

## Sujet de Recherche Post-Doctorale:

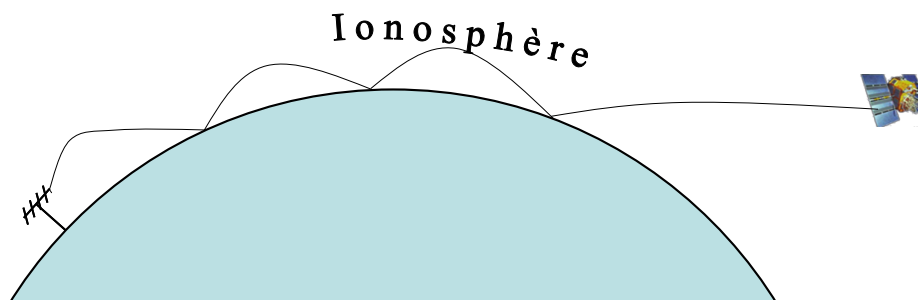
### **Expérimentation de Propagation HF transhorizon terre-espace.**

#### **Contexte :**

Les propriétés radioélectriques de l'ionosphère ont largement été exploitées pour des communications sol-sol longue distance (typiquement quelques milliers de kilomètres) en bande HF (3-30 MHz). En revanche, l'impact du canal trans-ionosphérique sur des communications HF entre une station sol et un satellite en orbite basse (LEO avec altitude voisine de 700 km) a été peu étudié. Le principe de la transmission transhorizon sol-satellite est illustré par la Figure 1 :

- la première partie de la liaison s'effectue selon le même principe que les liaisons HF sol-sol longues distances, par propagation guidée entre l'ionosphère et le sol et/ou entre couches ionosphériques
- la seconde partie de la liaison correspond à la traversée de l'ionosphère vers le satellite LEO.

Ce concept innovant de transmission globale Terre-Espace pourrait s'appliquer à des TM/TC réactives. La maîtrise de la transmission trans-ionosphérique dans la bande HF permettrait d'établir un lien bord-sol réactif à partir d'un réseau de stations relativement réduit (ici 4 stations opérationnelles).



**Figure 1 : Principe d'une liaison transhorizon HF entre une station sol et un satellite LEO**

Le satellite TARANIS embarque l'instrument IME-HF prévu initialement pour la mesure du champ électrique collecté par un dipôle raccourci notamment dans la bande 3-35 MHz. L'architecture de cet instrument a été modifiée pour permettre la numérisation de signaux modulés et donc réaliser l'expérimentation technologique HFPE dont l'objectif est de démontrer et d'évaluer la faisabilité de transmissions réactives sol-LEO dans la bande HF. Les différentes composantes de l'expérimentation HFPE sont :

- un réseau de stations sol Tx couvrant la bande HF (SSHF) pour la transmission des signaux spécifiques HFPE
- l'instrument IME-HF à bord de TARANIS permettant l'acquisition des signaux HFPE propagés dans et à travers l'ionosphère
- Le centre d'expérimentation HFPE (CEHF) localisé au CNES pour les opérations et les différents traitements de cette expérimentation
- Le Centre de mission Taranis (CMST) localisé à Orléans pour la programmation de la Charge Utile, la récupération et le traitement des données scientifiques.

La Figure 2 illustre les interfaces du CEHF avec les autres composants du système TARANIS. Le principe de la démonstration est le suivant :

- Le CEHF prédit des liaisons possibles trans-ionosphérique sur une plage de temps. A partir de ces prédictions, plusieurs ½ orbites sont sélectionnées (i.e. passages satellite entre -60° et 60°), et le CEHF réserve les ½ orbites ainsi que la configuration TARANIS (i.e. plan TC) via le CMST. Le CEHF génère aussi les scénarios d'émissions associés pour le SSHF
- Après les émissions des signaux de démonstration réalisées par le SSHF, le CEHF récupère les acquisitions réalisées par TARANIS via le CMST.
- Le CEHF réalise ensuite tous les post-traitements des données, évalue les performances du concept et effectue toutes les validations scientifiques.

