

## **Sujet de la thèse : Compression de la bande de base transmise sur IP d'une station sol segment spatial.**

### **Contexte de l'étude et état de l'art :**

Les stations sols de réception satellites, ou de télémétries d'essai en vol sont aujourd'hui composées à minima d'une antenne, d'une chaîne de réception/émission RF et d'un modem ou plusieurs modems bande de base modulant et démodulant les signaux localement à partir des données reçues ou émises à partir d'une station de contrôle distante. Ces stations sols sont souvent situées dans des lieux peu accessibles (pôles, kerguelen, ...) ou sur des territoires non nationaux. L'architecture actuelle pose alors le problème des coûts logistiques (par exemple remplacement des modems pour une nouvelle mission), de la confidentialité (le client utilisant la station sol ne souhaite pas nécessairement divulguer les caractéristiques de son signal), et de l'accessibilité aux ressources stations (il faut parfois autant de bande de base que de clients) [1]. La solution à ces problématiques consiste à numériser en large bande le signal en pied d'antenne puis à diffuser tout ou partie du spectre sur des liens ad-hoc, le client de la station pouvant alors effectuer dans son centre de contrôle les opérations en bande de base. Cependant les débits nécessaires sont alors très importants ou limités, et le coût du bit/s important, notamment pour les stations reculées. Se pose donc la question de la compression de tout ou partie du spectre en tenant compte des particularités des signaux et du spectre : absence de bruit sur la voie montante, redondance induite par les filtres adaptées (RRC, ...), spectre non occupé à 100%, etc ... Zodiac data system propose d'ores et déjà des têtes d'antenne IP connectée en déporté à ses modems IP avec des compresseurs étudiés par ses équipes. Ces premières études ont permis d'obtenir des taux de compression faibles et difficilement prédictibles (dépend du SNR, SNI, ...), l'étude de l'état de l'art dans le domaine d'application [2] visé ne laisse pas entrevoir des gains supérieurs à ceux obtenus sur nos produits et ne prennent pas en compte les spécificités du domaine : contraintes sur les temps de latence, utilisation des signaux transmis à des fins de localisation etc ... D'autres techniques du type xampling / « compressed sensing » [4][5] permettent de diminuer le rythme d'échantillonnage sous le rythme de Nyquist selon entre autre le taux d'occupation du spectre. Mais une fois encore il n'existe pas à notre connaissance d'éléments permettant de connaître les taux de compression pouvant être obtenus en prenant en compte les contraintes du domaine : temps de latence pour les applications critiques type sondes, variances sur les mesures de phase des signaux de localisation, impact sur les taux d'erreur binaire, effet des variations de fréquence importantes en orbite basses, ... C'est dans ce contexte que Zodiac Data System propose une thèse afin de proposer des solutions innovantes de réduction de débit intégrant les contraintes du domaine.

### **Positionnement du sujet vis-à-vis de la stratégie de Zodiac Aerospace**

Zodiac Data Systems propose une thèse CIFRE au sein de sa division Cortex (produits de Contrôles et Réception Satellites). Zodiac Data Systems est le leader mondial sur le créneau des équipements Télémétrie, Commande & Contrôle (TT&C) de satellites et sur le créneau des Démodulateurs numériques dans le domaine de l'observation de la terre.

Le coût très élevé et les débits très restreints des liaisons terrestres entre les stations sols du segment spatial et les centres de traitement des agences spatiales ou d'industriels ont justifié jusqu'à présent des architectures systèmes où une part conséquente des traitements étaient délocalisées dans des stations sols souvent situées très loin des centres de traitement : stations proches de l'équateur, ou des pôles. Il était en effet bien plus économique de ne transmettre par exemple que les quelques centaines de kilobits par seconde des signaux de TT&C plutôt que de louer des liaisons spécialisées (quand c'était possible) plutôt que de transmettre directement au centre de contrôle des portions de spectre d'intérêt. Cependant le segment sol spatial subit de nombreux bouleversements. Le premier d'entre eux est technologique, les convertisseurs analogiques numériques permettent désormais de numériser en large bande, et des technos comme la conversion zéro IF permettent désormais d'envisager un passage au numérique directement en pied d'antenne. De même le coût du bit par

