

# M29 : Propagation des ondes et conditions aux limites

Rapport du jury : Ondes : propagation et conditions aux limites : 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 digits

## Introduction:

Ce montage consiste en l'observation de la propagation des ondes et l'effet des différentes conditions aux limites sur celle-ci.

## I - Propagation libre des ondes ultrasons

### M30 - II.1

But : Mesure de la vitesse d'ondes acoustiques dans l'air.

On utilise des ondes ultrasonores car les mesures ne seront pas perturbées par l'environnement → Utilisation émetteur, 2 récepteurs et rail Moduson (dispositif Jeulin).

- Émetteur alimenté avec un boîtier générant des salves
- Les 2 récepteurs sont écartés d'une distance D (faire dessin au tableau, cf poly).  
Il vaut mieux prendre D assez grand pour optimiser le résultat.
- On visualise les signaux des 2 récepteurs sur un oscilloscope.
- On relève  $\Delta t$  pour différentes distances D (prendre un point de repère anguleux pour avoir  $\Delta t$  + précis, voir poly)

### Incertitudes :

- Pour D, on l'estime à  $\pm 2$  mm
- Pour  $\Delta t$  :  $\pm 0.01$  ms (dépend de l'oscillo)

### Sur Regressi :

- Tracé de D en fonction de  $\Delta t$
- Ajustement avec une affine car la référence de temps est arbitraire (pas forcément à zéro)
- Le coeff directeur nous donne v (avec incertitude).

On compare à la vitesse attendue :  $v_{son\ gaz} = \sqrt{\gamma R_s T}$  ( T doit être mesurée car la vitesse dépend de la température! )

$\gamma = C_p/C_v$  (=Constante des gaz propres diatomiques = 1.4)

$$R_s = \frac{cte\ des\ GP}{M(air)} = 287\ J/kg/K$$

Calcul de l'impédance acoustique :  $Z_c(air) = \rho v$

Voir Excel

Discussion Impédance : détermine si l'onde se transmet bien ou non dans le milieu. On peut la comparer avec celle de l'eau et expliquer que leur différence explique pourquoi la transmission se fait mal entre ces 2 milieux.

**Si on a le temps (mais pas forcément meilleure manip, la vitesse dans l'eau dépend de la fréquence contrairement à l'air)** : Faire de même pour l'eau : On essaye de mettre en phase l'émetteur et le récepteur.

-On relève, les positions.

-Puis on chariote pour avoir une deuxième position en phase : On relève les positions.

-On obtient la longueur d'onde en soustrayant les 2 valeurs, car la distance entre 2 positions de phases =  $\lambda$ .

-Avec la fréquence des ultrasons, on obtient ainsi la vitesse des ultrasons dans l'eau :  $v = \lambda f$

.

-On en déduit la mesure de l'impédance qu'on compare avec l'air.

-On peut faire la manip pour plusieurs périodes (pour plus de précisions) malgré ça, on va certainement avoir une grosse différence avec la vitesse tabulée à 20°C. Car notre eau n'est pas à 20°C.

## II - Propagation guidée des ondes

M29 - V +Annexe + [https://younalouyer.files.wordpress.com/2019/06/m29\\_mat.pdf](https://younalouyer.files.wordpress.com/2019/06/m29_mat.pdf)

On étudie la propagation des ondes ultrasonores dans un guide d'onde rectangulaire. Les ondes acoustiques sont longitudinales et on a ici des CL transverses → Observation de modes car le signal s'adapte aux CL.

Attention : quand on prend un générateur de pulse même en mode rapide, cela ne fonctionne pas on ne parvient pas à observer les différents modes.

→ On utilise un **fichier LatisPro** (fichier Alain, voir à la fin de ce doc) créé au préalable qu'on envoie à l'émetteur.

Ainsi, lorsque l'émetteur est en face du récepteur, on a une gaussienne : les modes sont plus faciles à voir.

Attention : Avec le signal envoyé par Latis Pro, il reste un problème (on a un pic en trop) mais il sera modifié

Pour brancher émetteur et récepteur à l'oscilloscope, on utilise des câbles coaxiaux plutôt que des fils, car les fils sont sensibles aux fréquences (ex, l'antenne du radio est en fait un fil) En revanche, les câbles coaxiaux sont parfaitement isolés par la gaine, il ne sont parcourus que par l'onde EM.

-Penser à couper les hautes fréquences à l'oscillo (sélectionner la source → Limite BP) (L'oscillo a une limite de fréquence de 70 MHz, ce qui est beaucoup trop dans notre situation car les ultrasons ont une fréquence d'environ 40 kHz.)

