Thème 4 : Ondes et signaux

Partie 1. Caractériser les phénomènes ondulatoires

CHAP 18-EXOS Caractéristiques des ondes sonores-Effet Doppler

Exercices en autonomie: QCM p.473 n°12 à 14 et 22 à 24/ER p475 n°26/EC n°28*-30*-38*-41*

Exercices p.478 et suiv. : n°29-31-39-54-58-65-67

29 Le niveau d'intensité sonore d'une salle vaut $L = 75$ dB.

- Calculer l'intensité sonore I dans cette salle.

29 $I = I_0 \times 10^{L/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{75/10}$

$I = 3{,}2 \times 10^{-5}$ W·m^{-2}

31 L'intensité sonore sur le bord d'une route vaut $I = 7{,}3 \times 10^{-2}$ W·m^{-2}. À 300 m de la route, il ne vaut plus que $I' = 2{,}5 \times 10^{-3}$ W·m^{-2}.

- Calculer l'atténuation géométrique A.

31 $A = L - L' = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) - 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right)$

$A = 109 - 94 = 15$ dB

38 Le klaxon d'une voiture se déplaçant à la vitesse v émet un son de fréquence $f_E = 300$ Hz. Un observateur immobile perçoit un son de fréquence $f_R = 315$ Hz.

a. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son émis ? Quel est l'effet mis en évidence ?

b. La voiture s'approche-t-elle ou s'éloigne-t-elle de l'observateur ?

c. Calculer le décalage Doppler δf.

38) a. le son perçu est plus aigu car sa fréquence est plus élevée

b. la voiture s'approche

c. δf = 15 Hz

39 Les notations et les données sont celles de l'exercice précédent. La relation entre les différentes grandeurs s'écrit :

$$f_R = \frac{f_E}{1 - \frac{v}{c_{son}}}$$

- Calculer la vitesse v de la voiture.

39 $v = c_{son}\left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right) = 340 \times \left(1 - \frac{300}{315}\right)$

$v = 16{,}2$ m·s^{-1} $= 58{,}3$ km·h^{-1}

54 Redshift

Utiliser un modèle

Une étoile émet une onde électromagnétique de fréquence f_E et de célérité c. Elle s'éloigne du système solaire avec une vitesse relative v.

La fréquence f_R de l'onde perçue vaut $f_R = \frac{cf_E}{c+v}$.

a. Comparer f_R et f_E.

b. Comparer les longueurs d'onde de l'onde émise λ_E et de l'onde reçue λ_R.

c. On parle de « redshift » ou « décalage vers le rouge » pour les longueurs d'onde. Justifier cette appellation.

54 a. $\frac{c}{c+v} < 1$ donc $f_R < f_E$.

b. La fréquence diminue donc la longueur d'onde augmente et $\lambda_R > \lambda_E$.

c. La valeur de la longueur d'onde augmente, elle se décale vers les grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire le rouge, d'où le terme de redshift.

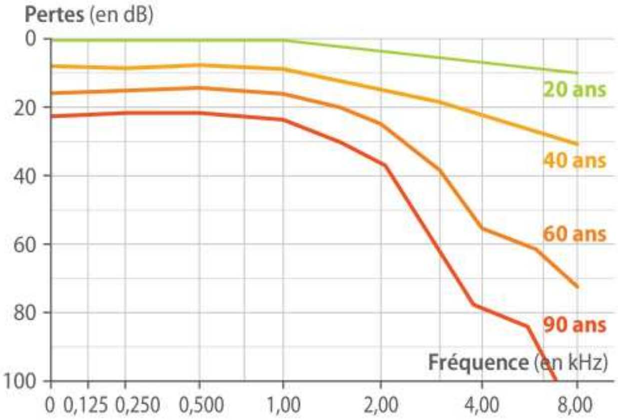
58 Implant cochléaire

BAC

Schématiser une situation

L'audiométrie tonale est une technique permettant d'évaluer la perte auditive, exprimée en décibels, d'un individu en fonction de la fréquence du son.

Voici les audiogrammes moyens à différents âges :



Francis, 54 ans, rencontre des troubles auditifs profonds. Son médecin ORL (oto-rhino-laryngologiste) lui annonce que son audiogramme correspond maintenant à celui d'une personne de 90 ans. Il lui propose la pose d'un implant cochléaire tout en l'informant qu'une réadaptation sera nécessaire pour retrouver une audition satisfaisante. Francis accepte l'opération.

