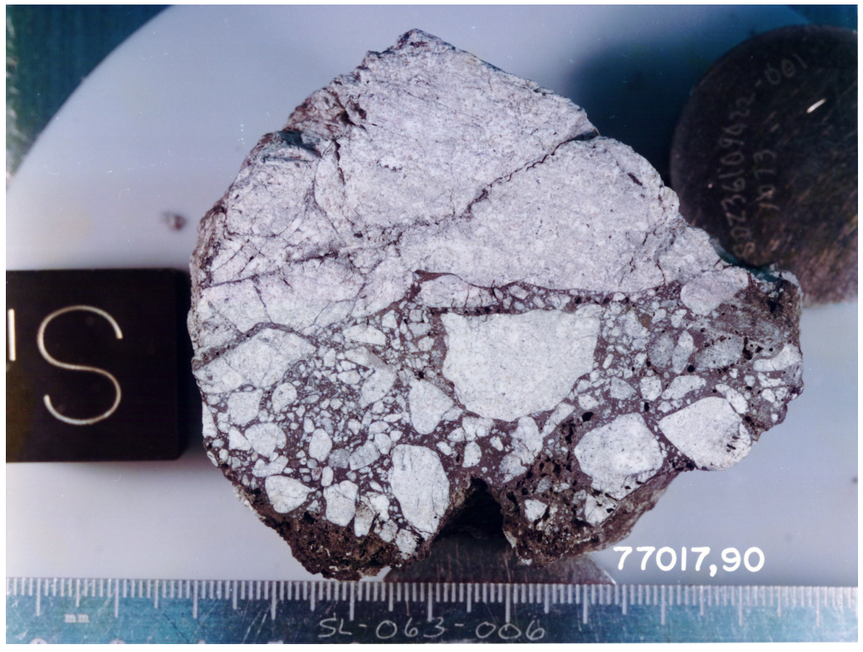

Figure 7 : Photographie d'un échantillon constituant les continents lunaires.

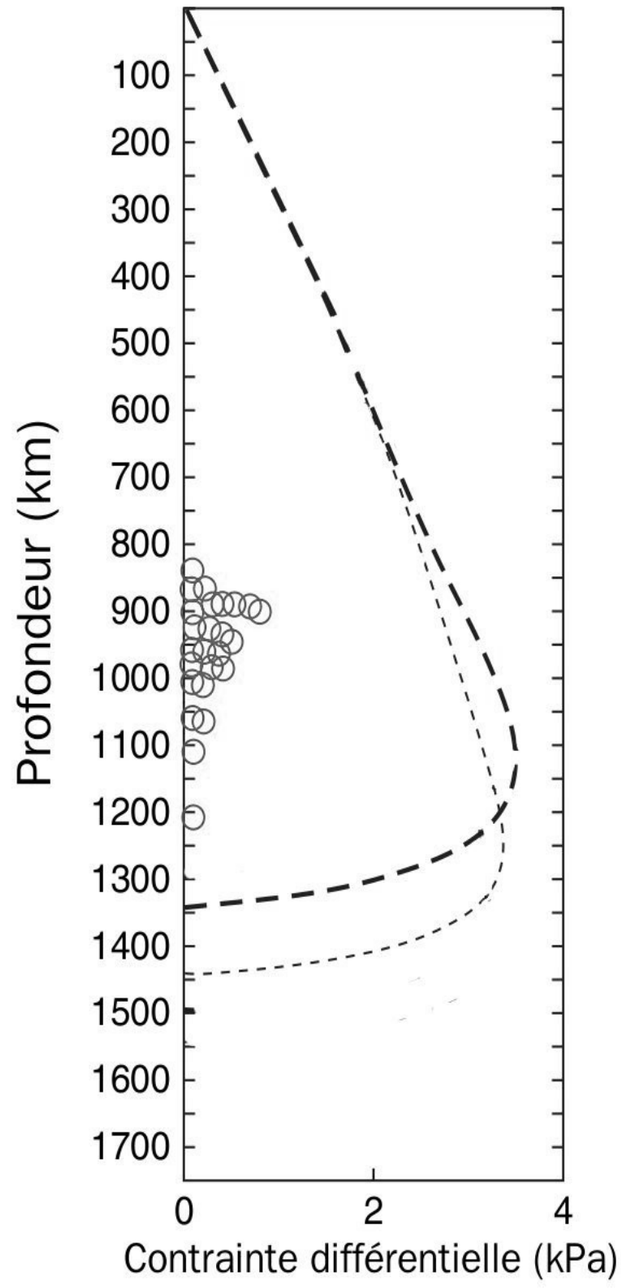

Figure 14 : Contrainte différentielle et profondeur des foyers sismiques. Les ronds représentent la profondeur des foyers sismiques lunaires. La ligne pointillée grasse représente l'évolution des contraintes différentielles avec la profondeur pour un noyau de sulfure de fer, celle en pointillée maigre pour un noyau composée de fer pur.

