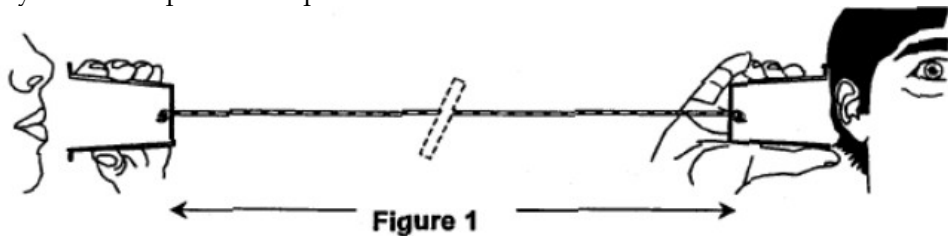


Les ondes mécaniques – Exercices

Exercice 1 corrigé disponible

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



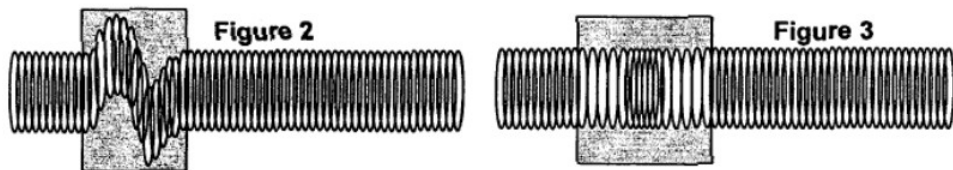
L'onde sonore produite par le premier interlocuteur fait vibrer le fond du pot de yaourt, le mouvement de va et vient de celui-ci, imperceptible à l'œil, crée une perturbation qui se propage le long du fil. Cette perturbation fait vibrer le fond du second pot de yaourt et l'énergie véhiculée par le fil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

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

A – A PROPOS DES ONDES

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).

Ce fil légèrement élastique peut être modélisé par un ressort à spires non jointives. Les schémas suivants illustrent les conséquences de deux modes de déformation d'un ressort: l'écartement d'une extrémité du ressort selon une direction perpendiculaire à l'axe de celui-ci produit une onde de cisaillement (figure 2), alors qu'une déformation selon l'axe du ressort produit une onde de compression (figure 3).

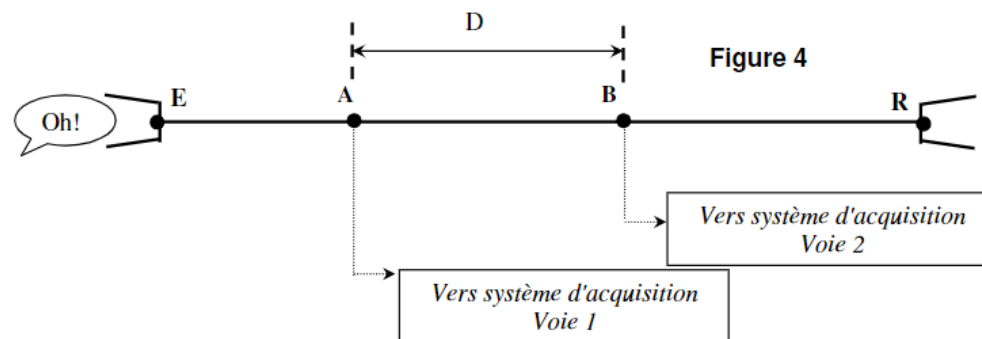


2. Attribuer, à chacune des situations représentées sur les figures 2 et 3, les termes d'onde longitudinale et d'onde transversale. Justifier votre réponse.

