www.onera.fr

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Propagation électromagnétique en bande HF : Amélioration de la modélisation de la propagation et de la caractérisation du milieu ionosphérique.

Référence : **PHY-DEMR-2024-13**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2024	**Date limite de candidature :** Mai 2024

Mots clés

onde de ciel, propagation ionosphérique, atténuation, bande HF, communications HF, radar trans-horizon

Profil et compétences recherchées

Master ou Ingénieur télécommunications ou généraliste.
Compétences : développement informatique (Python), traitement du signal, propagation radio

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les systèmes radioélectriques fonctionnant en bande HF (3-30 MHz) et utilisant le mécanisme de propagation par onde de ciel sont complètement dépendants des conditions ionosphériques. Aujourd'hui encore la prédiction de la portée de ces systèmes n'est pas pleinement maîtrisée, d'une part sur l'aspect modélisation de la propagation des ondes dans ce milieu, et d'autre part sur la description de ce milieu ionosphérique qui reste un environnement très complexe. Ces deux composantes de la problématique seront considérées dans les travaux de thèse.

Il existe différentes techniques de calcul de la propagation des ondes radioélectriques en milieu ionosphérique pour des fréquences proches de la fréquence plasma du milieu. La plus usuelle est basée sur une résolution des équations de Haselgrove, qui s'apparente à une approche de lancer de rayon itérative en distance. Cette méthode, qui amène une résolution numérique des équations sous forme hamiltonienne dans un milieu anisotrope, s'avère efficace mais reste incomplète pour la modélisation du niveau du champ propagé. Et surtout elle peut être mise en échec dès que le milieu devient fortement variable, de forts gradients de densité électronique caractérisant le milieu pouvant amener des difficultés numériques de résolution des équations de propagation. Ainsi dans le cadre des travaux proposés, d'autres techniques seront investiguées comme les méthodes dites « full wave » qui, sous certaines hypothèses, peuvent être appliquées au problème et venir compléter la modélisation. Les codes déjà existants à l'ONERA sur la modélisation de la propagation dont plus particulièrement les codes constituant la Librairie de Modélisation de la Propagation Ionosphérique Dédiée HF (LIMPID HF) serviront de base à ces travaux. Les techniques de résolution les plus rapides disponibles à l'ONERA comme la méthode MQP (Multi-Quasi Parabolic ionosphere model) seront également investiguées. L'idée est de maîtriser toutes les techniques afin de disposer d'une bibliothèque complète proposant différentes solutions en fonction du problème rencontré. Ceci pourra être utile pour répondre aux besoins opérationnels de la DGA, nécessitant des calculs en temps réel (nowcasting) ou au contraire permettant des temps de calculs plus importants (forecasting). Enfin, un effort sera également mené sur la modélisation d'autres phénomènes affectant le bilan de liaison des systèmes radioélectriques autres que la réfraction, avec notamment la prise en compte du bruit radioélectrique en HF et des différents types d'effets survenant sur la liaison (diagramme d'antenne, réflexion sur le sol, effet de divergence ou convergence du faisceau …).

Pour nourrir ces modèles de calculs de la propagation, il est fondamental de bien décrire l'environnement ionosphérique. L'utilisation de modèles statistiques médians « long terme » de densité électronique, comme NeQuick ou IRI – International Reference Ionosphere model –, est une solution qui peut aujourd'hui être significativement améliorée. En effet il existe de nombreuses données accessibles en ligne dont celles du réseau GIRO (Global Ionospheric Radio Observatory) décrivant la basse couche ionosphérique (dont la fréquence plasma foF2, entre autre) et des données GNSS donnant accès à une description du contenu intégré total de densité électronique. Il est donc important de savoir intégrer ces données dans une prédiction

de portée des systèmes HF. De plus, l'ONERA dispose de différents moyens de mesure propres et particulièrement pertinents. On peut recenser plusieurs systèmes réalisant des ionosondages déployés en France (comme à Lannemezan ou à Crucey), ou encore des mesures réalisées entre le sol et un nano-satellite. Ces mesures sont complémentaires et vont permettre une caractérisation in situ des conditions ionosphériques, qui seront à leur tour intégrées dans la modélisation. Enfin on peut imaginer valider ces modélisations de la propagation et du milieu par confrontation à des signaux HF d'opportunité, ou issus de campagnes ONERA à venir.

L'ONERA/DEMR couvre le domaine de la propagation ionosphérique depuis de nombreuses années, menant des travaux en modélisation HF (par exemple à travers la thèse M-J. Abi Akl, 2016), pour le domaine GNSS (thèses H. Galiègue, 2015, A. Galmiche, 2019 puis D. Ecoffet, 2021) ou enfin pour le domaine RSO – Radar à Synthèse d'Ouverture – (thèse G. Morel, en cours). Les moyens de mesures ONERA en HF sont un des gros points forts de ces travaux. Mentionnons également l'implication de l'ONERA/DEMR sur différents projets européens sur ce même sujet (T-FORS, iFurther, DISPEC) qui permettront un suivi direct des travaux menés à l'état de l'art. Enfin en terme de contexte national, l'ONERA/DEMR travaille pour la DGA-TN sur la modélisation de la propagation ionosphérique pour les applications communications. Ces travaux s'inscrivent également dans le contexte de la météorologie de l'espace (Space Weather), tant les caractéristiques ionosphériques sont également influencées par l'activité solaire et ses conséquences sur l'environnement terrestre.

Ces travaux ayant pour objectif d'améliorer la modélisation de la propagation ionosphérique et la description du milieu afin d'en estimer l'impact sur les instruments existants ou futurs, ils s'inscrivent spécifiquement au sein de l'axe « Ondes Acoustiques et Radioélectriques », sous-thème « Propagation » dans le domaine Aérien et spatial des thématiques prioritaires de l'appel à projets de l'AID.

Collaborations envisagées

DGA

Laboratoire d'accueil à l'ONERA	**Directeur de thèse**
Département : Électromagnétisme et Radar	Nom : Vincent Fabbro
Lieu (centre ONERA) : Toulouse	Laboratoire : ONERA/DEMR
Contact : Xavier Baumann	Tél. : 05 62 25 27 30
Tél. : 05 62 25 26 98	Email : vincent.fabbro@onera.fr
Email xavier.baumann@onera.fr	

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche