



TéSA
Télécommunications Spatiales et Aéronautiques



Rapport d'activité Activity report

2015-2016





Avant-propos

Foreword

C'est avec un grand plaisir que je vous laisse découvrir le rapport d'activité de TéSA couvrant les années 2015 et 2016.

Encore une fois, le Conseil Scientifique de TéSA a su mettre en lumière les actions de la « Communauté TéSA », les années 2015 et 2016 ayant été particulièrement riches avec entre autres, l'arrivée de l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint-Exupéry dans le partenariat de l'association TéSA, l'organisation de deux journées scientifiques dans les Hautes-Pyrénées, le financement par TéSA d'un projet de recherche interne suite à la mise en place d'un appel à idées, la tenue d'un stand TéSA au Toulouse Space Show – j'en profite pour dire encore un énorme merci au Centre National des Études Spatiales (CNES) de nous avoir fait un peu de place auprès d'eux !

TéSA en quelques chiffres sur ces 2 années passées : 95 publications scientifiques, 10 thèses soutenues, 35 études effectuées, 10 nouveaux doctorants conduisant à un effectif à la fin 2016 de 14 doctorants, 6 ingénieurs de recherche et chercheurs associés, 2 personnels administratifs et une trentaine d'enseignants-chercheurs collaborant avec TéSA.

Bref, deux années riches en idées et en événements qui consolident encore l'espace occupé par TéSA dans les télécommunications spatiales et aéronautiques.

Un immense merci au Conseil Scientifique, à ses présidents, ses membres, ses experts scientifiques et à tous les chercheurs ayant contribué à l'élaboration de ce rapport qui donne un bel aperçu de toute l'activité recherche de TéSA.

Corinne Mailhes,
Directrice de TéSA

It is with a satisfying feeling of accomplishment that I invite you to read this report on TeSA activities for the years 2015 and 2016.

Once again, the TeSA Scientific Committee has succeeded in highlighting the actions of the “TeSA Community”. The years 2015 and 2016 were particularly rewarding with, among others, the arrival of the *Institut de Recherche Technologique* Saint-Exupéry (IRT) as a partner of the TeSA non-profit organisation, the organisation of two scientific days in the *Hautes Pyrénées* and the financing by TeSA of an internal research project following a call for ideas. TeSA also reached out to a wider audience through a stand at the Toulouse Space Show in June 2016 and I would like to take this opportunity to thank the *Centre National des Etudes Spatiales* (CNES) for allowing TeSA to share their booth.

Here are some statistics about TeSA for the last 2 years: 95 scientific publications, 10 PhD theses defended, 35 studies achieved, 10 new PhD students bringing the total workforce at the end of 2016 to 14 PhD students, 6 research engineers and research fellows, an administrative staff of 2 and about thirty lecturer-researchers, who collaborated with TeSA.

In short, the last two years have brought TeSA a wealth of ideas and events, which again reinforced its position in space and aeronautical telecommunications.

My heartfelt thanks to the Scientific Committee, its chairpersons, its members, its scientific experts and to all the researchers who contributed to this report, which gives a clear idea of all TeSA research activity.

Corinne Mailhes,
Director, TeSA

■	Avant-propos	1
	Foreword	
■	Introduction	3
	Introduction	
●	Comment lire ce rapport.....	3
	How should this report be read?	
●	Cartographie des activités TéSA	4
	Kaleidoscope map of TeSA activities	
■	Activités scientifiques	9
	Scientific activities	
●	Traitemet du signal et des images	9
	Signal and Image processing	
●	Communications numériques	27
	Digital communications	
●	Réseaux	34
	Networking	
●	Vie du laboratoire	43
	Laboratory life	
●	Collaborations.....	45
	Collaboration	
●	Rayonnement de TéSA	46
	TeSA outreach	
■	Tendances et perspectives.....	49
	Trends and perspectives	
●	Localisation et navigation.....	50
	Positioning and navigation	
●	Observation de la Terre.....	51
	Earth observation	
●	Systèmes de communication par satellite	52
	Satellite communications	
●	Systèmes de communication aéronautiques	53
	Aircraft communications	
■	Conclusion	57
	Conclusion	



Introduction

Introduction

Comment lire ce rapport

Ce rapport d'activités couvre la période 2015-2016 du laboratoire TéSA et fait suite au précédent rapport 2013-2014. Nous vous recommandons en priorité la lecture de la section suivante apportant une vision générale des activités TéSA. Celle-ci présente au travers d'exemples la structuration de l'activité en domaines d'application et domaines d'expertise, à travers ce que nous appelons « le kaléidoscope des activités TéSA ».

Ensuite, nous avons choisi de présenter les activités scientifiques du laboratoire TéSA en partant des trois domaines d'expertise « Traitement du signal et image », « Communications numériques » et « Réseaux ». En effet, cette organisation correspond souvent à celle des équipes de recherche associées. Chaque domaine est introduit par un résumé des activités du domaine. La présentation est complétée par une liste des projets, des thèses soutenues ainsi que des publications scientifiques et brevets.

La dernière partie du rapport d'activités résume les tendances actuelles qui constituent autant de défis techniques et scientifiques que TéSA souhaite relever.

Enfin, il est important de mentionner que ce rapport d'activité a été préparé par le Conseil Scientifique de TéSA. Celui-ci est constitué de représentants de tous les acteurs de TéSA : partenaires académiques et industriels, ingénieurs de recherche, doctorants et experts scientifiques. Le conseil scientifique se réunit 4 à 5 fois par an et effectue un travail de fond sur des chantiers dits « prioritaires ». Ce rapport d'activité est l'aboutissement d'un de ces chantiers prioritaires.

How should this report be read?

This report on the activities of the TeSA laboratory covers the period 2015-2016 following the previous report for 2013-2014. We recommend that you first read the next section which gives an overview of TeSA activities. Examples illustrate how activities are structured into fields of application and fields of expertise, through what is called a "kaleidoscope map".

After that, we outline the scientific activities of the TeSA laboratory, concerning the three particular fields of expertise: "Signal and image processing", "Digital communications" and "Networking". This breakdown often matches that of the associated research teams. Each field is introduced by a summary of its activities. The presentation concludes with a list of projects and PhD theses that have been supported by TeSA, together with scientific publications and patents.

The last section of the report contains a summary of current trends, namely technical and scientific challenges that TeSA would like to take up.

Finally, it is important to note that this activity report was prepared by the TeSA Scientific Committee. This is composed of the TeSA taskforce representatives: academic and industrial partners, research engineers, PhD students and scientific experts. The Scientific Committee meets four or five times a year for in-depth work on "priority" activities defined by the committee. This activity report is the result of one of these priority activities.

Cartographie des activités TéSA

La cartographie des activités de TéSA a été dessinée par le Conseil Scientifique au cours de la période d'activité précédente (2013-2014). Cette cartographie présente les domaines d'application et les domaines d'expertise de TéSA.

Cette cartographie est destinée à être vivante et évolue au fur et à mesure de l'évolution des activités scientifiques de TéSA mais reste organisée en plusieurs niveaux comme expliqué dans les deux sections suivantes.

Domaines d'application

Les domaines d'application de TéSA ont été décrits à l'aide d'une hiérarchie à trois niveaux.

Au premier niveau, on trouve quatre principaux **domaines d'application** qui sont « les systèmes de communications spatiales », « les systèmes de communications aéronautiques », « la localisation et la navigation » et « l'observation de la Terre ».

Kaleidoscope map of TeSA activities

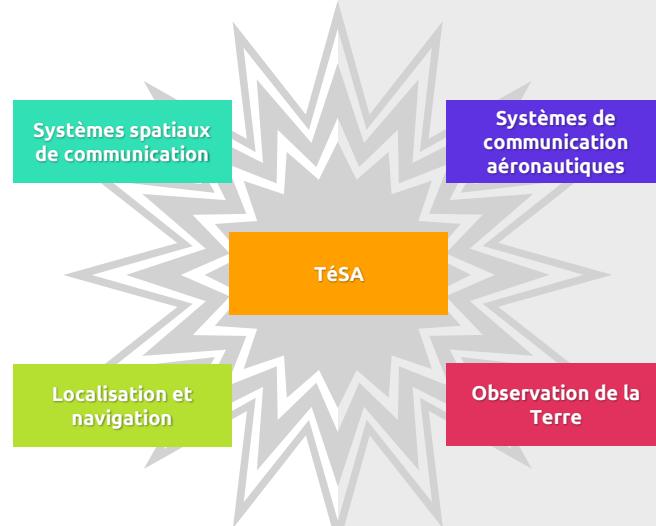
The multi-level map of TeSA activities was drawn up by the Scientific Committee during the previous two years of activity (2013-2014). The kaleidoscope map below shows TeSA's fields of expertise and application.

It was designed to be dynamic and evolving to keep pace with the changing scientific activities at TeSA but is still broken down into several levels as explained in the following two sections.

Fields of application

TeSA's fields of application have been ranked according to three levels.

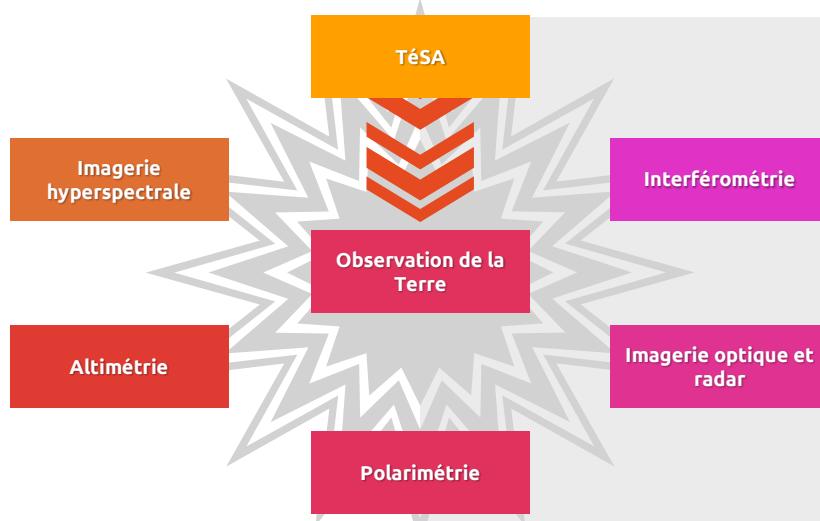
The first level has four primary **fields of application**, "satellite communication systems", "aeronautical communication systems", "positioning and navigation", and "Earth observation".



Les quatre domaines d'application dans TéSA.
TeSA's four fields of application.

Le deuxième niveau de cette hiérarchie présente les principales **thématiques scientifiques** abordées dans chaque domaine d'application. Par exemple, le deuxième niveau de « l'observation de la Terre » laisse apparaître 5 thématiques qui ont été abordées dans TéSA, comme l'imagerie hyperspectrale, l'altimétrie, la polarimétrie, l'imagerie optique et radar et l'interférométrie, que ce soit à travers des thèses ou des études.

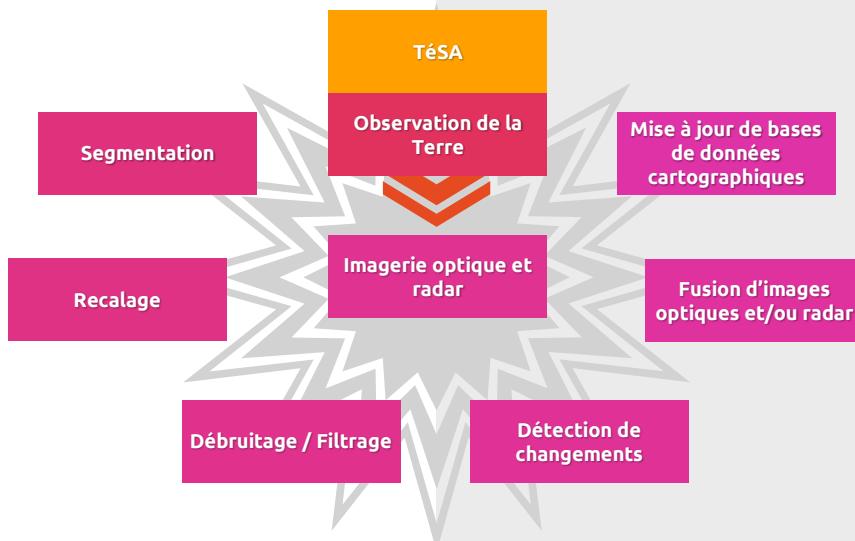
The second level in this ranking shows the main **scientific topics** covered in each application field. For example, the second level assigned to "Earth observation" shows 5 topics which have been studied within TeSA, namely hyperspectral imagery, altimetry, polarimetry, optical and radar imagery and interferometry, through PhD theses or research projects with industrial partners.



Les thématiques scientifiques du domaine Observation de la Terre.
Scientific topics in the Earth observation field.

Enfin le troisième niveau présente les **projets** associés à chaque thématique. Toujours à titre d'exemple, dans le domaine de « l'observation de la Terre », sous la thématique « Imagerie optique et radar », les projets qui se sont déroulés dans TéSA peuvent se placer sous 6 axes, comme présenté ci-dessous.

Finally, in the third level we present the **projects** associated with each topic. Again, as an example, in the field of "Earth observation", under the "Optical and radar imagery" topic, the projects which were undertaken at TeSA can be divided into 6 themes, as shown below.



Les projets associés à la thématique Imagerie optique et radar.
Projects in the Optical and radar imagery topic.

Cette cartographie interactive se retrouve sur le site web de TéSA à l'adresse
<http://www.tesa.prd.fr/application-domains-tesa.p4.html>.

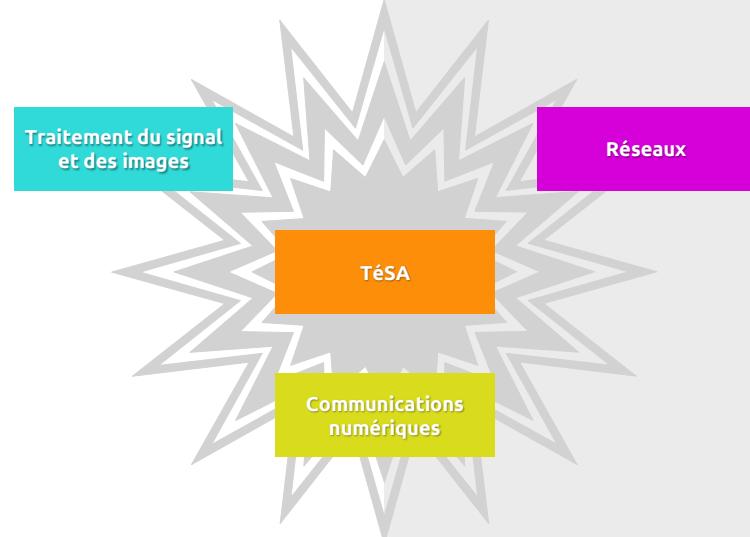
This interactive kaleidoscope map may be found on the TeSA website at
<http://www.tesa.prd.fr/application-domains-tesa.p4.html>.

Domaines d'expertise

Pour compléter les domaines d'application du laboratoire TéSA, une description de ses domaines d'expertise a également été effectuée. Ces domaines d'expertise sont au nombre de 3 : le « traitement du signal et des images », les « communications numériques » et les « réseaux ».

Fields of expertise

In addition to the fields of application of the TeSA laboratory, its fields of expertise have also been described. These fields of expertise are "signal and image processing", "digital communications" and "networking".



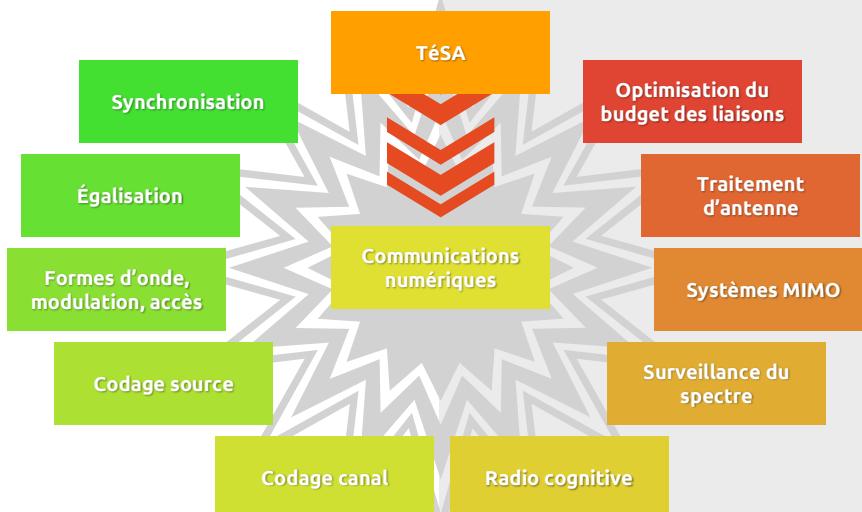
Les trois domaines d'expertise de TéSA.
TeSA's three fields of expertise.

Une architecture à trois niveaux a également été retenue pour ces domaines d'expertise. Chaque domaine est divisé en **compétences scientifiques** qui regroupent divers **sujets de recherche**.

Ainsi, par exemple, le domaine d'expertise « communications numériques » met en évidence une dizaine de compétences scientifiques telles qu'illustrées ci-dessous.

A three-level architecture has also been adopted for these fields of expertise. Each field is split into **scientific skills**, which combine various **research subjects**.

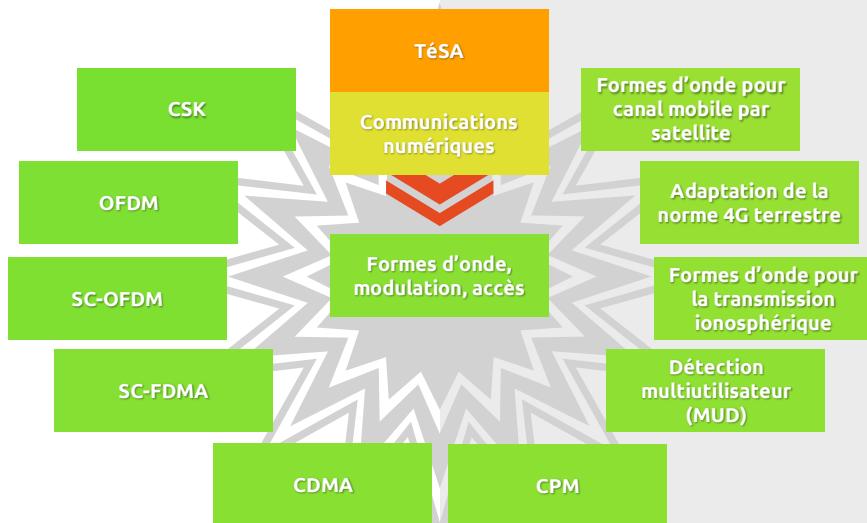
Thus, for example, the field of expertise "digital communications" highlights ten or so scientific skills as shown below.



Les compétences scientifiques du domaine Communications numériques.
Scientific skills in the Digital communications field.

Et si on souhaite connaître les sujets de recherche abordés dans la compétence « formes d'onde, modulation, accès » par exemple, on trouve une dizaine de sujets de recherche dans le 3^e niveau de la cartographie, comme présenté ci-après.

Then, if you wish to know which research subjects correspond to the skill “waveforms, modulation, access”, for instance, you will find about ten research subjects in the 3rd level of the kaleidoscope map, as shown below.



Les sujets de recherche de la compétence Formes d'onde, modulation, accès.
Research subjects in the Waveforms, modulation, acces scientific skill.

Pour plus d'informations, ne pas hésiter à consulter la page internet
<http://www.tesa.prd.fr/our-expertise-tesa.p5.html>.

Readers may find more information on the internet page <http://www.tesa.prd.fr/our-expertise-tesa.p5.html>.



Activités scientifiques

Scientific activities

Traitement du signal et des images

Les activités menées dans le domaine du traitement du signal et des images sont tout d'abord liées à des points forts du laboratoire, comme le traitement des signaux AIS (Automatic Identification System), le traitement du signal radar, la localisation et la navigation, ainsi que l'analyse des images de télédétection. D'autres projets relatifs à de nouveaux aspects méthodologiques et applicatifs ont également vu le jour durant la période concernée. L'ensemble de ces activités est résumé ci-après.

Synthèse des travaux

AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS)

Le laboratoire TéSA a acquis depuis quelques années une grande expérience dans le domaine du décodage des signaux issus du système AIS. Une étude effectuée durant la période 2015-2016, autofinancée par le laboratoire, a eu pour objet de pérenniser les travaux de thèse de Raoul Prévost (thèse soutenue en octobre 2012) et de poursuivre les travaux de recherche dans ce domaine. Un premier résultat intéressant est l'exploitation du contrôle de redondance cyclique contenu dans les messages AIS pour la détection et correction conjointes d'erreurs. Un aspect très novateur de cette étude est également le développement d'algorithmes permettant l'exploitation de plusieurs antennes en réception.

Durant la période 2015-2016, le laboratoire a établi de nouvelles collaborations fortes avec la société externe CLS (Collecte Localisation Satellites). Une première étude proposée par cette société a eu pour but d'étendre la couverture du système AIS afin de l'utiliser pour faire de la surveillance du trafic maritime, en respectant les exigences liées à une utilisation dans les stations côtières. Une seconde étude a eu pour objet d'adapter ces algorithmes pour une

Signal and Image processing

The activities undertaken in the signal and image processing field are primarily related to fields in which the laboratory is specialised, such as the AIS (Automatic Identification System) signal processing, radar signal processing, positioning and navigation, and also the analysis of remote sensing images. Other projects concerning new methodological and application aspects also emerged during the period in question. All the activities are summarized below.

