# MP 53 Propagation guidée

20 mai 2022

*Oui*

Nathan Berrit & Juliette Colombier

## Niveau : L3

## Commentaires du jury

## Bibliographie

## Prérequis

➢

## Expériences

☕

☕

## Table des matières

**1 Cable coaxial** **2**

**2 Polarisation par guidage : guide monomode** **3**

**3 Guidage acoustique** **4**

# Introduction

Petit rappel : le guidage d'onde consiste à contraindre fortement la propagation d'une onde pour la forcer dans une certaine dimensions. pour le faire, on peut par exemple faire un guide avec des conducteurs parfaits : l'onde est confinée dans les dimensions transverses à sa propagation. Application : transport de l'information avec les fibres optique par exemple...

### Introduction à la fibre à gradient d'indice

✍ Cachan ⏲ 3 min

Il faut une cuve de 1 ou de 2 centimètres de profondeur et une dizaine de centimètres de hauteur et environ 50 cm de longueur. En préparation, faire :

- Une couche de 4 cm d'un mélange eau glucose (environ 150g de glucose et 500 g d'eau)
- Une couche de 1 cm d'un mélange éthanol (80%) et de glycérol (20 %).
- Une couche de 1 cm d'éthanol

Pour faire les couches facilement, utiliser une éponge. Ça permet d'avoir une couche nette grâce à la porosité de l'éponge.

Attendre environ 30 min que les trois couches diffusent et on envoie un laser en entrée en faisant varier l'angle d'incidence : on voit la propagation guidée dans la zone avec le glycérol. Pour mieux voir on peut ajouter un peu de poudre de lait à cette zone. Le problème c'est qu'on a pas de ref pour cette manip donc il faudra mesurer au réfractomètre les indices je pense (et se souvenir à peu près des proportions).

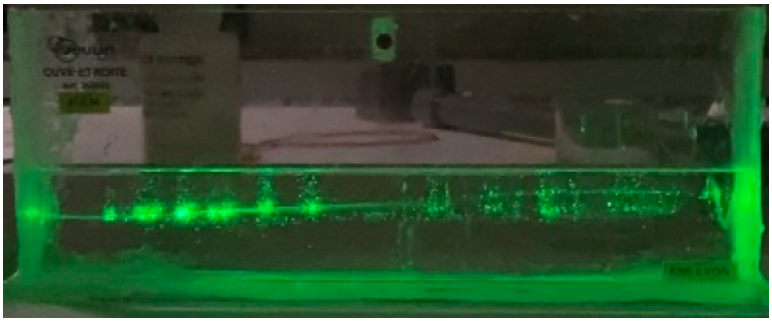

Figure 1 – La photo est pas incroyable mais en vrai c'est stylé

# 1 Cable coaxial

On va étudier un guide d'onde très utilisé, un câble coaxial. On peut modéliser un cable coax avec la méthode des constantes réparties, en introduisant une capa et une inductance linéique. Nous on va chercher à mesurer la vitesse des ondes EM dans ce câble et de caractériser les problèmes d'impédance des guides d'ondes. En fait on peut parler d'impédance caractéristique et de vitesse de propagation car dans un coax on excite seulement le mode TEM. Notre manip revient donc à étudier ce particulier mode du cable coax.

Loi des mailles :

$$\Lambda \mathrm{d}x \frac{\partial i}{\partial t} + u(x+\mathrm{d}x,t) = u(x,t) \tag{1}$$

Soit avec un DL

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \Lambda \frac{\partial i}{\partial t} = 0 \tag{2}$$

Pareil avec la loi des noeuds et on trouve :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \tag{3}$$

