1^{e} Spécialité Physique Chimie

CHAPITRE 14

ONDES MÉCANIQUES

EXERCICES

Wulfran Fortin

Liste des exercices

Exercice 1

Énoncé

D'après Belin 2019.
Choisir la ou les bonnes réponses possibles.

a. Les phénomènes suivants peuvent être décrits par une onde mécanique progressive.

1. la lumière émise par une ampoule
2. le son émis par un haut-parleur
3. le déplacement d'une voiture sur une route
4. une vague créée par un caillou jeté dans l'eau

b. La propagation d'une onde mécanique s'accompagne

1. d'un transport d'énergie
2. d'un transport de matière

3. d'un transport d'énergie et de matière
4. d'aucun transport

c. Ces ondes sont transversales et se propagent dans une seule dimension

1. onde circulaire à la surface de l'eau
2. onde le long d'un ressort
3. onde le long d'une corde
4. ondes sonores

d. La célérité d'une onde mécanique progressive

1. dépend de l'amplitude de la perturbation
2. dépend du milieu de propagation
3. diminue au cours de la propagation
4. est constante au cours de la propagation si le milieu est homogène

e. Une onde met $2\ s$ pour se propager le long d'un ressort avec une célérité de $3\ m.s^{-1}$. Quelle est la longueur du ressort ?

1. $0.17\ m$

2. $0.66\ m$
3. $1.5\ m$
4. $6.00\ m$

f. Une onde progressive se propage d'un point A vers un point B distant de $10\ m$ avec une célérité de $5\ m.s^{-1}$. Le retard de la perturbation au point B par rapport au point A vaut

1. $0.2\ s$
2. $0.5\ s$
3. $2\ s$
4. $50\ s$

g. La longueur d'onde est

1. l'amplitude de l'onde
2. la distance parcourue par l'onde pendant une période
3. la plus petite durée pour que chaque point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire
4. le nombre de périodes par unité de temps

Correction

a. 2 et 4.
b. 1.
c. 2 et 3.
d. 2 et 4.
e. $d = v \times \Delta t$ donc $2 \times 3 = 6\ m$, réponse 4.
f. si $AB = v \times \Delta t$ alors $\Delta t = \frac{10\ m}{5\ m.s^{-1}} = 2\ s$ donc réponse 3.
g. réponse 2.

Exercice 2

Énoncé

D'après Hachette 2019.
Indiquer si chacune des situations suivante est une description spatiale ou temporelle d'une onde.

1. niveau de la mer qui monter et descend dans un port au rythme de la marée
2. photographie de la mer sur laquelle on observe des vagues
3. relevé des vibrations du sol obtenu par une station sismique

Correction

1. description temporelle, hauteur en fonction du temps en un endroit précis
2. description spatiale, hauteur des vagues en fonction de la position sur l’au à un instant donné
3. description temporelle, hauteur du sol en fonction du temps en un lieu précis

Exercice 3

Énoncé

D'après Hachette 2019.
 Les deux graphiques de la figure 1 correspondent à la même onde périodique.
a. Déterminer la période, la longueur d'onde et l'amplitude de cette onde.
b. En déduire la célérité de cette onde.

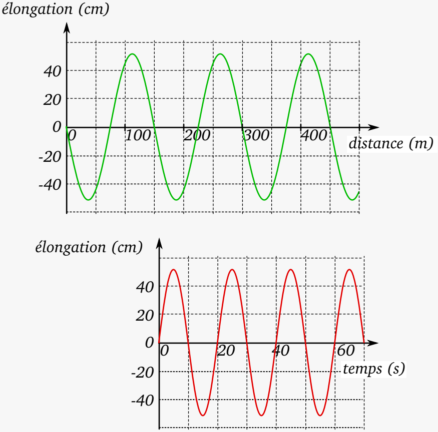

élongation (cm)
40
20
0
-20
-40
0
100
200
300
400
distance (m)
élongation (cm)
40
20
0
-20
-40
0
20
40
60
temps (s)

Figure 1

Correction

a. Période $T = 20\ s$, longueur d'onde $\lambda = 150\ m$, amplitude $A = 40\ m$.
b. Comme $\lambda = v \times T$ alors

$$v = \frac{\lambda}{T} = 7.5\ m.s^{-1}$$

Exercice 4

Énoncé

D'après Hachette 2019.