Summary of work

AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS)

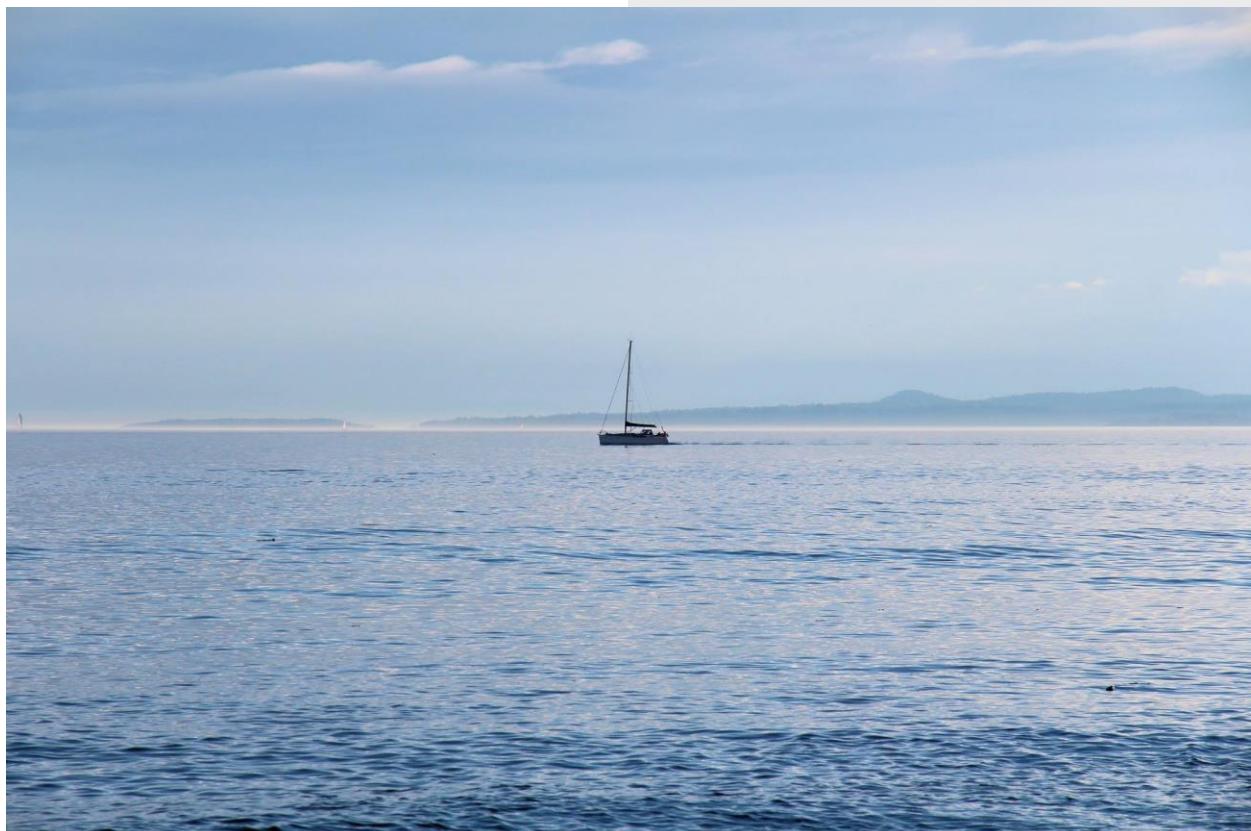
The TeSA laboratory has acquired several years of solid experience in the decoding of signals from the Automatic Identification System (AIS). A study self-financed by the laboratory and undertaken in 2015-2016 to follow up on the work of Raoul Prévost (who defended his PhD thesis in October 2012) and continue research in this field. The first interesting result was the use of the cyclic redundancy check contained in the AIS message for the combined detection and correction of errors. Another highly innovative aspect of the study was the development of algorithms for exploiting measurements received by several antennas.

During the period 2015-2016, the laboratory collaborated closely with the CLS company (Collecte Localisation Satellites). The aim of the first study proposed by this company was to extend the coverage of the AIS system so that it could be used to monitor maritime traffic while meeting the requirements for use in coastal stations. The aim of a second study was to adapt these algorithms for use on aircraft and to evaluate the increased performance obtained. The idea was to detect AIS messages by taking advantage of the Doppler effect due to the velocity of the aircraft.

utilisation à bord des avions et d'évaluer le gain de performances obtenu. L'idée est ici de détecter les messages AIS en tirant profit de l'effet Doppler dû à la vitesse de déplacement de l'avion.

Enfin, une étude en cours porte sur l'exploitation de la complémentarité des données radar et AIS pour la surveillance maritime dans le cadre d'une thèse financée par Thales Alenia Space et Thales Brazil de São Bernardo do Campo au Brésil.

Finally, an ongoing study is investigating the complementarity of Radar and AIS data for maritime surveillance, as part of a PhD thesis funded by Thales Alenia Space and Thales Brazil, a São Bernardo do Campo company.



TRAITEMENT DU SIGNAL RADAR

Les activités liées au traitement du signal radar au sein du laboratoire TéSA se font essentiellement en collaboration avec un de ses membres partenaires, Rockwell Collins France (RCF). Durant la période concernée, une première étude a porté sur la mesure à distance d'une cible à l'aide d'un radar FMCW (*Frequency-Modulated Continuous-Wave*) déplaçable mécaniquement et avec un faisceau d'émission très fin. L'idée est d'intervenir sur la formation de l'image en 3D pour lui donner une meilleure dynamique plutôt que de traiter l'image 3D déjà formée. L'image 3D est obtenue par des déplacements mécaniques du lecteur radar résultant en un traitement FFT (*Fast Fourier Transform*) distance à chaque position angulaire azimut, élévation. Un traitement STAP (*Space Time Adaptive Processing*) permet de réduire le *clutter* tandis que des traitements de formation

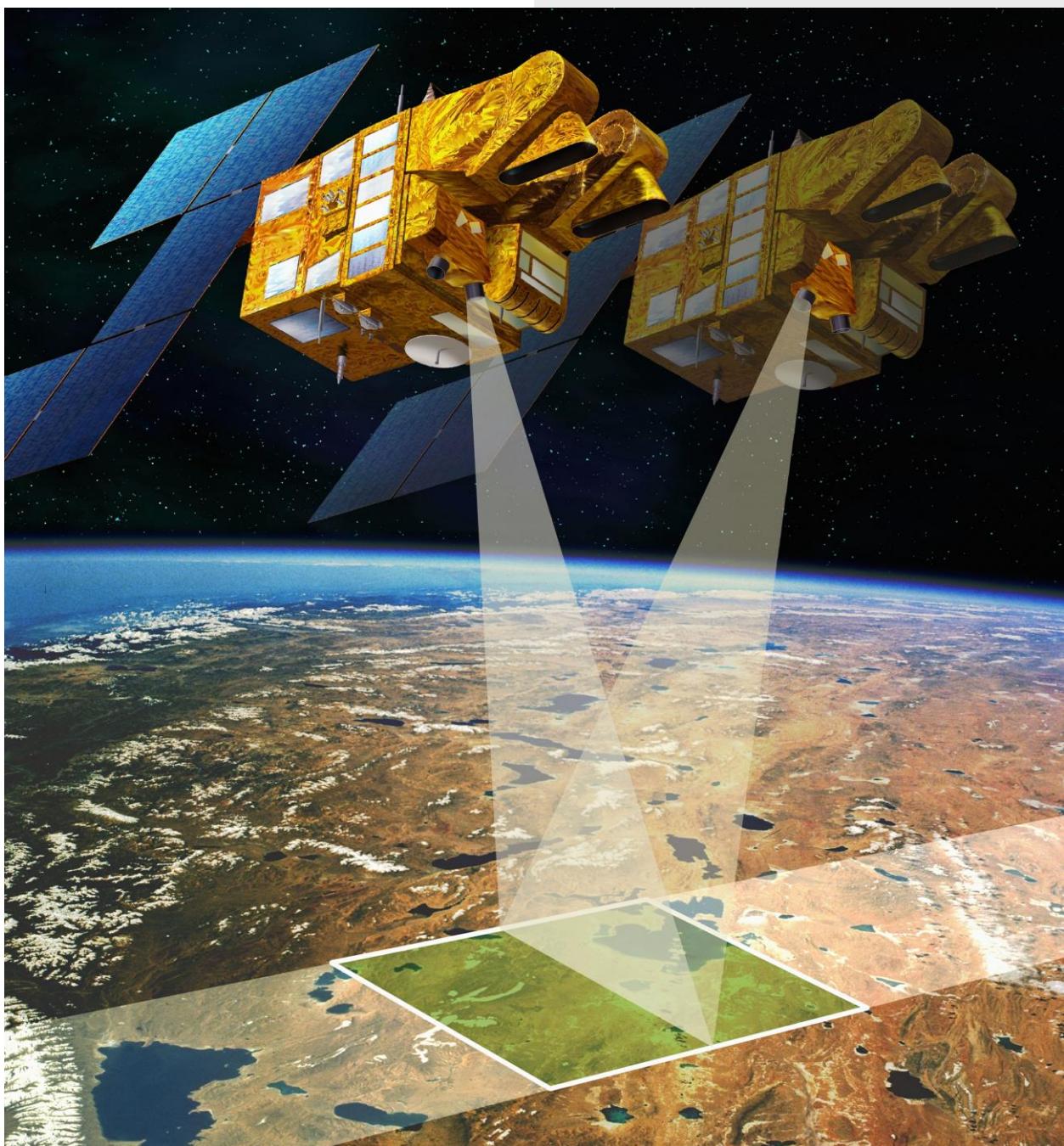
RADAR SIGNAL PROCESSING

Research on radar signal processing is conducted in the TeSA laboratory, mainly in collaboration with one of the partner members, Rockwell Collins France (RCF). During the period concerned, one initial investigation focused on the remote measurement of a target using a very narrow beam mobile Frequency-Modulated Continuous-Wave (FMCW) radar. The idea is to improve the range processing for each Direction of Arrival (DOA), classically obtained from a simple Fast Fourier Transform. Indeed direct processing of the radar raw data results in a better 3-D image quality than a standard image processing. Space Time Adaptive Processing (STAP) can be used to reduce clutter while beamforming and statistical estimation algorithms (based on the maximum likelihood method) can improve the spatial resolution if there are several sensors to be processed.

de faisceaux et des algorithmes d'estimation statistique (basés sur la méthode du maximum de vraisemblance) permettent d'améliorer la résolution spatiale dans le cas où il y aurait plusieurs capteurs à interroger.

Une deuxième étude a porté sur le développement de méthodes de radiogoniométrie 3D pour antennes vectorielles s'affranchissant de la connaissance de la polarisation de la source. Des algorithmes originaux issus de la méthode haute-résolution comme MUSIC (*MULTiple Signal Classification*) ou de la méthode du maximum de vraisemblance ont été développés dans le cadre de cette étude et ont permis d'améliorer les performances de l'antenne vectorielle exploitée par RCF.

A second study deals with the development of 3-D radio goniometry methods for vector antennas thus dispensing with the need to know the polarity of the source. During this study, new algorithms, based on the high-resolution MULTiple Signal Classification (MUSIC) method, were developed to improve performances of the vector antenna exploited by RCF.



Une troisième étude s'inscrivant dans le contexte du radar FMCW développé par RCF avait pour but de détecter les obstacles dangereux pour la navigation des hélicoptères. Un algorithme mis au point lors de cette étude permet de corriger des échos parasites (appelé fouillis de sol) et de détecter et corriger les perturbations dues aux phénomènes de multitrajets affectant les signaux reçus par le radar. Enfin, une dernière étude a porté sur l'étude du radar FMCW de surveillance pérимétrique développé par RCF pour la détection d'intrusions. La détection d'intrusions repose principalement sur l'effet Doppler qui permet de distinguer une cible ayant une vitesse radiale au radar non nulle de l'arrière-plan supposé immobile. Un problème de ce système de détection d'intrusion est qu'une intrusion sans vitesse radiale suffisante est difficilement détectable. L'objectif de cette étude a été de concevoir et d'évaluer un algorithme permettant la discrimination de cibles ayant une vitesse radiale faible par rapport à l'arrière-plan en utilisant un seul système radar.

LOCALISATION ET NAVIGATION

Les activités du laboratoire TéSA concernent également le développement de méthodes de traitement du signal avancées pour la localisation et la navigation à l'aide des signaux issus du système GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Une première étude, autofinancée par TéSA, fait partie de l'action sélectionnée par le Conseil Scientifique TéSA, suite à un appel à idées lancé en avril 2014, dans le cadre de son PTP (Plan Transverse Pluriannuel). L'objectif de ce projet était d'étudier la faisabilité du positionnement précis GNSS (c'est-à-dire, avec une erreur de position inférieure au mètre) par des récepteurs bas cout et monofréquence, dans des environnements contraints (périurbain ou urbain). L'étude a permis à TéSA d'approfondir son expertise en positionnement précis et de vérifier la possibilité d'utiliser du matériel relativement bas-cout pour la localisation et la navigation.

Ce projet autofinancé a été suivi assez rapidement d'une étude avec la société M3 Systems pour répondre à une étude demandée par le CNES de Toulouse. Cette étude a permis de proposer de nouvelles méthodes d'estimation de l'ambiguité, sur laquelle repose le positionnement précis, au niveau de l'algorithme de poursuite, et non pas au niveau de l'algorithme de navigation.

Une troisième étude effectuée dans le domaine du positionnement GNSS fait suite aux travaux de thèse de Victor Bissoli Nicolau soutenue en 2014 sur l'étude des performances de détection et de localisation des terminaux SAR (*Search And Rescue*) dans le contexte de la transition MEOSAR (*Medium Earth Orbit*). Au cours de cette étude, un indicateur de qualité de localisation a été proposé et des simulations de performances au niveau

A third study was undertaken in the context of the FMCW radar developed by RCF to detect dangerous obstacles for helicopter navigation. An algorithm was developed during the study to correct interference echoes (called ground clutter) and to detect and correct perturbations due to multipath phenomena, that affect the signals received by the radar. Finally, a last study concerned the FMCW perimeter surveillance radar developed by RCF for detecting intrusions. The detection of intrusions is based mainly on the Doppler effect which makes it possible to distinguish a target whose radial velocity radar signal is non-zero and thus stands out from the immobile background. A problem with this intrusion detection system is that an intrusion whose radial velocity is not great enough, is difficult to detect. The aim of the study was thus to design and evaluate an algorithm capable of discriminating targets with a low radial velocity from the background, using only one radar system.

POSITIONING AND NAVIGATION

The activities of the TeSA laboratory also involve the development of advanced signal processing methods for navigation and positioning by means of signals from the GNSS (*Global Navigation Satellite System*) system. A first study, entirely financed by TeSA, is one of the projects selected by the TeSA Scientific Committee following a call for ideas in April 2014 as part of its multiannual cross-cutting plan (*PTP -Plan Transverse Pluriannuel*). The aim of this project was to study the feasibility of precise GNSS positioning (i.e., with a positioning error less than 1 m) using low-cost, single frequency receivers, in constrained environments (peri urban or urban). The study enabled TeSA to consolidate its precise positioning expertise and to verify the possibility of using relatively low-cost equipment for positioning and navigation.

This self-financed project was followed fairly quickly by a study with M3-Systems in the framework of a study for CNES Toulouse. The study led to new methods for estimating ambiguity, necessary for precise positioning, by means of the tracking algorithm rather than the navigation algorithm.

A third study carried out on GNSS positioning followed on from the PhD thesis of Victor Bissoli Nicolau (defended in 2014), which investigated detection and positioning performance issues for search and rescue (SAR) terminals in the framework of the transition to MEOSAR (*Medium Earth Orbit*). During this study, a positioning quality indicator was proposed and the corresponding performance at the MEOSAR

système du MEOSAR ont été effectuées. Des simulations de performances d'algorithmes GNSS en présence de radio-occultations ont également été menées. Enfin un algorithme de traitement des signaux en diversité appliqué aux sorties intermédiaires et sorties brutes de récepteurs GNSS a été développé.

Pendant la période concernée, le laboratoire TéSA a également poursuivi ses activités relatives au système ARGOS. Par exemple, il a travaillé au sein d'un projet porté par le CNES qui a pour but d'utiliser des avions pour la réception de signaux terrestres afin d'améliorer la couverture des récepteurs terrestres et satellitaires. Au cours de cette étude, de nouveaux algorithmes de réception des signaux ARGOS ont été développés pour une utilisation à bord des avions et leurs performances ont été évaluées.

system level, was studied. The performance of GNSS algorithms under radio-occultation were also simulated. Finally, an algorithm was developed for processing a diverse range of signals acquired at intermediary or raw outputs of GNSS receivers.

During the last two years, the TeSA laboratory also pursued its activities concerning the ARGOS system. For example, it worked on a project initiated by CNES, which aims to use aircraft for receiving signals sent from the ground in order to improve the coverage of ground-based and satellite receivers. During the study, new algorithms for receiving ARGOS signals were developed for use on aircraft and their performances were evaluated.



TRAITEMENT D'IMAGES DE TÉLÉDÉTECTION

Une activité forte du laboratoire TéSA dans le domaine du traitement des images concerne l'analyse des images de télédétection (images optiques multispectrales ou hyperspectrales, images radar...). L'idée est d'exploiter la complémentarité de ces images pour améliorer les techniques de base de traitement d'images comme la détection de changements, l'indexation ou la classification. Lors de la thèse de Jorge Prendès, effectuée en collaboration avec le CNES de Toulouse et Centrale Supélec, une méthode originale permettant de détecter des changements entre images optiques et radar a été développée. La méthode consiste à apprendre la transformation reliant ces deux types d'images, en estimant à l'aide de données d'apprentissage les paramètres d'un modèle statistique décrivant les propriétés des objets contenus dans ces images. Un modèle bayésien non-paramétrique permettant de s'affranchir de la connaissance du nombre d'objets contenus dans ces images a également été proposé.

Une étude effectuée pour le CNES a également porté sur l'analyse de la pertinence de modèles statistiques de détection et d'estimation conjointes, habituellement utilisés en imagerie médicale. Plus précisément, on s'est intéressé à des modèles utilisés pour l'analyse d'images IRM fonctionnelle (IRMF) pour la détection de changements dans des images optiques multispectrales. L'idée est d'utiliser ces modèles pour détecter des changements survenus suite à l'apparition de certains événements dans des suites d'images multitemporielles. En imagerie IRMF, ces changements correspondent aux réponses à différents stimulus. Les événements considérés pour l'analyse des images de télédétection sont liés 1) à des zones inondées, 2) à la croissance des plantes, et 3) à l'existence de zones brûlées suite à des incendies. L'algorithme développé au cours de cette étude est un outil qui s'est avéré intéressant pour l'analyse d'images multitemporielles optiques.

CANAL DE PROPAGATION

Le laboratoire a également mené des travaux concernant le canal de propagation en collaboration avec l'ONERA et le CNES de Toulouse. Dans le cadre du développement de nouveaux systèmes mobiles terrestres par satellite (Land Mobile Satellite ou LMS), il est essentiel d'optimiser l'interface air en prenant en compte un canal de propagation réaliste. Parmi les caractéristiques du canal de propagation, le spectre Doppler est particulièrement important dans la mesure où il caractérise l'étalement Doppler et/ou la dynamique temporelle du fading dû aux multitrajets. Lors de cette étude, un modèle analytique du spectre Doppler entre 1.5 et 4 GHz a été proposé. Une méthode

PROCESSING OF REMOTE-SENSING IMAGES

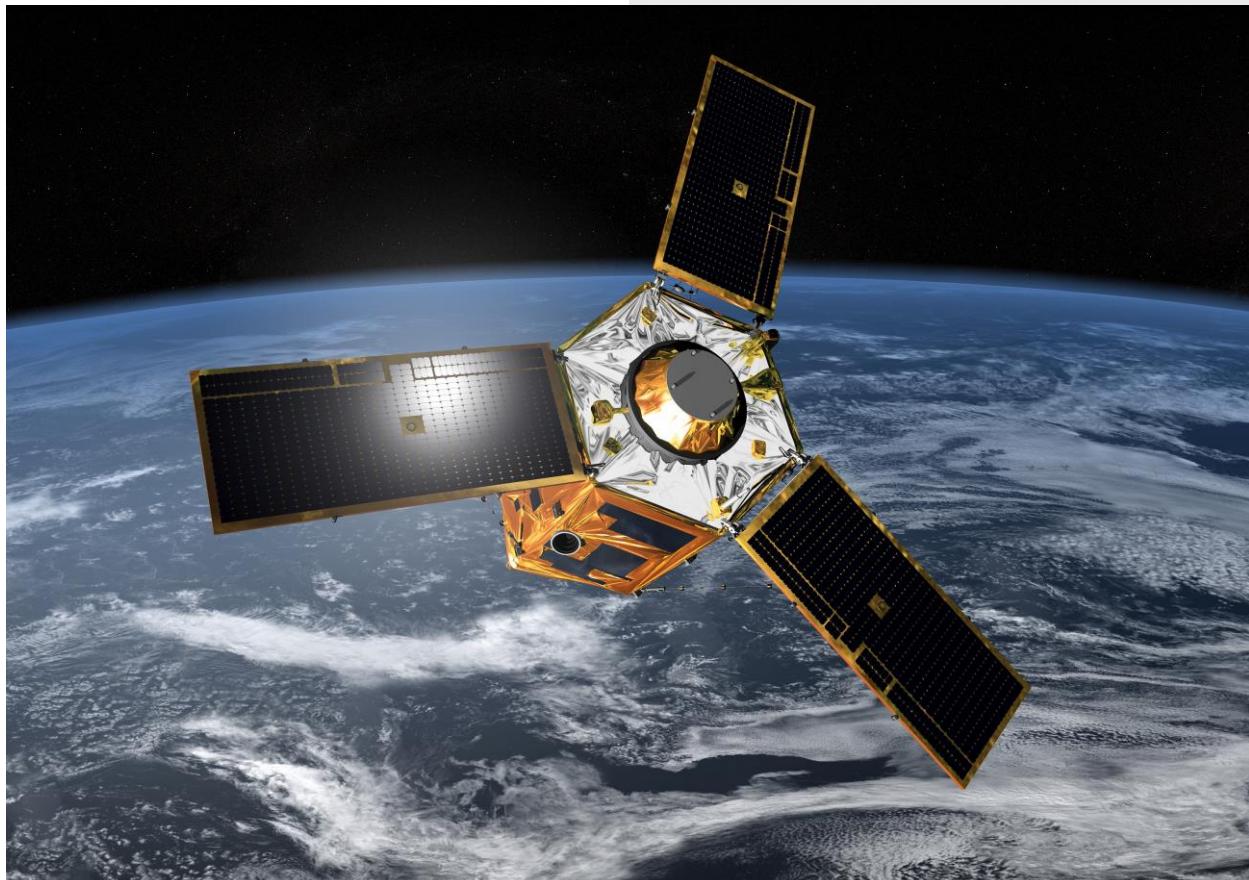
An activity in which the TeSA laboratory excels, in the field of image processing, concerns the analysis of remote-sensing images (optical, multi or hyperspectral images, radar images, etc.). The idea is to exploit the complementarity of these images to improve basic image processing techniques, such as change detection, image retrieval or classification. During the thesis of Jorge Prendès, carried out in collaboration with CNES and Central Supelec, an original method was developed for detecting changes between optical and radar images acquired at two different dates. The method consists in learning more about the transformation linking these two types of image, by estimating, with the help of training data sets, the parameters of a statistical model describing the properties of the objects contained in the images. A non-parametric Bayesian model, allowing the number of objects contained in the image to be estimated, was also proposed.

