# Mesure de vitesse à l'aide d'un cinémomètre

Bac S 2012 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

**1.1** Définir une onde mécanique.

Une onde mécanique est le phénomène de propagation, dans un milieu matériel, d'une perturbation : elle transporte de l'énergie mais pas de matière.

**PIÈGE**
Oublier « milieu matériel » ou « sans transport de matière » : deux éléments attendus.

**1.2** Le son est une onde longitudinale. Définir cet adjectif.

Une onde est longitudinale lorsque la perturbation du milieu se fait dans la même direction que la propagation de l'onde.

**COMPRENDRE**
Pour le son, l'air est comprimé puis dilaté le long de la propagation. Une onde sur une corde est transversale.

**1.3** La lumière est-elle une onde mécanique ? Justifier.

La lumière se propage dans le vide (celle du Soleil nous parvient à travers l'espace), alors qu'une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel.

La lumière n'est pas une onde mécanique : c'est une onde électromagnétique.

**2.1** Pourquoi peut-on dire que l'énergie d'un atome est quantifiée ?

L'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs bien précises, appelées niveaux d'énergie. Lors d'une transition entre deux niveaux, l'atome émet ou absorbe un photon d'énergie $\Delta E = h\nu$ bien déterminée : son spectre est un spectre de raies.

Les valeurs possibles de l'énergie forment une suite discrète : elle est quantifiée.

**COMPRENDRE**
Si l'énergie pouvait varier de façon continue, le spectre d'émission serait continu. Les raies fines observées en sont la preuve expérimentale.

**2.2** À quel domaine du spectre électromagnétique la radiation émise appartient-elle ? Justifier.

**Données utiles** $\lambda = 904$ nm

Le domaine visible s'étend environ de $400$ nm à $800$ nm. Ici $\lambda = 904\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$.

La radiation appartient au domaine de l'**infrarouge**.

**MÉTHODE**
Retenir les bornes du visible dans le vide : environ $400$ nm (violet) et $800$ nm (rouge). En dessous : ultraviolet ; au-dessus : infrarouge.

**2.3** Déterminer en joules la différence d'énergie $\Delta E$ entre les états $E_2$ et $E_1$.

**Données utiles** $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$ ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $\lambda = 904$ nm

L'énergie du photon émis est égale à la différence d'énergie entre les deux états :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu = \frac{h\,c}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{904 \times 10^{-9}}$$

$\Delta E = 2{,}20 \times 10^{-19}$ J

**PIÈGE**
Laisser $\lambda$ en nanomètres : il faut $904 \times 10^{-9}$ m, sinon le résultat est faux d'un facteur $10^{9}$.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs, comme les données $h$, $c$ et $\lambda$. Converti en électronvolts, cela donne environ $1{,}37$ eV.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{904 \times 10^{-9}} \approx 2.200221 \times 10^{-19}$$

**3.1** Exprimer la relation entre la distance $d_1$, $\Delta t_1$ et la célérité $c$ de la lumière dans l'air.

Pendant $\Delta t_1$, l'impulsion fait l'aller jusqu'au véhicule puis le retour : elle parcourt $2d_1$ à la célérité $c$.

$$c = \frac{2d_1}{\Delta t_1}$$

$$\boxed{d_1 = \frac{c\,\Delta t_1}{2}}$$

**PIÈGE**
Oublier le facteur 2 de l'aller-retour. Dans l'air, la célérité de la lumière vaut presque celle du vide.

**3.2** Démontrer que la vitesse du véhicule est donnée par $v = \dfrac{c\,(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{2T}$.

Entre les deux émissions, séparées de la durée $T$, le véhicule qui se rapproche passe de la distance $d_1$ à la distance $d_2$ : il parcourt $d_1 - d_2$.

Sa vitesse est donc $v = \dfrac{d_1 - d_2}{T}$.

D'après 3.1 : $d_1 = \dfrac{c\,\Delta t_1}{2}$ et de même $d_2 = \dfrac{c\,\Delta t_2}{2}$, d'où

$$v = \frac{1}{T}\left(\frac{c\,\Delta t_1}{2} - \frac{c\,\Delta t_2}{2}\right)$$

$$\boxed{v = \frac{c\,(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{2T}} \text{ : c'est la relation demandée.}$$

**COMPRENDRE**
On assimile à $T$ la durée entre les deux réflexions sur le véhicule. L'écart réel, $T + \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2}$, diffère de $T$ de moins d'une nanoseconde : c'est négligeable.

**3.3** Déterminer l'écart $\Delta t_1 - \Delta t_2$ pour une vitesse de $100\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Comment le dispositif améliore-t-il la précision de cette mesure ?

**Données utiles** $v = 100\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ; $T = 1{,}80$ ms ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; mesure sur plus de 200 distances pendant 360 ms

D'après 3.2 : $\Delta t_1 - \Delta t_2 = \dfrac{2\,v\,T}{c}$.

