



TéSA
Télécommunications Spatiales et Aéronautiques



Rapport d'activité Activity report

2013-2014





Avant-propos

Preface



Je suis très fière de vous présenter le rapport d'activité de TéSA recouvrant les années 2013 et 2014.

Il est pour moi la matérialisation de l'investissement du Conseil Scientifique de TéSA et de l'implication de toute la « Communauté TéSA » pour faire de TéSA un véritable Laboratoire de Recherche.

J'en profite pour remercier tous les acteurs de cette communauté : les partenaires industriels et institutionnels que sont le CNES, Thales Alenia Space, Rockwell Collins France et la Direction des Services de la Navigation Aérienne, qui apportent leur soutien infaillible à TéSA au fil des années, les partenaires académiques, toujours enthousiastes dans leur implication et dans l'avancée des travaux de recherche effectués, les ingénieurs de recherche TéSA, piliers des forces vives de la recherche TéSA, les doctorants TéSA sans qui ce laboratoire de recherche ne serait pas et le personnel administratif toujours présent pour assurer la gestion du laboratoire au quotidien.

Enfin, un grand coup de chapeau au Conseil Scientifique de TéSA qui s'est donné un jour le challenge d'écrire ce rapport. Merci pour son dynamisme, ses actions et son soutien à TéSA.

Corinne Mailhes
Directrice de TéSA

I am very proud to present the report on TeSA activities covering the years 2013 and 2014.

It represents for me the commitment of the TeSA Scientific Committee and the involvement of the whole "TeSA Community" in making TeSA a true Research Laboratory.

I would like to take this opportunity of thanking all the members of this community: our industrial and institutional partners, CNES, Thales Alenia Space, Rockwell Collins France and the Direction of the Aeronautic Navigation Services, who have given TeSA their unfailing support over the years, our academic partners, who are always enthusiastic about their involvement and the progress of the research being done, the TeSA research engineers, whose effort is fundamentally important for research and the TeSA PhD students, without whom this research laboratory would not exist, and last, but not least, the ever-willing administrative staff for their day to day running of the laboratory.

Finally, my congratulations and special thanks to the members of the TeSA Scientific Committee who undertook to write this report, for their dynamism, initiatives and support of TeSA.

Corinne Mailhes
Director, TeSA

■	Avant-propos.....	1
	Preface	
■	Introduction.....	3
	Introduction	
●	Comment lire ce rapport.....	3
	How should this report be read?	
●	Cartographie des activités TéSA.....	4
	Roadmap of TeSA activities	
■	Activités scientifiques.....	9
	Scientific activities	
●	Domaine Traitement du Signal et des Images.....	9
	Signal and Image processing	
●	Domaine Communications Numériques	19
	Digital communications	
●	Domaine Réseaux	25
	Networking	
●	Collaborations	32
	Collaborations	
●	Rayonnement de TéSA	32
	TeSA outreach	
■	Tendances - perspectives	35
	Trends and perspectives	
●	Domaine Localisation et Navigation	35
	Positioning and navigation	
●	Domaine Observation de la Terre	36
	Earth observation	
●	Domaine Communications par Satellite	37
	Satellite communications	
●	Domaine Communications Aéronautiques	38
	Aircraft communications	
■	Conclusion.....	41
	Conclusion	



Introduction

Introduction

Comment lire ce rapport

Ce rapport d'activités couvre la période 2013-2014 du laboratoire TéSA. Nous vous recommandons en priorité la lecture de la section suivante portant sur la cartographie des activités TéSA. Celle-ci présente au travers d'exemples la structuration de l'activité en domaines d'application et domaines d'expertise.

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 adopte l'angle des domaines d'application : « localisation et navigation », « observation de la terre », « communications par satellites » et « communications aéronautiques ». Pour chacun de ceux-ci, nous résumons les tendances actuelles qui constituent autant de défis techniques et scientifiques.

Enfin, ce rapport d'activité a été préparé par le conseil scientifique de TéSA. Celui-ci est constitué de représentants des partenaires académiques et industriels, de la direction de TéSA et d'experts associés. 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 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.

After that, we outline the scientific activities at the TeSA laboratory, concerning three particular fields of expertise: "Image and signal processing", "Digital communications" and "Networking". This breakdown often matches that of the corresponding research teams. The presentation concludes with a list of projects and PhD theses that have been defended, together with scientific publications and patents.

The last part of the activities report focuses on the fields of application: "positioning and navigation", "Earth observation", "satellite communications" and "aircraft communications". In each case we have briefly reviewed current trends with respect to technical and scientific challenges.

This report was written by the TeSA scientific committee made up of representatives from our academic and industrial partners, the TeSA management board and related experts. The scientific committee meets four or five times a year for in-depth work on "priority" projects. This activity report was produced by one such priority project.

Cartographie des activités TéSA

Suite au travail du conseil scientifique de TéSA et à des discussions avec les experts scientifiques de ce même conseil rappelés ci-dessous

- Marie-Laure Boucheret, communications numériques,
- Olivier Besson, traitement du signal et des images,
- Emmanuel Lochin, réseaux,
- Olivier Julien, navigation,
- Jacques Sombrin, expert transverse,

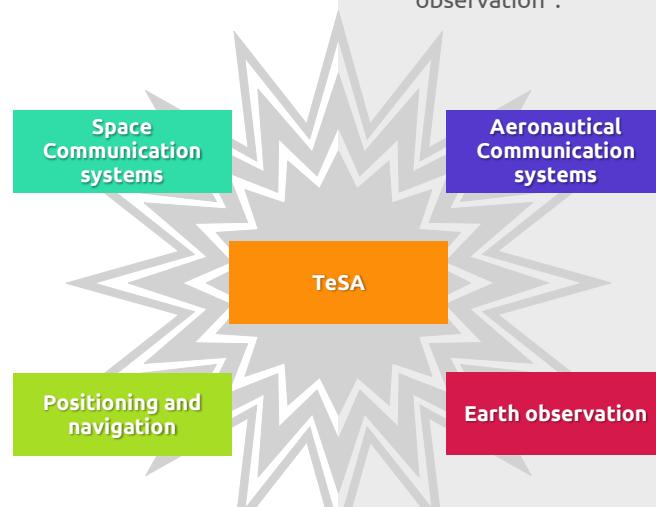
une cartographie des activités de TéSA a été effectuée. Cette cartographie présente les domaines d'application et les domaines d'expertise de TéSA qui sont résumés ci-dessous.

Cette cartographie est destinée à être vivante et à évoluer au fur et à mesure de l'évolution des activités scientifiques de TéSA.

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 ».



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

Le deuxième niveau de cette hiérarchie présente les principales **thématiques scientifiques** abordées dans chaque domaine d'application.

Roadmap of TeSA activities

Following the work of the TeSA scientific committee and discussions with the scientific experts within this committee, we have schematized TeSA's activities. The experts are:

- Marie-Laure Boucheret, digital communications,
- Olivier Besson, image and signal processing,
- Emmanuel Lochin, networking,
- Olivier Julien, navigation,
- Jacques Sombrin, cross-cutting expertise.

A roadmap of TeSA activities has been constituted. This roadmap shows TeSA's fields of expertise and application, as detailed in what follows.

The roadmap is intended to be "dynamic" and to change as the scientific activities at TeSA evolve.

Fields of application

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

The first level has four primary **fields of application**, these being "space communications systems", "aircraft communications systems", "positioning and navigation", and "Earth observation".

The second level in this ranking shows the main **scientific topics** covered in each field of application.

Enfin le troisième niveau présente les **projets** associés à chaque thématique avec les partenaires académiques et industriels (enseignants-chercheurs, ingénieurs et chercheurs ayant contribué aux diverses études).

À titre d'exemple, nous détaillons le domaine d'application lié à la navigation et la localisation (la description des autres domaines est disponible sur le site web de TéSA à l'adresse <http://www.tesa.prd.fr/application-domains-tesa.p4.html>).

Ce domaine d'application est organisé autour des **cinq thématiques scientifiques** suivantes

- Système AIS,
- Système GNSS,
- Fusion d'information pour la localisation,
- Système COSPAS-SARSAT,
- Goniométrie.

Divers **projets** ont été effectués en lien avec ces thématiques scientifiques. À nouveau, nous considérons un exemple qui est très représentatif des activités menées au sein de TéSA, à savoir le système AIS qui équipe les bateaux pour en assurer le suivi. Une dizaine de projets ainsi qu'une thèse autour de l'AIS par satellite ont été effectués pour lever divers verrous scientifiques.

Finally, in the third level we have the **projects** associated with each topic involving our academic and industrial partners (lecturer-researchers, engineers and researchers who have contributed to various studies).

An example is the field of application related to navigation and positioning (descriptions of the other fields can be found on the TeSA website at <http://www.tesa.prd.fr/application-domains-tesa.p4.html>).

This field of application includes the following **five scientific topics**

- AIS system,
- GNSS system,
- Data fusion for positioning,
- COSPAS-SARSAT system,
- Goniometry.

Various **projects** on these scientific topics have been undertaken. Again, we can consider an example, which is particularly representative of the activities at TeSA, the AIS system, which helps monitoring boats over the seas. Around ten projects, as well as a thesis, have been undertaken on the use of AIS through satellite to shed light on various scientific problems.



Il s'agit par exemple

- d'améliorer les performances de décodage des signaux AIS lorsque le rapport signal à bruit est défavorable, à l'aide de méthodes de correction d'erreurs innovantes.
- de développer des méthodes de poursuite de la phase des signaux AIS que l'utilisation d'un récepteur cohérent rend indispensable.
- d'étudier des méthodes de réduction des interférences lorsque des signaux sont en collision. Par exemple, adapter la définition de la distance utilisée par le démodulateur permet une certaine robustesse à la présence d'interférences.
- de déterminer la performance de méthodes de localisation des navires par les différences d'arrivée des temps et des fréquences (TDOA/FDOA) afin de s'assurer de la crédibilité de la position fournie dans les messages AIS. Les ambiguïtés de position ont été supprimées par l'application d'un algorithme de Viterbi permettant de déterminer le parcours le plus probable. La précision a été améliorée à l'aide d'un filtre de Kalman étendu couplé à un modèle de déplacement de la cible.
- de séparer les signaux AIS en collision vus du satellite, occupant le même slot temporel et issus de navires en non-visibilité directe l'un de l'autre. TéSA a proposé, implanté et optimisé un séquençage SIC (*Successive Interference Cancellation*) en contexte multifaisceaux (satellites à plusieurs antennes) sans utilisation d'information *a priori* sur les signaux, incluant :
 - la détection des signaux (possibilité d'introduction de signaux reconstruits sous forme de capteurs fictifs avant la détection/caractérisation d'un signal secondaire par corrélation spatio-temporelle),
 - une ré-estimation de la pondération de la formation de faisceau avec un algorithme de type « *Decision Directed* » avant démodulation et/ou après démodulation afin d'augmenter le rapport signal à interférences et bruit (SINR) pour permettre une meilleure reconstruction du signal.
 - l'utilisation d'un critère basé sur la valeur absolue de l'intercorrélation spatiale avec la séquence d'apprentissage (liée au SINR de sortie).

Ces travaux ont été publiés dans des journaux et conférences internationales et ont donné lieu au dépôt de plusieurs brevets.

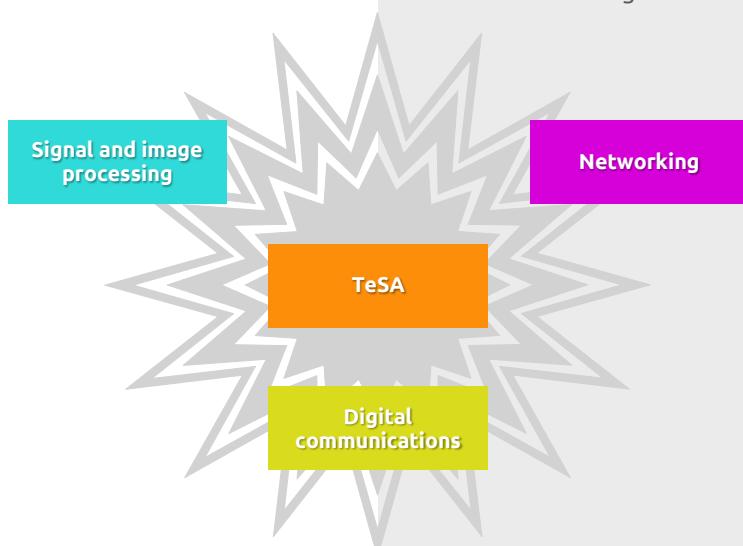
For example:

- Improving the decoding performance of AIS signals when the signal to noise ratio is poor. This is done by developing novel error correction methods.
- Developing methods for tracking and recovering the phase of AIS signals, which use of a coherent receiver has made essential.
- Investigating methods for reducing interferences when signals collide. For example, we have shown that altering the definition of distance used by the demodulator provides a certain robustness against interferences.
- Determining the performance of ship positioning methods by TDOA/FDOA (Time and Frequency Differences Of Arrival) to guarantee the credibility of the position provided in the AIS messages. Position ambiguities have been eliminated by applying a Viterbi algorithm to determine the most probable path. Accuracy has been improved using an extended Kalman filter coupled to a dynamic target model.
- Separating colliding AIS signals seen from the satellite (those occupying the same temporal slot and coming from ships which are not directly visible one to another). TeSA has proposed, installed and optimised Successive Interference Cancellation (SIC) sequencing in a multibeam context (i.e., satellites with several antennas) without the use of *a priori* signal information. This SIC sequencing includes:
 - signal detection (possibility of introducing signals reconstructed in the form of virtual sensors before the detection and/or characterisation of a secondary signal via spatio-temporal correlation),
 - re-estimation of beam formation weighting with a "Decision-Directed" algorithm before demodulation and/or after demodulation to improve the signal to interference and noise ratio (SINR) to provide a better signal reconstruction of the signal.
 - using a criterion based on the absolute value of spatial intercorrelation with the learning sequence (related to the SINR at the output).

Advances made in this field have led to several articles being published in international journals and presented at international conferences, and to several patents being registered.

Domaines d'expertise

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



Les trois domaines d'expertise de TeSA.
The three TeSA 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**.

À titre d'exemple, nous considérons le domaine d'expertise concernant le traitement du signal et des images. Pour plus d'informations, le lecteur est invité à consulter la page internet <http://www.tesa.prd.fr/our-expertise-tesa.p5.html>.

Ce domaine a été divisé en une dizaine de **compétences scientifiques** qui sont détaillées ci-dessous

- Canal de propagation,
- Analyse d'images,
- Imagerie multispectrale et hyperspectrale,
- Traitement du signal radar,
- Estimation, détection et classification,
- Échantillonnage,
- Filtrage,
- Fusion de données,
- Intégration,
- Interférométrie.

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 "image and signal processing", "digital communications" and "networking".

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**.

One example is the field of image and signal processing. Readers may find more information on the Internet page <http://www.tesa.prd.fr/our-expertise-tesa.p5.html>.