Another study conducted for CNES, has focused on analysing the relevance of statistical models for joint detection and estimation, usually used in medical imaging. More precisely, we studied the relevance of models used for the analysis of functional magnetic resonance imaging (fMRI) to detect changes in multi-spectral optical images. The idea is to use these models to detect changes that have appeared after occurrence of certain events in sequences of multi-temporal images. In fMRI imagery, these changes correspond to responses to different stimuli. The events considered for analysing remote-sensing images are related to 1) flooded zones, 2) the growth of plants and 3) the existence of burnt areas due to fires. The algorithm developed during this study turned out to be an interesting tool for analysing multi-temporal optical images.

PROPAGATION CHANNEL

The laboratory also led work on the propagation channel in collaboration with ONERA and CNES, both from Toulouse. During development of new Land Mobile Satellite (LMS) systems, it is essential to optimise the air interface by taking into account a realistic propagation channel. Among the characteristics of the propagation channel, the Doppler spectrum is particularly important since it characterises the Doppler spread and/or the temporal dynamic of fading due to multipaths. During this study, an analytical study of the Doppler spectrum between 1.5 and 4 GHz, was proposed. A stochastic simulation method for validating this model was studied and tested using real data from a measurement campaign covering very realistic scenarios.

stochastique de simulation permettant de valider ce modèle a été étudiée et testée à partir de données réelles issues d'une campagne de mesure couvrant des scénarios très réalistes.



ACTIVITÉS CONNEXES

Certaines activités du laboratoire permettent d'utiliser l'expertise de TéSA dans des domaines connexes, en répondant à des sollicitations ponctuelles, par exemple venant du programme Cap'tronic ou du CNES. Lors de la période 2015-2016, le laboratoire a travaillé sur une étude de performances d'une méthode de détection d'occupation de places de parking à l'aide de signaux magnétométriques afin de proposer des améliorations en termes de taux de bonne détection. L'idée de ce projet est que la présence d'une voiture sur une place de parking modifie le champ magnétique sur cette place et ce champ peut être enregistré par des capteurs implantés au sol. La complexité du problème vient du fait

RELATED ACTIVITIES

Some laboratory activities can draw on TeSA expertise in related fields, in response to ad hoc requests, for example from the Cap'tronic programme or from CNES. During the period 2015 to 2016, the laboratory worked on a study to assess the performance of a method for detecting the occupancy of parking spots by means of magnetometric signals to find a way of improving the detection rate. The idea behind this project is that the presence of a car in a parking spot modifies the magnetic field, which can then be recorded by sensors installed in the ground. The complexity of the problem is due to the fact that

que le champ magnétique enregistré par les capteurs magnétométriques est aussi modifié par divers événements comme l'ouverture de portes ou du coffre de la voiture, l'arrivée ou le départ de voitures sur des places adjacentes... Il convient donc de différencier les variations du champ magnétique dues effectivement à l'arrivée ou le départ d'une voiture sur une place de parking de ces évènements annexes. Ce projet effectué pour la société STERELA faisait suite à une étude effectuée en 2012, au cours de laquelle un algorithme de détection avait été proposé par le laboratoire TéSA.

Une autre étude effectuée dans la période 2015-2016 avec la société DE LA BALLINA concernait un problème de pesage dynamique dans une entreprise de pesage de produits congelés. D'un point de vue contextuel, le principe du pesage dynamique repose sur l'estimation de la masse de l'échantillon en temps réel alors qu'il est animé d'une vitesse. Cette technique de pesage est une réponse à des contraintes industrielles fortes de mesure précise pour des conditions ambiantes difficiles induites par un échantillon en mouvement dans un environnement perturbé. Au cours de cette étude, une méthode statistique basée sur la méthode des moindres carrés a été développée et a permis de respecter les contraintes du cahier des charges, à savoir une marge d'erreur inférieure à 0,1 %.

Enfin, certains travaux effectués dans le passé en collaboration avec la société CLS ont permis au laboratoire TéSA d'être un interlocuteur privilégié du CNES pour ses travaux concernant le traitement du signal pour l'altimétrie. Lors de la période concernée, une étude effectuée pour le CNES de Toulouse a porté sur la comparaison de méthodes d'analyse spectrale pour la caractérisation des anomalies associées aux hauteurs de mer.

MÉTHODOLOGIE

Une partie des activités du laboratoire TéSA concerne également les aspects méthodologiques du traitement du signal et des images, avec la volonté de publier les résultats obtenus dans des revues ou conférences du domaine et donc d'accroître la visibilité du laboratoire. Durant la période concernée, une étude autofinancée a porté sur le développement de nouvelles formules de reconstruction pour les signaux échantillonnés non uniformément. Ce travail a été présenté à la conférence ICASSP'15, qui est la conférence de référence en traitement du signal. Les activités dans ce domaine ont également fait l'objet de la thèse de Jean-Adrien Vernhes qui visait à utiliser ces méthodes d'échantillonnage pour un traitement multiutilisateurs s'affranchissant des problèmes de synchronisation.

the magnetic field recorded by the magnetometers is also modified by various events such as the opening of the car doors or boot or the arrival or departure of cars in and from adjacent spots. It is thus necessary to classify and differentiate the variations in the magnetic field which are effectively due to the arrival or departure of a car on a parking spot from these extraneous events. This project carried out for the STERELA company followed on from a study conducted in 2012, during which the TeSA laboratory had proposed a detection algorithm.

Another study conducted during the period 2015-2016 with the DE LA BALLINA company, concerned a dynamic weighing problem in a company that weighs frozen products. From a contextual point of view, the principle of dynamic weighing is based on estimating the mass of a moving sample in real time. This weighing technique is a response to demanding industrial constraints for precise measurement in difficult ambient conditions induced by a moving sample in a perturbed environment. During the study, a statistical method based on the least squares method, was developed and complied with the constraints in the technical specifications, i.e., an error margin of less than 0.1%.

Finally, some past work done in collaboration with the CLS company, enabled the TeSA laboratory to work with CNES on signal processing algorithms for altimetry. During the period concerned, a study done for CNES, focused on a review of spectral analysis methods for characterising sea surface height anomalies.

METHODOLOGY

Part of TeSA laboratory activities also concern the methodological aspects for processing signals and images, with a view to publishing the results obtained in journals or conferences for the field in question and thus increasing the laboratory's reputation. During the period concerned, a self-financed study was devoted to the development of new reconstruction formulas for irregularly sampled signals. This work was presented to the ICASSP'15 conference, which is the most well-known forum for signal processing. The activities in this field were also the subject of a PhD thesis by Jean-Adrien Vernhes, which aimed to use these sampling methods for multi-user processing without having to deal with synchronisation problems.

APPRENTISSAGE STATISTIQUE (*MACHINE LEARNING*)

Fort de son expérience dans le domaine de l'apprentissage statistique (*machine learning*), le laboratoire a débuté durant la période concernée plusieurs activités portant sur la détection d'anomalies, en collaboration avec le CNES de Toulouse. Une première étude a porté sur l'apport des méthodes de fouille de données pour la recherche d'informations pertinentes contenues dans les données issues des systèmes de télécommunication satellitaires (SATCOM). Cette recherche d'information est effectuée dans un but de diagnostic et de prévention de pannes, d'amélioration de la qualité de service et de personnalisation des services utilisateurs.

MACHINE LEARNING

Drawing on its extensive experience in the field of machine learning, the laboratory undertook several activities during the period, concerning the anomaly detection, in collaboration with CNES, Toulouse. A first study focused on the contribution of data mining methods for the extraction of relevant information in telemetric data acquired by satellite telecommunication systems (SATCOM). This data mining is done for the purpose of diagnosing and preventing failures, and to improve the quality and customising of user services.

Liste des thèses soutenues List of defended theses

Garcia Nil, *Méthodes d'optimisation pour la localisation active et passive de cibles*, thèse cofinancée TéSA-NJIT, soutenue le 29/04/2015 - thesis sponsored by TeSA and NJIT, defended on 29/04/2015. En postdoc à Chalmers University.

Prendes Jorge, *New statistical modeling of multi-sensor images with application to change detection*, thèse cofinancée CNES-Supélec, soutenue le 22/10/2015 - thesis sponsored by CNES and Supélec, defended on 22/10/2015. Embauché par MathWorks Cambridge.

Vernhes Jean-Adrien, *Echantillonnage Non Uniforme : Application aux filtrages et aux conversions CAN/CNA (Convertisseurs Analogique-Numérique et Numérique-Analogique) dans les télécommunications par satellite*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 25/01/2016 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 25/01/2016. Embauché par Silicom, puis par Airbus Defence and Space.



Soutenance de thèse de Jorge Prendes, le 22 octobre 2015.
Jorge Prendes PhD defense, October 22, 2015.

Liste des projets

CNES

Support académique sur les activités de localisation et de navigation,
type d'étude : expertise,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec la société M3 Systems pour le CNES.

Data mining bayésien appliqué au contexte des Satcom,
type d'étude : étude métier CNES,
domaine d'application : télécommunications spatiales et aéronautiques.

Détection Estimation conjointe de changements,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : observation de la Terre.

Caractérisation des techniques de levée d'ambiguité de phase,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec la société M3 Systems pour le CNES.

Modélisation spectrale des signaux de Sea Level Anomaly (SLA),
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : observation de la Terre.

Argos sur données avion,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation.

List of projects

CNES

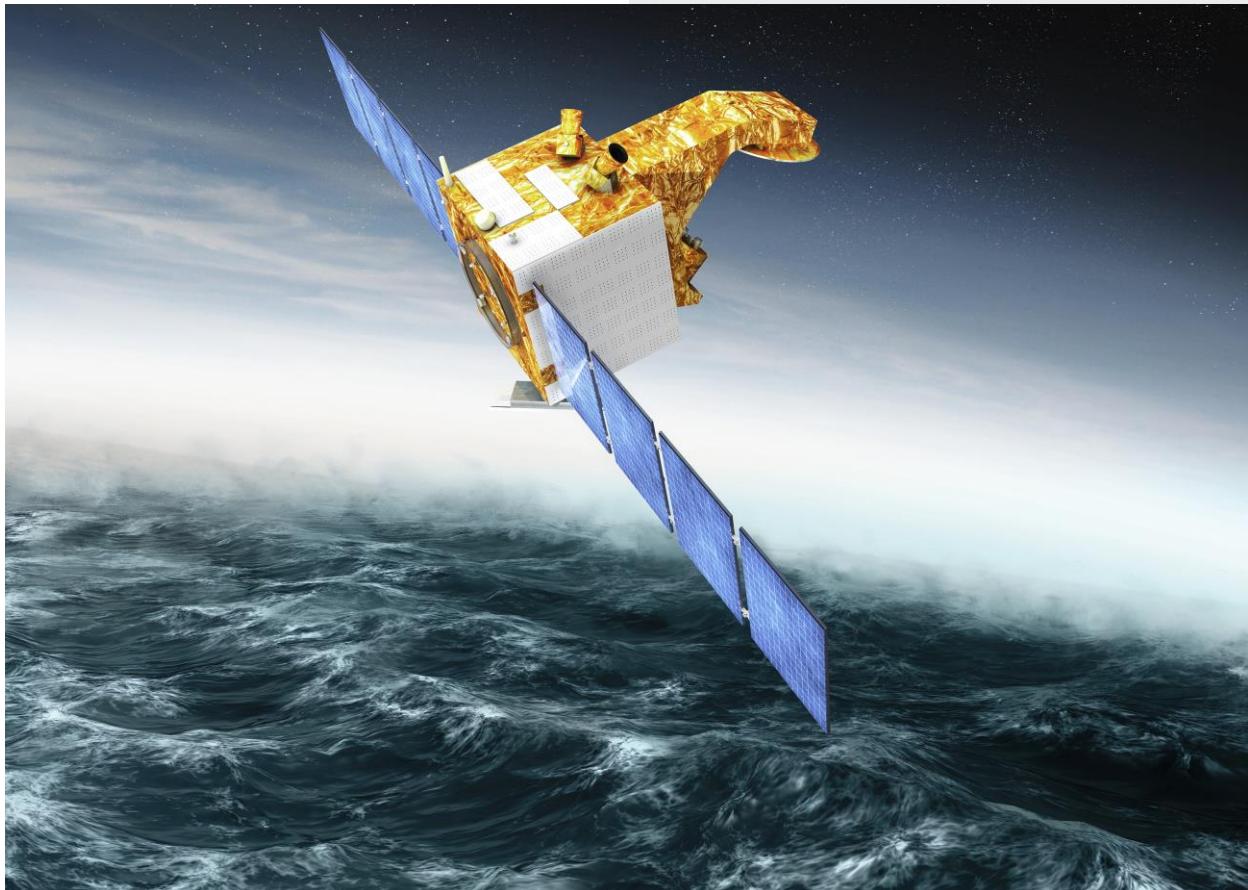
Academic support for positioning and navigation activities,
type of study: expertise,
application field: positioning and navigation,
with the M3 Systems company for CNES.

Bayesian data mining applied in the Satcom context,
type of study: specific study,
application field: space and aeronautical telecommunications.

Joint detection and estimation of changes,
type of study: CNES R&T,
application field: Earth observation.

Characterisation of phase ambiguity resolution techniques,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation,
with the M3 Systems company for CNES.

Spectral modelling of Sea Level Anomaly (SLA) signals,
type of study: applied research,
application field: Earth observation.



Mesure et modélisation du spectre Doppler des signaux sur canal LMS en bande S,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : télécommunications spatiales et aéronautiques,
avec l'ONERA de Toulouse pour le CNES.

Étude des performances de l'USRP et de son utilisation avec GNU Radio,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation.

ROCKWELL COLLINS FRANCE

Étude d'algorithmes de goniométrie 3D,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation.

Étude d'un radar FMCW de surveillance pérимétrique,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation.

Réjection du fouillis de sol et traitement multitrajets sur chaîne de détection d'obstacles,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation.

ÉTUDES EXTERNES (POUR DES NON-MEMBRES DE TÉSA)

Capteurs Radiations Nucléaires (CARANUC),
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec le LAAS de Toulouse.

Support à l'AIS,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec la société CLS de Toulouse.

AIS sur données avion,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec la société CLS de Toulouse.

Retour d'expérience sur un algorithme de supervision de parking,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : localisation et navigation,
avec la société STERELA de Toulouse.

Pesage dynamique,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : systèmes de communications aéronautiques,
avec la société DE LA BALLINA.

ÉTUDES AUTOFINANCIÉES TÉSA

Traitement des signaux AIS,
type d'étude : recherche et expertise,
domaine d'application : localisation et navigation.

Méthodes coopératives des futurs récepteurs de navigation par satellites GNSS pour le positionnement précis en environnements contraints (COPNAV),

Measurement and modelling of Doppler spectrum on S-band LMS channel signals,
type of study: R&T CNES,
application field: space and aeronautical telecommunications,
with ONERA, Toulouse for CNES.

Study of USRP performances and its use with GNU Radio,
type of study: applied research,
field application: positioning and navigation.

ROCKWELL COLLINS FRANCE

Study of 3-D goniometry algorithms,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation.

Study of a perimeter surveillance FMCW radar,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation.

Rejection of ground clutter and multi-path processing in a system for detecting obstacles,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation.

EXTERNAL STUDIES (FOR NON-MEMBERS OF TESA)

Nuclear Radiation Sensors (CARANUC - *Capteurs Radiations Nucléaires*),
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation,
with LAAS, Toulouse.

Support for AIS,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation,
with the CLS company, Toulouse.

AIS with aircraft data,
type of study: applied research,
application field: positioning and navigation,
with the CLS company, Toulouse.

Feedback on a parking supervision algorithm,
type of study: applied research,
field application: positioning and navigation,
with the STERELA company in Toulouse.

Dynamic weighing,
type of study: applied research,
application field: aeronautical communication systems,
with the DE LA BALLINA company.

SELF-FINANCED TESA STUDIES

Processing of AIS signals,
type of study: research and expertise,
application field: positioning and navigation.

Cooperative methods for future GNSS satellite navigation receivers for accurate positioning in constrained environments (COPNAV),

type d'étude : projet sélectionné suite à l'appel à idées TéSA (dans le cadre du Plan Transverse Pluriannuel),
domaine d'application : localisation et navigation.

Échantillonnage non uniforme,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : télécommunications spatiales et aéronautiques.

type of study: selected project from the TeSA call of ideas (part of the *Plan Transverse Pluriannuel*), application field: positioning and navigation.

Non-uniform sampling,
type of study: applied research,
application field: space and aeronautical telecommunications.



Conseil d'administration de TéSA, juin 2016. De gauche à droite : Calixte Champetier (IRT), Corinne Mailhes (INPT), Isabelle Buret (TAS), Franck Durand-Carrier (CNES) et Xavier Barichard (RCF).

Board of Directors of TeSA, June 2016. From left to right: Calixte Champetier (IRT), Corinne Mailhes (INPT), Isabelle Buret (TAS), Franck Durand-Carrier (CNES) and Xavier Barichard (RCF).

Liste des publications et brevets

Publication and patent list

ANNÉE 2016 – YEAR 2016

ARTICLES DE REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED JOURNAL PAPERS

[J.2016.1] Wei Qi, Bioucas Dias José Manuel, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Multi-Band Image Fusion Based on Spectral Unmixing*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, n° 12, pp. 7236-7249, December, 2016.

[J.2016.2] Prendes Jorge, Chabert Marie, Giros Alain, Pascal Frédéric and Tourneret Jean-Yves, *A Bayesian Nonparametric Model Coupled with a Markov Random Field for Change Detection in Heterogeneous Remote Sensing Images*, SIAM Journal on Imaging Sciences (SIIMS), vol. 9, n° 4, pp. 1888-1921, December, 2016.

[J.2016.3] Chaari Lotfi, Tourneret Jean-Yves, Chaux Caroline and Batatia Hadj, *A Hamiltonian Monte Carlo Method for Non-Smooth Energy Sampling*, IEEE Transactions Image Processing, vol. 64, n° 21, pp. 5585-5594, November, 2016.

[J.2016.4] Thouvenin Pierre-Antoine, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Online Unmixing of Multitemporal Hyperspectral Images accounting for Spectral Variability*, IEEE Transactions Image Processing, vol. 25, n° 9, pp. 3979-3990, September, 2016.

[J.2016.5] Wei Qi, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves, Bioucas Dias José Manuel and Godsill Simon, *R-FUSE: Robust Fast Fusion of Multi-Band Images Based on Solving a Sylvester Equation*, IEEE Signal Processing Letters, vol. 23, n° 11, pp. 1632-1636, September, 2016.

[J.2016.6] Lacaze Bernard, *New Indices of Coherence for One and Two-Dimensional Fields*, ArXiv Optics, 1603.02420, September, 2016.

[J.2016.7] Zhao Ningning, Basarab Adrian, Kouamé Denis and Tourneret Jean-Yves, *Joint Segmentation and Deconvolution of Ultrasound Images Using a Hierarchical Bayesian Model Based on Generalized Gaussian Priors*, IEEE Transactions Image Processing, vol. 25, n° 8, pp. 3736-3750, August, 2016.

[J.2016.8] Zhao Ningning, Basarab Adrian, Dobigeon Nicolas, Kouamé Denis and Tourneret Jean-Yves, *Fast Single Image Super-Resolution using a New Analytical Solution for l2-l2 Problems*, IEEE Transactions Image Processing, vol. 25, n° 8, pp. 3683-3697, August, 2016.

[J.2016.9] Halimi Abderrahim, Honeine Paul, Kharouf Malika, Richard Cédric and Tourneret Jean-Yves, *Estimating the Intrinsic Dimension of Hyperspectral Images Using a Noise Whitened EIGEN-GAP Approach*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, n° 16, pp. 3811-3821, July, 2016.

[J.2016.10] Wendt Herwig, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves, Albinet Mathieu, Goldstein Christophe and Karouche Nadia, *Detection and Correction of Glitches in a Multiplexed Multi-channel Data Stream – Application to the MADRAS Instrument*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, n° 5, pp. 2803-2811, May, 2016.

[J.2016.11] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves and Snoussi Hichem, *Bayesian Estimation of Smooth Altimetric Parameters: Application to Conventional and Delay/Doppler Altimetry*, IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing, vol. 54, n° 4, pp. 2207-2219, April, 2016.

