

EXERCICES CHAPITRE 5 : ONDES

Exercice 1: Propagation d'ondes sismiques

Chaque jour, la Terre est secouée par des tremblements. Les plus importants engendrent des ondes sismiques qui se propagent sur de très grandes distances. Le 28 octobre 2017 à 19 h 06 min 125, en France, près de Tarbes, un tremblement de terre a été détecté immédiatement par une station très proche de l'épicentre. Il a ensuite été détecté à 19 h 07 min 34 s par une station en Italie située à 600 km du foyer du séisme.

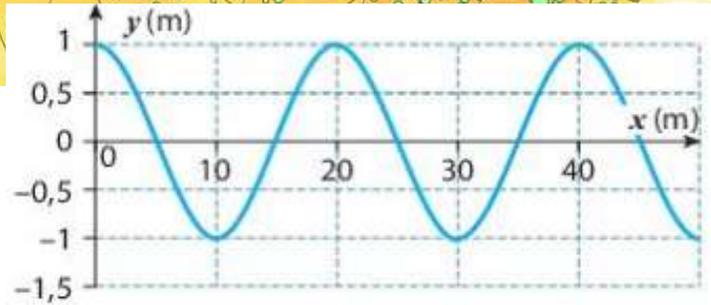
1. Expliquer la propagation des ondes sismiques.
2. Calculer la célérité de ces ondes.



Exercice 2: Propagation d'une houle

L'aspect simulé de la surface d'une eau a été représenté ci-contre.

1. Déterminer les caractéristiques de cette onde.
2. En déduire la célérité sachant que sa période T est 10 s.

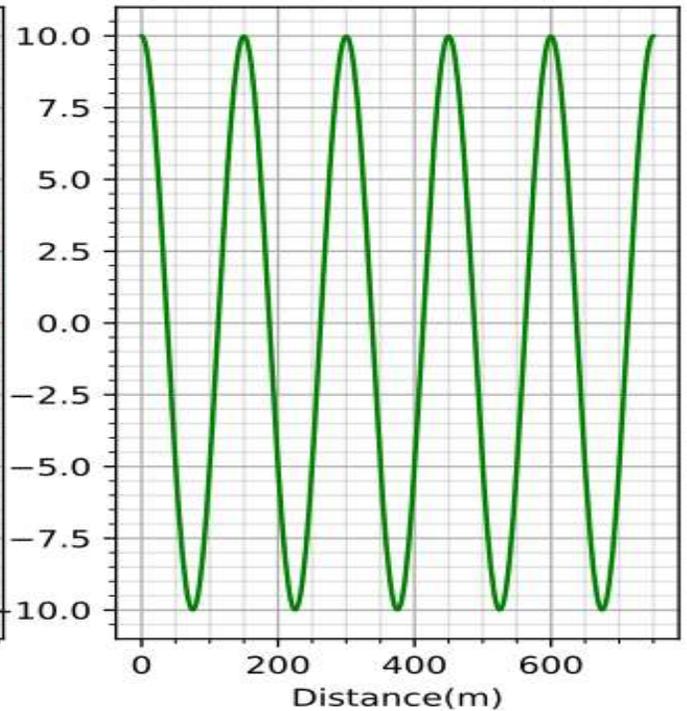
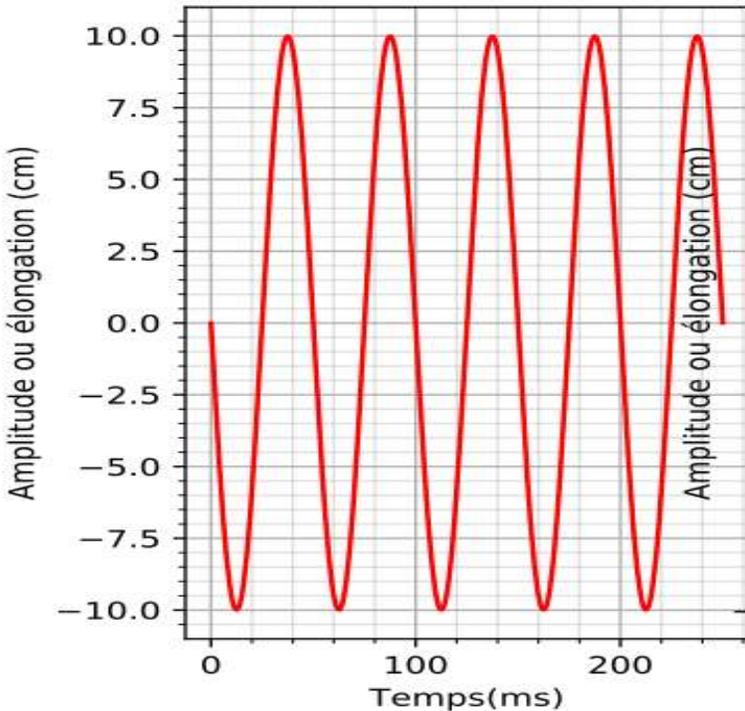


Exercice 3: Exploiter la double périodicité

On enregistre la vitesse de déplacement d'une onde dans le béton.

