

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

Les LiDAR, acronyme de « Light Detection And Ranging » sont des systèmes de mesure à distance utilisant généralement les propriétés laser. On les utilise pour la télémétrie (distance Terre-Lune par exemple), la topographie (réalisation de cartes), les mesures de concentrations de gaz ou encore pour déterminer la vitesse des vents.

Données à 25°C :

Célérité en m.s^{-1}	Dans l'air	Dans l'eau
onde sonore et ultrasonore :	$3,40 \times 10^2$	$1,48 \times 10^3$
onde électromagnétique :	$3,00 \times 10^8$	$2,26 \times 10^8$

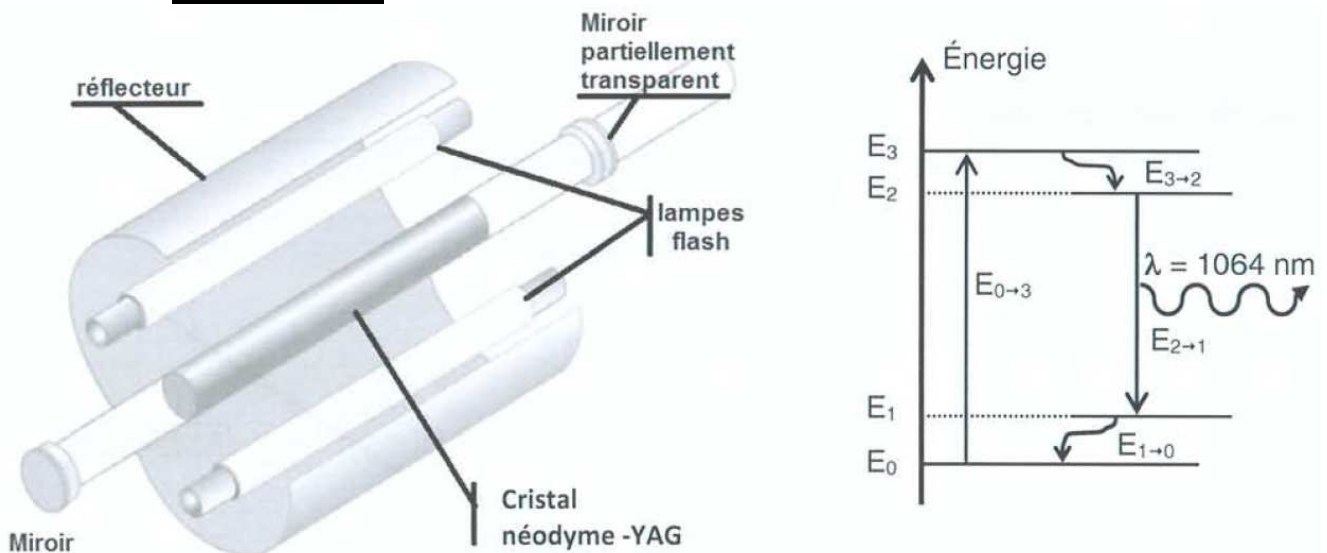
Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s

1. Le LiDAR topographique embarqué.

Un LiDAR topographique envoie des impulsions laser de courte durée et de longueur d'onde $\lambda = 1064$ nm. Tout obstacle sur le trajet du faisceau va renvoyer une partie du rayonnement dans la direction du faisceau incident. La mesure de la durée de l'aller-retour de chaque impulsion permet alors de reconstituer numériquement l'espace environnant. Embarqué à bord d'un avion ou d'un satellite, le LiDAR topographique est un moyen de cartographier la Terre à distance avec une grande précision.