[J.2016.12] Pereyra Marcelo Alejandro, Schniter Philip, Chouzenoux Emilie, Pesquet Jean-Christophe, Tourneret Jean-Yves, Hero Alfred and McLaughlin Stephen, *Tutorial on Stochastic Simulation and Optimization Methods in Signal Processing*, IEEE J. sel. Topics Signal Processing, vol. 10, n° 2, pp. 224-241, March, 2016.

[J.2016.13] Lacaze Bernard, *Splitting up an Optical Beam in a Polarized Component Added to an Unpolarized Component*, Journal of Modern Optics, vol. 63, n° 15, pp. 1525-1528, March, 2016.

[J.2016.14] Thouvenin Pierre-Antoine, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Hyperspectral Unmixing with Spectral Variability Using a Perturbed Linear Mixing Model*, IEEE Transactions Signal Processing, vol. 64, n° 2, pp. 525-538, February, 2016.

[J.2016.15] Cheng Cheng, Calmettes Vincent and Tourneret Jean-Yves, *Detecting, Estimating and Correcting Multipath Biases Affecting GNSS Signals Using a Marginalized Likelihood Ratio-Based Method*, Signal Processing, vol. 118, pp. 221-234, January, 2016.

**COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE –
INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS**

[C.2016.1] Mailhes Corinne, Bonacci David, Besson Olivier, Guillot Amandine, Le Gac Sophie, Steunou Nathalie, Cheymol Cécile and Picot Nicolas, *Review of Spectral Analysis Methods Applied to Sea Level Anomaly Signals*, In Proc. Ocean Surface Topography Science Team Meeting (OSTST), La Rochelle, France, Oct. 31 - Nov. 4, 2016.

[C.2016.2] Laval Xavier, Song Guanghan, Li Zhong-Yang, Bellemain Pascal, Lefray Maxime, Martin Nadine, Lebranchu Alexis and Mailhes Corinne, *AStrion Assets for the Detection of a Main Bearing Failure in an Onshore Wind Turbine*, Int. Conf. on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies (CM & MFPT 2016), Paris, France, October 10-12, 2016.

[C.2016.3] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Altmann Yoann, Tourneret Jean-Yves, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *Bayesian Joint Estimation of the Multifractality Parameter of Image Patches Using Gamma Markov Random Field Priors*, In Proc. IEEE Int. Conf. Image Proces. (ICIP), Phoenix, USA, September 25-28, 2016.

[C.2016.4] Manzoni Vieira Fábio, Vincent François, Tourneret Jean-Yves, Bonacci David, Spigai Marc, Ansart Marie and Richard Jacques, *Ship Detection Using SAR and AIS Raw Data for Maritime Surveillance*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Budapest, Hungary, August 29-September 02, 2016.

[C.2016.5] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Altmann Yoann, Tourneret Jean-Yves, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *Bayesian Estimation for the Local Assessment of the Multifractality Parameter of Multivariate Time Series*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Budapest, Hungary, August 29-September 02, 2016.

[C.2016.6] Andersson Frederik, Carlsson Marcus and Wendt Herwig, *On a Fixed-Point Algorithm for Structured Low-Rank Approximation and Estimation of Half-Life Parameters*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Budapest, Hungary, August 29-September 02, 2016.

[C.2016.7] Le Goff Matthieu, Tourneret Jean-Yves, Wendt Herwig, Ortner Mathias and Spigai Marc, *Distributed Boosting for Cloud Detection*, In Proc. IEEE Int. Geoscience Remote Sens. Symp. (IGARSS), Beijing, China, July 10-15, 2016.

[C.2016.8] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Tourneret Jean-Yves, Abry Patrice and McLaughlin Stephen, *Bayesian Multifractal Analysis of Multi-Temporal Images using Smooth Priors*, In Proc. IEEE Workshop Statistical Signal Proces. (SSP), Palma de Mallorca, Spain, June 26-29, 2016.

[C.2016.9] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Tourneret Jean-Yves, Altmann Yoann, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *A Bayesian Approach for the Multifractal Analysis of Spatio-Temporal Data*, In Proc. Int. Conf. Systems, Signals and ImageProces. (IWSSIP), Bratislava, Slovakia, May 23-25, 2016.

[C.2016.10] Sombrin Jacques B., *Higher Dynamic Measurement of Antenna Passive Intermodulation Products, Using Ray Optics*, In Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Suisse, April 10-15, 2016.

[C.2016.11] Vernhes Jean-Adrien, Chabert Marie, Lacaze Bernard, Lesthievent Guy, Baudin Roland and Boucheret Marie-Laure, *Blind Estimation of Unknown Time Delay in Periodic Non-Uniform Sampling : Application to Desynchronized Time Interleaved-ADCS*, In Proc. IEEE Int. Conf. on Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP), Shanghai, Chine, March 20-25, 2016.

[C.2016.12] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Altmann Yoann, Tourneret Jean-Yves, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *A Bayesian Framework for the Multifractal Analysis of Images Using Data Augmentation and a Whittle Approximation*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Proces. (ICASSP), Shanghai, China, March 20-25, 2016.

ANNÉE 2015 – YEAR 2015

ARTICLES DE REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED JOURNAL PAPERS

[J.2015.1] Lacaze Bernard, *Behavior of ultrasounds crossing perfluorocarbon liquids and random propagation times*, Ultrasonics, vol. 63, pp. 130-134, December, 2015.

[J.2015.2] Halimi Abderrahim, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Unsupervised Unmixing of Hyperspectral Images Accounting for Endmember Variability*, IEEE Trans. Image Process., vol. 24, n° 12, pp. 4904-4917, December, 2015.

- [J.2015.3] Lacaze Bernard, *The Stokes decomposition theorem for three-dimensional stationary fields*, Optics Communications, vol. 355, pp. 64–73, November, 2015.
- [J.2015.4] Wei Qi, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Fast Fusion of Multi-Band Images Based on Solving a Sylvester Equation*, IEEE Trans. Image Process., vol. 24, n° 11, pp. 4109-4121, November, 2015.
- [J.2015.5] Gerber Timothée, Mailhes Corinne and Martin Nadine, *Time-frequency tracking of spectral structures estimated by a data-driven method*, IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 62, n°10, pp. 6616-6626, October, 2015.
- [J.2015.6] Chabiron Olivier, Malgouyres François, Tourneret Jean-Yves and Dobigeon Nicolas, *Toward Fast Transform Learning*, Int. J. Comput. Vision, vol. 114, n° 2, pp. 195-216, September, 2015.
- [J.2015.7] Wei Qi, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Bayesian Fusion of Multi-Band Images*, IEEE J. Sel. Topics Signal Process., vol. 9 , n° 6, pp. 1-11, September, 2015.
- [J.2015.8] Song Guanghan, Li Zhong-Yang, Bellemain Pascal, Martin Nadine and Mailhes Corinne, *AStrion Data Validation of Non-Stationary Wind Turbine Signals*, Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring (The Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing), vol. 57, n° 8, pp. 457-463, August 2015.
- [J.2015.9] Li Zhong-Yang, Gerber Timothée, Firla Marcin, Bellemain Pascal, Martin Nadine and Mailhes Corinne, *AStrion Strategy : From Acquisition to Diagnosis. Application to Wind Turbine Monitoring*, Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring (The Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing), vol. 57, n° 8, pp. 442-447, August 2015.
- [J.2015.10] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Bayesian Estimation of the Multifractality Parameter for Image Texture Using a Whittle Approximation*, IEEE Trans. Image Process., vol. 24, n° 8, pp. 2540-2551, August, 2015.
- [J.2015.11] Andersson Frederik, V. de Hoop Maarten and Wendt Herwig, *Multiscale Reverse-Time-Migration-Type Imaging Using the Dyadic Parabolic Decomposition of Phase Space*, SIAM J. on Imaging Sciences (SIIMS), vol. 8, n° 4, pp. 2383-2411, October, 2015.
- [J.2015.12] Wei Qi, Bioucas Dias José Manuel, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Hyperspectral and Multispectral Image Fusion Based on a Sparse Representation*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 53, n° 7, pp. 3658-3667, July, 2015.
- [J.2015.13] Prendes Jorge, Chabert Marie, Pascal Frédéric, Giros Alain and Tourneret Jean-Yves, *A New Multivariate Statistical Model for Change Detection in Images Acquired by Homogeneous and Heterogeneous Sensors*, IEEE Trans. Image Process., vol. 24, no. 3, pp. 799-812, March, 2015.
- [J.2015.14] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Moreau Thomas and Boy François, *Including Antenna Mispointing in a Semi-Analytical Model for Delay/Doppler Altimetry*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 53, no. 2, pp. 598-608, February, 2015.
- [J.2015.15] Bidon Stéphanie and Roche Sébastien, *Variational Bayes Phase Tracking for Correlated Dual-Frequency Measurements with Slow Dynamics*, Signal Processing, vol. 113, pp. 182-194, February, 2015.
- [J.2015.16] Prendes Jorge, Chabert Marie, Pascal Frédéric, Giros Alain and Tourneret Jean-Yves, *Performance Assessment of a Recent Change Detection Method for Homogeneous and Heterogeneous Images*, Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, vol. 209, January, 2015.
- COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS**
- [C.2015.1] Wei Qi, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *FUSE: A Fast Multi-Band Image Fusion Algorithm*, In Proc. sixth International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), Cancun, Mexico, Dec. 13-16, 2015.
- [C.2015.2] Andersson Frederik, Wendt Herwig, Carlsson Marcus and Tourneret Jean-Yves, *A Method for 3D Direction of Arrival Estimation for General Arrays Using Multiple Frequencies*, In Proc. sixth International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), Cancun, Mexico, Dec. 13-16, 2015.
- [C.2015.3] Costa Facundo, Batatia Hadj and Tourneret Jean-Yves, *EEG Source Localization Based on a Structured Sparsity Prior and a Partially Collapsed Gibbs Sampler*, In Proc. sixth International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), Cancun, Mexico, Dec. 13-16, 2015.

[C.2015.4] Kbayer Nabil, Sahmoudi Mohamed and Chaumette Eric, *Robust GNSS Navigation in Urban Environments by Bounding NLOS Bias of GNSS Pseudoranges Using a 3D City Model*, In Proc. Institute Of Navigation (ION GNSS), Tampa, Floride, USA, September 14-18, 2015.

[C.2015.5] Vernhes Jean-Adrien, Chabert Marie, Lacaze Bernard, Lesthievent Guy, Baudin Roland and Boucheret Marie-Laure, *Estimation du retard en échantillonnage périodique non uniforme - Application aux CAN entrelacés désynchronisés*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.6] Garcia Nil, Coulon Martial, Haimovich Alexander M., Dabin Jason A. and Lops Marco, *Localisation directe de cibles multiples par un réseau de capteurs distribués en environnement multi-trajet*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.7] Thouvenin Pierre-Antoine, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Estimation de variabilité pour le démélange non-supervisé d'images hyperspectrales*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.8] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Tourneret Jean-Yves, Dobigeon Nicolas, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *Estimation bayésienne locale du paramètre de multifractalité à l'aide d'un algorithme de Monte Carlo Hamiltonien*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.9] Halimi Abderrahim, Honeine Paul, Kharouf Malika, Richard Cédric and Tourneret Jean-Yves, *Estimation de la Dimension Intrinsèque des Images Hyperspectrales à l'Aide d'un Modèle à Variances Isolées*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.10] Bonacci David and Lacaze Bernard, *Reconstruction et filtrage linéaire avec échantillonnage irrégulier*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.11] Baussard Alexandre and Tourneret Jean-Yves, *Bayesian Parameter Estimation for Asymmetric Power Distributions*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.12] Vincent François, Berranger Matthieu, Chaumette Eric and Beaugendre Guillaume, *Fire-Control Radar Model Laboratory Work*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.13] Chaari Lotfi, Tourneret Jean-Yves and Chaux Caroline, *Sparse Signal Recovery Using a Bernoulli Generalized Gaussian Prior*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.14] Halimi Abderrahim, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves, McLaughlin Stephen and Honeine Paul, *Unmixing Multitemporal Hyperspectral Images Accounting for Endmember Variability*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.15] Thouvenin Pierre-Antoine, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *A Perturbed Linear Mixing Model Accounting for Spectral Variability*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.16] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Tourneret Jean-Yves, Abry Patrice and McLaughlin Stephen, *Bayesian Estimation of the Multifractality Parameter for Images via a Closed-Form Whittle Likelihood*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.17] Imbiriba Tales, Bermudez José, Richard Cédric and Tourneret Jean-Yves, *Band Selection in RKHS for Fast Nonlinear Unmixing of Hyperspectral Images*, In Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31-September 4, 2015.

[C.2015.18] Loncan Laetitia, Almeida Luís Henrique Martins Borges, Bioucas Dias José Manuel, Briottet Xavier, Chanussot Jocelyn, Dobigeon Nicolas, Fabre Sophie, Liao Wenzhi, Licciardi Giorgio Antonino, Simões Miguel, Tourneret Jean-Yves, Veganzones Miguel Angel, Vivone Gemine, Wei Qi and Yokoya Naoto, *Comparison of Nine Hyperspectral Pan-sharpening Methods*, In Proc. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS'15), Milan, Italy, July 26-31, 2015.

[C.2015.19] Chabiron Olivier, Malgouyres François, Tourneret Jean-Yves and Wendt Herwig, *Convolutional Trees for Fast Transform Learning*, In Proc. Signal Processing with Adaptive Sparse Structured Representations Workshop (SPARS'15), Cambridge, England, July 6-9, 2015.

[C.2015.20] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Tourneret Jean-Yves, McLaughlin Stephen and Abry Patrice, *Hyperspectral Image Analysis Using Multifractal Attributed*, In Proc. IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Tokyo, Japan, June 2-5, 2015.

[C.2015.21] Halimi Abderrahim, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves and Honeine Paul, *Hyperspectral Unmixing Accounting for Spatial Correlations and Endmember Variability*, In Proc. IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Tokyo, Japan, June 2-5, 2015.

[C.2015.22] Wei Qi, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Bayesian Fusion of Multispectral and Hyperspectral Images Using a Block Coordinate Descent Method*, In Proc. IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Tokyo, Japan, June 2-5, 2015.

[C.2015.23] Vernhes Jean-Adrien, Chabert Marie, Lacaze Bernard, Lesthievent Guy, Baudin Roland and Boucheret Marie-Laure, *Adaptive Estimation and Compensation of the Time Delay in a Periodic Non-uniform Sampling Scheme*, In Proc. International Conference on Sampling Theory and Applications (SampTA), Washington DC, USA, May 25-29, 2015.

[C.2015.24] Zidane Karine, Lacan Jérôme, Boucheret Marie-Laure, Poulliat Charly, Gineste Mathieu, Roques Damien, Bès Caroline and Deramecourt Arnaud, *Effect of Residual Channel Estimation Errors in Random Access Methods for Satellite Communications*, In Proc. Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, Scotland, May 11-14, 2015.

[C.2015.25] Prendes Jorge, Chabert Marie, Pascal Frédéric, Giros Alain and Tourneret Jean-Yves, *Change Detection for Optical and Radar Images Using a Bayesian Nonparametric Model Coupled with a Markov Random Field*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc. (ICASSP), Brisbane, Australia, April 19-24, 2015.

[C.2015.26] Bonacci David and Lacaze Bernard, *Lowpass/Bandpass Signal Reconstruction and Digital Filtering from Nonuniform Samples*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc. (ICASSP), Brisbane, Australia, April 19-24, 2015.

[C.2015.27] Combrelles Sébastien, Wendt Herwig, Abry Patrice, Dobigeon Nicolas, McLaughlin Stephen and Tourneret Jean-Yves, *A Bayesian Approach for the Joint Estimation of the Multifractality Parameter and Integral Scale Based on the Whittle Approximation*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc. (ICASSP), Brisbane, Australia, April 19-24, 2015.

[C.2015.28] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne and Tourneret Jean-Yves, *Nonlinear Regression Using Smooth Bayesian Estimation*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc. (ICASSP), Brisbane, Australia, April 19-24, 2015.

[C.2015.29] Halimi Abderrahim, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves and Honeine Paul, *Unsupervised Unmixing of Hyperspectral Images Accounting for Endmember Variability*, In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc. (ICASSP), Brisbane, Australia, April 19-24, 2015.

[C.2015.30] Zhao Ningning, Basarab Adrian, Kouamé Denis and Tourneret Jean-Yves, *Joint Bayesian Deconvolution and Point Spread Function Estimation for Ultrasound Imaging*, In Proc. Int. Symp. Biomed. Imaging (ISBI'2015), pp. 235-238, New-York, April 16-19, 2015.

[C.2015.31] Kbayer Nabil, Sahmoudi Mohamed, Chaumette Eric and Chapuis Thierry, *Robust Kalman Filtering for NLOS Mitigation of GNSS Measurements in Urban Environments*, In Proc. European Navigation Conference (ENC), Bordeaux, France, April 7-10, 2015.

Communications numériques

Synthèse des travaux

Les travaux effectués dans le domaine des communications numériques trouvent leurs applications dans les communications par satellite, les communications aéronautiques et les systèmes GNSS.

L'ensemble des travaux réalisés par les membres du laboratoire TéSA dans ce domaine peut être classé en 4 catégories.

NON-LINÉARITÉS EN TÉLÉCOMMUNICATIONS

Le laboratoire apporte une expertise au CNES, à l'IRT, à TAS et à Cobham dans le domaine des non-linéarités. Les non-linéarités actives sont bien connues. Elles perturbent les communications dès que l'enveloppe du signal varie, dans le cas des modulations à haute efficacité spectrale ou lorsque l'on amplifie plusieurs porteuses dans un même amplificateur non linéaire. Le projet avec l'IRT consiste à modéliser un amplificateur non linéaire large bande à partir de mesures à différentes fréquences et puissances et à définir à partir de ce modèle un linéariseur pouvant être implanté sous forme de prédistorsion. Ceci permettrait de faire fonctionner l'amplificateur dans la zone non linéaire où le rendement est plus élevé en corrigeant la non-linéarité.

Les non-linéarités apparaissent aussi à forte puissance dans les circuits passifs qui sont généralement supposés linéaires : filtres, lignes de transmission et antennes. Les études théoriques de ces phénomènes réalisées pour le CNES (variations de la puissance des produits d'intermodulation en fonction de la puissance des signaux et des directions de propagation après réflexion des signaux sur un réflecteur d'antenne non linéaire) se poursuivent avec la définition et le suivi des mesures sur des antennes chez TAS. Les mesures de circulateurs et isolateurs en fonction de la puissance chez Cobham ont confirmé la théorie et ont donné lieu à une première modélisation de non-linéarités qui sera complétée en 2017 par la prise en compte de la mémoire.

MODULATIONS DE TYPE SC-OFDM

Récemment, les nouvelles formes d'ondes de type SC-OFDM (Single Carrier- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ont attiré l'attention de la communauté travaillant sur les communications par satellite. Ces formes d'onde sont des modulations monoporteuses avec traitement fréquentiel au récepteur.

Digital communications

Summary of work

Work carried out in this field has led to applications in satellite communications, aircraft communications and GNSS systems.

All the work conducted by the members of the TéSA laboratory in this field, may be divided into 4 categories.

NON-LINEARITIES IN TELECOMMUNICATIONS

The laboratory makes its expertise in the field of non-linearities available to CNES, the IRT, TAS and Cobham. The active non-linearities are well understood. They perturb communications as soon as the signal envelope varies, in the case of modulations with high spectral efficiency or when several carriers are amplified in the same non-linear amplifier. The project with IRT consists in modelling a broadband non-linear amplifier using measurements acquired at different frequencies with different power levels and then defining from this model a pre-distortion linearizer. This would allow the amplifier to work in the non-linear zone, in which its efficiency is higher.

The non-linearities also occur with high power levels in passive circuits which are generally assumed to be linear: filters, transmission lines and antennas. The theoretical studies of these phenomena, done for CNES (power variations of intermodulation products as a function of the signal power and propagation directions after reflection of the signals from a non-linear antenna reflector) are continuing with the definition and monitoring of measurements on antennas at TAS. Measurements of circulators and isolators for different powers, acquired by Cobham, have confirmed the theory and led to a first modelling of non-linearities which will be completed in 2017 by taking memory into account.

SC-OFDM TYPE MODULATIONS

Recently the new waveforms such as SC-OFDM (Single Carrier Orthogonal Frequency Division Multiplexing) have attracted the attention of the satellite communications' community. These waveforms are single-carrier modulations with frequentiel processing at the receiver end.

Dans une première étude pour le CNES, dans un contexte de bande spectrale partagée, on étudie les performances de certaines modulations avec multiplexage fréquentiel dans un contexte où : (a) le signal est transmis dans la bande occupée, (b) on transmet le signal en utilisant la bande spectrale non occupée (trous spectraux). Pour le premier cas, les performances en termes de rapport signal sur bruit équivalent pour un système partagé avec interférent dans la bande du signal satellite et ce pour un signal de type SC-OFDM ont été évalués. Le but était d'exprimer le rapport signal sur bruit plus interférences de manière analytique en fonction des paramètres systèmes : rapport entre bande du signal satellite et terrestre, rapport de puissance. Comparé à un système monoporteur classique avec implantation temporelle du récepteur en présence d'interféreur dans la bande, les résultats ont montré une plus grande robustesse du système proposé face aux interférences. La deuxième partie a considéré les modulations SC-OFDM et GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) dans le cas (b). Dans ce cadre, il a été montré que la modulation SC-OFDM était plus adaptée que la GFDM car elle ne présentait pas d'interférences intrinsèques au système.

Dans une seconde étude pour l'IRT, un premier axe de travail s'est focalisé sur l'étude d'une proposition de l'IRT pour une nouvelle modulation visant à augmenter les capacités des systèmes satellitaires. Une seconde partie de cette étude a porté sur la définition d'un algorithme réalisant la modulation proposée.

CODAGE CORRECTEUR D'ERREURS

Les codes correcteurs d'erreurs sont un des éléments critiques de la couche physique. L'adaptation de ces codes à des modulations et à des scénarios particuliers a fait l'objet de deux thèses cofinancées par TAS et le CNES et d'une étude R&T CNES.