Les deux graphiques ci-joints correspondent aux résultats. La mesure attendue de cette vitesse est de $3\ 100\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Propagation temporelle de l'onde Propagation spatiale de l'onde



Doc 1. Calcul d'incertitude

On rappelle les différentes formules intervenant dans la détermination de l'incertitude sur le résultat du mesurage d'un ensemble de n valeurs $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$:

$$\text{Écart-type : } \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ et l'incertitude-type sur la moyenne : } u(\bar{x}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

Incertainité élargie sur la moyenne : $U(\bar{x}) = k \cdot u(\bar{x})$,

avec : $k = 1$ pour un niveau de confiance de 68 % ;

$k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 % ;

$k = 3$ pour un niveau de confiance de 98 % ;

Doc 2. Vitesse du son dans le béton

Afin de gagner en précision, on réalise une série de mesure de la vitesse du son dans ce matériau. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant.

Série	1	2	3	4	5	6	7
Vitesse du son dans le béton	3100	2990	3050	2995	2999	3005	2998

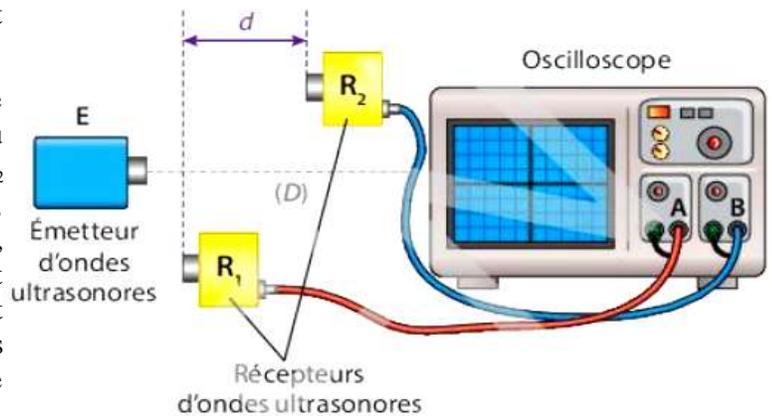
- Déterminer la période, la longueur d'onde et l'amplitude de cette onde.
- En déduire la célérité de cette onde.
- Déterminer l'incertitude de la mesure pour une précision de 95 %.
- Proposer un encadrement de la mesure de la vitesse du son dans le béton. Conclure

Exercice 4: 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 ci-joint :

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 maxima sont confondues. Lorsque la distance d est égale à 8,5 cm, les signaux se sont retrouvés 10 fois en phase. L'incertitude est alors divisée par 10 et vaut 0,02 mm

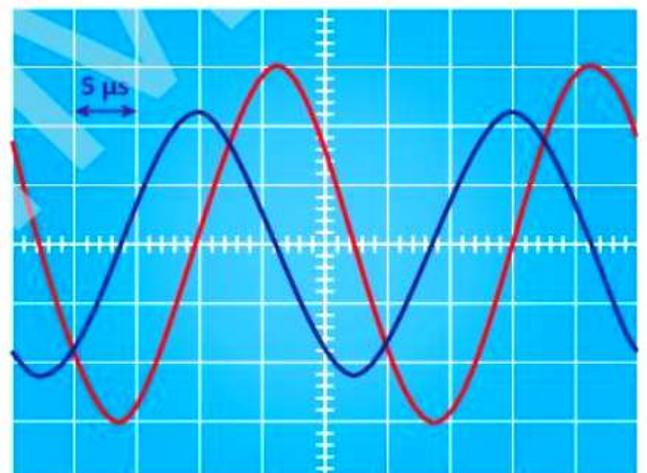


- Calculer la période T des ondes ultrasonores à partir de l'oscillogramme.
- Déterminer la longueur d'onde λ de l'onde ultrasonore à partir de la distance d .
- Calculer la célérité v de l'onde ultrasonore dans l'air.
- L'incertitude de la vitesse $U(v)$ se calcule en partant de la relation suivante :

$$\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2}$$

$U(T) = 1 \mu\text{s}$.

