

4 Relier L et I

Mobiliser ses connaissances.

1. Sans calcul, relier chaque niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore correspondante.

$3,2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	48 dB
$6,3 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	85 dB
$6,5 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	98 dB

2. Par le calcul, retrouver L pour $I = 3,2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Données

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \bullet I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

7 Exploiter une atténuation

Rédiger une explication.

Casque
antibruit
 $A = 33 \text{ dB}$
DELTAPLUS®



Bouchons
d'oreilles
 $A = 26 \text{ dB}$



• Quel sera le niveau d'intensité sonore ressenti par un utilisateur de chacun de ces dispositifs si le niveau d'intensité sonore ambiant est 95 dB ?

9 Illustrer l'effet Doppler

Mobiliser et organiser ses connaissances.

• Citer deux situations mettant en jeu l'effet Doppler.

11 Connaître l'effet Doppler

Restituer ses connaissances.

• Associer chaque élément de la colonne de gauche à un élément de la colonne de droite pour comparer les caractéristiques des ondes émises par un émetteur (E) et reçues par un récepteur (R) en mouvement l'un par rapport à l'autre à une vitesse de valeur inférieure à celle de propagation des ondes.

L'émetteur et le récepteur se rapprochent l'un de l'autre.	•	•	$f_R > f_E$
		•	$f_R < f_E$
		•	$T_R > T_E$
		•	$T_R < T_E$
L'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.	•	•	$\lambda_R > \lambda_E$
		•	$\lambda_R < \lambda_E$

13 Identifier une expression (2)

Discuter une formule.

Une étoile s'approche de la Terre avec une vitesse de valeur v telle que $0 < v < c$. Le spectre de la lumière de cette étoile comporte une raie de longueur d'onde λ . La même raie obtenue avec une source et un capteur immobiles sur Terre a une longueur d'onde λ_0 .

• Parmi les relations ci-dessous, identifier celle qui donne la valeur de la vitesse de l'étoile par rapport à la Terre en expliquant pourquoi les deux autres sont incorrectes.

a) $v = c \times \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 - \lambda}$ b) $v = c \times \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}$ c) $v = c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$

4 p.358

1.

$3,2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	48 dB
$6,3 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	85 dB
$6,5 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•	•	98 dB

$$2. L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \times \log\left(\frac{3,2 \times 10^{-4}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = 85 \text{ dB}$$

7 p.358

$$L_{\text{casque}} = L_{\text{ambiant}} - A_{\text{casque}} = 95 - 33 = 62 \text{ dB}$$

$$L_{\text{bouchons}} = L_{\text{ambiant}} - A_{\text{bouchons}} = 95 - 26 = 69 \text{ dB}$$

9 p.358

- Ambulance se rapprochant d'un piéton immobile
- Éloignement d'une galaxie

11 p.359

L'émetteur et le récepteur se rapprochent l'un de l'autre.

L'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.

•	•	$f_R > f_E$
•	•	$f_R < f_E$
•	•	$T_R > T_E$
•	•	$T_R < T_E$
•	•	$\lambda_R > \lambda_E$
•	•	$\lambda_R < \lambda_E$

13 p.359

Si l'étoile s'approche de la Terre, comme $c \gg v$, il faut que le rapport qui multiplie la célérité soit inférieur à 1 et positif (sinon la vitesse devient négative).

De plus, comme l'étoile s'approche de la Terre, $\lambda < \lambda_0$.

Ainsi : $\frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda} > 1$

$$0 < \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} < 1$$

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} < 0$$

La bonne expression est donc l'expression b.

15 Calculer un décalage Doppler

Utiliser un modèle pour prévoir.

Une voiture passe en klaxonnant. Le son produit a une fréquence $f_E = 435$ Hz. Elle s'éloigne d'un piéton avec une vitesse de valeur $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dans une telle situation, la valeur absolue du décalage Doppler est donnée par :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} - v}$$

- Calculer le décalage Doppler perçu par le piéton.

Donnée

Célérité du son : $v_{\text{son}} = 345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

15 p.359

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} - v} = 435 \times \frac{(80 \div 3,6)}{345 - (80 \div 3,6)} = 30 \text{ Hz}$$

Le piéton perçoit un décalage Doppler de 30 hertz.

16 Avant le spectacle

Effectuer des calculs.

