EXERCICES - CORRECTION

EXERCICES D'AUTOMATISATION

Ex 1 – Cinq minutes chrono !!

Recopier en compléter avec un ou plusieurs mots.

1. Une .... est une déformation temporaire et locale de la matière.
2. Il y a .... d'une onde lorsqu'il y a transmission d'une perturbation de proche en proche.
3. Une onde progressive se propage sans transport de .... mais avec transfert d'........ .
4. Lorsque la direction du déplacement d'un point M du milieu au passage de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation, l'onde est ....
5. Lorsqu'une perturbation se propage le long d'une corde en atteignant successivement M et M', la durée mise par l'onde pour parcourir la distance *MM'* est appelée ....
6. La vitesse de propagation d'une onde est appelée ....

Indiquer la réponse exacte.

7. Une onde mécanique progressive transporte :
a. de la matière. b. de l'énergie.
c. de la matière et de l'énergie.
8. Une onde mécanique progressive peut se propager dans 2 dimensions :
a. le long d'une corde. b. à la surface de l'eau.
c. dans la croûte terrestre.
9. La célérité *v* d'une onde mécanique progressive à une dimension s'écrit en fonction de la distance *d* séparant 2 points du milieu et du retard τ entre ces deux points :
a. $v=\frac{d}{\tau}$. b. $v=d\times\tau$. c. $v=\frac{\tau}{d}$.
10. Les ultrasons se propagent :
a. dans le vide.
b. plus vite dans l'eau que dans l'air.
c. avec la même célérité dans tous les solides.

Dans l'ordre : perturbation/propagation/matière/énergie/transversale/retard/célérité/b/b/a/b

Ex 2 – Exemples d'ondes

Parmi les exemples suivants, identifier l'intrus et justifier : les ultrasons - les vagues - la lumière - les spires d'un ressort tendu puis relâché.

L'intruse est la lumière : en effet, c'est la seule qui ne représente pas une onde mécanique. Elle est la seule à ne pas nécessiter de milieu de propagation.

Ex 3 – Distance

Calculer la distance parcourue en 34 min par une onde si sa célérité est $v = 2{,}7\ m\cdot s^{-1}$

À partir de la formule de la célérité : $v=\dfrac{d}{\Delta t}$ alors $d = v\times\Delta t$ avec
d = 34 min = 34 × 60 = 2 040 s, donc $d = 2,7\times 2\ 040 = 5,5\times 10^3$ m.

Ex 4 – Retard

Une onde se déplace à la célérité $v = 4{,}5\ m\cdot s^{-1}$ dans un milieu. Calculer avec quel retard elle arrivera à 240 cm de sa source.

Le retard τ est défini comme la durée mise par l'onde pour parcourir la distance donnée.

$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{2,40}{4,5} = 5,3\times 10^{-1}\ \mathrm{s}$$

Ex 5 – Période et fréquence

Une onde sinusoïdale a pour longueur d'onde $\lambda = 3{,}0\ mm$. Sa célérité est $v = 2{,}5\times 10^{-6}\ m\cdot s^{-1}$. Calculer sa période puis sa fréquence.

- La période $T = \dfrac{\lambda}{v} = \dfrac{3,0\times 10^{-3}}{2,5\times 10^{-6}} = 1,2\times 10^3\ \mathrm{s}$
- La fréquence $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{1,2\times 10^3} = 8,3\times 10^{-4}\ \mathrm{Hz}$

Ex 6 – Longueur d'onde

Une onde sonore sinusoïdale a pour fréquence $f = 980\ Hz$. Sa célérité est $v = 340\ m \cdot s^{-1}$. Calculer sa longueur d'onde.

La relation qui lie les trois grandeurs est $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{980} = 0,347\ \mathrm{m}$

Ex 7 – Isolation phonique

1. Expliquer, en utilisant la notion d'énergie, pourquoi un bouchon en mousse placé dans l'oreille empêche les ondes sonores d'atteindre le tympan.
2. De la même façon, après en avoir recherché la définition expliquer le rôle des brise-lames à l'entrée des ports

1. L'énergie des ondes sonores est (en partie) absorbée par les bouchons. Ceux-ci, faits d'un matériau souple, utilisent cette énergie pour modifier leur structure (en se déformant microscopiquement), autant d'énergie sonore qui ne sera pas transmise à l'intérieur de l'oreille.
2. Un brise-lame est une construction, sur le littoral, visant à protéger de l'érosion et de la destruction ce qui se trouve derrière lui. À l'entrée d'un port, il permet d'absorber une partie de l'énergie des vagues pour protéger les bateaux et les pontons.

Ex 8 – Calcul de retard

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.

1. Calculer le retard de l'onde sonore dans le rail, entre son émission et sa réception par l'oreille.
2. Calculer le retard de l'onde sonore dans l'air pour la même distance parcourue

Données : Célérité du son dans l'acier du rail : $v_{acier} = 5600\ m \cdot s^{-1}$

1. Le retard correspond à la durée écoulée entre l'émission du son (à la gare, lorsque le train démarre) et la réception de celui-ci par l'oreille située à *d* = 6,5 km plus loin.

$$\tau_{\text{rail}} = \frac{d}{v_{\text{acier}}} = \frac{6,5 \times 10^3}{5\ 600} = 1,2\ \mathrm{s}$$

2. De la même façon, $\tau_{\text{air}} = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{6,5 \times 10^3}{340} = 19\ \mathrm{s}$

Remarque : le son ne sera sans doute pas entendu dans l'air du fait de l'atténuation liée à la dispersion de l'énergie.

Ex 9 – Célérité de l'onde dans un câble

Un câble de tyrolienne est tendu entre deux arbres d'un parcours d'accrobranche. On appuie brièvement sur le câble à l'une de ses extrémités. On observe alors une onde sous la forme d'une petite bosse qui se propage jusqu'à l'autre extrémité

1. Pourquoi peut-on dire que l'on a créé une perturbation ?
2. Le câble mesure $L = 19{,}8\ m$. L'onde la parcourt en 2,3 s selon la moyenne obtenue par tous ceux qui ont chronométré. Calculer sa célérité.
3. Combien de temps mettrait cette onde à parcourir une corde tendue dans des conditions identiques mais de longueur $L' = 47\ m$?

1. En appuyant sur le câble, on écarte celui-ci de sa position d'équilibre (sa position « standard ») en le déformant. On lui communique de l'énergie (potentielle élastique ici). C'est cet écart qui se déplace ensuite de proche en proche.

2. $v_{\text{onde}} = \frac{L}{\Delta t} = \frac{19,8}{2,3} = 8,6\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

3. $\Delta t = \frac{L'}{v_{\text{onde}}} = \frac{47}{8,6} = 5,5\ \mathrm{s}$

<u>Ex 10 – Evacuation du littoral</u>

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 se rapprochent du rivage, en raison de la profondeur qui diminue, on estime sa célérité moyenne à :

$v_{moy} = 240\ km \cdot h^{-1}$

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.

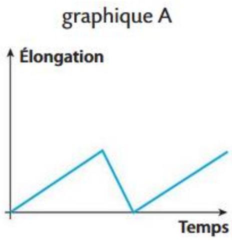
$$\Delta t = \frac{d}{v_{\text{vague}}} = \frac{38}{240} = 0,16 \text{ h} = 9 \text{ min } 30 \text{ sec}$$

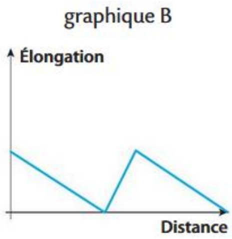
<u>Ex 11 – Distinguer des représentations</u>

Associer à chaque graphique sa représentation :

1. Représentation spatiale

2. Représentation temporelle





Le graphique A représente l'élongation en fonction du temps c'est donc une représentation temporelle.
Le graphique B représente l'élongation en fonction de la distance, il s'agit donc d'une représentation spatiale.

<u>Ex 12 – Reconnaitre un type de description</u>

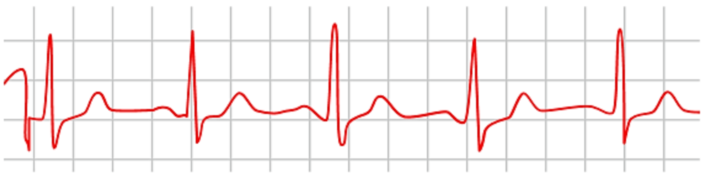
Indiquer si chacune des situations suivantes est une description spatiale ou temporelle.

a) Niveau de la mer qui monte et descend dans un port au rythme de la marée
b) Photographie de la mer sur laquelle on observe des vagues
c) Relevé des vibrations du sol obtenu par une station sismique

a. et c. Représentation temporelle ; b. représentation spatiale.
Justification :
a. Le niveau de l'eau change au cours du temps, au rythme des marées. Il s'agit d'une représentation temporelle.
b. La photographie représente le niveau de la mer à un instant donné, sur cette photographie on peut observer le niveau de la mer en divers points, il s'agit d'une représentation spatiale.
c. La station sismique est située à une position géographique précise et elle enregistre les vibrations du sol au cours du temps, elle fournit une représentation temporelle

<u>Ex 13 – Electrocardiogramme</u>

L'enregistrement sur papier d'un électrocardiogramme (ECG) donne la courbe ci-après :



1. À quel phénomène physiologique sont associés ces signaux ?
2. Ces signaux qui se propagent dans le corps sont-ils sonores, sismiques ou électriques ?
3. Pourquoi peut-on considérer qu'ils sont périodiques ?
4. Déterminer la période sachant qu'un grand carreau correspond à 250 ms horizontalement.
5. En déduire la fréquence cardiaque en hertz (Hz) puis en battements par minute (bpm).

