EXERCICE II : LES LIDAR « LIGHT DETECTION AND RANGING » (10 points)

Approfondissement dans une video du Palais de la découverte (10 min) : http://acver.fr/4yi

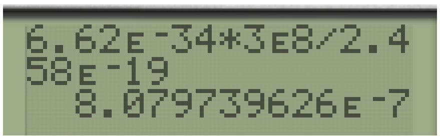
1. Le LiDAR topographique embarqué.

1.1. ***(0,5)*** Les principales propriétés du rayonnement émis par un laser sont : monochromaticité, directivité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie (*seules 2 étaient attendues*).

1.2. ***(0,25)*** Les lampes flash apportent l'énergie qui excite les atomes en les amenant du niveau d'énergie E_0 au niveau E_3.

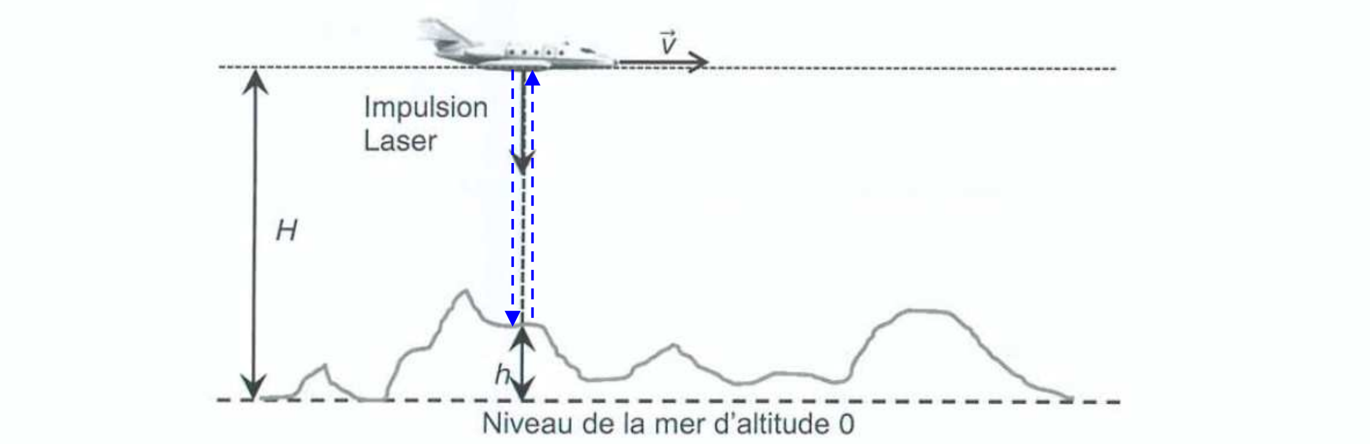
1.3. ***(1)*** En utilisant la relation de Planck : $\Delta E = E_3 - E_0 = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$, on obtient la relation :

$$\lambda = h.\frac{c}{E_3 - E_0}$$



$\lambda = 6{,}62\times10^{-34}\times\frac{3{,}00\times10^{8}}{2{,}458\times10^{-19}-0}$ = 8,08×10⁻⁷ m = **808 nm**.

1.4. ***(0,5)*** L'impulsion Laser effectue un aller-retour à la vitesse de la lumière ***c*** entre l'avion et le sol soit une distance $2\times(H-h)$ en utilisant le schéma.



On peut écrire $c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2\times(H-h)}{\Delta t}$ donc $\Delta t = \frac{2\times(H-h)}{c}$

1.5. ***(0,75)*** Au début du parcours, la durée Δt doit être plus longue car la distance à parcourir par l'impulsion est plus élevée que par la suite. Le **graphique a** correspond à cette situation.

1.6. $\Delta t = \frac{2\times(H-h)}{c}$

$$\frac{c.\Delta t}{2} = H - h$$

(0,25) $h = H - \frac{c.\Delta t}{2}$

(0,25) $h = 3{,}50\times10^{3} - \frac{3{,}00\times10^{8}\times13{,}6\times10^{-6}}{2} = 1{,}46\times10^{3}\,\text{m}$

1.7. (0,5) Pendant la durée $\Delta t = 13{,}6\ \mu\text{s}$ (durée de l'impulsion), l'avion vole à la vitesse v = 450 km.h⁻¹ La distance parcourue est $d = v.\Delta t$.

$d = \frac{450}{3{,}600}\times13{,}6\times10^{-6} = 1{,}70\times10^{-3}\,\text{m}$ = 1,70 mm.