Calculer l'incertitude $\frac{U(v)}{v}$ puis $U(v)$



Allure des signaux pour une distance $d = 8,5$ cm.
L'incertitude de la période est de $5 \mu\text{s}$

- Proposer votre réponse sous forme d'un encadrement et conclure.

Exercice 5: SURFER SUR LA VAGUE

La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs ! Les documents utiles à la résolution sont rassemblés à la fin de l'exercice.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Partie 1 . La houle, onde mécanique progressive

1.1 Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?

1.2 Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 23 \text{ Hz}$. On réalise une photographie du phénomène observé (document 1).

Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.

1.3 Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3 000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m.

En utilisant le document 2, calculer la vitesse de propagation v_1 de cette houle. En déduire sa période T .

Partie 2 . Surfer sur la vague

La houle atteint une côte sablonneuse et rentre dans la catégorie des ondes longues.

2.1 Calculer la nouvelle vitesse de propagation v_2 de la houle lorsque la profondeur est égale à 4,0 m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 . Les résultats obtenus sont-ils conformes aux informations données dans le document 4 ?

2.2 Pour la pratique du surf, la configuration optimale est :

- à marée montante c'est-à-dire entre le moment de basse mer et celui de pleine mer ;
- avec une direction du vent venant du Sud-Ouest.

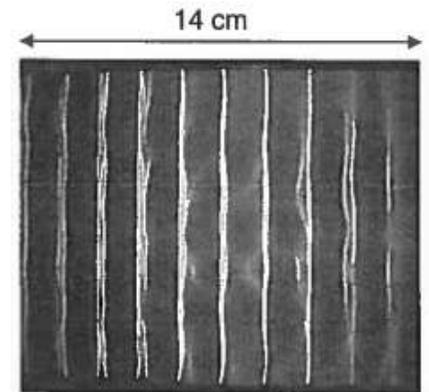
Un surfeur consulte au préalable un site internet qui lui donne toutes les prévisions concernant le vent, la houle et les horaires des marées (document 5).

Proposer en justifiant, un créneau favorable à la pratique du surf entre le jeudi 21 et le samedi 23 juin 2012.

2.3 Un autre phénomène très attendu par les surfeurs, lors des marées importantes est le mascaret.

Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve. Cette onde se propage à une vitesse v de l'ordre de $5,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17h58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance $d = 13 \text{ km}$ en amont du fleuve ?



Document 1 : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes.

Document 2 : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

— cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) :

$$\text{longueur d'onde } \lambda \text{ faible devant la profondeur } h \text{ de l'océan } (\lambda < 0,5 h) \quad v = \sqrt{\frac{g \lambda}{2 \pi}}$$

— cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) :

$$\text{longueur d'onde } \lambda \text{ très grande devant la profondeur de l'océan } (\lambda > 10 h) \quad v = \sqrt{g \cdot h} \quad g \text{ est l'intensité du champ de pesanteur terrestre.}$$

Document 4 : Déferlement des vagues sur la côte

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux peu profondes. Dès que la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont freinées par frottement avec le sol. La houle est alors ralentie et sa longueur d'onde diminue. Ces modifications des caractéristiques de l'onde s'accompagnent d'une augmentation d'amplitude. La période est la seule propriété de l'onde qui ne change pas à l'approche de la côte.

Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle.

Document 5 : Prévisions maritimes.

GFS 21.06.2012 00 UTC	Je 21 05h	Je 21 08h	Je 21 11h	Je 21 14h	Je 21 17h	Je 21 20h	Ve 22 05h	Ve 22 08h	Ve 22 11h	Ve 22 14h	Ve 22 17h	Ve 22 20h	Sa 23 05h	Sa 23 08h	Sa 23 11h	Sa 23 14h	Sa 23 17h	Sa 23 20h
Vitesse du vent (noeuds)	4	7	16	23	21	21	17	15	15	15	15	12	10	10	10	13	14	15
Rafales (noeuds)	5	10	25	28	28	28	23	21	18	19	18	15	13	13	12	15	18	21
Direction du vent	↗	↑	↑	↗	↗	↗	↗	→	→	→	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Vagues (m)	0.7	0.7	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Période des vagues (s)	6	7	4	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
Direction des vagues	→	→	↗	↗	↗	↗	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
*Température (°C)	13	14	14	14	15	14	14	14	15	15	15	14	13	14	15	16	16	15



