

Analyse de Particle:

1- diage 6 du texte: "après environ 2,5 s"

un aller-retour dure environ 2,5 s, en assimilant par l'instant l'espace entre la surface de la Terre et de la Lune au vide, on en déduit la distance d:

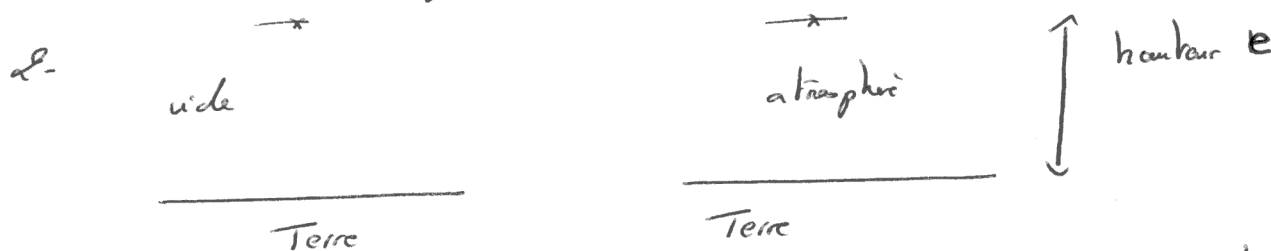
$$2d = c \times T \Leftrightarrow \boxed{d = \frac{c \times T}{2}}$$

Application numérique:

$$d = \frac{3,0 \times 10^8 \times 2,5}{2} = 3,0 \times 1,25 \times 10^8 \\ \approx \underline{3,8 \times 10^8 \text{ m}}$$

distance de l'ordre de 380 mille kilomètres.

II- Traverse de l'atmosphère:



• En l'absence d'atmosphère, la lumière se propage à la célérité c et parcourt ~~en~~ l'épaisseur e en une durée:

$$t_1 = \int_{\text{atm}} \frac{dz}{c}$$

(l'intégrale étant étendue à l'atmosphère)

on fait $\frac{e}{c}$ mais on l'aime sans forme intégrale pour la suite.

• En présence de l'atmosphère, la lumière se propage à la célérité $\frac{c}{n}$ et parcourt l'épaisseur d'atmosphère en une durée:

$$t_2 = \int_{\text{atm}} \frac{dz}{(c/n)} = \int_{\text{atm}} \frac{n(z) dz}{c}$$

n étant supérieur à 1, $t_2 > t_1$, ce qui crée un retard ②

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \int_{a/n}^{\infty} \left(\frac{n(z)-1}{c} \right) dz = \int_{a/n}^{\infty} \frac{\alpha \rho(z)}{c} dz$$

$n(z) = 1 + \alpha \rho(z)$ d'après l'énoncé.

$$\Delta t = \frac{\alpha}{c} \int_{a/n}^{\infty} \rho(z) dz$$

Cette durée équivaut à une distance $c \Delta t$:

$$\boxed{SD = \alpha \int \rho(z) dz}$$

SD représente la "surestimation" à retrancher pour obtenir la distance réelle.

3 - Comme $n(z) = 1 + \alpha \rho(z)$, on a, en $z=0$, $n_0 = 1 + \alpha \rho_0$
d'où $\frac{n_0-1}{\alpha} = \rho_0$ et $\alpha = \frac{n_0-1}{\rho_0}$

$$\text{d'où } SD = \frac{n_0-1}{\rho_0} \int_{a/n}^{\infty} \rho(z) dz$$

d'atmosphère état en équilibre hydrostatique $\int dp = -\rho g_0 dz$

$$\begin{aligned} \text{d'où } \int_{a/n}^{\infty} \rho(z) dz &= \int -\frac{dp}{g_0} = -\frac{1}{g_0} \int_{z=0}^{\infty} dp \\ &= -\frac{1}{g_0} [p(\infty) - p_0] \\ &\quad 0 \rightarrow \text{fin de l'atmosphère} \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \int_{a/n}^{\infty} \rho(z) dz = \frac{p_0}{g_0} = \frac{P_0}{g_0}$$

$$\text{d'où } SD = \frac{n_0-1}{\rho_0} \frac{P_0}{g_0} = \frac{n_0-1}{g_0} \times \frac{1}{\rho_0} \times \rho_0 \frac{RT_0}{n} = (n_0-1) \times \frac{RT_0}{n g_0}$$

$$\underline{\delta D = (n-1) \times H}$$

avec

$$H = \frac{RT_0}{n g_0}$$

↳ épaisseur caractéristique de l'atmosphère.