Une houle de $10\ m$ de hauteur a une période $T = 20\ s$ et une longueur d'onde $\lambda = 100\ m$. La hauteur de la houle est la dénivellation entre une crête et un creux.

a. Quelle est l'amplitude de cette houle ?

b. Donner la représentation temporelle de l'élongation d'un point M de la surface de l'eau, l'onde étant supposée sinusoïdale.

c. Donner une représentation spatiale de la surface de l'eau à un instant t.

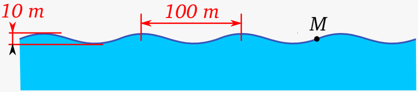
d. Calculer la célérité de cette houle.

Correction

a. l'amplitude est la moitié de l'amplitude crête à crête, donc ici, la moitié de la hauteur de la houle, donc 5 m.

b. et **c** .Voir figure2.

à un instant t



altitude de M en fonction du temps

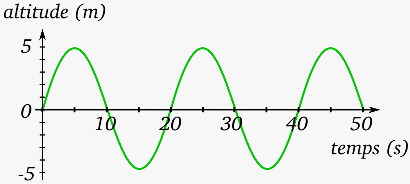


Figure 2

d. $\lambda = v \times T$ donc $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{100\ m}{20\ s} = 5\ m.s^{-1}$.

Exercice 5

Énoncé

D'après Belin 2019.

Les ondes sonores se propagent dans l'air à $340\ m.s^{-1}$. Les sons audibles ont une fréquence comprise entre $20\ Hz$ et $20\ kHz$. Calculer l'intervalle de longueur d'onde des sons audibles.

Correction

Comme $\lambda = v \times T$ et $T = \frac{1}{f}$ alors

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

La vitesse du son dans l'air est environ $v = 340\ m.s^{-1}$ et donc on a les deux valeurs de longueurs d'onde possibles

$$\lambda_1 = \frac{340\ m.s^{-1}}{20\ Hz} = 17\ m$$

$$\lambda_2 = \frac{340\ m.s^{-1}}{20000\ Hz} = 1,7\ cm$$

Exercice 6

Énoncé

D'après Hatier 2019.

Un élève 1 fait éclater un sac en papier. Un élève 2 est situé à une distance $d = 5.0$ derrière un élève 3, les trois élèves sont alignés. Voir figure 3 .

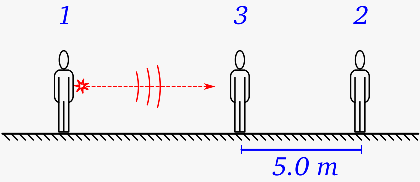


Figure *3*

Avec quel retard l'élève 2 entend-il l'éclatement du sac ?

Correction

On va calculer la durée Δt nécessaire pour que l'onde sonore parcourt la distance $d = 5.0\ m$ qui sépare les élèves numéros 2 et 3. L'onde se déplace à une vitesse $v = 340\ m.s^{-1}$.
Par définition de la vitesse

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

on isole la durée du parcours puis on calcule sa valeur

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{5\ m}{340\ m.s^{-1}} = 1.47 \times 10^{-2}\ s$$

L'onde sonore arrive avec un décalage de $15\ ms$ environ.

Exercice 7

Énoncé

D'après Hatier 2019.
Une corde tendue est agitée à la main avec une fréquence de $3.5\ Hz$. On mesure sur la corde une longueur d'onde de $15\ cm$.
a. Cette onde est-elle périodique ?
b. Si oui, quelle est sa période ?
c. Déterminer la célérité de l'onde sur la corde.