This field has been split into the ten **scientific scientific skills** listed below:

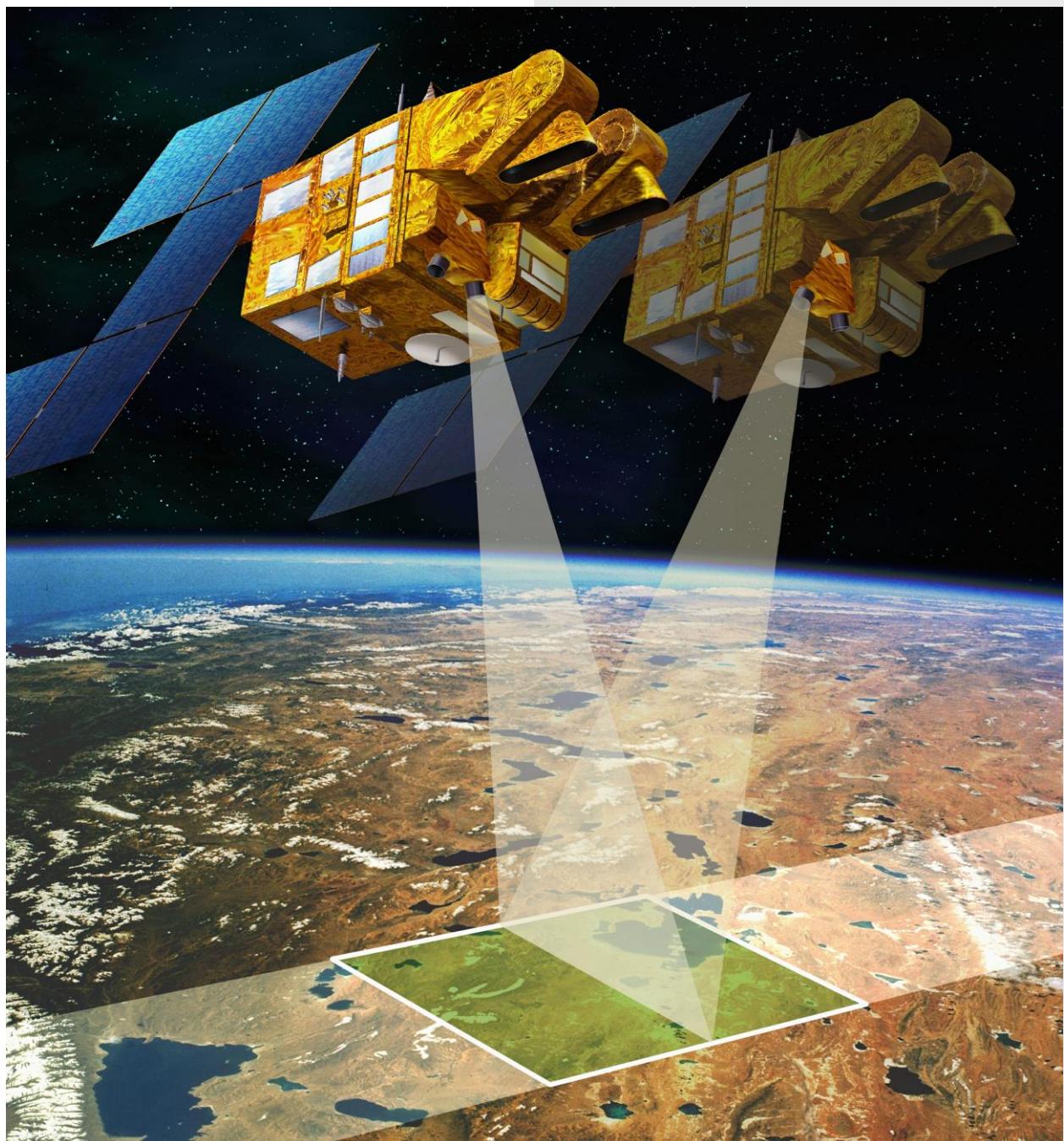
- Propagation channel,
- Image analysis,
- Multispectral and hyperspectral imaging,
- Radar signal processing,
- Estimation, detection and classification,
- Sampling,
- Filtering,
- Data fusion,
- Integration,
- Interferometry.

Pour chacune de ces compétences scientifiques, la cartographie présente les **sujets de recherche** qui ont fait l'objet d'études dans TéSA. Par exemple, concernant le traitement du signal radar, ces sujets de recherche concernent

- Le traitement d'antennes,
- L'analyse spectrale haute-résolution,
- L'estimation et la classification de signaux altimétriques,
- La détection de cibles, d'objets et d'obstacles,
- Le radar à synthèse d'ouverture (radar SAR),
- La réduction d'interférences entre les radars.

For each of these scientific specialisations the schema shows those **research subjects**, which have been investigated at TeSA. With regard to radar signals, for example, these research subjects include:

- Antenna processing,
- High resolution spectral analysis,
- Estimation and classification of altimetric signals,
- Target, object and obstacle detection,
- Synthetic aperture radar (SAR),
- Reduction of interference between radars.





Activités scientifiques

Scientific activities

Domaine Traitement du Signal et des Images

Synthèse des travaux

Les activités dans le domaine du traitement du signal et des images pour la période 2013-2014 concernent tout d'abord le positionnement et la navigation à l'aide des signaux GNSS. Le positionnement et la navigation sont des points forts du laboratoire TéSA puisque presque tous les partenaires académiques sont concernés ainsi qu'un des ingénieurs de recherche TéSA, spécialisé dans le domaine. Tous travaillent conjointement avec deux des industriels fondateurs (CNES, TAS) et plusieurs PME comme M3 Systems.

Il s'agit de développer des outils méthodologiques permettant de naviguer dans des environnements contraints (canyons urbains) en exploitant un modèle 3D de l'environnement, en utilisant des algorithmes robustes de poursuite de phase multifréquences, en modifiant le système d'acquisition des signaux GNSS, ou enfin en déterminant les sources d'interférences dont souffrent les systèmes GNSS et en proposant des méthodes permettant de les atténuer.

D'autres travaux ont porté sur l'étude de méthodes de navigation indoor à l'aide d'approches de positionnement hybride modulaire permettant l'intégration de différentes sources d'information (GNSS, signaux ultra large bande (UWB), capteurs inertIELS (MEMS), plans des bâtiments...) ainsi que sur l'estimation de l'intégrité du positionnement.

Des travaux de positionnement et de navigation ont également été effectués dans le cadre du développement du système MEOSAR (*Medium-altitude Earth Orbit Search and Rescue System*) dans lequel l'utilisation des satellites des constellations GNSS Galileo, GPS et GLONASS doit permettre une amélioration des performances.

Signal and Image processing

Summary of work

Activity on image and signal processing for the period 2013-2014 was initially focused on positioning and navigation using GNSS signals. The TeSA laboratory is particularly adept at positioning and navigation since almost all our academic partners are involved, as well as one of the TeSA research engineer focusing his activities in this area. All work together with two of the founding companies (CNES, TAS), together with several other SME such as M3 Systems.

Methodological tools are being developed which allow navigation in restricted environments such as urban canyons by exploiting a 3-D model of the environment using robust multi-frequency phase-tracking algorithms, modifying the GNSS signal acquisition system or finally, by determining the sources of interference from which GNSS systems suffer, and proposing methods for attenuating them.

Other work has focused on indoor navigation methods using modular hybrid positioning approaches combining different sources of information such as GNSS, ultra wide-band (UWB) signals, inertial sensors (MEMS), construction drawings, etc., as well as estimates for the integrity of the positioning.

Work on positioning and navigation has also been carried out for development of the Medium-altitude Earth Orbit Search and Rescue System (MEOSAR), in which use of the GNSS Galileo, GPS and GLONASS satellite constellations should improve its performance.

Les études menées par le laboratoire TéSA ont essentiellement consisté à analyser comment les performances des méthodes de localisation sont affectées par le passage de satellites LEO à des satellites MEO.

The studies carried out at the TeSA laboratory consisted essentially in analysing how the performance of positioning methods are affected by the transition from LEO satellites to MEO satellites.



© CNES - Juillet 2004 / Illustration P.CARRIL

Le traitement du signal radar est une activité qui a fait l'objet de plusieurs projets avec les partenaires académiques, un des ingénieurs de recherche de TéSA et Rockwell Collins (l'un des partenaires fondateurs de TéSA). Durant la période concernée (2013-2014), les travaux menés au sein de TéSA dans ce domaine ont porté sur l'utilisation de systèmes radar en vue de la détection des tourbillons de sillage générés par les avions de ligne à proximité des aéroports. En effet, ces mouvements d'air peuvent être dangereux pour les appareils qui les traversent et imposent des normes de délais entre chaque décollage. Leur détection en temps réel permettrait de réduire ces délais et augmenter la capacité des aéroports. Un système de détection radar, en conditions pluvieuses, a été développé au sein du laboratoire TéSA et validé à l'aide de données in situ.

Radar signal processing has been covered in several projects with academic partners, one of the TeSA research engineer and Rockwell Collins (one of TeSA's founding partners). During the period in question (2013-2014), work carried out at TeSA in this field has focused on using radar systems to detect wake vortices generated by airliners within the vicinity of airports. These movements of air can be dangerous for aircraft crossing them, which explains why regulations now require specific time to have elapsed in between take-offs. Detecting these vortices in real time would make it possible to reduce the time in between take-offs and to increase the traffic capacity of airports. A radar detection system suitable for rainy conditions has been developed by the TeSA laboratory and validated using in-situ data.

Une autre activité forte du laboratoire TéSA concerne l'analyse d'images de télédétection (images optiques, radar et hyperspectrales) menée essentiellement en partenariat avec le CNES. Pour exploiter la diversité et la complémentarité de ces images, plusieurs études ont porté sur le développement de méthodes de détection de changements entre ces images à l'aide de méthodes statistiques (basées sur le système de Pearson ou sur des techniques de *machine learning*). Dans le domaine de l'imagerie hyperspectrale, les travaux portent sur l'amélioration des techniques de démélange spectral qui décomposent chaque pixel en fonction de signatures spectrales de référence. Le modèle le plus utilisé pour ce démélange est un modèle linéaire qui a montré des propriétés intéressantes pour l'analyse de scènes planes. Le laboratoire TéSA a proposé l'étude de techniques de détection de non-linéarités qui permettent de déterminer les pixels adaptés à ce modèle de mélange linéaire et les pixels non adaptés nécessitant un traitement spécifique. Enfin, des travaux prometteurs portant sur l'apprentissage de dictionnaires (*dictionary learning*) ont été menés pour l'analyse d'images multibandes (images multispectrales et hyperspectrales).

Another major activity at the TeSA laboratory is that of analysing remote-sensing images (optical, radar and hyperspectral images) carried out essentially in partnership with CNES. To exploit the diversity and complementary nature of these images, several studies have concentrated on developing statistical methods for detecting changes between images (based on the Pearson system of probability distributions or machine learning techniques). In the field of hyperspectral imaging, the work focuses on improving techniques for unmixing spectral information, decomposing each pixel as a function of the spectral reference signatures. The model most widely used for spectral unmixing is a linear one which has demonstrated useful properties in analysing planar scenes. The TeSA laboratory proposed doing research on techniques for detecting non-linearities so as to determine which pixels are suitable for this linear mixing model and which are poorly adapted and thus require specific processing. Finally, promising work has been done on dictionary learning for analysing multi-band (multispectral and hyperspectral) images.



Il convient ensuite de mentionner certains travaux novateurs menés en collaboration avec le CNES concernant la modélisation des non-linéarités passives utilisées dans les équipements de télécommunications de forte puissance tels que les charges utiles, les filtres et les antennes des satellites de télécommunications mais aussi des stations sol de télécommunications par satellite et plus récemment des avions et des stations de base de téléphonie mobile.

Pour terminer, on peut citer une activité plus récente du laboratoire TéSA (en collaboration avec AIRBUS et le CNES) orientée autour de l'étude de méthodes statistiques de détection d'anomalies et de *data mining*. Les applications visées sont diverses et concernent les systèmes aéronautiques et les systèmes de télécommunications. Dans le contexte des systèmes aéronautiques, il s'agit de détecter le dysfonctionnement des capteurs avioniques à l'aide de méthodes prédictives et de fusion multicapteurs. Pour les systèmes de télécommunications, des études en cours sont menées pour mettre en œuvre des outils méthodologiques permettant de détecter des comportements anormaux dans des données de télémesure ou des données issues du trafic internet.

It is worth mentioning some innovative work undertaken with CNES on modelling the passive non-linearities in high power telecommunications equipment such as payloads, filters and telecommunications satellite antennas and also in the ground-stations for satellite telecommunications and more recently in aircraft and base stations for mobile telephony.

Finally, we mention a more recent activity at the TeSA laboratory (in collaboration with AIRBUS and CNES) based on the study of statistical methods for anomaly detection and data mining. Potential applications are diverse and cover aircraft and telecommunications systems. In the context of aeronautical systems, the idea is to detect abnormal behaviour in avionic sensors using predictive methods and multi-sensor data fusion. Work is being done on these telecommunication systems to implement methodological tools for detecting abnormal behaviour in telemetry data or in data from Internet traffic.

Liste des thèses soutenues

List of defended theses

Carcanague Sébastien, *Algorithmes de réception GNSS multifréquence pour positionnement précis*, thèse financée par M3 Systems, soutenue le 26/02/2013 - thesis sponsored by M3 Systems, viva on 26/02/2013.

Cazes Florian, *Méthodes de traitement innovantes pour les systèmes de commandes de vol*, thèse CIFRE, financée par AIRBUS, soutenue le 28/03/2013 - thesis sponsored by AIRBUS, viva on 28/03/2013.

Liu Zhongxun, *Modélisation des signatures radar des tourbillons de sillage par temps de pluie*, thèse financée par l'ONERA, soutenue le 27/05/2013 - thesis sponsored by ONERA, viva on 27/05/2013.

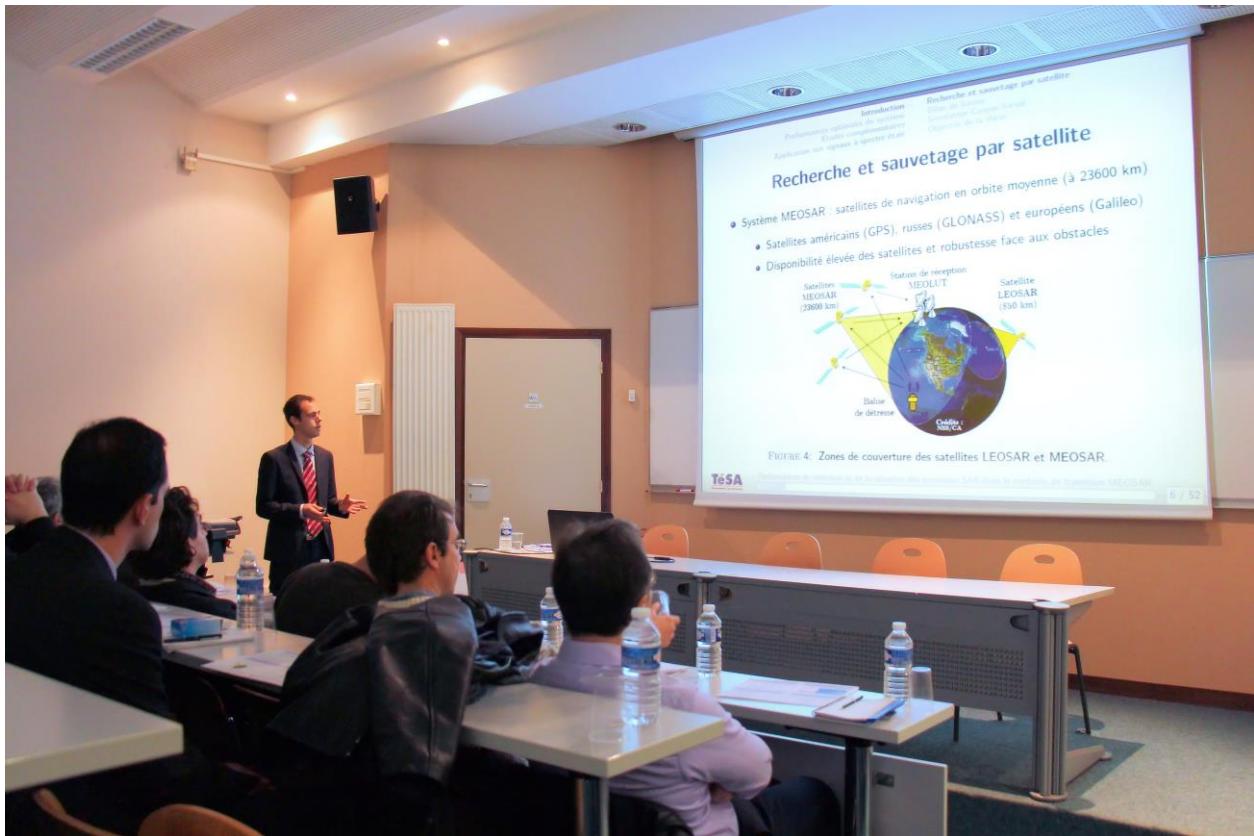
Bourdeau Aude, *Approches avancées de navigation par signaux GNSS en environnement urbain utilisant un modèle 3D*, thèse cofinancée TAS-DGA, soutenue le 06/12/2013 - thesis sponsored by TAS and DGA, viva on 06/12/2013.

Roche Sébastien, *Méthodes de poursuite de phase pour signaux GNSS multifréquence en environnement dégradé*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 19/12/2013 - thesis sponsored by CNES and TAS, viva on 19/12/2013.

Bissoli Nicolau Victor, *Performances de détection et de localisation des terminaux SAR dans le contexte de transition MEOSAR*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 27/01/2014 - thesis sponsored by CNES and TAS, viva on 27/01/2014.

Esteves Paulo, *High-sensitivity adaptive GNSS acquisition schemes*, thèse financée par le CNES, soutenue le 27/05/2014 - thesis sponsored by CNES, viva on 27/01/2014.

Dion Arnaud, *Récepteur de navigation reconfigurable pour applications spatiales*, thèse cofinancée TAS - ISAE, soutenue le 30/09/2014 - thesis sponsored by TAS and ISAE, viva on 30/09/2014.