Son implant lui permet d'augmenter ses performances auditives et de retrouver ainsi un audiogramme correspondant à celui d'une personne de 60 ans.

Un son de fréquence égale à 4,0 kHz et de niveau d'intensité sonore égal à 100 dB lui parvient.

a. Déterminer les niveaux d'intensité sonores du son perçu par Francis avec et sans implant cochléaire.

b. Calculer le rapport des intensités sonores avec et sans implant. Commenter les résultats.

Adapté du sujet de Bac Liban, 2013.

58 a. À 4,0 kHz, sans implant, Francis reçoit le son avec une perte de 80 dB donc avec un niveau d'intensité sonore L = 100 dB – 80 dB = 20 dB.

Avec implant, il reçoit le son avec une perte de 55 dB donc avec un niveau d'intensité sonore :

$L_{implant}$ = 100 dB – 55 dB = 45 dB

b. Calcul de l'intensité sonore : $I = I_0 \times 10^{L/10}$

Sans implant : $I = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{20/10}$

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

Avec implant : $I_{implant} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{45/10}$

$I_{implant} = 3{,}2 \times 10^{-8}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

65 Résolution de problème Le cor des Alpes

Chaque année, au mois de juillet, se déroule le festival international du cor des Alpes à Haute Nendaz, en Suisse. Cet instrument, jadis utilisé par les bergers pour communiquer entre deux vallées, est fait d'une seule pièce de bois, un tube recourbé à son extrémité. Pour en jouer, le musicien souffle dans une embouchure.

Adapté du sujet de Bac Métropole, 2014.

Doc. 1 Hypothèses de travail

- L'amortissement de l'onde n'est pas pris en compte : la dissipation d'énergie au cours de la propagation est négligeable.
- Le rayonnement de la source est supposé isotrope, c'est-à-dire que le son est émis de la même façon dans toutes les directions de l'espace.

Doc. 2 Célérité du son

On donne ci-dessous quelques valeurs de la célérité du son dans l'air à différentes températures.

Température (en °C)	10	20	30	40
Célérité (en $m{\cdot}s^{-1}$)	337	343	349	355

Doc. 3 Intensité sonore d'une source isotrope

Pour une source isotrope de puissance P constante, l'intensité sonore I au point M dépend de la distance d à la source et s'exprime de la façon suivante :

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

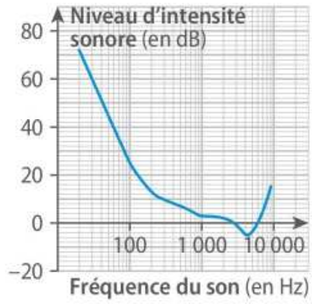
I en watts par mètre carré ($W{\cdot}m^{-2}$)
P en watts (W)
d en mètres (m)

Doc. 4 Note la plus grave jouée par un cor des Alpes

La note la plus grave est atteinte lorsque la longueur d'onde de l'onde sonore associée à la note est égale à deux fois la longueur du cor.

Doc. 5 Seuil d'audibilité humaine

Le graphique ci-contre donne le niveau d'intensité sonore minimal d'un son perçu par l'oreille humaine en fonction de la fréquence du son : pour une fréquence donnée, c'est le seuil d'audibilité d'un son de cette fréquence.



PROBLÈME

Un berger, situé au sommet d'une colline à 8,8 km de Haute Nendaz joue, à puissance constante, la note la plus grave de son cor des Alpes. Son instrument a une longueur de 3,4 m. Pourra-t-on l'entendre à Haute Nendaz si le niveau d'intensité sonore vaut 100 dB à un mètre de l'instrument ?

Données

- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W{\cdot}m^{-2}$
- Altitude de Haute Nendaz : 1 252 m

PROBLÈME

Le cor des Alpes sera audible si le niveau sonore L' à 8,8 km du cor est supérieur ou égal au niveau minimal de perception de l'oreille humaine.

