

Retard à la propagation et célérité d'une onde mécanique

MESURE DE LA VITESSE DE PROPAGATION D'UNE ONDE MÉCANIQUE PROGRESSIVE

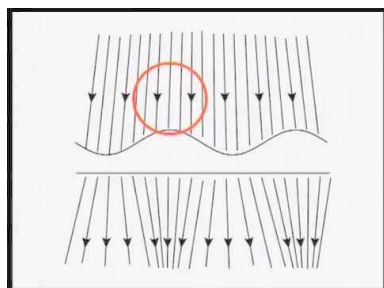
Première partie : cas d'une onde se propageant à la surface de l'eau :

Document 1 – matériel mis à disposition pour cette partie

- | | |
|---|--|
| — 1 cuve à ondes + eau, | — 1 ordinateur portable, |
| — 1 webcam sur trépied télescopique, | — 1 logiciel d'acquisition vidéo et de traitement des données de pointage <i>Regressi</i> (tableur-grapheur scientifique). |
| — 1 échelle photographique ou une toise, | |
| — 1 verre à pied + 1 pipette compte-goutte, | |

Document 2 : la cuve à ondes

Éclairés par dessus, les crêtes et les creux des vagues provoquées en surface projettent, sur l'écran dépoli de la cuve à ondes, des zones claires ou sombres qui permettent de suivre la progression du front du paquet d'ondes.



En filmant l'écran dépoli avec une webcam, on réalise la captation de la progression du front du paquet d'ondes.

Mode opératoire :

- Placer une échelle photographique ou une toise sur l'écran dépoli de la cuve à onde pour obtenir la référence d'échelle du document vidéo et réaliser la mise au point de la caméra pour obtenir une image nette.
- Suivi de la progression de l'onde créée à la surface de l'eau :
 - Sélectionner le bureau de l'ordinateur portable comme dossier d'enregistrement de la vidéo.
 - Effectuer le paramétrage du logiciel de prise de vue pour réaliser une acquisition vidéo de bonne qualité : la fréquence de prise de vue doit être fixée à une valeur comprise entre 15 et 30 images par secondes, la webcam filmiera en noir et blanc.
 - Réaliser dans ces conditions l'acquisition sur une ou deux secondes de la surface de l'eau (images projetés sur l'écran dépoli de la cuve) pendant la propagation du paquet d'ondes.
 - Récupérer le fichier vidéo sur un support numérique pour réaliser l'acquisition et le traitement des données de pointage à votre poste de travail.
- Proposer un mode opératoire pour l'acquisition et le traitement des données de pointage afin de déterminer la vitesse de propagation du paquet d'ondes à la surface de l'eau.

Questions :

1. Si le milieu est identique en tout point et dans toutes les directions, le front d'onde se « déplace » alors à vitesse de propagation constante (célérité) sans subir de déformation.
 - a) Quelle type de relation mathématique – ou loi horaire – relie la position du front d'onde à la date d'observation ? Écrire son équation.
 - b) Dans cette équation, identifier chacun des paramètres.
2. En utilisant l'équation de la loi horaire et les fonctionnalités de modélisation intégré à l'application logicielle *Regressi*, déterminer les valeurs optimales des paramètres assurant la meilleure corrélation entre le modèle mathématique et les valeurs expérimentales.
3. Noter le coefficient de corrélation et l'écart-type correspondant.
4. En déduire une valeur de la célérité des ondes à la surface de l'eau.

Deuxième partie : cas des ultrasons dans l'air

Document 3 – matériel mis à disposition pour cette partie

— 1 émetteur US + générateur US (salves)	E/R d'ultrasons monté sur potence + câble SATA de liaison + câble USB
— 1 récepteur US	
— 1 écran d'optique (plaque rigide) + potence	— 1 règle métallique de 50 cm
— 1 jeu de cordons de connexion + fiches BNC-banane,	— 1 tapis de pailleasse,
— 1 module plug'Uino (arduino) + module	— 1 oscilloscope numérique,
	— 1 logiciel IDE python (<i>pyzo</i> TM),
	— le programme python : <i>US_duree_graphique.py</i>

Document 4 : les ondes ultrasonores

Les ultrasons sont des ondes acoustiques de fréquence supérieure à 20 kHz, inaudibles pour l'Homme.

Ce sont des ondes mécaniques de compression-dilatation progressives périodiques (pendant la durée d'une salve) longitudinales à trois dimensions. Ainsi le front de l'onde est une portion de sphère centrée sur la source.



