Solutionnaire du chapitre 3

1. On a

$$\begin{aligned} v &= \lambda f \\ 340\tfrac{m}{s} &= \lambda \cdot 50000Hz \\ \lambda &= 0,0068m = 6,8mm \end{aligned}$$

2. La vitesse de l'onde est

$$\begin{aligned} v &= 331,3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15K}} \\ &= 331,3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{298,15K}{273,15K}} \\ &= 346,1\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

3. a) On va trouver la température avec

$$v = 331,3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15K}}$$

mais il nous faut la vitesse de l'onde.

La vitesse de l'onde est

$$\begin{aligned} v &= \frac{\omega}{k} \\ &= \frac{560s^{-1}}{1,6m^{-1}} \\ &= 350\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

La température est donc

$$v = 331,3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15K}}$$
$$350\tfrac{m}{s} = 331,3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{T}{273,15K}}$$
$$T° = 304,9K = 31,7°C$$

b) La vitesse maximale des molécules d'air est

$$\begin{aligned} v_{\max} &= \omega A \\ &= 560s^{-1} \cdot 0,000\,01m \\ &= 0,0056\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

4. Le temps est

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{\text{distance}}{\text{vitesse}} \\ &= \frac{1,496 \times 10^{11} m}{299\,792\,458\tfrac{m}{s}} \\ &= 499s \\ &= 8\min 19s \end{aligned}$$

5. La distance est

$$\begin{aligned} \Delta x &= v\Delta t \\ &= 299\,792\,458\tfrac{m}{s} \cdot (365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60s) \\ &= 9,46 \times 10^{15} m \end{aligned}$$

6. La vitesse de la lumière est

$$\begin{aligned} v &= \frac{c}{n} \\ &= \frac{299\,792\,458\tfrac{m}{s}}{2,4} \\ &= 1,25 \times 10^{8}\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

7. La longueur d'onde est

$$\begin{aligned} c &= \lambda f \\ 3\times10^8 \tfrac{m}{s} &= \lambda \cdot 10^{15} Hz \\ \lambda &= 3\times10^{-7} m = 300nm \end{aligned}$$

Ce qui est une longueur d'onde correspondant aux ultraviolets.

8. L'intensité du son à cette distance est

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{50W}{4\pi\cdot(30m)^2} \\ &= 4,42\times10^{-3} \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

La puissance en décibel est donc

$$\begin{aligned} \beta &= 10dB\cdot\log\left(\frac{I}{10^{-12} \tfrac{W}{m^2}}\right) \\ &= 10dB\cdot\log\left(\frac{4,42\times10^{-3} \tfrac{W}{m^2}}{10^{-12} \tfrac{W}{m^2}}\right) \\ &= 96,5dB \end{aligned}$$

9. La puissance captée est

$$\begin{aligned} P_{captée} &= IA_{capteur} \\ &= 0,1\tfrac{W}{m^2}\cdot 0,001m^2 \\ &= 0,0001W \end{aligned}$$

L'énergie captée en 2 minutes est donc

$$\begin{aligned} E &= Pt \\ &= 0,0001\tfrac{W}{m^2}\cdot 120s \\ &= 0,012J \end{aligned}$$

10. La puissance de la source est

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$0{,}001 \tfrac{W}{m^2} = \frac{P}{4\pi (10m)^2}$$
$$P = 1{,}2566W$$

Si on veut que l'intensité soit de 10^{-5} W/m², on doit avoir

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$10^{-5} \tfrac{W}{m^2} = \frac{1{,}2566W}{4\pi r^2}$$
$$r = 100m$$

11. Pour trouver l'intensité de 1000 pétards à 200m, on doit connaitre la puissance d'un pétard.

On peut trouver cette puissance avec l'intensité du son d'un pétard à 50 m.

Avec une intensité de 40 dB, l'intensité est

$$\beta = 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12} \tfrac{W}{m^2}}\right)$$
$$40dB = 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12} \tfrac{W}{m^2}}\right)$$
$$I = 10^{-8} \tfrac{W}{m^2}$$

La puissance de la source est donc

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$10^{-8} \tfrac{W}{m^2} = \frac{P}{4\pi \cdot (50m)^2}$$
$$P = 3{,}142 \times 10^{-4} W$$

La puissance de 1000 pétards est donc de

$$\begin{aligned} P' &= 1000 \cdot 3,142 \times 10^{-4} W \\ &= 0,3142 W \end{aligned}$$

L'intensité de l'onde à 200 m est donc

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{0,3142W}{4\pi \cdot (200m)^2} \\ &= 6,25 \times 10^{-7} W \end{aligned}$$

Cette intensité en décibel est

$$\begin{aligned} \beta &= 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 10dB \cdot \log\left(\frac{6,25 \times 10^{-7} \frac{W}{m^2}}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 57,96dB \end{aligned}$$

12. Pour trouver l'intensité totale, on doit additionner l'intensité (en W/m²) des deux sons et transformer le résultat en décibels.