Correction

a. Le mouvement d'agitation de la corde est dit être fait à une certaine fréquence, c'est donc que ce mouvement d'oscillation se fait périodiquement.

b. $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3.5\ Hz} = 0.29\ s$

c. D'après la définition d'une longueur d'onde

$$\lambda = v \times T$$

donc

$$\begin{aligned} v &= \frac{\lambda}{T} \\ &= \lambda \times f \\ &= 0.15\ m \times 3.5\ Hz \\ &= 0.525\ m.s^{-1} \end{aligned}$$

Exercice 8

Énoncé

D'après Hatier 2019.

Une houle est une succession de vagues régulières à la surface de la mer qui peut être considérée comme une onde périodique. Elle a une période $T = 9.5\ s$. La célérité des vagues est $v = 6.0\ m.s^{-1}$.

a. Quelle est la fréquence du phénomène ?

b. Quelle est la longueur d'onde de la houle ?

c. À quelle distance minimale doivent se trouver deux bouchons flottant sur l'eau pour être en phase ?

Correction

a. On connaît la période on en déduit la fréquence

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{9.5} = 0.105\ Hz$$

b.

$$\lambda = v \times T = 9.5\ s \times 6.0\ m.s^{-1} = 57\ m$$

c. Les deux bouchons doivent être à une vague d'intervalle au minimum pour monter ou descendre en même temps, donc la longueur minimale pour être en phase est une longueur d'onde soit ici $57\ m$.

Exercice 9

Énoncé

D'après Hatier 2019.
Un milieu est parcouru par une onde sonore de célérité $v = 500\ m.s^{-1}$. La surpression dans ce milieu à un instant donné est représentée sur la figure 4.
a. Quelles sont les caractéristiques de cette

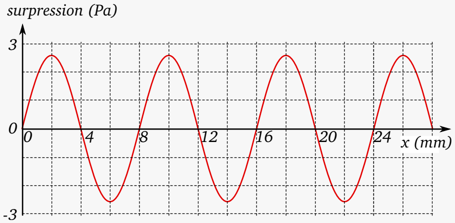


Figure *4*

onde ?

b. Déterminer la longueur d'onde, la période et la fréquence de l'onde.

Correction

a. C'est une onde *sinusoïdale* et *périodique*.
b. Sur le graphique amplitude en fonction de la position, on peut directement mesurer la longueur d'onde

$$\lambda = 8\ mm = 8 \times 10^{-3} m$$

On connaît la vitesse de propagation, on peut alors calculer la période de l'onde

$$\lambda = v \times T$$

donc

$$T = \frac{\lambda}{v} = \frac{8 \times 10^{-3}\ m}{500\ m.s^{-1}} = 16\ \mu s$$

puis on calcule la fréquence

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16 \times 10^{-6}\ s} = 62.5\ kHz$$

Exercice 10

Énoncé

D'après Hatier 2019.
Recopier et compléter le tableau 1 pour les quatre ondes périodiques données.

	onde 1	onde 2	onde 3	onde 4
Fréquence	$25\ Hz$	1.8 kHz	e	g
Période	a	c	$75\ ms$	$4.5\ s$
Célérité	$340\ m.s^{-1}$	d	f	$25\ km.h^{-1}$
Longueur d'onde	b	$12\ mm$	$1.5\ cm$	h

Table *1*

Correction

Calcul de a.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25\ Hz} = 0.040\ s$$

Calcul de b.

$$\begin{aligned}\lambda &= v \times T \\ &= 340\ m.s^{-1} \times 0.040\ s \\ &= 13.6\ m\end{aligned}$$

Calcul de c.

$$T = \frac{1}{1.8 \times 10^3\ Hz} = 5.6 \times 10^{-4}\ s$$

Calcul de d. Comme $\lambda = v \times T$,

$$\begin{aligned}v &= \frac{\lambda}{T} \\ &= \frac{12 \times 10^{-3}\ m}{5.6 \times 10^{-6}\ s} \\ &= 21.6\ m.s^{-1}\end{aligned}$$