Soutenance de thèse de Victor Bissoli, le 27 janvier 2014.
Victor Bissoli PhD defense, January 27, 2014.

Liste des projets

R&T CNES 2011 - R-S11/OT-0004-057-

Dictionnaires pour imagerie parcimonieuse, avec le CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/OT-0004-071 – Mélanges non linéaires en imagerie hyperspectrale, avec le CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/TC - 0007 -51 - Étude de non-linéarités passives, avec le CNES.

R&T CNES 2012 -R-S12/OT-0004-063- Pearson multivarié pour images multimodales, avec le CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/LN-0002-010 – Algorithmes de poursuite vectorielle en environnements dégradés, avec le CNES.

Étude Métier CNES 2013 – Techniques de traitement du signal pour algorithmes de localisation et de navigation, avec le CNES.

Modèles de propagation ionosphérique GNSS, avec le CNES.

SMOS, avec le CNES.

SUNNY - projet EUSTARS (BPI France).

Support à l'analyse des performances des liaisons RF LOC/NAV, avec le CNES et M3 Systems.

Séparation des signaux DTMF – AUDIO, avec NAVOCAP

List of projects

R&T CNES 2011 - R-S11/OT-0004-057- Dictionaries for parsimonious imaging, with CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/OT-0004-071 – Non linear mixing in hyperspectral imaging, with CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/TC - 0007 -51 – Studies of passive non linearities, with CNES.

R&T CNES 2012 -R-S12/OT-0004-063- Multivariate Pearson for multimodal images, with CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/LN-0002-010 – Vector tracking algorithms in degraded environments, with CNES.

Skill study CNES 2013 – Signal processing techniques for positioning and navigation algorithms, with CNES.

GNSS ionospheric propagation models, with CNES.

SMOS, with CNES.

SUNNY – EUSTARS project (BPI France).

Support for the analysis of RF LOC/NAV links, with CNES and M3 Systems.

Separation of DTMF – AUDIO signals, with NAVOCAP.



Liste des publications et brevets Publication and patent list

ANNÉE 2014 – YEAR 2014

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

[J.TSI.2014.1] Andersson Frederik, Carlsson Marcus, Tourneret Jean-Yves and Wendt Herwig, *A new frequency estimation method for equally and unequally spaced data*, IEEE Transactions Signal Processing, vol. 62, no. 21, pp. 5761-5774, November 2014.

[J.TSI.2014.2] Lin Chao, Kail Georg, Giremus Audrey, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves and Hlawatsch Franz, *Sequential beat-to-beat P and T wave delineation and waveform estimation in ECG signals: Block Gibbs sampler and marginalized particle filter*, Signal Processing, EURASIP, vol. 104, pp. 174-187, November 2014.

[J.TSI.2014.3] Chabiron Olivier, Malgouyres François, Tourneret Jean-Yves and Dobigeon Nicolas, *Toward fast transform learning*, International Journal of Computer Vision, Springer-Verlag, October 2014.

[J.TSI.2014.4] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Thibaut Pierre and Boy François, *A semi-analytical model for delay/Doppler altimetry and its estimation algorithm*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 52, n° 7, pp. 4248-4258, July 2014.

[J.TSI.2014.5] Maury Philippe, Lin Chao, Mailhes Corinne and Tourneret Jean-Yves, *Detection of T wave beta-to-beat variations prior to ventricular arrhythmias onset in ICD-stored intracardiac electrograms: the endocardial T-wave alternans study (ETWAS)*, Pacing. Clin. Electrophysiol. (PACE), July 2014.

[J.TSI.2014.6] Lacaze Bernard, *Errors due to demodulation in measurements of laser beam envelope and phase*, Optics Communications, vol 322, pp 82–89, July 2014.

[J.TSI.2014.7] Altmann Yoann, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Unsupervised post-nonlinear unmixing of hyperspectral images using a Hamiltonian Monte Carlo algorithm*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 26, n° 6, pp. 2663-2675, June 2014.

[J.TSI.2014.8] Altmann Yoann, Dobigeon Nicolas, McLaughlin Stephen and Tourneret Jean-Yves, *Residual component analysis of hyperspectral images - Application to joint nonlinear unmixing and nonlinearity detection*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 23, n° 5, pp. 2148-2158, May 2014.

[J.TSI.2014.9] Bidon Stéphanie, Tourneret Jean-Yves, Savy Laurent and Le Chevalier François, *Bayesian sparse estimation of migrating targets for wideband radar*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 50, no. 2, pp. 871-886, April 2014.

[J.TSI.2014.10] Besson Olivier, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Joint Bayesian estimation of close subspaces from noisy measurements*, IEEE Signal Processing Letters, vol. 21 n° 2, pp. 168-171, February 2014.

[J.TSI.2014.11] Pereyra Marcelo Alejandro, Dobigeon Nicolas, Batatia Hadj and Tourneret Jean-Yves, *Computing the Cramer-Rao bound of Markov random field parameters: Application to the Ising and the Potts models*, IEEE Signal Processing Letters, vol. 21, n° 1, pp. 47-50, January 2014.

[J.TSI.2014.12] Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves, Richard Cédric, Bermudez José, McLaughlin Stephen and Hero Alfred, *Nonlinear unmixing of hyperspectral images: models and algorithms*, IEEE Signal Processing Magazine, vol. 31, n° 1, pp. 82-94, January 2014.

[J.TSI.2014.13] Lacaze Bernard, *Characteristics of the DC/AC Ratio of Radar Backscatter from Trees*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 50, pp. 364-370, January 2014.

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

[C.TSI.2014.1] Teyssier Jean-Pierre, Sombrin Jacques B., Quéré Raymond, Laurent Sylvain and Gizard Francis, *A test set-up for the analysis of multi-tone intermodulation in microwave devices*, In Proc. Automatic RF Test Group Conference (ARFTG), Boulder, Colorado, USA, December 2-5, 2014.

[C.TSI.2014.2] Wei Qi, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Bayesian fusion of multispectral and hyperspectral images with unknown sensor spectral response*, In Proc. International Conference on Image Processing (ICIP 2014), Paris, France, October 27-30, 2014.

[C.TSI.2014.3] Zhao Ningning, Basarab Adrian, Kouamé Denis and Tourneret Jean-Yves, *Restoration of Ultrasound Images Using A Hierarchical Bayesian Model with A Generalized Gaussian Prior*, In Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014), Paris, France, October 27-30, 2014.

[C.TSI.2014.4] Sombrin Jacques B., Michel Patrice, Albert Isabelle and Soubercaze-Pun Geoffroy, *Relaxation des spécifications de produits d'intermodulation passifs des antennes de satellites fonctionnant en multi-porteuse*, In Proc. Journée thématique DGA MILSATCOM, Rennes, France, October 9, 2014.

[C.TSI.2014.5] Sombrin Jacques B., Michel Patrice, Albert Isabelle and Soubercaze-Pun Geoffroy, *Memristors as Non-Linear Behavioral Models for Passive Inter-Modulation Simulation*, In Proc. European Microwave Week, Rome, Italy, October 5-10, 2014.

[C.TSI.2014.6] Roudier Marion, Garcia Pena Axel, Julien Olivier, Grelier Thomas, Ries Lionel, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure and Kubrak Damien, *Demodulation Performance Assessment of New GNSS Signals in Urban Environments*, In Proc. ION GNSS, Tampa, Florida, USA, September 8-12, 2014.

[C.TSI.2014.7] Sombrin Jacques B., Michel Patrice, Albert Isabelle and Soubercaze-Pun Geoffroy, *Memristors as Non-Linear Behavioral Models for Passive Intermodulation Simulation*, In Proc. Int. workshop on Multipactor, Corona and Passive Intermodulation (MULCOPIM), Valencia, Spain, September 17-19, 2014.

[C.TSI.2014.8] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Moreau Thomas and Boy François, *Exploiting time and frequency information for delay/Doppler altimetry*, in Proc. European Signal and Image Processing Conference (EUSIPCO), Lisbon, Portugal, September 1-5, 2014.

[C.TSI.2014.9] Wei Qi, Bioucas Dias J.M., Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Fusion of multispectral and hyperspectral images based on sparse representation*, In Proc. European Signal and Image Processing Conference (EUSIPCO 2014), Lisbon, Portugal, September 1-5, 2014.

[C.TSI.2014.10] Bonacci David and Lacaze Bernard, *A new approach to spectral estimation from irregular sampling*, In Proc. European Signal and Image Processing Conference (EUSIPCO), Lisbon, Portugal, September 1-5, 2014.

[C.TSI.2014.11] Chabiron Olivier, Malgouyres François, Tourneret Jean-Yves and Dobigeon Nicolas, *Learning a fast transform with a dictionary*, In Proc. International Traveling Workshop on Interactions between Sparse models and Technology (iTWIST 2014), Namur, Belgium, August 27-29, 2014.

[C.TSI.2014.12] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Boy François and Moreau Thomas, *A Generalized Semi-Analytical model for delay/Doppler altimetry*, in Proc. IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS), Quebec, Canada, July 13-18, 2014.

[C.TSI.2014.13] Vernhes Jean-Adrien, Chabert Marie, Lacaze Bernard, Lesthievent Guy and Baudin Roland, *Selective analytic signal construction from a non-uniform sampled bandpass signal*, In Proc. Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, Italy, May 4-9, 2014.

[C.TSI.2014.14] Prendes Jorge, Chabert Marie, Pascal Frédéric, Giros Alain and Tourneret Jean-Yves, *A multivariate statistical model for multiple images acquired by homogeneous or heterogeneous sensors*, In Proc. Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, Italy, May 4-9, 2014.

[C.TSI.2014.15] Bourdeau Aude, Sahmoudi Mohamed and Tourneret Jean-Yves, *Prediction of GNSS Signal Bias Using a 3D Model in Urban Environments*, In Proc. 17th European Navigation Conference (ENC 2013), Vienna, Austria, April 23-25, 2013.

[C.TSI.2014.16] Sombrin Jacques B., Michel Patrice, Albert Isabelle and Soubercaze-Pun Geoffroy, *Relaxation of the multicarrier passive intermodulation specifications of antennas*, In Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), The Hague, Netherlands, April 6-11, 2014.

[C.TSI.2014.17] Chaari Lotfi, Batatia Hadj and Tourneret Jean-Yves, *Sparse Bayesian Image Restoration with Linear Operator Uncertainties with Application to EEG Signal Recovery*, In Proc. Middle East Conference on Biomedical Engineering (MECBME 2014), Doha, Qatar, February 17-20, 2014.

BREVETS – PATENTS

[B.TSI.2014.1] Sombrin Jacques B., Soubercaze-Pun Geoffroy and Albert Isabelle, *Procédé et dispositif d'évaluation prédictive de la puissance d'intermodulation dans un dispositif électronique*, n° FR2999364-A1, n°WO 2014091133 A1, June 2014.

ANNÉE 2013 – YEAR 2013

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

- [J.TSI.2013.1] Pascal Frédéric, Bombrun Lionel, Tourneret Jean-Yves and Berthoumieu Yannick, *Parameter Estimation For Multivariate Generalized Gaussian Distributions*, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 61, n° 23, pp. 5960-5971, December 2013.
- [J.TSI.2013.2] Besson Olivier and Bidon Stéphanie, *Adaptive processing with signal contaminated training samples*, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 61, pp. 4318-4329, August 2013.
- [J.TSI.2013.3] Besson Olivier and Bidon Stéphanie, *Robust adaptive beamforming using a Bayesian steering vector error model*, Signal Processing, vol. 93, pp. 3290-3299, August 2013.
- [J.TSI.2013.4] Lacaze Bernard, *A Paradox about the Analytic Signal of Laser Beams*, Open Optics Journal, vol. 7, n° 1, p. 1, January 2013.
- [J.TSI.2013.5] Chatelain Florent, Bernardoff Philippe and Tourneret Jean-Yves, *Masses of Negative Multinomial Distributions: Application to Polarimetric Image Processing*, Journal of Probability and Statistics, Hindawi Publishing Corporation, vol. 2013, 2013.
- [J.TSI.2013.6] Pereyra Marcelo Alejandro, Dobigeon Nicolas, Batatia Hadj and Tourneret Jean-Yves, *Estimating the granularity coefficient of a Potts-Markov random field within an MCMC algorithm*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, n° 6, pp. 2385-2397, June 2013.
- [J.TSI.2013.7] Parreira Wemerson, Bermudez José, Richard Cédric and Tourneret Jean-Yves, *Stochastic Behavior Analysis of the Gaussian Kernel-Least-Mean-Square Algorithm*, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 60, n° 5, pp. 2208-2222, May 2013.
- [J.TSI.2013.8] Altmann Yoann, Dobigeon Nicolas, McLaughlin Stephen and Tourneret Jean-Yves, *Nonlinear spectral unmixing of hyperspectral images using Gaussian processes*, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 61, n° 10, pp. 2442-2453, May 2013.
- [J.TSI.2013.9] Lacaze Bernard, *Equivalent Circuits for the PNS3 Sampling Scheme*, Sampling Theory in Signal & Image Processing, vol. 12, pp. 245-265, May 2013.
- [J.TSI.2013.10] Altmann Yoann, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Nonlinearity detection in hyperspectral images using a polynomial post-nonlinear mixing model*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, n° 4, pp. 1267-1276, April 2013.
- [J.TSI.2013.11] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Thibaut Pierre and Boy François, *Parameter Estimation for Peaky Altimetric Waveforms*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, n° 3, pp. 1568-1577, March 2013.
- [J.TSI.2013.12] Bazot Cécile, Dobigeon Nicolas, Tourneret Jean-Yves, K.Zaas Aimee, S. Ginsburg Geoffrey and Hero Alfred, *Unsupervised Bayesian linear unmixing of gene expression microarrays*, BMC Bioinformatics, BioMed Central, London-UK, vol. 14, n° 99, March 2013.
- [J.TSI.2013.13] Liu Zhongxun, Jeannin Nicolas and Vincent François, *Modeling the Radar Signature of Raindrops in Aircraft Wake Vortices*, AMS Journal, vol. 30, pp. 470-484, March 2013.
- [J.TSI.2013.14] Sombrin Jacques B., *Non-analytic at the origin, behavioural models for active or passive non-linearity*, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, vol. 5, n° 2, pp. 133-140, April 2013.
- [J.TSI.2013.15] Deudon François, Bidon Stéphanie, Besson Olivier and Tourneret Jean-Yves, *Velocity dealiased spectral estimators of range migrating targets using a single low-PRF wideband waveform*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 49, n° 1, pp. 244-265, January 2013.
- [J.TSI.2013.16] Shirvany Reza, Chabert Marie and Tourneret Jean-Yves, *Estimation of the Degree of Polarization for Hybrid/Compact and Linear Dual-Pol SAR Intensity Images: Principles and Applications*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, n° 1, pp. 539-551, January 2013.
- [J.TSI.2013.17] Eches Olivier, , Benediktsson Jon Atli, Dobigeon Nicolas and Tourneret Jean-Yves, *Adaptive Markov random fields for joint unmixing and segmentation of hyperspectral image*, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, n° 1, pp. 5-16, January 2013.

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

[C.TSI.2013.1] Bissoli Nicolau Victor, Coulon Martial, Gregoire Yoan, Calmettes Thibaud and Tourneret Jean-Yves, *Performance of TOA and FOA-based Localization for Cospas-Sarsat Search and Rescue Signals*, In Proc. International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP), Saint-Martin, French West Indies, December 15-18, 2013.

[C.TSI.2013.2] Paimblanc Philippe, Boucheret Marie-Laure, Poulliat Charly, Ries Lionel and Grelier Thomas, *Robust estimation of time information in GALILEO navigation messages*, In Proc. European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, Neubiberg, Germany, December 5-6, 2013.

[C.TSI.2013.3] Julien Olivier, Priya Lakshmi, Issler Jean-Luc and Lestarquit Laurent, *Estimating the ionospheric delay using GPS/Galileo signals in the E5 band*, In Proc. European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, Neubiberg, Germany, December 5-6, 2013.

[C.TSI.2013.4] Tourneret Jean-Yves, Mailhes Corinne, Halimi Abderrahim, Thibaut Pierre, Boy François and Moreau Thomas, *A generalized semi-analytical model for delay/Doppler altimetry and its estimation algorithms*, in Ocean Surface Topography Science Team Meeting (OSTST), Boulder, CO, USA, October 8-11, 2013.

[C.TSI.2013.5] Prévost Raoul, Coulon Martial, Paimblanc Philippe, Le Maitre Julia, Milleroux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *Ship localization using AIS signals received by satellites*, In Proc. European Signal and Image Processing Conference (EUSIPCO), Marrakech, Morocco, September 9-13, 2013.