- Pour commencer, sans guide d'onde, on place l'émetteur et le récepteur proches (environ 3cm) et inclinés (sinon réflexion). On mesure le temps à mi hauteur du premier gros pic à l'aide des curseurs de l'oscillo. On le note.
- Puis on place émetteur et récepteur de chaque côté du guide d'onde (chacun à 1,5 cm). On ne doit pas mettre l'émetteur en face, sinon on a que le mode (0,0). De même pour le récepteur, sinon on a des réflexions parasites.
- On remarque tout d'abord l'intérêt du guidage, on voit que l'amplitude du signal transmis est beaucoup plus important avec le guide d'onde.
- On doit les orienter de façon à obtenir au mieux 3 pics qui correspondent aux modes (car il est difficile d'observer plus de 3 modes..)
- On relève chaque temps à mi-hauteur de ces 3 pics.
- Pour avoir le temps de propagation de ces modes dans le guide, on soustrait les temps obtenus avec celui obtenu en l'absence de guide d'onde.

Sur **Excel** :

- On rentre la fréquence (relevée à l'oscillo sur signal d'entrée, normalement ~40 kHz)
  - La célérité (On rentre celle trouvée à partir de la formule :  $v_{son\ gaz} = \sqrt{\gamma R_s T}$  )
  - Les dimensions du guide d'onde (a=1.2cm et L=40.1cm quand on l'a fait)
- Attention : quand on relève L, on ne prend pas en compte la distance des boîtiers de l'émetteur et récepteur...

Avec la relation :  $\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \left( \frac{m}{4a^2} + \frac{n}{4a^2} \right)$  on en déduit  $\lambda_g$  pour différents modes.

Puis on calcule  $v_g = c\lambda/\lambda_g$

Avec les  $\Delta t$  obtenus juste avant et L, on calcule les  $v_g$  correspondants

Comparer avec les  $v_g$  obtenus grâce à la formule.

On associe à chaque pic, les modes observés.

**Conseil:** Lire bouquin et regarder des schémas sur les modes + cf fin de ce document

### III - Propagation des ondes dans un câble coaxial

M29 - IV + Annexe (pour théorie sur le câble coax)

On utilise la 1ère méthode:

- GBF : Signal carré ~ 6 MHz. Dissymétriser le signal pour avoir des pulses de 80 ns, puis brancher le câble coax.
- Avec oscillo numérique : on observe le signal en circuit ouvert et en court circuit.
- Parler du coeff de réflexion  $\Gamma = 1$  ou  $\Gamma = -1$  (voir poly)
- On relève  $\Delta t$  (plusieurs pour + de précisions)
- On en déduit v.

Considérer les incertitudes sur la longueur du câble et  $\Delta t$ .

Comparer avec valeur attendue :  $c = c_0/\sqrt{\epsilon_r}$  où  $\epsilon_r \text{ tabulé} = 2.30$  (polyéthylène) (ou avec L et C, on peut aussi mesurer  $\epsilon_r = c_0^2 LC$ ).

**Voir Excel**

Calcul de l'impédance :

On cherche à savoir comment éviter une réflexion (chaque milieu a sa propre impédance, donc on cherche pour laquelle l'onde se comporte comme si elle se propageait "à l'infini")

-Ajout d'une résistance variable en bout du montage

-Repérer la valeur  $Z_c$ , telle qu'on n'observe plus la réflexion (correspond à l'impédance caractéristique) : évaluer incertitude.

→ Remarquer que pour  $R > R_c$ , on a réflexion sans inversion, et pour  $R < R_c$  : réflexion avec inversion. Expliquer avec le coefficient de réflexion (cf poly).

-On peut mesurer l'inductance linéique et la capacité linéique du câble coax pour comparer avec la valeur attendue :  $Z_c = \sqrt{L/C}$

Voir Excel

Remarque : Coax tellement grand : on n'est pas dans l'ARQS  $d > \lambda$ . Si on sort de l'ARQS : déphasage entre l'onde transmise et réfléchie, effet de propagation non négligeable.

**Conclusion:**

**Questions :**

I-Que se passe-t-il maintenant si on impose des limites à notre milieu?

***(-Comment est l'onde dans l'eau?)***

Exp dans l'eau : Perturbe le récepteur car on a une réflexion sur les bords de l'aquarium. Est-ce qu'on a vraiment la vitesse de phase? Pas vraiment car on a les ondes réfléchies qui perturbent la sinusoïde.

Dans la cuve d'eau, les ondes sphériques font réflexions sur les côtés (du fait de l'impédance très faible de l'air). Émetteur large pour éviter de prendre en compte les réflexions mais ne les supprime pas.)

***-Comment fonctionne un émetteur à ultrasons?***

Actuellement, trois types d'émetteurs sont utilisés pour générer des ultrasons, utilisant la transformation de l'énergie électrique transportée par des courants alternatifs de fréquence élevée en énergie mécanique (oscillations d'un système mécanique).