seconde sur IP a été considérablement réduit et la qualité de service a considérablement augmenté avec des protocoles comme UDT permettant de transmettre sur WAN sans écrouler les débits. Ces changements sont de plus accompagnés d'une montée des « périls », les opérateurs souhaitant de moins en moins laisser du matériel sensible dans des stations souvent non habitées dans des pays à risque. Enfin la délocalisation des moyens de contrôle des satellites au niveau des agences nationales faciliterait grandement l'interopérabilité déjà au cœur des réseaux de stations sol, en allouant directement aux différents utilisateurs les portions de spectre d'intérêt. C'est dans ce cadre que des agences nationales ont mis sur pied des équipes sur les nouvelles architectures stations, et c'est dans ce cadre que Zodiac Data System collabore avec elles sur les différentes problématiques associées à ces nouvelles architectures. Par ailleurs Zodiac Data System étant fournisseur de station sol complète (antenne + shelter + modems et systèmes de tracking) cette thématique est vitale pour la pérennité de nos solutions. Zodiac Data System a donc d'ores et déjà avancé sur ces thématiques en mettant par exemple en place une expérimentation entre ses différents sites afin de déporter via le WAN la partie traitement de base en dehors de ses stations sols. Cette thèse pourrait permettre de proposer aux agences et aux opérateurs privés des solutions avec un fort différentiel puisque permettant de réduire les débits à transporter. C'est un élément important que doit adresser Zodiac Data System afin de réduire les OPEX de la communauté, dans un environnement fortement concurrentiel.

## **Objectifs – Résultats attendus – Challenges scientifiques et techniques :**

L'objectif principal de cette thèse est de diminuer significativement le débit de sortie d'une antenne IP large bande. Deux pistes se dégagent pour aboutir à ce résultat.

- La première piste est l'utilisation de technique du type compressed sensing sur tout ou partie du spectre alloué.
- La seconde piste l'utilisation de compression à dictionnaire avec désignation aveugle ou non de la bande de spectre d'intérêt.

D'un point de vue scientifique les défis sont conséquents et nécessitent la mise en œuvre de techniques avancées en traitement du signal et en conception conjointe d'architectures de récepteurs. La littérature à notre connaissance ne traite pas du sujet dans le cadre du segment sol spatial qui se caractérise par une grande diversité de signaux (type de modulations, superposition de signaux de localisation en spectre étalé, besoin de latence faible, fort doppler rate etc ... ). D'un point de vue industriel la demande est réelle (Zodiac Data System est sollicité sur ces sujets de nouvelles architectures stations aussi bien par les agences que par des opérateurs privés cherchant à diminuer leurs OPEX dans le cadre des méga constellations par exemple ou de colocalisations) et devrait permettre de faire évoluer les architectures du segment sol spatial. Ce domaine est le cœur de métier de Zodiac Data System qui se doit d'accompagner les ruptures technologiques en cours.

L'IMT Atlantique bénéficie d'une expertise reconnue dans la conception et l'intégration de codes correcteurs d'erreur et plus généralement de systèmes de communication. L'IMT Atlantique soutient ce sujet de thèse à fort potentiel scientifique et technique et y contribuera par l'encadrement du doctorant. Les résultats obtenus seront valorisés et divulgués par des publications en conférences internationales et en revue. Le cas échéant, si nos partenaires industriels le souhaitent des brevets pourront être déposés.

## **Approche méthodologique envisagée**

La méthodologie envisagée se déroulera en 3 temps :

- Dans un premier temps, un travail sera mené sur l'état de l'art des techniques de compression appliquée aux signaux radio. Par ailleurs le doctorant se formera sur les différents types de signaux et modèles de canaux propres au domaine spatial. En effet par rapport au domaine télécom terrestre les modèles de canaux sont par exemple généralement soumis à des doppler rate plus importants notamment pour les signaux d'observation de la terre en bande Ka par exemple, ils sont également parfois superposés à des signaux de type spectre étalé. Enfin il se formera sur les techniques de reconnaissance automatique de signal, et pourra à

ce titre s'appuyer sur les travaux de notre chercheur postdoctoral ayant fait sa thèse sur cette thématique [6].

- Dans un deuxième temps, suite à l'état de l'art, les techniques de réduction de débit prometteuses seront retenues, puis les algorithmes correspondants simulés (Matlab) dans un cadre complet en intégrant les différents modèles de canaux. Ces simulations seront réalisées sur canaux synthétiques en se basant sur divers environnements de simulation. Un premier environnement « parfait » permettra de valider les performances théoriques (bornes). Un second environnement de simulation inclura une chaîne complète de réception SDR (*Software Defined Radio*) permettant d'intégrer tout ou partie des défauts de la chaîne (interférences, signaux superposés en spectre étalé, doppler rate etc) et d'en vérifier les effets sur les algorithmes à qualifier. Les différents algorithmes seront alors classés à l'aune de critères applicatifs (microsat en grappe ou non, signaux de localisations ou non etc), de leur potentiel évolutif (taux de réduction de débit), de leur complexité d'implémentation.
- Dans un troisième temps, si le temps le permet, l'algorithme le plus prometteur sera retenu, implémenté sur une des plateformes et testé dans des environnements simplifiés (dans l'idéal une TRL3/4 sera visée ), en adaptant les largeurs de bande et les signaux aux capacités matérielles des plateformes. Cette étape pourra s'accompagner de stages master pour explorer les divers algorithmes envisagés ( il est probable compte tenu de la diversité des situations que ce soit nécessaire )
- Finalement les algorithmes seront testés selon les opportunités en environnement réel complet, soit au sein d'une station sol de l'industriel, soit grâce à des enregistrements en fréquence intermédiaire.