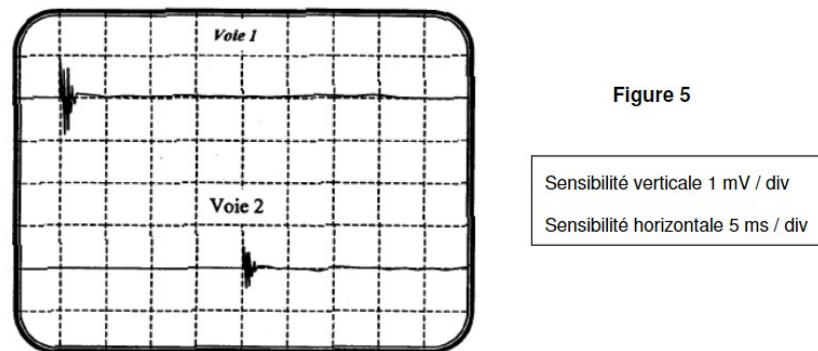
Seul le second mode de déformation (figure 3) correspond au phénomène observé sur le fil du dispositif étudié par la suite.

B – CELERITE DE L'ONDE QUI SE PROPAGE LE LONG DU FIL

A 25°C, on réalise le montage suivant (figure 4), afin de mesurer la célérité des ondes sur le fil du dispositif. Deux capteurs, reliés en deux points A et B distants de $D = 20 \text{ m}$ sur le fil, du pot de yaourt émetteur E. Les capteurs enregistrent l'amplitude de cette perturbation au cours du temps.

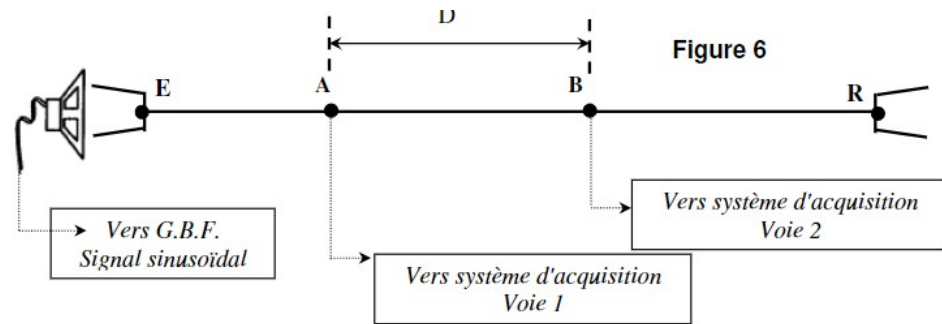


1. A partir de l'enregistrement (figure 5), déterminer avec quel retard τ , par rapport au point A, le point B est atteint par le signal.

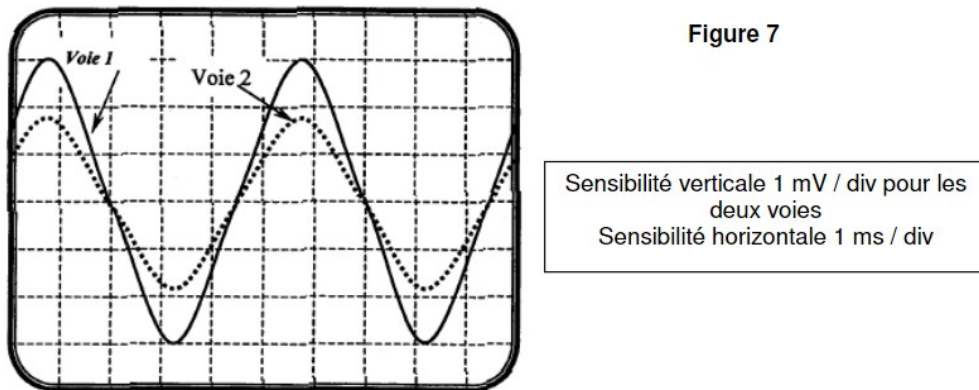


2. Donner l'expression de la célérité v de l'onde sur ce fil en fonction de D et τ . Calculer sa valeur. Comparer cette valeur à celle de la célérité du son dans l'air à 25°C. Quelle propriété justifie ce résultat?

Une autre méthode, permettant de déterminer la célérité 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 sonores 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.



3. 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) ?

4. A partir de l'enregistrement de la figure 7, déterminer la fréquence de l'onde qui se propage dans le fil. 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 ...