Des mesures réalisées pendant un concert de trois guitaristes sont rassemblées ci-dessous :

	Intensité sonore I ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	Niveau sonore L (dB)
Guitariste 1	$1,0 \times 10^{-4}$	
Guitariste 2		70
Guitariste 3		
Guitaristes 1 et 3		83

1. Compléter le tableau.

2. Que deviennent l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore si les trois guitaristes jouent en même temps ?

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

16 p.360

1.

	Intensité sonore I ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	Niveau sonore L (dB)
Guitariste 1	$1,0 \times 10^{-4}$	80
Guitariste 2	$1,0 \times 10^{-5}$	70
Guitariste 3	$1,0 \times 10^{-4}$	80
Guitaristes 1 et 3	$2,0 \times 10^{-4}$	83

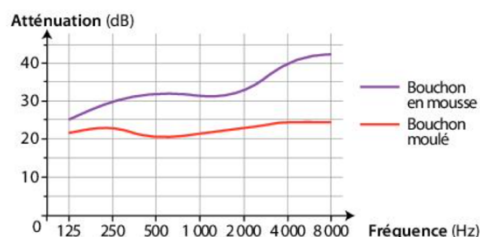
2. Si 3 guitaristes jouent ensemble l'intensité sonore est multipliée par 3 alors que le niveau d'intensité sonore gagne +4,5 dB.

Chaque fois que l'intensité sonore double, le niveau d'intensité sonore augmente de +3 dB

18 Le petit bouchon en mousse

Exploiter des informations.

Les bouchons anti-bruit sont utilisés pour limiter le niveau d'intensité sonore tout en gardant la qualité du son. Le graphique ci-dessous représente les courbes d'atténuation d'un bouchon en mousse et d'un bouchon moulé.



1. Pour quel type de bouchon la fréquence a-t-elle le plus d'influence sur l'atténuation ?

2. a. Pourquoi dit-on qu'avec des bouchons en mousse, le son perçu est plus grave que le son émis ?
b. Cet effet est-il aussi marqué pour un bouchon moulé ?

3. Indiquer, pour les deux situations suivantes, le type de bouchon antibruit le mieux adapté.

a. Le son d'un avion au décollage est perçu avec un niveau d'intensité sonore de 140 dB.

b. Lors d'un concert, le niveau d'intensité sonore perçu est égal à 100 dB.

18 p.360

- La fréquence a plus d'influence sur l'atténuation pour les bouchons en mousse.
- a. Avec les bouchons en mousse l'atténuation est plus forte dans les fréquences médium-aigues. C'est pourquoi le son perçu paraît plus grave.
b. L'effet est moins marqué pour les bouchons moulés qui ont une atténuation relativement linéaire en fonction de la fréquence.
- a. L'avion au décollage atteint le seuil de douleur de l'oreille humaine. Pour atténuer au maximum le niveau d'intensité sonore on choisira les bouchons en mousse.
b. Pour le concert, afin de garder un son le moins modifié possible en termes de fréquences, on choisira les bouchons moulés.

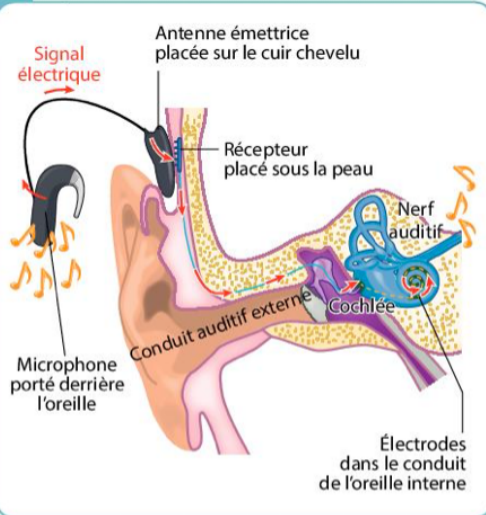
Dans les deux cas, l'atténuation permettra d'atteindre un niveau d'intensité sonore confortable.

20 L'implant cochléaire

Exploiter des informations ; rédiger une explication ; effectuer des calculs.