4.]
$$\underline{\delta D = 3 \times 10^{-4} \times \cancel{8.8} 9 \times 10^3 \approx 3 \text{ m}}$$

↳ l'écart est bien de l'ordre de "plusieurs mètres"

5.]

II - Trajet Terre - Lune:

(4)

6. D'après Penrose, en appelant st le retard propre et t_0 le délai de propagation en l'absence de gravitation,

$$\frac{st}{t_0} = k \times \underbrace{\frac{GN_S}{a_0}}_{\substack{\text{potentiel gravitationnel créé par le} \\ \text{Soleil sur l'orbite terrestre}}} \times c^{\alpha}$$

coefficient à déterminer par analyse dimensionnelle

cote de proportionnalité:

(cf " $-\frac{GN_S m}{a_0}$ " pour l'énergie potentielle de la Terre en présence du Soleil)

Par la Terre en orbite autour du Soleil.

$$\vec{m}_T \vec{a} = - \frac{GN_S m_T}{a_0^2} \vec{u} \Rightarrow - m_T \frac{v_T^2}{a_0} = - \frac{GN_S m_T}{a_0^2}$$

$$\text{d'où } \frac{v_T^2}{a_0} = \frac{GN_S}{a_0^2}$$

donc $\frac{st_0}{t_0} = k \times v_T^2 \times c^{\alpha}$

Par homogénéité, on en déduit $\alpha = -2$

d'où $\underline{st_0 = k t_0 \left(\frac{v_T}{c} \right)^2}$

En multipliant par c les deux côtés, on en déduit la variation de distance

$$SD = k D_0 \times \left(\frac{v_T}{c} \right)^2$$

30 km/s
300 000 km/s

7. $SD = k \times 3,8 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{10^4} \right)^2 = k \times 3,8 \text{ m}$
 $= \underline{3,8 \times k \text{ mètres}}$

Par une cote k de l'ordre de l'unité, on retrouve le résultat de Penrose.

III - L'éche lumineux.

(5)

8. • Ds le vert $9,53 \mu\text{m}$, une onde correspond à une énergie de 300 nJ
 • Le texte indique que un photon de $1 \mu\text{m}$ a une énergie de $2 \times 10^{-19} \text{ J}$

car $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ si λ est divisé par 2, l'énergie est multipliée par 2

donc: $E_{\text{tot}}^{\text{rap}} = 300 \text{ nJ}$
 $E_{\text{ph, tot}} = 4 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$\Rightarrow N = \frac{E_{\text{tot}}}{E_{\text{ph, tot}}} = \frac{3 \times 10^{-1}}{4 \times 10^{-19}} = 10^{18} \text{ photons}$$

cohérent

9. Pour une ouverture de l'ordre de a , la lumière diffracte sur une ouverture angulaire:

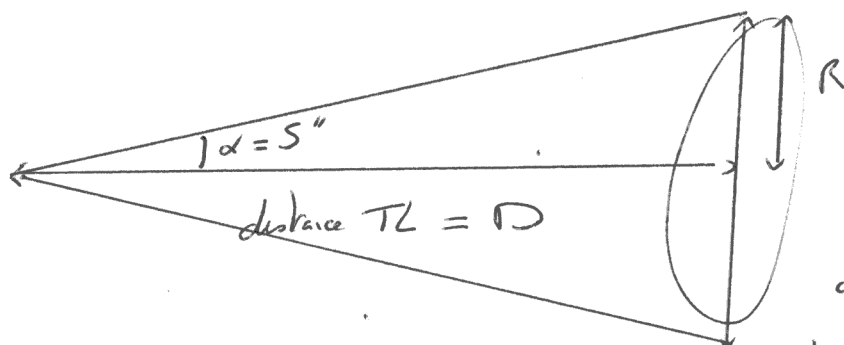
$$\theta \approx \frac{\lambda}{a} = \frac{9,53 \mu\text{m}}{1,5 \text{ m}} \approx 9,3 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

