

TS
Spécialité

Physique autour de la Lune

Travail collaboratif à faire en groupes sur
Discord.



Mesurer la distance Terre-Lune avec un LASER

➤ Regarder le film « Un laser de la Terre à la Lune CNRS » Durée : 6min 27s

<https://youtu.be/S5wY-UpOFIA>



À l'aide d'une horloge d'une très grande précision ($\Delta t = 1\text{ps}$; $1\text{ps} = 10^{-12}\text{s}$), la durée d'un aller-retour d'une impulsion émise par un laser, peut être enregistrée et la distance Terre-Lune d_{T-L} est alors calculée automatiquement.

Cinq réflecteurs, dont la surface réfléchissante est de l'ordre de $s = 0,5\text{m}^2$, ont été déposés, en différents points de la surface de la Lune, par les missions américaines (Apollo) et russes (Lunokhod) entre 1969 et 1973.

Le tableau de mesures suivant, résume les données obtenues pour chaque impulsion reçue lors de tirs effectués entre le 27 et le 30 novembre 2002.

La célérité de la lumière utilisée pour le traitement des données, est celle dans le vide :
 $c = 299\,792\,458\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Date	Heure en h:min:ns	Durée aller-retour en 10^{-13} s	Distance Terre- Lune d_{T-L} en km
27/11/2002	04:43:406393142	24648468652614	369471,25017
27/11/2002	04:54:289976746	24644665715165	369414,24557
27/11/2002	05:10:458205105	24640099593537	369345,80113
27/11/2002	05:22:292939394	24637681983003	369309,56206
27/11/2002	05:41:648936000	24635344034116	369274,51708
27/11/2002	05:50:391634635	24634858791318	369267,24348
27/11/2002	06:01:311809190	24634892052296	369267,74205
28/11/2002	04:54:343574407	24406472646587	365843,82129
29/11/2002	03:34:435933600	24286275303864	364042,10845
29/11/2002	04:43:255837213	24216009976909	362988,85770
29/11/2002	05:03:362399138	24199488939775	362741,21358
29/11/2002	05:59:835258680	24164440511979	?
29/11/2002	06:10:435854710	24159439560814	362140,88849
30/11/2002	04:23:300384145	24096826051427	361202,33560
30/11/2002	04:41:140039925	24077636963451	360914,69841
30/11/2002	04:57:401860390	24061517343433	360673,07138
30/11/2002	06:20:598907318	23994576785410	359669,65766
30/11/2002	06:35:333161641	23986483783787	359548,34662
30/11/2002	06:49:141460898	23979897636289	359449,62275

Origine : tableau de l'OCA (Observatoire de Côte d'Azur), <https://www.oca.eu>

1. Par quel calcul sont obtenues les distances Terre-Lune de la dernière colonne du tableau ? Expliciter celui manquant dans le tableau de mesures, puis calculer sa valeur, en se contentant de la précision de la calculatrice.
2. D'après le nombre de chiffres significatifs fournis par l'OCA dans ses fichiers de données, avec quelle précision la distance Terre-Lune est-elle mesurée actuellement ?
3. À votre avis, quel type d'horloge peut permettre d'atteindre une telle précision sur les durées de parcours des impulsions ?

Mesurer la distance Terre-Lune avec un enregistrement sonore

Document 1 : écho et casque

« C'est un petit pas pour l'homme, un bond de géant pour l'humanité ». Lorsqu'il posa le pied sur la Lune, cette première phrase prononcée par l'astronaute fut transmise via un casque Plantronics MS50. Ce casque était composé d'un microphone et de récepteurs permettant à Neil Armstrong de rester en communication permanente avec ses interlocuteurs. Il s'agit d'un véritable bijou de technologie pour l'époque ! Le casque s'incruste par ailleurs dans un couvre-chef baptisé « Bonnet Snoopy » pour un maintien à toute épreuve.