Trouvons donc l'intensité (en W/m²) de chaque onde.

L'intensité du premier son à 90 dB est

$$\begin{aligned} \beta &= 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}\right) \\ 90dB &= 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}\right) \\ I &= 10^{-3} \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

L'intensité du deuxième son à 95 dB est

$$\beta = 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right)$$
$$95dB = 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right)$$
$$I = 3{,}162 \times 10^{-3}\,\frac{W}{m^2}$$

L'intensité totale est donc

$$\begin{aligned} I_{tot} &= 10^{-3}\,\tfrac{W}{m^2} + 3{,}162 \times 10^{-3}\,\tfrac{W}{m^2} \\ &= 4{,}162 \times 10^{-3}\,\tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

En décibel, cette intensité est

$$\begin{aligned} \beta &= 10dB \log\left(\frac{I}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 10dB \log\left(\frac{4{,}162 \times 10^{-3}\,\frac{W}{m^2}}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 96{,}2dB \end{aligned}$$

13. On va trouver l'amplitude avec

$$I = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2$$

Pour avoir l'amplitude, il nous faut l'intensité de l'onde.

À 25 m de distance, l'intensité est

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{50W}{4\pi \cdot (25m)^2} \\ &= 6{,}366 \times 10^{-3} W \end{aligned}$$

L'amplitude est donc

$$I = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2$$
$$6{,}366\times 10^{-3}\,\tfrac{W}{m^2} = \frac{1}{2}\cdot 1{,}3\tfrac{kg}{m^3}\cdot 340\tfrac{m}{s}\cdot\left(2\pi\cdot 200Hz\right)^2\cdot A^2$$
$$A = 4{,}271\mu m$$

14. L'intensité est

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2 \\ &= \frac{1}{2}\cdot 1{,}3\tfrac{kg}{m^3}\cdot 340\tfrac{m}{s}\cdot\left(2\pi\cdot 400Hz\right)^2\cdot\left(1\times 10^{-7}m\right)^2 \\ &= 1{,}396\times 10^{-5}\,\tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

En décibel, cette intensité est

$$\begin{aligned} \beta &= 10dB\cdot\log\left(\frac{I}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 10dB\cdot\log\left(\frac{1{,}396\times 10^{-5}\,\frac{W}{m^2}}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right) \\ &= 71{,}45dB \end{aligned}$$

15. a) À 5 km de distance, l'intensité est

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{20\,000W}{4\pi\cdot\left(5000m\right)^2} \\ &= 6{,}366\times 10^{-5}\,\tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

En décibel, l'intensité est

$$\begin{aligned}\beta &= 10dB \cdot \log\left(\frac{I}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right)\\ &= 10dB \cdot \log\left(\frac{6{,}366\times10^{-5}\,\frac{W}{m^2}}{10^{-12}\,\frac{W}{m^2}}\right)\\ &= 78{,}04dB\end{aligned}$$

b) Si on perd 7 dB par km, on aura 35 dB de moins si on tient compte de l'absorption de l'air. On a donc une intensité de 43,04 dB.

16. On va trouver l'amplitude avec

$$I = \frac{cn\varepsilon_0 E_0^2}{2}$$

Pour avoir l'amplitude, il nous faut l'intensité de l'onde.