[C.TSI.2013.6] Tourneret Jean-Yves, Mailhes Corinne and Halimi Abderrahim, *Cramér-Rao bounds and estimation algorithms for Delay/Doppler and conventional altimetry*, in Proc. European Signal and Image Processing Conference (EUSIPCO), Marrakech, Morocco, September 9-13, 2013.

[C.TSI.2013.7] Bonacci David and Lacaze Bernard, *Mesure des spectres avec échantillonnage irrégulier des fonctions d'autocorrélation*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 3-6, 2013.

[C.TSI.2013.8] Halimi Abderrahim, Mailhes Corinne, Tourneret Jean-Yves, Boy François and Moreau Thomas, *Modèle semi-analytique pour l'altimétrie SAR/Doppler sur océan*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 3-6, 2013.

[C.TSI.2013.9] Bissoli Nicolau Victor, Coulon Martial, Gregoire Yoan, Calmettes Thibaud and Tourneret Jean-Yves, *Borne de Cramér-Rao modifiée pour le temps d'arrivée et la période symbole. Application aux signaux de recherche et de sauvetage*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 3-6, 2013.

[C.TSI.2013.10] Sombrin Jacques B., *Discontinuity at origin in Volterra and band-pass limited models*, In Proc. International Microwave Symposium (IMS), Seattle, USA, June 2-7, 2013.

[C.TSI.2013.11] Bissoli Nicolau Victor, Coulon Martial, Gregoire Yoan, Calmettes Thibaud and Tourneret Jean-Yves, *Modified Cramér-Rao lower bounds for TOA and symbol width estimation. An application to search and rescue*, In Proc. Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing (ICASSP), Vancouver, Canada, May 26-31, 2013.

[C.TSI.2013.12] Esteves Paulo, Sahmoudi Mohamed, Ries Lionel and Boucheret Marie-Laure, *Accurate Doppler-Shift Estimation for Increased Sensitivity of Computationally Efficient GNSS Acquisition*, In Proc. 17th European Navigation Conference (ENC 2013), Vienna, Austria, April 23-25, 2013.

[C.TSI.2013.13] Sombrin Jacques B., *New Models for Passive Non Linearity Generating Intermodulation Products with Non-Integer Slopes*, In Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Göteborg, Sweden, April 8-12, 2013.

BREVETS – PATENTS

[B.TSI.2013.1] Sombrin Jacques B., *Procédé de calibration d'un mécanisme de prédistorsion des non-linéarités d'un amplificateur de puissance*, n° EP2670048 A1 and US20130336422 A1, December 2013.

[B.TSI.2013.2] Jardak Nabil, Paimblanc Philippe, Puengnim Anchalee, Ries Lionel and Vigneau Willy, *Dispositif de poursuite de signaux de radionavigation*, n° FR 3000806, January 2013, international extension in July 2014.

[B.TSI.2013.3] Goupil P., Cazes F., Dayre R., Le Berre H., Mailhes C., Chabert M. and Michel P., *Automatic Estimation Process And Device For A Flight Parameter Vector In An Aircraft, As Well As Detection Methods And Assemblies For A Failure Affecting Such A Vector*, n° EP2551738A1 and US20130030610 A1, January 2013.



Domaine Communications Numériques



Synthèse des travaux

Les travaux effectués dans ce domaine trouvent leurs applications dans les communications par satellites, les communications aéronautiques et les systèmes GNSS.

Un premier axe d'étude concerne la recherche de nouvelles formes d'onde permettant d'améliorer l'efficacité spectrale des systèmes (2 projets TéSA/CNES). La modulation CSK a ainsi été étudiée pour les systèmes de navigation par satellites.

Les performances de cette modulation associée à un code LDPC (*Low-Density Parity Check*) ont été évaluées dans différents environnements, en particulier dans le cas du canal urbain. Concernant les systèmes de télécommunications, une étude a été menée avec le CNES sur la prédition de performances de la modulation SC-OFDM (*Single Carrier - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Cette modulation est normalisée sur le lien montant du système de communications mobiles terrestres 4G (LTE). C'est en fait une modulation monoporteuse dans laquelle l'opération de convolution (filtrage) est effectuée de façon circulaire et non linéaire. Cela permet de faciliter l'estimation de canal et l'égalisation au niveau du récepteur. Dans l'étude menée, il s'agissait d'évaluer les performances de cette modulation utilisée non plus en accès multiple mais sur la voie aller d'un système de communications par satellites. La bande occupée par le signal était augmentée en utilisant les bandes de transition des filtres satellites, ce qui générait des distorsions linéaires. L'utilisation de la modulation SC-OFDM permettait de simplifier les traitements au niveau du récepteur. Les performances du système ont été étudiées analytiquement et par simulation.

Un deuxième axe d'étude concerne les systèmes multifaisceaux à très hauts débits (projet TéSA/TAS). Dans ces systèmes, les utilisateurs émettant en même temps sont placés dans des bandes de fréquence adjacentes et une réutilisation des mêmes bandes de fréquence est effectuée dans des faisceaux différents. Deux types d'interférences différents peuvent alors apparaître : les ACI (*Adjacent Channel Interference*) dues en particulier à l'imperfection des filtres de réception, et les RFI (*Radio Frequency*



Digital communications



Summary of work

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

The first line of approach is research into new waveforms for improving the spectral efficiency of systems (Two TeSA/CNES projects). Hence CSK modulation has been investigated for satellite navigation systems.

The performance levels for this modulation scheme associated with a Low-Density Parity Check (LDPC) code have been assessed in various environments, in particular in the case of an urban channel. With regard to telecommunication systems, a study was undertaken with CNES on predicting the performance of Single Carrier - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (SC-OFDM) modulation. This modulation scheme has been standardised on the upload link for terrestrial mobile 4G communication systems (LTE). This is a single-carrier modulation scheme in which convolution (filtering) is applied in a circular and non-linear manner. This facilitates channel estimates and equalisation at the receiver. Our study assessed the performance of this modulation scheme, which is no longer used in multiple access mode but rather on the outgoing channel of a satellite communication system. The band occupied by the signal was augmented by using the satellite filter transition bands, which generated linear distortion. Use of the SC-OFDM modulation scheme simplified processing at the receiver end. System performance levels were investigated analytically and by simulation.

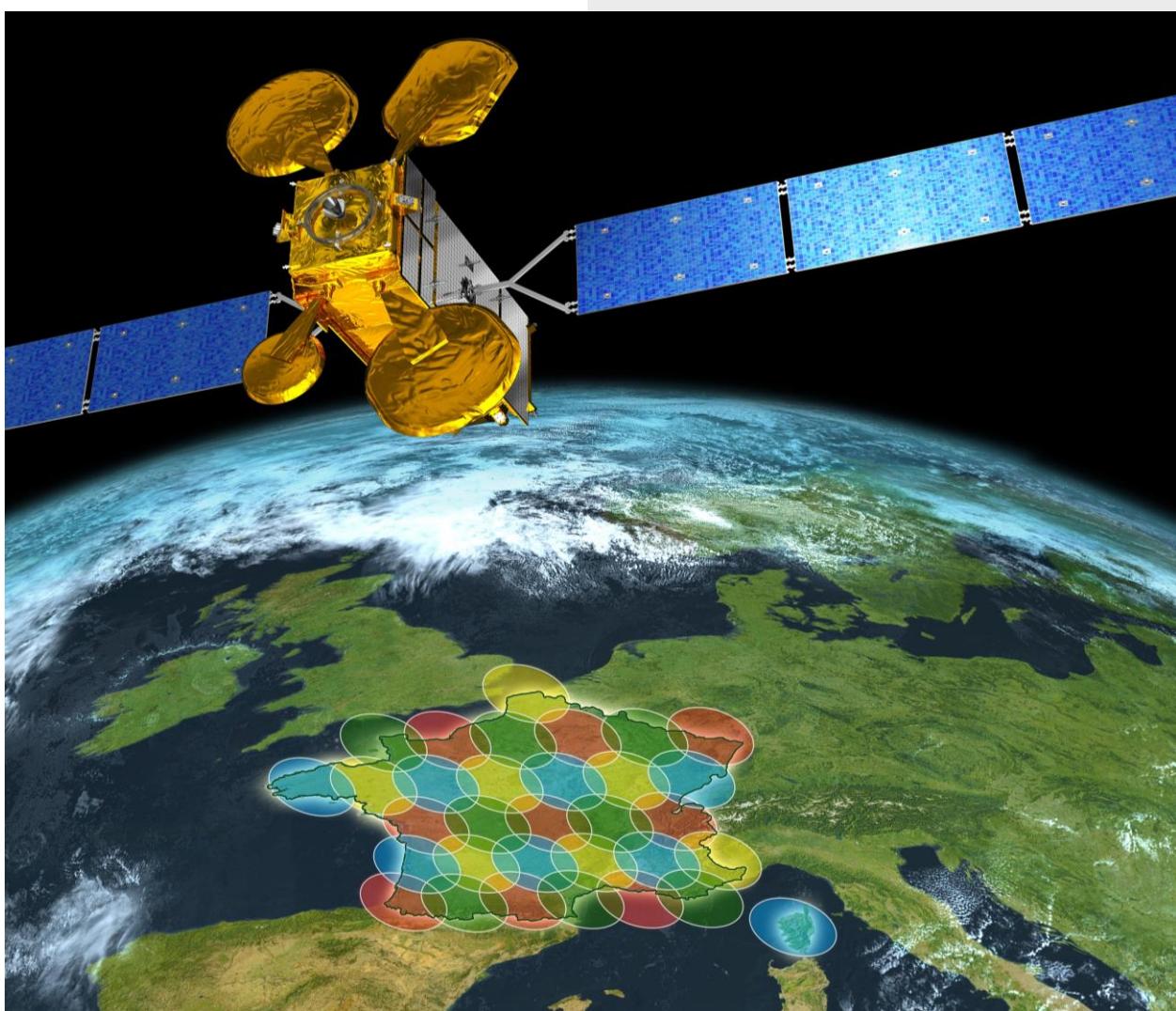
The second line of investigation concerns very high bit-rate multi-beam systems (TeSA/TAS project). In these systems, users transmit at the same time in adjacent frequency bands and the same frequency bands are re-used in different beams. Two different types of interference may then occur: Adjacent Channel Interference (ACI) due, in particular, to imperfections in the receiver filters, and Radio Frequency Interference (RFI) due to the imperfect radiation diagram of the antenna forming the beams.

Interference) dues au diagramme d'antenne imparfait des éléments d'antenne formant les faisceaux. L'évolution des systèmes satellite en bande Ka (30/20 GHz) devrait être caractérisée par une densification conjointe des faisceaux utilisateurs dans la couverture et des porteuses dans le spectre. Cela implique une dégradation des performances du rapport de la puissance du signal à démoduler sur celle des interférences dues à la réutilisation de fréquence entre faisceaux. D'autre part une diminution de l'espacement entre porteuses est envisagée. Il en résulte une autre dégradation des performances du rapport de la puissance du signal à démoduler sur celle des interférences dues aux porteuses adjacentes.

Des techniques reposant sur du précodage des porteuses qui s'interfèrent ont été proposées pour la voie aller (passerelle - satellite - terminal). Sur la voie retour (terminal - satellite - passerelle), une nouvelle technique par introduction d'un code utilisateur dans les trames (un code par couleur) permettant de mesurer la part d'interférences et de signal utile a été étudiée. Un traitement vectoriel sur l'ensemble des signaux reçus par toutes les passerelles permet alors de limiter l'impact des interférences de réutilisation de fréquence.

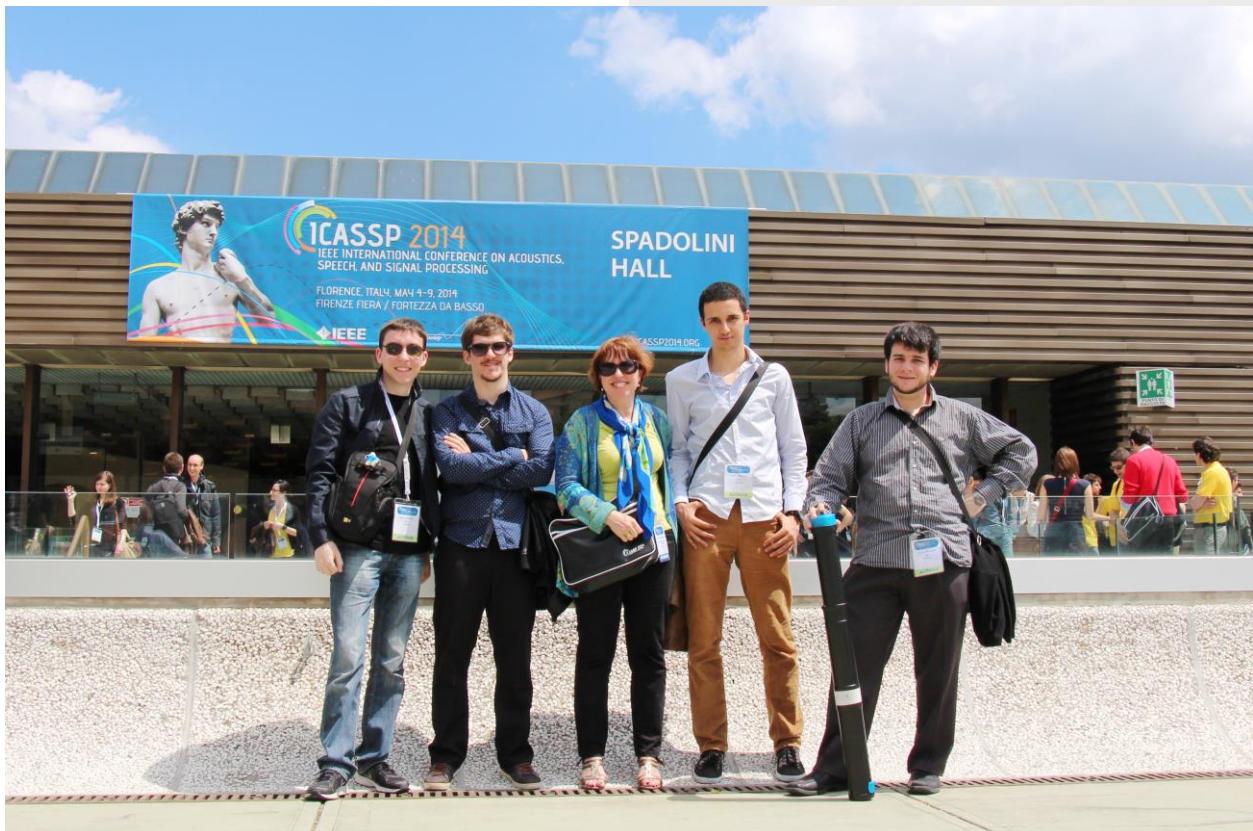
Future Ka band satellite systems (30/20 GHz) should be characterised by a collective "densification" of user beams in the coverage and carrier beams in the spectrum. This means a deterioration of performance regarding the ratio of the power of the signal to be demodulated to that of interference due to the re-use of the frequencies between beams. On the other hand, a reduction in the spacing between carriers can be expected. This results in deterioration of performance in the ratio of the power of the signal to be demodulated to that of interference due to adjacent carriers.

Techniques relying on pre-coding the interfering carriers have been suggested for the outgoing path (gateway - satellite - terminal). On the return path (terminal - satellite - gateway), we have been investigating a new technique in which a user code is introduced into the data frames (one code per colour) to measure the relative proportions of interference and useful signal. Vectorial processing of all the signals received by all the gateways then limits the effects of interference resulting from the re-use of frequencies.



Un troisième axe d'étude concerne la calibration et plus particulièrement la calibration sans signal de référence (2 projets TéSA/TAS et 1 projet TéSA/CNES). La calibration (en général) permet d'améliorer les performances fonctionnelles (typiquement le gain d'antenne et le rapport C/I, ainsi que le taux d'erreurs de bits) à composants inchangés. Elle permet de relâcher les spécifications d'approvisionnement des composants, donc d'en réduire le coût, à spécifications fonctionnelles inchangées. Les avantages de la calibration n'utilisant pas de signal de calibration sont nombreux. Cette technique ne nécessite pas d'interruption de service ou de système d'injection du signal de calibration sur les différentes voies à calibrer, ce qui offre à son tour deux avantages conséquents : une économie de masse et de puissance consommée du système d'injection (en réception en particulier) et la suppression des sources d'erreur de calibration dues aux imperfections du système d'injection. De plus, cette technique améliore la souplesse d'emploi dans la mesure où elle supprime toute contrainte sur le plan de fréquences qui soit liée à la cohabitation du signal utile avec un signal de calibration. Les techniques étudiées lors de ces projets sont essentiellement des techniques d'égalisation aveugle.