Pour émettre et recevoir des ultrasons, on utilise des transducteurs piézoélectriques qui vont transformer un signal électrique en une vibration acoustique et vice-versa.

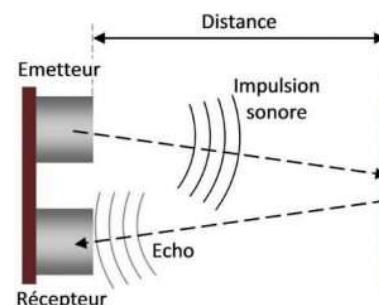
Document 5 : le principe de l'écholocation pour mesurer la célérité des ondes

L'écholocation est l'un des principes de base du sonar : une impulsion électrique produite par l'émetteur est convertie en une onde acoustique qui est émise dans l'eau.

Lorsque cette onde atteint un objet, elle rebondit et cet écho revient vers le récepteur. En mesurant la durée aller-retour, connaissant la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans l'eau, on peut en déduire la position d'un obstacle réfléchissant.

C'est sur ce principe de fonctionnement que sont calculées les profondeurs lors de l'étude des fonds marins.

À l'inverse, si la distance est connue, la mesure de la durée de l'aller-retour nous permet d'obtenir la célérité de l'onde.



A) Validation du principe de la mesure

- Réaliser le montage permettant d'envoyer des salves d'ultrasons (40 kHz) sur un écran situé à une distance $d = 17,0$ cm du couple émetteur-récepteur.
- À l'aide de l'oscilloscope, visualiser les signaux envoyés et reçus.
- Déterminer le plus précisément possible la durée τ d'un aller-retour de l'onde acoustique après réflexion sur l'écran.
- Relever la température de l'air de la salle et en déduire une valeur de la célérité des ultrasons dans l'air pour cette température.
- Déterminer l'incertitude $u(d)$ sur votre mesure de la distance entre le couple émetteur-récepteur et l'écran en utilisant la relation $u(d) = \frac{q \cdot \sqrt{2}}{3}$ avec « q » la résolution de la règle. Sur quelle hypothèse "forte" repose la justesse de cette mesure de distance ?
- Déterminer l'incertitude $u(\tau)$ sur votre mesure de la durée d'un aller retour en utilisant la relation $u(\tau) = \frac{r \cdot \sqrt{2}}{3}$ avec « r » la résolution du quadrillage de l'écran de l'oscilloscope (en tenant compte de l'échelle horizontale).
- En déduire l'incertitude sur la valeur de la célérité à l'aide de la relation :

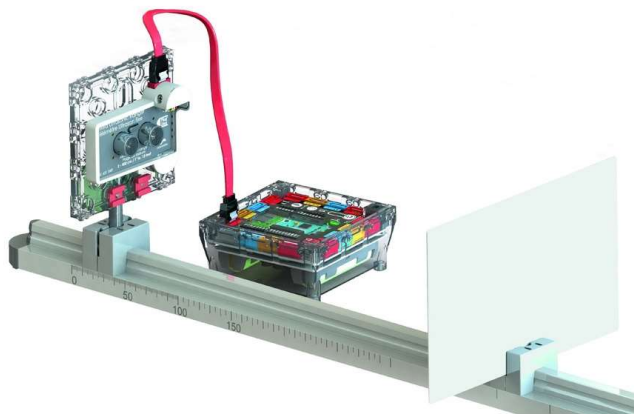
$$U(v) = 2v \cdot \sqrt{\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(\tau)}{\tau}\right)^2}$$

B) Répétition de la mesure pour d'autres distances

Pour augmenter la précision de la méthode, on réitère l'opération de mesure de la durée de l'aller-retour de l'onde ultrasonore pour différentes distances entre l'écran et le couple émetteur-récepteur.

On utilise cette fois un microcontrôleur arduino relié à un module émetteur-récepteur.

On modifie la distance d mesurée à la règle aussi précisément que possible et on saisie sa valeur à chaque demande de l'application python qui pilote le microcontrôleur. cinq salves sont émises et une moyenne sur les cinq durées aller-retour est calculée puis enregistrée dans le fichier d'acquisition.



- Réaliser la mesure de la durée aller-retour pour une dizaine de valeurs différentes de la distance à l'écran (par exemple tous les 5 cm depuis la distance minimale de 5 cm).
- L'exécution du programme python fournit un fichier de données (format .csv) et un graphique (format .png) représentant la distance à l'écran en fonction de la durée aller-retour ; proposer une méthode pour exploiter les données et/ou le graphique afin de déterminer la célérité des ultrasons dans l'air.