1. Ces signaux sont associés aux battements du cœur.
2. Ce sont au départ des signaux électriques : des messages nerveux permettent la contraction du muscle cardiaque.
3. On peut considérer qu'ils sont périodiques parce que la forme des signaux est répétitive dans le temps (bien que l'on constate une légère différence : on devrait d'ailleurs plutôt les qualifier de « pseudo-périodiques »).

4. On compte 14,5 carreaux pour 4 périodes ; on obtient donc : $T = \dfrac{14,5 \times 250 \times 10^{-3}}{4} = 0,91 \text{ s}$

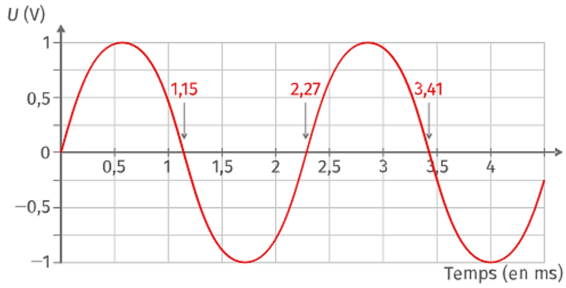
5. À partir de la période *T*, on déduit la fréquence tel que :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,91} = 1,1 \text{ Hz}$$

La fréquence étant le nombre de périodes par seconde, la valeur en bpm (battements par minute) est obtenu en multipliant la fréquence par soixante : $f = 60 \times 1,1 = 66 \text{ bpm}$.

<u>Ex 14 – Le diapason</u>

Un diapason permet de générer un son quasiment sinusoïdal. L'enregistrement à l'aide d'un micro donne la courbe suivante.



1. Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason. À quelle note correspond sa hauteur ?
2. Calculer sa longueur d'onde dans l'air

<u>Données</u> : Célérité du son dans l'air : $v_{air} = 340 \; m \cdot s^{-1}$

Note	Do3	Ré3	Mi3	Fa3	Sol3	La3	Si3
f (Hz)	262	294	330	349	392	440	494

1. La période se lit sur le graphique : $T = 2,27 \text{ ms} = 2,27 \times 10^{-3} \text{ s}$.

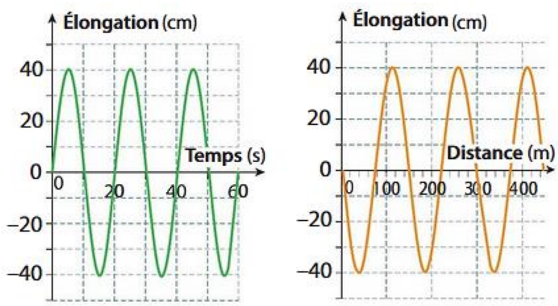
Donc $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2,27 \times 10^{-3}} = 440 \text{ Hz}$. D'après le tableau, cette note est un La3.

On pourra rappeler à cette occasion que l'analyse de la période et de la fréquence du son permet ainsi d'accorder les instruments de musique.

2. La longueur d'onde est donnée par : $\lambda = v_{\text{air}} \times T = 340 \times 2,27 \times 10^{-3} = 0,772 \text{ m} = 77,2 \text{ cm}$.

<u>Ex 15 – Exploiter la double périodicité</u>

Les deux graphiques ci-dessous correspondent à la même onde périodique :



1. Déterminer la période, la longueur d'onde et l'amplitude de cette onde
2. En déduire la célérité de cette onde

1. Le graphique de gauche représente l'élongation en fonction du temps. C'est une représentation temporelle. Sur ce graphique, on lit 3 *T* = 60 s. On en déduit la période *T* = 20 s.

Le graphique de droite représente l'élongation en fonction de la distance, c'est une représentation spatiale. Sur ce graphique, on lit 2λ = 300 m. On en déduit la longueur d'onde λ = 150 m. Sur les deux graphiques on observe que l'amplitude A = 40 cm.

2. $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{150}{20} = 7,5 \; m \cdot s^{-1}$

Ex 16 – Connaitre la double périodicité

1. Définir les grandeurs suivantes de façon indépendante l'une de l'autre :
   a) La période d'une onde périodique
   b) La longueur d'onde d'une onde périodique
2. Donner la relation entre ces grandeurs

1. a. La période d'une onde périodique, *T*, est la plus petite durée au bout de laquelle la perturbation se répète en un point donné.
b. La longueur d'onde d'une onde périodique, λ, est la plus petite distance mesurée suivant la direction de propagation qui sépare deux points du milieu dans le même état vibratoire en un instant donné.
2. $v = \frac{\lambda}{T}$ avec *v* en m·s^{-1} si λ est en m et *T* est en s.

Ex 17 – Calculer une période

Les données ci-dessous sont extraites d'un site internet donnant des informations sur les tsunamis :

	Pleine mer	Près des côtes
Profondeur	7 km	10 m
Célérité	943 km·h^{-1}	36 km·h^{-1}
Longueur d'onde	282 km	10,6 km
Hauteur de vague	5 cm	10 m

1. Calculer la période de chacune de ces ondes
2. Comparer ces périodes

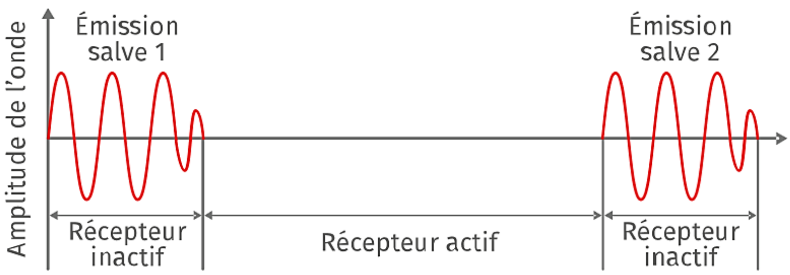
1. On a $v = \frac{\lambda}{T}$ donc $T = \frac{\lambda}{v}$ On en déduit : $T_{pleine\ mer} = \frac{282}{943} = 0{,}299\ h$ soit environ 18,0 min et $T_{près\ des\ cotes} = \frac{10{,}6}{36} =$ 0,29 h soit environ 18 min.
2. Ces deux périodes sont sensiblement égales

EXERCICES D'ANALYSE

Ex 18 – Le radar de recul

En marche arrière, le radar de recul d'une voiture se met en marche automatiquement. Le capteur est situé sous le pare-chocs arrière du véhicule. Il a une portée minimale $d_{min} = 0{,}30\ m$ *d'après le constructeur : un obstacle situé à une distance du capteur inférieure à dmin ne peut pas être détecté. Il est constitué d'un matériau piézo-électrique utilisé à la fois en émetteur ou en récepteur. Il ne peut fonctionner en récepteur que lorsqu'il a fini de fonctionner en émetteur. C'est la raison pour laquelle l'appareil génère des salves ultrasonores de durée* $\Delta t_1 = 1{,}7\ ms$ *avec une périodicité* $T = 12\ ms$. *L'onde ultrasonore émise est réfléchie par l'obstacle éventuel, provoquant un écho.*

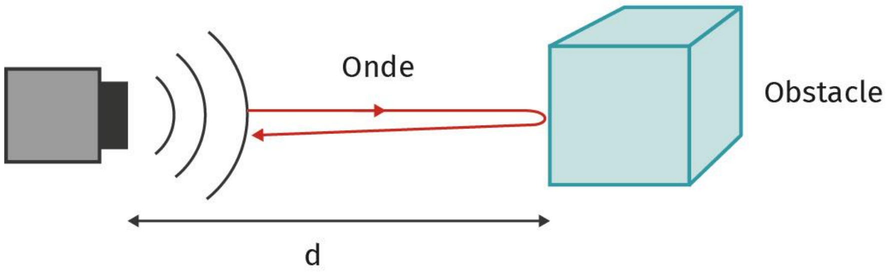
D'après sujet BAC 2015



1. Faire un schéma montrant le capteur, un obstacle et le trajet de l'onde ultrasonore.
2. Donner la relation entre la distance à l'obstacle d, la célérité des ultrasons v_{son} et la durée entre l'émission et la réception du signal Δt.
3. Vérifier que pour $d = d_{min}$, $\Delta t = \Delta t_1$
4. Pourquoi en dessous de d_{min}, la position de l'obstacle ne peut-elle pas être détectée correctement ?
5. Que faudrait-il modifier pour que cette distance minimale soit plus petite ?

