

Sébastien BOURGUIGNON  
23 rue de Lyon  
29200 BREST

30 ans

Téléphone : +33 2 56 29 58 78 (domicile), +33 6 14 32 90 45 (portable)  
Mél : bourgui@ast.obs-mip.fr  
Internet : <http://www.ast.obs-mip.fr/bourguignon>

---

## CURSUS

---

- Depuis 2007* : **Chercheur** à l'Ifremer, centre de Brest.
- 2006-2007* : **Post-doctorant** au Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse et de Tarbes (UMR 5572 – Université Paul Sabatier Toulouse III – CNRS) : *calibrage d'instruments dans le cadre de la mission spatiale SMOS de l'Agence Spatiale Européenne (SMOS: Soil Moisture and Ocean Salinity mission)*.
- 2005-2006* : **Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche** à temps complet de décembre 2005 à août 2006, 61<sup>ème</sup> section, Université Paul Sabatier Toulouse III. Activité de recherche dans l'équipe *Signal Image Instrumentation* du Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse et de Tarbes. **Qualifié en 2006 aux fonctions de Maître de Conférences en 61<sup>ème</sup> section du CNU**, sous le numéro 06261163818.
- 2002-2005* : **Préparation d'un doctorat en sciences, spécialité Traitement du Signal** de l'Université Paul Sabatier Toulouse III : « *Analyse spectrale à haute résolution de signaux irrégulièrement échantillonnés : application à l'Astrophysique* ». Thèse préparée au sein de l'équipe *Signal Image Instrumentation* du Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse et de Tarbes, sous la direction de Hervé CARFANTAN (MCF 61<sup>ème</sup> section). Financement : allocation de recherche du ministère de l'enseignement supérieur. **Doctorat obtenu le 14 décembre 2005 avec la mention très honorable.**
- 2002-2005* : **Moniteur de l'enseignement supérieur**, CIES de Midi-Pyrénées.
- 2001-2002* : **DEA Signal, Image et Acoustique**, de l'Université Paul Sabatier (Toulouse III), **mention Très Bien**. Mémoire réalisé sous la direction de Hervé CARFANTAN (MCF 61<sup>ème</sup> section) : Analyse spectrale à haute résolution de signaux à données manquantes.
- Juillet 2001* : **Diplôme d'ingénieur Supélec** (École Supérieure d'Électricité), Gif sur Yvette, **Ingénieur en Télécommunications** de l'Université Polytechnique de Madrid.
- 1999-2001* : Dernière année d'école d'ingénieur et projet de fin d'études réalisés dans le cadre du programme Erasmus à l'Université Polytechnique de Madrid, *Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación*.
- 1997-1999* : École Supérieure d'Électricité (Supélec), campus de Metz.

---

## EXPÉRIENCE PROFESSIONNELLE AVANT LA THÈSE

---

- Juillet-Septembre 2002* : Ingénieur d'études au Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse et de Tarbes sur un contrat de collaboration avec le Centre National des Études Spatiales (CNES) : **estimation de paramètres instrumentaux** pour satellites de type SPOT.
- Année 2001-02* : Projet de fin d'études en **traitement de la parole** à l'Université Polytechnique de Madrid : étude de systèmes de reconnaissance automatique du locuteur.
- Juillet-Août 2001* : Stage technique à Électricité De France (Saint-Denis) : développement d'un outil de simulation de factures téléphoniques sous Microsoft Access.

## ACTIVITÉ D'ENSEIGNEMENT

Depuis 2002, j'ai effectué des enseignements en **Automatique, Traitement du Signal, Calcul Scientifique et Statistiques pour la Physique** à l'Université Paul Sabatier - Toulouse III. J'ai eu l'opportunité d'enseigner dès l'année de mon DEA en tant que vacataire (2001–02). J'ai ensuite été moniteur de l'enseignement supérieur (2002–05), puis ATER à temps complet de décembre 2005 à août 2006. J'ai également effectué quelques vacances dans cette même Université au cours de l'année 2006–07. Sur ces cinq années, j'ai réalisé un service d'enseignement d'environ **390 heures équivalent TD**.

Je suis intervenu à différents niveaux, de la L1 au M1, en réalisant l'essentiel de mes enseignements dans les disciplines relevant de la 61<sup>ème</sup> section du CNU (en Automatique et Traitement du Signal), ainsi qu'une moindre partie au sein du département de Physique (en Calcul Scientifique et Statistiques pour la Physique).

Je pense m'être considérablement investi dans ma mission d'enseignant. En particulier, j'ai moi-même monté des sujets de TD et de TP, que j'ai voulu attractifs et pédagogiques, notamment pour les filières où des disciplines comme le Traitement du Signal peuvent apparaître comme trop abstraites. J'ai également eu l'occasion d'encadrer plusieurs stagiaires (voir plus de détails p.9). La connection avec un public étudiant m'a beaucoup appris, que ce soit au niveau de la pédagogie, de la prise de recul et de la rigueur nécessaires pour aborder en profondeur un sujet, autant de qualités également indispensables pour mener à bien des recherches. Je souhaite donc continuer une activité d'enseignement, qui à mon sens ne peut qu'enrichir toute activité de recherche.