The third line of investigation is calibration, specifically calibration without a reference signal (two TeSA/TAS projects and one TeSA/CNES project). Calibration (in general) enables functional performance (typically antenna gain and carrier-interference (C/I) ratio, plus the bit error rate) to be improved while leaving components unchanged. It allows the component procurement specifications to be relaxed, hence reducing costs, while the functional specifications remain unchanged. There are many advantages to signal-less calibration. The technique requires no interruption of service or calibration signal injection into the various channels to be calibrated, providing in turn two concomitant advantages: a savings in mass of the injection system and the power it consumes (particularly when receiving), and the elimination of sources of calibration errors due to imperfections in the injection system. Furthermore, this technique improves flexibility of use in that it eliminates any potential constraints on the frequency plane due to the fact that the useful signal co-exists with a calibration signal. The techniques studied in these projects are essentially blind equalisation techniques.



TéSA à la conférence IEEE ICASSP, à Florence, en mai 2014.
TeSA at IEEE ICASSP Conference, in Florence, May 2014.

Le quatrième axe d'étude concerne l'utilisation de techniques de radio cognitive pour les communications par satellites et a fait l'objet d'un projet TéSA/CNES. Les partenaires devaient proposer des contextes d'application et les outils pour l'étude, le dimensionnement et le déploiement d'un système satellitaire exploitant le paradigme de la radio cognitive. Dans ce contexte, différents scénarios furent envisagés qui permettent l'exploitation par le lien satellite de ressources spectrales partagées spatialement ou temporellement avec un système terrestre mais sans coopération. Ce projet concernait à la fois la couche physique et l'accès. Les principaux résultats obtenus ont été la proposition de schémas réalistes d'application de la radio cognitive par satellite, la définition d'une architecture système (accès) possible pour la radio cognitive par satellite dans le cadre d'un système de communication par satellite fixe avec accès partagé avec un système terrestre et enfin la définition d'une architecture système (accès) possible pour la radio cognitive par satellite dans le cadre d'un système de communication aéronautique pour le déploiement d'une flotte de drones en espace civil.

Liste des thèses soutenues

Aucune ne s'est soutenue en 2013 et 2014 ; toutefois en 2011-2012, 5 thèses se sont soutenues dans ce domaine et en 2015, 3 devraient se soutenir.

Liste des projets

R&T CNES 2010 - R-S10/LN-0003-009- Performances des modulations CSK, avec le CNES.
R&T CNES 2010 -R-S10/BS-0003-037-Analyse des interfaces air utilisables pour HFPE, avec le CNES.
R&T CNES 2012 - R-S12/TC-0006-020 - Cognitive Radio par Satellite, avec le CNES.
R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0005-050- Calibration en fréquence sans interruption de service, avec le CNES.
SATNEX III, avec l'ESA.
Optimisation générique de bilan de liaison, avec TAS.
Réduction d'interférences pour les systèmes très haut débit, avec TAS.
Calibration en fréquences, avec TAS.
Calibration aveugle d'une antenne active pour SatCom, avec TAS.

The fourth line of investigation concerns the use of cognitive radio techniques for satellite communications and is the focus of a TeSA/CNES project. The partners had to suggest application contexts and tools for the study, design and deployment of a satellite system making use of the cognitive radio paradigm. In this context, various scenarios were envisaged for making use of the spectral resources via a satellite link shared spatially or temporally with a terrestrial system (but in the absence of cooperation). This project was concerned with both access and the physical layer. The main results were: the proposing of realistic application schemes for cognitive radio by satellite, definition of a possible system architecture (access) for cognitive radio by satellite in the context of a fixed satellite communication system with access shared with a terrestrial system, and finally, definition of a possible system architecture (access) for cognitive radio by satellite in the context of an aircraft communication system for deploying a fleet of drones in civilian airspace.

List of defended theses

No PhD thesis defence in 2013 and 2014; however, in 2011-2012, 5 theses were defended in this field, and 3 theses should finish in 2015.

List of projects

R&T CNES 2010 - R-S10/LN-0003-009- CSK modulation performance, with CNES.
R&T CNES 2010 -R-S10/BS-0003-037- Analysis of air interfaces usable for HFPE, with CNES.
R&T CNES 2012 - R-S12/TC-0006-020 - Cognitive Radio by satellite, with CNES.
R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0005-050- Frequency calibration without interruption of service, with CNES.
SATNEX III, with ESA.
Generic optimisation of link budget, with TAS.
Interference reduction for very high bit rate systems, with TAS.
Frequency calibration, with TAS.
Blind calibration with an active antenna for SatCom, with TAS.

Liste des publications et brevets

Publication and patent list

ANNÉE 2014 – YEAR 2014

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

[J.CN.2014.1] Fares Fares, Escrig Benoît, Boucheret Marie-Laure, Calmettes Thibaud and Guillon Hervé, *Multi-user detection for the ARGOS satellite system*, International Journal of Satellite Communications and Networking, Wiley, vol. 1, January 2014.

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

[C.CN.2014.1] Zidane Karine, Lacan Jérôme, Boucheret Marie-Laure and Poulliat Charly, *Improved channel estimation for interference cancellation in random access methods for satellite communications*, In Proc. Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 13th Signal Processing for Space Communications Workshop (ASMS/SPSC), Livourne, Italy, September 8-10, 2014.

[C.CN.2014.2] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Design of systematic gira codes for CPM*, In Proc. International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing (ISTC), Brême, Allemagne, August 17-24, 2014.

[C.CN.2014.3] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Design of unstructured and photograph-based LDPC coded continuous phase modulation*, In Proc. International Symposium on Information Theory (ISIT), Honolulu, June 24-July 08, 2014.

[C.CN.2014.4] Benaddi Tarik, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Gadat Benjamin and Lesthievent Guy, *Asymptotic analysis and design of LDPC codes for laurent-based optimal and suboptimal CPM receivers*, In Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, Italy, May 4-10, 2014.

[C.CN.2014.5] Roudier Marion, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure, Garcia Pena Axel, Julien Olivier, Grelier Thomas, Ries Lionel and Kubrak Damien, *Optimizing GNSS Navigation Data Message Decoding in Urban Environment*, In Proc. Position, Location and Navigation Symposium (IEEE/ION PLANS), Monterey, USA, May 5-8, 2014.

[C.CN.2014.6] Prévost Raoul, Coulon Martial, Bonacci David, Le Maitre Julia, Milleroux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *Partial CRC-assisted error correction of AIS signals received by satellite*, In Proc. Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, Italy, May 4-9, 2014.

[C.CN.2014.7] Roudier Marion, Garcia Pena Axel, Julien Olivier, Grelier Thomas, Ries Lionel, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure and Kubrak Damien, *New GNSS Signals Demodulation Performance in Urban Environments*, In Proc. International Technical Meeting (ITM), Institute Of Navigation (ION), San Diego, USA, January 27-29, 2014.

ANNÉE 2013 – YEAR 2013

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

[J.CN.2013.1] Meric Hugo, Lacan Jérôme, Arnal Fabrice, Lesthievent Guy and Boucheret Marie-Laure, *Combining Adaptive Coding and Modulation With Hierarchical Modulation in Satcom Systems*, IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 59, n° 4, pp. 627-637, December 2013.

[J.CN.2013.2] Prévost Raoul, Coulon Martial, Bonacci David, Le Maitre Julia, Milleroux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *CRC-based detection algorithms for AIS signals received by satellite*, International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 31, no. 4, pp. 157-176, July/August 2013.

[J.CN.2013.3] Sreng Sokchenda, Escrig Benoît and Boucheret Marie-Laure, *Exact Symbol Error Probability of Hybrid/Integrated Satellite-Terrestrial Cooperative Network Outage*, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, pp. 1310-1319, July 2013.

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

[C.CN.2013.1] Roudier Marion, Grelier Thomas, Ries Lionel, Garcia Pena Axel, Julien Olivier, Poulliat Charly, Boucheret Marie-Laure and Kubrak Damien, *GNSS Signal Demodulation Performance in Urban Environments*, In Proc. European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, Neubiberg, Germany, December 5-6, 2013.

[C.CN.2013.2] Paimblanc Philippe, Boucheret Marie-Laure, Poulliat Charly, Ries Lionel and Grelier Thomas, *Robust estimation of time information in GALILEO navigation messages*, In Proc. European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, Neubiberg, Germany, December 5-6, 2013.

[C.CN.2013.3] Sombrin Jacques B., *Multicarrier Passive Inter-Modulation Prediction from 2-Carrier Measurements*, In Proc. International Conference on Satellite and Space Communications (ICSS), Florence, Italie, October 14-17, 2013.

[C.CN.2013.4] Prévost Raoul, Coulon Martial, Bonacci David, Le Maitre Julia, Millerioux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *Poursuite de phase durant la démodulation et le décodage des signaux AIS reçus par satellite*, In Proc. Groupement de Recherche en Traitement du Signal et des Images (GRETSI), September 3-6, 2013.

[C.CN.2013.5] Sombrin Jacques B., *Discontinuity at origin in Volterra and band-pass limited models*, In Proc. International Microwave Symposium (IMS), Seattle, USA, June 2-7, 2013.

[C.CN.2013.6] Meric Hugo, Lacan Jérôme, Amiot Bazile Caroline, Arnal Fabrice and Boucheret Marie-Laure, *Trade-off between spectrum efficiency and link unavailability for hierarchical modulation in DVB-S2 systems*, In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2013), Dresden, Germany, June 2-5, 2013.

[C.CN.2013.7] Sombrin Jacques B., *Modélisation et prédition des produits d'intermodulation passifs*, In Proc. Journées Nationales Microondes (JNM), Paris, France, May 14-17, 2013.

[C.CN.2013.8] Prévost Raoul, Coulon Martial, Bonacci David, Le Maitre Julia, Millerioux Jean-Pierre and Tourneret Jean-Yves, *Joint phase-recovery and demodulation-decoding of AIS signals received by satellite*, In Proc. Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Processing (ICASSP), Vancouver, Canada, May 26-31, 2013.

[C.CN.2013.9] Roche Sébastien, Bidon Stéphanie, Monnerat Michel, Ries Lionel and Thevenon Paul, *Phase Locked Loop with Multifrequency Phase Unwrapping Structure*, In Proc. 17th European Navigation Conference (ENC 2013), Vienna, Austria, April 23-25, 2013.

BREVETS – PATENTS

[B.CN.2013.1] Jardak Nabil, Paimblanc Philippe, Puengnim Anchalee, Ries Lionel and Vigneau Willy, *Dispositif de poursuite de signaux de radionavigation*, n° FR 3000806, January 2013, international extension in July 2014.

Domaine Réseaux

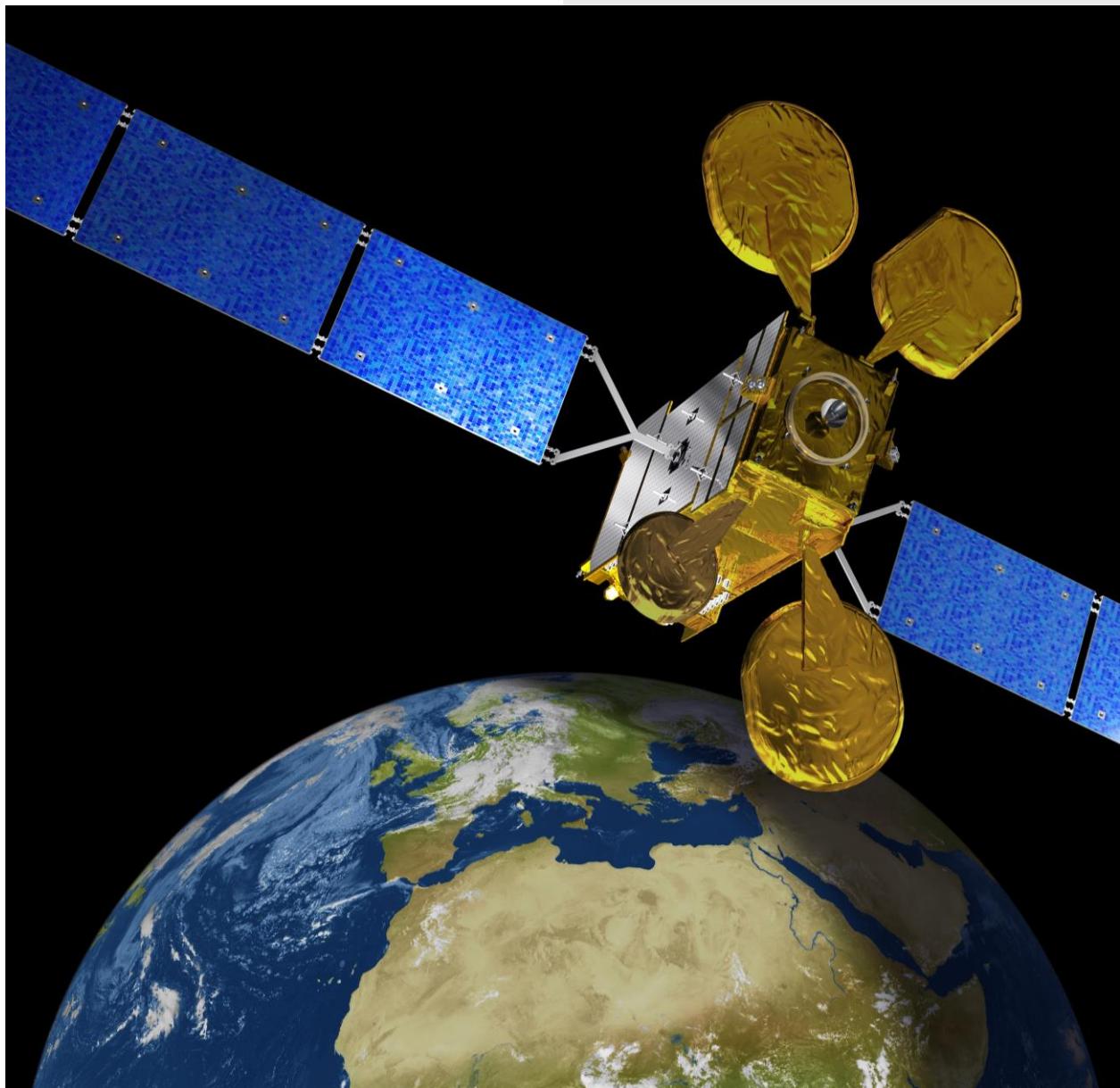
Synthèse des travaux

Les travaux effectués dans ce domaine sont massivement focalisés sur l'utilisation d'un lien satellite à des fins de communication en mode paquet. En effet, l'exploitation d'un lien satellite telle que définie par les normes DVB-S et DVB-RCS (DVB pour *Digital Video Broadcasting* et RCS pour *Return Channel via Satellite*) était jusqu'à récemment essentiellement conçue pour la diffusion de médias à débit constant temporellement contraints. Un tel lien est donc inadapté pour des communications de type IP (donc généralement point à point, à débit variable et non contraintes temporellement). Des techniques ad hoc ont donc été définies de sorte à rendre ces communications aussi efficaces que possible.

Networking

Summary of work

The work carried out in this area is largely focused on using a satellite link for communication in packet-switching mode. Operation of a satellite link as defined by the DVB-S and DVB-RCS standards (DVB for Digital Video Broadcasting and RCS for Return Channel via Satellite) was, until recently, designed essentially for broadcasting media at constant bit-rate with temporal restrictions. Hence such a link is inappropriate for IP communications (generally point to point, at variable bit-rate without temporal constraints). Ad hoc techniques have therefore been defined to make these communications as efficient as possible



L'arrivée de la génération suivante des standards DVB-S2 et DVB-RCS2 a changé la donne, en offrant de nouvelles opportunités (car cette nouvelle génération est clairement orientée « paquet ») mais également en posant de nouveaux défis, notamment par l'introduction de l'ACM (*Adaptive Coding and Modulation*) ou encore la gestion de la voie retour.

