1EL1500 - Physique des Ondes

Responsables : **Mohammed SERHIR**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT PHYSIQUE**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS , FRANCAIS**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Ce cours fournit les éléments de base nécessaires à l'ensemble des disciplines qui utilisent des ondes : sismologie, télécommunication, télédétection (radar, sonar...), techniques d'imagerie, photonique, ... en s'appuyant sur les cas de l'électromagnétisme et de l'acoustique.

Objectif : maîtrise de l'analyse de Fourier, des concepts d'onde et de leurs applications dans différents domaines :

- 1) filtrage spatial, comme le montage 4f en optique de Fourier, pour le traitement des images
- 2) les approximations simplificatrices adaptées en fonction de la longueur d'onde, la taille du système et la distance à laquelle le phénomène est observé : diffraction et rayonnement
- 3) directivité d'une antenne.
- 4) Comportement d'un milieu (transparent, absorbant ou opaque) en fonction de ses propriétés diélectriques ou optiques.
- 5) Calcul des coefficients de réflexion et de transmission d'une onde à travers une interface.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG1 et SG3

Prérequis :

- Optique géométrique (lentille convergente)
- Électrostatique, Magnétostatique
- Équations de Maxwell dans le vide
- Onde plane électromagnétique
- Décomposition d'une fonction périodique en série de Fourier
- Équations aux dérivées partielles (Laplace, d'Alembert)

Plan détaillé du cours (contenu) :

1-Introduction

Expliquer le contenu du cours et le fil conducteur entre les parties. Situer le cours dans l'ensemble du cursus (présenter les enseignements où ce cours sera utile). Préliminaires mathématiques : Transformée de Fourier, distribution de Dirac

2-Principes de base de l'imagerie, Développement en ondes planes

Propagation : champ proche, champ lointain, ondes évanescentes, diffraction et auto-diffraction d'une onde, limite de résolution

TD1 : Propagation et diffraction, dimensionnement satellite, mesure distance Terre-Lune

TD2 : Traitement optique des images

3-Sources d'ondes

Potentiel retardé, approximation en champ lointain, approximation dipolaire

TD3 : Rayonnement par une antenne filaire et par un réseau d'antennes, lobes d'émission

4-Rayonnement

Champ rayonné : structure locale d'onde plane. Puissance rayonnée

TD4 : Rayonnement par une antenne de téléphonie mobile (antenne dipolaire magnétique)

5-Diffusion, diffraction par un réseau périodique

Introduction à la diffusion par un ou plusieurs diffuseurs ordonnés. Diffraction de Bragg

TD5 : Diffusion/Diffraction de la lumière par un cristal photonique simplifié

6-Équations de Maxwell dans la matière, du microscopique au macroscopique

Établissement des équations de Maxwell valables pour tout milieu : passage à la moyenne pour l'établissement des équations de Maxwell macroscopiques

TD6 : Constante diélectrique, atténuation et bilan d'énergie d'une onde dans un milieu absorbant

7-Relations constitutives, équations de Maxwell généralisée, propagation libre dans la matière

Constante diélectrique généralisée. Notions d'homogénéité, linéarité, isotropie, dispersion. Liens entre dispersion et inertie. Définition de l'indice optique. Signification des parties réelle et imaginaire de l'indice et de la constante diélectrique. Bilan d'énergie. Définition des milieux transparents, opaques et absorbants

TD7 : Couches minces : traitements antireflet. Microscope à onde évanescente

8-Relations de continuité. Réflexion, réfraction

Lois de Snell Descartes. Réflexion et réfraction d'une onde TE ou TM. Angle de Brewster

TD8 : Guide d'ondes diélectrique : application à la fibre optique

TD9 : Milieu non-linéaire : génération de second harmonique

TD10 : Diffusion Brillouin : couplage entre onde acoustique et onde électromagnétique

9-Milieu à indice négatif - Métamatériau

Propagation dans un matériau double-négatif : lentille parfaite, invisibilité

Déroulement, organisation du cours :

9 séances de cours magistral en Amphi

10 séances de travaux dirigés en groupe de 33 élèves

Dans le cas de l'occurrence en anglais le cours magistral est enseigné en anglais, en revanche une seule salle de TD où l'enseignement est assuré en anglais (dans les trois autres salles de TD l'enseignement est assuré en français).

L'occurrence 1.2 sera enseignée en anglais et l'occurrence 1.4 sera enseignée en français

Déroulement des séances :

1 CM1

2 CM2

3 TD1

4 CM3

5 TD2

6 CM4 (test 1)

7 TD3

8 CM5

9 TD4

10 CM6

11 TD5
12 CM7 (test 2)
13 TD6
14 CM8
15 TD7
16 TD8
17 TD9
18 CM9 (test 3)
19 TD10
20 Examen final

Organisation de l'évaluation :

Contrôle continu (QCM) sans documents : Test 1 de 15 min à la séance 6 pendant le CM4. Test 2 de 15 min à la séance 12 pendant le CM7. Test 3 de 15 min à la séance 18 pendant le CM9. Contrôle final (examen écrit) de 2 heures avec documents (65%).

Chaque contrôle continu (QCM) compte avec une pondération 0.35/3 de la note, le contrôle final comptant avec une pondération de 0,65

La compétence C.1 est évaluée à travers un exercice parmi les exercices du contrôle final. Si la note brute à cet exercice est supérieure à 50%, l'élève aura validé la compétence C.1 dans le cadre de ce cours.

La compétence C.2 est validée si la note de la session est supérieure à 10/20

Moyens :

Equipe enseignante : Pierre-Eymeric Janolin, Bruno Palpant, Nicolas Mallick, Mohammed Serhir, Romain Pierrat (vacataire), Aurélie Bonnefois (vacataire), Michael Vaz (vacataire)

Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 4 salles de TD de 30 élèves.

Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : Python installé sur les PC des élèves

Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Non

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

- 1) **Appliquer** les méthodes de filtrages spatial, comme le montage 4f en optique de Fourier, pour le traitement des images
- 2) **Appliquer** les approximations simplificatrices adaptées en fonction de la longueur d'onde, la taille du système et la distance à laquelle le phénomène est observé : diffraction d'une onde ou rayonnement d'une antenne
- 3) **Déterminer** la zone de rayonnement et la directivité d'une antenne.
- 4) **Décrire** si un milieu est transparent, absorbant ou opaque à partir de ses propriétés diélectriques ou optiques.
- 5) **Appliquer** les conditions aux limites pour un système présentant une ou plusieurs interfaces.
- 6) **Calculer** les coefficients de réflexion et de transmission d'une onde à travers une interface.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

C1.1: Analyze the scientific aspects of the overall behavior of a small-scale system (e.g. isolated part of a complex system), including the identification of factors that influence its behavior (**diffraction, diffusion, reflection, transmission, absorption, interference**)

C1.2: Correctly use a model presented in class in its conditions of validity (model describing a phenomenon, without couplings) (**far field approximation, dipolar approximation, planar wave approximation, Fourier optics/image processing, antenna array, scattering by a periodic array, anti-reflection layer, Brillouin scattering**)

C1.3: Compare the results of a simulation with experimental measurements or approximate calculation results, taking into account measurement errors and uncertainties, or model approximations, based on the knowledge of orders of magnitude

C2.1: Deepen your knowledge of an engineering field or scientific discipline

Bibliographie :

Polycopiés de cours et d'exercices avec corrigés.