Casque Plantronics MS50



Neil Armstrong (Apollo 11)

Pendant les missions d'exploration lunaire, le contact radio était maintenu entre les astronautes et le centre de contrôle situé à Houston, Texas.

Il arrivait de temps en temps qu'une phrase prononcée par un opérateur sur Terre soit entendue à nouveau quelques secondes plus tard. La phrase transitait depuis les écouteurs du casque de l'astronaute jusqu'au microphone de ce même casque, engendrant ainsi l'écho entendu sur l'enregistrement.

La célérité des ondes radio est dans le vide : $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Document 2 :

On dispose de deux enregistrements sonores réalisés lors des missions Apollo 11 et Apollo 16.



Premier enregistrement, vers la 46^{ème} seconde, issu de cette vidéo <https://youtu.be/cVAGjO2dtUA>

110:07:58	McCandless : « Columbia, Columbia, this is Houston. AOS ; over ».	
Temp écoulé	Nom de	Message
depuis le	l'opérateur	
décollage	à Houston	

Le fichier sonore est disponible à cette adresse : <http://acver.fr/hous>



Document 3 :

Pour exploiter le fichier sonore on peut utiliser :

- Sur ordinateur, le logiciel gratuit Audacity à télécharger ici <https://audacity.>



- Sur smartphone, l'application wavpad audio editor

Android

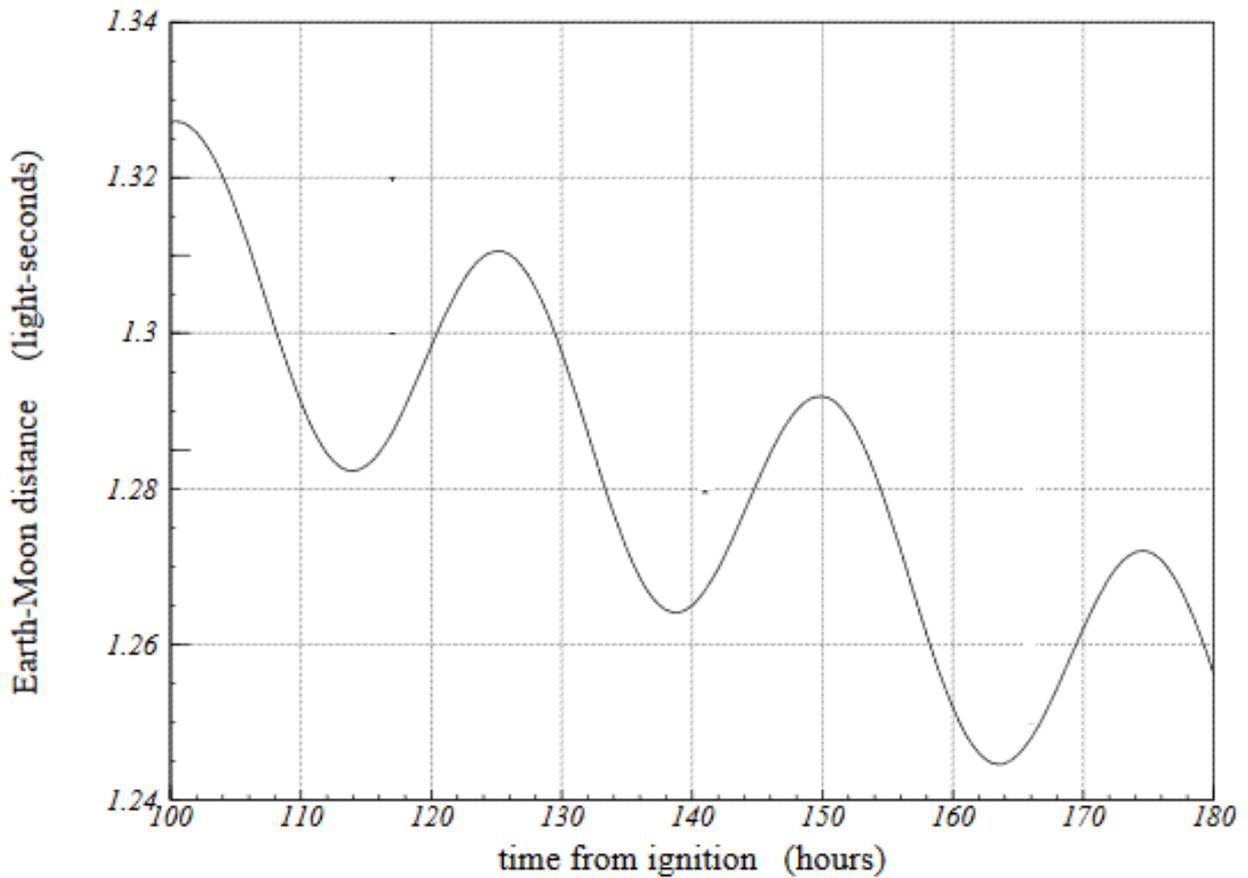
<http://acver.fr/wava>

iOs

<http://acver.fr/wavi>



Document 4 :



Distance entre Houston et les astronautes sur la Lune en seconde-lumière en fonction du temps écoulé depuis le décollage lors de la mission Apollo 11.

Document 5 :



Deuxième enregistrement vers la 18^{ème} seconde de cette vidéo <https://youtu.be/bpnKDvqDmdw>

120:25:40 England : That's a pretty outstanding picture here, I tell you.

120:25:42 Duke: Come on; a little bit closer.



Le fichier sonore est disponible à cette adresse : <http://acver.fr/pict>

Le 16/4/1972, au début de la mission la distance Terre-Lune était de 364×10^3 km. Elle croit ensuite légèrement pour atteindre 406×10^3 km le 27/4/1972.