<u>Données</u> : Célérité du son dans l'air à 20°C : $v_{air} = 340\ m \cdot s^{-1}$

1. Schéma de la situation :



2. La relation entre la distance à l'obstacle d, la célérité des ultrasons v_{air} et la durée entre l'émission et la réception Δt : $v_{\text{air}} = \dfrac{2d}{\Delta t}$.

3. Calcul de Δt pour $d = d_{\text{min}}$: $\Delta t = \dfrac{2d_{\text{min}}}{v_{\text{air}}} = \dfrac{2 \times 0,30}{340} = 1,8 \times 10^{-3}\ \text{s}$.
On est bien, aux chiffres significatif près, à la valeur de Δt_1.
4. En dessous de d_{min}, la valeur de Δt (durée pour l'aller-retour) sera inférieure à la durée de la salve. C'est-à-dire que la salve sera encore en cours d'émission quand son début sera déjà de retour. Comme l'émetteur ne peut être en même temps récepteur, le signal ne sera alors pas exploité.
5. Il faudrait diminuer la durée des salves (les « raccourcir »).

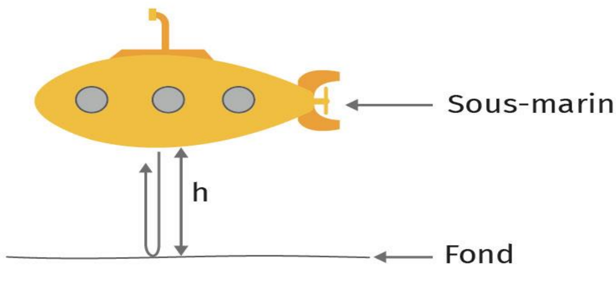
<u>**Ex 19 – Le sonar**</u>

Le sonar d'un sous-marin émet des ultrasons pour estimer, entre autres, la profondeur du fond marin. Il est aussi équipé d'un récepteur.

1. L'émetteur envoie des ultrasons vers le bas. Que se passe-t-il pour l'onde ultrasonore quand elle rencontre le fond ?
2. Schématiser le trajet de l'onde dans ce cas. On notera h la distance entre le sonar et le fond.
3. Il s'écoule la durée $\Delta t = 0{,}83\ s$ avant que le récepteur reçoive l'écho après l'émission. En déduire h.

<u>Données</u> : Célérité des ultrasons dans l'eau de mer : $v_{eau} = 1500\ m \cdot s^{-1}$

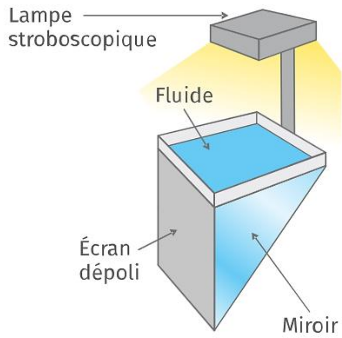
1. Quand elle rencontre le fond, l'onde ultrasonore est réfléchie : elle revient vers l'émetteur en faisant le parcours inverse.
2. Schéma du trajet de l'onde lorsque l'émetteur envoie des ultrasons vers le bas :



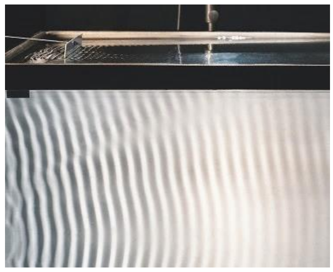
3. L'onde fait un aller-retour, soit 2 h, durant Δt.
$v_{eau} = \dfrac{2h}{\Delta t}$ d'où $h = \dfrac{v_{\text{eau}} \times \Delta t}{2} = \dfrac{1\ 500 \times 0,83}{2} = 6,2 \times 10^2\ \text{m}$

$$= \frac{v_{\text{eau}} \times \Delta t}{2} = \frac{1\ 500 \times 0,83}{2} = 6,2 \times 10^2\ \text{m}$$

<u>Ex 20 – Des vagues en eau peu profondes</u>



La cuve à onde est une installation permettant d'étudier des ondes mécaniques en laboratoire. Elle permet de générer des vagues sinusoïdales à la surface d'une faible épaisseur d'eau et d'observer leur propagation. Un vibreur crée l'onde sinusoïdale ; la lumière émise par une lampe stroboscopique est envoyée, grâce à un miroir, sur un écran (voir schéma ci-contre). On observe sur l'écran une image contrastée : les zones sombres et claires traduisent les creux et les sommets des vagues successives. Le vibreur génère une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 25\ Hz$. Deux sommets consécutifs proches de la source sont séparés de 1,3 cm.



<u>Données :</u>

- *Dans le modèle de vague en eau peu profonde (hauteur d'eau h) la célérité des ondes peut être calculée par $v = \sqrt{g \times h}$*
- *Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$*

1. Calculer la célérité de l'onde.

2. Calculer la hauteur d'eau h à cet endroit de la cuve.

En périphérie de la cuve, deux sommets sont séparés de 1,0 cm.

3. Que peut-on en déduire sur la profondeur de l'eau ?

La longueur d'onde d'une série de vagues sinusoïdales est divisée par deux lorsqu'elle se rapproche du bord.

4. Montrer que c'est parce que la hauteur d'eau à cet endroit a été divisée par 4.

1. La célérité vaut $v_{\text{onde}} = \lambda \cdot f = 1{,}3 \times 10^{-2} \times 25 = 0{,}33$ m·s^{-1}.

2. D 'après les données, $v_{\text{onde}} = \sqrt{g \cdot h}$.

On isole $h = \dfrac{v_{\text{onde}}^2}{g} = \dfrac{0{,}33^2}{9{,}81} = 1{,}1 \times 10^{-2}$ m $= 1{,}1$ cm.

3. Si la longueur d'onde diminue, d'après la formule de la question **1.**, la célérité diminue aussi. Par conséquent h diminue d'après la relation $v = \sqrt{g \cdot h}$: la hauteur h est en effet proportionnelle à la célérité v_{onde} au carré. Si celle-ci diminue, h aussi. On peut faire le calcul, la nouvelle célérité vaut :

$v'_{\text{onde}} = \lambda \cdot f = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 25 = 0{,}25$ m·s^{-1}.

Donc $h' = \dfrac{v'^2_{\text{onde}}}{g} = \dfrac{0{,}25^2}{9{,}81} = 6{,}4 \times 10^{-3}$ m $= 6{,}4$ mm.

La profondeur est donc moins importante.

4. On suppose, par la suite, et comme le suggère l'énoncé, que la fréquence *f* de l'onde ne varie pas.

$v = \sqrt{g \times h}$ or $v = \lambda \times f$ donc $\lambda \times f = \sqrt{g \times h}$

Ce qui donne $\lambda^2 \times f^2 = g \times h$ d'où

D'où $h = \dfrac{\lambda^2 \times f^2}{g}$.

On calcule la nouvelle hauteur d'eau *h'* pour $\lambda = \dfrac{\lambda'}{2}$:

$$h' = \frac{\lambda^2 \times f^2}{g} = \frac{\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 \times f^2}{g} = \frac{\frac{\lambda}{4} \times f^2}{g} = \frac{1}{4} \times \frac{\lambda^2 \times f^2}{g} = \frac{1}{4} \times h.$$

Ex 21 – Une gouttière percée

Un jour de pluie, une flaque s'est formée au pied de l'immeuble. La gouttière qui se trouve au-dessus est percée. Des gouttes tombent régulièrement de la gouttière, à raison de 72 gouttes par minute. À chaque fois une petite vague circulaire est créée. Son diamètre grandit. Entre deux vagues successives on mesure une distance d= 20 cm.

1. Une onde **mécanique progressive périodique** est créée. Justifier chaque terme en caractères gras
2. Calculer la fréquence de l'onde en hertz.
3. En déduire sa période en seconde
4. Quelle distance a parcouru une vague avant que la suivante prenne naissance ?
5. Quelle durée s'est alors écoulée ?
6. En déduire la célérité de l'onde

1. L'onde est **mécanique progressive** parce qu'il s'agit d'une perturbation qui se propage : les cercles sont de plus en plus grands. Elle est également périodique puisqu'une nouvelle onde est créée à chaque fois qu'une goutte tombe, c'est-à-dire à un intervalle de temps régulier qui définit une période.
2. La fréquence correspond au nombre de phénomènes qui se produisent chaque seconde. Ici 72 gouttes tombent par minute, donc 60 fois moins en une seconde.

