

# LPOB30 : Retour rapide

Aurélien Ricard

En prérequis : EDA, solutions, notions d'analyse spectrale, equation d'Euler dans l'approximation acoustique, notion de viscosité

## 1 Introduction

: A ce stade de la leçon, on a vu ce qu'étaient des ondes sonores et on les a caractérisées avec les outils ondulatoires habituels. On va donc interpréter ce comportement ondulatoire, au travers de l'étude des ondes sonores aux interfaces ainsi que leur dissipation. Outre la forte analogie électromagnétique que cela représente, on a beaucoup d'applications concrètes de ce phénomène. On prendra en particulier l'exemple du médical : d'une part avec l'échographie, d'autre part avec la thérapie par ultrasons

## 2 Plan détaillé (qui peut être coupé différemment je pense)

### 2.1 Ondes sonores à une interface

Diapo avec cadre d'étude simplifié. On va devoir se donner des outils pour caractériser ces ondes aux interfaces

#### 1) Cadre d'étude, hypothèses

Avec les équations couplées, les notations en ondes planes, une remarque sur le sens de propagation choisi

#### 2) Impédance acoustique

Le calcul pour arriver à la forme de  $\frac{p}{v}$  qui est la définition de l'impédance, avec des remarques physiques sur diapo.

On a tous les outils pour décrire ce qu'il se passe aux interfaces, on va l'utiliser

Il faut revoir tout ça, ça m'a pris 20 minutes parce que j'ai été lent et j'ai voulu faire ça propre, mais je n'ai pas été efficace ...

#### 3) Réflexion et transmission : l'échographie

Les coefficients en réflexion, interprétation sur diapo, application à l'échographie, adaptation d'impédance avec le gel. L'application est OK mais le faire sur une interface entre deux tissus mous différents pour faire une vraie application numérique, et aussi parce que c'est comme ça que ça marche l'échographie.

Ok c'est rigolo tout ça mais on fait pas de la thérapie, ie chauffer tissus pour tuer tumeurs par exemple. Pour ça, il faut que l'onde perde de l'énergie dans le milieu, donc il faut modéliser pertes

## 2.2 Dissipation d'énergie

### 1) Effet de la viscosité

Cadre d'étude sur diapo, nouvelle équation de propagation avec la viscosité, relation de dispersion. J'ai fait des calculs sur tableau, il faut aller vite sur diapo là, pour ensuite faire les applications proprement. Pertes aux faibles amortissements (12MHz pour l'échographie). J'ai pas eu envie de présenter le calcul, et même pas la formule sans approximation. C'est un système d'équations vu que  $k$  est complexe, il faut identifier les parties réelles et imaginaires dans la dispersion, résoudre une équation du 4e degré et faire apparaître  $k(\omega)$  qui est immonde. En fait le calcul doit être fait si on veut être rigoureux pour la thérapie car les fréquences sont du GHz. En bon feignant (heu pédagogue), j'ai plutôt dit qu'on garde les faibles amortissements pour le calcul à haute fréquence, on dit oulala c'est très amorti, l'approximation n'est plus valable donc c'est qu'on est plus aux faibles amortissements, donc on atténue beaucoup l'onde, donc on transfère de l'énergie au milieu et on chauffe.

2) Diffusion (partie tampon) On voit qu'on chauffe le milieu, hypothèse toujours valable pour l'équation de Navier Stokes? ODG sur la longueur de diffusion. J'ai évoqué ça en conclusion parce que je n'avais plus le temps, sinon j'aurais parlé d'autres applications du type soit instruments de musique (qui ont une adaptation d'impédance géométrique) soit les sonars ou autres truc qui réfléchissent les ondes sonores.

## 3 Questions et remarques

Je vous copie colle les remarques de Manuel Combes sur discord : (1) la notion d'impédance propagative est centrale ici. C'est le rapport des variables couplées dans le sens cause/conséquence. Il faut avoir du recul dessus, et voir le lien avec les autres domaines (ex: coaxial), mais avec les bonnes unités. (2) Certains passages trop lents (calculatoires) ont freiné la leçon. Par exemple la mise en place avant le calcul de  $r$  et  $t$  (déjà 20 min). Et la partie dissipation doit déporter les calculs sur un slide pour insister sur les applications numériques. (3) il faut être au point sur Poynting acoustique et le bilan de puissance correspondant (cf doc ci-dessous). (4) Insister là aussi sur le chiffrage concret des applications. Vous trouverez dans le Garing (1001 questions de la physique en prépa, mais aussi dans son bouquin d'ondes j'imagine) : la dissipation visqueuse dans l'air (appli possible aux concerts lointains dont seuls les aigus sont atténués) et la transmission à travers une cloison (très bon exercice, notamment sur la discontinuité de pression).

### 3.1 Questions dont je me souviens, remarques

- Analogie avec électrocinétique? Pourquoi l'impédance c'est ça et pas la masse volumique sur la vitesse? -C'est un rapport cause/conséquences
- Application de l'adaptation d'impédance en acoustique? L'oreille interne, et le Ca vaudrait le coup d'en parler
- Interprétation physique de Poynting?  $P_v$  c'est la puissance de la force de pression surfacique.
- Comment obtenir les coefficients de réflexion et transmission en énergie? Avec Poynting et le même raisonnement

- Questions diverses et variées sur l'échographie, comment ça marche, qu'est ce qu'on image, comment... En fait c'est compliqué, on mesure des temps d'aller retour, on a des réflexions aux interfaces entre les tissus, on récolte beaucoup de données qu'il faut traiter en prenant tout ça en compte. Aussi, les faisceaux sont focalisés pour imager différentes profondeurs (la focalisation se fait grâce à une matrice d'émetteurs, qui émettent de façon déphasée pour que les ondes se focalisent à une profondeur précise)
- Ondes sonores transversales? Séismes, flexion poutre.
- Démo onde dans un solide? J'ai pris la compression avec le module d'Young, je me suis raté :) Il faut faire des bilans de forces sur une section de solide qui voit ses surfaces écartées de l'équilibre, calculer la longueur, utiliser la définition du module d'Young, appliquer le PFD à la section. On obtient une EDA.

## 4 Biblio

- La dissipation : Garing ondes mécaniques et diffusion (p83)
- Calcul coefficients de réflexion : Olivier, physique des ondes
- ODG de l'échographie et idées dessus : heu mon cours de M1 de physique médicale, si ça en intéresse je peux vous le passer cette partie était très courte.