Radars... et effet Doppler

Bac S 2011 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Vrai ou faux, en justifiant : une onde sonore est une onde transversale.

Lors du passage du son, les couches d'air sont comprimées puis dilatées : elles se déplacent parallèlement à la direction de propagation. L'onde sonore est donc longitudinale.

Faux : l'onde sonore est longitudinale.

COMPRENDRE
Transversale : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation (corde, surface de l'eau). Longitudinale : elle lui est parallèle (son, ressort comprimé).

1.2 Vrai ou faux, en justifiant : une onde mécanique se propage dans un milieu matériel avec transport de matière.

Une onde mécanique a bien besoin d'un milieu matériel, mais chaque point du milieu ne fait qu'osciller autour de sa position d'équilibre, qu'il retrouve après le passage de l'onde. L'onde transporte de l'énergie, pas de la matière.

Faux : propagation sans transport de matière.

PIÈGE
La première moitié de la phrase est juste, la seconde est fausse. Une affirmation partiellement fausse est fausse : il faut dire précisément ce qui ne va pas.

1.3 Vrai ou faux, en justifiant : la longueur d'onde est indépendante du milieu de propagation.

$\lambda = \dfrac{c}{f}$. La fréquence f est imposée par la source, mais la célérité c dépend du milieu (le son est plus rapide dans l'eau que dans l'air). La longueur d'onde dépend donc du milieu.

Faux : c'est la fréquence qui ne dépend pas du milieu.

1.4 Vrai ou faux, en justifiant : un point M situé à 51,0 m de S reproduit le mouvement de la source avec un retard $\Delta t = 1{,}5$ s.

Données utiles $SM = 51{,}0$ m ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

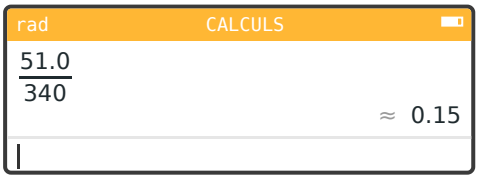
Le retard est la durée mise par l'onde pour aller de S à M :

$$\Delta t = \frac{SM}{c} = \frac{51{,}0}{340} = 0{,}150\ \text{s}$$

Faux : $\Delta t = 0{,}150$ s, dix fois moins que $1{,}5$ s.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit $0{,}150$ s, même si la calculatrice affiche 0,15.

À LA CALCULATRICE



1.5 Vrai ou faux, en justifiant : le front d'onde a parcouru $d = 40{,}0$ m à la date $t = 3T$.

Données utiles $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

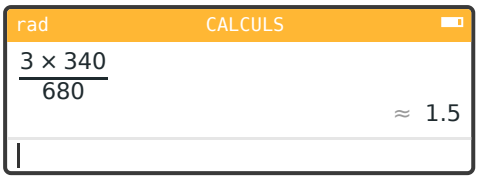
Pendant une période T, l'onde avance d'une longueur d'onde λ. À la date $t = 3T$, le front d'onde a parcouru :

$$d = 3\lambda = \frac{3c}{f} = \frac{3 \times 340}{680} = 1{,}50\ \text{m}$$

Faux : $d = 1{,}50$ m et non $40{,}0$ m.

MÉTHODE
Double périodicité : une durée nT correspond à une distance $n\lambda$. Sur la figure 1, à $t = 4T$, on compte bien quatre cercles espacés de λ.

À LA CALCULATRICE



1.6 Vrai ou faux, en justifiant : deux points distants de $d' = 55{,}0$ m dans la même direction de propagation vibrent en phase.

Données utiles $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

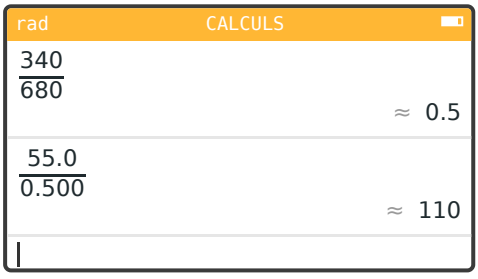
Deux points d'une même direction de propagation vibrent en phase si leur distance est un multiple entier de la longueur d'onde : $d' = n\lambda$.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{680} = 0{,}500\ \text{m} \qquad \frac{d'}{\lambda} = \frac{55{,}0}{0{,}500} = 110$$

Vrai : $d' = 110\,\lambda$, avec 110 entier.

PIÈGE
Si le quotient avait été un demi-entier (110,5 par exemple), les deux points auraient vibré en opposition de phase.

À LA CALCULATRICE



1.7 Vrai ou faux, en justifiant : l'onde se réfléchit sur un obstacle situé à $d'' = 680$ m de la source ; l'écho revient à la source 2,0 s après l'émission.

Données utiles $d'' = 680$ m ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

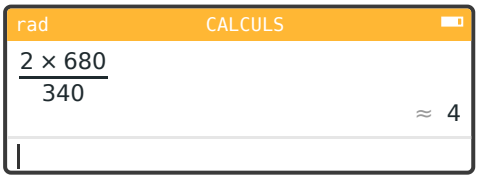
Pour revenir à la source, l'onde fait l'aller puis le retour : elle parcourt $2d''$.

$$\Delta t = \frac{2d''}{c} = \frac{2 \times 680}{340} = 4{,}00\ \text{s}$$

Faux : l'écho revient au bout de $4{,}00$ s.

