Titre : Propagation guidée des ondes LP 15

Présentée par : Timothée

Rapport écrit par : Quentin Berrahal, Theo Le Bret

Correcteur :

Date : 13/09/2019

Bibliographie de la leçon :

Titre	**Auteurs**	**Éditeur**	**Année**
H Prepa Ondes 2em année MP/MP*-PC/PC*- PSI/PSI*-PT/PT*	Jean-Marie Brebec	Hachette	2004
Propagation guidée des ondes acoustiques dans l'air http://materiel-physique.ens-lyon.fr/Logiciels/CD%20N%C2%B0%203%20BUP%20DOC%20V%204.0/Disk%201/TEXTES/1992/07420385.PDF	R Moreau	BUP 742	1992
Propagation des Ondes **http://www.etienne-thibierge.fr/agreg/ondes_poly_2015.pdf**	E. Thibierge	Poly du cours de l'ENS Lyon (internet)	2015
Dictionnaire de Physique			

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : Électromagnétisme (relations de passage, milieux conducteurs, équations de Maxwell, équation de d 'Alembert et propagation libre des ondes), ondes acoustiques dans un fluide (conditions aux limites).

Introduction : Poser la question, pourquoi on s'interesse aux guides d'onde comment se propagent les ondes dans ces guides ?

I – Définitions préliminaires

Définition d'une onde :
« Une onde est définie comme une perturbation d'une grandeur physique se propageant de proche en proche dans un milieu matériel, ou dans le vide. »[4].

Une équation qui couple les derives spatiales et temporelles d'une onde est appelle équation de propagation.

On a étudiée la propagation libre des ondes planes progressives monochromatiques, mais dans la réalité on traite souvent des ondes sphériques, d'ont leur propagation libre dans l'espace s'accompagne d'une décroissance de leur amplitude.

(Faire expérience avec 2 émetteurs ultrason, générateur pour les émetteurs + GBF et oscillo). Montrer décroissance.

Ceci est problématique pour la transmission d'informations sur de longues distances et motive donc l'étude de dispositifs de guidage permettant de minimiser ces pertes. Ceci est un enjeu majeur pour les télécommunications (ex fibre optique, cable coaxial).

Notons aussi que les ondes guidées peuvent également être mécaniques (ex ondes sonores).

On définit ce qu'on appelle guidage: « Le guidage résulte de l'utilisation **d'interfaces** entre deux milieux (i.e l'existence de conditions aux limites). Ces conditions contribuent au **confinement** de l'onde dans une région restreinte de l'espace avec propagation dans une direction donnée ».

Transition : On étudiera au cours de cette leçon deux dispositifs de guidage : d'abord, la propagation guidée d'une onde EM entre deux plans conducteurs infinis (étude théorique), puis la propagation guidée d'ondes acoustiques dans un tube cylindrique (tube sonore ultrason : étude expérimentale).

II – Caractérisation d'un dispositif de guidage (6') (suivre [3] p. 51)

1) Description du système

Schéma de deux plans conducteurs parallèles infinis entre lesquels se propage une onde EM. On définit la gaine (plans conducteurs) et du cœur (vide entre les plans) par analogie avec une fibre optique.

Hypothèses :

a) **la gaine est un conducteur parfait**, ce qui implique **E=0**, et donc pas de pénétration du champ électrique dans la gaine (pas d'ondes évanescentes)

b) **le coeur est un milieu non-dispersif** (ici, le vide donc n=1)