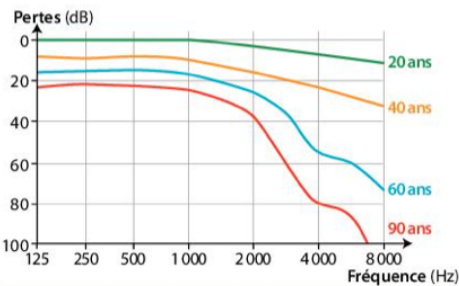
Un médecin ORL propose à son patient, âgé de 20 ans et atteint d'une surdité profonde, de réaliser une implantation cochléaire de manière à améliorer ses performances auditives en parallèle d'une rééducation active. Son audiogramme actuel, qui correspond à celui d'une personne de 90 ans, pourrait devenir similaire à celui d'une personne de 60 ans.

A Implant cochléaire



B Diagramme d'audiométrie tonale

L'audiométrie tonale est un examen permettant d'évaluer la perte auditive d'un individu, exprimée en décibel (dB), pour l'ensemble des sons dont les fréquences sont comprises entre 125 Hz et 8 000 Hz.



1. Expliquer en quelques lignes le principe de fonctionnement d'un implant cochléaire.
2. Quel serait le gain auditif, en dB, du patient équipé d'un implant, pour un son de fréquence égale à 4 000 Hz ?
3. Le gain serait-il le même pour un son de fréquence égale à 1 000 Hz ?

20 p.361

1. L'implant cochléaire comporte, à l'extérieur de l'oreille, un microphone qui reçoit l'information sonore. Celle-ci est traitée en convertissant le signal sonore en un signal électrique rayonné (antenne émettrice) puis capté par un récepteur placé sous la peau. Les électrodes dans le conduit auditif communiquent alors cette information au nerf auditif.
2. Le gain auditif du patient serait d'environ +22 dB pour les fréquences avoisinant les 4000 Hz.
3. Pour les fréquences aux alentours de 1000 Hz le patient ne gagnerait que quelques décibels (+4 ou 5 dB), car la surdité atteint principalement les hautes fréquences.

21 Enceinte Bluetooth

| Effectuer des calculs.

Une enceinte Bluetooth a une puissance sonore de 0,12 W. On fait l'hypothèse que la puissance sonore émise se répartit de manière homogène sur une demi-sphère de rayon r centrée sur l'enceinte Bluetooth.



1. Déterminer l'intensité sonore I du son perçu par une personne située à 1,0 m de l'enceinte.
2. Déterminer le niveau d'intensité sonore L correspondant.
3. Déterminer le niveau d'intensité sonore L' pour une personne située à 2,0 m de l'enceinte.

Données

- Intensité sonore pour une puissance sonore P répartie sur une surface S : $I = \frac{P}{S}$.
- Surface d'une sphère de rayon r : $S = 4 \times \pi \times r^2$.
- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

21 p.361

1. À 1m de l'enceinte, la surface de la demi-sphère vaudra $S_{1/2} = \frac{S}{2} = \frac{4 \times \pi \times r^2}{2} = \frac{4 \times \pi \times 1,0^2}{2} = 6,3 \text{ m}^2$.
L'intensité sonore à 1 mètre de distance vaudra donc : $I_1 = \frac{P}{S_{1/2}} = \frac{0,12}{6,3} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
2. Le niveau d'intensité sonore correspondant vaut :
 $L_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \times \log \left(\frac{1,9 \cdot 10^{-2}}{1,0 \cdot 10^{-12}} \right) = 1,0 \cdot 10^2 \text{ dB}$
3. À 2m : $S_2 = \frac{4 \times \pi \times 2,0^2}{2} = 25 \text{ m}^2$
 $I_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{0,12}{25} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
 $L_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) = 10 \times \log \left(\frac{4,8 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-12}} \right) = 97 \text{ dB}$
En effet lorsqu'on double la distance à la source, on perd environ -3 dB

22 Expérience historique

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

En 1845, afin de vérifier expérimentalement la théorie de Christian DOPPLER, le scientifique Christoph BUYS-BALLOT a réalisé l'expérience suivante : des musiciens à bord d'un train jouent un La de fréquence f_E . Des auditeurs, convenablement disposés le long de la voie ferrée, ont pu reconnaître la note jouée par les musiciens lors de l'approche du train.



