

ONDES ACOUSTIQUES

Le but de la séance est, sur le cas des ondes acoustiques, d'étudier et de mesurer les grandeurs physiques intervenant dans la propagation d'ondes : fréquence, célérité, longueur d'onde.

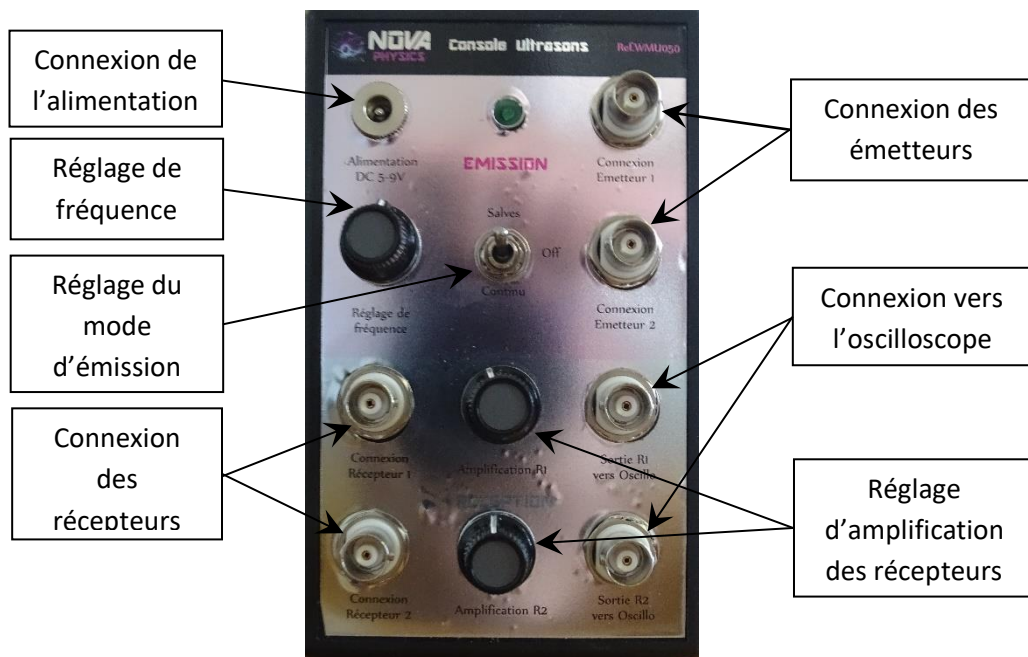
On dispose de deux émetteurs et deux récepteurs. Ces dispositifs permettent de convertir par effet piezo-électrique un signal électrique en une vibration sonore (émetteur) ou inversement de traduire l'onde acoustique reçue en un signal électrique (récepteur). Ils seront connectés sur les bornes correspondantes placées du boîtier générateur/amplificateur de réception. Les signaux reçus et éventuellement amplifiés seront récupérés sur les bornes « Sortie Amplification ». Des câbles coaxiaux permettant de relier le dispositif à un oscilloscope pour les observations des signaux émis ou reçus.

Les éléments transducteurs récepteurs ou émetteurs peuvent être placés sur des supports coulissant sur une règle graduée (banc d'optique) qui permettront une mesure précise de leurs abscisses. Des câbles adaptateurs permettent de connecter les éléments dotés d'une fiche Jack sur une fiche BNC.

Mode d'emploi des boîtiers émetteurs-récepteurs d'ultrasons.