Avec $c = \sqrt{\frac{1}{\Gamma\Lambda}}$. On déduit de tout ça l'impédance caractéristique du câble :

$$Z = \sqrt{\frac{\Gamma}{\Lambda}} \tag{4}$$

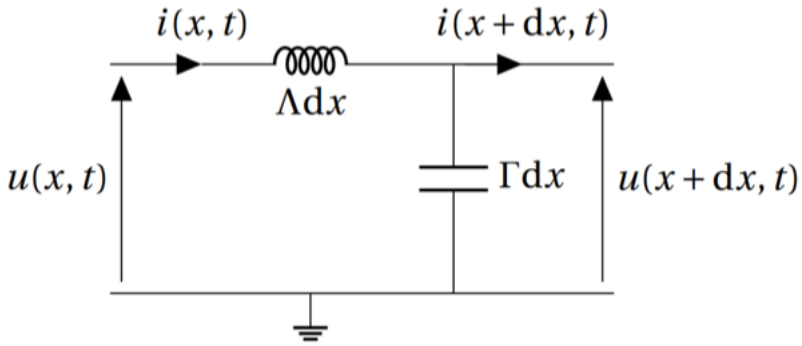


FIGURE 2 – Poly TP

Et on a le coefficient en réflexion

$$r = \frac{Z - R}{Z + R} \tag{5}$$

### Cable coax

✍ Duffait ⏲ ?

On prend le coax de 100m, on envoie un pulse ou un burst et on regarde à l'entrée du cable. On laisse la sortie sans rien pour chercher à voir la réflexion. En repérant le début du burst et le début de la réflexion on trouve la vitesse dans le cable. Puis on rajoute une boite à décade en sortie et on fait varier la charge jusqu'à annuler au mieux la réflexion : on a adapté l'impédance.

## 2 Polarisation par guidage : guide monomode

### Polarisation de l'onde issue du banc hyperfréquence

✍ notice du banc ⏲

On travaille à une fréquence où un seul mode peut se propager dans le banc. C'est le mode $Te_{10}$ qui est polarisé rectilignement. Pour vérifier cela, on place en face un récepteur dont on fait tourner l'axe en vérifiant la loi de Malus. Attention,Le récepteur est non linéaire. Donc on mesure plutôt des rapport d'intensité à partir d'un tension de référence. Pour cela :

- On se place presque au maximum d'intensité, donc à environ 0°. On note le facteur d'atténuation $a_0$ et la tension $U_0$ en sortie du capteur.
- On augmente petit à petit l'angle. Pour chaque angle, on tourne l'atténuateur pour retrouver $U_0$. On note le rapport d'atténuation $a(\theta)$.
- Attention, il y a une hystérésis sur la vis de l'atténuateur : il faut faire les mesures dans un seul sens, de sorte à toujours visser la vis dans le même sens pendant toute la manip.
- Enfin, on déduit la valeur du rapport des tensions.

La formule est :

$$E^2(\theta) \sim U(\theta) = U_0 10^{\frac{(a(\theta)-a_0)}{10}} \tag{6}$$

Pour mesurer l'angle, on utilise un rapporteur et un fil à plomb. Attention à bien gérer leur alignement et la lecture de l'angle (lire la graduation parallèle au fil et pas celle au niveau du fil par exemple).

Ensuite, on trace [a] :

$$\frac{S(\theta) - S(0)}{S(90) - S(0)} = f(\cos^2(\theta)) \tag{7}$$

avec $S(\theta) = \frac{E^2(\theta)+E^2(-\theta)}{2}$

a. Ici j'ai pris le champ nul en $\theta = 0$

### Banc hyperfréquence

J'ai fait cette manip pour montrer ce que peut provoquer un guidage d'onde mais le discours est délicat sur ce point. Ce serait plus intéressant de vérifier la relation du banc hyperfréquence pour montrer le phénomène de dispersion dans les guides d'ondes (on pourrait aussi le faire avec la cuve à onde).

# 3 Guidage acoustique

✍ Jolidon bleu

Ici on va essayer de voir l'apparition de modes selon l'angle incident. On peut mesurer la vitesse du fondamental mais pas celles des autres parce que c'est trop moche par contre on vérifie bien qu'ils sont plus lents que le fondamental ce qui est prévu par la théorie. Tout est décrit dans le Jolidon, le problème c'est que notre tuyau est tordu. Cette manip est pas terrible parce que très qualitative, ce serait peut-être mieux de faire le tube de Kundt (mais à ce moment là de ne pas faire le coax parce que c'est similaire).