diamètre télescope $\approx 9,1 \text{ seconde d'arc.}$

Ligne 195, on peut lire: "à la suite du Télescope, le faisceau a une ouverture de $\frac{1 \text{ seconde d'arc}}{2}$ "

$\theta \ll \alpha \Rightarrow$ la diffraction n'est pas la raison essentielle de l'ouverture du faisceau.

10-



$\alpha \ll 1 \text{ rad}$
 on peut assimiler $\tan \alpha \approx \alpha$

• Au niveau de la Lune, la section du faisceau vaut:

$$S_L = \pi R^2 = \pi \times (D\alpha)^2$$

Le réflecteur de la room Appolo 15 est composé de 300 cataphotes d'arc-en-courbe de diamètre $d = 3,8 \text{ cm}$ par une surface totale

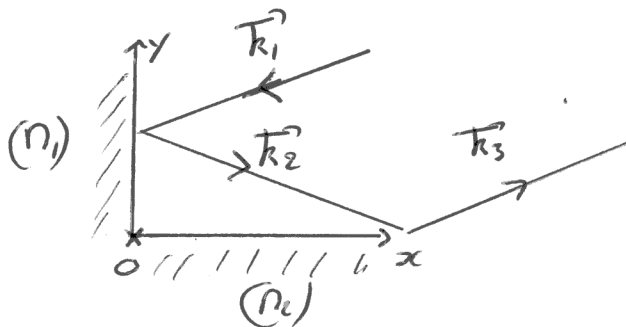
$$S_{\text{cata}} = 300 \times \pi \frac{d^2}{4}$$

* la part de l'énergie reçue est égale au rapport des surfaces

$$\begin{aligned} \frac{S_{\text{cata}}}{S_L} &= \frac{300 \pi d^2 / 4}{\pi \times (D\alpha)^2} = \frac{300 d^2}{4 \times D^2 \times \alpha^2} \\ &= \frac{3 \times 10^2}{4} \times \frac{(3,8 \times 10^{-2})^2}{(3,8 \times 10^8 \times 5 \times 4,8 \times 10^{-6})^2} \\ &= \frac{3}{4} \times \frac{(3,8)^2}{(3,8 \times 5 \times 4,8)^2} \times \frac{10^2 \times 10^{-4}}{10^4} \\ &= \frac{3}{4} \times \frac{1}{(5 \times 4,8)^2} \times 10^2 \times 10^{-8} \\ &= \frac{3}{4} \times \frac{1}{25^2} \times 10^{-6} = \frac{3}{100} \times \frac{1}{25} \times 10^{-6} \\ &= 10^{-9}. \end{aligned}$$

soit 1 milliardième

11. Effectuer le raisonnement sur deux miroirs (sans raisonnement à Edmonia)



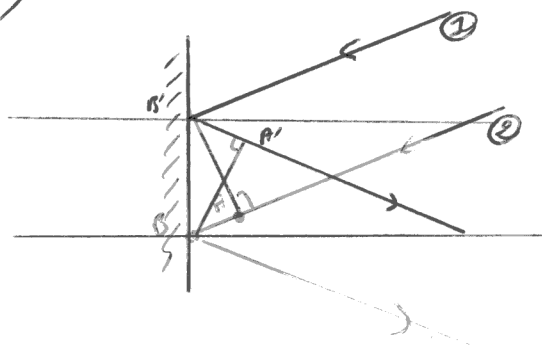
donc $\boxed{\vec{k}_3 = -\vec{k}_1}$

$$\vec{k}_1 = (k_{1x}, k_{1y}) \xrightarrow{\text{réflexion sur } (n_1)} \vec{k}_2 = (-k_{1x}, k_{1y}) \xrightarrow{\text{réflexion sur } (n_2)} \vec{k}_3 = (-k_{1x}, -k_{1y})$$