À 30 m de distance, l'intensité est

$$\begin{aligned}I &= \frac{P}{4\pi r^2}\\ &= \frac{100W}{4\pi\cdot(30m)^2}\\ &= 8{,}842\times10^{-3}\,\frac{W}{m^2}\end{aligned}$$

L'amplitude est donc

$$\begin{aligned}I &= \frac{cn\varepsilon_0 E_0^2}{2}\\ 8{,}842\times10^{-3}\,\frac{W}{m^2} &= \frac{3\times10^8\,\frac{m}{s}\cdot1\cdot8{,}854\times10^{-12}\,\frac{C^2}{Nm^2}\cdot E_0^2}{2}\\ E_0 &= 2{,}5802\,\frac{N}{C}\end{aligned}$$

17. Puisque

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

et

$$I = \frac{1}{2}\rho v\omega^2 A^2$$

on doit avoir

$$\frac{P}{4\pi r^2} = \frac{1}{2}\rho v\omega^2 A^2$$

À 20 m, on a

$$\frac{P}{4\pi \cdot (20m)^2} = \frac{1}{2}\rho v\omega^2 \cdot (20\mu m)^2$$

À 100 m, on a

$$\frac{P}{4\pi \cdot (100m)^2} = \frac{1}{2}\rho v\omega^2 A^2$$

Si on divise la 2^e équation par la première, on a

$$\left(\frac{\frac{P}{4\pi \cdot (100m)^2}}{\frac{P}{4\pi \cdot (20m)^2}}\right) = \left(\frac{\frac{1}{2}\rho v\omega^2 A^2}{\frac{1}{2}\rho v\omega^2 \cdot (20\mu m)^2}\right)$$

$$\frac{(20m)^2}{(100m)^2} = \frac{A^2}{(20\mu m)^2}$$

$$\frac{20m}{100m} = \frac{A}{20\mu m}$$

$$A = \frac{20m}{100m} 20\mu m$$

$$A = 4\mu m$$

18. L'intensité après le premier polariseur est

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} I_0 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 50 \tfrac{W}{m^2} \\ &= 25 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

L'intensité après le deuxième polariseur est

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2 \theta \\ &= 25 \tfrac{W}{m^2} \cdot \cos^2 25° \\ &= 20,53 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

19. L'intensité après le premier polariseur est

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} I_0 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 40 \tfrac{W}{m^2} \\ &= 20 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

L'intensité après le deuxième polariseur est

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2 \theta \\ &= 20 \tfrac{W}{m^2} \cdot \cos^2 75° \\ &= 1,34 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

L'intensité après le troisième polariseur est

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2 \theta \\ &= 1,34 \tfrac{W}{m^2} \cdot \cos^2 15° \\ &= 1,25 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

20. L'intensité après le premier polariseur est

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} I_0 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 20 \tfrac{W}{m^2} \\ &= 10 \tfrac{W}{m^2} \end{aligned}$$

On trouve l'angle avec la formule de l'intensité après le deuxième polariseur.

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2 \theta \\ 4 \tfrac{W}{m^2} &= 10 \tfrac{W}{m^2} \cdot \cos^2 \theta \\ 0,4 &= \cos^2 \theta \end{aligned}$$

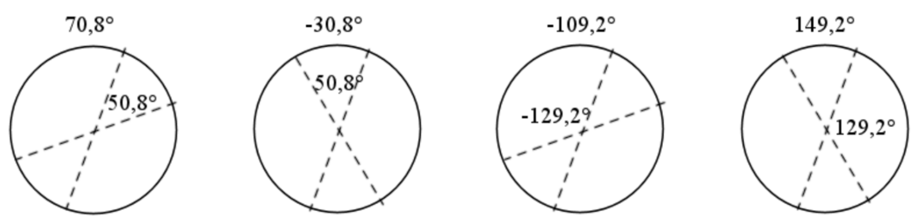
En faisant la racine, on obtient 2 possibilités :

$$\sqrt{0,4} = \cos\theta \qquad \text{et} \qquad -\sqrt{0,4} = \cos\theta$$

Comme il y a deux réponses à un arccos, les réponses sont

$$\begin{aligned} \sqrt{0,4} &= \cos\theta & \text{et} \qquad -\sqrt{0,4} &= \cos\theta \\ \theta &= \pm 50,8^\circ & \text{et} \qquad \theta &= \pm 129,2^\circ \end{aligned}$$

Ces angles sont les angles par rapport au polariseur précédent. Comme le polariseur précédent fait un angle de 20°, ces solutions sont



La première solution est identique à la troisième et la deuxième solution est identique à la quatrième. Les deux solutions sont donc 70,8° et 149,2°.