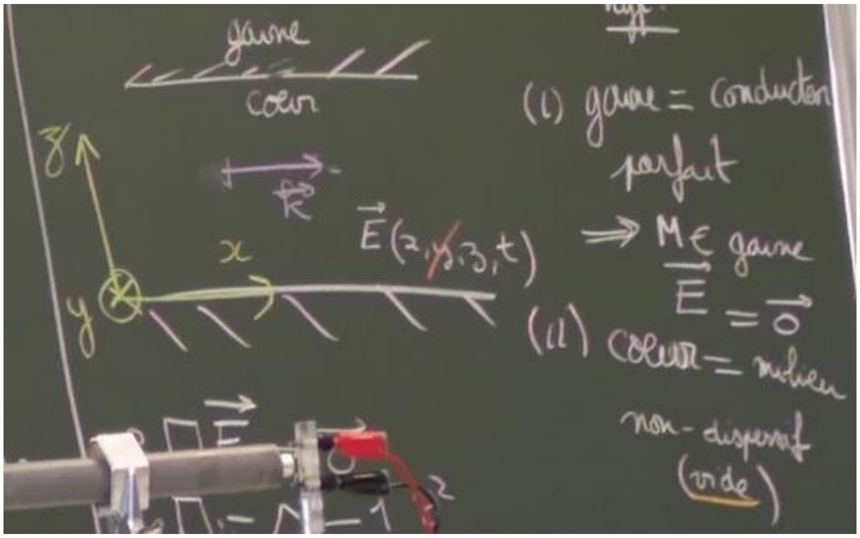
[3] p. 51, faire le schéma de la p. 51 et le compléter au fur et à mesure.

c) l'onde se dirige selon x et le système demeure invariant par translation parallèle à y. Par conséquent il n'y a **pas de dépendance des E et B en y**. (. Par symétrie du dispositif, Principe de Curie hors programme C.f. wikipedia).

On commence par poser l'équation de propagation. Nous sommes dans le vide donc equaton de d’Alambert ([3] p.51 et on s’interesse d’abord à E)

Or on a en plus des conditions aux limites (confinement dans le guide). Ceci ne change pas l’équation mais les solutions !

Completer le schéma :



Comme on ne connait pas la forme des solutions on s’interesse aux équations de maxwell dans un premier temps. Suivre calcul p. 51-52 [3], ne pas oublier les couleurs, le faire que pour E, dire qu’on trouve un couplage comparable si on travaille sur B.

Prendre la défnition des groupes TE et TM du [3] p.52 en bas de l’équation 3.18.

Du a la linearité du problème on peut étudier séparement les groupes TE et TM d’ondes puis les faire une combinaison lineaire pour décrire n’importe quelle onde qui se propage dans le guide.

<u>2) Solutions pour les modes TE (13’20’’)</u>

On propose une solution pour les modes TE de la forme [3] p. 52 eq 3.19. Brièvement décrire l’onde, dependance spatiale en Z et propagative selon x (transverse électrique). À noter que ce n’est plus one onde plane et donc la constante de propagation beta est analogue à k mais ce n’est pas un vecteur d’onde.

Faire le calcul p. 53 du [3] pour arriver à l’équation d’onde 3.24. Parler à l’oral des conditions limites (E = 0 à +Zmax et –Zmax). Si on a exponentielles réelles ceci est impossible, si on a fonction affine impossible. Donc somme sinus cosinus avec condition sur beta. Continuer jusqu’`a la solution 3.28. Conclure sur le nombre p.

Pour trouver B on réutilise maxwell montrer slide.

Puis revenir sur la relation de dispersion avec la valeur en fonction de p. Introduire la fréquence de coupure Wc,p par identificatio [3] p. 56. Si on fixe w, le nombre p est borné et donc seulement un nombre fni de modes existent.

On a donc plusieurs régimes de propagation guidée :

, pas de propagation

, propagation *monomode*

, propagation *multimode*

Pourquoi savoir ceci est important ?

<u>3) Dispersion dans le guide d'onde</u>

Introduire par analogie la vitesse de groupe et la vitesse de phase pour l'onde TE, puis doner leurs expressions avec les paramètres trouvées de la relation de dispersion [3] p. 57. On constate que Vg depend du mode et aussi de W, donc dispersion des modes et dispersion au sein d'un même mode. Problematique (rq : ce sont les conditions aux limites qui imposent la dispersion).