-Les émetteurs piézoélectriques (pour moi c'est eux qu'on utilise) :

L'élément essentiel de ce type de générateur est constitué d'un triplet, c'est-à-dire d'une mosaïque de lamelles de quartz d'orientation et d'épaisseur rigoureusement identiques, collées entre deux disques d'acier. Ces deux disques sont reliés aux bornes d'une source de courant alternatif. Les lamelles de quartz sont alors déformées à la même fréquence que celle de la tension qui leur est appliquée. Elles produisent des vibrations mécaniques qui sont transmises au milieu dans lequel se trouve l'appareil. C'est cette méthode que Langevin utilisa pour créer les premiers émetteurs.

-Les émetteurs magnétostrictifs

Ces émetteurs utilisent le principe de la magnétostriction : des corps ferromagnétiques (par exemple de type tôles de nickel) sont placés dans un champ magnétique variable. Il permet

d'obtenir une contraction des corps assez importante, qui se transmet dans le milieu ambiant, généralement aérien. L'avantage de ces émetteurs est leur robustesse, leur inconvénient, ils ne permettent pas de produire des ultrasons de fréquence supérieure à 50 000 Hz.

#### -Les émetteurs électrostrictifs

Le fonctionnement de ces émetteurs est proche des émetteurs magnétostrictifs, à la différence que les corps utilisés sont des céramiques placées dans un champ électrique variable. Les dimensions du corps varient alors, entraînant un mouvement mécanique des molécules d'air : des ultrasons.

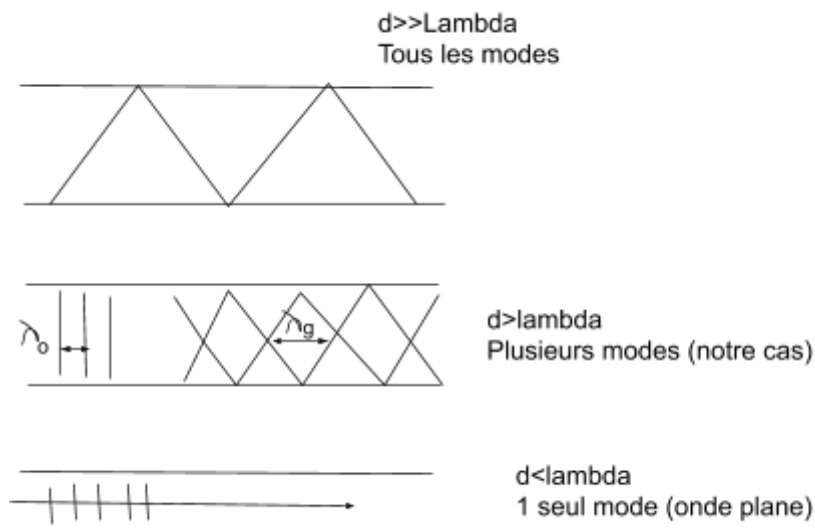
---

#### **-En quoi est fait un câble coaxial ?**

Le câble coaxial est un câble à deux conducteurs de pôles opposés séparés par un isolant. Il est utilisé pour la transmission de signaux numériques ou analogiques par fréquences hautes ou basses, notamment entre les antennes TV et les téléviseurs. Il a été élaboré par l'Américain Herman Affel qui a obtenu le brevet de cette invention en 1931.

Le câble se compose d'un conducteur central appelé l'âme, généralement en cuivre, qui est enrobé dans un matériau diélectrique isolant. Ce dernier est lui-même entouré par un blindage qui fait office de second conducteur. Ce blindage peut être une tresse de cuivre ou une feuille d'aluminium. Le tout est protégé dans une gaine isolante. Cette configuration est pensée pour que les conducteurs ne produisent et ne subissent aucune perturbation vers et depuis l'extérieur. La moindre détérioration d'un câble coaxial altère son fonctionnement et ses performances.

#### **Note pour le guide d'onde :**



+ Pour le programme sur Latis Pro :

Signal émis :

Fichier latiss – émission, mode GBF, sortie active branchée sur l'émetteur.

On fait en sorte qu'en propagation libre à 2 cm entre émetteur et récepteur, le signal reçu par l'oscillo est une gaussienne.

$$s(t) = A(t) \circ e(t)$$

S(t) : signal reçu. E(t) signal envoyé, A(t) : filtre de l'émetteur et du récepteur

$$s(v) = A(v) \cdot e(v)$$

Pour que  $s(v)$  soit une gaussienne (et donc  $s(t)$  en sera une) :  $e(v) = \frac{f(v)}{A(v)}$   $f(v)$  est une gaussienne.

Les différents filtres sont linéaires : équivalent d'une grande fonction A(t) filtre.

Filtre en face, loin : gaussienne + loin, + faible

Filtre au travers du guide : gaussienne au même endroit (le guide ne change pas la vitesse de propagation), + amplitude (le signal est moins dispersé).

En changeant orientation émetteur/récepteur, on observe de nouveaux modes.

Voir le poly pour le reste.