Ainsi, $f = \frac{72}{60} = 1,2 \text{ Hz}$.

3. $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ s}$

4. D'après l'énoncé la distance vaut *d* = 20 cm. Cette distance est aussi la longueur d'onde λ.
5. Par définition il s'est écoulé une période *T*, soit 0,83 s.

6. La célérité vaut $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{20 \times 10^{-2}}{0,83} = 0,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 24 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ex 22 – Onde sur une corde

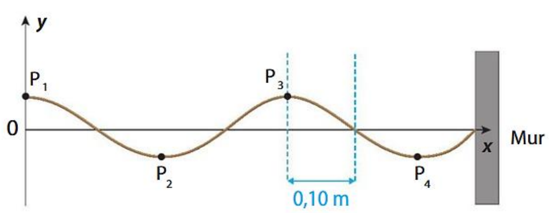
L'extrémité d'une corde est fixée à un mur, l'autre extrémité est agitée verticalement, sinusoïdalement, avec une période T de 250 ms.

1. Décrire le mouvement d'un point de la corde

Après 2,1 s, une perturbation a parcouru la distance d = 3,2 m.

2. Calculer la célérité v de l'onde

À l'instant t_1, l'aspect de la corde est le suivant :



a) Déterminer la longueur d'onde λ de l'onde sinusoïdale

3. b) En déduire la célérité v_1 de l'onde à l'instant t_1 et la comparer à la valeur v déterminée à la question 2.
4. Schématiser l'aspect de la corde à la date t_2, 125 ms après la date t_1

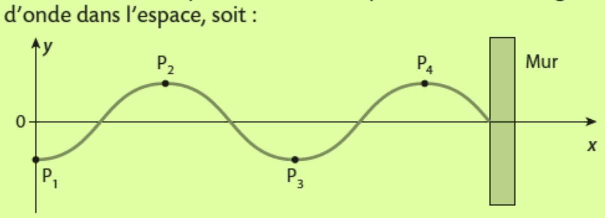
1. Chaque point de la corde effectue des oscillations verticales dont la période est T = 250 ms. Seul le point de fixation sur le mur reste immobile.

2. On a $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{3,2 \text{ m}}{2,1 \text{ s}} = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. a. On lit sur le graphique $\frac{\lambda}{4} = 0,10$ m donc $\lambda = 0,40$ m.

b. On a $v = \frac{\lambda}{T}$ donc $v_1 = \frac{0,40 \text{ m}}{250 \times 10^{-3} \text{ s}} = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
Les deux valeurs de vitesse obtenues sont proches.

4. On a $t_2 = t_1 + 125$ ms donc $t_2 = t_1 + \frac{T}{2}$ donc les signaux sont décalés d'une demi-période dans le temps et d'une demi longueur d'onde dans l'espace, soit :



Ex 23 – Ondes mécaniques en qcm

1. La célérité d'une onde s'exprime en :

a. joule.
b. mètre par seconde.
c. mètre.

2. La longueur d'onde d'une onde sinusoïdale :

a. est la distance parcourue pendant une période.
b. est la distance parcourue depuis la source.
c. est la distance parcourue avant disparition de l'onde.

3. L'onde sonore est une onde de pression. Cela signifie que :

a. un son n'est créé que par pression sur un objet.
b. la grandeur physique perturbée est la pression.
c. les sons ne se propagent que dans l'atmosphère.

4. Si on absorbe l'énergie d'une onde :

a. elle fait demi-tour (réflexion).
b. elle en retrouve immédiatement après.
c. elle disparaît.

5. La double périodicité fait référence à :

a. une onde sinusoïdale.
b. une onde avec deux perturbations successives.
c. une onde qui peut se propager dans deux sens.

6. Le retard :

a. est fixe dans un milieu donné.
b. diminue avec le temps.
c. augmente si on est plus éloigné de la source.

7. Une onde est mécanique :

a. parce qu'on la voit.
b. parce qu'elle nécessite un milieu pour se propager.
c. parce qu'elle a une célérité

1. La célérité d'une onde s'exprime en :
b. mètre par seconde.

2. La longueur d'onde d'une onde sinusoïdale :
a. est la distance parcourue pendant une période.

3. L'onde sonore est une onde de pression. Cela signifie que :
b. la grandeur physique perturbée est la pression.

4. Si on absorbe l'énergie d'une onde :
c. elle disparaît.

5. La double périodicité fait référence à :
a. une onde sinusoïdale.

6. Le retard :
c. augmente si on est plus éloigné de la source.

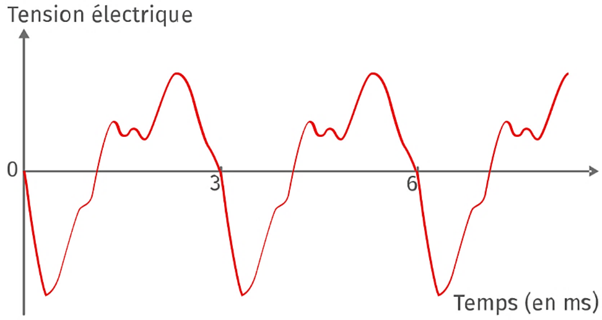
7. Une onde est mécanique :
b. parce qu'elle nécessite un milieu pour se propager.

Ex 24 – La corde de guitare

La célérité v de l'onde le long d'une corde tendue dépend de sa tension T (exprimée en N) et de sa masse par unité de longueur μ (appelée masse linéique, en kg·m^{-1}). Le lien entre ces grandeurs s'exprime par la relation : $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

1. Calculer la masse linéique d'une corde de guitare de longueur $L = 85\ cm$, et de masse $m = 0{,}52\ g$
2. Calculer la célérité de l'onde qui se propage quand on pince la corde, sachant que la tension est de 102 N.

L'enregistrement du son émis par cette corde donne la courbe ci-dessous.



3. Déterminer la période puis la fréquence de l'onde sonore.
4. Augmenter la tension d'une corde, les autres paramètres restant inchangés, augmente la fréquence du son. Faut-il tendre ou détendre la corde pour obtenir un son de fréquence 300 Hz ?

1. Application de la définition : $\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,52 \times 10^{-3}}{85 \times 10^{-2}} = 6,1 \times 10^{-4}\ \mathrm{kg \cdot m^{-1}}$.

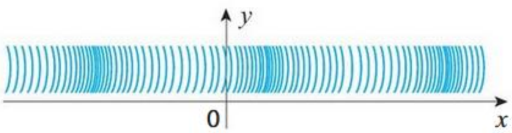
2. On a alors $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{102}{6,1 \times 10^{-4}}} = 4,1 \times 10^{2}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

3. On lit T = 3,0 ms sur le graphique. On en déduit $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3,0 \times 10^{-3}} = 330\ \mathrm{Hz}$

4. On cherche à atteindre une fréquence plus basse, il faudra donc détendre la corde

<u>Ex 25 – Ressort</u>

Un ressort est soumis à une déformation périodique, sinusoïdale.

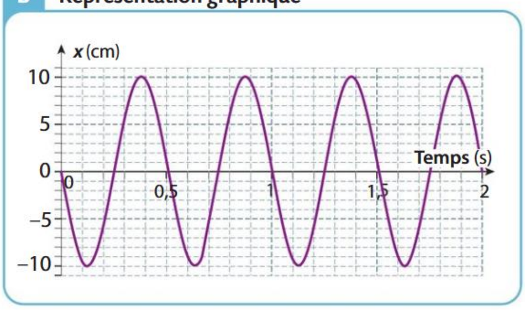


On filme la propagation des ces ondes périodiques le long du ressort. Après analyse du pointage vidéo du déplacement d'un point du ressort au cours du temps, on dispose dans un tableur d'une série de valeurs. x est l'élongation d'un point du ressort.

A Tableau

t (s)	x (cm)
0	
0,1	– 9,5
0,2	
0,3	5,9
0,4	

B Représentation graphique



Le déplacement, autour de sa position initiale d'un point P du ressort est repéré par son élongation x en fonction du temps : $x(t) = A \times \cos\left(\frac{2\times\pi}{T} \times t + \Phi\right)$. *Avec A : l'amplitude ; T : la période ; et Φ : phase à l'origine (cad quand t=0). Indice : sur le graphique on voit que lorsque t=0, x(t=0) = 0*

1. Choisir les bonnes affirmations
   1. Le point du ressort se déplace de 10 cm autour de sa position de d'équilibre (repos)
   2. Le point du ressort se déplace de 20 cm autour de sa position de d'équilibre (repos)
   3. $x(t) = 5 \times \cos\left(\frac{2\times\pi}{1} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$
   4. $x(t) = 10 \times \cos\left(\frac{2\times\pi}{1} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$

5. $x(t) = 10 \times \cos\left(\frac{2\times\pi}{0{,}5} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$

2. Compléter les cases vides du tableau en utilisant l'expression correcte de x(t)
3. Vérifier que les points appartiennent à la courbe du graphique

1. L'affirmation A est correcte car on constate sur le graphique que l'amplitude est égale à 10 cm.
L'affirmation E est correcte car on constate sur le graphique que la période est 0,5 s.
2. a. On calcule $x(0) = 0$ cm ; $x(0{,}2) = -5{,}9$ cm et $x(0{,}4) = 9{,}5$ cm.
b. Ces points appartiennent bien à la courbe.