4) Vision géométrique

On peut toujours décomposer une onde en une somme de OPPM. Faire rapidement la décomosition [3] p. 54 et identifier très rapidement 2 vecteurs d'onde oposées selon l'axe z. Préciser que on n'as pas d'OPPM dans le guide car seulement le couple peut exister, c'est une décomposition mathématique. Elle sera utilie pour étudier le tuyau sonore.

Transition : EXPERIENCE envoyer un pulse dans le guide et :

- montrer que il est mieux propagée ;

- monter les differents pics correspondant aux differents modes.

Si il y a le temps mesurer la vitesse de groupe du mode fondamental. Voir Ondes

III – Guide d'onde réel : le tuyau sonore 30'20"

On aura une vision géométrique pour expliquer le tube. V doit être parallele aux parois à leur voisinage immédiat (non pénétration de l'onde dans le tuyau).

Expérience

Faire passer des pulses dans un tuyau cylindrique, observer le signal en sortie (TP Ondes I).

— Repérer les différents pics, mesurer les temps de propagation. On mesure les vitesses de groupe!

— Ne pas oublier de retrancher le temps de vol mesuré en accolant émetteur et récepteur.

— Remarquer que les pics varient en intensité en fonction de l'angle d'entrée?

— On envoie des trains d'ondes : leur profil de raie est en gros une raie monochromatique un peu élargie.

— On ne voit pas trop de dispersion, car le tuyau est court et le récepteur a une faible bande passante.

— Ne faire que qualitativement si on manque de temps.

— On observe qu'une même fréquence se propage à plusieurs vitesses, comme dans le cas électromagnétique : on peut sans doute faire une analogie.

— Remarquer qu'il existe cependant ici un mode qui se propage à la même vitesse que dans l'air...

Transition : Essayons d'appliquer la théorie présentée dans la partie précédente aux ondes acoustiques.

2.2 Méthode géométrique

Suivre [4] pages 58-62.

— Conditions aux limites, propagation du mode fondamental

— Analogie avec 2 OPPH qui se réfléchissent sur les surfaces du guide.

— Obtention de la relation de dispersion, critère sur la position des parois.

— En fait c'est très similaire!

— Généraliser au cas d'un tuyau cylindrique, et retrouver les fréquences obtenues expérimentalement.

On a les slides aussi. Pour le dernier point regarder le BUP.

Conclusion, ouverture vers le vrais guides, carré et cylindrique avec foncton de bessel.

Annexe :

Tout d'abord, notons les différences qui existent entre ce dispositif et le précédent :

a) ici, les ondes sont des ondes de pression longitudinales. Les conditions aux limites impliquent que la vitesse de l'onde est nulle aux parois.

b) La symétrie est ici cylindrique et non planaire, donc la solution pour la propagation d 'onde utilise des fonctions de Bessel au lieu de la simple relation pour l'amplitude : Xi_0 * sin(n*pi/a). Parce qu'il faut deux entiers pour caractériser ces solutions, la vitesse de groupe est :

Avec mu_mn un coefficient obtenu a partir de fonctions de Bessel, et qui caractérise chaque mode (la symétrie cylindrique implique que chaque mode est ici défini par deux entiers au lieu d'un *voir BUP pour plus d'info*)

c) On se place dans l'approximation acoustique (cf prérequis) et la célérité correspondante est donc cs, la vitesse du son dans l'air

Quelques remarques sur le fonctionnement des piézoélectriques : Tension □ Déplacement □ Pression. Dans un sens pour l'émetteur et dans l'autre pour le récepteur. On observe le signal engendré par le GBF qui est un *pulse (en fait, un paquet d'ondes d'environ dix sinusoïdes de 40kHz)*. On voit que les modes ne se propagent pas à la même vitesse, et on mesure aussi un retard entre les signaux émis et les signaux reçus de 435 ms (ce « temps de montée » du signal devra être pris en compte dans les calculs de vg). (40'). On distingue deux modes sur l'écran de l'oscillo. *Le signal reçu par l'oscillo devrait plus ou moins ressembler a ça (extrait du BUP ondes guidées, dans notre cas on avait que deux modes visibles, pas trois) :*

On en déduit la vitesse de propagation de chaque mode en utilisant :

, tau temps de montée

Temps dépassé, on conclut :

Entre une propagation libre et guidée, les conditions aux limites contraignent fortement les modes accessibles. Cette équation de vitesse de groupe est bien vérifiée dans cette expérience.