La lumière repart bien dans la direction d'où elle est venue

(7)

12- Hors programme PSI (de ~~manipulation~~ ~~stat~~)

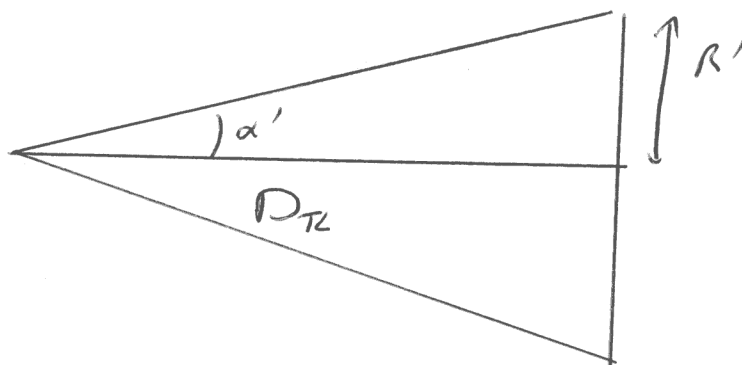


Le rayon ② parcourt la distance AB en plus avant d'atteindre le miroir, le rayon ① parcourt la distance $A'B'$ en plus après réflexion, $AB = A'B'$

Le chemin optique est donc identique

13 -
$$\alpha' = \frac{\lambda}{d_{\text{ata}}} = \frac{0,53 \mu\text{m}}{3,8 \text{ nm}} = \frac{5,3 \times 10^{-7}}{3,8 \times 10^{-2}} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

14-



$$\begin{aligned} \frac{S_{\text{Tel}}}{S_T} &= \frac{\pi \frac{d_T^2}{4}}{\pi R'^2} = \frac{d_T^2}{4 R'^2} = \frac{d_T^2}{4 \times (D_{TL} \alpha')^2} \\ &= \frac{1,5^2}{4 \times (3,8 \times 10^8 \times 1,5 \times 10^{-5})^2} \\ &= \frac{1,5^2}{4 \times 3,8^2 \times 1,5^2} \times \frac{1}{(10^3)^2} \\ &= \frac{1}{50} \times \frac{1}{10^6} = 2 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

$$E_{\text{c'anne}} \longrightarrow E_{\text{Lune}} = \frac{S_{\text{cat}}}{S_L} \times E_{\text{c'anne}} \longrightarrow E_{\text{rebar}} = \frac{S_{\text{Tcd}}}{S_T} \times \frac{S_{\text{cat}}}{S_L} \times E_{\text{c'anne}}$$

$$\text{d'où } \gamma = \frac{S_{\text{Tcd}}}{S_T} \times \frac{S_{\text{cat}}}{S_L} = 2 \times 10^{-8} \times 10^{-9} \\ = 2 \times 10^{-17}$$

16 → On tire 10^{18} photons d'une, on en récupère:

$$2 \times 10^{-17} \times 10^{18} = 20 \text{ photons}$$

On ne devient récupérer qu'un photon tous les 100 tir

↳ on surestime le résultat d'un facteur 2000 ce qui est important.

