

## Table des matières

|     |                                                  |   |
|-----|--------------------------------------------------|---|
| 1   | Expériences possibles                            | 1 |
| 2   | Explications des expériences                     | 1 |
| 2.1 | Mesure de la vitesse du son dans l'eau . . . . . | 1 |
| 2.2 | Diffraction acousto-optique . . . . .            | 2 |
| 2.3 | Cuve à ondes . . . . .                           | 3 |
| 3   | Modèle de tableau pour présentation              | 5 |

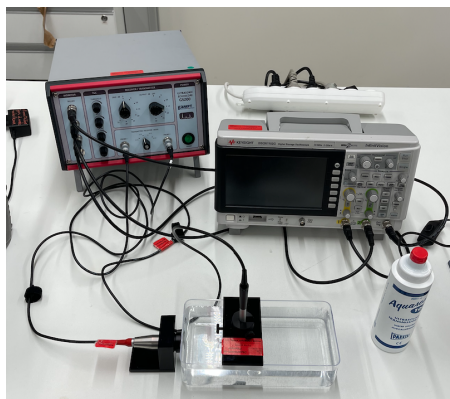
## 1 Expériences possibles

- ▷ **Cuve à ondes** : à l'aide d'une cuve à ondes préalablement lavée et d'un stroboscope, il est possible de **remonter**, à l'aide de la relation de dispersion gravito-capillaire, à la **valeur de l'accélération de pesanteur  $g$**  et à la **tension de surface  $\gamma$**  pour l'eau.
- ▷ **Mesure de la vitesse du son dans l'eau** : à l'aide d'un émetteur placé à l'extérieur d'une cuve remplie d'eau (+ gel pour adapter l'impédance) et d'un récepteur placé à l'intérieur de cette même cuve, il est possible de **remonter à la vitesse du son dans l'eau**.
- ▷ **Diffraction acousto-optique** : en utilisant un générateur d'ultrason , un laser (vert ou rouge) et une caméra CDD (Ovio), il est possible de **retrouver la célérité du son dans l'eau ou l'éthanol** en utilisant la formule des réseaux, réseau engendré par les ondes ultrasonores dans le liquide.

## 2 Explications des expériences

### 2.1 Mesure de la vitesse du son dans l'eau

L'objectif de cette expérience est de **mesurer la vitesse du son dans l'eau**. Pour cela, on a utilisé le dispositif expérimental suivant :



**Fig. 1** – Dispositif expérimental : un générateur d'impulsion ultrasonore muni d'un émetteur et d'un récepteur, un oscilloscope, un gel aquasonic et une cuve remplie d'eau.

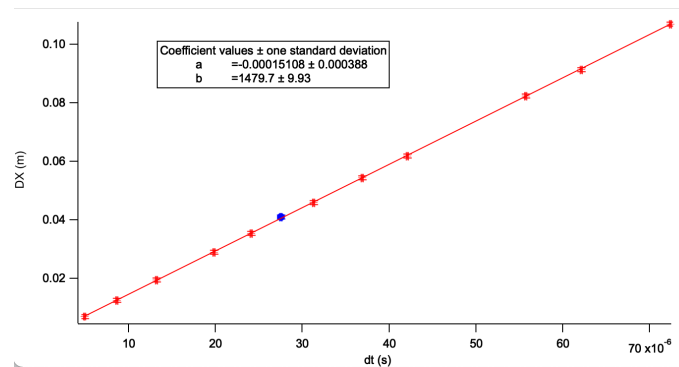
On branche l'émetteur à ultrasons sur "Probe 1", le récepteur sur "Probe 2" et on choisit le calibre 1/2 pour que le signal reçu sur l'oscilloscope soit celui perçu par le récepteur.



**Fig. 2** – Visualisation à l'oscilloscope du signal reçu par le récepteur (signal vert).

On s'arrange, en jouant sur les boutons du générateur à ultrasons, à positionner le signal perçu par le récepteur (ici signal vert) en dessous du signal crête (ici signal jaune) de façon à ce qu'il soit visible correctement sur l'écran (en effet, quand le signal se situe sous le crête, l'appareil fait en sorte de grossir son amplitude par un gain que l'on choisit manuellement). Par ailleurs, l'émetteur se trouve à l'extérieur de la cuve, il est donc **nécessaire d'utiliser un gel aquasonique qui sert d'adaptation d'impédance** entre les deux milieux (sinon aucun signal n'est perçu au niveau du récepteur).