- En déduire la valeur de la longueur d'onde λ associée à l'onde qui se propage dans le fil, puis la célérité v de cette onde.
- Sur la figure de l'annexe à rendre avec la copie, représenter l'allure de la courbe que l'on observerait sur la voie 2 si la distance D était égale à 27,5 m.

Exercice 2 corrigé disponible

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 : $g = 9,8$ m.s⁻².

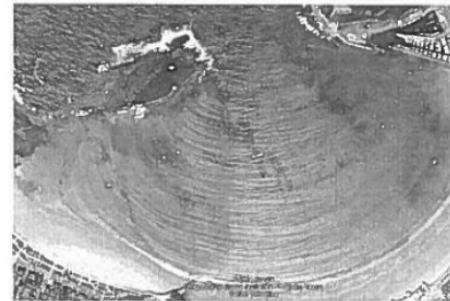
1. La houle, onde mécanique progressive

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 $f = 23$ 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 3000 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 .

Document 3 : Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



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 ?

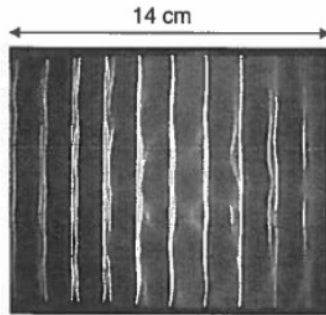
2.2. Pour la pratique du surf, la configuration optimale est :

- 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 $5,1 \text{ m.s}^{-1}$. 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) :
longueur d'onde λ faible devant la profondeur h de l'océan ($\lambda < 0,5 h$)

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

- cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) :
longueur d'onde λ très grande devant la profondeur de l'océan ($\lambda > 10h$)

$$v = \sqrt{gh}$$

g est l'intensité du champ de pesanteur terrestre.

D'après <http://ifremer.fr/>

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.

D'après <http://ifremer.fr/>

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

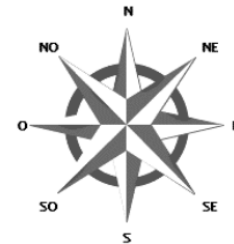


Tableau des marées – Juin 2012

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 3 corrigé disponible

Les données et les informations utilisées dans cet exercice sont issues des sites Internet du Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) et de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) : <http://renass.u-strasbg.fr> et <http://eost.u-strasbg.fr> Le 23 février 2004, un séisme de magnitude 5,1 selon le Réseau National de Surveillance Sismique s'est produit à Roulans (dans le département du Doubs), à 20 km au nord-est de Besançon. Ce séisme a été ressenti très largement en dehors du Doubs dans tout l'est de la France, en Suisse et dans le nord-ouest de l'Allemagne, sans faire de victimes ni de dégâts significatifs. Lors d'un séisme, des ondes 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 ou ondes primaires, qui sont des ondes de compression ou ondes longitudinales ; leur célérité v_p vaut en moyenne $v_p = 6,0 \text{ km.s}^{-1}$. - les ondes S ou ondes secondaires, appelées également ondes de cisaillement ou ondes transversales ; leur célérité v_s vaut en moyenne $v_s = 3,5 \text{ km.s}^{-1}$.

1. Étude d'un sismogramme L'écart entre les dates d'arrivée des ondes P et S renseigne, connaissant la célérité des ondes, sur l'éloignement du lieu où le séisme s'est produit. Le document 1 présente un extrait de sismogramme relevé dans une station d'enregistrement après le séisme du 23 février de Roulans. On notera t_0 la date correspondant au début du séisme, date à laquelle les ondes P et S sont générées simultanément.

1.1. En utilisant des informations du texte encadré, associer, sur le document 1, à chaque signal observé sur le sismographe, le type d'ondes détectées (ondes S ou ondes P). Justifier.

1.2. Relever sur ce document les dates d'arrivée des ondes S et P à la station d'enregistrement notées respectivement t_s et t_p .