Document 6 : Intervalle de confiance d'une série de mesures

Le résultat d'une série de mesures peut être présenté sous la forme d'un intervalle de confiance : $M = \bar{M} \pm U(M)$ où \bar{M} est la moyenne et $U(M)$ est appelée l'incertitude, elle ne compte qu'un seul chiffre significatif et est arrondie en général par excès.

Exemple : $\text{pH} = 8,7 \pm 0,2$ alors la valeur vraie du pH a 95% de chance de se trouver dans l'intervalle [8,5 ; 8,9].

Pour n mesures, l'incertitude est définie par : $U(M) = t_{95} \cdot \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$, où σ_{n-1} est l'écart-type expérimental, et t_{95} le coefficient de Student qui dépend du nombre de mesures.

n est le nombre de mesures									
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{95}	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26
n	12	14	16	18	20	30	50	100	∞
t_{95}	2,20	2,16	2,13	2,11	2,09	2,04	2,01	1,98	1,96

4. Problème : En utilisant les documents fournis, calculer la distance Terre-Lune pour les deux missions Apollo. Il faut détailler la démarche et les calculs, puis faire preuve d'un regard critique sur les résultats obtenus.

Il est demandé de présenter les résultats sous forme d'intervalles de confiance.

Sources :

[« Comment j'ai pesé la Terre avec un chronomètre » Laurent Mathieu Ellipses](#)

Page 85 Moon Echo : estimer la distance Terre-Lune grâce à une conversation

Echoes from the Moon Luca Girlanda INFN, Sez. di Pisa, Largo Filippo Buonarroti, I-56127 Pisa, Italy and Liceo Scientifico "E. Fermi", Via Enrico Fermi 2, I-54100 Massa, Italy* (Dated: May 29, 2018)

<https://arxiv.org/pdf/0903.3367.pdf>

Mesurer la masse de la Lune grâce au saut de John Young

Document 8 :

Astronaut John Young jumps off the lunar surface to salute the American flag during the Apollo 16 mission in 1972.