L'ensemble des enseignements que j'ai dispensés est résumé dans le tableau ci-dessous et détaillé par la suite. Tous les volumes horaires sont comptabilisés en heures équivalent TD.

Discipline	Filière	Nature	Volume (éq. TD)	Année(s)
Statistiques pour la Physique expérimentale (17 h éq. TD)	DEUG SM	TD	10 h	2002–03
		TP	7 h	2002–03
Calcul scientifique (56 h éq. TD)	DEUG Physique-Chimie	TD	12 h	2004–05
		TP	16 h	2004–05
	L2 Physique	TD	12 h	2005–06
		TP	16 h	2005–06
Automatique des Systèmes Linéaires (76 h éq. TD)	DEUG SM / L2 SDI	TP	56 h	2002–06
	L3 EEA	TP	20 h	2005–06
Traitement du Signal (239 h éq. TD)	Licence LINEL	TP	16 h	2001–02
	L3 IUP SI	TD	30 h	2003–06
		TP	36 h	2003–06
	L3 IUP ICM	TD	12 h	2005–06
	M1 EEA – ISII	TD	8 h	2005–06
		TP	90 h	2002–06
		Projets	22 h	2001–04
	M1 IUP SI	Cours	15 h	2006–07
		TD	10 h	2006–07
Total 2001–07	388 heures éq. TD			

### Statistiques pour la Physique expérimentale (17 h) :

DEUG SM 1<sup>ère</sup> année, 2002-03 – 10h en TD, 7h en TP. Co-encadrement avec un moniteur d'un groupe de 15 étudiants disposant d'un ordinateur PC par binôme. Cet enseignement poursuit le double d'objectif, d'une part, d'**introduction aux systèmes UNIX** et à l'utilisation de commandes de base (gestion de répertoires, de fichiers, commande à la console), et d'autre part de **manipulation d'outils de traitement statistique** de type histogrammes, moyennes, écarts-type ou corrélations, avec le logiciel Octave. Deux tiers des séances alternent entre l'exposé magistral des notions de statistiques élémentaires et leur application sur des données issues de différents champs de la physique. Les dernières séances sont consacrées à un travail complet d'analyse de données expérimentales, réalisé en binôme de manière largement autonome, débouchant sur la rédaction d'un compte-rendu et une soutenance orale. **J'ai également participé à l'évaluation finale : corrigé des compte-rendus, jury de soutenances de projets et contrôle oral des connaissances.**

### Calcul scientifique (56 h) :

L2 Physique et Chimie, 2004-05 – 12h en TD, 16h en TP. Co-encadrement avec un professeur des universités d'un groupe de 40 étudiants. Cet enseignement est structuré par l'alternance de séances collectives de TD (étudiants en binôme) et de séances de TP par demi-groupes où chaque étudiant dispose d'un ordinateur PC. L'objectif est de donner aux étudiants de premier cycle en physique et chimie des compétences informatiques nécessaires à l'**analyse et au traitement de données expérimentales**. Les notions de variable, de fonction, les différentes structures de données, ainsi que les éléments de base d'un programme sont introduits : entrées, sorties, tests, boucles. L'utilisation d'un langage interprété comme MATLAB et la représentation des données sous forme matricielle permet de déboucher rapidement sur des représentations graphiques illustrant un phénomène physique (courbes 2D et 3D, champs de vecteurs, ...).

L2 Physique, 2005-06 – 12h en TD, 16h en TP. Co-encadrement avec un maître de conférences d'un groupe de 30 étudiants. Cet enseignement est le prolongement de celui décrit précédemment et concerne l'introduction aux **méthodes numériques**, également sous MATLAB. Les points principaux abordés sont les méthodes numériques d'intégration (rectangles, trapèzes, Simpson), la résolution d'équations différentielles ordinaires et d'équations aux dérivées partielles. Pour chaque thème, l'accent est mis sur l'interprétation des résultats obtenus : influence de l'ordre de la méthode, précautions à prendre devant la fiabilité de tout résultat numérique.

