

Titre : Ondes mécaniques : applications aux instruments de musique

Présentée par : Richard Wild

Rapport écrit par : Richard Wild

Correcteur : Marc Rabaud

Date : 06/04/2020

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
PCSI Tout en un		Dunod	2013
Ondes 2 ^{ème} année, H prépa			

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis :

- Ondes électromagnétiques
- Mécanique des fluides (écoulements parfait)
- Thermodynamique

I) Cadre d'étude et description des ondes acoustiques

A) Approximation acoustique

Situation de départ : fluide au repos de masse volumique et de pression constante

On traite les ondes acoustiques comme une petite perturbation par rapport à cet état initial

B) Mise en équation :

Equation d'Euler pour un fluide parfait

Equation locale de conservation de la masse

Coefficient de compressibilité isentropique

On linéarise ces équations pour obtenir l'équation de d'Alembert sur la surpression p_1

C) Expression de la vitesse du son et retour sur les hypothèses

On exprime le coefficient de compressibilité isentropique pour un gaz parfait en utilisant la loi de Laplace. Application numérique pour l'air à 20°C, on retrouve bien la valeur attendue

II) Aspects énergétiques

A) Conservation locale de l'énergie

Par analogie avec l'EM on définit un vecteur de Poynting acoustique qui vérifie une équation de conservation de l'énergie. On définit une énergie potentielle pour que cette équation soit vérifiée

B) Intensité

Définition de l'intensité acoustique et lien avec l'audition humaine

C) Impédance

Définition de l'impédance acoustique en utilisant l'équation d'Euler.

Cas d'un changement de milieu, on peut avoir réflexion => établissement d'ondes stationnaires possible

III) Tuyaux sonores : applications aux instruments à vent

On cherche des solutions sous forme d'ondes stationnaires pour une onde acoustique dans une colonne d'air, suivant les conditions limites (tuyau ouvert ou bouché aux extrémités)

On montre la quantification des vecteurs d'ondes et le lien entre la longueur du tuyau et la longueur d'onde d'un mode.

Pour un tuyau ouvert aux deux extrémités (cas d'une flute) : présence de tous les harmoniques
Pour un tuyau fermé à l'une des extrémités (cas d'une clarinette) : harmoniques impairs uniquement

Schéma pour différents modes suivant les conditions initiales, pour la surpression et la vitesse.
On montre bien nœuds de vitesse = ventres de pression et réciproquement.

Questions posées par l'enseignant

Vous avez choisi de parler des ondes acoustiques et en particulier de vous concentrer sur les instruments à vent. Qu'aurions-nous eu avec d'autres instruments ?
Est-ce le même type d'onde ?

Peut-on comparer la direction de la déformation du gaz dans les ondes acoustiques et de la corde dans la corde de Melde ? Ce ne sont pas des ondes différentes, donc ?
A partir du moment où on a des ondes stationnaires, vous avez dit qu'il y avait quantification des nombres d'ondes. Est-ce intéressant pour la musique en particulier ?

Quelles expériences auriez-vous pu incorporer dans cette leçon ?
Avec quels supports vous auriez pu montrer des ondes stationnaires ?
Dans la présentation des ondes acoustiques vous n'avez pas parlé de l'atténuation des ondes. Pour la musique, est-ce intéressant l'atténuation ? A quoi ça sert ?
Vous n'avez pas parlé de mécanismes de génération du son. Quelles sont les manières de

fabriquer du son dans une colonne d'air par exemple ?

Et pour un piano ?

En termes de traitement du signal, comment modéliser la percussion d'une corde d'un point de vue physique ? (On a un Dirac)

Le piano c'est une note frappée. En ce qui concerne le violon, comment ça fonctionne ? Quel processus physique fait qu'un mouvement continu permet d'induire une vibration ?

Qu'est ce qui change quand on joue d'un instrument en plein air ou ... dans une église par exemple ?

Qu'est-ce qui différencie les différents sons qui reviennent à l'auditeur dans le cas d'une église ?

Imaginons une conversation avec beaucoup de monde dans une église, qu'est ce qui fait que la conversation devient inintelligible ?

Les différents échos n'arrivent pas en phase —> On n'arrive pas à les interpréter.

Vous avez présenté les instruments à vent et à corde. Vous avez donc présenté des ondes mécaniques à 1D. Peut-on en faire en 2D ou 3D ? Si oui, est ce que ça intervient dans des instruments de musiques ?

Sur une timbale ou un tambour par exemple ?

Si on a une cymbale circulaire, quels modes va-t-on pouvoir observer ?

Quels sont les modes propres en géométrie circulaire ? (Fonction de Bessel)

Les ondes acoustiques ont été développées dans l'approximation linéaire. Il y a des phénomènes non linéaires qui pourraient intervenir et être intéressants en musique ?

Dans votre expression de l'énergie, pourriez-vous réécrire le terme en énergie potentielle ? (C'est bien un carré —> Terme d'ordre 2)

Pourriez-vous re dessiner les modes propres avec les nœuds et les ventres et redonner votre expression de P_1 (et expliquer ce qu'est P_0)

Quelles sont les conditions sur P_1 aux extrémités du tube ? Pourriez-vous dessiner les profils de vitesse et de pression dans le tuyau ?

Ces équations d'onde mécaniques sont-elles dispersives ou non dispersives ?

Cela poserait-il un problème d'avoir un milieu dispersif pour jouer de la musique ?

Commentaires donnés par l'enseignant

La musique ne doit pas être l'arlésienne de la leçon. Passer 10 minutes à la fin sur les instruments ce n'est pas assez. Au minimum, il faut mieux justifier son choix de ne traiter que des ondes acoustiques dès l'introduction. On peut couper la partie sur les aspects énergétique et traiter pourquoi pas la corde vibrante. Les instruments de musique présentent une certaine richesse de situations physiques (corde frottée pour le violon, ondes 2D sous forme de fonctions de Bessel pour les cymbales, etc), en prenant plus de prérequis, on pourrait présenter un plan traitant ces exemples.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Comme déjà mentionné je trouve que la leçon était trop identique à une leçon « Ondes acoustiques ». Bien fait certes, mais il faut au moins mentionner qu'il existe d'autres ondes mécaniques (cordes, membranes) et que si les ondes sonores dans l'air sont importantes pour la musique (chant, instruments à vent et écoute par les auditeurs), ce n'est pas toute la musique.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Cordes vibrantes. Le calcul de l'énergie et du vecteur de Poynting n'était pas forcément nécessaire sur cette leçon.

Parler des cordes frappées, pincées ou frottées (vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=6JeyiM0YNo4&feature=youtu.be>)

Parler du rôle des harmoniques et de la gamme.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Une expérience sur les ondes stationnaire s'impose (corde <https://www.youtube.com/watch?v=LG7eKsWB4DI> ou ondes sonores). Éventuellement figures de Chladni (<https://www.youtube.com/watch?v=6kLmlbkWJZ8>) mais moins facilement quantitatif.

Bibliographie conseillée

- **Déconseillé car trop difficile** : A. Chaigne et J. Kergomard, *Acoustique des instruments de musique*, Belin, 2008 ([ISBN 9782701182803](#))

Quelques exemples plus simples dans A. Chaigne. Ondes acoustiques. Editions Ecole Polytechnique, 2011. (de mémoire car je n'ai pas la version pdf).