# Tableau

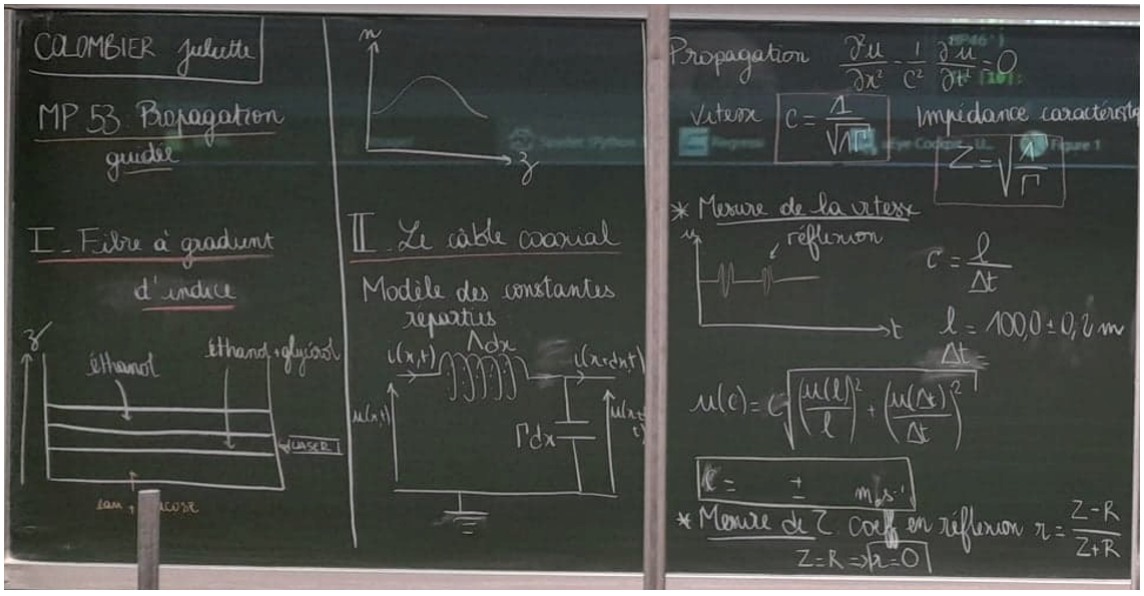


FIGURE 3 – tableau 1

# Manip surprise

Tu as un laser, un objectif de microscope, des bifentes, un écran. Mesure la largeur des fentes et leur espacement.

On mesure l'interfrange pour avoir l'espacement des fentes, et la figure d'interférence est convolué à un sinus cardial qui est lié à la taille des fentes.

Pour bien se mettre dans les conditions de fraunhoffer, on travaille avec le nombre de Fresnel qui distingue entre diffraction de fraunhoffer et diffraction de fresnel. $\mathcal{F} = \frac{a^2}{\lambda D}$ avec a la largeur des fentes et D la distance objet/écran. Ici on estime $\mathcal{F} \sim 0.1$ (du coup ça aurait été mieux de se mettre un peu plus loin).

