

TP19 : Propagation des ondes

MP 2025-2026, Lycée Baimbridge

2 et 9 mars 2026

Matériel

Activité 1 : Cuve à ondes préremplie avec environ 1 cm d'eau distillée, règle graduée.
Activité 2 : Deux récepteurs à ultrasons, oscilloscope, GBF, fils, multiplicateur, règle graduée.
Activité 3 : câble coaxial de 50 m, deux GBF, multiplicateur, oscilloscope.
Activité 4 : Banc hyperfréquence, émetteur et récepteur, GBF, oscilloscope, fils.

Objectif

Étudier diverses propriétés des ondes progressives et stationnaires.

Compétences évaluées

- Déterminer une vitesse de phase et une vitesse de groupe
- Observer un phénomène de dispersion
- Observer et caractériser une onde stationnaire
- Vérifier une relation de dispersion

Consignes pour le compte rendu de TP :

- *Décrire le protocole expérimental utilisé*
- *Utiliser un maximum de schémas*
- *Apporter un soin particulier aux chiffres significatifs et au traitement des incertitudes*
- *Si la question n'est pas aboutie, indiquer tout de même ce que vous avez fait, vos mesures, et ce que vous auriez fait si vous aviez eu plus de temps*
- *Ne pas y passer trop de temps, vous êtes avant tout là pour manipuler !*

Pour plusieurs activités, on utilisera la fonction créneau du GBF qui fonctionne comme suit :

Fonction créneau du GBF

La fonction créneau du GBF se règle avec différents paramètres :

- Amplitude : l'écart entre le maximum et le minimum du créneau
- Offset : la moyenne entre le maximum et le minimum du créneau. Par exemple, pour construire un créneau entre 0 et 10 V on choisira un offset de 5 V
- Duty : le rapport entre la durée d'un créneau et la temps séparant deux créneaux. Pour un créneau habituel cette valeur est de 50 % mais on peut la réduire pour former des créneaux plus courts.

Utilisation du multiplicateur

Le multiplicateur permet de multiplier deux signaux. Il doit être alimenté en continu +15V/-15V (ne pas oublier de brancher la masse). Les modèles disponibles réalisent la multiplication suivante :

$$V_S = K(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z \quad (1)$$

avec $K = 0.1 \text{ V}^{-1}$. Il faut brancher toutes les entrées lors de l'utilisation, quitte à mettre certaines d'entre elles à la masse si nécessaire.

1 Relation de dispersion des ondes de surface sur l'eau

On étudie dans cette partie des ondes à la surface de l'eau. Lorsque l'on perturbe la surface de l'eau, des vagues vont se propager suite à la combinaison de deux phénomènes :

- La combinaison de la gravité et de forces de pression horizontale ;
- La tension de surface de l'eau, qui tend à minimiser la surface de contact eau-air (c'est ce phénomène qui est par exemple responsable de la forme sphérique des gouttes d'eau).

Ces deux phénomènes tendent à homogénéiser la hauteur d'eau, ce qui va provoquer la propagation d'ondes de surface. La tension de surface est mesurée par le coefficient γ en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$. On note g l'accélération de la pesanteur terrestre et μ la masse volumique de l'eau. La relation de dispersion de ces ondes est donnée par :

$$\omega = \left(gk + \frac{\gamma}{\mu} k^3 \right) \tanh(kh) \quad (2)$$

□ **1** — La cuve à onde peut être éclairée par un stroboscope afin de visualiser les ondes sur la face avant. Le dispositif optique a un grandissement G , proposer et mettre en œuvre un protocole simple pour mesurer ce grandissement.

□ **2** — On peut exciter des ondes à l'aide d'un tuyau d'air comprimé. Produire quelques ondes, quel est l'ordre de grandeur de la longueur d'onde ? En déduire que l'on pourra considérer que $\tanh(kh) \approx 1$

□ 3 – La fréquence des ondes peut être réglée sur la cuve à ondes. Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de vérifier la relation de dispersion à l'aide d'une régression linéaire. Comparer aux valeurs tabulées : $g = 9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\gamma = 72 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$; $\mu = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2 Vitesse de phase et vitesse de groupe

On dispose de deux récepteurs à ultrasons (ils peuvent être utilisés également comme émetteurs). Ils fonctionnent aux fréquences voisines de 40 kHz (fréquence de résonance du circuit électrique situé à l'intérieur). On peut les alimenter en mode émetteur avec un GBF (tension de l'ordre de 5 V), et on peut également observer le signal reçu en mode récepteur à l'oscilloscope.