### Automatique des Systèmes Linéaires (76 h) :

DEUG SM 2<sup>ème</sup> année, 2002-04 puis L2 Sciences de l'ingénieur, 2004-05 – 56h en TP. Co-encadrement, avec un maître de conférences ou un moniteur, de groupes de 16 étudiants pour un ensemble de 4 séances de 3 h, consacrées à l'étude de **systèmes linéaires à temps continu**, du premier et deuxième ordre. Ces séances comportent une partie de préparation plus théorique reposant notamment sur l'assimilation de la notion de fonction de transfert. La partie pratique permet de familiariser les étudiants avec les différents éléments d'analyse des systèmes : identification de la fonction de transfert, étude et caractérisation de réponse indicielle, étude de différents types de commande pour l'asservissement des systèmes. Ces manipulations mettent également en avant l'aspect instrumental : utilisation pertinente des générateurs de signaux et de l'oscilloscope, protocole à mettre en œuvre pour l'analyse des systèmes, mesure de grandeurs caractéristiques, etc. **En plus de l'encadrement, j'ai participé à la surveillance et à la correction des examens.**

L3 EEA, 2005-06 – 20h en TP. Encadrement de deux groupes de 8 étudiants, sur 5 manipulations de 3 heures de Conception Assistée par Ordinateur sous MATLAB/SIMULINK. Différents cas pratiques illustrent la démarche d'**analyse temporelle et fréquentielle des systèmes linéaires**, permettant en particulier aux étudiants de se familiariser avec l'utilisation des diagrammes de Bode, Black et Nyquist. **J'ai participé au jury du module d'automatique, ainsi qu'à la surveillance et correction des examens.**

## Traitement du Signal (239 h) :

Licence d'ingénierie électrique (LINEL), 2001-02 – 16h en TP. Co-encadrement avec un vacataire de 4 groupes de 15 étudiants pour 2 séances de 3 heures d'introduction au traitement du signal. Ces séances s'adressent à des étudiants provenant essentiellement de filières technologiques et proposent l'étude d'une **chaîne d'acquisition du signal**, visant à la compréhension pratique des différentes étapes sans exposer dans le détail les notions abstraites sous-jacentes. L'échantillonnage-blocage et la quantification sont étudiés ainsi que la conversion numérique-analogique, et une étape de filtrage numérique est implantée en PASCAL. L'utilisation d'oscilloscopes numériques permet d'appréhender le fonctionnement de chaque étape (tracé de caractéristiques) et le module analyseur de spectres facilite l'introduction à la représentation fréquentielle des signaux, notamment par l'illustration du repliement et de l'effet temporel et fréquentiel du filtrage.

L3 IUP Systèmes Intelligents, 2003-06 – 30h en TD et 36h en TP. Encadrement des Travaux Dirigés (une promotion de 40 étudiants) et Travaux Pratiques (deux groupes de 20 étudiants) de la 2<sup>ème</sup> année de formation (L3) de l'IUP Systèmes Intelligents. En marge d'un cursus axé sur l'informatique et l'automatique industrielles, une formation de base en traitement du signal est dispensée. Le but des TD et TP est d'illustrer de manière pratique des notions parfois abstraites vues en cours, comme la **représentation et l'analyse en fréquence, la modulation en amplitude et l'échantillonnage** de signaux analogiques. **J'ai ainsi modifié considérablement certains sujets de TD existants, qui étaient perçus comme trop calculatoires, afin de donner plus de place au sens physique et à l'intuition des étudiants.** J'ai voulu par ailleurs susciter l'intérêt pour cette discipline en évoquant au cours des séances des exemples tirés de domaines attrayants, comme la musique ou la photographie numérique. **J'ai par ailleurs monté les deux sujets de TP (2 × 3 h)** en coordination avec l'enseignant de la partie cours. Ils se déroulent sur PC sous MATLAB, langage que les étudiants découvrent au fil des deux séances. Le premier reprend un exemple vu en cours et simule le codage et le décodage d'une séquence de commande d'une voiture radioguidée selon le principe du multiplexage fréquentiel. Le second est inspiré d'un TP de M1 EEA et propose d'analyser, quantitativement et surtout qualitativement, les effets de la quantification et du sous-échantillonnage sur des extraits de musique et des images. **Je me suis également chargé de la correction des compte-rendus de TP et j'ai participé à la surveillance des examens.**

L3 IUP Instrumentation, Capteurs, Mesures, 2005-06 – 12h en TD. Encadrement des Travaux Dirigés venant en complément du cours de *Mathématiques du Signal* dispensé en 2<sup>ème</sup> année de cette formation (L3), pour deux groupes d'une quinzaine d'étudiants. Il s'agit pour les étudiants de se familiariser avec la manipulation d'**outils classiques du traitement numérique du signal** : transformée en Z, convolution discrète, calculs de séries entières.

Maîtrise EEA, 2002-04, puis M1 EEA, parcours *ISII* – 8h en TD et 90h en TP. J'ai encadré 8 heures de TD de *filtrage* des signaux dans le M1 EEA, parcours *Information, Signal, Image et Instrumentation*. Ces TD traitent essentiellement la **synthèse de filtres analogiques et numériques** (RII et RIF), en étudiant au passage des points pratiques, comme la robustesse au bruit ou l'effet de la quantification des coefficients sur la stabilité d'un filtre.

