

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Stratégies de déploiement des stations terriennes pour les systèmes de télécommunications par satellites en bandes Q, V et W

Référence : **PHY-DEMR-2025-04**
 (à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : T4 2025

Mots clés

Méga-constellations de satellites, communications par satellites à très haut débit, diversité de gateways et de satellites, propagation troposphérique, atténuation, bandes Q/V et W

Profil et compétences recherchées

Master ou Ingénieur télécommunications ou généraliste.
 Compétences : développement informatique (Python), techniques de communication par satellites, traitement du signal, propagation radio

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les systèmes de télécommunication par satellites à très haut débit doivent utiliser des bandes de fréquences toujours plus élevées au-delà de 20 GHz afin d'acheminer des données pour des services sollicitant de manière croissante la bande passante (ex. flux vidéo en temps réel). Les architectures des systèmes à l'étude réservent l'intégralité de la bande Ka (20/30 GHz) pour les liens utilisateurs, ce qui nécessite d'utiliser d'autres bandes de fréquences comme la bande Q/V (40/50 GHz) et prochainement la bande W (70/80 GHz) pour les liens entre les satellites et les gateways, que ce soit avec des satellites géostationnaires ou pour des méga-constellations en orbite basse. En particulier, le projet de constellation européenne IRIS² dont le développement a été approuvé récemment par la Commission vise à doter l'Union Européenne d'une capacité souveraine de services gouvernementaux à haut débit en bande Ka et accessibles en tout point du globe. Ce projet nécessite le déploiement d'une constellation de plusieurs centaines de satellites en orbites basses et moyennes.



L'utilisation de ces bandes de fréquences élevées imposent deux limitations principales au niveau des bilans de liaison : d'une part, des interférences entre faisceaux de plus en plus critiques et, d'autre part, des affaiblissements de propagation troposphérique limitant fortement la disponibilité des liaisons. Typiquement de plusieurs dizaines de décibels en bande Q/V ou en bande Ka aux faibles latitudes, les atténuations rencontrées à la traversée de la troposphère peuvent provoquer des ruptures de liaison, même avec le recours à des techniques adaptatives classiques telles que la gestion de puissance ou les formes d'onde adaptatives (ACM : Adaptive Coding & Modulation). En pratique, ces atténuations émanent d'épisodes

pluvieux dans la troposphère qui affaiblissent, par absorption et diffusion, la puissance du signal et croissent de manière significative avec la fréquence. Ainsi, le seul recours envisageable pour éviter une panne impactant un grand nombre d'utilisateurs est l'utilisation de techniques de diversité. Cette dernière repose sur une activation adaptative des stations au sol (gateways) fournissant le service et des satellites pouvant émettre dans des conditions météorologiques favorables. L'idée est de solliciter un ensemble de P gateways de réserve en conditions de ciel clair venant se substituer à une ou plusieurs des N gateways nominalement déployées affectées par de fortes atténuations (diversité de gateways), ou d'établir la liaison avec le satellite présentant le bilan de liaison le moins défavorable (diversité de satellites).

L'objectif de cette thèse sera de définir une méthodologie et de développer les outils numériques pour l'optimisation du segment sol des systèmes de télécommunications par satellites avec des liaisons « feeder » en bandes Q, V et W. En ce qui concerne les méga-constellations, deux cas d'application seront considérés : sans et avec liaisons inter-satellites (*Inter Satellite Links*, ISL) en optique ; sans ISL, les couvertures resteront régionales alors qu'avec ISL, la couverture sera mondiale. Le cas de satellites géostationnaires délivrant des couvertures continentales sera considéré comme systèmes de référence, afin de souligner l'apport des méga-constellations. Dans les deux types de systèmes, des redondances N+P seront considérées et l'emplacement des stations devra être optimisé en fonction des conditions de propagation.

En outre, pour optimiser ces systèmes du point de vue de leur disponibilité de service et de leur capacité, des techniques de prédiction devront être développées, afin d'anticiper le basculement des communications d'une station à une autre, et de minimiser le nombre de stations dans le segment sol. Différents types de techniques seront étudiées suivant le temps de réaction du système nécessaire pour anticiper les basculements. Pour des prévisions jusqu'à quelques minutes, des techniques de type Deep Learning seront évaluées et comparées aux techniques classiques de traitement du signal (ARMA, filtre de Kalman, ...). Pour des délais plus importants, l'utilisation de prévisions issues de modèles météorologiques de méso-échelle couplées à des observations radar pourra être considérée.