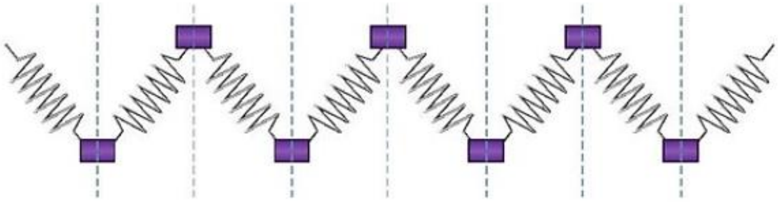
Ex 26 – Modélisation d'une propagation

On peut modéliser la propagation d'une perturbation en découpant en tranches identiques le milieu dans lequel cette perturbation se propage. Ces tranches peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres. On fait correspondre à chaque tranche une masse et un ressort. Les diverses associations forment une chaîne.

Deux modèles sont possibles :

- *Dans le modèle 1, les masses se déplacent dans la direction de la chaîne*

- *Dans le modèle 2, les masses se déplacent dans une direction perpendiculaire à la direction de la chaîne.*



1. Associer à chacune des ondes ci-dessous le modèle qui lui correspond. Préciser si c'est une onde transversale ou longitudinale
– Houle à la surface de l'eau ;
– Son dans l'air.
2. À partir de ces modèles, expliquer la propagation de chacune de ces ondes.
3. Quelle est la propriété du milieu matériel modélisé par les ressorts ?

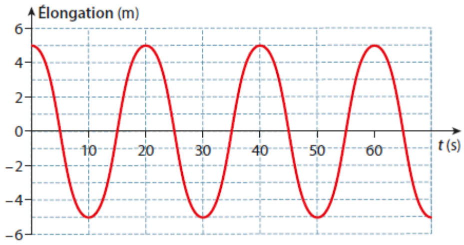
1. La houle à la surface de l'eau correspond à une élongation perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, la surface de l'eau : modèle 2.
Le son dans l'air correspond à une variation de pression dans la direction de propagation de l'onde : modèle 1.
2. Les molécules d'eau transmettent de proche en proche leur mouvement vertical ; les molécules d'air leur déplacement dans la direction de la chaine.
Complément : Modèle 1 : écartée de sa position d'équilibre une molécule se retrouve plus proche de certaines de ces voisines et plus éloignée d'autres. Les interactions entre molécules sont modifiées et provoquent le déplacement des molécules proches dans la direction de la chaine.
Modèle 2 : écartée de sa position d'équilibre une molécule se retrouve plus éloignée des molécules voisines. Les interactions entre molécules sont modifiées et provoquent le déplacement des molécules proches dans une direction perpendiculaire à la direction de la chaine.
3. Les ressorts permettent de modéliser l'élasticité du milieu.

Ex 27 – Propagation de la houle

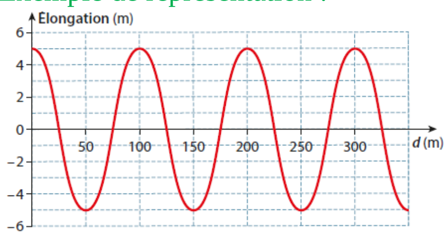
Une houle de 10 m de hauteur a une période T de 20 s et une longueur d'onde λ de 100 m. La hauteur de la houle est la dénivellation entre une crête et un creux

1. Quelle est l'amplitude de cette houle ?
2. Donner la représentation temporelle de l'élongation d'un point M de la surface de l'eau, l'onde étant supposée sinusoïdale
3. Donner une représentation spatiale de la surface de l'eau à un instant t
4. Calculer la célérité de cette houle

1. D'après le texte, la hauteur de la houle est la dénivellation entre une crête et un creux.
L'amplitude de la houle est donc égale à la moitié de sa hauteur c'est-à-dire 10/2 = 5,0 m.
2. La représentation temporelle d'un point M de la surface de l'eau est une sinusoïde d'amplitude 5,0 m et de période 20 s.
Exemple de représentation :



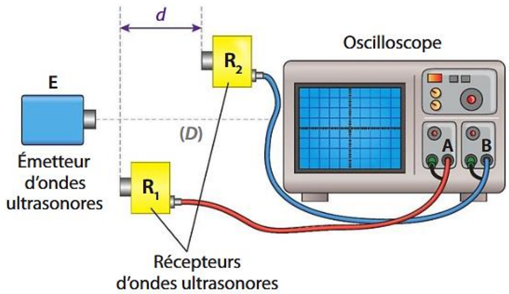
3. La représentation spatiale de la surface de l'eau à un instant t est une sinusoïde d'amplitude 5,0 m et de longueur d'onde 100 m.
Exemple de représentation :



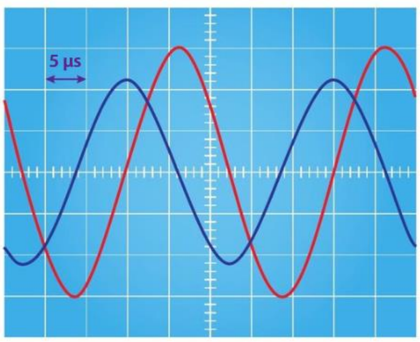
4. On a $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{100}{20} = 5{,}0\ m.s^{-1}$
La célérité de cette houle est égale à 5,0 $m{\cdot}s^{-1}$.

Ex 28 – Célérité d'une onde ultrasonore

On souhaite connaître la célérité d'une onde ultrasonore qui se propage dans l'air. On réalise le montage ci-contre :



Pour une certaine position des récepteurs, on obtient l'oscillogramme suivant :



Les sensibilités verticales des deux voies de l'oscilloscope sont identiques. La courbe rouge correspond au signal du récepteur R_1 et la courbe bleue à celui du récepteur R_2.
Lorsque les récepteurs sont à égale distance de l'émetteur, les courbes sont confondues. Le récepteur R_1 restant fixe, on éloigne le récepteur R_2 le long de l'axe (D) en comptant le nombre de fois où les abscisses des maximas sont confondues. Lorsque la distance d est égale à 8,5 cm, les abscisses des maximas se sont retrouvées confondues 10 autres fois

Question : Calculer la célérité v de l'onde ultrasonore dans l'air
Sur l'oscillogramme, on mesure qu'une période des ondes ultrasonores correspond à 5,0 divisions et qu'une division correspond à 5 µs.
On a donc T = 5,0 × 5 µs = 25 µs = 25 × 10^{-6} s.
La distance d correspond à 10 longueurs d'onde puisque les maximas des deux courbes se sont retrouvés confondus 10 autres fois. On a donc λ = d/10= 8,5/10= 0,85 cm = 8,5 × 10^{-3} m.
$v = \frac{\lambda}{T}$ donc v = 8,5 × 10^{-3} / (25 × 10^{-6}) = 340 m·s–1.
La célérité de l'onde ultrasonore dans l'air est 340 $m{\cdot}s^{-1}$.

Ex 29 – Simulation de la propagation d'une onde

Le programme Python téléchargeable ci-dessous permet de simuler la propagation d'une onde mécanique périodique
https://lycee.hachette-education.com/ressources/0002017102120/C15_EX28_Python_fichiers-eleve.zip

1. Le lancer en renseignant une fréquence de 4 Hz, une célérité de 5 $m \cdot s^{-1}$ et une amplitude de 6 m
2. a) Après avoir cliqué sur l'animation pour la mettre en pause, identifier le type de représentation de l'onde qui s'affiche
2. b) Vérifier que la longueur d'onde de l'onde est bien en accord avec les paramètres saisis à la question 1
3. Indiquer les modifications à apporter pour que le programme demande directement à l'utilisateur la période de l'onde dont on souhaite simuler la propagation.