En ce qui concerne la voie retour, l'étude « Accès multiple à contention » (pour TAS) s'est ainsi attachée à analyser finement les performances des méthodes d'accès proposées récemment dans le cadre de la standardisation DVB-RCS2 avec un intérêt particulier pour la nouvelle méthode CRDSA (*Contention Resolution Diversity Slotted Aloha*) et ses extensions, notamment MuSCA. Il s'agit de construire un modèle de simulation de cette méthode et de valider analytiquement les résultats de ce modèle afin d'établir un lien entre ses performances et la taille des trames. L'étude « DVB-S2 bidirectionnel » (en collaboration avec TAS pour le CNES), vise quant à elle à étudier l'opportunité d'utiliser sur cette voie retour un tramage similaire à celui de la voie aller (d'où le nom de S2 bidirectionnel) en mode *bursté*. Cela permettrait en effet une certaine forme de simplification (par homogénéité) et une meilleure performance, au moins dans certains scénarios spécifiques.

L'introduction de l'ACM a ajouté un degré de liberté supplémentaire puisque les paquets de niveau accès n'ont plus une taille quantifiée (paquets MPEG ou cellules ATM). La problématique de l'allocation des ressources devient donc plus complexe car la contrainte d'avoir un canal à débit variable se rajoute aux problématiques d'ordonnancement des flux applicatifs (QoS, famine, équité...) et d'allocation de la ressource. C'est à cet impact de l'adaptativité de la transmission sur la qualité de service que l'étude « impact de l'adatativité sur la QoS IP » (en collaboration avec TAS pour le CNES) a été consacrée. Elle a conduit à un sujet de thèse cofinancé par TAS et le CNES.

Une autre difficulté induite par l'utilisation d'IP sur un lien satellite est celle de la performance des protocoles de transport (c'est-à-dire de TCP). L'objectif de l'étude « banc d'ingénierie des protocoles de transport » (en collaboration avec TAS et Viveris pour le CNES) est de définir un cadre d'expérimentation (par la spécification d'un banc de test) permettant d'étudier ces performances et de déterminer les paramètres dimensionnant.

Une solution classiquement utilisée dans le monde satellite se fonde sur l'utilisation de passerelles de niveau transport (appelés PEPs). La

The arrival of the next generation standards DVB-S2 and DVB-RCS2 changed everything, offering new opportunities (since this new generation is clearly "packet" oriented) but also raising new challenges, especially with the introduction of Adaptive Coding and Modulation (ACM) and the return path management.

As regards the return path, the "Contention-based multiple access" study (for TAS) was designed for a thorough analysis of the performance of the access methods recently put forward in the context of DVB-RCS2 standardisation, with a particular focus on the new Contention Resolution Diversity Slotted Aloha (CRDSA) method and its extensions, MuSCA especially. The aim is to construct a simulation model for this method and to validate analytically the results from the model in order to establish a link between its performance and the size of the data frames. The aim of the "bidirectional DVB-S2" study (in collaboration with TAS for CNES) on the other hand, is to investigate the possibility of using a similar data frame on this return path to that on the outgoing path (whence the name bidirectional S2) in burst mode. This would enable a certain form of simplification (by homogeneity) and an improved performance, at least under certain specific scenarios.

The introduction of ACM has added a further degree of freedom since access packets no longer have a quantified size (MPEG packets or ATM cells). The problem of resource allocation is therefore becoming more complex since the restriction of having a variable bit-rate channel adds to the problems of application flow scheduling (QoS, famine, equity, etc.) and resource allocation. The study entitled "The effect of adaptivity on IP QoS" has been dedicated to investigating the effect of the adaptivity of transmission on quality of service (in collaboration with TAS for CNES), and has led to a thesis supported by TAS and CNES.

Another difficulty associated with the use of IP on a satellite link is that of the performance of transport protocols (i.e., TCP). The objective of the "transport protocol engineering test-bench" project (in collaboration with TAS and Viveris for CNES) is to define an experimental framework (by specifying a test bench) for studying this performance and to determine the design parameters.

A standard solution used for satellites is based on the use of transport gateways known as Packetised Ensemble Protocols (PEPs). However, Renaud Sallantin's thesis supported by TAS and CNES has shown the limitations of such an approach: on the one hand, the new TCP versions

thèse financée par TAS et CNES de Renaud Sallantin a cependant montré les limites d'une telle approche : d'une part les nouvelles versions de TCP rendent les PEPs caduques sur les connexions longues et d'autre part la rupture du principe de bout en bout est particulièrement préjudiciable, notamment en termes de sécurité.

Renaud Sallantin a alors proposé une méthode (*initial spreading*) offrant à TCP des performances optimales dans toutes les simulations. L'étude « Implantation TCP » a permis d'en valider la pertinence dans le cadre d'une implantation sur un vrai système.

make PEPs redundant over long connections, while on the other hand, breaking the end-to-end principle is particularly detrimental, especially in terms of security. Renaud Sallantin therefore suggested a method (initial spreading) giving optimal TCP performance in all the simulations. The study "TCP embedding" was able to validate the method's pertinence for integration in a real system.



Au-delà de la couche transport, les protocoles applicatifs doivent également être revisités pour tirer au mieux profit des liens satellite. Ainsi l'étude « Navigation Web et environnement satellite » (pour TAS) s'est-elle intéressée aux performances de protocoles émergents tels que QUIC et SPDY dans un environnement satellite. De la même façon, l'étude « techniques de cache et CDN » s'est focalisée sur l'analyse de l'intérêt à utiliser des techniques de *caching* dans des réseaux intégrant un lien satellite.

Paradoxalement, la transmission de flux vidéo sur un réseau IP soulève elle aussi de nombreuses questions. Le problème fondamental est celui de la qualité de service qui doit être fournie à ces trafics contraints par le temps que l'on souhaite acheminer sur un réseau incapable de respecter ces contraintes.

Les solutions envisagées par le projet ANR « ARSSO » (TéSA, Alcatel-Lucent-Bell-Labs, INRIA-Grenoble, INRIA-Rennes, Eutelsat, CEA-LETI et Thales Communications) intègrent donc des mécanismes de robustesse et d'adaptation dynamique, seuls capables de faire face à ces caractéristiques. Pour cela plusieurs pistes sont considérées. En particulier, les solutions qui sont construites peuvent utiliser les briques élémentaires essentielles que sont les codes AL-FEC (codes correcteur d'effacements de niveau applicatif), les techniques de codage vidéo « *scalable* », ou bien un module de modélisation/prédiction des caractéristiques de transmission.

Les réseaux par satellite peuvent également être utilisés dans un contexte plus spécifique. Leur pertinence est évidente dès qu'il s'agit de communiquer avec des objets en mouvement ou disséminés sur des zones géographiques vastes ou peu desservies. L'étude « Architecture femtocell LTE » (pour RCF) s'est ainsi intéressée à la faisabilité d'un réseau LTE (*Long Term Evolution*) à bord d'un avion grâce à un *backhauling* fourni par un lien satellite. La thèse de Fabian Astudillo a proposé des techniques de téléchargement de contenus dans des réseaux véhiculaires en focalisant sur l'utilisation d'une infrastructure. Citons encore la thèse de Patrice Raveneau qui a étudié l'utilisation de liens satellite pour collecter et acheminer des données recueillies par des capteurs répartis sur de grandes étendues.

Enfin, l'économie d'énergie est un objectif que les réseaux en général et par satellite en particulier ne peuvent plus ignorer. L'étude « économie d'énergie pour transmission satellitaire » (en collaboration avec TAS pour le CNES) a permis de faire un état des lieux des opportunités en la matière.

Apart from the transport layer, the application protocols must also be reconsidered to get the maximum benefit from satellite links. Hence the "Web navigation and satellite environment" study (for TAS) is examining the performance of emerging protocols such as Quick UDP Internet Connections (QUIC) and SPDY (pronounced SPeeDY) in a satellite environment. Similarly, the "Cache and CDN techniques" study focuses on analysing the benefits of using caching techniques in networks with a satellite link.

Paradoxically, the transmission of video data over an IP network raises a number of issues. The fundamental problem is that of the quality of service needed for this time-constrained data traffic, which needs to be carried over a network incapable of satisfying these constraints.

The solutions envisaged by the ANR project "ARSSO" (TeSA, Alcatel-Lucent-Bell-Labs, INRIA-Grenoble, INRIA-Rennes, Eutelsat, CEA-LETI and Thales Communications) therefore include robust and dynamic adaptive mechanisms which are the only solutions capable of addressing such characteristics. Several leads are being considered. In particular, the solutions constructed might use essential elementary bricks such as AL-FEC codes (application correction codes for deletions), "scalable" video coding techniques, or a module for modelling and/or predicting transmission characteristics.

Satellite networks can also be used in a more specific context. Their relevance is clear when we communicate with moving objects, or objects that are spread out over vast or poorly served geographical areas. The "LTE femtocell architecture" study (for RCF) therefore focuses on the feasibility of a Long Term Evolution (LTE) network on an aircraft using backhauling provided by a satellite link. Fabian Astudillo's thesis suggests techniques for downloading content into vehicle networks by focusing on an infrastructure. We also mention Patrice Raveneau's thesis, which has examined the use of satellite links for collecting and channelling data collected by sensors distributed over great distances.

Finally, saving energy is an objective which networks in general, and satellites in particular, can no longer ignore. The aim of the study "Energy saving for satellite transmission" (in collaboration with TAS for CNES) is to make an inventory of opportunities in this field.

Liste des thèses soutenues

List of defended theses

Astudillo Salinas Darwin Fabian, *Téléchargement de contenus dans les réseaux véhiculaires*, thèse financée par TAS, soutenue le 27/09/2013 - thesis sponsored by TAS, viva on 27/09/2013.

Raveneau Patrice, *Satellites d'observation et réseaux de capteurs autonomes au service de l'environnement*, thèse autofinancée par TéSA, soutenue le 20/06/2014 - thesis sponsored by TeSA, viva on 20/06/2014.

Sallantin Renaud, *Optimisation de bout-en-bout du démarrage des connexions TCP*, thèse cofinancée CNES-TAS, soutenue le 29/09/2014 - thesis sponsored by CNES and TAS, viva on 29/09/2014.

Liste des projets

ARSSO – Transport fiable de la vidéo, avec l'ANR.

R&T CNES 2011 - R-S11/TC-0008-012 - Impact de l'adaptativité sur la QoS IP, avec le CNES.

R&T CNES 2011 – R-S11/TC-0005-024- - Accès multiple à contention pour DVB-RCS, avec le CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/TC-0005-035- Système de communication DVB-S2 bidirectionnel, avec le CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0008-021 – Mécanisme de fiabilisation du transport de l'information, avec le CNES.

CNES SMILE 2013 - Étude banc d'ingénierie des protocoles transport, avec le CNES.

Étude Métier CNES 2013 – Économie d'énergie pour transport satellitaire, avec le CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0005-044 – Protection efficace des en-têtes des standards de communication par satellite, avec le CNES

Architecture Femtocell LTE, avec RCF.

LTE Pour Hélicoptères, avec RCF.

Implantation TCP, avec TAS.

Navigation Web (HTTP) en environnement Satellite (Satcom), avec TAS.

Techniques de cache et architectures CDN / publish – subscribe, avec TAS.

List of projects

ARSSO – Reliable video transport, with ANR.

R&T CNES 2011 - R-S11/TC-0008-012 – Effect of adaptivity on IP QoS, with CNES.

R&T CNES 2011 – R-S11/TC-0005-024- - Multiple access contention for DVB-RCS, with CNES.

R&T CNES 2012 - R-S12/TC-0005-035- Bidirectional DVB-S2 communication system, with CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0008-021 – Mechanism for reliable transport of information, with CNES.

CNES SMILE 2013 - Transport protocol engineering test-bench, with CNES.

Skill study CNES 2013 – Energy saving for satellite transmission, with CNES.

R&T CNES 2013 - R-S13/TC-0005-044 – Effective protection for satellite communication standard headers, with CNES.

LTE Femtocell architecture, with RCF.

LTE for helicopters, with RCF.

TCP embedding, with TAS.

Web navigation (HTTP) in a satellite environment (Satcom), with TAS.

Caching techniques and CDN architectures / publish – subscribe, with TAS.

Liste des publications et brevets

Publication and patent list

ANNÉE 2014 – YEAR 2014

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

[J.RS.2014.1] Mezghani Farouk, Dhaou Riadh, Nogueira Michèle and Beylot André-Luc, *Content dissemination in Vehicular Social Networks: Taxonomy and User satisfaction*, IEEE Communications Magazine, vol. 52, pp. 34-40, December 2014.

[J.RS.2014.2] Kuhn Nicolas, Lochin Emmanuel, Lacan Jérôme, Boreli Roksana and Clarac Laurence, *On the impact of link layer retransmission schemes on TCP over 4G satellite links*, International Journal of Satellite Communications and Networking, January 2014.

[J.RS.2014.3] Stanica Razvan, Chaput Emmanuel and Beylot André-Luc, *Reverse back-off mechanism for safety vehicular ad hoc networks*, Ad Hoc Networks Journal, Elsevier, vol. 16, p. 210-224, May 2014.

[J.RS.2014.4] Tran Thai Tuan, Lacan Jérôme and Lochin Emmanuel, *Joint On-The-Fly Network Coding/Video Quality Adaptation for Real-Time Delivery*, Elsevier Signal Processing : Image Communication, vol. 29, n° 4, pp 449-461, April 2014.

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

[C.RS.2014.1] Raveneau Patrice, Dhaou Riadh, Chaput Emmanuel and Beylot André-Luc, *DTNs BACK: DTNs Broadcasting ACK*, In Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2014), Austin, USA, December 8-12, 2014.

[C.RS.2014.2] Dupé Jean-Baptiste, Chaput Emmanuel, Baudoin Cédric, Bès Caroline, Deramecourt Arnaud and Beylot André-Luc, *Optimized GSE Packet Scheduling over DVB-S2*, In Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Austin, USA, December 8-12, 2014.

[C.RS.2014.3] Raveneau Patrice, Dhaou Riadh, Chaput Emmanuel and Beylot André-Luc, *FREAK DTN : Frequency Routing, Encounters And Keenness for DTN*, In Proc. IEE IFIP Wireless Days (WD 2014), Rio de Janeiro, Brasil, November 12-14, 2014.

[C.RS.2014.4] Astudillo Salinas Darwin Fabian, Beylot André-Luc and Chaput Emmanuel, *PRAVDA: Pseudo Random Network Coding in Vanet for Data Download*, In Proc. IEE IFIP Wireless Days (WD 2014), Rio de Janeiro, Brasil, November 12-14, 2014.

[C.RS.2014.5] Sallantin Renaud, Baudoin Cédric, Chaput Emmanuel, Arnal Fabrice, Dubois Emmanuel and Beylot André-Luc, *A TCP Model for Short-Lived Flows to Validate Initial Spreading*, In Proc. IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2014), Edmonton, Canada, September 8-11, 2014.

[C.RS.2014.6] Kuhn Nicolas, Lochin Emmanuel, Lacan Jérôme, Mehani Olivier and Boreli Roksana, *CLIFT: a Cross-Layer InFormation Tool for Latency Analysis Based on Real Satellite Physical Traces*, In Proc. 7th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference (ASMS), Livourne, Italy, September 8-10, 2014.

[C.RS.2014.7] Trang Si Quoc Viet, Kuhn Nicolas, Lochin Emmanuel, Baudoin Cédric, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *On The Existence Of Optimal LEDBAT Parameters*, In Proc. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC), Sydney, Australia, June 10-14, 2014.

[C.RS.2014.8] Dupé Jean-Baptiste, Chaput Emmanuel, Baudoin Cédric, Bès Caroline, Deramecourt Arnaud and Beylot André-Luc, *Rule-based Packet Scheduling for DVB-S2 Through Generic Stream Encapsulation*, In Proc. IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC), Sydney, Australia, June 10-14, 2014.

ANNÉE 2013 – YEAR 2013

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

[J.RS.2013.1] Kacimi Rahim, Dhaou Riadh and Beylot André-Luc, *Load Balancing Techniques for Lifetime Maximizing in Wireless Sensor Networks*, Ad Hoc Networks Journal, Elsevier, vol. 11, pp. 2172-2186, November 2013.

[J.RS.2013.2] Giraldo Rodriguez Carlos, Franck Laurent, Baudoin Cédric and Beylot André-Luc, *Improving MANET routing with satellite out-of-band signaling*, International Journal of Satellite Communications and Networking, Wiley, vol. 31, pp. 303-315, November 2013.

[J.RS.2013.3] Iturralde Mauricio, Ali-Yahiya Tara, Wei Anne and Beylot André-Luc, *Ressource Allocation for Real Time Services in LTE Networks Resource allocation using cooperative game theory and virtual token mechanism*, Wireless Personal Communications, Springer, vol. 72, pp. 1415-1435, September 2013.