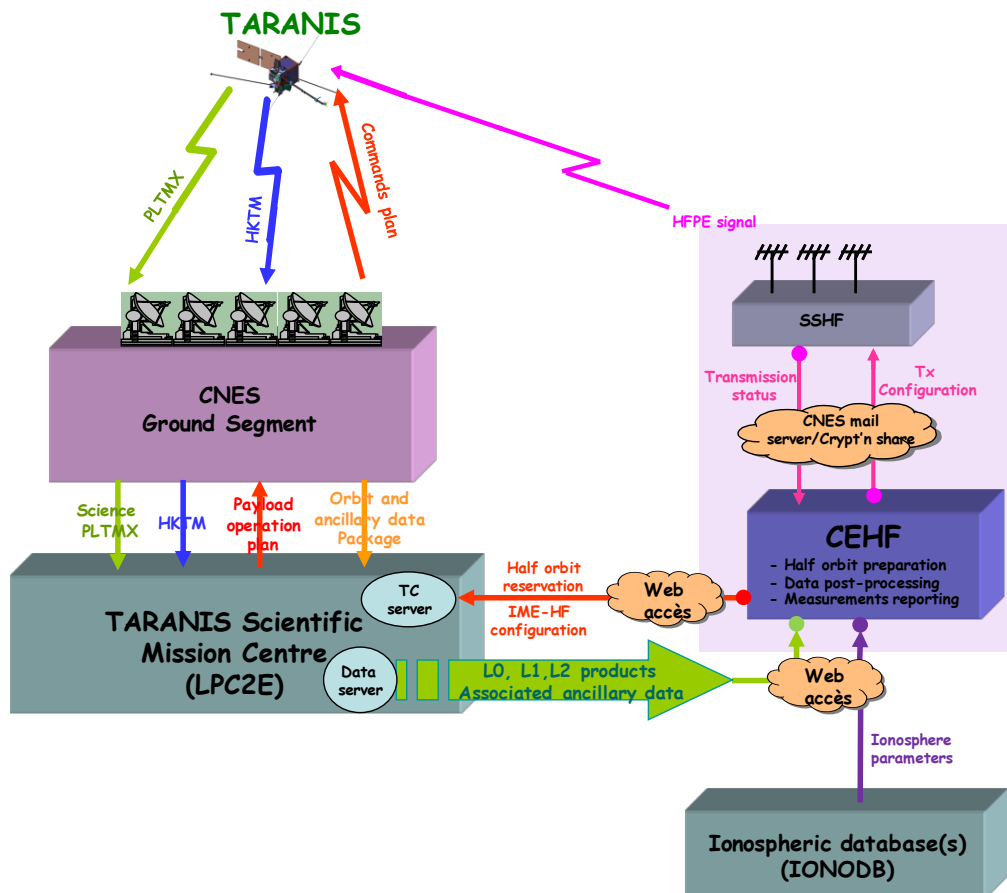


Figure 2 : Boucle système TARANIS incluant HFPE

## **Contexte et travaux à réaliser :**

Les objectifs de ce post doctorat sont :

- Objectif principal
  - Réaliser le traitement des données HFPE : une fois les données mesurées par TARANIS et récupérées via la CMST, réaliser tous les traitements,
  - Evaluer et discuter les performances du concept :
    - Taux d'Erreur Binaire (TEB)
    - Disponibilité du service en fonction des différentes phases de l'activité ionosphérique (i.e. fonction de la position des liaisons, des saisons, du mois, heure locale...). Certaines zones risquent d'être plus soumises à des interférences terrestres, à certaines heures aux effets de scintillation ionosphérique...
    - Consolidation de la stratégie pour évaluer les performances de ce type de transmission
- Objectifs scientifiques :
  - Validation des outils de propagation en bande HF à partir des données collectées: outil de prédiction du CEHF, mais aussi 2 autres outils scientifiques au CNES : l'outil PWE et l'outil de tracé de rayon
  - Evaluation de l'outil de prédiction de l'activité ionosphérique, avec rejeu de la propagation HF en utilisant une carte ionosphérique mesurée
  - Analyse du bruit observé à 700 km en bande HF, et comparaison au modèle ITU-R P372. Une amélioration du modèle et des contributions à l'ITU doivent être envisagées.

Afin de collecter les données qui serviront à remplir les objectifs, le candidat sera impliqué aux opérations HFPE. Ainsi, il apportera un support aux tâches sous-jacentes suivantes :

- Mise en place des prédictions de liaisons HF, trier les solutions (en fonction des stratégies d'évaluation de performances définies et / ou des besoins scientifiques), réserver les ½ orbites retenues en interaction avec le CMST, générer les scénarios d'émissions SSHF et interagir avec les opérateurs de la DIRISI,
- Pour réaliser les prédictions et traitement, des outils logiciels seront disponibles au début du post doctorat. Cependant, le candidat pourra (devra) les faire évoluer si besoin.
- En fonction de la date d'arrivée du candidat, il est prévu une participation à l'installation des baies d'émissions du SSHF sur les sites outre-mer, ainsi qu'à leur tests de calibration.
- Maintenance des baies d'émissions du SSHF : le candidat pourra être en interactions avec les opérateurs des sites outre-mer locaux et surveillera l'état de santé des stations via la récupération des « dumps ». Il assistera les opérateurs en cas de problème avec les baies d'émissions.
- Archivage des données : toutes les données seront soigneusement archivées par le candidat, avec une stratégie d'archivage à définir

Publications et rayonnement de l'expérimentation :

- En fonction de la qualité des résultats obtenus, le Titulaire devra initier :
  - des publications dans des congrès ou des revues internationales,
  - Une ou plusieurs contributions à l'ITU en particulier visant la modélisation du bruit HF (recom ITU-R P372) ou la modélisation de la propagation ionosphérique (ITU-R P531)

## **Planning envisagé :**

- 2-3 mois avant le début des opérations
  - Prise en main de l'ensemble du système HFPE : état de l'art sur la propagation HF, prise en main des logiciels du CEHF (outil de prédiction et outil de post traitement), prise en main des outils web d'interactions avec le CMST, prise de contact avec les opérateurs des sites outre-mer. Compréhensions techniques des stations déployées (ou qui seront déployées) via une analyse des documents mis à dispositions et tests sur une station « spare » qui sera disponible au CNES.
  - Apprentissage du processus opérationnel : Il faudra bien comprendre le processus opérationnel, et bien respecter et maîtriser les différentes étapes pour effectuer une émission sur satellite.
  - Définition de la stratégie d'évaluation des performances du système HFPE, et de validation des outils de propagation HF.
- Pendant les opérations
  - Participation aux opérations
  - Participation à la maintenance des baies du SSHF
  - Au fur et à mesure de l'arrivage des données, réaliser l'évaluation de performance du système HFPE et la validation / amélioration des outils de propagation. Analyser les mesures de bruit et effectuer la comparaison / validation au modèle ITU-R P372.

## **Laboratoire d'accueil envisagé :**

**Le Laboratoire d'accueil est le laboratoire de Propagation du service DSO/RF/ITP du CNES.**

**Vous pouvez envoyer vos candidatures à Sébastien Rougerie : [sebastien.rougerie@cnes.fr](mailto:sebastien.rougerie@cnes.fr)**