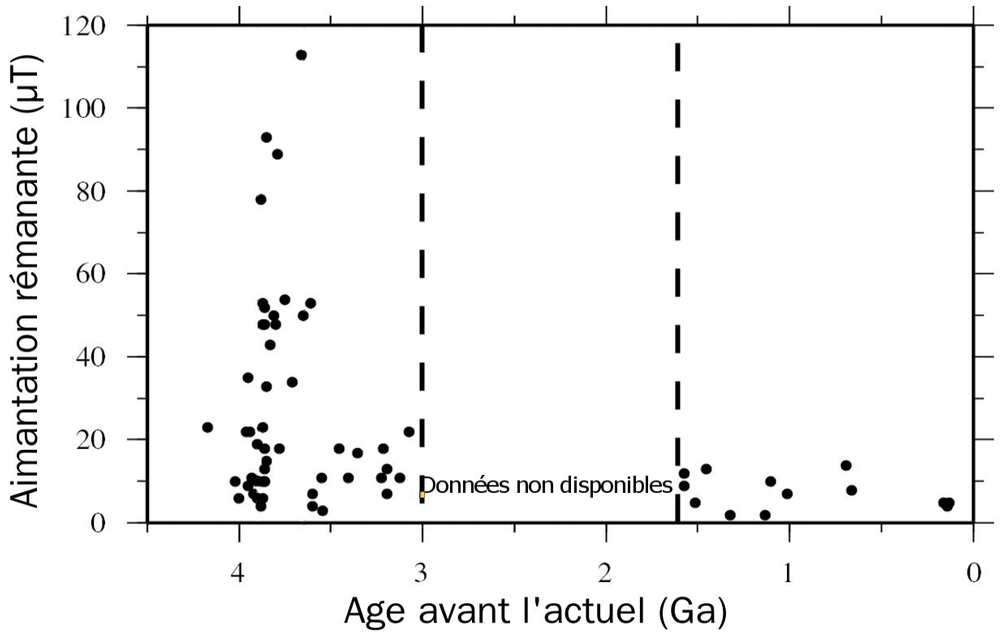

Figure 13 : Mesure du champ magnétique rémanant dans les roches lunaires en fonction de leur âge.

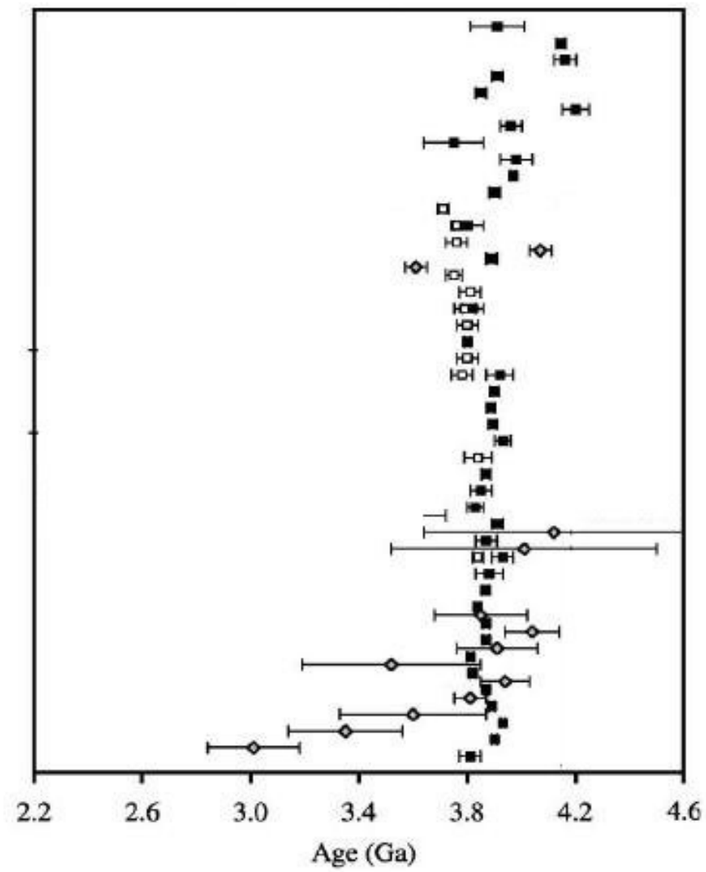

Figure 8 : Age des roches modifiées présentées à la figure 7 et qui constituent une partie des continents.