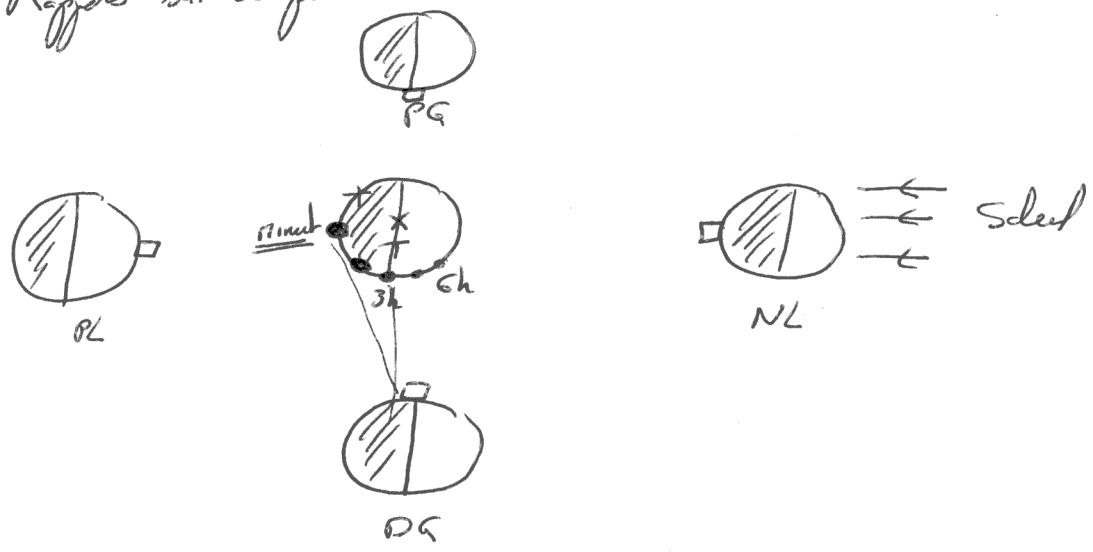
17-3 Les ~~mesure~~ incertitudes précédentes estimées (effet de Patrouiller, influence de la relativité générale) sont de l'ordre de plusieurs mètres mais elles sont qualifiables précisément, ce ne sont pas des erreurs aléatoires mais des corrections calculables dont il suffit de tenir compte.

• En revanche, il est impossible de savoir si le photon reçu a été émis au début ou à la fin de l'impulsion.

↳ d'importance et donc de l'ordre de Δt la largeur de l'impulsion.
 ↳ En effectuant N expériences, on peut ramener l'erreur à une incertitude de l'ordre de $\frac{\Delta t}{\sqrt{N}}$ (processus indépendants)

IV - Analyse de la figure 2.

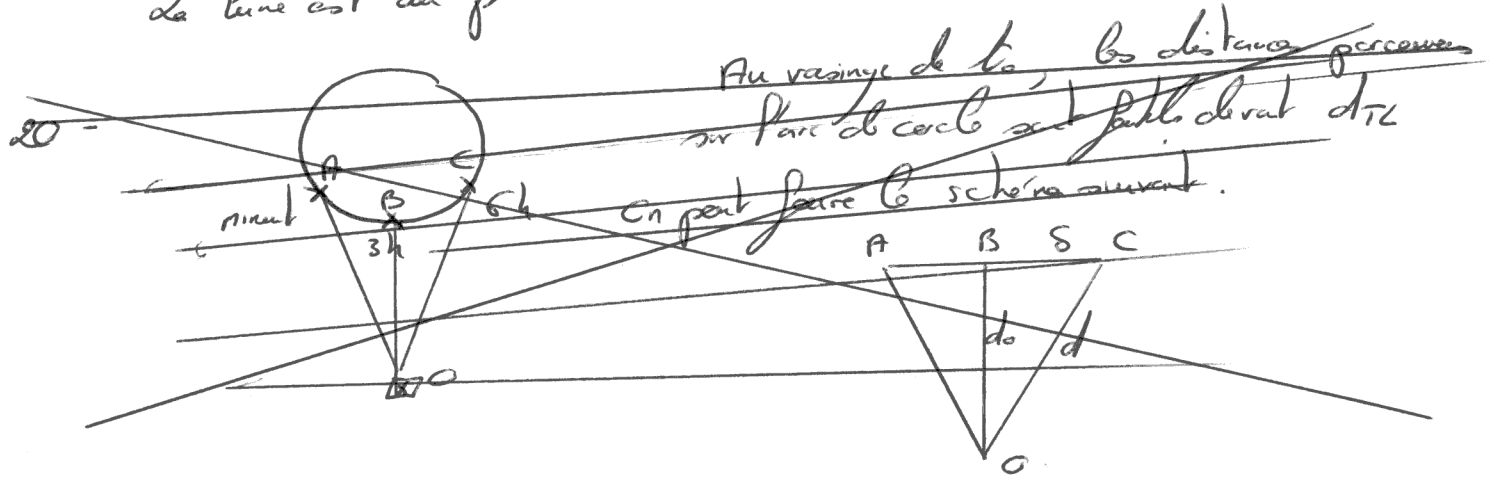
18- Rappels sur les phases de la Lune:

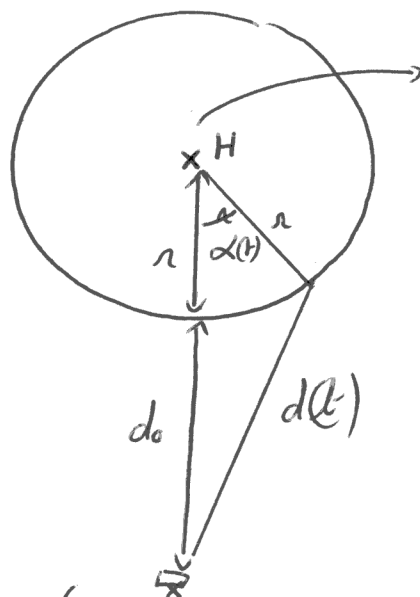


On peut supposer que la Lune se bouge quasiment pas en quelques heures.
 Période de retard absolu et propre de l'ordre de 28 jours

- Ds le cas du deuxième quartier, on constate que la distance de la Terre au récepteur devrait $\uparrow$ 3h avant de recommencer
- Ds le cas du premier quartier, la mesure qui deviendrait égale, augmentant à partir de minuit.

19- Cause de la variation: augmentation de la distance observateur récepteur.
 la Lune est au plus haut vers 3h du matin





centre du cercle associé
au parallèle terrestre sur lequel se trouve
l'observateur

On appelle r le rayon du parallèle terrestre
 $r = R_T \cos(\gamma)$ avec γ la latitude

D'après le th d'Al-Kashi:

$$d^2 = (d_0 + r)^2 + r^2 - 2r(d_0 + r) \cos \alpha(t)$$

$$d^2 = d_0^2 + r^2 + 2d_0 r + r^2 - 2r^2 \cos \alpha(t) + 2d_0 r \cos \alpha(t)$$

$$d^2 = d_0^2 + (2r^2 + 2d_0 r)(1 - \cos \alpha)$$

$$d^2 = d_0^2 + 2d_0 r (1 - \cos \alpha)$$

on néglige le terme $d_0 r$ &
en $\left(\frac{r}{d_0}\right)^2$

$$\text{et } \alpha(t) = \frac{2\pi(t-t_0)}{T}$$

petite période de rotation de
la Terre

avec $(t-t_0)$ de l'ordre de 2h et $T = 24h$
on peut se limiter à un dev. à l'ordre 2 du
cosinus

$$d^2 = d_0^2 + 2d_0 r \left(\frac{\alpha^2}{2}\right) = d_0^2 + d_0 r \alpha^2$$

avec $d_0 r \ll d_0^2$

$$d = d_0 \sqrt{1 + \frac{r}{d_0} \alpha^2} \approx d_0 \left(1 + \frac{r \alpha^2}{2d_0}\right)$$

$$d \approx d_0 + \frac{r \alpha^2}{2} = d_0 + \frac{r}{2} \times \frac{4\pi^2(t-t_0)^2}{T^2}$$

$$d = d_0 + \frac{2\pi^2 R_T \cos(\gamma)}{T^2} (t-t_0)^2$$

d'accert legnal vaut $\Delta t = 2 \frac{(d-d_0)}{c}$
 $\hookrightarrow$ aller-retour.