D'après *La physique en applications* R. CARPENTIER et B. DEPRET

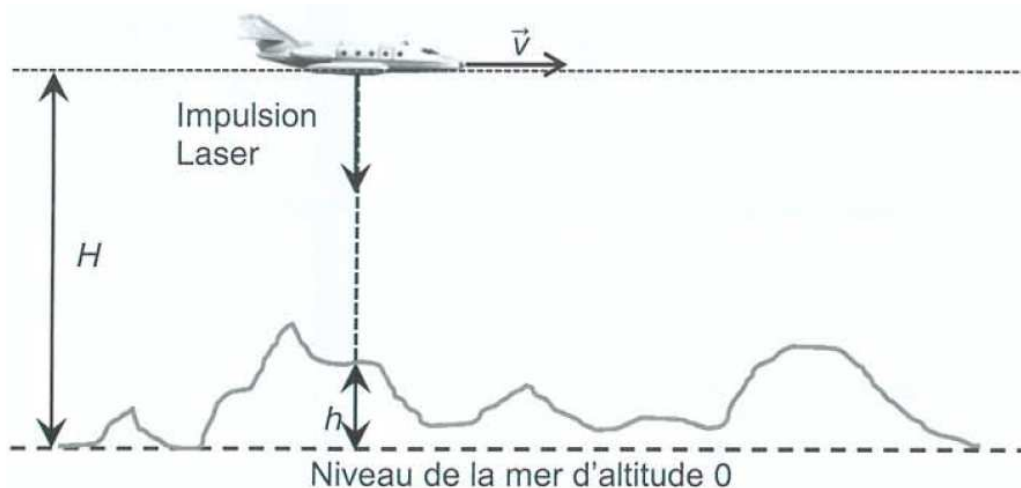
Un des lasers utilisés est un laser dont le milieu amplificateur est un cristal solide néodyme-YAG décrit dans le document n°1 ci-dessous :



Document n°1 : schéma du laser néodyme-YAG et de son diagramme énergétique simplifié.

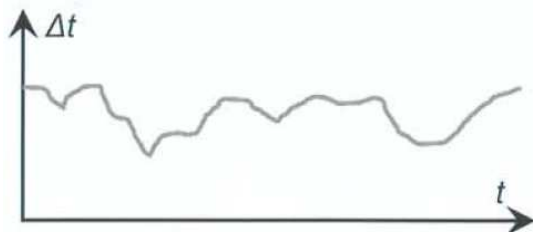
- 1.1. Donner deux propriétés caractéristiques du rayonnement émis par un laser.
- 1.2. À quoi servent les lampes flash lors du fonctionnement de ce laser ?
- 1.3. Le niveau fondamental d'énergie E_0 est pris comme origine des énergies. L'énergie du niveau E_3 est égale à $2,458 \times 10^{-19}$ J. Quelle longueur d'onde doit être présente dans le spectre de la lumière émise par une lampe flash ?

Sur la figure ci-dessous, l'avion embarquant le lidar topographique vole à une altitude $H = 3,50 \text{ km}$ à la vitesse de 450 km.h^{-1} . Sa position est déterminée par un GPS.

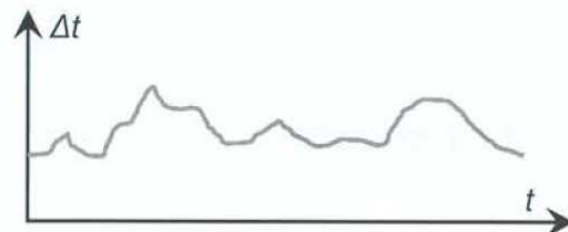


1.4. En faisant l'hypothèse que la distance parcourue par l'avion pendant la durée Δt est négligeable par rapport à H , montrer que la durée Δt du trajet aller-retour de l'impulsion laser en fonction de H , h et de la célérité de la lumière c est $\Delta t = \frac{2 \times (H - h)}{c}$.

1.5. Parmi les deux graphiques ci-dessous, indiquer celui qui correspond à la situation étudiée. Justifier brièvement la réponse.



Graphique a



Graphique b

1.6. Lors du survol du Puy de Dôme (volcan du centre de la France), on mesure $\Delta t = 13,6 \mu\text{s}$. Estimer l'altitude du Puy de Dôme par rapport au niveau de la mer.