Le contexte de la thèse de Marion Roudier est celui de la navigation par satellite. Plus particulièrement, un des objectifs est l'amélioration de la démodulation des signaux GNSS en milieux urbains. Une des contributions est une fonction de détection avancée, qui s'adapte au canal de propagation dans lequel l'utilisateur évolue. Ceci améliore considérablement les performances de démodulation, tout en ne modifiant que la partie récepteur du système. De plus, un nouveau codage canal de type LDPC (*Low-Density Parity-Check*) a été optimisé pour la modulation CSK (*Code Shift Keying*), qui est prometteuse dans le monde des signaux de type spectre étalé car elle permet de se débarrasser des limitations en termes de débit de données qu'impliquent les modulations actuelles des signaux de navigation par satellites.

A first study for CNES, on the subject of shared spectral bands, is investigating the performances of certain modulations with frequency multiplexing in different contexts: (a) the signal is transmitted in the occupied band, (b) the signal is transmitted using the unoccupied spectral band (band gaps). For the first case, the performance of an SC-OFDM type signal was evaluated in terms of equivalent signal to noise ratio for a shared system with an interfering signal in the satellite signal band. The aim was to derive the analytical expression of the signal-to-noise ratio plus interferences, as a function of different system parameters such as the ratio between the satellite signal band and the ground-based signal band or the power ratio. When compared with a conventional single-carrier system with a temporal implementation of the receiver and with interferences in the band of interest, the system was shown to be much more robust to the presence of interferences. The second part of the study focused on SC-OFDM and GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) modulations for the second case (b). In this context, it was shown that the SC-OFDM signal was more suitable than the GFDM because there was no intrinsic system interference.

In a second study for the IRT, a first part concerned an IRT proposal devoted to a new modulation allowing the capacity of satellite systems to be increased. A second part of the study was devoted to the design of a processing algorithm adapted to the proposed modulation.

ERROR CORRECTION CODING

Error correction codes are one of the critical elements in the physical layer. The adaptation of these codes to particular modulations and scenarios was the subject of 2 PhD theses co-financed by TAS and CNES and a CNES R&T study.

The PhD thesis of Marion Roudier was related to satellite-based navigation. More specifically, one of the objectives was to improve the demodulation of GNSS signals in urban environments. One of the contributions is an advanced detection function, which adapts to the propagation channel in which the user is evolving. This considerably improves the demodulation performances, while only modifying the receiver part of the system receiver. In addition, a new LDPC (*Low-Density Parity-Check*) type channel coding was optimised for CSK (*Code Shift Keying*) modulations, which is promising for spread spectrum type signals. Indeed, it makes it possible to remove limitations in terms of data throughput, due to current modulations considered in satellite-based navigation systems.

La thèse de Tarik Benaddi propose l'introduction de codes LDPC particuliers pour des modulations à phase continue (CPM). Ce type de modulation est intéressant lorsque le canal de communication comporte une forte non-linéarité et un support spectral limité, en particulier pour la voie aller d'une communication par satellite, lorsque l'on dispose d'un amplificateur par porteuse à bord du satellite, et pour la voie retour où le terminal d'émission travaille à saturation. Une analyse asymptotique et le design d'un schéma Turbo-CPM basé sur des graphes creux ont été proposés. Une étude du récepteur associé comportant les fonctions de démodulation a également été réalisée.

Enfin, une étude R&T a étudié de nouveaux schémas de codage tels que les codes polaires ou les codes spatialement couplés en réalisant une analyse théorique et une spécification de design pour le contexte satellitaire. Outre la mise en œuvre et l'optimisation de ces techniques, cette étude a également considéré l'évaluation de la complexité d'une implantation matérielle pour une partie de ces techniques.

APPROCHES SYSTÈMES

D'autres travaux plus « systèmes », c'est-à-dire intégrant plusieurs composantes de la couche physique, ont également été effectués. Trois études et une thèse peuvent être classées dans cette catégorie.

La thèse de Karine Zidane, financée par TAS et le CNES, concerne les méthodes d'accès aléatoires. Ces méthodes combinent des codes correcteurs d'erreurs particuliers ainsi que des techniques de décodage utilisant des techniques de traitement de signal avancées. Les solutions étudiées dans cette thèse utilisent des techniques d'estimation, de suppression d'interférences et de recombinaison de signaux pour améliorer la méthode d'accès en question. Les résultats de cette thèse permettent d'améliorer significativement des solutions proposées dans le standard DVB-RCS2 (*Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite*).

La première des trois études, financée par TAS, traite de la modélisation analytique ou empirique de l'impact des interférences à recouvrement partiel. Ceci a notamment été réalisé en développant une chaîne de simulation de la couche physique de DVB-S2.

Une autre étude pour le CNES a eu comme objectif de simplifier le choix des paramètres décrivant un système satellitaire avec comme objectif final de minimiser le coût du système par rapport à sa capacité, ce qui revient à minimiser le coût par bit utile.

Tarik Benaddi's PhD thesis introduced specific LDPC codes for continuous phase modulations (CPM). This type of modulation is interesting when the communication channel is affected by a strong non-linearity and a limited spectral support, particularly for the uplink of satellite communications, when there is an amplifier for each carrier onboard the satellite, and for the downlink when the transmitting terminal is working at saturation. An asymptotic analysis and the design of a Turbo-CPM sparse graph-based scheme, were proposed. A study was also made of the corresponding receiver with its demodulation functions.

Finally, an R&T study investigated new coding schemes such as polar codes or spatially coupled codes in the framework of a theoretical analysis and for design specification in the satellite context. In addition to implementing and optimising these techniques, this study also evaluated the complexity of hardware implementation.

SYSTEM APPROACHES

Other, more system-oriented work, i.e., integrating several components of the physical layer, was also conducted. Three studies and one PhD thesis fall into this category.

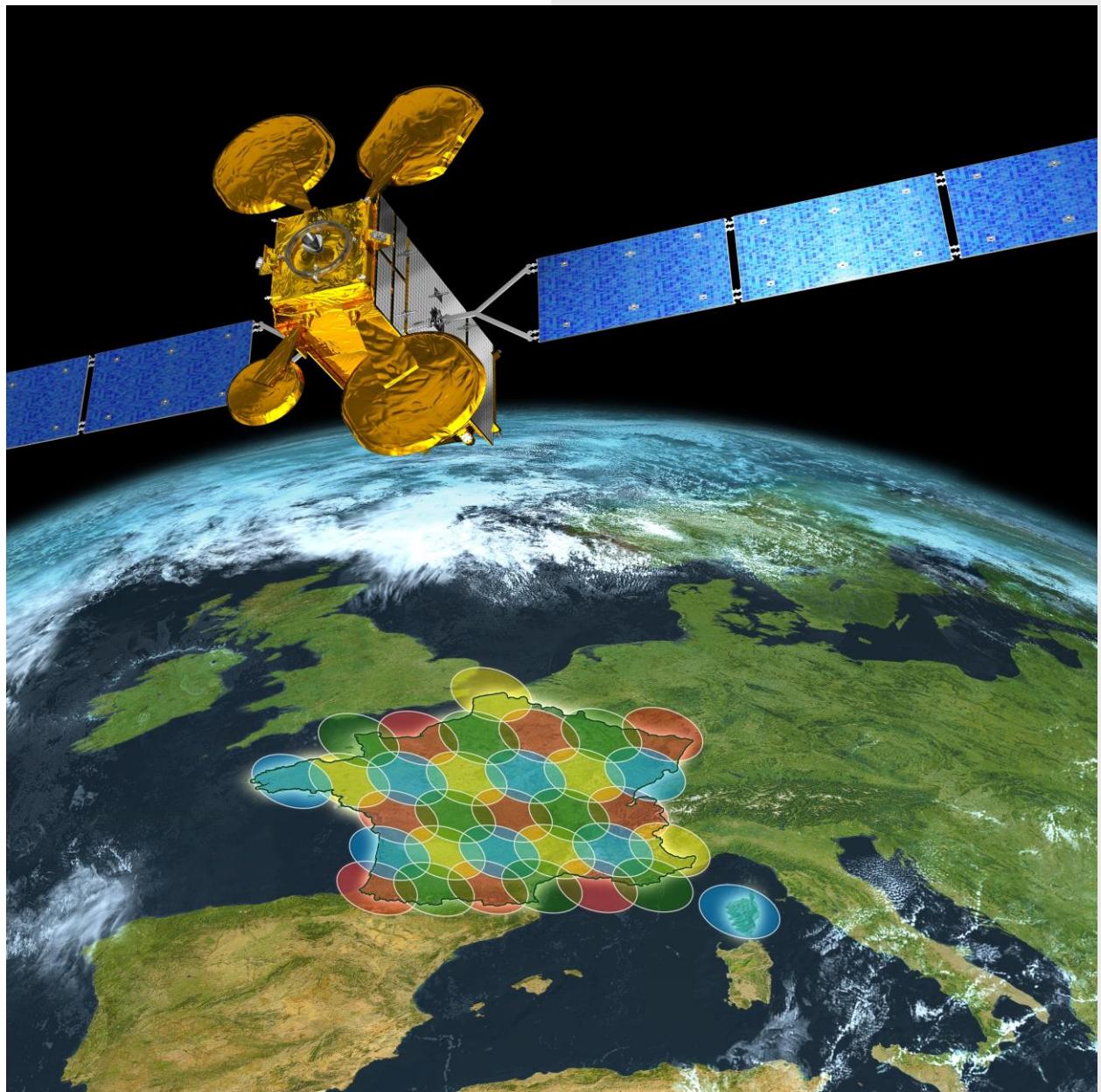
Karine Zidane's PhD thesis, financed by TAS and CNES, is devoted to random access methods. These methods combine specific error correcting codes as well as decoding techniques using advanced signal processing techniques. The solutions investigated in this PhD thesis use techniques for estimating and eliminating interferences and for recombining signals to improve the access methods. The results of this thesis have enabled significant improvement regarding the solutions proposed in the DVB-RCS2 (Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite) standard.

The first of the three studies, financed by TAS, deals with the analytic or empirical modelling of the impact of partially overlapping interference. This was done, in particular, by developing a simulation chain for the physical layer of DVB-S2.

The aim of another study for CNES, was to simplify the choice of parameters describing a satellite system to minimise the cost of the system in relation to its capacity, which reduces to minimising the cost per working bit.

Enfin, la dernière étude « système », également réalisée pour le CNES, traite des communications optiques par satellite. L'objectif a été la réalisation d'un simulateur intégrant des modélisations de haut niveau de chacun des composants d'une couche physique de transmission optique. Ceci a permis un premier dimensionnement des différents paramètres du système.

Finally, the last “system” project, also done for CNES, deals with satellite-based optical communications. The aim was to make a simulator integrating high-level modelling for each of the components of an optical transmission physical layer. This enabled preliminary sizing of the various system parameters.



Liste des thèses soutenues List of defended theses

Roudier Marion, *Analysis and Improvement of GNSS Navigation Message Demodulation Performance in Urban Environments*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 16/01/2015 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 16/01/2015. Embauchée au CNES.

Benaddi Tarik, *Sparse Graph-Based Coding Schemes for Continuous Phase Modulations*, , thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 15/12/2015 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 15/12/2015. Enseignant-chercheur à l'Institut Mines-Télécom.

Ahmad Rami Ali, *Mécanismes de fiabilité bi-directionnels couches basses pour les SATCOM*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 24/06/2016 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 24/06/2016. En postdoc à TéSA, puis embauché par M3 Systems.

Zidane Karine, *Techniques d'amélioration des performances des méthodes d'accès aléatoire synchrones pour les communications par satellite*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 25/11/2016 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 25/11/2016. En postdoc à TéSA, puis à l'ESA.

Liste des projets

CNES

Méthodologie de mesure PIMP (produits d'intermodulations passives) en rayonné avec suppression des porteuses, validation et recalage des modèles,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Comparaison de nouvelles techniques de codage/décodage canal,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Simulateur couche physique optique,
type d'étude : étude métier,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Optimisation capacité – consommation – cout liaison,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Étude de la robustesse du SC-FDMA dans un contexte bande partagée,
type d'étude : projet spécifique,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

THALES ALENIA SPACE

Modèle analytique ou empirique de l'impact des interférences à recouvrement partiel,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

List of projects

CNES

Methodology for measurement of radiated passive intermodulation product (PIMP) with elimination of carriers, validation and recalibration of models,
type of study: R&T CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Comparison of new channel coding/decoding techniques,
type of study: R&T CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Simulator of optical physical layer,
type of study: specific study,
application field: space and aeronautical communication systems.

Optimisation of capacity – consumption – link cost,
type of study: applied research,
application field: space and aeronautical communication systems.

Robustness of SC-FDMA in the context of a shared band,
type of study: specific study,
application field: space and aeronautical communication systems.

THALES ALENIA SPACE

Analytical or empirical model of the impact of partially overlapping interference,
type of study: applied research,
application field: space and aeronautical communication systems.

IRT

ALBS 1 – recherche de méthodes applicables au lot 1,
type d'étude : expertise,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Expertise Non Linéarités,
type d'étude : expertise,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

EW-SC-OFDM,
type d'étude : expertise,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

IRT

ALBS 1 – Proposal of methods applicable to WP 1,
type of study: expertise,
application field: space and aeronautical communication systems.

Non-linearities expertise,
type of study: expertise,
application field: space and aeronautical communication systems.

EW-SC-OFDM,
type of study: expertise,
application field: space and aeronautical communication systems.



Quelques participants des premières Journées scientifiques de TéSA, en juin 2016.
Some participants of the first Science Days of TeSA, June 2016.

Liste des publications et brevets

Publication and patent list

ANNÉE 2016 – YEAR 2016

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS

[C.2016.1] Zidane Karine, Lacan Jérôme, Gineste Mathieu, Bès Caroline, Deramecourt Arnaud and Dervin Mathieu, *Estimation of Timing Offsets and Phase Shifts Between Packet Replicas in MARSALA Random Access*, In Proc. Global Communications Conference (IEEE/GLOBECOM) Washington DC, USA, December 4-8, 2016.

[C.2016.2] Zidane Karine, Lacan Jérôme, Gineste Mathieu, Bès Caroline and Bui Camille, *Enhancement of MARSALA Random Access with Coding Schemes, Power Distributions and Maximum Ratio Combining*, In Proc. 8th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference (ASMS), Palma de Mallorca, Spain, September 5-7, 2016.

ANNÉE 2015 – YEAR 2015

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS

[C.2015.1] Prévost Raoul, Coulon Martial, Bonacci David, Le Maitre Julia, Millerioux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *Utilisation partielle du CRC pour la correction d'erreurs des signaux AIS reçus par satellite*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.2] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Récepteur exact pour la décomposition de Laurent pour les CPM*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 8-11, 2015.

[C.2015.3] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Ensemble Weight Enumerators for photographs : a Proof of ABU SURRA'S Conjecture and a Continuous Relaxation for a Faster Enumeration*, In Proc. International Symposium on Information Theory (ISIT), Hong Kong, June 14-19, 2015.

[C.2015.4] Tran Thai Tuan, Chaganti Vasanta G., Lochin Emmanuel, Lacan Jérôme, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *Enabling E2E Reliable Communications with Adaptive re-Encoding over Delay Tolerant Networks*, In Proc. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC), London, England, June 8-12, 2015.

[C.2015.5] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Photograph-Based LDPC Convolutional Codes for Continuous Phase Modulation*, In Proc. International Conference on Communications (ICC), London, U.K., June 8-12, 2015.

[C.2015.6] Ali Ahmad Rami, Lacan Jérôme, Arnal Fabrice, Gineste Mathieu and Clarac Laurence, *Enhanced HARQ for Delay Tolerant Services in Mobile Satellite Communications*, In Proc. The Seventh International Conference on Advances in Satellite and Space Communications (SPACOMM), Barcelona, Spain, April 19-24, 2015.

[C.2015.7] Ali Ahmad Rami, Lacan Jérôme, Arnal Fabrice, Gineste Mathieu and Clarac Laurence, *Enhancing Satellite System Throughput Using Adaptive HARQ for Delay Tolerant Services in Mobile Communications*, In Proc. Wireless Telecommunications Symposium WTS 2015, NYC, USA, April 15-17, 2015.

BREVETS – PATENTS

[B.2015.1] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Procédé de Génération d'un Banc de Filtres pour la Réception d'un Signal Modulé par une Modulation à Phase Continue, basé sur une Décomposition de Laurent*, 069367 FR PHA/MGU — 069181 US PHA/MGU - 069181 CA PHA/MGU.

Réseaux

L'utilisation d'un lien satellite pour des communications en mode paquet était déjà largement actée dans la précédente édition de ce rapport d'activité. En toute logique, les activités menées sur cette période renforcent cette tendance. Les travaux menés au travers des études et en partie au travers des thèses s'orientent désormais vers la mise en œuvre de techniques réseau de moins en moins spécifiques au monde satellite. Une telle évolution avait déjà été aperçue avec la thèse de Renaud Sallantin. En effet, si les propositions faites dans le cadre de cette thèse puisaient leurs motivations dans la recherche de performances du transport sur un lien satellite, elles ont largement montré leur pertinence dans un cadre plus général.

Networking

Research on the use of a satellite communications link using data packets was covered quite extensively in the previous edition of this activity report. Naturally, the research activities during the period covered by this report, reinforced this trend. The activities conducted in studies and partly in PhD theses, have now shifted towards the implementation of networking techniques that are less and less specific to the satellites. Renaud Sallantin had already mentioned this evolution in his PhD thesis. Indeed, while the proposals made in his thesis aimed to improve performance of conveying data via a satellite link, they have clearly proven their relevance in a more general framework.



Bienvenue à TéSA en 2015.
Welcome to TeSA in 2015.

Parallèlement à cette « montée dans les couches » des travaux de TéSA, les activités réseau historiques perdurent et capitalisent sur les compétences acquises au fil des années. Ainsi des travaux liés à la gestion des ressources et à la qualité de service se focalisent toujours sur la couche accès au gré des évolutions des couches physiques. Ces travaux sont plus particulièrement menés dans le cadre des thèses, même si certaines études y sont également dédiées.

Synthèse des travaux

Nous pouvons donc décrire les travaux menés sur cette période en fonction des thématiques abordées, ce qui permet d'entrevoir l'évolution vers des problématiques plus générales aux réseaux IP évoqués précédemment.

GESTION DE RESSOURCES

Un des piliers forts (et historiques) de l'activité de TéSA dans le domaine réseau est sans conteste celui de la gestion des ressources. Elle se décline sans surprise selon deux axes traditionnels que sont les méthodes d'accès et l'ordonnancement.

Sur le premier axe, l'étude R&T CNES sur l'adaptation dynamique des accès à contention vise à analyser finement les performances des méthodes d'accès hybrides composées d'un accès à contention (basées sur des techniques dérivées de CRDSA (*Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA*) et d'un accès DAMA (*Dynamic Allocation Multiple Access*)). Le deuxième objectif est de proposer des algorithmes d'aiguillage des trames vers les deux types d'accès de façon à équilibrer la charge ou à optimiser le fonctionnement global de la méthode hybride. Il s'agit enfin de construire un modèle de simulation intégré à l'outil SMACSat (*System and MAC Satellite Simulator*), sous NS-2, de cette méthode et de valider les résultats de ce modèle. Un autre objectif est de proposer des optimisations possibles de cette méthode. Les critères de performance sont le débit réalisé, les taux de pertes et le taux d'utilisation des ressources radio.

La thèse de Guillaume Artero Gallardo relève également de ce premier axe. Face au constat de la sous-utilisation de certaines bandes de fréquences dans un spectre globalement surchargé, des techniques de reutilisation dynamique du spectre ont vu le jour sous la dénomination de radio cognitive. Il s'agit alors de tester la disponibilité du support afin de ne pas gêner les communications prévues dans ces bandes (celles des utilisateurs dits primaires) et de les partager de manière opportuniste et efficace. Un premier apport de cette thèse concerne le contrôle d'admission face à l'inadéquation des techniques proposées. Face au problème du routage dans ce contexte, une

While TeSA's research is focusing increasingly on higher physical layers, its historical networking activities are continuing and drawing on the professional skills acquired over the years. For instance, the work related to the management of resources and quality of service is still focusing on the access layer in agreement with evolutions in the physical layers. This work has mostly been conducted within PhD theses, even though it has been the subject of some other studies.

Summary of work

We may thus describe the work done during this period according to the different topics, which enables us to see how our research is moving towards more general issues concerning the IP networks mentioned previously.

RESOURCE MANAGEMENT

One of the main historical activities of TeSA in the field of networking is without a doubt that of resource management. Obviously, it is divided into two traditional research fields, access methods and scheduling.

In the first field, a CNES R&T on dynamic adaptation of contention accesses study tries to analyse precisely the performances of hybrid access methods consisting of a contention access, based on the techniques derived from Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA (CRDSA) and a Dynamic Allocation Multiple Access (DAMA). The second objective is to propose algorithms for assigning frames to two types of access in order to balance the load or to optimise the overall behaviour of the hybrid method. Finally, the aim is to develop a simulation model integrated in the SMACSat (System and MAC Satellite Simulator) tool, under NS-2, used for this method and to validate the results of this model. Another objective is to propose possible optimisations of this method. The performance criteria are the throughput achieved, the loss rates and the rate of use of radio resources.

Guillaume Artero Gallardo's PhD thesis also falls into this first research field. Given the underuse of some frequency bands in a spectrum which on the whole is overloaded, techniques for dynamic reuse of the spectrum have emerged under the name of "cognitive radio". The aim is to test the availability of the channel in order not to perturb the communications planned for these bands (those of so-called primary users) and to share them in a way that is opportunistic and efficient. A first contribution of this thesis concerns controlling admission given the inadequacy of proposed techniques. Given the problem of routing in this context, a new metric has been proposed and the need for source routing has been highlighted through experiments performed in an actual environment.

nouvelle métrique a été proposée, et la nécessité d'un routage par la source a été mise en évidence au travers d'expérimentations réalisées en environnement réel.

