

Propagation guidée. Exemples et applications.

Correcteurs : Baptiste Percier¹ et Etienne Thibierge²

Leçon présentée le jeudi 13 décembre 2012

Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le préambule des rapports de l'épreuve de leçon présente les attentes et exigences du jury. Je vous encourage vivement à le lire.

2012 : "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."

Commentaires généraux

Du point de vue de la forme, la présentation était claire et finie dans les temps. L'exposé était plutôt rigoureux et facile à suivre. Attention quand même aux expressions "mon guide d'onde", "mon intensité", "ma tension", etc... De plus, quelques équations égalaient des vecteurs à des scalaires : le vecteur nul et l'opérateur rotationnel sont des vecteurs.

Du point de vue du contenu, il nous a semblé que le sujet a été bien traité et que le plan proposé fonctionne. Il faut toutefois bien insister sur les différences entre propagation libre et propagation guidée. La partie sur la fibre optique aurait pu être un peu plus détaillée.

Pour cela, il est possible de raccourcir la partie sur le câble coaxial et notamment la résolution du modèle à constantes réparties. C'est le seul bémol sérieux de la leçon : comme ce modèle ne met pas en avant les caractéristiques de la propagation guidée (confinement, modes, dispersion), il n'est pas forcément pertinent d'y passer du temps dans cette leçon. Cela risquerait d'être mal pris par le jury, cf. les retours dans le book. Une approche intéressante, par exemple, est de décrire très succinctement comment on arrive à un tel modèle pour les fréquences d'utilisation habituelles du câble coaxial, en donnant des ordres de grandeurs sur les fréquences de coupure des modes TE et TM, cf. Garing, et en donnant l'esprit des calculs conduisant aux expressions de γ et λ (sans faire

les calculs qui sont trop lourds). Une fois qu'on a montré le schéma présentant le modèle, dire que l'on a déjà traité cet exercice dans le cours sur les ondes. Ceci laissera plus de temps pour discuter les effets du guidage et aussi la fibre optique.

Questions

Les questions servent *d'abord* à éclaircir les points peu clairs de la leçon, puis *ensuite* à tester vos connaissances plus largement. Voici des pistes de questions d'ouverture envisageables, qu'on n'a pas toutes posées pendant la correction.

Est-ce que l'émission depuis une antenne se fait de manière isotrope ? La réponse est non, l'émission se fait préférentiellement perpendiculairement à l'antenne (évolution du champ électrique en $\sin \theta$, où θ est l'angle entre l'antenne et le champ). Mais le vecteur de Poynting décroît $\propto 1/r^2$, ce qui est gênant à grande distance.

Peut-on propager des modes autres que TE ou TM dans un guide d'onde ? Oui, les modes TE et TM forment en fait une base de l'ensemble des modes qui peuvent se propager dans le guide d'onde. Ceci vient du fait que l'on peut découpler les équations de Maxwell, cf. Garing. Ainsi toute combinaison linéaire des modes TE et TM peut se propager dans le guide. De tels modes sont appelés modes hybrides.

Une fibre optique à gradient d'indice bien calibrée est-elle vraiment non dispersive ? La dispersion intermodale est bien compensée, ce qui est l'objectif, mais il reste une (faible) dispersion intramodale résiduelle, qui est due à l'absorption par la fibre. La longueur d'onde de 1,3 microns choisie en pratique est celle qui limite au maximum cette dispersion, cf. Portelli.

Comparer la dispersion intramodale et intermodale ? La dispersion intramodale est due à un terme supplémentaire dans l'équation de propagation, qui n'est plus l'équation de d'Alembert. La dispersion intermodale est une dispersion effective, qui relie k_z à ω . Par exemple dans le guide d'onde plan, on a toujours $|\vec{k}| = \omega/c$ (l'équation d'onde est celle du vide), mais $k_z^2 c^2 = \omega^2 - \omega_n^2$. Cette dispersion effective traduit l'influence des conditions aux limites sur la propagation, qui ne peut plus être celle d'une onde plane dans le vide.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en TP ou dans de futures séances de correction.

1. baptiste.percier@ens-lyon.fr

2. etienne.thibierge@ens-lyon.fr, <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>