Depuis 2002, je suis massivement intervenu dans l'encadrement des Travaux Pratiques de cette formation, en co-encadrement de 2002 à 2004 et en encadrement simple en 2005-06, pour des groupes d'une quinzaine d'étudiants. Tous ces TP ont une durée de 5 heures et sont réalisés en binôme sur ordinateur PC, et la programmation utilise le langage MATLAB. Dans le module d'**analyse et traitement de données**, j'ai encadré des manipulations portant sur l'interpolation, les tests statistiques et la classification. J'ai également encadré les TP de modules d'**analyse spectrale** (paramétrique et non-paramétrique) et d'**estimation**. Enfin, les TP du module de **théorie de l'information** représentent la plus grosse partie de mon intervention en M1 EEA et abordent des méthodes de stockage et de transmission de l'information à travers des exemples comme la modulation en amplitude, le multiplexage fréquentiel ou encore la compression par TCD. **J'ai également participé à la correction des compte-rendus et à la surveillance des examens.**

Maîtrise EEA, 2001–04 – Encadrement de Travaux d’Étude et de Recherche (TER) – 22h en TP.

J’ai encadré quatre trinômes d’étudiants en M1 EEA, parcours *Information, Signal, Image et Instrumentation*, dans la réalisation de leurs TER. En tant que vacataire au cours de l’année 2001-02, j’ai encadré un groupe sur un problème d’estimation de paramètres instrumentaux de satellites de type SPOT, et un second sur un sujet de recalage de données stellaires. Lors des deux années suivantes, **j’ai proposé et encadré deux sujets sur des méthodes de reconstruction de signaux à données incomplètes, thème connexe à mon travail de recherche.**

M1 IUP Systèmes Intelligents, 2006–07 – Filtrage Numérique – 15h en cours et 10h en TD.

J’ai assuré en 2006-07 le cours et les TD d’un module de traitement numérique du signal pour la promotion de 35 étudiants en 3<sup>ème</sup> année de formation (M1) de l’IUP Systèmes Intelligents. Le but de cet enseignement est de fournir aux étudiants, dont le traitement du signal n’est pas au cœur de la formation, des connaissances de base et des réflexes à acquérir pour le **filtrage numérique** : notion de repliement, avantages et inconvénients des différents types de filtres (RIF et RII), méthodes de synthèse et structures de mise en œuvre. **J’ai aussi préparé le sujet de l’examen, corrigé les copies et participé au jury semestriel.**

---

## ACTIVITÉ DE RECHERCHE

---

### • Analyse spectrale et modélisation parcimonieuse

*Mots-clés* : analyse spectrale, échantillonnage irrégulier, régularisation d’un problème inverse, modélisation de phénomènes aléatoires, représentations parcimonieuses, pénalisation  $\ell^1$ , processus Bernoulli-Gaussiens, algorithmes d’optimisation, méthodes MCMC.

Une première thématique à laquelle je m’intéresse est l’**analyse de séries temporelles issues d’observations astronomiques**. Plus particulièrement, la problématique étudiée est la recherche de fréquences d’oscillation dans des courbes de lumière et de vitesse radiale, qui est à la base de nombreux phénomènes astronomiques. En astérosismologie, par exemple, la détermination précise des modes de vibration d’étoiles variables à partir de courbes de vitesse radiale fournit des contraintes permettant d’ajuster les modèles de structure stellaire. La complication essentielle de ce problème d’**analyse spectrale** réside dans l’insuffisance de la couverture temporelle. En effet, les périodes de disponibilité des instruments sont limitées et la nature des objets étudiés rend ceux-ci périodiquement invisibles : l’alternance du jour et de la nuit ainsi que les variations saisonnières de l’hémisphère céleste observable provoquent une couverture temporelle incomplète. De ce fait, la recherche de fréquences basée sur le spectre de Fourier des données observées s’avère souvent inefficace, les irrégularités de l’échantillonnage lui conférant une forme dépourvue de propriétés exploitables et générant des alias imprévisibles.

Depuis mon arrivée au Laboratoire d’Astrophysique de Toulouse - Tarbes en 2002, mes travaux sur ce thème abordent l’analyse spectrale comme un **problème inverse** linéaire – le spectre étant discrétisé sur une grille arbitrairement fine – auquel le faible nombre de données et la nécessité d’une analyse à haute résolution fréquentielle confèrent un caractère mal posé. Il s’agit alors d’apporter une information *a priori* supplémentaire traduisant le caractère **parcimonieux** du spectre à reconstruire : on s’intéresse exclusivement à la recherche de spectres de raies. Deux types d’approche ont été envisagées.