Calcul de e.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{75 \times 10^{-3}\ s} = 13.3\ Hz$$

Calcul de f.

$$\begin{aligned} v &= \frac{\lambda}{T} \\ &= \frac{1.5 \times 10^{-2}\ m}{75 \times 10^{-3}\ s} \\ &= 0.2\ m.s^{-1} \end{aligned}$$

Calcul de g.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.5\ s} = 0.22\ Hz$$

Calcul de h.

$$\begin{aligned} \lambda &= v \times T \\ &= \frac{25000\ m}{3600\ s} \times 4.5\ s \\ &= 31.3\ m \end{aligned}$$

Exercice 11

Énoncé

D'après Hatier 2019.
Deux capteurs électroacoustiques sensibles aux vibrations sont reliés à une interface d'acquisition. Elles sont distantes de $d = 38\ cm$ et posées sur une barre métallique. Un coup sec est donné sur la barre et donne lieu à l'enregistrement de deux signaux. Voir figure 5.

a. Indiquer à quel signal correspond le capteur le plus proche du coup.
b. Mesurer le retard de l'onde entre les deux micros.
c. En déduire la célérité de l'onde dans la barre.
d. Quel aurait été le retard de cette onde sonore dans l'air pour deux micros distant de $38\ cm$?. Pourquoi cette valeur est-elle différente de celle trouvée à la question **b** ?

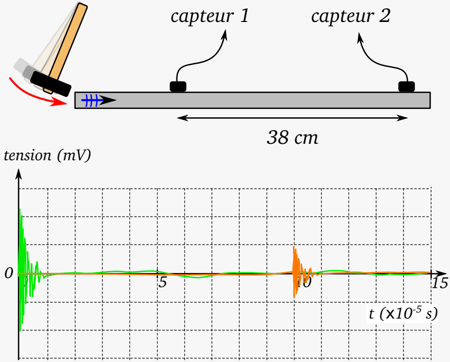


Figure *5*

Correction

a. La courbe verte correspond au capteur 1, la courbe orange au capteur 2, l'onde (en bleu) met un certain temps pour parcourir les $38\ cm$ séparant les deux capteurs.

b. On lit le décalage temporel grâce au graphe

$$\Delta t = 10 \times 10^5\ s$$

c. Comme $d = 38\ cm$ et $\Delta t = 10 \times 10^5\ s$, on peut calculer la vitesse de propagation de l'onde v

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0.38\ m}{10 \times 10^5\ s} = 3800\ m.s^{-1}$$

d. Dans l'air $v = 340\ m.s^{-1}$ donc

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{0.38\ m}{340\ m.s^{-1}} = 1.1 \times 10^{-3}\ s$$

Le son se propageant beaucoup plus vite dans le métal donc le retard temporel sera plus bref.

Exercice 12

Énoncé

D'après Hatier 2019.

Un séisme a lieu à $9h15min54s$. Un sismographe situé dans une station à $94.1\ km$ de l'épicentre enregistre deux ondes successives. Voir figure 6.

a. Déterminer l'instant où débute la réception de chaque onde.

b. La durée séparant leurs débuts est-elle un retard au sens défini dans le cours ?

c. Déterminer la célérité de chaque onde.

d. Si la date précise du séisme n'était pas connue, comment pourrait-on, à l'aide de ce sismogramme, déterminer la distance sismographe-épicentre ?