Questions posées par l'enseignant

La plus importante : **Sur la formule de la vitesse de groupe, pourquoi la mesurons-nous ?** C'est la vitesse à laquelle les paquets d'ondes se déplacent. **Vous pouvez être plus précis ?** Pour un paquet d'onde court, on se retrouve dans l'espace de Fourier avec une distribution piquée autour de k0, de largeur deltak petite devant k.

On a la TF :

On fait un développement limité de oméga autour du nombre d'onde k:

On insère dans la TF pour obtenir Xi_e, l'amplitude de l'enveloppe:

vg est donc bien la vitesse de l'enveloppe, liée à la variation d'amplitude (et donc d'énergie) alors que vphi , la vitesse de phase, n'existe que dans l'exponentielle complexe et ne transporte pas d'information (elle peut donc être supérieure à c).

Ce qui est physique c'est la vitesse de groupe, A quoi vous pensez si je dis causalité, vitesse de groupe, vitesse de phase ? Est ce que c'est gênant ? Non car vg est la vitesse de propagation de l'énergie qui véhicule l'information. **Quelle vitesse manque ?** Je ne sais pas. **Vous avez dit que le milieu est non dispersif mais on a de la dispersion quand même ? D'où ça vient ? Comment convainquez vous quelqu'un ?** Si on ajoute des interfaces, on n'est plus linéaire en omega. **Reformulons. Vous êtes dans un milieu non dispersif. Je décompose en onde plane chromatique (Fourier). Est ce magique ?** On peut décomposer notre onde dispersive en 2 ondes planes. Une selon **ex** et **ez** et une selon **ex** et **-ez.**

D'où vient donc la dispersion ? Quelles sont les conditions aux limites de le vrai tube ? -Hydro : Est ce que la vitesse du fluide est toujours nulle sur les parois ? En terme de pression ça fait ? La vitesse du fluide est tangente aux parois du tube et doit s'annuler (par frottement ?) aux parois.

Vous avez écrit rot(E)=… Pouvez vous me recalculer les 3 composantes du rotationnel ? E=0 dans un conducteur parfait, pourquoi ? Sigma est infini, donc l'épaisseur de peau de la gaine est nulle… **Fibre optique et guide d'onde… La fibre optique n'est pas un guide d'onde ?**

Pouvez vous redonner la déf d'une onde ? (une onde n'est pas juste une equa diff aux dérivées partielles d'espace et de temps , il faut aussi qu'il y ait propagation, cf note de bas de page au début du compte-rendu)

Commentaires donnés par l'enseignant

Un tout petit peu trop lent. Trop professeur qui veut faire professeur clair pour les élèves. Trop du côté de la simulation de cours. Il y a des milieux anormalement dispersif ou la vitesse de groupe est supérieure à c. Dans une cas général, vg n'est pas la vitesse de transfert de l'information. Signal velocity ou frontal velocity contient l'information (ref Sommerfeld et Brillouin). Beta n'est pas un vecteur d'onde, ce qui explique la dispersion. Ce sont les k+ et k- propageant qui en sont. Les programmes ne présentent pas le guide d'onde et la fibre optique de manière unifiée.

Partie réservée au correcteur

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

Très bonne présentation d'une leçon ingrate parce que souvent embêtante! Tout au plus faudrait-il projeter une attitude un tout petit peu moins scolaire, mais ce n'est qu'un détail. Surtout ne pas perdre la propreté, la pédagogie et le soin!

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Guide d'one EM, ondes TE et TM. Notion delicate: vitesse de groupe et vitesse d'un signal (voir par exemple Brillouin et
Sommerfeld).

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Propagation acoustique guide, cable coaxial.

Bibliographie conseillée