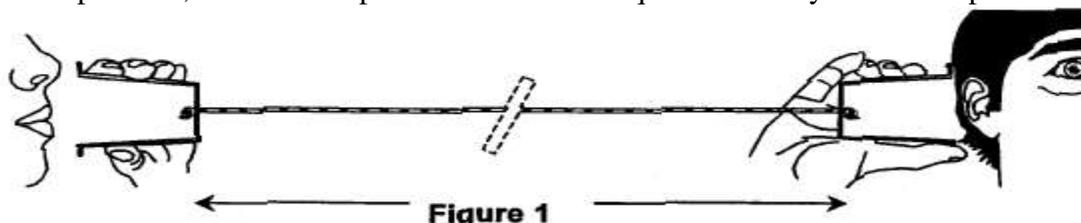
Tableau des marées – Juin 2012

Jour	Pleine mer (h :min)	Basse mer (h :min)
Jeudi 21 juin	06 :54 19 :08	00 :58 13 :10
Vendredi 22 juin	07 :31 19 :44	01 :34 13 :46
Samedi 23 juin	08 :08 20 :22	02 :10 14 :24
Dimanche 24 juin	08 :47 21 :02	02 :49 15 :04

D'après <http://www.windguru.cz/fr/>

Exercice 6: LE TÉLÉPHONE « POT DE YAOURT »

À l'ère du téléphone portable, il est encore possible de communiquer avec un système bien plus archaïque...



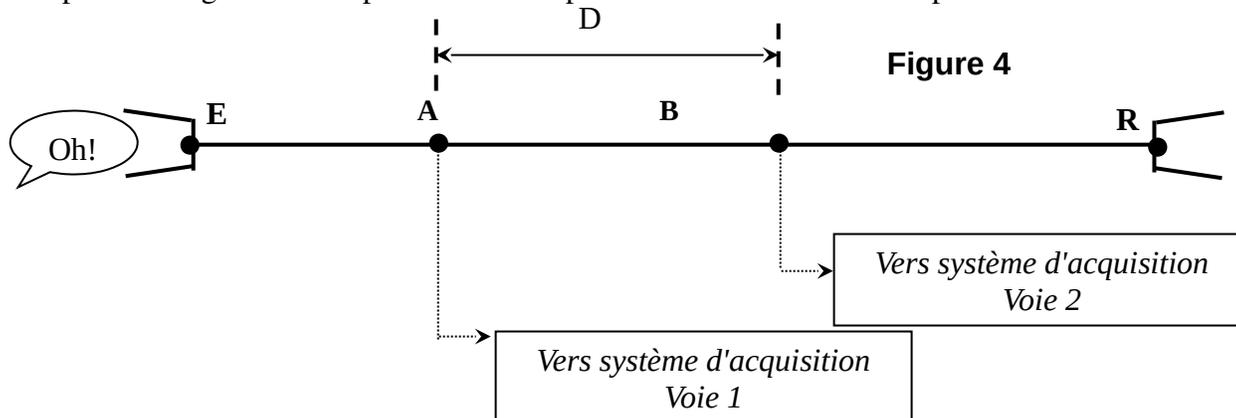
L'onde sonore produite par le premier interlocuteur fait vibrer le fond du pot de yaourt, le mouvement de va-et-vient de celui-ci, imperceptible à l'œil, crée une perturbation qui se propage le long du fil. Cette perturbation fait vibrer le fond du second pot de yaourt et l'énergie véhiculée par le fil peut être ainsi restituée sous la forme d'une onde sonore perceptible par un second protagoniste.

Données : vitesse du son dans l'air à 25 °C $v_{air} = 340 \text{ m.s}^{-1}$

Partie 1 . célérité de l'onde qui se propage le long du fil par propagation progressive

1.1 Identifier la chaîne des différents milieux de propagation des ondes mécaniques au sein du dispositif : de la bouche de la personne qui parle, à l'oreille de la personne qui écoute (figure1).

A 25 °C, on réalise le montage suivant (figure 4), afin de mesurer la vitesse des ondes sur le fil du dispositif. Deux capteurs, reliés en deux points A et B distants de $D = 19,2 \text{ m}$ sur le fil, du pot de yaourt émetteur E. Les capteurs enregistrent l'amplitude de cette perturbation au cours du temps.



1.2 À partir de l'enregistrement (figure 5), déterminer avec quel retard τ , par rapport au point A, le point B est atteint par le signal.

