

PROPAGATION DES SIGNAUX - corrigé du TP

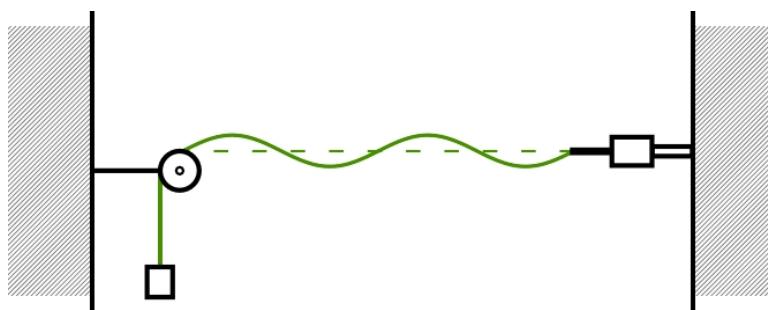
1. “Échelle de perroquet”

- En attente de données fournies par les étudiants...

2. Corde de Melde

2.1. Dispositif et observation des ondes stationnaires

- On utilise un vibreur (lame de fer horizontale) excité par un électroaimant en courant alternatif 50 Hz ; le fer est attiré deux fois par période (non sensible au pôle magnétique) donc vibre à $N = 100$ Hz.



Entre ce vibreur et une poulie, on tend une corde de Melde à l'aide d'un contrepoids. Le vibreur et la poulie doivent être fixés sur des supports très stables, mais l'un au moins des supports doit être mobile pour régler la longueur de la corde.

- On choisit pour contrepoids une masse $m = 100$ g et on ajuste la longueur pour obtenir une résonance. Le stroboscope permet d'observer les oscillations au ralenti : on peut vérifier la fréquence (bien que la mesure par le stroboscope soit moins précise que le réglage 50 Hz du réseau électrique) et vérifier qu'il s'agit bien d'oscillations sur place (ondes stationnaires).

2.2. Mesure de la longueur d'onde et vitesse de propagation

- La condition de résonance correspond à $L = k \frac{\lambda}{2}$; mais les extrémités ne sont pas définissables avec une grande précision :
 - ◊ au niveau de la poulie le point de contact change un peu pendant l'oscillation (selon l'arrondi) ;
 - ◊ le vibreur oscille beaucoup moins que la corde (10 à 20 fois moins), donc il correspond presque à un nœud, mais pas exactement.

En outre, la position des nœuds n'est pas parfaitement stable ; on mesure ainsi :

n	1	2	3	4
x [cm]	$21,0 \pm 0,5$	$42,0 \pm 0,5$	$62,0 \pm 0,5$	$84,0 \pm 0,5$

On peut en déduire $\lambda = 42 \pm 0,6$ cm, puis la vitesse de propagation $c = \lambda N = 42 \pm 0,6$ m.s⁻¹.

◊ remarque : si la masse linéique μ de la corde avait été mesurée, on aurait pu comparer au calcul théorique $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ avec une tension $T = m g = 0,98 \pm 0,01$ N ; on a par la suite mesuré $\mu = 0,55 \pm 0,03$ g.m⁻¹ pour une corde similaire, ce qui correspondrait à $c = 42,2 \pm 2,4$ m.s⁻¹ (résultat tout à fait plausible).

2.3. Influence de la masse linéique

- La masse linéique de la corde n'a pas été mesurée pendant le TP mais une expérience a été faite en fabriquant une corde plus massive par regroupement de quatre brins (avec le même contrepoids de masse $m = 100 \text{ g}$). La vitesse de propagation étant théoriquement $c = \lambda N = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, on prévoit alors une longueur d'onde deux fois plus petite.

La mesure de longueur d'onde est dans ce cas nettement plus délicate car cela limite nettement l'amplitude d'oscillation, mais on obtient $\lambda \approx 20 \pm 1 \text{ cm}$; le modèle théorique semble compatible avec ce résultat.

2.4. Influence de la tension

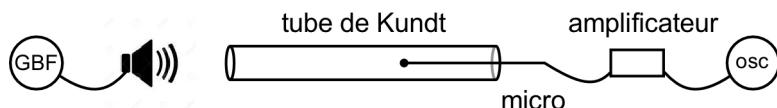
- La vitesse de propagation étant théoriquement $c = \lambda N = \sqrt{\frac{mg}{\mu}}$, on peut comparer λ^2 en fonction de m :

$m \text{ [g]}$	100 ± 1	200 ± 1	400 ± 2
$\lambda \text{ [cm]}$	$42 \pm 0,6$	$59 \pm 0,7$	$84 \pm 1,1$
$\frac{\lambda^2}{m} \text{ [cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}]$	$17,6 \pm 0,5$	$17,4 \pm 0,4$	$17,6 \pm 0,5$

Le modèle théorique est compatible avec les résultats expérimentaux.

3. Propagation du son

- Diverses expériences peuvent être menées, en particulier mesurer, en fonction de la distance, le déphasage du signal du micro par rapport au signal émis (ou comparer avec deux micros). Ce genre de manipulation est toutefois très délicat à cause des échos et du bruit parasite important.
- Une expérience intéressante peut être faite avec un tube de Kundt : on ajuste la fréquence pour obtenir des ondes stationnaires dans le tube, puis on mesure la longueur d'onde en déplaçant le micro pour détecter les nœuds de variation de p .