Remarques sur le code :

• Cet exercice permet de traiter la capacité exigible du programme : « Capacité numérique : Simuler à l'aide d'un langage de programmation, la propagation d'une onde périodique. »

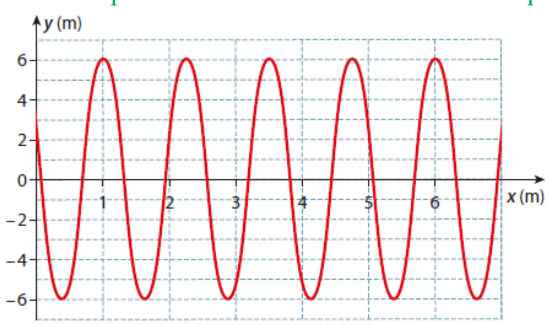
• Le but n'est pas de vous faire comprendre la totalité du code car sa compréhension n'est pas du niveau de ce qui peut être attendu pour un élève de 1re. Il s'agit l'illustrer la propagation, et de vous amener à manipuler une simulation pour en extraire des informations

Code utilisé :

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation

dt = 0.01
nbx = 200

f=float(input("Indiquer la fréquence de l'onde en hertz :"))
c=float(input("Indiquer la célérité de l'onde en m/s :"))
A=float(input("Indiquer l'amplitude de l'onde en mètre :"))

xmin = 0
xmax = 5*c/f
x = np.linspace(xmin, xmax, nbx)
pause=True

def onClick(event):
global pause
if pause:
ani.event_source.stop()
pause = False
else:
ani.event_source.start()
pause = True

def animate(i):
t = i * dt
time_text.set_text(time_template%(t))
y =A* np.sin(2*np.pi*f*t - 2*np.pi*f*x/c)
line.set_data(x, y)
return line, time_text

fig = plt.figure() # initialise la figure
line, = plt.plot([],[])

# crée l'arrière de l'animation qui sera présent sur chaque image

plt.grid(which="major",linestyle='-',linewidth=1, color='black')
plt.grid(which="minor",linestyle='--')
ax=plt.gca()
ax.minorticks_on()

plt.xlabel("x(m)")
plt.ylabel("y(m)")
plt.xlim(xmin, xmax)
plt.ylim(-1.5*A,1.5*A)

time_template = 'Time = %.1f s'
time_text = ax.text(0.05, 0.9, '',transform=ax.transAxes)
fig.canvas.mpl_connect('button_press_event', onClick)
ani = animation.FuncAnimation(fig,animate, frames=1000, interval=20,repeat=False)
plt.show()
```

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation

 dt = 0.01
 nbx = 200

 f=float(input("Indiquer la fréquence de l'onde en hertz :"))
 c=float(input("Indiquer la célérité de l'onde en m/s :"))
 A=float(input("Indiquer l'amplitude de l'onde en mètre :"))

 xmin = 0
 xmax = 5*c/f
 x = np.linspace(xmin, xmax, nbx)
 pause=True

 def onClick(event):
     global pause
 if pause:
         ani.event_source.stop()
         pause = False
 else:
         ani.event_source.start()
         pause = True

 def animate(i):
     t = i * dt
 time_text.set_text(time_template%(t))
     y =A* np.sin(2*np.pi*f*t - 2*np..pi*f*x/c)
line.set_data(x, y)
return line, time_text

 fig = plt.figure() # initialise la figure
 line, = plt.plot([],[])

 # crée l'arrière de l'animation qui sera présent sur chaque image

 plt.grid(which="major",linestyle='-', linewidth=1, color='black')
 plt.grid(which="minor",linestyle='--')
 ax=plt.gca()
 ax.minorticks_on()

 plt.xlabel("x(m)")
 plt.ylabel("y(m)")
 plt.xlim(xmin, xmax)
 plt.ylim(-1.5*A,1.5*A)

 time_template = 'Time = %.1f s'
 time_text = ax.text(0.05, 0.9, '', transform=ax.transAxes)
 fig.canvas.mpl_connect('button_press_event', onClick)
 ani = animation.FuncAnimation(fig, animate, frames=1000, interval=20, repeat=False)
 plt.show()
```

1. Exemple de courbe obtenue avec une fréquence de 4 Hz, une célérité de 5 $m{\cdot}s^{-1}$ et une amplitude de 6 m.



2. a. La courbe obtenue est la représentation de y, en mètre, en fonction de x, en mètre. Il s'agit d'une représentation spatiale.

b. On a $v = \frac{\lambda}{T}$ donc $\lambda = v \times T = v \times \frac{1}{f}$ Soit λ =1,25 m (ou 1 m en ne conservant qu'un seul chiffre significatif).

Sur l'image on lit 4λ = 6 m – 1 m = 5 m. On en déduit λ = 1,25 m.
La longueur d'onde de l'onde représentée est bien en accord avec les paramètres saisis à la question 1.
3. Pour que le programme demande directement la période de l'onde il faut modifier la ligne :

```
f=float(input("Indiquer la fréquence de
l'onde en hertz :"))
pour écrire à la place :
T=float(input("Indiquer la période de l'onde
en seconde :"))
```

De plus, il faut modifier les lignes du programme qui font appel à la fréquence :

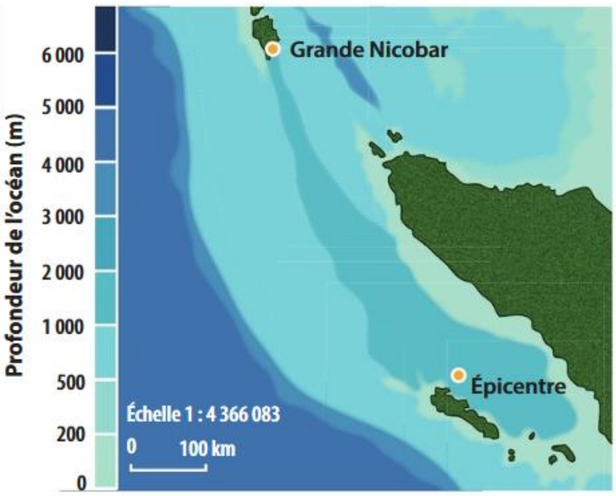
```
xmax = 5*c/f
devient
xmax = 5*c*T
et
y =A* np.sin(2*np.pi*f*t - 2*np.pi*f*x/c)
devient
y =A* np.sin(2*np.pi/T*t -- 2*np.pi/T*x/c)
```

<u>Ex 30 – Séisme en Indonésie</u>

De combien de temps les habitants de l'île de Grande Nicobar auraient-ils disposé pour se mettre à l'abri s'ils avaient été prévenus dès l'instant où le séisme s'est produit ?

A Séisme en Indonésie le 26 décembre 2004

Le 26 décembre 2004, à la suite d'un tremblement de terre dans le centre de l'Indonésie, une vague s'est abattue sur l'île de Grande Nicobar.
Le foyer du séisme a été localisé à 30 km de profondeur, au sud de Grande Nicobar. L'épicentre est représenté sur la carte ci-dessous.



B Tsunami

Un tsunami est une onde produite par le brusque déplacement d'un volume très important d'eau, résultant en général, d'un séisme. Le brusque mouvement d'eau donne naissance à une série d'ondes, de très grandes longueurs d'onde, de l'ordre de la centaine de kilomètres.

C Célérité des ondes de surface

On peut classer les ondes de surface, suivant leurs caractéristiques et celles du milieu de propagation. Deux types d'ondes sont présentés ci-dessous :

– **Ondes courtes** : lorsque la longueur d'onde λ est faible par rapport à la profondeur locale *h* de l'océan (au moins λ , 0,5 *h*).
Leur célérité v est donnée par : $v = \sqrt{\dfrac{g \times \lambda}{2\pi}}$

– **Ondes longues** : lorsque la longueur d'onde λ est très grande par rapport à la profondeur *h* de l'océan (λ . 10 *h*), les ondes sont appelées des ondes longues. Leur célérité *v* est définie par : $v = \sqrt{g \times h}$.

Donnée
• $g = 9{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Tout d'abord, d'après le document A, en tenant compte de l'échelle, la distance qui sépare l'île de l'épicentre est environ 500 km. Le tsunami parcourt environ 250 km sur des fonds dont la profondeur est de l'ordre de 2 000 m puis environ 250 km sur des fonds dont la profondeur est de l'ordre de 1 000 m.
La durée Δt_1 mise par le tsunami pour parcourir 250 km pour une profondeur h_1 = 2 000 m a pour expression :

$$\Delta t_1 = \frac{d}{v} = \frac{d}{\sqrt{g \times h_1}}.$$

De même, la durée Δt_2 mise par le tsunami pour parcourir 250 km pour une profondeur h2 = 1 000 m a pour expression :

$$\Delta t_2 = \frac{d}{v} = \frac{d}{\sqrt{g \times h_2}}.$$

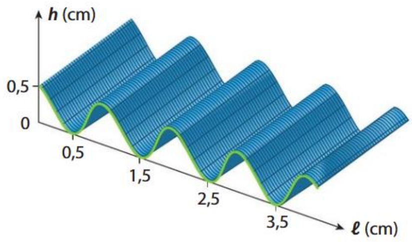
La durée totale $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{250 \times 10^3 \text{ m}}{\sqrt{9{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 2\,000 \text{ m}}}$

= 4,3 × 103 s soit environ une heure et douze minutes.
Les habitants de l'île de Grande Nicobar ont environ une heure douze minutes pour se mettre à l'abri, s'ils sont prévenus immédiatement.
Mais la détermination de la profondeur des océans sur la carte est imprécise et elle a une influence sur la célérité et donc sur la durée de propagation de l'onde. La durée déterminée est donc peu précise.

