

Invitation à la soutenance de thèse

MODÉLISATION DE L'IMPACT DE LA SCINTILLATION IONOSPHERIQUE SUR LES SYSTÈMES RADAR A SYNTHÈSE D'OUVERTURE ET DÉVELOPPEMENT D'UNE TECHNIQUE D'INVERSION DES CARACTERISTIQUES DE L'IONOSPHERE TURBULENTE.

Grégory Morel

9h30, le 3 décembre 2025

Auditorium de l'ONERA, 2 Av. Marc Pégélin, 31400 Toulouse

Devant le jury composé de :

Elvira ASTAFYEVA
Mohammed SERHIR
Rémi DOUVENOT
Philippe POULIGUEN
Laurent FERRO-FAMIL
Vincent FABBRO
Olivier BOISOT

IPGP
CentraleSupélec
ENAC
DGA, AID
ISAE-SUPAERO
DEMR, ONERA
DEMR, ONERA

Rapportrice
Rapporteur
Examineur
Examineur
Invité
Directrice de thèse
Encadrant

Résumé

En basses fréquences, typiquement pour des fréquences inférieures à quelques GigaHertz, l'ionosphère induit sur les signaux radioélectriques la traversant une rotation de polarisation, des effets de réfraction dont un retard de groupe important et des fluctuations rapides d'amplitude et de phase. Ces fluctuations rapides sont notamment responsables de l'apparition de stries orientées selon la direction des lignes du champ magnétique terrestre, visibles sur les images acquises à proximité de l'équateur magnétique. La description du milieu ionosphérique inhomogène, et en particulier de sa variabilité spatio-temporelle à moyenne et petite échelle, est cruciale dans la maîtrise de son impact sur les systèmes ElectroMagnétiques (EM).

L'idée originale de ces travaux de thèse est d'exploiter les modifications observées sur les images RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) afin de caractériser le milieu ionosphérique ayant été traversé et d'enrichir notre connaissance de celui-ci. Travailler sur une inversion basée sur l'imagerie RSO (2D) permet d'apporter des informations complémentaires au sondage GNSS (1D) en intégrant la variabilité spatiale présente dans la zone imagée.

La première étape de ces travaux a consisté à montrer que le formalisme considérant une onde incidente sphérique est plus adapté à la modélisation de la propagation ionosphérique pour les satellites en orbite basse. Cette démonstration a été menée en étudiant, d'une part, les indices de scintillation d'amplitude et de phase, et d'autre part les densités spectrales de puissance correspondantes en fonction de l'altitude du satellite. Une attention particulière a été portée à la densité spectrale de puissance d'amplitude, qui a permis d'exprimer analytiquement les asymptotes aux basses et hautes

fréquences, de montrer que cette densité présente un maximum, et de donner l'expression du nombre d'onde correspondant.

Dans un second temps, le développement d'un simulateur RSO intégrant les effets de scintillation ionosphérique a permis, d'une part, de générer des images RSO perturbées, et d'autre part, de démontrer la faisabilité de l'inversion des paramètres caractéristiques des inhomogénéités ionosphériques à partir de l'exploitation de la densité spectrale de puissance de l'image.

Enfin, une méthode d'inversion a été développée et appliquée à différentes images issues de la mission ALOS/PALSAR. Cette méthode d'inversion se base sur l'exploitation de la densité spectrale de l'image et permet d'estimer l'altitude et la vitesse de la couche turbulente, l'échelle externe des turbulences, la pente de la densité spectrale de puissance des fluctuations de densité électronique, l'anisotropie selon l'axe du champ magnétique local, ainsi que la force de turbulence intégrée.

Mots clés

Propagation en milieu turbulent, Scintillation ionosphérique, Radar à Synthèse d'Ouverture, Ionosphère