Dans le second axe, la thèse de Jean-Baptiste Dupé s'intéresse au problème de l'ordonnancement et de l'allocation de ressources, dans le but de fournir un service (de type IP) comparable aux réseaux terrestres. Une architecture d'ordonnanceur pour la voie aller a alors été définie, reposant sur des fonctions d'utilité, permettant ainsi une formulation simple du compromis entre demande et capacité. Ces travaux montrent comment cet algorithme pourrait être utilisable dans un système complet, à travers une implantation détaillée, de faible complexité, ainsi que des simulations de cas réels. En ce qui concerne la voie retour, une méthode d'allocation de ressources est également proposée prenant en compte de manière conjointe la qualité de service et la qualité du support pour délivrer une allocation à la fois conforme et performante. Les simulations montrent que cet algorithme obtient une efficacité et une gestion du trafic meilleure que des solutions de référence présentées dans la littérature.

In the second category, Jean-Baptiste Dupé's PhD thesis focusses on the issue of scheduling and resource allocation, for the purpose of providing an IP type service, comparable to terrestrial networks. A scheduler architecture for the uplink has then been defined, based on current applications, thus enabling an easy trade-off between demand and capacity. The work shows how this algorithm could be used in a complete system, through a detailed, fairly simple installation, as well as simulations of actual cases. As far as the return link is concerned, a method for allocating resources has also been proposed, while combining quality of service and quality of the channel, in order to provide an allocation which is both compliant and efficient. Simulations have shown that this algorithm leads to more efficient and better traffic management than the most well-known solutions described in the literature.



TRANSPORT

Les protocoles de transport terrestres voient leurs performances sensiblement dégradées dans un environnement satellite, du fait de leur dépendance forte au temps d'aller-retour. TéSA mène dans ce domaine des travaux depuis plusieurs années, et son expertise en ce domaine est forte.

L'étude en collaboration avec TAS sur les PEP (*Performance Enhancement Proxies*) et le TCP (*Transmission Control Protocol*) associé se place dans ce domaine et s'intègre dans le cadre du développement de la ligne de produits Space Gate TAS, une fonctionnalité de PEP-TCP. L'objectif du PEP est l'accélération des flux TCP vus de bout en bout entre les serveurs et clients afin d'améliorer les performances rendues par le lien satellite, ainsi que la qualité d'expérience utilisateur. L'objectif est de déterminer des seuils de remplissage des mémoires tampons qui permettent une réaction adéquate et stable aux phénomènes de congestion.

La R&T CNES sur l'évolution du PEP satellite pour TCP propose une étude plus large et vise à analyser les évolutions des protocoles de transport qui pourront être mises à profit sur un lien satellite. De telles évolutions devront en particulier permettre d'améliorer les PEPs, voire, à terme, de les supprimer. En effet, dans le monde terrestre, des progrès considérables ont été réalisés ; outre les nombreuses extensions et options, les versions les plus récentes de TCP (Compound, Cubic) sont souvent citées comme des avancées notoires. De plus, l'avènement de solutions de *multihoming* adaptées à des scénarios hybrides, les nouveaux développements en cours d'expérimentation (QUIC, SPDY, ...) ainsi que de la recherche plus amont (approche REMY du MIT, Initial Spreading (proposé dans le cadre d'une thèse TéSA passée), et les nombreuses approches proposées dans le cadre « Future Internet » montrent clairement que l'ensemble de la couche transport est amenée à évoluer plus ou moins radicalement.

La thèse de Trang Si Quoc Viet se place également dans cet axe, mais avec une approche sensiblement différente. Il n'est plus question ici de chercher à optimiser les performances d'un protocole de transport pour des applications exigeantes, mais au contraire de limiter la consommation de ressources pour des applications peu gourmandes. L'effet de bord attendu est naturellement que les ressources ainsi libérées soient consacrées efficacement à des applications exigeantes. Le choix fait ici est alors de proposer une solution de bout en bout, donc implantée au niveau transport. Ces travaux montrent que la solution LEDBAT proposée par l'IETF présente des défauts (iniquité, forte dépendance aux conditions réseau...). Une

TRANSPORT

The performances of terrestrial transport protocols are significantly degraded in a satellite environment, due to the strong dependence on the round-trip time. TeSA has been doing research in this field for several years and has acquired a great deal of expertise.

A study in collaboration with TAS on the Performance Enhancement Proxies (PEP) and on the associated Transmission Control Protocol (TCP) falls into this field and has been integrated into the development of the TAS Space Gate product as a functionality of PEP-TCP. The aim of PEP is to accelerate TCP end-to-end flows between servers and clients in order to improve the performances of the satellite link, as well as the quality of the users' experience. The objective is to determine the buffer filling thresholds that enable an adequate and stable response to congestion phenomena.

A CNES R&T on the evolution of satellite PEP for TCP proposes a much wider study that aims to analyse the new versions of transport protocols which could be used advantageously on a satellite link. Such evolutions should in fact make it possible to improve the PEPs, or ultimately, to eliminate them. Indeed, in terrestrial networks, considerable progress has been achieved; in addition to the numerous extensions and options, the most recent versions of TCP (Compound, Cubic) are often quoted as being significant breakthroughs. In addition, the arrival of multi-homing solutions adapted to hybrid scenarios, new experimental developments (QUIC, SPDY, etc.) as well as more upstream research (MIT's REMY approach, Initial Spreading proposed in a past TeSA PhD thesis) and the numerous approaches proposed in the "Future Internet" framework clearly show that the whole of the transport layer is destined to evolve more or less radically.

Trang Si Quoc Viet's PhD thesis also falls into this category, but with a markedly different approach. The objective of this thesis is no longer to try and optimise the performances of a transport protocol for demanding applications, but on the contrary, to limit the consumption of resources for less greedy applications. The expected side effect is naturally that the resources thus freed up would be efficiently devoted to demanding applications. The choice made in this thesis is thus to propose an end-to-end solution which would be installed at the transport level. These works show that the LEDBAT solution, proposed by the IETF, has defects (unfairness, strong dependency on network conditions, etc.). A solution based on a fuzzy logic approach was then proposed and its efficiency under conditions which cause problems with LEDBAT, was demonstrated.

solution fondée sur une approche à base de logique floue est alors proposée et son efficacité dans des conditions qui mettent LEDBAT en défaut est montrée.

RÉSEAUX IP

Les travaux décrits ici ont pour caractéristiques d'être pertinents et parfaitement applicables dans un contexte réseau général. Naturellement, le cadre d'application de ces études intègre un lien satellite, mais l'essentiel de ces travaux peut être transposé dans un cadre plus général.

Ainsi l'étude R&T CNES sur les CDN (*Content Delivery Networks*) par satellite vise à étudier la pertinence dans un réseau intégrant un lien satellite des techniques de cache traditionnellement utilisées dans les CDN. L'extension d'un CDN existant par un système satellite peut être déclinée en fonction du positionnement du satellite dans cedit CDN : en accès, en *backhaul* ou en *backbone*. Cette étude a donc mis en relation les besoins d'un CDN et le positionnement du satellite. Trois scénarios ont ainsi été définis et des architectures permettant de positionner efficacement les caches ont été proposées. De tels résultats permettent d'améliorer la QoE (*Quality of Experience*) perçue par l'utilisateur dans un réseau où une telle amélioration est pertinente.

L'étude R&T CNES sur la cryptographie asymétrique vise à étudier la faisabilité de l'utilisation de la cryptographie à clé publique pour la gestion des clés utilisées dans la liaison montante (de télécommande) et la liaison descendante correspondant à des instruments d'observation (de télémesure de charge utile) quand celle-ci est disponible à des utilisateurs contre une souscription (Meteosat, etc.). La cryptographie symétrique permet en effet de chiffrer rapidement les communications mais présente de nombreux problèmes (distribuer une même clé à de nombreux terminaux ; impossibilité de récupération en cas de compromission totale des clés ; injection tardive des clés dans le satellite...) De nombreux documents, standards et algorithmes existent, mais les coûts engendrés et les meilleurs choix réalisables dans le monde satellitaire sont trop peu étudiés. Cette étude s'est donc principalement appuyée sur les standards du NIST (SP 800 56A et B) et sur Green Book du CSDS : « Space Missions Key Management Concept ». Un protocole de renouvellement de clés de type mKEM-DEM adapté au monde satellitaire a été proposé, et le goulot d'étranglement sur le temps de renvoi des ACKs sur la liaison descendante a été mis en évidence.

TéSA est aussi présent dans le réseau d'excellence SatNEx et a travaillé dans SatNEx IV, financé par l'Agence Spatiale Européenne. L'objectif de ce projet était d'étudier les impacts d'une approche

IP NETWORKS

What should be noted about the work described here is that it is relevant and perfectly applicable in a general network context. Naturally the sphere of application of these studies integrates a satellite link, but most of this work can be transposed into a more general framework.

Thus, the CNES R&T study on Content Delivery Networks (CDN) by satellite investigates the relevance of cache techniques, traditionally used in CDNs in a network integrating a satellite link. The extension of an existing CDN by a satellite system may be declined according to the position of the satellite in this CDN: for access, backhaul or backbone. This study has thus related the needs of a CDN to the positioning of the satellite in the network. Three scenarios were thus defined and architectures proposed for efficiently positioning the caches. Such results make it possible to improve the users' quality of experience (QoE) in a network in which such an improvement is relevant.

The CNES R&T study on asymmetric cryptography aims to study the feasibility of using public key cryptography for managing keys used in the uplink (telecommand) and the corresponding downlink, for observation instruments (payload telemetry) when these are available to subscribing users (Meteosat, etc.). Symmetrical cryptography makes it possible to rapidly cipher communications but involves several problems (distributing the same key to several terminals; impossibility of retrieval in case of total compromising of keys; late injection of keys in the satellite, etc.). There are several documents, standards and algorithms, but the resulting costs and the best choices available in the satellite world have not been studied adequately. This study was thus mainly based on the NIST standards (SP 800 56A and B) and on the CSDS Green Book: "Space Missions Key Management Concept". A protocol for renewing mKEM-DEM type keys, adapted to the satellite world, was proposed and the time bottleneck for returning ACKs on the downlink, was highlighted.

TeSA is also present within the SATellite Networks of Experts (SatNEx) and involved in SatNEx IV project, funded by the European Space Agency. The objective of the project is to study the impacts of an ICN (*Information-centric networking*) approach in an IoT (*Internet of Things*) context for a network integrating a satellite link. It focuses both on defining an architecture which could take advantage both of the ICN approach and of the satellite link, but also on the consequences of IoT traffic on access methods. The aim is thus to propose an architecture which could take

ICN (*Information-centric networking*) dans un contexte IoT (*Internet of Things*) pour un réseau intégrant un lien satellite. On s'y intéresse à la fois à la définition d'une architecture permettant de tirer profit à la fois de l'approche ICN et de la présence d'un lien satellite, mais également aux conséquences des trafics IoT sur les méthodes d'accès. Il s'agit donc de proposer une architecture permettant de profiter de l'approche ICN pour acheminer du trafic IoT dans un réseau satellite. Dans le cadre de cette architecture, les contraintes induites par du trafic IoT doivent être analysées, ainsi que les besoins de ces trafics, de sorte à identifier et dimensionner les méthodes d'accès les plus appropriées. Pour cela, des scénarios d'application type ont été décrits.

L'étude R&T CNES sur le partage de charge et rerouting dynamique se place dans un contexte d'hybridation de réseaux. L'utilisation de plusieurs liens est en effet aujourd'hui une pratique courante. Elle peut avoir comme corolaires le « *multi-homing* », l'itinérance, ou encore l'opportunité de réaliser du partage de charge. L'objet de cette étude a été de faire un état de l'art des différentes techniques envisageables dans un tel scénario, depuis les couches les plus basses (metro ethernet ; MPLS, Bonding DVB...) en passant par le transport (MPTCP...), jusqu'aux couches applicatives. Les algorithmes de partage de charge sont également analysés. Les liens satellite sont au cœur de cette étude, car ils se prêtent parfaitement à un tel partage et leurs caractéristiques propres nécessitent une attention particulière. Des scénarios qui les intègrent sont donc plus spécifiquement analysés.

advantage of the ICN approach for conveying IoT traffic in a satellite network. In the framework of this architecture, the constraints induced by the IoT traffic must be analysed, as well as the needs of this traffic, in order to identify and size the most suitable access methods. For this purpose, application type scenarios have been described.

A CNES R&T study on load sharing and dynamic rerouting, falls into a context of network hybridisation. The use of several links is in fact now widespread. Its corollaries might be “*multi-homing*”, itinerancy, or again the opportunity of load sharing. The objective of the study was to review the state-of-the-art of the various possible techniques in such a scenario, from the lowest layers (ethernet metro; MPLS, Bonding DVB, etc.) including the transport (MPTCP, etc.) up to the application layers. The load sharing algorithms were also analysed. The study focuses on satellite links, since they are perfect for such sharing and their intrinsic characteristics require particular care. The scenarios which integrate them are thus analysed in more detail.

Liste des thèses soutenues List of defended theses

Artero Gallardo Guillaume, *Qualité de service dans des environnements réseaux mobiles, contraints et hétérogènes.* Thèse CIFRE, financée par RCF, soutenue le 02/03/2015 - thesis sponsored by RCF, defended on 02/03/2015. Postdoc à l'ENS de Lyon puis embauché comme ingénieur de recherche chez Sysoco Group.

Dupé Jean-Baptiste, *Ordonnancement et gestion des ressources pour un système de Télécommunications haut débit : Optimisation de la bande passante satellite.* Thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 01/10/2015 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 01/10/2015. Embauché au CNES.

Trang Si Quoc Viet, *FLOWER, an Innovative Fuzzy Lower-than-Best-Effort Transport Protocol.* Thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 03/12/2015 - thesis sponsored by CNES and TAS, defended on 03/12/2015. Embauché chez Symbiosis Technologies, puis chez IRATEN Solutions.

Liste des projets

CNES

Faisabilité de la cryptographie asymétrique,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Évolution du PEP satellite pour TCP,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

CDN par satellite,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Adaptation dynamique des accès à contention et de la demande,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

Partage de charge et rerouting dynamique,
type d'étude : R&T CNES,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

THALES ALENIA SPACE

Optimisation de pile TCP pour PEP,
type d'étude : recherche appliquée,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques.

ÉTUDES EXTERNES (POUR DES NON-MEMBRES DE TÉSA)

SATNEX IV - WI 5 – Impact of Future ICN Traffic on Multiple Access Schemes,
type d'étude : expertise,
domaine d'application : systèmes de communication spatiaux et aéronautiques, avec l'ESA.

List of projects

CNES

Feasibility of asymmetric cryptography,
type of study: RT CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Evolution of satellite PEP for TCP,
type of study: RT CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Satellite CDN,
type of study: RT CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Dynamic adaptation of contention access and demand,
type of study: RT CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

Load sharing and dynamic rerouting,
type of study: RT CNES,
application field: space and aeronautical communication systems.

THALES ALENIA SPACE

Optimisation of TCP stack for PEP,
type of study: applied research,
application field: space and aeronautical communication systems.

EXTERNAL STUDIES (FOR NON-MEMBERS OF TÉSA)

SATNEX IV - WI 5 - Impact of Future ICN Traffic on Multiple Access Schemes,
type of study: expertise,
application field: space and aeronautical communication systems,
with ESA.

Liste des publications et brevets Publication and patent list

ANNÉE 2016 – YEAR 2016

ARTICLES DE REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED JOURNAL PAPERS

[J.2016.1] Trang Si Quoc Viet and Lochin Emmanuel, *FLOWER, an Innovative Fuzzy Lower-than-Best-Effort Transport Protocol*, Computer Networks, vol 110, pp. 18-30, December, 2016.

[J.2016.2] Asselin Éric, Aguilar Melchor Carlos and Jakllari Gentian, *Anomaly Detection for Web Server Log Reduction: a Simple yet Efficient Crawling Based Approach*, IEEE Communications and Network Security (CNS), pp. 586-590, October, 2016.

[J.2016.3] Sallantin Renaud, Baudoin Cédric, Chaput Emmanuel, Arnal Fabrice, Dubois Emmanuel and Beylot André-Luc, *An End-to-End Alternative to TCP PEPs : Initial Spreading, a TCP Fast Start-up Mechanism*, International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 34, Issue 1, pp. 75-91, January/February 2016.

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS

[C.2016.1] Bouttier Elie, Dhaou Riadh, Arnal Fabrice, Baudoin Cédric, Dubois Emmanuel and Beylot André-Luc, *Analysis of Content Size Based Routing Schemes in Hybrid Satellite / Terrestrial Networks*, In Proc. Global Communications Conference (IEEE/GLOBECOM) Washington DC, USA, December 4-8, 2016.

[C.2016.2] Raveneau Patrice, Chaput Emmanuel, Dhaou Riadh and Beylot André-Luc, *A Multi-Level FREAK DTN: Taking Care of Disconnected Nodes in the IoT*, In Proc. Network of the Future (NoF), Buzios, Rio de Janeiro, Brazil, November 1-4, 2016.

[C.2016.3] Sallantin Renaud, Baudoin Cédric, Chaput Emmanuel, Arnal Fabrice, Dubois Emmanuel and Beylot André-Luc, *Reducing Web Latency through TCP IW : Be Smart*, In Proc. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC), Kuala Lumpur, Malaysia, May 23-27, 2016.

[C.2016.4] Tantayakul Kuljaree, Dhaou Riadh and Paillassa Béatrice, *Impact of SDN on Mobility Management*, In Proc. Advanced Information Networking and Applications (AINA), Crans-Montana, Switzerland, March 23-25, 2016.

ANNÉE 2015 – YEAR 2015

ARTICLES DE REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED JOURNAL PAPERS

[J.2015.1] Diana Rémi, Lochin Emmanuel, Franck Laurent, Baudoin Cédric, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *DTN routing for quasi-deterministic networks with application to LEO constellations*, International Journal of Satellite Communications and Networking, pp. 1-18, November, 2015.

[J.2015.2] Kuhn Nicolas, Mehani Olivier, Bui Huyen-Chi, Lochin Emmanuel, Lacan Jérôme, Radzik José and Boreli Roksana, *Improving web experience on DVB-RCS2 links*, Annals of Telecommunications, pp. 1-20, September, 2015.

[J.2015.3] Dhaou Riadh, Franck Laurent, Halchin Alexandra, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *Gateway Selection Optimization in Hybrid MANET-Satellite Network*, Wireless and Satellite Systems, Springer International Publishing, pp. 331-344, July, 2015.

[J.2015.4] Dhaou Riadh, Ben El Kezadri Ryad, Arnal Fabrice, Fasson Julien, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *OHRM: A 802.21 Based Scheme to Optimize Handover and Resource Management in Hybrid Satellite-Terrestrial Networks*, International Journal of Satellite Communications and Networking, Volume 32, Issue 1/2014, ISSN 1542-0973, pp. 1-23, March, 2015.

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX OU NATIONAUX À COMITÉ DE LECTURE – INTERNATIONAL OR NATIONAL PEER-REVIEWED CONFERENCE PAPERS

[C.2015.1] Artero Gallardo Guillaume, Krieg Jean-Gabriel, Jakllari Gentian, Canourgues Lucile and Beylot André-Luc, *COExiST: Revisiting Transmission Count for Cognitive Radio Networks*, In Proc. 18th ACM International

Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), Cancun, Mexico, November 2-6, 2015.

[C.2015.2] Trang Si Quoc Viet, Lochin Emmanuel, Baudoïn Cédric, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *FLOWER – Fuzzy Lower-than-Best-Effort Transport Protocol*, In Proc. the 40th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Clearwater Beach, Florida, United States, October 26-29, 2015.



Bienvenue à TéSA en 2016.
Welcome to TeSA in 2016.

Vie du laboratoire

Les séminaires TéSA

L'année 2015 a été l'occasion pour le Conseil Scientifique de lancer l'organisation de séminaires à TéSA. Des séminaires scientifiques sont ainsi proposés au cours de l'année, au rythme de trois par an, organisés par le représentant des doctorants de TéSA, en concertation avec le Conseil Scientifique. Ces tutoriels multidisciplinaires ont pour objectif premier de présenter les travaux de recherche des doctorants TéSA aux chercheurs de la communauté TéSA, qu'ils soient experts en traitement du signal et des images, en communications numériques ou en réseaux. Ainsi sur une plage horaire de deux heures s'effectuent deux présentations dans des domaines de recherche différents. Chaque doctorant dispose alors de 30 à 40 minutes pour exposer ses travaux puis des échanges et des questions avec l'assemblée viennent clore la présentation. Les résumés et présentations des séminaires sont ensuite accessibles sur le site du TéSA. Même si la priorité est donnée à des présentations faites par les doctorants, ces séminaires peuvent aussi l'occasion pour des « séniors » de présenter leurs activités de recherche.

En 2015 et 2016, six séminaires ont été organisés :

- Mars 2015 :
 - **TARIK BENADDI** : Codes photographes et distance minimale.
 - **JEAN-BAPTISTE DUPÉ** : Ordonnancement et gestion des ressources dans les télécommunications par satellite.
- Juin 2015 :
 - **JORGE PRENDÉS** : Analysis of remote sensing multi-sensor heterogeneous images.
 - **SI QUOC VIET TRANG** : When Fuzzy Logic meets Ledbat: FLOWER, a Fuzzy Lower-than-Best-Effort transport protocol.
- Octobre 2015 :
 - **KARINE ZIDANE** : Méthodes d'accès aléatoires pour les communications satellite.
 - **PHILIPPE PAIMBLANC et MOHAMED SAHMOUDI** : Navigation Précise et Robuste dans les Milieux Urbains par Traitement Avancé des Mesures de Phases GNSS.

