

Modélisation de la propagation ionosphérique de la bande HF à la bande S pour des applications en télécommunications, de navigation et d'observation par satellite

Docteurant : Aurélien GALMICHE – 3^{ème} année, ONERA Toulouse, DEMR/RCP

Directeurs de thèse : Laurent FERVAL (1), Vincent FABRO (2)

Encadrement : Guillaume CARRIE (3), Sébastien ROUGERIE (4)

- 1 : Laboratoire LAPLACE- GRE, 118, route de Narbonne, 31400 Toulouse
- 2 : ONERA-CERT-DEMR-RCP, 2, avenue Edouard Belin, 31000 Toulouse
- 3 : Thales Alenia Space, 26 avenue Jean-François Champollion, 31100 Toulouse
- 4 : CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse

I. Contexte

L'ionosphère est un milieu d'ionisation variable qui est fonction du temps et de la position en latitude et longitude. Le gradient de densité électronique y est très fluctuant sur des échelles spatiales de tailles variables. Ces irrégularités apparaissent en particulier aux zones équatoriales et polaires. Elles se comportent vis-à-vis des signaux radioélectriques comme des éléments diffusifs dont l'influence varie avec la fréquence du signal, occasionnant d'abruptes variations d'amplitudes et de phases au niveau des récepteurs, susceptibles de provoquer un décrochage du signal ou une coupure de la liaison : c'est le phénomène de scintillation ionosphérique.

Pourtant, les applications des systèmes spatiaux radiofréquences sont nombreuses : navigation par satellite (GPS, Galileo, EGNOS), mission BIOMASS (SAR bande P), satellite Taranis (HF),... Plusieurs modèles de propagation transionosphérique ont été développés pour ces systèmes. Une synthèse de ces approches est nécessaire. En outre, un modèle de scintillation ionosphérique mondial et large spectre doit être développé, afin de quantifier les effets des scintillations ionosphériques et permettre un design optimal des systèmes spatiaux radiofréquences,

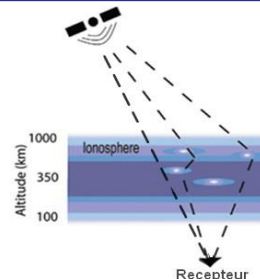


Figure 1 – illustration de la scintillation ionosphérique

Objectifs Scientifiques

Modélisation des effets des fluctuations rapides de la densité électronique de l'ionosphère sur la propagation des ondes électromagnétiques (phénomènes de scintillation) sur une large bande de fréquence (bande HF à la bande S : 3 MHz – 4 GHz), en particulier en zone équatoriale, propice aux scintillations ionosphériques. Introduction à l'inversion de données.

II. Démarche

Formulation du problème direct

- > Modèles 3D/2D numériques : Equation d'onde parabolique/Ecran de phases multiples
- > Modèles analytiques (Rytov, faible perturbation)
- > Définition et approfondissement des régimes de faible et forte perturbation, calcul des indices et des spectres de phase et de log-amplitude

Confrontation modèles/mesures

- > Simulation d'une liaison transionosphérique GNSS émetteur – récepteur
- > Evaluation des capacités de la simulation à restituer la mesure

Inversion

Dérivation des caractéristiques du plasma ionosphérique à partir de mesures

Techniques de lutte contre la scintillation ionosphérique

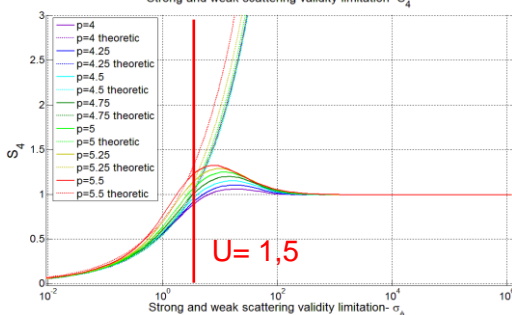
III. Travaux

Problème direct : modèles analytiques et numériques, force des perturbations

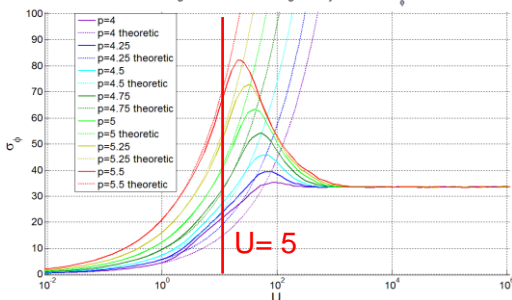
❖ Recherche de la limite de validité des expressions asymptotiques faibles perturbations par comparaison au modèle numérique PWE/MPS, et de la frontière faible/forte perturbation en fonctions des paramètres ionosphériques

$$\left\{ \begin{aligned} \langle \chi^2 \rangle_{ASYM}^{3D} &= -{}_2F_1 \left(\frac{p}{2}, \frac{1}{2}; 1; \frac{A' - B'}{A'} \right) \frac{\pi^3 \lambda^2 r_e^2 \Delta H a^{3-p} A_y A_z C_s}{2\Gamma(\frac{p}{2}) A \frac{p}{2}} \left(\frac{z_1}{k_0} \right)^{\frac{p}{2}-1} \\ \langle \phi^2 \rangle_{ASYM}^{3D} &= \frac{4\pi^2 \lambda^2 r_e^2 \Delta H a A_y A_z C_s K_0^{2-p}}{(p-2)\sqrt{AB} - C^2} - \langle \chi^2 \rangle_{ASYM}^{3D} \end{aligned} \right.$$

Strong and weak scattering validity limitation - S_4



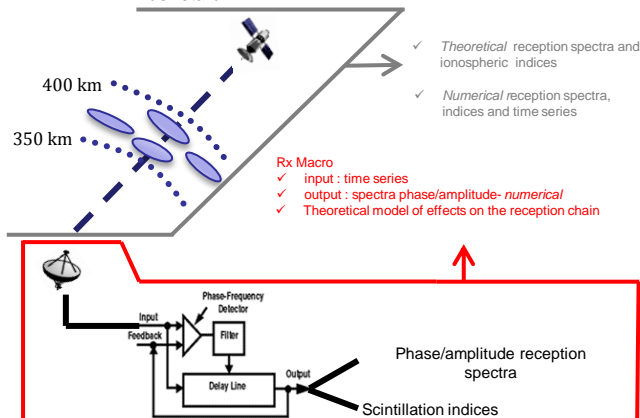
Strong and weak scattering validity limitation - σ_ϕ



Développement d'un modèle de récepteur et confrontation aux données

• Modèle de récepteur GNSS :

- ❖ Modélisation de l'ensemble du canal de communication
- ❖ Récepteur GNSS 50Hz à boucles à verrouillage de phase et de retard



• Premières confrontations aux données et rejeu d'un événement de scintillation forte perturbation : vers un problème inverse