1. a. Quel est le phénomène à l'origine du décalage des fréquences entre l'onde émise et l'onde perçue ?
b. Quelle est la fréquence f_R de la note entendue par les auditeurs situés au bord de la voie ferrée ?
2. Dans cette situation, on a :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{onde}} - v}$$

$v_{\text{onde}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ étant la célérité du son dans les conditions de température du jour de l'observation.
Calculer la valeur de la vitesse de déplacement du train.

Données

Les définitions des notes de musique ont évolué depuis le XIX^e siècle. Les fréquences actuelles sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Note	Fa	Fa#	Sol	La ^b	La	La#	Si
f (Hz)	349	370	393	415	440	464	494

22 p.361

1. a. L'effet Doppler.
b. Les auditeurs entendent un La# de fréquence 464 Hz.
2. Les musiciens jouent un La de fréquence 440 Hz. Le décalage Doppler entre la fréquence reçue et émise vaut donc : $\Delta f = f_R - f_E = 464 - 440 = 24,0 \text{ Hz}$.
On a : $\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{onde}} - v}$

$$\Leftrightarrow \Delta f \times (v_{\text{onde}} - v) = f_E \times v$$

$$\Leftrightarrow \Delta f \times v_{\text{onde}} - \Delta f \times v = f_E \times v$$

$$\Leftrightarrow \Delta f \times v_{\text{onde}} = f_E \times v + \Delta f \times v$$

$$\Leftrightarrow \Delta f \times v_{\text{onde}} = (f_E + \Delta f) \times v$$

$$\Leftrightarrow v = \frac{\Delta f \times v_{\text{onde}}}{f_E + \Delta f}$$
A.N. : $v = \frac{24,0 \times 340}{440 + 24,0} = 17,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 63,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

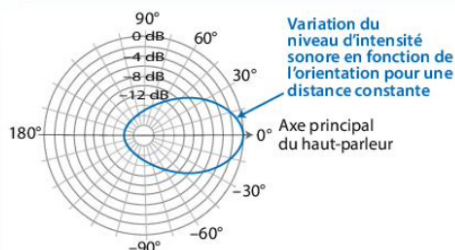
Au concert

Construire les étapes d'une résolution de problème.

D'après Baccalauréat Centres étrangers, 2019

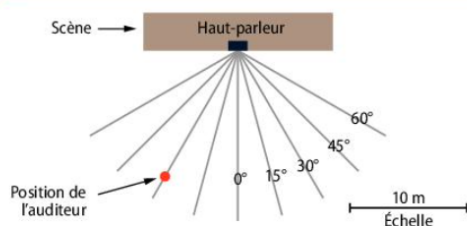
La sonorisation d'un concert est assurée par un haut-parleur posé sur la scène. Le niveau d'intensité sonore mesuré à 2,0 m du haut-parleur, sur son axe principal, est 110 dB. C'est le niveau crête (niveau maximal) qui est fixé pour toute la durée du concert.

• L'auditeur positionné sur le schéma B de la salle peut-il écouter un concert de deux heures en toute sécurité ?

A Diagramme d'émission du haut-parleur

Exemple de lecture : pour un angle de 15°, il y a une diminution de 2 dB par rapport à la direction 0°.

On suppose que ce diagramme est utilisable pour toutes les fréquences audibles par les spectateurs lors du concert.

B Schématisation de la salle de concert**C Les dangers des sons**

Les seuils de dangerosité pour l'oreille dépendent du niveau d'intensité sonore et de la durée d'exposition aux sons.

Les normes internationales définissent le seuil : 85 dB pendant 8 heures. Ce seuil augmente de 3 dB à chaque fois que la durée d'exposition est divisée par 2.

D'après le site www.hcsp.fr

Donnée

L'intensité sonore I (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) est inversement proportionnelle au carré de la distance d (en m) à la source : $I = \frac{k}{d^2}$ où k est une constante caractéristique du haut-parleur.

25 p.362

Commençons par déterminer la position de l'auditeur.

Il est placé à -30° par rapport à l'axe de diffusion du haut-parleur (HP), et grâce à l'échelle, 1,85 cm représentent 10 m. Sur le schéma l'auditeur est à 2,3 cm du HP ce qui représente en réalité $d_{\text{auditeur}} = \frac{2,3}{1,85} \times 10 = 12 \text{ m}$.

Comme l'auditeur est placé à -30° , il y a une diminution d'environ -5 dB par rapport à la direction 0° .