Ainsi, **pour mesurer la vitesse**  $c_{son}$ , on place le récepteur à une position initiale  $X_1$  que l'on mesure, on place également pour cette position un curseur sur l'oscilloscope au niveau de la réception du signal ( $t_1$  sera notre temps de référence) et pour différentes valeurs de déplacement  $X_2$ , on relève les valeurs de  $dx = X_2 - X_1$  (au réglet) et  $dt = t_2 - t_1$  (aux curseurs). Les résultats sont présentés ci-dessous :



**Fig. 3** – Présentation des résultats de la modélisation  $dx = c_{son}dt$ .

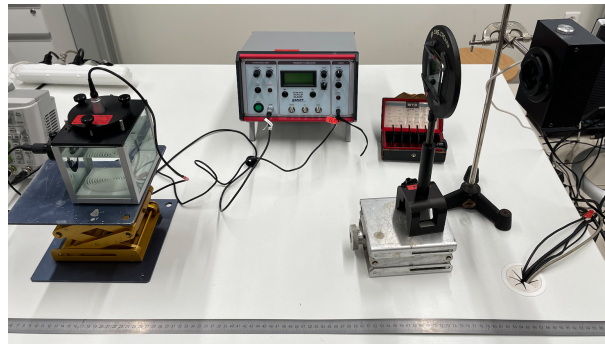
Les incertitudes liées à la mesure de temps dépendent du calibre choisi lors de la position des curseurs (de 0,1 à 0,01  $\mu s$ ) et l'incertitude sur  $dx$  est donnée par  $u(dx) = \sqrt{u(x_1) + u(x_2)} \approx \sqrt{2}u(x_1)$  en choisissant la même incertitude pour les deux mesures de distance (la valeur de  $u(x_1)$  correspond à une demi graduation de mesure du réglet). On trouve alors expérimentalement  $c_{son} = 1479,7 \pm 9,9 \text{ ms}^{-1}$ , ce qui est très proche de la valeur attendue à 20 degré qui est de  $c_{son,th} = 1480 \text{ ms}^{-1}$ . **Si on réalise un  $Z_{score}$  pour cette mesure**, on obtient  $Z_{score} = \frac{1480 - 1479,7}{9,9} \approx 0,03 < 2$ , ce qui est très satisfaisant !

## 2.2 Diffraction acousto-optique

L'objectif de cette expérience est de **remonter à la vitesse du son dans l'éthanol** (ou de l'eau). Pour cela, on a utilisé le dispositif expérimental présenté en figure 4.

On branche l'émetteur à ultrasons sur le générateur, on choisit une tension de 50 V (ce qui est optimal) puis on branche le laser sur la partie du générateur qui contrôle le laser en choisissant une tension pour laquelle il commence à fonctionner (proche de 2,5 V). L'émetteur est alors plongé dans la cuve remplie d'éthanol (ou d'eau) par le dessus et le laser est placé sur la coté de cette même cuve. L'onde ultrasonore émise par le piézoélectrique, qui n'est pas une onde stationnaire, se propage dans la cuve et s'atténue au fond celle-ci de par sa géométrie particulière. Pour le rayon incident, **l'onde ultrasonore se comporte**

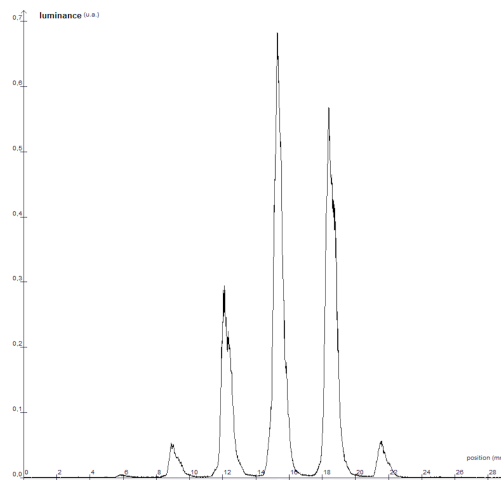
comme un réseau de pas  $a$  égal à sa longueur d'onde  $a = \lambda = \frac{c_{son}}{f}$ . On observe alors des tâches de diffraction expliquées par la formule des réseaux (en incidence normal) :  $\sin \theta_p = \frac{\lambda_{laser}}{a} p = \frac{\lambda_{laser}}{(\frac{c_{son}}{f})} p$ .