d'ai $\left| \Delta t = \frac{4\pi^2 R_T \cos \gamma (t-t_0)^2}{c T^2} \right. \rightarrow$ polynôme en $t-t_0$
 du second degré

21- $\cos \gamma = \frac{c \Delta t \times T^2}{4\pi^2 R_T (t-t_0)^2}$

sur la figure, on retient:

$\Delta t = 5 \text{ ms}$ pour $t-t_0 = 2 \text{ h } 15 \text{ min}$

d'ai $\cos \gamma = \frac{3 \times 10^8 \times 5 \times 10^{-3} \times (3600)^2}{4\pi^2 \times 6400 \times 10^3 \times (8100)^2} \approx 0,67$

d'ai $\gamma \approx 47,5^\circ$

Il existe un tel observatoire à Nice latitude 43° ;

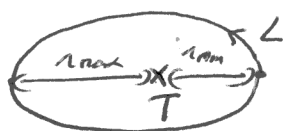
V - Analyse de la figure 3.

22- a) Il faut considérer que la seule force jouant est la force de gravitation entre la Terre et la Lune $\rightarrow$ force centrale

$\Rightarrow$ en toute rigueur le corps devrait être en mouvement sphérique

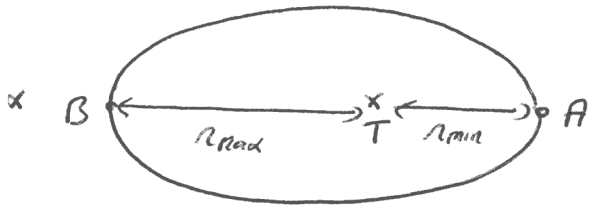
$\Rightarrow$ Il n'est pas nécessaire de supposer la Terre fixe ($M_T \gg M_L$) si on néglige le mouvement barycentrique par rapport à l'étoile.

23. Orbit elliptique: La distance entre la Terre et la Lune varie,



24- La période est associée à la répétition du phénomène
 on peut considérer les ph: (25j et 5h) et (55j) correspondant tous
 deux à une durée de l'année de ~~263~~ 263.

$$\text{d'où } T = 30j - 5h \Rightarrow \underline{T = 29j 19h}$$



@ par la Lune, en A:

$$\Delta t_A = \frac{2r_{\min}}{c}$$

@ par la Lune, en B

$$\Delta t_B = \frac{2r_{\max}}{c}$$

$$\Rightarrow r_{\min} = \frac{c \times \Delta t_A}{2} = \frac{3 \times 10^8 \times 2,42}{2} \approx 3,63 \times 10^8 \text{ m}$$

$$\Rightarrow r_{\max} = \frac{c \times \Delta t_B}{2} = \frac{3 \times 10^8 \times 2,67}{2} \approx 4,0 \times 10^8 \text{ m}$$

$$\text{a} \quad \underline{a = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \approx 3,8 \times 10^8 \text{ m}}$$

$$\text{et } r_{\min} = \frac{p}{1-e} \quad r_{\max} = \frac{p}{1+e} \Rightarrow r_{\max}(1-e) = r_{\min}(1+e)$$

$$\Rightarrow r_{\max} - e r_{\max} = r_{\min} + e r_{\min}$$

$$\Rightarrow \underline{e = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{\max} + r_{\min}}} = 0,05.$$

25- D'après la question 18, le 25 mars correspond à un premier quartier,
 le début du mois d'avril 2000 correspond à la nouvelle lune
 la nuit l'observateur est à l'opposé du disque/sur la lune aucune
 mesure n'est possible, le jour le rayonnement solaire fait trop de photons
 parasites.

VI - Tests de Rapphryge:

$$26. \vec{F}_{T \rightarrow L} = - \frac{G(t) M_T M_L}{r_{TL}^2} \vec{u}_{TL}$$

↳ Pa force reste central $\Rightarrow$ le moment cinétique se conserve!

et par conséquent Pa conservation des aires est préservée $C = r^2 \dot{\theta} = \text{cte}$

27.