□ 4 – Mesurer la longueur d'onde des ondes ultrasonores émises, et en déduire la vitesse de phase des ondes sonores.

□ 5 – En utilisant deux GBF, construire les signaux suivants :

- Un créneau avec un duty de 10 %, une fréquence de 1 kHz, un minimum à 0 V et un maximum à 10 V ;
- Un signal sinusoïdal de fréquence 40 kHz d'amplitude 10 V

Multiplier les deux signaux et représenter le signal obtenu, montrer qu'il s'agit d'un paquet d'ondes.

□ 6 – Proposer un protocole permettant de déterminer la vitesse de groupe des ondes ultrasonores et mesurer cette vitesse.

□ 7 – Conclure : la propagation des ultrasons est-elle dispersive ?

3 Propagation dans un câble coaxial

Nous disposons d'un câble coaxial d'une longueur de 50 m dans lequel peuvent se propager des ondes électromagnétiques. Nous cherchons à caractériser la propagation des ondes dans le câble et en particulier les phénomènes de réflexion au bout du câble. L'onde qui se propage dans le câble peut être modélisée sous la forme suivante :

$$u = U_0 \cos(\omega t - kx) \qquad i = I_0 \sin(\omega t - kx) \qquad (3)$$

□ 8 – Produire un créneau avec un duty de 10 %, une fréquence de 100 kHz, un minimum à 0 V et un maximum à 10 V. Envoyer ce créneau à une extrémité du câble, et observer le signal à chaque extrémité du câble. En déduire la vitesse de propagation des ondes dans le câble, et comparer à la valeur théorique attendue. L'approximation des régimes stationnaires est-elle valable dans ce câble ?

□ 9 – La propagation est-elle dispersive ?

-
- **10** — Commenter l'allure du signal obtenu en entrée de câble. Pourquoi ne correspond-il pas au signal envoyé par le GBF ?
- **11** — Retirer le câble permettant d'observer le signal en sortie de câble, et placer à la place un court-circuit. Comment le signal en entrée de câble est-il modifié ?
- **12** — Déterminer les conditions aux limites sur u et i en sortie de câble dans les deux configurations précédentes. Expliquer alors pourquoi la réflexion en bout de câble est différente.

4 Réflexion sur un conducteur parfait

On dispose d'un banc hyperfréquences permettant de produire des ondes électromagnétiques dans le domaine des micro-ondes. Les ondes utilisées ont une puissance très faible de l'ordre du mW et ne sont donc pas dangereuses. Comme recommandé par le constructeur, par principe de précaution, on ne placera pas la tête à hauteur des émetteurs et récepteurs pour éviter de l'exposer aux ondes.

L'émetteur et le récepteur se branchent sur un boîtier. L'émetteur se branche sur "Sender" et le récepteur sur "Receiver". L'émission démarre dès que l'on branche l'appareil, choisir la fonction "Modulator INT". On peut repérer l'intensité mesurée à l'aide d'un signal sonore. On peut également mesurer cette intensité en branchant un voltmètre sur le boîtier.

- **13** — Produire une onde avec l'émetteur et placer le récepteur en face. En déplaçant le récepteur, montrer qualitativement que l'énergie transportée par l'onde décroît avec la distance.
- **14** — Ajouter une plaque en bois entre l'émetteur et le récepteur, puis une plaque en métal. Que constate-t-on ? Expliquer.
- **15** — Retirer le récepteur en cornet et le remplacer par la sonde. Envoyer une onde directement en incidence normale sur la plaque métallique ; on considérera alors que l'on a une réflexion sur un conducteur parfait. Montrer avec la sonde que l'on a une onde stationnaire, comme décrit dans le cours. Mesurer la longueur d'onde et en déduire la fréquence des ondes utilisées par l'émetteur. Tracer l'intensité de l'onde électromagnétique en fonction de la position x devant la plaque métallique.
- **16** — A l'aide de la plaque en métal striée, vérifier qualitativement la loi de Malus (il n'est pas nécessaire de faire des mesures).