Laboratory life

The TeSA seminars

In 2015 the Scientific Committee began organising seminars at TeSA. Three scientific seminars are thus organised during the year with the help of the representative of TeSA PhD students, in coordination with the Scientific Committee. These multi-disciplinary seminars are primarily intended to present the research work of TeSA PhD students to researchers working in the TeSA community, whether they be experts in signal and image processing, digital communications or networking. Two hours are allotted for two presentations in different research fields. Each PhD student thus has 30 to 40 minutes to present his/her work and the remaining time is devoted to questions from the floor and discussion. The seminar abstracts and presentations are then made available on the TeSA site. Even though the priority is given to presentations made by PhD students, these seminars may also give 'senior researchers' an opportunity to present their work.

Six seminars were organised in 2015 and 2016:

- March 2015:
 - **TARIK BENADDI**: Photograph codes and minimum distance.
 - **JEAN-BAPTISTE DUPÉ**: Scheduling and management of resources in satellite telecommunications.
- June 2015 :
 - **JORGE PRENDÉS**: Analysis of remote sensing, multi-sensor heterogeneous images.
 - **SI QUOC VIET TRANG**: When Fuzzy Logic meets Ledbat: FLOWER, a Fuzzy Lower-than-Best-Effort transport protocol.
- October 2015:
 - **KARINE ZIDANE**: Random access methods for satellite communications.
 - **PHILIPPE PAIMBLANC and MOHAMED SAHMOUDI**: Accurate and robust navigation in urban environments through advanced processing of GNSS phase measurements.

- Mars 2016 :
 - **FÁBIO MANZONI VIEIRA** : High performance satellite AIS and Radar data fusion for maritime surveillance.
 - **EMMANUEL CHAPUT** : Optimisation de bout-en-bout du démarrage des connexions TCP.
- Juin 2016 :
 - **JOSÉ CARLOS M. BERMUDEZ** : Nonparametric Detection of Nonlinearly Mixed Pixels and Endmember Estimation in Hyperspectral Images.
 - **ÉRIC ASSELIN** : Systèmes de détection et de prévention d'intrusion adaptés au monde aéronautique embarqué.
- Octobre 2016 :
 - **LUCIEN CANUET** : fiabilisation des transmissions optiques satellite-sol.
 - **NABIL KBAYER** : Utilisation d'un simulateur 3D GNSS pour une navigation robuste en environnement urbain.

En plus de ces séminaires réguliers, d'autres séminaires peuvent être organisés à la suite par exemple de visites de chercheurs français ou étrangers. Par exemple, en mai 2016, profitant de sa présence sur Toulouse, **ALEKSANDAR DOGANDŽIĆ**, professeur à *Iowa State University*, IEEE senior member, a présenté ses travaux portant sur les algorithmes d'optimisation. Plus précisément, le titre de sa présentation était « Projected Nesterov's Proximal-Gradient Algorithm for Sparse Signal Recovery ».

Plan Transverse Pluriannuel

En 2015, le TéSA a mis en place un appel à idées interne appelé *Plan Transverse Pluriannuel* ou PTP. L'objectif du PTP est de favoriser le travail entre équipes provenant de divers établissements. Les propositions sur des sujets transverses (en termes de domaines scientifiques) ou permettant de poser les bases de plateformes expérimentales étaient favorisées. Les modalités de l'appel à idées ont été définies par le Conseil Scientifique lors des réunions de l'année 2014.

Le projet « Navigation précise et robuste dans les milieux urbains par traitement avancé des mesures de phase GNSS » proposé par Mohamed Sahmoudi (ISAE) et Philippe Paimblanc (TéSA) a été retenu. Ses résultats ont été présentés lors du conseil scientifique de novembre 2015. Une plateforme RTK (*Real Time Kinematics*) a vu le jour, combinaison de récepteurs GNSS bas-cout et d'une suite logicielle développée par l'université de Tokyo. Elle a pu être testée sur des signaux réels collectés au cours du projet.

- March 2016:
 - **FÁBIO MANZONI VIEIRA**: High performance satellite AIS and Radar data fusion for maritime surveillance.
 - **EMMANUEL CHAPUT**: end-to-end optimisation for starting TCP connections.
- June 2016:
 - **JOSÉ CARLOS M. BERMUDEZ**: Nonparametric Detection of Nonlinearly Mixed Pixels and Endmember Estimation in Hyperspectral Images.
 - **ÉRIC ASSELIN**: Intrusion detection and prevention systems adapted for embedded aeronautical systems.
- October 2016:
 - **LUCIEN CANUET**: Making satellite-ground optical transmissions reliable.
 - **NABIL BEYER**: A GNSS 3D simulator for robust navigation in an urban environment.

In addition to these regular seminars, additional seminars may be organised afterwards for example, with visiting French or foreign researchers. For example, in May 2016, taking advantage of his visit to Toulouse, **ALEKSANDAR DOGANDŽIĆ**, Professor at Iowa State University, IEEE senior member, was invited to present his work on optimisation algorithms. The title of his presentation was "Projected Nesterov's Proximal-Gradient Algorithm for Sparse Signal Recovery".

Multi annual cross-cutting plan

In 2015, TeSA launched an internal call of ideas for projects, called the Plan Transverse Pluriannuel (PTP) (multi annual crosscutting plan). The objective of the PTP is to encourage work between teams from different research areas and possibly from different laboratories belonging to the university of Toulouse and active in TeSA. Proposals on crosscutting subjects, in terms of scientific fields or which led to the founding of experimental platforms, were given priority. The procedure for the call for ideas was defined by the Scientific Committee during its meetings in 2014.

The project on "accurate and robust navigation in urban environments through advanced processing of GNSS phase measurements", proposed by Mohamed Sahmoudi (ISAE) and Philippe Paimblanc (TeSA) was selected. Its results were presented to the Scientific Committee in November 2015. A Real Time Kinematics (RTK) platform was created, combining low-cost GNSS receivers and a software suite developed by the University of Tokyo. It was tested on real signals collected during the project.

Les journées scientifiques

L'une des missions fondamentales du conseil scientifique est de favoriser le développement d'une « vie de laboratoire » au sein de TéSA. Un élément important de cette vie est la mise en commun des diverses compétences qui font la richesse du laboratoire pour développer des projets fédératrices. Une première démarche en ce sens a été initiée en 2015 avec l'appel à projets transverses décrit ci-dessus.

En 2016, une nouvelle étape a été franchie grâce à la mise en place des journées scientifiques. L'objectif est ici clairement de mettre autour de la table les acteurs de TéSA afin de les faire travailler sur un projet commun fictif, mais réaliste.

Pendant deux jours, nous nous sommes tous retrouvés (doctorants, ingénieurs de recherche, universitaires, industriels) loin de nos sites respectifs, dans les Pyrénées. Après des présentations de type « pecha kucha » pour de mieux se connaître et un quizz « Spatial Pursuite » pour se tester, un « idéathon » a occupé le cœur de ces journées. Il s'agissait pour des équipes parfaitement mixtes (en compétences scientifiques comme en rattachement) de proposer un concept de service ou de produit innovant autour du thème « L'espace et la montagne ». Après une intervention d'EDF venu nous décrire certaines spécificités des problématiques locales, les cinq équipes se sont largement prises au jeu et ont finalement fait des propositions extrêmement intéressantes.

L'objectif initial de ces journées a de toute évidence été largement atteint : les membres de TéSA ont pu resserrer encore les liens qui les unissent et la synergie du laboratoire en sort grandie. Face au succès de ces journées, et à la qualité des propositions qui y ont été faites, la question se pose d'une nouvelle édition fondée cette fois-ci sur un projet bien réel, porté par exemple par un partenaire.

The scientific days

One of the fundamental missions of the Scientific Committee is to promote development of “laboratory life” at TeSA. An important part of this life is the pooling of various professional skills, which enrich the laboratory, for developing federating projects. A first attempt in this direction took place in 2015 with the call of ideas for projects (PTP) described above.

A new stage began in 2016 with the introduction of the scientific days. The objective is clearly to bring TeSA members together to get them to work on a fictitious, but realistic common project.

We all came together for two days in the Pyrenees (PhD students, research engineers, academics, industrial partners) far from our respective places of work. After “pecha kucha” type presentations (lightning talks) to get to know each other better and a “Space Pursuit” quiz to test our knowledge, an important part of these scientific days was devoted to brainstorming. The ground rules were that perfectly mixed teams (with respect both to scientific knowledge and affiliation) had to propose a service concept or innovative product on the theme of “Space and Mountain”. After a speaker from EDF described some aspects of local issues, the five teams got into the spirit of the game and in the end made some extremely interesting proposals.

The initial objective of the days was, without doubt, achieved: the members of TeSA reinforced the bonds which unite them as well as the laboratory's synergy. Following the successful two days, and the quality of the proposals made, TeSA is considering a new edition based this time on an actual project which might be financed by a partner.

Collaboration

Since its creation, scientific work at TeSA is mainly carried out in the main with our founder member partners, namely CNES, Thales Alenia Space and Rockwell Collins France.

In 2016, the *Institut de Recherche Technologique* (IRT) Saint-Exupéry became a new member partner of TeSA, thus formalising the desire of the two bodies to cooperate more closely. Like TeSA, the IRT is a model of academic-industrial cooperation, even though its model is different

Collaborations

Depuis sa création, le TéSA mène ses activités scientifiques majoritairement avec les partenaires membres fondateurs de TéSA que sont le CNES, Thales Alenia Space et Rockwell Collins France.

L'année 2016 a vu l'arrivée de l'*Institut de Recherche Technologique* (IRT) Saint-Exupéry en tant que nouveau membre partenaire de TéSA, concrétisant ainsi une volonté de rapprochement des deux entités. Comme TéSA, l'IRT est un modèle de coopération académique-industriel,

même si son modèle est différent et que les domaines adressés sont plus vastes que ceux de TéSA. L'IRT inclut dans sa cartographie le domaine des télécommunications spatiales qui est le cœur de TéSA. Ce recouvrement entre TéSA et l'IRT se retrouve dans les TRL (Technology Readiness Level) concernées : de 1 à 4 pour TéSA, de 3 à 6 pour l'IRT. Il était donc naturel pour les deux entités de se rapprocher pour se compléter et offrir ensemble une large expertise dans l'échelle de la maturation d'un projet.

De plus, il est certain que la diversité des collaborations scientifiques va de pair avec la richesse des thématiques et problèmes scientifiques abordés. C'est pourquoi TéSA est toujours à l'écoute de nouvelles collaborations avec des entités non membres de TéSA.

Ainsi, 2015 et 2016 ont permis à TéSA d'être actif dans le projet SatNEx IV (<http://www.satnex4.org>) de l'ESA, qui regroupe des experts en réseau satellite. L'équipe TéSA a pu ainsi collaborer avec Athens Univ. Of Economics and Business (AUEB) et le Consorzio Futuro de Ricerca (CFR) sur le trafic ICN dans des schémas à accès multiple.

Des collaborations avec des PMEs toulousaines (ou Midi-Pyrénées) se poursuivent, essentiellement par le lien établi avec Cap'Tronic qui positionne TéSA dans son réseau d'experts pouvant apporter un soutien aux PMEs : les études faites avec STERELA et DELABALLINA, détaillées dans les activités traitement du signal et des images, se sont faites dans ce cadre.

TéSA peut aussi être un partenaire d'un autre laboratoire de recherche : ainsi, le LAAS a fait appel à l'expertise traitement du signal de TéSA pour travailler conjointement sur le traitement du signal issu du capteur développé par leurs soins : le LAAS a conçu des capteurs novateurs interrogables à distance par radar FMCW et TéSA a optimisé le traitement du signal adapté à la nature du capteur et à l'application visée.

Les collaborations se poursuivent aussi avec des partenaires de longue date, comme CLS (autour de l'AIS) et M3 Systems (en localisation et navigation).

Rayonnement de TéSA

Les activités de TéSA sont bien sûr diffusées au travers des articles de conférences ou de journaux avec comité de lecture listés précédemment dans ce rapport. Mais d'autres évènements contribuent aussi au rayonnement de TéSA.

Fin 2013, le nouveau site web TéSA a été lancé : il comporte une rubrique « kiosque » qui permet de suivre l'actualité du laboratoire au fil des

and the fields it covers are much wider than those of TeSA. The IRT includes in its scope the field of telecommunications, which is TeSA's main focus. This overlapping between TeSA and the IRT is found again in the Technology Readiness Levels (TRLs) concerned: from 1 to 4 for TeSA and from 3 to 6 for the IRT. It was therefore quite natural for the two organisations to come closer and complement each other's work by together offering wider expertise for maturing projects.

Furthermore, it is obvious that the diversity of scientific collaboration matches the wide range of scientific topics and problems dealt with. This is why TeSA is always watching out for new opportunities to collaborate with bodies that are not members of TeSA.

For instance, in 2015 and 2016, TeSA was involved in ESA's SatNEx IV (<http://www.satnex4.org>), which brought together experts in satellite networking. The TeSA team was also able to collaborate with the Athens University of Economics and Business (AUEB) and the Consorzio Futuro de Ricercars (CFR) on ICN traffic in multiple-access schemes.

TeSA continues to collaborate with Toulouse-based or Midi-Pyrenees SMEs, mainly through the relationship established with Cap'Tronic which includes TeSA in its network of experts that can provide support to SMEs. The studies undertaken with STERELA and DELABALLINA, described in detail in the signal and image processing activities, took place within this framework.

TeSA may also be partner to another research laboratory: for instance, LAAS contacted TeSA for its expertise, more precisely for joint work on developing signal processing algorithms for signals acquired by a sensor developed by LAAS. LAAS had designed innovative sensors which could be interrogated remotely by FMCW radar and TeSA optimised the associated signal processing so that it was adapted to the sensor and the target application.

Collaboration is continuing with long-standing partners, such as CLS (around AIS) and M3 Systems (for positioning and navigation).

TeSA outreach

TeSA activities are, of course, widely disseminated via conference papers or the peer-reviewed journal articles listed above in this report. However, other events also help spread TeSA's reputation.

événements marquants. Après la mise en place de ce site web, un autre outil de communication a vu le jour : la newsletter TéSA, envoyée pour la 1^{re} fois en mai 2016 et paraissant tous les 4 mois, avec une mise en page simple, contenant les 3 informations importantes des 4 derniers mois.

En juin 2016, TéSA était présent au Toulouse Space Show, invité sur le stand du CNES : cela a été l'occasion de rencontres et de présentations de TéSA aux nombreux acteurs du spatial, grands groupes et organismes, PME, étudiants qui passaient sur le stand du CNES, positionné en entrée de l'espace des exposants.

Les doctorants de TéSA participent aussi au rayonnement de TéSA, non seulement au travers des articles qu'ils publient mais aussi en prenant part à diverses manifestations, comme, par exemple une participation à l'École de Printemps de SatNEx, organisée en avril 2016 à Ghent, en Belgique et à laquelle 4 doctorants TéSA ont participé, TéSA étant membre du réseau d'excellence SatNEx.

TeSA's new website went online at the end of 2013: it includes a "news kiosk" item enabling users to catch up on laboratory news as noteworthy events occur. After this website was set up, another communication tool was added: the TeSA newsletter, distributed for the first time in May 2016, published every four months, with a simple format, containing the three most important items for the previous four months.

In June 2016, TeSA reached out to a wider audience at the Toulouse Space Show, invited by the CNES on its booth: this was an opportunity for presenting TeSA and meeting several space stakeholders, major groups and organisations, SMEs, students who were visiting the CNES booth, which was located at the entrance to the exhibitor space.

TeSA's PhD students also contributed to TeSA outreach, not only through the articles they published but also by taking part in various events, such as for example, participating in the SatNEx *Spring School*, organised at Ghent, Belgium in April 2016 and in which four TeSA PhD students took part, since TeSA is a member of the SatNEx excellence network.



TéSA présent sur le stand du CNES au Toulouse Space Show 2016.

TeSA present on the CNES booth in the Toulouse Space Show 2016.

Les chercheurs TéSA sont aussi mis en lumière de par leurs activités recherche : Jacques Sombrin a reçu le *European Microwave Association Outstanding Career Award* lors de la conférence EuMW à Paris en septembre 2015 ; Herwig Wendt, Jean-Yves Tourneret et leurs coauteurs ont reçu le *best paper award* à Eusipco 2016, en septembre à Budapest ; ils ont aussi coorganisé des sessions spéciales dans des conférences internationales (EUSIPCO 2016 et SSP 2016) et Jean-Yves Tourneret a participé en tant que « guest editor » à l'organisation d'un numéro spécial dans la revue IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, paru en février 2016.

De plus, TéSA est toujours présent au cœur de l'Aerospace Valley par l'activité de Jacques Lanciaux, dans l'équipe du domaine d'activités stratégiques (DAS) baptisé « NPTO » (Navigation, Positionnement, Télécommunications, Observation). Les domaines couverts par ce DAS sont en adéquation avec les recherches de TéSA. La participation de TéSA à ce DAS facilite le transfert de la recherche vers les acteurs des domaines applicatifs et permet l'identification des recherches nécessaires aux besoins des applications. Pour information, le DAS NPTO est rebaptisé DAS TOP (Télécommunications, Observation, Positionnement) depuis la fin 2016 avec le même périmètre.

Enfin, l'équipe « Développement Scientifique » de TéSA œuvre toujours pour mieux faire connaître TéSA aux potentiels acteurs des télécommunications spatiales et aéronautiques. Des rencontres et présentations de TéSA sont organisées grâce à leurs actions, que ce soit au niveau régional, national ou international.

TeSA researchers were also in the spotlight for the research activities: Jacques Sombrin received the European Microwave Association Outstanding Career Award during the EuMW in Paris in September 2015; Herwig Wendt, Jean-Yves Tourneret and their co-authors received the best paper award at Eusipco 2016, at Budapest in September; they also co-organised the special sessions in international conferences (EUSIPCO 2016 and SSP 2016) and Jean-Yves Tourneret took part as "guest editor" by helping to organise a special issue on the interactions between optimization and stochastic simulation methods in the IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, published in 2016.

In addition, TeSA is still involved in the Aerospace Valley through Jacques Lanciaux's position on the team working in the field of strategic activities (DAS - *domaines d'activités stratégiques*), called "NPTO" (Navigation, Positioning, Telecommunications, Observation). The fields covered by this DAS correspond to TeSA's research activities. TeSA's participation in this DAS facilitates research transfer towards stakeholders in application fields, and makes it possible to determine which research is needed for applications. For information, the DAS NPTO was renamed DAS TOP (Telecommunications, Observation, Positioning) at the end of 2016, with the same scope.

Finally, TeSA's Scientific Development team continues to make TeSA known to potential space and aeronautical telecommunications stakeholders. They promote TeSA by organising meetings and presentations on regional, national and international levels.



Tendances et perspectives

Trends and perspectives

Les tendances et perspectives dans les 4 domaines au cœur des compétences de TéSA et décrites dans le précédent rapport d'activité restent d'actualité. Il est cependant important d'identifier les ruptures technologiques et les évolutions dans les usages ainsi que les moyens utilisés pour répondre aux nouveaux besoins. À titre d'exemple, on peut citer les axes de recherche suivants

- Développement de l'usage des drones, des robots terrestres ou marins et émergence rapide des véhicules sans conducteur. Pour ces applications, la continuité de service du positionnement précis et temps réel devient une exigence sécuritaire majeure (très faible latence dans la détection des erreurs et l'acheminement des corrections).
- Développement des besoins d'observation et de surveillance (évolution de l'environnement, surveillance des activités maritimes et aéronautiques, protection du territoire). Les innovations dans ce domaine seront favorisées par l'exploitation des données spatiales (Copernicus).
- Développement des réseaux radio faible débit, basse consommation, adaptés à l'Internet des objets (IoT).
- Utilisation des communications optiques en réponse aux besoins de débit et à la congestion du spectre radio disponible.
- Émergence prochaine des plateformes stratosphériques (HAPS) qui seront un complément aux satellites pour les communications, l'observation et la navigation.

Les tendances et perspectives analysées à partir des évolutions et des ruptures, qu'elles soient induites par les usages ou les technologies, sont souvent à l'intersection des domaines de compétences de TéSA. Nous détaillons dans ce qui suit plusieurs projets en cours ou qui feront potentiellement l'objet d'études futures, dans les 4 domaines d'application de TéSA.

The trends and prospects in the four core research fields of TeSA, described in the previous activity report, are still valid. It is however important to identify the technological breakthroughs and evolution in applications as well as the means used to meet new needs. For example, we might mention the following lines of research.

- Development of the use of drones, terrestrial or marine robots and the rapid emergence of driverless vehicles. For these applications, service continuity for precise, real-time positioning has become a major safety requirement (very short latency for error detection and correction transmissions).
- Development in observation and surveillance needs (environmental evolution, surveillance of maritime and aeronautical activities, national defence). Innovations in this domain will benefit from the exploitation of satellite data (Copernicus).
- Development of low throughput, low power consumption radio networks, suitable for the Internet of Things (IoT).
- Use of optical communications to meet throughput needs and overcome congestion of the available radio spectrum.
- The forthcoming emergence of stratospheric platforms (HAPS) which will complement satellites for communications, observation and navigation purposes.

The trends and prospects analysed on the basis of evolutions and breakthroughs, whether these are developed to meet new demands or as spinoffs for new technology, often intersect TeSA's spheres of competence. We shall describe below several projects that are either ongoing or which may be covered by future studies, in TeSA's fields of application.

