

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Caractérisation des perturbations ionosphériques sur les mesures d'un radar d'observation de l'espace

Référence : **TIS-DTIS-2025-20**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : octobre 2025

Date limite de candidature : mai 2025

Mots clés

ionosphère - radar - surveillance de l'espace – traitement GNSS

Profil et compétences recherchées

Master 2 ou diplôme d'ingénieur

Des compétences en traitement du signal et en programmation informatique (Python, C++, ...), des notions en mécanique orbitale, et un intérêt prononcé pour les mathématiques et la physique.

Les compétences mentionnées sont souhaitées mais non obligatoires ; nous évaluerons avant tout la pertinence du profil dans son ensemble.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Le récent développement du spatial, avec notamment l'apparition d'un grand nombre d'acteurs déployant leurs constellations de satellites ou l'arrivée sur le marché d'objets de plus en plus petits (nano-satellites), a fortement augmenté le nombre d'objets en orbite. La surveillance de l'espace est devenue un enjeu critique compte tenu des services rendus (télécommunications, localisation, gestion de crises).

Depuis plusieurs décennies, l'ONERA a acquis une expertise reconnue en surveillance de l'espace, notamment au travers du système de surveillance des orbites basses GRAVES. Ce système repose sur le principe suivant : une fois un satellite détecté et les observables mesurées (projections de position et de vitesse), ses paramètres orbitaux sont estimés à partir de plusieurs mesures le long de sa trajectoire. La qualité de ce pistage est donc fortement dépendante de la précision des mesures et des modèles.

Parmi les biais majeurs venant s'insérer dans ces mesures, on trouve ceux induits par les perturbations de l'ionosphère [1]. En effet, suivant la variation de la densité électronique de l'environnement que traverse le signal le long de son parcours émission-cible-réception, la mesure de la vitesse du satellite est biaisée. Cette erreur est donc à caractériser dans la dimension spatiale (fonction de la position de l'objet) ainsi que dans la dimension temporelle (fonction des variations de l'activité solaire, de l'ionisation diurne vs nocturne). Disposer d'un modèle de correction de la mesure intégrant les effets ionosphériques de façon dynamique est par conséquent indispensable pour augmenter la qualité de ces mesures et ainsi améliorer les performances de la surveillance de l'espace réalisée à l'ONERA.

L'objectif de la thèse est d'estimer précisément ces perturbations ionosphériques afin de caractériser finement le biais Doppler qu'elles induisent. Pour cela, il existe une multitude de modèles physiques, théoriques, ou empiriques, qui décrivent l'ionosphère (NeQuick, IRI, etc) mais ils sont, lorsqu'employés seuls, insuffisants car ne donnant qu'une évolution moyenne [2] et occultant les variations rapides, caractéristiques des biais observés [3]. La solution proposée dans cette thèse est de combiner les divers modèles existants avec des mesures de l'ionosphère colocalisées avec les sites d'intérêt. Ainsi, les mesures viendront enrichir et compléter les modèles disponibles dans la littérature pour prendre en compte les variations locales rapides du biais.

Après une brève revue de l'état de l'art de la caractérisation de l'ionosphère et de l'estimation de son contenu électronique (TEC), vous élaborerez un algorithme pour l'extraction du TEC à partir de données GNSS. Ensuite, pour des échelles spatiales et temporelles à définir, les valeurs éparses mesurées seront assimilées dans un modèle physique pour obtenir une description dense et fiable [4]. Dans le cas de résultats insuffisants est envisagée l'utilisation de mesures issues d'un réseau d'ionosondes couplées à des modèles plus complexes, à distribution continue de la densité électronique. Pour chaque méthode, la correction retenue sera développée, testée, validée, puis mise à l'épreuve dans des conditions réelles.

Cette thèse sera menée sur le centre toulousain de l'ONERA, au sein de l'unité Systèmes de Surveillance Aérospatiaux et de Défense du Département Traitement de l'Information et Systèmes, en lien avec l'unité Propagation, Environnement et Radiocommunications du Département Electromagnétisme et Radar.

Références :

[1] Herscovici-Schiller, O., Gachet, F., Couetdic, J., Meyer, L., & Reynaud, S. (2023). A simple ionospheric correction method for radar-based space surveillance systems, with performance assessment on GRAVES data. *Advances in Space Research*, 72(1), 108-114.

[2] Bidaine, B., & Warnant, R. (2010). Assessment of the NeQuick model at mid-latitudes using GNSS TEC and ionosonde data. *Advances in Space Research*, 45(9), 1122-1128.

[3] Seba, E. B., & Poedts, S. (2024). Assessment of IRI2020 Model Accuracy in Predicting Ionospheric Parameters: Insights from Multiple Ionosonde Stations. *Advances in Space Research*.

[4] Monico, J. G., de Oliveira Jr, P. S., Pereira, V. S., & Machado, S. B. L. (2023). Assessment of Stec Estimation Quality Using Gns Ppp Fixed. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 1135-1140.

Collaborations envisagées

Co-encadrement par Hanae Labriji de l'équipe DTIS/S2AD à Palaiseau, spécialiste en mécanique spatiale et estimation.

Partenariat avec Raphaël GARCIA de l'unité de recherche SDU2E/PSI de l'ISAE-SUPAERO à Toulouse, spécialiste en modélisation de l'atmosphère.

Partenariat avec Olivier Herscovici-Schiller de l'équipe DTIS/MIC dans le suivi de la thèse.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'Information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contacts :

David ALEXANDRE

Tél. : 05.62.25.29.39 Email : david.alexandre@onera.fr

Directeur de thèse (pressenti)

Nom : Vincent FABBRO

Laboratoire : DEMR/PER

Tél. : 05 62 25 27 30

Email : vincent.fabbro@onera.fr

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