La première a trait au domaine de l’**optimisation** et consiste à minimiser un critère quadratique d’attache aux données, pénalisé par une fonction favorisant l’aspect parcimonieux du spectre à estimer. Dans le **contexte statistique bayésien**, cette approche s’interprète comme l’estimation au sens du maximum *a posteriori* pour une distribution de probabilité *a priori* bien choisie (loi de Laplace par exemple). Cette approche de régularisation pour la résolution de problèmes inverses a fait l’objet de nombreux travaux au cours des années 90 et a déjà été appliquée au cas de l’estimation à haute résolution de spectres de raies dans le cas de données régulièrement espacées. Outre le fait que l’échantillonnage irrégulier débouche sur des dégradations plus importantes du spectre observé, la complication majeure dans ce cas est d’ordre algorithmique. Deux contributions novatrices ont été apportées à cette approche. La première étudie l’emploi de la **pénalisation par la norme  $\ell^1$**  qui, bien

qu'universellement reconnue en termes de parcimonie pour des variables réelles, n'avait jusqu'alors que très rarement été appliquée à des variables complexes. Le second point concerne le **développement d'algorithmes performants** pour l'optimisation, adaptés à la pénalisation employée (la norme  $\ell^1$  ou une approximation strictement convexe) et prenant en compte, dans la mesure du possible, les spécificités induites par l'échantillonnage irrégulier.

→ *Publications et valorisation* : Ces travaux ont fait l'objet de la publication d'un article dans la revue *Astronomy and Astrophysics* [1] (revue internationale rang A) et de deux communications à des conférences internationales avec actes et comité de lecture [4,5]. Nous montrons notamment qu'une telle approche confère à l'estimation de fréquences pures une plus grande robustesse par rapport aux méthodes classiquement utilisées en astrophysique, vis-à-vis des artefacts d'échantillonnage. L'accent est également mis sur l'utilisation pratique de la méthode (réglage automatique des paramètres, rapidité de calcul). Nous avons dans ce cadre développé un **logiciel d'analyse spectrale** mettant en œuvre cette méthodologie, qui est disponible sur l'Internet : <http://www.ast.obs-mip.fr/SparSpec>. Ce logiciel est à présent utilisé dans d'autres domaines que l'Astrophysique, comme par exemple en Physique Nucléaire, où il est à l'origine d'une collaboration avec le *Plasma Science and Fusion Center* du *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*. Les aspects plus théoriques de ce problème d'analyse spectrale par représentation parcimonieuse ont été publiés dans le journal *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing* [2]. Plusieurs propriétés théoriques de la pénalisation  $\ell^1$  pour l'analyse spectrale y sont établies et différentes procédures d'optimisation (de type *Iterative Coordinate Descent* et *Iterated Reweighted Least-Squares*) sont étudiées, pour finalement aboutir à la construction d'un algorithme d'optimisation hybride, dont la vitesse de convergence est largement supérieure aux algorithmes existants et applicables dans ce cadre. L'évaluation de ces performances algorithmiques a fait l'objet d'une étude détaillée dans une publication à la conférence francophone (avec actes et comité de lecture) du GRETSI en 2007 [8].

Une deuxième approche consiste à étudier une **modélisation probabiliste** du spectre à reconstruire sous la forme d'un processus Bernoulli-Gaussien, structurellement adéquat pour des objets parcimonieux. Le cadre naturel de l'**estimation bayésienne** nous a permis d'en estimer les paramètres au sens de la moyenne *a posteriori* au moyen de techniques d'échantillonnage stochastique de type **Monte-Carlo par chaînes de Markov** (MCMC). L'utilisation de telles méthodes permet d'évaluer les variances associées aux paramètres estimés, qui est une information de première importance en astrophysique, puisqu'elle s'interprète en termes de **niveaux de confiance** sur les fréquences détectées. Par ailleurs, nous avons pu envisager l'estimation dans un cadre entièrement **non supervisé** des spectres ainsi modélisés et des hyperparamètres correspondants : aucun réglage *ad hoc* n'est alors nécessaire. Des travaux précédents dans cette voie ont été adaptés au problème de l'analyse spectrale, faisant intervenir des variables complexes, puis des alternatives efficaces au schéma classique de l'échantillonneur de Gibbs ont été proposées, ce dernier étant ralenti par les effets d'une discrétisation inexacte du spectre sur une grille de fréquences fixées.

→ *Publications* : Ces travaux ont été publiés dans une conférence internationale de l'IEEE avec actes et comité de lecture [6]. Une extension à un modèle autorisant des décalages en fréquence par rapport à une grille fixe a ensuite permis d'améliorer la résolution fréquentielle en estimant les fréquences sur un domaine continu, tout en réduisant le nombre d'inconnues du modèle et le temps de calcul résultant. L'exposé de cette extension a également été publié dans une conférence internationale de l'IEEE avec actes et comité de lecture [7]. Conjointement à la première approche par pénalisation  $\ell^1$ , cette approche a fait l'objet de la publication d'un article dans la revue *Statistical Methodology* [3], présentant et comparant les deux méthodes en termes d'information obtenue et de qualité d'estimation, mais aussi de complexité algorithmique.