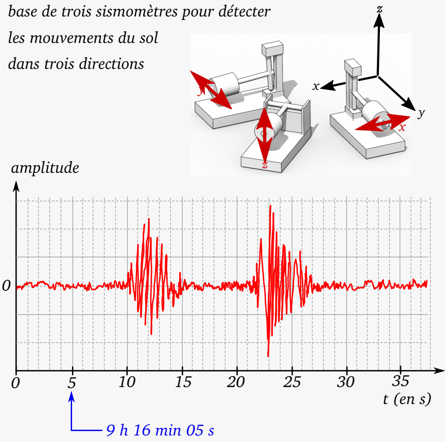

base de trois sismomètres pour détecter
les mouvements du sol
dans trois directions
z
x
y
amplitude
0
0
5
10
15
20
25
30
35
t (en s)
9 h 16 min 05 s

Figure 6

Correction

a.

$$t_1 = 9\,h\;16\,min\;9\,s$$
$$t_2 = 9\,h\;16\,min\;21.5\,s$$

b. Ce n'est pas un retard au sens du cours, car il n'y a qu'un seul capteur, donc une seule position et deux ondes décalées. Dans le cours, c'est une seule onde, qui se déplace d'une position à une autre position.

c. La date de départ des ondes est $t_0 = 9\ h\ 15\ min\ 54\ s$ et elles parcourent une distance $d = 94.1\ km$. On peut donc calculer leur vitesse de propagation à partir de la durée de leur parcours.

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{d}{t_1 - t_0} \\ &= \frac{94.1\,km}{12\,s} \\ &= 7.8\,km.s^{-1} \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
v_2 &= \frac{d}{t_2 - t_0} \\
&= \frac{94.1\ km}{21.5\ s} \\
&= 3.55\ km.s^{-1}
\end{aligned}
$$

d. On connaît t_1, t_2, v_1 et v_0 mais t_0 n'est pas connu.
D'après les formules des vitesses de la question précédente on peut écrire

$$
\begin{aligned}
d &= v_1 \times (t_1 - t_0) \\
d &= v_2 \times (t_2 - t_0)
\end{aligned}
$$

et donc

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{v_1} &= t_1 - t_0 \\
\frac{d}{v_2} &= t_2 - t_0
\end{aligned}
$$

par soustraction

$$
\begin{aligned}
t_2 - t_1 &= \frac{d}{v_2} - \frac{d}{v_1} \\
\Delta t &= d \times \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)
\end{aligned}
$$

$$d = \Delta t \times \frac{v_1 \times v_2}{v_1 - v_2}$$

Exercice 13

Énoncé

D'après Nathan 2019.

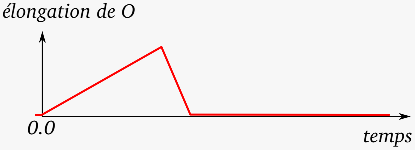


Figure 7

Une perturbation se propage le long d'une chaîne à partir de son extrémité O. On représente sur la figure 7 la position du point O en fonction du temps. Le point O se déplace perpendiculairement à la chaîne par rapport à sa position de repos.

Représenter sans souci d'échelle l'allure de la chaîne lorsque la perturbation atteint un point M quelconque de la chaîne.

Correction

Voir figure 8.

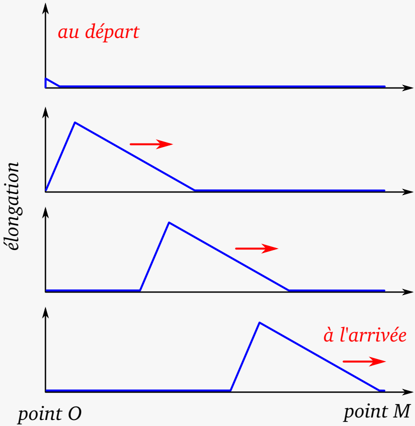


Figure *8*

Exercice 14

Énoncé

D'après Bordas 2019.

Un émetteur et un récepteur d'ultrasons sont placés côte à côte face à une paroi réfléchissante. L'émetteur émet des salves d'ultrasons. Les tensions de sortie de l'émetteur (A) et du récepteur (B) sont observées sur l'écran d'un oscilloscope. Voir figure 9.

