

1EL1010 - Rayonnement et propagation

Responsables : **Dominique LECOINTE**

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

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

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

La théorie de Maxwell est depuis plus d'un siècle source d'innovations et de progrès technologiques et il est remarquable de constater l'étendue des secteurs industriels impactés par les applications de cette théorie :

- le secteur des télécommunications au cœur de la société de l'information,
- le secteur aéronautique, automobile et des transports,
- le secteur de l'énergie électrique,
- le secteur de la défense et de la sécurité,
- le secteur de la santé et de l'environnement,
- le secteur du bâtiment et des travaux publics,
- le secteur de l'internet et des objets connectés.

Pour l'ingénieur du 21ème siècle, la maîtrise de la théorie électromagnétique ne peut être ignorée. Mais, dans un environnement où les défis technologiques sont de plus en plus complexes, comment l'ingénieur aborde-t-il les problèmes, quels sont les moyens à sa disposition pour les résoudre ? Cette démarche sera le fil conducteur de ce cours d'électromagnétisme. Partant d'applications variées et concrètes, ce cours présente la démarche d'un ingénieur pour passer d'une scène réelle à la mise en équations sous forme d'un problème électromagnétique, puis le passage à la résolution par utilisation le plus souvent d'outils numériques spécialisés. Les problèmes présentés et leurs formulations théoriques couvriront un large spectre de fréquences : du continu, en passant par les radio-fréquences et micro-ondes jusqu'à l'optique. L'accent sera mis sur les différents types de problèmes, en particulier, la propagation libre et guidée et le rayonnement. Les petites classes permettront une mise en pratique sur des problèmes très variés : propagation libre et interférences, propagation guidée et fibre optique, rayonnement et antennes... L'essor des outils numériques a radicalement transformé la méthodologie de résolution des problèmes électromagnétiques. Plusieurs petites classes utiliseront un logiciel électromagnétique industriel afin d'illustrer la démarche actuelle d'un ingénieur pour la résolution des problèmes électromagnétiques.

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

SG1 et SG3

Prérequis :

Aucun

Plan détaillé du cours (contenu) :

1. Introduction

présence de l'électromagnétisme dans de nombreux secteurs industriels

diversité des applications de l'électromagnétisme
importance de la simulation numérique - état de l'art pour les outils numériques
contenu du cours et liens entre les parties - situation du cours dans l'ensemble du cursus
2. Mise en équations d'un problème électromagnétique : les 3 piliers
de la scène réelle à la mise en équation : phase de modélisation étude en temporel ou en régime harmonique
premier pilier : équations de Maxwell cas général
deuxième pilier : équations constitutives des milieux - modèles les plus classiques - linéarité, homogénéité, isotropie, dispersion
troisième pilier : équations de passage d'un milieu à un autre - écriture selon le choix des modèles de milieu
lien avec les outils numériques (exemple CST)
Application : TD numérique : CST présentation et prise en main
3. Synthèse : les différents types de problèmes : objectif, hypothèses associées et simplification, applications emblématiques
états quasi-stationnaires
propagation
rayonnement
diffraction
4. Propagation libre
onde plane
polarisation d'une onde plane
exemple d'une autre solution - faisceaux gaussiens
propagation en milieu conducteur - épaisseur de peau
transmission d'une onde d'un milieu à un autre
application : TD : duplexeur
application : TD : polarimétrie
5. Propagation guidée : théorie des guides
approche physique des modes à travers le guide à lames parallèles
développement théorique - mode TE, TM, TEM
exemple du guide rectangulaire
exemple du guide coaxial
application : TD : fibre optique
Application : TD numérique : transition ligne coaxiale - guide rectangulaire
6. Propagation guidée : théorie des lignes
du mode TEM vers la théorie des lignes
théorie des lignes
adaptation
application : TD : réalisation d'un circuit d'adaptation pour ligne micro-ruban
7. Rayonnement et antennes
champ rayonné - champ lointain
technologie des antennes
caractéristiques des antennes (approche expérimentale) - diagramme de rayonnement gain et directivité - impédance d'entrée
bilan de liaison
application : TD : antenne
application : TD numérique : réalisation d'une antenne Yagi

Déroulement, organisation du cours :

11 cours de 1h30, 5 TD de 1h30, 3 TD Numériques de 1h30, 1 contrôle continue de type QCM et 1 contrôle final écrit de 2h00.
Toutes les occurrences sont présentées en langue française.

Organisation de l'évaluation :

1 QCM (pondération 20%)

1 contrôle final écrit sans documents de 2h00 (pondération 80%)

Les acquis en compétence seront validés durant le contrôle final. Des questions identifiées permettront de valider les jalons 1 des compétences C1 et C2. Au minimum, deux questions par compétence. L'élève ayant obtenu la moyenne sur les questions associées à la compétence évaluée validera le jalon 1.

Moyens :

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Dominique Lecointe, Dominique Picard
- Taille des TD (par défaut 25 élèves) : En général, 2 groupes en TD numérique alternent avec 2 groupes en TD traditionnel.
- Outils logiciels et nombre de licences nécessaires : logiciel MWS. Licence éducation obtenue de la part du fournisseur.
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : Salles informatiques (2 salles informatique de 25 postes) pour les TD numériques

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- mettre en équations un problème réaliste par le choix de modèles plus ou moins complexes.
- juger la pertinence des modèles et leurs limitations.
- choisir une méthodologie de résolution incluant des outils de simulation modernes .
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les structures des ondes électromagnétiques se propageant dans un milieu donné.
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les systèmes permettant la propagation d'un signal électromagnétique.
- maîtriser, de la théorie à la pratique, les systèmes rayonnant un signal électromagnétique.

Ces différents acquis d'apprentissage permettent de valider le jalon 1 de la compétence C1.2 (Savoir utiliser un modèle présenté en cours de manière pertinente (modèle décrivant un phénomène, sans couplages). Faire le choix d'hypothèses simplificatrices adaptées au problème étudié.).

Description des compétences acquises à l'issue du cours :

The different learning outcomes validate milestone 1 of skill C1.2 (Knowing how to use a model presented in class in a relevant way (model describing a phenomenon, without any coupling) Choosing simplifying hypotheses adapted to the studied problem .).

Also, the different learning outcomes make it possible to validate milestone 1 of competency C2.1 (knowing how to define the notion of a scientific field)

Bibliographie :

Polycopié de cours et d'exercices.

Planches projetées durant le cours (EDUNAO)

Techniques micro-ondes de Marc Hélier, édition Ellipses