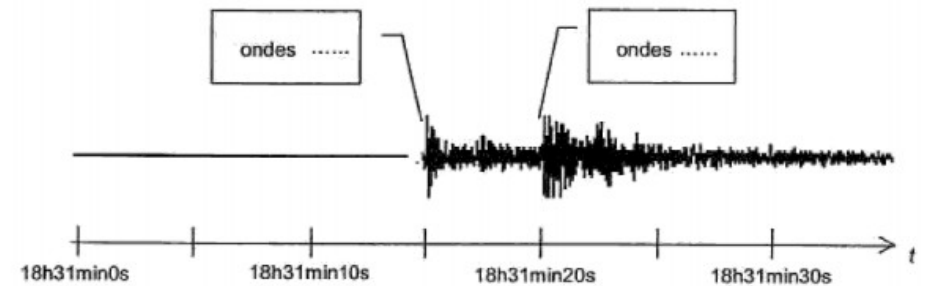
1.3. Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit. Exprimer la célérité notée v_s des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_s et t_0 . Faire de même pour les ondes P avec les dates t_p et t_0 .

1.4. Retrouver l'expression de la distance d :

$$d = \frac{v_s v_p}{v_p - v_s} (t_s - t_p)$$

1.5. En déduire la valeur numérique de cette distance d .

1. Étude d'un sismogramme



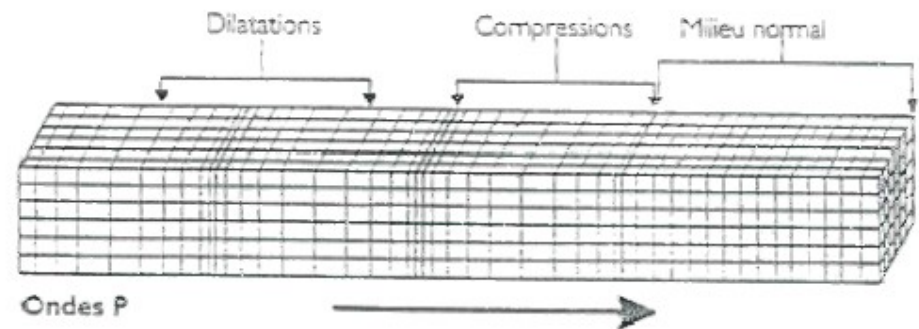
Document 1 : Extrait de sismogramme relevé après le séisme du 23 février de Roulans

Exercice 4 corrigé disponible

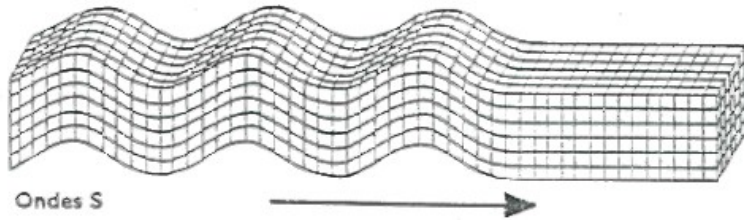
« Les ondes sismiques naturelles produites par les tremblements de Terre sont des ondes élastiques se propageant dans la croûte terrestre. (...) On distingue deux types d'ondes : les ondes de volume qui traversent la Terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à sa surface. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont différentes du fait des diverses structures géologiques traversées. C'est pourquoi, les signaux enregistrés par les capteurs appelés sismomètres sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure. »

Les ondes de volume :

- L'onde P comprime et étire alternativement les roches.



- L'onde S se propage en cisillant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation.



Une onde de surface :

- L'onde de Love L : elle déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation.

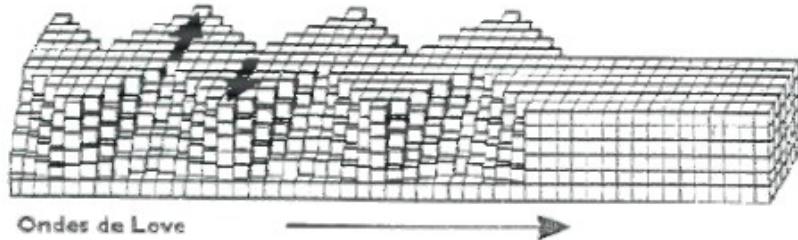


Figure 1 D'après : Les ondes sismiques - Documents pédagogiques de l'E.O.S.T.