* On applique la relation fondamentale de la dynamique à la lune de la galaxie géocentrique approx. sphère

* Sur un tour, on peut supposer le mouvement quasi-circulaire:

↳ si G varie, cela se voit sur des échelles de l'ordre du milliard d'années.

$$-M_L r^2 \ddot{\theta} = - \frac{G(t) M_T M_L}{r^2} \Rightarrow r^3 \dot{\theta}^2 = G(t) M_T$$

3^e loi de Kepler

$$\text{or } C = r^2 \dot{\theta} = \text{cte}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{C^{1/2}}{\dot{\theta}^{1/2}} \right)^3 \dot{\theta}^2 = G(t) M_T$$

$$\Rightarrow \dot{\theta}^{1/2} \times C^{3/2} = G(t) M_T$$

$$\Rightarrow \dot{\theta}^{1/2} = \frac{G(t) M_T}{C^{3/2}}$$

$$\text{si } G(t) \downarrow \Rightarrow \dot{\theta} \downarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} \frac{\Delta \dot{\theta}}{\dot{\theta}} = \frac{\Delta G}{G} \Rightarrow \frac{\Delta \dot{\theta}}{\dot{\theta}} = 2 \frac{\Delta G}{G} \Rightarrow \frac{\Delta \dot{\theta}}{\dot{\theta}} = 2 \frac{\Delta C}{C}$$

diff. Géo. Kp

28- En se limitant par l'instant au mouvement de la Lune:

$$r^3 \ddot{\theta} = G M_T = \text{const}$$

avec $\dot{\theta} = \omega$

$$\Rightarrow 3 \frac{dr}{r} + 2 \frac{d\omega}{\omega} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dr}{dt} = -\frac{2}{3} \times \frac{r}{\omega} \times \frac{d\omega}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dr}{dt} = -\frac{2}{3} \times \frac{3,8 \times 10^8}{2\pi / (29 \times 86400)} \times \frac{-24 \times 4,8 \times 10^{-6}}{(3,1 \times 10^7 \times 100)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dr}{dt} \approx 1,2 \times 10^{-9} \text{ m/s} \approx \underline{4 \times 10^{-2} \text{ m/siècle}}$$

29- Système Terre-Lune isolé $\Rightarrow \frac{dL_{\text{tot}}}{dt} = 0$

$$L_{\text{tot}} = L_{\text{Terre}}^{\text{rot}} + L_{\text{Lune}}^{\text{rot}} + L_{\text{orbital}}$$

Cesne: $m_L \ll m_T \Rightarrow L_L^{\text{rot}} \ll L_T^{\text{rot}}$
 et $R_L < R_T$
 $\omega_L^{\text{rot}} \ll \omega_T^{\text{rot}}$

30- $L_{\text{tot}} = \frac{2}{5} m_T R_T^2 \omega_T^2 + m_L \times d_{TL}^2 \times \omega_{\text{orb}}$

avec: $d_{TL}^3 \times \omega_{\text{orb}}^2 = G M_T \Rightarrow d_{TL} = \left(\frac{G M_T}{\omega_{\text{orb}}^2} \right)^{1/3}$
 3^e loi de Kepler

$$L_{\text{tot}} = \frac{2}{5} m_T R_T^2 \omega_T^2 + m_L \frac{(G M_T)^{1/3}}{(\omega_{\text{orb}})^{4/3}} \times \omega_{\text{orb}}$$

$$L_{\text{tot}} = \frac{2}{5} m_T R_T^2 \omega_T^2 + m_L (G M_T)^{1/3} \times \omega_{\text{orb}}^{-1/3}$$

Par relation p. 2 de la Terre satellite.

$$\frac{dL_{\text{tot}}}{dt} = 0 = 2 \frac{d\omega_T}{\omega_T} - \frac{1}{3} \frac{d\omega_{\text{orb}}}{\omega_{\text{orb}}} \Rightarrow \omega_{\text{orb}} \Rightarrow \underline{\omega_T}$$