**Fig. 4** – Dispositif expérimental : un générateur d'impulsion ultrasonore muni de deux lasers (rouge et vert), une cuve adaptée remplie d'éthanol, une boîte de densités optiques et une barrette CCD.

**Remarque :** il faut bien choisir la fréquence du générateur pour observer le phénomène de diffraction ; ni trop grande sinon le pas du réseau est trop petit (onde évanescence à la sortie) ni trop petite sinon le pas du réseau est trop grand (il ne se passe rien). On en a conclu qu'il fallait choisir une fréquence entre 5 à 6 MHz pour bien percevoir la diffraction.

En notant  $X$  la distance entre la zone brillante d'ordre 0 et la zone brillante d'ordre 1 et en plaçant la barrette CCD à une grande distance  $D$  de la cuve, on arrive à la relation :  $\sin \theta = \frac{\lambda_{laser}}{(\frac{c_{son}}{f})} \approx \frac{X}{D} \Rightarrow c_{son} = \frac{fD\lambda_{laser}}{X}$ .



**Fig. 5** – Allure des pics observés à la caméra CCD pour le laser vert (on mesure  $4X$  pour plus de précision).

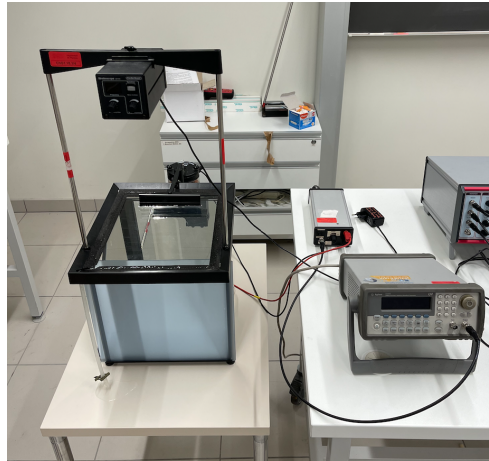
Les seules incertitudes portent ici sur les longueurs  $X$  et  $D$  car la fréquence  $f$  est donnée directement par le générateur à ultrasons et la longueur d'onde du laser vert est  $\lambda_{laser} = 531 \text{ nm}$ . On a donc comme formule d'incertitude sur  $c_{son}$  :  $u(c_{son}) = c_{son} \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(X)}{X}\right)^2}$ .

Lorsque le laser vient d'être allumé, on trouve des valeurs moyennes proches de  $1210 - 1220 \text{ m.s}^{-1}$  alors qu'au bout de quelques minutes on trouve des valeurs plus proches de  $1220 - 1230 \text{ m.s}^{-1}$ , cela s'explique par l'échauffement du milieu. Exemple concret avec le laser vert : pour une fréquence  $f$  de  $5,7 \text{ MHz}$ , une distance  $D$  de  $(1,38 \pm 0,02) \text{ m}$  et une longueur  $X$  de  $(3,41 \pm 0,02) \text{ mm}$  on obtient  $c_{son} = (1224 \pm 19) \text{ m.s}^{-1}$  (la valeur théorique est  $c_{son,th} = 1207 \text{ m.s}^{-1}$ , ce qui est satisfaisant).

## 2.3 Cuve à ondes

L'objectif de cette expérience est de remonter à deux grandeurs physiques différentes qui sont :  $g$  (accélération de pesanteur) et  $\gamma_{eau,air}$  (tension superficielle pour l'interface eau-air) en étudiant la relation