21. Après le passage dans le polariseur à un angle θ, on a

$$5 \tfrac{W}{m^2} = I_0 \cos^2 \theta$$

Puisque l'intensité diminue à 3 W/m² si on tourne le polariseur de 20°, on doit avoir

$$3\,\tfrac{W}{m^2} = I_0 \cos^2\left(\theta + 20°\right)$$

On a donc 2 équations et 2 inconnues. Si on divise la deuxième équation par la première, on a

$$\frac{3}{5} = \frac{I_0 \cos^2\left(\theta + 20°\right)}{I_0 \cos^2 \theta}$$

$$\sqrt{\frac{3}{5}} = \frac{\cos\left(\theta + 20°\right)}{\cos\theta}$$

Puisque $\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$, on a

$$\sqrt{\frac{3}{5}} = \frac{\cos\theta \cdot \cos 20° - \sin\theta \cdot \sin 20°}{\cos\theta}$$

$$\sqrt{\frac{3}{5}} = \cos 20° - \tan\theta \cdot \sin 20°$$

$$\theta = 25,767°$$

Ainsi, l'intensité initiale est

$$5\,\tfrac{W}{m^2} = I_0 \cdot \cos^2 25,767°$$

$$I_0 = 6,165\,\tfrac{W}{m^2}$$

22. a) La fréquence est

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 350Hz \cdot \frac{340\,\frac{m}{s} - 0\,\frac{m}{s}}{340\,\frac{m}{s} - 35\,\frac{m}{s}} \\ &= 390,2Hz \end{aligned}$$

b) La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{v}{f}\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{340\frac{m}{s}}{350Hz}\cdot\left(1-\frac{35\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}}\right)\\ &= 0,8714m\end{aligned}$$

c) La fréquence est

$$\begin{aligned}f' &= f\,\frac{v-v_0}{v-v_s}\\ &= 350Hz\cdot\frac{340\frac{m}{s}-0\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}-\left(-35\frac{m}{s}\right)}\\ &= 317,3Hz\end{aligned}$$

d) La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{v}{f}\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{340\frac{m}{s}}{350Hz}\cdot\left(1-\frac{-35\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}}\right)\\ &= 1,0714m\end{aligned}$$

23. a) La fréquence est

$$\begin{aligned}f' &= f\,\frac{v-v_0}{v-v_s}\\ &= 400Hz\cdot\frac{340\frac{m}{s}-10\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}-0\frac{m}{s}}\\ &= 388,2Hz\end{aligned}$$

b) La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{v}{f}\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{340\frac{m}{s}}{400Hz}\cdot\left(1-\frac{0\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}}\right)\\ &= 0,85m\end{aligned}$$

c) La fréquence est

$$\begin{aligned}f' &= f\,\frac{v-v_0}{v-v_s}\\ &= 400Hz\cdot\frac{340\frac{m}{s}-\left(-12\frac{m}{s}\right)}{340\frac{m}{s}-0\frac{m}{s}}\\ &= 414,1Hz\end{aligned}$$

d) La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{v}{f}\left(1-\frac{v_s}{v}\right)\\ &= \frac{340\frac{m}{s}}{400Hz}\cdot\left(1-\frac{0\frac{m}{s}}{340\frac{m}{s}}\right)\\ &= 0,85m\end{aligned}$$

24. La fréquence est

$$\begin{aligned}f' &= f\,\frac{v-v_0}{v-v_s}\\ &= 400Hz\cdot\frac{340\frac{m}{s}-\left(-41,67\frac{m}{s}\right)}{340\frac{m}{s}-22,22\frac{m}{s}}\\ &= 480,4Hz\end{aligned}$$

25. En enlevant la vitesse du vent (on ajoute 15 km/h vers la gauche à toutes les vitesses), la vitesse de la voiture rouge est de 135 km/h et la vitesse de la voiture de police est 95 km/h. On a donc

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 400Hz \cdot \frac{340\tfrac{m}{s} - \left(-37{,}5\tfrac{m}{s}\right)}{340\tfrac{m}{s} - 26{,}39\tfrac{m}{s}} \\ &= 481{,}4Hz \end{aligned}$$

26. a) Quand le train se dirige vers l'observateur immobile, on a

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ 150Hz &= f \cdot \frac{335\tfrac{m}{s} - 0\tfrac{m}{s}}{335\tfrac{m}{s} - v} \\ 150Hz &= f \cdot \frac{335\tfrac{m}{s}}{335\tfrac{m}{s} - v} \end{aligned}$$