Le niveau d'intensité sonore à 2,0 m du HP vaut 110 dB. Cela représente une intensité sonore valant :

$$I_2 = 10^{\frac{L}{10}} \times I_0 = 10^{\frac{110}{10}} \times 1,0 \times 10^{-12} = 1,0 \times 10^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Comme l'intensité sonore est inversement proportionnelle au carré de la distance et k une constante liée au HP alors on peut écrire :

$$I_2 = \frac{k}{d_2^2} \text{ et } I_{12} = \frac{k}{d_{12}^2}$$

Par combinaison :

$$I_2 \times d_2^2 = I_{12} \times d_{12}^2$$

On calcule l'intensité sonore reçue à 12 mètres du HP :

$$I_{12} = \frac{I_2 \times d_2^2}{d_{12}^2} = \frac{1,0 \cdot 10^{-1} \times 2,0^2}{12^2} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cette intensité sonore correspond à un niveau d'intensité sonore $L_{12} = 10 \log \left(\frac{I_{12}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{2,8 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-12}} \right) = 94 \text{ dB}$

Il faut retirer les 5 dB à ce niveau d'intensité sonore, car l'auditeur n'est pas parfaitement dans l'axe de diffusion.

L'auditeur reçoit donc un niveau d'intensité sonore $L_{\text{auditeur}} = 94 - 5 = 89 \text{ dB}$.

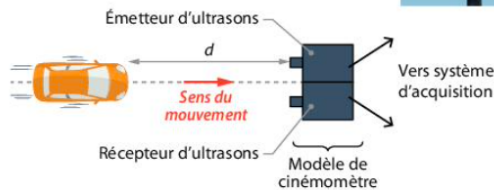
Les normes définissent le seuil à 85 dB pendant 8h, ou 88 dB pendant 4h ou 91 dB pendant 2h (augmentation du seuil de 3 dB lorsque la durée d'exposition est divisée par deux).

L'auditeur est exposé pendant deux heures à 2dB de moins que le seuil fixé par les normes internationales. Il ne risque donc rien et peut assister au concert en toute sécurité.

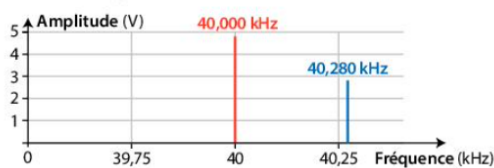
26 Contrôle de vitesse

Exploiter des graphiques et schémas ; effectuer des calculs.

Un radar pédagogique contrôle par effet Doppler la valeur de la vitesse instantanée des véhicules automobiles. Un élève cherche à modéliser le principe de la mesure. Son expérience est représentée ci-dessous.



1. a. Donner le principe de fonctionnement de ce dispositif.
- b. On note f_E la fréquence de l'onde émise et f_R celle de l'onde reçue par le récepteur. Lors d'un tel mouvement, f_E est-elle supérieure ou inférieure à f_R ?
2. On réalise l'acquisition informatisée des signaux émis et reçus. Le logiciel permet de repérer les fréquences de chacun des signaux. Déterminer f_E et f_R .



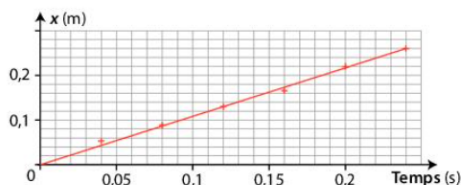
3. Déterminer, parmi les relations ci-dessous, celle qui donne la valeur de la vitesse v de la voiture, mesurée par rapport au sol et inférieure à celle de l'onde notée v_S .

a. $f_R = f_E \times \left(2v + \frac{v}{v_S}\right)$ b. $f_R = v \times \left(f_E - \frac{2v}{v_S}\right)$

c. $f_R = f_E \times \left(1 - \frac{2v}{v_S}\right)$ d. $f_R = f_E \times \left(\frac{2v}{v_S} + 1\right)$

4. La célérité des ondes ultrasonores v_S est égale à $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer la valeur de la vitesse v de la voiture.

5. Le déplacement de la voiture a été filmé, puis on a représenté l'évolution de sa position x en fonction du temps.



- a. En déduire la valeur $v_{\text{vidéo}}$ de la vitesse de la voiture.
- b. Conclure en comparant les valeurs v et $v_{\text{vidéo}}$.