Collaborations envisagées

CNES, DGA, ESA, fédération ONERA-ISAE-ENAC

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Électromagnétisme et Radar

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact :

Laurent Castanet

Tél. : 05 6225 2729

Email : laurent.castanet@onera.fr

Justin Cano

Tél. : 05 6225 2754

Email : justin.cano@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : José RADZIK

Laboratoire : ISAé

Tél. : 05 6133 8110

Email : jose.radzik@isae-superaero.fr

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

PhD subject

Topic : Deployment strategies of ground stations for satcom systems at Q/V/W bands

Reference : **PHY-DEMR-2025-04**
(for any answer)

PhD start : T4 2025

Key words

Satellite mega-constellations, Very High Throughput Satellite communications, gateway and satellite diversity, tropospheric propagation, attenuation, Q/V and W bands

Candidate academic profile

Master in telecommunications.

Skills : SW development (Python), satellite communication techniques, signal processing, radio propagation

Presentation of the PhD project, context and objectives

Very High Throughput Satellite (VHTS) systems need to use higher and higher frequencies above 20 GHz to provide services requiring wide bandwidths. System architectures to be designed reserve the whole Ka-band (20/30 GHz) for the user links, which results in the use of other frequency bands such as Q/V-band (40/50 GHz) or in a close future W-band (70/80 GHz) for the feeder links, either with geostationary satellite or with LEO satellite mega-constellations. More specifically, the IRIS² constellation currently studied in Europe aims at providing to the European Union with a sovereign capacity of high data rate governmental services in Ka-band anywhere in the World through the development of a constellation of several hundreds of LEO and MEO satellites.



With the use of such high frequency bands, link budgets are affected by two main issues: on the one hand, co-channel interference between adjacent spot beams and, on the other hand, propagation impairments limiting link availability even with the use of conventional Fade Mitigation Techniques such as Up-Link Power Control (ULPC) or Adaptive Coding and Modulation (ACM). These strong attenuation events come from precipitation systems that severely affect the received power at high frequencies. In such conditions, the only way to avoid any drop of system availability simultaneously on a large number of users is to implement diversity techniques through activation of P back-up gateways in clear sky conditions to substitute some of the N basic gateways affected by high attenuation levels (gateway diversity), or to select the satellites allowing the most favourable link budgets to be established (satellite diversity).

The aim of this PhD is to define a methodology and to develop software tools to optimise the ground segment of satcom systems with feeder links at Q/V or W-bands. Regarding mega-constellations, two application cases will be addressed: without and with optical Inter-Satellite Links (ISL). Without ISL, regional coverages will be considered whereas with ISL the coverage will be global. The specific configuration of GEO VHTS systems delivering European coverages will be addressed as reference benchmarking systems, in order to demonstrate and quantify the interest of developing mega-constellations. In both types of systems, N+P redundant gateways will be considered and their location will be optimized with respect to local radio-meteorological conditions.

In addition, to optimise these systems in terms of availability and system capacity, real-time prediction techniques will be developed in order to anticipate communication switches from a gateway to another one and to minimize the number of gateways to be implemented in the ground segment. Different types of techniques will be studied depending on the reaction time needed to anticipate the gateway switches. For predictions to be done several minutes in advance, Deep Learning approaches will be developed, assessed and compared to more conventional signal processing techniques such as Auto-Regressive Moving Average (AR-MA), Kalman filter, and so on... For longer anticipation time delays, the use of high-resolution weather forecast models possibly coupled with the meteorological radar networks of Met'Offices will be considered.

Possible collaborations

CNES, DGA, ESA, fédération ONERA-ISAE-ENAC

ONERA hosting Laboratory

Departement : Électromagnétisme et Radar

Site (centre ONERA) : Toulouse

Contact :

Laurent Castanet

Tel. : +33 5 62 25 27 29

Email : laurent.castanet@onera.fr

Justin Cano

Tél. : +33 5 62 25 27 54

Email : justin.cano@onera.fr

PhD Director

Name : José RADZIK

Laboratory : ISAE Supaéro

Tel. : +33 5 61 33 81 10

Email : jose.radzik@isae-supaero.fr

For more informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>