



Modélisation de la diffusion électromagnétique par une surface maritime

- ▷ **Contexte scientifique :** Ce sujet, qui entre dans le cadre d'une collaboration entre l'ENSTA-Paristech et l'ENSTA-Bretagne, concerne la simulation de la propagation d'ondes au voisinage d'une surface dite *rugueuse*, c'est-à-dire présentant des ondulations irrégulières. L'application visée est la diffraction d'ondes radar par une surface de mer agitée. Le principe de l'expérience peut être décrit comme suit. Un observateur envoie une onde vers la surface de l'océan avec un angle d'incidence. Quand la mer est très calme, la surface se comporte comme un miroir parfait et renvoie toute l'énergie dans la direction spéculaire. Peu d'énergie est alors renvoyée vers l'observateur. Au contraire, quand la mer est soumise à des vents importants, la surface maritime devient irrégulière. L'onde est alors diffusée dans toutes les directions et une partie importante de l'énergie est diffusée en direction de l'observateur. De telles mesures peuvent être réalisées par des systèmes aéroportés ou satellitaires, mais aussi par un radar côtier ou embarqué dans un navire. La différence fondamentale est que dans ce dernier cas, l'angle d'incidence est rasant : un navire a une hauteur de quelques dizaines de mètres et peut observer l'océan sur une distance de plusieurs dizaines de kilomètres.

Si l'on cherche à modéliser numériquement ces phénomènes, il est possible de simuler aléatoirement des surfaces de mer correspondant à une vitesse de vent donnée et de calculer le champ électromagnétique diffusé par des approches numériques classiques de type "équation intégrale". Pour modéliser ces phénomènes de façon fiable, et particulièrement en angle rasant, une des difficultés essentielles réside dans le fait qu'il faut considérer des surfaces diffusantes extrêmement grandes. Ceci pose clairement un problème de mise en oeuvre opérationnelle du calcul mais soulève également de sérieuses questions théoriques.

- ▷ **Travail demandé :** Ce sujet de master consistera dans un premier temps à comprendre la problématique et à identifier les difficultés théoriques qu'elle soulève, en particulier celles qui apparaissent pour des incidences rasantes. Dans un second temps, il s'agira de mettre en oeuvre un code de calcul du champ diffracté (à partir d'un code existant) et d'évaluer la convergence du modèle lorsque la surface de diffusion prise en compte devient de plus en plus grande. Enfin, ce calcul pouvant être réalisé pour un grand nombre de surfaces générées aléatoirement, il s'agira d'estimer numériquement les lois statistiques du champ diffusé. Une question importante sera alors de comprendre quelle est la convergence (ou la divergence) de ces lois lorsque la taille de la surface prise en compte tend vers l'infini.
- ▷ **Connaissances préalables :** Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) de Master possédant des connaissances élémentaires en analyse numérique ainsi qu'en probabilités et statistiques. Quelques notions sur les méthodes d'équations intégrales seraient souhaitables (mais pas indispensables).
- ▷ **Perspectives :** Ce stage est susceptible d'être poursuivi par une thèse.

Renseignements pratiques :

○ **Responsables :**

- *Christophe HAZARD: 01 81 87 20 91, christophe.hazard@ensta-paristech.fr*
- *Arnaud COATANHAY: 02 98 34 88 09, arnaud.coatanhay@ensta-bretagne.fr*
- *Francis COLLINO: collino@cerfacs.fr*

- **Lieu :** *Le stage se déroulera au sein de l'équipe POems (Propagation d'ondes: études mathématiques et simulation) de l'Unité de Mathématiques Appliquées de l'ENSTA (Palaiseau), sur le campus de l'Ecole Polytechnique.*
- *Le stage peut être effectué par un étudiant de nationalité étrangère.*