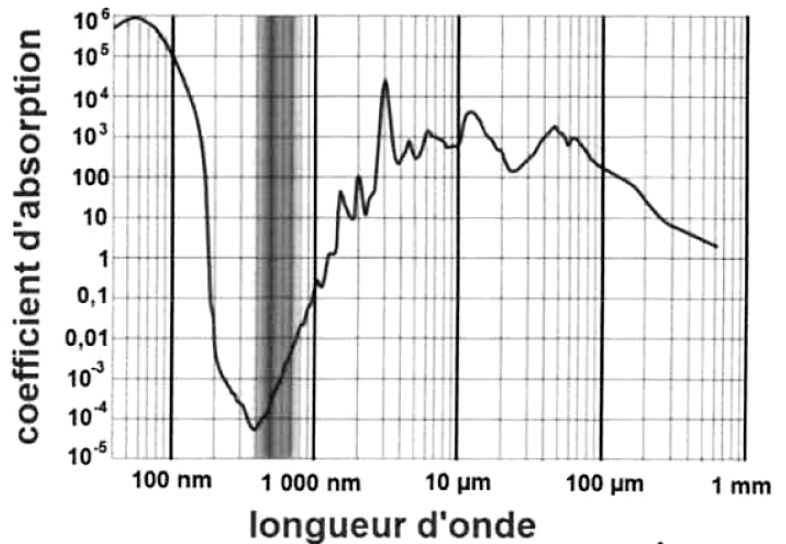
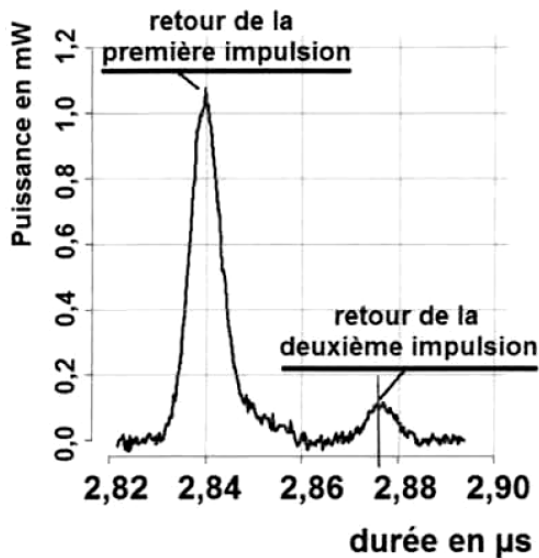
1.7. Dans le cas de la mesure de l'altitude du Puy de Dôme, l'hypothèse faite à la question 1.4. est-elle vérifiée ?

2. Le LiDAR bathymétrique.

Les systèmes LiDAR bathymétriques aéroportés ressemblent au LiDAR topographique mais ils sont constitués de deux lasers différents : un laser infrarouge et un laser vert. Ils servent à déterminer la profondeur de l'eau. Pour cela, le LiDAR envoie deux impulsions simultanées (une impulsion verte et une impulsion infrarouge). Le rayonnement infrarouge sert à repérer la surface de l'eau. Le rayonnement vert, quant à lui, pénètre dans l'eau et est réfléchi par le fond.

En mesurant la différence entre les temps de parcours des deux impulsions laser (**Document n°2**), on peut déterminer la profondeur de l'eau.

D'après : <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/>



Document n°2 :

puissance lumineuse reçue par le récepteur en fonction du temps.

Spectre n°1 : *spectre d'absorption de l'eau.*

La radiation est d'autant plus absorbée que le coefficient d'absorption est élevé.

- 2.1. Les longueurs d'onde des deux lasers sont de 532 nm et de 1064 nm. Attribuer, en justifiant, la longueur d'onde à chacun des deux lasers du LiDAR bathymétrique.
- 2.2. Expliquer pourquoi il est plus judicieux d'utiliser le laser vert, plutôt que le laser infrarouge, pour détecter le fond de l'eau.
- 2.3. En vous appuyant sur un schéma expliquant le principe de cette mesure, estimer la valeur de la profondeur de l'eau à l'endroit où la mesure du document n°2 a été effectuée.