Ex 31 – La propagation d'une onde

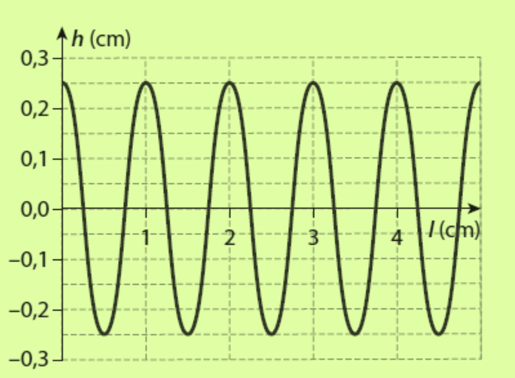
Un vibreur de fréquence 25 Hz provoque des ondes qui se propagent à la surface d'une cuve à eau. La distance d, entre onze lignes de crête consécutives est 10,1 cm.

1. Quel est l'intérêt de mesurer la distance entre le plus grand nombre possible de crêtes pour déterminer λ ?
2. Quelle est la longueur d'onde λ de l'onde se propageant à la surface de l'eau ?
3. À l'instant pris comme origine des temps, la surface de l'eau à l'allure suivante représentée en 3D :

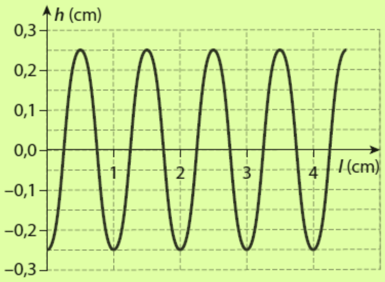


   a) Retrouver, sur ce graphique, la longueur d'onde.
   b) Quelle est l'amplitude de l'onde ?
4. Représenter l'aspect (profil vert) de la surface de l'eau en coupe à t_1 = 0,040 s et t_2 = 0,060 s.
5. Calculer la célérité v de cette onde.
6. La hauteur h de l'eau dans la cuve est augmentée, la longueur 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

1. La mesure de la distance entre le plus grand nombre possible de crêtes permet d'augmenter la précision de la mesure.
2. La distance mesurée *d* est la distance entre 11 lignes de crêtes consécutives, c'est-à-dire 10 longueurs d'onde.
On a donc $\lambda = \frac{d}{10} = \frac{10{,}1 \text{ cm}}{10} = 1{,}01$ cm.
La longueur d'onde λ de l'onde se propageant à la surface de l'eau est 1,01 cm.
3. a. Sur le graphique, 3 longueurs d'onde s'étendent sur 3,0 cm d'où λ = 1,0 cm.
b. Le niveau moyen de l'eau se situe à 0,25 cm. La hauteur maximale atteinte par la surface de l'eau est 0,50 cm ; l'amplitude est donc $A = 0{,}50 \text{ cm} - 0{,}25 \text{ cm} = 0{,}25$ cm.
4. Le vibreur a une fréquence de 25 Hz ; il en est de même de la fréquence des ondes à la surface de l'eau.
La période de ces ondes est donc $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25 \text{ Hz}} = 0{,}040$ s car 1 Hz = 1 s^{-1}.
À t_1 = 0,040 s, soit une période plus tard qu'à la date t = 0 s de la représentation donnée dans l'énoncé, l'onde a parcouru une distance égale à une longueur d'onde. L'aspect de la surface de l'eau est le même.



À $t_2 = 0{,}060$ s, soit une demi période plus tard qu'à la date t_1, l'onde a parcouru une distance égale à 0,5 longueur d'onde. L'aspect de la surface de l'eau est décalé d'une demi-longueur d'onde.



5. $v = \lambda \times f = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m} \times 25\ \text{s}^{-1} = 0{,}25\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
La célérité de l'onde est $0{,}25\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
6. La longueur d'onde λ' est plus élevée que λ, la fréquence de change pas.
Or $v' = \lambda' \times f$ donc $v' > v$.
Plus la hauteur d'eau dans la cuve augmente, plus la célérité augmente.

EXERCICES D'APPROFONDISSEMENT

Ex 32 – La propagation d'une onde

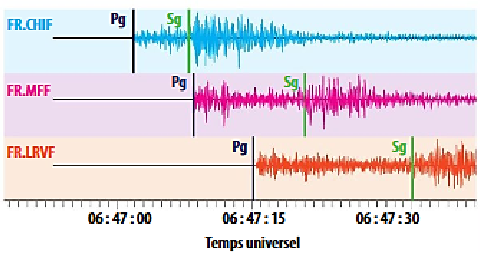
A Les ondes sismiques

Lors d'un séisme, des ondes naissent au foyer et traversent la Terre. Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismomètres. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont modifiées par les structures géologiques traversées. C'est pourquoi les signaux enregistrés sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure.

Parmi les ondes sismiques, on distingue :
– les ondes P qui sont des ondes de compression ; leur célérité v_P vaut en moyenne $v_P = 6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.
– les ondes S appelées ondes de cisaillement ; leur célérité v_S vaut en moyenne $v_S = 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

B Les courbes de sismographes

Les courbes ci-dessous ont été obtenues par trois sismographes. Les repères Pg et Sg correspondent respectivement à l'arrivée des ondes P et S sur le sismographe après leur propagation depuis le foyer.



1. Dans quel milieu matériel les ondes sismiques se propagent-elles ? Quelle propriété du milieu permet cette propagation ?

2. À partir des courbes B, recopier et compléter le tableau ci-dessous donnant les dates t_P et t_S d'arrivée des ondes P et S dans chaque station (arrondies à la seconde la plus proche).

Station	t_P	t_S	Différence $t_S - t_P$
FR.CHIF	06 h 47 min 02 s	06 h 47 min 08 s	6 s
FR.MFF	06 h 47 min 08 s	06 h 47 min 21 s	
FR.LRVF			

3. Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit et t_0 la date inconnue du séisme.
Exprimer la célérité notée v_S des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_S et t_0. Faire de même pour les ondes P avec la vitesse v_P et les dates t_p et t_0.

4. À partir de la réponse précédente, exprimer $t_S - t_0$ et $t_p - t_0$ puis l'expression $t_S - t_P$ en fonction de d, v_P et v_S.

5. En déduire l'expression de la distance d :
$$d = \frac{v_S \times v_P}{v_P - v_S} \times (t_S - t_P).$$

6. Calculer la valeur numérique de cette distance d pour chacune des stations.

7. Comment déterminer la position du foyer du séisme ?

8. Citer deux sources d'erreurs possibles lors de ces déterminations.

1. Les ondes sismiques se propagent dans la Terre. Grâce à l'élasticité du sol, la perturbation se transmet de proche en proche.
2. Le tableau est complété par lecture du doc. B :

Station	t_P	t_S	$t_S - t_P$
FR.CHIF	06 h 47 min 02 s	06 h 47 min 08 s	6 s
FR.MFF	06 h 47 min 08 s	06 h 47 min 21 s	13 s
FR.LRVF	6 h 47 min 15 s	6 h 47 min 33 s	18 s

3. $v_s = \dfrac{d}{t_S - t_0}$ et $v_P = \dfrac{d}{t_P - t_0}$.

4. $t_S - t_0 = \dfrac{d}{v_S}$ et $t_P - t_0 = \dfrac{d}{v_P}$.

Il vient $t_S - t_P = \dfrac{d}{v_S} - \dfrac{d}{v_P}$.

5. $t_S - t_P = d \times \left(\dfrac{1}{v_S} - \dfrac{1}{v_P}\right) = d \times \dfrac{v_P - v_S}{v_S \times v_P}$

D'où $d = \dfrac{v_P \times v_S}{v_P - v_S} \times (t_S - t_P)$.

6. Pour la station FR.CHIF,

$d_1 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 6\ \text{s} = 5 \times 10^1\ \text{km}$;

Pour la station FR.MMF,

$d_2 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 13\ \text{s} = 1{,}1 \times 10^2\ \text{km}$;

Pour la station FR.LRVF,

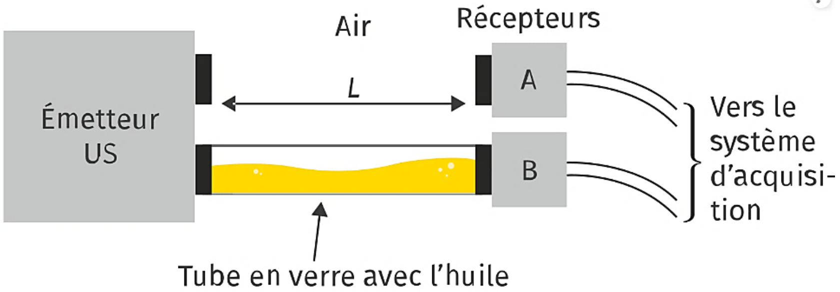
$d_3 = \dfrac{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} \times 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1} - 3{,}5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}} \times 18\ \text{s} = 1{,}5 \times 10^2\ \text{km}$.