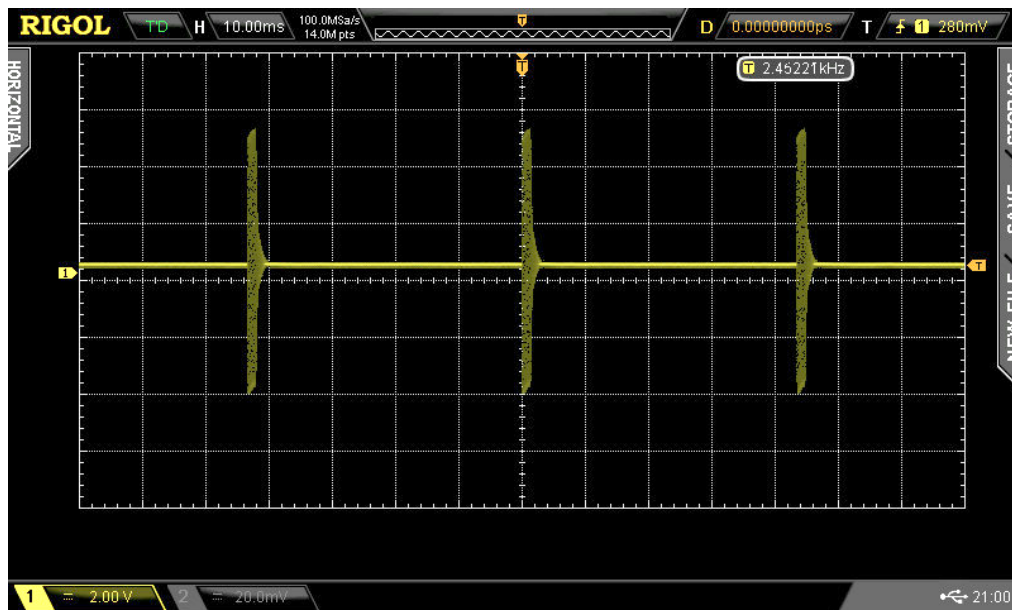
Boîtier d'alimentation



Les ondes acoustiques sont générées à partir d'un transducteur piézo-électrique. Le boîtier générateur/amplificateur de réception doit être alimenté sous une tension continue de 12 V. La fréquence peut être réglée entre 37,07 et 42,73 kHz. Le réglage du mode d'émission permet de choisir le mode continu (onde sinusoïdale) ou salve.

En mode continu, l'émetteur produit des vibrations sinusoïdales.

En mode salve, on obtient des trains d'impulsions sinusoïdales périodiques :



Synchronisation de l'oscilloscope :

Une utilisation correcte d'un oscilloscope (image stable) suppose la synchronisation du tracé à l'écran avec l'un des signaux appliqués sur les voies de l'appareil. Ainsi chaque rafraîchissement de l'image affichée sur l'oscilloscope conduit à tracer une courbe se superposant exactement à la précédente.

Par défaut, la synchronisation est faite en mode automatique sur la voie 1. Le déclenchement de la synchronisation est alors commandé par le passage du signal entré en voie 1 par la valeur 0, en valeur croissante.

Le mode « **automatique** » ne sera satisfaisant que pour des signaux assez simples (période d'identification aisée, amplitude suffisante, déclenchement au passage par la valeur nulle...).

L'oscilloscope dispose en outre de trois autres modes : « normal », « sigle » et « roll ».

Le mode « **normal** » dit aussi « mode déclenché » permet de paramétrer manuellement les conditions de déclenchement de la synchronisation. Il est accessible en le sélectionnant par le bouton « mode » situé dans la zone « trigger » en façade de l'oscilloscope. On peut alors régler le niveau de déclenchement (bouton rotatif « level ») et choisir un déclenchement en front montant ou en front descendant. Le bouton « source » permet de modifier le signal servant de référence pour le déclenchement.

Si le signal source n'atteint pas la valeur de déclenchement, l'oscilloscope reste bloqué sur la dernière image affichée. On peut aussi bloquer une image en actionnant le bouton « stop ».

Il est aussi possible d'employer un mode d'acquisition « **single** » pour lequel l'oscilloscope n'exécute qu'un seul balayage de l'écran, mémorisant ensuite cette acquisition. (Trigger / menu / Sweep / Single). Mode qui sera utilisé en particulier pour l'observation de phénomènes transitoires.

Enfin, le mode « **roll** » consiste en un enregistrement en continu des signaux défilant dans le temps, comme sur un tambour enregistreur.

1. Mesure de la fréquence et observations :

Disposer un générateur et un récepteur sur la règle. Observer les signaux obtenus, en mode « continu » et en mode « salve », au niveau du récepteur et au niveau de l'émetteur (les bornes émetteur 1 et émetteur 2 sont en dérivation).

Relever l'allure des signaux obtenus et commenter leur forme. Mesurer la fréquence des signaux émis et reçus en mode continu.

Que se passe-t-il quand on déplace le récepteur par rapport à l'émetteur ? Expliquer vos observations compte tenu des choix faits pour la synchronisation de l'oscilloscope.

2. Mesure de la célérité :

Activer le générateur en mode « salve », et placer un récepteur en une position de la règle située à 50 cm de l'émetteur. La sortie « émetteur » du boîtier d'alimentation est raccordée à la voie 1 de l'oscilloscope, le signal issu du récepteur éventuellement amplifié, est envoyé en voie 2. Le signal de synchronisation est le signal appliqué à l'émetteur.

Relever les positions x_e de l'émetteur et x_r du récepteur ainsi que la durée de propagation au moyen de l'oscilloscope pour en déduire la célérité c ou vitesse de propagation des ondes.

La valeur obtenue par cette démarche présente généralement un écart significatif par rapport à la valeur attendue théoriquement (environ $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$ à la température de la salle, voir valeur de référence exposée plus loin). En effet, la forme du signal enregistré au niveau de l'émetteur et du récepteur n'est pas identique, et le positionnement exact de l'émetteur et du récepteur ne sont pas précis (transducteurs fixés sur un support dont le repère ne correspond pas à la surface d'émission ou de réception du transducteur).

On pourrait remédier en partie au problème en employant deux récepteurs distants de d et en mesurant l'écart temporel Δt entre les instants de réception.

Plus efficacement, on peut relever les temps de propagation pour diverses positions d'un même récepteur, que l'on déplace le long du banc. A l'aide d'une représentation graphique présentant les valeurs de distance d en fonction des durées Δt , en déduire une valeur précise de la célérité des ondes acoustiques. Exploiter ces mêmes données au moyen d'une régression linéaire à l'aide de la calculatrice ; relever ces résultats et en déduire la célérité c .

