

LP24 ONDES PROGRESSIVES, ONDES STATIONNAIRES

21 novembre 2019

CAETANO Frédéric & MONNET Benjamin

Niveau : L2

Bibliographie

➤ *Vibrations et phénomènes de propagation, Tome2, —→*
Ondes, J-P Mathieu

➤ *Cours de physique. Tome 3, Berkeley —→*

Prérequis

- Equations différentielles et dérivées partielles
- Notion de fréquences/pulsations spatiales/temporelles, de période et de vitesse d'une onde
- Principe fondamentale de la dynamique
- Loi des noeuds, loi des mailles

Expériences

- ☞ Mesure de vitesse de propagation dans un câble coaxiale
- ☞ Corde de Melde

Table des matières

1 Ondes progressives	2
1.1 Définition	2
1.2 Exemple	2
1.3 Solutions générales	3
2 Ondes stationnaires	3
2.1 Définition	3
2.2 Aspect énergétique (pas traité pendant la leçon)	3
2.3 Influence des CI : corde de Melde	3
2.4 Autre type de CI (ne sera sûrement pas traité pendant la leçon)	3
3 Interfaces (A priori, il n'y a pas le temps de traiter cette partie)	4
3.1 Coefficient de réflexion et de transmission en amplitude	4
3.2 Coefficient de réflexion et de transmission en puissance	4
3.3 Questions	4
3.4 Remarques	5

0. Par soucis de place toujours, je pense pas qu'il soit nécessaire de mettre les références exactes surtout pour un livre classique.

Introduction

Une petite manip qualitative pour introduire le sujet.



Corde attachée à la rembarde

Attacher une corde quelque part et montrer la propagation de l'onde le long de celle-ci ainsi que sa réflexion

Le bloc manip ne comporte qu'un argument. On n'est pas obligé de mettre de titre.

1 Ondes progressives

1.1 Définition

Définir une onde progressive et poser les hypothèses : milieu infini, vitesse constante, peut transporter de l'énergie sans transport de matière dans le cas des ondes mécaniques. Ondes scalaire ou vectoriel / scalaire ou vectoriel

Introduire le concept d'onde monochromatique

Secouer une corde. En profiter pour introduire les ondes longitudinales et transversales et "complexes" (cf page 14 du poly sur les ondes).

1.2 Exemple

Retrouver l'équation de d'Alembert sur les cordes (Poly de cours sur les ondes page 11-12). $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$ avec $c = \sqrt{\frac{T_0}{\mu}}$.



Mesure de vitesse de propagation dans un câble coaxiale



⊗ 3 min

Mesure de la vitesse de propagation dans un câble coaxial. Envoyer un pulse avec un oscilloscope sur lequel est mis un té. Deux câbles sont reliés à l'oscilloscope : un court et un long. En notant ΔL leur différence de longueur et Δt la différence de temps d'arrivée à l'oscillo on a :

$$c = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Avant de faire la manip, poser le modèle.

Attention ! Bien mettre l'impédance de l'oscilloscope sur 50 Ohms pour ne pas avoir une réflexion ! Utiliser le mode Single.

En profiter pour donner des ordres de grandeurs de vitesses de propagation :

- son : $c = 343 \text{ m/s}$ dans l'air à 20° et $c = 1500 \text{ m/s}$ dans l'eau environ
- lumière $c = 3.10^8 \text{ m/s}$

| On a vu une équation mais quelles en sont les solutions générales ?



1.3 Solutions générales

On a vu physiquement que les solutions étaient de la forme $f(x \pm ct)$. Le montrer ensuite mathématiquement : $u=x+ct$ et $v=x-ct$ puis montrer que l'on a $\frac{\partial^2 A}{\partial u \partial v} = 0$.

Parler de la linéarité des équations.

Formes classiques des solutions (exponentielles ou cos/sin). C'est ce qu'on appelle une OPPH



On a va maintenant s'intéresser à un cas particulier avec une onde confinée dans l'espace. Essayer d'introduire le lien entre conditions limites et ondes stationnaires

2 Ondes stationnaires

2.1 Définition

Afin de montrer le lien avec les ondes progressives, partir d'une onde qui arrive sur une interface (corde qui arrive sur un mur) et montrer la nécessité de l'existence d'une onde réfléchi. En sommant les deux, on a notre onde stationnaire. On définit une onde stationnaire à partir de là. Faire des dessins

2.2 Aspect énergétique (pas traité pendant la leçon)

Montrer qu'une onde stationnaire ne transporte pas d'énergie. En terme de temps, il faut sûrement choisir entre traiter la corde de Melde ou les ondes lumineuses (qui sont beaucoup plus faciles). Le cas de la corde de Melde n'est pas si évident et risque donc de prendre un certain temps.