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

[C.RS.2013.1] Sallantin Renaud, Chaput Emmanuel, Dubois Emmanuel, Baudoin Cédric, Arnal Fabrice and Beylot André-Luc, *Initial Spreading : un mécanisme pour le démarrage rapide des connexions TCP*, In Proc. Séminaire RESCOM, Lyon, France, December 18-19, 2013.

[C.RS.2013.2] Tran Thai Tuan, Changuel Nesrine, Kerboeuf Sylvaine, Faucheux Frédéric, Lochin Emmanuel and Lacan Jérôme, *Q-AIMD: A Congestion Aware Video Quality Control Mechanism*, In Proc. 20th International Packet Video Workshop, San Jose, CA, USA, December 12-13, 2013.

[C.RS.2013.3] Raveneau Patrice, Chaput Emmanuel, Dhaou Riadh, Dubois Emmanuel, Gélard Patrick and Beylot André-Luc, *Martinet : A Disciplinarian Protocol for Resource Access in DTN*, In Proc. IEEE IFIP Wireless Days (WD 2013), Valencia, Spain, November 13-15, 2013.

[C.RS.2013.4] Artero Guillaume, Jakllari Gentian, Canouragues Lucile and Beylot André-Luc, *On Estimating the End-to-End Bandwidth in Multi-Transceiver Multi-Hop Cognitive Radio Networks*, In Proc. Workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks (PM2HW2N), Barcelona, Spain, November 3-8, 2013.

[C.RS.2013.5] Sallantin Renaud, Baudoin Cédric, Chaput Emmanuel, Arnal Fabrice, Dubois Emmanuel and Beylot André-Luc, *Initial Spreading : a Fast Start-Up TCP Mechanism*, In Proc. IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2013), Sydney, Australia, October 21-24, 2013.

[C.RS.2013.6] Kuhn Nicolas, Bui Huyen-Chi, Lacan Jérôme, Radzik José and Lochin Emmanuel, *On the Trade-off Between Spectrum Efficiency with Dedicated Access and Short End-to-End Transmission Delays with Random Access in DVB-RCS2*, In Proc. ACM LCDNet, Miami, United States, September 30, 2013.

[C.RS.2013.7] Kuhn Nicolas, Mehani Olivier, Sathiaseelan Arjuna and Lochin Emmanuel, *Less-than-Best-Effort capacity sharing over high BDP networks with LEDBAT*, In Proc. IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC), Las Vegas, USA, September 2-5, 2013.

[C.RS.2013.8] Raveneau Patrice, Chaput Emmanuel, Dhaou Riadh, Dubois Emmanuel and Gélard Patrick, *Carreau : CARrier REsource Access for mUle, DTN applied to hybrid WSN / satellite system*, In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2013), Las Vegas, USA, September 2-5, 2013.

[C.RS.2013.9] Kuhn Nicolas, Van Wambeke Nicolas, Gineste Mathieu, Gadat Benjamin, Lochin Emmanuel and Lacan Jérôme, *On the Impact of Link Layer Retransmissions on TCP for Aeronautical Communications*, In Proc. 5th International Conference on Personal Satellite Services (PSATS), Toulouse, France, June 27-28, 2013.

[C.RS.2013.10] Kuhn Nicolas, Mehani Olivier, Bui Huyen-Chi, Lacan Jérôme, Radzik José and Lochin Emmanuel, *Physical Channel Access (PCA): Time and Frequency Access Methods Simulation in NS-2*, In Proc. 5th International Conference on Personal Satellite Services (PSATS), Toulouse, France, June 27-28, 2013.

[C.RS.2013.11] Astudillo Salinas Darwin Fabian, Chaput Emmanuel and Beylot André-Luc, *Bulk data transfer through VANET infrastructure*, In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2013), Dresden, Germany, June 2-5, 2013.

Collaborations

Les activités scientifiques de TéSA sont menées pour l'essentiel avec les partenaires membres fondateurs de TéSA que sont le CNES, Thalès Alenia Space et Rockwell Collins France. Mais TéSA collabore aussi avec des partenaires non membres de l'association qui participent à la diversité et à la richesse des thèmes scientifiques explorés.

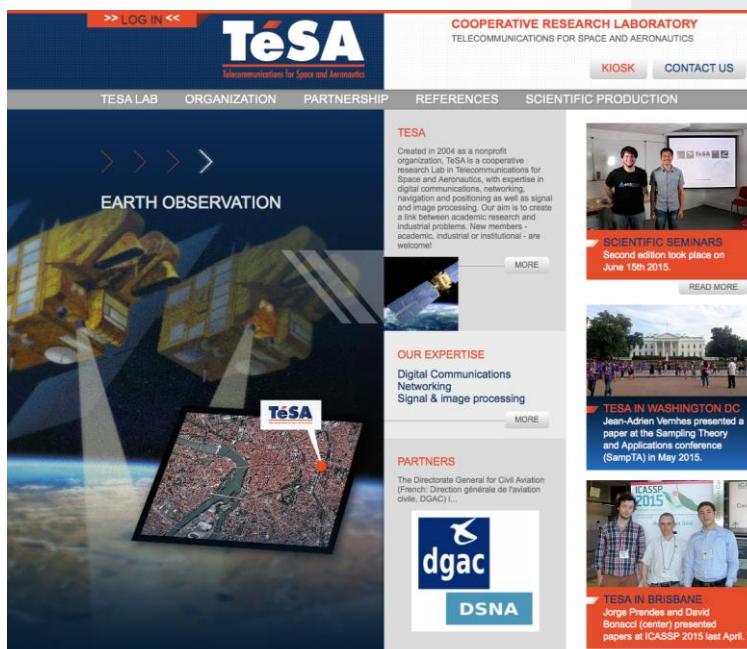
Ainsi, durant ces deux années 2013 et 2014, TéSA a été impliqué dans un projet européen (EUROSTARS), dans un réseau d'excellence ESA (SATNEX) et sur un projet ANR (ARSSO). TéSA a aussi travaillé avec des PME toulousaines comme M3 Systems et NAVOCAP, le contact avec cette dernière ayant été établi grâce à l'association Cap'Tronic.

Enfin, en 2014 a été commencé un projet avec l'IRT Saint Exupéry qui n'est pas mentionné dans ce rapport d'activité puisque se finissant en 2015. Rendez-vous au prochain rapport d'activité pour en connaître les détails !

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 événements contribuent aussi au rayonnement de TéSA.

En premier lieu, la mise en ligne du nouveau site web www.tesa.prd.fr a été faite en décembre 2013 : un site plus moderne, plus complet et plus interactif. On pourra y trouver la liste des publications scientifiques mais aussi les derniers événements du moment, illustrés par un petit encart, la cartographie des domaines scientifiques et des domaines d'applications, sous forme d'une animation interactive, etc.



Collaborations

Scientific work at TeSA is carried out in the main with our founder members and partners, namely CNES, Thalès Alenia Space and Rockwell Collins France. However, TeSA also collaborates with partners who are not members of TeSA, but who nonetheless participate in the richness and wide variety of the scientific themes explored.

Thus in 2013 and 2014 TeSA was involved in a European project (EUROSTARS), in an ESA "network of excellence" (SATNEX) and an ANR project (ARSSO). TeSA has also worked with SMEs in Toulouse such as M3 Systems and NAVOCAP, with whom contact had been made through the Cap'Tronic association.

Finally, a project with IRT Saint Exupéry started in 2014; this project is not covered in detail in this report since it will only finish in 2015. Please read the next activity report for more details!

TeSA outreach

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

To start with, the new website www.tesa.prd.fr went on-line in December 2013. This is a more modern, complete and interactive site, which contains not only the list of scientific publications, but also the very latest events illustrated by a small inset, a map of the scientific fields and fields of application in the form of an interactive animation, etc.

Le nouveau site web TéSA.
The new web site TeSA.

TéSA, étant une émanation proche des académiques, s'implique aussi dans des activités de formation. Ainsi, plusieurs des enseignants-recherches et ingénieurs de recherche interviennent dans les stages de formation continue de la EUROSÆ, dans les stages MTS011 (Traitement du signal – techniques classiques) et MTS012 (Communications numériques et Traitement du signal). Autre connexion avec le monde de la formation, Cap'Tronic a fait appel à David Bonacci, ingénieur de recherche TéSA pour animer une partie de la formation proposée le 21 mai 2014 sur le « Traitement numérique du signal : concepts fondamentaux et avancés, architectures récentes ».

L'implication de TéSA dans les activités de formation proches de la recherche se matérialise aussi par la présence de sa directrice, Corinne Mailhes, dans le bureau de l'école doctorale MITT.

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 divers événements : par exemple, lors des dernières Journées des Jeunes Chercheurs (JC²) organisées par le CNES, qui ont eu lieu du 13 au 15 octobre 2014, deux doctorants TéSA ont reçu un prix : Jean-Baptiste Dupé et Jean-Adrien Vernhes, chacun des prix étant lié à la présentation de leur thèse, le premier sur « l'ordonnancement et la gestion des ressources pour un système de télécommunication bidirectionnel haut débit » et le deuxième sur « l'échantillonnage non uniforme : application aux filtrages et aux conversions analogiques-numériques ».

Being an organisation with close academic links, TeSA is also involved in training activities. Hence, several lecturer-researchers and research engineers are among the teachers of the EUROSÆ continuous development courses, of the MTS011 courses (Signal processing - classical techniques) and of the MTS012 courses (Digital communications and signal processing). In another connection with the world of training, Cap'Tronic asked David Bonacci, a TeSA research engineer, to facilitate part of the training proposed for 21 May 2014 on "Digital signal processing: fundamental and advanced concepts and recent architectures".

TeSA's involvement in training at the cutting edge of research is also evidenced by the presence of the Director, Corinne Mailhes, on the doctoral panel at MITT, to which most of the TeSA PhD students are affiliated.

Clearly, TeSA doctoral candidates also help spread TeSA's reputation, not merely through their published articles but also by taking part in various events. For example, during the latest Young Researcher Days (JC²) organised by CNES from 13 to 15 October 2014, two TeSA doctoral candidates Jean-Baptiste Dupé and Jean-Adrien Vernhes, received a prize for the presentation of their respective theses, "The scheduling and resource management on a bidirectional, high data-rate telecommunications system" and "Non-uniform sampling: application to filtering and analog-digital conversion".



Jean-Adrien Vernhes (à droite) recevant son prix aux JC², des mains de J.-C. Souyris (au centre) et de M. Pircher, directeur du Centre Spatial de Toulouse (à gauche).

Jean-Adrien Vernhes (right) receiving his price at the JC2, from J.-C. Souyris (center) and M. Pircher, director of the Toulouse Spatial Center (left).

En 2013, Rémi Diana a reçu le prix de thèse ISAE, pour sa thèse soutenue en 2012 sur le routage dans les réseaux DTN.

Les organisateurs des Pleiades Days ont invité le doctorant Jorge Prendes à venir présenter ses travaux sur la détection de changements dans des images provenant de capteurs hétérogènes en avril 2014.

Les projets sur lesquels travaille TéSA sont aussi l'occasion de retombées pour valoriser le travail effectué. Par exemple, les projets ARPOD et MOSARIM auxquels a participé TéSA et qui se sont terminés en 2012 ont conduit à des succès et sont à l'origine de la nouvelle gamme de radars anticollision, comme le AC1000. Un bel exemple de recherche appliquée qui voit ses résultats se concrétiser à court terme au travers de produits qui améliorent la vie quotidienne.

Les travaux menés dans TéSA sont aussi matière à divulgation lors de journées scientifiques. Par exemple, l'étude R&T CNES sur l'utilisation du Pearson multivarié dans des images multimodales a vu ses résultats présentés lors de divers événements, comme l'atelier organisé par l'Académie Technique Militaire (ATM) de Bucarest sur les « *Current works in Non-Stationary Signal and Image processing* » en 2014, les Rencontres de Technologies Spatiales du CNES sur l'extraction d'informations des images en juillet 2014 et les journées Télédétection et Texture du projet PEPS Wave à lIMS de Bordeaux en 2013.

Le TéSA est aussi membre de pôles de compétitivité, comme le pôle Aerospace Valley et le pôle PEGASE. En particulier, dans le pôle Aerospace Valley, Jacques Lanciaux est un des animateurs du domaine d'activités stratégiques (DAS) en Navigation, Positionnement, Télécommunications, Observation (NPTO).

In 2013, Rémi Diana received the ISAE thesis prize for his thesis submitted in 2012 on routing in DTN networks.

The organisers of the 'Pleiades Days' invited the doctoral candidate Jorge Prendes to present his work on the detection of changes in images from heterogeneous sensors in April 2014.

The projects on which TeSA is working also provide valuable spinoffs. For example, the ARPOD and MOSARIM projects in which TeSA participated and which ended successfully in 2012 led to a new range of anti-collision radars such as the AC1000. This is a good example of applied research speedily resulting in products which improve everyday life.

Work carried out at TeSA is also presented during scientific events. For example, the CNES R&T study on the use of multivariate Pearson distributions for multimodal images has been presented at various events such as the workshop organised by the Military Technical Academy in Bucharest on "Current work in Non-Stationary Signal and Image processing" in 2014, the CNES space technology workshop (*Rencontres de Technologies Spatiales*) in July 2014 covering the extraction of information from images, the seminar on remote sensing and texture "*journées Télédétection et Texture*", part of the PEPS Wave project at lIMS, Bordeaux, in 2013.

In addition, TeSA is a member of various "competitiveness clusters" such as Aerospace Valley and PEGASE. In particular, Jacques Lanciaux is one of the leaders at Aerospace Valley in the area of strategic activities (DAS) in Navigation, Positioning, Telecommunications and Observation (NPTO).



Tendances - perspectives

Trends and perspectives

Domaine Localisation et Navigation

Les activités de navigation et de synchronisation liées aux systèmes et applications de localisation et navigation s'insèrent naturellement dans le programme européen de positionnement par satellites GALILEO qui va entrer en concurrence avec le système américain GPS, le système Russe GLONASS, le système Chinois BEIDOU/COMPASS ou les systèmes Indien (IRSS) ou Japonais (QZSS).

Ces services liés au système GALILEO peuvent être répartis en diverses catégories

- le service « grand public » qui sera principalement utilisé par les particuliers. Les applications concernées par ce type de service sont nombreuses et sont par exemple liées à la santé (télé médecine), à la localisation de points d'intérêts (restaurants, stations essence...), ou de particuliers, à la réception d'alertes indiquant des embouteillages par exemple...
- Le service « commercial » qui sera le système de plus grande précision mais qui ne sera disponible qu'au prix d'une redevance éventuelle versée à l'opérateur GALILEO. Les applications professionnelles visées concernent l'agriculture, les assurances (*geo-fencing*), la géodésie, les constructions.
- Le service de « sûreté de la vie » qui permettra d'obtenir une localisation précise et intégrée pour le transport aéronautique, maritime, ferroviaire et terrestre.
- Le service « public réglementé » qui sera par exemple destiné aux services liés à la défense, aux interventions d'urgence, au transport de matières dangereuses...
- Le service « de recherche et de secours » lié aux services d'intervention et d'urgence. Il permet par exemple de localiser les balises de type Cospas-Sarsat et d'envoyer un message d'acquittement vers ces balises.

Positioning and navigation

The navigation and synchronisation work related to positioning and navigation systems and applications fits naturally into the European GALILEO satellite positioning programme which is about to compete with the American GPS system, the Russian GLONASS system, the Chinese BEIDOU/COMPASS system and the Indian (IRSS) and Japanese (QZSS) systems.

The navigation and synchronisation services linked to the GALILEO system can be split into various categories.

- The "general public" service, which will be used mainly by private individuals. This type of service covers many applications, for example in health care (telemedicine), locating points of interest (restaurants, fuel stations, etc.), or for private individuals receiving warnings (e.g., traffic congestion, etc.).
- The "commercial" service, which will be the most accurate system, but available only on subscription payable to the GALILEO operator. The professional applications targeted will cover agriculture, insurance (*geo-fencing*), geodesy and construction.
- The "safety critical" service, which will provide accurate and reliable positioning information for air and land transport, ships and railways.
- The "public service" system which will, for example, be intended for services related to defence, emergencies, transport of dangerous goods, etc.
- The "search and rescue" system related to the emergency services. This will, for example, locate COSPAS-SARSAT beacons and send them an acknowledgement signal.

Domaine Observation de la Terre

Les activités liées aux systèmes d'observation de la Terre s'articuleront dans les futures années autour de deux gros programmes

- le programme de surveillance de la Terre Copernicus qui est la suite du programme GMES (Global Monitoring for Environment for Security). Ce programme est financé conjointement par l'agence spatiale Européenne (ESA) et l'Union Européenne
- le programme météorologique Eumetsat qui est financé par 26 pays Européens pour la mise en place, la maintenance et l'exploitation des satellites météorologiques,

auxquels se rajoutent les programmes actuels SMOS (sol moisture and ocean salinity), AltiKa (altimétrie en bande Ka), SWOT dont les successeurs seront intégrés ou pas dans Copernicus.