On précise les valeurs suivantes

— l'échelle de l'axe horizontale des temps est de $1.0\ ms/div$

— la vitesse du son dans l'air à $20\ ^oC$ est $v = 340\ m.s^{-1}$

a. En quoi une onde ultrasonore est-elle une onde mécanique progressive ?

b. Quel signal observé à l'oscilloscope correspond à l'émetteur et au récepteur ?

c. Quel est le retard entre le récepteur et l'émetteur ?

d. Déterminer la distance qui sépare l'émetteur et le récepteur de la paroi réfléchissante.

e. En déduire une application possible des ultrasons.

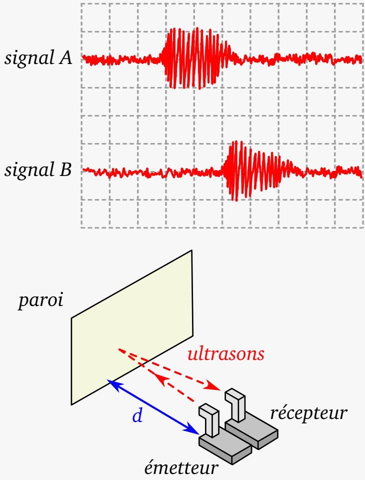


Figure 9

Correction

a. Une onde ultrasonore est une onde acoustique, une modification de la pression dans la matière (solide, liquide ou gaz) qui se propage, elle est donc une onde mécanique car elle a besoin d'un milieu matériel.
b. A est le signal de l'émetteur, B est le signal du récepteur.
c. On voit que le retard correspond à 2 divisions horizontales, donc

$$\Delta t = 2\, div \times 1.0\, ms/div = 2\, ms$$

d. L'onde fait l'aller puis le retour entre les émetteurs/récepteurs et le mur. La distance totale parcourue est donc $2 \times d$ pour une durée Δt à la vitesse du son v. On peut donc écrire

$$2 \times d = v \times \Delta t$$

et en isolant la distance émetteur au mur

$$d = \frac{v \times \Delta t}{2} = \frac{340 \times 0.002}{2} = 0.34\, m$$

e. Une application possible de la mesure du temps de vol des ultrasons est la mesure de distance entre la source d'ultra son, et un objet

- le sonar dans la marine (pêche, océanographie, lutte anti sous marin)
- télémètre à ultrason (architecture, travaux publics)
- radar de recul des voitures (télémètres à ultrason)
- robotique, mesures de distances (drones, aspirateurs automatiques)

Exercice 15

Énoncé

D'après Hachette 2019.
Un vibreur de fréquence $25\ Hz$ provoque des ondes qui se propagent à la surface d'une cuve à eau. La distance d entre onze lignes de crête consécutives est $10.1\ cm$.

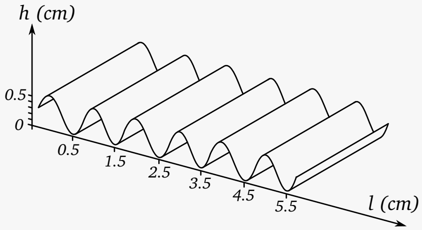


Figure *10*

a. Quel est l'intérêt de mesurer la distance entre le plus grand nombre possible de crêtes pour déterminer λ ?

b. Quelle est la longueur d'onde λ de l'onde se propageant à la surface de l'eau ?

c. À l'instant pris comme origine des temps, la surface de l'eau a l'allure suivante représentée sur la figure 10. Retrouver sur ce graphique la longueur d'onde.

d. Quelle est l'amplitude de l'onde ?

e. Représenter l'aspect de la surface de l'eau en coupe, à $t_1 = 0.040\ s$ et $t_2 = 0.060\ s$.

f. Calculer la célérité de cette onde.

g. La hauteur h de l'eau dans la cuve est augmentée, la longueur d'onde λ' est alors égale à $1.2\ cm$ alors que la fréquence ne change pas. En déduire l'effet de la profondeur de l'eau dans la cuve à onde sur la célérité.