2.3 Influence des CI : corde de Melde

Pas le temps de démontrer la solution donc il faut, après avoir écrit les conditions limites au tableau, écrire tout de suite la solution.

$$A(x, t) = a_0 \cos(\omega t) \frac{\sin(k(L - x))}{\sin(kL)}$$



Corde de Melde



⊖ 5 min

Faire la corde de Melde et remonter à la masse linéique rapidement. Bien noter à l'avance la masse attendue, ainsi que la masse qui exerce la tension sur le fil.

2.4 Autre type de CI (ne sera sûrement pas traité pendant la leçon)

Avec un anneau de masse M au bout de la corde, on trouve que l'on a

$$r = \frac{iT_0 + Mc\omega}{iT_0 - Mc\omega}$$

On peut ajuster la masse de l'anneau pour avoir le coefficient que l'on veut.

3 Interfaces (A priori, il n'y a pas le temps de traiter cette partie)

3.1 Coefficient de réflexion et de transmission en amplitude

Prendre une onde incidente, une onde réfléchiée et une onde transmise. Dire quelles sont les conditions à l'interface. Introduire les 2 coeff puis

$$r = \frac{Z_{c1} - Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}}$$

$$t = \frac{2Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}}$$

cf page 22-23 du poly sur les ondes

3.2 Coefficient de réflexion et de transmission en puissance

cf page 23 du poly sur les ondes

Conclusion

Cas de propagation simple mais il existe des cas plus compliqués avec de la dispersion. Ouverture sur interface ?

3.3 Questions

definition d'onde progressive : est-ce vraiment une equation différentielle ? A quel type de fonction s'applique les equa diff ? Combien de variable nécessite une équation diff ? avec deux variables ce n'est plus une equation différentielle mais une equation aux dérivées partielles. Car il y a deux dependances, une spatiale et une temporelle

Quel argument pour dire $f(x - ct)$ (physiquement) ? on peut utiliser argument d'homogénéité pour dire que c'est forcément une vitesse.

Remonter que $f(x - ct)$ est selon les x croissants et $f(x+ct)$ est selon les x décroissants ? poser $f(x_1, t) = f(x_0, 0)$, $f(x_0 + ct, t) = f(x_0, 0)$

Pourquoi la tension de la corde est tangente à la corde ? pourquoi pas de force de cisaillement ? déformation très petite selon les autres axes car on la prend infiniment fine.

On néglige frottements et poids sur une portion de corde comment le justifier ? OnG comparer poids $\mu x g$ et Tension (environ de l'ordre de $T_0 = mg$).

Comment on voit qu'en pratique poids non négligeable ? courbure de la corde du coup on prends forme de la courbe comme axe on enleve le poids.

Un moyen de verifier que rien de différent ne se passe pour les deux cables ? superposer les signaux sur l'oscillo en en decuplant un des deux (option de l'oscilloscope le permet).

Pourquoi écart avec vitesse de la lumiere ? incertitude a estimer (ou propagation dans le cable coaxiale correspond à un milieu différent du vide (plus logique)).

Retrouver dimension d'une vitesse avec Γ et Λ .

Ondes stationnaires Argument physique pour passer de $f(x+ct)$ et $g(x-ct)$ à onde sinusoidale ? Onde plane monochromatique et forme de l'excitation. Linearité de l'equation et Fourier !

Interessant de citer fourier pour justifier utilisation de sin et cos.

Qu'implique $w = kc$? non dispersive.

Corde de Melde Hypothèse ? poids négliger , poulie transmet parfaitement la force ! bien connaître toutes les hypothèses des exemples car leçon transverse.

3.4 Remarques

bonne gestion du temps, faire attention au vocabulaire (équation diff plutôt équation aux dérivées partielles, parler de vecteur d'onde, pulsation) **Attention** : Dire que les ondes stationnaires cas particulier des ondes progressives est dangereux car l'inverse est vrai aussi. Plutôt dire que ce sont deux solutions de d'Alembert (stationnaires somme de progressives et progressives somme de stationnaires). Plutôt insister sur le fait qu'une onde progressive se propage à l'infini alors qu'une onde stationnaire découle de conditions limites. En effet il faut une onde réfléchie pour avoir une onde stationnaire.

Une façon de conclure : bien préciser cadre d'étude pour onde progressive et onde stationnaire.

mettre écran noir pour bien voir corde de Melde. Attention risque de questions hors de cette leçon sur cette leçon.

l'analogie entre la corde de Melde et la corde de guitare peut-être intéressante.

Schéma de la corde à garder à côté (ou sur diapo) après le tracer en direct est assez didactique car permet d'introduire toutes les grandeurs et hypothèses.

L'homogénéité et l'analyse dimensionnelle sont des questions récurrentes. (en faire une pendant la leçon permet d'éviter la question) après il y a pire comme question.

Attention aspect énergétique peut être intéressant mais compliquer à mettre dans le plan actuel.

Dans une onde stationnaire l'énergie est stationnaire.