Quand le train s'éloigne de l'observateur immobile, on a

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ 125Hz &= f \cdot \frac{335\tfrac{m}{s} - 0\tfrac{m}{s}}{335\tfrac{m}{s} - -v} \\ 125Hz &= f \cdot \frac{335\tfrac{m}{s}}{335\tfrac{m}{s} + v} \end{aligned}$$

On a donc 2 équations et deux inconnus. En divisant les équations l'une par l'autre, on a

$$\frac{150Hz}{125Hz}=\frac{f\cdot\frac{335\frac{m}{s}}{335\frac{m}{s}-v}}{f\cdot\frac{335\frac{m}{s}}{335\frac{m}{s}+v}}$$
$$1,2=\frac{335\frac{m}{s}+v}{335\frac{m}{s}-v}$$
$$1,2\cdot\left(335\tfrac{m}{s}-v\right)=335\tfrac{m}{s}+v$$
$$402\tfrac{m}{s}-1,2\cdot v=335\tfrac{m}{s}+v$$
$$67\tfrac{m}{s}=2,2\cdot v$$
$$v=30,45\tfrac{m}{s}$$

b) Avec la vitesse, on trouve facilement la fréquence

$$125Hz=f\cdot\frac{335\frac{m}{s}}{335\frac{m}{s}+v}$$
$$125Hz=f\cdot\frac{335\frac{m}{s}}{335\frac{m}{s}+30,45\frac{m}{s}}$$
$$f=136,4Hz$$

27. On a

$$f'=f\,\frac{v-v_0}{v-v_s}$$
$$420Hz=400Hz\cdot\frac{345\frac{m}{s}-v}{345\frac{m}{s}-\left(v+15\frac{m}{s}\right)}$$

La solution est

$$420\cdot\left(345\tfrac{m}{s}-\left(v+15\tfrac{m}{s}\right)\right)=400\cdot\left(345\tfrac{m}{s}-v\right)$$
$$420\cdot\left(330\tfrac{m}{s}-v\right)=400\cdot\left(345\tfrac{m}{s}-v\right)$$
$$21\cdot\left(330\tfrac{m}{s}-v\right)=20\cdot\left(345\tfrac{m}{s}-v\right)$$
$$6930\tfrac{m}{s}-21\cdot v=6900\tfrac{m}{s}-20\cdot v$$
$$30\tfrac{m}{s}=v$$

La vitesse de la voiture rouge est donc de 30 m/s (108 km/h) et la vitesse de la voiture de police est de 45 m/s (162 km/h).

28. La fréquence sera donnée par

$$f' = f\,\frac{v - v_0}{v - v_s}$$

Toutefois, il nous faudra la vitesse du son pour calculer la fréquence.

À cette température, la vitesse du son est

$$\begin{aligned} v &= 331{,}3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{T}{273{,}15K}} \\ &= 331{,}3\tfrac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{298{,}15K}{273{,}15K}} \\ &= 346{,}13\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

Le son qui arrive directement à la voiture a donc une fréquence de

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 400Hz \cdot \frac{346{,}13\tfrac{m}{s} - 5\tfrac{m}{s}}{346{,}13\tfrac{m}{s} - 25\tfrac{m}{s}} \\ &= 424{,}91Hz \end{aligned}$$

Trouvons maintenant la fréquence du son qui se réfléchi sur le mur.

Au départ, le mur immobile reçoit le son de la voiture en mouvement. La fréquence reçue par le mur est

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 400Hz \cdot \frac{346{,}13\tfrac{m}{s} - 0\tfrac{m}{s}}{346{,}13\tfrac{m}{s} - 25\tfrac{m}{s}} \\ &= 431{,}14Hz \end{aligned}$$

Le mur devient alors une source émettant à cette fréquence. Le son reçu par la personne dans la voiture a alors la fréquence suivante

$$\begin{aligned} f' &= f\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 431{,}14Hz \cdot \frac{346{,}13\tfrac{m}{s} - \left(-5\tfrac{m}{s}\right)}{346{,}13\tfrac{m}{s} - 0\tfrac{m}{s}} \\ &= 437{,}37Hz \end{aligned}$$

La personne dans l'auto entend donc un son à 424,91 Hz et un son à 437,37 Hz.