Pour voir la vidéo : <https://youtu.be/g5aPoRtF2vw>

Document 9 :

L'intensité du champ de pesanteur g_L sur la Lune

est donnée par $g_L = \frac{G.M_L}{R_L^2}$

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$ est la constante de gravitation universelle,

M_L est la masse de la Lune, en kg,

$R_L = 1740 \text{ km}$ est le rayon de la Lune.



Document 10 :

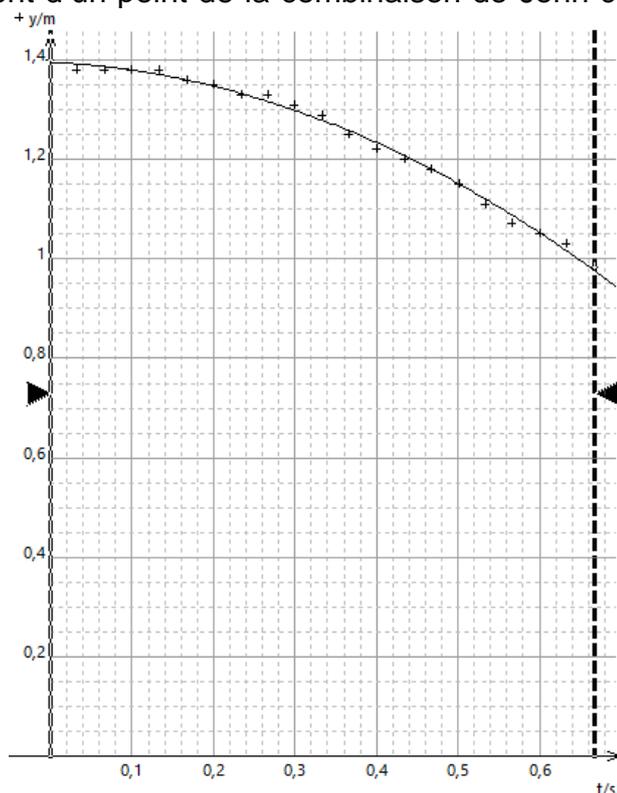
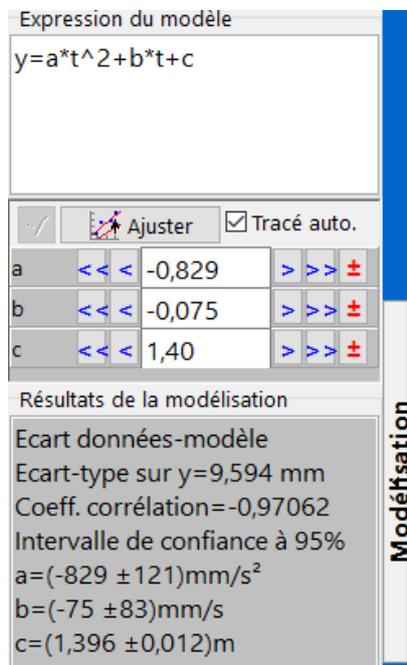
Lors du saut John n'est soumis qu'à la force poids. Dans ce cas l'altitude y (selon un axe vertical orienté vers le haut dont l'origine est le sol) à l'instant t d'un objet avec la vitesse v_0 initiale

s'écrit : $y = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 + v_0 \cdot t + h_0$ où h_0 désigne l'altitude de l'objet à la date $t = 0 \text{ s}$.

Document 11 :

Le pointage image par image du mouvement d'un point de la combinaison de John conduit à la courbe ci-dessous.

La modélisation de la courbe est indiquée.



Problème :

5. Déterminer la masse de la Lune.

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution. Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.

L'accès à internet est autorisé.

Sources : ECE Bac « Un bond sur la Lune »

« Comment j'ai pesé la Terre avec un chronomètre » Laurent Mathieu Ellipses

Page 25 Estimer la masse de la Lune en ramassant un marteau.