

TP8 : Atténuation des Ultrasons - Correction

TP INFO

En lien avec le chapitre 17

MOTS CLES:

Son – Atténuation -dB

PREREQUIS

Onde sonore, intensité sonore, niveau d'intensité sonore
Onde mécanique, double périodicité spatiale et temporelle

OBJECTIFS

Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption d'une onde sonore.

Introduction

Les ondes sonores qui sont des ondes qui nécessitent un milieu de propagation, elles s'atténuent aux cours de leur propagation.

Quels sont les phénomènes physiques responsables de cette atténuation ?

I. Atténuation des ondes sonores

Document 1 : Niveau d'intensité sonore et atténuation

L'intensité sonore I et la puissance de la source P sont dans l'hypothèse d'une propagation sphérique liés par la formule :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

avec r la distance à la source et rayon de la sphère en m, P en W et I en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Le **niveau d'intensité** L sonore est défini comme suit :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Avec :

- L niveau d'intensité sonore en dB
- I : intensité sonore en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- I_0 : intensité sonore de référence à 1000 Hz

L'atténuation A est définie¹ comme la différence entre les niveaux d'intensité sonore de deux points de propagation de l'onde.

$$A_{geo} = L_{proche} - L_{éloigné}$$

Document 2 : Pression acoustique

Les signaux acoustiques que l'oreille humaine perçoit comme un son ou une pression acoustique sont de petites fluctuations de la pression de l'air qui s'ajoutent à la pression atmosphérique (pression barométrique).

La pression acoustique décrit la variation de la pression en présence d'une onde acoustique.

La pression acoustique² p et l'intensité sonore I sont liés par la relation suivante :

$$I = \frac{p^2}{Z} \quad (1)$$

Avec $Z = \rho c$ impédance acoustique (ρ masse volumique du milieu de propagation et c vitesse de propagation du son). Dans l'air : $\rho = 1,176 \text{ kg/m}^3$ et $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$ on a $Z \approx 400 \text{ kg.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

¹ Parfois l'atténuation est définie comme l'opposé : $A = L_{éloigné} - L_{proche}$, dans ce cas l'atténuation sera négative : -20 dB par exemple.

² Ne pas confondre p pression acoustique et P puissance de la source.

Document 2 : Les capteurs Piezoélectrique

Un capteur piézoélectrique est constitué d'un cristal de quartz qui a la propriété lorsqu'il est soumis à une contrainte mécanique de générer un champ électrique $\vec{E}$ et donc comme dans le cas du condensateur d'avoir une différence de potentiel U (tension) entre ses faces. De même lorsqu'il est soumis à une tension il peut générer une force.

Les récepteurs ultrason sont sensibles à la pression acoustique qui soumettent le capteur à une force.

On a la relation suivante :

$$U = kp \quad (2)$$

Avec k constante de proportionnalité qui dépend du capteur (surface, type de cristal...)

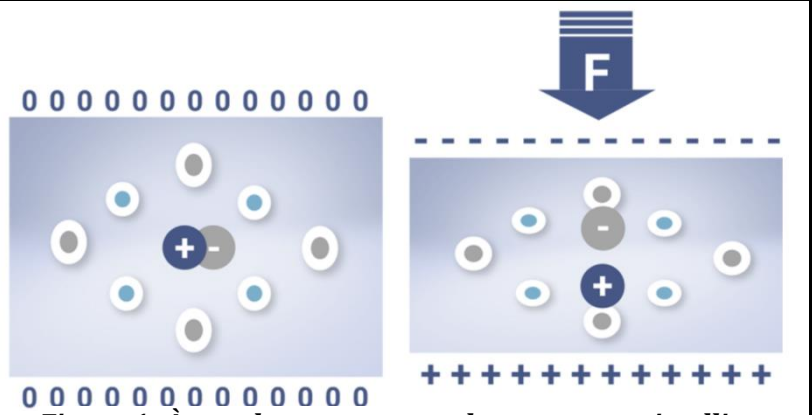


Figure 1: À gauche, nous voyons la structure cristalline moléculaire non soumise à une contrainte (au centre, il y a la charge, qui est équilibrée dans ce cas). À droite, le cristal est soumis à une contrainte mécanique : les centres de symétrie des charges s'écartent et la charge peut être mesurée en haut et en bas du cristal.

Source hbm.com

Document 4 : Adressage absolu avec Excel Source : excel-malin.com

Les adresses absolues comportent le signe "\$" devant les lettres et les chiffres (comme \$A\$1). Lorsque vous copiez une formule contenant une telle adresse, elle ne s'adapte pas.