29. Trouvons la fréquence du son qui arrive sur le mur. Dans ce cas, l'observateur (le mur) est immobile et la voiture a une vitesse positive. La fréquence reçue est donc

$$\begin{aligned} f' &= 400Hz \cdot \frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= 400Hz \cdot \frac{v}{v - v_{voiture}} \end{aligned}$$

Le mur devient ensuite une source émettant à cette fréquence. On a alors une source immobile (le mur) et un observateur qui a une vitesse négative (la voiture). Le son reçu par la personne dans la voiture a alors la fréquence suivante

$$\begin{aligned} f'' &= f'\,\frac{v - v_0}{v - v_s} \\ &= f'\,\frac{v - -v_{voiture}}{v} \\ &= f'\,\frac{v + v_{voiture}}{v} \end{aligned}$$

En remplaçant f' par la valeur trouvée précédemment, on a

$$\begin{aligned} f'' &= 400Hz \cdot \frac{v}{v - v_{voiture}} \cdot \frac{v + v_{voiture}}{v} \\ &= 400Hz \cdot \frac{v + v_{voiture}}{v - v_{voiture}} \end{aligned}$$

Comme f'' est 415 Hz, on a

$$415Hz = 400Hz \cdot \frac{v + v_{voiture}}{v - v_{voiture}}$$

On a donc

$$415\cdot(v-v_{voiture})=400\cdot(v+v_{voiture})$$
$$415\cdot v-415\cdot v_{voiture}=400\cdot v+400\cdot v_{voiture}$$
$$15\cdot v=815\cdot v_{voiture}$$
$$v_{voiture}=\frac{3}{163}v$$

Il nous faut donc la vitesse du son pour trouver la vitesse de la voiture.

À cette température, la vitesse du son est

$$\begin{aligned} v &= 331,3\tfrac{m}{s}\cdot\sqrt{\frac{T}{273,15K}} \\ &= 331,3\tfrac{m}{s}\cdot\sqrt{\frac{293,15K}{273,15K}} \\ &= 343,21\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

La vitesse de la voiture est donc

$$\begin{aligned} v_{voiture} &= \frac{3}{163}\cdot 343.21\tfrac{m}{s} \\ &= 6,317\tfrac{m}{s} \\ &= 22,74\tfrac{km}{h} \end{aligned}$$

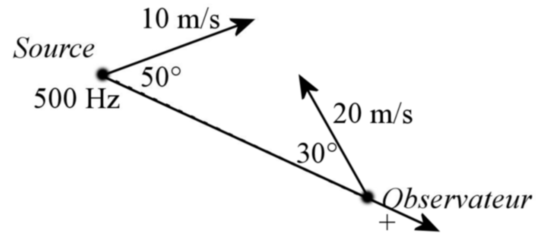
30. La fréquence entendue est

$$\begin{aligned} f' &= 500Hz\cdot\frac{340\tfrac{m}{s}}{340\tfrac{m}{s}-10\tfrac{m}{s}\cdot\cos 50°} \\ &= 509,6Hz \end{aligned}$$

31. La fréquence entendue est

$$\begin{aligned} f' &= 500Hz\cdot\frac{340\tfrac{m}{s}-20\tfrac{m}{s}\cdot\cos 150°}{340\tfrac{m}{s}-10\tfrac{m}{s}\cdot\cos 50°} \\ &= 535,6Hz \end{aligned}$$

Attention : l'angle est l'angle entre la vitesse et l'axe positif, qui va de la source vers l'observateur. C'est pour ça que l'angle est de 150° pour l'observateur.



32. a) La fréquence de l'onde est

$$c = \lambda f$$
$$3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} = 585\times10^{-9}\,m\cdot f$$
$$f = 5{,}128\times10^{14}\,Hz$$

La fréquence reçue par l'observateur est

$$f' = f\,\frac{c-v_0}{c-v_s}$$
$$= 5{,}128\times10^{14}\,Hz\cdot\frac{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s}-0\,\tfrac{m}{s}}{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s}-3\times10^{7}\,\tfrac{m}{s}}$$
$$= 5{,}698\times10^{14}\,Hz$$

Cette fréquence correspond normalement à la longueur d'onde

$$c = \lambda f$$
$$3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} = \lambda\cdot 5{,}698\times10^{14}\,Hz$$
$$\lambda = 526{,}5nm$$

Ce qui correspond à de la lumière verte bleutée.

b) La fréquence reçue par l'observateur est

$$f' = f\,\frac{c-v_0}{c-v_s}$$
$$= 5{,}128\times10^{14}\,Hz\cdot\frac{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s}-0\,\tfrac{m}{s}}{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s}+3\times10^{7}\,\tfrac{m}{s}}$$
$$= 4{,}662\times10^{14}\,Hz$$

Cette fréquence correspond normalement à la longueur d'onde

$$c = \lambda f$$
$$3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} = \lambda \cdot 4,662\times10^{14}\,Hz$$
$$\lambda = 643,5nm$$

Ce qui correspond à de la lumière rouge.