PIÈGE
$2{,}0$ s est la durée de l'aller seul. Oublier le retour est l'erreur classique des questions d'écho (sonar, télémètre, échographie).

À LA CALCULATRICE



2.1 Donner la définition d'un milieu dispersif. L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores ?

Un milieu est dispersif si la célérité d'une onde qui s'y propage dépend de sa fréquence.

Dans l'air, tous les sons audibles, graves ou aigus, se propagent à la même célérité.

L'air n'est pas un milieu dispersif pour les ondes sonores.

COMPRENDRE
Si l'air était dispersif, les sons aigus et graves d'un orchestre n'arriveraient pas en même temps au fond de la salle : la musique serait déformée.

2.2.1 Rappeler la relation générale liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence.

$\lambda = \dfrac{c}{f}$, soit $c = \lambda \times f$, avec c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, λ en m et f en Hz.

2.2.2 En déduire que la relation (1) $\lambda' = \lambda - v\,T$ permet d'écrire $f' = f\,\dfrac{c}{c-v}$.

L'onde perçue se propage toujours dans l'air à la célérité c : $\lambda' = \dfrac{c}{f'}$.

De plus $\lambda = \dfrac{c}{f}$ et $T = \dfrac{1}{f}$.

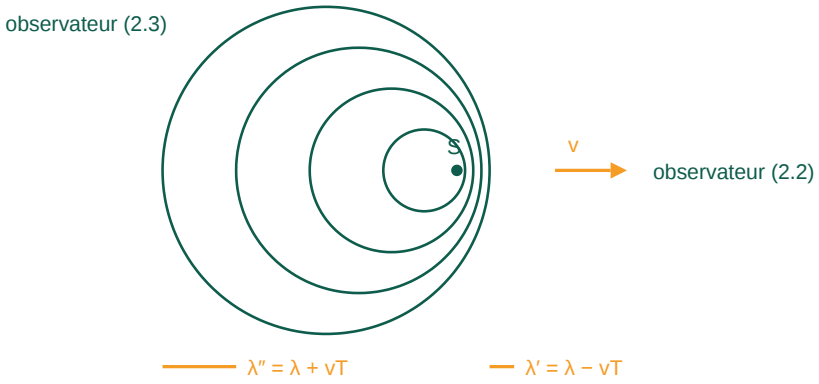
La relation (1) devient :

$$\frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f} = \frac{c-v}{f}$$

En inversant puis en multipliant par c :

$$f' = f\,\frac{c}{c-v}$$

PIÈGE
La célérité du son ne change pas quand la source bouge : elle ne dépend que du milieu. C'est λ qui est modifiée, donc f'.



2.2.2 · Source en mouvement vers la droite : fronts d'onde resserrés à l'avant, écartés à l'arrière

2.2.3 Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

Comme $0 < v < c$, on a $0 < c - v < c$, donc $\dfrac{c}{c-v} > 1$ et $f' > f$.

La fréquence perçue est plus élevée : le son est **plus aigu** quand le véhicule se rapproche.

2.3.1 Le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v. Donner, sans démonstration, les expressions de λ'' et de f'' en fonction de f, v et c.

Pendant une période, la source recule de $v\,T$ par rapport à l'observateur : les fronts d'onde sont plus espacés, $\lambda'' = \lambda + v\,T$.

$$\lambda'' = \frac{c+v}{f} \quad \text{et} \quad f'' = f\,\frac{c}{c+v}$$

MÉTHODE
Il suffit de remplacer v par $-v$ dans les relations de la question 2.2. Penser à exprimer λ et T avec c et f, comme l'énoncé le demande.

2.3.2 Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

$c+v > c$, donc $\dfrac{c}{c+v} < 1$ et $f'' < f$.

La fréquence perçue est plus faible : le son est **plus grave** quand le véhicule s'éloigne.

COMPRENDRE
C'est ce qu'on entend au passage d'une ambulance : la sirène est aiguë à l'approche, puis devient brusquement plus grave dès que le véhicule est passé.

2.4 Exprimer, puis estimer en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (valeurs arrondies à l'entier), la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur, celui-ci percevant un son de fréquence f'.

Données utiles $f' = 716$ Hz ; $f = 680$ Hz ; $c = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Le véhicule se rapproche : $f' = f\,\dfrac{c}{c-v}$, donc $f'\,(c-v) = f\,c$, soit $f'\,v = c\,(f'-f)$.

$$v = \frac{c\,(f'-f)}{f'} = \frac{340 \times (716-680)}{716} \approx 17\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Conversion : $v = 17{,}09 \times 3{,}6 = 61{,}5\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

$$v = \frac{c\,(f'-f)}{f'} \approx 17\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 62\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

PIÈGE
Convertir la valeur déjà arrondie ($17 \times 3{,}6 = 61{,}2$) donne 61 au lieu de 62. On garde la valeur complète dans la calculatrice et on arrondit seulement à la fin.

MÉTHODE
De $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ vers $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: multiplier par 3,6. Un écart de fréquence de seulement 36 Hz suffit à mesurer la vitesse : c'est le principe du radar routier.

À LA CALCULATRICE