### **Planning et déroulement de la thèse :**

- Première année : Etude de l'état de l'art, identification des algorithmes de compression prometteurs par rapport au contexte de transmission en bande S pour la voie descendante et à SNR très élevé en voie montante. Etude du contexte de transmission par satellite, modélisation et simulation de la chaîne de communication. Simulation des algorithmes de réduction de débit retenus. Validation et comparaison des performances par rapport aux bornes théoriques.
- Deuxième année : Implantation d'un ou plusieurs algorithmes sur la plateforme SDR, modélisation des défauts de la plateforme et intégration dans la simulation. Validation des résultats sur signaux de synthèse et/ou réels, validation des gains de réduction de débit en fonction des différents scénarios retenus ( High SNR high doppler rate , low SNR low doppler rate etc ) . Cette deuxième année en fonction des résultats de la première année pourra s'accompagner de stages master pour tester de multiples implantations. Simulation et éventuellement recherche des bornes théoriques des dégradations apportées par les algorithmes avec perte d'information sur les algorithmes de localisation (ranging à ton, à spectre étalé ... ). Etat de l'art sur les méthodes de classification (reconnaissance automatique de signaux en terme de modulation , rythme etc ) avec l'aide du chercheur postdoctorant en vue du choix automatique du meilleur algorithme si l'état de l'art précédent offre une diversité d'algorithme adapté à tel ou tel signal .
- Troisième année : Evaluation à partir de l'état de l'art de la seconde année de l'architecture optimale de front end en pied d'antenne ( xampling large bande, banc de transpos filtrage etc ). Proposition d'une plateforme apte à gérer les divers scénarios de montée en débit. Rédaction du mémoire de thèse.

## Dossier de candidature

- CV à jour
- Lettre de motivation
- Relevés de notes
- Lettres de recommandations

## Encadrement scientifique

*Laboratoire d'accueil* : CNRS LabSTICC UMR 6285

*Directeur de thèse* :

AISSA EL BEY Abdeldjalil, Professeur  
Département Signal et Communications  
IMT Atlantique  
Technopôle de Brest Iroise CS 83818  
29238 BREST Cedex 3, France  
Tel : 33 (0)2 29 00 15 72  
fax : 33 (0)2 29 00 10 12  
e-mail : [abdeldjalil.aissaelbey@imt-atlantique.fr](mailto:abdeldjalil.aissaelbey@imt-atlantique.fr)

*Responsable scientifique* :

Alain THOMAS, Ingénieur senior  
ZODIAC DATA SYSTEMS

## Références bibliographiques

1. Cross support concept part1 space link extensions. Informational report 910.3-G3  
<https://public.ccsds.org/Pubs/910x3g3.pdf>
2. A.Vosoughi, M.Wu, J R.Cavallaro “Baseband signal compression in wireless base stations”  
[10.1109/GLOCOM.2012.6503828](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2012.6503828) available at : <http://ieeexplore.ieee.org/document/6503828/>
3. Yanhe Cheng, Wenge Yang, Jiang Zhao , “Compressive Sampling for DS TT &C Signals Based on Sparsity Analysis” 978-1-4 799-4245-9/14/ ©2014 IEEE
4. M.Mishali, Y.C.Eldar, “Xampling: analog data compression”. Proc. Of Data Compression Conference, 24-26 March 2010, Snowbird, Utah, USA, pp.366-375.
5. Yohina C. Eldar and Gitta Kutyniok “Compressed sensing theory and applications” Cambridge university Press
6. V.Gouldieff, J.Palicot, S.Daumont “Blind Modulation Classification for Cognitive Satellite in the Spectral Coexistence Context” *IEEE Transactions on Signal Processing*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, 65 (12), pp.3204-3217
7. S.Traoré « Contribution à l'étude de l'échantillonnage non uniforme dans le domaine de la radio intelligente » 2015 HAL Id: tel-01324511 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01324511>