1. Nature des ondes

- 1.1. Pour chacune des trois ondes citées dans le texte, préciser en justifiant s'il s'agit d'une onde transversale ou d'une onde longitudinale.
 - 1.2. Citer un autre exemple d'onde mécanique transversale.
2. La Terre a tremblé en France le 24 août 2006 à 20 h 01 min 00 s TU (temps universel). L'épicentre du séisme était proche de la ville de Rouillac en Charente. Un sismomètre du Bureau Central Sismologique Français situé à Strasbourg, a enregistré le tremblement. Les ondes les plus rapides se sont propagées en surface avec la célérité de $6,0 \text{ km.s}^{-1}$. La distance Rouillac-Strasbourg est $d = 833 \text{ km}$, calculer la durée mise par les ondes les plus rapides pour parcourir cette distance d .

Exercice 5 corrigé disponible

Membre d'un groupe de rock et très intéressé par la nature et la propagation du son, Julien réalise les observations suivantes :

- Observation 1 : Aucun signal sonore ne nous parvient du Soleil alors qu'il s'y déroule en permanence de gigantesques explosions.
- Observation 2 : Une bougie est placée devant un haut-parleur qui émet un son très grave. On constate que la flamme se rapproche et s'éloigne alternativement de la membrane du haut-parleur mais qu'elle n'oscille pas dans la direction perpendiculaire.

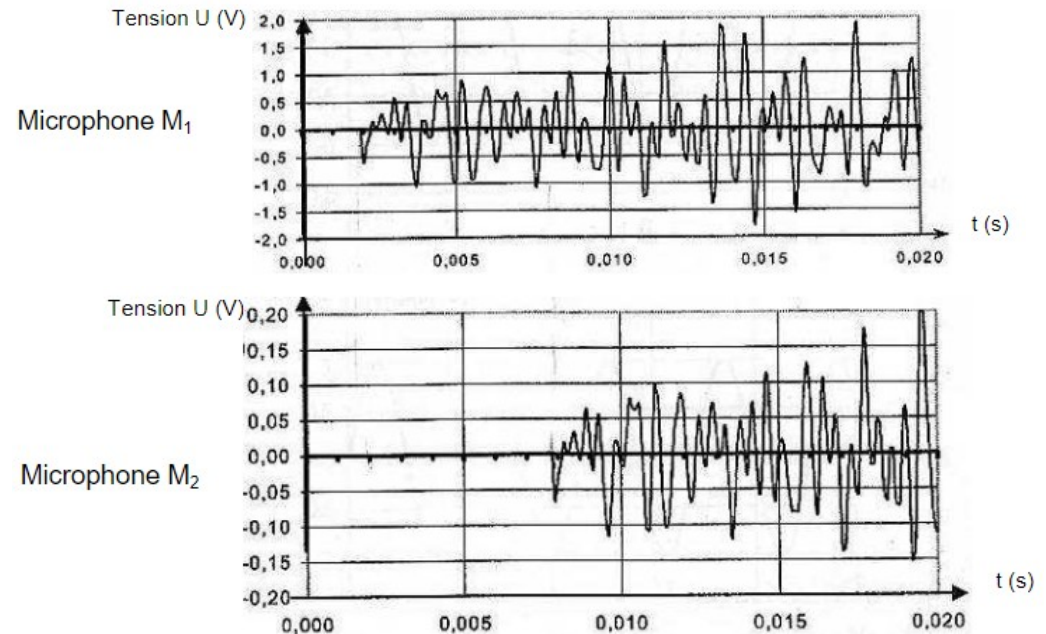
1. Préliminaires.