Minéraux	***Proportions***
Plagioclase	0,3
Pyroxène	0,29
Ilmenite	0,02
Feldspaths alcalins	0,16
Quartz	0,17
Phosphate	0,04
Zircon	0,01

Figure 9 : Tableau présentant la composition minéralogique de fragments « exotiques » trouvés dans des roches de continents lunaires

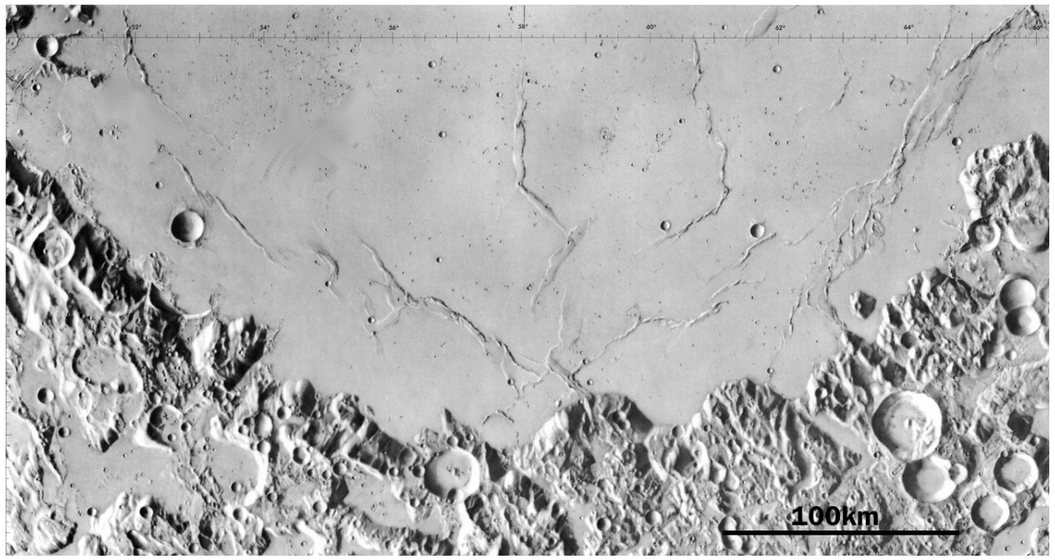

Figure 10 : Carte en relief de la zone de jonction entre Mare Undarum en haut et un continent lunaire, en bas.

