Préparation à l'écrit

28 Effet Doppler et contrôle de vitesse

Partie I

1. a. Le rapport $\frac{c+v}{c}$ n'a pas d'unité donc f_1 et l'expression $f_E \times \frac{c+v}{c}$ ont la même unité : Hz, c'est-à-dire s^{-1}. L'expression est homogène.

b. Le décalage Doppler est :

$$\Delta f = f_1 - f_E = f_E \times \frac{c+v}{c} - f_E = f_E \times \left(\frac{c+v}{c} - 1\right) = f_E \times \frac{v}{c}.$$

Et $f_E \times \frac{v}{c} > 0$ donc $\Delta f > 0$ soit $f_1 > f_E$; c'est bien compatible avec le fait que la voiture (récepteur) se rapproche du radar (émetteur).

2. a. La voiture joue le rôle d'émetteur et se rapproche du radar à la vitesse de valeur v ; elle émet une onde de fréquence f_1. La fréquence f_R des ondes reçues par le radar est déterminée en suivant la démarche du cours (paragraphe **2. b.** page 353) :

$$f_R = f_1 \times \frac{c}{c-v}.$$

b. Sachant que $f_1 = f_E \times \frac{c+v}{c}$, il vient :

$$f_R = f_E \times \frac{c+v}{c} \times \frac{c}{c-v} = f_E \times \frac{c+v}{c-v}.$$

c. Le décalage Doppler est donné par :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E \times \frac{c+v}{c-v} - f_E = f_E \times \left(\frac{c+v}{c-v} - 1\right)$$

$$\Delta f = f_E \times \left(\frac{c+v}{c-v} - \frac{c-v}{c-v}\right) = f_E \times \frac{c+v-c+v}{c-v} = f_E \times \frac{2v}{c-v}.$$

De plus, si $v \ll c$, il vient $c - v \approx c$.

Et alors on a $\Delta f = f_E \times \frac{2v}{c} = 2f_E \times \frac{v}{c}$.

3. a. L'ordre de grandeur du décalage Doppler est :

$$\Delta f = 2 \times 10^{10}\ \text{Hz} \times \frac{10^1\ \text{m·s}^{-1}}{3{,}00 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1}} = 10^3\ \text{Hz}.$$

b. La fréquence des ondes émises est connue avec précision. L'incertitude porte donc uniquement sur la vitesse v ;

$$u(\Delta f) = \Delta f \times \frac{u(v)}{v} = 10^3\ \text{Hz} \times \frac{0{,}1\ \text{m·s}^{-1}}{10^1\ \text{m·s}^{-1}} = 10^1\ \text{Hz}\ ;$$

l'ordre de grandeur de la précision sur Δf est 10^1 Hz.

c. La mesure directe de f_R devrait être faite avec une incertitude de l'ordre de 10^1 Hz pour une fréquence de 10^{10} Hz, soit une précision relative de 10^{-9} ; une telle précision ne peut être atteinte.

Partie II

1. a. La mesure de la période T se fait à partir du signal B : on a $4 \times T = 880\ \mu s$ d'où $T = 220\ \mu s$.

b. La valeur absolue du décalage Doppler est :

$$|\Delta f| = \frac{1}{T} \text{ donc } |\Delta f| = \frac{1}{220 \times 10^{-6}\ \mu s} = 4{,}55 \times 10^3\ \text{Hz}$$

soit $|\Delta f| = 4{,}55 \times 10^3$ Hz.

L'incertitude-type sur la valeur absolue du décalage Doppler est :

$$u(|\Delta f|) = |\Delta f| \times \frac{u(T)}{T} \text{ donc } u(|\Delta f|) = 4\ 545\ \text{Hz} \times \frac{10\ \mu s}{220\ \mu s}$$

soit $u(|\Delta f|) = 2 \times 10^2$ Hz

La valeur absolue du décalage Doppler est :
$|\Delta f| = (45 \pm 2) \times 10^2$ Hz.

2. Le véhicule se rapproche du radar, $\Delta f > 0$.

3. a. D'après la relation donnée dans la partie I, la valeur de la vitesse du véhicule est : $v = \frac{c \times \Delta f}{2 \times f_E}$.

$$\text{Donc } v = \frac{3{,}00 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1} \times 4\ 545\ \text{Hz}}{2 \times 3{,}0 \times 10^{10}\ \text{Hz}} \text{ soit } v = 23\ \text{m·s}^{-1}.$$

Son incertitude-type est $u(v) = v \times \frac{u(\Delta f)}{\Delta f}$ car c est connue précisément et on suppose qu'il en est de même pour f_E.

Donc $u(v) = 23 \times \frac{207\ \text{Hz}}{4\ 545\ \text{Hz}}$ soit $u(v) = 1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Pour améliorer la précision de la détermination de la valeur de la vitesse d'un véhicule, on peut augmenter la fréquence f_E ou diminuer $u(\Delta f)$ en diminuant $u(T)$.