Cette thématique de recherche est particulièrement riche en perspectives. La pénalisation  $\ell^1$  donne lieu actuellement à de nombreuses avancées, aussi bien sur la modélisation théorique de la parcimonie qu'au niveau algorithmique, laissant entrevoir des poursuites intéressantes sur les deux aspects. Sur le plan applicatif, l'extension de cette approche à des contextes plus généraux comme l'**analyse temps-fréquence** ou la **déconvolution de sources ponctuelles en imagerie** est particulièrement

motivante. L'application de la modélisation Bernoulli-Gaussienne conjuguée à des algorithmes MCMC est également à étudier pour la **déconvolution d'images**, permettant notamment d'envisager la localisation de sources ponctuelles avec une précision subpixelaire.

- **Estimation de réponses instrumentales**

Mots-clés : calibrage d'antennes, harmoniques sphériques, optimisation.

J'ai travaillé d'octobre 2006 à mars 2007 en tant que post-doctorant sur le **calibrage de réponses instrumentales** dans le cadre de la mission spatiale européenne SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) d'observation de la Terre, qui sera lancée courant 2008. Celle-ci repose sur l'utilisation d'un radiomètre imageur à synthèse d'ouverture, technologie initialement développée en radioastronomie, et fait appel aux techniques d'interférométrie. Mon travail a consisté à déterminer dans quelles conditions il sera possible d'ajuster les différents paramètres caractérisant les antennes du satellite une fois que celui-ci sera en orbite. En effet, les caractéristiques physiques des antennes une fois le satellite dans l'espace risquent de différer de celles mesurées au sol, mais aussi d'évoluer au fil du temps. Il s'avère donc nécessaire de pouvoir calibrer régulièrement les différents capteurs.

La solution envisagée par l'Agence Spatiale Européenne consiste à viser périodiquement une scène de contenu connu telle que le fond galactique afin d'estimer les paramètres instrumentaux. Ici aussi, le problème d'estimation est largement sous-déterminé, c'est pourquoi nous avons envisagé la reconstruction *approximative* des diagrammes d'antenne, représentés par un nombre fini d'**harmoniques sphériques**. La recherche de la meilleure décomposition fait alors intervenir des problèmes d'**optimisation**. Le critère à optimiser n'étant pas convexe, il est possible qu'il présente de nombreux minima locaux. Mon travail a consisté, d'une part, à déterminer à quelle distance maximale de l'optimum peut être initialisée la procédure d'optimisation, pour que celle-ci débouche sur une solution satisfaisante. Reliée à la vitesse d'évolution des caractéristiques de l'instrument, cette distance servira à fixer la fréquence à laquelle doit être réalisée l'opération de calibrage. D'autre part, le nombre d'inconnues mises en jeu étant assez élevé, les algorithmes d'optimisation doivent être particulièrement rapides. J'ai donc étudié le comportement de différentes stratégies d'optimisation (gradients conjugués, optimisation par blocs, ...), devant permettre de définir au final un algorithme performant, exploitant si besoin est les avantages de chacune de ces procédures.

Ces travaux n'ont pas pour l'instant donné lieu à publication, mais la reprise des recherches effectuées et leur approfondissement font actuellement partie du travail de thèse d'un doctorant au Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse et de Tarbes.

- **Méthodologies pour le traitement de données acoustiques sous-marines**

Mots-clés : imagerie acoustique 2D et 3D, détection, estimation, classification, reconnaissance de formes, traitement de données expérimentales.

J'occupe en ce moment un poste de chercheur à l'Ifremer, dans le secteur de l'acoustique halieutique, où mes thématiques de recherche concernent essentiellement la méthodologie pour le traitement de données acoustiques, dans l'objectif d'**estimation de paramètres biologiques** et écosystémiques. C'est par exemple à partir de campagnes d'acquisition de données acoustiques que sont réalisées les estimations de biomasse des différentes espèces sous-marines. Dans ce cadre, l'acquisition de données acoustiques sous-marines est réalisée au moyen de sondeurs, jusqu'à présent verticaux, disposés sous la coque d'un navire océanographique. La réception de l'écho acoustique dans toute la colonne d'eau, conjuguée à l'avancée du navire, permet alors de former des images bi-dimensionnelles. Depuis peu, l'arrivée d'une nouvelle génération de **sondeurs « multi-faisceaux »** permet d'acquérir simultanément les données acoustiques dans différentes directions de propagation, inclinées par rapport à la verticale, permettant ainsi de former des **images tri-dimensionnelles**, et débouchant sur de nombreux problèmes méthodologiques. Ceux-ci concernent aussi bien la recherche de paramètres pertinents pour caractériser les images 3D des bancs de poissons et discriminants selon les espèces, que la mise au point de nouvelles **méthodes de classification**, permettant *in fine* d'estimer des biomasses pour chaque espèce à partir d'un même jeu de données acoustiques. Nous développons pour cela des **méthodes probabilistes de classification**, où l'**inférence statistique** est réalisable à partir de données

de chalutage, qui permettent d'associer des proportions relatives d'espèces présentes à certaines parties de la zone couverte par l'échantillonnage acoustique.