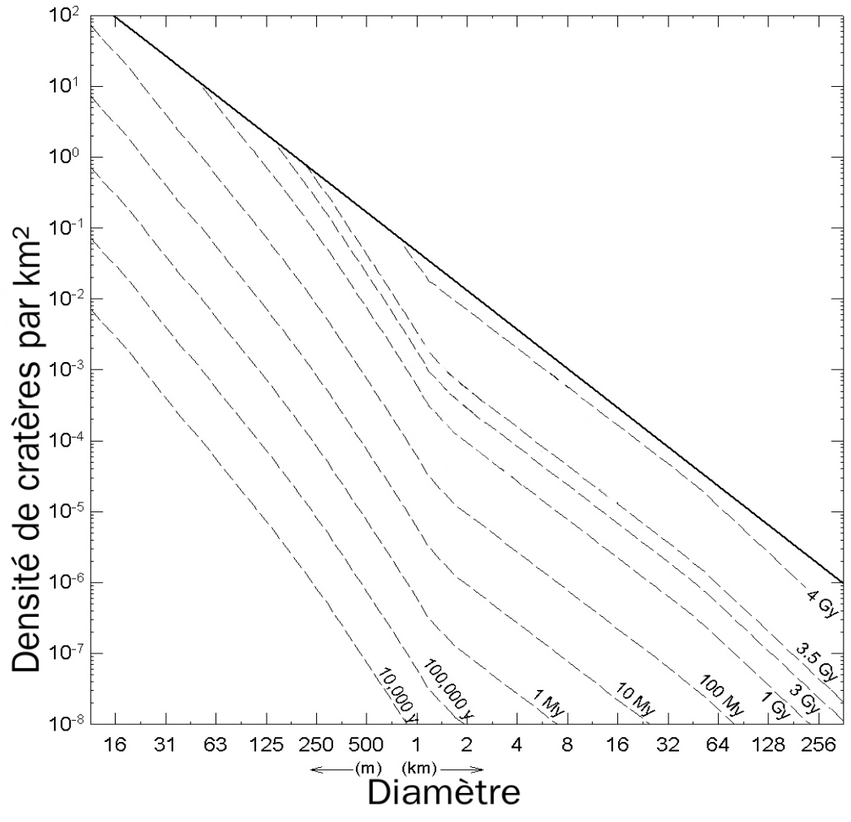

Figure 11 : Echelle de cratérisation de Hartmann et Neukum. La droite en gras noire représente la saturation de la surface soit 4,5Ga.

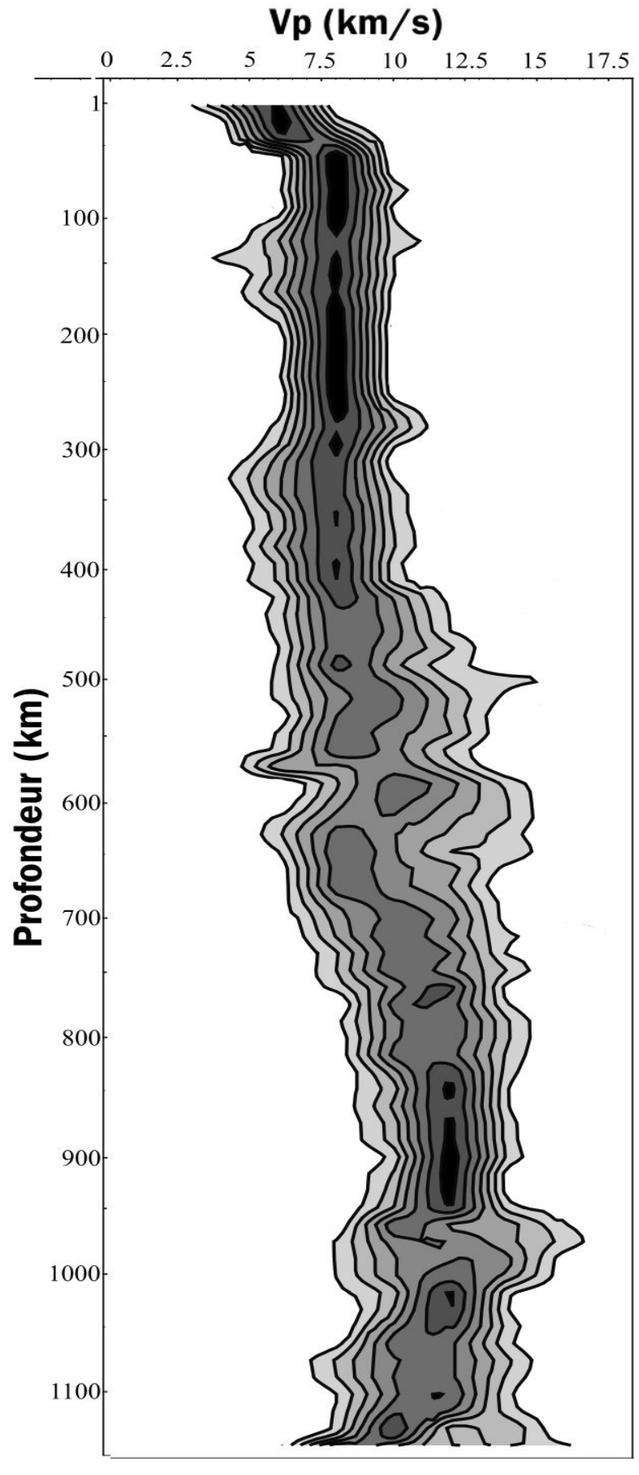

Figure 12 : Modèle sismique des 1000 premiers kilomètres de la Lune. Au-delà, les ondes sismiques sont trop atténuées pour pouvoir être enregistrées.