Correction

a. En prenant plusieurs périodes, on améliore la précision de mesure car on calcule en fait une moyenne.
b. Entre 11 crêtes, il y a 10 vagues, donc $10 \times \lambda = 10.1\ cm$ donc $\lambda = 1.01\ cm$.
c. On observe qu'entre deux creux de vagues, il y a toujours $1.0\ cm$, c'est bien la longueur d'onde.
d. L'amplitude crête à crête est de $0.5\ cm$, donc l'amplitude est la moitié soit $0.25\ cm$.
e. LA fréquence $f = 25\ Hz$ donc $T = \frac{1}{25} = 0.040\ s$. La date $t_1 = 0.040\ s$ correspond donc à une période complète, on est en phase avec l'onde à la date initiale. La date t_2 correspond à 1.5 période, on est en opposition de phase par rapport à la date initiale. Voir figure 11.

f. $\lambda = v \times T$ donc $\lambda = \frac{v}{f}$, et on isole v

$$v = \lambda \times f = 1.01 \times 10^{-2} \times 25 = 0.25\ m.s^{-1}$$

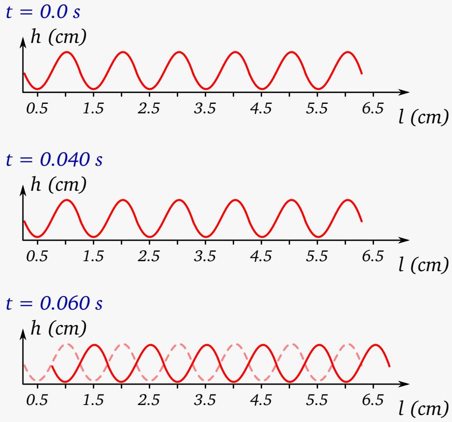


Figure *11*

g. Si la profondeur augmente, alors la célérité augmente et à fréquence constante, la longueur d'onde augmente.

Exercice 16

Énoncé

D'après Le Livre Scolaire 2019.

Au Far West un train démarre d'une gare située à $d = 6.5\ km$ de l'endroit où un indien pose son oreille sur le rail en acier.

a. Calculer le retard de l'onde sonore dans le rail, entre son émission et sa réception par l'oreille.

b. Calculer le retard de l'onde sonore dans l'air pour la même distance parcourue.

On donne les valeurs des vitesses du son

- dans l'air $v = 340\ m.s^{-1}$
- dans l'acier $v = 5600\ m.s^{-1}$

Correction

a. D’après la définition d’une vitesse $v = \frac{d}{\Delta t}$ donc

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{6500\ m}{5600\ m.s^{-1}} = 1.16\ s$$

b.

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{6500\ m}{340\ m.s^{-1}} = 19\ s$$

Exercice 17

Énoncé

D'après Le Livre Scolaire 2019.

Un tsunami est une série de vagues produites à la suite d'un séisme en pleine mer. L'énergie transportée par ces vagues met en danger les habitants et les constructions du littoral. Bien que la célérité de ces vagues décroît lorsqu'elles approchent du rivage, en raison de la profondeur qui diminue, on estime se célérité moyenne à $240\ km.h^{-1}$.

Combien de temps ont les habitants du rivage pour évacuer en prévention d'un tsunami, si celui-ci prend naissance à
$d = 38\ km$ au large ?

Exprimer le résultat en heures puis en minutes.

Correction

$v = 240\ km.h^{-1}$ et $d = 38\ km$. On calcule la durée du parcours

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{d}{v} \\ &= \frac{38\ km}{240\ km.h^{-1}} \\ &= 0.128\ h \\ &= 0.128 \times 60\ \textit{minutes} \\ &= 9.5\ \textit{minutes} \\ &= 9\ min\ 30\ s\end{aligned}$$