# Questions

- **En quoi le coax vient dans le montage propagation guidée ?**

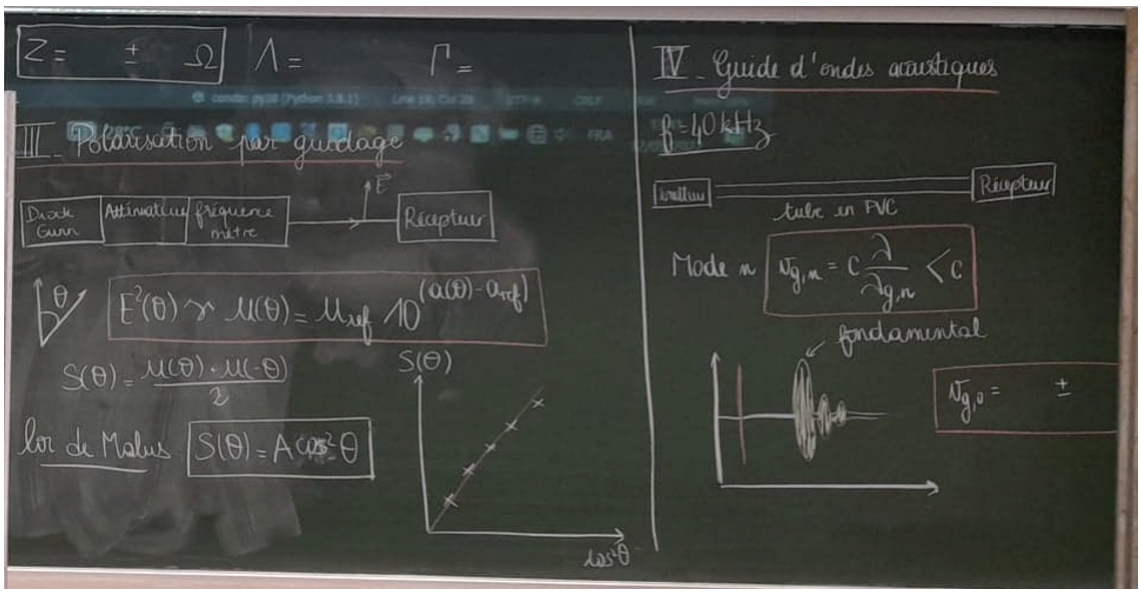


FIGURE 4 – tableau 2

- **Pourquoi on a une dépendance de la vitesse de propagation dans un guide avec les modes, et dans le coax on ne se pose pas la question des modes ?**
- **Tu peux revenir sur ton calcul d'incertitude sur python ?** On peut au moins évaluer les incertitudes relatives : la longueur du câble c'est 0.2 % et celle du temps c'est plus 1 %.
- **Tu peux refaire la manip de l'impédance du câble coax ?** On la refait bien et on trouve $50 \pm 10\ \Omega$ (problème de câble).
- **Banc hyperfréquence : C'est quoi une diode GUN ?** Il ne faut pas la voir comme une simple diode comme en élec, ce n'est pas juste une jonction PN. Sa caractéristique courant/tension a une pente négative à un endroit, c'est ce qui permet de créer des oscillations. (cf remarques)
- **C'est quoi l'atténuateur ? C'est quoi le récepteur ?** diode schottky.
- **Pourquoi tu as nommé ça polarisation par guidage ?** C'est un guide monomode, et il se trouve que ce mode est polarisé. Ca marche parce qu'il est monomode.
- **Retour sur la loi de Malus, pourquoi ça marche pas ?**
- **Tu peux estimer les autres fréquences de coupure du banc hyperfréquence ? Par exemple, savoir si la prochaine correspond au TE20 ou au TE01...** Il faut $2a < \lambda$ pour le mode TE01, avec a la taille caractéristique du guide dans la direction d'indice 1, soit une fréquence de coupure $f_c = \frac{c}{2a}$. On aurait pour le mode TE10 une fréquence de coupure $f_c' = \frac{c}{2b}$. Pour le mode TE02, on multiplie par deux soit $a < \lambda$. On peut alors calculer en odg les fréquences de coupure des différents modes.
- **Comment tu as choisi la fréquence de travail pour le pvc ?** J'ai pris la fréquence de résonance du récepteur pour maximiser le signal.
- **Tu peux expliquer la manip et la forme du signal qu'on observerait en sortie.**
- **Il y a une contrainte sur la fréquence pour observer ces modes ?** Il y a une contrainte similaire à avant.
- **Et tu connais la première fréquence ?** Non j'ai pas fait l'AN. On peut l'estimer sachant que le tube a un rayon de 1 cm environ

