

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Électronique*

Par

Prisca LE DILY

**Puissances diffractées cohérente et incohérente Radar
d'un objet interagissant avec une surface de mer
par la méthode de l'optique physique**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 28 novembre 2025
Unité de recherche : IETR UMR 6164

Rapporteurs avant soutenance :

Muriel DARCES Professeur des universités, Sorbonne université, Paris
Alain REINEIX Directeur de recherche, XLIM, Limoges.

Composition du Jury :

Examineurs :	Muriel DARCES	Professeur des universités, Sorbonne université, Paris
	Gildas KUBICKÉ	Ingénieur/HDR, DGA-MI, Bruz
	Alain REINEIX	Directeur de recherche CNRS, XLIM, Limoges
Dir. de thèse :	Christophe BOURLIER	Directeur de recherche CNRS, IETR, Nantes
Encadrants :	Romain BOCHEUX	Ingénieur de recherche, ONERA, Palaiseau
	Nicolas PINEL	Enseignant-chercheur, Icam-IETR, Nantes

Invité :

Pierre BALDENSPERGER Ingénieur, MBDA, Le Plessis-Robinson

Titre : Puissances diffractées cohérente et incohérente Radar d'un objet interagissant avec une surface de mer par la méthode de l'optique physique

Mot clés : optique physique itérative, surfaces rugueuses, surface de mer, couplage objet-surface rugueuse

Résumé : La simulation de la réponse électromagnétique radar d'un bateau sur la mer est un sujet d'intérêt au sein de la communauté scientifique et industrielle. Un maillage fin de la surface de mer est exigé pour obtenir une solution précise du problème, nécessitant plusieurs millions de points pour de grandes scènes. Des solutions plus rapides existent, consistant en l'utilisation de modèles asymptotiques couplés à un processus de Monte-Carlo. Or, ce processus nécessite la génération de multiples surfaces de mer afin de calculer des moyennes statistiques des champs diffractés. Les gains en mémoire et temps de

calcul sont donc limités.

L'objectif de cette thèse est d'étudier une solution alternative, en se basant sur l'optique physique itérative afin de calculer analytiquement le champ diffracté, sans mailler la scène. Tout d'abord, un état de l'art rend compte des modèles publiés pour la simulation radar d'un objet sur une surface rugueuse. Afin de le compléter, la méthode sélectionnée est appliquée à un problème 2D, puis étendue à un problème 3D dans le but d'ajouter les polarisations croisées. Des comparaisons de la SERN cohérente avec celle de la méthode des moments montrent un bon accord.

Title: RADAR coherent and incoherent scattered powers of an object interacting with a sea surface using physical optics.

Keywords: iterative physical optics (IPO), rough surfaces, sea surface, electromagnetics interactions between an object and a rough surface

Abstract: Simulating the electromagnetic signature from a boat on sea is a great subject of interest in the scientific community. A precise meshing is required, with several million mesh points needed for the largest scenes. In this study, an alternative solution is investigated, based on the iterative physical optics (IPO) approximation. Asymptotic methods are available in the literature, but they are coupled to a Monte-Carlo process. Because of it, dozens of sea surfaces have to be generated in order to estimate statistical moments of the scattered

field. The memory cost and computation time are not reduced. In this manuscript, the selected method is then calculated analytically, without any mesh use. First of all, a state of the art details the main methods for describing the scattering from an object above a rough surface. To complement it, the chosen method is applied to a 2D (direction-invariant) problem, and extended to a 3D problem in order to include cross-polarisations. Comparisons of the coherent NRCS with that obtained from the method of moments show a good agreement.