Pour une fréquence ajustée $N = 960 \pm 20 \text{ Hz}$ (l'incertitude est sur l'ajustement) on mesure $\lambda \approx 36 \pm 2 \text{ cm}$. Ceci correspond à une vitesse de propagation $c = \lambda N = 345 \pm 20 \text{ m.s}^{-1}$, tout à fait compatible avec la valeur lue dans les tables pour les conditions de l'expérience (température de l'air).

4. Ondes à la surface de l'eau

4.1. Détermination de la célérité d'après la longueur d'onde et la fréquence

- Sur la cuve à ondes, on utilise un excitateur rectiligne ; on choisit une fréquence (mais le moteur de l'exciteur à air pulsé n'est pas gradué).

On branche le stroboscope électromécanique, puis on ajuste sa fréquence pour voir les ondes immobiles sur l'écran de projection. On mesure alors $5\lambda \equiv 19,7 \pm 0,3 \text{ cm}$ (en projection) ; l'incertitude est surtout due au repérage des crêtes d'ondes (elles comportent forcément un léger flou à cause de minuscules turbulences de la surface de l'eau).

On détermine le facteur de grandissement de l'écran de projection : on place dans la cuve une plaque transparente colorée de largeur $10,00 \pm 0,05$ cm et on constate que sa projection mesure $17,1 \pm 0,2$ cm ; ainsi le facteur de grandissement est : $1,71 \pm 0,03$.

On en déduit la longueur d'onde : $\lambda = 2,30 \pm 0,06$ cm .

- Pour mesurer la fréquence, les étudiants de ce groupe ont essayé d'arrêter le stroboscope électromécanique (non gradué) et de le remplacer par le stroboscope électronique (gradué). Hélas, ce dernier n'est pas assez lumineux. Il aurait suffi en fait d'utiliser le stroboscope électronique pour mesurer la vitesse de rotation du stroboscope électromécanique.

Il aurait été ensuite intéressant d'en déduire la célérité, puis de comparer les résultats à quelques modèles théoriques.

Il aurait en outre été intéressant d'étudier l'influence de la fréquence du signal ; en particulier dans un milieu dispersif la célérité dépend de la fréquence.

◊ remarque : on peut facilement modifier la hauteur d'eau dans la cuve, mais seulement un peu : il faut au moins ≈ 3 mm et il faut ne pas dépasser la hauteur (≈ 6 mm) des plaques de mousse qui amortissent les ondes aux bords (pour éviter les perturbations dues aux ondes réfléchies).

4.2. Mesure directe de la célérité

- On place sur l'écran de projection deux bandes de ruban adhésif, sur lesquelles on inscrit deux repères parallèles séparés par une distance $D \equiv 25,0 \pm 0,4$ cm (ici l'incertitude importante est due au manque de soin des étudiants dans leur tracé). Compte tenu du facteur de grandissement, on en déduit la distance ainsi repérée dans la cuve : $D = 14,6 \pm 0,4$ cm .

À l'aide d'un chronomètre, on mesure (sans le stroboscope) la durée Δt mise par les ondes (rectilignes) pour se propager de cette distance. Afin de diminuer les incertitudes, chaque expérimentateur effectue cinq mesures ; en outre, pour limiter les biais dus aux particularités des individus, on demande à quatre personnes d'effectuer une série de mesure indépendante. La grande dispersion des mesures montre que la principale difficulté tient aux réflexes des expérimentateurs.

0,35 s	0,66 s	0,47 s	0,60 s
0,47 s	0,90 s	0,63 s	0,50 s
0,47 s	0,62 s	0,60 s	0,78 s
0,53 s	0,97 s	0,47 s	0,62 s
0,38 s	0,59 s	0,53 s	0,69 s

La moyenne des résultats est $\Delta t = 0,59$ s ; l'écart type est $\sigma = 0,16$ s. Puisque la précision du chronomètre n'intervient pas, on peut estimer que, pour une série de $N = 20$ mesures, l'écart type sur la moyenne est : $\sigma' \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N-1}} \approx 0,036$ s .

Si on adopte des incertitudes de mesure à deux écarts types (degré de confiance 95%), on obtient ainsi : $\Delta t = 0,59 \pm 0,07$ s . La célérité est alors : $c = \frac{D}{\Delta t} = 24,7 \pm 3,0$ cm.s⁻¹ .

- Les modèles théoriques simples prévoient pour la célérité en faible profondeur (notée h) : $c \approx \sqrt{g h}$; au contraire, pour une grande profondeur, seule la couche superficielle oscille : $c \approx \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi}}$.

Le cas étudié ici correspond à $h \approx 5 \pm 1$ mm (difficile à mesurer précisément, à cause des déformations de la surface causées par les forces de tension superficielle). Avec $h \ll \lambda \approx 23$ mm , on peut raisonner en faible profondeur : $c \approx \sqrt{g h} \approx 22,1 \pm 2,2$ cm.s⁻¹ . Ce modèle est compatible avec les mesures.

◊ remarque : le modèle pour les grandes profondeurs donne : $c \approx \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi}} \approx 19,0 \pm 0,2 \text{ cm.s}^{-1}$; il semble nettement moins compatible.

◊ remarque : il aurait de même été intéressant d'étudier l'influence de la fréquence du signal ; en particulier dans un milieux dispersif la célérité dépend de la fréquence.

4.3. Interférences

- En attente de données...