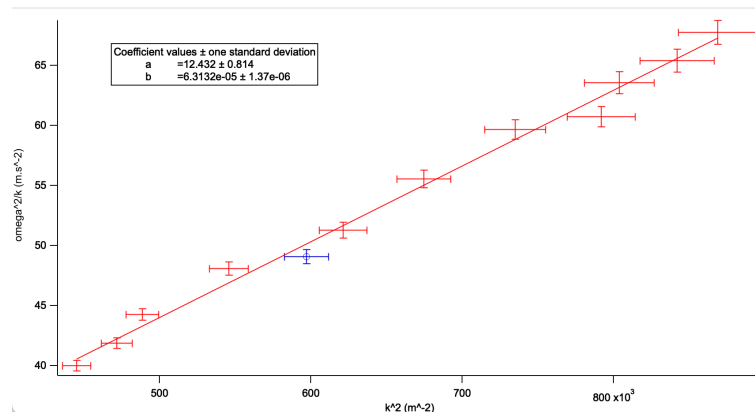
de dispersion des ondes gravito-capillaires. Pour cela, on a utilisé le dispositif expérimental suivant :



**Fig. 6** – Dispositif expérimental : une cuve à ondes, un GBF et un amplificateur de tension.

La cuve à ondes doit être nettoyée avant de l'utiliser afin d'enlever toutes les impuretés. Après cette étape, on remplit la cuve d'eau distillée et on va agiter cette eau à l'aide d'un vibreur relié à un GBF et un amplificateur de tension (on envoie un signal sinusoïdal de faible amplitude de fréquences comprises entre 15 et 40 Hz). Sur l'écran on va alors observer une série de franges sombres et brillantes (dû à la convergence ou non des rayons lumineux). Deux franges d'une même couleur sont séparées de  $\lambda_{\text{écran}}$ , qui n'est pas tout à fait la vraie longueur d'onde à cause du grossissement  $G$  de la cuve. On a la relation  $\lambda_{\text{reel}} = \frac{\lambda_{\text{écran}}}{G}$  avec  $G = 1,87 \pm 0,03$  (mesuré à l'aide d'une pièce de 1 euro).

A partir de tous ces éléments, on va pouvoir remonter à la relation de dispersion des ondes gravito-capillaires  $\omega^2 = (kg + \frac{\gamma_{\text{eau,air}}}{\rho_{\text{eau}}} k^3) \tanh(kh)$  qui devient  $\omega^2 \approx (kg + \frac{\gamma_{\text{eau,air}}}{\rho_{\text{eau}}} k^3)$  avec l'approximation d'eau profonde c'est à dire  $kh \gg 1$ , où  $h$  est la hauteur d'eau dans la cuve (la fréquence  $f$  nous donne  $\omega = 2\pi f$  et  $\lambda_{\text{reel}}$  nous donne  $k = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{reel}}}$ ). On obtient les résultats suivants :



**Fig. 7** – Présentation des résultats de la modélisation  $\frac{\omega^2}{k} = f(k^2)$ .

Les différentes incertitudes sont données par les formules (on négligera ici les incertitudes sur  $\omega$ ) :

$$u(\lambda_{\text{reel}}) = \lambda_{\text{reel}} \sqrt{\left(\frac{u(G)}{G}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda_{\text{écran}})}{\lambda_{\text{écran}}}\right)^2}, \quad u(k) = \frac{2\pi u(\lambda_{\text{reel}})}{\lambda_{\text{reel}}^2}, \quad u(k^2) = 2ku(k) \quad \text{et} \quad u\left(\frac{\omega^2}{k}\right) = \frac{\omega^2 u(k)}{k^2}.$$

La courbe expérimentale nous donne directement la valeur de  $g$  (correspond à l'ordonnée à l'origine)  $g = (12,4 \pm 0,8) \text{ m.s}^{-2}$  et la valeur de  $\gamma_{\text{eau,air}}$  (correspond à la pente multipliée par  $\rho_{\text{eau}} = 997 \text{ kg.m}^{-3}$ )  $\gamma_{\text{eau,air}} = (63 \pm 1) \text{ mN.m}^{-1}$ . La valeur trouvée pour  $g$  n'est pas très satisfaisante car elle est loin de la valeur théorique (cette expérience n'est pas faite pour trouver  $g$  car l'ordonnée à l'origine n'est pas vraiment exploitable) mais celle pour  $\gamma_{\text{eau,air}}$  est satisfaisante (bien que en dessous de la valeur théorique  $\gamma_{\text{eau,air,th}} = 72 \text{ mN.m}^{-1}$ , cela s'explique par la présence d'impuretés qui ont tendance à baisser les tensions de surface).