- 1.1. Définir de la manière la plus complète possible une onde mécanique progressive.
- 1.2. Compléter les cases blanches du tableau de l'annexe à rendre avec la copie avec les expressions suivantes : Onde sonore, onde le long d'une corde, onde lors de la compression-dilatation d'un ressort, onde à la surface de l'eau

2. Célérité de l'onde sonore : première méthode. Deux microphones M_1 et M_2 sont alignés de telle manière que les distances M_1M_2 valent $2,00 \text{ m}$. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Julien donne un coup de cymbale devant le premier micro M_1 puis lance immédiatement l'enregistrement.

La température de la pièce est de 18°C .

Les courbes obtenues sont représentées ci-après :

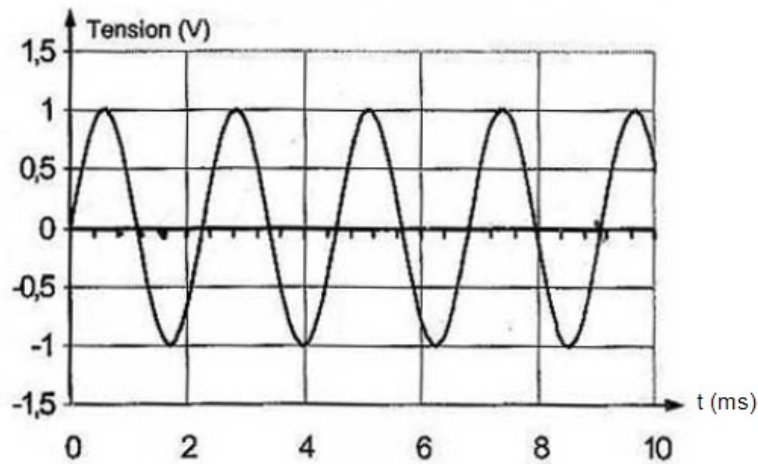
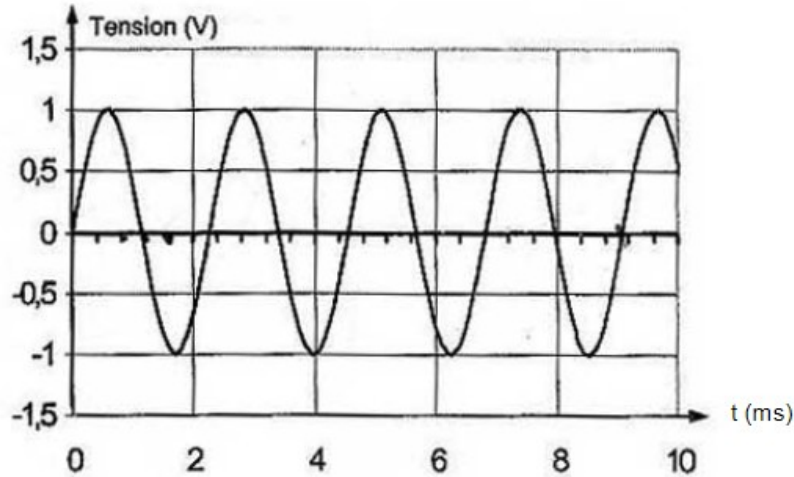


2.1. Comment peut-on déterminer la célérité de l'onde sonore à l'aide des courbes obtenues ?

2.2. Effectuer le calcul de la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2 .

2.3. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ?

3. Célérité de l'onde : deuxième méthode. Julien dispose maintenant les deux microphones M_1 et M_2 à la même distance d d'un diapason. Il obtient les courbes représentées ci-dessous. On remarque que les signaux sont en phase



3.1. Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Julien éloigne le microphone M_2 peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

3.2. Pourquoi compte-t-on plusieurs retours de phase plutôt qu'un seul ?

3.3. Définir la longueur d'onde. Déduire sa valeur numérique de l'expérience précédente.

3.4. Calculer alors la célérité de l'onde

	Ondes à une dimension	Ondes à deux dimensions	Ondes à trois dimensions
Ondes longitudinales			
Ondes transversales			