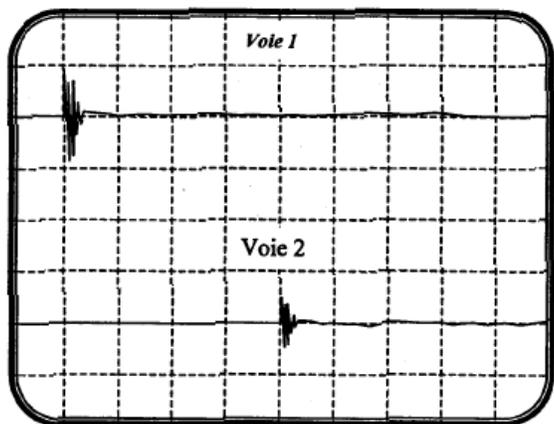


Figure 5

Sensibilité verticale 1 mV / div
Sensibilité horizontale 5 ms / div

1.3 Donner l'expression de la vitesse v de l'onde sur ce fil en fonction de D et τ . Calculer sa valeur.

Une série de mesure du retard dans les mêmes conditions expérimentales aboutissent aux résultats suivants

mesures	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v (m.s ⁻¹)	990	985	1100	995	1005	1007	988	1003	1111	993

Doc 1. Calcul d'incertitude

On rappelle les différentes formules intervenant dans la détermination de l'incertitude sur le résultat du mesurage d'un ensemble de n valeurs $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$:

Écart-type : $\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ et l'incertitude-type sur la moyenne : $u(\bar{x}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

Incertitude élargie sur la moyenne : $U(\bar{x}) = k \cdot u(\bar{x})$,

avec : $k = 1$ pour un niveau de confiance de 68 % ;
 $k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 % ;
 $k = 3$ pour un niveau de confiance de 98 % ;

Doc 2. Célérité dans un fil

Le fil ER de longueur $L = 50$ m est assimilé à un ressort de constante de raideur $k = 20$ kg.s⁻² et de masse linéique $\mu = 1,0 \cdot 10^{-3}$ kg.m⁻¹. Dans le cas d'un fil, le produit $k \cdot L$ est une constante caractéristique du milieu de propagation.

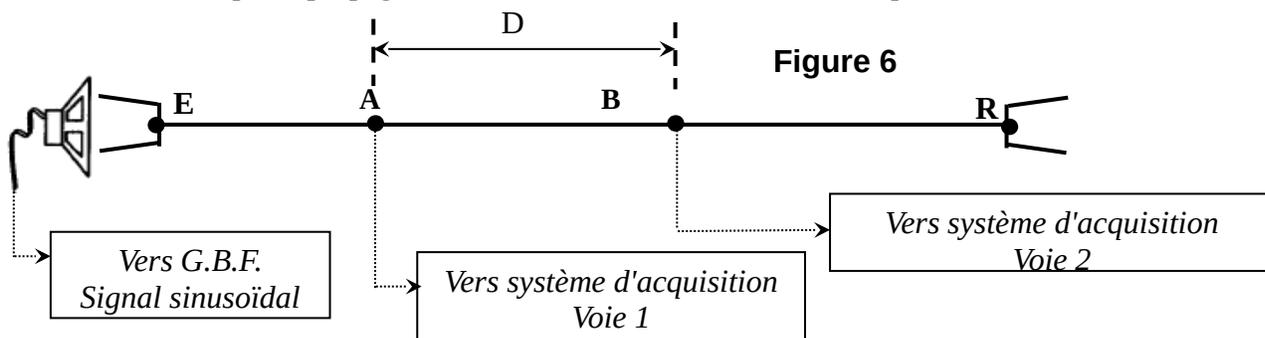
Un modèle simple de la vitesse v d'une onde de ce type dans ce fil correspond à l'expression suivante : $v = \sqrt{\frac{k \cdot L}{\mu}}$

1.4 Déterminer la moyenne de la vitesse ainsi que son incertitude pour un niveau de confiance proche de 95 %.

1.5 Proposer un encadrement de cette vitesse et conclure quant à la véracité de l'expérience.

Partie 2 . célérité de l'onde qui se propage le long du fil par propagation sinusoïdale

Une autre méthode, permettant de déterminer la vitesse v de l'onde se propageant dans le fil, consiste à placer, devant le pot de yaourt émetteur, un haut parleur (figure 6) qui émet des ondes sinusoïdales de fréquence f_E . Les ondes sinusoïdales qui se propagent dans le fil ont la même fréquence.



