

Thèse CNES - 2018-139

Caractérisation et modélisation de l'ionosphère aux hautes latitudes pour la propagation des ondes électromagnétiques

English Version (below)

Objet de la thèse et résultats attendus

L'objectif de cette thèse est de développer un outil numérique capable en premier lieu de simuler les irrégularités qui se développent dans l'ionosphère, tant au niveau de leurs caractéristiques que de leur dynamique et ensuite, de décrire leur impact sur la propagation des ondes électromagnétiques. A terme, cet outil aura vocation à devenir un outil de prédiction de l'apparition et de l'évolution des scintillations, qui sera contraint par des observations satellites.

Contexte auquel se rattache le sujet de thèse

L'ionosphère peut avoir un impact important sur la propagation des ondes radioélectriques. En basses fréquences, typiquement pour des fréquences inférieures à quelques mégahertz, l'ionosphère peut induire une « réflexion » totale des ondes émises depuis la Terre. Au-delà et jusqu'à une dizaine de Gigahertz, l'ionosphère induit sur les signaux radioélectriques la traversant un retard de groupe important, une rotation de polarisation et des effets de réfraction et des fluctuations rapides d'amplitude et de phase. Ces derniers sont particulièrement gênants pour les systèmes de navigation par satellite (GNSS), conduisant à des erreurs de localisation, voire des décrochages des récepteurs. Aujourd'hui les effets ionosphériques sur la propagation des ondes électromagnétiques sont encore mal appréhendés car la couche ionosphérique elle-même n'est pas parfaitement décrite par les modèles. Un focus particulier sur les zones polaires, domaine où l'activité solaire est particulièrement importante sur l'ionosphère, est proposé. En effet, au niveau de cette région, les particules chargées transportées par le vent solaire jusqu'au niveau de la Terre pénètrent dans la magnétosphère terrestre et modifient l'état de la couche ionosphérique. A ce jour, l'insuffisance de modèles fins de caractérisation des scintillations ionosphériques ne permet pas de mener plus avant des études d'amélioration des systèmes radioélectriques et des algorithmes des récepteurs.

Les processus « turbulents » dans l'ionosphère sont responsables des phénomènes de scintillation ou d'absorption. Actuellement, il n'y a aucune étude poussée visant à établir des corrélations entre la physique des irrégularités observées (ou du moins observables) et leur impact sur les ondes électromagnétiques, caractérisé par les paramètres S4 et sigma phi. Les travaux proposés dans le cadre de cette thèse visent donc à :

- caractériser les irrégularités d'un point de vue physique (mécanismes sous-jacents, échelles caractéristiques, structure, dynamique,...) ;
- modéliser ces irrégularités en les intégrant dans un modèle ionosphérique (critères de déclenchement, propagation, dispersion, atténuation,...) ;
- étudier leur impact sur la propagation des ondes, notamment en déterminant les paramètres S4 et sigma phi à partir de l'outil de simulation.

Pour cela, on s'appuiera sur des modèles ionosphériques développés à l'IRAP, qui permettent de caractériser le fond ionosphérique et l'ensemble des paramètres du plasma thermique et sur des

modèles de propagation d'ondes développés à l'ONERA. Les corrélations entre scintillations et irrégularités seront réalisées en utilisant les données de radar à diffusion incohérente (EISCAT), qui fournissent la structure de l'ionosphère le long des lignes de champ, les données de radar à diffusion cohérente (SuperDARN), qui fournissent la dynamique à grande échelle du plasma ionosphérique ainsi que des informations sur les irrégularités qui se développent et se propagent dans le milieu ionisé, et les données de récepteurs GNSS, qui fournissent des informations sur le contenu électronique total et sur les scintillations.

Laboratoire d'accueil envisagé : ONERA/DEMR Toulouse

Connaissances en physique, électromagnétisme, interactions ondes EM-milieu, traitement du signal.
Goût prononcé pour la compréhension des phénomènes physiques.
Maîtrise d'un langage de programmation de type Matlab/Python.

Directeur de thèse : BLELLY Pierre-Louis
Adresse mail : pierre-louis.blelly@irap.omp.eu

Characterization and modeling of the ionosphere at high latitudes for the propagation of electromagnetic waves

Objective of the thesis and expected results

The aim of this thesis is to develop a numerical tool able to simulate the irregularities that develop in the ionosphere, both in terms of their characteristics and dynamics, and then to describe their impact on electromagnetic wave propagation. Eventually, this tool will be used to predict the appearance and evolution of scintillations, which will be constrained by satellite observations.

Background to which the subject of the thesis is attached

The ionosphere can have a significant impact on the propagation of radio waves. At low frequencies, typically for frequencies below a few megahertz, the ionosphere can induce a total "reflection" of waves emitted from the Earth. Beyond and up to about 10 Gigahertz, the ionosphere induces large group delay, polarization rotation and refraction effects and rapid fluctuations in amplitude and phase on radio signals. These are particularly troublesome for satellite navigation systems (GNSS), leading to location errors, or even receiver stalls. Today the ionospheric effects on the propagation of electromagnetic waves are still poorly understood because the ionospheric layer itself is not perfectly described by the models. A particular focus on the polar areas, where solar activity has strong effect on the ionosphere, is proposed. Indeed, in this region, the charged particles transported by the solar wind penetrate into the terrestrial magnetosphere and modify the state of the ionospheric layer. To date, the insufficiency of fine ionospheric scintillation characterization does not allow further studies of radio system improvement and receiver algorithms.

Turbulent processes in the ionosphere are responsible for scintillation or absorption phenomena. Currently, there is no extensive study capable of establishing correlations between the physics of

irregularities observed (or at least observable) and their impact on electromagnetic waves, characterized by the S4 and sigma phi parameters. The work proposed in this thesis aims to:

- characterize the irregularities from a physical point of view (underlying mechanisms, characteristic scales, structure, dynamics, ...);
- model these irregularities by integrating them into an ionospheric model (triggering criteria, propagation, dispersion, attenuation, etc.);
- study their impact on wave propagation, notably by determining the S4 and sigma phi parameters from the simulation tool.

For this, we will rely on ionospheric models developed at IRAP, which can characterize the ionospheric background and all the parameters of the thermal plasma and wave propagation models developed at ONERA. The correlations between scintillations and irregularities will be achieved using the Incoherent Scatter Radar (EISCAT) data, which provides the ionosphere structure along magnetic field lines, the Coherent Scatter Radar (SuperDARN) data, which provides the large-scale ionospheric plasma dynamics as well as information on irregularities that develop and propagate in the ionized medium, and GNSS receiver data, which provide information on total electron content and scintillations.

Home laboratory: ONERA / DEMR Toulouse

Knowledge in physics, electromagnetism, EM-medium wave interactions, signal processing.

Pronounced taste for understanding physical phenomena.

Expertise in at least one programming language: Matlab / Python.

Thesis supervisor: BLELLY Pierre-Louis

Email address: pierre-louis.blelly@irap.omp.eu