Par exemple, si vous copiez la formule =A1+\$B\$1 de la cellule C1 dans la cellule C2, la formule restera =A2+\$B\$1. Les colonnes ne s'adaptent pas non plus. Ainsi, si vous copiez la formule =A1+\$B\$1 de la cellule C1 dans la cellule D2, la formule se transformera en =B2+\$B\$1.

II. Travail à réaliser

a. Prise en main du matériel et caractéristiques des ultrasons

Nous allons utiliser des générateurs et récepteurs ultrason ainsi qu'un oscilloscope pour effectuer les mesures.

1. Suivre le protocole suivant :

- Placer le générateur et le récepteur ultrason face à face
- Brancher le récepteur sur la voie 1 de l'oscilloscope et observer le signal reçu.

2. A l'aide de l'outil mesure ou des curseurs déterminer la période T du signal et en déduire sa fréquence f .

La fréquence des ultrasons utilisés est voisine de 40 kHz. On peut utiliser l'outil de mesure ou les curseurs pour déterminer T , on utilise ensuite $f = \frac{1}{T}$ pour calculer la fréquence.

3. Proposer une expérience simple permettant de mettre en évidence qualitativement l'atténuation géométrique.

Pour mettre en évidence l'atténuation géométrique, il suffit d'éloigner le récepteur de d'observer que l'amplitude du signal diminue. Si l'amplitude diminue alors la pression acoustique est plus faible et donc l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore sont eux aussi plus faibles.

4. Proposer une expérience simple permettant de mettre en évidence qualitativement l'atténuation par absorption.

On peut par exemple mettre une feuille de papier entre le récepteur et l'émetteur.

5. Suivre le protocole suivant de façon à déterminer la période spatiale λ des ultrasons.

- Placer le générateur et les deux récepteurs ultrason face à face
- Brancher le récepteur 1 sur la voie 1 et le 2 sur la voie 2 de l'oscilloscope et observer le signal reçu.
- Le premier émetteur restant fixe, éloigner le deuxième jusqu'à ce que les signaux soient de nouveau en phase.
- Faire la même chose N fois et mesurer la distance d_N entre les deux récepteurs.

6. Pourquoi les signaux sont déphasés et reviennent-ils en phase ?

La propagation de l'onde sonore à vitesse finie (celle du son) fait qu'il y a un retard entre le signal reçu par le premier récepteur et le deuxième. Lorsque ce retard τ est égal à une période T du signal source, les deux signaux des récepteurs sont en phase.

Sur l'oscilloscope on observe une représentation temporelle c'est-à-dire en fonction du temps pour une position de récepteur donnée.

7. Quelle relation y'a-t-il entre N , d_N et λ ?

Lorsque les signaux reviennent en phase sur l'oscilloscope on a déplacé (dans l'espace) les deux récepteurs d'une distance d égale à la longueur d'onde (période spatiale) λ .

Donc avec $d_N = Nd = N\lambda$.

Pour obtenir la longueur d'onde il faut alors :

$$\lambda = \frac{d_N}{N}$$

8. Pourquoi compter N fois une remise en phase des signaux ?

On augmente ainsi la précision de la mesure et donc on réduit l'incertitude type sur λ .

$$u(\lambda) = \frac{u(d_N)}{N}$$

On peut établir que on est sur à 100% que la valeur de d_N se trouve dans un intervalle de 1cm, donc :

$$u(d_N) = \frac{1\text{cm}}{2\sqrt{3}} = 0,3\text{ cm}$$

Donc pour 10 remises en phase :

$$u(\lambda) = 0,03\text{ cm} = 0,3\text{ mm}$$

9. Calculer la vitesse des ultrasons c à partir de λ et f .

On utilise pour une propagation à vitesse constante la relation $v = \frac{d}{\Delta t}$, ici :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

b. L'atténuation géométrique

- Reprendre l'expérience sur l'atténuation géométrique
- Mesurer l'amplitude U du signal reçu pour plusieurs distances en partant d'une distance d_{ref} d'environ 1 cm jusqu'à $d=1\text{m}$ environ.

Attention il faudra, pour plus de précision, légèrement tourner la tête du récepteur ultrason pour faire la mesure lorsque le signal est d'amplitude maximale

10. Montrer que l'atténuation géométrique est égale à :

$$A_{geo} = 10 \log \left(\frac{U_{ref}^2}{U^2} \right) = 20 \log \left(\frac{U_{ref}}{U} \right)$$

On part de

$$A_{geo} = L_{proche} - L_{éloigné}$$

Or : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$ et $I = \frac{p^2}{Z}$ donc avec la référence à la distance la plus proche :

$$L_{proche} = 10 \log \left(\frac{I_{ref}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{p_{ref}^2}{Z}}{I_0} \right)$$