26 p.363

1. a. Le radar envoie un ultrason en direction de la voiture et par écho cet ultrason est réfléchi vers le radar. Comme la voiture est en mouvement, la longueur d'onde de l'ultrason est légèrement modifiée (plus courte lorsque la voiture s'approche du radar). Cette modification de longueur d'onde peut être reliée à la vitesse de la voiture.
- b. La fréquence émise est inférieure à la fréquence reçue car la voiture et le radar se rapprochent l'un de l'autre ce qui comprime les ondes voyageant entre les deux.
2. La fréquence émise $f_E = 40,000 \text{ kHz}$ et la fréquence reçue $f_R = 40,280 \text{ kHz}$.
3. La relation d semble la plus appropriée pour calculer la vitesse de la voiture (un terme de fréquence émise + une fraction de terme de fréquence émise inférieure à 100%).

$$4. f_R = f_E \times \left(\frac{2v}{v_S} + 1\right)$$

$$\frac{f_R}{f_E} = \frac{2v}{v_S} + 1$$

$$\frac{f_R}{f_E} - 1 = \frac{2v}{v_S}$$

$$\left(\frac{f_R}{f_E} - 1\right) \times v_S = 2v$$

$$v = \frac{\left(\frac{f_R}{f_E} - 1\right) \times v_S}{2} = \frac{\left(\frac{40280}{40000} - 1\right) \times 340}{2} = 1,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

5. a. La vidéo enregistre une vitesse égale au coefficient directeur de la droite fournie :

$$v_{\text{vidéo}} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,24 - 0,1}{0,22 - 0,09} = 1,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- b. En comparant les deux valeurs on s'aperçoit que la vitesse enregistrée est plus basse que la vitesse réelle (environ 10% moins importante). Cela est dû à la précision de l'appareil et c'est pourquoi il existe une certaine tolérance par rapport aux excès de vitesse.

27 Avion de chasse

Tracer un graphique ; effectuer des calculs.

Un avion se déplace à basse altitude à la vitesse subsonique $v = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, selon une trajectoire rectiligne horizontale. À chaque instant, il émet une onde sphérique acoustique qui se propage à la célérité $v_s = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



À l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$, un point de l'avion est à la position M_0 de sa trajectoire. À $t_1 = 0,1 \text{ s}$, il est en M_1 ; à $t_2 = 0,2 \text{ s}$, il est en M_2 , etc.

1. Placer le point M_0 au centre d'une feuille de papier millimétré. Porter, à l'échelle 1 cm pour 20 m, les positions successives de M_0 à M_6 de l'avion sur sa trajectoire.

2. On analyse le phénomène à la date $t_6 = 0,6 \text{ s}$: l'avion est en M_6 .

a. Si, aux positions $M_5, M_4, \dots, M_0$ ont été créées des ondes sphériques acoustiques, quelles distances $d_5, d_4, \dots, d_0$ ont été franchies par ces ondes à la date $t_6 = 0,6 \text{ s}$?

b. À cette date t_6 , tracer au compas les limites circulaires atteintes par ces ondes sphériques (placer chaque fois le centre du cercle à tracer sur la position M_i considérée).

3. Montrer que cette construction met en évidence, pour un observateur terrestre, deux séries d'ondes, une en avant et une autre en arrière de l'avion, dont on comparera les longueurs d'onde apparentes respectives λ' et λ'' .

4. En déduire qu'il en résulte deux sons, de fréquences f' et f'' , dont l'un est plus aigu que l'autre.

5. On note λ la longueur d'onde acoustique dans le référentiel du pilote et f la fréquence correspondante.

Calculer le rapport $\frac{f'}{f''}$.

Données

$$\lambda' = \lambda - \frac{v}{f} \quad \text{et} \quad \lambda'' = \lambda + \frac{v}{f}.$$

27 p.363

1.