Conversion : $v = \dfrac{100 \times 10^{3}}{3600} = 27{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{2 \times 27{,}8 \times 1{,}80 \times 10^{-3}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$

$\Delta t_1 - \Delta t_2 = 3{,}33 \times 10^{-10}$ s, soit $0{,}333$ ns.

Le cinémomètre ne se contente pas de deux impulsions : pendant 360 ms, il émet $\dfrac{360}{1{,}80} = 200$ impulsions et exploite plus de 200 distances successives. Le traitement de ce grand nombre de mesures réduit l'effet de l'erreur sur chacune.

$\Delta t_1 - \Delta t_2 = 3{,}33 \times 10^{-10}$ s ; la précision vient du grand nombre de mesures (plus de 200).

**PIÈGE**
Calculer avec $v = 100$ sans convertir en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, ou avec $T$ en millisecondes : l'unité de $v$ doit être cohérente avec celles de $c$ et $T$.

**COMPRENDRE**
Sur l'ensemble des 200 intervalles, l'écart cumulé atteint $200 \times 0{,}333 \approx 67$ ns, durée bien plus facile à mesurer que $0{,}33$ ns.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$$\frac{100 \times 10^3}{3600} \approx 27.77778$$

$$\frac{2 \times \frac{100 \times 10^3}{3600} \times 1.80 \times 10^{-3}}{3.00 \times 10^8} \approx 3.333333 \times 10^{-10}$$

$$\frac{360}{1.80} \approx 200$$

**4** À partir des courbes de l'onde émise (courbe 1) et de l'onde reçue (courbe 2), dire si le conducteur, en agglomération limitée à $50\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, est en infraction.

**Données utiles** $v = v_{\text{son}} \cdot \dfrac{f' - f}{f' + f}$ (relation de l'énoncé) ; $v_{\text{son}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $1\ \text{ps} = 10^{-12}\ \text{s}$

Courbe 1 (onde émise) : les maximums sont à 100, 200, 300, 400 ps, donc $T = 100$ ps et $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{100 \times 10^{-12}} = 1{,}00 \times 10^{10}$ Hz.

Courbe 2 (onde reçue) : du premier minimum (vers 45 ps) au sixième (vers 500 ps), on lit $5T' \approx 455$ ps, donc $T' \approx 91$ ps et $f' = \dfrac{1}{91 \times 10^{-12}} = 1{,}1 \times 10^{10}$ Hz.

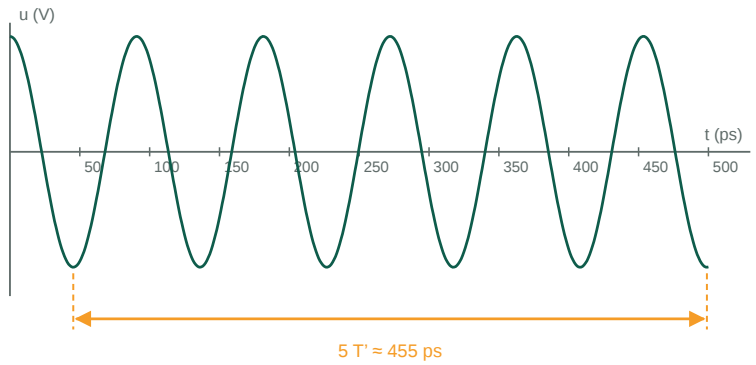
Comme $f = \dfrac{1}{T}$ et $f' = \dfrac{1}{T'}$, la relation donnée s'écrit $v = v_{\text{son}} \cdot \dfrac{T - T'}{T + T'}$ :

$$v = 340 \times \frac{100 - 91}{100 + 91} = 16\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v = 16 \times 3{,}6 \approx 58\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

Remarque : des micro-ondes se propagent à la célérité $c$ de la lumière, pas à $v_{\text{son}}$ ; on applique ici la relation fournie par l'énoncé.

$v \approx 58\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} > 50\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ : le conducteur est en infraction.




**4** · Courbe 2 (onde reçue) : cinq périodes entre le premier et le sixième minimum

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{1}{100 \times 10^{-12}} \approx 1 \times 10^{10}$

$\dfrac{1}{91 \times 10^{-12}} \approx 1.098901 \times 10^{10}$

$\dfrac{340 \times (100 - 91)}{100 + 91} \approx 16.02094$

$\dfrac{340 \times (100 - 91)}{100 + 91} \times 3.6 \approx 57.67539$

**COMPRENDRE**

La relation correcte pour une onde réfléchie est $v = c\,\frac{f'-f}{f'+f}$. Avec ces courbes, elle donnerait $v \approx 1{,}4 \times 10^{7}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, absurde : à $16\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, le décalage réel n'est que d'environ 1 kHz sur 10 GHz.

**COMPRENDRE**

Même avec une marge de $3\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, comme celle annoncée pour le cinémomètre laser, on reste au-dessus de $50\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

**MÉTHODE**

Mesurer plusieurs périodes d'un coup ($5T'$) puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant. Ici, une erreur d'une picoseconde sur $T'$ change $v$ d'environ $6\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.