Au cours des 10 mois que j'ai passés à l'Ifremer, je me suis surtout intéressé à des méthodes de détection du fond marin à partir de sondeurs acoustiques. Dans la perspective de l'évaluation de biomasse sous-marine, le poisson se trouvant souvent à proximité du fond, il est primordial de séparer, dans l'écho rétro-diffusé, la contribution du fond de celle des cibles biologiques d'intérêt. Si, à la verticale, l'écho acoustique renvoyé par le fond est très net (montée rapide, amplitude élevée), ce n'est pas le cas pour l'écho émis dans les faisceaux obliques de l'instrument. Les techniques utilisées jusqu'ici pour les sondeurs verticaux, essentiellement basées sur un seuillage de l'amplitude rétro-diffusée, s'avèrent alors insuffisantes. Il est alors nécessaire d'introduire d'autres sources d'information, basées notamment sur une certaine régularité spatiale du fond, que ce soit entre les faisceaux adjacents ou dans la direction de l'avancée du navire. J'ai ainsi développé une méthode, basée sur un algorithme de **filtrage particulaire**, prenant en compte cette seconde forme de régularisation, et permettant une estimation en ligne et peu coûteuse en calcul. Des résultats satisfaisants ont été obtenus sur des jeux de données test, et sa validation est en cours pour être mise en œuvre sur le plan opérationnel. Cette approche sera présentée à une conférence organisée par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) [11], et fera l'objet de la soumission d'un article au journal *ICES Journal of Marine Science* en avril prochain.

## Publications :

### • Articles de revues

- [1] S. Bourguignon, H. Carfantan and T. Böhm, *SparSpec: a new method for fitting multiple sinusoids with irregularly sampled data*, Astronomy and Astrophysics, vol. 462, pp. 379–387, Jan. 2007.
- [2] S. Bourguignon, H. Carfantan and J. Idier, *A sparsity-based method for the estimation of spectral lines from irregularly sampled data*, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 1, no. 4, Dec. 2007.
- [3] S. Bourguignon and H. Carfantan, *New methods for fitting multiple sinusoids from irregularly sampled data*, Statistical Methodology, sous presse, 2008.

### • Conférences internationales avec actes et comité de lecture

- [4] S. Bourguignon, H. Carfantan and L. Jahan, *Regularized estimation of line spectra from irregularly sampled astrophysical data*, Proc. PSIP'05 : Physics in Signal and Image Processing, Toulouse, France, janvier 2005.
- [5] S. Bourguignon, H. Carfantan and L. Jahan, *Regularized spectral analysis of unevenly spaced data*, Proc. IEEE ICASSP'05, Philadelphia, USA, vol. IV, pp. 421-424, Mar. 2005.
- [6] S. Bourguignon and H. Carfantan, *Bernoulli-Gaussian spectral analysis of unevenly spaced data*, Proc. 2005 IEEE Workshop on Statistical Signal Processing (SSP'05), paper # 238, Bordeaux, France, July 2005.
- [7] S. Bourguignon and H. Carfantan, *Spectral analysis of irregularly sampled data using a Bernoulli-Gaussian model with free frequencies*, Proc. IEEE ICASSP'06, Toulouse, France, vol. III, pp. 516-519, May 2006.

### • Conférences nationales avec actes et comité de lecture

- [8] S. Bourguignon, H. Carfantan et J. Idier, Minimisation de critères de moindres carrés pénalisés par la norme l1 dans le cas complexe, in Actes 21e colloque GRETSI, Troyes, Sep. 2007, pp. 1253-1256.



- **Conférences internationales avec actes**

- [9] S. Bourguignon and H. Carfantan, *New methods for fitting multiple sinusoids from irregularly sampled data*, Proc. Astrophysical Data Analysis (ADA IV), Marseille, France, Sep. 2006.
- [10] M. Bazot, S. Bourguignon and J. Christensen-Dalsgaard, *Estimation of stellar parameters using Monte-Carlo Markov Chains*, XXI Century challenges for stellar evolution, (Memorie della Societa' Astronomica Italiana, vol. 79), Eds S. Cassisi and M. Salaris
- [11] S. Bourguignon *et al.*, *Methodological developments for improved bottom detection with the ME70 multibeam echosounder*, ICES Symposium on the Ecosystem Approach with Fisheries Acoustics and Complementary Technologies (SEAFACETS), Bergen, Norway, June 2008.