33. La fréquence émise est

$$c = \lambda f$$
$$3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} = 600\times10^{-9}\,m \cdot f$$
$$f = 5\times10^{14}\,Hz$$

La fréquence reçue est

$$c = \lambda f'$$
$$3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} = 470\times10^{-9}\,m \cdot f'$$
$$f' = 6,383\times10^{14}\,Hz$$

On a donc

$$f' = f\,\frac{c - v_0}{c - v_s}$$
$$6,383\times10^{14}\,Hz = 5\times10^{14}\,Hz \cdot \frac{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} - v_0}{3\times10^{8}\,\tfrac{m}{s} - 0\,\tfrac{m}{s}}$$
$$v_0 = -8,3\times10^{7}\,\tfrac{m}{s}$$

Le signe négatif indique qu'on doit se diriger vers la source. La vitesse d'approche est de 8,3 x 10^7 m/s.

34. a) Avec une intensité de 10 dB, l'intensité de l'onde est de

$$\beta = 10dB \cdot \log \frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}$$
$$10dB = 10dB \cdot \log \frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}$$
$$I = 10^{-11} \frac{W}{m^2}$$

La distance est donc

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$10^{-11} \frac{W}{m^2} = \frac{20\,000W}{4\pi r^2}$$
$$r = 12\,616km$$

Cette réponse semble beaucoup trop élevée…on entendrait le bruit sur près de la moitié de la surface de la Terre. Pourtant c'est une source sonore 10 fois moins puissante qu'un avion à réaction au décollage. C'est normal qu'on obtienne une si grande distance si on ne tient pas compte du fait que l'air absorbe le son.

b) Si l'air absorbe le son au rythme de 7 dB/km, alors le nombre de décibels sera de

$$\beta' = \beta - 0{,}007 \tfrac{dB}{m} r$$

où β est l'intensité qu'on aurait sans absorption. Avec une source à une distance r, on a

$$\beta = 10dB \cdot \log \frac{\frac{P}{4\pi r^2}}{10^{-12} \frac{W}{m^2}}$$
$$\beta = 10dB \cdot \log \frac{P}{4\pi \times 10^{-12} \frac{W}{m^2} \cdot r^2}$$
$$\beta = 10dB \cdot \log \frac{P}{4\pi \times 10^{-12} \frac{W}{m^2} \cdot (1m)^2} - 10dB \cdot \log \left(\frac{r}{1m}\right)^2$$
$$\beta = 10dB \cdot \log \frac{20\,000W}{4\pi \times 10^{-12} \frac{W}{m^2}} - 20dB \cdot \log \left(\frac{r}{1m}\right)$$
$$\beta = 152{,}02dB - 20dB \cdot \log \left(\frac{r}{1m}\right)$$

On a donc

$$\beta' = 152,02dB - 20dB \cdot \log\left(\frac{r}{1m}\right) - 0,007\tfrac{dB}{m} \cdot r$$

Si on veut que l'intensité soit de 10 dB, on a

$$\begin{aligned}
10dB &= 152,02dB - 20dB \cdot \log\left(\frac{r}{1m}\right) - 0,007\tfrac{dB}{m} \cdot r \\
1 &= 15,202 - 2\log\left(\frac{r}{1m}\right) - 0,0007m^{-1} \cdot r \\
0,0007m^{-1} \cdot r &= 15,202 - 1 - 2\log\left(\frac{r}{1m}\right) \\
0,0007m^{-1} \cdot r &= 14,202 - 2\log\left(\frac{r}{1m}\right) \\
r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0,0007}\log\left(\frac{r}{1m}\right)
\end{aligned}$$

Il reste à isoler *r*, mais ce n'est pas facile. On peut bien sûr prendre Maple pour résoudre. On peut aussi prendre une méthode appelée méthode par itération qui consiste à prendre une valeur de *r* un peu au hasard et de calculer *r* avec la formule. On prend ensuite la valeur obtenue pour calculer *r* avec la formule. On utilise ensuite cette nouvelle valeur pour calculer *r* et ainsi de suite jusqu'à ce que la valeur obtenue ne change plus. Si cela se produit, on a la réponse. Essayons ici en prenant 20 km comme valeur de départ (l'équation indique que *r* est plus petit que 20 288 m). On a alors

