

5 décembre 2017

Oliver Toifis & Eloence Pollet

‘Bonne soirée ! Enfin bon courage !’
LUCHE UN MERCREDI SOIR.

Commentaires du jury

2015-2016 : Ce montage est riche, car l’existence de conditions aux limites permet l’apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences. . . Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d’impédance caractéristique n’est pas limitée au câble coaxial. Enfin, la détermination de la fréquence de résonance de la corde de Melde à l’aide d’un stroboscope n’a pas de sens quand la corde est utilisée avec un générateur basse fréquence muni d’un fréquencemètre avec cinq décades.

2007 : Ce montage met traditionnellement en difficulté les candidats qui ne savent pas trop comment aborder la notion d’impédance.

2006 : Les notions d’onde et d’impédance ne doivent pas être totalement disjointes.

Jusqu’en 2007, le titre était : Ondes et impédances.

Bibliographie

➤ *Physique expérimentale, FLTCO* → Expérience détaillée de la cuve à ondes et propagation des ultra-sons.

Expériences

- Mesure de la vitesse de propagation d’ondes sonores.
- Observations et caractérisation d’ondes gravito-capillaires à l’aide de la cuve à onde.
- Expérience de la corde de Melde.
- Vérification de la relation de dispersion d’ondes électromagnétiques guidées dans le banc hyperfréquence.
- Mesure du taux d’ondes stationnaires avec le banc hyperfréquence.

Table des matières

1	Propagation libre.	2
1.1	Ultra-sons dans l’air	2
1.2	Ondes gravito-capillaires	2
2	Conditions aux limites longitudinales : Ondes stationnaires.	2
3	Propagation guidée	3
3.1	Relation de dispersion	3
3.2	Influence des conditions limites	3

Introduction

Lors de ce montage on va essayer d’observer la propagation des ondes dans différents milieux et leurs caractéristiques. On verra ensuite comment les conditions aux limites que l’on impose peuvent modifier cette propagation.

1 Propagation libre.

1.1 Ultra-sons dans l’air

Les ondes sonores vérifient la relation de dispersion $\omega = c \times k$. La propagation des ultra-sons dans l’air et l’eau est donc non dispersive : la vitesse de propagation ne dépend pas de la fréquence. En revanche elle dépend du milieu de propagation.

Mesure de la vitesse de propagation d’ondes sonores.

⊗ Temps nécessaire à l’expérience : 5min

➤ **FLTCO** ⊗ Temps nécessaire à l’expérience : 5min
Un émetteur envoie un signal sinusoïdal sur un récepteur. Les signaux émis et reçus sont affichés à l’oscilloscope. On place l’émetteur et le récepteur de telle sorte que les signaux affichés à l’oscilloscope soient en phase. En éloignant le récepteur de l’émetteur les deux signaux se déplacent et se retrouvent en phase au bout d’une période. On mesure la distance parcourue par le récepteur lorsque l’on passe 10 périodes. En mesurant la distance parcourue par le récepteur on a accès à la longueur d’onde. Connaissant la fréquence, on remonte alors à la célérité des ondes sonores dans l’air. On effectue la même mesure dans l’eau.
Une méthode de mesure différente est proposée dans [PLTCO].

1.2 Ondes gravito-capillaires

Les ondes à la surface de l’eau vérifient la relation de dispersion :

$$\omega^2 = gk(1 + \beta^2 k^2) \text{th}(\beta h) \quad (1)$$

- Avec $l_0 = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$ et h la hauteur d’eau. Dans le cas des eaux profondes $h \gg \lambda$ et $\text{th}(\beta h) \approx 1$

Observations et caractérisation d’ondes gravito-capillaires : la sublime expérience de la cuve à onde !

⊗ Temps nécessaire à l’expérience : 10 min

➤ **PLTCO** ⊗ Temps nécessaire à l’expérience : 10 min
A l’aide d’une cuve à onde on observe des ondes gravito-capillaires : un excitateur crée des ondes à la surface de l’eau à une fréquence imposée. On mesure la longueur d’onde des ondes, grâce à une lampe stroboscopique réglée sur la fréquence des ondes l’image sur l’écran est fixe.
On trace alors $\frac{\omega^2}{k} = f(k^2)$. On compare la valeur de g obtenue avec celle tabulée, de même pour la valeur de la tension de surface obtenue.

2 Conditions aux limites longitudinales : Ondes stationnaires.

On s’intéresse cette fois-ci à la propagation d’une onde mécanique dans une corde. On impose deux nœuds de vibration aux extrémités de la corde. On observe la mise en place d’une onde stationnaire résonnante lorsque l’on excite la corde à une de ses fréquences propres et on voit clairement l’apparition de nœuds.

$$f_n = \frac{c}{2L} n \quad (2)$$

Observations et caractérisation d'une onde stationnaire : la fameuse expérience de la corde de melde.

⌚ Temps nécessaire à l'expérience : 5 min

➤ excite une corde à l'aide d'un vibreur attaché en l'une de ses extrémités. L'autre extrémité est accrochée à une masse $m = 200\text{g}$ et repose sur une poutre. On impose ainsi un noeud en la poutre et le vibreur (on considère que les vibrations qu'il crée sont d'amplitudes faibles) et la tension du fil avec la masse.