Comme $U = kp$, on a $p = \frac{U}{k}$ donc :

$$L_{proche} = 10 \log \left(\frac{\frac{p_{ref}^2}{Z}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{U_{ref}^2}{Zk}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{U_{ref}^2}{I_0 Z k} \right)$$

De même pour les distances d éloignées :

$$L_{éloigné} = 10 \log \left(\frac{\frac{U^2}{Zk}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{U^2}{I_0 Z k} \right)$$

En utilisant le fait que $\log a - \log b = \log \left(\frac{a}{b} \right)$, on a :

$$A_{geo} = 10 \log \left(\frac{U_{ref}^2}{I_0 Z k} \right) - 10 \log \left(\frac{U^2}{I_0 Z k} \right) = 10 \log \left(\frac{U_{ref}^2}{U^2} \right) = 10 \log \left(\frac{U_{ref}}{U} \right)^2$$

Or comme $\log x^n = n \log x$

$$A_{geo} = 20 \log \left(\frac{U_{ref}}{U} \right)$$

11. A l'aide d'un tableur, calculer l'atténuation géométrique pour toutes les valeurs.

12. Montrer que dans le cas d'une propagation sphérique, l'atténuation entre une distance d_{ref} et une distance d peut se mettre sous la forme

$$A_{géo\ sphérique} = 10 \log \left(\frac{d^2}{d_{ref}^2} \right) = 20 \log \left(\frac{d}{d_{ref}} \right)$$

Le calcul est similaire au précédent mais il faut utiliser le modèle suivant avec $r = d$ et $r_{ref} = d_{ref}$

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

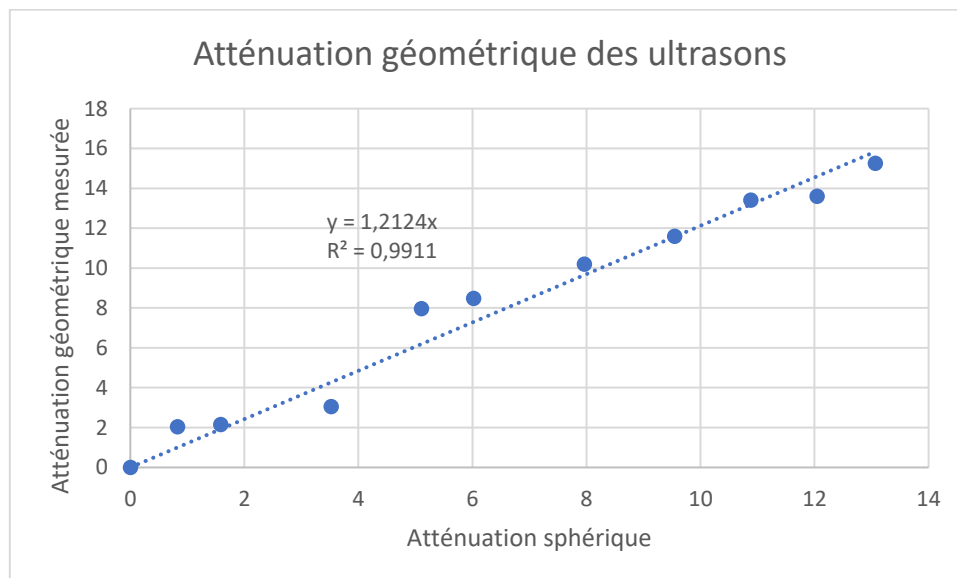
13. A l'aide d'un tableur, calculer l'atténuation géométrique pour toutes les distances d .

$20\log(d_{ref})/d$	$20\log(U/U_{ref})$
0	0
0,8278537	2,03746865
1,58362492	2,13788468
3,52182518	3,04181965
5,1054501	7,95880017
6,02059991	8,46689177
7,95880017	10,1982754
9,54242509	11,5798937
10,8813609	13,4064965
12,0411998	13,593297
13,0642503	15,2527817

14. Quel type de courbe devrait-on obtenir si on trace A_{geo} en fonction de $A_{géo\ sphérique}$?

Si le modèle est valable les deux atténuations sont égales : $A_{geo} = A_{géo\ sphérique}$. On devrait donc obtenir une droite passant par l'origine de coefficient directeur 1.

15. Est-ce que le modèle de propagation sphérique est validé ?



Les points semblent s'aligner aléatoirement autour d'une droite. Le coefficient directeur est ici voisin de 1 mais égal à 1,21. L'incertitude type de la régression linéaire donne $u(coef) = 0,04$ l'incertitude type avec une étude statistique sur le coefficient directeur est de $u(coef) = 0,4$.

Cette manipulation est délicate et sensible. L'atténuation mesurée est supérieure à celle attendue. Il y d'autres phénomènes d'atténuation, des réflexions...

Références

[1] U. Delabre, Smartphonique, Dunod.