Les objectifs du programme Copernicus sont liés à l'environnement et à la sécurité au travers de divers services comme ceux énoncés ci-dessous

- le service *land monitoring* qui s'intéresse à la surveillance des zones continentales avec des problèmes comme le suivi de la végétation, la carte d'occupation des sols, la cartographie et l'aménagement du territoire, la qualité et la disponibilité de l'eau...)
- le service *marine monitoring* qui traite de la surveillance des océans (sécurité maritime, prévention des marées noires, surveillance des glaces...)
- le service *atmosphere monitoring* qui traite de problèmes liés à la qualité de l'air, aux aérosols, aux gaz à effet de serre...
- le service *emergency management* dédié aux situations de crises avec des enjeux importants comme le développement de méthodes de cartographie rapide (déttection de changements) pour aider les secours mais aussi des problématiques liées à la prévention et à l'évaluation des dégâts.

Les objectifs du programme Eumetsat sont liés à la mise en place, la maintenance et l'exploitation des systèmes européens de satellites météorologiques. Les problèmes découlant de ce programme sont par exemple l'aide aux prévisions météorologiques ou la détection des changements climatiques.

Earth observation

Over the coming years, activities related to Earth observation systems will centre on two major topics.

- The *Copernicus* Earth monitoring programme, which follows on from the GMES (*Global Monitoring for Environment for Security*) programme. This programme is being jointly financed by the European Space Agency (ESA) and the European Union.
- The *Eumetsat* meteorological programme, which is financed by 26 European countries for launching, maintaining and operating meteorological satellites.

And additionally the current SMOS (*soil moisture and ocean salinity*), AltiKa (*Ka band altimetry*), and SWOT programmes, whose successors may, or may not, be incorporated into Copernicus.

The objectives of the *Copernicus* programme are related to the environment and safety through various services such as those given below.

- The *land monitoring* service, which is concerned with continental areas and covers problems such as vegetation monitoring, land-use maps, cartography and regional development, quality and availability of water, etc.)
- The *marine monitoring* service, covering the oceans (maritime safety, prevention of oil spills, surveillance of ice cover, etc.)
- The *atmosphere monitoring* service, which deals with issues such as air quality, aerosols, greenhouse gases, etc.)
- The *emergency management* service, for crisis mitigation covering important issues such as the development of rapid mapping methods (detection of changes) to assist the search and rescue teams, but also problems related to the prevention and assessment of damage.

The objectives of the *Eumetsat* programme are related to the launching, maintenance and operation of European meteorological satellite systems. The problems concomitant with this programme are, for example, helping with weather forecasts or detecting climate change.

Domaine Communications par Satellite

Les systèmes de télécommunications par satellites mis en opération récemment confirment une tendance amorcée au début des années 2000 : l'accès aux bandes supérieures (Ka, Q et V), la course à l'efficacité spectrale et la prédominance du tout IP.

Nous détaillons ces éléments dans les paragraphes suivants en traitant séparément systèmes et services.

Les systèmes

Pour les plateformes géostationnaires, la saturation des bandes Ku entraîne une escalade vers les bandes supérieures telles que les bandes Ka, Q et V. En revanche, celles-ci sont plus affectées par les conditions de transmission. L'impact de la pluie – pour ne citer qu'elle – sur une transmission Ka est environ 4 fois supérieur comparée à la bande Ku. Ces défis ont été catalyseurs de l'avènement des systèmes multifaisceaux massifs (par exemple KaSAT dispose de 82 faisceaux utilisateur).

Parallèlement à cela, alors que les satellites lancés vers la fin des années 2000 (peu de faisceaux) offrent des capacités globales de l'ordre de quelques Gb/s, les générations à venir de satellites multifaisceaux annoncent des capacités dépassant les 100 Gb/s. Ces chiffres impressionnantes sont les résultats d'une réutilisation intensive des fréquences, de modulations à haute efficacité spectrale et de la recherche d'un bilan de liaison sans cesse optimisé.

La combinaison de ces deux tendances a un impact très fort sur l'ensemble du système satellite, que ce soit la plateforme (nécessité de fournir plus de puissance et d'embarquer un poids plus important), la charge utile télécom (évolution vers des charges utiles flexibles ou reconfigurables) et l'architecture du système (*feeder link* en optique ou dans les bandes Q & V).

Pour les plateformes non géostationnaires, on observe le renouvellement des systèmes actuels (par exemple Iridium next-generation et Globalstar) et l'émergence de nouveaux systèmes (par exemple, O3b et OneWeb) qui tirent parti de la réutilisation de fréquences inhérentes aux systèmes non géostationnaires.

Satellite communications

Recently commissioned satellite telecommunication systems have confirmed a trend which began around 2000: access to the upper bands (Ka, Q and V), the race for spectral efficiency and the predominance of entirely-IP systems.

The details are set out in the next few sections, dealing with systems and services separately.

Systems

For geostationary platforms, saturation in the Ku bands is leading to a climb towards the upper bands such as Ka, Q and V. On the other hand, these bands are more sensitive to transmission conditions. The effect of rain (and not just rain) on Ka transmission is about four times greater than that for the Ku band. These challenges have acted as catalysts for the advent of massive multi-beam systems (e.g., KaSAT has 82 user beams).

In parallel, while the satellites launched towards the end of the 2000s (which did not use many beams) offer global capacities of the order of a few Gb/s, future generations of multi-beam satellites are set to provide capacities exceeding 100 Gb/s. These impressive figures are the result of intensive re-use of frequencies, high-efficiency spectral modulation schemes and unceasing research to optimise link budgets.

The combination of these two trends has had a very powerful effect on the whole satellite system, whether the platform (the need to provide more power and carry a greater weight), the telecoms payload (evolving towards flexible or reconfigurable payloads), or the system architecture (*optical feeder link* or in the Q & V bands).

For non-geostationary platforms, we are witnessing the renewal of current systems (e.g., *Iridium next-generation* and *Globalstar*) and the emergence of new systems (e.g., *O3b* and *OneWeb*), which capitalise on re-using the frequencies inherent in non-geostationary systems.

Les services

L'évolution des services par satellite est tirée par la tendance du « tout sur IP », ce qui nécessite de garantir l'interconnexion des services terrestres avec le segment spatial et l'optimisation du fonctionnement des protocoles du monde IP en fonction des caractéristiques des liaisons satellites.

Pour les systèmes broadcast, la tendance amorcée par le DVB-S concernant le transport des datagrammes IP dans les trames MPEG est à présent pleinement prise en compte dans les évolutions de DVB-S2. La recherche d'un *overhead* minimum lié aux encapsulations successives reste de mise. On observe également une convergence entre les systèmes *broadcast* et *broadband* au travers des services IPTV.

Pour les systèmes fixes (FSS et dans une certaine mesure MSS), l'évolution permanente des standards de téléphonie mobile terrestre alimente une réflexion cyclique sur le rôle du satellite dans ces architectures et plus particulièrement sur l'hybridation des communications entre segment terrestre et segment spatial.

À la marge de ces grands domaines d'application, on retrouve des services très spécifiques (liés à l'exploration spatiale) ou émergents tels que la collecte de données et les communications *machine-to-machine* (M2M) qui sont poussées – entre autres – par le développement de l'Internet des objets.

Services

The evolution of satellite services is driven by the trend towards "entirely IP", which requires a guaranteed interconnection between the terrestrial services and the space segment, plus optimising the operation of IP protocols according to the properties of the satellite links.

For *broadcast* systems, the trend initiated by DVB-S in the transport of IP datagrams in MPEG data frames has been fully taken into account in the evolution of DVB-S2. The search remains for a minimum *overhead* linked to successive encapsulations. We also observe that *broadcast* and *broadband* systems are converging via IPTV services.

For fixed systems (FSS, and to some extent, MSS), the steady evolution in the standards of terrestrial mobile telephony results in repeated discussions on the role of satellites in these architectures, and more especially on the hybridisation of communications between the terrestrial and space segments.

On the edge of these major application fields we find emergent or very specific services (related to space exploration) such as the collection of data and *machine-to-machine* (M2M) communications, which are, *inter alia*, driven by the development of the Internet of Things.

Domaine Communications Aéronautiques

Les communications aéronautiques sont réparties en deux grandes catégories : celles qui contribuent au bon déroulement du vol (par exemple la gestion de l'espace aérien) et celles qui permettent de mener à bien la mission (par exemple transport de passagers, de fret). Il faut rajouter à cela les communications et fonctionnalités intrinsèques à l'aéronef qui garantissent son bon fonctionnement (par exemple le bus interne permettant de relier les calculateurs, les commandes et actuateurs de vol, enregistreur de vol).

Cette catégorisation n'est pas si nette en ce qui concerne les moyens de transmission. Communications « vol » (par exemple ATC, ATN) et « mission » (par exemple AOC) peuvent

Aircraft communications

Aircraft communications are divided into two major categories: those which contribute to a smooth flight (e.g., air traffic control) and those which allow the mission to be completed (e.g., transport of passengers or freight). We should add to this the intrinsic communications and functionality of the aircraft which guarantee its proper operation (e.g., the internal bus connecting the flight recorder, computers, controls and flight actuators).

This categorisation is not quite so neat when it comes to the means of transmission. "Flight" (e.g., Air Traffic Control (ATC), Aeronautical Telecommunications Network (ATN)) and "mission" (e.g., AOC) communications can exist side by side on the HF, VHF and UHF channels which provide low data rates and hence are saturated. For example, 90 % of the ACARS transmission capacity (on HF/VHF) is dedicated to Aeronautical Operational Control (AOC) traffic (commercial operations), to the detriment of an increase in capacity for other communications.

cohabiter sur les canaux HF, VHF et UHF qui offrent un faible débit et sont donc saturés. À titre d'exemple, 90 % de la capacité de transmission ACARS (sur HF/VHF) est dédiée au trafic AOC (exploitation commerciale), au détriment d'une augmentation de capacité pour les autres communications. Par ailleurs et compte tenu de l'ensemble des systèmes déjà déployés, les communications « vols » reposent sur des technologies historiques qui bien qu'offrant fiabilité et déterminisme sont à présent très exposées en termes de sécurité (confidentialité, intégrité, authentification).

Il est donc nécessaire de repenser la correspondance entre types de trafic et moyens de transmissions disponibles. Il est également nécessaire de faire évoluer ces moyens de transmissions. Cette évolution doit prendre en compte : la nécessité de garantir une transition douce par rapport aux systèmes déjà en place, les besoins du monde aéronautique en termes de déterminisme des comportements et sécurité des systèmes, la masse réduite embarquable et les durées de mise en œuvre entre conception et certification. Enfin, l'évolution doit être réalisée en prenant en compte les technologies et techniques existantes et/ou prometteuses dans les autres domaines (télécommunications terrestres, spatiales) afin d'identifier les opportunités de réutilisation et de les adapter au contexte aéronautique.

Furthermore, and taking account of the large infrastructure already deployed, "flight" communications rely on traditional technologies which, while reliable and predictable, are at the moment highly vulnerable in terms of security (confidentiality, integrity, authenticity).

It is therefore necessary to reconsider how the types of traffic correspond to the available means of transmission. It is also necessary to upgrade these means of transmission while taking into account the need to guarantee a smooth transition with respect to the already installed systems, the needs of the aeronautical world in terms of the predictability of the behaviour and security of systems, reduced payloads, and the implementation time between design and certification. Finally, this must be done while taking account of existing and/or promising technologies and techniques in other areas (terrestrial and/or space communications) to identify the opportunities for re-use and adaptation to the aeronautical context.



Conclusion

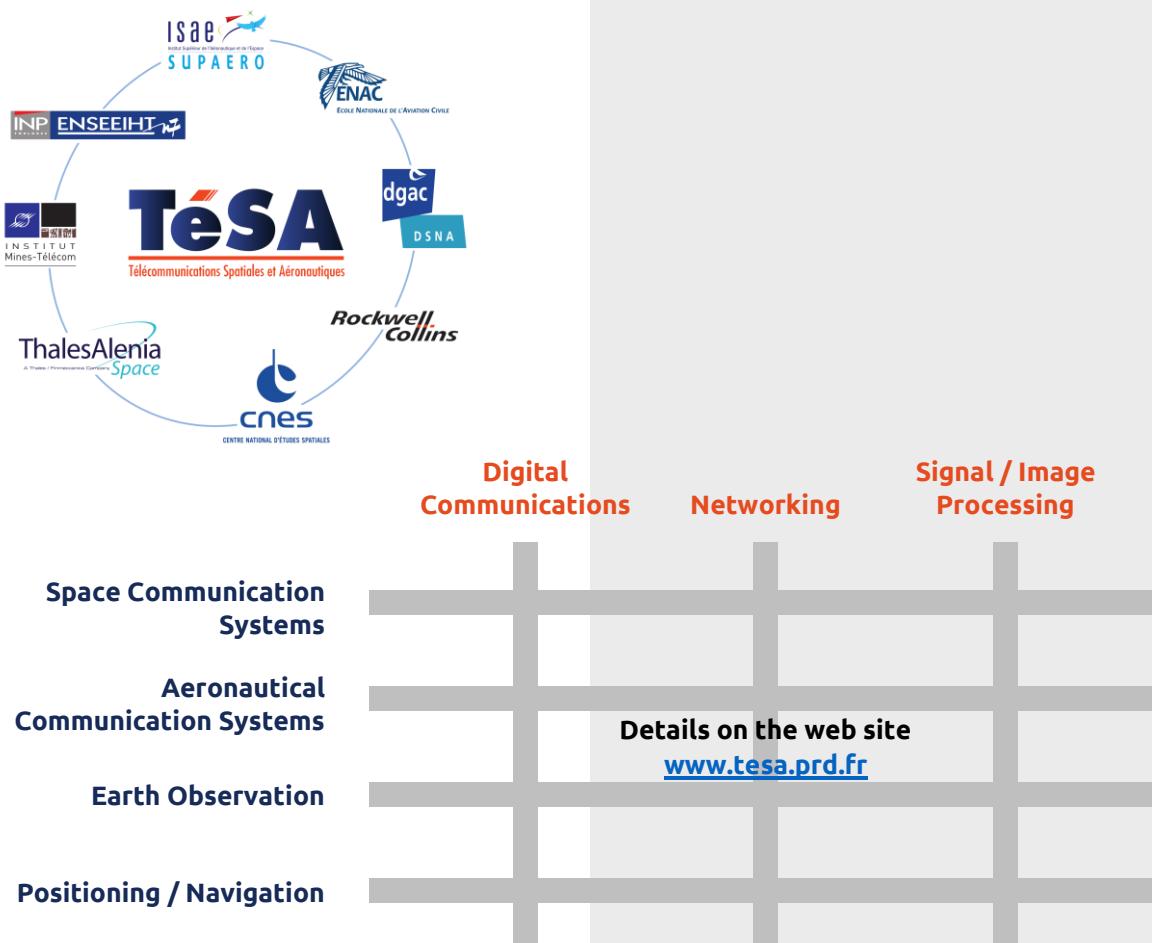
Conclusion

Ce rapport d'activité constitue la synthèse des activités de recherche menées et achevées à TéSA en 2013 et en 2014.

Il a permis de tracer la route de TéSA dans sa matrice des domaines d'applications et des domaines d'expertise. Cette matrice avec ses différentes lignes et colonnes doit vivre et évoluer, pour rester toujours dans le vif du sujet des préoccupations recherche du moment et à venir.

This report is a summary of the research activity carried out and concluded at TeSA in 2013 and 2014.

The report has traced TeSA's route in the matrix of its fields of application and expertise. With its various rows and columns, this matrix must be kept up to date so that it always reflects current and future research preoccupations



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

Illustrations / Illustrations: toutes les images sont sous copyright CNES, sauf celles des pages 1, 4, 5, 7, 13, 21, 27, 32, 39 et 41 qui sont sous copyright TéSA / all illustrations are under CNES copyright apart from those of pages 1, 4, 5, 13, 21, 27, 32, 39 and 41 which are under TeSA copyright.

Rédaction / Copywriting: Laurent Franck, Jean-Yves Tourneret, Emmanuel Chaput.

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, Thalès Alenia Space, Rockwell Collins France, la Direction des Services de la Navigation Aérienne), des laboratoires de recherche publics appartenant à des écoles d'ingénieurs (INPT, ISAE, ENAC, Institut Télécom) 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