Cette distance est effectivement négligeable par rapport à H = 3,50 km : on peut valider l'hypothèse de la question 1.4.

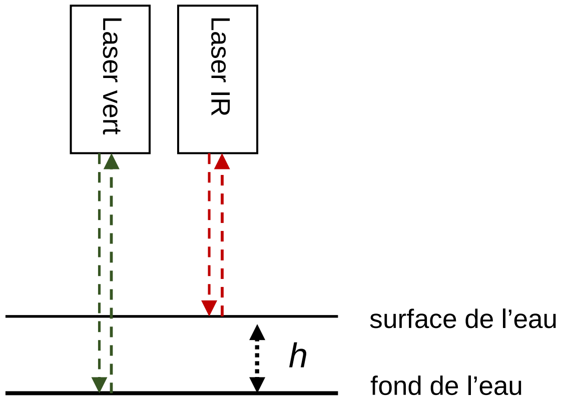
2. <u>Le LiDAR bathymétrique.</u>

2.1. ***(0,5)*** Le laser vert a une longueur d'onde de 532 nm (car 400 nm $\leq \lambda_{visible} \leq$ 800 nm) tandis que le laser infrarouge a une longueur d'onde de 1064 nm ($\lambda_{IR} \geq$ 800 nm).

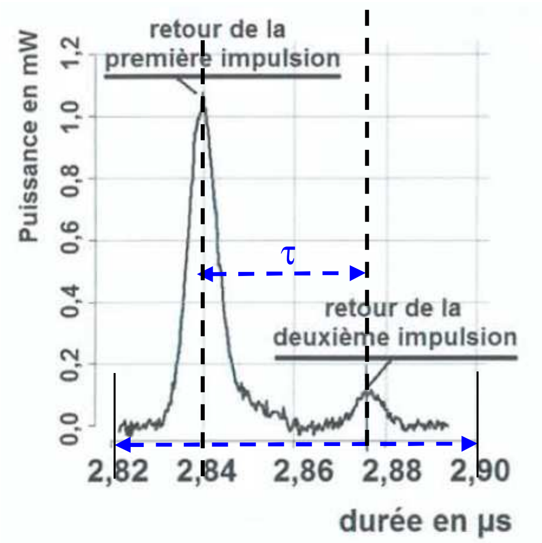
2.2. ***(0,5)*** Comme le montre le spectre d'absorption de l'eau, le rayonnement IR utilisé est fortement absorbé contrairement au rayonnement vert utilisé : il est donc plus judicieux d'utiliser le laser vert pour détecter le fond de l'eau car celui-ci peut facilement effectuer l'aller-retour dans l'eau.

2.3. D'après le texte, le laser infrarouge sert à repérer la surface de l'eau tandis que le laser vert sert à repérer le fond de l'eau d'où le schéma de principe suivant :

(0,5)



Démarche : On peut déterminer (grâce au doc 2) le retard entre le retour de la 1ère impulsion et le retour de la 2ème impulsion : $\tau = \Delta t_V - \Delta t_{IR}$.



$\tau \longrightarrow$ 2,2 cm

2,90 - 2,82 =0,08 µs $\longrightarrow$ 5,0 cm

$$\tau = \frac{0{,}08 \times 2{,}2}{5{,}0} = 0{,}0352\ \mu s \approx 0{,}035\ \mu s$$

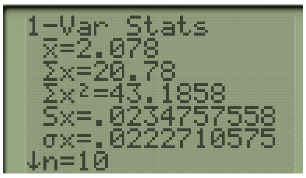
(0,75) Ce retard τ correspond à la distance 2*h* (à cause de l'aller-retour) parcourue par la lumière verte à la célérité de la lumière <u>dans l'eau</u> : $v = \frac{2h}{\tau}$ donc $h = \frac{\tau . v}{2}$

$h = \frac{0{,}0352 \times 10^{-6} \times 2{,}26 \times 10^{8}}{2} = 3{,}9976\ m$, soit avec 2 chiffres significatifs ***h* = 4,0 m**.

3. <u>Le LiDAR à effet Doppler</u>

3.1. ***(0,25)*** - Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques qui nécessitent donc un milieu matériel pour se propager contrairement aux ondes électromagnétiques.
- Les fréquences des deux ondes sont différentes.
- Leurs célérités sont différentes.

