

CORRECTION LP27 : PROPAGATION GUIDÉE DES ONDES

Jeudi 19 Octobre 2017

Jean-Yonnel Chastaing¹, Vincent De Zotti²

Préparation à l'Agrégation de Physique option Physique 2017-2018, Ecole Normale Supérieure de Lyon

ATTENTION : le titre de la LP est bien “Propagation guidée des ondes” et non “Propagation des ondes guidées” comme vous l’aviez noté au tableau.
Cette erreur d’inattention pourrait être assez sévèrement sanctionnée en fonction du jury.

Remarque préliminaire : Les éléments de correction qui sont donnés à l’oral et dans cette fiche correctrice portent sur la leçon qui a été présentée, et uniquement sur celle-ci. Le choix du contenu de la leçon et la façon dont elle a été présentée sont deux choses différentes. Par ailleurs, il n’y a pas de plan parfait pré-établi ; nous vous donnons uniquement des références et des pistes de réflexion pour qu’ensuite vous fassiez vos propres choix.

En ce début d’année, il nous semble utile de citer quelques passages choisis du rapport de jury :

- “La leçon est une épreuve permettant au jury d’évaluer les capacités des candidats à transmettre un message clair et cohérent qui s’appuie sur des connaissances maîtrisées. Il s’agit de se placer dans une situation d’enseignement devant un public d’étudiants qui découvriront pour la première fois le sujet de la leçon. Le jury apprécie la rigueur scientifique, la cohérence de raisonnement, la clarté et le dynamisme de l’exposé, ainsi que le niveau de langage, écrit et oral, des candidats.”
- “La leçon est par essence une épreuve destinée à évaluer les capacités à enseigner. Il est donc préférable d’exposer des concepts simples, bien maîtrisés et bien illustrés, plutôt que de se lancer dans des développements trop complexes.”
- “Des leçons dont la logique de développement est susceptible de captiver les étudiants sont attendues. Il ne s’agit donc pas de proposer un catalogue d’éléments divers, simplement issus d’ouvrages, sans fil directeur ni points saillants. Les leçons trop formelles, manquant d’exemples et applications numériques judicieuses, sont à proscrire. Le recours à la « contextualisation » est impératif. Divers appuis sont utilisables au plus tôt pendant la séquence d’enseignement : observations de la vie courante, expériences réelles ou de pensée, simulations informatiques, systèmes industriels...”
- “La conclusion ne peut pas être qu’un résumé de la leçon : les points importants peuvent certes être soulignés mais une mise en perspective s’avère nécessaire avec des ouvertures, notamment sur des développements récents (à condition de les maîtriser).”
- “Plusieurs leçons exigent de présenter des calculs. Les démonstrations des résultats importants sont attendues. Pour autant, établir une relation particulière ne saurait être une fin en soi. Il est crucial de motiver la nécessité de faire le calcul et d’en présenter l’objectif avant de le mener, puis d’en dégager le sens physique. Les candidats peuvent à cet effet commenter l’influence des différentes grandeurs physiques impliquées, illustrer le résultat par une représentation graphique, une évaluation d’ordre de grandeur, ...”

1. jeanyonnel.chastaing@ens-lyon.fr

2. vincent.de_zotti@ens-lyon.fr

Rapports de Jury

2014 : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de vitesse de groupe et à son cadre d'utilisation. Jusqu'en 2013, le titre était : *Propagation guidée. Exemples et applications.*

2012, 2013 : Les notions de modes et de fréquence de coupure doivent être exposées. On peut envisager d'autres ondes que les ondes électromagnétiques.

2010 : La propagation guidée ne concerne pas les seules ondes électromagnétiques ou optiques. Il faut insister sur les conditions aux limites introduites par le dispositif de guidage.

2009 : La propagation guidée ne concerne pas les seules ondes électromagnétiques ou optiques.

2007 : Il s'agit d'une nouvelle leçon consacrée à la propagation guidée des ondes et à ses applications, importantes dans le domaine des télécommunications par exemple.