Localisation et navigation

Beaucoup s'accordent à dire que la prochaine révolution de notre aire sera la révolution robotique. On commence à percevoir les prémisses de ce grand changement à travers l'émergence de véhicules de plus en plus autonomes. Les applications de tels véhicules vont de la voiture personnelle (*advanced driver assistance systems* ou véhicules totalement autonomes), aux transports collectifs, en passant par les drones civils ou militaires ou l'agriculture. Un des verrous à adresser pour améliorer ces systèmes passe par l'amélioration de la précision et de la robustesse de positionnement. Seuls les systèmes de navigation par satellite permettent un positionnement absolu en tous points de la surface du globe. Cependant, il existe en pratique de nombreuses causes tendant à dégrader cette information. Parmi les plus difficiles à combattre, on peut citer les interférences volontaires ou involontaires (du fait du faible niveau du signal utile) et les multitrajets en environnement contraint (canyon urbain, indoor). Les pistes proposées pour combattre ces effets limitants passent par une amélioration du traitement du signal actuel (réseaux d'antennes, *vector tracking loops*, temps d'intégration longs, traitements poussés de la phase des porteuses reçues, traitement des nouveaux signaux GNSS utilisant des signaux large bande...) ou par l'exploitation de sources d'information complémentaires. Dans cette dernière catégorie, on peut citer l'exploitation conjointe de plusieurs constellations (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS...) et l'exploitation simultanée des différentes fréquences porteuses émises (correction ionosphériques, métasignaux GNSS...).

Les applications scientifiques du GNSS requièrent généralement une précision maximum des mesures. La précision de positionnement peut être améliorée grâce à la fusion avec d'autres capteurs. Dans ce cadre, on distingue les techniques à l'estime (*dead reckoning*) exploitant classiquement une centrale inertie ou un odomètre (pouvant être étendues à des caméras ou des altimètres) des techniques exploitant des sources d'opportunités (LTE cells, Wi-Fi, Globalstar, Iridium, émetteur GNSS au sol ou dans les immeubles, pseudolites...). Ces techniques sont basées sur une cartographie à priori mais elles peuvent être étendues au cas où l'environnement n'est que partiellement connu (*Simultaneous Localization And Mapping*, SLAM). Une autre approche entrant dans cette thématique de la fusion de capteurs consiste à faire du positionnement coopératif ou collaboratif au sein d'un parc de récepteurs qui partagent

Positioning and navigation

Many people agree that the next revolution in our era will be robotics. We are beginning to see the first signs of this major change in the emergence of vehicles that are more and more autonomous. Applications for such vehicles include the personal car (advanced driver assistance systems or totally autonomous vehicles), public transport, as well as civil or military drones or vehicles used for agriculture. One of the problems to be overcome for improving these systems is that of positioning accuracy and robustness. Only satellite navigation systems enable absolute positioning at all points on the surface of the Earth. However, in practice there are many factors that tend to degrade this information. Among the most difficult to resolve are voluntary or involuntary interferences (for weak signal to noise ratios) and multiple paths in constrained environments (urban canyons, indoors). Ideas that have been proposed for overcoming these limitations include improving current signal processing block (antenna arrays, vector tracking loops, long integration times, advanced processing of the carrier phase received, processing of new GNSS signals using broadband signals, etc.) or by exploiting complementary sources of information. In this latter category, we might mention the joint exploitation of several constellations (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, etc.) and the simultaneous exploitation of different carrier frequencies transmitted (correction of ionospheric effects, GNSS meta signals, etc.).

Scientific GNSS applications generally require maximum measurement accuracy. Positioning accuracy may be improved by fusing measurements acquired by other sensors. In this context, we may distinguish between estimation techniques (dead reckoning), which usually exploit an inertial unit or odometer (which may be extended to cameras or altimeters), techniques exploiting opportunity sources (LTE cells, Wi-Fi, Globalstar, Iridium, GNSS transmitter on the ground or in buildings, pseudolites, etc.). These techniques are based on a priori mapping but they may be extended to the case in which the environment is only partially known (*Simultaneous Localization And Mapping*, SLAM). Another approach which falls into this theme of data fusion, consists in doing cooperative or collaborative positioning with a set of receivers which then share their information.

alors leurs informations. Cette amélioration de la précision de positionnement va de pair avec le perfectionnement des techniques de détermination de l'intégrité et de l'authentification de cette information. En effet, dans de nombreuses applications, la confiance que l'on peut avoir dans l'information de position est aussi importante que sa valeur (aviation civile, gestion de flottes de véhicules, péages automatiques...).

Enfin avec le prochain essor des objets communicants, il va être difficile d'administrer simplement les réseaux de communication mondiaux. La diffusion d'une référence de temps précise par les systèmes de navigation (GPS, GALILEO...) doit offrir une solution à ce problème.

Pour finir, on peut remarquer que les dernières évolutions en termes de processeurs embarqués et de radio logicielle (*software defined GNSS receiver*) et de récepteurs RF intégrés (SoC) vont certainement apporter une plus grande flexibilité et évolutivité pour les solutions envisagées.

This improvement in positioning accuracy goes hand-in-hand with the perfecting of techniques for determining the integrity of the information and for authenticating it. Indeed, in several applications, the confidence that one may have in the position information is as important as its value (civil aviation, vehicle fleet management, automatic tollbooths, etc.).

Finally, the anticipated proliferation of communicating devices will jeopardize the global communications networks operation. The broadcasting of a very precise time references by navigation systems (GPS, GALILEO, etc.) should offer a solution to this problem.

To conclude, we might note that the latest evolutions in terms of on-board processors and software radio (software-defined GNSS receiver) and integrated RF receivers (SoC) will certainly provide more flexibility and open-endedness for the solutions envisaged.

Observation de la Terre

Le déploiement des moyens de diffusion des données spatiales (Copernicus) devrait rapidement multiplier les applications innovantes basées sur l'analyse et la fusion des données. Il s'agit ici de tirer profit de la complémentarité d'informations acquises par des capteurs différents tels que des capteurs optiques, radar, hyperspectraux... Le laboratoire TéSA a une forte expérience dans ce domaine dont il pourra bénéficier dans des projets futurs. L'exploitation de données issues de sources d'information plus originales est également intéressante. On parle par exemple de plus en plus d'interpréter des données d'observation spatiale avec des images acquises à l'aide de réseaux sociaux (géo-intelligence) ou d'utiliser les signaux de télécommunications pour l'identification d'usagers. Enfin, le déploiement des satellites Sentinel 2, qui fourniront gratuitement des images d'une zone d'intérêt avec une répétitivité importante (tous les 5 jours), va révolutionner la communauté du traitement d'images d'observation de la Terre qui va intensifier ses travaux concernant l'analyse d'images multitemporelles. Le laboratoire TéSA s'investira naturellement dans ce domaine.

L'Internet des objets (IoT) associé aux réseaux de communication basse consommation est à l'origine d'une multiplication des capteurs de grandeurs physiques et chimiques non accessibles par l'observation satellitaire. Les données de ces capteurs sont actuellement recueillies par des réseaux radio terrestres mais de récentes

Earth observation

The deployment of systems for broadcasting space data (Copernicus) should rapidly increase the number of innovative applications based on data analysis and fusion. The aim in this case is to take advantage of the complementarity of information acquired by different sensors such as optical, radar and hyperspectral sensors; the TeSA laboratory has a great deal of experience in this field which it could contribute to future projects. The exploitation of data from more diverse sources of information is also interesting. There is more and more talk for instance of interpreting satellite observation data by means of images acquired through social networks (Geo-intelligence) or of using telecommunications signals for identifying users. Finally, the deployment of the Sentinel 2 satellites, which will be providing free of charge, images for a zone of interest with significant revisit capability (once every five days), will revolutionise the remote sensing and image processing community, thus intensifying their work on multi-temporal image analysis. The TeSA laboratory will naturally be investing in this field.

The Internet of Things (IoT) combined with low-consumption communication networks, has led to an increase in sensors for measuring physical and chemical quantities, that cannot be acquired by satellite observation. The data from these sensors is currently collected by terrestrial radio networks. However recent experiments have made it possible to confirm that low Earth orbit (LEO) satellites will be able to receive this kind of data.

expérimentations ont permis de confirmer que la réception par des satellites en orbite basse est réalisable. Les données spatiales vont donc s'enrichir de celles fournies par un grand nombre de capteurs « *low cost* » au sol ou en mer améliorant ainsi la surveillance et l'évolution des paramètres environnementaux. Dans ce contexte émergent, le laboratoire TéSA a clairement des cartes à jouer.

Pour terminer, nul ne peut ignorer l'explosion des activités liées au big data. Dans ce contexte, le pôle Aerospace Valley et l'IRT Saint Exupéry lancent une étude pour réaliser une feuille de route du développement de la donnée en région. Suite à ses nombreux travaux dans le domaine, le laboratoire TéSA a été naturellement positionné dans la cartographie des laboratoires concernés en région Occitanie. Il envisage donc de poursuivre ses activités relatives à l'analyse de données en grande dimension.

Systèmes de communication par satellite

Les télécommunications par satellite connaissent actuellement une véritable révolution avec l'introduction de nombreuses techniques permettant d'accroître les débits supportés tout en diminuant les coûts d'acquisition et d'opération. Ces systèmes visent maintenant des capacités de plusieurs centaines de Gigabit/s jusqu'au Terabit/s avec des couvertures de plusieurs centaines de spots pour les satellites géostationnaires. Pour satisfaire ces besoins toujours plus importants en bande, l'utilisation de la bande Q/V est au cœur des évolutions prochaines et les bandes plus hautes (W, optique) commencent à être envisagées. Ces bandes hautes étant caractérisées par de fortes atténuations, elles nécessitent la mise en œuvre de solutions de diversité spatiale ainsi que la planification associée. Sur la voie retour, les techniques de lutte coordonnée contre les interférences nécessitent des adaptations au contexte particulier du satellite.

La seconde tendance majeure concerne la flexibilité de ces systèmes. L'introduction de processeurs numériques transparents ou de solutions entièrement régénératives ainsi que la mise en œuvre de multiplexage temporel de la ressource (*beam hopping*) vont permettre d'offrir une flexibilité très forte et d'adapter ainsi les ressources offertes par ces systèmes aux demandes des utilisateurs sur la couverture. En effet, la variabilité des trafics incite à une allocation la plus dynamique possible des

Satellite data will thus be enriched with that provided by a large number of low-cost sensors on the ground or at sea, thus improving the monitoring and evolution of environmental parameters. In this emerging context, the TeSA laboratory clearly has a role to play.

To conclude, no one can ignore the increasing number of activities related to big data. In this context, the Aerospace Valley cluster and the IRT Saint Exupéry have undertaken a study to make a roadmap for data development in the region. Given its extensive work in this field, the TeSA laboratory has naturally been identified as a potential partner for laboratories concerned, in the Occitanie region. It thus intends to pursue its activities with respect to analysis of big data.

Satellite communications

Satellite telecommunications are currently undergoing a real revolution with the introduction of several techniques that increase throughput while reducing acquisition and operation costs. These systems are now aiming at capabilities of several hundreds of gigabits per second up to Terabits per second with coverage of several hundreds of spots for geostationary satellites. To meet these ever-increasing band needs, use of the Q/V band will be a focus of forthcoming evolutions and higher frequency bands (W, optical) are now being considered. Since these higher frequency bands are characterised by strong attenuation, they require the implementation of a wide range of satellite-based solutions as well as the corresponding scheduling. On the return channel, coordinated techniques for fighting interference require designs adapted to the specific context of satellite communications.

The second major trend concerns the flexibility of these systems. The introduction of transparent digital processors or entirely regenerative solutions as well as the implementation of temporal multiplexing of the resource (beam hopping) will enable great flexibility and make it possible to adapt the resources offered by these systems to users' demands for coverage. Indeed, the variability of traffic requires the most dynamic allocation possible of resources, for example by means of time or space frequency-sharing techniques.

ressources, par exemple par le biais de techniques de partage en temps ou en espace des fréquences.

Enfin, les constellations de satellites connaissent un renouveau important avec des systèmes tels que Iridium ou OneWeb et de nombreuses initiatives autour des nano/micro satellites. En outre, les plateformes stratosphériques sont également vues comme un complément aux systèmes satellites, que ce soit en termes de relai ou d'extension/densification de couverture.

Pour compléter ce panorama, il convient également de noter que ces évolutions impactent également le segment sol avec une tendance forte à la virtualisation du segment utilisateur et à améliorer la convergence avec les réseaux terrestres, notamment dans le cadre de la 5G.

Pour finir, au niveau applicatif, de nouveaux marchés sont au cœur des interrogations des acteurs du domaine, avec en particulier les plateformes mobiles (avions, bateaux...) et le *Machine Type Communication*. Ce dernier présente en effet des caractéristiques très marquées, que ce soit en termes de trafic généré, du nombre d'équipements envisagés ainsi que de leurs contraintes énergétiques.

Finally, satellite constellations are again becoming widespread with systems such as Iridium or OneWeb and the many initiatives with nano/micro satellites. Furthermore, stratospheric platforms are also considered to be a complement to satellite systems, whether by acting as a relay or by extending/intensifying coverage.

To complete this overview, we should note that these evolutions also affect the ground segment with a strong trend towards virtualisation of the user segment and towards improving convergence with terrestrial networks, particularly in the 5G context.

To conclude, as far as applications are concerned, stakeholders in the field are mainly concerned about new markets, within particular mobile platforms (aircraft, ships, etc.) and Machine Type Communication. This latter field has very specific characteristics, whether in terms of traffic generated, the number of devices envisaged or power supply constraints.

Aircraft communications

Aeronautical mobile communications have undergone rapid changes over the last decade. There are three types of aeronautical mobile communications:

Systèmes de communication aéronautiques

Les communications mobiles aéronautiques ont connu au cours de la dernière décennie une évolution rapide. Ces communications mobiles sont de trois types :

- Les communications liées à la gestion du trafic aérien (échanges entre avion et système sol ou entre pilotes et contrôleur aérien au sol), habituellement connues sous le nom de « ATC communications »
- Les communications liées à la gestion du vol par son opérateur (compagnie aérienne ou société privée), habituellement appelées « AOC communications »
- Les communications au bénéfice des passagers aériens (avions commerciaux ou jet privé), habituellement connues comme « APC communications »

Les communications de type ATC n'ont pas beaucoup évolué ces dernières années mais une évolution technologique majeure est en cours pour améliorer la gestion du trafic aérien : la migration des communications vocales entre acteurs humains (contrôleurs et pilotes) vers des

- Communications for air traffic control (exchanges between the aircraft and ground control between pilots and the air-traffic controller on the ground), commonly known as "ATC communications".
- Communications related to management of the flight by its operator (airline company or private company), commonly known as "AOC communications".
- Communications for airline passengers (commercial aircraft or private jets), commonly known as "APC communications".

The ATC type communications have not changed much over the last few years but a major technological evolution is underway for improving air traffic control, with the shift of vocal communications between humans (air-traffic controllers and pilots) towards exchanges of data between on-board and ground computers. In the medium term, these exchanges should enable more strategic trajectory management, thus freeing the controller of those tasks that require highly intensive cognitive activity. This technological evolution depends completely on the deployment of new technologies enabling the exchange of data flows with deterministic performances that are compatible with the safety requirements associated with the exchanges.

échanges de données entre calculateurs embarqués et au sol. Ces échanges à moyen terme devraient permettre une gestion des trajectoires plus stratégique, déchargeant ainsi le contrôleur de ses tâches tactiques très consommatrices d'activités cognitives. Cette évolution technologique est totalement dépendante du déploiement de nouvelles technologies permettant ces échanges de flux de données avec des performances de nature déterministe compatible avec les exigences de sécurité associées à ces échanges.

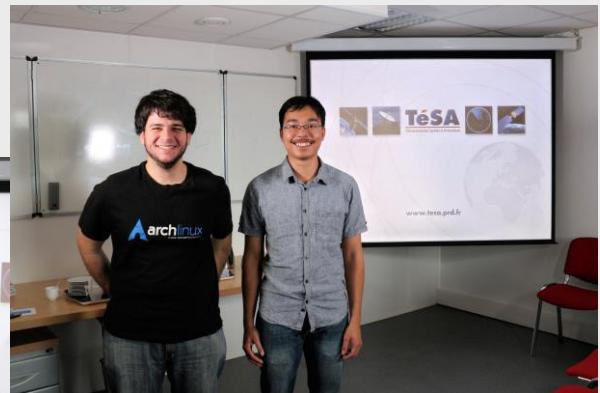
Les communications de type AOC, par contre, ont connu une très forte croissance durant cette dernière décennie. Ces communications de données couvrent tous les échanges nécessaires à la bonne conduite du vol et à son exploitation optimisée. Avec les dernières générations d'avions commerciaux, des flux continus de données sont apparus permettant de suivre en temps quasi réel le fonctionnement des éléments critiques de l'avion. Le traitement de ces données permet au sol de prendre des décisions sur de meilleures bases de connaissance des problèmes et d'anticiper une intervention sur l'avion au cours de sa prochaine escale. La fourniture d'informations météorologiques en vol se développe également en permettant à l'équipage de prendre de meilleures décisions. La croissance de ces besoins induira de nouveaux besoins en termes de moyens de communication mobile, en particulier les solutions satellitaires devraient jouer un rôle significatif pour ces besoins.

AOC type communications, on the other hand, have increased tremendously over the last decade. These data communications cover all exchanges needed for proper flight management and optimisation. With the latest generations of commercial aircraft, continuous data flows have emerged to enable almost real-time monitoring of the functioning of critical aircraft elements. Processing of this data enables ground segments to take decisions based on the best possible knowledge of problems and to anticipate maintenance of the aircraft during its next stopover. The provision of weather forecasting information during the flight is also increasing and enabling crews to make the best decisions. The growth of these needs will lead to new needs in terms of mobile communication facilities, in particular satellite solutions that should play a significant role in meeting them.



Les communications de type APC connaissent une croissance plus mesurée même si le besoin de connectivité permanente de l'individu devient une exigence de plus en plus évidente. Les solutions technologiques pour répondre à ces besoins émergents devraient s'inspirer des solutions déjà développées pour les besoins des communications mobiles terrestres. L'évolution future pour satisfaire ces besoins conduira au même changement de paradigme que celui qui a marqué les communications commerciales (technologie seule remplacée par technologie + contenu).

APC type communications are not increasing as much even though the need for individuals to be connected permanently has become more and more obvious. Technological solutions for meeting these emerging needs should be inspired by solutions that have already been developed to meet the needs of terrestrial mobile communications. Future evolutions to meet these needs will lead to the same change of paradigms as that which marked commercial communications (technology alone replaced by technology + content).



Séminaires scientifiques de TéSA.
TeSA Scientific Seminars.

Conclusion

Conclusion

Ce rapport d'activité a permis de présenter la synthèse des activités de recherche menées dans TéSA en 2015 et 2016.

TéSA est un laboratoire de recherche privé, existant sous forme d'une association loi 1901 depuis plus de 10 ans, fédérant la recherche en télécoms spatiales et aéronautiques, permettant à des chercheurs de diverses entités de recherche de travailler ensemble, en s'enrichissant des compétences de tous pour mieux répondre aux besoins des industriels et institutionnels demandeurs d'une R&D de qualité.

Ces dernières années ont vu un essor de TéSA, un déploiement de ses forces, autour d'un Conseil Scientifique actif, des doctorants motivés et enthousiastes, des chercheurs impliqués et initiateurs de propositions, des membres partenaires industriels et institutionnels s'engageant dans des projets de recherche toujours plus intéressants et novateurs.

Encore merci à tous les acteurs de TéSA, chercheurs, doctorants et postdoctorants, industriels, institutionnels et à toute l'équipe Développement Scientifique de TéSA, sans oublier le personnel administratif qui fait fonctionner l'association au quotidien. L'aventure continue pour toujours mieux servir la recherche en télécoms spatiales et aéronautiques !

This report is a summary of the research activity conducted at TeSA in 2015 and 2016.

TeSA is a private research laboratory, founded in the form of a non-profit association (1901 Act) more than 10 years ago, which federates research on space and aeronautical telecommunications, thus enabling researchers from various research organisations to work together, drawing on the professional skills of all, to better meet the needs of industrials and institutions requiring quality research and development.

TeSA has expanded rapidly over the last years, with an increased workforce supervised by an active Scientific Committee, with motivated and enthusiastic PhD students, committed researchers that make creative proposals and industrial and institutional member partners who commit to increasingly innovative and interesting research projects.

I should once again like to thank all TeSA actors, researchers, PhD and post-doctoral students, industrial partners, institutions and the whole TeSA Scientific Development team, not forgetting the administrative personnel who run the association on a daily basis. We shall continue striving to improve our contribution to research on space and aeronautical telecommunications!



Chefs de projet TéSA / TeSA Editors-in-chief : Jean-Yves Tourneret, Emmanuel Chaput.

Illustrations / Illustrations: toutes les images sont sous copyright CNES, sauf celles des pages 1, 4, 5, 6, 7, 10, 18, 21, 32, 34, 36, 42, 47, 55 et 57 qui sont sous copyright TéSA, et sauf celle de la page 54 qui est libre de droits / all illustrations are under CNES copyright apart from those on pages 1, 4, 5, 6, 7, 10, 18, 21, 32, 34, 36, 42, 47, 55 and 57 which are under TeSA copyright and the illustration on page 54 which is free of rights.

Traduction / Translation : Coup de Puce

Conception et réalisation / Design and pre-press : Raoul Prévost, Corinne Mailhes.



Le TéSA est un laboratoire collaboratif de recherche, créé sous forme d'une association loi 1901 en 2004, impliquant des acteurs locaux de Midi-Pyrénées comme de grands organismes industriels (CNES, Thales Alenia Space, Rockwell Collins France, IRT Saint-Exupéry, la Direction des Services de la Navigation Aérienne), des laboratoires de recherche publics appartenant à des écoles d'ingénieurs (INPT, ISAE, ENAC, IMT Atlantique) sur le thème des Télécommunications Spatiales et Aéronautiques.

L'expertise de TéSA est centrée autour :

- des communications numériques,
- du réseau,
- du traitement du signal et des images.

Les recherches à TéSA concernent les domaines d'applications suivants :

- les systèmes de communication spatiaux et aéronautiques,
 - la localisation et la navigation,
 - l'observation de la terre,
- ainsi que des domaines connexes.



TéSA

Télécommunications Spatiales et Aéronautiques

7 boulevard de la Gare
31500 Toulouse (France)
Tel. +33 5 61 24 73 60
Fax. +33 5 61 24 73 73
www.tesa.prd.fr

