

EXERCICE I : La télémétrie LASER (7 points)

1. À propos du laser

1.1. (0,5 pt) Dans la relation $c = \lambda \cdot \nu$, la célérité c de la lumière dans le vide est une constante $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (doc. 2) : le produit $\lambda \cdot \nu$ est donc constant. Ainsi, si la fréquence ν double alors la longueur d'onde λ est divisée par deux : $c = \frac{\lambda}{2} \cdot (2\nu)$.

1.2.1. (0,5 pt) Un laser pulsé émet des impulsions lumineuses très brèves (20 picosecondes) (doc.1). Un laser pulsé présente donc la propriété de **concentrer dans le temps** l'énergie lumineuse grâce à des impulsions ultracourtes.

1.2.2. (0,5 pt) La puissance p d'une impulsion est donnée par la relation : $p = \frac{E}{\Delta t}$

Avec : $E = 200 \text{ mJ} = 200 \times 10^{-3} \text{ J}$ (doc.2)
 $\Delta t = 20 \text{ ps} = 20 \times 10^{-12} \text{ s}$ (texte introductif et doc.2)

Donc : $p = \frac{200 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-12}} = 1,0 \times 10^{10} \text{ W} = 10 \text{ GW} !$

La puissance instantanée émise par un laser pulsé est effectivement « fantastique ».

1.3. Le nombre N de photons émis à chaque impulsion est donné par la relation :

$E = N \cdot e$, soit $N = \frac{E}{e}$, avec e l'énergie d'un photon : $e = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

(0,25 pt) donc : $N = \frac{E}{h \cdot \frac{c}{\lambda}} = \frac{E \cdot \lambda}{h \cdot c}$

En ordre de grandeur, en arrondissant les valeurs à la puissance de 10 la plus proche :

(0,25 pt) $E = 200 \times 10^{-3} \text{ J} = 2,00 \times 10^{-1} \approx 10^{-1} \text{ J}$

(0,25 pt) $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \approx 10^{-33} \text{ J}\cdot\text{s}$.

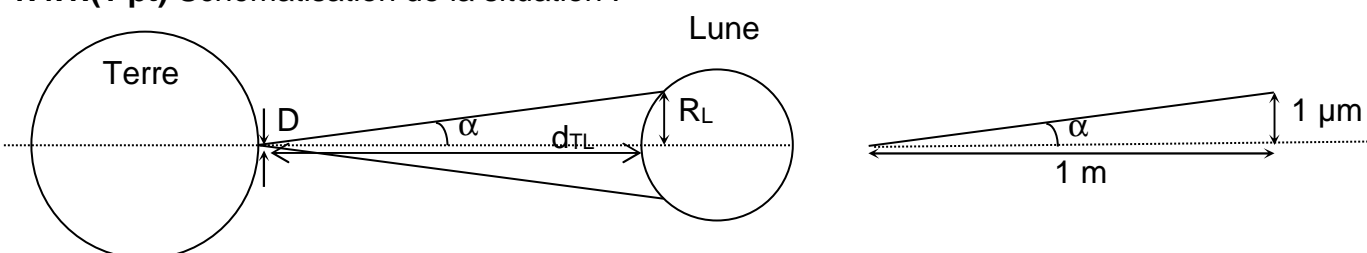
(0,25 pt) $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 2,99\,792\,458 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

(0,25 pt) $\lambda = 532 \text{ nm} = 5,32 \times 10^{-7} \text{ m} \approx 10^{-6} \text{ m}$.

(0,25 pt) $N = \frac{10^{-1} \times 10^{-6}}{10^{-33} \times 10^8} = \frac{10^{-7}}{10^{-25}} = 10^{18} \text{ photons}$.

Remarque : le calcul exact donne $N = 5,32 \times 10^{17} \text{ photons}$.

1.4.1.(1 pt) Schématisation de la situation :



Méthode 1 : exploitation de l'élargissement du faisceau

La distance Terre-Lune est estimée à $d_{TL} = 400\,000 \text{ km}$ soit $4 \times 10^8 \text{ m}$. La divergence du faisceau est de l'ordre du micromètre par mètre parcouru soit 10^{-6} m par mètre parcouru.

Ainsi, entre la Terre et la Lune, la divergence du faisceau vaut : $\frac{4 \times 10^8 \times 10^{-6}}{1} = 4 \times 10^2 \text{ m}$.

Au départ, le faisceau laser a un diamètre $D = 2 \text{ m}$ soit un rayon de 1 m . Sur la Lune, le faisceau laser forme une tache lumineuse de rayon R_L égal à $4 \times 10^2 \text{ m}$.

Méthode 2 : exploitation de la divergence en radian

$$\tan \alpha = \frac{R_L}{d_{TL}} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{1}{10^6} = 10^{-6} \text{ rad}$$

$$R_L = (\tan \alpha) \cdot d_{TL} \quad \text{ainsi :} \quad R_L = \tan(10^{-6}) 4 \times 10^8 = 10^{-6} \times 4 \times 10^8 = 4 \times 10^2 \text{ m.}$$

1.4.2. (0,5 pt) Calculons : $\frac{2R_L}{D}$ soit $\frac{2 \times 4 \times 10^2}{2} = 4 \times 10^2$.

Le diamètre ($2R_L$) de la tache lumineuse sur la Lune est 400 fois plus grand que le diamètre initial (D) du faisceau laser. Donc, même si le faisceau laser est peu divergent, la distance Terre-Lune est si grande que l'effet de cette divergence est finalement important.

2. À propos de la mesure de la distance Terre-Lune.

2.1.1. La lumière parcourt la distance Terre-Lune d_{TL} puis est réfléchi sur la Lune et parcourt à nouveau d_{TL} en direction de la Terre. Tout ceci à la célérité c .

(0,5 pt) $c = \frac{2 \cdot d_{TL}}{\tau}$ donc $d_{TL} = \frac{c \cdot \tau}{2}$ où τ est la durée d'un aller-retour Terre-Lune.

(0,5 pt) $d_{TL} = \frac{299\,792\,458 \times 24\,164\,440\,511\,979 \times 10^{-13}}{2} = 3,622\,158\,509 \times 10^8 \text{ m}$

$$= 3,622\,158\,509 \times 10^5 \text{ km}$$

(0,25 pt)

$$= \mathbf{362\,215,8509 \text{ km.}}$$

2.1.2. (0,25 pt) La distance Terre-Lune est donnée à $0,00001 \text{ km}$ près soit à $1 \times 10^{-5} \text{ km} = 1 \times 10^{-2} \text{ m} = 1 \text{ cm}$. La « précision » est donc égale au centimètre.

2.1.3. (0,25 pt) La « précision » sur la durée d'un aller-retour d'une impulsion laser est la picoseconde soit 10^{-12} s . Seules des horloges atomiques sont capables de mesurer des durées avec une telle « précision ».

2.2. (0,75 pt) Entre le 27 / 11 / 02 et le 30 / 11 / 02 la distance d_{TL} diminue.

Hypothèse 1 : la trajectoire de la Lune n'est pas parfaitement circulaire autour de la Terre mais ressemble plutôt à une ellipse.

Hypothèse 2 : La vitesse de la lumière dans l'air est légèrement plus faible que celle dans le vide. La vitesse de la lumière varie donc lors de son passage dans les différentes couches de l'atmosphère dont l'épaisseur est de l'ordre de 200 km .