## Remarques

- Pas bcp de chance sur les manips de ce montage : problème de trig, oublier de brancher certains récepteurs... Parfois tu as bien réagit, mais ça a quand même fait perdre du temps. Mais tu as su garder une bonne gestion du temps malgré les problèmes. Tu t'en es globalement bien sortie pour un montage qui a pas très bien marché

- La première expérience est très visuelle et top ! Le seul bémol c'est qu'on distingue pas très bien les différentes couches, peut-être qu'on peut rendre la chose un peu plus visuelle. Il faudrait montrer avant d'éteindre la lumière pour qu'on puisse voir les couches
- Présenté comme ça, on comprend pas le lien avec propagation guidée dans le câble coaxial. Ce qu'il faut expliquer, c'est qu'on exploite le mode TEM, possible grâce à la géométrie du guide. C'est aussi un guide monomode. IL faut l'expliquer pour situer la manip. Pour ce mode, il n'y a pas de dispersion ! (on a bien k = w/c parce que c'est 00). Bon en toute rigueur il y a de la dispersion parce qu'il y a des pertes.
- La manip 3 : Le mode Te10 est bien polarisé. A la fin, on mesure juste la loi de Malus : on ne met pas en avant une propriété importante du guidage. Perso, je me serais intéressé à la dispersion par le guidage. On peut mesurer la relation de dispersion du banc hyperfréquence, ça fonctionne et ça aurait plus sa place dans le montage. Si ça doit prendre plus de temps, on peut retirer la manip 4 qui parle un peu des même choses et que j'aime moins.
- J'aime moins la manip 4 : dur d'expliquer la forme du signal. C'est mieux de faire juste le banc avec la polarisation puis la dispersion.
- Puisqu'on voudrait quand même du guidage acoustique : on peut remplacer le câble coax par le tube de Kundt : c'est aussi un guide monomode qui a une fréquence de coupure de 5 kHz : en dessous, on est comme dans l'air illimité.
- Sur le banc hyperfréquence : la diode guun c'est deux jonctions semiconduceut (3 dopés N différemment). L'idée est de faire passer les électrons d'une bande de forte mobilité à une bande de plus faible mobilité, de sorte que si la tension augmente on fait transiter d'avantage d'électrons dans la bande de faible mobilité et le courant diminue. La vis sert à changer la tailler de la cavité et permet de régler la fréquence.
- L'atténuateur est juste une résistance qu'on plonge plus ou moins dans le guide et qui sert à dissiper la puissance
- Le récepteur est une diode schottky, un système qui émet une tension proportionnelle à la puissance reçue.
- Les cornets servent à faire de l'adaptation d'impédance. Ça permet d'augmenter l'amplitude du signal en sortie, en diminuant la réflexion de l'onde, et donc en envoyant plus d'énergie en sortie.
- Pas fan de la dernière expérience : elle marche bien mais elle est pas très quantitative. Ici ton émetteur émet des ondes à plein d'angle d'incidence, donc il excite pleins de modes.
- Pas de bijoux avec des lasers !
- Tu as bcp démonté et remonté des trucs dans le montage, et ici ça ne t'a pas aidé pour le temps. Le jour J, tu t'en fiche d'utiliser plein de câbles !
- De manière générale, quand une expérience ne marche pas, c'est bien de présenter un peu ce que tu attends (pas avant la manip, mais après si ça marche pas). Au moins le jury peut rebondir pendant les questions
- Pour la manip surprise : tu pouvais prendre un peu plus de place pour avoir une figure un peu mieux. Il fallait discuter du parallélisme du faisceau, de l'alignement et tout... Typiquement ici la fente était tournée, ce qui change un peu la différence de marche.
- Bilan : remplacer le câble coax par le tube de kundt, et remplacer la dernière manip par la relation de dispersion du banc (ça prend un peu de temps mais tu fais juste 1 point avec le jury).