NOTE : Toutes les remarques ci-dessus sont assez naturelles. Il ne s'agit pas non plus de respecter à la lettre les demandes de certains membres du jury, mais de réfléchir à la leçon dans son ensemble et de se poser des questions. Vous trouverez d'excellents conseils, des références à des ouvrages, des pistes de réflexion et des retours des agrégatifs des années précédentes dans le Book (disponible en format pdf sur le portail des études et en version papier à la BU Agreg).

Les remarques générales sur la leçon

Dans l'ensemble, le choix du plan est cohérent par rapport aux attentes du jury sur cette leçon : la leçon n'est pas trop calculatoire, plusieurs approches sont présentées, quelques ordres de grandeurs et applications technologiques sont proposés. Néanmoins, la présentation manquait clairement de rythme et on aurait sans aucun doute pu ajouter une sous partie avec un autre dispositif ou présenter les dispositifs choisis plus en profondeur. Par ailleurs, la leçon avait tendance à être floue à cause de phrases tronquées (ou reformulées plusieurs fois) ou par manque de temps. Lorsqu'on présente une notion, il est nécessaire d'être sûr de soi et de le faire savoir à travers sa posture et son élocution. Il faut être plus efficace lorsque vous menez des calculs au tableau. Enfin, le fait de présenter des schémas et d'utiliser des couleurs est un très bon point.

Les bons points

- Les schémas sont propres, avec des couleurs.
- Le plan de la leçon est clairement présenté et cohérent avec les demandes du jury.
- Les équations sont bien écrites, les calculs développés sans suivre trop les notes.
- Le fait que le confinement impose la structure de l'onde et la dispersion d'un paquet d'onde est central.
- Des ordres de grandeurs ont été donnés sur le guide d'ondes EM, le cable coaxial, la fibre optique. On pourrait en donner plus, puisque ce sont des systèmes utilisés quotidiennement.

Ce qu'il reste à améliorer

- Le fil rouge de la leçon n'est pas très net. Pensez à le redonner en conclusion et à ouvrir.
- Prenez le temps de conclure correctement quoi qu'il se soit passé avant. Une conclusion ne doit pas être un résumé succinct du plan de la leçon.
- Certains résultats sont données à l'oral et pas à l'écrit, ou sont effleurés sans aller au fond.
- Pour la petite expérience pour illustrer le principe de la fibre optique avec le filet d'eau, il faut faire un choix en fonction du temps qu'il vous reste : soit vous la présentez et interprétez, soit vous n'en parlez pas du tout.

Retour sur la leçon

Introduction : Définition de ce qu'est la propagation : utile pour ce remettre dans le contexte physique. Exemple expérimental d'un guide pour une onde sonore : convaincant et original, très bien ! On pourrait aller un peu plus loin en citant le problème de la transmission d'information à longue distance et donc la nécessité de guider les ondes.

1 Guide d'ondes EM

1.1 Guide à deux plaques parallèles

- Il est utile de discuter de la nature de la longueur d'onde guidée (et de la nommer) au moment où on l'introduit. Il n'est a priori pas évident de comprendre pourquoi on choisit une onde avec un terme propagatif et on n'y applique pas la relation de dispersion bien connu dans le vide illimité. On aurait pu dire que l'onde est la somme de deux OPPM pour rappeler que "non, l'onde qui se propage n'est pas une OPPM".

- L'utilité des modes TE et TM doit ressortir plus clairement : pour chacun de ces groupes, la connaissance du champ transverse permet de déterminer le champ non-transverse. Par ailleurs, il faut insister sur le fait que les modes TE et TM constituent une base de solutions des ondes qui se propagent dans un guide uniaxe, et ce parce que le problème est linéaire.

- Pour déterminer le champ B, rappeler qu'on ne peut pas utiliser la relation de structure d'une OEM dans le vide illimité parce qu'on travaille dans un milieu confiné. Ce message est à rappeler plusieurs fois dans la leçon : "le confinement modifie la structure de l'onde et donc les résultats connus pour un milieu illimité ne sont pas valables".

- Si vous dites que l'on a $v_g < c$ et que c'est cohérent, il faut préciser pourquoi ! La vitesse de groupe est la vitesse de propagation de l'énergie, sauf dans le cas d'une très grande dispersion.