29 Niveau sonore et scène de concert

1. a. L'intensité sonore du son reçu par un spectateur placé à 1,0 m de l'enceinte est :

$I = \dfrac{P}{S} = \dfrac{4{,}0 \times 10^{-1}\ \text{W}}{\dfrac{4\pi \times 1{,}0^2\ \text{m}^2}{2}}$ soit $I = 6{,}4 \times 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (son uniformément réparti sur une demi-sphère).

b. Si le spectateur est placé à 4,0 m de l'enceinte, l'intensité sonore devient :

$I' = \dfrac{P}{S'} = \dfrac{4{,}0 \times 10^{-1}\ \text{W}}{\dfrac{4\pi \times 4{,}0^2\ \text{m}^2}{2}}$ soit $I' = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

2. a. Le niveau d'intensité sonore à 1,0 m de l'enceinte est :

$L = 10\ \log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$ donc $L = 10\ \log\left(\dfrac{6{,}4 \times 10^{-2}\ \text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2}}\right)$

soit $L = 108$ dB.

À 4,0 m, le niveau d'intensité sonore sera : $L' = 10\ \log\left(\dfrac{I'}{I_0}\right)$.

Donc $L' = 10\ \log\left(\dfrac{4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2}}\right)$ soit $L' = 96$ dB.

Plus on s'éloigne de l'enceinte, plus le niveau sonore diminue.

b. L'atténuation géométrique est :

$A = 108\ \text{dB} - 96\ \text{dB} = 12$ dB.

3. a. En plaçant une deuxième enceinte identique à la première à côté de celle-ci, les intensités sonores s'ajoutent : $I'' = 2 \times I'$.

Donc $I'' = 2 \times 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ soit $I'' = 8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

À 4,0 m, le niveau d'intensité sonore sera :

$L'' = 10\ \log\left(\dfrac{I''}{I_0}\right)$ donc $L'' = 10\ \log\left(\dfrac{8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2}}\right)$

soit $L = 99$ dB.

b. La puissance sonore P répartie sur une surface S est :

$P'' = I \times S$; donc $P'' = 8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W·m}^{-2} \times \dfrac{4\pi \times 4{,}0^2\ \text{m}^2}{2}$

soit $P'' = 8{,}0 \times 10^{-1}$ W.

On constate que P double en mettant deux enceintes identiques l'une à côté de l'autre.

Le seuil de danger est estimé à 90 dB.

• On calcule l'intensité sonore correspondant au seuil de danger :

$I''' = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

Donc $I''' = 1 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2} \times 10^{\frac{90\text{dB}}{10}}$

soit $I''' = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

• On détermine la distance pour laquelle le spectateur n'a plus de risque auditif, la puissance sonore P'' ne variant pas. Cette surface est celle d'une demi-sphère de rayon r.

On a donc : $S = \dfrac{4\pi \times r^2}{2} = \dfrac{P''}{I'''}$ d'où $r = \sqrt{\dfrac{2 \times P''}{4\pi \times I'''}}$.

Donc $r = \sqrt{\dfrac{2 \times 8{,}0 \times 10^{-1}\ \text{W}}{4\pi \times 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{W·m}^{-2}}}$ soit $r = 11$ m.

Le spectateur doit être à 11 mètres de l'enceinte.

Préparation à l'ECE

1. Lorsque le véhicule est à l'arrêt, la fréquence de l'onde reçue est égale à la fréquence de l'onde émise.
L'onde émise a donc une fréquence $f_E = 514$ Hz.
On relève $f_R = 528$ Hz lorsque le véhicule est en mouvement.
On en déduit le décalage Doppler :
$\Delta f = f_R - f_E = 14 \text{ Hz} > 0$: ceci est compatible avec le fait que le véhicule se rapproche de l'observateur (récepteur).

2. L'expression donnée dans le doc. **B** conduit à :

$$v_E = v_{son} \times \left(\frac{f_R - f_E}{f_E}\right).$$

Donc $v_E = v_{son} \times \left(\frac{f_R - f_E}{f_E}\right) = 343 \text{ m·s}^{-1} \times \frac{(528 \text{ Hz} - 514 \text{ Hz})}{514 \text{ Hz}}$

soit $v_E = 9{,}34 \text{ m·s}^{-1}$.

3. a. La principale source d'erreurs lors de la détermination de la valeur de la vitesse du véhicule est la position de l'observateur ; pour des mesures correctes, il devrait être dans l'axe du mouvement, ce qui n'est pas possible en pratique. On peut ajouter aussi comme sources d'erreurs possibles la valeur de la vitesse du son qui dépend des conditions extérieures ou la mesure des fréquences.
b. La zone est limitée à 30 km · h^{-1} soit 8,3 m · s^{-1} ; le conducteur est donc verbalisable.