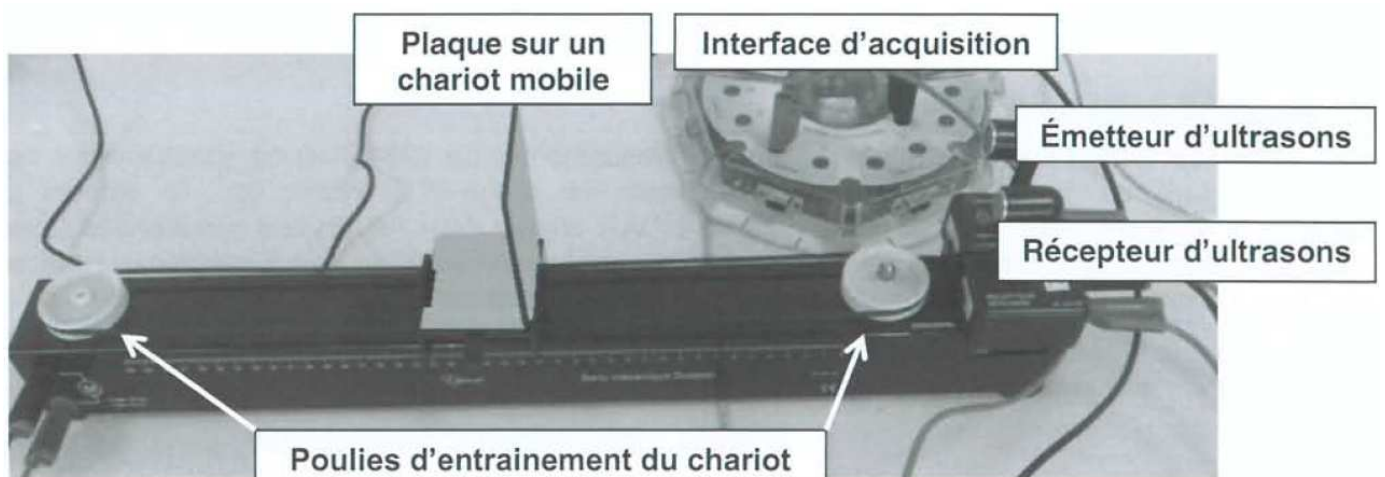
3. Le LiDAR à effet Doppler

Il permet de faire des mesures de la vitesse de vents ou de nuages grâce à l'effet Doppler.

Pour présenter ce principe, un professeur propose le dispositif expérimental photographié ci-après dans lequel le LiDAR est remplacé par un ensemble « émetteur – récepteur » d'ultrasons et le nuage est modélisé par une plaque fixée sur un chariot mobile.

On suppose que la température de la salle est de 25°C.

Photographie du dispositif expérimental :



À l'aide de ce dispositif, le professeur a proposé aux élèves de réaliser deux expériences pour mesurer la vitesse de déplacement d'un objet.

Expérience n°1

Pour déterminer la valeur v de la vitesse de déplacement du chariot, Anna, à l'aide d'un chronomètre, mesure la durée mise par le chariot pour se déplacer d'une distance $d = 30,0 \pm 0,5$ cm.

Elle réalise plusieurs chronométrages dont les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Durée τ (en s)	2,08	2,05	2,06	2,13	2,08	2,07	2,09	2,05	2,08	2,09

Dans les conditions de l'expérience :

- L'écart-type sur la durée est $\sigma_{n-1} = 2,35 \times 10^{-2}$ s
- L'incertitude sur la durée se calcule avec la formule $U(\tau) = \frac{2,26 \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$, où n est le nombre de mesures réalisées.

- L'incertitude relative sur la valeur de la vitesse est $\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2 + \left(\frac{U(d)}{d}\right)^2}$

Expérience n°2

Avec les mêmes réglages, Karim détermine la valeur de la vitesse v de déplacement du chariot à l'aide de l'effet Doppler.

Disposant d'une interface d'acquisition et d'un logiciel de traitement, il mesure la fréquence reçue par le récepteur dans deux situations expérimentales :

- Lorsque le chariot est immobile, $f_1 = 42170$ Hz.
- Lorsque le chariot est mouvement, $f_2 = 42134$ Hz.

Dans les conditions de l'expérience :

- Lors de la réflexion sur un obstacle en mouvement, la fréquence de l'onde reçue après réflexion est différente de celle de l'onde émise de fréquence $f_{ém}$.
- La valeur absolue de la variation de fréquence $|\Delta f|$ est donnée par : $|\Delta f| = \frac{2 \times v \times f_{ém}}{c}$

Dans cette relation :

- v est la valeur de la vitesse de déplacement de l'obstacle par rapport à la source ;
- c est la célérité de l'onde.

- 3.1. Citer une différence entre les ondes utilisées par un LiDAR et celles utilisée dans ces deux expériences.
- 3.2. Dans le cas de l'expérience n°1, déterminer la valeur de la vitesse de déplacement du chariot, notée v_{exp1} et exprimer le résultat en prenant en compte l'incertitude associée.
- 3.3. Lors de l'expérience n°2, le chariot se rapproche-t-il ou s'éloigne-t-il de l'ensemble « émetteur-récepteur ? Justifier.
- 3.4. L'incertitude relative sur la valeur de la vitesse déterminée dans l'expérience 2 est de 5 %. Les deux expériences donnent-elles des valeurs de vitesses compatibles ?