3.2. Calcul de la vitesse du chariot : $v_{\text{exp1}} = \frac{d}{\tau}$ avec $\bar{\tau} = 2{,}078$ s (moyenne de τ sur n = 10 mesures, non arrondie car résultat intermédiaire). ***(Moyenne 0,5)***



$$v_{\text{exp1}} = \frac{30{,}0\times10^{-2}}{2{,}078} = 0{,}144 \text{ m.s}^{-1}$$

(0,25) Calcul de l'incertitude $U(\tau) = \frac{2{,}26\times\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$ avec n = 10 et $\sigma_{n-1} = 2{,}35\times10^{-2}$ s (*donné ici mais à savoir calculer voir* https://fr.slideshare.net/Labolycee/ts-tpc2calculatricemoy-ecart)

$$U(\tau) = \frac{2{,}26\times2{,}35\times10^{-2}}{\sqrt{10}} = 1{,}7\times10^{-2}\text{s } = \mathbf{2\times10^{-2}\ s}$$

(0,5) Calcul de l'incertitude $U(v_{\text{exp1}}) = v_{\text{exp1}}\cdot\sqrt{\left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2 + \left(\frac{U(d)}{d}\right)^2}$

$$U(v_{\text{exp1}}) = 0{,}144\times\sqrt{\left(\frac{2\times10^{-2}}{2{,}078}\right)^2 + \left(\frac{0{,}5}{30{,}0}\right)^2} = 0{,}00278 \approx 0{,}003 \text{ m.s}^{-1}$$

(0,25) Ainsi $v_{\text{exp1}} = (0{,}144 \pm 0{,}003)$ m.s^{-1} ou $0{,}141 \text{ m.s}^{-1} \le v_{\text{exp1}} \le 0{,}147 \text{ m.s}^{-1}$.

3.3. ***(0,5)*** $f_2 < f_1$: On constate que la fréquence perçue par le récepteur lorsque le chariot est en mouvement est inférieure à celle émise par le chariot donc celui-ci s'éloigne du récepteur (tout comme la sirène de l'ambulance qui parait plus grave lorsqu'elle s'éloigne).

3.4. Pour répondre, il faut d'abord déterminer la valeur de v_{exp2} et son encadrement.

$$|\Delta f| = \frac{2\times v\times f_{ém}}{c} \text{ donc } v = \frac{|\Delta f|\times c}{2\times f_{em}}$$

(*Attention : la notation c est trompeuse : il s'agit de la célérité de l'onde utilisée et pas la vitesse de la lumière ici*)

Avec les notations de l'énoncé : $f_{em} = f_1$ et $\Delta f = f_2 - f_1$ donc $v_{\text{exp2}} = \frac{|f_2 - f_1|\times v_{son}}{2\times f_1}$ ***(0,25)***

$$v_{\text{exp2}} = \frac{|42134 - 42170|\times3{,}40\times10^2}{2\times42170} = \frac{36\times340}{2\times42170} = 0{,}145 \text{ m.s}^{-1}$$ ***(0,25)***

D'après l'énoncé, $\frac{U(v_{\text{exp2}})}{v_{\text{exp2}}} = 5\%$ donc $U(v_{\text{exp2}}) = 0{,}05\times0{,}145 = 0{,}00726 = 0{,}008 \text{ m.s}^{-1}$ ***(0,25)***

(0,25) $v_{\text{exp2}} = (0{,}145 \pm 0{,}008)$ m.s^{-1} que l'on peut aussi écrire $0{,}137 \text{ m.s}^{-1} \le v_{\text{exp2}} \le 0{,}153 \text{ m.s}^{-1}$.

(0,5) Et on a obtenu pour l'expérience 1 : $0{,}141 \text{ m.s}^{-1} \le v_{\text{exp1}} \le 0{,}147 \text{ m.s}^{-1}$.

Les résultats des deux expériences sont compatibles car les intervalles de confiance se chevauchent.

<u>Compétences exigibles ou attendues :</u>

En noir : officiel (Au B.O.)

En italique : officieux (au vu des sujets de Bac depuis 2013)

- Connaître les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie).
- Notion de quantum d'énergie : connaître et savoir utiliser la relation $\Delta E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$ et l'utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie (1ère S).
- Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).
- Connaître les limites du spectre visible et placer les UV et les IR (1ère S).
- Exploiter un spectre UV-visible-IR.
- *Définir une onde mécanique (progressive).*
- Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie.
- Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un intervalle de confiance.
- Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
- Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique.
- Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence.
- *Effet Doppler : savoir comment évoluent la longueur d'onde, la période et la fréquence perçues par le récepteur quand la distance émetteur-récepteur varie.*