7. On trace sur une carte, trois cercles à l'échelle centrés sur les trois stations de rayons respectifs d_1, d_2 et d_3. Le point d'intersection entre ces trois cercles correspond au foyer du séisme.

8. – La détermination de $t_S - t_P$ est approximative sur les courbes du sismographe et de ce fait la valeur de d calculée l'est aussi ;
– les valeurs des distances d sont calculées dans l'hypothèse où les ondes sismiques se propagent en ligne droite et à la surface de la Terre.

<u>Ex 33 – Mesure de la célérité d'une onde sonore</u>

La célérité du son dans une huile végétale dépend de sa pureté. Pour l'huile d'olive, la valeur notée v_{huile} se situe entre 1 595 et 1 600 m·s-1 quelle que soit sa provenance. Une valeur plus faible signifie que l'huile a été diluée, lui faisant perdre de ses qualités. Pour tester une huile d'olive au lycée, on utilise le montage suivant qui permet de comparer les durées de parcours d'une onde ultrasonore.



L'émetteur d'ultrasons génère simultanément deux salves, les récepteurs A et B sont reliés à une interface d'acquisition qui déclenche l'enregistrement des signaux dès que le récepteur B détecte des ultrasons. L'huile testée est disposée dans un tube en verre entre l'émetteur et le récepteur B, tandis que l'air sépare l'émetteur du récepteur A.

1. Pourquoi déclenche-t-on l'acquisition sur le récepteur B plutôt que sur le A ?

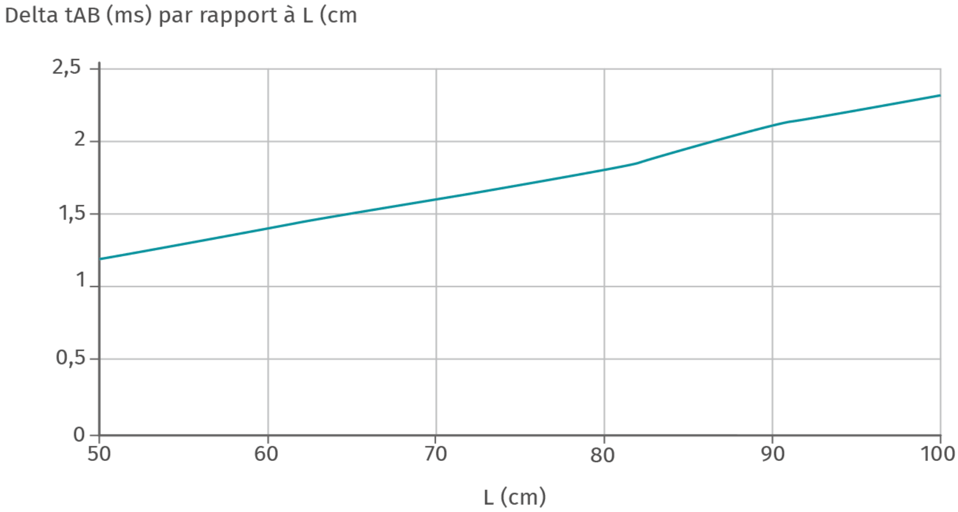
La durée écoulée entre les deux signaux reçus en A et B, notée Δt_{AB}, est mesurée en fonction de plusieurs valeurs de longueur du tube (notée L). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

L (cm)	50	60	70	80	90	100
Δt_{AB} (ms)	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3

2. Tracer la courbe $\Delta t_{AB}=f(L)$.
3. Exprimer Δt_{AB} en fonction de L, v_{air} et v_{huile} en exploitant les définitions de ces célérités
4. L'huile semble-t-elle être pure ? Justifier.

1. La célérité du son dans l'huile (1 600 m·s^{-1}) est plus élevée que la célérité du son dans l'air (340 m·s^{-1}). L'onde qui se propage dans le tube contenant l'huile arrivera donc la première, le récepteur B recevra le premier un signal. Le temps entre la détection de ce signal sur le récepteur B et la détection du signal sur le récepteur A correspond à l'écart que l'on cherche à mesurer.

2. Courbe obtenue :



3. La durée mise par l'onde pour aller de l'émetteur au point A, dans l'air, est : $t_{\text{air}} = \dfrac{L}{v_{\text{air}}}$. La durée pour aller de l'émetteur au point B, dans l'huile, se calcule tel que : $t_{huile} = \dfrac{L}{v_{\text{huile}}}$.

Δ_{AB} représente la durée écoulée entre les deux signaux, donc : $\Delta_{\text{AB}} = t_{\text{air}} - t_{\text{huile}} = \dfrac{L}{v_{\text{air}}} - \dfrac{L}{v_{\text{huile}}}$

$$= \left(\frac{1}{v_{air}} - \frac{1}{v_{huile}}\right) \times L$$

4. La relation entre Δ_{AB} et L est une fonction linéaire dont le coefficient directeur est $k = \left(\dfrac{1}{v_{air}} - \dfrac{1}{v_{huile}}\right)$

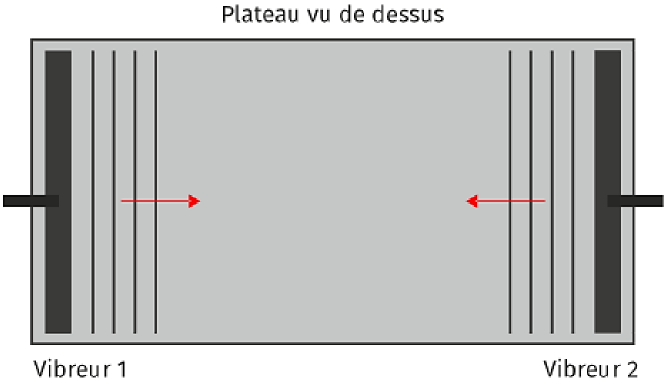
À partir de la courbe tracée en **2.**, presque linéaire, on peut déterminer graphiquement le coefficient directeur k correspondant aux valeurs expérimentales. $k = \dfrac{2,3 - 1,2}{100 - 50} = 2,2 \times 10^{-2}\ \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$.

$$k = \left(\frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{huile}}}\right) = \frac{340}{1 - 2,2 \times 10^{-3} \times 340} = 1\ 349\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Cette célérité est inférieure à l'intervalle de données correspondant à une huile pure. On peut donc affirmer qu'elle n'est pas pure mais diluée avec une autre huile.

Ex 34 – Superposition d'onde de surface

On équipe le plateau horizontal d'une cuve à ondes de deux sources d'ondes sinusoïdales synchronisées. Les vagues se propagent sur le plan du plateau. Les deux vibreurs créent simultanément des vagues identiques, à chaque extrémité. Les ondes sont périodiques et se déplacent parallèlement aux vibreurs, chacune dans un sens opposé.
La fréquence des vibreurs est f= 25 Hz, la célérité des ondes a pour valeur v= 50 cm·s^{-1}.



1. Que va-t-on observer lorsque les vagues vont se rencontrer ?
2. De quelle distance doit-on déplacer vers la gauche le vibreur 2, sans déplacer le vibreur 1, si l'on veut qu'au centre de la cuve il n'y ait jamais de vague ? Justifier la réponse en détaillant les étapes de la résolution

1. Les effets des vagues vont s'ajouter et les déformations vont s'additionner.

2. Les deux sources se situent aux deux extrémités et émettent des ondes (les vagues) de façon synchronisée. Ainsi, le centre de la cuve recevra à chaque instant deux vagues identiques : l'une venant de droite, l'autre venant de gauche.
La superposition de ces deux vagues, quel que soit l'instant, donnera un effet « double » par rapport à l'effet d'une seule vague.
Pour qu'il n'y ait pas de vague en ce point, il faut qu'à chaque instant les effets des deux vagues qui se rencontrent se compensent : lorsque celle de gauche est à son maximum, celle de droite doit être à son minimum.
Le maximum et le minimum de la vague est séparé d'une distance d'une demi-longueur d'onde, il faut donc décaler la source de droite (vibreur 2) de cette distance.

La longueur d'onde vaut : $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{50 \times 10^{-2}}{25} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ m} = 2,0 \text{ cm}$.

Il faut déplacer le vibreur 2 de $\frac{\lambda}{2} = 1,0 \text{ cm}$ vers la gauche.

Remarque : le point où il n'y aura pas de vague sera toujours le point central de la cuve, mais ne sera plus à égale distance des deux vibreurs.