

Ils partirent à plus de 10^{21} mais se virent moins de 100 en arrivant au port

La simplicité du principe de la mesure de la distance Terre-Lune à l'aide d'un faisceau laser ne doit pas faire illusion : les modalités de cette mesure sont plus complexes qu'il y paraît. Diverses missions américaines et soviétiques ont en effet déposé sur la Lune des réflecteurs destinés à renvoyer sur Terre un faisceau laser émis par exemple par une station sise à l'observatoire de la côte d'Azur, le Centre d'Etudes et de Recherches en Géodynamique et Astronomie (CERGA). Le laser utilisé est un laser YAG (Yttrium, Aluminium, Grenat) solide émettant dans le vert — $\lambda = 532 \text{ nm}$ — à raison de 10 impulsions par seconde, chaque impulsion ayant une énergie de 0,2 J.

Conformément à la loi de Planck $E = hc / \lambda$, chaque photon dans ces impulsions a une énergie de $3,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, si bien qu'il y a un peu plus de $5 \cdot 10^{17}$ photons par impulsion. Le problème est que le faisceau laser n'est pas un faisceau parallèle, mais présente une divergence de $1,78 \cdot 10^{-4}$ degré... Ce qui, s'il n'y avait pas l'atmosphère terrestre, donnerait déjà sur la Lune une tache d'un diamètre de $(1,78 \cdot 10^{-4} \times \pi / 180) \times 4,0 \cdot 10^6 \approx 1,2 \text{ km}$.



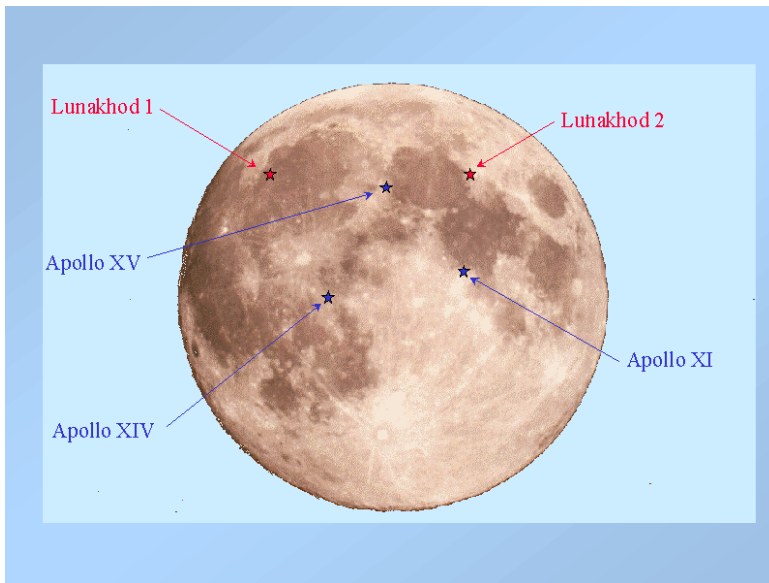
L'un des réflecteurs lunaires déposés par la mission Apollo XI

En fait, à cause de l'atmosphère terrestre, la tache verte sur la Lune a un diamètre allant de 10 à 14 km — selon les conditions atmosphériques. Un réflecteur, de surface de l'ordre du m^2 , ne recueille donc qu'une infime partie de l'énergie émise par le laser et le récepteur au niveau terrestre une partie encore plus infime.

Ainsi, pour 6000 impulsions de 300 ps envoyées — soit une énergie de 1,2 kJ représentant plus de 10^{21} photons —, à raison de 10 tirs par seconde, moins de 100 photons sont récupérables sur Terre — soit une énergie inférieure à $3,7 \cdot 10^{-17} \text{ J}$! De plus, il faut « trier » ces photons au milieu des photons « parasites » reçus par le récepteur ; au total, et au mieux, un retour sur 10 est exploitable..

Mais les chercheurs y arrivent, et de mieux en mieux. Ainsi, en 1970, cette distance était mesurée à 15 cm près ; dans les années 1980, à 2 cm près et aujourd'hui, elle est mesurée au millimètre près... et on espère faire mieux !

Ces mesures montrent que la Lune s'éloigne bien de la Terre à raison d'environ 3 centimètres par an par effet collatéral des marées.



Position des réflecteurs à la surface de la Lune.

Lunakhod 1 : Mer des Pluies, 1970

Lunakhod 2 : Mer de la Sérénité
(cratère Le Monnier), 1973

Apollo 11 : Mer de la Tranquillité, 1969

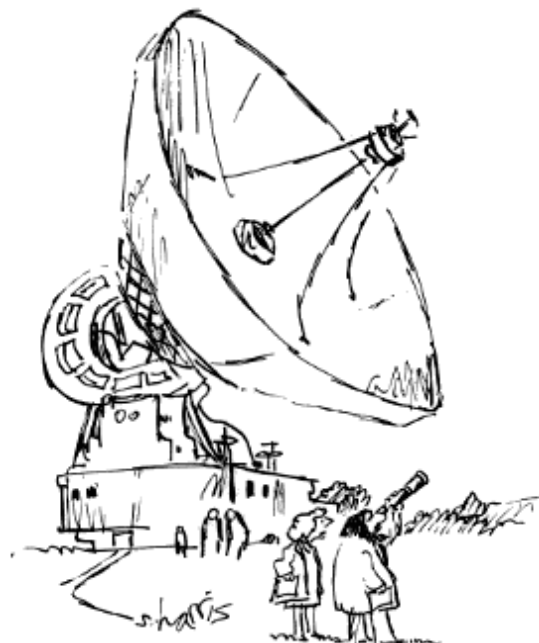
(N. Armstrong marche sur la Lune le 14 juillet)

Apollo 14 : Cratère Fra Mauro, 1971

Apollo 15 : Cratère Bela, 1971

Quelques questions

1. En notant Δt la durée du trajet aller-retour, d la distance recherchée et c la vitesse de propagation de la lumière, traduire par une relation le principe de la mesure expliquée au début du texte.
2. Pourquoi effectuer un très grand nombre de mesures et ne pas se contenter d'une seule ? Ces mesures sont-elles indépendantes ?
3. Compte tenu de la fréquence d'émission du laser, quelle est la durée d'une série de mesures (6 000 tirs) ?
4. Quelle est la longueur de chaque impulsion laser (longueur parcourue par la lumière pendant la durée d'émission) ?
5. Pourquoi utilise-t-on des coins de cube et pas de simples miroirs plans ?
6. L'OCA garantit une mesure au cm près. Quel est le facteur, indépendant du matériel utilisé, qui limite la précision de la mesure ?
7. En 2004, les chercheurs ont obtenu une durée moyenne de parcours A-R de 1,282 227 05 s : quelle est la distance Terre-Lune d'après cette mesure ?



"Just checking."