Position	Instant	Distance	Distance sur le schéma
M_0	$t_0 = 0 \text{ s}$	$M_0 M_0 = 0 \text{ m}$	0,0 cm
M_1	$t_1 = 0,1 \text{ s}$	$M_0 M_1 = 20 \text{ m}$	1,0 cm
M_2	$t_2 = 0,2 \text{ s}$	$M_0 M_2 = 40 \text{ m}$	2,0 cm
M_3	$t_3 = 0,3 \text{ s}$	$M_0 M_3 = 60 \text{ m}$	3,0 cm
M_4	$t_4 = 0,4 \text{ s}$	$M_0 M_4 = 80 \text{ m}$	4,0 cm
M_5	$t_5 = 0,5 \text{ s}$	$M_0 M_5 = 100 \text{ m}$	5,0 cm
M_6	$t_6 = 0,6 \text{ s}$	$M_0 M_6 = 120 \text{ m}$	6,0 cm

2. a. L'onde se propage sur une distance $d = v_s \times \Delta t$ on obtient alors :

$$d_5 = v_s \times (t_6 - t_5)$$

$$d_5 = 340 \times (0,6 - 0,5) = 34 \text{ m soit } 1,7 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

$$d_4 = v_s \times (t_6 - t_4)$$

$$d_4 = 340 \times (0,6 - 0,4) = 68 \text{ m soit } 3,4 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

$$d_3 = v_s \times (t_6 - t_3)$$

$$d_3 = 340 \times (0,6 - 0,3) = 102 \text{ m soit } 5,1 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

$$d_2 = v_s \times (t_6 - t_2)$$

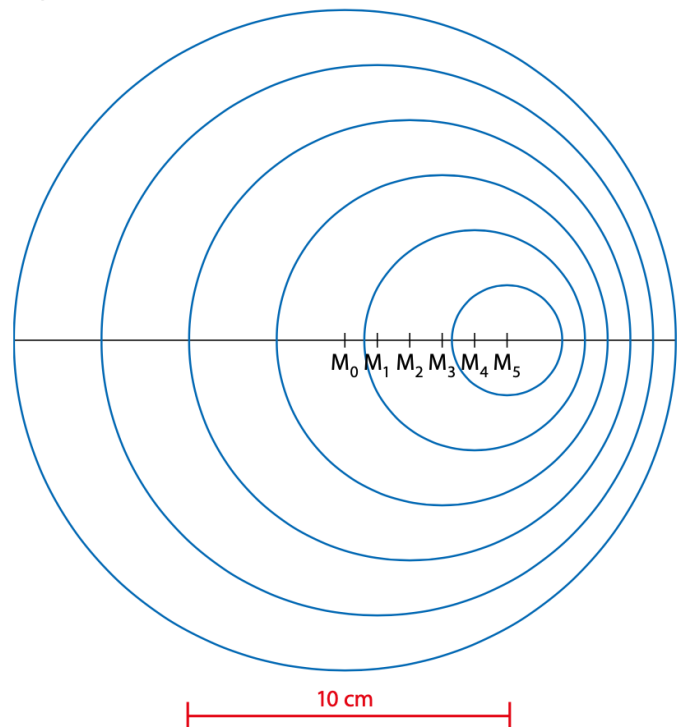
$$d_2 = 340 \times (0,6 - 0,2) = 136 \text{ m soit } 6,8 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

$$d_1 = v_s \times (t_6 - t_1)$$

$$d_1 = 340 \times (0,6 - 0,1) = 170 \text{ m soit } 8,5 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

$$d_0 = v_s \times (t_6 - t_0) = 340 \times (0,6 - 0) = 204 \text{ m soit } 10,2 \text{ cm à l'échelle proposée.}$$

b.



3. À l'avant de l'avion (sur la droite du schéma) les ondes sont resserrées tandis qu'à l'arrière de l'avion elles s'écartent. Pour un observateur terrestre il y a donc deux longueurs d'ondes λ' à l'avant et λ'' à l'arrière, avec $\lambda'' > \lambda'$.

4. La longueur d'onde la plus courte fournira un son plus aigu tandis que la longueur d'onde la plus longue fournira un son plus grave.

$$f' = \frac{v_s}{\lambda'} \text{ et } f'' = \frac{v_s}{\lambda''}$$

$$5. \frac{f'}{f''} = \frac{\lambda''}{\lambda'} = \frac{\lambda + \frac{v}{f}}{\lambda - \frac{v}{f}} = \frac{\frac{\lambda f + v}{f}}{\frac{\lambda f - v}{f}} = \frac{v_s + v}{v_s - v} = \frac{340 + 200}{340 - 200} = 3,86$$

Le son perçu après le passage de l'avion aura une fréquence 3,86 fois plus basse que lorsqu'il approche.