Lorsque la distance D est égale à 20,0 m, on obtient l'enregistrement de la figure 7.

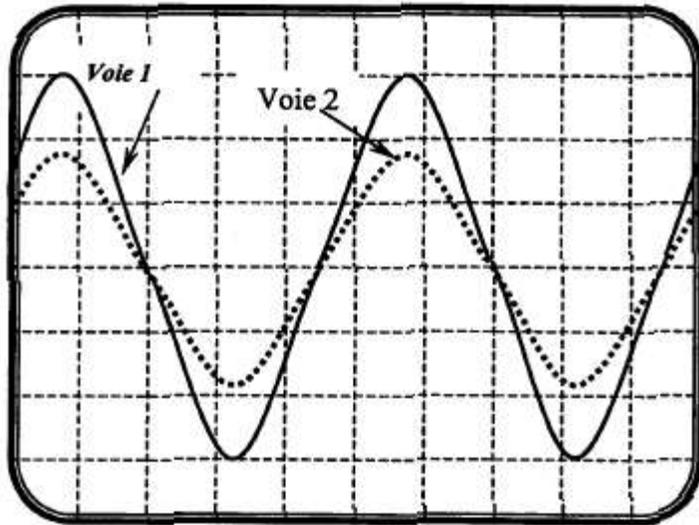


Figure 7

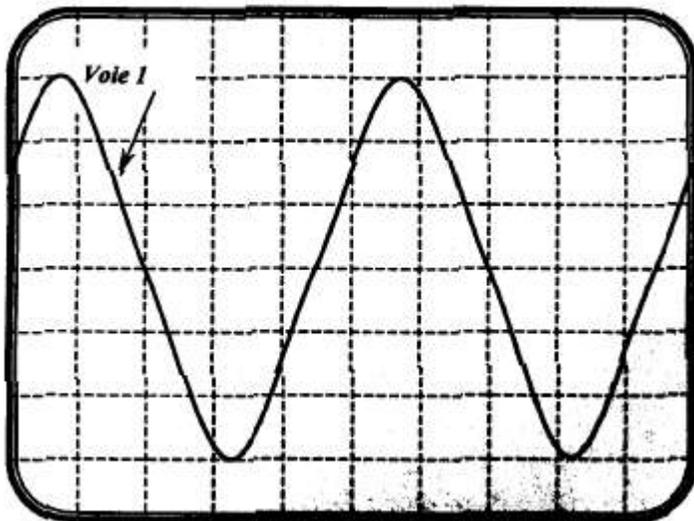
Sensibilité verticale 1 mV / div pour les deux voies
 Sensibilité horizontale 1 ms / div
 L'incertitude la période est de 0,2 ms, soit une incertitude de la fréquence f de l'ordre de 0,2 Hz

Doc 3. Incertitude pour une propagation sinusoïdale

L'incertitude de la vitesse $U(v)$ se calcule en partant de la relation suivante :

$$\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(f)}{f}\right)^2}$$

- 2.1 Comment peut-on expliquer que l'amplitude du signal au point B (voie 2) soit plus faible que l'amplitude du signal au point A (voie 1) ?
 - 2.2 À partir de l'enregistrement de la figure 7, déterminer la fréquence de l'onde qui se propage dans le fil.
 - 2.3 Lorsque l'on éloigne le point B, du point A, on constate que les signaux se retrouvent dans la même configuration pour les valeurs de la distance : $D = 25,0$ m, $D = 30,0$ m, $D = 35,0$ m... On estime alors l'incertitude de la distance de l'ordre de 0,2 m.
 - 2.3.1 Sur la figure de l'annexe, représenter l'allure de la courbe que l'on observerait sur la voie 2 si la distance D était égale à 27,5 m.
 - 2.3.2 En déduire la valeur de la longueur d'onde λ associée à l'onde qui se propage dans le fil
 - 2.3.3 Calculer la vitesse v de cette onde.
 - 2.3.4 Déterminer l'incertitude $U(f)$ de la mesure. Conclure quant à la justesse de l'expérience.
- L'antenne d'un téléphone portable, émet ou reçoit des ondes électromagnétiques qui ont les mêmes propriétés que la lumière.
- 2.4 Quelle différence fondamentale existe-t-il concernant la propagation des ondes du téléphone « pot de yaourt » et celles d'un téléphone portable ?



Sensibilité verticale 1 mV / div pour les deux voies
 Sensibilité horizontale 1 ms / div