• À une distance d = 1,0 m du cor des Alpes, le niveau d'intensité sonore est L = 100 dB. L'intensité sonore I vaut alors :

$$I = I_0 10^{\frac{L}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{100}{10}} = 0{,}010\ \text{W·m}^{-2}$$

Comme $I = \frac{P}{4\pi d^2}$ avec la puissance P constante (doc. 3), on a :

$$P = 4\pi d^2 I = 4\pi(1{,}0)^2 \times 0{,}010 = 0{,}126\ \text{W}$$

• À Haute Nendaz, d' = 8,8 km = $8{,}8 \times 10^3$ m, d'où :

$$I' = \frac{P}{4\pi d'^2} = \frac{0{,}126}{4\pi\,(8{,}8 \times 10^3)^2} = 1{,}3 \times 10^{-10}\ \text{W·m}^{-2}$$

On déduit le niveau d'intensité sonore :

$$L' = 10 \times \log\left(\frac{I'}{I_0}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1{,}3 \times 10^{-10}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 21\ \text{dB}$$

• Le cor a une longueur L = 3,4 m donc la note la plus grave jouée a une longueur d'onde λ = 6,8 m (doc. 5).
Haute Nendaz étant en altitude, on peut estimer la température à 20 °C en été. On en déduit d'après le doc. 2 que la célérité du son est c = 343 m·s⁻¹. On en déduit ensuite la fréquence f de l'onde :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{et} \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{6{,}8} = 50\ \text{Hz}$$

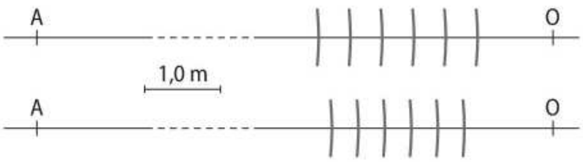
D'après le doc. 3, un son à 50 Hz doit avoir au moins un niveau sonore de 45 dB. Le son a seulement un niveau d'intensité sonore de 21 dB donc il n'est pas audible.

67 Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

La valeur de la fréquence d'une onde sonore émise par un hélicoptère est $f_E = 8{,}1 \times 10^2$ Hz. Pour un observateur immobile sur Terre, la période T_R de l'onde sonore perçue dépend de la vitesse v de l'hélicoptère :

$$T_R = T_E\left(1 - \frac{v}{c_{son}}\right)$$

Dans les figures suivantes, on représente à un instant donné, la position A de l'hélicoptère, celle O de l'observateur immobile, et des arcs de cercles. Ceux-ci correspondent aux lieux géométriques où la surpression sonore est maximale. La distance qui sépare deux arcs voisins est donc égale à la longueur d'onde, mesurée dans le référentiel du sol. Dans la figure du haut, l'hélicoptère est immobile. Dans la figure du bas, il se déplace à la vitesse v sur l'axe (AO).



1. Déterminer les longueurs d'onde λ et λ' de l'onde sonore perçue lorsque l'hélicoptère est immobile, puis en mouvement.
2. Calculer la célérité de l'onde sonore.
3. Déterminer la fréquence f_R du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son émis ? L'hélicoptère s'approche-t-il ou s'éloigne-t-il de l'observateur ?
4. Calculer la vitesse v de l'hélicoptère.

Adapté du sujet de Bac Métropole, 2016.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1. On augmente la précision de la mesure de λ en mesurant plusieurs longueurs d'onde.
2. Lorsque l'hélicoptère est immobile, la fréquence perçue est égale à f_E.
3. Lorsqu'il est en mouvement, la relation entre les périodes donne une relation sur les fréquences.

67 1. 1,0 cm sur le schéma correspondent à 1,0 m.
Pour l'onde perçue lorsque l'hélicoptère est immobile, cinq longueurs d'onde soit $5\lambda_0$ correspondent à 21 mm sur le schéma donc à 2,1 m et $\lambda_0 = \frac{2,1}{5} = 0,42$ m.

Lorsque l'hélicoptère est en mouvement, de même, $\lambda' = \frac{1,75}{5} = 0,35$ m.

2. $c_{son} = \lambda_0 f_E = 0,42 \times 810 = 3,4 \times 10^2\ m \cdot s^{-1}$

3. $f_R = \frac{c_{son}}{\lambda'} = \frac{3,4 \times 10^2}{0,35} = 9,7 \times 10^2$ Hz

La fréquence augmente, ce qui signifie que l'hélicoptère s'approche.

4. La relation donnée par l'énoncé s'écrit :

$\frac{1}{f_R} = \frac{1}{f_E}\left(1 - \frac{v}{c_{son}}\right)$ donc $(c_{son} - v)f_R = f_E$

donc $v = c_{son}\left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right) = 56\ m \cdot s^{-1}$ soit $v \approx 200\ km \cdot h^{-1}$.