- On aurait pu utiliser un graphe $k(\omega)$ pour illustrer les notions de dispersions inter- et intra-modales. Cela permet de montrer qu'à ω donnée, tous les modes ne sont pas accessibles. Par ailleurs, il est important de discuter leur importance relative (laquelle est la plus forte, la plus problématique donc ?) et leur origine. La dispersion intermodale est due au confinement et peut être éliminée en s'assurant que le guide soit monomode. La dispersion intramodale est intrinsèque au milieu et est principalement liée à la "pureté" du matériau dans lequel l'onde se propage.

- Il est important et nécessaire de traiter le mode TEM car sa structure est celle d'une onde plane et il est utilisé dans nombres de systèmes.

1.2 Guides réels

- Pour le guide rectangulaire, attention à bien sélectionner les fréquences de coupures pertinentes pour déterminer si le guide est monomode ou non : ici, ce sont les fréquences des modes (0,1) et (1,0).

- Il faut insister sur les conditions de propagation du mode TEM, privilégié dans le câble coaxial.

A ce stade, il faut soigner la transition pour justifier le passage d'un système avec une "forte atténuation" à un système bien moins dissipatif, en donnant des ordres de grandeurs.

2 Fibre optique

- L'approche géométrique est utile pour faire apparaître la notion de mode. Il faut insister sur le rôle des conditions aux limites dans la sélection des modes. En effet, il n'est absolument pas évident à ce stade que les CL (responsables de l'apparition des modes) se traduisent pas une condition d'interférences constructives (utilisée ici pour caractériser les modes qui se propagent).

- La petite expérience pour illustrer le principe de la fibre optique avec le filet d'eau est utile et visuelle. Toutefois, précisez qu'il faut faire attention à la sécurité lors de l'utilisation d'un laser. Notez également qu'il est possible de monter le dispositif sur un coin de la table pour ne pas avoir à la ré-aligner pendant la leçon. Enfin, il faut faire un choix en fonction du temps qu'il vous reste : soit vous la présentez et vous l'interprétez, soit vous n'en parlez pas du tout.

- Par manque de temps, vous n'avez pas parlé de la fibre à gradient d'indice, mais il est important de pouvoir le faire : une fibre à saut d'indice n'est plus utilisée dans la pratique.

Questions à se poser

- Peut-il y avoir propagation d'une onde et transport de matière ? Oui, par exemple une onde sonore dans un fluide qui s'écoule dans une canalisation.
- Pourquoi le champs EM est nul dans conducteur parfait ? Conséquence de la loi d'Ohm avec une conductivité infinie.
- Un guide d'onde EM peut-il propager autre chose d'un mode TE ou un mode TM ? La réponse est oui : une combinaison de modes TE et TM peut se propager, il s'agit de modes hybrides.
- Une fibre optique à gradient d'indice bien calibrée est-elle vraiment non dispersive ? La dispersion intermodale est bien compensée, mais il reste une (faible) dispersion intramodale résiduelle, qui est due à l'absorption par la fibre (OdG : 0.2 dB/km) . La longueur d'onde de 1,3 microns choisie en pratique est celle qui limite au maximum cette dispersion. [1].
- Vous avez parlé de quantification. Quel lien faites-vous avec la mécanique quantique ? Qu'est-ce que l'effet Casimir ? [2]
- Vous avez montré qu'on pouvait guider une onde acoustique dans un tube en PVC jusqu'au microphone. Cela fonctionne-t-il pour toutes les fréquences / longueurs d'ondes sonores ? La réponse est non, les conditions sont les mêmes que celles qui apparaissent dans la fibre optique par exemple.
- Comment faire pour maximiser l'amplitude du signal reçu par le microphone ? Il s'agit une question d'adaptation d'impédance, ici avec un cornet avec une forma d'adaptée. Cette situation est totalement similaire à ce qui apparaît pour le guide d'ondes EM rectangulaire ou pour le câble coaxial. [3]
ATTENTION : parler d'adaptation d'impédance dans le cadre de la leçon nous semble hors sujet.

Références

- [1] Portelli, *La physique par la pratique*
- [2] Le Bellac, *Physique Quantique*
- [3] Sanz, *Tout en un PC PC**
- [4] Taillet, *Optique physique*
- [5] Garing, *Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques*
- [5] Garing, *Ondes EM dans le vide et les milieux conducteurs*