Incertitudes de mesure :

Les résultats obtenus par l'ensemble des groupes vont être mutualisés : le professeur va recueillir les différentes mesures obtenues, afin de les traiter avec un logiciel permettant l'évaluation d'une incertitude de type A.

Le principe de cette opération consiste à supposer une distribution des résultats selon une loi de probabilité, en général une loi normale, et à évaluer une incertitude-type $u(M)$ sur la moyenne \overline{m} des valeurs mesurées.

Le calcul de l'écart-type σ se fait par l'application de la formule :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (m_k - \bar{m})^2}{n-1}}$$

où m_k est l'une des valeurs mesurées, et \bar{m} leur valeur moyenne. n est l'effectif de ces valeurs.

Cet écart-type permet d'évaluer l'**incertitude-type** $u(M)$: $u(M) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

On peut alors comparer la valeur M ainsi obtenue à une valeur de référence, et statuer sur le résultat en examinant la valeur de l'écart normalisé.

On remarquera que $u(M)$ est d'autant plus faible que l'effectif n est grand. En l'absence d'erreur systématique qui viendrait décentrer nos résultats, la valeur \bar{m} tendra à s'égaliser à la valeur réelle de la célérité du son.

Valeur de référence :

La vitesse du son a une variabilité vis-à-vis de la température. Une étude théorique amène l'expression :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

Où γ est le coefficient de Laplace ($\gamma = 1,4$ pour l'air), M la masse molaire ($M = 29,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$), R est la constante des gaz parfaits ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$) et T la température absolue, exprimée en Kelvin.

Au voisinage de la température ambiante, la célérité du son dans l'air peut être approchée par la linéarisation suivante, valide à 0,2% près entre -20°C et 40°C :

$$c = 331,5 + 0,607 \times \theta \quad (\text{en m/s}) \quad \text{où } \theta \text{ est la température en degrés Celsius } (^\circ\text{C}).$$

Ecart normalisé sur notre mesure :

L'incertitude-type $u(c)$ sur la mesure de c effectuée par la classe a été évaluée selon une incertitude de type A. L'incertitude-type sur la valeur de référence est estimée à $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'écart-normalisé est défini par :

$$E_N = \frac{\sqrt{(c - c_{réf})^2}}{\sqrt{u(c)^2 + u(c_{réf})^2}}$$

Avec le test :

$|E_N| < 2$: Aptitude satisfaisante ; $|E_N| > 2$: Aptitude non satisfaisante

Conclure sur la validité ou non de la mesure.

3. Mesure de la longueur d'onde :

Basculer le générateur en mode « continu ». Disposer deux récepteurs en deux positions distinctes du banc. Afficher les signaux reçus par les deux récepteurs en mode bi-courbe. Observer l'évolution du déphasage entre ces signaux en faisant coulisser un des récepteurs le long de la règle.

En déduire la longueur d'onde λ . Pour des raisons de précision, on mesurera la distance correspondant à dix longueurs d'ondes.

Reprendre la même démarche, en plaçant l'oscilloscope en mode XY.

Incertitude de mesure :

Le mesurage effectué met ici en jeu une incertitude de type B, sur une mesure donnée. La longueur d'onde λ est le résultat de la mesure de deux positions relevées sur la règle, séparant dix longueurs d'onde.

L'incertitude-type sur chaque mesure de position est : $u(x) = \frac{p}{\sqrt{3}}$ où p est la précision estimée par l'opérateur sur ce relevé (c'est-à-dire que l'opérateur estime pouvoir relever x à $\pm p$ près).

La valeur de λ est évaluée à partir d'un relevé portant sur 10 longueurs d'ondes, ce qui permet de minimiser l'incertitude de mesure. On montre en effet que : $u(10.\lambda) = 10.u(\lambda)$.

La valeur de $10.\lambda$ étant obtenue à partir des deux relevés de position, x_1 et x_2 , on en déduit l'incertitude sur λ :

$$u(\lambda) = \frac{1}{10} \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2}$$

Le calcul numérique de l'incertitude sera exécuté sur la calculatrice.

Exprimer numériquement le résultat du mesurage de λ sous la forme $\lambda = \lambda_{\text{mes}} \pm u(\lambda)$ explicitant la valeur retenue assortie de son incertitude-type.

Confronter à la valeur théoriquement attendue à partir de la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence $\lambda = c / f$, en faisant jouer le test de z-score (ou test sur la valeur d'écart normalisé). On pourra négliger l'incertitude sur la valeur de référence.

L'écart-normalisé est alors défini par :

$$E_N = \frac{\sqrt{(\lambda - \lambda_{\text{réf}})^2}}{\sqrt{u(\lambda)^2}}$$

Avec le test :

$|E_N| < 2$: Aptitude satisfaisante ; $|E_N| > 2$: Aptitude non satisfaisante

Ce qui revient finalement ici simplement à considérer la mesure comme satisfaisante si l'écart entre la valeur mesurée λ et la valeur de référence $\lambda_{\text{réf}}$ est plus faible que deux valeurs d'écart-type $u(\lambda)$.

Conclure sur la validité ou non de la mesure effectuée.