

# Cours Propagation des ondes.

Étienne Thibierge<sup>1</sup>

Janvier 2015

## Situation du cours

- ▷ **Déroulement** : quatre séances de deux heures, type cours magistral.
- ▷ **Niveau** : rappels niveau CPGE et compléments qui seraient accessibles en L3.
- ▷ **Prérequis** : de la mécanique des fluides, de l'électromagnétisme et de l'analyse de Fourier, mais seulement des notions assez simples que vous connaissez déjà bien.
- ▷ **Poly de cours** : disponible sur ma page web et sur le portail des études, dans une version plus complète que ce que je présenterai en classe, contenant un peu plus d'exemples, de remarques et de détails de calcul.

🔴🔴🔴 **Attention !** Il ne s'agit pas de faire les leçons à votre place, mais bien de faire le cours *associé aux* leçons. Celui-ci est donc centré sur les notions physiques qui vous sont le moins familières, afin que vous les compreniez le plus finement possible, mais en traitant la mise en contexte et les illustrations de façon globalement insuffisante pour une bonne leçon d'agrégation.

## Objectifs

J'ai défini le programme du cours à partir des annales des épreuves écrites et des rapports de jury des épreuves orales, ainsi que des questions que je me suis posées en passant l'agreg. Les objectifs du cours pourraient être définis de la façon suivante :

1. Comprendre que le couplage entre deux grandeurs permet la propagation ;
2. Analyser la phénoménologie associée à différents types d'ondes : planes, sphériques, progressives, stationnaires, harmoniques et comprendre les liens possibles entre ces qualificatifs ;
3. Décrire une onde plane réelle et sa propagation sous la forme d'un paquet d'ondes harmoniques ;
4. Comprendre l'influence de l'extension limitée du milieu de propagation : apparition d'ondes stationnaires ou sélection d'ondes guidées mais toujours associée à une discrétisation ;
5. Comprendre les origines de la dispersion : réponse du milieu ou conditions aux limites transverses ;
6. Décrire la propagation d'un paquet d'ondes en présence de dispersion ;
7. Comprendre les caractéristiques de la propagation guidée : confinement, guidage, discrétisation des modes propagatifs, structure mixte stationnaire et progressive des ondes guidées, dispersion de mode.

## Plan du cours

### I. Propagation libre et non dispersive

1. Qu'est-ce qu'une onde ?
2. Différentes familles d'ondes
3. Relation de structure et impédance propagative
4. Paquets d'ondes
5. Ondes stationnaires

### II. Propagation dans un milieu dispersif, atténuation

1. De nouvelles équations de propagation
2. Propagation d'une onde plane pseudo-progressive harmonique
3. Propagation d'un paquet d'ondes en présence de dispersion

### III. Guidage

1. Phénoménologie
2. Guidage d'une onde électromagnétique entre deux plans parfaitement conducteurs
3. Guidage d'une onde acoustique dans un tuyau sonore

1. [etienne.thibierge@ens-lyon.fr](mailto:etienne.thibierge@ens-lyon.fr) et <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

## Travail complémentaire nécessaire

Par manque de temps, ce cours ne peut pas couvrir tous les aspects de la propagation des ondes. Les points insuffisamment traités qui me semblent les plus importants sont les suivants :

- ▷ l'obtention des équations de propagation par des modèles mésoscopiques : la corde vibrante et l'acoustique dans les fluides par l'équation d'Euler doivent absolument être retravaillées ;
- ▷ la transformation d'une onde à une interface : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude, en énergie, adaptation d'impédance, rapport d'ondes stationnaires ;
- ▷ les aspects énergétiques : vecteur de Poynting, densité volumique d'énergie, vitesse de l'énergie, bilans d'énergie.

Insistons sur le fait que ce cours n'a pas vocation à remplacer complètement un cours de CPGE, que vous ne devez pas oublier de réviser par ailleurs. Vous pouvez bien sûr vous référer à des livres disponibles à la BU. J'attire aussi votre attention sur les cours mis en ligne gracieusement par des enseignants en CPGE, en particulier le cours de Matthieu Rigaut<sup>2</sup> qui est à mon avis largement meilleur que bien des livres.

## Pour vous entraîner

La physique des ondes est un thème récurrent aux écrits, et fait régulièrement l'objet d'une ou deux parties (onze fois depuis 2003). De nombreuses épreuves sont donc à votre disposition. Trois d'entre elles sont explicitement centrées sur la physique des ondes :

- ▷ Épreuve A 2009 : cette épreuve propose d'étudier divers instruments de musique. Elle est très complète : si vous n'en faites qu'une, ce doit être celle là.
- ▷ Épreuve A 2014 : ce problème concerne la propagation des ondes acoustiques dans l'océan, et propose un lien intéressant avec l'approximation eikonale en optique. Il complète utilement le cours.
- ▷ Épreuve A 2004 : cette épreuve traite de la propagation d'ondes acoustiques et capillaires dans les fluides. Elle constitue le DM8, qui sera distribué au cours du mois de février.

## Bibliographie

Une bibliographie exhaustive se trouve à la fin du poly. Les principaux livres m'ayant servi à préparer le cours, plus ou moins classés par ordre d'importance, sont les suivants :

- ▷ H-Prépa *Ondes*, J.M. Brébec. C'est le plus complet de tous les livres de CPGE, mais ce n'est en revanche pas un modèle de pédagogie : à utiliser si vous connaissez déjà la physique que vous voulez montrer. Il couvre plus ou moins tout le spectre du cours, à l'exception des notions les plus avancées.
- ▷ Dunod *Tout en un PC-PC\**, M.N. Sanz. C'est à mon sens le meilleur livre de CPGE disponible, clair et rigoureux tant sur le plan des calculs que de la physique. Il rentre moins dans les détails que le H-Prépa, mais couvre lui aussi plus ou moins tout le spectre du cours.
- ▷ *La physique par la pratique*, B. Portelli. Un très bon livre pour préparer l'agrégation. C'est le seul de la liste qui traite de façon exhaustive la construction des paquets d'onde et leur propagation en présence de dispersion.
- ▷ *Optique physique*, R. Taillet. Ce livre explique particulièrement bien la physique, mais contient malheureusement beaucoup de coquilles dans les calculs. L'approche qualitative du guidage en est extraite.
- ▷ *Ondes électromagnétiques dans le vide et les conducteurs*, C. Garing. Comme tous les livres de l'auteur, c'est une mine d'exemples et d'illustrations. Il complète utilement l'approche du guide d'onde, et traite de façon exhaustive les modes de propagation du câble coaxial.
- ▷ *Mathématiques pour la physique et les physiciens*, W. Appel. La bible du physicien qui se pose des questions sur les objets mathématiques qu'il utilise. À consulter sans modération !

Toutefois, certains paragraphes (en particulier dans le chapitre sur le guidage) ne sont pas directement issus d'une référence bibliographique, mais résultent plutôt d'une synthèse personnelle.

2. <http://www.matthieurigaut.net/>, rubrique « Programme 2002 »