1re itération

$$\begin{aligned}
r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0,0007}\log(20\,000) \\
&= 8000m
\end{aligned}$$

2e itération

$$\begin{aligned}
r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0,0007}\log(8000) \\
&= 9137m
\end{aligned}$$

3e itération

$$\begin{aligned}
r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0,0007}\log(9137) \\
&= 8972m
\end{aligned}$$

4^e itération

$$\begin{aligned} r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0{,}0007}\log(8972) \\ &= 8994m \end{aligned}$$

5^e itération

$$\begin{aligned} r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0{,}0007}\log(8994) \\ &= 8991m \end{aligned}$$

6^e itération

$$\begin{aligned} r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0{,}0007}\log(8991) \\ &= 8992m \end{aligned}$$

7^e itération

$$\begin{aligned} r &= 20\,288m - \tfrac{2m}{0{,}0007}\log(8992) \\ &= 8992m \end{aligned}$$

Et voilà! La distance est 8992 m.

35. On va séparer ce faisceau en deux. On a premièrement un faisceau ayant une intensité I_{max} après avoir passé à travers le polariseur. Pour avoir cette intensité, l'axe du polariseur est aligné avec la direction de la polarisation la plus intense. Si on tourne le polariseur d'un angle θ, alors l'intensité qui passe pour cette onde la plus intense est

$$I_{\text{max}} = I_{\text{max}} \cos^2\theta$$

On a ensuite un faisceau ayant une intensité I_{min} après avoir passé à travers le polariseur. Cette composante est perpendiculaire à la composante la plus intense. Ainsi, l'angle entre cette composante et l'axe de polarisation est 90° – θ. L'intensité de la lumière de cette composante est donc

$$I_{\text{min}} = I_{\text{min}} \cos^2(90-\theta)$$

L'intensité totale est la somme de ces deux intensités.

$$I = I_{\text{max}} \cos^2\theta + I_{\text{min}} \cos^2(90-\theta)$$

Mais puisque

$$p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

on a

$$\begin{aligned}
\left(I_{max} + I_{min}\right) p &= I_{max} - I_{min} \\
I_{max}\, p + I_{min}\, p &= I_{max} - I_{min} \\
I_{min}\, p + I_{min} &= I_{max} - I_{max}\, p \\
I_{min}\left(p+1\right) &= \left(1-p\right) I_{max} \\
I_{min} &= \frac{1-p}{1+p} I_{max}
\end{aligned}$$

Ainsi, l'intensité qui traverse est

$$\begin{aligned}
I &= I_{max} \cos^2\theta + I_{min} \cos^2\left(90-\theta\right) \\
&= I_{max}\left(\cos^2\theta + \frac{1-p}{1+p}\cos^2\left(90-\theta\right)\right) \\
&= \frac{I_{max}}{1+p}\left(\left(1+p\right)\cos^2\theta + \left(1-p\right)\cos^2\left(90-\theta\right)\right)
\end{aligned}$$

Mais puisque $\cos\left(90-\theta\right) = \sin\theta$, on peut écrire

$$\begin{aligned}
I &= \frac{I_{max}}{1+p}\left(\left(1+p\right)\cos^2\theta + \left(1-p\right)\sin^2\theta\right) \\
&= \frac{I_{max}}{1+p}\left(\cos^2\theta + p\cos^2\theta + \sin^2\theta - p\sin^2\theta\right) \\
&= \frac{I_{max}}{1+p}\left(\cos^2\theta + \sin^2\theta + p\left(\cos^2\theta - \sin^2\theta\right)\right) \\
&= \frac{I_{max}}{1+p}\left(1 + p\left(\cos^2\theta - \sin^2\theta\right)\right)
\end{aligned}$$

Finalement, puisque $\cos^2\theta - \sin^2\theta = \cos 2\theta$, on arrive à

$$\begin{aligned} I &= \frac{I_{\max}}{1+p}\left(1+p\cos 2\theta\right) \\ &= \frac{1+p\cos 2\theta}{1+p} I_{\max} \end{aligned}$$

C'est ce qu'on devait démontrer.