- **Thèse de doctorat**

- S. Bourguignon, *Analyse spectrale à haute résolution de signaux irrégulièrement échantillonnés : application à l'Astrophysique*, Université Paul Sabatier – Toulouse 3, Déc. 2005.

- **Colloques de l'école doctorale Informatique et Télécommunications**

- S. Bourguignon et H. Carfantan, *Analyse spectrale à haute résolution de signaux à données manquantes : application à l'Astrophysique*, colloque EDIT'2003.
- S. Bourguignon et H. Carfantan, *Analyse spectrale régularisée de signaux à échantillonnage irrégulier*, colloque EDIT'2004.

- **Rapports de stages et de contrats**

- S. Bourguignon, *Développement d'un environnement pour l'étude de systèmes de reconnaissance automatique du locuteur*, projet de fin d'études, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Université Polytechnique de Madrid, Juin 2001.
- S. Bourguignon, *Analyse spectrale à haute résolution de signaux à données manquantes : application à l'Astrophysique*, rapport de stage de DEA, Université Paul Sabatier – Toulouse III, Juin 2002.
- S. Bourguignon, *Estimation de paramètres instrumentaux pour satellites de type SPOT*, rapport de contrat CNES, Toulouse, Septembre 2002.
- S. Bourguignon, *How to improve the decomposition of SMOS antenna patterns into spherical harmonics*, SMOS Technical Report, January 2006.

- **Logiciel**

- S. Bourguignon, H. Carfantan, A. Khazaal and A. Lasfar, **SparSpec** : *Sparse modeling for the spectral analysis of unevenly spaced data*, <http://www.ast.obs-mip.fr/SparSpec>

---

## ACTIVITÉS D'ENCADREMENT ET D'ANIMATION SCIENTIFIQUE

---

- **Encadrement de stages**

Outre les diverses surveillances et corrections d'examen et participations aux jurys de fin d'année incombant à mes services de moniteur puis d'ATER, j'ai co-encadré **quatre stages d'étudiants** de l'Université Paul Sabatier Toulouse III :

- *avril - juin 2005* : stage de M1 EEA mention *Information, Signal, Image et Instrumentation* de Donatien Sambia : comparaison de méthodes d'analyse spectrale pour des signaux irrégulièrement échantillonnés.

- *février – juin 2006* : stage de M2 Recherche *Signal, Image, Acoustique et Optimisation* (Université Paul Sabatier Toulouse III – INP Toulouse) de Ali Khaazal : algorithmes d’optimisation pour une représentation parcimonieuse de signaux bruités.
- *mai – juin 2006* : stage de L3 IUP AISEM (*Architecture et Ingénierie des Systèmes électroniques et Microélectroniques*) de Abdelouahed Lasfar : développement d’une interface graphique en GTK+ pour un logiciel d’analyse spectrale.
- *mars – avril 2007* : stage de M1 EEA mention *Information, Signal, Image et Instrumentation* de Olivier Reiss : ajout de fonctionnalités à un logiciel d’analyse spectrale.

- **Animation de la recherche**

J’ai participé à l’organisation du colloque des doctorants de l’École Doctorale *Informatique et Télécommunications* (Université Paul Sabatier – Institut National Polytechnique de Toulouse) en février et mars 2004. Je me suis chargé de la coordination des communications, regroupant une cinquantaine de contributions, et ai été responsable de l’édition des actes du colloque, sous forme papier et électronique. J’ai également participé de manière volontaire à l’organisation de la conférence **IEEE ICASSP’06**, qui a eu lieu à Toulouse en mai 2006.

Je suis également relecteur du journal *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*.

---

## INTÉRÊTS SCIENTIFIQUES

---

- Analyse spectrale, analyse temps-fréquence, filtrage, échantillonnage régulier et irrégulier
- Problèmes inverses, inférence et modélisation probabiliste, estimation, détection
- Représentations parcimonieuses
- Algorithmes d’optimisation, méthodes MCMC
- Automatique linéaire, systèmes à temps continu et discret
- Imagerie acoustique multi-faisceaux
- Classification et reconnaissance de formes
- Traitement de données expérimentales : astrophysique, acoustique sous-marine

---

## COMPÉTENCES INFORMATIQUES ET LINGUISTIQUES

---

- **Informatique :**

- Développement d’applications scientifiques essentiellement sous MATLAB
- Protocoles de communication et réseau
- Très bonne connaissance des systèmes d’exploitation Linux et Windows
- Très bonne connaissance de  $\text{\LaTeX}$  et des logiciels de bureautique (OpenOffice, MSOffice)

- **Langues étrangères :**

- Espagnol : bilingue
- Anglais : courant
- Allemand : lu, écrit, parlé