On repère les fréquences propres d'excitation et le mode qui leur est associé (en comptant le nombre de ventres). On trace la courbe f_n en fonction de n et grâce à la mesure de la longueur de la corde et de la relation : $f_n = \frac{c_{mélde}}{2L} n$, on détermine la célérité $c_{mélde}$ des ondes dans la corde. On vérifie $c_{mélde} = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ avec μ la masse linéique de la corde (déterminée par la masse et la longueur totale du fil, et T la tension du fil ($T = mg$)).

3 Propagation guidée

3.1 Relation de dispersion

En imposant des conditions aux limites transverses à la direction de propagation on confine l'onde, ce qui permet de la guider. En effet ces conditions limites ne permettent l'existence que de certaines ondes. Le banc hypopertérence sélectionne les ondes électromagnétiques vérifiant la relation de dispersion suivante :

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 + \left(\frac{\pi}{d}\right)^2 \quad (3)$$

où a est la largeur inférieure du banc. On remarque que l'on introduit de la dispersion. Le banc hypertérence est construit :

- d'une 'Rode' Gunn, émettant des ondes centimétriques.
- d'un isolateur, évitant que les ondes retournent vers la diode.
- d'un atténuateur.
- d'un ondemièrre, cavité résonnante de taille variable permettant de mesurer la fréquence des ondes envoyées.
- d'une ligne de mesure dont on peut faire varier l'extrémité (changer la condition limite). La ligne de mesure possède une antenne mobile permettant de caractériser l'amplitude moyenne de l'onde le long du banc.

Vérification de la relation de dispersion d'une onde électromagnétique guidée dans le banc hypertérence.

⌚ TP + notice du banc ⌚ Temps nécessaire à l'expérience : 10 min

Nous choisissons pour cette expérience de mettre une pièce métallique à l'extrémité et nous considérerons que la réflexion sur la pièce de métal est totale (Nous vérifierons cette hypothèse plus tard). On observe ainsi dans le banc une onde stationnaire.

On mesure la fréquence des ondes émises à l'aide de l'ondemièrre (et de la courbe d'étalonnage fournie) et la longueur d'onde à l'aide de la ligne de mesure. On effectue l'opération pour des ondes de fréquences différentes. On trace la fréquence au carré en fonction de l'inverse de la longueur d'onde au carré pour vérifier la relation de dispersion.

3.2 Influence des conditions limites

Dans la dernière expérience nous avons mis une pièce métallique pour avoir une réflexion quasi-totale au bout du guide d'onde et observer une onde stationnaire. Nous pourrions désormais voir l'influence de cette condition au limite en mesurant le taux d'ondes stationnaires. On caractérise ainsi le coefficient de réflexion de l'onde.

$$TOS = \frac{E_{\text{onde réfléchie}} + \text{onde incidente en phase}}{E_{\text{onde incidente}}} = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \quad (4)$$

onde réfléchie + onde incidente en phase.

onde réfléchie + onde incidente déphasée

Mesure du taux d'ondes stationnaire avec le banc hypertérence.

⌚ TP + notice du banc

⌚ Temps nécessaire à l'expérience : 10 min

On cherche ici à caractériser plusieurs conditions limites différentes. On essaye de ne rien mettre, de mettre une pièce de métal et de mettre un cornet. Pour caractériser chaque condition limite on cherche à déterminer le coefficient de réflexion de chaque dièdre, que l'on trouve en mesurant le TOS. Pour mesurer le TOS, on se place sur un minimum d'intensité de l'onde sur la ligne de mesure, on note l'atténuation (de l'atténuateur) initiale A_1 et l'amplitude de l'onde (mesurée à l'antenne). On se place ensuite à un maximum de l'onde et on atténue l'amplitude de l'onde à l'aide de l'atténuateur de telle sorte que l'amplitude du maximum vaille désormais celle mesurée pour le minimum (pour mesurer plus précisément les faibles amplitudes du signal on peut utiliser un voltmètre plutôt que l'oscilloscope.)

On note ensuite la valeur de l'atténuation A_2 .

Par définition de l'atténuation on a :

$$E_{\text{max}} = 10^{-\frac{A_2 - A_1}{20}}$$

On trouve alors $TOS(\text{métal}) > TOS(\text{libre}) > TOS(\text{cornet})$ et on peut discuter des différentes impédances de chaque condition aux limites.

Conclusion

On a donc pu observer la propagation d'ondes mécaniques et électromagnétiques, d'abord libre dans des milieux dispersifs ou non. On a ensuite rajouté au fur et à mesure des conditions aux limites et observer l'apparition d'ondes stationnaires et l'introduction de dispersion. Enfin une fois qu'on peut propager une onde il faut choisir une impédance adaptée pour la transmettre au milieu.

Questions, commentaires

Remarques des correcteurs sur les manips :

- utiliser une cuve plus large pour la propagation des ultrasons
- utiliser de l'eau distillée pour la cuve à ondes
- ne faire qu'une mesure pour le TOS, les autres ayant été faite en préparation